

SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET

HRVATSKO DRUŠTVO ZA ODVODNJU I NAVODNJAVANJE
HRVATSKO HIDROLOŠKO DRUŠTVO

**PRIRUČNIK ZA
HIDROTEHNIČKE
MELIORACIJE**

III KOLO
KNJIGA 3

**VODNOGOSPODARSKI ASPEKTI
RAZVOJA NAVODNJAVANJA U PRIOBALJU I
KRŠKOM ZALEĐU HRVATSKE**

Rijeka, 2007.

Sadržaj ove knjige predstavlja rezultat istraživanja u 2005. i 2006. godini, a u okviru znanstvenog projekta »Znanstvene osnove za razvoj natapanja u Republici Hrvatskoj« broj 114003, financiranog od Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske. Izdavanje rezultata istraživanja u vidu priručnika novčano su potpomogle »Hrvatske vode« Zagreb, Ulica grada Vukovara 220.

Rijeka, veljača 2007.

**Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa
Republike Hrvatske**

Projekt:

Znanstvene osnove za razvoj natapanja
u Republici Hrvatskoj

Šifra: 0114003

Voditelj projekta:

prof.dr.sc. Nevenka Ožanić

Istraživači:

prof.dr.sc. Nevenka Ožanić
prof.emer.dr.sc. Zorko Kos
prof.dr.sc. Čedomir Benac
doc.dr.sc. Barbara Karleuša
mr.sc. Josip Rubinić
Elvis Žic, dipl.inž.građ.
Igor Ružić, dipl.inž.građ.
Goran Volf, dipl.inž.građ.

CIP – Katalogizacija u publikaciji
SVEUČILIŠNA KNJIŽNICA RIJEKA

UDK 626.8(075.8)

PRIRUČNIK za hidrotehničke melioracije.
Rijeka: Građevinski fakultet Sveučilišta, 1992— 2007; 24 cm
Kolo: 3. – 2003-2007

Knjiga:

3: Vodnogospodarski aspekti razvoja navodnjavanja u priobalju i krškom zaleđu
Hrvatske / Nevenka Ožanić ... <et al.>. – 2007

Bibliografija iza svakog poglavlja

ISBN 978-953-6953-13-4

1. Ožanić, Nevenka

110902064

Rezultati istraživanja na temi tijekom 2005. i 2006.

GRAĐEVINSKI FAKULTET
Sveučilišta u Rijeci

HRVATSKO DRUŠTVO ZA ODVODNJU I NAVODNJAVANJE
HRVATSKO HIDROLOŠKO DRUŠTVO

PRIRUČNIK ZA HIDROTEHNIČKE
MELIORACIJE

III KOLO
KNJIGA 3

VODNOGOSPODARSKI ASPEKTI
RAZVOJA NAVODNJAVANJA U PRIOBALJU I KRŠKOM ZALEĐU
HRVATSKE

Autori

prof.dr.sc. Nevenka Ožanić
prof.dr.sc. Dragutin Gereš
prof.dr.sc. Ognjen Bonacci
prof.dr.sc. Jure Margeta
doc.dr.sc. Stjepan Husnjak
prof.dr.sc. Goran Gjetvaj
David Rajko, dipl.inž.građ.
doc.dr.sc. Barbara Karleuša
mr.sc. Josip Rubinić

Rijeka, 2007.

GRAĐEVINSKI FAKULTET
Sveučilišta u Rijeci

Za izdavača:

prof.dr.sc. Nevenka Ožanić

Urednici:

prof.dr.sc. Nevenka Ožanić
prof.dr.sc. Čedomir Benac
doc.dr.sc. Aleksandra Deluka Tibljaš
prof.dr.sc. Ivan Vrkljan

Glavni i odgovorni urednik:

prof.dr.sc. Nevenka Ožanić

Recenzenti:

prof.emer.dr.sc. Zorko Kos
prof.dr.sc. Josip Marušić

Kategorizacija:

Znanstvena monografija

Adresa uredništva:

Rijeka, Viktora Cara Emina 5

Tisak:

„ORVIS” commerce d.o.o.

Grafička obrada i prijelom:

„IO” d.o.o.

Naklada:

600 primjeraka

PREDGOVOR

Nova knjige iz serije »Priručnika za hidrotehničke melioracije« održava dugogodišnji kontinuitet istraživanja u okviru znanstveno-istraživačkog projekta Znanstvene osnove za razvoj natapanja u Republici Hrvatskoj i publiciranja aktualne znanstveno-stručne problematike iz domene hidrotehničkih melioracija, odnosno problematike odvodnje i navodnjavanja. Do sada je tijekom razdoblja 1983.-2005. publicirano 15 knjiga, podijeljenih u tri kola.

Spomenutih 15 priručnika, s preko 3600 stranica, pokrili su najveći dio problematike vezane uz teorijske i praktične aspekte hidrotehničkih melioracija, te ostvarili nužne preduvjete za implementaciju potrebnih saznanja na području Hrvatske. Kao što je u Predgovoru Knjige 1 u I kolu još 1983.g. i napisano, to je bio i cilj Društva za odvodnjavanje i navodnjavanje Hrvatske koje je i pokrenulo izdavanje predmetnih priručnika. Ideja je bila, a tako je i realizirano da će »priručnik biti tako koncipiran, da će odgovarati potrebama radnih organizacija i pojedinaca koji se bave planiranjem, projektiranjem, građenjem i održavanjem hidromelioracijskih sustava... Ideja o poduzimanju tako značajnog poduhvata vremenski se podudara s pojavom određenih društveno-gospodarskih poteškoća u našoj zemlji, koje su posljedica intenzivnog rasta i razvoja u proteklim desetljećima. Namjera je Predsjedništva i svih članova Društva da ovim putem dadu djelotvoran doprinos što bržem prevladavanju naraslih proturječnosti i problema, naročito na području osiguravanja nužnih preduvjeta za intenzivniju i rentabilniju poljoprivrednu proizvodnju ...«

Publicirani priručnici prvih dvaju kola dali su velik doprinos razvoju znanstvenih i stručnih kadrova vezanih uz različite aspekte problematike hidrotehničkih melioracija. U njima je istražena, te sistematizirana i na pristupačan način obrazložena glavna tema te, za Hrvatsku izuzetno važne djelatnosti, kako u pogledu njezinog privrednog značenja, tako i njome uvjetovanih socio-ekonomskih prilika u širem okruženju. U tom smislu rijetki su primjeri postojanja dokumentiranosti tako zaokruženog ciklusa teorijsko-stručnih saznanja iz neke domene. Nažalost tijekom posljednjih dvadesetak godina Hrvatsko gospodarstvo, pa tako i poljoprivreda, uz spomenute poteškoće iz predgovora prve knjige I kola iz 1983.g. koji su naknadno i generirani, te probleme razvoja izazvane poznatim ratnim prilikama na našim prostorima, prolazi i kroz fazu prevladavanja tranzicijskih problema. Svi su ti problemi u okruženju poljoprivrede sasvim sigurno utjecali i na ograničene mogućnosti implementacije do sada publiciranih saznanja iz prethodno objavljenih Priručnika u domaćoj praksi. Taj raskorak između obrađene teorije i njezine praktične primjene u Hrvatskoj, kao i okolnost da nova vremena postavljaju i nove izazove u kontekstu čega treba istaći i aktualnu potrebu prilagodbe razvoja poljoprivrede u Hrvatskoj u okruženju Europske unije, bili su dodatni motiv da se predvidi daljnji razvoj još pred dvadeset godina započetog predmetnog projekta, te njegovo usmjeravanje na implementaciju potrebnih saznanja iz domene hidrotehničkih melioracija na razvoj hidrotehničkim melioracija, a time i poljoprivrede u Hrvatskoj.

Razumijevanjem Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa i Hrvatskih voda, koji su i ovom prilikom sufinancirali nastavak predmetnog znanstveno-istraživačkog projekta, pred čitateljstvom je treća knjiga iz nove serije Priručnika, tj. Knjiga 3 III kola. Planirano

III kolo ima tri knjige – rezultati rada brojnih istraživača i suradnika na predmetnom znanstveno-istraživačkom projektu. Dok je I kolo bilo usmjereno na problematiku odvodnje, II na navodnjavanja, zamisao nositelja projekta je da bi III kolo projekta »Znanstvene osnove za razvoj natapanja u Republici Hrvatskoj«, upravo zbog problema implementacije znanstvenih i stručnih spoznaja na našim prostorima, bilo uz neizostavni znanstveno-istraživački pristup pojedinim do sada manje obrađivanim temama, ponajviše orijentirano na samu Hrvatsku, tj. prirodno, strukturalno te i društveno-ekonomsko okruženje u okviru kojeg bi se trebao ostvariti razvoj hidrotehničkih sustava za navodnjavanje. Težište je dano na vrednovanje vodnih potencijala za navodnjavanje i s time vezanim rizicima po vodne resurse na priobalnom području Hrvatske. Uz to, poseban naglasak je dan sustavnim analizama i metodološkim pristupima pri analizama sve učestalijih pojava suša i malovodnih razdoblja, kao i daljnjem razvoju suvremenih metoda planiranja i upravljanja vodama, posebno u kontekstu potreba prilagodbe subjekata vezanih uz gospodarenje vodama i upravljanje hidromelioracijskih i navodnjavanih sustava na okruženje Europske unije. Tematski okvir Knjige III je Nacionalni projekt navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama, odgovarajući izrađeni županijski planovi navodnjavanja, kao i druge recentne podloge iz vodnogospodarske domene vezane uz problematiku navodnjavanja.

Sadržajno i po obimu objavljenih materijala u dosadašnjim priručnicima, posebno su velik doprinos razvoju projekta dali prvi dugogodišnji voditelj spomenutog znanstvenog projekta prof.emeritus dr.sc. Z. Kos, prof.dr.sc. J. Marušić, prof.dr.sc. F. Tomić, prof.dr.sc. O. Bonacci, prof.dr.sc. D. Gereš i prof.dr.sc. D. Romić. Uz planirano učešće spomenutih posebno zaslužnih autora, učešće većeg broja drugih autora koji su i do sada davali svoj doprinos, kao i angažmanom više autora – specijalista u pojedinim segmentima analiziranih tema nove serije priručnika, na najbolji je način potvrđen kontinuitet realizacije projekta u okvirima suradnje djelatnika Građevinskog fakulteta Rijeka, kao i ostalih kolega iz Hrvatskog društva za odvodnjavanje i navodnjavanje, te Hrvatskog hidrološkog društva, angažiranih u brojnim institucijama – ponajviše u okvirima Građevinskih fakulteta u Zagrebu i Osijeku, Građevinsko-arhitektonskog fakulteta u Splitu, Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, te Hrvatskih voda.

Koristim priliku da se zahvalim svim autorima radova, recenzentima, uredništvu, kao i drugim suradnicima na projektu koji su omogućili izdavanje Knjige 3 – III kola, te Ministarstvu znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske i poduzeću Hrvatske vode na ukazanom povjerenju.

Rijeka, veljača 2007.

prof.dr.sc. Nevenka Ožanić

SADRŽAJ

1. **Uvod** 9
Prof.dr.sc. Nevenka Ožanić — Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci
2. **Vodni resursi i navodnjavanje u priobalju i krškom zaleđu Hrvatske** 23
Prof.dr.sc. Dragutin Gereš — Građevinski fakultet Sveučilišta u Osijeku; Hrvatske vode Zagreb
3. **Odnos malih voda, suša i održivog razvoja okoliša te potreba vode za navodnjavanje u priobalju i krškom zaleđu tijekom vegetacijskog razdoblja** 69
Prof.dr.sc. Ognjen Bonacci — Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu
4. **Akumulacije za navodnjavanje u kršu** 103
Prof.dr.sc. Jure Margeta — Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu
5. **Navodnjavanje i zone sanitarne zaštite izvorišta vode za piće na krškom području- Analiza problematike na primjeru Primorsko-goranske županije** 157
Prof.dr.sc. Nevenka Ožanić — Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci
6. **Pogodnost tala za navodnjavanje u priobalju i krškom zaleđu Hrvatske** 193
Prof.dr.sc. Stjepan Husnjak — Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
7. **Navodnjavanje na otocima** 223
Prof.dr.sc. Jure Margeta — Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu
8. **Sekundarno korištenje upotrijebljenih voda za navodnjavanje** 267
Prof.dr.sc. Goran Gjetvaj — Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
David Rajko, dipl.inž.grad. — Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci
9. **Suvremene metode upravljanja sustavima za navodnjavanje** 287
Doc.dr.sc. Barbara Karleuša — Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci
10. **Problemi zaslantjenja, korištenja i precrcpljivanja priobalnih krških izvora i vodonosnika – primjeri sjeverno-jadranskog područja** 321
Mr.sc. Josip Rubinić — Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci

UVOD

Prof.dr.sc. Nevenka Ožanić
Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci

S obzirom na to da je do sada je tijekom razdoblja 1983.-2005. publicirano 15 knjiga - »Priručnika za hidrotehničke melioracije« podijeljenih u tri kola, kao i to da Knjiga 3, III kola - Vodnogospodarski aspekti razvoja navodnjavanja u priobalju i krškom zaleđu Hrvatske – predstavlja završnu knjigu iz serije Priručnika u okviru znanstveno-istraživačkog projekta **Znanstvene osnove za razvoj natapanja u Republici Hrvatskoj**, smatrali smo neophodnim objaviti sadržaje svih do sada objavljenih knjiga.

Naime, zbog izostanka popisa objavljenih tema u prethodnim knjigama I, II i III kola, korisnici moraju prelistavati sve Priručnike i tražiti njima u tom trenutku potrebnu temu i tekst. Nastavno su dani sadržaji svih 15 ranije objavljenih knjiga sva tri kola.

U razdoblju 1983.—1991. publicirano je 6 knjiga I kola Priručnika u kojima je obrađena problematika odvodnjavanja. Tako **Knjiga 1 – Opći dio (1983)** sadrži:

1. ZNAČAJ HIDROTEHNIČKIH MELIORACIJA U SRH

Branko Bergman, dipl. građ. inž.

2. RAZVOJ I STANJE MELIORACIJA U JUGOSLAVIJI I U NEKIM EVROPSKIM ZEMLJAMA

Dr.sc. Zorko Kos, sveuč. prof.

3. POVIJESNI PREGLED RAZVOJA VODOPRIVREDE U SR HRVATSKOJ

Dr.sc. Zorko Kos, sveuč. prof.; Dr.sc. Božidar Ekl, sveuč. prof. u m.

4. PROBLEMI I ZADACI IZVEDBE I ODRŽAVANJA HIDROMELIORACIJSKIH SUSTAVA

Mr.sc. Josip Marušić, dipl. građ. inž.

5. PRAVNO UREĐIVANJE IZGRADNJE, KORIŠTENJA I ODRŽAVANJA HIDROMELIORACIJSKIH SUSTAVA

Ivan Šimunović, dipl. pravnik.

Knjiga 2 – Podloge (1984) sadrži:

1. PEDOLOŠKE PODLOGE

Dr.sc. Branko Đaković, dipl. inž. agr.

2. METEOROLOŠKE I HIDROLOŠKE PODLOGE

Dr.sc. Ognjen Bonacci, sveuč. prof.

3. VLAŽNOST ODNOSA BILJAKA – TLO – VODA U HIDROTEHNIČKIM MELIORACIJAMA

Dr.sc. Frane Tomić, sveuč. prof.

4. POTREBE VODE KULTURNOG BILJA

Dr.sc. Zorko Kos, sveuč. prof.

5. PREKOMJERNA VLAŽNOST I PROIZVODNA SPOSOBNOST TLA

Dr.sc. Frane Tomić, sveuč. prof.

6. SLANOST TLA

Dr.sc. Ivan Marinčić, dipl. inž. agr.

7. TOPOGRAFSKE I GEODETSKE PODLOGE

Branko Vujasinović, dipl. inž. geod.

8. PROJEKTIRANJE, PROPISI I STANDARDI KOD ODVONJAVANJA

Dr.sc. Zorko Kos, sveuč. prof.; Mr.sc. Josip Marušić, dipl. građ. inž.

9. EKONOMSKO VREDNOVANJE HIDROMELIORACIJSKIH PROJEKATA

Mr.sc. Drago Bebek, dipl. econ.

Knjiga 3 – Osnovna mreža (1985) sadrži:

1. OSNOVNI PRINCIPI PLANIRANJA VODOPRIVREDNIH – POSEBNO ODVODNIH SUSTAVA

Dr.sc. Zorko Kos, sveuč. prof.

2. ZAŠTITA OD POPLAVA

Miroslav Braun, dipl. inž. građ.

3. HIDROLOŠKI PRORAČUN OSNOVNE KANALSKE MREŽE ZA POVRŠINSKU ODVODNJU

Dr.sc. Ognjen Bonacci, sveuč. prof.; Sanja Roglić, dipl. inž. građ.

4. HIDRAULIKA OTVORENIH KANALA I. DIO

Mr.sc. Krešimir Žic, dipl. inž. građ.

5. STABILNOST OTVORENIH VODNIH TOKOVA

Dr.sc. Elimir Svetličić, sveuč. prof.

6. OBJEKTI HIDROMELIORACIJSKIH SUSTAVA POVRŠINSKE ODVODNJE

Mr.sc. Josip Marušić, dipl. inž. građ.

7. ELEMENTI DIMENZIONIRANJA CRPNIH STANICA

Mr.sc. Zlatko Srebrenović, dipl. inž. građ.

8. GEOMEHANIČKA I HIDRAULIČKA STABILNOST CRPNIH STANICA

Branimir Drnjević, dipl. inž.; Mr.sc. Ivan Bagarić, dipl. inž.

9. ODVODNE CRPNE STANICE U HRVATSKOJ

Vladimir Bićanić, dipl. inž.

Knjiga 4 – Detaljna mreža (1987) sadrži:

1. ZDRUŽENO DIMENZIONIRANJE OSNOVNE I DETALJNE OTVORENE ODVODNE MREŽE

Prof. dr.sc. Zorko Kos, dipl. inž. građ.; Edo Kos, dipl. građ. inž.

2. HIDRAULIKA OTVORENIH KANALA – II. DIO

Mr.sc. Krešimir Žic, dipl. inž. građ.

3. TEORIJA DOTOKA VODE U DREN

Mr.sc. Zlatko Srebrenović, dipl. inž. kult. teh. i dipl. inž. geod.

4. POTREBA I ZNAČENJE IZVEDBE SUSTAVA PODZEMNOG ODVONJAVANJA

Dr.sc. Josip Marušić, dipl. inž. građ.

5. UTJECAJ PROJEKTNIH ELEMENATA NA TROŠKOVE IZVEDBE MELIORACIJSKOG SUSTAVA PODZEMNOG NAVODNJAVANJA

Dr.sc. Josip Marušić, dipl. inž. građ.; Neven Kuspilić, dipl. inž. građ.

6. TIPSKE GRAĐEVINE I MATERIJALI DRENSKIH MREŽA
Prof.dr.sc. Zorko Kos, dipl. inž. građ.; Dr.sc. Josip Marušić, dipl. inž. građ.
7. SISTEMI DETALJNE ODVODNJE ZA REGULIRANJE SUVIŠNIH VODA U TLU
Prof.dr.sc. Frane Tomić, dipl. inž. agr.
8. DETALJNA ODVODNJA U OVISNOSTI O VRSTI TLA
Prof.dr.sc. Frane Tomić, dipl. inž. agr.
9. MELIORACIJE SLANIH I ALKALNIH TALA
Prof.dr.sc. Frane Tomić, dipl. inž. agr.
10. PRIKAZ OSNOVNE I DETALJNE ODVODNJE U HIDROMELIORACIJSKOM SISTEMU ČRNEC-POLJE
Mirko Čović, dipl. inž. geod. i inž. građ.
11. DRENAŽA ZASLANJENIH TALA U ARIDNIM PODRUČJIMA
Dragutin Gereš, dipl. inž. građ.
12. DODATNE MJERE U FUNKCIJI CIJEVNE DRENAŽE
Dr.sc. Branko Đaković, dipl. inž. agr.

Knjiga 5 – Građenje (1989) sadrži:

1. ORGANIZACIJA GRAĐENJA HIDROMELIORACIJSKIH SUSTAVA ZA ODVODNJAVANJE
Doc.dr.sc. Josip Marušić, dipl. inž. građ.
2. GEODETSKI RADOVI U PROCESU IZGRADNJE HIDROMELIORACIJSKIH SUSTAVA POVRŠINSKOG I PODZEMNOG ODVODNJAVANJA
Mirko Čović, dipl. ing. geod. i inž. građ.; Ante Bagić, dipl. inž. geod.; Ivan Rožić, dipl. inž. kult. teh.
3. KOLIČINE I TROŠKOVI GLAVNIH RADOVA IZGRADNJE MELIORACIJSKOG KANALA
Doc.dr.sc. Josip Marušić, dipl. inž. građ.
4. STROJEVI ZA IZGRADNJU HIDROMELIORACIJSKIH SUSTAVA POVRŠINSKOG ODVODNJAVANJA
Anton Marin, dipl. inž. stroj.
5. UVJETI I NORME RADA BAGERA I DOZERA U PROCESU IZGRADNJE SUSTAVA POVRŠINSKOG ODVODNJAVANJA
Doc.dr.sc. Josip Marušić, dipl. inž. građ.
6. STROJEVI ZA IZGRADNJU PODZEMNE ODVODNJE POLJOPRIVREDNIH TALA
Ante Gojko Fabijanić, dipl. inž. agr.
7. UTJECAJ CIJENA PVC DRENAŽNIH CIJEVI NA TROŠKOVE GRAĐENJA SUSTAVA PODZEMNOG ODVODNJAVANJA
Doc.dr.sc. Josip Marušić, dipl. inž. građ.
8. PRIMJENA FILTER MATERIJALA U HIDROMELIORACIJSKIM SUSTAVIMA PODZEMNOG ODVODNJAVANJA
Prof.dr.sc. Frane Tomić, dipl. inž. agr.
9. PLANIRANJE I PRAĆENJE RADA MEHANIZACIJE NA VELIKIM SUSTAVIMA ZA ODVODNJAVANJE
Dragutin Gereš, dipl. inž. građ., i Mr.sc. Miodrag Škobalj, dipl. inž. stroj.

10. OSNOVNI PROJEKTNO-IZVEDBENI ELEMENTI CRPNIH STANICA

Dragutin Mihelčić, dipl. inž. građ.; Ilija Čosić, dipl. inž. građ.

11. TIPSKI I OSTALI OBJEKTI NA HIDROMELIORACIJSKIM SUSTAVIMA POVRŠINSKOG ODVODNJAVANJA

Ivan Kolovrat, dipl. inž. građ.; Tomislav Žgur, dipl. inž. građ.

12. PROPISI KOJI SE PRIMIJENJUJU U VEZI S IZGRADNJOM VODOPRIVREDNIH OBJEKATA

Ivan Šimunović, dipl. prav.

13. HIDROMETEOROLOŠKA ISTRAŽIVANJA NEOPHODNA ZA PROJEKTIRANJE I IZGRADNJU HIDROMELIORACIJSKIH SUSTAVA U KRAŠKIM PODRUČJIMA

Prof.dr.sc. Ognjen Bonacci, dipl. inž. građ.

Knjiga 6 – Održavanje (1991) sadrži:

1. POTREBE, PRINCIPI I NAČINI ODRŽAVANJA ODVODNIH HIDROMELIORACIJSKIH SUSTAVA

Prof.dr.sc. Zorko Kos

2. OSNOVNE MJERE ODRŽAVANJA SUSTAVA ODVODNJE

Prof.dr.sc. Frane Tomić:

3. STROJEVI ZA ODRŽAVANJE HIDROMELIORACIJSKIH SUSTAVA POVRŠINSKE I PODZEMNE ODVODNJE

Antun Marin, dipl.inž.stroj.

4. ODRŽAVANJE OBJEKATA NA HIDROMELIORACIJSKIM SUSTAVIMA POVRŠINSKOG ODVODNJAVANJA

Ivan Kolovrat, dipl.inž.građ.

5. NORME I STANDARDI ZA REDOVNO ODRŽAVANJE HIDROMELIORACIJSKIH SUSTAVA POVRŠINSKE ODVODNJE

Prof.dr.sc. Josip Marušić

6. ISKUSTVA I PREPORUKE ZA RACIONALNO KORIŠTENJE DRENIRANIH POVRŠINA

Prof.dr. Željko Vidaček; dr.sc. Sulejman Čamdžić; prof.dr.sc. Zoltan Racz i prof.dr.sc. Josip Marušić

7. KONTROLA I ODRŽAVANJE SUSTAVA CIJEVNE DRENAŽE

Prof.dr.sc. Željko Vidaček

8. UTJECAJ ODRŽAVANJA NA PROMJENE VEGETACIJE MELIORACIJSKIH I OBRAMBENIH SUSTAVA NA PODRUČJU ISTOČNE SLAVONIJE I BARANJE

Prof.dr.sc. Ana Skende

9. EKSPLOATACIJA SISTEMA ZA ODVODNJAVANJE I KONTROLA SISTEMA U POGONU

Drago Gereš, dipl.inž.građ.

10. METEOROLOŠKA I HIDROLOŠKA MJERENJA NEOPHODNA ZA ODRŽAVANJE I KORIŠTENJE HIDROMELIORACIJSKIH SUSTAVA

Prof.dr.sc. Ognjen Bonacci

11. UREĐENJE BUJICA I ZAŠTITA OD EROZIJE

Doc.dr.sc. Josip Petraš

U razdoblju 1992.—1999. objavljeno je novih 7 knjiga **II kola** u kojima je obrađena problematika navodnjavanja. Tako **Knjiga 1 – Opći dio (1992) sadrži:**

1. POVIJESNI PREGLED RAZVOJA NAVODNJAVANJA

Prof.dr.sc. Zorko Kos

2. REGIONALNA HIDROLOŠKA ANALIZA POTREBA NATAPANJA U REPUBLICI HRVATSKOJ

Prof.dr.sc. Ognjen Bonacci, dipl. inž. građ.

3. UTJECAJ NAVODNJAVANJA NA PRIROD VAŽNIJIH POLJOPRIVREDNIH KULTURA

Prof.dr.sc. Frane Tomić, dipl. inž. agr.; Mr.sc. Davor Romić

4. ISTRAŽIVAČKI RAD I PODLOGE ZA PROJEKTIRANJE I IZVOĐENJE SUSTAVA NAVODNJAVANJA

Prof.dr.sc. Frane Tomić, dipl. inž. agr.

Knjiga 2 – Potrebe vode za navodnjavanje (1993) sadrži:

1. UVOD

Prof.dr.sc. Zorko Kos

2. DIREKTNE METODE ODREĐIVANJA EVAPOTRANSPIRACIJE

Prof.dr.sc. Zorko Kos

PENMANOVA METODA

Dragutin Gereš, dipl. inž. građ.

TURCOVA METODA ODREĐIVANJA POTENCIJALNE EVAPOTRANSPIRACIJE

Dragutin Gereš, dipl. inž. građ.

METODA THORNTHWAITEA

METODA BLANEY – CRIDDLE

Prof.dr.sc. Frane Tomić, dipl. inž. agr.; Prof.dr.sc. Željko Vidaček; Mr.sc. Davor Romić

METODA SUNČANOG ZRAČENJA (RADIJACIJE)

METODA ISPARITELJA

Prof.dr.sc. Ognjen Bonacci, dipl. inž. građ.

4. IZBOR KOEFICIJENTAUSJEVA Kc

Prof.dr.sc. Zorko Kos; Prof.dr.sc. Frane Tomić; Mr.sc. Ivica Plišić

5. ANALIZA UTJECAJNIH FAKTORA NA ET USJEVA

Prof.dr.sc. Zorko Kos

6. PRORAČUN POTREBA ZA VODOM

Prof.dr.sc. Zorko Kos

7. NETO POTREBA ZA VODOM, Nn

Prof.dr.sc. Zorko Kos

8. BRUTO POTREBA ZA VODOM, Nb

Prof.dr.sc. Zorko Kos

9. DODATAK; BILANCA VODE U TLU

Prof.dr.sc. Željko Vidaček; Prof.dr.sc. Frane Tomić; Mr.sc. Davor Romić

Knjiga 3 – Načini natapanja (1994) sadrži:

1. UVOD

Prof.dr.sc. Zorko Kos

2. NATAPANJE PRELIJEVANJEM

Dragutin Gereš, dipl. inž. građ.; Prof.dr.sc. Zorko Kos; Mr.sc. Ivica Plišić

3. NATAPANJE POTAPANJEM

Dragutin Gereš, dipl. inž. građ.; Prof.dr.sc. Zorko Kos

4. NATAPANJE INFILTRACIJOM

Dragutin Gereš, dipl. inž. građ.; Prof.dr.sc. Zorko Kos

5. NATAPANJE KIŠENJEM

Prof.dr.sc. Ognjen Bonacci, dipl. inž. građ., Prof.dr.sc. Stjepan Mađar; Prof.dr.sc. Frane Tomić; Mr.sc. Davor Romić

6. LOKALIZIRANO NATAPANJE

Dragutin Gereš, dipl. inž. građ.; Prof.dr.sc. Stjepan Mađar; Prof.dr.sc. Frane Tomić; Mr.sc. Davor Romić; Prof.dr.sc. Zorko Kos

Knjiga 4 – Sustavi, građevine i oprema za natapanje (1994) sadrži:

1. UVOD

Prof.dr.sc. Zorko Kos

2. NATAPNI SUSTAVI

Prof.dr.sc. Zorko Kos

3. GLAVNE GRAĐEVINE SUSTAVA ZA NATAPANJE

Dr.sc. Dragutin Gereš; Prof.dr.sc. Ognjen Bonacci; Prof.dr.sc. Zorko Kos

4. OPREMA ZA NATAPANJE

Prof.dr.sc. Zorko Kos; Prof.dr.sc. Frane Tomić; Dr.sc. Davor Romić; Prof.dr.sc. Stjepan Mađar

Knjiga 5 – Planiranje, projektiranje i organizacija natapnih sustava (1996) sadrži:

1. UVOD

Prof.dr.sc. Zorko Kos

2. OSNOVNE PODLOGE ZA PLANIRANJE NATAPNIH SUSTAVA

Prof.dr.sc. Zorko Kos

3. VRSTE RAZVODNIH NATAPNIH MREŽA

Dr.sc. Dragutin Gereš

4. OVISNOST PROTOKA O NAČINU POGONA

Dr.sc. Dragutin Gereš

5. PROJEKTIRANJE I OPTIMALIZACIJA MREŽA POD TLAKOM

Prof.dr.sc. Zorko Kos

6. PROJEKTIRANJE I OPTIMALIZACIJA MREŽE OTVORENIH KANALA

Dr.sc. Dragutin Gereš

7. ZAŠTITA MREŽA OD AGRESIVNIH TALA I VODA

Dr.sc. Dragutin Gereš

8. GOSPODARSKE ANALIZE INVESTICIJSKOG PROJEKTA

Dr.sc. Dragutin Gereš

9. POVIJEST RAZVOJA I METODE DIZANJA VODE (CRPLJENJA)

Prof.dr.sc. Ognjen Bonacci

10. PROGRAM „CROPWAT“ – PRIMJENA U PLANIRANJU I PROJEKTIRANJU NATAPANJA

Dr.sc. Davor Romić; Mr.sc. Jasna Šoštarić; Prof.dr.sc. Frane Tomić; Prof.dr.sc. Stjepan Mađar

11. DIMENZIONIRANJE TLAČNIH VODOOPSKRBNIH MREŽA – PROGRAMI ZA DIMENZIONIRANJE

Mr.sc. Ivica Plišić

12. ORGANIZACIJA I ODRŽAVANJE NATAPNIH SUSTAVA

Prof.dr.sc. Zorko Kos

Knjiga 6 – Kvaliteta i raspoloživost vode za natapanje (1997) sadrži:

1. UVOD

Prof.dr.sc. Zorko Kos

2. KRITERIJ KVALITETE VODE ZA NATAPANJE

Prof.dr.sc. Zorko Kos

3. UTJECAJ KVALITETE VODE NA OPREMU ZA NATAPANJE

Doc.dr.sc. Dragutin Gereš

4. KVALITETA VODE ZA STOČARSTVO I RIBOGOJSTVO

Prof.dr.sc. Zorko Kos

5. RASPOLOŽIVOST VODE U REPUBLICI HRVATSKOJ

Doc.dr.sc. Dragutin Gereš

6. PROCJENA MOGUĆE POTREBE ZA VODOM ZA NATAPANJE I VODOOPSKRBU U 2050. GODINI U REPUBLICI HRVATSKOJ

Doc.dr.sc. Dragutin Gereš

7. KOLIČINA I KVALITETA OTPADNIH VODA U REPUBLICI HRVATSKOJ

Prof.dr.sc. Stanislav Tedeschi

8. UPOTREBA OTPADNE VODE ZA NATAPANJE

Prof.dr.sc. Zorko Kos

9. ISKUSTVA I STANDARDI NEKIH ZEMALJA U KORIŠTENJU VODA NIŽE KAKVOĆE ZA NATAPANJE

Prof.dr.sc. Zorko Kos

10. ZNAČAJKE VODE VRANSKOG JEZERA U DALMACIJI KAO KRITERIJI PROCJENE POGODNOSTI ZA NATAPANJE

Doc.dr.sc. Davor Romić; Prof.dr.sc. Frane Tomić

Knjiga 7 – Mehanizacija i oprema za natapanje (1999) sadrži:

1. UVOD

Prof.dr.sc. Zorko Kos

2. MEHANIZACIJA I OPREMA ZA POVRŠINSKE NAČINE NATAPANJA

Doc.dr.sc. Dragutin Gereš

3. MEHANIZACIJA I OPREMA ZA NATAPANJE KIŠENJEM

Prof.dr.sc. Zorko Kos; Doc.dr.sc. Dragutin Gereš

4. MEHANIZACIJA I OPREMA ZA LOKALIZIRANO NATAPANJE

Prof.dr.sc. Frane Tomić; Doc.dr.sc. Davor Romić

Nakon toga, 2003. godine objavljena je prva **knjiga III kola - Knjiga 1 – Suvremeni pristupi i metode planiranja i upravljanja hidromelioracijskim sustavima koja sadrži:**

1. UVOD

Prof.dr.sc. Nevenka Ožanić, dipl.ing.građ.

2. SUVREMENI PRISTUPI PROBLEMATICI HIDROMELIORACIJSKIH SUSTAVA U SVIJETU

Prof.dr.sc. Zorko Kos, dipl.ing.građ.

3. STANJE I ZNAČENJE HIDROMELIORACIJSKIH OBJEKATA I SUSTAVA ZA POLJOPRIVREDNU PROIZVODNJU U HRVATSKOJ

Prof.dr.sc. Josip Marušić, dipl.ing.građ.

4. SUŠE, OKOLIŠ I POLJOPRIVREDNA PROIZVODNJA

Prof.dr.sc. Ognjen Bonacci, dipl.ing.građ.

5. UPRAVLJANJE VODNIM RESURSIMA NA SLIVNOM PODRUČJU

Prof.dr.sc. Dragutin Gereš, dipl.ing.građ.

6. RJEŠAVANJE PROBLEMA SUVIŠNIH UNUTARNJIH VODA U HIDROMELIORACIJSKIM SUSTAVIMA

Prof.dr.sc. Frane Tomić, dipl.ing.agr.; Prof.dr.sc. Dragutin Petošić dipl.ing.agr.

7. HIDROGRAMI VELIKIH VODNIH VALOVA

Prof.dr.sc. Nevenka Ožanić, dipl.ing.građ.

8. BILANCIRANJE AKUMULACIJA ZA NAVODNJAVANJE

Mr.sc. Josip Rubinić, dipl.ing.građ.

9. PRIMJENA POSTUPAKA VIŠEKRITERIJSKE OPTIMALIZACIJE PRI IZBORU SUSTAVA AKUMULACIJA ZA NAVODNJAVANJE U ISTRI

Mr.sc. Barbara Karleuša, dipl.ing.građ.

10. KORIŠTENJE NEKONVENCIONALNIH VODNIH RESURSA U SUŠNIM PODRUČJIMA

Prof.dr.sc. Ognjen Bonacci, dipl.ing.građ.

Godine 2005. objavljena je druga knjiga III kola - **Knjiga 2 – Elementi planiranja sustava za navodnjavanje koja sadrži:**

1. UVOD

Prof.dr.sc. Nevenka Ožanić

2. PRIPREMA PODLOGA ZA PRIMJENU VIŠEKRITERIJSKE ANALIZE U PLANIRANJU HIDROMELIORACIJSKIH SUSTAVA

Mr.sc. Barbara Karleuša

3. STATISTIČKE OBRADNE VELIKIH VODA HIDROMELIORACIJSKIH SUSTAVA

Prof.dr.sc. Nevenka Ožanić

4. NASIPI U HIDROMELIORACIJSKIM SUSTAVIMA

Prof.dr.sc. Goran Gjetvaj; Vanja Travaš, dipl.inž.građ.

5. ZNAČENJE CRPNIH STANICA ZA VODNI REŽIM MELIORACIJSKIH PODRUČJA

Prof.dr.sc. Josip Marušić; Josip Pondeljak, dipl.inž.stroj.

6. NAVODNJAVANJE U ODRŽIVOJ POLJOPRIVREDI

Prof.dr.sc. Davor Romić

7. ODVODNJA POLJA U KRŠU NA PRIMJERU VRGORSKOG POLJA

Prof.dr.sc. Ognjen Bonacci

8. RACIONALNO KORIŠTENJE VODE U POLJOPRIVREDI

Dr.sc. Marko Josipović; Prof.dr.sc. Madjar Stjepan; Dr.sc. Jasna Šoštarić

9. AKTUALNI VODNOGOSPODARSKI ASPEKTI RAZVOJA NAVODNJAVANJA NA PRIMJERU HIDROMELIORACIJSKOG SUSTAVA ČEPIĆ POLJA

Mr.sc. Josip Rubinić, dipl.ing.građ.

Knjiga 3 – III kola Priručnika za hidrotehničke melioracije - Vodnogospodarski aspekti razvoja navodnjavanja u priobalju i krškom zaleđu Hrvatske - sadrži temeljne rezultate istraživanja u okviru znanstveno-istraživačkog projekta Znanstvene osnove za razvoj natapanja u Republici Hrvatskoj (0114003), prihvaćenog od Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske za istraživačko razdoblje 2002.—2006., a realiziranog i uz sufinanciranje Hrvatskih voda. Obrađene su teme iz šire problematike hidrotehničkih melioracija koje nisu bile uopće ili u punoj mjeri zastupljene pri objavljivanju ranijih kola Priručnika, a ocijenjene su primjerenim da se približe stručnoj i znanstvenoj javnosti u Hrvatskoj.

Pri izboru tema za Knjigu 3 zadržan je koncept usvojen kod pokretanja novoga ciklusa danog istraživačkog projekta 2002.g., a to je da će se, s obzirom na sadržaje već publiciranih radova u prva dva kola Priručnika za hidrotehničke melioracije, aktualni trenutak – očekivanu promjenu poljoprivredne politike prema razvoju navodnjavanja, kao i stručne specijalnosti koje u domeni istraživanja i gospodarenja vodama posebno razvija Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, naglasak dati na do sada manje obrađivanim temama, kao i nekim već dijelom obrađivanim temama kod kojih se je od njihovog publiciranja u prva dva kola Priručnika za hidrotehničke melioracije došlo do bitno novijih saznanja – kako u smislu metodologije, tako i koncepta planiranja i rješenja. Na taj je način izvršena aktualizacija suvremene teorije i stručnih saznanja u cilju osiguranja primjerenih znanstveno-stručnih podloga za njihovu primjene na razvoj hidromelioracijskih sustava na području Hrvatske, a posebno u dijelu koji se odnosi na navodnjavanje. Obrađeno je više različitih tema koje se u nastavku, u sažetim crtama, uvodno predstavljaju.

U radu **Vodni resursi i navodnjavanje u priobalju i krškom zaleđu Hrvatske** (autor Dragutin Gereš) istaknuto je da razvoj navodnjavanja u priobalju i krškom zaleđu Hrvatske u narednom razdoblju ovisi o nizu prirodnih i društvenih čimbenika. Od prirodnih čimbenika najvažniji su tlo i voda, a od društvenih pitanje vlasništva, ekonomski uvjeti, te ukupni odnos prema poljoprivredi. U pogledu prirodnih uvjeta stanje je različito ali je sigurno da oborina nedostaje u svim područjima u vegetacijskom razdoblju, te da je navodnjavanje potrebno na svim područjima. Utvrđeno je da korištenje voda i predviđene količine vode za navodnjavanje nisu u sukobu s drugim korištenjima te

se stoga bez posebnih količinskih ograničenja navodnjavanje može razvijati na analiziranom području.

Cilj rada **Odnos malih voda, suša i održivog razvoja okoliša te potreba vode za navodnjavanje u priobalju i krškom zaleđu tijekom vegetacijskog razdoblja** (autor Ognjen Bonacci) je da se pokuša skrenuti pažnju stručnjaka, ali i javnosti na složene interaktivne odnose korištenja vode za navodnjavanje, malih voda, suša i održivog razvoja u krškom priobalju i zaleđu Hrvatske te da ih poveže sa složenim procesima upravljanja vodnim resursima tijekom kritičnih razdoblja u kojima se i onako javljaju nedostaci voda. Rad je izravno usmjeren na to da teorijski, ali i praktično pokuša pomoći u osiguranju vode za navodnjavanje u spomenutim krškim područjima Hrvatske, a da pri tome ne dođe do poremećaja prirodne ravnoteže, tj. do ugrožavanja postulata održivog razvoja.

Problematika planiranja, dimenzioniranja, građenja i održavanja manjih akumulacija za navodnjavanje sa primjenom folija cjelovito je obrađena u radu **Akumulacije za navodnjavanje u kršu** (autor Jure Margeta).

U radu **Navodnjavanje i zone sanitarne zaštite izvorišta vode za piće na krškom području - Analiza problematike na primjeru Primorsko-goranske županije** (autor Nevenka Ožanić) analizirana je problematika međuodnosa zaštitnih zona, izvorišta vode za piće i poljoprivrede, odnosno razvoj navodnjavanja općenito, te na primjeru područja Primorsko-goranske županije. Utvrđena je izuzetna složenost toga međuodnosa, koja rezultira potrebom da se planirani razvoj navodnjavanja optimalno prilagodi prostornim mogućnostima, kao i uvjetima maksimalne zaštite vodnih resursa.

Temeljni cilj rada **Pogodnost tala za navodnjavanje u priobalju i krškom zaleđu Hrvatske** (autor Stjepan Husnjak) bio je prikazati pogodnost tla za navodnjavanje u priobalju i krškom zaleđu Hrvatske, kako bi se došlo do korisnih podataka u okviru daljnjeg planiranja navodnjavanja poljoprivrednog zemljišta na istraživanom području.

U radu **Navodnjavanje na otocima** (autori Jure Margeta) veći je naglasak dan opskrbi vodom, a manji na upravljanju potrebama za vodom. Opisana je i metodologija procjene efekata napajanja, odnosno klasifikacija terena (pedokartiranih jedinica i lokacija) uvažavajući pedološke značajke, topografske značajke terena, infrastrukturne elemente i pretpostavljene efekte navodnjavanja. Predloženo je pet kategorija tla: pogodna, umjereno pogodna, ograničeno pogodna, uvjetno pogodna i nepogodna tla. Razmotreni su i svi konvencionalni i nekonvencionalni izvori vode za navodnjavanje i analizirana njihova pogodnost na području Jadranskih otoka.

Mogućnost prikupljanja i pročišćavanja sanitarnih i oborinskih otpadnih voda, njihovo akumuliranje te korištenje za navodnjavanje vinove loze na primjeru tri ruralna naselja u Istri dana je u radu **Sekundarno korištenje upotrijebljenih voda za navodnjavanje** (autori Goran Gjetvaj i David Rajko). Naglašeno je kako se pravovremenim planiranjem izgradnje cjelokupnog sustava prikupljanja, pročišćavanja i akumuliranja vode mogu, uz relativno malene dodatne troškove, osigurati značajne količine vode za navodnjavanje. Istaknuta je i potreba izrade pravne regulative – smjernica za projektiranje i korištenje sustava za recikliranje otpadnih voda.

U radu **Suvremene metode upravljanja sustavima za navodnjavanje** (autor Barbara Karleuša) u kojem je dan uvod u problematiku upravljanja sustavima za navodnjavanje i prikaz nekoliko postojećih modela upravljanja. Opisani su jednostavni modeli upravljanja sustavima za navodnjavanje koji se baziraju: na vlastitoj procjeni poljoprivrednika, na

korištenju vremenski definiranog rasporeda navodnjavanja (time-based) ili na određivanju potrebe za navodnjavanjem prema stvarno utvrđenom stanju vode u tlu (npr. mjerenjem vlažnosti tla). U tom su radu prezentirana i dva softwera (CROPFLEX 2000 i WISE) koja se koriste u svijetu i proračunavaju raspored navodnjavanja za odabrani usjev kroz cijelo vegetacijsko razdoblje.

Problematika korištenja priobalnih izvora za navodnjavanje s nekoliko aspekata - razmatranja pojavnosti podzemnih voda i njihova istjecanja u priobalju te mogućnosti njihova zaslanjivanja, razmatranja postojećeg režima korištenja voda i rizicima od precrpljivanja, kao i analiza mogućih pristupa za osiguravanje dodatnih zaliha voda za navodnjavanje iz priobalnih izvora i vodonosnika obrađena je u radu **Problemi zaslanjenja, korištenja i precrpljivanja priobalnih krških izvora i vodonosnika – primjeri sjeverno-jadranskog područja** (autor Josip Rubinić). Spomenuta razmatranja su provedena na primjerima priobalnih vodnih resursa s područja Sjevernog Jadrana, pri čemu su prodiskutirani i neki od postojećih koncepata razvoja navodnjavanja i vodoopskrbe. Na kraju su, sa današnje razine spoznaja, dane i preporuke za optimalizaciju korištenja priobalnih vodnih resursa u uvjetima očekivanih porasta potreba za navodnjavanje.

2

VODNI RESURSI I NAVODNJAVANJE U PRIOBALJU I KRŠKOM ZALEĐU HRVATSKE

Prof. dr. sc. Dragutin Gereš

Hrvatske vode, Zagreb

Građevinski fakultet Sveučilišta J.J. Strossmayera u Osijeku

1. UVOD	23
2. PRIRODNE ZNAČAJKE	1
2.1. Prirodne cjeline	1
2.2. Geografska i fizička obilježja	1
2.3. Klimatska obilježja	1
2.4. Stanovništvo i naselja	1
2.5. Geološka i hidrogeografska obilježja krškog prostora	1
3. VODNI RESURSI	1
3.1. Površinske vode	1
3.2. Podzemne vode	1
3.3. Bilanca voda	1
4. NAVODNJAVANJE	1
5. DOKUMENTACIJA	1

1. UVOD

Jadranski prostor zauzima 31 posto teritorija i ima 31 posto stanovništva Hrvatske, obuhvaća uzak rubni primorski pojas, odijeljen od zaleđa visokim planinama. To je krški prostor s izrazito suhim ljetima. Malobrojni vodotoci se probijaju prema moru. Priobalje Hrvatske se dijeli na sjeverni dio - Istra i Kvarner, te južni dio - Dalmacija, s dobro izraženom uzdužnom podjelom na otočni, obalni i zagorski pojas. U priobalju i krškom zaleđu Hrvatske nalaze se značajni vodni resursi. Raspored površinskih i podzemnih voda određeni su morfološkim i hidrogeološkim značajkama područja. Temeljna značajka sliva Jadranskog mora su razvijeni krški vodonosnici. Krški prostor je ekološki vrlo osjetljiv.

Navodnjavanje kao melioracijska mjera ima zadaću nadomjestiti potreb-

ne količine vode za normalan rast i razvoj uzgajanih kultura u trenutku kada to nije osigurano iz prirodnih izvora. To je jedna od mjera kojom se štete od suše na poljoprivrednim usjevima mogu smanjiti, a kod nekih usjeva i potpuno izbjeći. Hrvatska namjerava u slijedećih pet godina za više od tri puta povećati navodnjavane poljoprivredne površine. Od sadašnjih devet tisuća hektara do 2010. navodnjavalo bi se 35 tisuća, a do 2020. godine 65 tisuća hektara. Ako se taj program realizira Hrvatska sa samo 0,44 posto navodnjavanih poljoprivrednih površina ne bi bila na dnu europske ljestvice. Hrvatska se sa 11 700 hektara navodnjavanih površina nalazi na jednom od posljednjih mjesta u Europi. Stoga je pokrenut Projekt navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama. Realizacije tog nacionalnog projekta bit će u razdoblju od 2006. do 2008.. Projekt će se realizirati u tri etape. Prva je izrada planske dokumentacije i prilagodba zakonodavstva. Druga se odnosi na izradu pilot-projekta, a treća na izgradnju sustava za navodnjavanje. Utvrđeno je da Hrvatska raspolaže s oko 2,9 milijuna hektara poljoprivrednog zemljišta, od čega je 244 000 hektara pogodno za navodnjavanje, a s manjim ograničenjima i dodatnih 500 000 hektara.

U priobalnom području Hrvatske suvremena poljoprivredna proizvodnja, a posebno voća i povrća, gotovo je neostvariva bez navodnjavanja. S navodnjavanjem često je povezan i problem sekundarnog zaslanjivanja tla. U dolini Neretve poljoprivredni proizvođači nemaju dostatnih izvora kvalitetne svježe vode, već su prisiljeni koristiti raspoložive izvore vode bilo iz kanala ili podzemlja, koji su zaslanjeni ili čak alkalizirani. U kontinentalnoj Hrvatskoj od deset godina u pet je navodnjavanje prijeko potrebno, u tri je ekonomski opravdano, a samo u dvije nije potrebno. U Primorju i Dalmaciji sigurna proizvodnja povrća bez navodnjavanja je nezamisliva.

Razvoj navodnjavanja u priobalju i krškom zaleđu Hrvatske u narednom razdoblju ovisi o nizu prirodnih i društvenih čimbenika. Od prirodnih čimbenika najvažniji su tlo i voda, a od društvenih pitanje vlasništva, ekonomski uvjeti, te ukupni odnos prema poljoprivredi. U pogledu prirodnih uvjeta stanje je različito ali je sigurno da oborina nedostaje u svim područjima u vegetacijskom razdoblju, te da je navodnjavanje potrebno na svim područjima. Utvrđeno je da korištenje voda i predviđene količine vode za navodnjavanje nisu u sukobu s drugim korištenjima te se stoga bez posebnih količinskih ograničenja navodnjavanje može razvijati na području.

2. PRIRODNE ZNAČAJKE

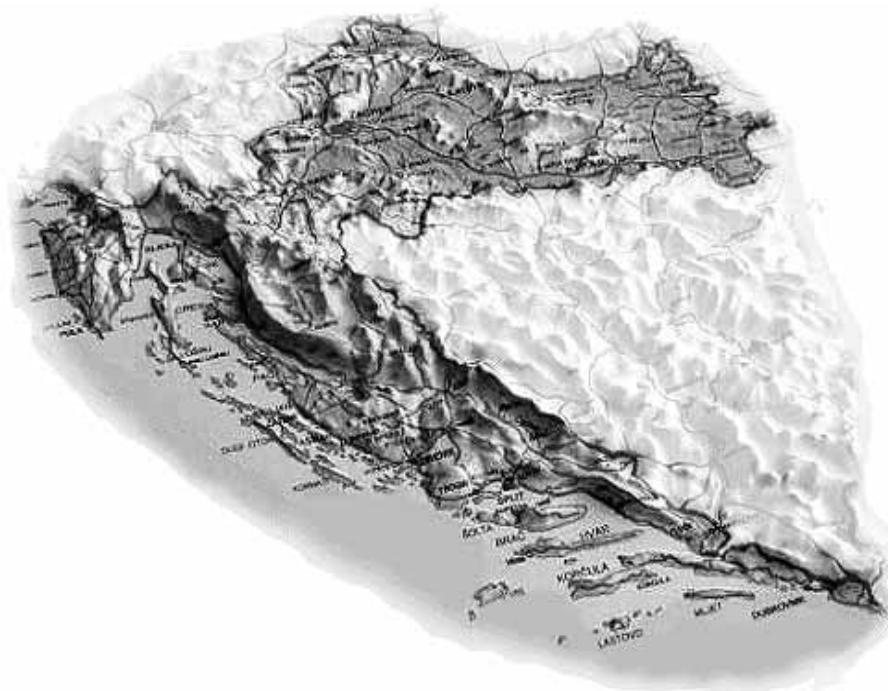
2.1. Prirodne cjeline

Hrvatska se dijeli se na tri osnovne prirodne cjeline:

- *Panonski i peripanonski prostor*, (obuhvaća 55 posto teritorija i 66 posto stanovništva);

- *Brdsko-planinski prostor*, dijeli panonsku Hrvatsku od njezina primorskog dijela, (obuhvaća 14 posto teritorija i 3 posto stanovništva);

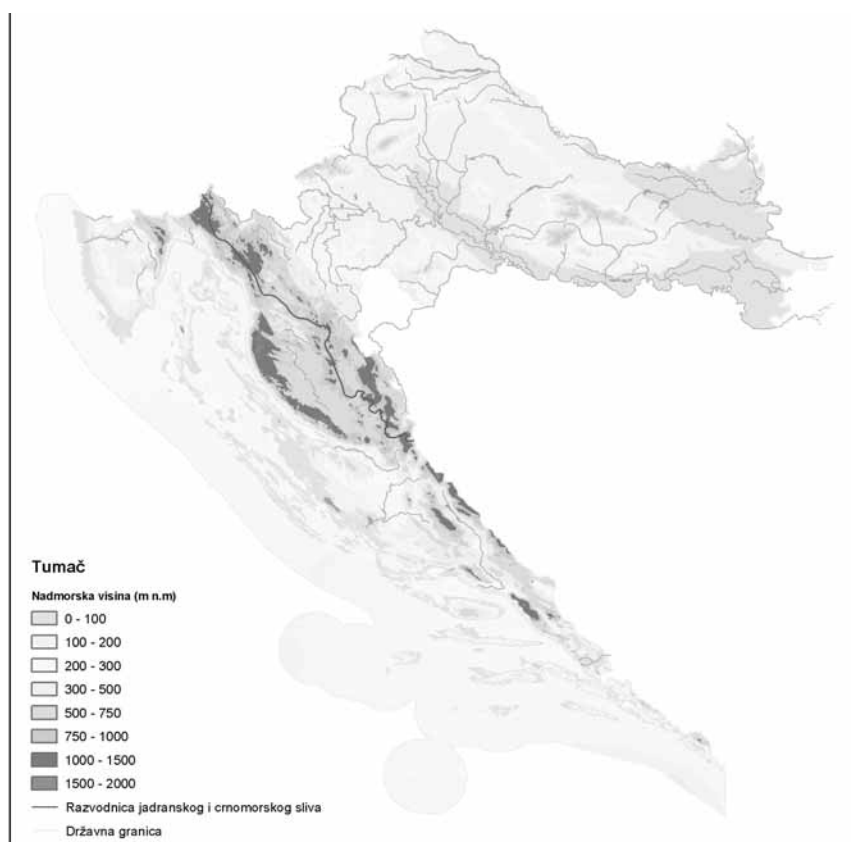
- *Jadranski prostor*, (obuhvaća 31 posto teritorija i 31 posto stanovništva), obuhvaća uzak rubni primorski pojas, odijeljen od zaleđa visokim planinama (slika 1). To je krški prostor s izrazito suhim ljetima. Malobrojni vodotoci se probijaju prema moru. Hrvatsko se primorje dijeli na sjeverni dio - Istra i Kvarner, te južni dio - Dalmacija, s dobro izraženom uzdužnom podjelom na otočni, obalni i zagorski pojas. Hrvatska jadranska obala jedna je od najrazvedenijih u Europi: ima 1246 otoka, otočića i hridi, s ukupnom dužinom obale kopna i otoka od 5835 km. Veliki hrvatski otoci su Krk, Cres, Brač, Hvar, Pag i Korčula. Najveći su poluotoci Istra i Pelješac.



Slika 1: Zemljopisni prostor Hrvatske

2.2. Geografska i fizička obilježja

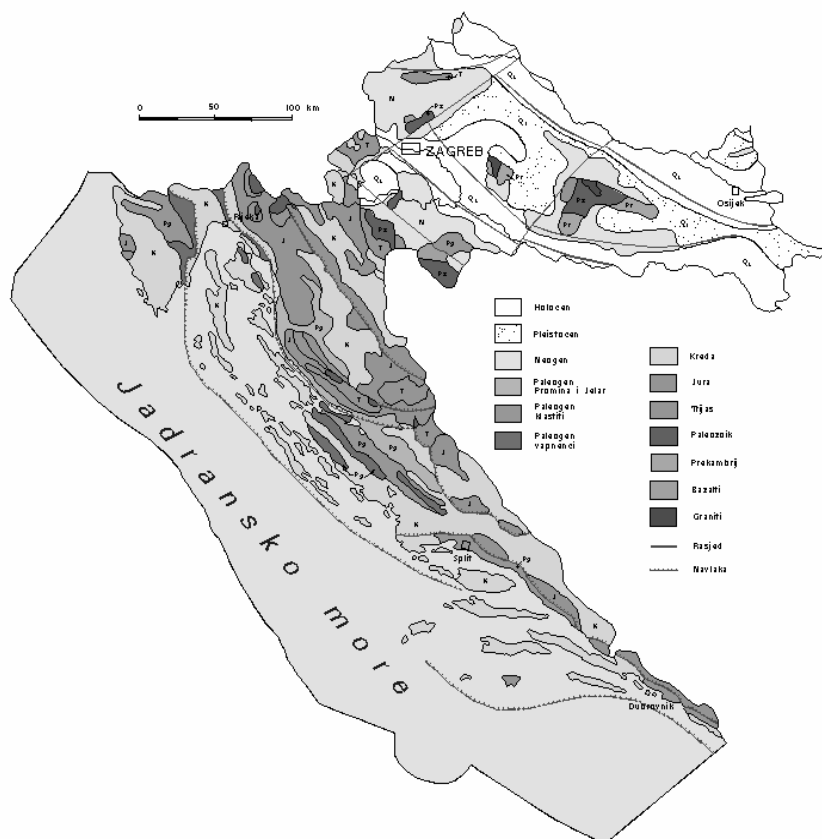
Najveći dio prostora Hrvatske izgrađuju strukture dinarida, a dio sjeverne Hrvatske pripada panonskom predalpskom strukturnom kompleksu. Prema reljefnim obilježjima, izdvajaju se tri prirodno-geografske cjeline: (i) panonski i peripanonski prostor na sjeveru, (ii) gorsko-planinski prostor u središnjem dijelu, (iii) jadranski prostor na jugu zemlje (slika 2).



Slika 2: *Reljef Hrvatske*

Više od polovice teritorija Hrvatske prekrivaju karbonatne stijene na kojima je djelovanjem površinskih i podzemnih voda razvijen krški reljef. Veliki dio krškoga područja je visoki krš, duboko otvorenih pukotinskih sustava. Sjeverna granica krša proteže se od Žumberka, južnim rubom karlovačke depresije, prema granici s BiH, (slika 3). Najvredniji poljodjelski prostor jesu polja u kršu te tla nastala na flišu, laporu i izoliranim aluvijalnim nanosima. Samo lokalno, ponajprije u Istri, nalaze se dublja tla crvenice.

Vegetacijom je pokriveno oko 87 posto hrvatskoga teritorija, od čega se obrađuje oko 25 posto, livade, pašnjaci i rijetka vegetacija čine oko 17 posto, a šume čine oko 45 posto kopnene površine Hrvatske.



Slika 3: Geološki sastav i grada

Prosjek od približno 0,6 ha obradivog tla po stanovniku svrstava Hrvatsku u zemlje sa zadovoljavajućim fondom obradivoga zemljišta. Velike su regionalne razlike između panonskog, gorskog i primorskog dijela zemlje. U istočnoj Slavoniji prevladavaju tla visoke plodnosti (crnica, smeđe tlo i lesivirana tla), a zapadnije, u međuriječju Drave, Save i Kupe zastupljena su lesivirana i razne vrste hidromorfni tala. Duž cijele obale Jadranskog mora zastupljena su smeđa tla i crvenice na vapnencima i dolomitima miješane s kamenjarem, crvenice (duboke) i smeđa tla na vapnencima te izrazito skeletna tla (stjenovita), tla dinarskih kamenjara i pašnjaka. Močvarna tla nizina i riječnih tokova vezana su uz riječna korita, pa ih ima, u manjim površinama, diljem Hrvatske (tablica 1).

Tablica 1: *Raspodjela tala prema pogodnosti za obradu (km²)*

Sliv	Dobra obradiva tla	Umjereno ograničena obradiva tla	Ograničena obradiva tla	Tla privremeno nepogodna za obradu	Tla trajno nepogodna za obradu	Ukupno
Jadranski sliv	113	1 532	3 472	751	15 175	21 043
Ukupno Hrvatska	2 665	8 047	15 624	7 013	22 092	55 441*

* Razliku do ukupne površine teritorija Hrvatske čine izgrađene i vodene površine

Postoje znatne regionalne razlike u strukturi zemljišnog pokrova. U brdskim i gorskim predjelima srednje Hrvatske prevladavaju šume. One se prorjeđuju na prijelazu u submediteranski šumski pojas i postupno degradiraju u šikare, nisko raslinje i pašnjačke zone. Oko 6 posto hrvatskoga kopna otpada na goleti i gole stijene koje su uglavnom raspoređene u dalmatinskom primorju i na otocima (tablica 2).

Tablica 2: *Korištenje zemljišta i vegetacija*

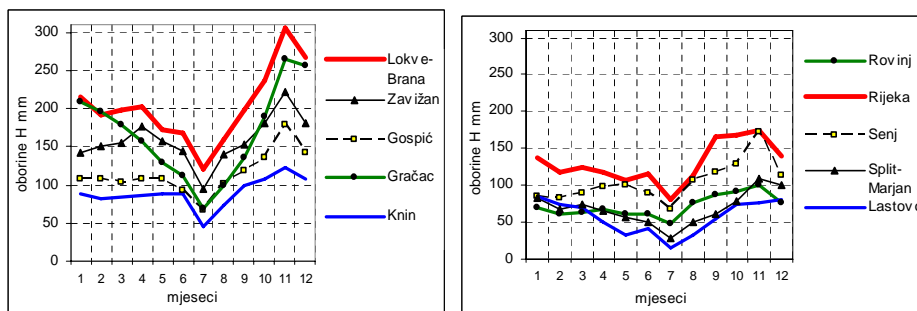
Sliv	Oranice i vrtovi	Stalni nasadi	Livade, pašnjaci, rijetka vegetacija	Šume	Goleti	Ostalo
	posto					
Jadranski sliv	10,9	0,8	28,5	39,3	15,5	5,0
Ukupno Hrvatska	24,6	0,4	16,8	45,2	6,0	7,0

Prema biogeografskom položaju Hrvatska se nalazi na razmeđi triju velikih ekoregija, ekoregije Panonske nizine, ekoregije Dinarida i ekoregije Sredozemnog mora. Hrvatska ima, u europskim razmjerima, veliku bioraznolikost. Broj poznatih vrsta u Hrvatskoj premašuje 30 000, no procjenjuje se da ih ima znatno više. Hrvatsku također karakterizira veliki broj endemičnih i reliktnih vrsta i podvrsta, uglavnom vezanih uz krš. Bogatstvo i raznolikost posebno se ogledaju u zaštićenim dijelovima prirode - 8 nacionalnih parkova, 10 parkova prirode i niz rezervata, koji obuhvaćaju oko 10 posto teritorija i često su izravno vezani uz vodu i vodene ekosustave.

2.3. Klimatska obilježja

Geografski položaj i morfologija uvjetuju raznolika klimatska i hidrološka obilježja. Hrvatska ima tri oborinska režima: kontinentalni, mediteranski i prijelazni. Kontinentalni dio ima najviše oborina u lipnju, a najmanje u veljači. Prijelazno područje između kontinentalne i mediteranske klime ima najviše oborina u studenome, a najmanje u veljači, a kopneni dio u zaleđu jadranske obale ima obilježje maritimnog oborinskog režima s najviše oborina u studenome, a najmanje u srpnju (slika 4). Priobalno područje ima

slični režim kao i zaobalje, samo su količine oborina znatno manje. Prosječne godišnje oborine u Hrvatskoj se kreću od 650 mm u istočnoj Slavoniji do 3 500 mm i više u Gorskom kotaru.



Slika 4: Godišnji hod oborina na karakterističnim stanicama

Najmanje otjecanje od oborina je u panonskom području Hrvatske, gdje na slivu Bosuta iznosi oko 11 posto, a najveće ima planinsko područje krša, gdje otječe više od 50 posto oborina, najčešće između 60 - 70 posto.

Temperatura zraka se pravilno mijenja s apsolutnom visinom terena. Za karakteristične klimatske postaje prosječne godišnje temperature kreću se od 3,5 - 16,3 °C. Najviše prosječne temperature na području Hrvatske su u srpnju a najniže u mjesecu siječnju. Najniža temperatura zraka zabilježena je u Gospiću od - 28,9 °C, a najviša u Kninu od 39,6 °C. Na primorskom i kontinentalnom području najniža relativna vlažnost zraka zabilježena je u srpnju. Najviša je relativna vlažnost na mediteranskom području u studenome. Prosječna mjesečna relativna vlažnost zraka kreće se od 49 do 90 posto , a prosječna godišnja od 58 do 83 posto. Vlažnost zraka je veća u unutrašnjosti i na višim područjima nego na obali i otocima. Naoblaka je najmanja na otocima, povećava se na obali, a najveća je u planinskoj unutrašnjosti. Procjenjena veličina evapotranspiracije iznosi od 500 do 650 mm u kontinentalnom području, a od 850 do 1000 mm u mediteranskom pojasu.

2.4. Stanovništvo i naselja

Prostorni je razmještaj stanovništva neravnomjeran. Sa 78,5 stanovnika na km² (2001) Hrvatska se ubraja u slabije naseljena područja. Hrvatska spada u slabije urbanizirane zemlje, s udjelom gradskog stanovništva koji tek prelazi polovicu ukupne populacije. Najnaseljeniji je sjeverozapadni dio zemlje, gdje na oko 15% površine državnoga teritorija živi gotovo 40 posto ukupnoga stanovništva. Manju, ali još uvijek iznad prosječnu gustoću stanovništva imaju krajnji istok, zapad i jug, dok je veliki središnji međuprostor, koji čini polovicu teritorija, u velikoj mjeri demografski i gospodarski osiromašen (tablica 3).

Tablica 3: *Struktura naselja*

Broj stanovnika		Broj naselja	Broj stanovnika	Posto stanovnika
Bez stanovnika		105	-	-
1 -	500	5 387	799 240	18,0
501 -	2 000	1 040	953 305	21,5
2 001 -	7 000	173	594 516	13,4
7 001 -	15 000	29	291 756	6,6
15 001 -	30 000	9	174 361	3,9
30 001 -	80 000	12	523 207	11,8
>	80 000	4	1 101 075	24,8
Ukupno		6 759	4 437 460	100,0

Prevladavaju manja naselja s prosjekom od 657 stanovnika po naselju. Veća i koncentrirana naselja karakteristična su za zagrebačku regiju, sjeverozapadnu Hrvatsku, istočnu Hrvatsku i splitsku regiju. U tome se posebno se izdvajaju četiri velika gradska središta, Zagreb, Split, Rijeka i Osijek u kojima živi oko četvrtine ukupnoga stanovništva. Ostali veći gradovi jesu Pula, Zadar, Šibenik, i Dubrovnik na jadranskom slivu, te Varaždin, Karlovac, Velika Gorica, Sesvete, Sisak, Slavonski Brod, Vinkovci, i Vukovar na crnomorskom slivu.

2.4. Geološka i hidrogeografska obilježja krškog prostora

Krš u Hrvatskoj

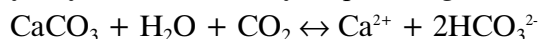
Planinski sustav Dinaridi najvećim je dijelom okršen pa krša u Hrvatskoj ima u njezinom dinarskom dijelu. Grad Karlovac dijeli krške prostore Hrvatske od nekrških. Već su karlovačka južna predgrađa smještena na brežuljkastom prostoru, a ti su brežuljci građeni od karbonatnih stijena i pripadaju tektonskoj jedinici Dinarida. Prostor Hrvatske južno od Karlovca je krški, premda izoliranoga krša ima i u Panonskoj Hrvatskoj.

Krš je skup reljefnih oblika koji su rezultat kemijskog trošenja stijena topivih u vodi (karbonatne stijene, gips, sol). Postoje različiti tipovi krša i možemo ih naći u raznim dijelovima svijeta. Krš Dinarida nama je najzanimljiviji i on se razlikuje od ostalih okršenih prostora u svijetu. Dinaridi su najvećim dijelom građeni od karbonatnih stijena - vapnenca i dolomita. One su nastale taloženjem tijekom razdoblja mezozoika koje obuhvaća podrazdoblja trijas, juru i kredu te dijela tercijara. Zbog kalcijevog karbonata karbonatne stijene su topive u vodi pa je stoga propuštaju. Ta se topivost ne ostvaruje trenutno, nego kroz dugi niz godina, a propusnost nije poput one koju imaju spužvaste tvari, nego kemijskim nagrivanjem nastaju pukotine, zbog kojih stijena više ne može zadržavati vodu. Na karbonatnim stijenama nastaje vrlo tanko tlo. Na tlu debelome samo nekoliko centimetara nemoguće je razviti ratarsku djelatnost. Ako slabim uvjetima za ratarstvo

dodamo i nedostatak vode, shvatiti ćemo zašto je prostor krša prostor siromaštva i iseljavanja. Ondje gdje je tlo deblje (krš je pokriveniji), ondje su uvjeti života bolji. Neke su stijene zbog svog kemijskog sastava podložnije mrvljenju (tako se dolomit mrvi mnogo više od vapnenca) pa stoga na njima nastaje deblje tlo.

Kemijski procesi

Glavnu ulogu u oblikovanju krškoga reljefa imaju kemijski procesi. Krški je reljef rezultat kemijskoga trošenja stijena. Najvažniji uvjet za odvijanje procesa okršavanja jest topivost karbonatnih stijena u vodi. To se nagrizenje (kemijsko trošenje, korozija) ne događa na očigled, nego tijekom dugog niza godina. Kemijska jednadžba korozije vapnenca glasi:



To znači da se kalcijev karbonat (CaCO_3) u dodiru s vodom (H_2O) i ugljik-dioksidom (CO_2) raspada na ione kalcija (Ca^{2+}) i hidrogen-karbonata (HCO_3^{2-}). Tako se karbonatne stijene tope, a možemo reći da „stijena nestaje“.

Zbog korozije u kršu ima vrlo mnogo šupljina, što je jedno od glavnih obilježja stijena krških prostora. Tako nastaju brojne spilje i jame. No, reakcija krškoga procesa je reverzibilna, to jest, moguć je i obratni smjer: u određenim uvjetima ponovo će se izlučivati kalcijev karbonat, rekli bismo „stijena će rasti“. Nastajat će nakupine tvari koju zovemo sedra (traventin) te sigovina (npr. stalaktiti i stalagmiti) u spiljama.

Jedna od glavnih odlika krškog reljefa je nedostatak vode na površini. Uglavnom, tekućice na tim područjima protječu kanjonima (uskim, strmim dolinama). Kada se tekućica, nailaskom na vapnenačku podlogu, naglo gubi u ponorima oblikuje slijepe doline. One zbog češćeg nastanka na vodonepropusnim naslagama, gdje je prisutno fluvijalno djelovanje, pripadaju fluvio-krškom tipu reljefa. Razlikujemo površinske i podzemne krške oblike.

Površinski krški oblici

Škrape i kamenice: Očigledan rezultat nagrizenja karbonatne stijene od strane vode su škrape. One su žljebovi nastali tečenjem kišnice i sniježnice (vode nastale otapanjem snijega) po stijeni. Voda može otapati karbonatnu stijenu i dok stoji na njoj u obliku lokve. Često ovdje još trune lišće što pojačava nagrizenje. Taka nastaje kamenica - široko i plitko udubljenje u okršenoj stijeni.

Ponikve: Jedan od simbola dinarskoga krša su ponikve - ljevkaste udubine promjera do 200 metara, a najčešće je to 10-20 metara. U njihovom dnu obično nastaje plodno tlo, često i jedino tlo u okolici, što je dragocjeno

pa se koristi u ratarstvu i vrtlarstvu. Ponikve mogu nastati na nekoliko načina: korozijom s površine (npr. nakupljanjem vode na jednom dijelu zbog njegove ranije udubljenosti, tj. poput velike kamenice); sipanjem materijala u postojeće pukotine u stijeni; različitim otapanjem stijena te urušavanjem (u podzemlju se stijena otopi pa zbog gubitka potpore na površini dođe do urušavanja - te ponikve su obično vrlo duboke). Poneka udubljenja su vrlo duboka pa se radi o prijelaznom obliku između ponikava i jama. To su japage. Ponekad se određuju i kao jame kojima se vidi dno. Reljefni oblici slični ponikvama su uvale i doci. To su udubljenja veća od ponikava, a manja od polja u kršu.

Zaravni u kršu: Postoje i zaravnjeni dijelovi u kršu - to su zaravni u kršu. Takve su zaravan zapadna Istra i dio sjeverne Dalmacije.

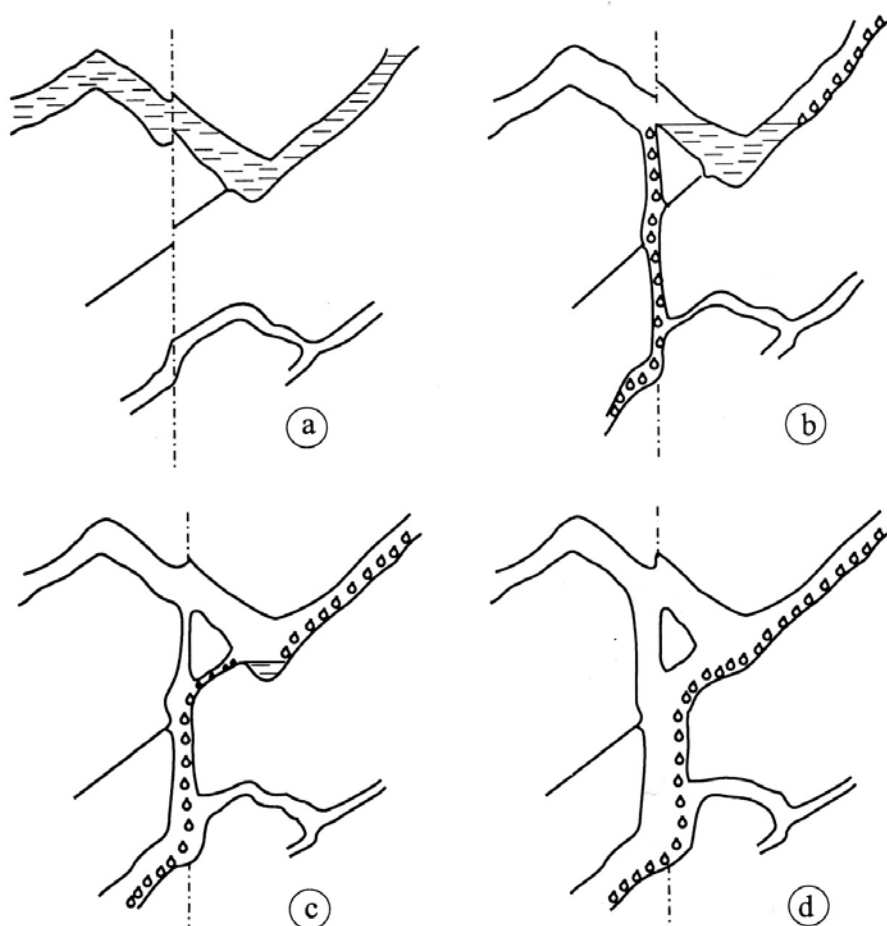
Polja u kršu: U kršu su uglavnom loši uvjeti za razvoj poljoprivrede. Uzrok je nedostatak tla. U određenim dijelovima dinarskoga krša može nastati i deblje tlo. Riječ je o zavalama polja u kršu - prostranim udubljenjima, najvećim oblicima u kršu (jedna os im je dugačka nekoliko desetaka kilometara, a najčešće je duža od druge). Dno polja grade rastresite stijene, dok polje okružuju uzvišenja od karbonatnih stijena. Polja u kršu su mjesta najrazvijenije poljoprivrede te zbog toga i najgušće naseljenosti u kršu. Najveća polja u kršu Hrvatske su: Gacko, Ličko, Krbavsko, Kninsko, Kosovo, Petrovo, Imotsko, Sinjsko, Vrgoračko, a postoje i vrlo velika polja i u drugim državama koje zahvaćaju Dinaridi. Nastanak polja u kršu još je dijelom nepoznat. Zna se da im je temelje udarila tektonika, a onda je uslijedilo kemijsko trošenje stijena od strane vode, proces okršavanja. Kroz većinu polja teče tekućica koja je svojim radom stvorila šljunak i pijesak koji se nalaze u njegovom dnu i na kojima nastaje debelo i kvalitetno tlo. Hum je uzvišenje, često se nalazi u polju u kršu.

Kanjoni: Zbog korozivnog, ali i erozivnog djelovanja tekućice na putu kojim ona teče, oblikuje se kanjon. Poznati su kanjoni većih rijeka Zrmanje, Krke, Cetine, a slikoviti su i kanjoni rijeka iz Nacionalnog parka „Paklenica” - kanjon Velike i Male Paklenice.

Ponori i vrela: Za krš je karakteristična pojava da ima mnogo vode u podzemlju, a malo na površini. Ako su klimatski uvjeti u krškom prostoru takvi da ima mnogo oborina, oblikovat će se brojne tekućice. Ako tekućica teče po karbonatnim stijenama, koje su topive u vodi, nastat će na određenom mjestu otvor u kojega će se tekućica uliti - ponor. Tekućica koja ponire naziva se ponornica. No, iako je tekućicama Dinarida more vrlo blizu, mnoge od njih ne uspiju stići do njega - na putu stvore ponor u kojega poniru. Njihova voda tada teče kroz podzemlje te na drugom mjestu, na dodiru s vodonepropusnim stijenama, npr. s flišom (slijed lapora i pješčenjaka) vraća se na površinu - to su vrela. Vrela su krški izvori koji su obično vrlo bogati vodom pa se tako nazivaju. Zanimljiva je slučaj estavela - otvora

na površini koji su povremeno vrela, a povremeno ponori, ovisno o razni podzemne vode.

Sustavi kanala kojima teče voda u krškom podzemlju, vrlo su složeni. Zbog tih podzemnih tokova ponekad je vrlo teško odrediti porječje neke tekućice (slika 5). Tako je nakon brojnih istraživanja utvrđeno da vode koje poniru u Livanjskome, Duvanjskome, Glamočkome i Kupreškome polju, na kraju završavaju u Cetini. Hidrološko porječje Cetine nekoliko je puta veće od topografskoga. Stoga kod tekućica u vodopropusnim stijenama treba računati na prihranjivanje tekućice ne samo s površine, nego i iz podzemlja, to jest da je njihovo hidrološko porječje veće od topografskoga - površinskoga. Ako nakon toka kroz podzemlje slatka voda izbija pod morem, nastaje vrulja.



Slika 5: Preraspodjela smjerova tečenja podzemne vode u nezasićenoj zoni krškog masiva uslijed razvoja krša i otvaranja novih prolaza za vodu

Podzemni krški oblici

Tijekom poniranja vode i njezinog korozivnog utjecaja u dubini nastaju brojni podzemni oblici (jame, spilje, kaverne - speleološki objekti). Prema hidrogeološkoj funkciji speleološke objekte dijelimo na ponore, izvore (vrela), estavele, vrulje, protočne i objekte bez hidrogeološke funkcije. Hidrogeološka funkcija speleološkog objekta može biti stalna, periodična i povremena.

Hrvatski krš u sebi krije više od 7000 spilja, jama i ponora. Kaverne nisu spojene s površinom, a mogu također biti izuzetno velike (spilja, a nekada kaverna, Tounj dužine 8487m, treća je u Hrvatskoj, otkrivena tijekom radova u kamenolomu). Podzemlje krša obiluje šupljinama - to su spilje i jame. Spilje su podzemne šupljine koje su razvijene na vodoravnom pravcu (do 45° u odnosu na ravninu Zemljine površine), a jame su podzemne šupljine koje su razvijene na okomitom pravcu (45°- 90°). Hrvatska ima oko 1 500 spilja, jednostavnih, razgranatih, spiljskih sustava, a najpoznatije su Cerovačke Pećine kraj Gračaca, Vrelo i Lokvarka kraj Lokava u Gorskom kotaru. Od jama u Hrvatskoj je najdublja Lukina (u Velebitu), a ima ih oko 3 600. Najčešće je riječ o sustavu pukotina gdje se izmjenjuju uže (prolazi) i šire (dvorane). Tim sustavima često teče i voda - tekućica ponornica. U spiljama u jamama zbog ponovnog stvaranja kalcijevog karbonata iz vode nastaje sigovina, stupovi, saljevi i drugi oblici što ih priroda čudesno oblikuje kroz dugi niz godina upornim kapanjem i tečenjem vode bogate otopljenim kalcijevim karbonatom.

U speleološki objekt voda može doći kroz ulaz u obliku vodenog toka formiranog na površini. Ove vodene tokove nazivamo ponornicama, a takvi speleološki objekti imaju funkciju ponora. Najčešće se nalaze na kontaktu propusnih i nepropusnih stijena. Jedna od najpoznatijih spilja ponora je Đulin ponor kod Ogulina u koji ponore rijeka Dobra, a čija duljina podzemnih kanala iznosi preko 16,5 km. Zbog hidrotehničkih zahvata Đulin ponor danas ima funkciju povremenog ponora.

Speleološki objekti mogu imati i funkciju izvora poput npr. izvor špilje Tounjčice u Tounju i jednog od izvora rijeke Cetine - izvor Glavaš kod Vrlike (slika 6). U slučaju izvor Glavaš radi se o potpuno potopljenom speleološkom objektu. Oko 4,5 posto speleoloških objekata Hrvatske ima funkciju stalnog ili povremenog izvora.



Slika 6:

Speleološki objekt - jama s funkcijom izvora (Vrelo Cetine - izvor Glavaš)

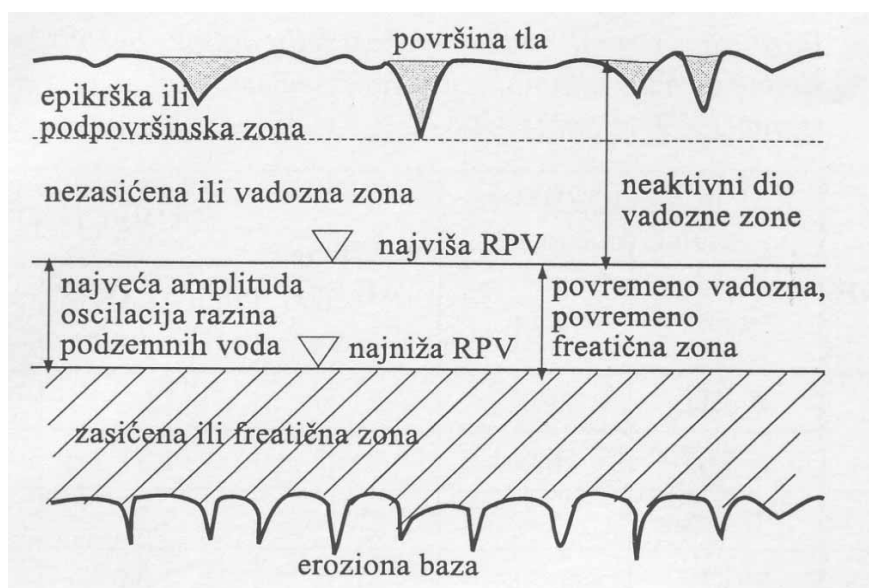
Neki speleološki objekti mogu također imati i funkciju estavele. To znači da su u jednom dijelu godine u funkciji ponora, a u drugom dijelu godine u funkciji izvora. Lokacije špilja estavela su najčešće u rubovima dna zavala polja u kršu ili većih krških uvala. U Hrvatskoj oko 7,5 posto speleoloških objekata ima funkciju estavele.

Speleološki objekti s funkcijom izvora (vrela) koji su tijekom postglacijalnog razdoblja potopljeni zbog glacioeustatičkog izdizanja morske razine postali su speleološki objekti s funkcijom vrulje - morem potopljenog izvora. Vrulje su česta pojava uz istočnu obalu Jadranskog mora, posebno u Velebitskom kanalu i Podbiokovlju. Vrulje najčešće imaju jamski tip podzemnog prostora.

U oko 17 posto speleoloških objekata u Hrvatskoj se pojavljuje vodeni tok u njihovoj unutrašnjosti. Voda u takve objekte može doći kroz potopljene kanale, tzv. sifone kao već formirani vodeni tok ili vodeni tok može nastati u samom objektu skupljanjem procjedne i nakapne vode. Voda iz takvih objekata otječe u potopljene dijelove podzemnog sustava kroz sifone ili kroz zarušene dijelove speleoloških objekata.

Voda u podzemlju krša

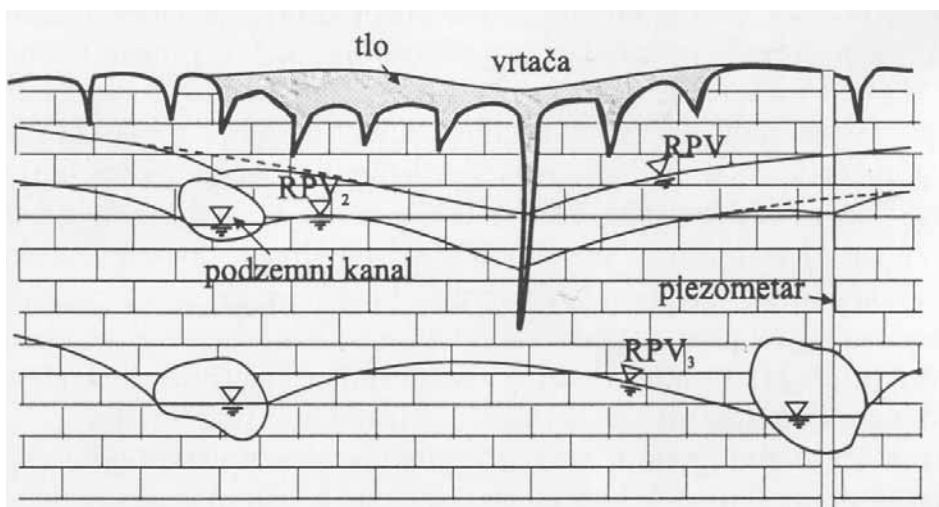
Na osnovu propusnosti i poroznosti stijena razlikuju se različiti hidrogeološki tipovi stijena. Stijenske formacije koje sadrže i provode vodu nazivaju se vodonosnici ili aquiferi (slika 7). Za razliku od njih, nepropusne i slabo porozne stijene nazivaju se aquifuge ili zaustave tj. barijere. S obzirom na način pojave vodonosnici mogu biti zatvoreni, slobodni i viseći. Zatvoreni vodonosnici se nalaze između nepropusnih stijena, dok slobodni vodonosnici imaju nepropusnu podinu, ali slobodnu gornju plohu, vodno lice ili razina podzemne vode. Viseći vodonosnici nastaju iznad glavne vode temeljnice kao posljedica visećih barijera.



Slika 7: Shematski prikaz strukture krškog vodonosnika

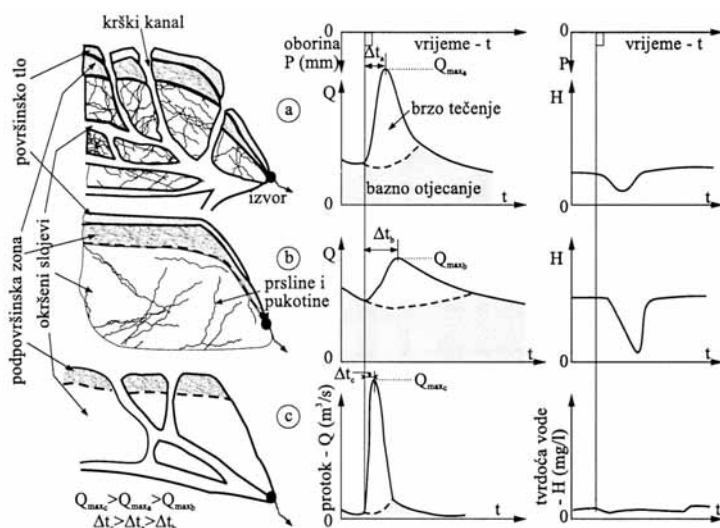
Prema prirodi šupljina koje se ispunjene vodom ili kojima se voda kreće vodonosnici se dijele na porozne (intergranularne), pukotinske i kanalske. Za krška područja od dominantnog su značaja pukotinski i kanalski vodonosnici. Od površine prema dubini, podzemlje krša se dijeli u nekoliko hidrografskih zona. Zona u kojoj su šupljine potpuno ispunjene vodom naziva se freatska zona. Prozračna zona u kojoj voda samo djelomično ispunjava šupljine naziva se vadozna zona. Ploha ravnoteže između freatske i vadozne zone naziva se vodno lice ili razina podzemnih voda (slika 8). U kršu su izrazite fluktuacije razine podzemne vode pa se zona između maksimalne i minimalne razine vodnog lica naziva subfreatska zona. Vadozna i freatska zona dijele se u nekoliko podzona.

Gibanje vode u kršu karakterizira niz specifičnosti. Najveća specifičnost je u nerazmjeru količine oborina i veličine površinskog otjecanja tj. zbog sekundarne poroznosti stijena dominira podzemno otjecanje. Daljnja specifičnost je otjecanje ispod razine mora. Dio te vode izbija kroz morem potopljene izvore - vrulje. Sljedeća je specifičnost postojanje hidrogeološke razvodnice, dok topografska razvodnica nema značaj u određivanju pripadnosti vode određenim slivovima i porječjima.



Slika 8: Utjecaj krških fenomena na promjenu razina podzemnih voda

Voda s površine u podzemlje krša dolazi na dva načina. Disperzno direktnim procjeđivanjem oborinske vode u podzemlje i koncentrirano u vidu ponornica. Ponornice se najčešće javljaju u uvjetima kontaktnog krša. Mjesta poniranja vodenog toka nazivaju se ponori. Vodeni tok se u podzemlju formira koncentracijom infiltrirane vode s površine. Mjesta gdje vodeni tok izlazi iz podzemlja na površinu nazivaju se vrela - izvori u kršu. Estavele su mjesta koja za visokih vodostaja imaju funkciju vrela, a za niskih vodostaja imaju funkciju ponora. Najčešće se nalaze u rubovima zavalu polja u kršu (slika 9).



Slika 9: Različiti oblici hidrograma protoka Q , i tvrdoće vode H , za različite vrste krških vodonosnika

Gospodarsko značenje vode u kršu

Zbog oskudice kvalitetnim tlom i vodom, život u kršu tradicionalno je siromašan. Kuće se grade uglavnom na rubu polja i uzvišenja da se ne bi potrošilo obradivo tlo. Najveća naseljenost je u poljima u kršu zbog obilja tla i vrela pitke vode te oko uvala i dolaca. Stanovništvo krša stoljećima je živjelo „s kamenom“, okruženo karbonatnim stijenama tako da su one postale neodvojiv dio njegovoga života. Bezvodica na kršu je iskonska prepreka u njegovoj valorizaciji, stoga se trebalo okrenuti iskorištavanju vode iz podzemlja. Gospodarsko značenje vode u speleološkim objektima može biti mnogostruko, ali najizraženije je njeno vodoopskrbno i hidroenergetsko. Mnogi izvori su kaptirani za vodoopskrbu obližnjih naselja. Također se i neki veliki gradovi opskrbljuju s vodom iz obližnjih speleoloških objekata. Jedan od najpoznatijih primjera je izvor Rječine iz kojeg se vodom opskrbljuje grad Rijeka. To je jedan od najvećih krških vrela u Hrvatskoj, a koristi se za vodoopskrbu još od 1915. godine.

Snaga vode koja izvire iz speleoloških objekata također se može iskoristiti pri hidroenergetskim zahvatima. Jedan od najpoznatijih primjera je hidrotehnički zahvat na ulazu u špilju Zeleni vir kod Skrada. Također je poznat projekt podzemne akumulacije HE Ombla. Manje poznato da je na izvoru rijeke Omble istražen špiljski sustav Vilinska špilja - Ombla duljine 3063 m.

Krški prostor ima jedno bitno obilježje - ekološki je vrlo osjetljiv, treba paziti na ispuštanje otpadnih tvari jer one zbog propusnosti stijena mogu dospjeti do pitke vode. Svaka tekućina izlivena na površini procjeđuje se kroz propusne stijene sve do vode koja će se koristiti u prehrani i o kojoj ovisi ekološka ravnoteža prostora. Zbog slabe naseljenosti i male gospodarske aktivnosti krški prostor ima očuvan okoliš. Proizvodnja zdrave hrane i turistička usluga ne mogu biti velikoga opsega, ali zato mogu biti vrhunske kvalitete.

3. VODNI RESURSI

3.1. Površinske vode

Prostorni razmještaj

Raspored površinskih i podzemnih voda je određen morfološkim i hidrogeološkim značajkama pojedinih područja. Biofizički i geografski činitelji koji sudjeluju u stvaranju otjecanja na prostoru Hrvatske se znatno razlikuju. Vode s teritorija Hrvatske pripadaju crnomorskom i jadranskom slivu, a razvodnica ide kroz gorsko-planinsko područje. Na području Hrvatske definirana su četiri sliva: slivovi Drave i Dunava, sliv rijeke Save, primorsko istarski slivovi, te dalmatinski slivovi. Skupinama jadranskih slivova pridruženi su i otoci (slika 10).



Slika 10: Veći vodotoci i slivna područja

U jadranskom slivu Neretva je vodotok s vrlo velikim slivom, dok Lika, Zrmanja, Krka i Cetina spadaju u velike slivove. Vodotoka sa srednjom veličinom sliva ima oko 40.

Većina velikih vodotoka crnomorskog sliva je međudržavnog značaja (pogranični ili prekogranični). Na jadranskom slivu granična rijeka je Dragonja, a značajna prekogranična rijeka je Neretva s više od 90 posto sliva na području BiH.

Hrvatska ima malo prirodnih jezera, te ima značajan broj umjetnih jezera - akumulacija, u tablicama 4. i 5. daje se pregled prirodnih i umjetnih jezera.

Tablica 4: Veća prirodna jezera u Hrvatskoj

Jezero	Površina km ²
Vransko jezero	30,7
Prokljansko jezero	11,1
Visovačko jezero	7,7
Vransko jezero – Cres	5,8
Plitvička jezera	2,1
Baćinska jezera	2,54

Tablica 5: Značajnija umjetna jezera/akumulacije u Hrvatskoj

Jezero	Najveći volumen 10 ⁶ m ³	Najveća površina km ²	Osnovna namjena
Peruća	570,9	20	HE Peruća, HE Zakućac, HE Đale, HE Kraljevac
Kruščica	142,0	8,6	HE Sklope, HE Senj
Lokvarka	35,2	1,79	CHE Fužine, HE Vinodol
Štikada	13,6	2,71	RHE Velebit
Prančevići	6,8	0,65	HE Zakućac
Lepenica	4,5	0,73	HE Lepenica, HE Vinodol
Sabljac	4,1	1,35	HE Gojak
Đale	3,7	0,46	HE Đale
Opsenica	4,3	3	RHE Velebit
Gusić	1,6	0,4	HE Senj
Bajer	1,5	0,36	HE Vinodol
Botonega	22,1	2,42	Zaštita od poplava, vodoopskrba
Ričice	35,2	-	Zaštita od poplava, navodnjavanje
Letaj	8,3	0,74	Zaštita od poplava

Hrvatska ima značajna močvarna područja, a posebno su značajna četiri lokaliteta na Ramsarskoj listi vlažnih staništa i to Kopački rit, Lonjsko polje, Crna Mlaka i područje donjeg toka Neretve.

Na kontaktnim područjima priobalnog mora i kopna javljaju se tzv. prijelazne ili bočate vode, koje su posebno vrijedna ekološka, ali i gospodarska

područja. U priobalnom području i ušćima rijeka more značajno utječe na dinamiku kretanja i na kvalitativne i ekološke značajke površinskih i podzemnih voda. Utjecaj plime i oseke na rijeci Krki seže sve do Skradinskog buka, na Zrmanji do Obrovca. Vransko jezero kod Biograda kanalom Prosika i podzemnih putem intenzivno komunicira s morem. Značajan utjecaj mora je i na donjem toku rijeke Neretve. Osim toga intenzivno miješanje slanih i slatkih voda prisutno je u području ušća Žrnovnice, Cetine, Jadra u Dalmaciji te Raše i Mirne u Istri, te Rječine u Kvarneru.

Priobalno more

Jadransko more je dio Mediteranskog mora, zatvorenog je tipa, ukupne površine zajedno s otocima oko 138 600 km², prosječna je dubina 252 m, tako da ukupni volumen iznosi oko 35 000 km³, što čini samo 4,6 posto volumena Sredozemnog mora. Na sjeverozapadnom dijelu je plitko, u Tršćanskom zaljevu do 23 m, a na jugu mnogo dublje, u južnojadranskoj zavali 1 233 m. Ono se pruža u smjeru sjeverozapad - jugoistok, između Balkanskog i Apeninskog poluotoka, u dužini od 783 km. Prosječna širina Jadranskog mora iznosi oko 160 km, a najveća izmjerena dubina iznosi 1 233 m. Ukupni raspon kolebanja razine mora je 128 cm u Dubrovniku, 153 cm u Splitu, 198 cm u Bakru i 228 cm u Rovinju. Srednje godišnje amplitude razine mora za razdoblje od 1 955. do 2 000. su u Dubrovniku 22 cm, Splitu 23 cm, Bakru 30 cm i Rovinju 47 cm.

Količine voda

Osnovne hidrografske značajke

Količine voda su promjenjive, čime se mijenjaju uvjeti i načini iskorištavanja voda. Sliv Jadranskog mora uglavnom ima obilježja kišnog režima. Površina sliva, duljina vodotoka i karakteristični protoci značajnijih vodotoka prikazani su u tablici 6. Biofizički i geografski činitelji koji sudjeluju u stvaranju otjecanja na prostoru Hrvatske su različiti pa je i otjecanje različito. Najmanje otjecanje je u panonskom području Hrvatske. Tako sliv Orljave ima otjecanje oko 27 posto. Ravničarski sliv Bosuta oko 11 posto. Najveće otjecanje od palih oborina ima planinsko područje krša. Tu otječe preko 50 posto oborina, a najčešće između 60 posto i 70 posto. Najveće specifično otjecanje ima brdski dio sliva Jadranskog mora, nešto manje primorski. Hrvatska je posebno bogata vodama u brdskim područjima, koje se mogu višenamjenski koristiti (tablica 6).

Tablica 6: Osnovne značajke važnijih vodotoka

Slivno područje	Vodotok stanica	Površina sliva		Duljina		Državna granica km	Karakteristični godišnji protoci					
		ukupna	u RH	ukupna	u RH		Qmin	Qmin _{sr}	Qsr	Qmax _{sr}	Qmax	
Crnomorski sliv	SAVA	95.419	25.374	946	510	313						
	Zupanja	62.891					226,0	311	1.159	3.038	4.130	
	Sutla	590	133	92	89	73						
	Zelenjak	455					0,342	0,859	7,31	129	250	
	Krapina	1.244	1.244	65	65	-						
	Kupljenovo	1.150					0,200	1,12	12,0	153	368	
	Cesma	2.890	2.890	96	96	-						
	Cazma	2.877					0,066	0,679	14,1	91,9	153	
	Ilova s Pakrom	1.816	1.816	96	96	-						
	V. Vukovje	995					0,130	0,39	6,99	68,0	151	
	Orlava	1.616	1.616	97	97	-						
	Pleternica m.	745					0,111	0,56	5,12	60,0	117	
	Bosut	2.913	2.375	132	81		....	....	12,2	....	....
	Kupa	10.236	8.412	294	294	100						
	Farkašić	8.902					16,9	30,5	201	1.207	1.776	
	Dobra	1.354	1.354	104	104	-						
	Stative D.	1.049					1,650	2,45	34,8	241	372	
	Korana	2.297	2.049	134	134	-						
	Velemerić	1.297					0,611	3,31	28,8	320	492	
	Mrežnica	980	980	63	63	-						
	Mrzlo Polje	975					0,223	1,85	26,6	256	373	
	Glina	1.418	967	100	100	-						
	Glina	1.145					0,939	2,91	18,2	174	350	
	Sunja	482	482	77	77	-						
	Sunja	225					0,001	0,325	2,91	87,0	141	
	Una	9.368	2.086	212	129	130						
	Kostajnica	8.876					25,1	44,7	221	1.110	1.521	
	DUNAV	816.950	2.120	2.857	138	130						
	Batina	210.250					790,0	1,061	2,303	4,711	8,360	
	Vuka	1.260	1.260	126	126		....	....	3,14	....	....
DRAVA	41.238	7.015	749	323	136							
Beišće	38.500					160,0	234	552	1.386	2.232		
Mura	14.149	473	493	83	79							
Mursko Središće	10.891					41,0	62,0	170	732	1.454		
Karašica-Vučica	2.347	2.347	150	150		....	....	11,0	....	....
Dragonja	141,4	55,6	28,3	-	12,2		0,10	1,30	50			
Mirna	541	494	53	53	-							
Jadranski sliv	Portonski most						0,048	0,513	7,91	77,4	178	
	Raša	279	279	23	23	-						
	Podpičan						0,00	0,088	1,60	44,4	92,5	
	Boljunčica	230	230	33	33	-						
	Cepić						0,00	0,002	0,956	24,2	28,9	
	Rječina	360	300	18,6	18,6	-						
	Sušak tvor.						0,543	1,1	12,9	118	350	
	Lika	1.014	1.014	76,7	76,7	-						
	Bilaj						0,00	0,125	7,33	145	245	
	Gacka	584	584	60,5	60,5	-						
	Cović Podg. uzv.						2,28	5,0	13,3	47,2	68,6	
	Zrmanja	1.379	1.379	69	69	-						
	Jankovića buk	1.263					0,165	1,92	37,0	266	367	
	Krika	2.657	2.373	72	72	-						
	Skradinski buk	2.108					4,99	12,4	54,6	293	565	
Cetina	4.145	1.531	104	104	-							
Gardunska mlinica	3.701							99,0				
Neretva	10.520	280	215	22	-							
Metković	10.240					....	....	342	....	....

Opis slivnih područja i vodotoka

Sliv rijeke Save

Južni dio sliva Save pripada kršu Dinarida, a izgrađuju ga dobro propusne karbonatne stijene kredne starosti, u kojima su formirani vodonosnički pukotinske poroznosti.

Sliv rijeke Kupe u krškom području se sastoji od slivova četiri rijeke, Kupe, Dobre, Mrežnice i Korane, koje se spajaju u jednu rijeku kod Karlovca, upravo na prelasku iz krškog u ravničarsko područje Panonskog bazena. Sliv rijeke Kupe u gornjem toku površinom seže u Slovenije, ali najveći dio sliva pripada Hrvatskoj, uključujući i glavni izvor. Osnovne karakteristike sliva su vrlo komplicirana geološka građa u kojoj prevladavaju

okršeni karbonatni vodonosnici, tokovi podzemni voda ispod navučenih vodonepropusnih kompleksa naslaga i pojave krških izvora širokog raspona istjecanja.

Sliv Dobre se prostire dijelom Gorskog Kotara. Rijeka ima više manjih izvora na području Skrada, a nizvodno od Vrbovskog poprima formu gorske rijeke koja za vrijeme oborina ima veliku protoku. Rijeka ponire u Đulinom ponoru u Ogulinu, a nakon nekoliko kilometara podzemnog toka ponovo izvire na površinu na izvoru Gojačka Dobra i dvije pritoke Ribnjak i Bistrac.

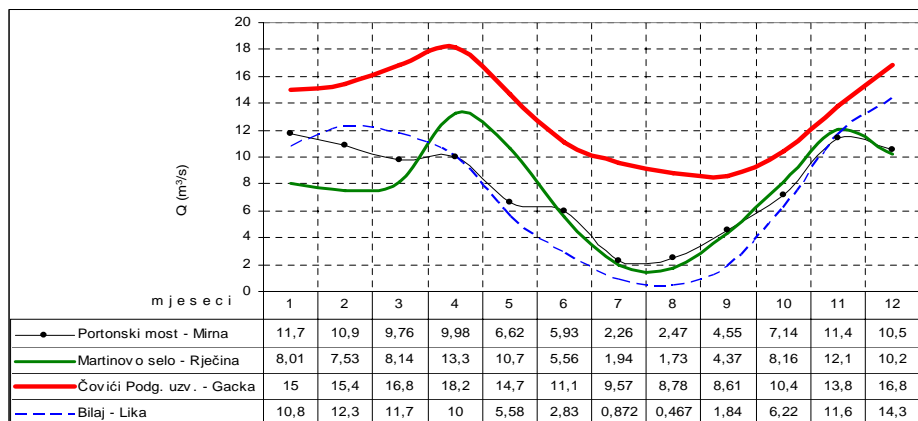
Sliv Mrežnice smješten je istočno od sliva Dobre. Odvodi karbonatni masiv vanjskih Dinarida prema Drežničkom, Crnac polju i Dabru. U hidrogeološkom pogledu cijeli sliv se kao i sliv rijeke Dobre može podijeliti u dvije stepenice. Prva zona istjecanja su izvorište Zagorske Mrežnice i Dretulja, a druga izvor rijeke Mrežnice i njene lijeve pritoke Tounjčice. Sliv Zagorske Mrežnice lepezasto se širi od mjesta izviranja u Sabljacima kod Ogulina prema Drežničkom i Crnac polju. Izdašnost izvora Zagorske Mrežnice varira između 2,2 i 127 m³/s. Sliv izvorišta Dretulje u Plaškom je dosta manji i prostire se prema planinskom području Dabra.

Sliv Korane formiran je u području Korduna, Like i Bosne i Hercegovine. Izvire iz Plitvičkih jezera. Izvori Plitvičkih jezera Crna i Bijela rijeka smješteni su podno Male Kapele. Poniruće vode iza Plitvičkih jezera otječu podzemljem prema nizvodnom dijelu korita rijeke Korane i dijelom prema izvorištu Klokot u slivu rijeke Une. Najveća pritoka rijeke Korane je Slušnica kod Slunja, koja započinje jakim krškim izvorom, čiji je sliv karbonatno područje prema Ličkoj Jasenici, a dijelom najvjerojatnije i poniruće vode rijeke Korane nizvodno od Plitvičkih jezera.

Vodotoci Primorsko istarskih slivova

Zbog dominantne zastupljenosti krša hidrografska je mreža relativno slabo razvijena. Značajniji vodotoci su Lika, Gacka, Mirna, Raša i Rječina. Ukupna dužina vodotoka iznosi oko 300 km. Najznačajniji krški izvori ovog područja jesu izvorišna zona Gacke, izvori Rječine, Zvir i Novljanska Žrnovnica u slivu Kvanerskog zaljeva, te izvori Gradole, Sv. Ivan, Rakonek i Blaž u Istri. Većina vodotoka u sušnom razdoblju presušuje, ali isto tako se povremeno pojavljuju i izuzetno visoki vodostaji. Na vodomjernim stanicama uočeno je stalno sniženje vodostaja. Na svim vodotocima najniži protoci pojavljuju se od srpnja do rujna, a najviši na Rječini i Gackoj u travnju, na Mirni u siječnju, te na Lici u prosincu. Proces intenzivne produkcije i pronosa nanosa karakteriziraju veliki dio bujičnih slivova, posebno flišnih u srednjem dijelu Istre. Hidrološki nepovoljne prilike i intenzivno iskorištavanje voda s pojedinih krških izvorišta, koja daju glavninu dotoka tijekom ljetnog sušnog razdoblja (Mirna, Raša, Rječina, Gacka), uzrokuje opadanje

malih voda, tako da se prosječna bilanca malih voda Mirne smanjila oko 50 posto (slika 11).



Slika 11: Prosječni mjesečni protoci primorsko istarskih slivova

Ekstremno velike vode kod većine razmatranih profila zabilježene su tijekom razdoblja od rujna do prosinca, kada na formiranje poplavnih valova dominantan utjecaj ima Genovska ciklona. Na bujičnim vodotocima zbog intenzivnih oborina pojavljuju se ekstremne vode i u ljetnom, sušnom razdoblju.

Primorsko-istarski slivovi

Područje Istarskog poluotoka je geografska cjelina, ali predstavlja i prirodnu hidrogeološku cjelinu, jer objedinjuje nekoliko slivova, koji se dreniraju prema zapadnoj ili istočnoj obali poluotoka.

Sliv Dragonje smješten je na sjeverozapadnom dijelu poluotoka i najveći njegov dio pripada Sloveniji. Izvori Bužimi i Gabrijeli, su na teritoriju Hrvatske i dreniraju karbonatno područje smješteno u Hrvatskoj između Istarskih Toplica i Savudrije.

Sliv Mirne zauzima područje centralnog i zapadnog dijela poluotoka. Na sjevernom dijelu u slivu dominira planinsko područje Čićarije, s izmjenom vodopropusnih karbonatnih i vodonepropusnih klastičnih stijena, koje se najvećim dijelom drenira na velikom krškom izvoru Sv. Ivan u Buzetu. Značajan krški vodonosnik je i karbonatno područje između Istarskih Toplica i Savudrije s izvorom Bulaž. Rijeka Mirna velikim dijelom toka protječe kroz flišne terene, ali nizvodno od Portonskog mosta ponovo započinje utjecaj krških vodonosnika. Uz lijevu obalu rijeke lociran je najveći krški izvor Istarskog poluotoka Gradole.

Najveći dio sliva Raše i Boljunčice je vezan za centralnoistarski fliški bazen, koji se preko ponora Pazinčice drenira prema krškim izvorima uz

desnu obalu rijeke Raše i priobalnom izvoru Blaž u Raškom zaljevu. Sliv je s istočne strane ograničen ljuskavim strukturama, prekinutim na mjestu Plominskog zaljeva, gdje se dio vode sliva odlijeva prema priobalnom izvoru Bubić jama. Zapadna strana sliva je otvorena prema centralnoistarskom krškom području.

Sliv zapadne i južne obale Istre zauzima područje izgrađeno od okršenih karbonatnih stijena južno od prostranog fliškog bazena u centralnom dijelu poluotoka, s kojeg dio vode otječe prema istočnoj strani poluotoka, ali dio i prema krajnjem jugu poluotoka. Drugi dio vode usmjeren je prema rijeci Mirni, a dio se dispergira kroz relativno slabije propusnu sredinu zapadnog dijela poluotoka na male izvore u tom području. Problem izvora u obalnom području Istre je utjecaj mora tijekom ljetnih sušnih razdoblja.

Područje Kvarnerskog zaljeva obuhvaća obalno područje od Lovrana do uključivo Bakarskog zaljeva, područje sjeveroistočno od Čićarije do razvodnice prema Tršćanskom zaljevu i planinsko područje Gorskog Kotara do razvodnice sa Crnomorskim slivom. Sliv priobalnog područja između Lovrana i Preluke ima malo prostiranje, a od Ike prema sjeveru sliv se širi prema krškom području sjeveroistočne strane Čićarije i seže sve do razvodnice prema izvorima u Tršćanskom zaljevu na visini Obrova. Područje "krasa" je specifično krško područje, koje se drenira s jedne strane prema Kvarnerskom zaljevu, s druge strane prema Tršćanskom, a dio vode otječe i prema izvorištu Sv. Ivan u slivu rijeke Mirne.

Sliv izvora u gradu Rijeci ima zonu istjecanja u priobalnom području od Preluke na sjeveru do Kostrene na jugu, s glavnim koncentracijama istjecanja u kanjonu Rječine prije ušća u more i uvali Martinšćice. Najveći dio sliva izgrađen je od okršenih karbonatnih stijena, a vodonepropusne naslage fliša u Vinodolskoj dolini ili imaju hidrogeološku funkciju barijere ili samo usmjeruju podzemne vode u duboko krško podzemlje, a vode izvire u priobalju.

Sliv izvora u Bakarskom zaljevu zauzima formiran je u karbonatnom masivu morske padine Gorskog Kotara. Visoke oborine daju veliku količinu podzemne vode, koja izvire na kontaktu karbonatnog masiva i fliške barijere smještene uz sjeverozapadnu obalu zaljeva. Vodonepropusne fliške stijene u najvećem dijelu zaljeva su potopljene morem i zone izviranja su uglavnom otvorene prema utjecaju mora.

Sliv Gacke ima centralni položaj u odnosu na prostor Like. Najveći dio Ličkog Sredogorja i krška polja kod Perušića, Vrhovinsko i Brinjsko polje dreniraju se prema rijeci Gackoj, koja izvire u Ličkom Lešću, a ponire u Švici, Gusić polju i Hrvatskom polju. To je tipični krški sliv koji se širi u dio tektonske jedinice Ličko Sredogorje, izgrađe od okršenih karbonatnih stijena dinarskog pravca prostiranja, te Male Kapele također izgrađene od okršenih karbonatnih stijena. Odlika izvorišta je stabilnost izviranja i visoka kakvoća vode.

Sliv Like potpuno je različitih hidrogeoloških karakteristika od sliva rijeke Gacke. Najveći dio sliva vezan je za površinsko ili plitko podzemno otjecanje a ne za krške fenomene. Sliv je formiran sa sjeveroistočne strane Velebitskog masiva od područja Mogorića i Medaka do Lipovog polja. Velebit, zbog vodonepropusnih naslaga u jezgri, ima hidrogeološku funkciju barijere od visine Bakovac potoka prema jugu, gdje se postepeno ta funkcija gubi i omogućuje formiranje ponornih zona Otuče i Ričice. Velebitska barijera je razlog formiranja sliva rijeke Like sa sjeveroistočne strane masiva, ali jednako tako i poniranja u Lipovom polju nakon prestanka barijere.

Sliv priobalnih izvora od Novljanske Žrnovnice do Selina ima izduženu zonu izviranja u obalnom području otvorenu prema utjecaju mora. Prostire se od Lič polja u Gorskom Kotaru do ponornih zona rijeka Gacke i Like i lokalnog sliva Paklenice na jugozapadnoj padini Velebita. Cijeli sliv u dva dijela razdjeljuje antiklinalna forma i eruptivni prodor u Senjskoj Dragi. Dio vode iz ponornih zona rijeka Gacke i Like zaobilaze barijeru u Senjskoj Dragi i otječu prema izvorištu Novljanska Žrnovnica i ostalim priobalnim izvorima u tom području. Izvorište Novljanska Žrnovnica dobiva veliki dio vode i iz dijela sliva prema Lič polju.

Prosječni godišnji protoci

Za odabrane hidrološke postaje prikazani su u tablici 7. Najniži prosječni godišnji protoci javljaju se od srpnja do rujna, a najviši na Riječini i Gackoj u travnju, na Mirni u siječnju i na Lici u prosincu.

Tablica 7: Karakteristični vodostaji i prosječni protoci na odabranim hidrološkim postajama

vodotok	postaja	najniži vodostaj			prosječni vodostaj		najviši vodostaj			prosječni protok m ³ /s
		cm	m n.m.	datum	cm	m n.m.	cm	m.n.m.	datum	
Mirna	Portonski most	-37	1,45	VIII.1998.	59	2,41	630	8,12	X.1964.	7,91
Raša	Potpican	-18	16,8	I.1989.	37	17,35	580	22,78	X.1993.	1,6
Boljunčica	Čepić	suho	-	više puta	-	-	588	23,38	X.1993.	0,965
Pazinčica	Dubravica	suho	-	više puta	-	-	620	255,79	X.1993.	0,96
Dragonja	Potkaštel	suho	-	više puta	...	...	460	...	IX.1965.	1,07
Rječina	Sušak - tvornica	10	2,16	VIII.1964.	59	2,65	430	6,36	IX.1952.	12,9
Vransko j.	Jezero Vrana	35	9,11	X.1990.	426	13,02	794	16,7	III.1936.	
Gacka	Vivoze 1	74	448,74	X.1986.	82	448,82	226	450,26	XII.1981.	14,0
Lika	Bilaj	suho	-	više puta	-	-	627	562,51	I.1978.	7,33
	Akum. Sklope	suho	-	više puta	-	-	6422	554,22	IV.1985.	25,0
Jadova	Barlete	suho	-	više puta	-	-	470	568,64	I.1978.	5,08
Novčica	Lički Novi	suho	-	više puta	-	-	294	557,26	I.1978.	2,84
Bogdanica	Kolakovica	0	553,49	više puta	62	554,11	450	557,99	X.1974.	3,00
Otešica	Brezovo polje	18	548,61	VII.1952.	94	549,39	568	554,11	I.1968.	2,67
Bakovac	Šporčić Klanac	suho	-	više puta	-	-	746	495,89	XII.1966.	1,06

Male vode

Većina vodotoka presušuje, što je vidljivo iz tablice 7. Za odabrane vodotoke, najniži zabilježeni protok i vjerojatnost pojave najmanjih godišnjih protoka prikazana je u tablici 8. Hidrološki nepovoljne prilike i intenzivno korištenje voda s krških izvorišta tijekom ljetnog sušnog razdoblja uzrokuje opadanje malih voda na većini vodotoka: Mirna, Raša, Riječina, Gacka, te korištenje vode za hidroenergetske potrebe u sustavu HE Vinodol i HE Senj. U slivu Mirne prosječna bilanca malih voda se smanjila do 50 posto (tablica 9).

Tablica 8: Vjerojatnost pojave najmanjih protoka trajanja 10, 20 i 30 dana (m^3/s)

povratni period god.	MIRNA - Portonski most			RIJEČINA - Sušak - tvor.			RAŠA - Potpićan			GACKA - Čovići Podg.uzv.		
	t r a j a n j e d a n a											
	10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30
2	0,545	0,631	0,700	1,457	1,790	2,045	0,149	0,159	0,177	4,923	5,185	5,419
5	0,338	0,397	0,444	1,020	1,354	1,609	0,104	0,118	0,132	3,549	3,739	3,907
10	0,263	0,311	0,355	0,806	1,150	1,411	0,086	0,107	0,120	2,967	3,12	3,255
20	0,214	0,255	0,298	0,637	0,994	1,263	0,074	0,101	0,113	2,548	2,674	2,783
25	0,202	0,24	0,283	0,589	0,950	1,223	0,070	0,100	0,111	2,436	2,554	2,656
50	0,170	0,203	0,247	0,454	0,831	1,112	0,061	0,097	0,108	2,137	2,235	2,317
100	0,146	0,175	0,219	0,337	0,729	1,019	0,055	0,095	0,106	1,896	1,977	2,043

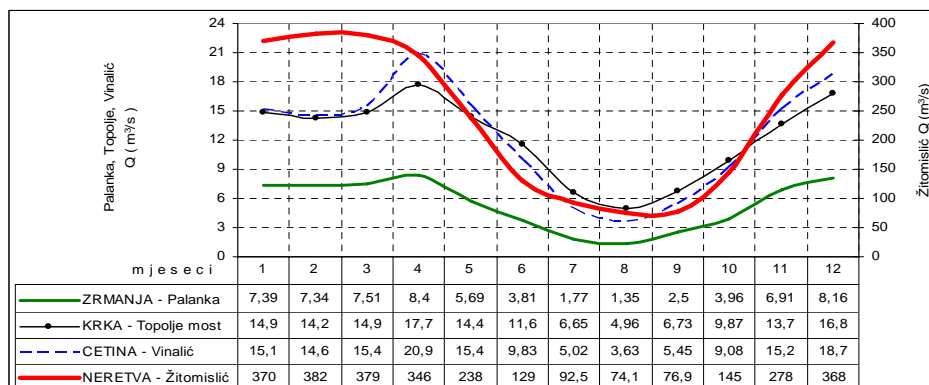
Tablica 9: Vjerojatnost pojave najmanjih godišnjih protoka (m^3/s)

vodotok	postaja	povratni period - godine							najniži zabilježeni protok
		2	5	10	20	25	50	100	
Mirna	Portonski most	0,438	0,234	0,163	0,118	0,107	0,080	0,061	0,048
Raša	Potpićan	0,117	0,032	0,005	0	0	0	0	0
Riječina	Sušak - tvor.	1,067	0,732	0,567	0,437	0,400	0,297	0,207	0,543
Gacka	Čović Podg. uz.	4,797	3,381	2,731	2,239	2,103	1,731	1,420	2,280
	Izvor Gacke	1,803	1,370	1,160	0,996	0,950	0,821	0,710	0,910
Lika	Bilaj	0,116	0,035	0	0	0	0	0	0

Vodotoci dalmatinskih slivova

To je najkršovitije područje Hrvatske, reljefno vrlo raščlanjeno. Ukupna površina područja s otocima iznosi oko 12 489 km². Klima je izrazito maritimno. Površinski su vodotoci Zrmanja, Krka i Cetina s rijetkim pritocima, koji su cijelom svojom duljinom u Hrvatskoj, te Neretva s većim dijelom sliva na području BiH. Priobalje je bogato vruljama. Po količinama vode dominantna je Neretva, dok je Cetina najduža rijeka južne Hrvatske i krša

uopće. Hidrografska specifičnost Cetine jest izrazita razlika između veličine topografskog sliva i hidrogeološkog sliva, koje je velikim dijelom na području BiH. Prirodni režim tečenja rijeke Cetine je izmijenjen zbog dviju velikih akumulacija, Peruće i Buškog Blata (slika 12). Promjene u režimu tečenja na Neretvi i Trebišnjici također su posljedica izgrađenih hidroenergetskih sustava u BiH.



Slika 12: Prosječni mjesečni protoci vodotoka Dalmatinskih slivova

Najniži vodostaji su najčešći od kolovoza do listopada, kada dio vodotoka i presušuje. Najviši vodostaji su najčešći u prosincu, znatno rjeđe u studenome, a potom u siječnju i listopadu. Najniži godišnji vodostaji u razdoblju od godine 1961. do 1990. ne pokazuju tendenciju promjena, dok najviši godišnji vodostaji pokazuju sniženje na Neretvi, na Cetini i Matici Vrgorskoj. Isti vodotoci pokazuju sniženje i srednjih godišnjih vodostaja. Unutar godine najmanji mjesečni protoci su u kolovozu, a najveći u travnju. Neretva ima najveći mjesečni protok u veljači. Najveći mjesečni protok na Cetini je u travnju, a na Zrmanji i Krki u prosincu. Otoci na ovom području nemaju značajnih površinskih tokova, osim povremenih bujičnih vodotoka ili rijetkih izvora malog kapaciteta.

Dalmatinski slivovi

Slivu Zrmanje na području Like pripadaju rijeke ponornice Obsenica, Ričica i Otuća, koje nakon kratkog toka poniru u Gračačkom i Štikadskom polju. Zona ponovnog izviranja tih voda je desna obala rijeke Zrmanje nizvodno od Ervenika. Slivu rijeke Zrmanje pripada dio područja Poštaka i manji dio Ravnih Kotara sve do ušća rijeke u Novigradsko more. Rijeka Zrmanja od početnog izvora do Kravljeg mosta ima stalnu protoku, međutim nizvodno u uskom kanjonu započinje zona poniranja, pa je tijekom ljetnih sušnih razdoblja rijeka bez vode sve do područja Ervenika. Utjecaj mora na tok rijeke dopire uzvodno od Obrovca.

Sliv Bokanjačkog Blata i Nina ima široku zonu istjecanja u obalnom području od Zadra prema Ninu i dalje prema Ljubačkom zaljevu. U geološkom pogledu sliv je formiran unutar Adrijatika, u kojoj strukture imaju dinarsko prostiranje, a odlikuju se izmjenom dobro propusnih karbonatnih i nepropusnih klastičnih stijena. Glavna koncentracija izviranja je Bokanjačko Blato

Sliv Vranskog jezera formiran je u vrlo sličnim hidrogeološkim uvjetima kao i Bokanjačko Blato. Jezero je smješteno u zoni miješanja slatke i slane vode i ravnoteža se vertikalno mijenja ovisno o hidrološkim uvjetima.

Sliv Krke u geografskom i hidrogeološkom smislu zauzima centralno mjesto u sjevernodalmatinskom području u graničnom dijelu Ravnih Kotara i Drniško-Kninskog područja. Izvorište rijeke je u rubnom planinskom području, a sliv se širi i izvan granice Hrvatske prema Grahovu. Uzrok istjecanju velike količine podzemne vode na površinu su prodori nepropusnih i slabo propusnih dolomita i klastita trijasko starosti na području Knina. Tek nizvodno od Knina započinje tipična hidrogeološka slika Ravnih Kotara. Kanjonski tip korita, koji okomito presijeca strukture Dinarida, izgrađenih od stijena različitih hidrogeoloških karakteristika.

Sliv Cetine ima centralno mjesto u području Dalmacije. U prvom redu pokriva slivno područje rijeke Cetine, ali i važne izvore Splitskog područja Jadro i Žrnovnicu. Ovoj cjelini je priključeno i priobalno područje podbiokovskog kraja od uvale Dubac do Gradca. Slivovi rijeka Cetine, Jadra i Žrnovnice, jednako kao i sliv rijeke Krke, gotovo okomito presijecaju strukturne forme Dinarida. Veliki dio sliva prostire se na području Bosne i Hercegovine. Izvor rijeke je u podnožju planine Dinara, a sliv se naročito širi na lijevoj obali rijeke prema Buškom Blatu, te Livanjskom, Duvanjskom, Šuičkom i Kupreškom polju. Uz lijevu obalu rijeke nizvodno od akumulacije Peruća brojne su pojave jakih krških izvora, koji dreniraju više razine sliva. Rijeka u gornjem dijelu toka teče kroz prostrana povezana krška polja, a nizvodno od Trilja hidrogeološka situacija se bitno mijenja i rijeka postaje kanjonskog tipa. Dio vode rijeke se gubi u brojnim ponorima, čime se napajaju veliki krški izvori u priobalju (Jadro, Žrnovnica, vrulja Duboka).

Sliv priobalnih izvora u Podbiokovlju obuhvaća djelomično vrulju u uvali Duboka, jer vrulja najveći dio vode dobiva od ponirućih voda rijeke Cetine i priobalno područje s priobalnim izvorima na području Baške vode.

Rijeka Neretva je najveća rijeka istočne obale Jadranskog mora, čiji se veliki dio sliva prostire u Bosni i Hercegovini. U Hrvatskoj je ušće i dijelovi krškog sliva na desnoj i lijevoj obali rijeke. Slivu prirodno pripadaju i brojni priobalni izvori Dubrovačkog primorja, jer su podzemno povezani s ponornim zonama rijeke Trebišnjice, koja ponire u Popovom polju i ponovo se pojavljuje na izvorima uz lijevu obalu rijeke Neretve u području delte.

Sliv izvora na desnoj obali rijeke Neretve seže duboko u Dalmatinsku Zagoru i Hercegovinu. Ukupna površina sliva je višestruko veća na području Hercegovine. Za dinamiku vode i njeno višestruko istjecanje na površinu terena značajne su pojave vodonepropusnih fliških stijena, koje se u obliku izduženih ljustaka prostiru unutar prevladavajućeg dobro vodopropusnog karbonatnog kompleksa stijena. Imotsko polje je najviša stepenica istjecanja u slivu, a slijede Rastočko i Kokoričko polje. Nakon poniranja vode u Rastočkom i Kokoričkom polju, vode izviru ponovo uz sjeveroistočni rub Vrgoračkog polja, teku poljem, poniru i konačno istječu na izvorima uz Baćinska jezera, desnu obalu Neretve i području Gradca u priobalju.

Sliv izvora na lijevoj obali rijeke Neretve, uključivo Dubrovačko primorje u Hrvatskoj, je oko 550 km², a najveći dio je na području istočne Hercegovine. Na lijevoj obali su tipične karbonatne stijene zone Visokog krša bez sudjelovanja fliških stijena. Prva fliška barijera prostire se duž obalne zone Dubrovačkog područja i ona na određeni način usmjeruje vode Trebišnjice prema Popovom polju. Međutim, kontinuitet barijere u priobalju probijen je erozijskim procesima na više mjesta, pa se u području od ušća Neretve do Cavtata pojavljuju brojni krški izvori. Na taj način formiran je i najveći krški izvor južne Hrvatske, Ombla u Dubrovniku, koji spada u najveće krške izvore Dinarida.

Prosječni protoci

Prosječni godišnji protoci s hidrološkom površinom sliva, najčešće procijenjenom preko protoka i oborine) prikazani su u tablici 10. Specifični dotoci kreću se do 40 l/s/km².

Tablica 10: *Prosječni godišnji protoci*

vodotok	postaja	površina sliva km ²	udaljenost od ušća km	prosječni protok m ³ /s	specifični dotok l/s/km ²	napomena
Zrmanja	Zrmanja	120		4,62	38,5	
	Palanka	170	58,60	5,39	31,7	
	Prevjjes	198	52,00	5,00	25,3	gubici duž toka
	Mokro Polje	246	48,70	4,70	19,1	
	Ervenik	343	38,20	4,33	12,6	
	Žegar	405	27,10	9,92	24,5	
	Jankovića Buk	1292	14,70	37,0	28,6	
Vransko jezero	Prosika	460		3,53		
Krčić	Krčić	164	2,10	4,60	28,0	
Krka	Topolje most	436	55,0	12,2	28,0	
	Marjanovići	890		21,2	23,8	
	Miljacka	1087	33,0	31,2	28,7	
	Skradinski Buk gornji	2108	7,00	54,6	25,9	
Butišnica	Bulin most	325		8,25		
Čikola	Drniš	363		6,00		
Goduča	Lađevci	165	7,30	1,06		
Jadro	Vidovića most	297		9,73	32,8	
Žrnovnica	Labolatorij	108		1,84	17,0	
Cetina	Vinalić	390	98,0	12,3	31,5	
	Šilovka	1380	74,9	41,8	30,3	
	Han	2090	63,7	59,7	28,6	
	Gardunska mlinica	3640	48,0	99,0	27,2	
Vrlička	Kamenmost	402	13,8	9,38		
Suvaja	Proložac	300	4,50	0,88		
Sija	Šumet		4,00	1,76		
Matica Vrgorska	Dušina	385		15,1		
	Krotuša	196		7,87	40,2	
Neretva	Metković	10240	20,7	341	33	
Ombla	Komolac	600		24,1	40,2	
Duboka ljuta	Robinzon uzv.	44	0,06	1,63	37,0	
Ljuta	Dvori	88	4,60	3,93		
Konavoštica	Gruda	18	1,50	0,725		

Male vode

Najniži protoci kreću se od 0,0 m³/s - suho korito, te od nekoliko litara do najviše 3,0 do 4,0 m³/s (tablica 11).

Tablica 11: *Najmanji i najveći zabilježeni protoci*

vodotok	postaja	najmanji protok	najveći protok	vodotok	postaja	najmanji protok	najveći protok
Zrmanja	Zrmanja	0,000	87,1	Jadro	Vidovića most	0,800	58,3
	Palanka	0,487	102	Žrnovnica	Labolatorij	0,199	52,9
	Prevjjes	0,470	102	Cetina	Vinalić	0,172	135
	Mokro Polje	0,000	120		Šilovka	0,000	246
	Ervenik	0,000	165		Han	1,640	333
	Žegar	0,000	199		Gard. mlinica	1,170	487
	Jankovića Buk	0,165	367	Vrlička	Kamenmost	0,127	80,1
Vransko jezero	Prosika	0,000	6,03	Suvaja	Proložac	0,000	182
Krčić	Krčić	0,000	67,8	Sija	Šumet	0,000	46,9
Krka	Topolje most	1,150	87,7	Matica Vrgorska	Dušina	0,703	123
	Marjanovići	3,290	125		Krotuša	0,000	48,9
	Miljacka	2,040	203	Baćina jezero	Šipak	0,018	67,1
	Skradinski Buk	4,990	565	Ombla	Komolac	3,960	104
Butišnica	Bulin most	0,100	125	Duboka ljuta	Robinzon uzv.	0,145	9,5
Čikola	Drniš	0,000	73,1	Ljuta	Dvori	0,190	53,0
Goduča	Lađevci	0,000	22,9	Konavoštica	Gruda	0,000	54,8

Slivna područja i slivne cjeline

Provedene su hidrološke i hidrogeološke analize za utvrđivanje slivnih područja i slivnih cjelina, temeljem Zakona o vodama i slivnim područjima kao osnovnim jedinicama upravljanja vodama, te preporukama iz Okvirne direktive o vodama. Usvojene slivne cjeline čine osnovu za bilanciranje hidroloških, ekoloških i drugih vodnogospodarskih pojava i procesa. To su homogena vodna područja unutar kojih je moguće pratiti stanje i kretanje voda, uključujući površinske vode, pripadajući dio podzemnih voda - vodonosnika i priobalno more. To su cjeloviti slivovi većih rijeka na prostoru hrvatske, međuslivovi izdvojenih dionica velikih međunarodnih rijeka ili objedinjeni slivovi manjih susjednih vodotoka zajedno s površinama koje se odvođe neposredno u more. Na ovaj način se sve vode, slatke i slane, sagledavaju zajedno kao jedinstveni prirodni sustav (tablice 12, 13 i 14).

Tablica 12: Slivna područja i slivne cjeline sliva Jadranskog mora

V. P.	Slivne cjeline	Osnovna slivna područja	Površina osnovnih s.p. (km ²)	Površina s.c. (km ²)	Površina V.P. (km ²)	Površina ukupno (km ²)	
SLIV JADRANSKOG MORA	PRIMORSKO-ISTARSKI SLIV OVI	Istra	Mirna	751,0	2765	8918	21405
			Raša, Boljunčica	621,2			
			Priobalno područje	1382,5			
			Otoci	10,1			
		Kvarnerski zaljev	Kvarnerski zaljev	1100,4	2042		
			Otoci (Krk, Cres, Lošinj, ostali otoci)	942,0			
		Lika, Gacka i priobalje	Lika Gacka	1634,0	4111		
			Priobalje	2077,8			
	Otoci (Rab, Pag, ostali otoci)		399,8				
	DALMATINSKI SLIV OVI	Zrmanja i Ravni kotari	Zrmanja	1528,5	3291	12487	
			Ravni kotari	1336,4			
			Otoci	426,5			
		Krka i priobalno područje	Krka	1924,9	2650		
			Priobalno područje Zadar – Trogir	574,8			
			Otoci (Ugljan, Pašman, Dugi otok, Kornat, ostali otoci)	150,4			
		Cetina i priobalno područje	Cetina	1486,8	4079		
Priobalno područje Dubac – Gradac			1721,0				
Otoci (Šolta, Braš, Hvar, Vis, ostali otoci)			871,8				
Neretva i Dubrovačko primorje		Sliv desne obale Neretve	1093,5	2467			
	Priobalno područje Dubrovnika	535,5					
	Poluotok Pelješac	364,4					
	Otoci (Korčula, Latovo, Mljet, ostali otoci)	473,2					

Tablica 13. *Prosječne oborine, P i stvarna evapotranspiracija, ET sliva Jadranskog mora*

Red. br.	NAZIV OKRUPNJENE SLIVNE CJELINE	POVRŠINA (km ²)	P (mm)	ET (mm)
1.	Istra	2755	1141	672
2.	Kvarnerski zaljev	1101	2267	892
3.	Lika, Gacka i priobalje	3712	1788	896
4.	Zrmanja i Ravni kotari	2870	1408	815
5.	Krka i priobalno područje	2487	1208	485
6.	Cetina i priobalno područje	3215	1408	731
7.	Neretva i Dubrovačko primorje	1995	1584	841
8.	Svi otoci	3270	1073	784
	SLIV JADRANSKOG MORA	21405	1426	761
	HRVATSKA	56538	1162	700

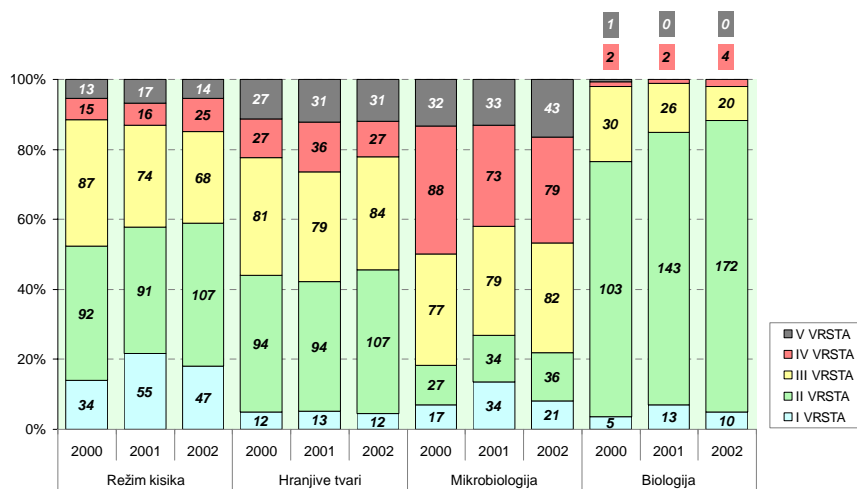
Tablica 14: *Prosječne vlastite vode, specifično otjecanje i koeficijent otjecanja sliva*

Red. br.	NAZIV OKRUPNJENE SLIVNE CJELINE	POVRŠINA (km ²)	Q (m ³ /s)	q (m ³ /s·km ²)	C
1.	Istra	2755	41	14,88	0,411
2.	Kvarnerski zaljev	1101	48	43,60	0,606
3.	Lika, Gacka i priobalje	3712	105	28,29	0,499
4.	Zrmanja i Ravni kotari	2870	54	18,82	0,421
5.	Krka i priobalno područje	2487	57	22,92	0,598
6.	Cetina i priobalno područje	3215	69	21,46	0,481
7.	Neretva i Dubrovačko primorje	1995	47	21,46	0,469
8.	Svi otoci	3270	30	9,17	0,270
	UKUPNO SLIV JADRANSKOG MORA	21405	451	21,07	0,466
	UKUPNO HRVATSKA	56538	827	14,63	0,397

Kakvoća kopnenih voda

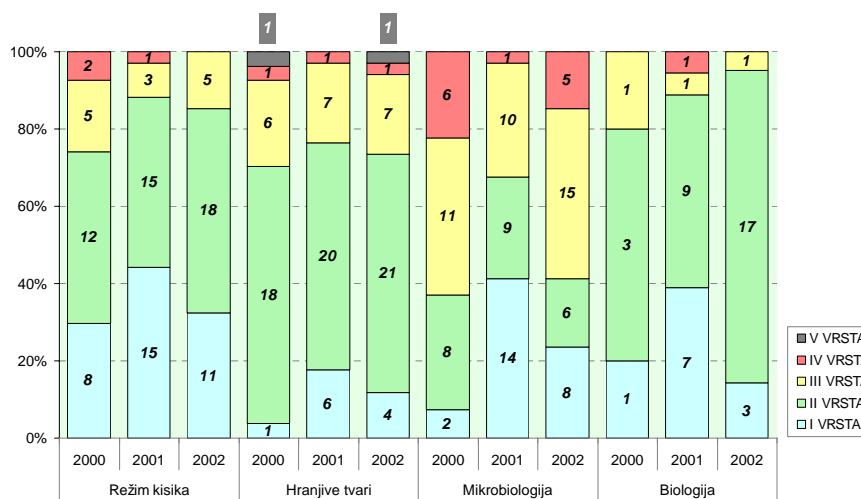
Monitoring kakvoće voda služi za ocjenu ekološke funkcije voda te utvrđivanje uvjeta korištenja voda. Program ispitivanja kakvoće voda na vodama je utvrđen s ciljem praćenja kakvoće voda: u zaštićenim područjima i to za podzemne i površinske vode, koje se koriste ili planiraju koristiti za vodoopskrbu; vode u nacionalnim parkovima i parkovima prirode; u dijelovima vodotoka gdje su utoci državnih i prekograničnih voda; ispusti tehnoloških i komunalnih otpadnih voda i u dijelovima gdje se vodni resursi koriste ili planiraju koristiti u određene svrhe (hidroelektrane, uzgajališta riba i dr.). Uslijed promjene sustava praćenja i neovisno o prethodnim ispitivanjima, 2000. godina je prihvaćena kao polazna godina u ocjeni kakvoće voda na području Republike Hrvatske. Uz obvezne pokazatelje:

režim kisika, hranjive tvari, mikrobiološki i biološki pokazatelji, koji određuju opću ekološku funkciju voda, ispituju se i dodatni pokazatelji, kao metali, organski spojevi i radioaktivnost, prema posebnim programima. Vode se prema graničnim vrijednostima obveznih pokazatelja svrstavaju u pet vrsta. Vode na koncentriranim ulazima i izlazima iz Hrvatske bile su uglavnom iste kakvoće u odnosu na većinu ispitivanih pokazatelja, što znači da na prostoru Hrvatske nije došlo do značajnijih promjena kakvoće voda (slika 13 i 14).



Broj mjernih postaja/Skupine pokazatelja

Slika 13: Ukupni prikaz stanja kakvoće voda rijeka i jezera



Broj mjernih postaja/Skupina pokazatelja

Slika 14: Ocjena stanja kakvoće vode izvora kao površinskih voda

Podaci onečišćenja mora s kopna, koje dolazi vodotocima, značajni su za planiranje zaštite priobalnog mora, te su prikazani u tablici 15.

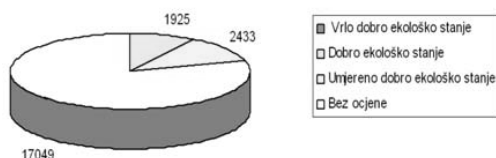
Tablica 15: Ocjena kakvoće vode na ušćima rijeka u Jadransko more

Skupina pokazatelja	Sliv	Primorsko-istarski slivovi				Dalmatinski slivovi			
	Vodotok	Dragonja	Mirna	Raša	Rječina	Zrmanja	Krka	Cetina	Neretva
	Mjerna postaja	Ušće	Porton. most	Ušće	Ušće	Obrovac	Nizv.- Sk. Buka	Nizv.- HE Zakućac	Rogotin
Vrsta monitoringa	PGM-LBA	LBA	LBA	LBA	LBA	LBA	LBA	LBA	LBA
B	Režim kisika	II	II	II	III	III	II	III	III
C	Hranjive tvari	III	II	III	II	II	I	II	II
D	Mikrobiološki	III	IV	III	IV	IV	IV	IV	IV
E	Biološki	III	III	III		II	II	III	III
Kategorija vode		II	II	II	II	II	II	II	II

Za potrebe ocjene opće ekološke funkcije vode sustavno se prati stanje voda izvorišta. Izvorišta koja se ispituju u okviru nacionalnog monitoringa kakvoće kopnenih voda upućuju ne samo na stanje kakvoće u izvorišnom dijelu rijeke, nego i na stanje kakvoće voda vodonosnika pa su stoga ocjenjena prema kriterijima za površinske vode i prema kriterijima za podzemne vode Uredbe o klasifikaciji voda. Prema kriterijima za površinske vode (režim kisika, hranjive tvari i biološki pokazatelji), vode izvorišta su svrstana u I. i II. vrstu, prema mikrobiološkim pokazateljima u II. i III. vrstu. Prema ispitivanim metalima vode izvora svrstavaju se u I. do II. vrstu, osim za bakar (III. do V. vrsta) i olovo (III. i IV. vrsta) i to samo tijekom 2000. godine, a prema organskim pokazateljima vode izvora uglavnom su I. vrste.

Procjena ekološkog stanja i potencijala voda

Analizom postojećih podataka o vodenoj flori i fauni, te o ugroženim vrstama vezanim za vode, dobivena je početna slika o područjima koja su prioritet u zaštiti bioraznolikosti vodenih i priobalnih staništa. Zahvaljujući biogeografskom položaju, te očuvanosti većine glavnih tipova staništa, Hrvatska još i danas ima u europskim razmjerima visoku bioraznolikost. Stoga, opće ekološko stanje dijela vodotoka i njihovih slivnih područja daje perspektivu da se njihove biološke značajke mogu očuvati i u budućnosti. Osobita specifičnost Hrvatske jest krško područje, čije je podzemlje stanište jednoj od najbogatijih špiljskih fauna na svijetu. Preliminarna procjena ekološkog stanja provedena je na temelju podataka o bioraznolikosti i hidromorfološkim značajkama slivova (slika 15).



Slika 15: Preliminarna ocjena ekološkog stanja pojedinih slivova (km²)

Kakvoća prijelaznih voda i priobalnog mora

Praćenje kakvoće mora provodi se na temelju programa ispitivanja koje obavlja više državnih institucija. Procjena kakvoće priobalnog mora provedena je na temelju podataka sakupljenih u okviru većeg broja istraživačkih programa i projekata. Priobalno more je klasificirano prema trofičkom stanju, na osnovu trofičkog indeksa (TRIX), interpolacijom vrijednosti trofičkog stanja u klasifikaciju ekološkog stanja prema Okvirnoj direktivi o vodama Europske unije.

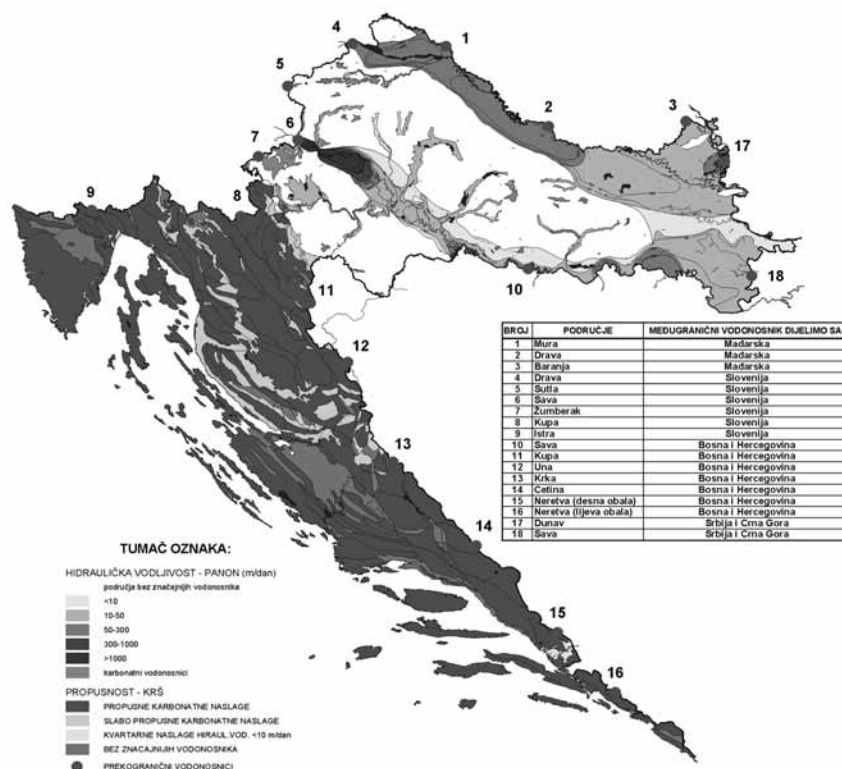
Stanje kakvoće mora, analizirano na osnovu trofičkog indeksa, može se, u dijelu akvatorija od Savudrije do Zadra, ocijeniti najvišim stupnjem (vrlo dobro ili oligotrofno). Stanje za jedan ili dva stupnja lošije (dobro i umjereno dobro ili oligo-mezotrofno i mezotrofno) procijenjeno je za unutrašnje dijelove Limskog kanala, Pulske luke te Bakarskog i Riječkog zaljeva. Limski kanal i Bakarski zaljev osobita su područja pod znatnim utjecajem podzemnih voda, a time i koncentriranog donosa hranjivih tvari s okolnih područja. Rezultati analiza pokazali su da se najveći dio priobalnog mora na području Dalmacije može smatrati oligotrofnim ili vrlo dobrim. More Šibenskog zaljeva i istočnog dijela Kaštelanskog zaljeva svrstava se u eutrofne ili čak u ekstremno eutrofne. Širi akvatorij Šibenika, Splita te Ploča može se smatrati mezotrofnim, iako su koncentracije klorofila a vrlo često usporedive s otvorenim vodama. Područje mora Dubrovnika (s izuzetkom luke Gruž) je oligotrofno.

Na područjima gdje se u more ulijevaju veće rijeke: Krka, Jadro, Žrnovnica, Cetina, Neretva prisutan je unos hranjivih tvari. Kako je N/P omjer vrlo visok, negativni efekti dolaze do izražaja u onim područjima, gdje u blizini ušća rijeka postoje veći urbani centri, čijim otpadnim vodama u more dopijevaju i soli fosfora. Estuarij Krke je područje gdje je to došlo do punog izražaja, pa je proces eutrofikacije najsnažnije prisutan u području Šibenskog zaljeva. U nešto manjoj mjeri to vrijedi i za Kaštelanski zaljev gdje je utjecaj rijeke manji, ali je antropogeni utjecaj veći. Utjecaj Neretve na proces eutrofikacije manji je nego što bi se to moglo očekivati. No, čim se iz ovih zatvorenih zaljeva izade u kanalske vode srednjeg Jadrana, situacija je bitno bolja i ove vode po svojim značajkama postaju sličnije vodama otvorenog mora. Može se zaključiti da je najveći dio hrvatskog Jadranskog mora oligotrofan, odnosno vrlo dobre kakvoće, a najveći problem su uglavnom zatvoreni priobalni dijelovi mora uz velike gradove Šibenik, Rijeka, Split, Pula itd.

3.2. Podzemne vode

Prostorni razmještaj

Na području Hrvatske postoje dva tipa vodonosnika, međuzrnski, koji prevladavaju u panonskom dijelu i krški, sekundarne pukotinske poroznosti, koji prevladavaju u području Dinarida. Jadranski sliv u cijelosti pripada krškom području Dinarida. Podzemna voda ima velike brzine podzemnih tokova (do 30 cm/s). Veliki krški izvori imaju velike amplitude istjecanja vode. Na krškim poljima su zone izviranja i poniranja, a to ponekad uzrokuje višekратно izviranje i poniranja vode u istim slivovima. Osnovni problem količinske nestabilnosti krških vodonosnih sustava vezan je uz duga ljetna sušna razdoblja i relativno slabe retencijske sposobnosti vodonosnika. Smanjenje istjecanja vode na izvorima, a ponekad i potpuna presušivanja čak i velikih krških izvora događa se u ljetnim razdobljima (slika 16).



Slika 16: Opće hidrogeološke značajke vodonosnika

Dobar dio značajnijih podzemnih vodonosnika su međugranični i u svim slučajevima ih dijelimo samo s jednom susjednom državom. Do sada nisu sustavno provedena istraživanja ovih vodonosnika.

Količine podzemnih voda

Opće značajke vodonosnika

Temeljna značajka sliva Jadranskog mora su razvijeni krški vodonosnici. Značajke krških slivova su prostrane zone prikupljanja vode u planinskim područjima vrlo bogatim oborinama i složeni uvjeti izviranja na kontaktima okršenih vodopropusnih karbonatnih vodonosnika i zona vodonepropunih klastičnih stijena ili pod uspornim djelovanjem mora.

Obnovljive količine podzemnih voda

Određivanje zaliha podzemnih voda temelji se na procjenama zbog složenih hidrogeoloških odnosa, te nedovoljne i neravnomjerne istraženosti vodonosnika. Zalihe podzemnih voda podrazumijevaju dvije osnovne vrste: stalne i obnovljive zalihe. Radi važnosti podzemnih voda u vodoopskrbi razmatrane su obnovljive zalihe podzemnih voda. Obnovljive zalihe čine onaj dio oborina i voda iz vodotoka kojima se napajaju vodonosnici tijekom hidrološkog razdoblja. Obzirom na definiciju, mogu se smatrati količinom vode za trajno korištenje bez nepovoljnih posljedica. Potrebno je definirati i eksploatacijske zalihe za svako pojedino crpilište, koje su samo dijelom u izravnoj vezi s obnovljivim zalihama. Iako sve ukazuje da su obnovljive zalihe podzemnih voda karbonatnih vodonosnika znatno veće, uslijed složenih hidrogeoloških odnosa u podzemlju, te zbog nedovoljne istraženosti zalihe su izračunate samo na temelju izdašnosti izvora i vodozahvatnih objekata (tablica 16).

Tablica 16: *Obnovljive količine podzemnih voda*

Područje		Obnovljive količine 10 ⁶ m ³ /god.		
		Aluvijalni vodonosnik	Karbonatni vodonosnik	Ukupno
Crnomorski	Slivovi Drave i Dunava	802,6	7,8	810,4
	Sliv Save	1198,3	653,8	1852,1
Jadranski	Istarsko-primorski slivovi	-	2639,5	2 639,5
	Dalmatinski slivovi	-	3831,3	3 831,3
HRVATSKA		2006,9	7132,4	9133,3

Zbog osobitosti krških vodonosnika i složenih strukturno-tektonskih odnosa, koji su vodonosnike doveli u kontakt s nepropusnim naslagama, krška područja se odlikuju vrlo složenim tokovima podzemne vode, koji često uključuju višestruko izviranje i poniranje vode na različitim horizontima unutar istog sliva. U takovim slučajevima problematično je i razdvajanje površinskih i podzemnih voda, a osobito utvrđivanje zaliha podzemne vode. Obnovljive zalihe podzemnih voda izračunate su na temelju minimalnih izdašnosti izvora, vodozahvatnih objekata i procijenjenih efektivnih poroziteta i retencijskih sposobnosti karbonatnih vodonosnika.

Kakvoća podzemnih voda

Kakvoća podzemne vode na području krša (pojedini izvori i zdenci), sustavno se prati u okviru nacionalnog monitoringa i ocjenjuje prema Uredbi o klasifikaciji voda. Podzemne vode se prvenstveno koriste za vodoopskrbu, te se njihova kakvoća prati i kontrolira po pokazateljima definiranim Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće. Na temelju podataka praćenja kakvoće podzemnih voda vezanih za vodozahvate, dan je prikaz općeg stanja kakvoće podzemne vode.

Krško područje sliva Save

Podzemne vode sa krškog područja sliva Save pripadaju kalcijско-hipogenkarbonatnom, kalcijско - magnezijском/magnezijско - kalcijском geokemijskom tipu voda. U kemijskom pogledu, podzemne vode su dobre kakvoće, ali na pojedinim izvorima je prisutno stalno mikrobiološko onečišćenje fekalnog porijekla. Niske koncentracije nitrata, ortofosfata i vrijednosti kemijske potrošnje kisika karakteristične su za čiste vodonosnike Dinarskog krša.

Primorsko-istarski slivovi

Sve podzemne vode na području Istre u ustaljenim hidrološkim uvjetima imaju dobre organoleptičke osobine: bistre su, bez boje, mirisa i vidljive otpadne tvari. Temperature podzemne vode su od 9 do 16°C i mijenjaju se prateći temperature zraka. Prema hidrokijskom facijesu vode su pretežito kalcijско hidrokarbonatnog tipa, prema tvrdoći su srednje tvrde do tvrde, odnosno vrlo tvrde. Izuzetak po tvrdoćama čine vode izvora u slivu Boljunčice, koje spadaju u najmekše vode u Istri, te jako mineralizirane i tvrde vode pulskih zdenaca. Zbog utjecaja mora, odnosno zbog značajnijeg udjela marinskih komponenti u oborinama, te izluživanja natrija, kalija i magnezija iz flišnih naslaga raste njihov udio u vodi, a usporedo i sadržaj klorida i sulfata, no time nije ugrožena kakvoća vode za piće. Povećanje koncentracije dušikovih i fosforinih spojeva u podzemnim vodama ukazuje na posljedicu unosa otpadnih voda naselja, a dijelom i ispiranja poljodjel-skih površina. Općenito se može istaknuti da je najniži sadržaj nitrata zabilježen na izvorima Kožjak i Sv. Ivan, a najviši u vodama pulskih zdenaca. Organski spojevi su najzastupljeniji sadržajem mineralnih ulja koji se gotovo na svim izvorima povremeno pojavljuju u povećanim koncentracijama. Svi izvori, izuzev izvora Kožjak i Plomin, te većine zdenaca, su stalno bakteriološki onečišćeni.

Vode svih većih i izdašnjih izvora na području Kvarnerskog zaljeva su kalcijско-hipogenkarbonatnog tipa, umjerene tvrdoće i s niskim sadržajem klorida i sulfata. Kakvoća vode izvora Rječine i izvora u Bakarskom zaljevu je vrlo dobra, izuzev za vrijeme i nakon jačih kiša, a posebice nakon sušnih

razdoblja, kada se u vodi javlja bakteriološko onečišćenje. Izvori sliva u gradu Rijeci (Zvir 1 i zdenci u Martinšćici), u kemijskom pogledu su dobre kakvoće, ali je konstatno prisutno mikrobiološko onečišćenje fekalnog porijekla. Vode izvora u zapadnom dijelu grada Rijeke su kemijski onečišćene i mikrobiološki jače zagađene. Koncentracije nitrata u vodi svih izvorišta na području ovoga sliva su znatno niže od maksimalno dozvoljene za vodu za piće, a podzemne vode nisu niti onečišćene sa teškim metalima.

Kakvoći voda i zaštiti na području Like i Podvelebita pridavao se zbog njene uglavnom vrlo dobre kakvoće mali značaj, te se kontrola kakvoće vode radi se samo za izvorišta Novljanska Žrnovnica, Gacka, te pojedine izvore u općini Gospić. Najveća opasnost prijete izvorima u priobalju, jer su to vode koje površinski teku i poniru u velikim krškim poljima i zaravnima Like koja su nastanjena i bez odgovarajućih sustava kontrole otpadnih voda. Osobito je ugroženo crpilište Hrmatine, koje se nalazi u sklopu HE Senj. Kakvoća voda izvora Novljanske Žrnovnice, te Žižića vrelo za sada je izuzetno dobra, ali sa svim negativnim efektima krških izvora u vrijeme nailaska vodnih valova kada se javlja povećana mutnoća i bakteriološko onečišćenje.

Podzemna voda u slivu rijeke Gacke izuzetno je dobre kakvoće budući da je sliv formiran je u vrlo slabo naseljenom području Ličkog Sredogorja. Fizikalno-kemijski pokazatelji ujednačeni su, kako tijekom visokog vodostaja, tako i tijekom ljetnog hidrološkog minimuma. Glavni problem izvora rijeke Like je veliko zamućenje kod kiša većih intenziteta, te mikrobiološko onečišćenje fekalnog porijekla. Na kaptazu kod Medaka, mogu negativno djelovati naselja, stoka i poljoprivreda.

Dalmatinski slivovi

Podzemne vode sliva rijeke Zrmanje su kalcijsko-hidrokarbonatnog tipa, osim priobalnih izvora gdje je evidentan utjecaj mora. Međutim, Gračac sa otpadnim vodama predstavlja latentnu opasnost za izvorišta na razini rijeke Zrmanje. Antropogeni utjecaj na podzemne vode evidentan je jedino na izvoru Dožinovac, a odražava se povećanim sadržajem ukupnog fosfora, što je posljedica njegova smještaja na poljoprivrednom području. Sve vode su povremeno bakteriološki onečišćene.

Zajednička značajka podzemnih voda Ravnih Kotara je da su tvrdoća i alkalitet približno dvaput veće od tipičnih krških voda. Naime, ove vode sadrže znatno više otopljenog ugljičnog dioksida od tipičnih krških voda, a što je odraz područja napajanja ovih izvora. Vode potječu od Bokanjačkoga blata i Nadinskoga polja između Benkovca i Biograda, a kako je to područje bogato nalazište treseta, evidentan je razlog povećanog sadržaja otopljenog ugljičnog dioksida. Izuzetak su vode u priobalnom području koje su povremeno pod utjecajem mora.

Najveći dio podzemnih voda sliva rijeke Krke pripada kalcijско-karbo­natnom tipu. Izuzetak su podzemne vode u najnižvodnijem dijelu sliva, gdje je Krka u razini i pod utjecajem mora pa pripadaju natrijsko-kloridnom tipu, ukupne mineralizacije veće od 1 g/l, te vode izvora Jaruga i Pećina koje su karakterizirane povećanim sadržajem sulfata budući da se u području napajanja ovih izvorišta nalaze naslage gipsa (oko Knina i Drniša). Sve podzemne vode su umjereno tvrde do tvrde i dovoljno zasićene s kisikom. Vode su bakteriološki veći dio godine zagađene.

Najveći dio podzemnih voda u slivu Vranskog jezera pripada kalcijско-hidrokarbonatnom tipu, ukupne mineralizacije manje od 1 g/l, osim u pri­obalnoj zoni i dijelu Vranskog polja, gdje su podzemne vode pod utjecajem mora. Po tvrdoći vode su tvrde do umjereno tvrde. Vode izvan utjecaja mora su dobre kakvoće, izuzev povremenog bakteriološkog onečišćenja. Izvorišne vode u slivu Pantana većim dijelom godine su zaslanjene morskom vodom, a najviše u sušnom razdoblju.

Podzemne vode u slivu rijeke Cetine su relativno dobre kakvoće. Prema hidrogeokemijskom facijesu pripadaju kalcijско-hidrokarbonatnom tipu voda. Voda sadrži malo otopljenog ugljičnog dioksida, dobro je zasićena kisikom i umjerene je tvrdoće. Voda se u pravilu ne zamućuje, izuzev vode izvora Jadro gdje je zamućenje relativno često i intenzivno. Na izvoru Jadro također se javlja i povremeno povišena koncentracija mineralnih ulja i feno­la, te dušikovitih i fosforitnih spojeva. Kakvoća vode izvorišta u slivu rijeke Cetine opada zbog stalnog utjecaja antropogenog onečišćenja. Sve podzemne vode su bakteriološki onečišćene.

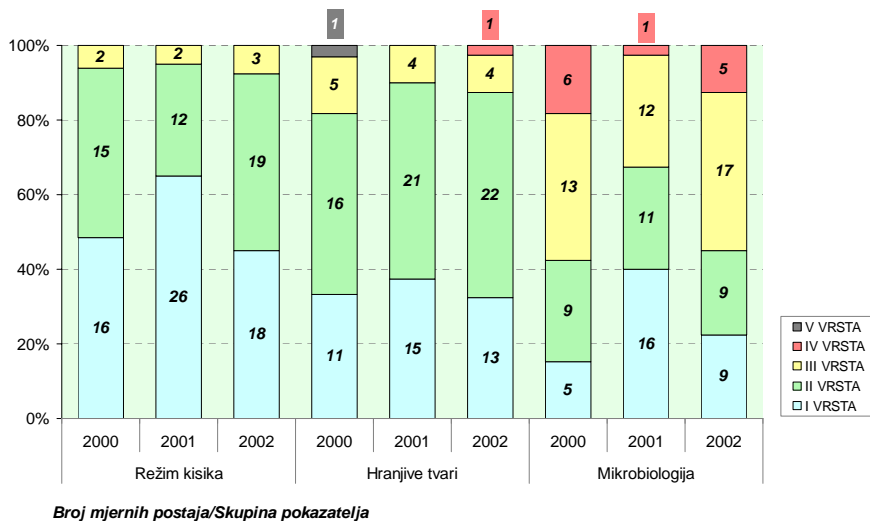
Osnovni kemijski sastav podzemnih voda u slivu desne i lijeve obale Neretve bitno se razlikuje. Podzemne vode sliva desne obale Neretve su kalcijско-hidrogenkarbonatno - sulfatne vode. Sadrže malo otopljenog ugljičnog dioksida i imaju relativno malu karbonatnu tvrdoću, ali veći dio godine, i to tijekom nižih vodostaja, sadrži znatniju količinu kalcijeva i mag­nezijeva sulfata, odnosno veliku ukupnu tvrdoću i imaju povećan isparni ostatak. Ove vode sadrže relativno malo klorida, izuzev izvora Prud koji je povremeno kao i rijeka Neretva pod utjecajem mora. Sve vode su bakteri­ološki onečišćene, a posebice izvor Prud. Podzemna voda se rijetko zamuću­je. Sve vode su dobro zasićene s kisikom, a biološka potrošnja kisika i utrošak permanganata su razmjerno niski što upućuje da su ove vode razm­jerno malo opterećene organskom tvari.

Podzemne vode u slivu lijeve obale Neretve uglavnom su kalcijско-hidro­genkarbonatnog tipa. Sadrže relativno mali isparni ostatak, male su miner­alizacije, imaju malu ukupnu i karbonatnu tvrdoću, sadrže malo otopljenog ugljičnog dioksida, malo klorida i sulfata. Dobro su zasićene kisikom. Temperatura vode kreće se do 16,8°C. Biološka potrošnja kisika, utrošak permanganata, kao i fosforitni spojevi u vodi izvorišta su u dopuštenim grani-

cama, ali su vode dosta bakteriološki onečišćene. U vodi izvora povremeno se pojavljuju povećane koncentracije klorida, fosfata i sulfata. Za vrijeme oborina velikih intenziteta voda se na pojedinim izvorima zamuti.

Zaštićena područja

Dijelovi slivnih područja, koja se koriste ili su predviđena kao zahvati vode za piće, tretiraju se kao zaštićena područja. Na tim područjima pokazuje se potreba za dopunskim monitoringom radi utvrđivanja stanja voda. U zaštićenim područjima sustavno se prati kakvoća voda pojedinih izvora i zdenaca koji se koriste za vodoopskrbu na lokacijama javnih vodocrpilišta i ocjenjuje se prema Uredbi o klasifikaciji voda prema kriterijima za podzemne vode (slika 17). Može se uočiti da je ocjena stanja kakvoće izvorišne vode prema kriterijima za podzemne vode nešto povoljnija u odnosu na prikaz prema kriterijima za površinske vode, ali i nadalje je prema režimu kisika i hranjivim tvarima pretežito I. i II. vrste, a prema mikrobiološkim pokazateljima II. i III. vrste. Na temelju rezultata analiza ispitivanih metala, odstupanja kakvoće vode od planirane su najčešća kod olova, kadmija, kroma i bakra. Kakvoća voda prema ispitivanim organskim spojevima je I. vrste, s obzirom na mineralna ulja, fenole i lindan, na svim piezometrima te zadovoljava planiranu vrstu.



Slika 17: Ukupna ocjena kakvoće voda izvorišta i zdenaca

3.3. Bilanca voda

Bilanca voda zasnovana je na analizama prosječnih tridesetogodišnjih podataka za četiri slivna područja u Hrvatskoj. Korišteni su izmjereni podaci oborina i temperatura zraka te mjereni protoci vode za reprezenta-

tivno 30-godišnje razdoblje (1961.-1990.). Crnomorski sliv je bogatiji ako se u obzir uzmu vlastite i tranzitne vode, dok su vlastite vode jadranskog sliva znatno izdašnije, ako se razmatra samo specifični protok. Vode koje dotječu iz Bosne i Hercegovine u jadranski sliv nisu tranzitne u doslovnom smislu jer utječu u Jadransko more. Otoci su iskazani kao posebna cjelina. Prema prosječnoj vodnoj bilanci može se reći da područje Hrvatske obiluje vodama, ali unutar godišnji raspored količina voda nije povoljan, jer postoji izrazita prostorna i vremenska neravnomjernost u rasporedu vodnoga bogatstva (tablice 17 i 18, slika 18).

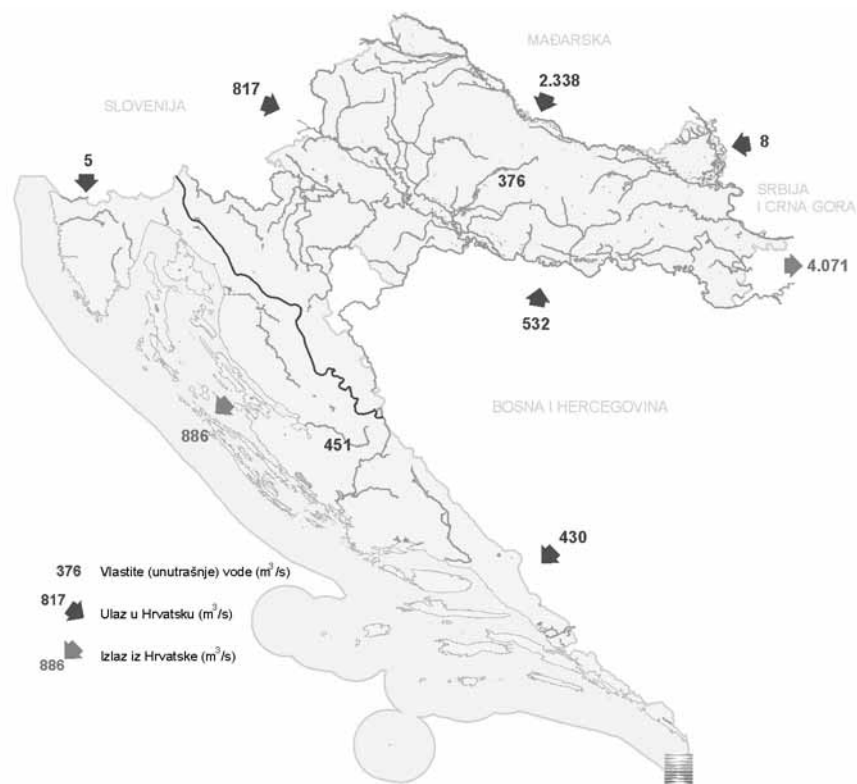
Tablica 17: *Oborine i vlastite vode na području Hrvatske*

Područje	Površina km ²	Oborine mm	Evapo- transpiracija mm	Protok m ³ /s	Specifično otjecanje l/s/km ²
Sliv Save	25 770	1 080	678	328	12,73
Slivovi Drave i Dunava	9 362	782	621	48	5,13
Crnomorski sliv	35 132	1 001	663	376	10,71
Primorsko istarski slivovi	7 567	1 622	814	194	25,63
Dalmatinski slivovi	10 566	1 394	717	227	21,48
Otoci	3 273	1 073	784	30	9,2
Jadranski sliv	21 406	1 426	761	451	21,1
HRVATSKA	56 538	1162	700	827	14,6

Također treba uvažavati i objektivna ograničenja, zbog kojih se samo dio voda iz prirode može privesti društveno-gospodarskoj svrsi. Riječ je o malovodnoj komponenti vodne bilance, tj. o onim vodama koje se ne smiju koristiti jer su nužne za održanje prirodnih ekosustava, te o velikovodnoj komponenti vodne bilance, tj. o dijelu velikih voda koje nije moguće ili nije isplativo zadržavati za kasniju uporabu. Postoji i niz drugih tehničkih, ekonomskih, okolišnih i političkih čimbenika koji ograničavaju mogućnost korištenja vodnih resursa. Podzemne vode, kao jedna od komponenata ukupne vodne bilance, imaju posebno značenje, budući da su najvažnija izvorišta za javnu vodoopskrbu. Njihovo je značenje dodatno naglašeno činjenicom što na velikim prostorima postoje značajni vodonosnici smješteni u krškim regijama i u aluvijalnim naplavinama. Osnovni problem vezan za podzemne vode leži u činjenici što nam njihovo stvarno stanje nije dovoljno poznato, pa dijelom i zbog toga ne mogu pouzdano biti praćeni procesi i bilance.

Određivanje komponenti vodne bilance hrvatskih otoka predstavlja problem. Kako na njima gotovo i nema površinskog otjecanja, a tamo gdje ga ima ono je bujičnog karaktera. Problem je i s krškim dijelom južne Hrvatske posebno na slivnoj cjelini Neretve i priobalnog područja Dubrovnika. Do danas nije pouzdano određen prosječni protok Neretve na

ušću, a ni površina sliva. U području Imotsko-bekijskog polja državna granica i granice slivova stalno se isprepleću a pošto se radi o dubokom i razvijenom kršu ne postoji dovoljno saznanja o ulaznim i izlaznim, prije svega podzemnim tokovima. Slična je situacija s dijelom teritorija Hrvatske smještenog južno od ušća Neretve u Jadransko more.



Slika 18: Prostorna raspodjela kopnenih voda

Tablica 18: Temeljne značajke vodnog bogatstva Hrvatske

Indikator	Crnomorski sliv	Jadranski sliv	HRVATSKA
Površina (km ²)	35 133	21 405	56 538
Stanovništvo (broj)	3 045 829	1 391 631	4 437 460
Vode, ukupno (10 ⁹ m ³ /g.)	128,38	27,94	156,32
Vodno bogatstvo, ukupno* (10 ⁹ m ³ /g.)	83,72	27,94	111,66
Vodno bogatstvo, po stanovniku (m ³ /g./st.)	27 487	20 077	25 163
Vlastite vode, ukupno (10 ⁹ m ³ /g.)	11,86	14,22	26,08
Vlastite vode, po stanovniku (m ³ /g./st.)	3 894	10 218	5 877
Podzemne vode, ukupno (10 ⁹ m ³ /g.)	2,66	6,47	9,13
Podzemne vode, po stanovniku (m ³ /g./st.)	873	4 649	2 057
Koeficijent neovisnosti**	0,142	0,509	0,234
Koeficijent slobode***	0,000	1,000	0,250

* Uključeno 50% voda Dunava i Save nizvodno od ušća Une

** Koeficijent neovisnosti - udio vlastitih voda u obnovljivim vodnim resursima

*** Koeficijent slobode djelovanja - udio voda koje izlaze u Jadransko more (ne otječu na teritorij drugih država)

4. NAVODNJAVANJE

Potrebe i mogućnosti

Razvoj navodnjavanja u priobalju i krškom zaleđu Hrvatske u narednom razdoblju ovisi o nizu prirodnih i društvenih čimbenika. Od prirodnih čimbenika najvažniji su tlo i voda, a od društvenih: pitanja vlasništva, ekonomski uvjeti, te ukupni odnos prema poljoprivredi kao gospodarskoj grani. Što se tiče prirodnih uvjeta stanje je različito ali je sigurno da oborina nedostaje u svim područjima u vegetacijskom razdoblju, te da je navodnjavanje potrebno na svim područjima/zemljištima. Utvrđeno je da korištenje voda i predviđene količine vode za navodnjavanje nisu u sukobu s drugim korištenjima te se stoga bez posebnih količinskih ograničenja navodnjavanje može razvijati na razmatranim područjima.

Vodni resursi i objekti koji su se prije domovinskog rata koristili za znatno veće navodnjavanje nego danas, zbog stagnacije ove djelatnosti zadnjih godina su neiskorišteni i postupno propadaju. Jedan od razvojnih prioriteta mogao bi biti: zaustaviti daljnje propadanje postojećih sustava i dovesti ih u pogonsku spremnost u skladu s novim uvjetima i potrebama. To znači da je potrebno:

- (i) osposobiti postojeće sustave za navodnjavanje, tamo gdje postoje dionici za njihovo korištenje,

- (ii) stvoriti zakonski i organizacijski okvir za razvoj navodnjavanja na tržišnim osnovama i na principu "korisnik plaća",
- (iii) utvrditi stvarne mogućnosti i potrebe za navodnjavanje na pojedinim područjima.

Izrađen je Nacionalni projekt navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama u Republici Hrvatskoj - NAPNAV. Cilj je NAPNAV-a sagledati cjelovitu problematiku navodnjavanja i između ostalog definirati prava, obveze i nadležnosti svih sudionika u provedbi plana i programa navodnjavanja. Realizacije tog nacionalnog projekta bit će u razdoblju od 2006. do 2008. godine. Projekt će se realizirati u tri etape. Prva je izrada planske dokumentacije i prilagodba zakonodavstva. Druga se odnosi na izradu pilot-projekta, a treća na izgradnju sustava za navodnjavanje.

Na području slivova sjevernog Jadrana suvremeni razvoj poljoprivrede, posebice povrćarstva i voćarstva izravno je vezan za razvoj navodnjavanja, posebice na području Istre i primorskih otoka, gdje je uzgoj povrća u ljetnim mjesecima neostvariv bez navodnjavanja. Budući da postoje potrebe, na raspolaganju su vode koje se mogu koristiti uz odgovarajuće uređenje režima voda, putem izgradnje akumulacija. Ograničenja za korištenje površinskih voda na ovom području s aspekta kakvoće vode nema, osim ušća rijeke Mirne i Raše koje su u kontaktu s morem, te u pojedinim razdobljima mogu biti zaslanjene i/ili alkalizirane.

Navodnjavanje na područjima srednjeg i južnog Jadrana je u proizvodnji voća i povrća obvezna uzgojna mjera. Na pojedinim lokacijama postoje dostatne količine vode koje se mogu rabiti za navodnjavanje, napose uz promjenu režima voda, ali na nekim, kao što su otoci, zalihe vode nema.

U jadranskom slivu tijekom ljeta raspoložive količine vode su uglavnom nedovoljne, osim u dolini Neretve, te se za ove potrebe uglavnom moraju koristiti akumulacije. Stoga je na ovim područjima nužno primjenjivati tehnologije i opremu za navodnjavanja kojom se voda minimalno troši. Valja istaknuti da su raspoložive količine vode iz pojedinih vodotoka za potrebe navodnjavanja ponekad ograničenog karaktera, jer se istodobno moraju osigurati navodnjavanje i minimalni vodostaji u vodotoku. Naime, potrebe za navodnjavanjem su najveće u vrijeme suša, što se u pravilu podudara s nepovoljnim hidrološkim režimom u vodotoku. Navodnjavanje se na pojedinim područjima (npr. Sinjsko polje) može sustavno zajednički razvijati i s odvodnjavanjem, jer se kanali za odvodnjavanje zemljišta ujedno mogu koristiti i za navodnjavanje. Isto će se uskladiti izradom integralnih planova upravljanja riječnim slivovima. U zadovoljavanju potreba uzet će se u obzir i drugi nekonvencionalni izvori vode. To posebno vrijedi za otoke i vodom siromašna područja.

Za razvoj navodnjavanja ekonomski uvjeti su kritični čimbenik.

Poljoprivrednici nisu u mogućnosti investirati u sustave navodnjavanja. Zbog toga je vrlo teško očekivati da će se razvijati sustavi koji traže velika ulaganja. Predviđa se da će se uglavnom značajnije razvijati manji lokalni sustavi koji koriste lokalne raspoložive vode i koji su jeftiniji ili postojeći sustavi koji se s manje sredstava mogu obnoviti i staviti u pogon. Vodno gospodarstvo treba stvarati uvjete za navodnjavanje sudjelujući u reviziji sadašnjih planova i projekata izgradnje sustava za navodnjavanje, te u izradi novih. To će se postići izradom integralnih planova upravljanja riječnih slivova. Pri tome će se jednaka važnost poklanjati i osiguranju dovoljnih količina kvalitetne vode za navodnjavanje, i upravljanju potrebama, potičući prihvatljive oblike korištenja voda u navodnjavanju, kao i problemima zaštite voda.

Deficit vode

Deficit vode utvrđen je usporedbom godišnjih vrijednosti prosječne referentne evapotranspiracije E_{To} i vrijednosti efektivnih oborina (tablica 19).

Tablica 19: Deficit vode za klimatske postaje (u mm)

Postaja	E_{To}	Efektivne oborine	Deficit vode
Karlovac	722	890	-168
Poreč	883	731	152
Pula	1038	690	348
Gospić	707	1085	-378
Knin	1007	975	32
Zadar	1052	742	310
Split	1389	652	737
Opuzen	1196	990	206

Znak " - " znači da su godišnje efektivne oborine veće od E_{To}

Vodni potencijal za navodnjavanje

Temeljem hidroloških analiza i procijenjene vodne bilance Hrvatske i Jadranskog sliva izrađen je pregled potencijala vodnih resursa za navodnjavanje. Prostorni je raspored vodnih potencijala prikazan u tablici 20.

Tablica 20: Raspored potencijala vodnih resursa za navodnjavanje

Rang	Opis potencijala	Opis područja
1	Vrlo visoki potencijal	-
2	Visoki potencijal	Kupa, uzvodno od Ladešić Drage, Glina, Korana (nizvodno od Plitvica), Mrežnica, Dobra, Lokvarsko jezero
3	Srednji potencijal	slivovi Mirne i Dragonje, jugozapadni dio Gorskog Kotara, sliv Neretve i Trebižata
4	Umjereni potencijal	sliv Vranskog jezera, slivovi Zrmanje, Krke i Cetine, Sliv Ljute u Konavlima
5	Nizak potencijal	sliv Like i centralni i istočni dio Gorskog Kotara, Imotsko polje (Vrlika, Ričina, Suvaja)
6	Vrlo nizak potencijal	jugozapadni dio Istre, uže priobalno područje, otoci

Definicije rangova potencijala su slijedeće:

1. Vrlo visoki potencijal - osigurane dovoljne količine površinske i podzemne vode za navodnjavanje i u sušnim razdobljima;
2. Visoki potencijal - osigurane vode za navodnjavanje uz izgradnju hidrotehničkih građevina;
3. Srednji potencijal - osigurane vode za navodnjavanje uz značajna ulaganja u izgradnju hidrotehničkih građevina i provedbu kontinuiranog bilanciranja raspoloživih voda;
4. Umjereni potencijal - djelomično osigurane vode za navodnjavanje;
5. Nizak potencijal - male raspoložive vode za navodnjavanje;
6. Vrlo nizak potencijal - područja nepovoljne vodne bilance vrlo malih mogućnosti zahvaćanja vode za navodnjavanje čak i uz izgradnju hidrotehničkih građevina.

Akumulacije za navodnjavanje

Akumulacije su ključni objekti za regulaciju vodnog režima, tj. izravnavanje prirodnog režima otjecanja i za aktivno upravljanje vodnim režimom na slivnom području. Akumulacija može biti jednonamjenska, kao npr. zaštita od poplava, osiguranje vode za vodoopskrbu, za navodnjavanje, energetiku, kontrolu pronosa nanosa, održavanje razina vode u zaobalju, rekreativne svrhe, osiguranje plovidbe ili za poboljšanje ekološkog stanja vodotoka. Učestaliji je slučaj da su ciljevi izgradnje akumulacija višenamjenski, pa govorimo o višenamjenskim akumulacijama. Ciljevi su ponekad

suprostavljani, kada se korištenjem vode za jednu svrhu smanjuje mogućnost korištenja za drugu namjenu. U kontekstu integralnog upravljanja vodama naglašena je potreba za izgradnjom akumulacija.

Za potrebe navodnjavanja nužno je analizirati pitanje hidrološkog bilanciranja voda u akumulaciji. Pri dimenzioniranju akumulacijskog prostora potrebno je analizirati komponente vodne bilance akumulacije i njihov odnos s volumenom akumulacije te raspodjelu korištenja vode iz akumulacije za različite korisnike. Postoje metode koje omogućuju da se na temelju ulaznih karakteristika sustava, značajki akumulacije kao sustava dobiju što povoljniji izlazi iz sustava, tj. višenamjensko zadovoljenje svih potreba. Za planiranje i upravljanje akumulacijama važno je analizirati gubitke na poniranje u zaplavnom području akumulacije u krškom području.

5. DOKUMENTACIJA

1. Biruš, M. (2005): Krška geomorfologija. www.geografija.hr.
2. Bočić, N. (2005): Voda u speleološkim objektima. www.geografija.hr.
3. Bonacci, O. (1987): Karst Hydrology, with Special Reference to the Dinaric Karst. 1-184, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York-London-Paris-Tokyo.
4. Bonacci, O., Horvat, B. (2003): Bilanca voda Hrvatske: dostignuća i potrebe. Zbornik radova 3. Hrvatske konferencije o vodama, Osijek, ur. Gereš, D. str. 33 - 43.
5. Bonacci, O. i Roje-Bonacci T. (2005): Posebnosti krških vodonosnika. Građevni godišnjak `03/'04, HSGI, Zagreb, ur. Simović, V. str.89 - 187.
6. Božičević, S. (1992): Fenomen krš. Str.105, Školska knjiga, Zagreb.
7. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy. Official Journal L 327, 22.12.2000 P.0001. [Okvirna direktiva o vodama: Direktiva 2000/60/EZ Europskoga parlamenta i Vijeća od 23. listopada 2000. kojom se uspostavlja okvir za djelovanje Zajednice na području politike voda (SL L 327, 22.12.2000., P.0001.)].
8. Gereš, D. (1998.): Gospodarska bilanca voda u Republici Hrvatskoj. Građevni godišnjak '98, HSGI Zagreb, uz. Simović, V., str. 221-269.
9. Gereš, D. (2003): Sadašnja i potencijalna uloga hidromelioracija i održivi razvoj. Hrvatske vode, 11 (2003) 45, 365-373.
10. Gereš, D. (2004): Vodnogospodarski aspekt programa navodnjavanja

poljoprivrednih površina u Hrvatskoj. Hrvatske vode, Zavod za vodno gospodarstvo, neobjavljeno. Zagreb.

11. Herak, M. (1987): Geologija. Str. 429, Školska knjiga, Zagreb.
12. Nacionalni projekt navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama u Republici Hrvatskoj - NAPNAV, (2005). Sažetak. Vlada Republike Hrvatske, www.vlada.hr.
13. Racz, Z., Marušić, J., Gereš, D., Hak, N. (2002): Aktualna pitanja integralnog gospodarenja i zaštite tla i voda u poljoprivrednoj proizvodnji Hrvatske. Hrvatske vode, 10 (2002) 38, 1-22.
14. Ridanović, J. (1993): Hidrogeografija. Školska knjiga. Zagreb.
15. Rubinić, J. (2003): Bilanciranje akumulacija za navodnjavanje. Priručnik za hidrotehničke melioracije, III kolo, Knjiga 1, (ur. Ožanić, N.). Str. 239-268. Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci.
16. Statistički ljetopisi Republike Hrvatske (2000 - 2004), Državni zavod za statistiku, Zagreb (SLJH-2000 - 2004).
17. Strategija upravljanja vodama (2006). Hrvatske vode, Zagreb. www.voda.hr
18. UNCED (1992.): UN Conference of Environment and Development - AGENDA 21. Protection of the Quality and Supply of Freshwater Resources, Application of Integrated Approches to the Development, Management and Use Water Resources. UN Geneve.
19. Vodnogospodarska osnova Hrvatske, I dio (2004): Strateška osnova upravljanja vodama (Nacrt), Hrvatske vode, neobjavljeno, Zagreb.
20. Zakon o vodama i Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o vodama Republike Hrvatske Narodne novine br. 107/95. i 150/05.
21. Zakon o financiranju vodnog gospodarstva i Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o financiranju vodnog gospodarstva (Narodne novine br. 107/95, 19/96, 88/98 i 150/05).
22. xxxx Dokumentacija i podaci Hrvatskih voda, Zagreb.

3

ODNOS MALIH VODA, SUŠA I ODRŽIVOG RAZVOJA OKOLIŠA TE POTREBA VODE ZA NAVODNJAVANJE U PRIOBALJU I KRŠKOM ZALEĐU TIJEKOM VEGETACIJSKOG RAZDOBLJA

Prof.dr.sc. Ognjen Bonacci

Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu

1. Uvod
2. Voda i krš
3. Krški okoliš i poljoprivredna proizvodnja
4. Suše, male vode i ekološki vidovi problematike
5. Evapotranspiracija i potreba vode za navodnjavanje
6. Zaključak
7. Literatura

1. Uvod

Navodnjavanje je istaknuto kao jedan od strateških razvojnih ciljeva Hrvatske. Radi se o vrlo složenom i osjetljivom procesu koji osim značajne koristi u povećanju poljoprivredne proizvodnje može uzrokovati i određene probleme prvenstveno u okolišu, ali i ozbiljne poremećaje u sustavu upravljanja vodnim resursima. Ovoj se problematici treba posvetiti posebno ozbiljna pažnja već i stoga što se kako cijela Zemlja tako i Hrvatska nalaze u vrlo delikatnoj i znanstveno nedovoljno jasnoj situaciji što se voda tiče. Brojne pojave na prostoru cijelog planeta ukazuju, iako to znanstveno još nije pouzdano utvrđeno, da je došlo do složenih poremećaja u sustavu kako globalne klime tako i regionalnih i lokalnih klima. Neki znanstvenici ove procese vezuju s globalnom promjenom klime, tj. globalnim zagrijavanjem, uzrokovanim antropogenom emisijom stakleničkih plinova, dok drugi smatraju da se radi o uobičajenim klimatskim varijacijama na koje je utjecaj ljudskog faktora ili neznatan ili tek lokalni (Laroux, 2005).

Na teritoriju Hrvatske primjećuju se trendovi snižavanja ukupnih godišnjih količina oborina. Mnogo izraženiji i čini se opasniji su procesi preraspodjele padanja oborina tijekom godine kao i promjena njihovih osnovnih karakteristika. Postoje indicije da intenziteti kratkotrajnih oborina postaju sve veći što uzrokuje da se godišnje količine oborina koje padaju u nekoj regiji izluče u kraćem razdoblju. Što se preraspodjele oborina tijekom mjeseci i sezona godine tiče čini se da u posljednjih desetak godina pada više oborina u toplom djelu godine kada su i gubici veći. Navedeno promjene u intenzitetima i raspodjeli oborina tijekom vremena značajno utječu kako na promjene uobičajenih procese otjecanja po površini terena tako i na prihranjivanje vlage u tlu i podzemnih voda. Gubici su sve veći, tj. koeficijenti otjecanja su sve manji, što se pak izravno i vrlo snažno odražava na prirodni okoliš, prije svega na razvoj flore kao njegovog bitnog konstitutivnog elementa. Ove se promjene snažno i izravno, iako još uvijek nedovoljno shvaćeno, odražavaju na pouzdanost uzgoja kulturnog bilja, dakle na poljoprivrednu proizvodnju kao jedan od bitnih elemenata privrednog i društvenog razvoja apsolutno svake zajednice.

Svi ovi procesi posebno su snažno izraženi u osjetljivim i lako ranjivim krškim prostorima. Cilj ovog rada je u tome da pokuša skrenuti pažnju stručnjaka, ali i javnosti na složene interaktivne odnose korištenja vode za navodnjavanje, malih voda, suša i održivog razvoja u krškom priobalju i zaleđu Hrvatske te da ih poveže sa složenim procesima upravljanja vodnim resursima tijekom kritičnih razdoblja u kojima se i onako javljaju nedostaci voda. Rad je izravno usmjeren na to da teorijski, ali i praktično pokuša pomoći u osiguranju vode za navodnjavanje u spomenutim krškim područjima Hrvatske, a da pri tome ne dođe do poremećaja prirodne ravnoteže, tj. do ugrožavanja postulata održivog razvoja. Radi se o složenom zadatku prvenstveno stoga što je za navodnjavanje neophodno osigurati značajne količine voda koje se do sada nisu trošile u našim krajevima. Treba uvijek imati na umu da je navodnjavanje veliki i uglavnom neracionalni potrošač vode te da voda ima svoju ekonomsku cijenu koja će u bliskoj budućnosti sve više i nezaustavljivo rasti.

Na području hrvatskog priobalja i krškog zaleđa karakteristično je da su tijekom vegetacijskog razdoblja oborine niske, a temperature zraka vrlo visoke što utječe na velike gubitke vode procesom evapotranspiracije. Uz to su na spomenutom području potrebe za vodom tijekom ljetnog razdoblja nerazmjerno povećane u odnosu na godišnji prosjek, prvenstveno zbog potreba turističke privrede. Ne smije se zaboraviti niti na sve češća zagađivanja vodnih resursa kako onih površinskih tako i podzemnih voda, koja dodatno smanjuju raspoložive vodne količine u izučavanom prostoru. Sve navedeno kao i eventualne klimatske promjene ili varijacije koje uzrokuju sve češće, intenzivnije i dugotrajnije suše, vrše značajne i teško rješive pritiske

na proces upravljanja vodnim resursima. Očigledno je da je neophodno pripremiti se za krajnje neizvjesnu budućnost što se vodnih resursa i njihovog upravljanja tiče prvenstveno u područjima hrvatskog priobalja i krškog zaleđa u novim i zaoštrenim uvjetima.

Voda igra odlučujuću ulogu u razvoju biljaka, a istovremeno i svih dijelova njenog okoliša. Ova se konstatacija prvenstveno odnosi na mikroorganizme i makroorganizme s kojima se biljke nalaze u izravnoj interakciji. Pri tome se ne smije zanemariti snažan utjecaj vode i na neživu sastavnicu okoliša. Već na samom početku razmatranja problematike korištenja vode za natapanje treba biti svjestan činjenice da voda osim korisne uloge može uzrokovati i štete. Posebno se misli na onu vodu koja je sustavima za natapanje odvedena s nekog područja ili dovedena na površine koje se podvrgavaju procesu natapanja. Natapanje je osjetljiv proces koji osim neospornih pozitivnih učinaka može uzrokovati i određene negativne i često dugoročne, posljedice na cjelokupni okoliš. Upotreba vode u procesu natapanja kao i njene posljedice stoga trebaju stalno i sustavno biti kontrolirane od strane odgovarajućih stručnjaka.

Voda je neophodna biljci, ali su za razvoj kulturnog bilja neophodni još i zrak, svjetlost, toplina, tlo i anorganski spojevi. Prethodnim stavom željelo se istaknuti da nije dovoljno biljci samo dostaviti određenu količinu vode već je neophodno to činiti na način koji će u interakciji s prethodno navedenim varijabilnim čimbenicima prostora i vremena proces natapanja načiniti učinkovitim. Istovremeno treba paziti da se ne nanese šteta cjelokupnom okolišu u kojem se razvija određena natapana kultura.

Općenito izvori vode za natapanje mogu biti slijedeći:

- 1) Oborine;
- 2) Voda iz prirodnih jezera, otvornih vodotoka i izvora;
- 3) Podzemna voda;
- 4) Voda akumulirana u umjetnim akumulacijama.

Napominje se da u priobalnim krškim područjima kao potencijalni izvor vode za natapanje može poslužiti voda zaslanjenih izvora pa čak i morska voda podvrgnuta nekom od danas postojećih tehnologija desalinizacije. Pri tome treba voditi računa o ekonomskoj isplativosti korištenja bilo kojeg od navedenih izvora vode za natapanje.

2. Voda i krš

Posebnosti krških oblika rezultat su kretanja i agresivnog fizičkog i kemijskog djelovanja vode uzduž slojeva topivih stijena kao što su vapnenac, gips, kreda i sol te neke vrste dolomita. Krš karakteriziraju topive stijene koje se nalaze na samoj površini ili u njezinoj blizini. Proces okršavanja ili

karstifikacije predstavlja djelovanje vode na njihovo otapanje, te odnošenje minerala. "Otapajuća snaga" vode zavisi prvenstveno o njenom kemijskom sastavu i temperaturi.

Jaka raspucanost (rastrošenost) krške površine uzrok je tome da je kapacitet infiltracije prvenstveno na golom kršu praktično beskonačan što utječe na to da je u kršu mogućnost pojave tečenja po terenu, a u konačnici i formiranje otvorenih vodotoka bitno smanjena, a negdje i potpuno nemoguća. Na analiziranom području postoje regije golog ili ljutog krša, ali i pokrivenog ili zelenog krša, koji se još naziva i holokrš ili merokrš. Ovaj posljednji rasprostranjen je u sjeverozapadnom dijelu na izvorišnom dijelu rijeke Kupe i Gorskom kotaru i u dijelu Istre, dok goli krš prevladava na južnom dijelu a posebno u priobalju. Na pokrivenom kršu bujni vegetacijski pokrov održao se zahvaljujući pokrovnom sloju plodnog tla. U takovim slučajevima procesi infiltracije vode su sporiji, ali su svi ostali procesi kretanja vode identični onima u golom kršu. Što više, neki autori smatraju da su krške površinske, a naročito podzemne forme znatno razvijenije u područjima pokrivenog krša. To se objašnjava agresivnijim kemijskim sastavom voda koje se procijede kroz pokrovno tlo bogato mineralima i organskim spojevima čime se pospješuje kemijsku eroziju.

Preduvjet za početak agresivnog fizičkog i kemijskog djelovanja vode na formacije krša je tzv. primarna raspucanost koja je u našim prostorima uglavnom uzrokovana tektonskim procesima i međuslojnom poroznošću. Bitni preduvjet za formiranje specifičnih krških oblika je temperatura vode i zraka kao i obilje, intenzitet te raspored oborina.

U području krša usporedo postoje dva tipa tečenja; difuzno, laminarno, kroz sitne pukotine i brzo, turbulentno, kroz krške kanale velikih dimenzija od centimetra do desetak metara. Važno je naglasiti da kapaciteti krša za prijem i skladištenje vode nije velik te da se općenito kreće od 0,05 do 1 % zapremine krške mase (Bonacci, 1987). Taj se kapacitet naziva efektivna poroznost, a definira se kao odnos zapremine pora zapunjenih gravitacijskom vodom prema zapremini svih ostalih pora u krškom masivu. Ova činjenica uzrokom je da podzemne vode u dubokom kršu, kao što je ovaj na razmatranom području, brzo osciliraju te da raspon oscilacija prelazi 100 i više metara. Očit dokaz malog kapaciteta Dinarskog krša za skladištenje vode nalazi se u činjenici što razina podzemne vode neposredno poslije intenzivnih oborina raste mjestimično čak brže od 2 m na sat uz napomenu da je njeno opadanje reda veličine deset puta sporije. Činjenica ovako brzog dizanja vode sigurno ima utjecaj i na prijenos i širenje, ali i ispiranje hranjiva i biocenoza u podzemlju krša. O ovim procesima ne zna se dovoljno. S druge strane kretanje vode u kršu kako ono u vodoravnom tako i u uspravnom smjeru, tj. njen transport kroz masiv vrlo je brz zahvaljujući činjenici postojanja velikih jama, nepravilnih krških kanala krupnih dimenzija te prostranih spilja.

Okršenost masiva prvenstveno je geološko svojstvo bitno za kretanje vode. Moguće ga je definirati kao gustoću, čestinu i broj svih vrsti pukotina (intergranularnih praznina, prslina, sitnih pukotina, krških provodnika i spilja). Najveća je na površini a smanjuje se eksponencijalno s dubinom.

Za pružanje podrške kao i za objašnjavanje ekoloških procesa u kršu bitnu ulogu ima epikrški ili površinski sloj terena. Williams (1983) je ukazao na njegovo posebno značenje u transportu vode, ali i značajnu ulogu vezanu s razvojem biocenoza. Prvenstveni razlog velikog ekološkog značaja epikrškog sloja leži u tome jer se on nalazi na izravnom kontaktu s atmosferom, a u njemu se zadržava plodno tlo i vlaga, što omogućuje rast bilja. Zbog svega navedenog u epikrškom sloju se javljaju brojna staništa koja omogućavaju život različitih životinjskih vrsta.

Površinski krški oblici su: škrape, vrtače ili ponikve, suhe uvale i polja u kršu. Svi oni imaju višestruku ulogu i vrijednost kako u krajobraznom tako i u ekološkom smislu. Narušavanjem njihove prirodne ravnoteže ugrožava se složeni i lako ranjivi sustav što može imati za posljedicu nesagledive štete i nemogućnost osiguranja održivog razvoja krških područja. Nažalost, treba naglasiti da ekološka uloga ovih krških oblika još uvijek nije dovoljno shvaćena i izučena te će se prilikom poduzimanja masovnijih zahvata, posebno onih vezanih s intenzivnom poljoprivrednom proizvodnjom i navodnjavanjem, o toj složenoj i interaktivnoj problematici trebati pažljivo i sustavno voditi računa.

Škrape su oblikovane kemijskim i fizičkim erozijskim radom vode na površini karbonatnih stijena. S gledišta otjecanja one imaju bitnu ulogu jer kroz njih voda prodire s površine u podzemlje. Kapacitet infiltracije kroz škrape praktično je beskonačan što predstavlja osnovni razlog zbog kojeg na području krša nema ili se vrlo rijetko javlja otjecanje vode po površini kao i stalni ili povremeni otvoreni vodotoci. Žlijebovi između škrapa širine su od nekoliko centimetara do dva, ali i više metara. Dubina škrapa obično je reda veličine do deset centimetar, ali može doseći i metarske dimenzije. Tereni na kojima se nalaze škrape najčešće su smješteni uz rubove polja u kršu. U žlijebovima škrapa sakuplja se plodna zemlja, što omogućava razvoj biocenoza. Same škrape predstavljaju suvremene oblike okršavanja te najčešće ukazuju na mogućnosti razvoja bitnih hidroloških i ekoloških procesa.

Vrtače ili ponikve ljevkaasta su krška udubljenja promjera od nekoliko metara do preko sto metara s dubinom do reda veličine od 10 m. La Fleur (1999) navodi četiri razloga njihovog nastanka: površinsko otapanje, kolaps, sufoziju i ulegnuće. Na analiziranim prostorima postoje prostrana područja s velikim brojem vrtača koje su česta koncentrirana duž rasjeda. U dubokom Dinarskom kršu Hrvatske dno velike većine vrtača leži visoko iznad razine podzemne vode. Tek povremeno i na nekim lokacijama (na pr. Imotsko-Bekijsko polje) ponikve su stalno ili povremeno ispunjene vodom.

U plitkom kršu u drugim područjima svijeta, dna vrtača često su položena ispod razine podzemne vode te su samim tim vrtače stalno ili dijelom vremena potopljene. Dna ponikvi u hrvatskom djelu Dinarskog krša često su pokrivena manje ili više debelim slojem plodnog tla. Zbog svoje morfologije ponikve predstavljaju prostore u kojima se zadržava vlaga u tlu. Osim toga morfološki predstavljaju nevelike prostore s vrlo povoljnom mikroklimom, koja u često surovim i hladnim zimama te vrućim i sušnim ljetima omogućava opstanak i razvoj brojnih biljnih i životinjskih zajednica. Primjera radi se navodi da je Antonić (1996) objavio rezultate studije topoklimatskog utjecaja na bioklimatologiju, a time i razvoj vegetacije krškog područja Velebita.

Suhe uvale izdužena su koritasta udubljenja u području krša. Dno im je pretežno prekriveno ponikvama, jamama i pećinama. U njima nema stalnih otvorenih vodotoka, a povremeni se pojavljuju rijetko i traju kratko poslije padanja velikih količina oborina i/ili otapanja velikih rezervi snijega nakupljenih tijekom zime. Uvjeta za oblikovanje tečenja vode po površini nema jer je proces karstifikacije bio brži i snažniji od procesa oblikovanja riječne doline. Na analiziranom području stalni riječni tokovi protječu značajno iznad razine podzemne vode, stvarajući tzv. "viseće dionice". Na ovim dionicama voda se manje ili više gubi ponirući kroz dno i bokove vodotoka.

Polja u kršu predstavljaju depresije u karbonatnom masivu najčešće eliptičnog oblika kroz čiju pretežno dužu os protječe stalni ili povremeni vodotoci. Dno polja u kršu pokriveno je plodnim tlom koje pripada neogenu i kvartarnim sedimentima, često crvenicom ili "terra rossa-om". Veličina im varira od pola kvadratnog kilometra do stotinjak kilometara kvadratnih. Moguće ih je definirati kao relativno ravne riječne doline obrubljene strmim i golim vapnenačkim stjenovitim masivom. Polja u kršu predstavljaju oaze u golom, za ljude kao i za biljni i životinjski svijet relativno negostoljubivom, prostoru krša. S hidrološko-hidrogeološkog stanovišta, polja u kršu su dio mnogo šireg sustava. Procesi tečenja vode u njima moraju biti praćeni i obrađivani unutar cijelog sustava koji je mnogo širi od prostora obuhvata samog polja. Polja u cijelom Dinarskom kršu plavljena su tijekom hladnog i vlažnog razdoblja od listopada do travnja. Tijekom ljetnog i sušnog razdoblja ovi prostori stradaju uslijed nedostatka vode, a riječni tokovi u njima nerijetko presušuju. Činjenica, da su donji dijelovi polja u prirodnom režimu redovno plavljeni, ukazuje na jednu za ekologiju bitnu stvar. Ovi plavljeni prostori predstavljaju ravne i vlažne površine na kojima se mogu razvijati i obnavljati brojne i posebne krške biocenoze koje se potom šire i na više i za život manje gostoljubive prostore okolnog, često golog krša.

Polja u kršu predstavljaju prostore u kojima živi brojno stanovništvo i u kojima je intenzivno razvijena poljoprivredna proizvodnja. Zbog toga su mnoga polja u našem kršu dodatno odvodnjavana izgradnjom tunela ili

prokopa. Kao primjeri se navode Vrgorsko (Bonacci, 2005) i Konavosko polje. Prostori polja u kršu predstavljaju ishodište biološke raznolikosti cjelokupnog našeg krša te ih je neophodno tretirati posebno pažljivo kako bi se i dalje osigurala njihova bitna ekološka funkcija. Nažalost, postoje indicije da se zbog profita o tome ne vodi dovoljno računa što bi moglo imati dugoročne i pogubne posljedice. Sve prethodno navedeno je stoga jer se upravo na područjima polja u kršu namjerava dodatno intenzivirati poljoprivredna proizvodnja te organizirati intenzivno navodnjavanje što može imati i određene negativne posljedice.

Podzemni krški oblici su: jame, krški kanali i spilje. Svi oni imaju ulogu brzog transporta i skladištenja vode kroz krški masiv. S vodom se transportira hranjivo i organizmi. Neki od podzemnih krških oblika stalno su pod vodom, dok su drugi tek povremeno a treći pak nikada ne budu potopljeni. Zavisno o tome u njima se razvijaju posebni i često endemski oblici životinja.

Jame predstavljaju vertikalne prostore velikih dubina, kojima voda brzo i izravno s površine prodire u središnji dio krškog masiva, tj. do krškog vodonosnika. Njihov oblik je općenito kružan a nastale su pod agresivnim fizičkim i kemijskim utjecajem vode. Jame često predstavljaju podzemni dio ponorskog sustava, a uglavnom se prostiru u nezasićenom (vadoznom) dijelu krškog masiva. Jame vrše i značajnu ekološku i biološku ulogu jer se zajedno s vodom kroz njih obavlja brz i izravan transport hranjiva, sjemena i organizama s površina u krško podzemlje.

Podzemni krški kanali predstavljaju vodoravne ili blago nagnute otvore nepravilnog i promjenjivog poprečnog presjeka kroz koje se voda kreće pod pritiskom ili sa slobodnim vodnim licem, uglavnom turbulentnim tokom. Dimenzije im variraju od reda veličine centimetra do nekoliko metara. Krške kanale nalazimo u vadoznoj zoni ali i u freatičnoj zoni. Na njima je česta pojava sifona. Vrše značajnu ulogu u vodoravnom transportu vode, a s njom i suspendiranih tvari, hranjiva i sjemena. Nerijetko u njima nalaze staništa specifične životinjske vrste.

Spilje predstavljaju prostrane podzemne šupljine u krškom masivu. Neki ih autori smatraju proširenim krškim kanalima. U razmatranom području spilje su vrlo brojne i prostrane. Većina do danas u našem kršu otkrivenih spilja nalazi se u vadoznoj zoni i tek su dijelom i povremeno potopljene vodom. U spiljama vladaju stabilni mikroklimatski uvjeti koji pogoduju razvoju posebnih životinjskih vrsta koje radovima čovjeka na kršu i ulaskom čovjeka u ove prostore postaju ozbiljno ugrožene.

Krš je poseban prvenstveno stoga jer je u ovom prostoru odnos površinskih i podzemnih voda izravan, međusobno snažno povezan i često na prvi pogled neočekivan. Razlog tome leži u postojanju prethodno opisanih površinskih i podzemnih krških oblika. Upravo zbog iznesenog, na području

krša teško je pa i nemoguće odvojiti hidrološka od hidrogeoloških znanstvenih metoda istraživanja. Da bi se procesi otjecanja, ali i s njima vezani ekološki procesi mogli razumjeti, potrebno je koristiti brojne znanstvene pristupe zasnovane prije svega na mjerenjima u prirodi. Posebnost kretanja vode po površini krša snažno utječe na oblikovanje biotopa i biocenoza. Kako se uvjeti u okolišu vrlo brzo mijenjaju, biljne i životinjske vrste morale su se tijekom procesa evolucije prilagoditi da bi se održali u ovim prostorima koji u jednom trenutku izgledaju vrlo gostoljubivi (postoji obilje vode s povoljnom temperaturom i količinom sunčevog zračenja te hranjiva) pa se ubrzo pretvaraju u krajnje nepovoljna područja za preživljavanje (nedostatak vode, ekstremne vrućine ili hladnoće, snažni vjetrovi, itd.). Uloga vode koja se javlja i kreće po površini bitni je ekološki čimbenik.

Krški izvori predstavljaju prirodni izlaz podzemnih voda iz podzemnih krških vodonosnika na površinu litosfere kroz hidrološki aktivne pukotine krškog masiva. Izvori se u kršu najčešće javljaju na dodiru između karbonatnog masiva i nepropusnih slojeva. Voda teče prema površini kroz propusne stijene koje su praktično netopive a katkad i nekarstificirane (Bögli, 1980). U kršu postoje brojna mjesta (praktično su beskonačna) kroz koja voda prodire u podzemlje. Nasuprot tome postoji vrlo ograničen broj mjesta na koja voda iz podzemlja izbija na površinu. Ovaj fenomen naziva se krškim hidrološkim kontrastom. Bonacci (2001) je ustanovio da većina krških izvora ima ograničeni maksimalni kapacitet istjecanja. Radi se o činjenici koja može imati značajne posljedice na ekološke procese u razmatranom prostoru, ali koja nažalost do danas još nije dovoljno ni prepoznata, a još manje istražena.

U ranoj fazi karstifikacije postojao je veći broj izvora koji su imali male površine slivova. S razvojem krških procesa i pojačanjem hidroloških aktivnosti došlo je do spajanja slivova i prestanka funkcioniranja nekih izvora, dok su drugi postali izdašniji. Ovaj proces je i danas prisutan te ima za posljedicu da krški izvori imaju promjenjive slivne površine u zavisnosti od stanja razine podzemne vode u vodonosniku.

Postoje brojne klasifikacije krških izvora. Kako smatramo da one nemaju značajniju ulogu za ekološke procese navest će se samo podjela na uzlazni i silazni tip izvora. Naglašava se da većina glavnih i najizdašnijih izvora u razmatranom području dubokog Dinarskog krša (izvori Kupe, Like, Gacke, Omble, Jadra itd.) spadaju u uzlazne. Silazni izvori nalaze se općenito u prostorima plitkog krša, obično su manje izdašnosti, a sklone su i povremenom presušivanju.

Kao posebna vrst izvora u kršu navode se estavele. One imaju dvostruku hidrološku ulogu. U razdoblju suša djeluju kao ponori dok u vlažnom razdoblju kad su razine podzemnih voda visoke, imaju funkciju izvora.

Najčešće se nalaze na srednjim dijelovima polja u kršu, ali i na nekim dionicama otvorenih vodotoka. Njihova uloga u pronosu hranjiva i organizama vrlo je značajna, ali nedovoljno izučena.

Izjednačenost vodnog režima izvora, tj. odnos između minimalnog, srednjeg i maksimalnog protoka vrlo je značajan s ekološkog gledišta. Treba naglasiti da do sada nije bilo dovoljno koordinirane suradnje između ekologa i hidrologa na zajedničkom izučavanju ove vrlo važne problematike te bi u tom smislu intenziviranje poljoprivredne proizvodnje vezano s navodnjavanjem u razmatranoj regiji trebalo predstavljati značajan poticaj.

Hidrološki režim otvorenih krških vodotoka snažno i izravno zavisi o stanju podzemnih voda. Razumljivo je da se u tom smislu svaki vodotok ponaša individualno, u funkciji prije svega geološkog sastava terena. Primjera radi se navodi da u sjevernom kontinentalnom dijelu razmatranog području postoje dvije prostorno vrlo bliske rijeke ponornice Lika i Gacka čiji je hidrološki režim od izvora do ušća izrazito različit.

Na rijekama koje protječu kroz krške terene smjenjuju se dionice na kojima voda ponire kroz sitne pukotine koje se najčešće nalaze na dnu korita s dionicama gdje se ista ili neka druga voda vraća u korito. Važno je naglasiti činjenicu da su godišnji koeficijenti otjecanja krških rijeka analiziranog područja vrlo visoki te se kreću od 0,5 do 0,6. Radi se o vrlo visokim, dakle i povoljnim vrijednostima. Situacija postaje bitno nepovoljnija kada se u razmatranje uzmu mjesečni koeficijenti otjecanja. U hladnom i vlažnom zimskom razdoblju oni se kreću od 0,90 do 0,98 dok u ljetnim i sušnim mjesecima padnu ispod 0,10. Tada nerijetko dolazi do presušivanja pojedinih riječnih dionica ili čak i cijelog vodotoka.

Kada su krajem devetnaestog stoljeća započela intenzivna teorijska, ali i praktična istraživanja krša, brojni su vodeći karstolozi tvrdili da u kršu ne postoje vodonosnici. Danas se konačno zna da krški masiv obiluje podzemnom vodom akumuliranom u dubokim krškim vodonosnicima koji imaju određene sličnosti, ali i razlike s vodonosnicima formiranim u granuliranim sredinama. Kako je krški masiv bitno nehomogeniji i anizotropniji od granuliranih sredina tako su i svojstva krškog vodonosnika značajno nehomogenija. Najviše saznanja o svojstvima krških vodonosnika polučena su mjerenjima razina podzemne vode te njene temperature i brzine u dubokim piezometrima (Bonacci, 1985; Drogue, 1985). Mjerenja u piezometrima dubina većih od 100 metara, omogućila su da se detaljnije shvati ponašanje krškog vodonosnika. Neke pojave koje su se smatrale neočekivanim, bile su vrlo jednostavno objašnjene morfološkim oblicima koji se nalaze u unutrašnjosti krškog masiva.

S gledišta korištenja podzemnih voda u kršu, koje danas poprima masovne razmjere, ali i s gledišta ekologije ovih prostora pa time i njihove zaštite, važno je naglasiti da se proces podizanja razine podzemne vode, tj.

punjenje vodonosnika, značajno razlikuje od procesa njegovog pražnjenja. Podizanje razine podzemne vode vrlo je brzo i traje kratko, a javlja se neposredno poslije padanja obilnih kiša. Prvo se turbulentnim tečenjem pune veliki krški kanali i velike pukotine iz kojih se kasnije laminarnim tečenjem pune sitne pukotine, tzv. matrica krškog masiva (Bonacci, 1995). U Dinarskom kršu izmjerena su podizanja razine podzemne vode veća od 150 metara u razdoblju od oko dva dana. Proces pražnjenja krškog vodonosnika obično se vrši preko koncentriranog izvora. Opadanje razine podzemne vode dugotrajno je i postepeno. Sa smanjenjem razine podzemne vode vodonosnik ulazi u područje sitnijih pukotina iz kojih se voda sve sporije iscjeduje. Navedeno predstavlja temeljni razlog zbog kojeg većina stalnih krških izvora nikada ne presuši.

U krškim vodonosnicima postoje statičke i dinamičke rezerve podzemnih voda. Sa stanovišta održivog upravljanja vodnim resursima, ali i održivosti bioloških resursa smatra se da bi trebalo koristiti isključivo dinamičke rezerve podzemnih voda te ne posezati u one statičke. Vezano s krškim vodonosnicima važno je ukazati na činjenicu da je u njima vrlo teško, a u brojnim slučajevima čak i nemoguće jasno razlikovati statičke od dinamičkih rezervi podzemnih voda. Jednostavna, ali ne potpuno precizna podjela je da se dinamičke rezerve podzemnih voda nalaze iznad razine izlaza izvora te se stalno mijenjaju dok se statičke rezerve podzemnih voda nalaze ispod razine izlaza izvora i u prirodnim uvjetima su stalne.

Kako su potrebe za vodom u kršu sve veće, čovjek je odavno posegnuo i u statičke rezerve podzemnih krških voda, mijenjajući time prirodnu hidrološku, hidrogeološku, ali i ekološku i biološku te čak i statičku ravnotežu ovih vrlo osjetljivih prostora. Pretjerano crpljenje statičkih rezervi krških podzemnih voda uzrokovalo je usijedanje tla i kolapse prije svega ponikvi što je u brojnim zemljama izazvalo velike štete pa čak i gubitke ljudskih života. To se desilo i sve se intenzivnije javlja u brojnim i prije svih razvijenim državama svijeta kao što su SAD, Velika Britanija, ali i Kina (Waltham i suradnici, 2005). Time se naglo i značajno utjecalo na pogoršanje prirodnog stanja što zasigurno ima utjecaja i na pogoršanje ekoloških prilika u području. Ovi negativni procesi, iako još uvijek ne tako snažno kao u drugim područjima krša u svijetu, nisu zaobišli ni područje hrvatskog dijela Dinarskog krša. Činjenica je da ovi interaktivni procesi nisu dovoljno izučeni te da taj nedostatak treba ubrzano otkloniti. To je potrebno uraditi prvenstveno stoga jer je za osiguranje intenzivne poljoprivredne proizvodnje vezane s navodnjavanjem neophodno raspolagati sa značajnim količinama vode, prije svega u razdoblju kad ovi krajevi oskudijevaju s njom. Potrebno je biti svjestan činjenice što bi se potencijalno moglo desiti ako se za potrebe navodnjavanja budu pretjerano crpile statičke rezerve krških podzemnih voda. Jednom kad se takovi negativni procesi započnu odvijati gotovo ih je nemoguće zaustaviti, a saniranja su uvijek skupa i nepouzdana.

3. Krški okoliš i poljoprivredna proizvodnja

Krš predstavlja specifično područje sastavljeno od površinskih i podpovršinskih oblika koji stvaraju brojne i posebne uvjete za kretanje vode. Radi se o prostoru u kojem se voda istovremeno kreće po površini, u nezasićenoj (vadoznoj) zoni, te u zasićenoj (freatičnoj) zoni. Brzina kretanja vode mijenja se naglo u prostoru tijekom vremena, a istovremeno se odvija sporim, difuznim, laminarnim tokom u sitnim pukotinama i prslinama te brzim turbulentnim tokom u površinskim tokovima i velikim podzemnim krškim kanalima. U podzemlju krša, u prostranim krškim kanalima postoje dionice u kojima voda teče sa slobodnim vodnim licem, ali i pod pritiskom. Često se dešava da velike količine vode poniru s površine u podzemlje pa se onda ponovo javljaju na površini.

Krške vode nose značajne količine nanosa u kojem se nalazi sjeme, biološki organizmi, ali prije svega hranjivo za posebne i vrlo osjetljive, najčešće endemske krške biološke zajednice. Količine vode i nanosa kao i vrsta hranjiva i bioloških zajednica u pojedinim prostorima, zavise o brojnim čimbenicima, a prije svega o tipu krša (goli ili pokriveni) te o klimatskim svojstvima, prije svega oborinama i temperaturama zraka.

Prostor koji je odabran za analizu u ovom radu obuhvaća doista najrazličitije vrste krških oblika i brojne tipove krša a klimatski je različit. Ujedno se radi o prostoru u kojem su biocenoze raznolike i uglavnom dobro sačuvane, posebno ako se usporede s krškim prostorima u nekim drugim dijelovima svijeta (prije svega Europe). Biološka raznolikost u izučavanom prostoru Dinarskog krša Hrvatske razvila se zahvaljujući različitim biotopima koji do sada nisu previše agresivno napadnuti od strane čovjekovih djelatnosti. Kako za biotope i biocenoze krša voda predstavlja bitni abiotički ekološki čimbenik, nju treba posebno analizirati kako bi se ekolozima dale podloge bitne za razumijevanje njihovih procesa te za zaštitu postojeće biološke raznolikosti. Svako značajno zadiranje u postojeću hidrološku ravnotežu u izučavanom prostoru može uzrokovati i opasne poremećaje u okolišu. U tom smislu treba izučavati i stalno pratiti utjecaj navodnjavanja koji je na ovim prostorima za sada malo zastupljen.

Krški tereni predstavljaju poseban izazov za znanstvenike i inženjere. Raznoliki i često osobiti površinski oblici rijetko mogu poslužiti kao vodiči za otkrivanje podpovršinskih krških formi (pukotina, jama, provodnika itd.) bitnih za kretanje vode. Prema Atkinsonu (1986) "u krškim terenima više nego u ostalima treba očekivati neočekivano". Zbog toga mehanizam kretanja vode u složenim, heterogenim i anizotropnim krškim sustavima teže je objašnjiv u usporedbi s ostalim sredinama. Treba li koristiti "diskretni" ili "kontinuirani" pristup opisivanja tečenja, ali i analizi procesa koji se na ovim prostorima odvijaju ovisi o lokalnom hidrauličkom gradijentu i geometriji okršenog prostora.

Kiraly i suradnici (1995) utvrdili su da heterogenost u mnogim krškim vodonosnicima može biti shematizirana s jako propusnom mrežom međusobno vrlo isprepletenih krških provodnika (kanala) kilometarskih duljina. Takva mreža kanala uronjena je u raspucanu stijensku masu vapnenaca i dolomita slabije propusnosti, a dobro je povezana s lokalnom slivnom površinom i krškim izvorom. To uzrokuje dvojnost procesa infiltracije vode (difuzna ili spora infiltracija u slabo propusnu stijensku masu, koncentrirana ili brza infiltracija u mrežu kanala), dvojnost polja tečenja podzemne vode (male brzine tečenja u raspucanoj stijenskoj masi te velike brzine tečenja u mreži kanala) te dvojnost uvjeta protjecanja (difuzno procjeđivanje kroz slabo propusnu stijensku masu i koncentrirani protok kroz mrežu kanala prema krškim izvorima). Na temelju iznesenog proizlazi da brojni teorijski i praktični problemi u hidrologiji i/ili hidrogeologiji krša ovise o organizaciji heterogenosti krških površinskih i podzemnih prostora. Ne smije se zanemariti da spomenuti aspekti značajno utječu i na organizaciju staništa i funkcioniranje života u njima.

U prostorima krša, mnogo više nego u drugim geološkim sredinama, voda s površine vezana je s podzemnim vodama. Njihova interakcija je izravna, ali i jako promjenjiva u prostoru i vremenu. Prethodno spomenute hidrološke i hidrogeološke činjenice vezane su s geokemijskim i ekološkim procesima koji se odvijaju na površini i u podzemlju krških područja. Rezultat toga je postojanje doista posebnih i danas sve više ugroženih biljnih i životinjskih vrsta. Od posebnog značenja su tisuće za oči skrivenih i depigmentiranih vrsta spiljskih životinja. Evolucija ovih organizama u genetskom i morfološkom smislu danas se pažljivo studira te je relativno dobro poznata. Neophodno ju je povezati s hidrološkim promjenama tijekom vremena, tj. s promjenjivim količinama i kakvoćom podzemnih voda koja s površine krških terena ponire u podzemlje. Istraživanja trebaju biti usmjerena na zaštitu ovih uglavnom vrlo osjetljivih i rijetkih vrsta.

Francuski krški biolog Rouch (1977) prvi je međunarodnoj znanstvenoj zajednici izložio ideju da sliv u kršu predstavlja jasno određeni ekosustav s mjerljivim ulazom s površine kroz ponore i infiltracijom oborina, te mjerljivim izlazom uglavnom preko stalnih i povremenih izvora. Može se slobodno reći da Rouch (1977) predstavlja pionira ideje vezivanja hidrologije i/ili hidrogeologije s biologijom krša. U kontekstu onoga što je neposredno izloženo, bilo bi nepravедno ne spomenuti hrvatske biologe Matoničkina i Pavletića (1959) koji su dvadesetak godina prije Roucha (1977) ukazali na sličan pristup te opisali jedan konkretan primjer iz Dinarskog krša. Poslije toga slijedili su njihovi brojni radovi vezani s krškim vodotocima s posebnim naglaskom na izučavanje Plitvičkih jezera. Činjenica je da hidrološka komponenta u njima nije bila naglašena, ali isto tako stoji da nije bila niti zanemarena.

Hynes (1983) je kao posebno čudno, čak s neskrivenom dozom ironije, konstatirao da kretanje vode, tj. njena hidrološka i hidrogeološka svojstva na površini i u podzemlju krša, nisu od biologa i ekologa prepoznata kao ključni abiotički čimbenik. Studiranje i razumijevanje biološke raznolikosti u kršu mora biti usmjereno na činjenicu da su staništa brojnih vrsta koje danas obitavaju u podzemlju bila ili se još uvijek nalaze i na površini. Uloga kretanja vode za to je od bitnog značaja. Posebno važan životni prostor u spiljama predstavljaju mali bazeni ili jezerca ("drip pools"). Vode u njih najčešće dolazi prokapavanjem s površine terena.

O ulozi kakvoće vode i njenom utjecaju na biocenoze, kao i o osjetljivosti i ranjivosti te teškoćama zaštite krških podzemnih voda, gotovo da i ne treba posebno govoriti. Radi se o problemu koji je konačno uočen i koji se pokušava s manje ili više uspjeha riješiti u svakom pojedinom slučaju. Upravo stoga održivi razvoj i upravljanje krškim vodnim resursima, a posebno njihovo korištenje za potrebe navodnjavanja, treba povezati sa zaštitom okoliša. Činjenica je da ispunjavanje navedenih ciljeva predstavlja složen problem te da nerijetko zahtijeva poduzimanje nepopularnih mjera.

Vrlo razvijeni i krajnje različiti površinski oblici krša utječu na to da se na malom prostoru pojavljuju različiti mikroklimatski uvjeti koji omogućavaju razvoj mikrostaništa vrlo pogodnih za brojne, specifične i uglavnom ugrožene biljne i životinjske vrste. Stoga se često dešava da naizgled goli i beživotni krš obiluje životom. U tom smislu pojedini dijelovi šireg područja Dinarskog krša Hrvatske, a posebno njegovo priobalje predstavljaju odličan primjer postojanja velike biološke raznolikosti u području golog krša.

Osnovni nedostatak većine bioloških studija u krškim područjima nalazi se u činjenici da su one usmjerene na izučavanje detalja bioloških zajednica te da ne predstavljaju cjelovite studije povezanih i duboko isprepletenih ekosustava. Ista ili slična primjedba može se staviti na hidrološko-hidrogeološke studije, koje ne vode dovoljno ili čak ni minimalno brige o ekološkom vidu problematike. Planovi masovnih navodnjavanja pred kojima se nalazi naša država ne bi smjeli zanemariti ekološke vidove kao i vidove zaštite okoliša. U tom smislu bi trebalo značajno sustavnije nego do sada pristupiti ovoj složenoj i u biti novoj problematici. Za ispunjavanje tako visokih i složenih ciljeva je prvenstveno neophodno uspostaviti transdisciplinarni dijalog među znanstvenicima iz svih znanstvenih disciplina koje spadaju u karstologiju, a koje su manje ili više ekološki usmjerene. Od posebnog je značenja ustanoviti vezu između hidroloških svojstava i biocenoza površinskih voda i vodotoka s onima u epikrškoj, nezasićenoj i zasićenoj podpovršinskoj zoni kao i s onima u velikom krškim spiljskim sustavima od kojih su neki povremeno i potopljeni. Treba biti realan i unaprijed shvatiti da se radi o ambicioznom zadatku koji neće moći biti konačno

riješeno, ali će moći biti iniciran, djelomično rasvijetljen, usmjeren i potaknut ambicioznim projektima natapanja u prostorima Hrvatskog krša. Pri tome treba imati stalno na umu da su prostori našeg krša do sada ekološki ostali vrlo dobro sačuvani te da se poduzimanjem bilo kakovih aktivnosti, ma kako one ekonomski i socijalno bile obećavajuće, mora inzistirati na očuvanju njihovih bioloških i inih vrijednosti.

Kritični problem složenog i teško rješivog odnosa krša i intenzivne poljoprivredne proizvodnje leži u činjenici teškoća osiguranja i zadržavanja vlage u tlu. Prvenstveni razlog je najčešće mala debljina tla. U našim prilikama debljina plodnog tla koje prekriva krš rijetko prelazi pola metra. U tako tankom sloju tla nije moguće uskladištiti značajnije količine vode koje bi mogle dugoročnije (duže od nekoliko dana) pružiti podršku razvoju kulturnih biljaka. Zbog toga je u ovim prostorima s navodnjavanjem potrebno započeti ranije nego u drugim prostorima s identičnim klimatskim (prije svega oborinskim i temperaturnim) karakteristikama. S druge strane u našem kršu prevladavaju velike dubine zalijeganja podzemnih voda tijekom sušnih razdoblja. Podzemna se voda tada često nalazi više desetaka metara ispod površine terena. Ta činjenica predstavlja dvostruki problem. Onemogućeno je prihranjivanje vlage u tlu odozdo kapilarnim dizanjem, a crpljenje podzemne vode je složeno i skupo jer se voda mora crpiti iz velikih dubina. Pretjeranim crpljenjem podzemnih voda u kršu dovode se u pitanje ostvarenje i samih principa dugoročnog održivog razvoja regije.

Canora i suradnici (2006) vrlo detaljno opisuju značajne probleme u krškim terenima Alta Murgie (Južna Italija) uzrokovane čišćenjem vapnenačkih stijena s površine terena ("stone cleaning") sa svrhom osiguranja intenzivne poljoprivredne proizvodnje. Talijansko negativno iskustvo trebalo bi nam poslužiti kao upozorenje da ne načinimo iste ili slične greške. Važno je naglasiti da su se svi negativni procesi doista stravične devastacije okoliša desili u kratkom razdoblju od samo dvadesetak godina. Do sredine osamdesetih godina dvadesetog stoljeća poljoprivredna proizvodnja u spomenutoj regiji bila je sastavljena od ekstenzivnog uzgoja maslina, badema i grožđa na malim i rascjepkanim posjedima. Mala polja, čije dimenzije su rijetko prelazile veličinu od 10 m² međusobno su bila odvojena zidovima izrađenim od kamena sakupljenog s okolnih površina. Ispaša sitne stoke se vršila na brojnim nekultiviranim površinama dok su se žitarice uzgajale u rijetkim morfološkim depresijama u kojima je postojao značajniji pokrov plodnog tla. Veliki dio površine je bio pokriven golim i neplodnim kršem na kojem su dominirale krupne vapnenačke stijene. Ne treba posebno isticati da takovi krajolici danas prevladavaju u Dinarskom kršu Hrvatske.

Iako je i ovakav krajolik nastao ljudskim radom on je stvaran postepeno pa se biološka komponenta sustava prilagodila na njega. Stvoren je stabilan okoliš u kojem su sve komponente bile u ravnoteži. Posebno, hidrološki i

ekološki, pozitivnu ulogu vršili su prekrasni kameni suhozidovi izrađeni mukotrpnim i dugotrajnim ljudskim radom. Oni su štitili da plodni površinski sloj zemlje okružen njima bude ispran vodom ili odnesena eolskom erozijom, ali su ujedno predstavljali stanište brojnim biljnim, a osobito životinjskim vrstama.

Za potrebe intenzivne poljoprivredne proizvodnje, a s plemenitim ciljem poboljšanja uvjeta i standarda života lokalnog stanovništva, sredinom osamdesetih godina započeti su masovni radovi na prenamjeni korištenja zemljišta. Kamenje je lomljeno i usitnjavano velikim i moćnim građevinskim strojevima ili je odnošeno i deponirano na posebne za to odabrane dijelove terena. Teren je izravnavan i na njegovu površinu moralo je biti dovezeno plodno tlo jer na ma kako male dimenzije usitnjene stijene nisu mogle stvoriti plodno tlo koje bi moglo poslužiti za osiguranje poljoprivredne proizvodnje. Tradicionalni, lijepi i vrijedni krajolik je značajno izmijenjen, u biti bespovratno devastiran.

Međutim, osim očekivanih pozitivnih promjena ovi masovni radovi uzrokovali su i brojne neočekivane negativne posljedice. Lomljenje i čišćenje površine terena potpuno je i drastično promijenilo uvjete otjecanja vode po terenu i posebno procese infiltracije vode pod površinu terena karakteristične za krška područja. Nestali su karakteristični i povijesno, ali i estetski vrijedni kameni zidovi koji su igrali važnu ulogu u procesu otjecanja i infiltracije vode. Krajolik je drastično promijenjen, a u njemu su nestala brojna prije postojeće staništa te uvjeti za život autohtonih biljnih i životinjskih vrsta. Sve češće se javljaju negativne posljedice ovih zahvata posebno na planu zaštite okoliša i mogućnosti osiguranja elementarnih pretpostavki održivog razvoja.

Posebno je u priobalnim područjima uvedena praksa masovnog pokrivanja tla u vinogradima plastičnim folijama što je uzrokovalo značajnu promjenu parametara hidrološke bilance, a ujedno je uzrokovalo promjenu svojstava tla pokrivenog PVC folijama. Posljedice pokrivanja tla plastičnim folijama negativne su i vrlo zabrinjavajuće. Poplave koje su bile rijetke na takovim prostorima javljaju se gotovo kao posljedica svake malo intenzivnije oborine. Kao praksa se uvriježilo da se folije ne skidaju niti u vanvegetacijskom, prije svega zimskom, razdoblju što se pokazalo dodatno štetnim.

Canora i suradnici (2006) navode da je ovakvim radovima do kraja 2003. godine čak 40 % površine regije Alta Murgia izmijenilo svoj prirodni oblik. Alta Murgia visoravan je koja predstavlja glavno područje prihranjivanja bogatog krškog vodonosnika šire regije Murgie. Vrlo rano su uočeni opasni procesi te je s ciljem njihovih zaustavljanja regija Alta Murgia regionalnim zakonom 1997. godine proglašena prirodnim zaštićeno područje s posebnim zadatkom zaštite vrijednih i bogatih rezervi kvalitetne podzemne vode akumulirane u krškom vodonosniku. Nažalost, ta odluka nije ništa izmijeni-

la pa je u ožujku 2004. Alta Murgia proglašena nacionalnim parkom kako bi se spasilo ono što je od prekrasnog i vrijednog krajolika ostalo. Činjenice da je Alta Murgia proglašena zaštićenim područjem nažalost nije ništa izmijenila na stvari. Devastacija je nastavljena i dalje.

Analize u laboratoriju kao i mjerenja na terenu ukazali su na drastično smanjenje infiltracije oborinskih voda u krški vodonosnik čime se bitno smanjilo prihranjivanje krškog vodonosnika koji predstavlja glavni izvor vode u široj regiji Murgia. Treba naglasiti da oborine u ovom području nisu obilne te se kreću između 500 i 600 mm godišnje. Epikrško područje je nestalo, a s njim i brz i učinkovit proces infiltracije vode u krško podzemlje. Dok je u prirodnim uvjetima u podzemlje dospijevalo godišnje od 40 do 60 % oborine pale u regiji danas su te veličine značajno smanjene, gotovo za 50 %. Primjera radi se navodi da je 2004. godine palo 598 mm oborine. U prirodnim uvjetima infiltriralo bi se u podzemlje 63 % od te količine, dakle 377 mm. U novim uvjetima kao rezultat izvršenih zahvata infiltriralo se samo 152 mm ili 25 % od godišnje oborine što je skoro 2,5 puta manje nego u stanju prije poduzimanja zahvata.

Masovna poljoprivredna proizvodnja i gusti vegetacijski sklop uzgajanih kulturnih biljaka utjecali se na značajno povećanje gubitaka vode evapotranspiracijom. Gotovo da i ne treba posebno isticati da je intenzivna poljoprivredna proizvodnja povezana s masovnim korištenjem umjetnih gnojiva i otrovnih zaštitnih sredstava (prije svega herbicida) odrazilo na značajno pogoršanje kakvoće do nedavno čiste podzemne vode u krškom vodonosniku koji leži ispod ovih poljoprivrednih površina i iz kojeg se regija Murgia opskrbljuje vodom. Primijećeno je značajno povećanje koncentracije nitrata i fosfata u podzemnoj vodi.

Destrukcija prirodne krške površine na kojoj se nikada ili vrlo rijetko zadržavala voda te se općenito nije javljalo tečenje po terenu, uzrokovala je pojavu tečenja i čestih plavljenja terena. Nagle poplave se javljaju poslije intenzivnih oborina koje su i onako česte na analiziranom području. Češće pojava tečenja vode po površini kao i češće javljanje poplava utjecali su na značajno povećanje površinske erozije i odnošenje velikih količina plodnog tla. Farmeri su prisiljeni da na poljoprivredne površine dodaju nove slojeve plodnog površinskog tla. Canora i suradnici (2006) upozoravaju da je na taj način započet vrlo opasan, ali i brz proces pretvaranja ovog prostora u pustinju.

Mjesta odlaganja vodnom erozijom ispranog tla su različita. Dio bude odnesen niz padine do preostalih mjesta golog krša. Na tim područjima se povećava debljina taloga, uglavnom slabo propusnog ili čak nepropusnog tla, čime se i na tim mjestima smanjuju mogućnosti infiltracije vode s površine u krško podzemlje, što uzrokuje smanjivanje prihranjivanja krškog vodonosnika. Najveći dio erodiranog tla bude transportiran do mora čime se bitno pogoršava kakvoća obalnih voda.

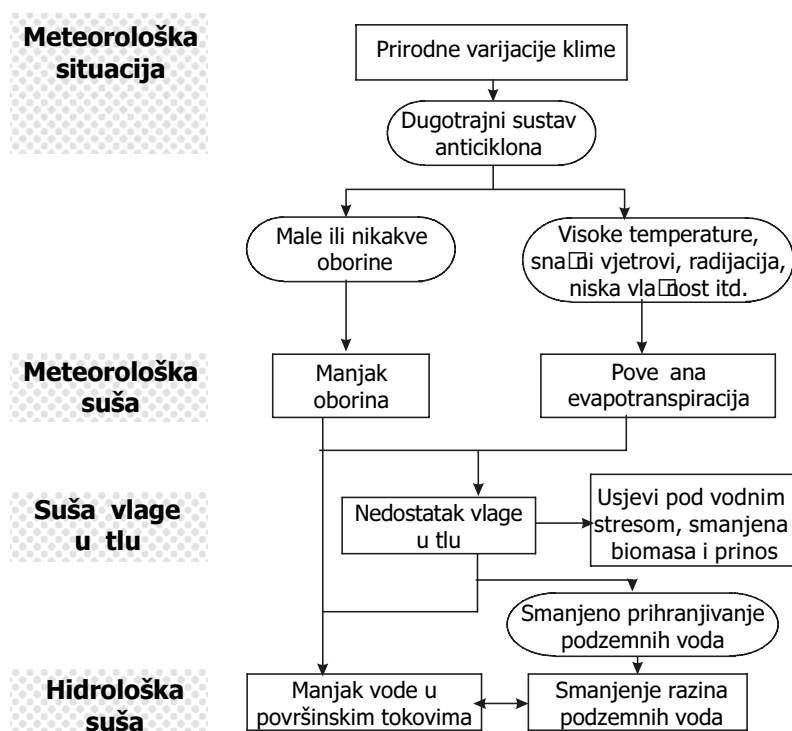
Okoliš je postao vrlo nestabilan. Pogubne posljedice osjetile su najviše autohtone biljne i životinjske vrste. Autori članka ističu da se o tom vidu problematike do danas nije vodilo dovoljno pažnje tako da je prava razmjera ekološke štete u biti nedovoljno poznata. Prirodna interakcija između vode, vegetacije i klime drastično je narušena čime je razorena postojeća ravnoteža ekosustava. Ovaj bi nam primjer trebao predstavljati ozbiljno upozorenje za radove koje mi želimo poduzeti u prostorima našeg krša.

4. Suše, male vode i ekološki vidovi problematike

Voda predstavlja osnovni i ključni resurs naše planete bez kojeg nije moguć ni život, a kamo li razvoj. Suša znači nedostatak vode, tj. onih količina vode koje uobičajeno stoji na raspolaganju u određenoj regiji i na koju su se u izučavanim prostorima stoljećima privikli ljudi i priroda (Tallaksen i Van Lanen, 2004). Iskustvo i povijest su pokazali da praktično svi krajevi planete, bez obzira na njihovo bogatstvo vodama, češće ili rjeđe znaju osjetiti posljedice suša koje mogu uzrokovati doista katastrofalne posljedice u području ekologije i okoliša, ekonomije, ali se mogu odraziti negativno i na socijalna i politička kretanja.

Suša predstavlja dugotrajnu i regionalno sveobuhvatnu pojavu količina vode nižih od prosječnih. Ona može biti karakterizirana manjim od normalnih (prosječnih) količinama oborina, vlage u tlu, podzemne ili površinske vode. Suše se javljaju na cijelom svijetu. Njihove prostorne i vremenske karakteristike značajno se razlikuju od regije do regije. Najteže posljedice suša osjećaju se u aridnim i poluaridnim područjima. Pojedina naša krška područja mogu se barem tijekom toplog i vegetacijskog dijela godine okarakterizirati kao poluaridna. Pojavu suše ne smije se miješati s pojmom suhoće ("aridity") koji se odnosi na stalno svojstvo suhe (bezvodne) klime.

Prvenstveni razlog pojave suše leži u nedostatku oborina na širem području tijekom dužeg vremena. Ta se vrsta suše naziva meteorološkom sušom. Deficit vode iz atmosfere dalje se prenosi kroz hidrološki ciklus uzrokujući različite vrste suša. U kombinaciji s visokim količinama evapotranspiracije (uzrokovanim prvenstveno visokim temperaturama zraka, a potom i stalnim i jakim vjetrovima) i nedostatkom vlage u tlu dolazi do pojave suše vlage u tlu. Pojam poljoprivredne suše koristi se u situacijama kad su količine vlage u tlu nedostatne za pružanje podrške razvoju usjeva. Nedovoljno prihranjivanje rezervi podzemnih voda kao i voda u otvorenim vodotocima ili jezerima uzrokuje pojavu hidrološke suše. Odnosi među prethodno navedenim raznim vrstama suša grafički su prikazani na slici 1 (Stahl, 2001).



Slika 1: Širenje suše kroz hidrološki ciklus

Unutar hidrološkog ciklusa normalno je da podzemne vode zadnje reagiraju na pojave suše. U dubokim vodonosnicima razina podzemne vode reagira tek na dugotrajne i intenzivne suše. Takove suše nazivaju se sušama podzemnih voda. Vremenski razmak između pojave meteorološke suše i suše podzemnih voda može se protezati od nekoliko mjeseci pa čak i do više godina što zavisi o veličini i dubini zalijeganja vodonosnika. Vremenski razmak između meteorološke suše i hidrološke suše u otvorenim vodotocima varira od nekoliko dana, kod vodotoka koji se prihranjuju samo od oborina, do par mjeseci kod vodotoka koji se prihranjuju od podzemnih voda. Treba naglasiti da se većina otvorenih vodotoka u našem kršu tijekom toplog i vegetacijskog razdoblja prihranjuje samo od oborina te da stoga hidrološka suša vrlo brzo slijedi iza one meteorološke. S krškim vodonosnicima situacija je nešto drugačija. Oni koji se nalaze u kopnenom djelu i koji su duboki i veliki polagano reagiraju na meteorološku sušu. Krški vodonosnici u priobalju obično su manji i plići te brzo reagiraju na meteorološku sušu. Dodatno u njih zbog toga dolazi do prodora morske vode što u potpunosti i na relativno dugo vrijeme onemogućava korištenje njihovih voda za bilo koju svrhu.

U novije vrijeme uveden je i pojam ekološke suše (Tallaksen i Van Lanen, 2004). On se vezuje s nedostatkom vode koji uzrokuje stres u ekosustavu te negativno utječe na život biljaka i životinja. Vezano s posljedicama suša na ekonomiju i društvo u literaturi je moguće naići i na pojam

socio-ekonomske suše. Negativne ekonomske posljedice suša naj snažnije se osjećaju u gusto naseljenim područjima u kojima je razvijena industrijska i poljoprivredna proizvodnja. Ljudske djelatnosti praćene korištenjem velikih količina vode intenziviraju razvoj suše ili ih čak i uzrokuju. Iz svega iznesenog proizlazi da je teško dati pouzdanu i objektivnu definiciju suše. Danas sve više znanstvenika povezuje sušu s nedostatkom vode koji štetno utječe na socio-ekonomske procese u regiji te uzrokuje degradaciju kopnenih i akvatičnih ekosustava. Takav pristup vodi definiranju suše kao dugotrajne pojave raspoloživih količina vode nižih od prosječnih u regiji. Pri analizama suša mora se voditi računa o njihovim prostornim i vremenskim dimenzijama (Bonacci, 1993; 2003a).

Wilhite (2000) negativne posljedice suša klasificira u ekološke (utjecaj na okoliš), socijalne i ekonomske, ali razlikuje izravne i neizravne učinke suša. Utjecaji na okoliš mogu biti izravni, ali i neizravni dok socijalni i ekonomski utjecaji općenito spadaju u neizravne. Primjera radi se navodi da niska razina vode u prirodnim ili umjetnim jezerima kao i u otvorenim vodotocima predstavlja izravni učinak suše dok efekti smanjenja proizvodnje hidroenergije ili nemogućnost korištenja ovih prostora za rekreaciju predstavljaju neizravne učinke suše. Najznačajniji ekonomski gubici uzrokovani sušama odnose se na smanjenje poljoprivredne proizvodnje, naročito u regijama u kojima ona ovisi o navodnjavanju, na velikim farmama, u industrijskoj proizvodnji koja troši mnogo vode i pri proizvodnji hidroenergije. Ne smije se zanemariti činjenica da zajednička pojava suše praćena neodgovarajućim ljudskim djelatnostima, prije svega prenamjenom korištenja zemljišta, može uzrokovati degradaciju tla, širenje pustinja i konačno stvaranje suhog okoliša. Jedan drastičan primjer takve pojave opisan u prethodnom poglavlju. Kako se on desio i još uvijek se odvija upravo na krškom području Italije, a vezan je s pokušajem intenziviranja poljoprivredne proizvodnje, on je za naše krške krajeve vrlo ilustrativan i krajnje upozoravajući.

Povećane potrebe za vodom koje su uzrokovane rastom broja ljudi na Zemlji, ali i povećanom potrošnjom vode prvenstveno za navodnjavanje i industriju utjecali su na povećanu pažnju i osjetljivost najšire javnosti na pojavu fenomena suše i na njihove posljedice. Svaki nedostatak vode ili ograničenje u opskrbi vodom najteže se odrazi tijekom suša. Tada potrebe za vodom mogu izazvati sukobe.

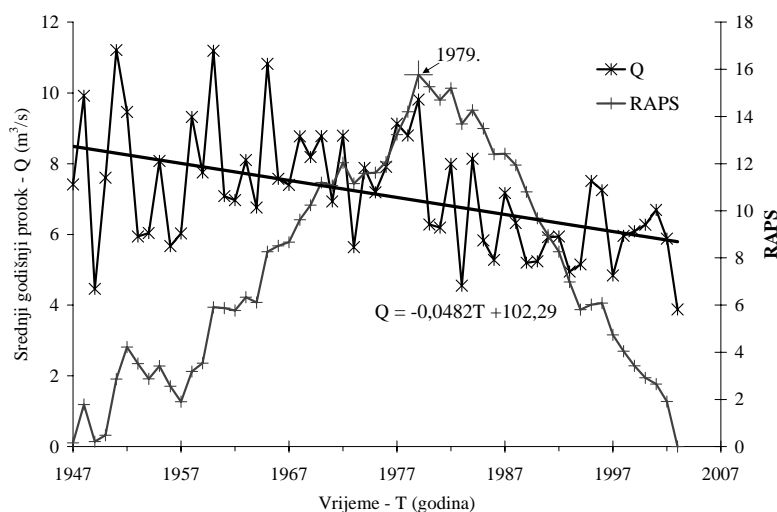
Vrlo kontraverzno, osjetljivo i do sada nedovoljno znanstveno rasvijetljeno pitanje je da li, te ako da, koliko te zašto klimatske promjene utječu na promjene režima suša. Znanstvena zajednica koja se bavi ovom problematikom jako je podijeljena u davanju odgovoru na ova važna i složena pitanja. Dok jedni tvrde da klimatske promjene izražene kroz globalno zagrijavanje nedvosmisleno uzrokuju sve češće pojave ekstremnih suša, ali i poplava (IPCC, 1990; 1992; 1995; 2001) drugi tu tvrdnju odbacuju kao potpuno neosnovanu ili najblaže znanstveno nedokazanu.

Leroux (2005) vrlo detaljno i argumentirano dokazuje da klimatske promjene ne postoje već da se radi o mitu koji je podržavan medijima, političarima i militantnim ekolozima. Hisdal i sur. (2001) su analizirali duge

nizove protoka mjerenih na području cijelog europskog kontinenta sa svrhom davanja odgovora na pitanje: "Da li suše u Europi postaju sve češće?" Zaključak njihovog vrlo opsežnog i znanstveno zasnovanog rada je da ne postoje indicije da su suše krajem dvadesetog stoljeća ekstremnije kako po količini tako i po trajanju od onih koje su se javljale krajem devetnaestog te početkom i tijekom dvadesetog stoljeća.

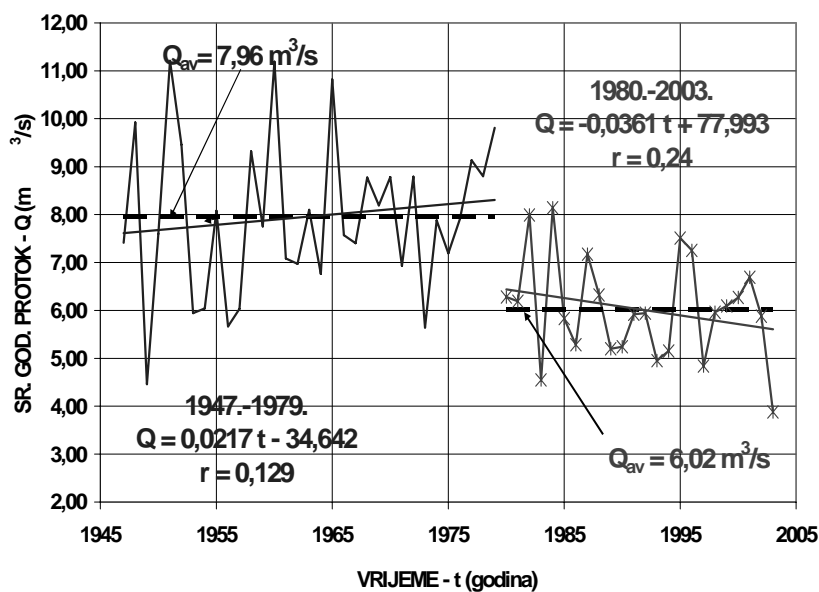
Činjenica je da veliki slivovi, ali i brojni srednji kao i oni mali, na kojima čovjek nije poduzeo nikakve zahvate, tj. za koje se može pretpostaviti da imaju prirodan hidrološki i hidrogeološki režim, gotovo i ne postoje na našoj planeti. Ljudske djelatnosti višestruko i teško predvidljivo utječu na prirodnu interakciju između meteorološke i hidrološke suše. Općenito se može reći da one pojačavaju negativne posljedice prirodne hidrološke suše. Prema tome ljudske aktivnosti mogu uzrokovati tzv. čovjekom izazvane hidrološke suše. najčešće se to dešava zbog pretjeranog crpljenja podzemnih voda kao i voda iz otvorenih vodotoka i prirodnih ili umjetnih jezera. Međutim i brojne druge ljudske djelatnosti na slivovima utječu ili na čovjekom izazvane hidrološke suše ili barem na intenziviranje prirodnih hidroloških suša. Nastavno se navodi nekoliko najčešćih takovih djelatnosti: urbanizacija, sječa šuma, pretjerana ispaša, transfer voda na daljinu itd.

Na slici 2 prikazan je niz srednjih godišnjih protoka izvora Rječine u razdoblju 1947.-2003. Na slici su ujedno ucrtane vrijednosti RAPS-a (Garbrecht i Fernandez, 1994) za isti niz podataka. Površina sliva izvora Rječine procijenjena na oko 125 km². Sa slike je vidljivo da postoji linearni trend opadanja protoka koji u obuhvaćenom razdoblju u prosjeku iznosi 48 l/s godišnje. Ovaj je trend izrazito zabrinjavajući pošto se iz izvora Rječine vodom djelomično opskrbljuje grad Rijeku. Analiza izvršena RAPS metodom pokazuje da je srednji godišnji protok izvora Rječine rastao od 1947. do 1979. kada je došlo do naglog, stalnog i zabrinjavajućeg opadanja.

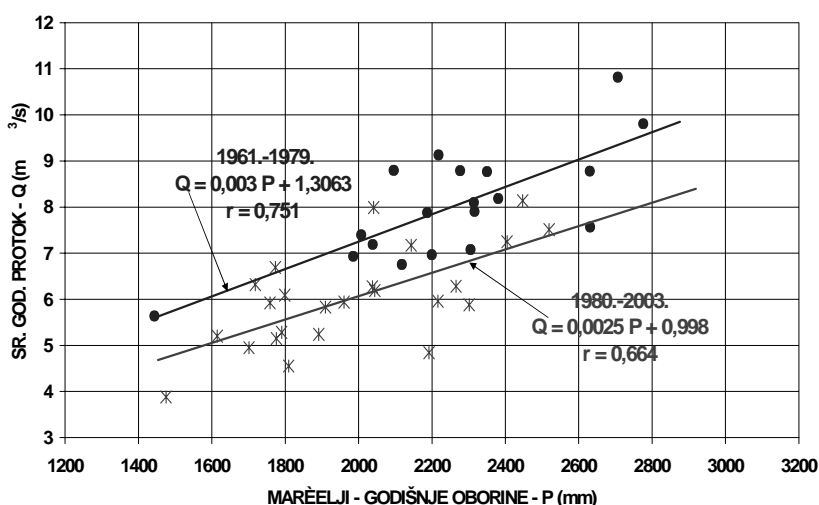


Slika 2: Grafički prikaz niza srednjih godišnjih protoka izvora Rječine u razdoblju 1947.-2003. s ucrtanim linearnim trendom i RAPS-om

Ta se situacija mnogo bolje može sagledati iz grafičkog prikaza danog na slici 3 na kojoj su ucrtani trendovi dvaju vremenskih podnizova srednjih godišnjih protoka izvora Rječine. U prvom podnizu za razdoblje 1947.-1979. uočava se trend porasta protoka u iznosu od 22 l/s dok se u drugom uočava trend opadanja u iznosu od 36 l/s. U suštini tijekom 1980. godine došlo je do naglog smanjenja srednjih godišnjih protoka. Od nekadašnjih prosječnih 7,96 m³/s srednji godišnji protok pao je na prosječnih 6,02 m³/s ili za oko 25 %. Na slici 4 grafički su prikazani odnosi srednjih godišnjih protoka izvora Rječine i godišnjih oborina izmjerenih na bliskom kišomjeru Marčelji. I ovaj prikaz jasno ukazuje na snažne promjene koje su se zbile u slivu izvora Rječine. Bitan, ali samo djelomičan razlog, je korištenje vode iz izvora za vodoopskrbu grada Rijeke. Iako se ne raspolaže pouzdano mjerenim podacima napominje se da se iz izvora Rječine za potrebe vodoopskrbe ne uzima se više od 1 m³/s vode godišnje čime se ne može objasniti pad od oko 2 m³/s u dva analizirana podrazdoblja.



Slika 3: Grafički prikaz dvaju vremenskih podnizova srednjih godišnjih protoka izvora Rječine (1947.-1979. i 1980.-2003.) s ucrtanim linearnim trendovima



Slika 4: Grafički prikaz odnosi srednjih godišnjih protoka izvora Rječine i godišnjih oborina izmjenjenih na bliskom kišomjeru Marčelji za dva vremenska podniza (1947.-1979. i 1980.-2003.) s ucrtanim regresijskim pravcima i koeficijentima linearne korelacije

Slična, ako ne i gora situacija je s presušivanjem ovog izvora, ali i doista brojnih drugih manjih izvora i otvorenih vodotoka u kršu Hrvatske. Presušivanja se glavninom događaju tijekom ljetnih mjeseci, međutim nerijetko se javljaju i u drugim dijelovima godine. Treba naglasiti da u ovom trenutku na osnovi postojećih mjerenih podataka nije moguće ustanoviti prave razloge ovim zabrinjavajućim procesima. Moguće je da određen, ali ne zna se koliki, utjecaj imaju i promjene ili varijacije klime. Očito je da se ove pojave malih voda i suša moraju razmatrati kompleksno uzimajući u obzir utjecaj ljudskih djelatnosti.

Bez vode nema života činjenica je koja se najizrazitije osjeća kod vodotoka koji presušuju. Takovi vodotoci česti su u našem kršu. Svako presušivanje značajno utječe na živi svijet vezan s ovakvom vrstom otvorenih tokova. Osnovna uloga svakog otvorenog vodotoka je pružanje staništa i hranjiva najrazličitijim biološkim organizmima od biljaka preko insekata, riba do sisavaca (uključujući i čovjeka). Fizički okoliš zajedno s biološkim organizmima u vodotoku i njegovoj okolini tvore ekosustav u kojem jedni na drugi imaju složen, interaktivan, značajan i stalan utjecaj. Ekologija izučava međuodnos između bioloških organizama i njihovog okoliša.

Jedan od najvažnijih vidova fizičkog okoliša otvorenih vodotoka je njihov vodni režim. Pod pojam vodnog režima spadaju promjena protoka, dubina vode, brzina vode, riječne morfologije, pronosa nanosa, temperatura vode, kemijskog sastava vode itd. tijekom godine i duž toka. Sve navedeno, ali i još neki čimbenici, snažno utječu na razvoj ekosustava.

Bonacci (2003b) navodi da vodu iz otvorenih vodotoka čovjek koristi najduže vremena i u najvećem iznosu vodeći, posebno u posljednjih nekoliko stotina godina, prvenstveno brigu o zadovoljavanju vlastitih potreba. Potrebe okoliša za vodom koja protječe koritima otvorenih vodotoka shvaćene su tek onda kad su oni postali drastično devastirani, kad su njihovi ekosustavi desetkovani i kad je čovjek na vlastitoj koži počeo osjećati posljedice svojih nedovoljno promišljenih postupaka.

Pokazalo se da su akvatični ekosustavi najbolje sačuvani u prirodnim uvjetima što je vrlo vjerojatno posljedica procesa evolucije. Spomenuto je stručnjake navelo na zaključak da bi u cilju spašavanja okoliša i obnove njegovih ekosustava stvari trebalo vratiti u prirodno stanje. Kako je ova plemenita ideja u suvremenom svijetu neostvariva neophodno je potražiti kompromisna rješenja koja će osigurati koncept održivog razvoja. Pravi odgovor na ova složena pitanja teško je naći, a morat će biti tražen u svakom pojedinačnom slučaju. Na taj put morat ćemo biti i mi spremni posebno u prostorima našeg krša.

5. Evapotranspiracija i potreba vode za navodnjavanje

Evapotranspiracija predstavlja istovremeno odvijanje procesa evaporacije (transfer vode u atmosferu s površine vode ili iz i s golog zemljišta i predmeta na njemu) i transpiracije (transfer vode u atmosferu kroz vegetaciju preko stomata, otvora na lišću biljaka). Kako je već u prethodno naglašeno evapotranspiracija predstavlja ključni proces koji utječe na reguliranje potreba vode za navodnjavanje. Dok za određivanje potencijalne evapotranspiracije postoje brojni modeli, metode, postupci i izrazi mora se ustvrditi da je utvrđivanje realne, stvarne ili aktualne evapotranspiracije najnepouzdanije riješena komponenta hidrološkog ciklusa, a time i bilance voda kako s teorijskog tako i s praktičnog stanovišta. Važno je suočiti se s činjenicom da ni evaporaciju kao ni transpiraciju nije, barem za sada, moguće precizno izravno mjeriti na terenu.

Proces evapotranspiracije izrazito je promjenjiv kako u prostoru tako i tijekom vremena. Sa stanovišta potrebe vode za navodnjavanje sam proces transpiracije značajniji je od evaporacije. Međutim, pri tome se ne smije zanemariti da biljke vodu koju koriste tijekom transpiracije namiruju glavnom iz nezasićenog sloja tla koji se nalazi unutar njihovog sustava korijena, dakle iz vlage u tlu. Pošto količina vlage u tlu zavisi o intenzitetu evaporacije očito je da je neophodno poznavati i pratiti cjelokupni proces evapotranspiracije.

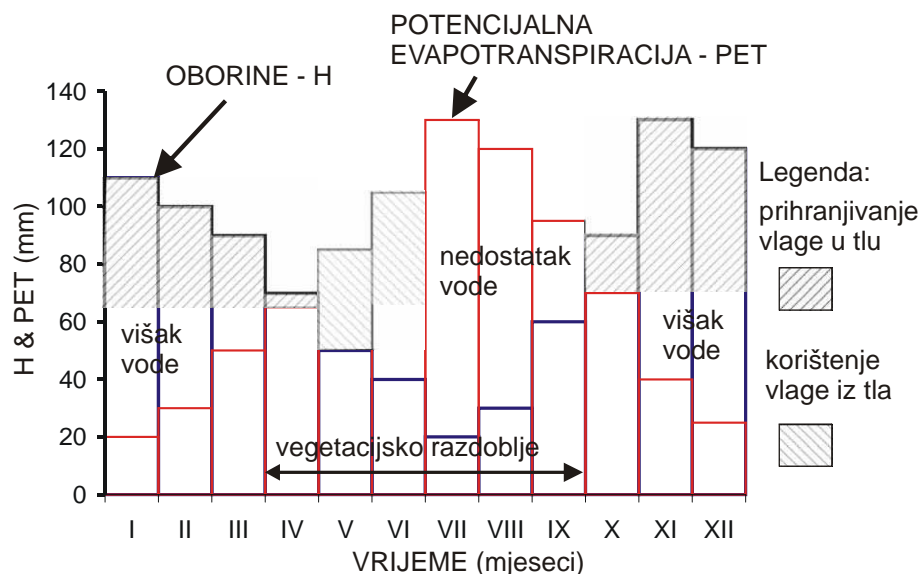
Sutcliffe (2004) definira pojam potencijalne evapotranspiracije kao transfer vode u atmosferu iz područja pokrivenog niskom travom, koje je opskrbljeno s obilnom količinom vlage, tj. količinom dovoljnom za nes-

metan rast niske vegetacije. Lizimetri su uređaji projektirani i građeni sa svrhom mjerenja gubitaka vode. Postoje vrlo različite izvedbe lizimetara. Kod nekih se gubici vode određuju stalnim mjerenjima težine cjelokupnog uređaja dok se kod drugih dodaju dovoljne količine vode za razvoj vegetacije koja se uzgaja u lizimetrima, tako da se dio dodane vode drenira. Razumljivo je da je u tom slučaju neophodno precizno mjeriti kako one dodane tako i one drenirane količine vode. Spomenutim tehnologijama nije ni jednostavno niti pouzdano vršiti mjerenja na terenu, tj. u različitim prirodnim uvjetima. Pokusi i praksa su pokazali da različito kulturno bilje kao i površine pokrivene šumom imaju veću vrijednost potencijalne evapotranspiracije od površina pokrivenih niskom travom.

Pošto je potencijalna evapotranspiracija s vlažne trave bila predložena kao standardna mjera isparavanja razvijeni su brojni i različiti pristupi kojima se pokušava količinski procijeniti ovaj proces koristeći meteorološke podatke. Pretpostavlja se da je proces kontroliran klimom i da vegetacija jednostavno odgovara na vanjske uvjete kojima je izložena.

Jedan od najčešće korištenih empirijskih izraza za računanje potencijalne evapotranspiracije razvio je Thorntwaite (1948). Važno je istaknuti da je izraz razvijen na osnovi podataka mjerenja izvršenih u istočnom djelu SAD-a. Zbog činjenice što je ovaj izraz razvijen u i za određenu regiju ne treba očekivati da ga je moguće i preporučljivo primjenjivati u drugim klimatskim uvjetima. Bez obzira na tu notornu i poznatu činjenicu Thorntwaiteov izraz se često koristi i u našim prilikama iako nam se čini da kod nas ne daje realne rezultate.

Na slici 5 ucrtan je grafički odnos prosječnih mjesečnih oborina i prosječne mjesečne potencijalne evapotranspiracije definiran za područje koje se razmatra u ovom radu, dakle krškog priobalja i zaleđa. Razumljivo je da se radi o shematiziranom prikazu koji daje prosječne i približne, ali karakteristične i realne vrijednosti. Na slici su označena mjeseci u godini kada se javljaju nedostaci i viškovi vlage te razdoblja u kojima dolazi do punjenja tla vlagom kao i korištenja vlage akumulirane u tlu za potrebe razvoja biljaka. Radi se o prikazu prosječnog klimatskog stanja koje se javlja u analiziranom prostoru. Pri tome gotovo da i ne treba naglašavati da je ovaj odnos svaka godina različita te da se značajno razlikuje na području našeg krša. Važno je uočiti da se u razmatranom prostoru tijekom vegetacijskog razdoblja generalno javljaju nedostaci vode koje je za potrebe uzgoja kulturnog bilja neophodno nadomjestiti navodnjavanjem.



Slika 5: Grafički prikaz odnos prosječnih mjesečnih oborina i prosječne mjesečne potencijalne evapotranspiracije definiran za područje koje se razmatra u ovom radu

Penman (1948) je razvio postupak za procjenu evaporacije sa slobodne vodene površine E_0 ili alternativno potencijalne evapotranspiracije s površina pokrivenih travom na kojima nikada ne nedostaje vlage. Ovaj postupak fizički je mnogo utemeljeniji od prethodno opisanog. Njegova metoda može biti riješena korištenjem standardnih meteoroloških opažanja slijedećih parametara: temperature i vlažnosti zraka, brzine vjetra te ili ulazne energije ili sati sijanja sunca. Vrijednosti za neto ulaznu energiju mogu se izravno mjeriti ili procijeniti na osnovi broja sati sijanja sunca dok drugi parametri jednadžbe mogu biti procijenjeni iz aerodinamičke jednadžbe korištenjem temperature i vlage zraka te brzine vjetra. Zbog činjenice što je ovaj pristup prvenstveno zasnovan na fizičkim zakonitostima uz nešto elementa empirijskih opažanja moguće ga je koristiti u različitim klimatskim uvjetima. Penman (1948) je originalno uveo empirijske faktore zasnovane na opažanjima u Velikoj Britaniji s ciljem da transformira evaporaciju sa slobodne vodene površine E_0 u potencijalnu evapotranspiraciju s travom pokrivenih površina ET . Monteith (1985) je dalje razvio Penmanov izraz. Njegov izraz pod nazivom Penman-Monteithove jednadžbe smatra se danas najpouzdanijom metodom za određivanje potencijalne evapotranspiracije. Gereš (1993) je detaljno opisao primjenu Penmanove metode uz navođenje računskih primjera.

Osim dvije spomenute metode koje se najčešće koriste u praksi postoje i brojne druge opisane u Priručniku za hidrotehničke melioracije, II. Kolo, Navodnjavanje, Knjiga 2, Potreba vode za navodnjavanje, izdanom od

strane Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci 1993. godine.

Međutim, osnovni problem vezan s uzgojem kulturnog bilja i navodnjavanjem ne leži u poznavanju vrijednosti potencijalne evapotranspiracije već u definiranju stvarne, realne ili aktualne evapotranspiracije. Za tu svrhu znanost i praksa opskrbili su nas za sada s malim brojem i to vrlo nepouzdanih metoda ili preciznije rečeno empirijskih izraza. Jedan od onih koji se u našoj praksi pokazao najuspješnijim je izraz Turca (1954). Osnovni nedostatak njegovog izraza je da je definiran za godinu kao jedinicu vremena, a velika prednost leži u činjenici što je za određivanje stvarne godišnje evapotranspiracije potrebno raspolagati samo s prosječnom godišnjom temperaturom zraka i godišnjom količinom oborina palom na analizirano područje. Kasnije je isti autor izraz prilagodio i za mjesece kao dijelove godine, ali se mora priznati da je pouzdanost određivanja stvarnih mjesečnih deficita ili gubitaka vlage mnogo manje pouzdana. Gereš (1993) je u svom radu detaljno opisao obje metode te je dao i primjer proračuna.

Sutcliffe (2004) smatra da je najbolji postupak za procjenu stvarne evapotranspiracije uspoređivanje palih oborina s vrijednostima potencijalne evapotranspiracije. Kao najpovoljniju vremensku jedinicu predlaže mjesec. Naglašava da je ove procjene najteže i najnepouzdanije vršiti za sušna područja. Činjenica je da krško priobalje i zaleđe Hrvatske općenito spadaju u subhumidne, a dijelom i humidne prostore ako se na njih gleda kroz godinu kao vremensku jedinicu. Međutim, kad se razmatra topli dio godine, posebno razdoblje od lipanja do kolovoza nerijetko se klimatske karakteristike mogu svrstati u semiaridne pa čak i aridne.

Sekulić (1998) iznosi različite rezultate o vrijednostima stvarne evapotranspiracije u području krša Hrvatske na koje je naišao u domaćoj i svjetskoj literaturi. On navodi da se potencijalna evapotranspiracija kreće između 850 i 1200 mm godišnje, ali da se rjeđe nailazi i na vrijednost od 1500 mm. Evaporacija sa slobodne vodene površine otprilike je 20 % veća od vrijednosti potencijalne evapotranspiracije. Pri tome u razdoblju od svibnja do rujna otpada više od 60 % (čak i 70 %) ukupne godišnje vrijednosti potencijalne evapotranspiracije. Na podatke o realnoj evapotranspiraciji se u literaturi nailaze rjeđe i to samo vezano s detaljnim hidrološkim analizama pojedinih slivova. Gruba je procjena da se ona u našim krškim predjelima kreće oko vrijednosti između 500 i 700 mm godišnje, a često i manje što zavisi o godišnjim oborinama, lokalnim klimatskim uvjetima (prvenstveno lokalnoj temperaturi), ali i lokalnim geološkim i hidrogeološkim prilikama.

Kos (1993a) naglašava da određivanje potreba usjeva za vodom tijekom vegetacijskog razdoblja predstavlja jednu od osnovnih podloga za svrsishodno i pravilno planiranje sastava za navodnjavanje te ekonomski opravdano projektiranje pojedinih elemenata mreže. Pri tome naglašava da količina hranjivih tvari koje biljke usišu nije izravno proporcionalna količini tran-

spirirane vode u istom vremenskom razdoblju. Važno je napomenuti da pod istim klimatskim i hidrološkim uvjetima tla potrošnja vode može značajno varirati u ovisnosti o plodnosti tla i svojstava transpiracije pojedinih sorti istog usjeva.

Postoje brojne metode za procjenu potrebe kulturnih biljaka za vodom (Kos, 1993a; 1993b). Većina se njih zasniva na konverziji potencijalne evapotranspiracije s površina pokrivenih travom na potencijalnu evapotranspiraciju površina pokrivenih različitim vrstama kulturnog bilja u različitim fazama rasta i zrelosti. Sutcliffe (2004) navodi da općenito uzevši kulturno bilje transpirira količine vode manje od potencijalnih u fazi rasta kada njihova stabljika i listovi još ne prekrivaju u potpunosti površinu na kojoj rastu. U fazi kad već pokrivaju cijelu površinu aktualna transpiracija odgovara vrijednosti potencijalne. Kad dođu u stanje zrelosti, nešto prije sakupljanja plodova aktualna transpiracija niža je od one potencijalne. Prethodno izneseno odnosi se na jednogodišnje kulturne biljke. Trajne kulturne biljke transpiriraju količine vode tijekom njihovog vegetacijskog razdoblja koje stalno otprilike odgovaraju potencijalnim vrijednostima evapotranspiracije uz uvjet da im na raspolaganju stoje dovoljne količine vode potrebne za njihov razvoj. Treba naglasiti da potrebne količine vode za razvoj značajno ovise o lokalnim klimatskim uvjetima.

Potrebe neto vode za navodnjavanje moraju biti definirane kao razlika vrijednosti potencijalne evapotranspiracije za određenu vrstu kulturnog bilja i oborina palih u vegetacijskom razdoblju. Pri tome treba naglasiti da se u oborine korisne za razvoj kulturnih biljaka ne mogu ubrojiti sve količine palih kiša, već samo one koje su biljke mogle iskoristiti za svoj razvoj. To izravno znači da od obilnih intenzivnih oborina koje padnu u jednoj oborinskoj epizodi biljke za svoj razvoj koriste samo onaj dio koji se zadrži kao vlaga u tlu. Dio koji oteče po terenu je izgubljen za biljke. Prema tome, bez obzira na to koliko se količina oborina izlučila u ljetnim intenzivnim olujnim pljuskovima oni najčešće ne osiguravaju dugotrajnu opskrbu biljaka vodom. Najčešće, ako su oborine ekstremno intenzivne štete su veće od koristi. Treba ukazati na činjenicu da se na cijelom teritoriju Hrvatske, a osobito u krškim i priobalnim predjelima sve češće javljaju sve intenzivniji ljetni olujni pljuskovi koji rezultiraju poplavama područje na koje su kiše pale te uzrokuju štete na usjevima.

Kratkotrajne oborine jakih intenziteta mogu biti vrlo i višestruko opasne. Kao prvo one mogu izazvati nagle poplave čak i tijekom toplih ljetnih razdoblja. Tijekom ljeta kad je biljkama najpotrebnija voda ovakve oborine obično su praćene olujama i tučom što dodatno izaziva štete na usjevima. Područje obuhvata kratkotrajnih, intenzivnih olujnih oborina ne prelazi vrijednost od nekoliko kvadratnih kilometara. Kao primjer se navodi katastrofalna nagla poplava Komiže na otoku Visu koja se zbila 30. kolovoza 2002.

kada je u par sati palo 239,5 mm kiše. U oko 8 kilometara udaljenom Visu izmjerena je oborina u iznosu od samo 14,2 mm. U kratkom razdoblju od nekoliko desetaka minuta do par sati tijekom ovakvih oborinskih epizoda može pasti od 30 do 50 % ukupnih godišnjih oborina.

Kad se govori o oborinama koje biljke koriste za svoj razvoj ne smije se zaboraviti niti na dio tzv. zadržanih oborina (Bonacci, 1994). Radi se o oborinama koje se zadrže na površinskim dijelovima biljaka i potom ispare s njih što znači da ne budu u potpunosti iskorištene za njihov razvoj. Većina zadržane vode bude isparena s površine listova. Ova je voda ipak bude djelomično korisno upotrijebljena od strane vegetacije za njen razvoj. Količina zadržane vode zavisi o vrsti vegetacije, ali i o raspodjeli oborine tijekom vremena.

6. Zaključak

Bitno je uočiti visoku prirodnu neravnomjernost raspodjele vodnih količina u prostoru i tijekom vremena, kako tijekom godine kao jedinice vremena tako i tijekom pojedinih godina, na teritoriju našeg cjelokupnog krša. Ova činjenica značajno otežava upravljanje vodnim resursima analiziranog prostora, a posebno njihovo pouzdano korištenje za navodnjavanje te se izravno odražava i na mogućnost održivog upravljanja i zaštite okoliša. Da bi se prevladali ovi problemi očigledno je da se prvenstveno moraju detaljno izučiti elementi bilance voda analiziranog prostora. To se posebno odnosi na krške podzemne vode čiji su nam resursi nedovoljno poznati. Neophodno je analizirati stanje regionalnih vodnih resursa u nekoliko kritičnih realnih sušnih godina koje su se desile u nedavnoj prošlosti i za koje je realno očekivati da se mogu pojaviti u bliskoj budućnosti.

Važno je uočiti da kritične situacije za proces gospodarenja vodnim resursima koje su uzrokovane nedovoljnim količina slatke vode, a koje se javljaju tijekom vegetacijske i ljetne sezone ili mjeseci, ne nastupaju samo u sušnim godinama. Sve češće se javljaju i u tzv. hidrološki normalnim ili prosječnim godinama. Činjenica je da se u posljednjih desetak godina u pojedinim regijama Hrvatske, a posebno na prostorima krša, sve češće javljaju kritične situacije vezane s opskrbom pitkom vodom ili vodom za natapanje. Uzrok tome uglavnom je povećana potrošnja i smanjeni kapaciteti izvora slatke vode povezani s nikakvom ili nedovoljnom kontrolom potrošnje vode. Kontrola potrošnje vode prvi je preduvjet za pouzdano upravljanje vodnim resursima te osiguranje uvjeta održivog okoliša i njegove učinkovite zaštite.

Značajno pitanje na koje će biti potrebno dati točne odgovore je: Koliki su prirodni i antropogeni utjecaji na trendove smanjenja količina vodnih resursa u prostoru našeg krša? Radi se o vrlo složenoj problematici koja ni po čemu nije specifična samo za ove prostore već je postala jedno od

ključnih planetarnih problema. Suša se sve češće, a posebno u uvjetima našeg krša treba razmatrati kao meteorološka anomalija modificirana fizičkim svojstvima sliva i ljudskim djelatnostima u njemu. Nesumnjivo je da se današnja hidrološka svojstva slivova na kojima su ljudi izvršili brojne zahvate značajno razlikuju od onih koja su bila u prirodnom stanju (Tallaksen i Van Lanen, 2004).

Zapažen je opći i vrlo zabrinjavajući trend smanjenja količina slatkih voda na našem teritoriju. Presušivanje malih, ali i srednjih vodotoka, a posebno krških izvora sve se češće javlja. Vrlo je teško precizno i pouzdano odvojiti prirodne od antropogenih razloga ovog opasnog procesa. Još je teže i manje pouzdano dati odgovor na pitanje da li će i kada ovaj proces prestati te kako će se razvijati u budućnosti. Stoga je u procesu upravljanja vodnim resursima, a posebno vezano s osiguranjem vode za navodnjavanje, potrebno pripremiti se za najgore realno moguće situacije.

U suvremenom svijetu voda se sve češće tretira i kao virtualna voda. Radi se o količini vode koja se potroši za proizvodnju dobara ili vršenje usluga. Najveći potrošač virtualne vode je upravo navodnjavanje, tj. poljoprivredna proizvodnja koja koristi navodnjavanje. Neke kulturna biljke trebaju veće količine vode od drugih. Brojne zemlje su upravo sa svrhom štednje vode pristupile drastičnoj promjeni poljoprivredne proizvodnje. Osmišljenom gospodarskom politikom vezano sa strategijom upravljanja vodnim resursima moguće je uštedjeti mnogo vode. Brojne države vode brigu o štednji vode na taj način da proizvode i izvoze robe i usluge na kojima troše malo vlastite virtualne vode (Chapagain, 2006), a uvoze robe i usluge za koje države iz kojih uvoze potroše mnogo virtualne vode. Kao primjer se navodi Japan koji sigurno spada u najrazvijenije zemlje svijeta i koji se najsustavnije brine o svojoj budućnosti. Hrvatska će o tom problemu morati uskoro povesti računa te se predlažem da se u donošenju planova natapanja vodi računa o virtualnoj vodi, tj. virtualnom uvozu i virtualnom izvozu vode putem poljoprivredne proizvodnje. Time je moguće ispuniti bitne i dugoročne nacionalne interese vezane ne samo s vodnim resursima već i s mnogo širim strateškim vidovima koji sežu do razine nacionalne sigurnosti.

Posebno pitanje koje je vezano uz navodnjavanje je da li graditi ili ne umjetne akumulacije kako one mikro i mini tako i one velike. Radi se o jednom od vrlo aktualnih i krajnje kontraverznih pitanja suvremenog svijeta. Umjetne su akumulacije jedno od hidrotehničkih rješenja koje je najviše napadano prvenstveno od strane ekologa, ali ne samo njih. S druge strane treba biti realist i postaviti pitanje gdje s vodom kad je ima viška (kako ublažiti katastrofalne posljedice poplava) i od kuda uzeti vodu za najrazličitije potrebe, a prije svega za navodnjavanje, kad je nema u otvorenim vodotocima ili u podzemlju što se u našim krškim krajevima ne dešava

samo tijekom pojave suša već svake godine u vegetacijskom razdoblju od srpnja do rujna. Očito je da umjetne akumulacije treba početi sveobuhvatno i individualno valorizirati. Problem izgradnje akumulacija potaknut potrebama navodnjavanja se ne smije niti prešutiti niti jednostranim zaključcima riješiti. Radi se o vrlo složenoj i kontraverznoj problematici s kojom će se cijela Hrvatska, a posebno njeni krški predjeli vrlo uskoro suočiti.

Sustav akumulacija na rijeci Cetini izvrstan je i očigledan primjer kako na jednom slivu postoje istovremeno i dobra, ali i loša rješenja upravljanja vodnim resursima korištenjem brana i akumulacija. Uzvodno od brane Prančevići sustav je izgrađen povoljno, tj. ima pogon koji je uravnotežio hidrološki režim. Može se općenito reći da ga je poboljšao sa stanovišta svih korisnika, a ne samo elektroprivrede. Nizvodno od brane Prančevići hidrološka, a s njom i ekološka, situacija duž toka Cetine pogoršana je do apsurdna. Danas koritom Cetine nizvodno od brane Prančevići teče manje od 10 % voda koje su tekle u prirodnom režimu. Sličnih, ali i vrlo različitih problema ima i na drugim sustavima akumulacija kod nas uglavnom građenih za potrebe proizvodnje električne energije.

Vrlo često se kod nas izgrađene akumulacije ili sustavi akumulacija nazivaju višenamjenskim. U praksi je to nažalost daleko od istine. Dobar primjer za to je sustav akumulacija na slivu Cetine koji se također proglašava višenamjenskim. Nažalost se mora naglasiti da ni ovaj kao ni drugi naši sustavi akumulacija i hidroelektrana nisu u stvarnosti ili barem u dovoljnoj mjeri višenamjenski. Onaj na Cetini kao i onaj na Dravi (slična je situacija i sa svim ostalim) prvenstveno služe elektroprivredi. Tek usputno i ako se radi o malim, za proizvodnju hidroenergije neznatnim, količinama vode elektroprivreda dozvoli da ih se voda iz njih koristi i u druge svrhe. Posebni problemi nastupaju tijekom ljetnih, sušnih razdoblja kad pogoni hidroelektrana rijetko poštuju dogovorene i daleko preniske tzv. biološke minimume. Očito je da će se to odraziti i na osiguranje vode za potrebe natapanja. Do sada se problematika stvarnog i učinkovitog višenamjenskog korištenja akumulacija uglavnom zaobilazila, što je sigurno imalo negativne posljedice upravo na okoliš. Čak što više, stvari se nisu dovoljno izučavale tako da danas ne znamo dovoljno o negativnim učincima akumulacija na krški okoliš. Problematika biološkog minimuma kao bitan element višenamjenskog upravljanja umjetnim akumulacijama mora biti kompleksnije tretirana. Predlaže se ujedno da odbacimo kod nas uvriježeni termin biološkog minimuma i prihvatimo onaj koji se u velikom djelu svijeta koristi, a to je ekološki prihvatljiv protok ili protok potreban za održivi razvoj ili potrebe okoliša za vodom iz otvorenih vodotoka.

Očigledno je da je dosadašnje razdoblje relativnog blagostanja i mira vezano s raspoloživim vodnim resursima Hrvatske, a posebno onima u pros-

torima krša, na kraju. Pred nama je mnogo nesigurnija budućnost za koju se moramo pripremiti. Dodatnu nesigurnost u proces upravljanja vodnim resursima unosi činjenica naše želje, a vjerojatno i potrebe, značajnog razvoja navodnjavanja. Za tu svrhu bit će potrebno osigurati velike količine voda i to upravo u onim razdobljima vremena kad su prirodno i uobičajeno javljaju nedostatci vode.

Analiza ove problematike trebalo bi predstavljati prvenstveni zadatak onima koji su zaduženi za upravljanje vodnim resursima Hrvatske, ali i stručnjacima i znanstvenicima. Osnovica za izvršavanje tog zadatka je kvalitetna bilanca slatkih voda Hrvatske. Bez nje nije moguće upravljati ni vodnim resursima niti razvojem bilo koje države ili regije. Pod kvalitetnom bilancom voda ne podrazumijeva se isključivo određivanje pouzdanih hidrometeoroloških komponenti, iako to predstavlja njen bitni sadržaj. Zbog prirodnih varijacija i/ili promjena kao i zbog djelovanja čovjeka, a posebno zbog promjena (uglavnom povećanja) potreba za vodom ljudi i okoliša bilancu voda bilo kojeg prostora nemoguće je zamisliti kao gotov čin. Radi se o procesu koji stalno treba pratiti, kontrolirati i ispravljati. Osnovna uloga svake bilance voda je omogućavanje dugoročnog održivog razvoja danog prostora. Zbog toga se u obzir mora uzeti činjenica postojanja vrlo dinamičnih i teško predvidivih promjena potreba za vodom.

7. DOKUMENTACIJA

1. Antonić, O., 1996. Application of spatial modelling in the karst bioclimatology. *Hrvatski Meteorološki Časopis* 31: 95-102.
2. Atkinson, T. C., 1986. Soluble rock terrain, In: P.G. Fookes and P.R.Vaughin (eds.), *Handbook of Engineering Geomorphology*, Survey Universita Press: 241-257.
3. Bögli, A., 1980. *Karst hydrology and physical speleology*. Springer Verlag, Berlin.
4. Bonacci, O., 1985. Hydrological investigations of Dinaric karst at the Krčić catchment and river Krka springs (Yugoslavia). *Journal of Hydrology* 82: 317-326.
5. Bonacci, O., 1987. *Karst hydrology with special references to Dinaric karst*. Springer Verlag, Berlin.
6. Bonacci, O., 1993. Hydrological identification of drought. *Hydrological Processes* 7. 249-262.
7. Bonacci, O., 1994. Oborine glavna ulazna veličina u hidrološki ciklus. Geing, Split.
8. Bonacci, O., 1995. Ground water behaviour in karst: example of the Ombla Spring (Croatia). *Journal of Hydrology* 165: 113-134.

9. Bonacci, O., 2001. Analysis of the maximum discharge of karst springs. *Hydrogeology Journal* 9 (4). 323-338.
10. Bonacci, O., 2003a. Suše, okoliš i poljoprivredna proizvodnja. Priručnik za hidrotehničke melioracije. III. Kolo, Knjiga 1. Suvremeni pristupi i metode planiranja i upravljanja hidromelioracijskim sustavima. 337-347.
11. Bonacci, O., 2003b. Ekohidrologija vodnih resursa i otvorenih vodotoka. Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu & IGH d. d., Zagreb.
12. Bonacci, O., 2005. Odvodnja polja u kršu na primjeru Vrgorskog polja. Priručnik za hidrotehničke melioracije. III. Kolo, Knjiga 2. Elementi planiranja sustava za navodnjavanje. 193-224.
13. Canora, F., Fidelibus, M. D., Sciortino, A., Spilotro, G. 2006., Hydrogeological hazards deriving from land use change in Murgia (Southern Italy). *Engineering Geology* (u tisku).
14. Chapagain, A. K., 2006. Globalisation of water - opportunities and threats virtual water trade. A. A. Balkema Publishers, Rotterdam.
15. Drouge, C., 1985. Geothermal gradients and groundwater circulation in fissured and karstic rocks: The role played by the structure of the permeable network. U: L. Rybach (ur.) *Heat flow and geothermal processes. Journal of Geodynamics* 4. 219-231.
16. Garbrecht, J., Fernandez, G. P., 1994. Visualization of trends and fluctuations in climate records. *Water Resources Bulletin* 30 (2). 297-306.
17. Gereš, D., 1993. Penmanova metoda. Priručnik za hidrotehničke melioracije, II. Kolo, Navodnjavanje, Knjiga 2, Potreba vode za navodnjavanje. Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci. 45-55.
18. Gereš, D., 1993. Turcova metoda određivanja potencijalne evapotranspiracije. Priručnik za hidrotehničke melioracije, II. Kolo, Navodnjavanje, Knjiga 2, Potreba vode za navodnjavanje. Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci. 105-122.
19. Hisdal, H., Stahl, K., Tallaksen, L. M., Demuth, S., 2001. Have stream-flow drought in Europe become more severe or frequent? *International Journal of Climatology* 21: 317-333.
20. Hynes, H. B. N., 1983. Groundwater and stream ecology. *Hydrobiologia* 100: 93-99.
21. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 1990. The IPCC scientific assessment. Cambridge University Press, Cambridge.
22. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 1992. The supplementary report to the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge.

23. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 1995. The science of climate change. Cambridge University Press, Cambridge.
24. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001. The IPCC scientific assessment. Cambridge University Press, Cambridge.
25. Kos, Z., 1993.a. Analiza utjecajnih faktora na ET usjeva. Priručnik za hidrotehničke melioracije, II. Kolo, Navodnjavanje, Knjiga 2, Potreba vode za navodnjavanje. Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci. 105-122.
26. Kos, Z., 1993.b. Proračun potreba za vodom. Priručnik za hidrotehničke melioracije, II. Kolo, Navodnjavanje, Knjiga 2, Potreba vode za navodnjavanje. Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci. 123-158.
27. Kiraly, L., Perrochet, P., Rossier, Y., 1995. Effects of the epikarst on the hydrograph of karst springs: a numerical approach. Bulletin d'Hydrogéologie 14: 190-220.
28. Laroux, M., 2005. Global warming - myth or reality? The erring ways of climatology. Springer Verlag, Berlin & Praxis Publishing, Chicester.
29. La Fleur, R. G., 1999. Geomorphic aspect of ground water flow. Hydrogeology Journal 7 (1): 78-93.
30. Matoničkin, I., Pavletić, Z., 1959. Životne zajednice na sedrenim slapovima rijeke Une i brzacima pritoke Unca, Acta Musei Macedonici Scientiarum Naturalium 6,4 (56): 77-99.
31. Monteith, J. L., 1985. Evaporation from land surfaces: progress in analysis and prediction since 1948. In: Advances in Evapotranspiration. Am. Soc. Agric. Engrs. 4-12.
32. Penman, H. L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy. Soc. 193. 120-145.
33. Rouch, R., 1977. Ecologie. Considerations sur l'ecosysteme karstique. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences 128, Paris. 1128-1130.
34. Sekulić, B., 1998. Potreba za vodom otoka Hrvatske. Zbornik radova Okruglog stola "Voda na hrvatskim otocima". Hrvatsko Hidrološko Društvo, Zagreb. 45-62
35. Stahl, K., 2001. Hydrological drought - a study across Europe. PhD Thesis Albert Ludwigs Universität Freiburg. Freiburger Schriften zur Hydrologie no 15.
36. Sutcliffe, J. V., 2004. Hydrology: a question of balance. IAHS Publication 7, Wallingford.
37. Tallaksen, L. M., Van Lanen, H. A. J. (ur.), 2004. Hydrological drought - processes and estimation methods for streamflow and groundwater. Elsevier, Amsterdam.

38. Thorntwaite, C. W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.* 38. 85-94.
39. Turc, L., 1954. Le bilan d'eau des sols. Relation entre la précipitation, l'évaporation et l'écoulement. Troisième journée de l'hydraulique, Alger. 36-43.
40. Waltham, T., Bell, F., Culshaw, M., 2005. Sinkholes and subsidence - karst and cavernous rocks in engineering and construction. Springer Verlag & Praxis Publishing, Berlin & Chicester.
41. Wilhite, D. A., 2000. Droughts as a natural hazard: concept and definitions. U: D. A. Wilhite (ur.) Drought, a global assessment. Routledge hazards and disasters series Vol. 1. 3-18.
42. Williams, P.W., 1983. The role of subcutaneous zone in karst hydrology, *Journal of Hydrology* 61. 45-67.

4

AKUMULACIJE U KRŠU

Prof.dr.sc. Jure Margeta

Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu

1. UVOD
2. METODE STVARANJA POVRŠINSKIH VODOSPREMIŠTA
3. OSNOVNI ELEMENTI I PROCESI U VODOSPREMIŠTIMA I OKOLIŠU
 - 3.1. Elementi akumulacije
 - 3.2. Procesi u akumulaciji
 - 3.3. Značajke i utjecaj akumulacija na okoliš
 - 3.4. Osnovne karakteristike vodospremišta u odnosu na kapacitet
4. VOLUMENSKJE JEDNADŽBE VODOSPREMIŠTA
 - 4.1. Bilansne jednadžbe volumena vodospremišta
 - 4.2. Istjecanje iz nereguliranih i reguliranih vodospremišta
5. SISTEMSKI PRISTUP PLANIRANJU I PROJEKTIRANJU KAPACITETA AKUMULACIJA
 - 5.1. Osnovne postavke
 - 5.2. Dotjecanje u akumulaciju
 - 5.3. Korištenje kapaciteta vodospremišta i istjecanje
 - 5.4. Metode rješavanja problema kapaciteta vodospremišta
 - 5.4.1. Podjela u odnosu na karakter podataka
 - 5.4.2. Podjela u odnosu na proceduru rješavanja
 - 5.4.3. Sezonsko punjenje i pražnjenje
 - 5.4.4. Simulacija
6. PROJEKTIRANJE I GRAĐENJE
 - 6.1. Lokacija, bazen i brana
 - 6.2. Rješavanje problema vodonepropusnosti
 - 6.3. Dovod, odvod i drugi elementi akumulacije
 - 6.4. Upravljanje i održavanje
7. DOKUMENTACIJA

1. UVOD

Ključni objekt svakog vodoopskrbnog sustava pa i sustava za navodnjavanje je vodosprema-akumulacija. Praktično bez akumulacije nije moguće ni jedno rješenje vodoopskrbe poljoprivrede vodom za navodnjavanje. Ona ima funkciju vremenske preraspodjele voda, odnosno usklađivanja potreba za vodom sa raspoloživim resursima. Zamjena je za prirodna vodospremišta: površinska-jezera i podzemna-vodonosnika kojih na otocima uglavnom nema.

Jadransko područje karakteristično s tipičnom Mediteranskom klimom: hladniji i vlažniji zimski period i sušniji i topliji ljetni. Morfološke, geološke i hidrogeološke karakteristike otoka, krš, su nepovoljne za bilo koji oblik prirodnog akumuliranja voda, kako površinski tako i podzemno. Zbog toga u sušnom klimatološkom periodu godine vode u vodnim resursima nema a malo je ima i u kišnom periodu jer vode koje padnu na površinu otoka brzo proteku podzemnim putovima otoka do razine mora i dalje bočno prema rubovima otoka. Najveći dio voda otječe do leće slatke vode koja se nalazi ispod otoka i koja se bočno po rubu otoka prazni u more. Ovisno o propusnosti podzemnih geoloških struktura, punjenje kao i pražnjenje leće je sporije ili brže. Na žalost, za većinu otoka prebrzo da bi se zadovoljile potrebe za vodom tijekom sušnog perioda godine. Iznimke su pojedini otoci na kojima se zahvaljujući vodonepropusnim strukturama/barijerama otjecanje voda usporilo, odnosno voda se zadržava na ili u otoku stvarajući podzemne ili površinske resurse za korištenje (Cres, Krk, Vis).

Ako ne postoji prirodni proces zadržavanja i akumuliranja vode na otoku tada je problem potrebno riješiti na umjetni način građenjem akumulacija. Akumulacija ima za cilj da akumulira sve raspoložive vode onda kad ih ima, te tako stvara umjetne resurse za sva korištenja kada je voda potrebna. Topografske značajke otoka s velikim brojem udolina i depresija, su vrlo povoljne za oblikovanje volumenskog prostora akumulacija. Nosivost terena je povoljna tako da se akumulacije mogu lako graditi. Na žalost geološke značajke su nepovoljne za vododrživost akumulacija tako da se vododrživosti mora rješavati na umjetni način. Kako na otocima nema prirodnih materijala koji bi se mogli koristiti za izgradnju vododrživih slojeva isto se mora postići umjetnim materijalima, danas uglavnom folijama proizvedenim iz sintetičkih materijala.

Opremanje akumulacije se provodi u skladu sa značajkama vodnog resursa koji se koristi za punjenje te značajkama korisnika vode iz akumulacije. Svaku akumulaciju karakteriziraju osnovne značajke: volumen, dubina, površina, režim punjena i pražnjenja, gubici, konstrukcija brane-nasipa, konstrukcija folije i zaštitnog sloja, ulazna i izlazna građevina, pokrov i drugi elementi shodno značajkama prostora, vodnih resursa i korištenja. Iako se radi o jednostavnim građevinama važno je problem cjelovito rješavati kao bi se dobilo što bolje rješenje.

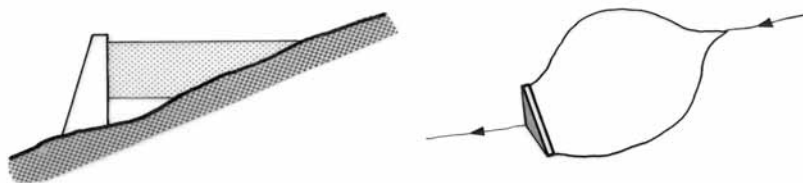
2. METODE STVARANJA POVRŠINSKIH VODOSPREMİŠTA

Jezera

Najstarija, najpoznatija i najdostupnija vodospremišta su postojeća jezera. Jezera imaju svoje prirodno ponašanje koje se utjecajem čovjeka može promijeniti u skladu s planiranom namjenom. Intervencije mogu biti različite: mijenjanje izlaza, ali u okviru prirodnih promjena nivoa; spuštanje prirodnog minimuma s promjenama izlaza; povećavanje prirodnog maksimuma izgradnjom obodnih nasipa; kombinacija spuštanja i dizanja prirodnog nivoa. Sve ove promjene u pravilu radimo da bismo povećali korisni kapacitet jezera. Kod bilo kojih zahvata je bitno ispitati prirodne karakteristike ovih vodospremišta, uključujući prirodne minimalne i maksimalne nivoe, kao i njihove srednje vrijednosti. Međutim, treba imati na umu da sve promjene imaju i odgovarajući utjecaj na ekologiju jezera, a time i na kvalitetu vode.

Dolinska vodospremišta

Najčešći oblik stvaranja vodospremišta je na umjetni način, a najčešće je izgradnjom dolinskih rezervoara-akumulacija koji nastaju pregrađivanjem vodotoka (slika 2.1) i dolina. Ovakav oblik vodospremišta može se formirati i na povremenim vodotocima. To je ujedno najčešći slučaj u sušnim područjima u kojima je kišna sezona kratkotrajna. Dolinski tip vodospremišta također se formira u dolinama koje nemaju vodotoke. Dolinska topografija prostora (depresija) omogućava da se gradnjom brane na jednostavan i jeftin način formira potrebni volumen za akumuliranje voda. U ovom slučaju voda se dovodi od zahvata do vodospremišta.



Slika 2.1: Dolinski rezervoar-akumulacija

Dolina svojim oblikom osigurava potrebni prostor koji se dobije pregrađivanjem doline odgovarajućom branom. Padine doline su prirodna brana vodospremišta, a otvor se zatvara umjetnom branom.

Podobnost lokacija se najčešće procjenjuje kod odnosa:

(H) visina brane - (V) volumen rezervoara

Uvijek se nastoji da što manjom branom dobijemo što veći volumen, naročito ukoliko su svi ostali uvjeti povoljni, geologija, geografija, geomehanika i drugi uvjeti vezani uz nosivost i stabilnost terena akumulacije. Jedan od ključnih uvjeta je vododrživost prirodnog terena na mjestu akumulacije.

Najproduktivniji način formiranja vodospremišta je ako se branom pregradi uski izlaz iz široke udoline-polja. Za naše kraške krajeve su upravo značajne akumulacije u kraškim poljima kao specifični tip dolinskih akumulacija (Buško Blato, Peruča, itd.). U ovom slučaju se prostor krškog polja koristi za formiranje volumena akumulacije, a na izlazu iz polja-doline gradi se brana.

U krškim područjima rijetke su lokacije koje imaju zadovoljavajuću prirodnu vododrživost odnosno podnošljivu veličinu gubitaka. Najpoznatija je akumulacija Peruča na rijeci Cetini. U krškim područjima postoji veliki broj mikro akumulacija-lokvi kod kojih je vododrživost značajna. Ako prirodna vododrživost nije zadovoljavajuća tada se ista postiže na umjetni način prirodnim ili umjetnim materijalima što je najčešći slučaj kod manjih akumulacija u kršu.

Slični ovima su rezervoari izvan dolina gdje postoje zadovoljavajuće depresije. Moguće su razne izvedbe. Najjednostavnije je ukoliko u blizini postojećeg korita postoji staro korito dovoljnog volumena. Tada se staro korito iskorištava za izvedbu rezervoara tako da se korito pregrađuje branom. Rezervoar se puni vodom iz novog korita gdje je vodotok ili dovodom vode iz zahvata.

Priobalna vodospremišta

Pored ovog tipa, imamo još i priobalna vodospremišta. Ovaj tip vodospremišta karakterističan je za ravničarske krajeve a najčešće se koristi za kontrolu poplava. Međutim, može se koristiti i za druge namjene shodno lokalnim značajkama problema koji se rješava. Vodospremište se puni vodom iz vodotoka u koji se voda iz vodospremišta prazni ako se vodospremište koristi za regulaciju protoke (smanjenje velikih voda i povećanje malih voda).

Umjetno formiranje depresija

Danas su sve značajnije izvedbe malih akumulacija u umjetno napravljenim depresijama. Kod izvedbe ovakvih akumulacija uvijek se nastoje iskoristiti raspoložive prirodne depresije i volumeni a sve kako bi se iskop materijala smanjio i tako cijela izgradnja pojeftinila. U krškim područjima akumulacije se formiraju u tipičnim krškim geološkim strukturama koje su karakteristične po velikoj infiltraciji tako da se prirodna vododrživost ne može postići. Zbog toga se vododrživost ovih akumulacija uvijek postiže na umjetni način, uglavnom primjenom geomebrana-folija.

3. OSNOVNI ELEMENTI I PROCESI U VODOSPREMIŠTIMA I OKOLIŠU

3.1. Elementi akumulacije

Osnovni dijelovi manje akumulacije su:

• Bazen;	• Ulazna građevina;
• Brana - nasip;	• Pristupni put;
• Dovodni kanal-cjevovod i kontrolna građevina;	• Prethodno pročišćavanje voda prije upuštanja u akumulaciju;
• Izlazna građevina;	• Preljev;
• Temeljni ispušt;	• Zaštita od isparavanja;
• Uređaj za pročišćavanje vode na izlazu;	• Odvodni cjevovod-kanal sa kontrolnom građevinom;
• Prostorije i prostor za osoblje;	• Ograda;

Bazen služi za spremanje potrebnog volumena vode, a brana - nasip služi za formiranje bazena. Voda u akumulaciju dotječe odgovarajućim cjevovodom ili kanalom koji se oprema s odgovarajućom opremom radi regulacije dotjecanja u akumulaciju i mjerenja količine vode koja dotječe. Ulazni cjevovod, odnosno regulaciona građevina ima odgovarajući obilazni vod kojim se voda u cijelosti preusmjerava izvan akumulacije. Ulazna građevina služi za upuštanje vode u samu akumulaciju na za to predviđeno mjesto (priobalno, u dnu, na više razina, itd). Izlazna građevina služi za zahvaćanje vode iz akumulacije na za to predviđenom mjestu (priobalno, u dnu, na više razina, itd). Svaka akumulacija mora imati incidentni preljev ma kako bio reguliran dotjecaj vode u akumulaciju. Služi da spriječi nekontrolirano prelijevanje po tijelu nasipa, brane akumulacije. Svaka akumulacija ima temeljni ispušt putem kojeg se akumulacija u cijelosti može isprazniti. Odvodni cjevovod , odnosno regulaciona građevina prema korisnicima, služi da se regulira istjecanje/korištenje vode iz akumulacije. Oprema se odgovarajućim regulacijskim elementima i mjeracem protoke. Uređaj za

čišćenje vode na ulazu se gradi da bi se regulirala kakvoća vode koja dotječe u akumulaciju, a na izlazu da bi se regulirala kakvoća vode koja se distribuira korisnicima. Pojedine akumulacije imaju odgovarajuće elemente kojima se smanjuje veličina evaporacije iz akumulacije. Objekt se mora odgovarajuće opremiti tako da bi trebao imati ogradu iz sigurnosnih razloga, pristupni put radi komunikacije i eventualno prostorije za skladištenje opreme i boravak uposlenih tijekom održavanja.

Ovisno o značajkama lokacije i akumulacije planiraju se i grade potrebni elementi. To znači da svi gore nabrojani elementi neće biti uvijek zastupljeni kod svake izgradnje.

Detaljnije o svim ovim elementima bit će govora u poglavljima projektiranja i građenje.

3.2. Procesi u akumulaciji

Akumulacija je voda stajačica u kojoj se odvija cijeli niz prirodnih procesa značajnih za vode stajačice. Prirodni procesi koji se odvijaju u akumulaciji su:

- a) Fizikalni: infiltracija u i iz akumulacije, isparavanje, promjena temperature, otapanje plinova, cirkulacija vode, taloženje, itd.
- b) Biološki: fotosinteza, nitrifikacija, denitrifikacija, itd.
- c) Kemijski: sinteza organskih tvari, oksidacija tvari, kiselo i metansko vrenje, proteinska hidroliza, itd.

Disciplina koja se bavi procesima u akumulacijama i jezerima je limnologija. Ovdje ćemo se osvrnuti samo na najvažnije procese od interesa za manje akumulacije koje se koriste za navodnjavanje.

Biološki procesi

Biološki procesi nisu poželjni u akumulacijama koje se koriste za navodnjavanje jer onečišćuju vodu otežavaju njeno korištenje.

Procesi koji će se odvijati u akumulacijama ovisе o značajkama lokacije, a najviše o sastavu i kakvoći vode koja dotječe u akumulaciju.

Ako je akumulacija sastavni dio površinskih vodnih resursa tada se u akumulaciji razvija biocenoza u skladu sa značajkama vode - vodotoka, koji dotječe u akumulaciju. To znači da se u akumulaciji može formirati cjeloviti hranidbeni lanac od proizvodnje organske tvari (fotosinteza), preko potrošača prvog i drugog reda (biljojedi, mesojedi) do razlagača (bakterije). Sastav vode i količine biogenih elementa a poglavito organskih tvari i nutrijenata zajedno s hidrodinamičkim značajkama akumulacije (izmjena vode) i klimom u najvećoj mjeri utječu na procese koji će se odvijati kao i na bogatstvo i raznolikost biocenoze. Svi članovi zajednice vezani su zajedno s

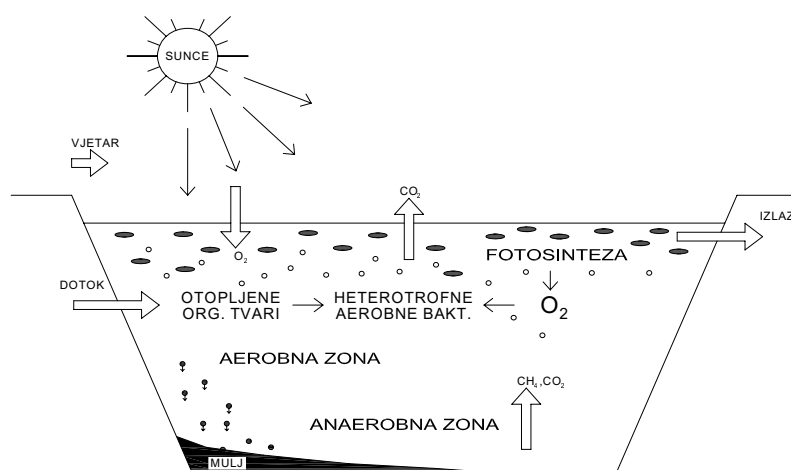
lancem prehrane. To je jedan dinamičan sustav koji se mijenja kako se mijenjaju uvjeti u akumulaciji.

Ako se voda u akumulaciji tijekom jedne godine u cijelosti izmjeni na način da je akumulacija u jednom periodu bez vode, kako je to slučaj kod akumulacija u kršu koje se koriste za navodnjavanje, tada su biološki procesi manje značajni jer se cjelokupna biocenoza svake godine uništi.

Ako se akumulacija puni čistim vodama ili podzemnim vodama u kojima nema biljaka i životinja te nema hranjivih soli i organske tvari, ili je nema u značajnijim količinama, tada se u akumulaciji neće formirati cjeloviti hranidbeni lanac i biocenoza stajačica, već procesi na razini mikroorganizama i bakterija.

Osnovni biološki procesi koji se odvijaju u manjim umjetnim akumulacijama su:

- (i) procesi fotosinteze u površinskom sloju vode, te
- (ii) razgradnja mrtve organske tvari u aerobnim i anaerobnim uvjetima putem heterotrofnih bakterija, slika 3.1.



Slika 3.1: Osnovni biološki procesi u akumulacijama

U slučaju vrlo malih količina organske tvari u akumulaciji će se odvijati fotosinteza i aerobni procesi. Povećanjem količine organske tvari povećavat će se i potrošnja kisika, te će se pri dnu javljati anaerobni procesi kao i prijelazna fakultativna zona. U slučaju da su akumulacije značajno opterećene organskim tvarima tada će najveći dio stupca vode biti anaeroban.

Biološki procesi su vrlo intenzivni kod akumulacija koje akumuliraju vodu s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. U ovom slučaju akumulacije se zapravo koriste za dodatno pročišćavanje vode. Duljim zadržavanjem vode iz nje se eliminiraju bakterije i virusi, te otopljene organske tvari.

Procesi u akumulaciji sa stanovišta navodnjavanja dijelom onečišćuju vodu koja se prije korištenje treba pročišćavati. Razina pročišćavanja odnosno potrebna kakvoća vode ovisi o tipu navodnjavanja. Što je tip navodnjavanja sofisticiraniji, odnosno otvori kroz koje se voda distribuira manji, to je razina čišćenja veća a sve kako se natapni sustav ne bi začepio. To znači da je ključni pokazatelj koncentracija suspenzija. U slučaju korištenja sustava kap-po-kap koncentracija suspenzija mora biti vrlo mala. Otopljene tvari, a prije svega hranjive soli nitrata i fosfata kao i drugih tvari nastale kao rezultat biokemijskih procesa, u principu ne štete kakvoći vode koja se koristi za navodnjavanje već naprotiv, zamjenjuju korištenje hranjiva.

Prema tome najveći problem su suspendirane kao i taložive tvari čiju bi koncentraciju trebalo kontrolirati. Isto se najčešće kontrolira filtracijom ili prosijavanjem.

Isparavanje

Kad se govori o akumulacijama koje se koriste za navodnjavanje tada je najznačajniji fizikalni proces isparavanje. Isparavanje je često najznačajnija komponenta i njeno određivanje je najlakše uz korištenje jednadžbe vodnog bilansa, ukoliko su svi drugi članovi poznati. Na žalost, takva situacija je vrlo rijetka (nema obodnih tečenja; oborine, kondenzacija i led se mogu zanemariti; svi ulazi i izlazi poznati), te se isparavanje mora određivati drugim metodama.

Isparavanje (E_j) je složen proces koji je u funkciji cijelog niza faktora (meteoroloških i fizičkih) i uglavnom se određuje na bazi toplotnog bilansa.

$$E_j = \frac{H_i - H_o - dH}{r(1 + R)} \quad \text{gdje je: } \begin{array}{l} H_i - \text{ukupni toplotni input u retenciju} \\ H_o - \text{toplina koja odlazi iz retencije} \\ dH - \text{promjena topline vode retencije} \\ r - \text{gustoća isparene vode} \\ l - \text{latentna toplina isparavanja} \\ R - \text{dio topline izgubljene na evaporaciju} \end{array} \quad (3.1)$$

$$R = \frac{0,61 * P_{atm} * (T_s - T_a)}{1000 * (e_s - e_a)} \quad (3.2)$$

gdje je: P_{atm} - tlak (milibari)
 T_s/T_a - temperatura površine i zraka (°C)
 e_s/e_a - tlak pare na površini i u zraku (milibari)

Pored ove metode, postoji cijeli niz jednadžbi i postupaka za njeno određivanje, a jedna od formula je sljedeća:

$$E_j = 0,013 * (e_0 - e_2) * (1 + 0,72 * V_2) \quad (\text{mm/mjeseć}) \quad (3.3)$$

gdje je: e_0 - maksimalni tlak pare za srednju mjesečnu temperaturu vodene površine ($^{\circ}\text{C}$)

e_2 - srednji mjesečni tlak pare na visini od 2m iznad vodene površine

V_2 - srednja mjesečna brzina vjetra na visini od 2m iznad vodene površine (m/s)

ili Sermerova formula za dnevno isparavanje, ali za srednjoevropske uvjete:

$$E_j = 10 * (0,0452 * T - 0,104) \quad (\text{mm/mjeseć}) \quad (3.4)$$

gdje je T srednja mjesečna temperatura zraka na visini od 2 m iznad površine vode.

Isparavanje je direktni gubitak vode iz akumulacije zbog čega se nastoji kontrolirati, odnosno smanjiti na najmanju moguću mjeru.

Podzemno dotjecanje i istjecanje

Jednako složeno je i određivanje obalnog dotjecanja ili istjecanja. Budući da se radi o podzemnim tokovima, samo mjerenje je komplicirano i skupo, pa se zato ove veličine češće određuju posredno, preko bilansa voda retencije. Međutim, ovi obodni gubici mogu imati i privremeni karakter. Naime, kod određenih razina vode u retenciji ona prodire u obalne geološke strukture i ispunjava ih, a kod drugih, u pravilu nižih, voda se vraća u retenciju. Ovo privremeno gubljenje i vraćanje vode se može i izračunati, ukoliko postoje mjerenja razina podzemnih voda po obodu retencije.

$$\pm Q_{ob} = PS * DS * L \quad (3.5)$$

gdje je:

- PS - poprečni presjek geoloških struktura (m^2) unutar krivulje povratnih voda; donja granica odgovara minimalnoj godišnjoj razini podzemne vode, a gornja razina u dotičnom trenutku;
- DS - deficit saturacije geoloških struktura; razlika između trenutne vlage i poroziteta stijenske mase;
- L - duljina obale retencije za različite razine (km)

Na bazi mjesečnih podataka može se konstruirati krivulja ovih tokova u funkciji dubine $Q_{ob} = f(H)$ i na taj način efikasno koristiti proračunavanja. Obodna dotjecanja i istjecanja mogu imati konstantan i povremen karakter, kako unutar samog hidrološkog sistema retencije tako i u odnosu na rubne hidrološke sisteme (vanjska dotjecanja i istjecanja). Poseban problem predstavlja bilanciranje voda retencija u kršu zbog složenog dotjecanja i istjecanja, kako podzemnog tako i površinskog.

Umjetne akumulacije sa pouzdanim sustavom brtvljenja nemaju procese podzemnog istjecanja i dotjecanja, podrazumijevajući da je brtvljenje dobro napravljeno.

Taloženje

Taloženje suspendiranih tvari u akumulaciji je nepoželjan proces jer smanjuje volumen akumulacije i utječe na formiranje bioloških procesa u akumulaciji. Talog omogućava rast algi ili čak biljaka u akumulaciji i cijeli niz drugih procesa koji mogu rezultirati neželjenim stanjem i kakvoćom vode koja se koristi na navodnjavanje. Biljke svojim korijenjem mogu oštetiti btrveni sloj akumulacija i time ugroziti njihovu vododrživost. Zbog toga bi se taložive tvari trebale izdvojiti iz vode prije njenog upuštanja u samu akumulaciju.

3.3. Značajke i utjecaj akumulacija na okoliš

Izgradnjom površinskih vodospremišta bitno se mijenjaju karakteristike vodnog režima površinskih tokova, pošto imaju specifična svojstva i efekte i na sebe i na svoju okolinu. Osnovna zakonitost za utjecaje je: utjecaji rastu s porastom volumena akumulacije. To znači da će utjecaji malih akumulacija biti mali, odnosno zanemariv. Bez razlike na to, ukratko će se nabrojati i opisati značajke i utjecaji akumulacija.

Osnovne volumenske krivulje: Već je rečeno da dvije krivulje najbolje fizikalno opisuju volumenske karakteristike vodospremišta, a to su:

dubina - volumen $V = f_1(H)$

površina - dubina $A = f_2(H)$

$$V = \int_0^H f(H)dH \quad (3.6)$$

Dinamički volumen: Također je značajno znati dinamički volumen za protočne uvjete, naročito u slučaju malih dubina vodospremišta. Poznato je da u promjenjivom režimu tečenja dolazi do osciliranja masa vode oko stacionarnog stanja. Volumen vode koji sudjeluje u osciliranju iznad stacionarnog stanja zove se dinamički volumen. Kod malih akumulacija za navodnjavanje dinamički volumen se može zanemariti.

Brzina dotjecanja u vodospremište i brzina istjecanja: Brzina ulaza i izlaza vode iz vodospremišta je značajan pokazatelj koji se kod analize treba uzeti u obzir. Dotjecanje i ispuštanje može biti silovito ili relativno mirno. Kod manjih akumulacija ulazi i izlazi su cijevi zbog čega su ovi utjecaji manji ali nisu zanemarivi u blizini izlazne, odnosno ulazne cijevi.

Tip i brzina taloženja: Taloženje suspenzija u nekim sredinama predstavlja najveću opasnost za rad vodospremišta. To se posebno odnosi na vodospremišta koja se prihranjuju vodotocima koji nose velike količine nanosa. Suspenzije i nanos utječu na funkcioniranje svih evakuacijskih organa ali i na vijek trajanja vodospremišta. Kao što smo vidjeli, ovaj problem se pojednostavljeno rješava formiranjem mrtvog prostora predviđenog da se zapuni suspenzijama i nanosom.

Erozija obala: Erozija obala ima za posljedicu urušavanje obala i zapunjenje prostora vodospremišta. Zbog velike opasnosti i šteta ovaj problem se uvijek analizira.

Izmjena vode sa priobaljem: Karakteristike izmjene vode s priobaljem je važno poznavati kako bi se spriječili neželjeni efekti, kako na rad vodospremišta tako i na stabilnost obala. Vodonepropusne akumulacije nemaju ovaj problem. Međutim, podzemne vode mogu negativno utjecati na stabilnost nasipa posebno u periodima kada su akumulacije prazne.

Izmjena kemijskog i drugog sastava s priobaljem: Izmjena vode s priobaljem ima za posljedicu izmjenu kvalitete vode shodno karakteristikama priobalja. Kod nekih tipova vodospremišta je kemizam vode od posebne važnosti (vodoopskrba). U slučaju korištenja geomembrija ovaj problem je zanemariv i odnosi se jedino na samu membranu i pokrovni materijal membrane.

Uvjeti za evakuaciju poplavnih voda: Problemi i karakteristike vodospremišta za slučaj evakuacije velikih voda moraju se analizirati, te predvidjeti rješenja. To posebno vrijedi za akumulacije s nekontroliranim ulazima vode. Ako je ulaz kontroliran, kao što je to slučaj kod većine malih akumulacija, ovaj problem je zanemariv.

Stratifikacija vode: Stratifikacija voda i pojava strujanja kao posljedica različite gustoće vode je jedan od fenomena koji karakteriziraju svako vodospremište i definiraju njegove ekološke karakteristike. Kod manjih, a time i plićih akumulacija (dubina manja od 10 m), ovaj problem nije jako izražen jer se cijeli stupac vode podjednako zagrijava.

Miješanje kao posljedica osnovnog toka kroz vodospremište: Potrebno je znati kako ulazni tokovi vode u vodospremište, te raspored izlaza utječu na tok vode kroz vodospremište i koje su posljedice prije svega na izmjenu vode vodospremišta ali i na taloženje suspenzija.

Struje i cirkulacija pod djelovanjem vjetra: Vjetar na vodenoj površini generira valove i površinsko strujanje shodno veličini razgona. Formiranjem površinskog strujanja javljaju se kompenzaciona pridnena strujanja tako da se kod različitih vjetrova formiraju specifična strujanja u vodospremištu, a valovi vrše eroziju obala.

Temperaturni režim: Raspored temperature u vodospremištu i to vremenski (sezonski) i prostorni (po dubini) je od bitne važnosti za ekološke karakteristike vodospremišta. Međutim, temperatura vode ima utjecaja i na samo korištenje vodospremišta jer se često nastoji iz vodospremišta evakuirati i voda odgovarajuće temperature (ekološki ili vodoprivredni zahtjevi).

Stvaranje leda i njegova posljedica: Led utječe na rad evakuacijskih organa ali i na priobalje i samu konstrukciju pregradnog objekta, tako da se isti mora posebno proučavati.

Režim i kvaliteta vode: Vremenski i prostorni raspored kvalitete vode u vodospremištu je značajan kako za samo korištenje vode tako i za ekološke karakteristike vodospremišta.

Utjecaji na riječnu morfologiju: Formiranjem vodospremišta na vodotoku dolazi i do promjena u riječnoj morfologiji. Najizrazitiji efekti su taloženje na ulazu u vodospremište i erozija na izlazu iz vodospremišta.

Priobalni volumen: O značenju priobalnog volumena smo već govorili. Volumenske karakteristike priobalja mogu imati veliki utjecaj na karakteristike vodospremišta, ako su volumeni značajni. U slučaju vodonepropusnih akumulacija ovaj utjecaj ne postoji.

Utjecaji na potrebe: Formiranje vodospremišta, odnosno ciklus punjenja i pražnjenja ima utjecaja na geološke strukture područja i na seizmiku šireg područja. Male akumulacije nemaju takove utjecaje.

Biološki efekti i utjecaji: Biološki efekti i utjecaji su danas sve značajniji jer se ekologiji poklanja sve veća pažnja. Kemijske karakteristike vode, cirkulacija, temperatura i drugi fizikalni pokazatelji imaju znatnog utjecaja na biologiju vodospremišta koja za posljedicu može imati cijeli niz negativnih efekata, kao što je eutrofikacija.

Ekološki efekti i utjecaji: Bez izrade ekološke studije danas se ne može dozvoliti realizacija bilo kojeg vodospremišta. Poznato je da formiranje vodospremišta ima znatnih ekoloških efekata od kojih su mnogi negativni, te se stoga isti moraju dobro proučiti i definirati mjere zaštite. Kao što je rečeno, male akumulacije imaju male ekološke utjecaje tako da iste ne

predstavljaju ekološki problem. Hrvatski propisi ne zahtijevaju izradu studije utjecaja na okoliš za akumulacije veličine do 1.000.000 m³ što spada u veće akumulacije u kršu.

Očito, nije lako ni jednostavno planirati i gospodariti površinskim vodospremištima, zbog čega sistemski pristup može racionalizirati cijeli postupak. Kod malih akumulacija su svi ovi čimbenici, procesi i utjecaji bitno manji i zbog toga jednostavniji za analiziranje i rješavanje.

3.4. Osnovne karakteristike vodospremišta u odnosu na kapacitet

Zavisni i nezavisni kapaciteti

U analizi vodospremišta i njihovih kapaciteta bitno je znati da li je kapacitet zavisan ili nezavisan. Zavisnost u osnovi može biti fizikalna, ali i pogonska. Fizikalna zavisnost ili nezavisnost se odnosi na povezanost, a ovisi o lokaciji u vodnom sustavu te rasporedu uzvodnih i nizvodnih vodospremišta. Ovakva stanja je bitno spoznati jer o tome ovisi kako će se kapaciteti analizirati i povezati u sistemskoj analizi.

Dotjecanje, ispuštanje i opskrba

Korisnik bi želio da ispuštanja iz vodospremišta u potpunosti zadovoljavaju njegove interese. Na žalost, to nije uvijek moguće, tako da imamo korisna i nekorisna ispuštanja (preljeve i slično). U analizama vodospremišta je bitno poznavati realne veličine dobave vode, one s kojima se stvarno može računati, odnosno planirati opskrba. Općenito su moguće tri kombinacije ulaza i izlaza:

- ulaz promjenljiv - izlaz konstantan;
- ulaz konstantan - izlaz promjenljiv;
- ulaz promjenljiv - izlaz promjenljiv.

Sve tri kombinacije su moguće, ali je (na žalost) treća kombinacija najrealnija. Ulaz je promjenljiva veličina u skladu s karakteristikama hidrološkog ciklusa, a izlaz je promjenljiv jer se i potrebe za vodom konstantno mijenjaju. Znači da je ulaz stohastički, a isto tako i izlaz, pa iz toga proizlazi da ih je potrebno stohastički analizirati (sezonski karakter, trend i slično). Međutim, ulaz i izlaz su isto tako i ovisni, pa je zato potrebno izlučiti i tu ovisnost, kako bi se na temelju ulaza mogao planirati izlaz. Ulaz usvajamo u skladu s historijskim podacima za koje pretpostavljamo da će biti isti i u budućnosti, a izlaz uzimamo kao planirani režim potrošnje.

Teorijski pogledi na veličinu vodospremišta

Teorijski vodospremište može biti: neograničeno, pozitivno neograničeno, negativno neograničeno i konačno. *Neograničeno*

vodospremište je takvih dimenzija da može prihvatiti sve vode i osigurati sve potrebe. *Pozitivno neograničeno*: kad je moguće da je prazno, ali zato nikad puno. *Negativno neograničeno*: nikad prazno, ali zato moguće da je puno. *Konačano*: moguće da je puno i prazno. Ovo su teorijske mogućnosti. Međutim, mi se uvijek ograničavamo na realne situacije, u kojima stalno imamo ograničenja, tako da u pravilu govorimo o konačnim vodospremištima.

Potrebno je također imati na umu da se vodospremište mijenja tijekom vremena, to jest da su osnovni odnosi:

- > površina - nivo
- > volumen - nivo

promjenljivi i to deterministički i stohastički.

Deterministički: produbljivanjem - povećavanjem volumena; nadogradnjom - povećanje volumena; zapunjenjem - smanjenje volumena. Svi ovi slučajevi su mogući kao posljedica interesa u određenom periodu. *Stohastički*: uslijed taloženja čestica iz dotoka, erozijom obala, urušavanjem i slično. Svi ovi uzroci su prirodni i kao takvi karakteristični sa slučajnošću i periodičnošću pojave. Međutim, sve slučajeve je potrebno analizirati s praktičnog gledišta jer živimo u realnom vremenu s realnim mogućnostima i potrebama. Male akumulacije u kršu nemaju ove probleme.

Ciklus punjenja i pražnjenja vodospremišta se uvijek analizira. Ovaj ciklus može biti različit: dnevni, tjedni, sezonski i višegodišnji. Ciklusi u slučaju navodnjavanja su uglavnom prirodni: dnevni, sezonski, višegodišnji, jer su direktno vezani uz hidrološke i klimatske uvjete. Kod navodnjavanja i manjih akumulacija u kršu uglavnom je značajan sezonski ciklus. Pravilo je da je akumulacija veća što je ciklus dulji.

Pitanje: kakvi su ulazi i izlazi? Ulazi mogu biti jednostavni (kao kod korištenje površinskih voda, riječnog rezervoara) ili složeni, a mogu biti prirodni i neprirodni (dotok crpljenjem). Izlazi također mogu biti jednostavni (površinski rezervoar) ili složeniji (vode je potrebno crpiti). Ova saznanja su bitna jer utječu na pogodnosti korištenja vodospremišta i potrebni volumen.

4. VOLUMENSKJE JEDNADŽBE VODOSPREAMIŠTA

4.1. Bilansne jednadžbe volumena vodospremišta

Bilansna jednadžba: Stanje volumena u vodospremištu se najjednostavnije opisuje osnovnom bilansnom jednadžbom:

$$X - Y = \Delta V \quad \text{u periodu } \Delta t \quad (4.1)$$

gdje je:

- X - svi ulazi u periodu Δt
- Y - svi izlazi u periodu Δt
- V - volumen
- ΔV - volumenska promjena za
- Δt - vremenski korak

Osnovni preduvjet korištenja ove jednadžbe je pretpostavka da je istjecanje iz vodospremišta isključivo rezultat promjene veličine volumena (razine) vode u vodospremištu.

Diferencijalna jednadžba: Ukoliko istu zamijenimo drugim oznakama kao što su:

$$X = I \cdot \Delta t \quad \text{i} \quad Y = O \cdot \Delta t$$

dobijemo jednu jednostavniju diferencijalnu jednadžbu oblika:

$$I \cdot \Delta t - O \cdot \Delta t = \Delta V$$

odnosno dobili smo diferencijalni oblik volumenske jednadžbe.

Ako $\Delta t \rightarrow 0$, dobije se da je:

$$I - O = \frac{dV}{dt} \quad (4.2)$$

gdje je:

$I = f_1(t)$ - trenutni ulaz

$O = f_2(t)$ - trenutni izlaz

$\frac{dV}{dt}$ - veličina promjene volumena

Uvodeći nove odnose, kao što je:

$$V = f_3(H) \quad (4.3)$$

promjena volumena u odnosu na razinu, dobijemo novi oblik diferencijalne jednadžbe volumena:

$$I - O = z \quad (4.4)$$

gdje je: z - neto ulaz.

Prema tome, neto ulaz se može dobiti i kao funkcija promjena razine, odnosno:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{d}{dt} [f_3(H)] = z \quad (4.5)$$

Znači, ulaz ovdje podrazumijeva sve oblike: vodotok, podzemni tok, direktne oborine i slično. Isto tako izlaz uključuje sve oblike: ispušt, procjeđivanje, isparavanje i slično. To znači da ukoliko želimo prikazati sve efekte koji utječu na promjenu volumena, navedene izraze treba dopuniti karakterističnim veličinama i izrazima koji ih određuju.

Integralna jednadžba: Integrirajući jednadžbu (4,4) u vremenskom koraku t_1 i t_2 , dobije se stanje volumena V_2 (za t_2 , $V = V_2$) u odnosu na početni V_1 (za t_1 , $V = V_1$), kao:

$$V_2 = V_1 + \int_{t_1}^{t_2} z \cdot dt = V_1 + \int_{t_1}^{t_2} (I - O) \cdot dt \quad (4.6)$$

odnosno dobili smo integralni oblik volumenske jednadžbe.

Parcijalna diferencijalna jednadžba: Stanje volumena, odnosno volumen se može i analitički izraziti, kao funkcija oblika:

$$V = aH^b \quad (4.7)$$

gdje su:

a, b - konstante

H - razina vode

Izraz se dobije na temelju niza stvarnih podataka odnosa V i određujući funkciju (koeficijente) metodom najmanjih kvadrata i slično.

Međutim, vremenom se ovaj odnos mijenja, jer se i oblik akumulacije mijenja zbog erozije, nanosa zapunjenja i slično, pa prema tome slijedi da je volumen i funkcija vremena, odnosno:

$$V = f(h, t)$$

odnosno: $a = f_i(t)$

$b = f_j(t)$

Diferencirajući ovaj volumenski izraz dobije se:

$$\frac{dV}{dt} = \left(\frac{\partial V}{\partial H} \right) \left(\frac{\partial H}{\partial t} \right) + \frac{\partial V}{\partial t} = z = I - O \quad (4.8)$$

odnosno volumenska parcijalna diferencijalna jednačba.

Budući da je teško predvidjeti vremenske karakteristike volumenske funkcije, to se problem rješava:

- praktično da se uzima srednja funkcija u planskom periodu akumulacije kao konstanta:

$$V = f_3(H) \text{ u planskom periodu } t$$

- teorijski da se uzima $V = f(H, t)$ sa "a" i "b" kao funkcije od vremena t

Rješenje volumenske jednačbe metodom konačnih razlika: Koristeći metodu konačnih razlika, jednačba (4,6) se može prikazati kao:

$$V_{i+1} = V_i + \sum_{j=1}^{m_i} I_{i,j} \cdot \Delta t_i - \sum_{j=1}^{m_o} O_{i,j} \cdot \Delta t_i = V_i + z_i \cdot \Delta t_i$$

$$V_{i+1} = V_i + \sum_{j=1}^{m_i} X_{i,j} - \sum_{j=1}^{m_o} Y_{i,j} = V_i + Z_i \quad (4.9)$$

gdje je:

V_i - početno stanje zadano pomoću topografske krivulje $V = f(H)$

$X_{i,j}$ - svi ulazi $j = 1, \dots, m_i$ u vremenskom intervalu Δt_i

$Y_{i,j}$ - svi izlazi $j = 1, \dots, m_o$ u vremenskom intervalu Δt_i

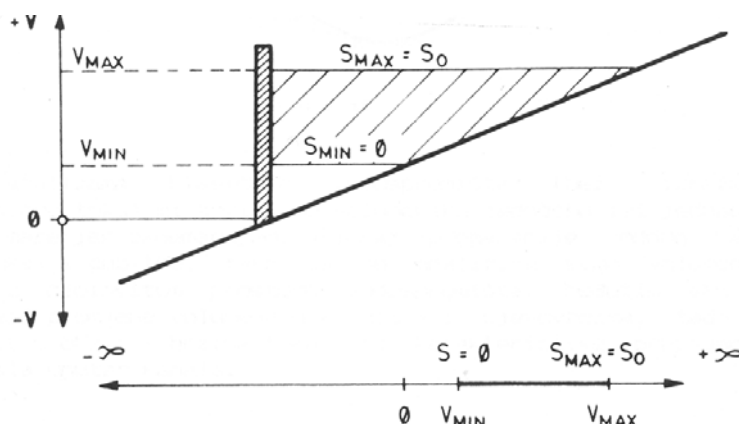
Z_i - neto ukupni ulaz za interval Δt_i

To znači da u jednačbu unosimo srednje vrijednosti odabranog vremenskog intervala, početno stanje i stvarne rubne uvjete.

Ovdje treba razlikovati fizički mogući volumen " " ili kako ga još zovemo bruto volumen i iskoristivi volumen " " ili kako ga još zovemo neto ili aktivni volumen (Slika 4.1), tako da u praksi koristimo izraz:

$$S_{i+1} = S_i + \sum_{j=1}^{m_i} X_{i,j} - \sum_{j=1}^{m_o} Y_{i,j} = S_i + Z_i \quad (4.10)$$

Ovdje navedeni izrazi $S_i = V_i = f(H, t)$, $X_{i,j}$, $Y_{i,j}$, Z_i mogu biti funkcije različite složenosti, zavisno od lokalnih uvjeta. Male umjetne akumulacije koje se koriste za navodnjavanje u pravilu imaju malu razliku između "V" i "S".



Slika 4.1: Bruto i neto volumen

4.2. Istjecanje iz nereguliranih i reguliranih vodospremišta

Neregulirana vodospremišta su akumulacije, rezervoari, jezera kod kojih su istjecanja slobodna i rezultat promjene razine vode vodospremišta. Tipični primjer su prirodna jezera, ali isto su i rezervoari sa slobodnim preljevima ili izlazima. mala vodospremišta koja se koriste za navodnjavanje vrlo rijetko imaju neregulirana istjecanja.

Kod reguliranih istjecanja su značajna dva tipa istjecanja: slobodnim vodnim licem preko preljeva i istjecanje pod tlakom na temeljnim ispustima i turbinama. U tom slučaju za površinski preljev koristimo formulu:

$$Q_{pov} = K \cdot L \cdot H_p^{3/2} \quad (4.11)$$

gdje je:

K - koeficijent prelijevanja

L - duljina prelijevanja

H_p - visina vode na preljevu

a za istjecanje pod tlakom:

$$Q_{ist} = K \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_T} \quad (4.12)$$

gdje je:

K - koeficijent istjecanja

A - poprečnog presjeka

H_T - visina vode do osi ispusta

g - akceleracija sile teže

Budući da je $V = f(H)$ i da je $Q = f(H)$, možemo eliminirati " H " i izraziti $V = f(Q)$ sa svim pratećim parametrima koji su konstantni. Protočna krivulja izlaza u kombinaciji s volumenskom funkcijom $V = aH^m$ daje volumen u funkciji protoke izlaza $V = f(Q)$.

$$V = aH^m ; Q = bH^r \quad V = \frac{a}{b^{m/r}} Q^{m/r} \quad (4.13)$$

Uvrštavanjem:

$$c = \frac{b^{m/r}}{a} ; n = m/r \quad (4.14)$$

Dobije se izraz:

$$V = \frac{1}{c} \cdot Q^n \quad (4.15)$$

Ova jednadžba može se pisati u općenitijem obliku ako se i zamijene monotonim funkcijama:

$$V = a_0 + (1/c_1)Q^{1/r} + (1/c_2)Q^{2/r} + \dots + (1/c_m)Q^{m/r} \quad (4.16)$$

Ako je $m = r$ tada imamo da je " V " proporcionalan sa " Q ", a to se zove linearni rezervoar:

$$V = (1/c)Q^n ; \quad n = 1 \quad (4.17)$$

To znači da su $V = f(H)$ i $Q = f(H)$ linearne funkcije. Bitno je da je $m=r$ ili da su istog ranga (kvadratna, itd.).

Ovim transformacijama dobije se funkcionalni odnos volumena i istjecanja, a to znači da mjereći jednog od njih, možemo dobiti i vrijednost drugoga.

5. SISTEMSKI PRISTUP PLANIRANJU I PROJEKTIRANJU KAPACITETA AKUMULACIJA

5.1. Osnovne postavke

Sistemske pristup u ovom slučaju znači: na temelju karakteristika ulaza i sistema (ovdje je to kapacitet akumulacije), dobiti što povoljniji izlaz.

U prirodnim uvjetima se to odvija automatski neregulirano, a u slučajevima reguliranih uvjeta, situacija postaje znatno složenija. Kapacitet (volumen) vodospremišta koji ima za cilj da zadovolji neke potrebe ovisi o tri osnovna faktora:

- varijabilnosti dotoka,
 - veličini potreba (količini vode),
 - stupnju sigurnosti kojom se trebaju zadovoljiti potrebe,
- to jest, volumen vodospremišta S je:

$$S = f [Q_{dot}, Q_{ist}, P(Q_{ist})] \quad (5.1)$$

gdje je:

Q_{dot} - dotok

Q_{ist} - istjecanje

$P(Q_{ist})$ - stupanj sigurnosti (vjerojatnosti) zadovoljenje istjecanja

U ovakvim slučajevima potrebno je raspolagati cijelim nizom informacija i podataka. Da bi se moglo govoriti o reguliranim uvjetima, potrebno je raspolagati i sa sljedećim:

- a) karakteristikama ulaza - dotoka,
- b) prognozom ulaza, ukoliko je ona moguća,
- c) karakteristikama izlaza - istjecanja:
 - namjene
 - režim ispuštanja (varijable odlučivanja)
 - zavisnost "ulaz-izlaz"
 - prognoza izlaza
- d) stupanj regulacije d

$$d = \frac{\text{korisni izlaz}}{\text{ulaz}}$$

Ukoliko je $d=1$, tada je regulacija potpuna; međutim, ona je uvijek nešto niža.

- e) promjenljivost (stabilnost) fizičkog volumena akumulacije u vremenu (taloženje, i drugo).

Namjena akumulacije direktno uvjetuje ispuštanje jer je i cilj izgradnje zadovoljenje određenih namjena. Naime, osnovno pitanje na koje se treba odgovoriti je: koliko veliko vodospremište (kapacitet) treba biti (S_c) da bi se zadovoljile potrebe ($Q(t)$) unutar prihvatljivog stupnja sigurnosti opskrbe (Q_{ist}/S) ?

Namjene su različite i mnogobrojne, a jedna od njih je i voda za navodnjavanje. Što je više namjena, to je situacija s ispuštanjem složenija i obrnuto.

Zadovoljiti ove kompromisne interese ukoliko se istovremeno javljaju na

jednoj akumulaciji, veoma je teško, pa je stoga potrebno koristiti metodologiju kojom će se doći do najprihvatljivijeg rješenja za date uvjete, ograničenja i preferencije. Osnovno je razriješiti odnose između karakteristika dotoka, kapaciteta vodospremišta, kontroliranog ispuštanja i pouzdanosti opskrbe, odnosno područje rješenja je:

$$F(Q_{dot}; S_c; Q_{ist}; Q_{def}) \quad (5.2)$$

gdje je Q_{def} nedostatak u opskrbi.

Analiza vodospremišta se provodi u svrhu zadovoljavanja ciljeva, kao i popratnih efekata, jer izgradnja vodospremišta ima cijeli niz značenja koje treba proanalizirati i komentirati, kao što su: kemizam vode, fizikalne karakteristike, biološke, ekološke, geofizičke, inženjerstvo, ekonomija, arheologija, politika, socijalni aspekti, zakon itd. Koji pristup će se koristiti, ovisi o dva osnovna faktora:

- količini i kvaliteti raspoloživih informacija i podataka,
- znanju i tehnici potrebnoj za rješavanje problema.

U slučajevima kad se ne raspolože informacijama i znanjem, neophodno je usvojiti pojednostavljenja. Međutim, ukoliko se raspolože znanjem, metodama i tehnikom, onda se i uz nedovoljne informacije mogu dobiti zadovoljavajuća rješenja. Uspješno rješavanje ovakvog problema je moguće postići primjenom systemske analize. Ovaj pristup uzima u obzir osnovne karakteristike sustava, uključujući ciljeve, razvoj kriterija i alternativa, ograničenja, dinamiku sustava i odgovarajuće povratne utjecaje. To posebno dolazi do izražaja u slučajevima kad sustav čine dvije ili više akumulacija ili vodospremišta.

5.2. Dotjecanje u akumulaciju

Dotjecanje u akumulaciju može biti različito:

- Prirodno;
- Umjetno;
- Regulirano;
- Kombinacija prva tri.

Prirodno dotjecanje rezultira iz hidrološkog ciklusa, odnosno hidroloških karakteristika slivnog područja. Umjetno dotjecanje je dotjecanje utjecajem čovjeka, kao što su prepumpavanje, izgradnja tunela. Regulirano dotjecanje je recimo prepumpavanje vode iz podzemlja ili uzimanje vode iz vodoopskrbnog sustava.

U svakom slučaju, želimo znati sve karakteristike dotjecanja, jer o njima bitno ovisi sistem (kapacitet) i njegov rad. Kod umjetnih i reguliranih dotjecanja su u pravilu sve karakteristike poznate, barem kad se govori o količinama. Međutim, kad se govori o kakvoći situacija je složenija.

Kad se govori o prirodnom dotjecanju situacija je složenija, naročito ako nemamo dovoljno podataka. U pravilu želimo znati osnovne karakteristike ulaza i to: trend, periodičnost (sezonska, višegodišnja), stohastičnost (slučajne komponente) i periode bez tečenja. Znači, potrebno je izvršiti analize ulaza, to jest:

- trend, izdvajanje trenda iz srednje vrijednosti i standardne devijacije,
- opis perioda bez dotjecanja kroz odgovarajući model,
- opisati periodičnost korištenjem Furierovom analizom ili drugim neparametarskim putem,
- opisati stohastičnost poslije odstranjivanja periodičnosti jednim od modela (*AR*, *ARMA*, itd.),
- opisati nezavisne stohastičke komponente korištenjem odgovarajuće funkcije vjerojatnosti.

Rezultat svih ovih analiza bi trebao biti matematički model ulazne serije. Ovaj model bi poslužio generiranju ulaznih serija za različite varijante ulaza u skladu s analizama sistema. Oni su naročito potrebni kad se planira upravljanje većim akumulacijama u stvarnom vremenu (real time system).

5.3. Korištenje kapaciteta vodospremišta i istjecanje

Raspoloživi kapacitet se može koristiti na više načina, ovisno o karakteristikama i namjeni. Može se koristiti i tako da se raspoloživi volumen raspodijeli raznim korisnicima unaprijed kada se napuni; korisnici ga koriste u sezoni u skladu sa svojim potrebama.

Ovaj način korištenja je pojednostavljen i nije efikasan. U pravilu se koristi u slučajevima kad vodospremište ima samo jednu namjenu, ali više korisnika. Na primjer, kad se koristi za navodnjavanje, ali za više potrošača. Korisnik unaprijed kupi određenu količinu vode koju troši u skladu sa svojim potrebama.

Češći je slučaj da se koristi cijeli raspoloživi volumen u skladu s dogovorenim pravilima i postavljenim ograničenjima. U ovom slučaju se raspoloživi kapacitet racionalnije koristi u skladu s trenutnom situacijom i potrebama. Međutim, ovakav način korištenja kapaciteta zahtijeva i složeniju kontrolu i upravljanje, kao i planiranje.

Dok su ulazi uglavnom pod utjecajem prirode, dotle su izlazi u najvećoj mjeri pod utjecajem čovjeka. Dio istjecanja je direktno vezan i za prirodne uvjete, kao što su vode za navodnjavanje, pa i za opskrbu stanovništva. Naime, klimatski utjecaji djeluju i na potrošnju vode za navodnjavanje kao i u urbanim sredinama, zbog čega se i analiziraju. Stoga je kod svih izlaza koji imaju prirodne karakteristike potrebno provesti analize kao i kod prirodnih ulaza.

Najvažnija stvar kod izlaza je prognoza potreba za određeni vremenski period. Ni jedna prognoza nije laka, a posebno ne prognoza potrošnje koja je u direktnoj vezi s ljudskim aktivnostima i prirodnim potrebama. Od preciznosti prognoze u najvećoj mjeri zavisi i ekonomičnost izgradnje vodospremišta, pa zato ovom problemu treba posvetiti veliku pažnju. Kod prognoza razlikujemo kratkoročne i dugoročne. Za male akumulacije jednogodišnja prognoza je zadovoljavajuća (hidrološka godina).

5.4. Metode rješavanja problema kapaciteta vodospremišta

Postoji više načina podjele i opisa procedura za rješavanje problema kapaciteta vodospremišta shodno ciljevima rješavanja i konceptu podjele, ali i pristupu pojedinih autora.

5.4.1. Podjela u odnosu na karakter podataka

Prema Jevđeviću (Jevđević, 1956) sve metode se grupiraju u tri osnovne grupe prema njihovom razvoju odnosno karakteru podataka koji se koriste u analizama:

1. empirijske metode (klasične),
2. analitičke metode,
3. metode generiranja i simulacije.

Glavna razlika između ovih metoda je u složenosti, potrebnim podacima i preciznosti rezultata. Zbog toga one imaju svoju primjenu na različitim nivoima rješavanja problema, to jest u preliminarnoj fazi i završnim analizama.

Teorijski je veoma teško analizirati složene situacije ulaza i izlaza, pa se zato u račun unose pojednostavljena. Algoritmi koji se koriste na kompjuterima ne traže analitička rješenja, već dobre podatke o ulazima i podatke o izlazima, odnosno potrebama.

Empirijske metode

Za ove metode je karakteristično da se baziraju na postojećoj seriji podataka za koju se smatra da će se ponoviti i u budućnosti.

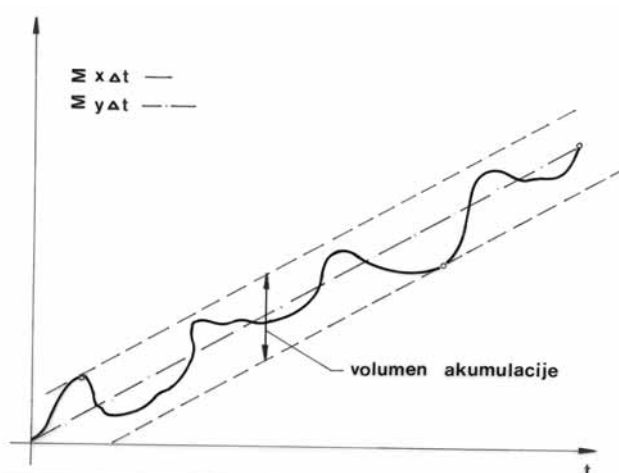
Klasično rješenje je krivulja masa (Ripple dijagram). Kod ovog rješenja se pretpostavlja da je rezervoar pun na početku, odnosno na početku kritičnog perioda, te da u budućnosti situacija u odnosu na ulaz neće biti gora od postojeće.

Osnovni nedostaci ove metode:

- sušni period se usvaja konstantnim; sezonske potrebe se mogu uključiti, ali je ispuštanje teško provesti (linearnost);
- veličina kapaciteta vodospremišta raste usporedo s porastom duljine

podataka, pa je stoga teško postaviti odnos između veličine vodospremišta i stupnja (uvjeta) iskorištenja;

- nije moguće proračunavati veličinu vodospremišta za datu vjerojatnost pogreške, a to znači da rang 1 suše u N podataka ima vjerojatnost prekoračenja od $P=1/(n+1)$;
- ova metoda u analizi ne uzima u obzir gubitke npr. evaporaciju, pa se stoga volumen mora povećati za veličinu gubitaka:



Slika 5.1: Krivulja masa - puna regulacija sa srednjim ulazom i izlazom

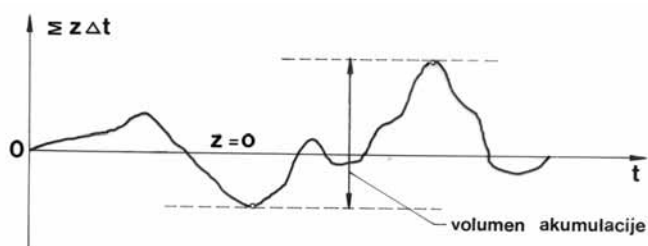
Metoda se tradicionalno koristi u klasičnom ili poboljšanim oblicima koji koriste kumulativni dijagram, $\sum Z\Delta t$ gdje je:

$$Z = x - y$$

x - ulaz

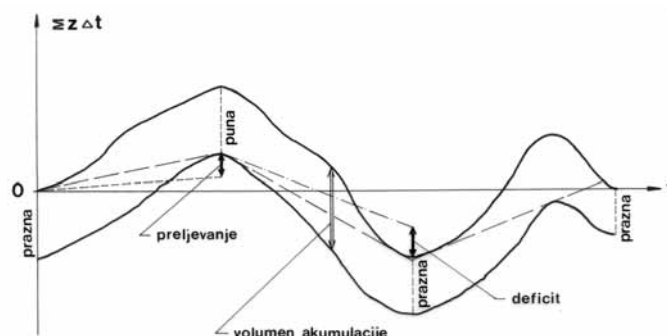
y - izlaz

(5.3)



Slika 5.2: Kumulativni dijagram $\sum Z\Delta t$

Potpuna regulacija se postiže kad je $\bar{x} = \bar{y}$ ili $\bar{z} = 0 = \bar{x} - \bar{y}$. Isti dijagram se koristi i za djelomičnu regulaciju protoke.



Slika 5.3: Djelomična regulacija protoke

Ovdje je bitno znati:

- da je svako ispuštanje kumulativna linija između dvije krivulje, ali s nepoznatom koristi
- da bilo koje presijecanje krivulja ulaza i izlaza izaziva prelijevanje i nedostatak, pa se prema tome javlja djelomična regulacija
- da kraća linija ispuštanja uvjetuje veći stupanj regulacije (manja varijacija)

Najkraća linija ispuštanja između ekstremnih točaka ulaza predstavlja linearno optimalno rješenje (ispuštanje bez prelijevanja).

Karakteristike empirijskih metoda:

- Samo jedna veličina volumena akumulacije (S_0) je rezultat iz uzorka podataka.
- Međutim, $S_0 = f(x,y)$, a x i y su slučajne varijable, pa prema tome S_0 također mora biti slučajna varijabla; znači svaki uzorak veličine N daje i drugačiju veličinu S_0 .
- Ako je N_0 vijek trajanja akumulacije, tada će on tražiti i odgovarajući S_0 , jer: očekivana veličina $E(S_0)$ i var (S_0) se povećavaju s veličinom uzorka N .
- Prema tome, ako je N_0 manji u odnosu na poznati povijesni uzorak N , onda su empirijske metode dobre i obrnuto: ako je N_0 jednako ili veće od N , tada su empirijske metode loše.
- Uz saznanje ulaza i izlaza, može se reći da je stvarno potrebni $S_0 > S$ iz dijagrama masa.

O ostalim karakteristikama ovih metoda neće biti riječi, jer one prelaze okvire ove publikacije. Kod manjih akumulacija ovo su metode koje se uglavnom koriste za određivanje potrebnog volumena.

Metode generiranja uzorka

Na temelju poznatog niza razvija se model kojim se simulira veliki broj uzoraka ulaznih i izlaznih podataka za proračun kapaciteta vodospremišta uz korištenje bilansnih jednadžbi.

Sinonimi izraza ove metode su: Monte Carlo metode, simulacijske metode, sintetičke metode, metode generiranih podataka. Koriste ih matematičari, sistem-inženjeri, hidrolozi i drugi, Rubinić, 2003.

U pravilu, što se više serija generira, to je veća sigurnost da će se dobiti pouzdaniji podaci. Dobiveni rezultati se uvijek razlikuju od poznatog niza, pa se stoga prezentiraju s intervalima povjerenja. Međutim, najveće greške mogu nastati ukoliko se pogriješi model i zato njegovom izboru treba posvetiti najveću pažnju. Postoje različiti modeli koji se razvijaju u skladu s potrebama i karakteristikama uzorka.

U slučaju malih akumulacija ove metode se uglavnom ne koriste jer je njihova primjena pre skupa u odnosu na cijelu investiciju.

Analitičke metode

Analitičke metode u jednostavnijim slučajevima daju karakteristike dobijenih varijabli: distribucija parametara kapaciteta akumulacije, ali kao slučajne varijable.

Ulazi i izlazi su opisani jednostavnim matematičkim oblicima. Koriste se jednostavni analitički izrazi ili rješenja koja se primjenjuju na kompjuterima (metoda konačnih razlika).

Postoji cijeli niz analiza: metode rangova, teorije konačnih rezervoara, analize volumena pomoću viškova i manjkova i druge.

5.4.2. Podjela u odnosu na proceduru rješavanja

Prema McMahanu, (McMahon T. i Mein, R. , 1986) također postoje tri osnovne grupe podjele ali vezane za proceduru rješavanja:

1. Metoda kritičnog perioda,
2. Metode grupe matrica vjerojatnosti i
3. Metode na bazi generiranih podataka.

Sam autor tvrdi da podjela ne može biti striktna jer je dosta metoda manje ili više mješovitog karaktera, tako da ih je teško precizno klasificirati.

5.4.3. Sezonsko punjenje i pražnjenje

Male akumulacije u kršu karakteriziraju dva odvojena perioda i to: sezonsko punjenje i pražnjenje. Ova dva perioda su odvojena tako da se akumulacija u kišnom periodu puni a u sušnom periodu prazni-koristi. To je kritična i najgora situacija koja se može dogoditi tijekom jedne hidrološke godine (da je cijela sezona navodnjavanja bez dotoka vode) i zato se uzima u obzir kod proračuna potrebnog volumena akumulacije.

Račun je jednostavan i ne sastoji se od izravnjanja dotoka i korištenja već odvojenog računa potreba i punjenja akumulacije vodom.

Prvo se izračunaju neto potrebne količine vode u sezoni navodnjavanja (V_{nt}):

$$V_{nt} = \sum_{i=1}^m V_{int}; \quad (5.4)$$

$$V_{int} = \sum_{j=1}^n Q_{int,j}$$

V_{nt} – neto sezonske potrebe, (m^3 /sezonu)

V_{int} – neto sezonske potrebe pojedinih korisnika, (m^3 /sezor)

m – broj korisnika

$Q_{int,j}$ – neto dnevne potrebe pojedinih korisnika, (m^3 /dan)

n – broj dana navodnjavanja

To je zbroj svih neto potrebnih količina vode svih korisnika akumulacije (V_{int}).

Temeljem ove količine vode i očekivanih ukupnih godišnjih gubitaka (E_g) određuje se akumulacija i njen bruto volumen (m^3 /sezonu):

$$V_{akumulacije} = V_{bt} = V_{nt} + E_g \quad (5.5)$$

Time je cilj postavljen, osigurati ukupno potrebne količine u sušnom periodu izgradnjom akumulacije koja će se puniti vodom u vlažnom periodu godine. Za proračun se odabire godina određenog sušnog perioda ponavljanja, a sve u skladu sa željenom razinom pouzdanosti volumena akumulacije.

Zahvat mora imati ukupni kapacitet (V_{zah}) takav da je:

$$V_{zah} \geq V_{bt}; \quad (5.6)$$

$$V_{zah} = \sum_{k=1}^s Q_{dot,k}$$

Gdje je:

V_{zah} - ukupno potrebni dotok iz zahvata, (m^3 /sezoni)

$Q_{dot,k}$ - dnevni dotoci, (m^3 /dan)

s - ukupni broj dana vlažnog perioda, punjenja akumulacije

Ako dotok vode nije dovoljan da pokrije sve potrebe i gubitke, tada se potrebe trebaju uskladiti s raspoloživim količinama, a volumen akumulacije se određuje u skladu s raspoloživim količinama vode, odnosno:

$$V_{akumulacije} = V_{zah}$$

To je jednostavan postupak koji se prilagođava značajkama problema koji se rješava.

5.4.4. Simulacija

Proračun je nešto složeniji ako se istovremeno odvija punjenje i korištenje vode iz akumulacije. U pravilu je najjednostavnije koristiti simulacijsku metodu programiran u Excelu.

Osnova simulacijskog modela je bilančna jednadžba volumena akumulacije (4,9):

$$V_{i+1} = V_i + \sum_{j=1}^{m_i} X_{i,j} - \sum_{j=1}^{m_o} Y_{i,j} = V_i + Z_i \quad (5.7)$$

gdje je:

V_i - početno stanje zadano pomoću volumenske krivulje $V = f(H)$

$X_{i,j}$ - svi ulazi $j = 1, \dots, m_i$ u vremenskom intervalu Δt_i

$Y_{i,j}$ - svi izlazi $j = 1, \dots, m_o$ u vremenskom intervalu Δt_i

Z_i - neto ukupni ulaz za interval Δt_i

U jednadžbu unosimo srednje vrijednosti odabranog vremenskog intervala, početno stanje, stvarne rubne uvjete svih varijabli i uvjete rada.

$$V_{i+1} = V_i + \sum_{j=1}^{m_i} X_{i,j} - Qn_i - E_i - Qpr_i \quad (5.8)$$

gdje je:

V_i - početno stanje zadano pomoću volumenske krivulje $V = f(H)$

$X_{i,j}$ - svi ulazi $j = 1, \dots, m_i$ u vremenskom intervalu Δt_i ; (kontrolirani i nekontrolirani)

Qn_i - voda za navodnjavanje u vremenskom intervalu Δt_i ; (potrošnja)

E_i - evaporacija u vremenskom intervalu Δt_i ; (gubitak)

Qpr_i - količina koja se preljeva

i - računski korak, mjesec ili dekada

Proračun se radi tako da se za početni period uzima početak kišnog perioda, hidrološke godine, kada se pretpostavlja da je akumulacija prazna, $V_i = 0$.

U skladu s značajkama odabrane lokacije konstruira se volumenska krivulja akumulacije $V=f(H)$ i krivulja površine akumulacije $A=f(H)$, te $A=f(V)$.

Na temelju istog određuje se maksimalno dozvoljeno punjenje kod kojeg nastupa prelijevanje vode iz akumulacije V_{\max} .

Preljevanje se računa na slijedeći način:

$$\begin{aligned} \text{Ako je } V_{i+1} > V_{\max}; \text{ tada je } V_{\text{preljeva}} &= V_{i+1} - V_{\max}, \text{ a } V_{i+1} = V_{\max} \\ \text{Ako je } V_{i+1} \leq V_{\max}; \text{ tada je } V_{\text{preljeva}} &= 0 \end{aligned} \quad (5.9)$$

U slučaju da je stanje volumena ništica ili negativno korigira se istjecanje:

$$\text{Ako je } V_{i+1} \leq 0; \text{ tada je } V_{i+1} = 0, \text{ a } Q_{n_i} = 0$$

Evaporacija se računa obično po formuli:

$$E_i = e_i \cdot a V_i^b$$

gdje je:

e_i - veličina jedinične evaporacije za dotični vremenski korak (m/m^2)

a, b - koeficijenti konverzije akumulacijskog volumena u površinu

Dotoci se uzimaju u skladu s odabranom razinom sigurnosti proračuna obradom raspoloživog niza ulaznih podataka o raspoloživom dotoku, ma kakav on bio. Jedan od ulaza je uvijek i kiša $Q_{\text{kiš}} = A \cdot Q_{\text{god}}$, gdje je Q_{god} odabrana prosječna godišnja kiša.

Potrebe se izračunaju u skladu s očekivanim potrebama u prosječnoj godini ili jednoj od kritičnijih godina.

U skladu s ovako odabranim veličinama ulaznih podatka simulira se stanje u akumulaciji za jednu hidrološku godinu tako da je vremenski korak najmanje tjedan. Za početnu analizu može se odabrati i veći korak, recimo mjesečni vremenski korak. Proračun se radi iterativno. Temeljem prve iteracije analiziraju se rezultati i popravljaju parametri proračuna. Korigira se veličina evaporacije koja je u prvom koraku procijenjena jer se nije znala razina vode, a time ni površina vode u akumulaciji. Isto tako, analiziraju se konačno stanje i veličine prelijevanja. Ako je na kraju računskog-sušnog perioda volumen pozitivna veličina znači da je volumen akumulacije veći od potreba te ga treba smanjiti i obrnuto, ako je negativan tada ga treba povećati. Ako se javlja prelijevanje, tada je dotok veći od potreba te se voda nepotrebno gubi.

Račun se ponavlja s novim veličinama gubitaka evaporacije i ograničenjima volumena akumulacije i dotoka, potrošnje i tako redom dok se ne dobi ju zadovoljavajući rezultati.

Umjesto iterativnog postupka može se formulirati optimizacijski model koji za zadanu funkciju cilja i postavljena ograničenja proračunava veličinu volumena akumulacije.

6. PROJEKTIRANJE I GRAĐENJE

Akumulacije za potrebe navodnjavanja se grade jednostavno kako bi cijena izgradnje bila što manja. To su najčešće otvorene akumulacije izgrađene u već postojećim udubinama na terenu ili iskopanim udubinama na za to prikladnim lokacijama. Akumulacija se formira tako da se dio potrebnog prostora formira širokim iskopom do potrebne dubine, a ostali potrebni volumen formiranjem nasipa oko akumulacije korištenjem materijala iz iskopa. Na ovaj način se sav iskopani materijal koristi u izgradnji akumulacije - nasipa.

Cilj formiranja oblika akumulacije je na što manjem prostoru postići traženi volumen, te postići što manje gubitke, kako u odnosu na istjecanje tako i u odnosu na isparavanje. Stoga je povoljno da je akumulacija što dublja i zatvorena, pokrivena. Pokos bočnih strana akumulacije ovisi o čvrstoći/nosivosti teren, nasipa i načinu formiranja podloge i prekrivke folije.

Izvedba akumulacije mora biti takova da se osigura vijek trajanja od 30 godina.

U ovom radu će se isključivo zadržati na problematici projektiranja i građenja malih akumulacija u kršu za potrebe navodnjavanja.

6.1. Lokacija, bazen i brana

Lokacija

Izbor lokacije je važan zadatak od kojeg uvelike ovise prihvatljivost rješenja, troškovi i odnos korisnika prema cijelom zahvatu. Ključni kriteriji i značajke za izbor lokacije su:

- udaljenost od zemljišta koje se navodnjava;
- udaljenost i utjecaj na zahvat koji se koristi za punjenje akumulacije (uvjeti i troškovi korištenja);
- klimatske značajke područja (vjetar, oborine, temperatura);
- topografija terena i visinski odnosi između zemljišta i lokacije akumulacije, te zahvata i akumulacije kao i samog terena na kojem je akumulacija smještena (gravitacijsko tečenje);
- geomehničke značajke terena (nosivost i troškovi iskopa);
- vododrživost terena i zemljišta (vodonepropusnost);
- podzemne vode i mogući utjecaji na okoliš.

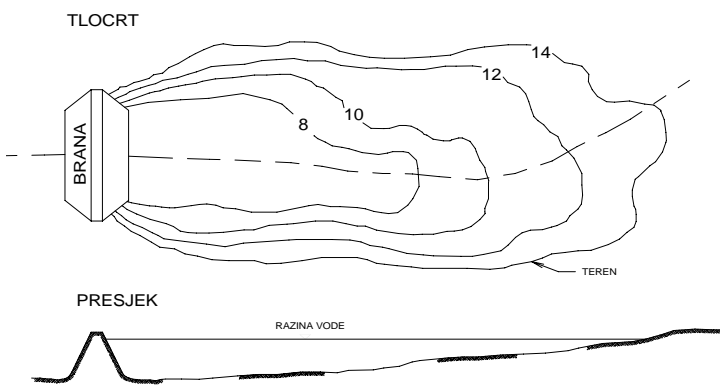
Cilj je dobiti održivo rješenje, a to znači što jeftinije u odnosu na cijenu vode koja se distribuirana, te ekološki i društveno prihvatljivo i sigurno u odnosu na raspoloživi kapacitet zahvata. Brojni su čimbenici koji utječu na održivost rješenja i koje treba uzeti u obzir kada se planira rješenje.

Bazen i brana

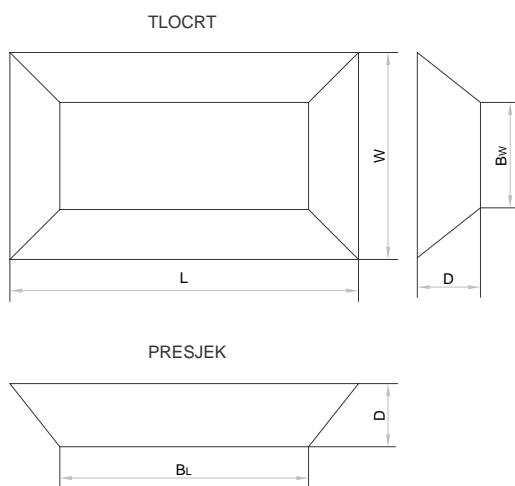
Najvažniji element akumulacije je bazen i brana koja zatvara taj bazen-prostor za spremanje vode. S obzirom da smo se ograničili na male akumulacije, dva su najčešća slučaja formiranje bazena:

- pregrađivanjem udoline ili neke druge depresije, Slika 6.1.;
- iskopom bazena u manje ili više ravnom ili udubljenom terenu i formiranje bazena izgradnjom nasipa -brane oko bazena, Slika 6.2.

U slučaju korištenja prirodnih depresija oblik bazena i veličina brane ovise o značajkama lokacije. U svakom slučaju nastoji se dobiti potrebni prostor tako da su troškovi izvedbe što manji, a to znači: što kraća i što niža brana, kao i površina akumulacije, a kako bi se smanjili gubici vode od isparavanja.



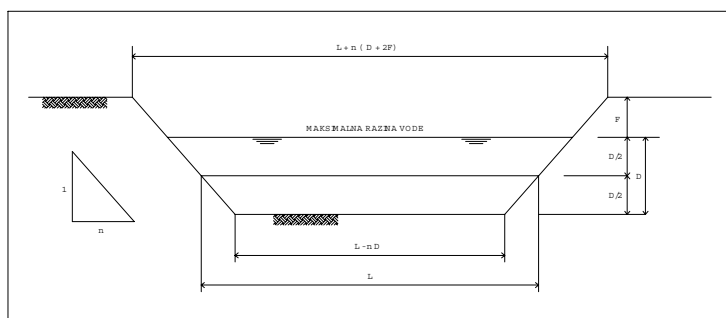
Slika 6.1: Mala akumulacija u kršu - korištenje prirodnih depresija i prostora



Slika 6.2: Mala akumulacija u kršu - iskopom prostora bazena

Akumulacije koje se formiraju iskopom terena uglavnom su pravokutnog tlocrtnog oblika. Cilj tlocrtnog oblikovanja je da se postignu što povoljniji uvjeti za iskop i građenje. Pravilne plohe dna i zidova akumulacije omogućavaju jednostavniju izvedbu brtvenih slojeva. Preporučuje se pravokutni tlocrtni oblik s maksimalnim odnosom duljine prema širini 3 : 1. Ovaj odnos osigurava dobru izmjenu vode u akumulaciji i time zadovoljava-juću ravnotežu između rasta algi i heterotrofnih bakterija, te doprinosi dobrom izdvajanju organskih tvari. Uz to, ovakvim oblikom se nastoji izbjeći formiranje nakupina mulja u akumulaciji i stvaranje eventualnih anaerobnih zona što je jako važno ako je voda opterećena organskim tvarima. U ovakvim slučajevima u akumulacijama se želi što djelotvornije stvoriti uvjet klipnog tečenja, postepenog pomicanja dijelova vodne cjeline od ulaza prema izlazu. Cilj je stvoriti što veću udaljenost ulaza od izlaza. Rubovi bazena se zaobljuju kako zbog estetskih razloga tako i zbog izbjegavanja mrtvih zona i taloženja mulja.

Proračuni za dimenzioniranje bazena daju srednje vrijednosti dubina i površina. Zbog toga se ove veličine trebaju popraviti i uskladiti s padom pokosa bazena kako je to prikazano na slici 6.3. U svakom slučaju potrebno je znati dimenzije akumulacije na dnu i na površini uključujući i slobodni/sigurnosni prostor iznad maksimalne razine.



Slika 6.3: Proračun dimenzija dna bazena i visine nasipa na osnovu srednjih veličina

Slobodni prostor iznad maksimalne razine je potreban da se spriječi istjecanje vode preko nasipa zbog valova koji se javljaju u periodima jakog vjetrova. U slučaju malih površina akumulacije, manjih od 1 ha potreban je slobodni prostor/razmak između vodnog lica i krune nasipa od 0,5 m, a u slučaju površina akumulacije veličine od 1 - 3 ha, slobodni prostor je od 0,5 - 1 m ovisno o značajkama prostora (jačini i smjeru vjetrova). Kod velikih površina akumulacija potrebna visinska razlika može se računati po formuli:

$$F = (\log A)^{1/2} - 1 \quad (6.1)$$

Gdje je:

A - površina akumulacija, m²

F - potrebni slobodni prostor, m

Uobičajene srednje dubine vode u akumulacijama su od 5 - 10 m. Odabir dubine ovisi i o značajkama terena, postojanju plitkih stijena, izbjegavanju skupih zemljanih radova, itd. Izvedba bazena je daleko najskuplja stavka izvedbe akumulacija. Zbog toga se izvedba bazena mora ekonomizirati shodno lokalnim značajkama terena. Bazeni se uglavnom izvode u terenu od zemljanih materijala. Potrebni prostor se dobije iskopom terena te izradom nasipa. Iskopi se nastoje ekonomizirati tako da se dubina iskopa i volumen iskopa zemljanih materijala prilagode - izbalansiraju s potrebama materijala za izradu nasipa koji se u najvećoj mjeri izvodi od lokalnog iskopanog materijala. Na taj način se troškovi odvoza i dovoza zemljanih materijala značajno smanjuju. Normalno, gdje god je moguće koriste se postojeće depresije u terenu kako bi se troškovi iskopa smanjili. Kod korištenja iskopanog materijala za izradu nasipa treba voditi računa o tome da će se materijal zbijati i time njegov rasuti volumen smanjiti za 10 - 30 %.

Izvedba akumulacije su pretežito zemljani radovi. Zbog toga svaki ozbiljniji zahvat zahtjeva i provedbu odgovarajućeg geomehantičkog ispitivanja tla i terena, te izradu geomehantičkog elaborata, a sve u skladu s Zakonom o građenju. Svrha istraživanja je da se utvrdi nosivost i vododrživost tla, odnosno potreba korištenja rješenja sa umjetnim materijalima za postizanje vodorzivosti akumulacija. Kod krških terena nosivost nije upitna, ali nije ni upitna velika propusnost terena tako da je kod ovih terena primjena plastičnih folija nužnost. Također treba analizirati i sljedeće značajke tla:

- krivolju tla;
- maksimalnu suhu gustoću i optimalni kapacitet vlage (modificirani Proctor-ov test);
- sastav organskih tvari;
- koeficijent procjeđivanja;
- i ostalo ovisno o značajkama područja;

Dno bazena treba izvoditi u najmanjem padu prema mjestima na kojima su predviđena udubljenja za pražnjenje bazena. Tamo gdje su predviđene depresije za sakupljanje mulja dno se mora odgovarajuće oblikovati.

Brana, odnosno nasip, je ključni objekt akumulacije. U slučaju manjih akumulacija brana se uglavnom izvodi kao nasuta građevina. U literaturi je problematika projektiranja i gradnje nasutih brana dobro opisana (E. Nonveiller, 1983.; Stojić, 1997.). Ovdje ćemo se osvrnuti samo na neke elemente vezane uz oblikovanje i planiranje brana. Isto tako potporne konstrukcije, nasipi i kosine su normirane, EUROCODE 7, poglavlje 8 i 9 tako da projektiranje i građenje mora biti u skladu s normama.

Kod akumulacija koje se formiraju iskopom, brana je isključivo nasuta brana uglavnom građena od materijala iz iskopa bazena akumulacije. To su

u pravilu homogene nasute brane koje se sastoje od jedne vrste materijala. S obzirom da su male akumulacije vodonepropusne jer imaju geomebrane voda ne protječe kroz branu tako da se ne mora graditi drenažni sustav. U kršu iskopani materijal je dobre kakvoće za gradnju nasutih brana čije tijelo ne mora biti vododrživo. Nasute brane prenose na podlogu velike sile zbog vlastite težine. Te se sile razdjeljuju na veliku površinu terena ispod brane pa zbog toga u krškim predjelima nisu potrebne nikakve dodatne mjere radi povećanja nosivosti terena, odnosno gradnja temelja brane.

Krški tereni su poznati po tome da imaju veliku nosivost, malu stišljivost i veliku čvrstoću na smicanje te su zbog toga u pravilu povoljni za gradnju brana. Zbog toga izbor lokacije brane ne utječe na izbor lokacije akumulacije, već obrnuto. Međutim, ako imamo mogućnost biranja između više lokacija akumulacije, tada je dobro analizirati i čimbenike koje utječu na izbor tipa brane naročito ako se akumulacija gradi pregrađivanjem udoline. To su:

- geologija i geotektonika lokacije;
- seizmičnost područja;
- značajke temeljnog tla: stišljivost, otpornost i propusnost slojeva tla ispod brane;
- vrste, količine i svojstva materijala za nasipavanje brane;
- visina uspora, razine vode i gradnja objekta odjednom ili u više etapa.
- klimatske prilike na mjestu podizanja brane;
- način osiguranja građevne jame;

Uz ove čimbenike kod izbora tipa brane valja voditi računa i o:

- morfologiji odabranog profila pregrade;
- karakteristikama temelja brane;
- vrsti i količini različitih vrsta materijala za nasipavanje;
- udaljenost od pozajmišta,
- građenje pristupnih putova;
- rok građenja.

Temelji su jedan od elemenata koji utječu na izbor tipa brane. U krškim terenima poznatim po dobroj čvrstoći, može se iskoristiti velika čvrstoća nosivog tla, te kameni materijal da bi se podigla brana sa strmijim vanjskim kosinama i malog volumena-kubature.

Nasuta brana se može graditi skoro iz svakog materijala, s tim da se projekt brane treba prilagoditi tom materijalu. Kako brana ne mora biti vodonepropusna iskopani materijal ili materijal iz pozajmišta u kršu uglavnom zadovoljava i bitno ne utječe na izbor tipa brane.

Klima, odnosno oborine utječu na ugrađivanje materijala u branu i to na različite načine. U slučajevima kada se brana gradi od dobro propusnih

materijala kao što su materijali u kršu, tada je problem znatno manji i klimatski utjecaj je vrlo mali.

Rok građenja također utječe na izbor tipa brane. Međutim, kod gradnje malih brana bez vodonepropusnih jezgri i posebne zaštite pokosa rok nema nekog utjecaja jer se brana uglavnom gradi u cijelom profilu.

Širina krune brane i njezina visina iznad najviše razine vode u akumulaciji su polazni elementi za oblikovanje brane. Širina krune brane (B) najčešće se odabire u funkciji visine brane (H) tako da je u granicama:

$$B = 1 + A \cdot \sqrt{H} \quad (6.2)$$

Postoji više empirijskih kriterija:

Biro of Reclamation (USA):	$B = \frac{1}{5}H + 10$ (ft);	H - u fitima
T.T. Knappen:	$B = 1,65 \sqrt{H}$;	H - u metrima
E.F. Preece:	$B = 1,10\sqrt{H} + 1$;	H - u metrima

Širina krune brane ne utječe znatno na stabilnost pokosa brane ali ima utjecaja na druge elemente vezane za gradnju, održavanje i sigurnost kod incidentnih situacija (potresa, velike erozije, itd.). Pravilo je, što je kruna brane šira to je sigurnost brane veća.

Kota krune brane iznad najviše razine vode u akumulaciji je važan čini-lac njene sigurnosti od opasnosti preplavlivanja i rušenja. Stoga istu treba odabrati vodeći računa o:

- visini dizanja valova;
- porastu razine zbog djelovanja vjetra;
- oscilacija razine vode;
- debljine mlaza iznad preljevnog praga.

Sve ove čimbenike i visine treba zbrojiti i s određenim faktorom sigurnosti odabrati kotu krune nasipa. Neke smjernice u funkciji veličine površine akumulacije date su ranije.

Trasa osi brane je uglavnom pravac. Kod pregradnih nasutih brana moguće je napraviti manje izbočenje brane prema unutrašnjosti (konkavno). U slučaju malih brana pravocrtno trasiranje je najprihvatljivije.

Kosine brane, uzvodna i nizvodna, oblikuju se nagibom koji zadovoljava sigurnost od kliženja na temelju računa stabilnosti. To su uglavnom jednolične površine bez bermi koje se grade kod većih brana. Male brane uglavnom imaju ravne površine pokosa s tim da se na pojedinim dijelovima rade odgovarajuće rampe za ulaz u akumulaciju. Kod akumulacija kod kojih se koriste geomebrane, nagib unutrašnjeg pokosa brane ovisi o tipu

izgradnje geomebrane i s tim u svezi stabilnosti temeljnih ili prekrivnih slojeva membrane.

Opterećenje brane čine stalne sile, povremene i promjenjive. Stalno opterećenje je gravitacija, a promjenjiva opterećenja su:

- tlak akumulirane vode;
- uzgon;
- hidrodinamički tlak u zonama kroz koje voda struji;
- porni tlak u zonama koje su zasićene vodom.

Povremena opterećenja čine dinamičke sile mase izazvane potresom.

Sva ova opterećenja izazivaju napone i promjene napona u brani kojih su posljedica promjene volumena materijala, od stanja kod izgradnje do stanja prilagođavanja ravnoteži s novim opterećenjem. Gravitacija djeluje na volumen materijala (V) i izaziva silu (W):

$$W = \iiint \gamma \cdot dV \quad (6.3)$$

Gdje je γ jedinična težina, a γ_s specifična težina. Jedinična težina vlažnog materijala je:

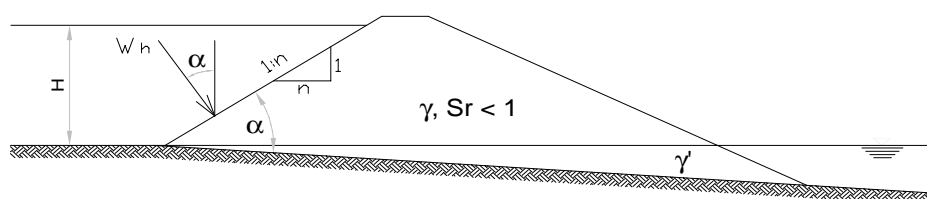
$$\gamma = (1 - n) \cdot \gamma_s + n \cdot \gamma_w \cdot S_r \quad (6.4)$$

Gdje je S_r stupanj zasićenosti: $0 < S_r < 1$ za suh, odnosno zasićen materijal.

Tlak vode djeluje na uzvodnu plohu nepropusne barijere-folije i iznosi:

$$W_h = H^2 \sqrt{1 + n^2} \quad (6.5)$$

A djeluje pod kutom $\alpha = \arctg n$



Slika 6.4: Hidrostatski tlak na uzvodni ekran

Nizvodno od vodonepropusne barijere materijal je suh, ako nema nizvodne vode, inače je djelomično zasićen iznad razine nizvodne vode. Uzgon djeluje na svaku jedinicu volumena materijala ispod razine vode u smjeru suprotnom djelovanju gravitacije s intenzitetom γ_w .

Hidrodinamički tlak u polju promjenjiva potencijala djeluje na svaku jedinicu volumena materijala kroz koje voda struji.

Uzgon i hidrodinamički tlak kod suhих brana, akumulacija sa vodonepropusnim geomembranama, u kršu u pravilu nije izražen. Isto tako, porni pretlak i dinamičke sile kod manjih nasutih brana izgrađenih manje više kamenim materijalom nisu od značaja za stabilnost brane.

Nasipi moraju imati dimenzije, te biti izvedeni tako da imaju potrebnu stabilnost u odnosu na predviđeni hidrostatički tlak vode u bazenu. Zbijenost nasipa mora biti dovoljna za sva opterećenja, oko 90 % suhe gustoće mjerene prema modificiranom Procter-ovom testu. Uz to, nasipi moraju imati potrebnu širinu i čvrstoću potrebnu za lokalno kretanje vozila koja se koriste u održavanju. Uz skladu s tim, dimenzije nasipa se moraju prilagoditi vrsti materijale od kojeg će nasipi biti izgrađeni. Organska i plastična tla, kao i pjeskoviti materijali su manje povoljni za izgradnju nasipa. U slučaju da se na razmatranoj lokaciji ne može naći bolji materijal, tada je potrebno isti dovesti s drugih područja-iskopa ili projekt i rješenje brane prilagoditi raspoloživom materijalu. U ovakvim situacijama potrebno je preispitati isplativost izvedbe akumulacije na predviđenoj lokaciji.

Kosina brane mora biti stabilna. Materijal brane u ravnoteži je na kosinama ako je čvrstoća na smicanje materijala u svim točkama na kosini i u njoj veća od napona smicanja koji su potrebni da se održi ravnoteža. Granično stanje ravnoteže nastaje pri nepovoljnom opterećenju ili previše strmom nagibu kosine kad su naponi smicanja jednaki ili veći od čvrstoće materijala. Kako nasip brane u pravilu nije građen od sasvim homogenog materijala slom i klizanje se eventualno događa samo na pojedinim mjestima gdje su naponi preveliki.

Nagib brane treba odabrati tako da kod najnepovoljnijeg opterećenja prosječni napon potreban za održanje ravnoteže ne prekorači čvrstoću smanjenu faktorom sigurnosti koju određuje jednadžba (6,6):

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau} \quad (6.6)$$

Gdje je:

F_s - faktor sigurnosti

τ_f - čvrstoća na smicanje

τ - otpor smicanja

Faktor sigurnosti za brane manje od 15 m je $1,2 < F_s < 1,5$. Razlikujemo faktor sigurnosti na trenje F_ϕ i za koheziju F_c :

$$F_\phi = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_m} \quad F_c = \frac{c'}{c_m} \quad (6.7)$$

Gdje je:

ϕ_m - "mobilizirano" trenje da održi ravnotežu

c_m - "mobilizirana" kohezija

ϕ' - parametar čvrstoće na smicanje; unutrašnje trenje

c' - parametar čvrstoće na smicanje; kohezija

Opor (τ) vezanog zemljišta na smicanje (Terzaghi) je:

$$\tau = c + (\sigma - u)\text{tg}\varphi \quad (6,8)$$

Gdje je:

u - neutralni napon kod opterećenja (parni tlak)

σ - ukupni napon

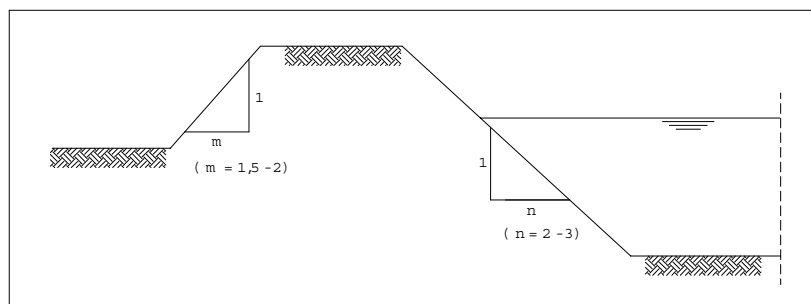
σ' - ($\sigma - u$) - efektivni napon

Preko usvojenog koeficijenta sigurnosti (F_s) može se tako odrediti potrebna čvrstoća na smicanje τ_p :

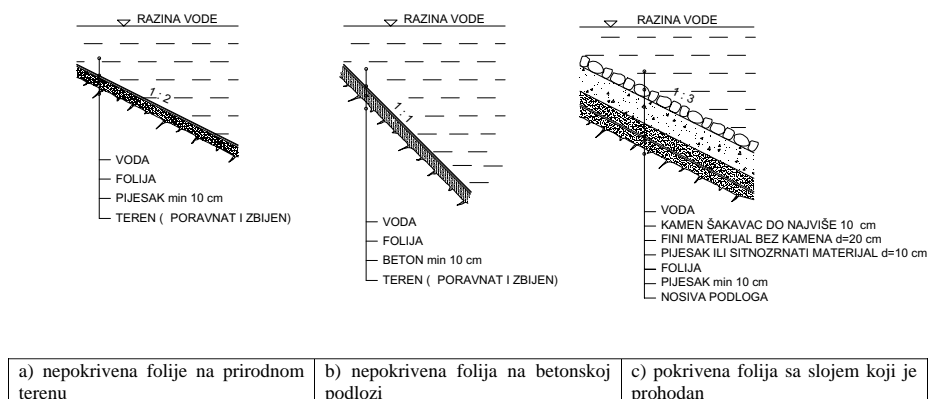
$$\tau_p = \frac{1}{F_s} [c' + (\sigma - u)\text{tg}\varphi'] \quad (6.9)$$

Pokose nasipa treba izvoditi u padu koji osigurava potrebnu zaštitu od erozije valova ali i klizanja pokosa nasipa. Pokos nasipa treba prilagoditi i opremi, vozilima koja s vremena na vrijeme trebaju ulaziti u bazene ili se moraju predvidjeti posebne rampe za ulaz u bazene. Zbog toga je nutrašnji pad nasipa manji i kreće se u granicama od 1 do 3. Vanjski pad nasipa je veći i kreće se od 1 do 1,5, a rjeđe i do 2, slika 6.5. Izvedba unutrašnjeg pokosa ovisi i o načinu izvedbe vodoodrživosti bazena. Različite konstrukcije vododrživih slojeva i folija zahtijevaju i određeni nagib kako bi se postigla željena stabilnost brtvenih i zaštitnih slojeva folije, slika 6.6.

U slučaju kada folije nisu pokrivene nagib je 1 : 2, a u slučaju kad je folija pokrivena sitnozrnatim materijalom 1 : 3. U svakom slučaju treba računski dokazati stabilnost pokosa brane u skladu s tipom izvedbe vodoodrživosti.



Slika 6.5: Izvedba pokosa nasipa



Slika 6.6: Izvedbe pokosa u funkciji podloge folije

Nasipe treba zaštititi od erozije. Eroziiju izazivaju kiša i vjetar, a u unutrašnjem dijelu i valovi koji se stvaraju u bazenima. Zbog toga se unutrašnja strana nasipa na dijelu utjecaja valova pokriva kamenim blokovima ("rip-rap"), betonskim pločama ili se koriste različite izvedbe geotekstila i drugih pokrova nasipa, slika 6.7. Veličina kamenih blokova (d) se može izračunati po formuli:

$$d = \frac{1}{\rho_k - 1} \cdot \frac{1 + m^2}{m(m + 2)} \cdot h_v \quad (6.10)$$

gdje je:

d - veličina kamena (m)

ρ_k - zapremina gustoća kamena (t/m^3)

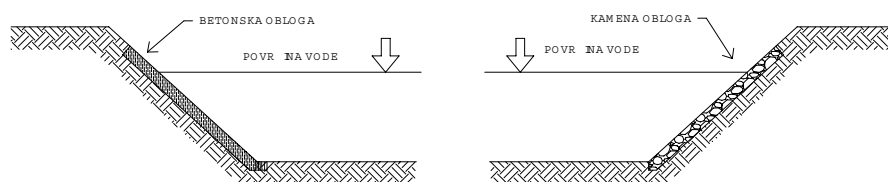
m - koeficijent pokosa = $\text{ctg } \alpha$

α - kut pokosa

h_v - visina vala

Vanjska strana nasipa kao i ostali dio nasipa iznad najviše razine vode i valova obično se zatrave kako bi se spriječila erozija. Treba koristiti travu koja ne traži veliko održavanje (*Cyonodon dactylon*, i druge).

Erozija od kiša sprječava se izvedbom sakupljanja i odvođenja oborinskih voda. U skladu s geometrijom nasipa i padom terena potrebno je postaviti rigole i kanale za sakupljanje i odvodnju oborinskih voda, sve kako oborinska voda ne bi sama stvarala svoje putove otjecanja i tako erodirala nasipe i zemljište oko nasipa.



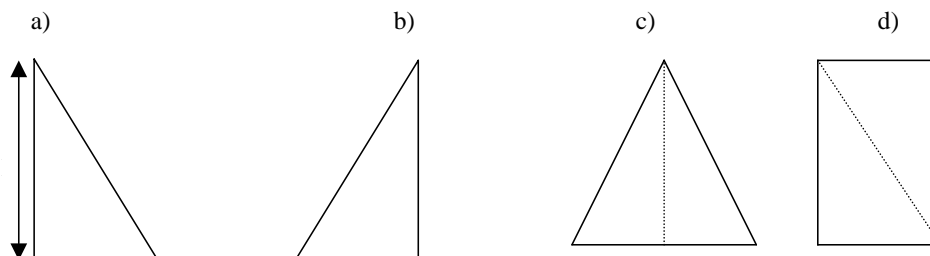
Slika 6.7: Izvedba zaštite od valova

Raslinje i obrastaj trave i drugog bilja s unutrašnje (vodne) strane bazena nije dozvoljeno, jer su to mjesta na kojima bi se zadržavali i razmnožavali komarci i drugi kukci. Zbog toga čak i sa vanjske strane bliže bazenu nije poželjno imati visoko zatravljene pokrove nasipa. Poželjno je ove rubne dijelove pokriti folijama ili betonom, sve kako bi se spriječio rast raslinja i stvaranje staništa za komarce i druge kukce. Treba izbjegavati višu vegetaciju oko objekta, jer bi se ona mogla opteretiti s lišćem.

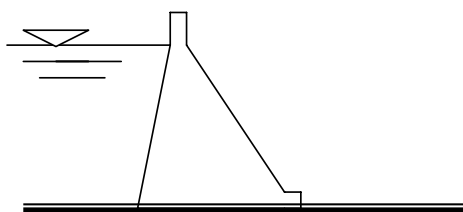
Osim nasutih brana mogu se koristiti i betonske brane različite izvedbe. U slučaju manjih akumulacija ovaj tip brane koristi se jedino u slučajevima pregrađivanja udolina kada je možda izgradnja betonske brane prihvatljivije rješenje od nasute brane. Više o ovim branama i njihovom projektiranju i građenju može saznati u literaturi, P. Stojić, 1997. Uglavnom se koriste betonske gravitacijske brane. U slučaju malih akumulacija to su male (niske) brane i zbog toga jednostavne konstrukcije, lake za gradnju i projektiranje, te vrlo sigurne. Gravitacijske znači da svojom težinom, volumenom, savladavaju horizontalnu silu hidrostatskog tlaka. Uvjeti za vanjsku stabilnost su: (i) težina mora biti dovoljno velika da postigne sigurnost protiv okretanja oko jednog zamišljenog centra (nizvodnog ruba poprečnog presjeka); (ii) ista težina mora biti dovoljna da postigne sigurnost brane na klizanje duž temeljne plohe.

Profili brane koji zadovoljavaju uvjete stabilnosti su:

	a	b	c	d
b (m) =	0,67 H	H	0,73 H	0,67 H
V (m ³ /m') =	0,33 H ²	0,50 H ²	0,37 H ²	0,76 H ²



Obično su trokutastog poprečnog presjeka sa odgovarajućom širinom krune brane. Prednja, mokra strana je nakošena kako bi se iskoristio hidrostatski tlak vode na samu branu umjesto da se težinom betona povećava vertikalna sila. Stražnja strana je nakošena kako bi se uštedio materijal i stvorila što veća kontaktna ploha između brane i tla i tako: (i) smanjio tlak na tlo i temelje, (ii) povećao otpor klizanju brane, (iii) te spriječilo prevrtanje odnosno povećala stabilnost brane na prevrtanje.



Slika 6.8:
Gravitacijska brana -
praktični profil

Kod ovakvih brana stabilnost obično nije upitna. važno je osigurati unutrašnju čvrstoću, te čvrstoću temelja. U krškim predjelima poznatim po dobroj nosivosti i stabilnost, nosivost terena i time temelja nije upitna, te su stoga ove brane povoljne za korištenje u krškim terenima. Bez razlike na sve navedeno kod malih akumulacija sa malim dubinama (do 15 m) nasute

6.2. Rješavanje problema vodonepropusnosti

Brtveljenje

Akumulacije moraju biti vodonepropusne. Vodonepropusnost, odnosno vododrživost je od velike važnosti za njihov rad i utjecaj na okoliš. Gubitak vode iz akumulacije utječe i na njenu ekonomičnost i učinkovitost tako da se nekontrolirano istjecanje mora spriječiti.

Vododrživost bazena se postiže korištenjem vodonepropusnog zemljišta (glinovitih materijala) potrebne debljine 20 - 50 cm. Koeficijent procjeđivanja (in situ) zbijenog zemljanog materijala mora biti manji od 10^{-7} m/s.

Ukupni gubici procjeđivanja moraju biti manji od dozvoljenih. Moraju se proračunati u radnim uvjetima, odnosno uzimajući u obzir i hidrostatski tlak vode u bazenima. Gubici na procjeđivanje dna bazena mogu se proračunati korištenjem D'arcy-eva zakona:

$$k = (86400 Q_s/A) (\Delta l/\Delta h) \quad (6.11)$$

gdje je:

k - maksimalno dozvoljeno procjeđivanje, m/s

Q_s - maksimalna dozvoljeno istjecanje vode, m³/dan

A - površina dna bazena, m²

Δl - debljina sloja zemlje između dna bazena i razine podzemne vode ili vodopropusnih slojeva, m

Δh - hidrostatski tlak vode (dubina vode i visina valova), m

Proračun se radi za provjeru vododrživosti prirodnog zemljišta kao i u slučaju izvedbe nasutim zemljanim materijalima (glinoviti materijali).

Ako se vododrživost ne može postići zemljanim materijalom tada se koriste plastične folije - geomebrane, Babić i ostali, 1995. Danas se folije daleko više koriste jer su sigurnije i jeftinije od izvedbe zemljanih vodonepropusnih slojeva. To posebno vrijedi za krška područja gdje su tereni stjenovit i siromašni humusnim materijalima, a naročito glinovitim materijalima. U ovim područjima dobra zaštita je potrebna i zbog velike vodopropusnosti krških terena i s tim u vezi isplativosti gradnje. Izvedba vodonepropusnih slojeva od geomembrane-folije je jednostavna.

To je tanak, savitljiv, kontinuiran i za vodu nepropustan proizvod. Geomembrane se proizvode iz različitih materijala prije svega polimera (PEHD, PELD, PVC), sintetičkih guma i kombinacije više materijala. Mogu se proizvoditi i od bitumeniziranih netkanih i tkanih tekstila. Mogu biti jednoslojne i višeslojne. Da bi im se poboljšala otpornost mogu se kombinirati i s plošnim materijalima druge vrste (zaštita od UV zračenja, i drugo).

Debljina im je 0,7 do 5 mm, a uglavnom se koriste one debljine od 1,5 - 3 mm. Iznimno se koriste i deblje, do 15 mm. Debljina je uglavnom u funkciji tražene čvrstoće, shodno predviđenom opterećenju i hidrostatskom tlaku vode u bazenima, te traženom vijeku trajanja.

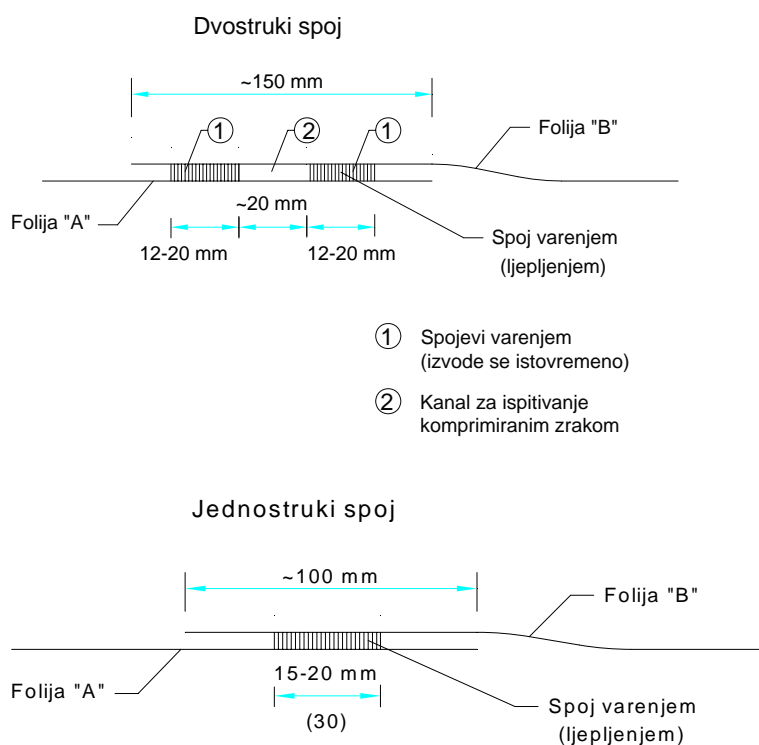
Uglavnom se proizvode u širini od 2 - 10 m i u duljini do 300 m. Membrane- folije od sintetičkih materijala, su otporne na otpadne tvari tako da im je u tom smislu dulji vijek trajanja. Najveći problem za folije je sunčevo zračenje, ultraljubičaste zrake, koje značajno utječu na čvrstoću i trajnost folija. Danas imamo veliki broj proizvođača folija različitih vrsta, kakvoće i vijeka trajanja, tako da je njihova nabava jednostavna.

S obzirom da se rade određenih dimenzija nužno je njihovo spajanje. Spajanje ovisi o vrsti materijala ali i zahtjevima građevine. Od spojeva se traži da imaju istu mogućnost prijenosa sile te vododrživost kao i ostali dijelovi. Danas se najčešće spajaju varenjem ili lijepljenjem. Varenje može biti s jednostrukim ili dvostrukim varom. Kod jednostrukog vara minimalni preklap je 10 cm, a širina vara je 15 do 20 mm. U slučaju dvostrukog vara, koji se preporučuje, preklap je širine 15 cm, a varovi su na razmaku od 12 - 20 mm s tim da između ostaje zračni prostor od oko 20 mm. Dvostruki var se izvodi odjednom. Potrebna povišena temperatura za varanje postiže se ugrijanim metalom a rjeđe plinom.

Lijepljenje se radi rjeđe, kad varenje iz nekog razloga nije moguće. Izvodi se jedan sloj širine 30 mm u preklopu folije od 100 mm.

Spojevi su najslabija točka te se stoga moraju kvalitetno izraditi, ispitati, a sve u skladu s odgovarajućim normama. Ako je moguće, kod projektiranja,

spojeve treba predvidjeti na mjestima na kojima bi eventualna šteta od propuštanja bila najmanja. Ispitivanje jednostrukih spojeva izvodi se ultrazvukom ili mjerenjem električnog otpora. Ispitivanje je jednostavno ali ne i vrlo pouzdano. U slučaju dva sloja varenja ispitivanje se provodi tlačanjem zraka između dva varena sloja. Tlak postepeno lagano pada zbog elastičnosti folija. U slučaju većeg pada spoj propušta i treba ga pronaći, najčešće pjenom-sapunicom i sličnim sredstvima koja mogu detektirati mjesta propuštanja.



Slika 6.9: Izvedba spoja geomebrane

Folije se postavljaju na dno i bočne strane bazena na odgovarajuće izrađenu posteljicu, međusobno lijepe i/ili vare kako bi se stvorila jedna vodonepropusna pokrovna cjelina. Iznad i ispod membrane-folije postavlja se zaštitni sloj. Funkcija zaštitnog sloja je:

- rasprostire koncentrirane sile koje mogu nastati utjecajem oštrobriđnog znatog materijala posteljice i eventualno nasipa;
- rasprostire opterećenje od građevinske mehanizacije tijekom građenja;
- rasprostire opterećenje od vode tijekom uporabe.

Zaštitni sloj se sastoji od geotekstila, znatog materijala (pijesak, šljunak) ili najbolje, njihove kombinacije. Slojevi geotekstila štite geomem-

branu od opterećenja; razdvajaju slojeve različitog sastava i namjene; i osiguravaju filtarsku stabilnost. Pokrivka, vanjska zaštita se izvodi na različite načine i u više slojeva. Prvi je sloj od finih materijala (pjeskovitih) sa ili bez geotekstila, kojim se sprječava oštećenje folije od ostalih pokrovnih slojeva koji se izvode od krupnijih i oštrijih materijala.

Folija se može ali i ne mora pokrivati zaštitnim materijalom. Nepokrivene folije su podložne bržem propadanju i gubljenju svojih svojstava (prije svega čvrstoće) pod djelovanjem sunčeva svjetla. Uz to otvorene su svim vanjskim djelovanjima, zagrijavanju i mogućim oštećenjima. Ako se pokriju odgovarajućim materijalima tada se eliminira utjecaj sunca na kakvoću folija, zagrijavanje, a ujedno se štiti i od eventualnih vanjskih oštećenja. U pravilu, manje akumulacije se izvode bez pokrivanja i zaštite folija dok se veće pokrivaju i zaštićuju.

Podloga mora biti dovoljno zbijena i stabilna da osigura jednoliko nalijeganje folije na dno bazena, te mekana da ne ošteti foliju uslijed djelovanja hidrostatskog tlaka-težine vode iznad folije.

Prilikom izvedbe treba se voditi računa o slijedećem:

- Sloj tla ili mineralnog brtvenog materijala na koji se polaže geomembrana (sa ili bez geotekstila) mora imati isplaniranu površinu bez oštih fragmenata. Debljina fine zrnate frakcije neposredno ispod folije mora biti 5 - 10 cm.
- Maksimalni promjer zrna mineralnog zrnatog materijala u funkciji zaštitnog sloja mora biti jednak ili manji od 5 mm.
- Prije početka polaganja geomembrana mora se projektirati raspored folija i lijepljenje u skladu sa širinom i duljinom folije, to jest: odrediti položaj pojedinih folija (smjer, duljina, širina, širina preklopa) i redosljed polaganja.
- Mora se propisati način spajanja folija, lijepljenje ili varenje, preporučuje se varenje;
- Ne smije se dopustiti kretanje mehanizacije neposredno preko folija pa zbog toga istovremenom s napredovanjem polaganja membrana izvoditi i zaštitni sloj, odnosno razastiranje sitnozrnatog materijala sa ili bez geotekstila (uvijek poslije ispitivanja vara). Sloj za pokrivanje (neprohodan) mora biti debeo najmanje 15 cm, a ako je prohodan najmanje 25 cm. U oba slučaja materijal za pokrivanje ne smije biti oštar kako ne bi probio foliju, s tim da je debljina sloja od sitnozrnatog materijala neposredno iznad folije najmanje 7 mm. Ovaj sloj može zamijeniti odgovarajući geotekstil.
- Geomebranu je dobro s obje strane zaštititi sa odgovarajućim geotekstilom koji je tada u kontaktu s tlom i drugim materijalima umjesto geomebrane.

- Postupak kontrole mora dokazati ispravnost položene geomembrane. Potrebno je:
 - Pregledati cijelu površinu geomembrane kako bi se ustanovila moguća oštećenja, prijelomi, rupe, ogrebotine i slično;
 - Pregled mehaničke otpornosti i nepropusnosti svih spojeva (nije dopušteno ispitivati statistički uzorak);
 - Popravak svih nepravilnosti folije i spojeva.

	Tip ispitivanja	Ispitivanja
Ispitivanje svojstava materijala	A	<ul style="list-style-type: none"> - propusnost na tekućine - vlažna čvrstoća - kut trenja površine - debljina pod određenim tlakom - masa po jedinici površine
	B	<ul style="list-style-type: none"> - otpornost na kemijske utjecaje - otpornost na biološke utjecaje - otpornost na visoku temperaturu - otpornost na nisku temperaturu - otpornost na ultraljubičaste zrake - otpornost na probijanje - rastezanje
Kontrolna ispitivanja tijekom i nakon ugradnje	A	<ul style="list-style-type: none"> - oštećenja nastala pri ugradnji - nepropusnost spojeva - vlažna čvrstoća spojeva
	B	<ul style="list-style-type: none"> - ravnost površine - naboranost - posmična čvrstoća spojeva

Tablica 6.1: *Ispitivanje geomembrana; A - obvezatna, B - prema odredbama projekta*

Osnovni preduvjet izbora folije je njena čvrstoća koja mora biti veća od opterećenja koje se javlja uslijed težine vode. U našem slučaju čvrstoća mora biti veća od opterećenja kojeg čini stupac vode recimo od 10 m, odnosno $10 \text{ tona/m}^2 + \text{faktor sigurnosti}$, koji je najmanje 25 %. S obzirom da folija tijekom vremena gubi čvrstoću tražena čvrstoća se uvijek odnosi na kraj vijeka trajanja (period od minimalno 30 godina).

Stabilnost brtvenih slojeva

Osim ispitivanja stabilnosti nasipa, zemljanih brana, poznatim metodama mehanike tla, potrebno je ispitati i stabilnost brtvenih slojeva. Bočni brtveni slojevi koji su koso položeni moraju se ispitati na klizanje i to na dodirnoj plohi dvaju slojeva kompozita. Za svaku dodirnu plohu treba dokazati da je posmični otpor veći od opterećenja, uz zadovoljavajući faktor sigurnosti. Uglavnom se kontrolira dodirna ploha između geomembrane i mineralnog brtvenog sloja ili geomembrane i geotekstila.

Posmični otpor u dodirnoj plohi određen je s dva parametra: c' (kohezija) i φ' (kut unutrašnjeg trenja), od kojih je c' neovisan a φ' ovisan o nor-

malnim naprezanjima. Ovi se parametri slično klasičnim veličinama mehanike tla ispituju na kombinaciji konkretnih materijala za konkretne uvjete u uređaju koji je sličan klasičnom uređaju za direktno smicanje uzoraka.

Aktivna sila koja uzrokuje klizanje duž plohe geomebrane direktno je proporcionalna kutu nagiba pokosa, slika 6.10. Posmični otpor određen je sa:

$$P = c' + G \cos \alpha \tan \varphi' \quad (6.12)$$

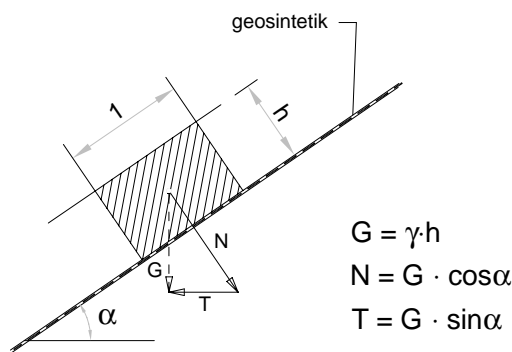
A aktivna sila klizanja je:

$$T = G \sin \alpha \quad (6.13)$$

pa je koeficijent sigurnosti protiv klizanja kvocijent posmičnog otpora i aktivne sile klizanja. U pretpostavku koja je na strani sigurnosti, da je $c'=0$, koeficijent sigurnosti protiv klizanja je:

$$\eta = P/T = \tan \varphi' / \tan \alpha \quad (6.14)$$

Ovaj koeficijent sigurnosti mora korespondirati s koeficijentom sigurnosti opće stabilnosti nasipa-brane, pa u skladu s tom veličinom treba projektirati nagibe brtvenih slojeva. U pravilu brtveni slojevi traže manje kutove (manje strme pokose) od nasipa te su stoga oni kritični element za projektiranje unutrašnjih pokosa bazena i nasipa. To su kutovi koji su uvijek manji od 45°. Normalno ako nema prekrivanja brtvenog sloja sitnozrnastim materijalom kutovi mogu biti i veći, pogotovo ako je nosiva konstrukcija beton, odnosno ako se folije oslanjaju na beton. Folije uvijek moraju biti sidrene na vrhu pokosa.



Slika 6.10: Stanje ravnoteže kosog brtvenog sloja

Konstrukcija izvedbe membrane je predmet tehno-ekonomske analize na temelju prostornih, geodetskih, geomehaničkih i drugih značajki lokacije te stanja na tržištu vezano za dobavu svih potrebnih materijala kao i načina izvedbe. Takva analiza je predmet izrade glavnog projekta, a konačnu odluku donosi investitor na temelju prijedloga izvedbenog projekta odabranog izvođača.

6.3. Dovod, odvod i drugi elementi akumulacije

Dovodni cjevovod i pročišćavanje

Projektiranje dovodnika ovisi o zahvatu (položaju, kakvoći vode, itd.) i akumulaciji (položaju, udaljenosti, potrebnoj kakvoći vode, itd), te značajkama prostora između njih. Mogu biti otvoreni, zatvoreni, pod tlakom, ili sa slobodnim vodnim licem. Projektiraju se po svim pravilima koja se koriste za projektiranje cjevovoda ili kanala.

Prethodno pročišćavanje vode je nužno za izvedbu akumulacija koje se moraju zaštititi od:

- krupnih suspenzija (krpa, boca, komada drveća i sličnih materijala) kako bi se spriječilo začepljenje izlaznih cjevovoda te nakupljanje takvih tvari u bazenima,
- plutajućih tvari jer iste stvaraju neuglednu sliku i izgled, a na njima se mogu nakupljati bakterije te ptice i druge životinje,
- masnoća koje stvaraju neugodnu sliku te začepljuju cijevi i prskalice,
- pijeska-lako taloživih anorganskih tvari koje bi mogle dovesti do neplaniranog nasipanja bazena.

Razina i tehnologija prethodnog pročišćavanja ovisi o kakvoći vode koja se zahvaća. Ako se zahvaćaju čiste vode (podzemna voda, kišnica i druge) tada nije potrebno prethodno pročišćavanje. Ako se zahvaćaju površinske vode koje nose velike količine suspendiranog i vučenog nanosa i drugih tvari tada je pročišćavanje neophodno. Uglavnom se koriste taložnici prilagođeni izdvajanju krupnijih i finijih anorganskih tvari, grube i fine rešetke, te eventualno mastolovi i filteri. Voda se može pročišćavati na zahvatu ili prije akumulacije. Krupne suspenzije i vučeni nanos se u pravilu izdvajaju na samom zahvatu, a ostale tvari tamo gdje je prihvatljivije graditi i održavati uređaj. Kakvoća vode utječe i na projektiranje dovodnika vode od zahvata do akumulacije tako da i to treba uzeti u obzir kod procjene prihvatljivosti lokacije-rješenja.

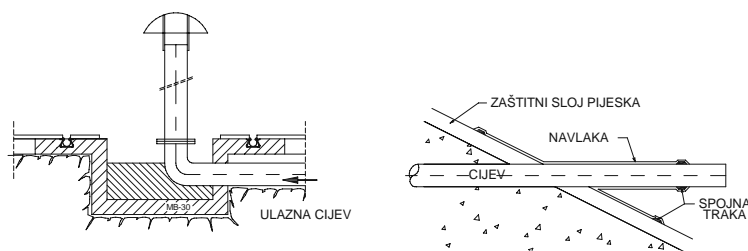
Ulazne i izlazne građevine

Akumulacija u pravilu ima jedan ulazni cjevovod i jedan izlazni cjevovod. To su mjesta koja su najosjetljivija na vododrživost. Ulazi vode u bazen moraju biti što sigurniji kako bi se spriječilo oštećenje prekrivnih slojeva i nasipa, slika 6.11. Mogu biti u razini ili ispod razine vode. Ulazni cjevovod u odnosu na vododrživost je najjednostavnije i najsigurnije postaviti na krunu nasipa, s time da se konstrukcija akumulacije zaštiti od pada i djelovanja mlaza vode-erozije. Ovakvim rješenjem se izbjegava bušenje folije na pokosu bazena. Kad se govori o eroziji tada je prihvatljivije ulaz postaviti ispod razine vode što dalje od nasipa i pokosa bazena.

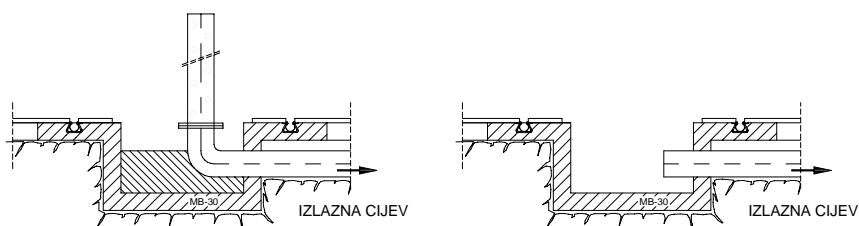
Izlazi moraju spriječiti otjecanje plivajućih tvari i suspenzija te stoga tre-

baju imati mogućnost zahvaćanja vode na svim dubinama, iz svih slojeva. Izlaz se oblikuje ovisno o kakvoći vode u akumulaciji, odnosno količini suspenzija-algi i eventualno mulja. Ako je voda bez mulja, izlazni cjevovod se postavlja nešto iznad dna u betonsko udubljenje kako bi se sva voda mogla iskoristiti odnosno akumulacija isprazniti. Izlazna glava je vertikalna cijev sa nizom otvora tako da se voda zahvaća iz svih slojeva vode vodospremišta a ne samo pridnenog, slika 6.12. Ukoliko se želi spriječiti otjecanje algi iz bazena tada se izlazi moraju opskrbiti odgovarajućim sitima, usisnim košarama i sustavom ispiranja košara. Ako se očekuje taloženje mulja u akumulaciji, tada se izlaz za pražnjenje akumulacije izvodi kao posebni element prilagođen izlivanju muljevite vode s dna (većeg otvora).

Na cjevovodima se obično grade betonska okna u koja se postavljaju zatvarači i vodomjeri. To su mala okna veličine koja omogućava smještaj svih armatura i fazonskih komada. Ako su cjevovodi nadzemni tada su i okna nadzemna i obrnuto, ako su cjevovodi u rovovima tada su okna podzemne izvedbe. To su mala okna veličine koja omogućava smještaj svih armatura i fazonskih komada. Okna imaju odgovarajuće otvore za ulazak sa poklopcem i ključem. Minimalna visina okana je 1,8 m, a bolje 2,0 m.



Slika 6.11: Izvedbe ulaznih građevina



Slika 6.12: Izvedbe izlaznih građevina

Uz izlaz akumulacija može imati i preljev kao sigurnosnu mjeru. To obično imaju veće akumulacije. Preljev se gradi kao posebna konstrukcija ovisno o načinu gradnje akumulacije i načinu kontrole dotjecanja vode u akumulaciju. Ako je dotok u akumulaciju nekontroliran ili nedovoljno kontroliran tada se obavezno mora graditi sigurnosni preljev kako se ne bi ugrozila stabilnost objekta (nasipa i brane).

Ako akumulacija ima branu i to betonsku, tada se preljev u pravilu gradi na samoj brani. To je tada klasični ravni preljev s preljevnim pragom, brzotokom i slapištem. U slučaju zemljanih nasipa preljev je bolje i jeftinije graditi kao samostojeći objekt u samom bazenu. To je tada vertikalni cijevni preljev. Moguće su i druge konstrukcije ovisno o značajkama akumulacije, uvjetima otjecanja preljevnih voda i okoliša. Razina preljeva je maksimalno dozvoljeno punjenje akumulacije, odnosno razina vode.

Akumulacije s kontroliranim dotokom u pravilu nemaju preljev jer se razina vode kontrolira putem sustava kontrole dotoka i stanja u akumulaciji. Upravljanjem s dotokom, kontrolira se stanje u akumulaciji i razina vode. Ako je zbog oborina i lokalnog dotoka razina veća od dozvoljene, tada se putem ispusta bazen prazni i razina vode spušta na potrebnu visinu.

Ostali objekti

Kontrola isparavanja:

Da bi se smanjili gubici vode zbog isparavanja, akumulacije se prekrivaju različitim vrstama pokrova, od laganih krovova do plivajućeg pokrova. Pokrivanjem akumulacije sprječava se preveliko zagrijavanje te isparavanje vode. Pokrivanje akumulacije je dobro i zbog sprječavanja prodiranja sunčevih zraka, odnosno bioloških aktivnosti u vodi, čime se sprječava pojava algi i planktona koji mogu stvarati probleme (začepljenje) u distribucionom sustavu vode kao i kod navodnjavanja. Plivajući pokrovi su prikladni kod akumulacija velikih površina, dok su lagani pokrovi (krovovi) prikladniji kod akumulacija sa manjim slobodnim površinama (dimenzijama). Postoji više tehnika i rješenja kojima se može umanjiti isparavanje. Na tržištu se nudi više proizvoda. Najveći problem kod prekrivanja je vjetar koji može ugroziti plivajuće elemente ili pokrov. Zbog toga značajke lokacije u odnosu na vjetar bitno utječu na izbor rješenja.

Kod odabira rješenja treba voditi računa o ponašanju pokrova u slučaju pražnjenja akumulacije (sakupljanje, izmicanje, transport, skladištenja, itd.).

Lokalno sabiranje kiša:

U sušnim predjelima uz akumulacije se često od iskopanog materijala grade i nakapne plohe. Višak materijala iz iskopa i lokalni teren iznad akumulacije se odgovarajuće planira i koristi za lokalno sakupljanje kiša. Nakapna ploha uz akumulaciju, ako se gradi, može se graditi iz folija ili nekog drugog vodonepropusnog materijala, recimo asfalta i mršavog betona. Teren iznad akumulacija mora biti viši i mora omogućavati jednostavnu izgradnju nakapnih ploha te gravitacijski dovod vode do akumulacije. Ovo sakupljanje zajedno sa količinom kiše koja padne na površinu akumulacije u značajnoj mjeri može povećati sigurnost opskrbe vodom.

Kontrola kakvoće vode:

Voda iz vodosprema-akumulacija se mora pročistiti na filtrima kako suspenzije (uglavnom alge) ne bi začepile otvore na kapaljkama sustava za natapanje. Filtriranje se može provesti zajednički na izlazu iz vodospreme ili pojedinačno na svakom priključku korisnika vodoopskrbnog sustava. U pravilu se voda filtrira na izlazu iz akumulacije, te potom kod svakog korištenja ovisno o tehnologiji navodnjavanja. Akumulacija, naročito u bezvodnim područjima, odnosno područjima bez površinskih voda je omiljeno stanište za ptice i druge životnije koje svojim izmetom obogaćuju vodu bakterijama i hranjivima. Hranjiva uz više temperature dovode do intenzivnog razvoja algi što bitno otežava korištenje vode. Zbog toga se kontrola rasta algi mora provoditi, kako se voda ne bi trebala intenzivnije pročišćavati na nadzemnim ili podzemnim filtrima (biološkim, potopljenim i nepotopljenim).

Sigurnost - zaštita:

Akumulaciju bi trebalo ograditi jeftinijom ogradom kao bi se onemogućio pristup nezaposlenim osobama i životinjama u područje akumulacije. Potrebno je izgraditi i odgovarajući ulaz koji se treba zaključavati. Uz to oko objekta na ogradu, a posebno na ulazu, je potrebno postaviti odgovarajuće znakove/natpise upozorenja i to na više jezika ako se radi o turističkom području. Znakovima jasno treba upozoriti ljude da se radi o zabranjenom području. Područje je posebno opasno za djecu koja bi mogla bez nadzora koristiti bazene za kupanje. Na područje akumulacije treba spriječiti dolazak lovaca koji bi mogli biti privučeni divljim pticama i životinjama koje vrlo često i rado borave na bazenima i oko bazena. Sve navedeno vrijedi u slučaju da se akumulacija koristi samo za navodnjavanje. U svim drugim slučajevima nadzor i upravljanje akumulacijama treba prilagoditi namjeni.

Područje uz bazen treba na više mjesta opskrbiti dobro vidljivim plivačim pojasevima za spašavanje ili plovilima, a sve kako bi se spriječilo eventualno utapanje.

Kako bi se spriječilo odnošenje vjetrom ili životinjama-pticama nakupljenog smeća i plivajućeg otpada koje se sakuplja, isto je potrebno skladištiti u odgovarajuće kontejnere i pokrivati.

Prostorije za osoblje:

Na području akumulacije, eventualno treba izgraditi i prostorije za uposlene. Objekt treba imati odgovarajuće urede, sanitarni čvor, tuševе, skladišni prostor i druge prostorije potrebne za pogon i održavanje. Uz objekt treba izgraditi i potrebno parkiralište. Normalno, ovakav objekt se

projektira i gradi u skladu s propisima što uključuje sve instalacije i zaštite.

Male akumulacije uglavnom nemaju ovakav objekt, a ako ga imaju tada je to manji, jednostavniji i jeftiniji objekt, recimo kontejner, koji služi da bi se u njemu odložila osnovna oprema za održavanje sustava, sklonili uposljeni u slučaju iznenadnog lošeg vremena.

Uređenje prostora:

Na prostoru akumulacije kod projektiranja voditi računa da se duljina putova racionalizira. Uz to potrebno je predvidjeti trase i potrebne objekte kako bi se pristupilo svim ulazima i izlazima, oknima i uređajima.

Akumulaciju treba zaštititi od vanjskih voda i oborinskih voda kako ne bi došlo do ispiranja nasipa i njihove destabilizacije. Potrebno je izgraditi obodne jarke i sustav odvodnje površinskih voda. Ako treba i ako je moguće, ove vode se mogu koristiti i za punjenje akumulacije.

Prostor se može odgovarajuće urediti kako bi se što više maskirao i zaštitio, odnosno uklopio u okoliš. U tim smislu se provodi odgovarajuće hortikulturno uređenje prostora i njegovo uljepšavanje.

6.4. Upravljanje i održavanje

Svaki objekt treba održavati i odgovarajuće upravljati ma koliko jednostavan ili velik bio. Tako i akumulacije treba održavati kako bi se ostvarivali predviđeni ciljevi. Rutinsko održavanje i upravljanje se sastoji u slijedećem:

- Motrenje ulaznih i izlaznih količina vode;
- Kontrola vodonepropusnosti i stabilnosti nasipa i bazena;
- Jednom mjesečno kontrolirati:
 - o protok vode, ulaznu i izlaznu građevinu;
 - o eroziju nasipa i obala;
- Održavanje i čišćenje uređaja za prethodno pročišćavanje (čišćenje rešetki i pjeskolova);
- Održavanje i čišćenje uređaja za naknadno pročišćavanje (izdvajanje algi i suspenzija);
- Rezanje trave te vađenje obraštaja iz bazena kada je potrebno, a najmanje 2 do 3 puta godišnje;
- Čišćenje građevina-cjevovoda na ulazu i izlazu kako bi se odstranile nakupine, obraštaj, naplavine i druge tvari;
- Čišćenje pjene i nakupina sa površine bazena;

Redovito jednom godišnje bilo bi dobro akumulaciju isprazniti te provesti detaljnu kontrolu stanja dna i pokosa bazena. Isto tako bi bazen trebalo očistiti od mulja i drugih nakupina.

U sklopu akumulacije, uglavnom većih, treba instalirati i meteorološku stanicu te organizirati mjerenje temperature i oborina.

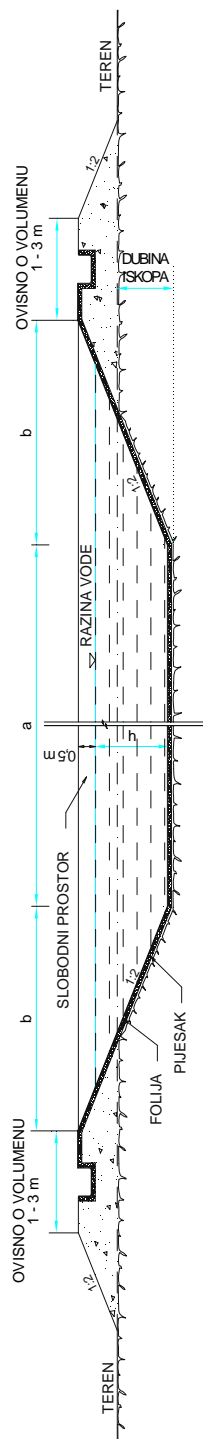
Preduvjet za dobar rad uređaja je dobar trening i školovanje radnika. Oni moraju znati procese u akumulaciji, te način izgradnje akumulacije i s tim u vezi potrebno održavanje objekta.

Detalji moguće izvedbe akumulacija dati su u prilogu.

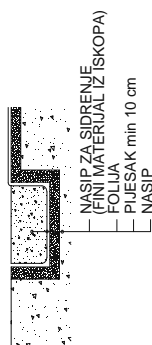
Dokumentacija

1. Margeta, J. Uvod u sistemsko inženjerstvo u projektiranju i upravljanju akumulacijama, Građevinski fakultet, Split, 1993.
2. Salas, J. D., Delluar, W., Jevđević, V. Applied Modelling of Hydrologic Time Series, Water Resources Publications, Littleton, Colorado, USA, 1980.
3. McMahan, T. A., Meim R. G. Reservoir Capacity and Yield, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Netherlands, 1978.
4. Moran, P. A. P. A probability theory for dams and storage systems, Australian Journal of Applied Science, &:116, 1954.
5. Moran, P. A. P. The Theory of Storage, Methuen, London, 1959.
Gould, B. W. Statistical methods for estimating the design capacity of dams, Journal of the Institute of Engineers, Australia, 33(12): 405-416, 1961.
6. Duckstein, L., Plate, E. J. Engineering Reliability and Risk in Water Resources, Martinus Nijhoff Publishers, Boston, USA, 1987.
7. Ervin Nonveiller, Nasute brane - projektiranje i građenje, Školska knjiga Zagreb, 1983.
8. Stojić, P., Hidrotehničke građevine I. II. i III., Građevinski fakultete, Split, 1997.
9. Babić, B, i surdnici, Geosintetici i graditeljstvu, HDGI, Zagreb 1995.
10. Jevđević, V. Hidrologija, Beograd, 1956.
11. Margeta, J. Osnove gospodarenja vodama, Građevinski fakultet, Split, 1992.
12. Rubinić, J. Bilanciranje akumulacija za navodnjavanje, Priručnik za hidrotehničke melioracije, III. Kolo, Knjiga 1., Rijeka , 2003.

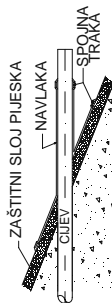
UZDUZNI PRESJEK



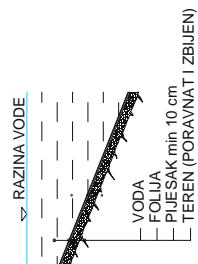
DETALJ SIDRENOG JARKA



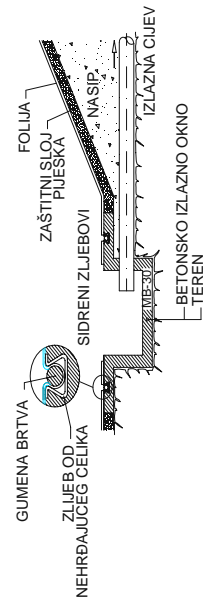
DETALJ ULAZNOG CJEVOVODA
TIPICNO RJEŠENJE VODONEPROPUSNOSTI
DOVODNE CIJEVI



DETALJ OBLIGE



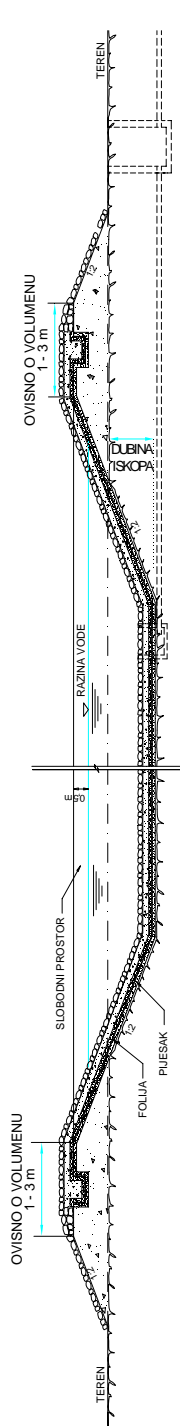
DETALJ IZLAZNOG CJEVOVODA



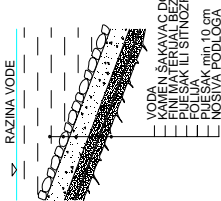
AKUMULACIJA
IZVEDBA SA NEPOKRIVENOM
FOLIJOM

Prilog A

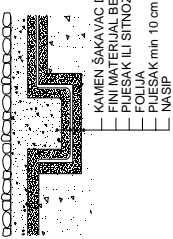
UZDUŽNI PRESJEK



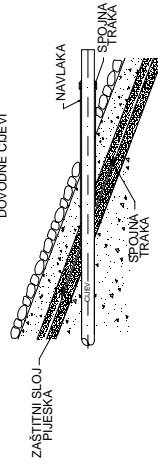
DETALJ OBLIGE



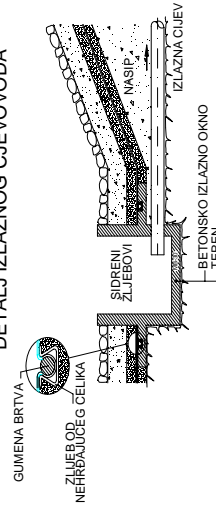
DETALJ SIDRENOG JARKA



DETALJ ULAZNOG CJEVOVODA
TIPICNO RJEŠENJE VODONEPROPUSNOSTI
DOVODNE CJEVI



DETALJ IZLAZNOG CJEVOVODA



AKUMULACIJA
IZVEDBA SA POKRIVENOM
FOLIJOM

Prilog B

5

NAVODNJAVANJE I ZONE SANITARNE ZAŠTITE IZVORIŠTA VODE ZA PIĆE NA KRŠKOM PODRUČJU

Analiza problematike na primjeru Primorsko-goranske županije

Prof.dr.sc. Nevenka Ožanić

Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci

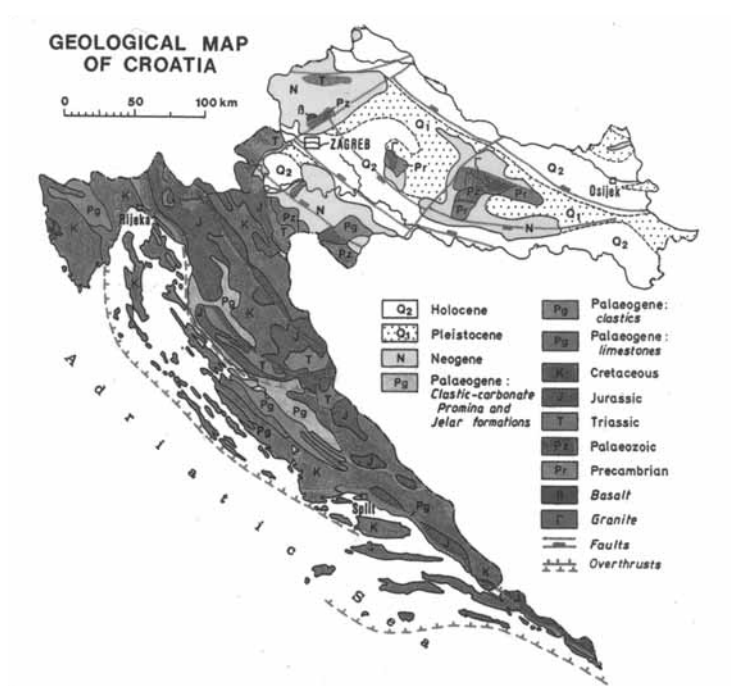
1. UVOD
2. POSEBNOSTI CIRKULACIJE VODE U KRŠU
3. ODREĐIVANJE ZONA SANITARNE ZAŠTITE U KRŠU
 - 3.1. Pravilnik o određivanju zona sanitarne zaštite
 - 3.2. Istraživanja u kršu vezana uz određivanje zona sanitarne zaštite
 - 3.3. Zone sanitarne zaštite izvorišta pitke vode na riječkom području
 - 3.3.1. Vodni resursi riječkog područja
 - 3.3.2. Zaštita vodnih resursa riječkog područja
4. NAVODNJAVANJE I ZONE SANITARNE ZAŠTITE
 - 4.1. Potencijalne opasnosti uslijed navodnjavanja na krškim područjima
 - 4.2. Održiva poljoprivreda
 - 4.3. Planiranje razvoja navodnjavanja na području Primorsko-goranske županije
5. ZAKLJUČAK
6. DOKUMENTACIJA

1. UVOD

Poznato je da su područja pod kršem u svijetu nejednoliko raspoređena. U nekim ih zemljama niti nema, ili su pak minorno zastupljena, te se tu i problemi krša periferno tretiraju. U Hrvatskoj su krška područja široko rasprostranjena i zauzimaju površinu od oko 45% od ukupne površine. Ta je rasprostranjenost u Hrvatskoj prije svega vezana uz priobalno područje i njegovo zaleđe, a ako se tome pridoda i Jadranski prostor, onda su to dvije trećine prostora Hrvatske. Taj je prostor južno od Karlovačke depresije, a obuhvaća Istru, Gorski Kotar, Liku, Ravne Kotare, Dalmaciju i

Neretvansko-dubrovačko područje na kopnu i sve otoke našeg jadranskog područja (slika 1).

Zbog geološke građe na krškim je područjima površinska hidrografska mreža slabo razvijena, a ponegdje je infiltracija oborinskih voda tako velika da se niti ne javljaju površinska otjecanja. Stoga se glavina protjecanja oborinskih voda odvija podzemnim vodnim sustavima koji u određenim slučajevima mogu dati uporabive rezerve podzemnih voda - bilo u vidu zahvata voda iz krških izvora ili pak crpljenjem voda iz samih krških vodonosnika.



Slika 1.: Geološka karta Hrvatske - krška područja u Hrvatskoj (Institut za geološka istraživanja, 1995)

U odnosu na druge porozne medije krški su vodonosnici nepredvidljivi, ali i najugroženiji pri pojavama onečišćenja. Hidrogeološke značajke krških vodonosnika uvjetuju vrlo brzu cirkulaciju podzemnih voda, te stoga i najkraće zadržavanje vode u podzemlju, odnosno nisku sposobnost samopročišćavanja. Slaboj moći samopročišćavanja voda u krškom podzemlju pogoduje i niska temperatura, a također i odsutnost procesa fotosinteze i s njom povezane razgradnja organskih onečišćenja. Udarna onečišćenja posebno su naglašena pri pojavama značajnijih intenzivnih kratkotrajnih oborina, koje su i najizraženije upravo na krškom priobalnom području i njegovom neposrednom zaleđu. Uz to, uzroci onečišćenja podzemnih voda mogu biti i dugotrajni negativni utjecaji točkastih onečišćivača (komunalni

sustavi, pojedini proizvodni pogoni, akcidentna onečišćenja, te onečišćenja vezana uz nekontrolirani razvitak poljoprivredne proizvodnje).

Pri određivanju površina pogodnih za navodnjavanje svakako treba voditi računa i o zonama sanitarne zaštite. Naime, razvoj intenzivne poljoprivredne proizvodnje na nekom području smatra se jednim od najvećih raspršenih izvora onečišćenja vode i može utjecati na promjenu vodnog režima tla, te na transport potencijalno štetnih tvari do podzemne i površinskih voda. Ipak, pravilnim izborom lokacije sustava za navodnjavanje, njegovim gospodarenjem i odgovarajućim tehnologijama uzgoja, onečišćenja voda mogu se reducirati na tolerantnu razinu.

Prema Pravilniku o utvrđivanju zona sanitarne zaštite izvorišta (NN 55/02) za svako izvorište koje se koristi ili će se koristiti za vodoopskrbu treba odrediti zaštitne zone. Tim se Pravilnikom propisuju: uvjeti i način utvrđivanja područja sanitarne zaštite izvorišta i drugih ležišta voda (podzemne vode, rijeke, jezera, akumulacije) koja se koriste ili su rezervirana za javnu vodoopskrbu; mjere za zaštitu izvorišta od zagađenja ili drugih utjecaja koji mogu nepovoljno djelovati na njihovu izdašnost, kakvoću i zdravstvenu ispravnost; smjernice za utvrđivanje posebne naknade za potrebna povećana ulaganja u javni vodoopskrbni sustav i sustav javne odvodnje otpadnih voda na području zona te postupak za donošenje odluke o zaštiti izvorišta.

Dakle, jedna od osnovnih mjera zaštite krških izvora i vodonosnika je utvrđivanje zona sanitarne zaštite te provođenje zaštitnih mjera na tim područjima. Na taj bi se način trebala osigurati veća ujednačenost kriterija i zaštita postojećih vodnih resursa u kršu, i to kako od posljedica normalnih aktivnosti na utjecajnim slivnim površinama krških izvorišta, tako i od akcidentnih onečišćenja.

Na području hrvatskog krša do sada zabilježeni slučajevi onečišćenja uglavnom su bili vezani uz akcidente s energentima. Jednom u podzemne vode dospjela onečišćenja imaju složeni mehanizam istjecanja, te se mogu prenositi i na veće daljine nego li to akceptiraju zaštitne zone definirane na osnovi kriterija vremena zadržavanja vode u podzemlju, te prilikom svog širenja ne poznaju državne granice. Stoga i strategija zaštite kakvoće podzemnih voda u kršu mora biti temeljena na kompleksnim hidrogeološkim i drugim sagledavanjima, te obuhvaćati i mjere minimalizacije pojava ekoloških akcidenata i njihovih štetnih posljedica, pogotovo na područjima posebno osjetljivih vodonosnika.

U Hrvatskoj primijenjeno je nekoliko različitih pristupa u određivanju zona sanitarne zaštite izvorišta za vodoopskrbu, a dosadašnja iskustva istraživača omogućuju organiziraniji pristup toj problematici. Osobito se to odnosi na širi prostor grada Rijeke, gdje su napravljeni i pionirski koraci na području Hrvatske pri definiranju i uspostavi zona sanitarne zaštite izvoriš-

ta vode za piće. Uložena su znatna sredstva za istraživanja i zahvate novih količina podzemne vode, ali i njihovu zaštitu. Na tom je području pored 4 osnovna stupnja zaštite uključen i tzv. "vodoopskrbni rezervat", a kao kriterij za određivanje zona zaštite uzima se vrijeme toka vode do objekta, kao i prividne brzine tečenja podzemne vode.

S obzirom na dosadašnju relativno slabu zastupljenost poljoprivrednih površina u ukupnim površinama, vodni resursi na području PG Županije nisu do sada bili značajnije ugroženi takvim antropogenim utjecajima, a i prilikom planiranja razvoja navodnjavanja u okviru županijskog plana navodnjavanja (Građevinski fakultet Rijeka, 2006) vodilo se računa da se takav razvoj orijentira na prostorima izvan zona sanitarne zaštite izvorišta pitke vode. Obzirom na planirani razvoj navodnjavanja u Hrvatskoj (NAP-NAV 2006), kao i okolnost pojedine županije imaju puno veće površine produktivnih poljoprivrednih tala upravo na područjima unutar već proglašениh ili potencijalnih zaštitnih zona izvorišta pitke vode, za očekivati je sve veći konflikt između razvoja poljoprivrede i zaštite vodnih resursa. U tom smislu namjera ovoga rada je da ukaže na pristupe provedbi primjerenih mjera zaštite vodnih resursa na područja koja se nalaze unutar njihovih zona sanitarne zaštite.

2. POSEBNOSTI CIRKULACIJE VODE U KRŠU

Priobalni krš Hrvatske osobito je bogat različitim krškim oblicima, ali i vodnim fenomenima. Neki od njih, kao što su stalni krški izvori ili obilni vodonosnici čiste vode, imaju neprocjenjivu i nenadoknadivu ekološku, ekonomsku i socijalnu vrijednost. Krš predstavlja područje sastavljeno od posebnoga površinskog i podzemnog reljefa i površinsko-podzemne hidrografske mreže koja je nastala kao rezultat cirkulacije vode te njenoga agresivnoga kemijskog i fizičkog djelovanja na prsline, pukotine i šupljine u slojevima topivih stijena kao što su vapnenac, dolomit, kreda, gips i sol. Kršu su svojstvene topive stijene smještene na površini terena ili u blizini same površine. Procesokršavanja rezultat je fizičkog i kemijskog djelovanja i vode na otapanje i odnošenje otopljenih tvari iz stijenskog masiva (Bonacci, 2004b).

Okršavanje ili karstifikacija je kontinuiran i nezaustavljiv proces uzrokovan prirodnim, ali sve više i sve intenzivnije i antropogenim utjecajima. Promjene koje u krškim prostorima uzrokuje čovjek svojim djelovanjem mogu biti brze i opasne za okoliš jer su krška područja karakterizirana izuzetnom osjetljivošću vodnih pojava i vodonosnika na rizike promjena kakvoće vode. Cirkulacija vode može pri tome odigrati ključnu ulogu. Kretanje vode kroz krš znatno se razlikuje od njenoga kretanja kroz druge homogenije vrste terena. Prvenstveni razlozi su u postojanju brze infiltracije

koja često sprječava formiranje tečenja po terenu i time utječe na rijetku pojavu stalnih pa i povremenih otvorenih vodotoka.

Krški vodonosnici znatno se razlikuju od vodonosnika formiranih u drugim homogenijim (poroznim i zrnčanim) materijalima. Krški je vodonosnik, općenito gledano, kontinuiran. Međutim, brojni nepoznati podzemni krški oblici koji su podložni čestim i naglim promjenama (otvaranjima i zatvaranjima, širenjima i sužavanjima) snažno utječu na procese kontinuiteta kretanja i skladištenja podzemne vode u raznim hidrološkim uvjetima. Stoga krški vodonosnik često i povremeno ne funkcionira kao jednostavan kontinuirani prostor. Sami procesi tečenja vode u kršu jednostavni su i pokoravaju se općepoznatim i relativno jednostavnim principima hidraulike. Međutim, nepoznata struktura i promjenjive dimenzije mreže krških pukotina, prslina; kaverni, kanala, špilja i jama te njihovo isprepletanje blokovima stijena nepropusnim za vodu otežavaju, najčešće u cijelosti i onemogućavaju, pouzdano određivanje podzemnih putova vode kao i svojstava krških vodonosnika. Gotovo da se može reći da u kršu nikakva iznenađenja u smislu komuniciranja voda nisu nemoguća.

To bitno otežava donošenje pouzdanih odluka vezano s određivanjem vododijelnica u kršu te zahtijeva veće i skuplje istražne radove. Najgore od svega je da ni tako skupi i dugotrajni radovi ne jamče sigurno određivanje svih mogućih veza. Dodatne probleme mogu stvoriti antropogeni utjecaji koji mogu uzrokovati trenutačnu promjenu odnosa cirkulacije vode u kršu, a time i promjenu položaja vododijelnica i izmjenu slijevni površina. Poznato je i da potresi, dakle prirodne katastrofe, mogu uzrokovati nagle promjene u procesima cirkulacije vode u krškim regijama (Bonacci, 2004d).

Stoga, jedan je od najsloženijih (i s praktičnog a i s teorijskog stajališta) problema pouzdano određivanje vododijelnica u kršu. Znanja o točnom položaju vododijelnica potrebna su radi sprečavanja mogućih putova zagađene vode s površine sliva u podzemne vode ili vode krških izvora. Razlike između topografskog slijeva i stvarnog hidrološko-hidrogeološkog slijeva u kršu u najvećem broju slučajeva su tako znatne da su topografski određene vododijelnice i slijevovi neupotrebljivi, čak i opasni za korištenje u praksi. Osnovni razlozi koji uzrokuju velike i teško premostive probleme pri određivanju vododijelnica i površina slijevova u kršu (Bonacci 2004c), a time mogu stvoriti i probleme pri intenzivnom razvoju navodnjavanja na nekom području su:

- heterogeni i anizotropni površinski i podzemni krški oblici;
- postojanje vrlo razvijenih, dubokih i nepoznatih podzemnih mreža krških prslina, pukotina i kanala;
- snažno povezana i uzajamno uvjetovana cirkulacija površinskih i podzemnih voda;
- velike i brze oscilacije razina podzemnih voda u kršu što u našim uvjeti-

ma nerijetko premašuje iznos od 100 m;

- izravna i brza povezanost između poniranja i izviranja vode;
- maksimalni kapacitet skladištenja vode u kršu i brz transport vode kroz krške provodnike;
- ograničeni maksimalni izlazni kapacitet većine krških izvora
- prirodni endogeni i egzogeni procesi;
- antropogene djelatnosti.

Važno je imati na umu da se vododijelnice među slivovima, a time i površine slivova, često mijenjaju u ovisnosti o stanju vodnosti, prvenstveno o razinama podzemnih voda. Kako voda u podzemlje uglavnom prodire koncentrirano kroz krške pukotine i prsline, ubrzan je i proces otapanja i odnošenja materijala. Poslije intenzivnih oborina dolazi do brze infiltracije vode i naglog podizanja razine vode u krškim kavernama. Većina prostranih špilja ispunjena je taložinama koje mogu biti iznesene iz tih prostora ako dođe do drastične i nagle promjene procesa otjecanja u analiziranom prostoru.

Uloga pokrovnog sloja tla u kršu, posebno na području Hrvatske, s hidrološkog stajališta i sa stajališta zaštite podzemnih voda od zagađenja ima određenu pozitivnu, ali ograničenu ulogu. Njegovo postojanje, bez obzira na njegovu dubinu, koja u nas rijetko prelazi 50 cm, nema snagu da znatno promijeni ne svojstva cirkulacije i skladištenja za vode u kršu. Zapaženo je da pokrovni sloj nekonsolidiranog tla s pripadnom vegetacijom pospješuje procese kemijskog otapanja krškog medija. Rezultat toga su veća brojnost, raznolikost i složenost podzemnih krških oblika na pokrivenom kršu u odnosu na goli krš.

O položaju onečišćivača u odnosu na hidrografske tokove u kršu ovisi dinamika unosa onečišćenja u podzemni vodonosnik. Ukoliko se onečišćenja unose u formirane površinske vodotoke s utokom u ponorskim zonama, onečišćenje u vrlo kratkom vremenu dopijeva u dinamički najaktivniji dio podzemnog krškog vodonosnika. Za brz prijenos zagađenja s površine do krškog vodonosnika ili izvora znatno veću opasnost predstavlja brzo, turbulentno tečenje vode iako se ni moguća uloga u transportu zagađenja sporoga laminarnog tečenja ne smije zanemariti. Ako nije razvijena hidrografska mreža podzemnih vodnih tokova, infiltracija onečišćenja u vodonosnik znatno je sporija. Postoji i mogućnost da onečišćenja zbog geološke građe i ne dospiju do samog vodonosnika, već ostanu zarobljena u nekim relativno izoliranim prirodnim "džepovima", te nakon dužeg vremenskog razdoblja u određenim uvjetima, ipak dijelom uđu u aktivni dio vodonosnika (uglavnom sporim filtracijskim kretanjima), te tako predstavljaju potencijalna opasnost po onečišćenje čak i za naredne generacije.

3. ODREĐIVANJE ZONA SANITARNE ZAŠTITE U KRŠU

3.1. Pravilnik o određivanju zona sanitarne zaštite

Kako bi se postigla ujednačena razina zaštite, zone sanitarne zaštite izvorišta pitke vode određuju se na osnovu definiranih pravilnika. Tijekom 2002. godine usvojen je novi Pravilnik o utvrđivanju zona sanitarne zaštite izvorišta (NN br. 55/02). Tim se Pravilnikom propisuju: uvjeti i način utvrđivanja područja sanitarne zaštite izvorišta i drugih ležišta voda (podzemne vode, rijeke, jezera, akumulacije) koja se koriste ili su rezervirana za javnu vodoopskrbu; mjere za zaštitu izvorišta od zagađenja ili drugih utjecaja koji mogu nepovoljno djelovati na njihovu izdašnost, kakvoću i zdravstvenu ispravnost; smjernice za utvrđivanje posebne naknade za potrebna povećana ulaganja u javni vodoopskrbni sustav i sustav javne odvodnje otpadnih voda na području zona te postupak za donošenje odluke o zaštiti izvorišta. Cilj odredbi Pravilnika je dakle da se izvorišta koja se koriste ili su rezervirana za javnu vodoopskrbu zaštite od onečišćenja i namjernog ili slučajnog zagađenja, te od drugih utjecaja koji mogu nepovoljno djelovati na zdravstvenu ispravnost voda ili njihovu izdašnost. Jedna od odredbi Pravilnika je da se pojedine zaštitne zone definiraju na temelju hidrogeoloških i hidroloških značajki zahvaćenog vodonosnika. To podrazumijeva uvažavanje tipa vodonosnika s obzirom na debljinu i propusnost pokrovnih naslaga, način i veličinu napajanja vodonosnika, brzinu toka podzemne vode prema crpilištu te purifikacijski kapacitet pokrovnih naslaga i vodonosnika, odnosno Pravilnik posebno razmatra aluvijalne vodonosnike s međuzrnskom poroznosti i krške vodonosnike.

Istraživanja u cilju zaštite provode se u dvije faze, pri čemu prva faza obuhvaća reinterpetaciju i analizu rezultata dosadašnjih istraživanja, te ukoliko je potrebno prijedlog potrebnih daljnjih radova. U drugoj fazi istraživanja provode se potrebni daljnji vodoistražni radovi, na temelju kojih se izrađuje konačan prijedlog zaštitnih zona izvorišta. Prema Zakonu o vodama (NN br. 107/95 i 150/05), vodoistražnim radovima, smatraju se radovi i ispitivanja radi utvrđivanja postojanja, rasprostiranja, količine, kakvoće i pokretljivosti podzemnih voda na određenom prostoru. Sastavni dio određivanja zaštitnih zona čini i izrada katastra onečišćivača, analiza kakvoće vode glede prirodnog i antropogenog utjecaja, te tehnički opis vodozahvatnog objekta i prijedlog režima rada izvorišta. Poseban značaj predstavlja prikaz podataka u GIS-u, koji omogućava optimalno upravljanje sustavom i prostorom. Uz pasivnu zaštitu provodi se i aktivna zaštita izvorišta unutar definiranih granica zona. Pasivnu zaštitu izvorišta čine mjere zabrane građenja i smještaja pojedinih građevina i obavljanja određenih djelatnosti unutar utvrđene zone. Aktivnu zaštitu izvorišta čini redovito praćenje količine i kakvoće vode na priljevnom području izvorišta i poduzimanje mjera za njeno poboljšanje.

Za krške vodonosnike određuju se četiri zaštitne zone:

- I. zona - zona strogog režima zaštite
- II. zona - zona strogog ograničenja
- III. zona - zona ograničenja i kontrole
- IV. zona - zona ograničene zaštite

Zbog specifičnosti krškog područja kod određivanja vodozaštitnih područja primjenjuje se nekoliko kriterija - vrijeme, brzina i količina napajanja odnosno izvorišta (tablica 1). Zbog velikih brzina podzemnih tokova i kratkog vremena zadržavanja vode u podzemlju, nemoguće je osigurati kriterij koji će predstavljati, kao u vodonosnicima s međuzrnskom poroznosti, klasičnu zaštitu od zagađenja, nego navedeni kriteriji imaju za cilj stupnjevanje prostora po zonama koje imaju ulogu procjene vremena potrebnog za intervenciju na crpilištu u slučaju iznenadnog zagađenja u slivu, odnosno količina napajanja izvora postaje mjerodavni čimbenik u posljedicama zagađenja/onečišćenja. Ovdje treba posebice naglasiti da bi za idealnu zaštitu krških izvorišta bilo potrebno maksimalno zaštititi cjelokupne slivove izvorišta. Međutim, tada bi krško područje Hrvatske bilo pretvoreno u zaštitni prostor izvorišta, što bi praktički onemogućilo gospodarski i gotovo svaki drugi razvitak tog prostora.

Tablica 1. Kriteriji za određivanje vodozaštitnih područja izvorišta vodoopskrbe u kršu (prema NN br. 55/02)

	ZAŠTITNE ZONE	TOK PODZEMNE VODE PREMA OBJEKTIMA CRPILIŠTA	PRIVIDNA BRZINA PODZEMNE VODE (cm/s)	KOLIČINA NAPAJANJA IZVORA
ZONA STROGOG REŽIMA ZAŠTITE	IA	NEPOSREDNO PODRUČJE CRPILIŠTA	MORA BITI OZNAČENO	MORA BITI OZNAČENO
	IB	NEPOSREDNI POVRŠINSKI SLIV		
ZONA STROGIH OGRANIČENJA	II	24 SATA	ZONA ISTJECANJA SLIVA > 3 cm/s	UNUTARNJI DIO KLASIČNOG PRILJEVNOG PODRUČJA – 50% Napajanja prema h-g strukturama i statističkoj analizi
ZONA OGRANIČENJA I KONTROLE	III	1 – 10 DANA	1 – 3 cm/s Pretpostavljena retencijska zona	PRETEŽITI DIO PRILJEVNOG PODRUČJA
ZONA OGRANIČENE ZAŠTITE	IV	10 – 50 DANA	< 1 cm/s	UKUPNO PRILJEVNO PODRUČJE – neovisno o dijelu napajanja koje sudjeluje u obnavljanju voda izvorišta

Određivati zone unutar sliva je svakako neophodno budući da zbog ranije navedenih značajki krškog područja nije jednako opasno unutar cijeloga sliva. Daleko su opasniji glavni drenažni smjerovi prema krškim izvorima i

ponorne zone u slivu izravno povezane s vodoopskrbnim izvorima. U takovim uvjetima, jedini mogući pristup zaštiti izvorišta u kršu je upravo određivanje hidrogeološki različito aktivnih dijelova krških slivova, te njihova stupnjevita zaštita.

Unutar određenih zaštitnih zona utvrđuju se Pravilnikom propisane zaštitne mjere, ali se one moraju prilagoditi razvojnim planovima grada, općine i županije. Zbog procjene mogućih posljedica zagađenja kao i sanacije zagađenja kod zaštite izvorišta pozornost se daje i na razlike između točkastih i difuznih izvora onečišćenja. Oba vida izvora onečišćenja djeluju različito u podzemnoj vodi točkasti je ograničenih dimenzija i nizvodno uzrokuje perjanicu zagađene vode, a detekcija tih perjanica i kontrola povezanih opasnosti je prilično teška, dok se s difuznim izvorima onečišćenje događa više ili manje homogeno preko cijelog područja. Mjere zaštite sadržavaju i liste prioriteta sanacijskih zahvata u određenim zonama. Sanacijski zahvati od izuzetnog su značaja za očuvanje ili čak poboljšanje kakvoće vode na crpilištima. To su u prvom redu projekti nepropusne kanalizacije, izgradnja nepropusnih (dvostruke stjenke) tankova za opasne sadržaje, te regulacija prometa kojima se smanjuje mogućnost incidentnih situacija itd.

Premda je kakvoća podzemne vode oduvijek zauzimala veliki značaj, ta je problematika posebno aktualizirana posljednjih godina kada je u Europi na snagu stupio dokument Okvirne smjernice o vodama Europske unije (WFD2000/60/EC) (Vlahović, 2003). Te su smjernice i za Hrvatsku, kao jednu od budućih članica EU, također obvezujuće s obzirom da je ta obveza ratificiranjem Sporazuma o stabilizaciji i pridruživanju EU. Prema Smjernicama važno mjesto zauzima definiranje kvantitativnog i kvalitativnog stanja voda, koji se temelji na uspostavi odgovarajućeg praćenja razina i pokazatelja kakvoće podzemne vode. Kao glavni pokazatelji stanja kakvoće podzemne vode u Smjernicama su otopljeni kisik, pH, elektrolitička vodljivost, nitrati i amonijak (Annex V), a u prijedlogu za uspostavljanje strategije o sprečavanju i kontroli onečišćenja podzemne vode u okviru Direktiva (Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council establishing strategies to prevent and control pollution of groundwater Draft 1.0 od 20.02.2003. - Annex I) navode se još: aluminij, arsen, kadmij, kloridi, krom, bakar, živa, nikal, kalij, natrij, sulfati, cink i ukupno otopljeni ugljik.

Stoga, novi aspekt zaštite podzemne vode, uz pasivne mjere uključuje i praćenje stanja podzemnih voda na priljevnim područjima izvorišta. Na opažaćim mjestima u primjerenim prostornim i vremenskim razmacima treba će se ispitivati fizikaini, kemijski i mikrobiološki pokazatelji, te mjeriti razine podzemne vode u priljevnom području. Na taj način, uz redovitu obradu podataka, praćenje stanja obzirom na zaštitu krških vodonosnika,

moći će se intervenirati u slučaju narušavanja dobrog kvalitativnog i kvantitativnog statusa voda (Vlahović i dr., 2003). U aktivan pristup svakako spada redovito izvješćivanje putem informacijskih medija te svi vidovi edukacija.

Ovako određena vodozaštitna područja omogućuju daleko veći stupanj fleksibilnosti u odnosu na korištenje prostora, a kroz aktivni pristup osiguravaju i veću učinkovitost zaštitnih mjera. Učinkovitost zaštitnih mjera je vrlo bitan segment zaštite izvorišta, budući da čitav niz primjera pokazuje da i u slučajevima kada su zaštitne zone bile pravovremeno propisane, one nisu ispunile svoju osnovnu funkciju, odnosno došlo je do degradacije kakvoće podzemne vode!

3.2. Istraživanja u kršu vezana uz određivanje zona sanitarne zaštite

Prve pisane podatke o našim krajevima, pa tako i krškom području, nalazimo u antičkih pisaca (grčkih, rimskih, egipatskih i dr.) koji su uglavnom u obliku putopisa bilježili zanimljive pojedinosti, bez dubljeg ulaženja u njihovo objašnjavanje. Možemo spomenuti Herodota, Strabona, Plinija Starijeg i Ptolomeja. No, zanimljivosti a ponekad i bizarnosti krajo- lika i dostupnog podzemlja trajno su poticali na razmišljanja koja su dovela do predodžbi o kršu kao specifičnom prostoru s obzirom na oblike koji ga rese i vodu na kojoj oskudijeva.

U vrijeme ekspanzije prirodnih znanosti krš je služio je najprije stranim a zatim i domaćim istraživačima kao prototip jednog novog geomorfološkog i hidrogeološkog fenomena koji je postupno i veoma teško otkrivao tajne svoje geneze i suvremenih odnosa, a da ih u potpunosti ne ota ni do danas.

Genetska i prostorna veza među krškim pojavama s vremenom je uvjetovala kompleksan pristup njihovom rješavanju, uz istovremeno širenje problematike. Nastavno je dana kratka kronologija toga procesa na temelju prikupljene i objavljene literature (Herak, Magaš, Sarić, 1973), uključujući i neke radove stranih autora koji su istraživali fenomen našega krša.

J.W.Valvasor je 1689., iako još pod dojmom mističnih interpretacija podzemnog svijeta, jasno spoznao ulogu vode u formiranju krških fenomena. Idući korak učinili su Th. Gruber (1781) i B. Hacquet (1778-1789) inicirajući raspravu o ulozi urušavanja i površinskog trošenja u postanku zatvorenih depresija na krškoj površini. Tijekom 19. stoljeća povećava se znanstveni interes za krš, pa J. Wessely piše 1876. opću studiju o kršu, sa specijalnim naglaskom na šumarske probleme. Potrebe za vodom pobuđuju posebno zanimanje za izvore, podzemne veze i mogućnost poboljšanja opskrbe vodom. Druga polovica 19. stoljeća karakterizirana je pojačanim interesom geologa za krške probleme (Stache, 1864; Tietze, 1874; Pilar, 1874, i dr.). Završetak pojedinačnih nastojanja da se definira krš predstavlja

Cvijičeво djelo "Das Karstphanomen" (1893). Početak 20. stoljeća obilježen je primjenom cikličke teorije na razvoj i nestajanje krških formi (Cvijić, 1901. i dr.; Grund, 1903, itd.). Katzer 1909. pruža prvi značajniji otpor primjeni cikličke teorije na krš. Do porasta kritičizma dolazi između 1932. i 1956.

Nakon 1997. potiče se suradnja stručnjaka različitih usmjerenja, pa dolazi do napretka u speleologiji, hidrogeologiji i metodologiji.

U novije vrijeme došlo se do mnogih metodskih inovacija zahvaljujući povećanim ulaganjima u istraživanja krša. Teorijske i ponekad dosta nerealne interpretacije krša ustupaju mjesto geološkom pristupu što u priličnoj mjeri omogućuje provjeru prijašnjih geomorfoloških, hidroloških i hidrogeoloških koncepcija.

Zbog toga što su mnogi znanstvenici upravo na ovom području proučavali i opisivali krške pojave, mnogi međunarodno prihvaćeni izrazi izvedeni su upravo iz hrvatskog jezika (dolina, polje, vrulja i dr.). Novija istraživanja zaštite voda diljem našega krškoga područja pokrenuta su prije više od tridesetak godina, iako je sam problem zaštite uočen već kod prvih zahvata krških izvora za potrebe javne vodoopskrbe. Izrada prvog "Pravilnika o određivanju zona sanitarne zaštite" potaknula je od druge polovice 80-tih godina široku aktivnost na određivanju vodozaštitnih područja brojnih izvorišta. Za zaštitu krških vodonosnika ponuđena su raznolika tješenja, jer u pravilniku nisu postavljeni zajednički kriteriji za krška izvorišta. Raznolikost u određivanju vodozaštitnih područja ne bi trebala predstavljati problem kada bi se predviđenim rješenjem ostvarila učinkovitost i transparentnost mjera zaštite u okviru gospodarenja vodnim zalihama.

U Hrvatskoj je prema (Urumović i Vlahović, 1998) primijenjeno nekoliko različitih pristupa u rješavanju vodozaštitnih područja. Neki od njih su i objavljeni, no većina je ostala u obliku izvješća. Tako Magdalenić i dr. (1988, 1992, 1993) postupak određivanja zaštitnih zona zasnivaju na usporedbi hidroloških analiza i interpretiranih hidrogeoloških struktura, pretpostavljajući pri tome kompaktna slivna područja. Težište posvećuju upravo definiranju gravitirajućeg slivnog područja s kojeg se izvor napaja vodom, te ga ujedno tretiraju kao područje zaštite unutar kojeg izdvajaju tri zone s različitim režimima zaštite. Razlike u stupnju zaštite za pojedine zone su relativno male, a te razlike su manje na slivnim područjima manjih površina i izrazitijih krških karakteristika.

Prvu zaštitnu zonu izvora sačinjava samo izvorište i objekti neophodni za preradu vode, a udaljena je minimalno 50 m od vodozahvatnog objekta. Kod određivanja druge zaštitne zone uvažavaju se razni čimbenici: geološke, hidrogeološke, strukturne i hidrološke značajke izvorišnog prostora, stanje erozijskih procesa i vegetacijskog pokrivača, te naseljenost, stupanj izgrađenosti i oblici aktivnosti stanovništva, pri tome najvažniji kriterij

je brzina kretanja podzemnih voda, pravac pružanja struktura, ocjena stupnja opasnosti od zagađivanja i način korištenja zemljišta (Vazdar i dr., 1994). Treća zaštitna zona obuhvaća područje od ruba druge zone pa do pretpostavljene granice sliva. Pri tome se pod slivnim područjem ustvrđuje površina koja je usklađena prema geološkim odnosima i hidrološkoj bilanci (Bonacci i Magdalenić, 1993). Ponori koji se nalaze unutar druge i treće zone se ograđuju i pripadaju prvoj zaštitnoj zoni.

Fritz i Ramnjak (1992) daju prijedlog granica sanitarne zaštite izvorišta temeljen na zaštitnom području izvora Jadro kod Splita, a Fritz ga (1993) dopunjuje, te daje hidrogeološki pristup zoniranju zaštitnih područja izvorišta voda u kršu Hrvatske. On predlaže 5 zona sanitarne zaštite, te kriterije i hidrogeološke istražne radove potrebne za uspostavljanje predloženih zona. Jedan od osnovnih kriterija određivanja zona je brzina tečenja podzemnih voda u razdoblju velikih voda.

Prva zona je područje izvorišta koje mora biti ograđeno najmanje 50 m od mjesta zahvata vode u smjeru dotoka vode. druga zona obuhvaća područje retardiranih podzemnih voda iz kojih se u kišnom razdoblju napaja izvorište u vremenu kraćem od 8 do 10 sati do vanjske granice prve zone. U tu zonu spada i teren oko aktivnih ponora (u krugu od najmanje 20 m), kao i teren kojega podzemne vode povremeno inundiraju ili je dubina do podzemne vode mala (desetak metara). Treća zona je područje s privilegiranim tokovima podzemnih voda i njihovim ograncima s prividnim brzinama tečenja većim od 1 cm/s, a doseže do svih povremeno aktivnih ponora u slijevu. Četvrta zona, koja je podijeljena na IVA i IVB obuhvaća teren bez izraženih privilegiranih tokova podzemnih voda u kojem su prividne brzine kretanja podzemnih voda u kišnom razdoblju do 1 cm/s, izuzev kraćih poteza, vrijeme tečenja vode do izvorišta unutar IV A. zone je do 50 dana, a u IVB. zoni, kojoj pripadaju slabo okršeni tereni, iznosi preko 50 dana.

Uz podjelu zaštitnih područja na 5 zona Fritz je uveo i pojam mikrozoniranja. Uvođenjem mikrozoniranja područja sanitarne zaštite smatra da se omogućuje ublažavanje od najstrožih zabrana najvećeg dijela zaštitnog područja kao i rješavanje i najtežih pitanja vezanih uz krške terene. Ovdje se posebna pozornost daje ocjeni stupnja ugroženosti izvorišta od pojedinih zagađivača i pitanja u svezi s prostornim planiranjem.

Biondić i Dukarić (1993) i Biondić (1996) iznose prijedlog uspostavljanja zaštitnih zona razvijen na primjeru zaštite izvorišta u Rijeci. Njihov prijedlog uz 4 osnovna stupnja zaštite uključuje i tzv. "vodoprivredni rezervat". I ovdje kriterij za određivanje zona zaštite je vrijeme toka vode do objekta, kao i prividne brzine tečenja podzemne vode. Prva zona dijeli se na IA i IB zonu i to su zone strogog režima. IA zona je ograđena i obuhvaća manipulativni prostor oko crpilišta, dok IB zona obuhvaća neposredno površinsko slivno područje izvora s kojeg je moguće površinsko ulijevanje nečistoća u

izvorište i ponore s direktnim utjecajem na izvorište vode. Druga zona je područje strogog ograničenja, a obuhvaća dio priljevnog područja u kojemu su utvrđene prividne brzine podzemnih tokova veće od 3 cm/s, a moguć je dotok podzemne vode prema izvorima u uvjetima visokih voda unutar 24 sata. Treća zona je zona ograničenja i obuhvaća područje neposrednih dubokih podzemnih retencija, iz kojih su utvrđene prividne brzine podzemnih tokova prema izvorima pitke vode od 1 do 3 cm/s, a moguć je dotok vode u uvjetima visokih voda između 1 i 10 dana. Četvrta zona je zona šire zaštite i obuhvaća preostale dijelove slivnih područja izvorišta, ukoliko ne ulaze u prostore rezervata zaštite voda, a iz kojih su utvrđene ili pretpostavljene prividne brzine podzemnih tokova prema izvorištima do 1 cm/s, a moguć dotok vode u uvjetima visokih voda između 10 i 50 dana. Status rezervata zaštite voda daje se planinskom području pretpostavljajući da su to područja napajanja i zadržavanja podzemne vode u dubokom krškom podzemlju, te da ona reguliraju istjecanje na izvorima.

Kod određivanja vodozaštitnih područja izvorišta vodoopskrbe u kršu (prema Vlahović 2003.) prvi i osnovni zadatak je definiranje prirodnog drenažnog sustava, njegove geometrije i dinamičkog funkcioniranja. Pri tome se koriste različite hidrogeološke metode, te hidrološke analize, koje najčešće obuhvaćaju analizu izdašnosti izvora kao funkciju površine sliva, visine oborina i isparavanja.

Kako su krški tereni vrlo heterogeni, za određivanje vodozaštitnih područja izvorišta nemoguće je propisati metode istraživanja, jer one uglavnom ovise o parametrima prirodnog sustava. Ipak, za učinkovito određivanje zaštitnih zona istraživanja bi trebala obuhvaćati:

- izradu hidrogeoloških podloga;
- geofizička ispitivanja;
- određivanje hidrodinamičkih parametara;
- praćenje razina podzemne vode;
- ispitivanje kakvoće voda;
- hidrogeokemijska istraživanja;
- trasiranje tokova podzemne vode;
- izradu bilance voda, te
- izradu katastra potencijalnih onečišćivača.

Hidrogeološka podloga ovisi o sadržaju istraživanja koje diktira mjerilo topografske podloge. Tako, u I. fazi istraživanja, a to znači uglavnom analiza poznatih podataka uz dodatna istraživanja regionalnih značajki, hidrogeološka podloga sadrži: ocjenu stupnja razvoja površinskih i podzemnih krških oblika, vodne pojave (izvori, vrulje, estavele, zdenci, ponori, vodeni tokovi i dr.), kategorizaciju izvora, istražne i piezometarske bušotine, postaje hidrometeoroloških mjerenja, postaje hidroloških mjerenja, raspored

drenažnog sustava, raspored pukotina i rasjeda, raspored hidrogeoloških jedinica, ocjenu položaja hidrauličkih diskontinuiteta i dr. U II. fazi istraživanja izrađuju se detaljne hidrogeološke karte koje moraju sadržavati: litostratigrafsku analizu stijena, strukturno-tektonsku obradu temeljem analize satelitskih i avionskih snimaka u kombinaciji s terenskim istraživanjima (obradu pukotinskih sustava), odredbu i procjenu hidrogeoloških obilježja stijena, analizu i raspored naslaga kvartarne starosti u funkciji utvrđivanja geoloških zbivanja značajnih za procese okršavanja i formiranje drenažnih sustava, sve vodne i morfološke pojave, te pokrovne naslage, koje smanjuju ili sprječavaju infiltraciju s površine terena.

Kartiranju pokrovnih naslaga, i to bilo vodonepropusnih bilo slabo propusnih naslaga, treba posvetiti posebnu pažnju u područjima pokrivenog krša, kao što je primjerice Istra, budući da one mogu znatno smanjiti mogućnost prodora onečišćenja u duboko krško podzemlje.

Geofizička ispitivanja (geoelektrične i seizmičke metode) primjenjuju se za definiranje prostorne heterogenosti i glavnih drenažnih smjerova, a značajno mjesto zauzimaju i pri definiranju debljine pokrovnih klastičnih naslaga. Određivanje hidrodinamičkih parametara i ponašanje sustava toka uključuje analizu hidroloških mjerenja na izvorima, trasiranja podzemnih tokova i djelomice i hidrogeokemijska istraživanja. Hidrološka analiza istjecanja treba biti temeljena na što dužem nizu mjerenih opažanja. Hidrološka mjerenja i analiza organizirane mreže hidroloških mjerenja obvezni su sadržaj I. faze istraživanja, jer to su ulazne vrijednosti za izradu bilance voda prirodnih vodnih sustava. U sklopu ispitivanja pokrovnih naslaga vrlo su značajna i istraživanja prihvatnog kapaciteta pokrova, ali i cijele nezasićene zone.

U sklopu istraživanja za definiranje zona zaštite potrebno je uspostaviti opažачku mrežu (mrežu piezometarskih bušotina) za mjerenje razina podzemne vode i promjene temperature vode po dubini vodonosnika. Pri tome, uz korištenje postojećih bušotina, prema potrebi treba izvesti i nove, jer direktna mjerenja daju egzaktne pokazatelje položaja glavnih drenažnih usmjerenja prema crpilištu pitke vode. Bušotine moraju imati dovoljnu dubinu za mjerenje hidrogeoloških parametara po dubini, a poglavito u zoni priobalnih vodonosnika s mogućim utjecajem mora.

Ispitivanje kakvoće vode izvorišta u krškim područjima (stanje u slivu) potrebno je provoditi u cilju ocjene stanja izvorišta pitke vode.

Hidrogeokemijska istraživanja podzemnih voda u kršu omogućuju određivanje porijekla podzemnih voda pojedinih vodonosnih sustava, ocjenu dinamike i uvjeta obnavljanja zaliha podzemnih voda, određivanje hidrodinamičkih uvjeta koji vladaju u pojedinim vodonosnicima i mehanizma koji upravlja regionalnim varijacijama u kemijskom i izotopnom sastavu voda (Boulding, 1995; Appelo & Postma, 1994).

Poznavanje hidrogeokemijskog facijesa u hidrogeološkoj praksi služi za određivanje odnosa između različitih vodonosnika što u konačnici omogućava precizniju odredbu slivnih područja, što je potrebno za određivanje zaštitnih zona izvorišta. Istovremeno geokemijska svojstva vodonosnika koriste se kao podloga za procjenu ponašanja različitih tipova onečišćivača. Praćenjem fizikalnih, fizikalno-kemijskih i kemijskih pokazatelja u podzemnim vodama u različitim hidrološkim i sezonskim uvjetima, mogu se prepoznati uvjeti nastanka kemijskog sastava podzemnih voda i reakcije koje na to utječu u različitim hidrološkim i sezonskim uvjetima.

Vrijednosti pojedinih prirodnih izotopa mogu biti dobar pokazatelj porijekla pojedinog elementa u vodi, dakle može se ustanoviti pretežiti izvor pojedinog elementa. U interpretaciji dobivenih hidrogeokemijskih rezultata koristi se geokemijsko modeliranje i različite statističke analize. Rezultati geokemijskog modeliranja koriste se kao ulazni podaci u modele transporta pojedinih onečišćivača.

Trasiranja tokova podzemne vode je obvezno istraživanje u sklopu definiranja zaštitnih zona i mjera zaštite u krškim terenima. Trasiranja bi trebalo izvoditi u svim hidrološkim uvjetima. Međutim, kako su to relativno skupa istraživanja, uglavnom se provodi samo jedno trasiranje i to u najnepovoljnijim hidrološkim uvjetima glede zaštite podzemnih voda, odnosno u vrijeme visokih voda, jer su tada brzine voda najveće, a to je upravo jedan od ulaznih parametra za dimenzioniranje zona zaštite. Trasiranja se u Hrvatskoj provode od 1939. godine, kada je izvedeno prvo trasiranje povrh Bakarskog zaljeva. Od tada je u Hrvatskoj je izvedeno više od stotinu takovih ispitivanja, i ti podaci su osnova za interpretaciju kretanja podzemne vode, odnosno utvrđivanja podzemnih vodnih veza i prividnih brzina toka vode u podzemlju. Bilance voda krških slivova su jedan od najvažnijih segmenata zaštite izvorišta u kršu, posebice u uvjetima maksimalnih iskorištenja vodonosnika tijekom ljetnih sušnih razdoblja. Za priobalne i otočne krške vodonosnike one su usmjerene na sušna razdoblja zbog opasnosti od utjecaja mora.

Registriranje potencijalnih onečišćivača sastavni je dio karte rizika krških slivova, stoga je sve potencijalne točke onečišćenja u slivovima potrebno registrirati i kategorizirati s obzirom na izvor, stupanj opasnosti za kakvoću podzemne vode i način ponašanja u krškom vodonosnom sustavu. Pažnju treba posvetiti svim oblicima mogućeg utjecaja ljudske djelatnosti (otpadne vode, deponije, industrija, poljoprivreda, prometnice, onečišćenje zraka i dr.). Za sve potencijalne onečišćivače potrebno je izraditi katastar, koji se unosi u informatički sustav.

Geografski informatički sustav danas je osnovni alat za upravljanje prirodnim sustavima, a posebice u kombinaciji s korištenjem prostora, pa se svi rezultati istraživanja moraju se prikazati u GIS-u. Višeslojni grafički

prikazi u kombinaciji s informatičkim sustavom, odnosno bankama podataka optimalne su osnove za hidrogeološke interpretacije i upravljanje zalihama podzemnih voda, te za izradu konceptualnog modela vodozaštitnih područja izvorišta pitke vode u kršu, a što je temelj za prostorno dimenzioniranje.

3.3. Zone sanitarne zaštite izvorišta pitke vode na riječkom području

Određivanje učinkovitih vodozaštitnih područja i mjera zaštite na području krša, spada ne samo u najzahtjevnija hidrogeološka istraživanja, nego i u najsloženije vodnogospodarske pa i razvojne probleme. Specifični prirodni uvjeti u kojima se formira i odvija dinamika podzemne vode bili su razlog nemogućnosti ujednačavanja kriterija zaštite tih voda od početka izrade prvog Pravilnika o zaštiti podzemnih voda za Republiku Hrvatsku. Dotadašnja iskustva istraživača omogućila su organiziraniji pristup toj problematici. Osobito se to odnosi na širi prostor grada Rijeke, gdje su u proteklom razdoblju uložena znatna sredstva za istraživanja i zahvate novih količina podzemne vode, ali i njihovu zaštitu.

Područje grada Rijeke vrlo je bogato izvorskom vodom. Već se u Rimsko doba koristilo tim prirodnim blagom, pa su u središnjem dijelu današnjega grada u temeljima zgrada otkriveni zdenci (zgrada Radio Rijeke) i kupališta (Užarska ulica), koji su služili rimskim karavanama za odmorište (Biondić i Dukarić, 1993). Stara gradska jezgra sagrađena je u zaleđu mnogih izvora koji su okruživali gradske zidine, zbog lakšeg pristupa izvorima, ali i močvarnoga i povremeno plavljenog tla u delti Rječine, koja je meandrirala i često mijenjala korito. Izvori u uvali Martinšćice bili su u to vrijeme daleko izvan grada, pa čak i Sušaka, koji se samostalno razvijao oko Trsatske tvrđave i crkve. Grad Bakar već je od početka svog razvoja rabio vodu izvorišta Jaz, Perilo i Lovrijenac, čija voda je često zbog zagađivanja iz grada bila izvor zaraza.

Izvor Rječine bio je u to vrijeme toliko udaljen od gradskog središta da se nije ni razmišljalo o transportu vode prema gradu, kao što je to bio slučaj s izvorom Jadro u Splitu. Naselja izvan obalnog pojasa koristila su se mnogim cisternama.

Veliki skok u razvoju grada dogodio se u početku 19. stoljeća kad se grad počeo širiti izvan zidina, u prostore tadašnjih otvorenih izvorišta. Osobito se to isticalo poslije 1848. godine, kad cijelu Europu zahvaća industrijska revolucija. Dižu se mnogi pogoni za prvu industrijsku proizvodnju i razvija obalna zona mora.

Primarna mjesta izviranja vode prekrivaju se građevinama, a mnogi potoci i močvare dreniraju u gradsku kanalizaciju. Sreća je što je već tada grad ušao organizirano u razvoj, pa su primarna mjesta izviranja vode ucrtana u građevinske dozvole (Arhiv grada Rijeke).

Sustav vodoopskrbe uspostavljen je u drugoj polovici 19. stoljeća. Povijesni razvoj toga sustava i istraživanja vezanih uz vodne resurse i njihovu zaštitu pregledno je dan u radu (Linić 1999) odakle su i preuzeti u nastavku dane informacije. U 19. st. izgrađena je crpna stanica na izvoru Zvir u kanjonu Rječine, a mnogi izvori u kanjonu i gradu korišteni su kao industrijska voda. Ističemo primjer Tvornice papira, koja je zapravo bila prvi korisnik izvorišta na desnoj obali Rječine. Nakon izvorišta Zvir sustavno se u vodoopskrbu uključuju i ostali izvori u Rijeci, Sušaku i Bakru.

Prva hidrogeološka istraživanja u gradu Rijeci zabilježena su već potkraj prošlog stoljeća (1891), a odnose se na izvor Zvir. Autori su nam nepoznati. Istraživanja na izvoru Zvir opet se aktiviraju tek 1929., dugo godina nakon prvoga svjetskog rata. Autor je Gibson, koji daje podroban opis izvorske jame ispita ne pomoću ronioaca.

Već 1930. godine poduzeće Kassel Wilhelmshöhe radi prva geofizička istraživanja, a u izvještaju daju prvi put podatke o geologiji i hidrogeologiji u neposrednom i širem zaleđu izvora kao i prve procjene veličine i položaja slivnih površina izvora. Iste godine Tornquist izdaje prvu hidrogeološku kartu šireg područja izvora Zvir, opis drugih izvora na području Rijeke i pretpostavljene smjerove dotoka podzemne vode na te izvore.

Lengzel (1936) radi novu hidrogeološku kartu, daje obradu tadašnjih potreba grada Rijeke za pitkom vodom i ocjenu kapaciteta postojećih izvorišta u kanjonu Rječine.

Zanimljivo je da tek Blasich (1936) ističe opasnost od zagađenja vitalnih izvora u Rijeci i predlaže sustav kloriranja vode. Može se reći da je dotad rabljena "sirova" voda, što je bilo već tada vrlo opasno za stanovništvo grada, i da od Blasicha počinje kontrola pitke vode i oblik kondicioniranja, koji se zadržao sve do danas.

Istodobno s razvojem vodoopskrbnog sustava grada Tvornica papira razvija svoje izvore, pa se tako otvara izvorište Marganovo i drenažni sustav iz fosilnog meandra Rječine na prostoru bivše termoelektrane. Prije drugoga svjetskog rata L. Rac (1938) iznosi u izvještaju "Opskrba grada Sušaka vodom" podatke u svezi s razvojem Sušačkog vodovoda i nazive i lokacije izvora na području Sušaka. Zbog zagađenosti vode izvora u Bakru, vodoopskrba se tada veže na izvor uz željezničku stanicu Dobra i otad više u Bakru nije bilo problema zbog nezdrave vode.

Iz tog vremena sežu i prvi podaci o trasiranjima podzemnih tokova u krškim terenima širega riječkog područja. M. Belavić obojio je ponore u Malom Lugu u Ponikvama povrh Bakra, a razlog je bila pojava zaraze trbušnog tifusa u gradu Bakru. Podacima tog trasiranja još se i danas koristi u hidrogeološkim interpretacijama.

U to vrijeme kopanim zdencima se kaptiraju slatke vode u uvali

Martinščica, koja je i danas za sušnih razdoblja, uz Zvir, okosnica vodoopskrbe grada Rijeke. Nakon drugoga svjetskog rata počinju sustavna hidrogeološka istraživanja šireg prostora grada s orijentacijom prema energetsom iskorištenju vodnog potencijala (J. Poljak, I. Crnolatac, M. Herak, L. Bojanić, F. Fritz). Prva kompleksna geološka i hidrogeološka karta radi se tek 1963. godine (P. Miletić i Ž. Vulić).

Sve se više razmišljalo o novim zahvatima vode za vodoopskrbu rastućega grada, odnosno na području grada Rijeke i Bakarskom zaljevu (O. Franić i suradnici). Rezultati su toga rada kaptaze Dobrica i Perilo u Bakarskom zaljevu, bez kojih se danas ne može niti zamisliti vodoopskrba istočnog dijela grada Rijeke. Slijedila su brojna hidrogeološka istraživanja koja su započela sedamdesetih godina prošlog stoljeća. Izvode ih velikim dijelom stručnjaci Instituta za geološka istraživanja iz Zagreba. Od tog vremena postupno se stvara jedan stalni tim istraživača, koji su zajedničkim istraživačkim akcijama (djelatnici Vodovoda i Vodoprivrede iz Rijeke) omogućili funkcioniranje vodoopskrbnog sustava grada Rijeke. Pokazalo se da se istraživanja ne mogu izvoditi parcijalno, za svaki izvor posebno, nego se mora obuhvatiti cjelokupni hidrogeološki - hidrološki sustav područja. Do danas su na području Primorsko-goranske županije radi određivanja zona sanitarne zaštite istraženi slivovi izvora: izvori u gradu Rijeci, izvori u Bakarskom zaljevu, Opatiji, Novljanskoj Žrnovnici, na području Delnica, Čabra, Vrbovskog, akumulacije Tribalj, Lokvarka i planirana akumulacija Križ potok, izvori na otoku Krku, izvori i bunari na Rabu te jezero Vrana na Cresu. Za sada su neistraženi slivovi izvora Kristal u Opatiji i izvor Kupe. Na osnovu rezultata istraživanja, za sva su izvorišta (osim potencijalni izvor Kristal u Opatiji) definirane zone sanitarne zaštite (slika 2), što je osnovni preduvjet njihove sustavne i kvalitetne zaštite. Veličina, granice i sanitarni režim određeni su u skladu s rezultatima hidrogeoloških, hidroloških i drugih istraživanja te Pravilnikom o utvrđivanju zona sanitarne zaštite izvorišta (NN 107/95).

3.3.1. Vodni resursi riječkog područja

Danas je vodoopskrba grada Rijeke orijentirana na četiri zone izviranja:

- izvor Rječine
- izvorišna zona Zvir I
- Zvir II
- Martinščica
- Bakarski zaljev

Izvor Rječine presušuje i kao povremeni izvor ne predstavlja dio stabilne vodoopskrbe grada, ali s tog se izvora danas gravitacijom opskrbljuje grad vrlo kvalitetnom vodom. Drenažno je područje izvora izvan utjecaja inten-

zivnoga urbanog razvoja i dio je strateških rezervi za buduću vodoopskrbu grada. Prema (Linić, 1999.) izdašnost ovoga krškog izvora varira između 0 i 120 m³/s. Izvorišna zona Zvir I, Zvir II i Marganovo, središnje je područje vodoopskrbe grada pitkom vodom. Zvir I prirodno je izvorište, koje je već potkraj prošlog stoljeća uključeno u vodoopskrbu. Izdašnost je 1-7 m³/s. Koristi samo za sušnih razdoblja, kad na izvoru Rječine nema vode. Zvir II potpuno je novi kaptažni objekt izdašnosti 600 l/s, koji se koristi za vodoopskrbu grada samo u vrijeme ekstremnih suša. Kaptažni objekt Marganovo, kojim se koristila Tvornica papira, ima izdašnost do 200 l/s u sušnom razdoblju.

Crpilište Martinščica sastoji se zapravo od nekoliko bunara, kojima se koristi uzlazni efekt podzemne vode, ali ima sva obilježja krškog izvorišta zbog velikog preljeva za visokih voda. Eksploatira se do 400 l/s pitke vode, uglavnom za sušnih razdoblja, kad presuši izvor Rječine.

U Bakarskom zaljevu tri su glavna izvorišta kojima se stanovništvo i industrija opskrbljuju vodom. Sve su to kaptažni objekti - Dobra (60 l/s), Dobrica (110 l/s) i Perilo (200 l/s). Osnovni problem ovih izvorišta je znatno povišenje saliniteta vode za ljetnih sušnih razdoblja.

Mnogi izvori na zapadnom dijelu grada, čak vrlo značajnih izdašnosti, koriste se kao industrijska voda (Mlaka, Pod Jelšun, Cerovica). Budući da se deficit pitke vode osjetio u Bakarskom zaljevu, gdje izvor Dobra sa 60 l/s više nije mogao pokrivati rastuće potrebe industrije, ali i potrebe vodoopskrbe viših zona tog područja (Hreljin, Krasica, Škrlevo, Grobničko polje), načinjeni su kaptažni objekti Dobrica i Perilo. Tako je kaptirano oko 110 l/s pitke vode. Problem je povremeno povišenje sadržaja klorida u ljetnim sušnim razdobljima, za koji mi pretpostavljamo da je vezan za prodor mora kroz vrulje u uvali Crno. Drugi je objekt načinjen u Bakarskom zaljevu, Perilo, povrh staroga grada Bakra. Posrijedi je vertikalni šaht dubine 60 m i horizontalna galerija, koja presijeca vapnenački vodonosnik nešto ispod razine mora. Crpljenjem tog objekta koriste se rezerve pitke vode što izviru na obali u samom gradu (Jaz i Perilo). za probnog crpljenja objekt se pokazao veoma dobrim, ali dugotrajna eksploatacija uzrokuje jake prodore mora u ljetnim sušnim razdobljima.

Gradu Rijeci nešto je poslije Bakarskog zaljeva počelo nedostajati pitke vode. Već se u početku sedamdesetih godina stalo razmišljati o novim količinama. Rezultati hidrogeoloških istraživanja upozoravali su na mogućnost zahvata podzemne vode u zaleđu izvora na desnoj obali kanjona Rječine. To su izvori koji su uvedeni u gradsku kanalizaciju i dreniraju se prema Mrtvom kanalu (staro korito Rječine). Odabrano je originalno rješenje zahvata vode - kombinacija pristupne galerije i kopanih zdenaca. Snižanjem vodnog lica ispod razine mora izazivaju se dotoci vode prema zdencima iz dubokih krških drenova. Ukupna je izdašnost je 600 l/s pitke vode i predstavlja rezervu grada za najveća sušna razdoblja.

Nakon toga je započeo novi ciklus istraživanja optimalnog iskorištenja postojećih gradskih crpilišta uz precrpljivanje postojećih izvora u kombinaciji s umjetnim prihranjivanjem krškog podzemlja zbog izravnjanja nestacionarnih uvjeta za sušnih razdoblja. Već i probno spuštanje usisnih košara postojećih crpki za 1 m 1985. godine spasilo je grad te godine od redukcija vode, koje su se provodile na cijelom Jadranu. Snižanjem vode u grotlu izvora za 1 m povećane su izlazne brzine i tako povećan ukupni kapacitet izvora. Istodobno s radovima na izvoru Zvir tekle su pripreme za gradnju površinske akumulacije Zoretići na Rječini, također bilančno predviđene za pokrivanje deficita pitke vode u ljetnim sušnim razdobljima. Korištenje površinske akumulacije, međutim, zahtijeva potpuno kondicioniranje vode, što je vrlo skupo. Problem umjetnog prihranjivanja podzemlja održanje je kvalitete izvorske vode, što treba ispitivati u kombinaciji s ispitivanjem dužine zadržavanja vode u krškim vodonosnicima.

Neophodno je pak, svim poznatim sredstvima nastojati zaštititi postojeće izvore, jer se tako može bitno usporiti pad kvalitete vode na izvorima, koji je evidentan posljednjih tridesetak godina, ali i povećati djelotvornost tih crpilišta. Osobito se to odnosi na nalete visokih vodnih valova poslije dugih sušnih razdoblja. Drugi smjer razvoja vodoopskrbe mogu biti retencije podzemne vode duboko u planinskom prostoru i one su strateške rezerve za budućnost. Moguće je da najbližu vezu s tim rezervama ima izvor Rječine, koji funkcionira kao preliv tih retencija, kao i povremeni izvori na sjeverozapadnom rubu Grobničkog polja - gdje vode protječu od retencija prema izvorima u priobalju. Rezerva su i vode na području Ponikva kod Škrljeva, gdje se obavlja transfer podzemne vode prema izvorima u Bakarskom zaljevu.

Realizacijom zacrtanih planova i pridržavanjem odredaba županijske Odluke o sanitarnoj zaštiti izvora vode za piće na riječkom području, moguće je zadovoljiti potrebe za pitkom, sanitarnom, tehnološkom i protupožarnom vodom na tom području u idućih 50-ak godina, pa i više.

3.3.2. Zaštita vodnih resursa riječkog područja

Na riječkom području, na sreću, ima dovoljan broj tipično krških izvora pitke vode, sa zadovoljavajućom izdašnosti, uz samo more (Linić, 1999.). No, veći dio grada i sva prigradska naselja (danas gradovi i općine) izgrađeni su na slivnim područjima tih istih izvora uz more, što otežava njihovu zaštitu od onečišćenja sanitarnim otpadnim vodama, te privrednim i komunalnim otpadom, a povećana je i opasnost od incidentnih onečišćenja, posebno u prometu naftnim derivatima. Mnogi su priobalni izvori od Kraljevice do Preluke već onečišćeni ili devastirani i prepušteni slobodnom otjecanju u more ili se pak privredana poduzeća njima koriste za protupožarnu zaštitu i hlađenje u tehnološkim procesima. Prijetila je velika

opasnost (koja još uvijek postoji, ali u manjoj mjeri) da se to dogodi i s ranije navedenim izvorima koji se koriste za opskrbu pitkom vodom. Brojni primjeri onečišćenja ili ugrožavanja izvora pitke vode na širem riječkom području (pokušaj izgradnje TE-TO Rijeka uz glavno riječko izvorište ZVIR, iskop šljunka i lokacija asfaltnih baza na Grobnišćini u zaštitnim zonama izvorišta pitke vode, planirana željeznička kontejnerska luka za DINA Petrokemiju na izvorištu Dobrica u Bakru, nije se gradila i, na žalost, još se uvijek sporo gradi kanalizacijska mreža, nije se odvozilo smeće s prigradskih područja itd.) naveli su na to da se godine 1978. zatraži od Geološkog zavoda u Zagrebu izradu elaborata: "Zaštitne zone izvorišta na području općine Rijeka". Grad Rijeka je prvi na jadranskom području pokrenuo postupak za definiranje zona sanitarno-tehničke zaštite izvorišta pitke vode. Podloga za izradu takvog elaborata bila su brojna hidrogeološka istraživanja provedena već od kraja prošloga stoljeća, a napose intenzivno od godine 1963. do danas.

Elaborat je rađen na temelju tadašnjeg stupnja spoznaje, na znanstvenostručnoj razini primjerenoj onom vremenu. Na hidrogeološkoj podlozi definirani su slivovi glavnih skupina izviranja na području grada Rijeke i Bakarskog zaljeva, a ucrtane zone ugroženosti krških vodonosnika pretvorene su u zone sanitarno - tehničke zaštite. Izdvojene su četiri zone različitog stupnja opasnosti od mogućeg zagađivanja. Zone sanitarne zaštite izvorišta uvedene su tada u prostorne i urbanističke planove, što je u to vrijeme stvaralo velike probleme u razvoju grada. Tako je Grobničko polje, na kojem je istraživanjima utvrđena izravna povezanost s glavnim zonama izviranja u gradu (Zvir) moralo potpuno promijeniti namjenu. Od potencijalne industrijske zone pretvoreno je u visoko-zaštićeni prostor, u kojemu se održavaju prirodni uvjeti. Zabranjena je eksploatacija šljunka, a instalacije asfaltna baze prebačene u sigurniji prostor.

Na temelju toga elaborata i uz brojne stručne rasprave, godine 1983. donesena je polovična ("Službene novine" broj 25/83.), a godine 1985. ("Službene novine" broj 5/86.) i cjelovita općinska Odluka o uspostavljanju i održavanju zona sanitarne zaštite i o mjerama zaštite područja izvorišta pitke vode.

Publiciranim znanstvenim rezultatima istraživanja prostora Riječkog zaljeva potaknuto je i otvaranje Europskog projekta "Hydrogeological Aspects of Groundwater Protection in Karstic Areas". Projekt je organiziran preko specifičnih istraživanja zaštite voda na pilot područjima u svakoj zemlji sudionici, a riječki je zaljev pilot područje u Republici Hrvatskoj.

Nakon novelacije projekta pod nazivom "Zaštitne zone izvorišta pitke vode na području grada Rijeke", donesena je godine 1994. županijska Odluka o sanitarnoj zaštiti izvora vode za piće na riječkom području ("Službene novine" broj 6/94.) s popratnim hidrogeološkim i topografskim

kartama, granicama pojedinih zaštitnih zona i potanko razrađenim tekstualnim dijelom o tome što se smije, a što ne smije graditi na cijelom području obuhvaćenom slivnim zonama riječkih Izvorišta.

U tekstualnom dijelu te Odluke, među ostalim, piše: granice zona zaštite i odredbe ove Odluke unose se u sve prostorne i provedbene planove, koji pokrivaju slivove izvora riječkog područja. Svi postojeći i novi planovi razvoja na području zona zaštite moraju se uskladiti s odredbama ove odluke. Građenje novih objekata i planirane djelatnosti moraju biti u skladu s odredbama ove Odluke, a propisani u sanitarnim i vodoprivrednim uvjetima. Posebno treba istaknuti da su za zaštitu izvora vode na širem riječkom području prvi puta (prema Odluci) uvedeni novi pojmovi kategorizacije izvora prema značaju za vodoopskrbu. Tako su u prvu kategoriju izdvojeni svi sadašnji ili potencijalni izvori vodoopskrbe i tim izvorima se daje osobito značenje u sklopu zaštite podzemnih voda. Izvori druge kategorije mnogi su ostali izvori na području grada rijeke, pa čak i izvori koji se danas koriste kao tehnološka voda. Planinskim područjima što okružuju Kvarnerski zaljev (Tuhobić, Snježnik, Risnjak) dan je status vodoopskrbnog rezervata, jer su to područja prikupljanja i zadržavanja podzemne vode koja reguliraju istjecanje na izvorima uključenima u vodoopskrbne sustave. Podzemne retencije voda ovih područja su također od strateškog značenja za buduću vodoopskrbu.

Prema tome, ostalo se na četiri osnovna stupnja zaštite (I - IV zona), s time što se kao potpuna novost uvodi pojam vodoopskrbnog rezervata. Uz taj novi pojam svakako treba spomenuti početnu ideju, inicijativu i veliko zalaganje inž. M. Bakote iz Hrvatskih voda VGO Rijeka, te ostalih sudionika brojnih rasprava (dr.sc. B. Biondića, mr.sc. E. Hrvojić, B. Oreč, A. Linića i mr.sc. V. Hinić) rezultat kojih je bio kvalitetno bolji i načelno pravi pristup zaštiti podzemnih voda na riječkom području. Osim toga, novost je bila i razdioba I zone u A i B iz posve praktičnih i ekonomskih razloga, na sugestiju djelatnika Vodovoda Rijeka (A. Linića). Nastavno je dana kategorizacija i ograničenja u zaštitnim zonama izvora na širem riječkom području (slika 2.)

1. **I. zona** - zona strogog režima - utvrđuje se radi zaštite građevina i uređaja za zahvaćanje voda. Obuhvaća neposredno naplavno područje zahvata vode, krški izvor, kaptazu, crpne stanice, postrojenja za preradu vode, građevine za pogon, održavanje i čuvanje, uključivo i mjesta umjetnog napajanja krških vodonosnika bez obzira na udaljenost od zahvata vode. Kod velikih naplavnih površina na strmim i nepristupačnim stijenskim odsječcima, I. zonu se može podijeliti na I.A i I.B. I. zona i I.A zona moraju biti ograđene. U I. zoni, zabranjuju se sve aktivnosti osim onih koje su vezane za eksploataciju, pročišćavanje i transport vode u vodoop-

skrbni sustav. U I.B zoni može se dozvoliti građenje nužnih prometnica, uz obaveznu kontroliranu odvodnju oborinskih voda i tehnička rješenja osiguranja prometa.

2. **II. zona** - zona je strogog ograničenja - obuhvaća glavne podzemne drenažne smjerove u neposrednom slivu krških izvorišta s mogućim tečenjem kroz krško podzemlje do zahvata vode do 24 sata, odnosno područja s kojih su utvrđene prividne brzine podzemnih tečenja, u uvjetima velikih voda, veće od 3,0 cm/s, odnosno unutarnji dio klasičnog priljevnog područja. II. zona obuhvaća i ponore i ponorne zone u slivnom području, te se oni ograđuju i označavaju kao II. zona.

U II. zoni, uz zabrane za III zonu zabranjuje se:

- poljodjelska proizvodnja, osim proizvodnje zdrave hrane,
- stočarska proizvodnja, osim za potrebe seljačkog gospodarstva, odnosno obiteljskog poljoprivrednog gospodarstva,
- građenje pogona za proizvodnju, skladištenje i transport opasnih tvari,
- gradnja groblja i proširenje postojećih,
- građenje svih industrijskih pogona,
- građenje autocesta i magistralnih cesta (državnih i županijskih cesta),
- građenje željezničkih pruga i
- građenje drugih građevina koje mogu ugroziti kakvoću podzemne vode.

3. **III. zona** - zona ograničenja - obuhvaća dijelove krških slivova izvan vanjskih granica II. zone, s mogućim tečenjem kroz krško podzemlje do zahvata vode u razdoblju od 1 do 10 dana u uvjetima velikih voda, odnosno područja s kojih su utvrđene prividne brzine podzemnih tečenja od 1-3 cm/s, odnosno područje koje obuhvaća pretežiti dio slivnog područja (klasični statističko-hidrogeološki sliv).

U III. zoni, uz zabrane za IV zonu zabranjuje se:

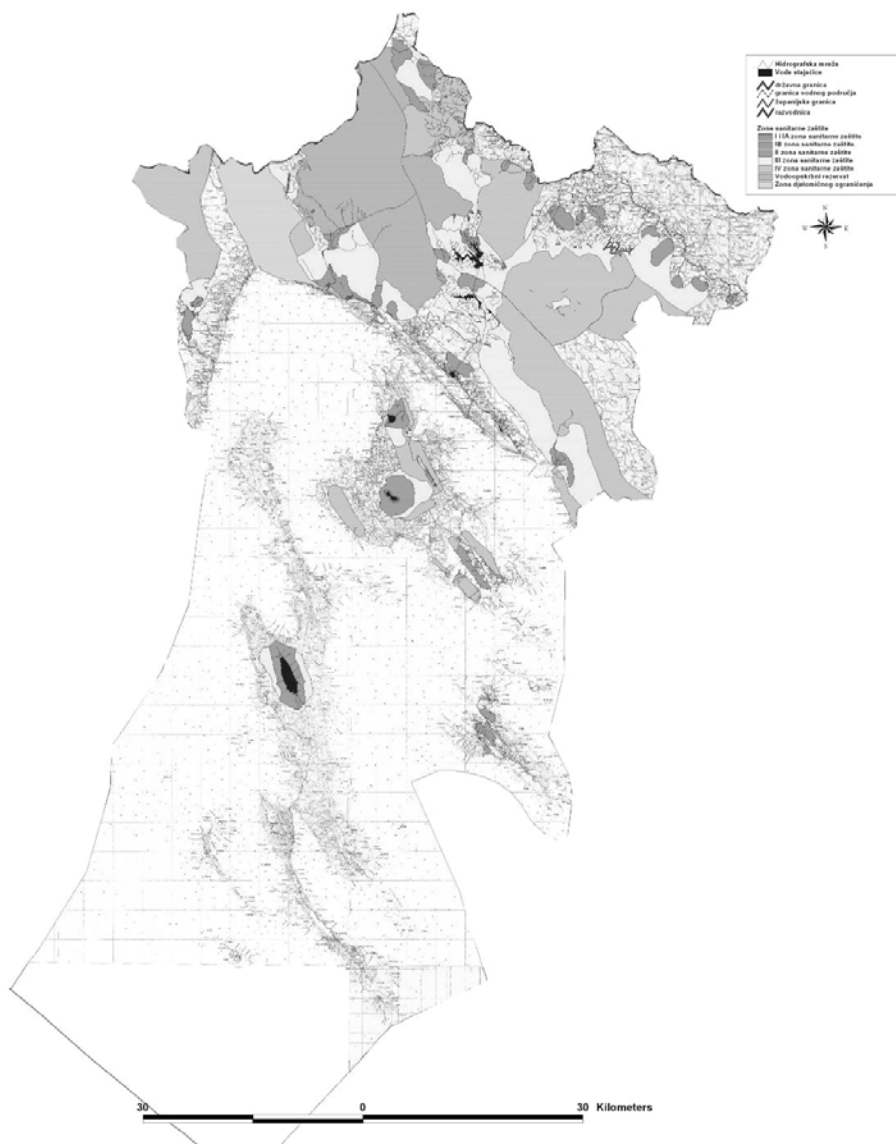
- deponiranje otpada,
- svako skladištenje nafte i naftnih derivata,
- površinska i podzemna eksploatacija mineralnih sirovina,
- građenje industrijskih postrojenja opasnih za kakvoću podzemne vode i
- građenje cjevovoda za tekućine koje su štetne i opasne za vodu.

4. **IV. zona** - zona šire zaštite - obuhvaća sliv izvorišta izvan III. zone, s mogućim tečenjem kroz krško podzemlje do zahvata vode u razdoblju od 10 do 50 dana u uvjetima velikih voda, odnosno, područje s kojeg su utvrđene prividne brzine podzemnih tečenja manje od 1 cm/s, kao i ukupno priljevno područje neovisno o dijelu napajanja koje sudjeluje u

obnavljanju voda odnosno izvorišta (konceptualni hidraulički sliv). U IV. zoni zabranjuje se:

- ispuštanje nepročišćenih otpadnih voda,
- građenje industrijskih objekata koji ispuštaju za vodu opasne tvari (ili otpadne vode),
- građenje cjevovoda za tekućine koje su opasne za vodu bez propisane zaštite,
- uskladištenje radioaktivnih i za vodu drugih opasnih tvari, izuzev uskladištenja lož ulja za domaćinstvo i pogonskog goriva za poljoprivredne strojeve, ako su provedene propisane sigurnosne mjere za građenje, dovoz, punjenje, uskladištenje i uporabu,
- građenje rezervoara i pretakališta za naftu i naftne derivate, radioaktivne i ostale za vodu opasne tvari,
- izvođenje istražnih i eksploatacijskih bušotina na naftu, zemni plin, radioaktivne tvari, kao i izrada podzemnih spremišta,
- nekontrolirana uporaba tvari opasnih za vodu kod građenja objekata,
- građenje prometnica bez sustava kontrolirane odvodnje i pročišćavanja oborinskih voda i
- eksploatacija mineralnih sirovina.

ZONE SANITARNE ZAŠTITE PRIMORSKO-GORANSKA ŽUPANIJA



Slika 2: Zone sanitarne zaštite izvorišta vode za piće na području PGŽ

4. NAVODNJAVANJE I ZONE SANITARNE ZAŠTITE

U području krša pojavljuju se sve potencijalne opasnosti koje se pojavljuju i u drugim nekrškim, moglo bi se reći manje ranjivim područjima. U kršu je ipak potreban dodatni oprez i dodatna istraživanja što obično rezultira i dodatnim zahvatima i višom cijenom. Zbog dodatnih se ulaganja nikako ne smije zanemariti zaštita okoliša, jer u uvjetima krša takvi propusti mogu imati previsoku cijenu. Naime, zbog propusne krške vodonosne sredine podzemne su vode s aspekta ugroženosti od onečišćenja najosjetljivije. Onečišćenja u slivu neposredno utječu na kakvoću vode izvorišta, posebno na mogućnost njezinog korištenja za piće, ali i za druge svrhe. Za krš je karakterističan brzi transport vode kojim se ostvaruje neposredan kontakt između sliva i izvorišta, ali i dugotrajno ispiranje zadržanih onečišćenja iz podzemlja. Radi zaštite podzemnih voda i izvorišta, kako je prethodno rečeno, definiraju se zone sanitarne zaštite i donose odluke kojima se u najvećoj mogućoj mjeri nastoji zaštititi kapitalne krške izvore. Stoga se pri određivanju površina pogodnih za navodnjavanje svakako treba voditi računa i o zonama sanitarne zaštite prema spomenutom, važećem Pravilniku o utvrđivanju zona sanitarne zaštite izvorišta (NN 55/02).

Razvoj intenzivne poljoprivredne proizvodnje na nekom području smatra se jednim od najvećih raspršenih izvora onečišćenja vode, jer se u uzgojnim mjerama koriste različite kemikalije, najčešće mineralna gnojiva i sredstva za zaštitu od štetočina. Navodnjavanje je mjera koja može utjecati na promjenu vodnog režima tla, a posljedično i na transport potencijalno štetnih tvari do podzemne i površinskih voda. Brzina i intenzitet transporta onečišćenja iz tla u vode ovisi o hidrogeološkim i pedološkim karakteristikama područja. Tako su izrazito osjetljiva upravo krška područja. Jedan od najčešćih problema koji prate intenzivnu poljoprivredu je primjena dušičnih gnojiva neophodnih za brz rast biljke odnosno veći prinos. Međutim, posljedica toga je globalno povećanje kruženja dušika u okolišu. Za sprečavanje štetnih posljedica neophodno je uspostavljanje sustava monitoringa u uvjetima navodnjavanja i uspostava učinkovitog sustava nadzora. Isto tako, treba uzeti u obzir činjenicu da se pravilnim izborom sustava, njegovim gospodarenjem i odgovarajućim tehnologijama uzgoja, mogućnosti onečišćenja voda mogu reducirati na tolerantnu razinu.

4.1. Potencijalne opasnosti uslijed navodnjavanja na krškim područjima

Uvođenje sustava navodnjavanja rezultira na određeni način promjenama u okolišu, pa tako i zahvaćanje vode za potrebe navodnjavanja kvantitativno utječe na postojeću vodnu bilancu. S obzirom na pojavnost zaliha vode u vremenu, svako nekontrolirano zahvaćanje, posebno u malovodnim razdobljima, može uzrokovati narušavanje biološkog minimuma nekog vodotoka.

Zato realizaciji većih projekata navodnjavanja koji predviđaju veće zahvate voda iz vodotoka, mora prethoditi procjena utjecaja na okoliš kojom će se utvrditi moguće promjene u okolišu i održivost sustava. Naime, vodotoci na krškom području u pravilu imaju malovodna razdoblja tijekom vegetacijske sezone, odnosno upravo onda kada se ukazuje i potreba za navodnjavanjem.

Hidrološki režim površinskih voda u uskoj je vezi s razinom podzemnih voda. Tijekom razdoblja malih voda podzemne vode prihranjuju vodotok, a tijekom razdoblja velikih voda pojavljuje se prihranjivanje podzemnih voda iz vodotoka. Intenzivnije zahvaćanje površinskih voda i pad vodnog lica rezultira povećanjem hidrauličkog gradijenta podzemnih voda. Utjecaji zahvaćanja podzemnih voda izvan mogućih obnovljivih zaliha mogu se pojaviti nakon dužeg vremena crpljenja i rezultirati sniženjem podzemnih voda na širokom području. U priobalnim i otočnim područjima kakvo je značajnim dijelom upravo i područje Primorsko-goranske županije sniženje razine podzemnih voda može izazvati intruziju slane vode.

Rješenje za osiguravanje dostatnih količina vode za navodnjavanje je i izgradnja složenih hidrotehničkih objekata - brana i akumulacija. Međutim, treba voditi računa da izgradnjom akumulacija dolazi do promjene namjene prostora. Zemljišta se pretvaraju u vodne površine, dolazi do redukcije pronosa nanosa, mijenja se režim malih i velikih voda, a time i obnavljanje zaliha podzemnih voda nizvodnog područja, odnosno promjene mikroklima. Promjene hidroloških režima povezane sa zahvaćanjem vode mogu promijeniti kapacitet različitih medija u okolišu za prijam vodotopivih onečišćenja. Osobito osjetljiva područja na promjenu vodne bilance su zaštićeni ekosustavi čiji opstanak ovisi o dovoljnim količinama vode, vodocrpilišta, vodotoci s izrazitim opadajućim trendom karakterističnih protoka i priobalna područja. Kako su na vidjelo su dolazile brojne i dugoročne slabosti, brane i akumulacije se zbog toga danas sve manje grade, ali je potreba za njima sve veća (Bonacci, 2004a).

Rješenje očito nije u radikalnom prestanku svih djelatnosti izgradnje brana, nego ga treba tražiti u poboljšanjima (postojećih pristupa i metoda, zasnovanim na uvažavanju zahtjeva i svih struka i interesnih skupina uključenih u proces, a prije svega zaštite okoliša. To znači da će u budućnosti sustav planiranja takvih zahvata biti dugotrajniji a objekti skuplji. Očito je to cijena održivog razvoja koji mnogi vide kao jedini i spasonosni koncept sigurnije budućnosti života na Zemlji i opstanka čovječanstva (Bonacci, 2003).

Iz navedenih razloga svako zahvaćanje površinskih voda mora biti kontrolirano uz očuvanje biološkog minimuma i ostvarenje drugih zahtjeva (vodoopskrba, ribogojstvo...). Neophodno je također i praćenje razina podzemnih voda na širem području zahvata u granicama obnovljivih zaliha.

No, navodnjavanje ne predstavlja samo problem u smislu smanjenja vod-

nih zaliha vodotoka i vodonosnika iz kojih se opskrbljuje vodom. Razvoj intenzivne poljoprivredne proizvodnje na nekom području smatra se jednim od najvećih raspršenih izvora onečišćenja vode, jer se u uzgojnim mjerama koriste različite kemikalije, najčešće mineralna gnojiva i sredstva za zaštitu od štetočina. Naime, ključ uspjeha konvencionalne poljoprivrede leži u specijalizaciji proizvodnje, koja uz pomoć mehanizacije, pesticida, mineralnih gnojiva, koncentrata, novokreiranih sorti i pasmina, te ogromnih količina energije uspjeva postići vrlo visoke prinose. Navodnjavanje je mjera koja može utjecati na promjenu vodnog režima tla, a posljedično i na transport potencijalno štetnih tvari do površinskih i podzemnih voda. Brzina i intenzitet transporta onečišćenja iz tla u vode ovisi o hidrogeološkim i pedološkim karakteristikama područja. Tako su izrazito osjetljiva upravo krška područja.

Eutrofikacija, odnosno povećanje koncentracije mineralnih tvari u površinskim vodama, do koje dolazi uslijed ispiranja mineralnih tvari, prvenstveno s poljoprivrednih površina, također postaje sve izraženiji problem. Ona dovodi do poremećaja bioloških procesa, te sprječava normalan razvoj, a nerijetko i uništava floru i faunu akvatičnih sustava.

Jedan od najčešćih problema koji prate intenzivnu poljoprivredu je primjena dušičnih gnojiva neophodnih za brz rast biljke odnosno veći prinos. Posljedica toga je globalno povećanje kruženja dušika u okolišu odnosno ispiranje dušika u obliku nitrata i nitrita. Znatno je manji, ali ne i zanemariv problem ispiranja fosfora u podzemne vode. On je slabo pokretljiv u tlu, ali u lakim tlima i uz prekomjerne doze, može izazvati onečišćenje podzemnih voda.

Utjecaji navodnjavanja na tlo (pedosferu) mogu se općenito podijeliti na fizikalna, kemijska i biološka, ali tu granica najčešće nije moguće strogo postaviti. Naime, fizikalne promjene preko fizikalno - kemijskih procesa dovode i do kemijskih promjena i obrnuto.

Degradacija fizikalnih svojstava tla (zbijanja tla teškim strojevima) posljedica je niza povezanih složenih procesa: destabilizacija i razaranja strukturnih agregata, smanjenja infiltracijske sposobnosti s posljedicom zamočvarivanja i stvaranja pokorice. Irigacijska erozija tla izaziva gubitak oraničnog horizonta, a njegova sedimentacija na drugim mjestima, primjerice u kanalima i rijekama, može narušiti hidrauličke značajke vodotoka.

Na takva fizikalna oštećenja nadovezuju se i kemijska. Jedan od najvećih nepovoljnih učinaka i problema kemijskog oštećenja tala u uvjetima navodnjavanja jest zaslanjivanje i alkalizacija, pad sadržaja humusa, onečišćenje tla ostacima pesticida, te onečišćenje tla teškim metalima. Od nabrojanih problema, naročito ozbiljan i teško rješiv je problem smanjenja razine humusa, te onečišćenje teškim metalima, posebice bakrom i kadmijem (kancerogeni i mutageni).

Zaslanjivanje tla je proces nakupljanja soli u rizosferi do koncentracija koje štetno djeluju na rast i razvoj kulturnog bilja. Do toga dolazi u područjima gdje na raspolaganju nema dostatnih zaliha kvalitetne vode (pogotovo u priobalju), a proizvodnja je bez navodnjavanja neostvariva. S gledišta utjecaja na pedosferu naročito su osjetljiva tla na nagnutim terenima sklona eroziji (što je slučaj u Primorsko-goranskoj županiji), zatim tla lošijih fizikalnih karakteristika i slabije propusnosti za vodu, krška polja sa slabijom mogućnošću učinkovite odvodnje i priobalna područja zbog mogućnosti intruzije morske vode.

Degradacija bioloških osobina tla uočava se kroz narušen odnos i broj mikroorganizama.

Tlo se ipak može smatrati uvjetno obnovljivim prirodnim resursom jer se odgovarajućim zahvatima može postići stanje koje odgovara prirodnim značajkama određenog tipa tla. Neobnovljiva su pak oštećenja ona koja se ne mogu eliminirati u jednoj generaciji i odnose se na trajni gubitak tla za biljnu proizvodnju. To znači da i potpuno uništeno tlo nije apsolutno neobnovljivo, ali ga je nemoguće obnoviti u jednoj generaciji.

Za sprečavanje štetnih posljedica od navodnjavanja ali i drugih onečišćenja neophodno je uspostavljanje sustava monitoringa stanja tla, uspostava učinkovitog sustava nadzora kao i reguliranje uvjeta primjene alternativnih izvora vode u navodnjavanju (industrijske i komunalne otpadne vode, gnojnica i dr.). Također treba uzeti u obzir činjenicu da se pravilnim izborom sustava navodnjavanja, njegovim gospodarenjem i odgovarajućim tehnologijama uzgoja, mogućnosti onečišćenja mogu reducirati na tolerantnu razinu.

Prenamjena površina i promjena ekosustava za potrebe poljoprivrede, a uz to i uz primjenu navodnjavanja, izravno utječe i na biosferu. Sekundarni ili indirektni utjecaji na biosferu kao posljedica navodnjavanja mogu se pojaviti kod izrazitog sniženja razine podzemnih voda čime se narušavaju biološki uvjeti u ekosustavu, a treba uvažiti i druge promjene vezane uz vlažnost i temperaturu zraka i tla.

4.2. Održiva poljoprivreda

Osim izravnih onečišćenja okoliša, konvencionalna poljoprivreda je uzrok i drugim ekološkim degradacijama, poput smanjenja biološke raznovrsnosti i gubitka biljnih i životinjskih vrsta. Zbog svih navedenih problema i negativnih učinaka konvencionalne (intenzivne) poljoprivrede dolazi se do spoznaje o štetnom utjecaju poljoprivrede na tlo i vodu, a posljedica toga je aktualiziranje održivog razvoja poljoprivrede (osamdesetih godina prošlog stoljeća) prema ekološkim načelima. Takvi koncepti razvoja poljoprivrede osobito su prihvatljivi unutar zaštitnih zona izvorišta

pitke vode. Održiva poljoprivreda koncipirana je tako da štiti tlo, vodu, biljne i animalne genetske resurse, nije za okoliš degradirajuća, tehnički je primjerena, ekonomski opstojna, a socijalno prihvatljiva (prema http://www.pfos.hr/~vladimir/Fertilizacija/fertilizacija_01.pdf). Ona uključuje nekoliko manje ili više standardiziranih kompleksnih postupaka, koji imaju slijedeće odlike:

- održati ili povećati plodnost tla
- smanjiti ulaganja u gospodarstva
- smanjiti rizike za okoliš
- održati dostignutu razinu i trend rasta produkcije

U okviru FAO izdana je publikacija pod naslovom "Međunarodne okvirne smjernice za vrednovanje održivog gospodarenja tlom (FESLM-International Framework for Sustainable Land Management), (Smzth i Dumanski, 1993), ukazuje se na potrebu primjene odgovarajućih tehnologija i mjera za djelotvornije gospodarenje tlom koje je održivo na dugi rok. Suštinska razlika u odnosu na konvencionalnu-intenzivnu proizvodnju je: znanje umjesto inputa. Ne koriste se šablone, već se sustav gospodarenja prilagođava uvjetima proizvodnje. Ključnu ulogu u sustavu ima obrada tla, čija uloga je prvenstveno održavanje plodnosti tla na duže razdoblje, putem zaštite tla i vode, održavanje sadržaja organske tvari u tlu, održavanje strukture i stabilnosti pora, te zaštita od erozije.

FAO definira i integralnu zaštitu bilja kao sustav koji koristi sve ekološke i toksikološki opravdane metode u cilju održavanja napada štetočina i bolesti ispod ekonomskog praga odluke, pri čemu prednost ima korištenje prirodnih čimbenika koji ograničavaju njihovu pojavu. Temelj pak koncepta integralne ishrane bilja je održavanje i podešavanje plodnosti tla i zaliha hraniva na onoj razini kojom se postiže željena proizvodnja, uz optimalno iskorištenje svih izvora biljnih hraniva. To podrazumijeva ekološki kontroliranu proizvodnju, od uvjeta u tlu, do kvalitetne namirnice. Može se provoditi samo uz primjenu kontrole plodnosti tla koja omogućava racionalnu primjenu hraniva na bazi egzaktnih analitičkih podataka, odnosno dobro poznavanje zaliha biogenih elemenata u tlu, te svih fizikalno-kemijskih karakteristika tla i ostalih eko-faktora koji djeluju na produktivnost staništa. Preporuča se također korištenje svih zaliha hraniva u jednom sustavu proizvodnje (zatvoreni ciklusi) uz minimalno korištenje vanjskih inputa. Nadalje, primjena kombinacije mineralnih i organskih gnojiva, biljnih ostataka, komposta i fiksatora dušika treba biti u skladu sa sistemom korištenja tla, te ekološkim, socijalnim i ekonomskim uvjetima proizvodnje.

Za održavanje razine hraniva u tlu i planirane visine uroda, važna je kontrola unosa i gubitaka hraniva, odnosno njihovo bilansiranje. Takav način gospodarenja predviđen je u Hrvatskoj Pravilnikom o zaštiti

poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja štetnim tvarima, koji navodi: "Gnojidba mineralnim gnojivima mora se temeljiti na načelima integralne biljne proizvodnje, osobinama staništa, stupnju opskrbljenosti poljoprivrednog tla hranivima, potrebama pojedine kulture za hranivima i planiranim prinosima, te mora biti u skladu s preporukama poljoprivredne službe" (N.N. br. 15, 1992).

Na razmjerno malom prostoru Hrvatske mogu se izdvojiti tri geografsko-pedološke cjeline: Panonska regija, Gorska regija i Mediteranska regija, koje se razlikuju po svojoj geološko-litološkoj građi, klimi i vegetacijskom pokrivaču. U nekim podregijama postoje potencijalni i stečeni uvjeti za nastavak konvencionalne poljoprivredne proizvodnje, dok se u nekim podregijama već praktično primjenjuju principi integralne poljoprivrede. U području Panonske regije (černozem, eutrično smeđe tlo, lesivirano i pseudoglejno tlo), gdje se do sada odvijala intenzivna proizvodnja hrane uz primjenu visokih doza mineralnih gnojiva (220-275 kg/ha aktivne tvari) zasigurno će se nastaviti proizvodnja na konvencionalnim osnovama. Istovremeno, manji posjedi na obroncima gorja vrlo su pogodni za proizvodnju ratarskih i provrtnih kultura na principima integralne poljoprivrede. Veliki dio poljoprivrednih površina Gorske i Mediteranske regije (područje krša) idealan je upravo za tu proizvodnju, jer su to relativno ekološki "čista" tla, sa niskom prosječnom primjenom mineralnih gnojiva (razina 40-50 kg/ha aktivne tvari godišnje). Uz povoljan odnos biljne i animalne proizvodnje, koja u ovim krajevima ima dugu tradiciju, proizvodi s ovog područja Hrvatske mogli bi se uspješno plasirati u turističkim područjima Hrvatske ili izvoziti. Tlo i klima ovog područja pogoduju posebice proizvodnji kvalitetnog voća, povrća i vinove loze.

Može se na kraju zaključiti da poljoprivredna proizvodnja (čak i intenzivna) i kvaliteta voda ne moraju biti u kontradikciji ako se primjenjuju sljedeće smjernice (Nestroy 1994):

- Redovito bilanciranje dušika i fosfora, primjereno značajkama tla.
- Voditi računa o pravilnom izboru gnojiva.
- Gnojidbu vršiti u suglasju sa zahtjevima biljke, na temelju podataka o opskrbljenosti tla biljci pristupačnim hranjivima, uz stalnu i neprekidnu kontrolu minimalnog sadržaja dušika.
- Razdoblje sa golim tlom skratiti na minimalnu razinu i na taj način smanjiti eroziju tla vodom.
- Osnovati što više zelenih površina, kako bi se povećalo biološko vezanje, a smanjilo ispiranje dušika i gubitak površinskog sloja tla erozijom.
- Što bolje održavati ostale nasade na vodozaštitnom području.
- Ne dopustiti držanje stoke u broju većem od 3,0 uvjetnih grla/ha.
- Prostor za odlaganje gnoja zabrtviti tako da se spriječi penetracija nitrata iz gnojovke i stajskog gnoja u okoliš.

4.3. Planiranje razvoja navodnjavanja na području Primorsko-goranske županije

Pri izradi Plana navodnjavanja Primorsko-goranske županije (GF Rijeka 2006) vodilo se računa i o ograničenjima u mogućnostima realizacije razvoja navodnjavanja na tom području. Ta su ograničenja vezana uz količine raspoloživih voda, mogućnosti njene distribucije, karakteristike i uvjete tla, te infrastrukturna ograničenja. Posebna pozornost posvećena je prostornim ograničenjima kao što su zone sanitarne zaštite izvorišta pitke, kao i zaštićenim cjelinama prirodnih i spomeničkih značajki .

Kao što je već ranije rečeno, glavna problematika onečišćenja vodotoka Primorsko-goranske županije obuhvaćena je u okviru najznačajnijih izvorišta iz kojih se stvaraju površinski tokovi Rječine, Kupe, Kupice i Čabranke. Ovi vodotoci, iako raspoređeni u vode prve vrste, namijenjene za piće ili uzgoj plemenite ribe, istodobno su prijemnici otpadnih voda iz naselja, manjih industrijsko-zanatskih pogona, poljoprivrednih površina i stočarskih objekata. Zbog toga intenzivniji razvoj navodnjavanja nije predviđen u zaštićenim područjima (nacionalni park, park prirode i druga zaštićena područja), odnosno zonama sanitarne zaštite izvorišta pitke vode gdje postoje propisana ograničenja u pogledu tipa poljoprivrednih aktivnosti.

Osim toga, kako analizirane krške prostore karakterizira bogatstvo, ali i velika i vrlo nepovoljna prostorno-vremenska rasprostranjenost voda, s minornom ili potpunom nemogućnošću neposrednog zahvata vode za navodnjavanje iz prirodnih vodotoka ili podzemlja, sve planirane strukturalne zahvate koji bi trebali osigurati preraspodjelu voda iz prirodnog ciklusa nužno je projektirati vodeći računa o osiguranju ekološki prihvatljivog protoka u površinskim vodotocima, odnosno voditi računa o potrebi osiguranja priobalnih vodonosnika od prodora zaslanjenja. Te i druge potencijalno negativne antropogene učinke na održivi razvoj područja Planom je predviđeno minimalizirati različitim strukturalnim i nestrukturalnim mjerama, a naglašena je i potreba prelaska sa konvencionalne na ekološku poljoprivredu, čime se planira primjerenije - održivo korištenje prirodnih resursa. Da bi se ostvarili željeni rezultati u pogledu razvoja poljoprivrede na prostoru Primorsko-goranske županije a ujedno i zaštitili vodni resursi i druga štice područja, ocijenjeno je da se za realizaciju Plana navodnjavanja mora osigurati legalno i nadzirano korištenje izvora (zahvata) vode, zatim organizacija, informiranje i obučavanje poljoprivrednih proizvođača koji koriste navodnjavanje i primjena tehnologija proizvodnje hrane koje minimalno zagađuju okoliš. Ista će se pravila primjenjivati i na detaljnije projekte koji će se odobravati temeljem Plana navodnjavanja Primorsko-goranske županije.

5. ZAKLJUČAK

Ljudske djelatnosti imaju značajan utjecaj na vodne resurse, te je stoga i njihov razvoj na krškim područjima potrebno uskladiti s principima održivog razvoja. Posebno se to odnosi na slivna područja krških vodonosnika, koji zbog svog položaja, kakvoće vode te hidroloških značajki imaju karakter strateških vodnih rezervi. Zbog sve većih antropogenih utjecaja, te složenosti pojave i dinamike kretanja površinskih i podzemnih voda i pronosa onečišćenja, princip osiguranja održivog razvoja na krškim prostorima postao je praktički jedina moguća alternativa pri planiranju i upravljanju vodnim resursima. Posebno se to odnosi na razvoj poljoprivrede unutar zaštitnih zona izvorišta pitke vode gdje intenziviranje poljoprivredne proizvodnje, pogotovo u uvjetima razvoja navodnjavanja, donosi velike rizike po onečišćenje vodnih resursa, ali u nekontroliranim uvjetima i kritično smanjenje njihovih zaliha tijekom sušnih razdoblja (smanjenje minimalnih protoka u otvorenim vodotocima, smanjenje razine vode u vodonosnicima koje u priobalju može dovesti i do njihova zaslanjenja).

U danom je radu analizirana problematika međuodnosa zaštitnih zona, izvorišta vode za piće i poljoprivrede, odnosno razvoj navodnjavanja na primjeru područja Primorsko-goranske županije. Utvrđena je izuzetna složenost toga međuodnosa, koja rezultira potrebom da se planirani razvoj navodnjavanja optimalno prilagodi prostornim mogućnostima, kao i uvjetima maksimalne zaštite vodnih resursa.

6. DOKUMENTACIJA

1. Agronomski fakultet u Zagrebu (2006): Nacionalnom planu navodnjavanja u Republici Hrvatskoj (NAPNAV), Arhiva teh. dokumentacije Agronomskog fakulteta. Zagreb
2. Biondić, B., Dukarić, F. (1993): Vodni resursi općine Rijeka. Hrvatske vode, 1/3, 185-190, Zagreb.
3. Biondić, B., Brkić, Ž., Biondić, R. (1996): Vodnogospodarska osnova Republike hrvatske. Hidrogeologija I faza. Arhiva Hrvatske vode Zagreb.
4. Biondić, B. (1996): Zaštita izvorišta pitke vode u Istri. Hidrogeološka istraživanja. Arh. IGI, Zagreb.
5. Bonacci, O. (1987): Karst hydrology. Springer Verlag, Berlin.
6. Bonacci, O., Magdalenić, A. (1993): The Catchment Area of the Karst Spring Sv. Ivan in Istria (Croatia). Ground Water, Vol. 31., No 5, pp. 767 - 773, Dublin, USA.

7. Bonacci, O. (2004a). Brane i akumulacije - preduvjet blagostanja ili uzroci katastrofa?!. Hrvatska Vodoprivreda XIII(139-140): 25 - 29.
8. Bonacci, O. (2004b). Posebnosti krških vodonosnika. Građevinski Godišnjak '03/'04. Hrvatski savez građevinskih inženjera, Zagreb: 89-197.
9. Bonacci, O. (2004c): Interakcija prometnica, okoliša i vode u uvjetima krša. Ceste i mostovi 50 (7-9).
10. Bonacci, O. (2004d). Hazards caused by natural and anthropogenic changes of catchment area in karst. Natural Hazards and Earth System Sciences 4(5 - 6):655 - 661.
11. Boulding, R.J.(1995): Practical Handbook of Soil, Vadose Zone, and Groundwater Contamination: Assessment, Prevention, and Remediation. Lewis Publishers, 948 str
12. Cvijić, J. (1893): Das Karstphänomen. Versuch einer morphologischen Monographie. Geogr. Abhandl. (Penck), (B), 5/3, 1-114, Stuttgart.
13. Cvijić, J. (1901): Morphologische und glaziale Studien aus Bosnien, der Hercegovina und Montenegro II Teil: Die Karstpoljen. Abhandl. geogr. Ges., 3/2, 1-85, Wien.
14. FAO (1976): A framework for land evaluation, Soil Bull. No. 32. FAO, Rome and ILRI, Wageningen. Publ. No. 22.
15. Fritz, F., Ramnjak, T. (1992): Zaštitne zone izvorišta pitkih voda u kršu. Građevinar, 44/5, 333-337, Zagreb.
16. Fritz, F. (1993): Hidrogeološki pristup zoniranju zaštitnog područja izvorišta voda u kršu Hrvatske (neobjavljen rad).
17. Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci; Hrvatsko društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje. (1995): Priručnik za hidrotehničke melioracije, II. kolo, knjiga 4, Rijeka.
18. Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci; Hrvatsko društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje. (1996): Priručnik za hidrotehničke melioracije, II. kolo, knjiga 5, Rijeka.
19. Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci; Hrvatsko društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje. (1999): Priručnik za hidrotehničke melioracije, II. kolo, knjiga 7, Rijeka.
20. Građevinski fakultet Rijeka (voditelj Nevenka Ožanić). (2006): Plan navodnjavanja Primorsko-goranske županije, Arhiva teh. dokumentacije Građevinskog fakulteta. Rijeka.
21. Gruber, Th. (1781): Briefe hydrographischen und physicalischen Inhalts aus Krain J.P. Krauss, 162 str., Wien,
22. Grund, A. (1903): Die Karsthydrographie, Studien aus Westbosnien.

- Geogr. Abhandl. (Pencks), 7/3, 103-300, Wien.
23. Hacquet, B. (1778-1789): *Oryctographia Carniolica oder physikalische Beschreibung des Herzogthums Krain, Istrien und zum Theil der benachbarten Länder*. Vol. 1 -IV, Leipzig.
 24. Herak, M., Magaš, B. Sarić, A. (1973): Hidrogeološka, geomorfološka i hidrotehnička bibliografija krša Jugoslaviji (1689-1972). *Vodoprivredni problemi krša*. Bilten Poslovne zajednice za izučavanje vodoprivredni problemi krša, 4, 209 str., Sarajevo.
 25. Katzer, F. (1909): *Karst und Karsthydrographie*. Zur Kunde der Balkanhalbinsel, 8, 1-88, Sarajevo.
 26. Linić, A. (1999): *Vodoopskrba Rijeke i okolice, Rječina i Zvir - regulacija i revitalizacija*, Državni arhiv u Rijeci, Rijeka.
 27. Magdalenić, A. (1988): *Zone sanitarne zaštite izvora Bulaž u Istri*, Arh. RGN fakultet, Zagreb.
 28. Magdalenić, A., Bonacci, O. (1992): *Sliv izvora Sv. Ivan u Istri. Zone sanitarne zaštite. Hidrogeološka i hidroloska studija*. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
 29. Magdalenić, A., Bonacci, O., Vazdar, T., Hlevnjak, B. (1993): *Zone sanitarne zaštite izvora Gradole u Istri. Hidrogeološka i hidrolološka studija*, Arh. RGN fakultet, Zagreb.
 30. Narodne novine (1986): *Pravilnik o zaštitnim mjerama i uvjetima za određivanje zona sanitarne zaštite izvorišta voda za piće*, NN 22/86.
 31. Narodne novine (1994): *Zakon o zaštiti prirode*, N.N. 30/94.
 32. Narodne novine (2002): *Pravilnik o utvrđivanju zona sanitarne zaštite izvorišta*, NN 55/02.
 33. Narodne novine 55/2002.: *Pravilnik o utvrđivanju zona sanitarne zaštite izvorišta*, N.N. 55/02.
 34. Narodne novine (2005): *Zakon o zaštiti prirode*, N.N. 70/05.
 35. Narodne novine (2005): *Zakon o vodama*, NN 107/95 i 150/05.
 36. Nestroy, O. (1994): *Poljoprivreda i zaštita voda u protuslovlju? Znanstveni skup - Poljoprivreda i gospodarenje vodama, Bizovačke toplice*.
 37. Pilar, Gj. (1874): *Beitrag zur Lösung der Wassernothfrage im kroatischen Karst*. Albrecht i Fiedler, 135-160, Zagreb.
 38. Službene novine PGŽ (1994); (1995); (1996); (2001): *Odluka o sanitarnoj zaštiti izvora vode za piće na riječkom području broj 6/94, 12/94, 12/95, 24/96, 04/01*.
 39. Stache, G. (1864): *Die Wasserverhältnisse von Pirano und Dignano in Istrien*. Verh, geol. Reichsanst, 19, 141-146, Wien.

40. Šumanovac, F. (2002): Geofizička ispitivanja na otocima - Susku, Molatu i Dugom otoku. Arh. Hrvatske vode Zagreb.
41. Tietze, E. (1874): Geologische DarsteUung der Gegend zwischen Karlstadt in Kroatien und dem nördlichen Theils des Kanals Morlacca. Mit. besonderer Rücksicht auf die hydrographischen Verhältnisse jener Gegend und die Karstbildung im Allgemeinen Albrecht & Fiedler, 71-131. Zagreb.
42. Urumović, K. (1986.): Vremenski kriterij kod određivanja zaštitnih zona
43. Urumović, K.; Vlahović, T. (1998): Promišljanje zaštite podzemnih voda u krškim predjelima. Zbornik radova okruglog stola - Voda na hrvatskim otocima, Hvar.
44. Urumović, K., Vlahović, T. (1999): Hidrogeološka studija. Interpretacija učinka zagađenja u Obrovu na izvore središnje Istre. Arh. Hrvatske vode, Zagreb.
45. Valvasor, J. W. (1689): Die Ehre des Herzogsthums Krain. Endter, I Buch 696 pp; II Buch 835 pp; III Buch 730 pp; IV Buch 610 pp., Nürnberg.
46. Vlahović, T., Brkić, Ž., Pekaš, Ž. (2003): Postojeće stanje i novi aspekti u planiranju zaštite podzemnih voda u R Hrvatskoj. 3. Hrvatska konferencija o vodama "Hrvatske vode u 21. stoljeću", Osijek.
47. Vlahović, T. (2003): Određivanje vodozaštitnih područja izvorišta vodoopskrbe u kršu. Zbornik radova - Praktična hidrologija - seminar, Zagreb.
48. Žugaj, R. (1993): Regionalna analiza hidroloških parametara u kršu - disertacija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
49. Wessely, J. (1876): Karstgebiet. Militär-Kroatiens und seine Rettung dann die Karstfrage ueberhaupt. Herausgegeben k. Generalkommando in Agram aus Landes-Verwaltungsberhörte der Croat.-Slavon. Militärgrenze, verfasst von Joseph Wessely, Commissions-Verlag- der Universität Buchhandlung Albert & fiedler, IX 357, Agram.
50. http://www.pfos.hr/~vladimir/Fertilizacija/fertilizacija_01.pdf

6

POGODNOST TLA ZA NAVODNJAVANJE U PRIOBALJU I KRŠKOM ZALEĐU HRVATSKE

Prof.dr.sc. Stjepan Husnjak
Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

1. UVOD	1
2. METODE RADA	1
3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA	1
3.2. Pogodnost tla za navodnjavanje na području priobalja i krškog zaleđa	1
3.2.1. Kriteriji procjene	1
3.2.2. Rezultati procjene	1
4. ZAKLJUČCI	1
5. DOKUMENTACIJA	1

1. UVOD

Za potrebe izrade ovog rada područje priobalja i krškog zaleđa definirani su kao prostor koji započinje s pojavom vapneno dolomitnih stijena, odnosno kao prostor južnije od pravca Duga Resa - Krnjak - Cetingrad, slika 1. Ukupna površina tako izdvojenog kopnenog područja iznosi 2.726.476,0 ha što predstavlja 48,9% od ukupne površine Hrvatske. Od toga, na poljoprivredno zemljište otpada 932.672,5 ha ili 34%. Na područje pod šumom otpada 1.385.599,0 ha ili 51 %. Preostali dio otpada na gole stijene, vode i naselja.

Na istraživanom prostoru u cijelosti se prostire sedam županija i to Istarska, Primorsko-goranska, Ličko-senjska, Zadarska, Šibensko-kninska, Splitsko-dalmatinska i Dubrovačko-neretvanska, te znatnim dijelom Karlovačka županija.

To je prostor izrazite morfološke razvedenosti s čestom pojavom naročito posebnih oblika reljefa kao što su vrtače, jame, ponori, krška polja, kompozitne udoline, i dr. Karakterizira ga još i slabo razvijena površinska hidrografska mreža te dreniranost terena koja se zbiva uglavnom podzemnim vodama.



Slika 1.: Područje priobalja i krškog zaleđa u Republici Hrvatskoj

Na području priobalja i krškog zaleđa suočavaju se i sukobljavaju različite, pa i međusobno isključive i suprotstavljene upotrebe prostora. Posebno je priobalno područje krša zbog svojih estetskih i prirodnih značajki, povoljnih klimatskih karakteristika i sl., visoko vrijedno područje s izrazitim razvojnim mogućnostima.

Poljoprivredne površine koje zauzimaju oko 48% istraživanog područja, predstavljaju prirodni potencijal od strateške važnosti za daljnji gospodarski razvitak ovog područja. Nedvojbeno je stoga da ih je potrebno iskoristiti za učinkovitiju poljoprivrednu proizvodnju pri čemu jedan vid buduće proizvodnje treba predstavljati i navodnjavanje poljoprivrednog zemljišta.

Temeljni cilj ovog rada bio je prikazati osnovne značajke tla i njihovu pogodnost za navodnjavanje u priobalju i krškom zaleđu Hrvatske, kako bi se došlo do korisnih podataka u okviru daljnjeg planiranja navodnjavanja poljoprivrednog zemljišta na istraživanom području.

2. METODE RADA

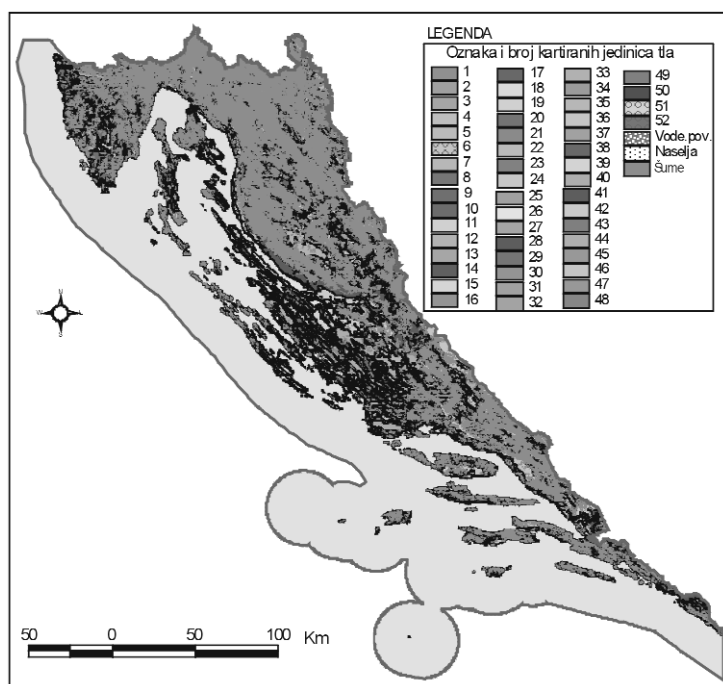
Za potrebe izrade ovog rada korištena je Namjenska pedološka karta poljoprivrednog zemljišta Republike Hrvatske mjerila 1:500.000 (Husnjak i sur. 2005) te Karta pogodnosti tla za navodnjavanje Republike Hrvatske u mjerilu 1:500.000 (Husnjak i sur., 2005), obje u digitalnom obliku. Digitalna granica područja priobalja i krškog zaleđa predstavlja područje definirano prema slici 1. U radu je korišten programski paket NT ArcInfo kao alat GIS-a (ESRI, 1998). Procjena sadašnje pogodnosti tla za navodnjavanje izvršena je prema FAO metodi (FAO 1976, Vidaček 1981).

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

3.1. Značajke tla

U okviru izrade "Nacionalnog projekta navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama u Republici Hrvatskoj" (Romić i sur. 2005), prikazani su zemljišni resursi Hrvatske na temelju Namjenske pedološke karte Republike Hrvatske u mjerilu 1:300.000 (Bogunović i sur., 1996). Navedena karta je tada nadopunjena tlima hidromelioriranim cijevnom drenažom, s time da su granice dreniranih tala uzete iz Hidropedološke karte Republike Hrvatske (Vidaček i sur., 2005). Za razgraničenje poljoprivrednih površina u odnosu na površine pod šumama, korištena je Karta staništa Republike Hrvatske (xxx 2004) mjerila 1:100.000. Za potrebe navedenog projekta ta je karta bila generalizirana sukladno mjerilu karte 1:500.000. Površine pod šumama ili površine šumskih ekosustava u generaliziranoj karti staništa podrazumijevaju površine prekrivene bjelogoričnom, crnogoričnom i mješovitom šumom te površine pod makijom. Integracijom korigirane Namjenske pedološke karte s generaliziranom kartom staništa, te daljnjim isključivanjem površina pod vodom i naseljima, izrađena je Namjenska pedološka karta poljoprivrednog zemljišta Republike Hrvatske u mjerilu 1:500.000.

Za potrebe izrade ovog izvještaja izvršeno je preklapanjem navedene Namjenske pedološke karte poljoprivrednog zemljišta RH s granicom priobalja i krškog zaleđa, temeljem čega je izrađena Namjenska pedološka karta poljoprivrednog zemljišta za područje priobalja i krškog zaleđa u mjerilu 1:500.000, slika 2.



Slika 2:
Namjenska
pedološka karta
poljoprivrednog
zemljišta
za područje pri-
obalja i krškog
zaleđa

Prema postojećoj klasifikaciji, tla Hrvatske se prvo dijele na četiri odjela. Analizom spomenute karte i inventarizacijom površina, utvrđeno je da su na području priobalja i krškog zaleđa dominantno zastupljena tla iz odjela Automorfni tala, koja ukupno zauzimaju 93,15% površine u odnosu na ukupnu površinu tala na tom području, tablica 1.

Naziv odjela tla	Površina	
	ha	%
Automorfna tla	868.773,1	93,15
Hidromorfna tla	63.509,7	6,81
Halomorfna tla	296,1	0,03
Subakvalna tla	93,6	0,01
UKUPNO	932.672,5	100,00
Stjenovitost	384.362,0	
Vodene površine	12.115,4	
Naselja	11.727,1	
Šume	1.385.599,0	
SVEUKUPNO	2.726.476,0	

Tablica 1: Površina pojedinih razdjela tla na području priobalja i krškog zaleđa

U Automorfna tla uključena su sva tla čiji postanak i razvoj karakterizira vlaženje samo oborinskom vodom, pri čemu nema dužeg zadržavanja suvišne vode u profilu tla.

Tla iz odjela Hidromorfni tala zauzimaju znatno manje odnosno svega 6,81% od ukupne površine tla. U ovaj razdjel uključena su ona tla koja imaju izražene znakove prekomjernog vlaženja zbog povremenog viška oborinske vode u profilu tla. Višak vode u tlu javlja se kao posljedica oborinskih voda koje stagniraju na slabo propusnom ili/i nepropusnom horizontu te dopunskih vode (poplavnih, slivenih i podzemnih voda koje nisu zaslanjene niti alkalizirane), a koja potječu s drugog mjesta i koje povećavajući ukupne količine vode u profilu uzrokuju prekomjerno vlaženje dužeg ili kraćeg trajanja.

Tla iz odjela Halomorfni tala ima vrlo malo, a zauzimaju svega 296,1 ha što predstavlja samo 0,03% od ukupne površine tla. Karakterizira ih također prekomjerno vlaženje prvenstveno visokom podzemnom vodom koja je zaslanjena ili/i alkalizirana.

Najmanju površinu zauzimaju tla iz odjela Subakvalni tala. Karakterističan je postanak i razvoj tih tala koji se odvija pod plitkim vodnim pokrivačem voda stajačica (plićaci jezera, bara i morskih priobalnih predjela). Zauzimaju svega 321 ha ili 0,01% od ukupne površine tla Hrvatske. Najveći dio tih tala nalazi se izvan šumskih ekosustava.

Daljnjom analizom i obradom utvrđeno je javljanje 24 tipa tla koji se na Namjenskoj pedološkoj karti poljoprivrednog zemljišta priobalja i krškog zaleđa prikazuju u okviru složenih zemljišnih kombinacija ili kartiranih jedinica tla. Ukupno su izdvojene 52 kartirane jedinice tla a njihova rasprostranjenost se prikazuje na slici 2.

Legenda karte, odnosno sastav i struktura kartiranih jedinica tla, ukupna površina kao i njihove osnovne značajke prikazane su u tablici 2.

Tablica 2: *Legenda i osnovne značajke kartiranih jedinica tla Namjenske pedološke karte poljoprivrednog zemljišta u priobalju i krškom zaleđu*

Broj k.j.	Kartirane jedinice tla		Osnovne značajke kartiranih jedinica							Površina u ha
	Dominantna	Sastav i struktura	Stjenovi tost u %	Kameni tost u %	Nagib u %	Ekološka dubina tla u cm	Drenirnost tla	Dominantni način vlaženja		
		Ostale jedinice tla								
1	Eutrično smeđe	Lesivirano, Aluvijalno livadno (semigle), Močvarno glejno	0	0	0-1	>100	dobra	semiglejni	1975,1	
2	Aluvijalno (fluvisol) obranjeno od poplava	Aluvijalno livadno, Aluvijalno plavljeno, Močvarno glejno	0	0	0-1	40-200	dobra	semiglejni	9034,5	
3	Rigolano na praporu	Eutrično smeđe na praporu	0	0	5-15	50-100	dobra	automorfni	1183,0	
4	Lesivirano na praporu	Pseudoglej, Eutrično smeđe, Močvarno glejno, Koluvi	0	0	0-10	70-150	umjereno dobra	automorfni	330,2	
5	Lesivirano pseudoglejno na praporu	Lesivirano tipično, Pseudoglej, Močvarno glejno, Distrično smeđe na praporu	0	0	3-15	70-150	umjereno dobra	automorfni	651,5	
6	Hidromeliorirano	Aluvijalno (fluvisol)	0	0	0-1	50-100	slaba	amfiglejni	13122,8	
7	Koluvi s prevagom sitnice	Močvarno glejno, Aluvijalno livadno, Pseudoglej	0	0	0-3	50-100	umjereno dobra	automorfni, amfiglejni	7414,3	
8	Crvenica lesivirana	Distrično smeđe na reliktnoj crvenici, Smeđe na vapnencu, Lesivirano akrično, Crnica vapnenačko dolomitna	0-3	0	0-5	70-200	dobra	automorfni	4480,2	
9	Crvenica lesivirana i tipična duboka	Smeđe na vapnencu, Crnica vapnenačko dolomitna	0-1	0	0-3	50-100	dobra	automorfni	74655,6	
10	Rendzina na laporu (flišu) ili mekim vapnencima	Rigolana tla vinograda, Sirozem sliktatno karbonatni, Lesivirano na laporu ili praporu, Močvarno glejno, Eutrično	0	0	8-30	30-150	dobra	automorfni	49282,1	

13	Smonica (vertisol) na laporu i mekom vapnencu	Antropogena tla, Rendzina na flišu, Sirozem silikatno karbonatni, Smeđe na vapnencu	0	0	5-20	50-150	nepotpun a	automorfni	3792,7
14	Eutrično smeđe na flišu ili mekom vapnencu	Rendzina na laporu, Lesivirano, Smeđe na vapnencu i dolomitu, Sirozem silikatno karbonatni	0	0	5-20	50-100	nepotpun a	automorfni	4433,9
15	Kambična tla na pijesku, pjeskovita	Lesivirano na pijesku, Pseudoglej na zaravni	0	0	0-5	30-70	ekcesivna	automorfni	360,7
16	Distrično smeđe na klastitima	Ranker regolitni, Lesivirano, Pseudoglej, Smeđe, podzolasto	0	0	10-35	50-90	dobra	automorfni	5725,1
17	Smeđe na dolomitu	Rendzina na dolomitu, Lesivirano na dolomitu, Distrično smeđe na reliktnoj crvenici	0-8	0-1	3-15	50-120	dobra	automorfni	13495,8
18	Pseudoglej na zaravni	Pseudoglej obronačni, Distrično smeđe na praporu, Lesivirano na praporu, Močvarno glejno	0	0	0-5	40-70	nepotpun a	pseudoglej i	300,5
19	Pseudoglej obronačni	Pseudoglej na zaravni, Lesivirano na praporu, Distrično smeđe, Močvarno glejno, Kolvij	0	0	3-15	70-150	umjereno dobra	pseudoglej i	1041,9
20	Antropogena na kršu	Smeđa tla na vapnencu i dolomitu, Crvenice, Crnica vapnenačko dolomitna, Kolvij	0-10	2-10	3-8	30-100	ponešto ekcesivna	automorfni	62060,3
21	Antropogena flišnih i krških sinklinata i kolvija	Rendzina na flišu (laporu), Sirozem silikatno karbonatni, Močvarno glejno, Pseudoglej obronačni, Kolvij	0-1	0-5	0-5	50-150	ponešto ekcesivna	automorfni	61557,9
22	Lesivirano tipično i akrično na vapnencu i dolomitu	Distrično smeđe na reliktnoj crvenici, Crvenica tipična i lesivirana, Rendzina na dolomitu	2-10	0	0-7	50-200	dobra	automorfni	17342,1

POGODNOST TLA ZA NAVODNJAVANJE U PRIOBALJU I KRŠKOM ZALEĐU HRVATSKE

23	Distrično smeđe na reliktnoj crvenici	Lesivirano akrično i tipično na vapnencu i dolomitu, Crvenica, Rendzina na dolomitu, Smeđe na vapnencu i dolomitu	2-5	0	0-5	70-150	dobra	automorfni	16170,3
24	Koluvij s prevagom detritusa stijena	Kamenjar, Rendzina, Smeđe na vapnencu, Crnica vapnenačko dolomitna	1-5	5-30	8-30	20-120	ekcesivna	automorfni	8592,9
25	Rendzina na šljunku	Kambična tla, Antropogena tla, Kamenjar, Koluvij	0-1	0-3	0-5	30-150	ponesto ekcesivna	automorfni	37996,1
26	Ranker na šljunku (Humusno silikatno)	Distrično smeđe tlo, Smeđe podzolasto	0-1	0-1	3-8	30-60	ponesto ekcesivna	automorfni	1293,5
27	Močvarno glejna	Tresetna, Subakvalna	0	0	0-1	20-50	vrlo slaba	amfiglejni	935,6
28	Niski treset	Močvarno glejno	0	0	0-1	10-20	vrlo slaba	hipoglejni	3453,4
29	Halomorfna	Pseudoglej-glej, Močvarno glejno	0	0	0-1	20-60	slaba	hipoglejni	592,2
30	Aluvijalna (fluvisol)	Močvarno glejna	0	0	0-1	50-120	neoptun a (dobra)	aluvijalni	3781,8
31	Močvarno glejna	Koluvij s prevagom sitnice, Rendzina na proluviju, Pseudoglej na zaravni, Pseudoglej-glej	0	0	0-1	20-90	slaba	amfiglejni i hipoglejni	14887,4
32	Močvarno glejna	Pseudoglej-glej, Pseudoglej na zaravni, Lesivirano na pretaloženom praporu	0	0	0-1	30-80	slaba	amfiglejni i hipoglejni	58,1
33	Močvarno glejna	Močvarno glejno vertično, Aluvijalno livadno	0	0	0-1	30-100	slaba	amfiglejni i epiglejni	159,9
34	Pseudoglej-glej	Pseudoglej na zaravni, Močvarno glejno, Lesivirano na praporu, Aluvijalno livadno (humofluvisol)	0	0	0-2	30-100	slaba	pseudoglej-glej	259,6
35	Rendzina na trošini vapnenca	Smeđe tlo na vapnencu, Crnica vapnenačko dolomitna, Crvenica, Kamenjar	50-90	5-30	15-45	20-30	ponesto ekcesivna	automorfni	27940,8
36	Distrično smeđe na metamorfima i klastitima	Ranker, Lesivirano na silikatnom nanosu	0-1	0-15	8-45	40-80	dobra	automorfni	887,8

37	Distrično smeđe na konglomeratu, pješčenjaku i škriljencu	Smeđe podzolasto s podzolom, Ran-ker regolitni, Smeđe na vapnencu	0-1	5-10	8-25	30-120	ponešto ekcesivna	automorfni	441,6
38	Eutrično smeđe na eruptivi-ma i drugim bazama bogatim nanosima	Ran-ker eutrični, Distrično smeđe, Lesivirano, Rendzina	20-30	10-30	16-45	30-80	ponešto ekcesivna	automorfni	12364,4
39	Kamenjar	Crnica vapnenačko dolomitna, Rend-zina, Smeđe na vapnencu, Crvenica	50-90	30-60	5-30	5-15	ekcesivna	automorfni	72972,7
40	Crvenica plitka i srednje duboka	Smeđe tlo na vapnencu, Vapneno dolomitna crnica, Antropogena	50-70	10-20	3-30	30-50	ponešto ekcesivna	automorfni	160684,7
41	Smeđe na vapnencu	Crnica vapnenačko dolomitna, Rendzina, Lesivirano na vapnencu, Crvenica, Rigolana tla krša, Eutrično smeđe, Sirozem na laporu	50-80	10-20	3-30	30-50	ponešto ekcesivna	automorfni	166767,1
42	Smeđe na vapnencu	Crvenica tipična i lesivirana, Crnica vapnenačko dolomitna, Rendzina na trošini	50-70	10-30	3-30	30-70	ponešto ekcesivna	automorfni	171415,5
43	Smeđe na vapnencu	Lesivirano na vapnencu, Crnica vapnenačko dolomitna, Rendzina, Koluvijski Rigolano	50-60	5-30	10-45	40-80	dobra	automorfni	53080,9
44	Lesivirano na vapnencu i dolomitu	Smeđe na vapnencu, Rendzina na vapnencu, Crnica vapnenačko dolomitna	50-70	10-20	3-30	50-90	dobra	automorfni	16436,9

POGODNOST TLA ZA NAVODNJAVAWE U PRIOBALJU I KRŠKOM ZALEĐU HRVATSKE

45	Smeđe na vapnencu	Antropogena tla terasa, Crvenica, Crnica vapnenačko dolomitna, Rendzina	20-50	10-30	8-30	30-60	ponešto ekcesivna	automorfni	5192,9
46	Crnica vapnenačko dolomitna	Smeđe tlo na vapnencu i dolomitu, Rendzina na trošini vapnenca, Lesivirano na vapnencu i dolomitu	30-50	20-40	16-45	10-30	ponešto ekcesivna	automorfni	104391,6
47	Rendzina na dolomitu i vapnencu	Smeđe tlo na vapnencu, Luvisol na vapnencu, Crnica vapnenačko dolomitna	5-20	3-5	3-15	20-50	ponešto ekcesivna	automorfni	66247,7
48	Smeđe podzolasto	Distrično smeđe, Podzol, Ranker regolitični	0-1	0	0-15	40-100	dobra	automorfni	10,2
49	Podzol	Smeđe podzolasto, Distrično smeđe na konglomeratima i pješčenjacima, Ranker regolitični	0-1	0	0-15	40-100	dobra	automorfni	70,4
50	Močvarno glejno vertično	Glejna, Tresetna	0	0	0-1	10-50	vrlo slaba	epiglejni	3108,5
51	Hipogleja	Hidromeliorirano drenažom iz	0	0	0-1	60-100	umjerena	Hidromeliorirani hipoglejni	967,0
		Aluvija oglejenog, Koluvijska oglejenog							
52	Močvarno glejnog vertičnog	Hidromeliorirano drenažom iz	0	0	0-1	10-50	vrlo slaba	Hidromeliorirani amfiglejni i epiglejni	692,5
		Amfigleja, Hipogleja							
UKUPNO ZA KARTIRANE JEDINICE TLA									
Vodene površine									1 317 034,5
Naselja									12115,4
Šume									11727,1
SVEUKUPNA POVRŠINA									1385599,0
									2 726 476,0

Na temelju tablice 2, utvrđena je zastupljenost pojedinih tipova tala u priobalju i krškom zaleđu, koja se prikazuje u tablici 3.

Tablica 3. Površina tipova tala u priobalju i krškom zaleđu Hrvatske

Broj i naziv tipa tla		Ukupno	
		ha	%
1.	Kamenjar (litosol)	24.287,8	2,60
2.	Silikatno karbonatni sirozem (regosol)	18.301,8	1,96
3.	Koluvijalna tla (koluvium)	23.360,20	2,50
4.	Vapneno dolomitna crnica (kalkomelanosol)	110.081,7	11,80
5.	Humusno silikatno tlo (ranker)	6.054,4	0,65
6.	Rendzina	143.682,0	15,41
7.	Smolnica (vertisol)	2.086,0	0,22
8.	Eutrično smeđe tlo (eutrični kambisol)	22.137,4	2,37
9.	Distrično (kiselu) smeđe tlo (distrični kambisol)	35.505,7	3,81
10.	Crvenica (terra rossa)	129.931,1	13,93
11.	Smeđe tlo na vapnencu (kalkokambisol)	191.862,6	20,57
12.	Lesivirano (ilimerizirano ili luvisol)	70.572,3	7,57
13.	Podzol	51,3	0,01
14.	Smeđe podzolasto (brunipodzol)	393,5	0,04
15.	Rigolano tlo (rigosol)	90.465,3	9,70
16.	Pseudoglej	9.194,4	0,99
17.	Aluvijalno (fluvisol)	10.136,5	1,09
18.	Aluvijalno livadno (humofluvisol)	3.670,2	0,39
19.	Pseudoglej-glej	1.761,5	0,19
20.	Močvarno glejno tlo (euglej)	22.703,90	2,43
21.	Tresetna tla (niski treset)	2.573,2	0,28
22.	Hidromeliorirano	13.470,0	1,44
23.	Solončak	296,1	0,03
24.	Subakvalna	93,6	0,01
Ukupno		932.672,5	100
Stjenovitost		384.362,0	
Vodene površine		12.115,4	
Naselja		11.727,1	
Šume		1.385.599,0	
Sveukupno		2.726.476,0	

Posebno se napominje da samo četiri tipa tla zauzimaju čak 61,7% površine. Od njih, najveću površinu zauzima smeđe tlo na vapnencu i dolomitu (kalkokambisol). Ukupna površina toga tipa tla iznosi 191.863 ha što predstavlja 20,6% u odnosu na ukupnu površinu. Po zastupljenosti zatim slijedi rendzina koja zauzima 15,4%, crvenica 13,9% te vapnenačko dolomitna crnica 11,8%. Ostala tla pojedinačno zauzimaju znatno manju površinu.

Daljnjom obradom kartiranih jedinica tla utvrđeno je javljanje 62 niže jedinice tla u odnosu na tip tla, a na temelju kojih je izvršena procjena pogodnosti tla za navodnjavanje (prikazano u drugom dijelu rada). Popis spomenutih sistematskih jedinica tla prikazuje se u tablici 4. U daljnjem tekstu se opisuju osnovne značajke glavnih tipova tala u Hrvatskoj.

Tablica 4: Popis sistematskih jedinica tla na području poljoprivrednog zemljišta priobalja i krškog zaleđa

Sistematske jedinice tla		Površina, ha
Šifra	Naziv	
A. AUTOMORFNA TLA		
1.	Kamenjar na vapnencu ili dolomitu	24.287,8
2.	Aluvijalno neoglejeno	2.710,3
3.	Sirozem na laporu	11278,5
4.	Sirozem na flišu	7.023,3
5.	Koluvij s prevagom detritusa	11.802,4
6.	Koluvij neoglejeni	7.835,9
7.	Crnica vapnenačko dolomitna	110.081,7
8.	Rendzina na laporu	28.241,0
9.	Rendzina na flišu	379,3
10.	Rendzina na mekim vapnencima	7.039,9
11.	Rendzina na šljunku	20.360,7
12.	Rendzina na trošini vapnenca	43.000,2
13.	Rendzina na trošini dolomita	44.660,9
14.	Ranker na šljunku	977,5
15.	Ranker na pješčenjaku, konglomeratu i škriljcu	146,3
16.	Ranker na klastitima	4.930,6
17.	Vertisol na laporu	1.137,8
18.	Vertisol na mekim vapnencima	948,2
19.	Eutrično smeđe na praporu	878,6
20.	Eutrično smeđe na holocenskim nanosima	9.624,6
21.	Eutrično smeđe na pijesku	72,1
22.	Eutrično smeđe na jezerskim sedimentima	6.616,3
23.	Eutrično smeđe na eruptivima	4.945,8
24.	Distrično smeđe na praporu	9.897,5
25.	Distrično smeđe na klastitima	9.523,2
26.	Distrično smeđe na crvenici	13052,4
27.	Distrično smeđe na pješčenjaku, konglomeratu i škriljcu	204,2
28.	Distrično smeđe na metamorfitima	355,1
29.	Distrično smeđe na eruptivima	2.472,9
30.	Crvenica plitka i srednje duboka	40.552,8
31.	Crvenica duboka	89.378,3
32.	Smeđe na dolomitu plitko i srednje duboko	6.747,4
33.	Smeđe na vapnencu plitko i srednje duboko	184.925,1
34.	Smeđe na vapnencu duboko	189,6
35.	Lesivirano na praporu tipično	904,4
36.	Lesivirano na praporu pseudoglejno	443,4
37.	Lesivirano na rastresitim sedimentima	7.538,8
38.	Lesivirano na ilovačama	6.654,4
39.	Lesivirano na vapnencu ili dolomitu	55.031,3
40.	Smeđe podzolasto	393,5
41.	Podzol	51,3
42.	Rigolano na praporu	709,8
43.	Rigolano na laporu	14.805,1
44.	Rigolano na koluviju	19.296,8
45.	Rigolano krša	55.654,0

B. HIDROMORFNA TLA		
46.	Koluvij oglejeni	3.721,9
47.	Aluvijalno oglejeno	7.426,2
48.	Semiglej	3.670,2
49.	Pseudoglej zaravni	5.643,9
50.	Pseudoglej obronačni	3.551,0
51.	Pseudoglej-glej	1.761,5
52.	Močvarno glejno	20.488,0
53.	Močvarno glejno vertično	2.215,9
54.	Niski treset	2.573,2
C. HIDROMELIORIRANA TLA DRENAŽOM		
55.	Hidromeliorirano drenažom, aluvijalno oglejeno	96,7
56.	Hidromeliorirano drenažom, hipoglejno	614,8
57.	Hidromeliorirano drenažom, amfiglejno	207,8
58.	Hidromeliorirano drenažom, močvarno glejno vertično	450,1
59.	Hidromeliorirano drenažom hidromorfno	12.052,3
60.	Hidromeliorirano drenažom koluvijalno oglejeno	48,3
D. HALOMORFNA TLA		
61.	Solončak	296,1
E. SUBAKVALNA TLA		
62.	Subakvalna	93,6
Ukupno		932.672,5
Stjenovitost		384.362,0
Vodene površine		12.115,4
Naselja		11.727,1
Šume		1.385.599,0
Sveukupno		2.726.476,00

Automorfna tla

Kamenjar (litosol) se javlja samo kao jedna sistematska jedinica (1). To je vrlo plitko skeletno tlo koje predstavlja rastrošenu stijenu u kojoj ima i nešto sitnice. Prvenstveno su rasprostranjena u području vanjskih Dinarida, a ponegdje i u području unutarnjih. Prema pogodnosti ovo su najnepovoljnija tla, jer imaju vrlo slaba pedofizikalna i pedokemijska svojstva. To su vrlo suha tla s vrlo niskim kapacitetom tla za vodu i razinom hranjiva.. Ova tla se rijetko u prostoru javljaju zasebno, već dolaze u mozaiku sa smeđim tлом (kalkokambisolom), vapneno dolomitnom crnicom (kalkomelanosolom) ili crvenicom (terra rossom).

Koluvijalna tla (koluvij) su dublja tla koja se akumuliraju u podnožju padina kao rezultat premještanja zemljišnog i skeletnog materijala niz padine (sistematske jedinice 5, 6 i 46). Spiranje različitog materijala, od skeleta do sitnice, uvjetuje i vrlo varijabilna svojstva ovih tala. U svakom slučaju, gornji i jače nagnuti pristranci su skeletniji, a donji i blaži imaju više sitnice pa se mogu koristiti kao oranična tla. U području krša koluvijalna tla su većinom duboka, ali i skeletna, ponekad i s preko 90% skeleta.

Sirozem na rastresitom supstratu (regosol) pojavljuje se u zoni fliša i erodibilnih lapora (sistematske jedinice 3 i 4). To su ogoljeli predjeli uvjetovani

vrlo jakom erozijom. Sa sirozema se odnosi sitnica (tlo), a niže se stvaraju koluvijalna tla. Prema pogodnosti, to su manje plodna tla u odnosu na koluvije i rendzine s kojima najčešće dolazi ovo tlo u nizovima, kao tipu građe zemljišne kombinacije.

Vapneno dolomitna crnica (kalkomelanosol) je plitko tlo, do 20-ak centimetara humusnog horizonta koji direktno ili preko regolita leži na vapnencu ili dolomitu (sistematska jedinica 7). Sporo trošenje podloge i propadanje (sufozija) stvorene sitnice kroz pukotine uvjetuje postanak pretežno plitkih tala. Kalkomelanosol u prostoru dolazi zajedno sa smeđim tlom na vapnencu i dolomitu, najčešće kao organomineralni i posmeđeni podtip. Ponešto ekcesivna dreniranost, dobra propusnost i mali kapacitet tla za vodu, uvjetuju da su ova tla vrlo suha do suha. Veličina segmenata tla ove jedinice je ispresijecana visokom stjenovitošću.

Rendzina je humusno akumulativno tlo A-C tipa građe profila koje se razvija supstratima kao što su vapnenac, dolomit, lapor i šljunak, (sistematske jedinice 8 do 13). U kršu su često skeletna s više od 50% skeleta. Najčešće su karbonatna, grublje teksture, propusna i dobrih vodozračnih odnosa. Dolaze u zemljišnim kombinacijama tipa niza zajedno s regosolom, koluvijem i eutrično smeđim tlom.

Ranker (humusno silikatno tlo) je također tlo A-C ili R stadija razvoja i predstavlja plitko tlo do 40-ak cm dubine prekriveno uglavnom šumom (sistematske jedinice 14 i 16). Zauzima pretežito brdska, gorska i planinska područja znatnih nagiba, na silikatnim kiselim i bazama bogatim sedimentima, što znači na čvrstim eruptivnim i metamorfnim stijenama, te klastičnim kiselim stijenama i njihovoj trošini. Često su skeletna, a mogu imati litični i regolitični kontakt s matičnom stijenom.

Smolnica (vertisol) je rijetko zastupljeno tlo u Hrvatskoj (sistematske jedinice 17 i 18). To je glinasto tlo A-C tipa građe profila koje ima vertične osobine, koje nasljeđuje iz kvalitete jezerskih sedimenata lapora ili trošine na mekim vapnencima.

Smeđe na vapnencu i dolomitu (kalkokambisol) razvija se na čistim mezozojskim vapnencima i dolomitima i tercijarnim vapnencima paleogena i neogena (sistematske jedinice 32, 33 i 34). Kalkokambisoli su vrlo varijabilna tla po dubini i skeletnosti. U području krša prevladavaju plitka tla produbljena pukotinama koje se isprepliću do znatne dubine. Intenzitet okršenosti vapnenca utječe na postotak skeleta (kamena) u tlu. Posebno su skeletni i kameniti kalkokambisoli kod paleogenih starijih razdoblja paleocena i donjeg eocena. Kamenitost kod ovih tala smanjuje ekološku dubinu tla, pa bez obzira na ukupnu dubinu, ova tla su većim dijelom plitke fiziološki aktivne dubine.

Crvenica (terra rossa) je kambično tlo mediteranskog podneblja (sistematske jedinice 30 i 31), koje za razliku od smeđeg tla ima crveniju boju (atlas

2,5YR i 10R) a vrijednosti value i chroma su veće od 3. Također je kod crvenice u odnosu na smeđe tlo na vapnencu uži odnos između SiO_2 i R_2O_3 . Crvenica je tlo koje dolazi na prostorima veće stjenovitosti, a manje kamenitosti i prvenstveno je rezultat kemijske rastrošbe čistih mezozojskih vapnenaca i dolomita. Manje dolazi u pukotinama, a više u širim ili užim džepovima. Crvenica je plodno tlo, posebno ako su segmenti (elementarni areali tla) tla duboki i široki. Javljaju se većinom pod makijom naših otoka i priobalnih pojasa primorja. Ako su plitka, onda su ponešto ekcesivna, nižih kapaciteta za vodu i hranjiva, pa je na njima rast i razvoj kultura usporen. Crvenica je glinasto tlo, zato je kapacitet držanja vode dosta visok. Crvenice su nekarbonatne, slabo kisele do neutralne reakcije, na oranicama s vrlo niskim sadržajem humusa, koji pod makijom može doseći do 3-5%, posebno na višim nadmorskim visinama. Razina fiziološki aktivnog fosfora je niska, što je karakteristično za sva tla na vapnencima i dolomitima. Na prostoru krša crvenica najčešće dolazi u izmjeni s plitkim, srednje dubokim i dubokim varijetetom. Ponekad se u alternaciji nalazi i smeđe tlo ili vapneno dolomitna crnica.

Eutrično smeđe tlo (eutrični kambisol) je tlo koje se javlja na laporu i praporu u specifičnim geomorfološkim uvjetima, zajedno s rendzinom i regosolom (sistematske jedinice 19 do 23). To je vrlo pogodno tlo za poljoprivredu na cijelom istraživanom području. Veća prostranstva ovih tala su većinom obrađena i nisu pod šumom. To su plodna tla, imaju odlična pedofizikalna svojstva, dobro drže vodu, duboka su, a jedan od nedostatak je što se dio tih tala nalaze na strmim pristrancima.

Distrično smeđe tlo (distrični kambisol) je tlo koje se javlja na različitim supstratima, uglavnom kiselim, kao što su pješčenjaci, pijesak, klastiti, metamorfiti, i dr. (sistematske jedinice 24-29). Plodnost im je vrlo heterogena, a ovisi o dubini, nadmorskoj visini, nagibu terena i dr. Iako su to pretežno tla pod šumama, znatan dio ih nalazimo i u poljoprivredi. Ta tla se obično nalaze na povoljnijim reljefskim pozicijama, nižim nadmorskim visinama, dublja su i teksturno pogodnija za poljoprivrednu proizvodnju.

Lesivirano (ilimerizirano) tlo javlja se kroz pet sistematskih jedinica (br. 35 do 39). Pojava ovog tipa tla je pravilno raspoređena, jer je tlo razvijeno na vapnencima i dolomitima, ali i na svim ostalim rastresitim sedimentima silikatno karbonatnih i bazama bogatih silikatnih trošina. To je jako diferencirano tlo po pedofizikalnim svojstvima u kojima se izdvaja gornji dio, rahli, propusni, nestabilni, sitno mrvičaste do praškaste strukture i praškasto ilovaste teksture. Donji argiluvlični dio čini teže propusni, glinasto ilovasti do ilovasto glinasti horizont, koji je nastao ispiranjem gline iz gornjih horizonata. Za ispiranje trebaju postojati i preduvjeti u kemijskom svojstvu reakcije tla koja u granicama pH 5-6 uvjetuje raspršivanje strukturnih mikroagregata i peptizaciju koloida, te njihovo premještanje u niže slojeve.

Luvisoli na vapnencima i dolomitima često su prekriveni eolskim nanosom, pa ta činjenica ovim tlima daje "dvoslojni" karakter. Najčešće prevladava ohrični humusno akumulativni horizont, a rjeđe je umbrični. Ovo tlo je obično siromašno na biljno-hranidbenom sustavu. U početnom stadiju pseudooglejavanja ovo tlo ograničeno je nepropusnošću tla za vodu, koje uzrokuje slabiji intenzitet hidromorfizma što je ograničavajuće svojstvo za poljoprivrednih kultura.

Podzol (sistematska jedinica 41) je naše najdiferenciranije tlo. Sklop profila je O-A-E-Bh-Bfe-C, a ispod rastresitog supstrata često se nalazi i čvrsta stijena (R-horizont). Rasprostranjen je na ekstremno kiselim i propusnim supstratima u perhumidnoj zoni, a to bi bila naša gorska područja, prvenstveno Gorskog kotara. Izrazito je šumsko tlo koje dolazi zajedno sa smeđim podzolastim tlom (brunipodzol), te distrično smeđim tlom i odgovarajućim rankerom. Na površini se nalazi sirova organska tvar ili moder humus u debljini do 10-ak cm. Glavni proces u ovim tlima je proces podzolizacije koja se manifestira u razgradnji alumosilikatne jezgre i premještanja razgrađenih produkata i fulvokiselina u spodični horizont. To je najkiselije tlo, vrlo velikog aktivnog i potencijalnog aciditeta, pa se ne koristi u poljoprivredi (osim mjestimično kao pašnjaci).

Smede podzolasto tlo (brunipodzol) javlja se kao i podzol na kiselim supstratima (sistematska jedinica 40). Karakterizira ga mješoviti A/E horizont ispod kojeg se može nalaziti Bh ili Bfe horizont. Reakcija tla je izrazito kisela, a tekstura je pjeskovita. To je kao i podzol trajno nepogodno tlo za poljoprivrednu proizvodnju zbog čega se najvećim dijelom nalazi unutar šumskih ekosustava.

Antropogena tla, P-C ili R građe profila, su u kršu vrlo često plitka, ograđena suhozidinama, terasama, škrapama i danas su većim dijelom napuštena, pa su prirodno obrađena alepskim borom ili drugim šumskim vrstama. Ona su danas odraz bivših uvjeta života i borbe čovjeka za samoodržanje u mediteranskom području. Posebno su te terase dobro vidljive poslije požara i kasnije ogoljelih prostora. Javljaju se kao sistematske jedinice broj 42 do 45.

Hidromorfna tla

Pseudoglej (sistematske jedinice 49 i 50) je slabo rasprostranjeno tlo na ovome području. Karakteriziraju ga velika ograničenja u pedofizikalnom i pedokemijskom kompleksu. Pseudoglej je u našim uvjetima prvenstveno sekundarni stadij luvisola iz kojeg je nastao, pa su mu svojstva u smislu diferencijacije sklopa profila slična. Pseudoglej karakterizira izmjena suhog i vlažnog perioda u kojima se odvijaju procesi redukcije odnosno oksidacije. Izmjena tih procesa uvjetuje intenzivno mramoriranje koje je morfološki odraz tih procesa. Pseudoglej na dubini 35-45 cm ima položen nepropus-

ni ili teže propusni pseudoglejni (g) horizont na kojem stagnira voda. Iako je taj horizont praškasto glinasto ilovaste teksture, ponekad i lakši, on je jako zbijen, gusto pakovanih čestica i praktički izuzetno slabo propusan za vodu. Uz to, ova tla su većinom jako kisela do kisela s osrednjim potencijalnim aciditetom, koji uzrokuje i inaktivaciju stvorenih ili dodanih hranjiva u tlo, prvenstveno fosfornih.

Fluvisol (aluvijalno tlo) je recentni riječni nanos (sistematske jedinice 2 i 47), koji ima slojeve, izuzev slabo razvijenog inicijalno humusno akumulativnog horizonta-(A). Tlo se formira uz riječni poloj koji permanentno poplavljuju poplavne vode i donose novi nanos na površinu. Jedan dio ovih tala je obranjen od poplava rijeka, ali im stadij razvoja nije odmakao od početne razine. To su tla vrlo varijabilnih teksturnih svojstava i dubine, neizražene strukture, karbonatna ili nekarbonatna, te neutralne do slabo alkalne reakcije.

Semiglej (aluvijalno livadno tlo) ima sklop profila A-C-G. Dakle, to je tlo koje ima jako kolebajuću podzemnu vodu, koja se obično ne diže u gornjih 1 m od površine (sistematska jedinica 48). Ta su tla nastala iz fluvisola, obranom od poplava i ako su ilovaste teksture, duboka s moćnijim humusno akumulativnim horizontom i zavidnom razinom hranjiva, onda su to vrlo povoljna tla za poljoprivredu. Glejni horizont ovih tala je prvenstveno oksidacijski u kojima se podzemna voda kratko zadržava.

Močvarno glejno tlo (euglej, sistematske jedinice 52 i 53) je rasprostranjeno je dolinama rijeka, prvenstveno njihovih centralnih zona doline. Uzrokovano je prekomjernim vlaženjem prvenstveno podzemnih voda te poplavnih i slivnih koje pothranjuju podzemne vode. Ograničeno je nepovoljnim vodnozračnim odnosom, teškom teksturom, visokom plastičnošću, koherentnom strukturom i općenito nepovoljnim konzistentnim osobinama. Prema kemijskim svojstvima, to su potencijalno plodna tla, posebno su povoljna ona tla koja se isplati meliorirati, a to su hipoglejni podtipovi lakše teksture i povoljnije dreniranosti tla i terena.

Pseudoglej-glej je slabo rasprostranjeno tlo (sistematska jedinica 51). Pojednostavljeno rečeno, kombinacija je pseudoglejnog (u gornjem dijelu profila) i hipoglejnog načina vlaženja u donjem dijelu profila. Obično je povoljne ilovaste do praškasto glinasto ilovaste teksture, ali ima teže propusni horizont kao i pseudoglej na dubini 30-70 cm. Znatan dio ovih tala koristi se u poljoprivredi.

Tresetna tla, T-G tipa građe profila, vrlo se rijetko javljaju (sistematska jedinica 54). Zauzimaju najniže dolinske položaje, starih meandri, jezera i najnižih polja koja su svakodnevno pod većim ili manjim slojem vode.

Hidromeliorirana tla P-G tipa građe profila su tla na kojima su izvedene hidromelioracijske mjere odvodnje suvišne vode cijevnom drenažom (sis-

tematske jedinice 55 do 60). Pogodnost tih tala za poljoprivredu ovisi o intenzitetu izvedenih melioracija, održavanju sustava površinske i podzemne odvodnje, kao i značajkama izvornog tla.

Halomorfna tla

Unutar odjela halomorfnih tala nalazi se Solončak (sistematska jedinica 61). Solončak je akutno zaslanjeno tlo. Ovaj tip tla se pojavljuju na vrlo malim prostornim arealima u priobalju.

Subakvalna tla

Za Subakvalna tla karakterističan je postanak i razvoj tih tala koji se odvija pod plitkim vodnim pokrivačem voda stajačica (plićaci jezera, bara i morskih priobalnih predjela). Tih tala ima izuzetno malo (sistematska jedinica 62) te stoga nemaju veći praktični značaj.

3.2. Pogodnost tla za navodnjavanje na području priobalja i krškog zaleđa

3.2.1. Kriteriji procjene

Pedosistematske jedinice koje se javljaju na istraživanom području odnosno koje su navedene u tablici 4 u okviru prikaza resursa tala, procijenjene su prema sadašnjoj pogodnosti za navodnjavanje, modificirano prema FAO, 1976., 1985., Vidaček, Ž., 1981. U okviru procjene pogodnosti tla se svrstavaju u redove i klase pogodnosti.

Red pogodno (P) uključuje tla na kojima navodnjavanje daje prema stupnju pogodnosti dobit i opravdava ulaganja bez štetnih posljedica.

Red nepogodno (N) uključuje tla koja su privremeno ili trajno nepogodna za primjenu održivog navodnjavanja.

Klasa P-1: pogodna tla bez značajnih ograničenja za navodnjavanje ili s ograničenjima koja neće značajno utjecati na produktivnost, dobit i primjenu navodnjavanja.

Klasa P-2: umjereno pogodna tla, s ograničenjima koja umjereno ugrožavaju produktivnost, dobit i primjenu navodnjavanja.

Klasa P-3: ograničeno pogodna tla, s ograničenjima koja znatno ugrožavaju produktivnost, dobit i primjenu navodnjavanja.

Klasa N-1: privremeno nepogodna tla, s ograničenjima koja u postojećem stanju isključuju tehnološki i/ili ekonomski opravdanu primjenu navodnjavanja.

Klasa N-2: trajno nepogodna tla, s ograničenjima koja isključuju bilo kakvu mogućnost tehnološki i/ili ekonomski opravdanu primjenu navodnjavanja.

Potklase pogodnosti ili nepogodnosti određene su prema vrstama ograničenja kako slijedi:

Stjenovitost (st): $st_1 > 50\%$ stijena, $st_2 < 50\%$ stijena; **Skeletnost (sk):** $sk_1 > 50\%$ skeleta, $sk_2 < 50\%$ skeleta; **Vertičnost (vt):** $> 30\%$ gline; **Kamenitost (ka); Retencijski kapacitet za vodu (kv):** $< 25\%$ vol.; **Nagib terena (n):** $> 15\%$; **Višak vode: V/v podzemne i/ili površinske vode; Poplave (p); Trajno pod vodom (su); Erozijska (e); Kiselost (k)** $< 5,5$ pH u vodi; **Slanost (s); Alkalicitet (a); Hranjiva (h)** slaba opskrbljenost $< 10\text{mg}/100$ g tla; **Kapacitet tla za zrak (kz)** $> 25\%$; **Dreniranost (dr):** dr_0 slaba; dr_1 vrlo slaba, dr_2 ekcesivna; **Dubina tla (du):** $du_1 < 30$ cm, $du_2 < 60$ cm

3.2.2. Rezultati procjene

Interpretacijom pedoloških podataka, za pojedine pedosistematske jedinice utvrđena je pogodnost ili nepogodnost, stupanj pogodnosti i vrste dominantnih ograničenja za primjenu navodnjavanja, tablica 5.

Tablica 5: *Pogodnost sistematskih jrdinica tla za navodnjavanje*

Red pogodnosti	Klasa pogodnosti (stupanj)	Potklasa pogodnosti (dominantna ograničenja)	Pripadajuće pedosistematske jedinice (šifre iz tablice 4)
P Pogodno	P-1 Pogodna tla	h	Aluvijalno neoglejeno (2) Koluvij neoglejen (6) Eutrično smeđe na holocenskim nanosima (20) Semiglej (48) Hidromeliorirano drenažom aluvijalno oglejeno (55) Hidromeliorirano drenažom hipoglejno (56) Hidromeliorirano drenažom koluvijalno oglejeno (60)
		st_2, h	Crvenica duboka (31)
	P-2 Umjereno pogodna tla	n, e, h	Eutrično smeđe na praporu (19) Lesivirano na praporu tipično (35) Lesivirano na rastresitim sedimentima (37) Lesivirano na ilovačama (38) Rigolano na praporu (42) Rigolano na laporu (43) Rigolano na koluviju (44)
		dr_0, h	Lesivirano na praporu pseudoglejno (36) Hidromeliorirano drenažom amfiglejno (57) Hidromeliorirano drenažom hidromorfno (59)
		kv, h	Eutrično smeđe na pijesku (21)
	P-3 Ograničeno pogodna tla	n, e, du_2, h	Sirozem na laporu (3) Sirozem na flišu (4) Rendzina na laporu (8) Rendzina na flišu (9)
		k, du_2, kv, h	Ranker na šljunku (14)
		du_2, kv, h	Rendzina na šljunku (11)
		sk_1, du_2	Rigolano krša (45)
		vt, dr_1, n, h	Vertisol na laporu (17)

Red pogodnosti	Klasa pogodnosti (stupanj)	Potklasa pogodnosti (dominantna ograničenja)	Pripadajuće pedosistematske jedinice (šifre iz tablice 4)
P Pogodno	P-3 Ograničeno pogodna tla	vt, n, dr _o , h	Vertisol na mekim vapnencima (18) Eutrično smeđe na jezerskim sedimentima (22)
		n, k, h	Distrično smeđe na praporu (24)
		k, sk ₂	Distrično smeđe na klastitima (25)
		sk ₂ , du ₂	Koluvij s prevagom detritusa (5)
		st ₂ , k, h	Distrično smeđe na crvenici (26)
		vt, h	Hidromeliorirano drenažom močvarno glejno vertično (58)
	N-1 Privremeno nepogodna tla	Vv, dr _{o-1} , h	Koluvij oglejeni (46) Aluvijalno oglejeno (47) Pseudoglej zaravni (49) Pseudoglej obronačni (50) Pseudoglej-glej (51) Močvarno glejno (52)
		Vv, dr _{o-1} , vt, h	Močvarno glejno vertično (53)
		Vv, du ₂ , kz, h	Niski treset (54)
		a, h	Solončak (61)
		su	Subakvalna (62)
N Nepogodno	N-2 Trajno nepogodna tla*	ka, st ₁ , dr ₂	Kamenjar na vapnencu ili dolomitu (1)
		st ₂ , du ₁	Crnica vapnenačko dolomitna (7)
		n, du ₂	Rendzina na mekim vapnencima (10)
		n, sk ₂	Rendzina na trošini vapnenca (12) Rendzina na trošini dolomita (13)
		n, du ₁	Ranker na p.k.š. (15)
		n, du ₁ , sk ₂	Ranker na klastitima (16)
		n, sk ₁	Distrično smeđe na p.k.š. (27)
		n, sk ₂	Distrično smeđe na eruptivima (29)
		st ₁ , du ₂	Distrično smeđe na metamorfitima (28)
		st ₁ , du ₂	Crvenica plitka i srednje duboka (30)
		st ₁ , ka, n,	Smeđe na dolomitu plitko i srednje duboko (32) Smeđe na vapnencu plitko i srednje duboko (33) Smeđe na vapnencu duboko (34)
		st ₁ , du ₂	Lesivirano na vapnencu ili dolomitu (39)
		k, sk ₂	Smeđe podzolasto (40) Podzol (41)
		n, st ₂ , du ₂	Eutrično smeđe na eruptivima (23)

*Napomena: trajna ograničenja i/ili visoki troškovi melioracija

Pogodna tla klase P-1 su aluvijalno neoglejeno, koluvij neoglejen, eutrično smeđe na holocenskim nanosima, semiglej, hidromeliorirano drenažom iz aluvijalno oglejenog ili hipogleja ili koluvijalno oglejenog, a dominantno ograničenje je samo slaba opskrbljenost hranjivima (NPK).

Umjereno pogodna tla klase P-2 svrstana su prema dominantnim ograničenjima u tri potklase. Dominantno ograničenje crvenice duboke je stjenovitost i slaba opskrbljenost hranjivima. Dominantna ograničenja eutrično smeđeg na praporu, lesiviranog na praporu tipičnog ili na rastresitim sedimentima ili na ilovačama i rigolanog tla na praporu ili laporu ili

koluviju su nagib, opasnost od erozije i slaba opskrbljenost hranjivima

Dominantna ograničenja lesiviranog na praporu pseudoglejnog, te hidromelioriranih drenažom iz amfikleja su slaba dreniranost i slaba opskrbljenost hranjivima.

Ograničeno pogodna tla klase P-3 svrstana su u 13 potklasa, imajući kombinirano slijedeće vrste ograničenja: slaba opskrbljenost hranjivima, kapacitet tla za vodu, nagib, opasnost od erozije, dubina tla, kiselost, skeletnost, dreniranost i vertičnost, uključujući pijesak (eutrično smeđe na pijesku, sirozem na laporu ili flišu, rendzinu na laporu ili flišu, ranker na šljunku, rendzina na šljunku, rigolano krša, vertisol na laporu, vertisol na mekim vapnencima, eutrično smeđe na jezerskim sedimentima, distrično smeđe na praporu ili na klastitima, koluvij s prevagom detritusa, distrično smeđe na crvenici i hidromeliorirano drenažom iz močvarno glejno vertičnog tla.

Privremeno nepodgovna tla klase N-1 svrstana su u šest potklasa imajući kombinirano slijedeće vrste ograničenja: višak vode, slabu i vrlo slabu dreniranost, vertičnost, dubinu tla, kapacitet za zrak, slanost, alkaličnost i trajno pod vodom, uključujući koluvij oglejeni, aluvijalno oglejeno, pseudoglej zaravni, pseudoglej obronačni, pseudoglej-glej, močvarno glejno, močvarno glejno vertično, niski treset, solončak i subakvalno.

Trajno nepodgovna tla klase N-2 svrstana su u 13 potklasa imajući kombinirano slijedeće vrste ograničenja: kamenitost, stjenovitost, dreniranost, dubinu tla, nagib i kiselost, uključujući crnicu vapnenačko dolomitnu, rendzinu na mekim vapnencima, rendzinu na trošini vapnenaca, rendzinu za trošini dolomita, ranker na škriljevcima, ranker na klastitima, distrično smeđe na škriljevcima, distrično smeđe na eruptivima, distrično smeđe na metamorfitima, crvenicu plitku i srednje duboku, smeđe na dolomitu plitko, smeđe na vapnencu plitko, smeđe na vapnencu duboko, lesivirano na vapnencu ili dolomitu, smeđe podzolasto, podzol i eutrično smeđe na eruptivima.

Uvažavajući rezultate procjene pogodnosti pojedinih pedosistematskih jedinica, tablica 5, i njihov prostorni raspored u složenim kartografskim jedinicama, tablica 6, izvršena je rajonizacija tala priobalja i krškog zaleđa prema stupnju pogodnosti dominantno zastupljenih pedosistematskih jedinica unutar pedokartografskih jedinica 1 do 62, tablica 7. Temeljem navedenog, utvrđeni su i na karti mjerila 1:500.000 prikazani slijedeći rajoni pogodnosti tala za navodnjavanje:

I. rajon: Pogodna tla za navodnjavanje, uključuju semiglej, aluvijalno neoglejeno, koluvij neoglejeni i hidromeliorirano drenažom hipoglejno tlo. Od ukupno 17.415,6 ha 69% su pogodna tla (klasa P-1), a 31% su privremeno nepodgovna (klasa N-1).

II. rajon, podrajon II.1. bez stjenovitosti: Umjereno pogodna tla za

navodnjavanje, uključuju eutrično smeđe na praporu, eutrično smeđe na holocenskim nanosima, lesivirano na praporu, rigolano na praporu, lesivirano na praporu pseudoglejno, lesivirano na rastresitim sedimentima, hidromeliorirano drenažom hidromorfno i lesivirano na ilovačama. Od ukupno 17.594 ha 3,5% su pogodna tla (klasa P-1), 85,0% umjereno pogodna (klasa P-2), 0,7% ograničeno pogodna (klasa P-3), 10,5% privremeno nepogodna (klasa N-1) i 0,3% trajno nepogodna (klasa N-2).

II. rajon, podrajon II.2. sa stjenovitošću: Umjereno pogodna tla za navodnjavanje, uključuju crvenicu duboku. Od ukupno 79.135,8 ha 71,5% su umjereno pogodna (klasa P-2), 1,5% ograničeno pogodna (klasa P-3), 18,9% trajno nepogodna (klasa N-2) i stjenovitost je 8,1%.

III. rajon, podrajon III.1. bez stjenovitosti: Ograničeno pogodna tla za navodnjavanje, uključuju distrično smeđe na praporu, distrično smeđe na klastitima, vertisol na laporu, vertisol na mekim vapnencima, eutrično smeđe na jezerskim sedimentima, eutrično smeđe na pijesku, rendzinu na šljunku, ranker na šljunku, distrično smeđe za eruptivima, hidromeliorirano drenažom močvarno glejno vertično. Od ukupno 86.903,6 ha 10,7% su pogodna tla (klasa P-1), 19,2% umjereno pogodna (klasa P-2), 54,7% ograničeno pogodna (klasa P-3), 6,8% privremeno nepogodna (klasa N-1) i 8,6% trajno nepogodna (klasa N-2).

III. rajon, podrajon III.2. sa stjenovitošću: Ograničeno pogodna tla za navodnjavanje uključuju rendzinu na laporu i flišu, sirozem na flišu, rigolano krša, rigolano na koluviju, distrično smeđe na crvenici i koluvij s prevagom detritusa. Od ukupno 197.663,5 ha 1,5% su pogodna tla (klasa P-1), 19,1% umjereno pogodna (klasa P-2), 51,7% ograničeno pogodna (klasa P-3), 3,6% privremeno nepogodna (klasa N-1), 18,0% trajno nepogodna (klasa N-2) i 6,1% je stjenovitost.

IV. rajon, podrajon IV.1. bez stjenovitosti: Privremeno nepogodna tla za navodnjavanje uključuju pseudoglej na zaravni, pseudoglej obronačni, močvarno glejno, niski treset, halomorfna tla, subakvalno, aluvijalno oglejeno, pseudoglej-glej i močvarno glejno vertično. Od ukupno 28.579,0 ha 0,3% su pogodna tla (klasa P-1), 0,5% umjereno pogodna (klasa P-2), 2,9% ograničeno pogodna (klasa P-3) i 96,3% privremeno nepogodna (klasa N-1).

V. rajon, podrajon V.I. bez stjenovitosti: Trajno nepogodna tla za navodnjavanje uključuju smeđe na dolomitu plitko i srednje duboko, distrično smeđe na metamorfitima, distrično smeđe na klastitima, distrično smeđe na pješčenjaku, konglomeratu i škriljcu, eutrično smeđe na eruptivima, smeđe podzolasto i podzol. Od ukupno 27.270,2 ha 4,9% su umjereno pogodna (klasa P-2), 8,2% ograničeno pogodna (klasa P-3) i 86,9% trajno nepogodna (klasa N-2).

V. rajon, podrajon V.II. sa stjenovitošću: Trajno nepogodna tla za navodnjavanje uključuju lesivirano na vapnencu i dolomitu, rendzinu na trošini vapnenca, kamenjar na vapnencu i dolomitu, crvenicu plitku i srednje duboku, smeđe na vapnencu plitko, smeđe na vapnencu plitko i srednje duboko, crnicu vapnenačko-dolomitnu i rendzinu na trošini dolomita i vapnenca. Od ukupno 862.472,9 ha 2,9% su umjereno pogodna (klasa P-2), 2,7% ograničeno pogodna (klasa P-3), 52,0% trajno nepogodna (klasa N-2) i 42,4% je stjenovitost.

Tablica 6: *Pedokartografske jedinice s pripadajućim klasama i potklasama pogodnosti tla za navodnjavanje*

Broj	Naziv i struktura	% zastupljenosti	Površina, ha			Klase i potklase pogodnosti
			stijena	sistematske jedinice	kartirane jedinice	
1	Eutrično smeđe na praporu	30	0	592,5	1.975,1	P-2, n, e, h P-1, h
	Eutrično smeđe na holocenskim nanosima	20		395,0		
	Lesivirano na praporu tipično	30		592,5		
	Semiglej	10		197,5		
	Močvarno glejno	10		197,5		N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
2	Aluvijalno neoglejeno	30	0	2.710,3	9.034,5	P-1, h N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
	Aluvijalno oglejeno	30		2.710,3		
	Semiglej	30		2.710,3		
	Močvarno glejno	10		903,4		
3	Rigolano na praporu	60		709,8	1.183,0	P-2, n, e, h
	Eutrično smeđe na praporu	40		473,2		
4	Lesivirano na praporu tipično	55	0	181,6	330,2	P-2, n, e, h N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h P-2, n, e, h N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h P-1, h
	Pseudoglej obronačni i zaravni	15		49,5		
	Eutrično smeđe na praporu	15		49,5		
	Močvarno glejno	10		33,0		
	Koluvij neoglejen	5		16,5		
5	Lesivirano na praporu pseudoglejno	45	0	293,2	651,5	P-2, dr ₀ , h P-2, n, e, h N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h P-3, n, k, h
	Lesivirano na praporu tipično	20		130,3		
	Pseudoglej na zaravni	20		130,3		
	Močvarno glejno	10		65,1		
	Distrično smeđe na praporu	5		32,6		
6	Hidromeliorirano drenažom hidromorfno	90	0	11.810,5	13.122,8	P-2, dr ₀ , h N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
	Aluvijalno oglejeno	10		1.312,3		
7	Koluvij neoglejeni	65	0	4.819,3	7.414,3	P-1, h N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h P-1, h N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
	Močvarno glejno	20		1.482,9		
	Semiglej	10		741,4		
	Pseudoglej na zaravni	5		370,7		
8	Crvenica duboka	40	450	1.612,1	4.030,2	P-2, st ₂ , h P-3, st ₂ , k, h N-2, st ₁ , ka, n N-2, st ₁ , du ₂ N-2, st ₂ , du ₁
	Distrično smeđe na crvenici	30		1.209,1		
	Smeđe na vapnencu plitko i srednje duboko	15		604,5		
	Lesivirano na vapnencu ili dolomitu	10		403,0		
	Crnica vapnenačko dolomitna	5		201,5		

POGODNOST TLA ZA NAVODNJAVANJE U PRIOBALJU I KRŠKOM ZALEĐU HRVATSKE

9	Crvenica duboka	80	5.972	54.946,9	68.683,6	P-2, st ₂ , h
	Smeđe na vapnencu plitko i srednje duboko	15		10.302,5		N-2, st ₁ , ka, n
	Crnica vapnenačko dolomitna	5		3.434,2		N-2, st ₂ , du ₁
10	Rendzina na laporu i flišu	20	2.460	9.364,4	46.822,1	P-3, n, e, du ₂ , h
	Rendzina na mekim vapnencima	15		7.023,3		N-2, n, du ₂
	Rigolano na laporu	30		14.046,6		P-2, n, e, h
	Sirozem na flišu	15		7.023,3		P-3, n, e, du ₂ , h
	Lesivirano na rastresitim sedimentima i praporu	10		4.682,2		P-2, n, e, h
	Močvarno glejno	5		2.341,2		N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
	Eutrično smeđe na jezerskim sedimentima	5		2.341,1		P-3, vt, n, dr ₀ , h
11	Lesivirano na ilovačama	40	0	132,6	331,6	P-2, n, e, h
	Distrično smeđe na klastitima	25		82,9		P-3, k, sk ₂
	Pseudoglej obronačni	20		66,3		N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
	Ranker na klastitima	10		33,2		N-2, n, du ₁ , sk ₂
	Rendzina na mekim vapnencima	5		16,6		N-2, n, du ₂
12	Distrično smeđe na praporu	30	0	9.782,9	32.609,0	P-3, n, k, h
	Distrično smeđe na klastitima	20		6.521,8		P-3, k, sk ₂
	Lesivirano na ilovačama	20		6.521,8		P-2, n, e, h
	Pseudoglej na zaravni	10		3.260,9		N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
	Rendzina na trošini dolomita	10		3.260,9		N-2, n, sk ₂
	Močvarno glejno	5		1.630,4		N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
	Eutrično smeđe na holocenskim nanosima	5		1.630,4		P-1, h
13	Vertisol na laporu	30	0	1.137,8	3.792,7	P-3, vt, dr ₁ , n, h
	Vertisol na mekim vapnencim	25		948,2		P-3, vt, n, dr ₀ , h
	Rigolano na laporu	20		758,5		P-2, n, e, h
	Rendzina na flišu	10		379,3		P-3, n, e, du ₂ , h
	Sirozem na laporu	10		379,3		P-3, n, e, du ₂ , h
	Smeđe na vapnencu duboko	5		189,6		N-2, st ₁ , ka, n
14	Eutrično smeđe na jezerskim sedimentima	40	0	1773,6	4.433,9	P-3, vt, n, dr ₀ , h
	Rendzina na laporu	30		1.330,2		P-3, n, e, du ₂ , h
	Lesivirano na rastresitim sedimentima	20		886,7		P-2, n, e, h
	Smeđe na vapnencu plitko i srednje duboko i duboko	5		221,7		N-2, st ₁ , ka, n
	Sirozem na laporu	5		221,7		P-3, n, e, du ₂ , h
15	Eutrično smeđe na pijesku	45	0	162,3	360,7	P-3, kv, h
	Lesivirano na rastresitim sedimentima	40		144,3		P-2, n, e, h
	Pseudoglej na zaravni	15		54,1		N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
16	Distrično smeđe na klastitima	40	0	2.290,0	5.725,1	P-3, k, sk ₂
	Ranker na klastitima	30		1.717,5		N-2, n, du ₁ , sk ₂
	Lesivirano na rastresitim sedimentima	10		572,5		P-2, n, e, h
	Pseudoglej obronačni	17		973,3		N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
	Smeđe podzolasto	3		171,8		N-2, k, sk ₂
17	Smeđe na dolomitu plitko i srednje duboko	50	0	6.747,9	13.495,8	N-2, st ₁ , ka, n
	Rendzina na trošini dolomita	20		2.699,2		N-2, n, sk ₂
	Lesivirano na dolomitu	20		2.699,2		N-2, st ₁ , du ₂
	Distrično smeđe na crvenici	10		1.349,5		P-3, st ₂ , k, h
	Pseudoglej na zaravni	65		195,2	300,5	N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h

18	Pseudoglej obronačni	10	0	30,1	1.041,9	N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
	Distrično smeđe na praporu	10		30,1		P-3, n, k, h
	Lesivirano na praporu pseudoglejno	10		30,1		P-2, dr ₀ , h
	Močvarno glejno	5		15,0		N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
19	Pseudoglej obronačni	65	0	677,2	1.041,9	N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
	Pseudoglej na zaravni	10		104,2		N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
	Lesivirano na praporu pseudoglejno	10		104,2		P-2, dr ₀ , h
	Distrično smeđe na praporu	5		52,1		P-3, n, k, h
	Močvarno glejno	5		52,1		N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
	Koluvij neoglejeni	5		52,1		P-1, h
20	Rigolano krša	50	3.100	29.480,1	58.960,3	P-3, sk ₁ , du ₂
	Smeđa tla na vapnencu i dolomitu, plitka	25		14.740,2		N-2, st ₁ , ka, n
	Crvenica duboka	10		5.896,0		P-2, st ₂ , h
	Crnica vapnenačko dolomitna	10		5.896,0		N-2, st ₂ , du ₁
	Koluvij neoglejen	5		2.948,0		P-1, h
21	Rigolano na koluviju	20	3.070	11.697,6	58.487,9	P-2, n, e, h
	Rigolano krša	20		11.697,6		P-3, sk ₁ , du ₂
	Rendzina na laporu	30		17.546,4		P-3, n, e, du ₂ , h
	Sirozem na laporu	15		8.773,2		P-3, n, e, du ₂ , h
	Močvarno glejno	5		2.924,4		N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
	Pseudoglej obronačni	3		1.754,6		N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
	Koluvij s prevagom detritusa	7		4.094,1		P-3, sk ₂ , du ₂
22	Lesivirano na vapnencu i dolomitu	60	3.460	8.329,3	13.882,1	N-2, st ₁ , du ₂
	Distrično smeđe na crvenici	20		2.776,4		P-3, st ₂ , k, h
	Crvenica duboka	10		1.388,2		P-2, st ₂ , h
	Rendzina na trošni dolomita	10		1.388,2		N-2, n, sk ₂
23	Distrično smeđe na crvenici	50	810	7.680,2	15.360,3	P-3, st ₂ , k, h
	Lesivirano na vapnencu i dolomitu	20		3.072,1		N-2, st ₁ , du ₂
	Crvenica duboka	10		1.536,0		P-2, st ₂ , h
	Rendzina na trošini dolomita	10		1.536,0		N-2, n, sk ₂
	Smeđe na vapnencu i dolomitu, plitko i srednje duboko	10		1.536,0		N-2, st ₁ , ka, n
24	Koluvij s prevagom detritusa	70	2.570	4.216,0	6.022,9	P-3, sk ₂ , du ₂
	Kamenjar na vapnencu ili dolomitu	10		602,4		N-2, ka, st ₁ , dr ₂
	Rendzina na trošini vapnenca	10		602,3		N-2, n, sk ₂
	Smeđe na vapnencu plitko i srednje duboko	5		301,1		N-2, st ₁ , ka, n
	Crnica vapnenačko dolomitna	5		301,1		N-2, st ₂ , du ₁
25	Rendzina na šljunku	50	0	18.998,1	37.996,1	P-3, du ₂ , kv, h
	Eutrično smeđe na holocenskim nanosima	20		7.599,2		P-1, h
	Rigolano na koluviju	20		7.599,2		P-2, n, e, h
	Kamenjar na vapnencu ili dolomitu	5		1.899,8		N-2, ka, st ₁ , dr ₂
	Koluvij s prevagom detritusa	5		1.899,8		P-3, sk ₂ , du ₂
26	Ranker na šljunku	70	0	905,4	1.293,5	P-3, k, du ₂ , kv, h
	Distrično smeđe na klastitima	28		362,2		P-3, k, sk ₂
	Smeđe podzolasto	2		25,9		N-2, k, sk ₂
27	Močvarno glejno	80	0	748,4	935,6	N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
	Niski treset	10		93,6		N-1, Vv, du ₂ , kz, h
	Subakvalna	10		93,6		N-1, su

POGODNOST TLA ZA NAVODNJAVANJE U PRIOBALJU I KRŠKOM ZALEĐU HRVATSKE

28	Niski treset	70	0	2.417,4	3.453,4	N-1, Vv, du ₂ , kz, h
	Močvarno glejno	30		1.036,0		N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
29	Halomorfná tla	50	0	296,1	592,2	N-1, a, s, h
	Pseudoglej-glej	20		118,4		N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
	Močvarno glejno	30		177,5		N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
30	Aluvijalno oglejeno	90	0	3.403,6	3.781,8	N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
	Močvarno glejno	10		378,2		N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
31	Močvarno glejno	50	0	7.443,7	14.887,4	N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
	Koluvij oglejeni	25		3.721,9		N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
	Rendzina na šljunku	5		744,4		P-3, du ₂ , kv, h
	Pseudoglej na zaravni	10		1.488,7		N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
	Pseudoglej-glej	10		1.488,7		N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
32	Močvarno glejno	65	0	37,8	58,1	N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
	Pseudoglej-glej	20		11,6		N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
	Pseudoglej na zaravni	10		5,8		N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
	Lesivirano na praporu pseudoglejno	5		2,9		P-2, dr ₀ , h
33	Močvarno glejno	70	0	111,9	159,9	N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
	Močvarno glejno vertično	25		40,0		N-1, Vv, dr ₀₋₁ , vt, h
	Semiglej	5		8,0		P-1, h
34	Pseudoglej-glej	55	0	142,9	259,9	N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
	Pseudoglej na zaravni	20		51,9		N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
	Močvarno glejno	15		39,1		N-1, Vv, dr ₀₋₁ , h
	Lesivirano na praporu pseudoglejno	5		13,0		P-2, dr ₀ , h
	Semiglej	5		13,0		P-1, h
35	Rendzina na trošini vapnenca	40	5.590	8.940,3	22.350,8	N-2, n, sk ₂
	Smeđe na vapnencu plitko i srednje duboko	25		5.587,7		N-2, st ₁ , ka, n
	Crnica vapnenačko dolomitna	20		4.470,2		N-2, st ₂ , du ₁
	Crvenica plitka i srednje duboka	10		2.235,1		N-2, st ₁ , du ₂
	Kamenjar na vapnencu ili dolomitu	5		1.117,5		N-2, ka, st ₁ , dr ₂
36	Distrično smeđe na metamorfittima	40	0	355,1	887,8	N-2, n, sk ₂
	Distrično smeđe na klastitima	30		266,3		P-3, k, sk ₂
	Ranker na klastitima	10		88,8		N-2, n, du ₁ , sk ₂
	Ranker na škriljcu	10		88,8		N-2, n, du ₁
	Lesivirano na rastresitim sedimentima	10		88,8		P-2, n, e, h
37	Distrično smeđe na pješčenjaku, konglomeratu i škriljcu	45	0	198,7	441,6	N-2, n, sk ₁
	Smeđe podzolasto s podzolom	40		176,7		N-2, k, sk ₂
	Ranker na pješčenjaku, konglomeratu i škriljcu	12		53,0		N-2, n, du ₁
	Smeđe na vapnencu plitko, srednje duboko i duboko	3		13,2		N-2, st ₁ , ka, n
38	Eutrično smeđe na eruptivima	40	0	4.945,8	12.364,4	N-2, n, st ₂ , du ₂
	Ranker na klastitima	25		3.091,1		N-2, n, du ₁ , sk ₂
	Distrično smeđe na eruptivima	20		2.472,9		N-2, n, sk ₁
	Lesivirano na rastresitim sedimentima	10		1.236,4		P-2, n, e, h
	Rendzina na šljunku	5		618,2		P-3, du ₂ , kv, h
39	Kamenjar na vapnencu i dolomitu	50	43.780	14.596,3	29.192,7	N-2, ka, st ₁ , dr ₂
	Crnica vapnenačko dolomitna	25		7.298,2		N-2, st ₂ , du ₁
	Rendzina na trošini vapnenca	10		2.919,3		N-2, n, sk ₂
	Smeđe na vapnencu plitko i srednje duboko	10		2.919,3		N-2, st ₁ , ka, n
	Crvenica plitka i srednje duboka	5		1.459,6		N-2, st ₁ , du ₂

40	Crvenica plitka i srednje duboka	50	96.400	32.142,3	64.284,7	N-2, st ₁ , du ₂
	Smeđe na vapnencu plitko i srednje duboko	30		19.285,5		N-2, st ₁ , ka, n
	Crnica vapnenačko dolomitna	15		9.642,7		N-2, st ₂ , du ₁
	Rigolano krša	5		3.214,2		P-3, sk ₁ , du ₂
41	Smeđe na vapnencu plitko	40	83.380	33.354,8	83.387,1	N-2, st ₁ , ka, n
	Crnica vapnenačko dolomitna	25		20.846,8		N-2, st ₂ , du ₁
	Rendzina na trošini vapnenca i dolomita	10		8.338,7		N-2, n, sk ₂
	Lesivirano na vapnencu i dolomitu	10		8.338,7		N-2, st ₁ , du ₂
	Crvenica plitka i srednje duboka	5		4.169,4		N-2, st ₁ , du ₂
	Rigolano krša	5		4.169,4		P-3, sk ₁ , du ₂
	Eutrično smeđe na jezerskim sedimentima	3		2.501,6		P-3, vt, n, dr ₀ , h
	Sirozem na laporu	2		1.667,7		P-3, n, e, du ₂ , h
42	Smeđe na vapnencu plitko i srednje duboko	35	51.420	41.998,4	119.995,5	N-2, st ₁ , ka, n
	Crvenica duboka	20		23.999,2		P-2, st ₂ , h
	Crnica vapnenačko dolomitna	15		17.999,3		N-2, st ₂ , du ₁
	Rendzina na trošini vapnenca	10		11.999,5		N-2, n, sk ₂
	Lesivirano na vapnencu	10		11.999,5		N-2, st ₁ , du ₂
	Kamenjar na vapnencu ili dolomitu	5		5.999,8		N-2, ka, st ₁ , dr ₂
	Rigolano krša	5		5.999,8		P-3, sk ₁ , du ₂
43	Smeđe na vapnencu plitko i srednje duboko	45	21.230	14.332,9	31.850,9	N-2, st ₁ , ka, n
	Lesivirano na vapnencu	20		6.370,2		N-2, st ₁ , du ₂
	Crnica vapnenačko dolomitna	20		6.370,2		N-2, st ₂ , du ₁
	Rendzina na trošini vapnenca	10		3.185,1		N-2, n, sk ₂
	Koluvij s prevagom detritusa	5		1.592,5		P-3, sk ₂ , du ₂
44	Lesivirano na vapnencu i dolomitu	50	6.570	4.933,4	9.866,9	N-2, st ₁ , du ₂
	Smeđe na vapnencu plitko i srednje duboko	30		2.960,1		N-2, st ₁ , ka, n
	Rendzina na trošini vapnenca	10		986,7		N-2, n, sk ₂
	Crnica vapnenačko dolomitna	10		986,7		N-2, st ₂ , du ₁
45	Smeđe na vapnencu plitko	40	1.550	1.457,2	3.642,9	N-2, st ₁ , ka, n
	Rigolano krša	30		1.092,9		P-3, sk ₁ , du ₂
	Crvenica plitka i srednje duboka	15		546,4		N-2, st ₁ , du ₂
	Crnica vapnenačko dolomitna	10		364,3		N-2, st ₂ , du ₁
	Rendzina na trošini vapnenca	5		182,1		N-2, n, sk ₂
46	Crnica vapnenačko dolomitna	45	45.930	26.307,7	58.461,6	N-2, st ₂ , du ₁
	Smeđe na vapnencu i dolomitu, plitko i srednje duboko	40		23.384,6		N-2, st ₁ , ka, n
	Rendzina na trošini vapnenca	10		5.846,2		N-2, n, sk ₂
	Lesivirano na vapnencu i dolomitu	5		2.923,1		N-2, st ₁ , du ₂
47	Rendzina na trošini dolomita i vapnenca	60	6.620	35.776,6	59.627,7	N-2, n, sk ₂
	Smeđe na vapnencu plitko, srednje duboko i duboko	20		11.925,5		N-2, st ₁ , ka, n
	Lesivirano na vapnencu	10		5.962,8		N-2, st ₁ , du ₂
	Crnica vapnenačko dolomitna	10		5.962,8		N-2, st ₂ , du ₁

POGODNOST TLA ZA NAVODNJAVANJE U PRIOBALJU I KRŠKOM ZALEĐU HRVATSKE

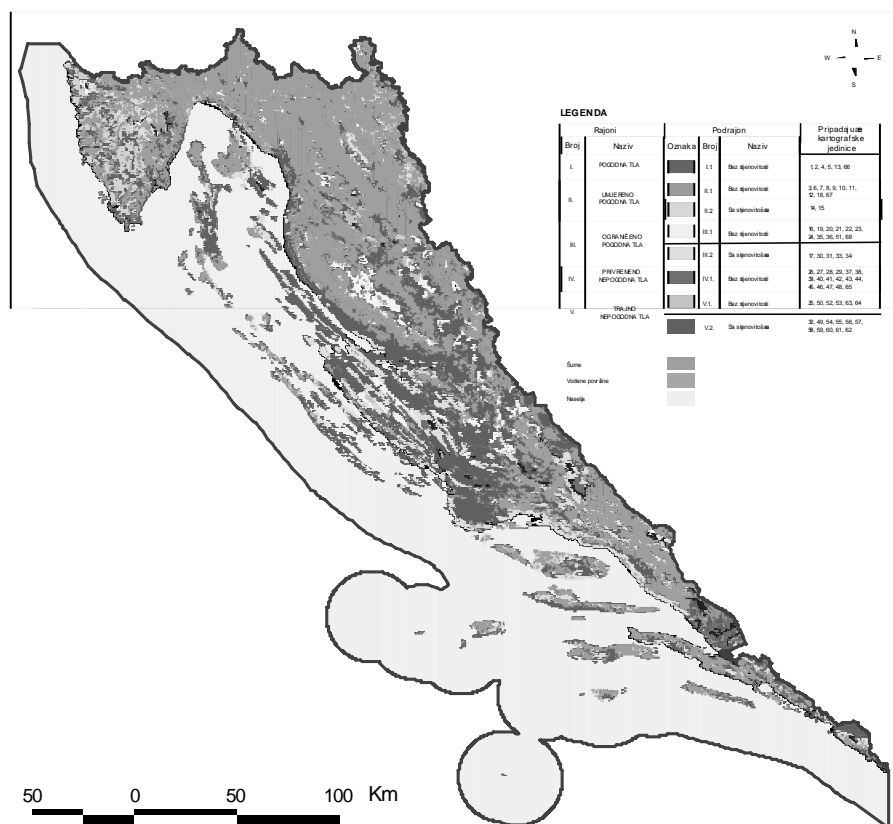
48	Smeđe podzolasto	50		5,2	10,2	N-2, k, sk ₂
	Distrično smeđe na pješčenjaku, konglomeratu i škriljcu	20	0	2,0		N-2, n, sk ₁
	Podzol	20		2,0		N-2, k, sk ₂
	Ranker na pješčenjaku, konglomeratu i škriljcu	10		1,0		N-2, n, du ₁
49	Podzol	70		49,3	70,4	N-2, k, sk ₂
	Smeđe podzolasto	20		14,1		N-2, k, sk ₂
	Distrično smeđe na pješčenjaku i konglomeratu	5	0	3,5		N-2, n, sk ₁
	Ranker na pješčenjaku i konglomeratu	5		3,5		N-2, n, du ₁
50	Močvarno glejno vertično	70		2.175,9	3.108,5	N-1, Vv, dr ₀₋₁ , vt, h
	Močvarno glejno i pseudoglej-glej	28	0	870,4		N-1, Vv, dr ₀₋₁ , p, h
	Niski treset	2		62,2		N-1, Vv, du ₂ , kz, h
51	Hidromeliorirano drenažom, hipoglejno	85		822,0	967,0	P-1, h
	Hidromeliorirano drenažom aluvijalno oglejeno	10	0	96,7		P-1, h
	Hidromeliorirano drenažom koluvijalno oglejeno	5		48,3		P-1, h
52	Hidromeliorirano drenažom močvarno glejno vertično	65		450,1	692,5	P-3, vt, h
	Hidromeliorirano drenažom amfiglejno	30	0	207,8		P-2, dr ₀ , h
	Hidromeliorirano drenažom hipoglejno	5		34,6		P-1, h

Tablica 7: *Rajoni i podrajoni pogodnosti poljoprivrednog zemljišta s pripadajućim pedokartografskim jedinicama i klasama pogodnosti tla za navodnjavanje na području priobalja i krškog zaleđa*

Broj	Rajon Naziv**	Podrajon		Pripadajuće kartografske jedinice*	Pripadajuće klase pogodnosti za navodnjavanje, ha					Sijeno- vitost, ha	Ukupna površina ha
		Broj	Naziv		P-1 – Pogodna tla	P-2 – Umjereno pogodna tla	P-3 – Ograničeno pogodna tla	N-1 – Privremen o nepogodna tla	N-2 – Trajno nepogodna tla		
I.	Pogodna tla	I.1.	Bez sijenovitosti	2, 7, 51	11.948,3	0,0	0,0	5.467,3	0,0	0,0	17.415,6
II.	Umjereno pogodna tla	II.1.	Bez sijenovitosti	1, 3, 4, 5, 6, 11	609,0	14.965,7	115,5	1.854,0	49,8	0,0	17.594,0
		II.2.	Sa sijenovitošću	8, 9	0,0	56.559,0	1.209,1	0,0	14.945,7	6.422,0	6.422,0	79.135,8
III.	Ograničeno pogodna tla	III.1.	Bez sijenovitosti	12, 13, 14, 15, 16, 25, 26, 52	9.264,2	16.690,8	47.542,7	5.918,7	7.487,2	0,0	86.903,6
		III.2.	Sa sijenovitošću	10, 20, 21, 23, 24	2.948,0	37.858,4	102.216,4	7.020,2	35.610,5	12.010,0	197.663,5
IV.	Privremeno nepogodna tla	IV.1.	Bez sijenovitosti	18, 19, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 50	73,1	150,2	826,6	27.529,1	0,0	0,0	28.579,0
V.	Trajno nepogodna tla	V.1.	Bez sijenovitosti	17, 36, 37, 38, 48, 49	0,0	1.325,2	2.234,0	0,0	23.711,0	0,0	27.270,2
		V.2.	Sa sijenovitošću	22, 35, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47	0,0	25.387,4	23.014,5	0,0	448.141,0	365.930,0	862.472,9
Ukupna površina					24.842,6	152.936,7	177.158,8	47.789,3	529.945,2	384.362,0	1.317.034,6
Sume**											1.385.599,0
Vodne površine											12.115,4
Naselja											11.727,1
SVEUKUPNA POVRŠINA											2.726.476,0

*Izvor: Tablica 6

**Naziv rajona je prema dominantno zastupljenoj klasi pogodnosti



Slika 3: Karta pogodnosti tla za navodnjavanje na području priobalja i krškog zaleđa

4. ZAKLJUČCI

U radu su na temelju pedološke karte priobalja i krškog zaleđa mjerila 1:500.000, prikazane značajke tla. Ukupna površina toga područja iznosi 2.726.476,0 ha što predstavlja 48,9% od ukupne površine Hrvatske. Od toga, na poljoprivredno zemljište otpada 932.672,5 ha ili 34%.

Na temelju utvrđenih značajki i dominantnih ograničenja, izvršena je procjena pogodnosti tla za navodnjavanje, na temelju čega je izrađena karta pogodnosti tla za navodnjavanje priobalja i krškog zaleđa mjerila 1:500.000. Inventarizacijom površina utvrđeno je da pogodna tla zauzimaju 24.842 ha ili 2,7% u odnosu na ukupnu površinu poljoprivrednog zemljišta, umjereno pogodna tla 152.936 ha ili 16,4%, ograničeno pogodna tla 177.158 ha ili 19,0%, privremeno nepogodna tla 47.789 ha ili 5,1%, dok trajno nepogodna tla zauzimaju 529.945 ha ili 56,8%.

Utvrđeni rezultati istraživanja predstavljaju vrlo vrijedne podatke za izradu daljnjih planova navodnjavanja poljoprivrednog zemljišta na istraživanom području.

5. DOKUMENTACIJA

- Bogunović M., Vidaček Ž., Racz Z., Husnjak S., Sraka M. (1997): Namjenska pedološka karta Republike Hrvatske i njena uporaba, Agronomski glasnik 5 -6, Zagreb
- FAO (1976): A framework for land evaluation. Soil Bull. No. 32. FAO, Rome and ILRI, Wageningen. Publ. No. 22
- ESRI (Environmental Systems Research Institute), 1998: NT ArcInfo - The Arc Info Method Understanding GIS. Environmental Systems Research Institute (ESRI) Inc., Redlands, Asn Diego, CA, USA, 1998
- Husnjak, S., Vidaček, Ž., Bogunović, M., Sraka, M., Bensa, A., Vrhovec, D. (2005): Zemljišni resursi Hrvatske i pogodnost tla za navodnjavanje. Dio projekta "Nacionalni projekt navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama u Republici Hrvatskoj". Agronomski fakultet Zagreb, Zavod za pedologiju
- Škorić A., Filipovski Gj., Ćirić M. (1985): Klasifikacija zemljišta Jugoslavije, Sarajevo
- Škorić, A. (1986): Postanak, razvoj i sistematika tla. Udžbenik, Fakultet poljoprivrednih znanosti, Zagreb.
- Romić, D., Marušić, J., i sur. (2005): Nacionalni projekt navodnjavanja i gospodarenja poljoprivrednim zemljištem i vodama u Republici Hrvatskoj. Agronomski fakultet Sveučilišta u Zgrebu
- Vidaček, Ž., Bogunović, M., Husnjak, S., Sraka, M., Bensa, A. (2005): Hidropedološka karta Republike Hrvatske mjerila 1:300.000. Zavod za pedologiju Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.
- Vidaček, Ž. (1976): Prilog korištenju nekih klasifikacija tala, odnosno zemljišta pri namjenskim pedološkim istraživanjima na primjeru dijela srednjeg toka rijeke Plitvice
- xxx: " Kartiranje staništa RH " (DZZO, 2004)

7

NAVODNJAVANJE NA OTOCIMA

Prof.dr.sc. Jure Margeta

Građevinsko - arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu

1. UVOD	1
2. OSNOVNA POLAZIŠTA	1
3. VODOZAHVATNI OBJEKTI I NJIHOVO KORIŠTENJE	1
3.1. Regionalni vodovod kao izvor vode za navodnjavanje	1
3.2. Kišnica i gustirne	1
3.3. Korištenje površinskih voda	1
3.4. Korištenje podzemnih voda	1
3.5. Desalinizacija	1
3.6. Korištenje pročišćenih voda	1
4. Zaključci i prijedlozi	1
4. ZAKLJUČCI	1
5. DOKUMENTACIJA	1

1. UVOD

Poljoprivreda i s tim u vezi navodnjavanje na otocima je specifičan problem kojeg karakteriziraju posebni topografski, pedološki, klimatski, geološki, hidrogeološki, hidrološki i agronomski čimbenici. Velika topografska razvedenost prostora, krš, skromni pedološki uvjeti, siromaštvo vodnih resursa, tradicionalna suša u vegetacionom periodu, rascjepkanost poljoprivrednog zemljišta i drugo, bitno otežavaju organiziranje produktivne poljoprivredne proizvodnje. Tijekom vremena poljoprivredna aktivnost se prilagođavala prirodnim uvjetima što je rezultiralo tradicionalnom otočnom poljoprivredom sa tradicionalnim kulturama koje su bile održive u takvim uvjetima. Takva poljoprivredna proizvodnja ma kako kvalitetne proizvode imala sve je teže održiva u tržišnim uvjetima u kojima dominiraju jeftiniji proizvodi različitog porijekla. Stoga je održivost otočke poljoprivrede uvjetovana povećanjem produktivnosti koja se najlakše može postići navodnjavanjem. Navodnjavanje, odnosno voda, je ključni čimbenik koji značajno može povećati produktivnost postojeće poljoprivrede, a posebno može povećati sigurnost proizvodnje što je ključni preduvjet za održivost neke djelatnosti.

Lako dostupne vode na Jadranskim otocima nema, ali ima dosta oborina. Na žalost, oborine su tijekom godine tako raspoređene da ih najmanje ima kad ih najviše treba, te zbog toga ne mogu značajno poboljšati sadašnje stanje. Vode nema, iako ima oborina jer su otoci karakteristični krškim geološkim značajkama u kojima površinska voda brzo infiltrira i otječe u more bez formiranja značajnijih vodonosnika ili površinskih voda, stajačica i/ili tekućica. Rijetki su otoci koji imaju površinske vode (Cres, Krk) ili značajnije lako dostupne podzemne vodonosnike (Vis). Međutim, svaki otok ima manji ili veći vodonosnik na razini mora-"leća slatke vode" koja je najsigurnija i najizdašnija vodna cjelina na otocima, ali na žalost vrlo teška i skupa za zahvaćanje. Očito je da je stanje opskrbe vodom za navodnjavanje složeno, jer lako dostupne i jeftine vode za navodnjavanje uglavnom nema.

Ovakva situacija zahtjeva cjeloviti pristup kojim se u obzir uzimaju svi čimbenici koji utječu na održivost poljoprivredne proizvodnje na otocima. U rješavanju problema se podjednaka važnost mora davati, s jedne strane upravljanju potrebama, a s druge upravljanju opskrbom vodom. Osnova za razvoj mora biti Plan. Jedino je na takav način moguće ostvariti željeni cilj i održati produktivnu poljoprivredu na otocima.

Uz to, navodnjavanje na otocima mora biti uređeno te uspostavljena organizacija koja bi na tržišnim osnovama upravljala sustavom navodnjavanja. Bez dobre organizacije nemoguće je ostvariti djelotvorni sustav navodnjavanja i razvoj poljoprivrede na otocima.

U ovom radu naglasak će biti na zahvatima vode za potrebe navodnjavanja kao ključnom čimbeniku razvoja navodnjavanja na otocima.

2. OSNOVNA POLAZIŠTA

Integralni pristup

Voda je na otocima ograničavajući čimbenik razvoja poljoprivrede. Zbog toga se bez razvoja vodnih resursa ne može razvijati ni intenzivna poljoprivredna aktivnost. Međutim, poljoprivreda je samo jedan od korisnika voda otoka zbog čega se problem mora rješavati cjelovito kako bi se ograničeni resursi optimalno koristili. Pravilo je da prioritet u korištenju voda ima opskrba, a tek potom poljoprivreda.

Integralni koncept upravljanja vodama na otocima uključuje:

- prikupljanje i gospodarenje podacima;
- upravljanje potrebama;
- upravljanje opskrbom;
- sudjelovanje javnosti i svih dionika;

- učinkovitu organiziranost;
- planiranje i prateće analize;
- motrenje i kontrolu.

U slučaju ograničenih resursa, kao što su vode na otocima, važni elementi održivosti koji se moraju uzeti u obzir su:

1. Štednja i učinkovito trošenje vode;
2. Pravična raspodjela vode među svim korisnicima;
3. Cijena dostatna za povrat troškova i razvoj;
4. Korištenje svih raspoloživih prirodnih resursa kao i nekonvencionalnih izvora vode;
5. Upravljanje kakvoćom voda, a posebno salinitetom;
6. Odgovornost nadležnih institucija i organizacija nužnu za provedbu održivog gospodarenja vodama;
7. Kadrovska jačanje;
8. Školovanje i trening.

Uvažavanje svih ovih čimbenika je polazište za razvoj održive poljoprivrede i navodnjavanja na otocima. Integralni koncept se mora primijeniti u cjelini da bi bio učinkovit. Parcijalna primjena može poboljšati stanje ali neće riješiti problem održivosti sustava navodnjavanja.

Podaci i podloge

Podaci i podloge su polazni element bilo kojeg rješavanja problema. Od valjanosti i cjelovitosti podataka uvelike ovisi i rješenje. Osnovni podaci potrebni za planiranje razvoja navodnjavanja kao i poljoprivrede su standardni okolišni podaci:

- Geologija;
- Geomorfologija;
- Hidrologija;
- Klima;
- Vegetacija;
- Korištenje zemljišta i čovjekove aktivnosti.

Uz ove standardne podatke potrebno je raspolagati i sa specifičnim podacima kao što je katastar vodnih objekata koji uključuje i katastar komunalnih vodnih objekata, vodovoda i kanalizacije. Uz katastar vodnih objekata trebalo bi imati na raspolaganju odgovarajuće klimatološke, hidrološke i hidrogeološke podloge i podatke. Sve bi se podloge trebale nalaziti na jednom mjestu - vodoprivrednom informacijskom sustavu otoka. Izrada takovog informacijskog sustava ne bi trebala biti problem jer postoji dosta podataka i istraživanja koja su vršena od strane različitih institucija za

različite namjene. Podatke bi trebalo prikupiti, analizirati i sistematizirati te dostaviti na korištenje svim zainteresiranim. Tijekom vremena informacijski sustav i banku podataka treba ažurirati i dograđivati shodno potrebama i radovima koji će se odvijati.

To je jedini i pravi put da se postave dobri temelji za održivo upravljanje vodama otoka i time otoka u cjelini. Do sada nadležne institucije nisu imale interesa da se razviju takovi sustavi za otoke. Zbog toga je vrlo teško sustavno rješavati problem jer je analiza ograničena raspoloživim podacima i podlogama koje uglavnom nisu cjelovite niti ažurirane.

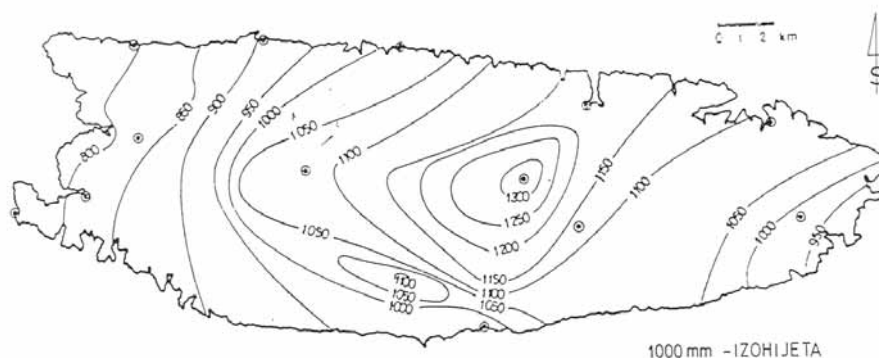
Drugu grupu podataka čine podaci vezani uz korištenje, odnosno korisnike i procjenu potreba i režima trošenja vode. To su podaci o: korištenju zemljišta; pedološke karte i podaci; stupanj infiltracije u tlo; stanju navodnjavanja; višku i manjku vlage u zemljištu tijekom godine; evapotranspiraciji, itd. Analiza mora obuhvatiti i odrediti potencijalni deficit vode, srednju temperaturu najhladnijeg mjeseca; pedološke značajke koje čine: geomorfologija, morfologija, visinski položaj, nagib terena, vegetacija i korištenje zemljišta, značajke tla (fizičke i kemijske), oblik i gustoća drenažnog sustava, erozija i depozit materijala.

Vodni resursi otoka

Vodni resursi općenito, pa i otoka, sastoje se od kopnenih voda i mora. Kopnene vode otoka su površinske (stajačice i tekućice) i podzemne vode. Vodni resursi su zbog dobro poznatih razloga siromašni, a broj rijeka, jezera i vodonosnika vrlo mali. Vodni resursi (površinski i podzemni) su uglavnom malog kapaciteta, velike promjenjivosti kapaciteta i često samo povremeni.

Jadransko područje je karakteristično s tipičnom Mediteranskom klimom, hladni i vlažni zimski period i sušni i topli ljetni period. Ukupna godišnja količina kiše je velika i kreće se prosječno od 800 - 1200 mm. Zbog toga se Jadransko područje ne može svrstati u sušna područja siromašna kišama, Slika 2.1.

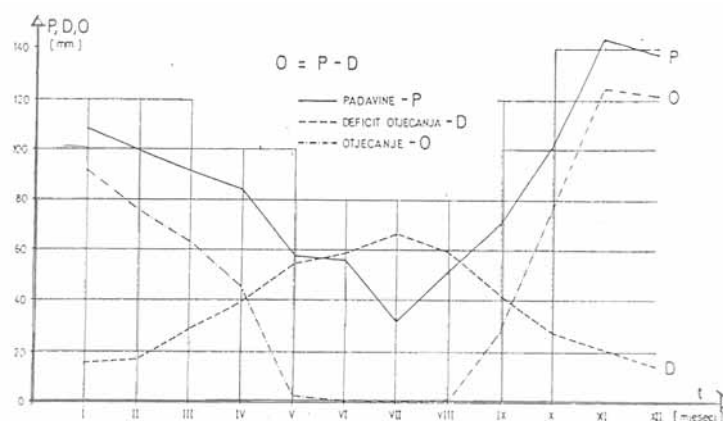
Međutim, klima je u direktnosti suprotnosti s prirodnim i društvenim potrebama za vodom. U vegetacionom periodu je kiše najmanje, a ljeti su društvene potrebe za vodom najveće, kako zbog povećanih temperatura tako i zbog turističkih aktivnosti. Prema svim proračunima (Vodnogospodarska osnova Hrvatske, draft verzija, 2004.) ukupne godišnje kiše daleko nadmašuju ukupne potrebe, kako na otocima tako i na cijelom priobalju tako da nije problem u raspoloživim godišnjim bruto količinama. Problem je u raspoloživim resursima vode, odnosno neto raspoloživim količinama koje su vrlo male, a najmanje u sušnom periodu godine.



Slika 2.1: Prosječne oborine otoka Brača (Bonacci, 2000)

Očito je da na otocima ima dosta vode, prije svega kiša, a zatim i podzemnih voda. Prema tome može se slobodno reći da vode ima, ali nije lako iskoristiva. Međutim, vode najmanje ima tijekom ljeta kada je najviše treba. To je osnovni razlog zbog čega se javljaju suše i štete od suša.

Osnovni problem vezan uz opskrbu vode otoka iz vlastitih rezervi je nepovoljna godišnja raspodjela oborina, a time i količina voda uskladištenih u krškom vodonosniku otoku. Na slici 2.2. dat je za otok Brač grafički prikaz mjesečnog hoda prosječnih padalina P , prosječnog deficita otjecanja D (određenog metodom Turca) i prosječnog otjecanja O (definiranog kao $O = P - D$), svi izraženi u mm, a određeni za razdoblje 1952.-1972. Iz grafičkog prikaza danog na slici se uočava da je u prosječni godišnji deficit otjecanja veći od padalina tijekom lipnja, srpnja i kolovoza a u svibnju su otprilike izjednačeni. Ova činjenica jasno ukazuje na smjerove i načine korištenja rezervi slatkih voda otoka.



Slika 2.2: Hodogram padavina, deficita otjecanja i otjecanja na Braču (Bonacci, 2000.)

Sigurno je da vlastitih slatkih voda na otoku Braču kao i drugim otocima ima u dovoljnim količinama za sve potrebe pa i potrebe navodnjavanja, samo je pitanje njihove iskoristivosti.

Morfološke, geološke i hidrogeološke karakteristike otoka, "krš", su nepovoljne za bilo koji oblik formiranja vodnih cjelina tekućica i stajačica kao i vodonosnika. Voda brzo infiltrira u podzemlje i podzemnim tokovima otječe u more. Zbog toga se rijetko formiraju tekućice kao i stajačice, te prirodnog akumuliranja voda, kako površinski tako i , uglavnom nema.

Najveći dio voda brzo otječe do leće slatke vode koja se nalazi ispod otoka i koja se bočno po rubu otoka prazni u more. To je jedini stalni vodni resurs na otoku. Ovisno o propusnosti podzemnih geoloških struktura, punjenje kao i pražnjenje leće je sporije ili brže. Na žalost, za većinu otoka previše brzo da bi se zadovoljile potrebe za vodom tijekom sušnog perioda godine. Iznimke su pojedini otoci na kojima su se zahvaljujući vodonepropusnim strukturama/barijerama otjecanje voda usporilo, odnosno voda se zadržava na ili u otoku stvarajući podzemne ili površinske resurse pogodne za korištenje (Cres, Krk, Vis).

Zbog ovih značajki vodni resursi otoka su siromašni, vrlo teški i skupi za eksploataciju. Troškovi istraživanja su veliki, a rezultati nesigurni tako da je to glavni razlog zbog kojeg se istraživanja ne provode. S druge strane, bez istraživanja nema ni kvalitetnih informacija za planiranje i projektiranje.

Bilanca voda otoka

Izrada bilance voda slivnog područja je preduvjet za sustavno planiranje korištenja vodnih resursa. Otok je zatvorena hidrološka cjelina i zbog toga, reklo bi se, jednostavan za globalno bilanciranje voda. Međutim, na našim otocima uglavnom nema površinskih vodotokova ni podataka o otjecanju tako da je teško doći do pouzdanih informacijama o veličini površinskog otjecanja. Ništa bolja situacija nije ni sa podzemnim vodama, kao ni sa evapotranspiracijom tako da je globalno bilanciranje samo gruba procjena koja je od male koristi za upravljanje i korištenje voda.

Primjer otoka Brača (Bonacci, 2000.):

"Otok Brač ima površinu od 394,6 km². Na slici 2.1. prikazana je karta linija istih godišnjih oborina (izohijeta) izraženih u mm. Već podaci s ove slike dovoljno svjedoče o činjenici potencijalnih bruto rezervi slatkih voda na prostoru cijelog otoka. Prosječna količina godišnjih oborina na prostoru cijelog otoka Brača određena primjenom pet različitih metoda (aritmetičkim srednjakom, izohijetama, Thiessenovim poligonima, hipsometrijskom metodom i priklonim plohama) iznosi 1013 mm. Na osnovu toga proizlazi da prosječno godišnje na otok Brač iz atmosfere padne 400x10⁶ m³

slatke vode, što izraženo u m^3/s iznosi $12,68 \text{ m}^3/\text{s}$ ili 12675 l/s . Koliko od te vode dospije u krški vodonosnik može se tek grubo procijeniti. Kako na otoku nema stalnih površinskih vodotoka, te kako je otok uglavnom pokriven krškim strukturama s velikim (gotovo neograničenim) kapacitetom infiltracije bit će se na strani sigurnosti ako se pretpostavi vrijednost srednjeg godišnjeg koeficijenta efektivne infiltracije u iznosu od 0,5. U tom slučaju, tijekom prosječno vlažne godine u krškom vodonosniku bi bilo uskladišteno oko $200 \times 10^6 \text{ m}^3$ vode ili $6,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Koliko se od toga iznosa može iskoristiti za opskrbu vodom stvar je ozbiljne znanstvene rasprave zasnovane na detaljnim istražnim radovima ali i na metodama eksploatacije koje bi se koristile. Bez prevelikih ulaganja realno bi bilo očekivati mogućnost korištenja 10 posto od uskladištenog iznosa, a uz velike radove i izgradnju brojnih galerija (radi se o desetcima kilometara) ovaj bi se iznos mogao udvostručiti."

Vodnogospodarska bilanca

Kako nema pouzdane bilance, teško je napraviti i pouzdanu vodnogospodarsku bilancu otoka. Bilancu korištenja voda nije teško napraviti jer se radi uglavnom na korištenju vode iz vodoopskrbnih sustava koja se mjeri, a ne i direktnom korištenju voda (jer takovih voda u najčešćem slučaju na većini otoka i nema).

Zbog toga se za otoke uglavnom radi bilanca potreba vezana za razvoj vodoopskrbnog sustava. Međutim, u svim dosadašnjim planovima razvoja bilanca potreba za vodom za potrebe navodnjavanja uglavnom nije rađena. To je i osnovni razlog zbog čega se navodnjavanje na otocima nije razvijalo. Zapravo, o tome nitko nije vodio računa jer je pretpostavka bila da se poljoprivreda na otocima ne isplati, pa je ne treba ni razvijati.

Zahvati i njihove značajke

Na većini otoka ne postoje značajniji raspoloživi stalni prirodni izvor vode ili vodna pojava koja bi se mogla direktno koristiti za potrebe navodnjavanja. Uglavnom su to lokve i gustirne, te povremeni vodotoci. Prema tome, jedina prirodna vodna pojava su oborine, površinski tokovi vode koji se javljaju u periodima intenzivnih kiša, te manje lokve.

Tradicionalni izvor vode za navodnjavanje i druga korištenja je kišnica jer je kiša redovita i lako dostupna. Izgradnjom nakapnih ploha i vodosprema moguće je sakupljati kišnicu koja se potom može koristiti za razne potrebe, pa i za navodnjavanje. Tako su nastale brojne lokve kao i cisterne koje su se stoljećima koristile za opskrbu stanovništva, stoke kao i za zalijevanje. Povremene površinske vode mogu se akumulirati u manje akumulacije i zatim koristiti za navodnjavanje.

Površinsko otjecanje je neredovito i nepredvidivo, te zbog toga vrlo nepouzdana kao mogući stalni izvor vode. Rijetko se koristi iako ima primjera uspješnog korištenja povremenih vodotokova, Nerežišće na Braču.

Slična situacija je i s podzemnim vodama. Istraživanje podzemnih voda u kršu, a time i njihova moguća eksploatacija je vrlo nesiguran i skup zadatak. Zbog toga se podzemne vode rijetko koriste, a ako se koriste onda se uglavnom ne za potrebe navodnjavanja, već za opskrbu stanovništva. Uglavnom je to leća slatke vode koja pluta na morskoj vodi. Dobar primjer je zahvat u Dolu na Braču (galerije).

Jedini prirodni vodni resurs kojeg na otocima ima u izobilju je more. Otok pliva na moru koje je dostupno u svim dijelovima otoka. Pretvaranjem morske vode u slatku dobiva se neograničeni resurs za sve namjene, pa i za navodnjavanje.

Na većini otoka postoje izgrađeni urbani vodni infrastrukturni sustavi koji su potencijalni izvori vode i za navodnjavanje. To su prije svega vodoopskrbni sustavi, lokalni bazirani na lokalnim zahvatima ili regionalni sa dovodom vode na otok. U pravilu su to regionalni vodoopskrbni sustav čiji opskrbni cjevovodi prolaze preko otoka od naselja do naselja.

Jedan od mogućih izvora vode na otocima su i pročišćene otpadne vode kojih najviše ima kada je voda za navodnjavanje najpotrebnija. To je izvor vode koji je u mnogim državama postao tradicionalni izvor vode za navodnjavanje. Kod nas zbog nedostatka, prije svega kanalizacijskih sustava, ovi izvori za sada nisu dostupni. Članstvom u EU kanalizacijski sustavi će se morati graditi jednako kao i uređaji za pročišćavanje otpadnih voda, tako da će ovi izvori vode sve više biti dostupni za korištenje.

Uz ove infrastrukturne objekte trebalo bi analizirati i sve druge zapuštene ili korištene zahvate vode na otoku, te građevine koje bi se mogle adaptirati u zahvate. Primjer takovog objekta je hidrotehnički tunel Dol-Bol na otoku Braču (oko 8 km duljine na koti terena od oko 200 m) koji je izgrađen da bi se u njega postavio tranzitni vodoopskrbni cjevovod za otok Hvar i južnu stranu Brača. Tunel predstavlja drenažnu galeriju koja bi se također uz odgovarajuće uređenje mogla iskoristiti za sakupljanje procijednih podzemnih voda i zahvatanja vode iz dubljih slojeva.

Prema tome, na otocima generalno govoreći, postoje brojni potencijalni izvori vode za potrebe navodnjavanja, različitih značajki i pogodnosti eksploatacije. Iskoristivost i isplativost ovih resursa prvenstveno ovisi o ekonomskim i društvenim interesima.

Raspoložive izvore vode na otocima možemo podijeliti na više načina:

a) u odnosu na prirodu nastanka:

- prirodni izvori (rijeke, jezera, podzemni vodonosnici) i
- umjetni (cisterne, desalinizacija mora, vodoopskrbni sustav, kanalizacijski sustav),

b) u odnosu na porijeklo:

- lokalne (svi lokalni prirodni i otočki umjetni izvori vode)
- uvezene-kopnene (regionalni vodoopskrbni sustavi, vodonosci, itd.)

c) u odnosu na učestalost korištenja:

- konvencionalne ili tradicionalne (kišnica, površinske i podzemne vode)
- ne-konvencionalne (vodoopskrbni sustavi, kanalizacijski sustavi, desalinizacija, itd.)

d) u odnosu na pojavu i trajanje:

- stalni (leća slatke vode, vodoopskrbni sustav, kanalizacijski sustav, more-desalinizacija, itd.)
- povremeni-sezonski (kiša, površinske vode, stajačice).

Moguće su i druge podjele shodno ciljevima istraživanja.

Da bi zahvat bio valjan treba zadovoljavati slijedeće uvjete:

- osiguravati dovoljne količine vode za planiranu namjenu;
- osiguravati kontinuitet opskrbe;
- imati zadovoljavajuću kakvoću;
- biti ekonomski prihvatljiv;
- uklapati se u cjelovitu politiku upravljanja vodama na otoku, vodnogospodarsku osnovu otoka.

Što se tiče količina, prirodni zahvati uglavnom nemaju dovoljne količine vode da zadovolje vršne potrebe. Klimatske i hidrološke značajke naših otoka su takove da su oborine, a time i vodni resursi najbogatiji zimi kada su potrebe poljoprivrede najmanje, a najsiromašniji ljeti kada su potrebe najveće. Rješenje za korištenje prirodnih izvora vode je u umjetnom zadržavanju vode izgradnjom umjetnih akumulacija-vodospremišta.

Znači, prirodni izvori se ne mogu izravno koristiti već jedino posredstvom vodospremišta. Vodospremišta osiguravaju potrebne količine. One će biti zadovoljavajuće samo ako je prosječni kapacitet zahvata veći od prosječno potrebnih količina, uvećano za količine koje se izgube i količine koje se moraju ostaviti za druge namjene. Ta bilanca vrijedi samo pod uvjetom da se izravnaje može ostvariti, odnosno realna vodospremišta izgraditi. Za svaki konkretan slučaj nužno je napraviti bilancu potreba i raspoloživih količina kao i volumena vodospremišta koji se realno mogu izgraditi na konkretnim lokacijama. Količina vode za navodnjavanje uglavnom ovisi o raspoloživosti kapaciteta vodospremišta. Reklo bi se da količine nisu ograničavajući čimbenik, ako se zanemare ekonomski kriteriji.

Kakvoća kopnenih voda za potrebe navodnjavanja nije upitna osim u dijelu voda koje su u kontaktu s morskom vodom. Ove vode su manje ili više zaslanjene i kao takove neprikladne za direktno korištenje. To posebno vri-

jedi za raspoložive vode u ljetnom periodu godine, jer su u tom periodu najviše zaslanjene. Korištenje ovakvih voda podrazumjeva primjenu postupka desalinizacije.

Svi lokalni prirodni zahvati vode se prioritarno koriste za vodoopskrbu stanovništva, a tek eventualni višak se može koristiti za navodnjavanje. Kad se sve to zbroji, proizlazi da je korištenje prirodnih izvora nesigurno, skupo i nedovoljno za cjelovito rješavanje problema navodnjavanja.

Najznačajniji umjetni zahvati vode su: (i) vodoopskrbni sustavi; (ii) pročišćena otpadna voda; (iii) desalinizacija morske vode; (iv) zahvaćanje kišnice.

Zahvaćanje kišnice je tradicionalni način opskrbe vodom za navodnjavanje. Količina kiše koja padne na otoke je relativno velika i dostatna za navodnjavanje tijekom sušnih mjeseci. Korištenje kišnice zahtjeva izgradnju nakapne plohe i akumulacije. Ovo je dobro i relativno jeftino rješenje, ali uglavnom individualnog karaktera. To znači da rješenje nije povoljno kao regionalno. Vlasnik poljoprivrednih kultura koji želi navodnjavati usjeve treba izgraditi vlastiti sustav opskrbe vodom shodno značajkama svojih površina. Moguće je da se više susjeda udruži i izgradi svoj zajednički sustav, ako se uspiju dogovoriti. Praktično je na svakoj lokaciji na otoku moguće izraditi ovakvo rješenje. To je posebno povoljno za sva mala poljoprivredna područja, zatim za sva topografski viša područja do kojih gravitacijski voda ne može doći. Ponovo kao i kod prirodnih izvora, preduvjet za eksploataciju ovog zahvata je izgradnja akumulacije-cisterne.

Vodoopskrbni sustav se gradi za vodoopskrbu stanovništva, turista, te industrije. Još uvijek se takovi sustavi na otocima ne grade i za potrebe navodnjavanja. Teško je vjerovati da će se isto dogoditi, možda jedino u posebnim uvjetima kao velika iznimka. Međutim, svi naši otočni vodoopskrbni sustavi imaju jednu karakteristiku koja im daje veliku važnost u osiguranju vode za potrebe navodnjavanja, a. to je sezonski rad. Sustavi su dimenzionirani da zadovolje dnevne potrebe u vršnom danu tijekom ljeta. Prema tome, ovi sustavi ljeti nemaju slobodnih količina za navodnjavanje. Ali zimi, kao i u predsezoni sustavi su samo manjim dijelom iskorišteni tako da su raspoložive količine velike. Ako se zimske količine akumuliraju u vodospremištima tada se akumulirane vode mogu koristiti ljeti. Znači akumulacija je osnovni preduvjet korištenja ovog zahvata. Izvor je pouzdan, stalan, a kapacitet je poznat. Kakvoća vode je jednaka kakvoći vode za piće.

Pročišćena otpadna voda je samo nastavak komunalnog vodnog sustava koji započinje vodovodom. To znači da pročišćene otpadne vode ima kada je i najveća potreba za vodom za navodnjavanje. Prema tome, kad se govori o količinama otpadnih voda onda one u najvećoj mjeri prate potrebe za navodnjavanjem, što znači da dulje akumuliranje vode nije potrebno.

Uglavnom su potrebne akumulacije za dnevno ili višednevno izravnaje. Zbog toga je ovaj zahvat vrlo značajan za poljoprivredu na otocima. Preduvjet za korištenje je postojanje kanalizacije i uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Za neke zemlje siromašne vodom ovo je tradicionalni zahvat vode za navodnjavanje, što znači da je tehnologija dobro poznata i provjerena.

Desalinizacija mora ili bočate vode postaje sve značajniji izvor vode za sve potrebe pa i za navodnjavanje, kako na otocima tako i na kopnu. More ima neograničeni kapacitet tako da su ekonomski čimbenici jedini ograničavajući faktor šire primjene. Zemlje na bliskom istoku već dulje vremena koriste desalinizaciju za opskrbu vodom poljoprivrednika. Odnedavno to isto radi i Španjolska. Desalinizacija postaje sve jeftinija zahvaljujući napretku membranske tehnologije tako da je ekonomski sve isplativija pred konvencionalnim izvorima vode naročito, ako se voda mora pročišćavati i zatim transportirati s veće udaljenosti.

Očito je da su na našim otocima umjetni zahvati jednostavniji i pouzdaniji od prirodnih i da imaju zadovoljavajući kapacitet. Postaju sve više tradicionalni i pouzdani izvori vode za navodnjavanje te se stoga uvijek moraju uključiti u proces planiranja i rješavanje problema opskrbe vodom. U svijetu je to već standardna praksa, a kod nas će se povećanjem komunalne opremljenosti naselja na otocima, te povećanom produktivnošću i ekonomskom isplativošću poljoprivredne djelatnosti ovi zahvati sve više koristiti.

Osnovne značajke vodoopskrbnog sustava

Ključni zaključak je da vode za navodnjavanje na otocima ima, ali ne u velikim količinama. Njena dobava je složena i vrlo skupa. Zbog toga su gubici vode krajnje neprihvatljivi. Ključni zahtjev prema sustavu za navodnjavanje je da se gubici vode u sustavu minimiziraju na realno ostvarive veličine. To znači:

- (i) minimalni gubici kod transporta od zahvata do vodospremišta;
- (ii) minimalni gubici u vodospremištima;
- (iii) minimalni gubici kod distribucije od vodospremišta do korisnika;
- (iv) minimalni gubici kod zalijevanja-korištenja.

Drugi ključni zaključak je da se navodnjavanje na otocima ne može realizirati bez veće ili manje akumulacije-vodospremišta. Znači, da je akumulacija standardni element sustava za navodnjavanje.

Strogi zahtjevi vezani uz gubitke definiraju osnovnu tehnologiju sustava za navodnjavanje koja se sastoji u slijedećem:

1. Transportni i distribucijski sustav mora biti zatvoren;
2. Sustav vodospremišta u najvećem dijelu mora biti zatvoren, odnosno mjere za smanjenje gubitaka primijenjene;

3. Zalijevanje/natapanje mora biti točkasto, sustavom kap-po-kap površinski, a još bolje podzemno;

Transportni sustavi su cijevni sustavi, a ne otvoreni kanali tako da je njihova dobava i izgradnja značajno skuplja. Međutim, mogu se izvoditi slobodno položeni na teren i tako značajno pojeftiniti izgradnju jer nema zemljanih radova.

Zbog visokih ljetnih temperatura evaporacija je velika, pa time i gubici vode iz akumulacija. Da bi se isti smanjili primjenjuju se razne mjere koje poskupljuju izvedbu akumulacija.

Visoka cijena vode od korisnika zahtjeva maksimalnu štednju kod navodnjavanja. Korištenjem sustava "kap-po-kap" gubici se svode na najmanju moguću mjeru. S druge strane, nabava i održavanje ovakvog natapnog sustava je najskuplja.

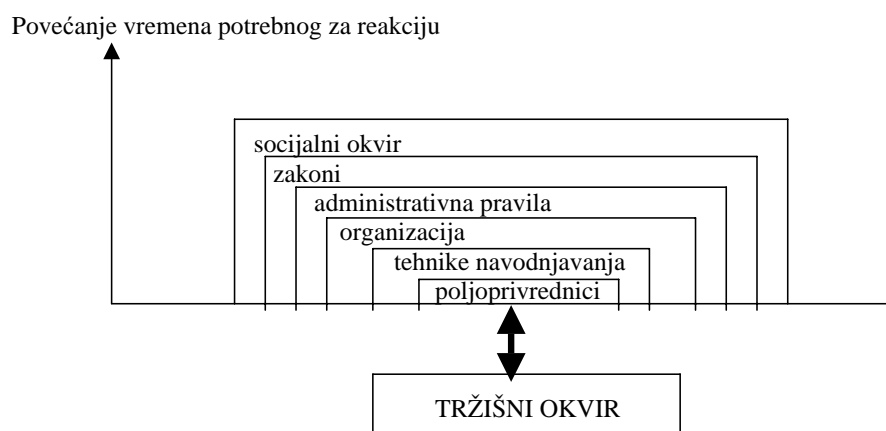
Ovi zahtjevi i mjere koje se moraju provoditi na otocima poskupljuju izgradnju sustava za navodnjavanje, ali su na žalost preduvjet za njihovu održivost.

Sustavi za navodnjavanje na otocima zbog velike usitnjenosti poljoprivrednih površina, te velike brdovitosti terena uglavnom se mogu razvijati kao individualni, lokalni za neko uže područje, a vrlo rijetko kao regionalni na razini cijelog otoka.

Upravljanje potrebama

Voda je ograničavajući resurs za razvoj poljoprivrede na otoku kao i otoka u cjelini. Voda se može osigurati ali je očito da cijena vode za navodnjavanje na otocima mora biti visoka, svakako daleko veća od cijene na kopnu. U ovakvim situacijama postavlja se pitanje isplativosti ove djelatnosti na otocima te prioriteta u razvoju. Zbog toga bi vodu za natapanje trebalo koristiti za kulture koje na tržištu mogu ostvariti zaradu ili pak za ono što ima strateški značaj za zajednicu (zadržavanje stanovništva na otocima, očuvanje tradicionalnih aktivnosti, itd.). Dobro je poznato da ekonomska vrijednost poljoprivredne proizvodnje koja se natapa konstantno raste po jedinici volumena vode koji se koristi u navodnjavanju, od 1950 - 1990 u Izraelu je to bilo pet puta. Prema tome, nije upitna vrijednost vode koja je namijenjena za navodnjavanje, već učinkovitost sustava u cjelini.

U tržišnom društvu voda za navodnjavanje nije javni interes već stvar tržišta što znači da je tržište regulator potražnje za proizvodima s otoka i time vodom, Slika 2.3. Tržište jednako tako utječe i na razvoj sustava za navodnjavanje i samu potrošnju vode. Zato se svako planiranje sustava za navodnjavanje mora zasnivati na planovima razvoja poljoprivrede na otocima i svih drugih pratećih mjera. Takav plan mora voditi računa i o raspoloživim resursima voda što znači da se mora rješavati zajedno s planom upravljanja vodama na otoku.



Slika 2.3: *Konceptualna shema funkcionalnih ograničenja koja utječu na prilagodljivost strategije navodnjavanja u odnosu na promjene na tržištu*

U svakom socijalno odgovornom društvu cijelim nizom mjera se pomaže održivost poljoprivrede, jer ona ima veliku socijalnu važnost i za stabilnost društva u cjelini. To posebno vrijedi za poljoprivredu na otocima koja za društvo ima širi značaj, a ne samo puku proizvodnju poljoprivrednih proizvoda koji se mogu po možda povoljnijim cijenama naći na svjetskom tržištu. Međutim, ako društvo pomaže održivost poljoprivredne djelatnosti i time razvoj sustava za navodnjavanje isto se ne događa bez kriterija. Znači, neće se pod svaku cijenu pomagati sve, nego pak ono što je za društvo isplativije. Što je isplativije predmet je širih analiza i interesa i nije predmet ovog rada.

Površine koje se žele navodnjavati moraju biti usklađene s raspoloživim vodnim resursima. Ako su isti ograničeni, tada se površine moraju rangirati u odnosu na prioritete navodnjavanja. Prva i to minimalna racionalizacija površina prikladnih za navodnjavanje mora se napraviti tako da se primjeni metodologija "procjene efekta napajanja", odnosno napravi klasifikacija terena (pedokartiranih jedinica i lokacija) uvažavajući između ostalog slijedeće elemente: pedološke značajke, topografske značajke terena, infrastrukturne elemente i pretpostavljene efekte navodnjavanja. Predlaže se pet kategorija tla: pogodna, umjereno pogodna, ograničeno pogodna, uvjetno pogodna i nepogodna tla. Ovakvom klasifikacijom zasnovanom na znanstvenoj metodologiji i terenskim istraživanjima jasno se rangiraju tereni i prioritete u raspodjeli ograničenih vodnih resursa otoka.

Druga racionalizacija provodi se temeljem određivanja prioriteta među kulturama koje će se natapati. Ova racionalizacija provodi se primjenom višekriterijalne analize na temelju ekonomski mjerivih i drugih nemjerivih kriterija. Koji kriteriji će se koristiti stvar je procjene stručnjaka ali i interesa političara, poljoprivrednika i šire javnosti. Na isti način određuju se

težinske vrijednosti kriterija. Primjenom jedne od tehnika višekriterijalne analize vrši se rangiranje isplativosti uzgoja poljoprivrednih kultura na otoku.

Prva po rangu kultura koja se nalazi na "pogodnim terenima" trebala bi imati prioritet u raspodjeli voda, zatim slijedeća i tako redom sve dok se ne iskoriste raspoloživi resursi opskrbe vodom. Do koje razine vrijednosti koristiti terene stvar je procjene isplativosti ulaganja za pojedinu kulturu.

Za ovako klasificirane terene i kulture izračunaju se potrebe za vodom. Kod toga je važno odrediti periode navodnjavanja i potrebne količine.

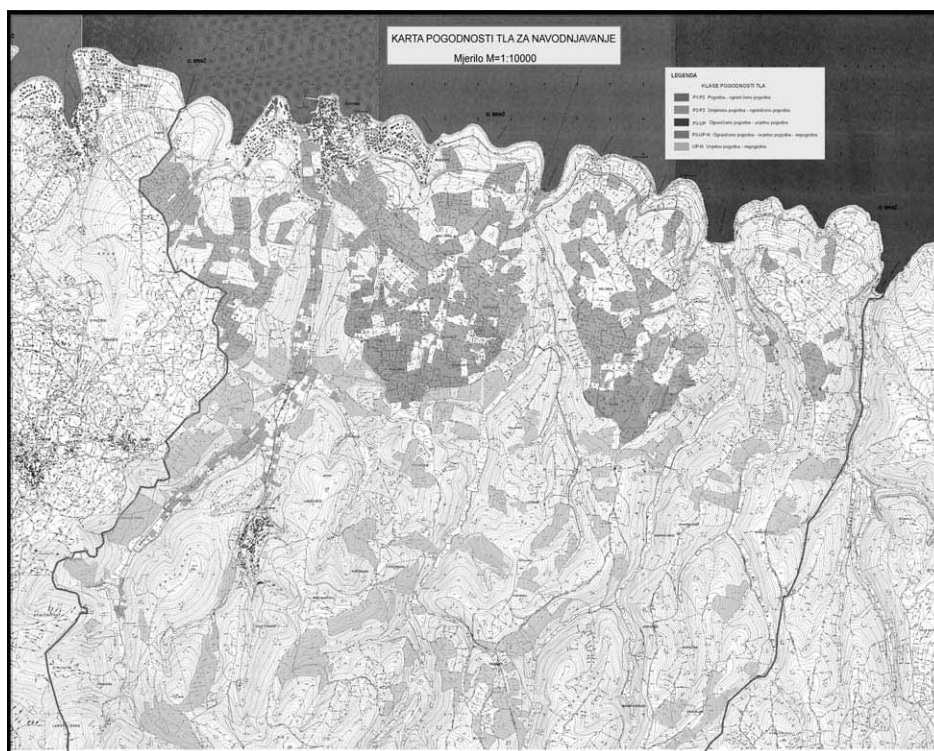
Ovako pripremljeni podaci su podloga za sustavno rješavanje problema navodnjavanja na otocima. Korištenjem ovih podataka i podataka o raspoloživim resursima razrađuju se alternativna rješenja navodnjavanja i primjenom višekriterijalne analize odabire najprihvatljivije rješenje.

Primjer procjene pogodnosti za pedo-kartiranih jedinica lokacija za navodnjavanje i procjena potrebnih količina vode; Brač području Dol-Postire:

K.J.		Lokacija	Nagib terena (stupnjevi)	Kultura	Površina lokacije (ha)	Ukupna godišnja količina vode za natapanje (m ³)	Pogodnost za natapanje	Period natapanja
1	1	Mali brig,	<5 ⁰	maslina	21,1	29.012	P1	13,05-12,09
	2	Veli brig,	<5 ⁰		13,1	18.012	P1	13,05-12,09
2	3	Mali brig,	<5 ⁰		34,1	49.002	P3-UP	01,05-1,11
	4	Veli brig,	<5 ⁰		15,5	22.274	P3-UP	01,05-1,11
3	5	Tereni na strmim padinama			235,3	273.654	UP-N1	01,05-1,11
4	6	Između Splitske i Postira	<5 ⁰		8,2	11.686	P1	03,05-03,10
			5-10 ⁰		19,2	27.360	P2	03,05-03,10
			>10 ⁰		18,2	25.935	P3-UP	03,05-03,10
	7	Između Postira i U. Trstena	<5 ⁰		4,1	5.842	P1	03,05-03,10
			5-10 ⁰		31,0	44.175	P2	03,05-03,10
			>10 ⁰		33,0	47.025	P3-UP	03,05-03,10
8	Između Uvala Trstena i Lovrečina	<5 ⁰	10,0	14.250	P1	03,05-03,10		
		5-10 ⁰	17,9	25.507	P2	03,05-03,10		
		>10 ⁰	15,0	21.375	P3-UP	03,05-03,10		
5	9	Uvala Postira -Dol	<5 ⁰	agrumi, povrće, maslina	27,7	128.445	P1	07,05-10,0
	10	Uvala Trstena	<5 ⁰	agrumi, povrće, maslina	2,0	9.274	P1	07,05-10,0
	11	Uvala Lovrečina	<5 ⁰	agrumi, povrće, maslina	1,5	6.956	P1	07,05-10,0

Legenda:

- P1 - pogodna;
- P2 - umjereno pogodna;
- P3 - ograničeno pogodna;
- P4 - uvjetno pogodna;
- P5 - nepogodna.



Slika 3.4. Rangiranje površina za navodnjavanje na području Dol-Postire, otok Brač

Planiranje

Planiranje je osnovni alat za racionalno rješavanje sustava navodnjavanja. Zato je nužno prije svakog donošenja odluke izraditi cjeloviti plan sustava navodnjavanja na predmetnom otoku. Kod izrade plana potrebno je analizirati slijedeće:

- Potrebe za vodom i raspored navodnjavanja;
- Tehnike navodnjavanja;
- Zahvate i njihovo korištenje;
- Transport vode;
- Akumuliranje vode;
- Mjerenje i distribuciju vode;
- Kontrolu kakvoće vode i saliniteta zemljišta;
- Mjere štednje;
- Organizaciju sustava;
- Nadzor i motrenje;
- Troškove i koristi;
- Cijenu vode i njenu vrijednost za korisnike;
- Zakonski i institucionalni okvir.

Plan se mora izraditi na temelju raspoloživih podataka. Podaci ne bi trebali biti razlog da se plan ne donese. Ako podaci nisu dovoljni za izradu kvalitetnog plana, tada se kod izrade prvog plana trebaju navesti svi radovi i predradnje nužne za kvalitetnu izradu novog plana. Kada se navedeni zahtjevi, podaci i podloge osiguraju tada treba izraditi novi plan.

3. VODOZAHVATNI OBJEKTI I NJIHOVO KORIŠTENJE

Zahvati koji bi se na otocima mogli koristiti za osiguranje vode za potrebe navodnjavanja su:

1. Vodoopskrbni sustav otoka;
2. Kišnica i gustirne;
3. Korištenje površinskih voda;
4. Korištenje podzemnih voda;
5. Desalnizacija;
6. Korištenje pročišćenih otpadnih voda.

Regionalni sustav je na prvom mjestu jer je svugdje dostupan i jer uvijek ima raspoloživi sezonski višak kapaciteta koji se može koristiti za navodnjavanje. Znači to je zahvat koji se može odmah koristiti ako ima zainteresiranih i ako je cijena prihvatljiva.

Kišnica je na drugom mjestu jer je jednako tako, svugdje dostupna i jer je sigurni sezonski zahvat vode na svim lokacijama gdje se nakapna ploha i vodosprema mogu izgraditi.

Na većini otoka postoje manja slivna područja na kojima se tijekom intenzivnih kiša javljaju površinske vode. Problem je u tome da lokacije na kojima se protoke javljaju nisu uvijek blizu potencijalnih korisnika što značajno poskupljuje moguće korištenje. Međutim, korištenje ovih voda se ne naplaćuje.

Osim leće slatke vode, ostale podzemne vode su rijetkost na krškim otocima. Zahvaćanje leće slatke vode, naročito zahvaćanje većih kapaciteta, je uvijek veliki rizik pa se bez dobro organiziranog Projekta teško analiziraju kao mogući zahvati.

Desalinizacija je dobar i pouzdan izvor vode, ali za naše otoke možda još uvijek preskup zahvat.

Korištenje pročišćenih voda će sigurno biti jedan od sigurnijih i kvalitetnih zahvata vode za navodnjavanje, ali samo onda kada se na otocima izgrade kanalizacije i uređaji za pročišćavanje otpadnih voda. Komunalna društva bi trebala izgraditi uređaj drugog stupnja da bi vode bile ekonomski prihvatljive za navodnjavanje.

U tekstu dalje će se opisati značajke ovih zahvata s tim da će se prioritet dati onima koji su u sadašnjem trenutku izgledniji za realizaciju.

3.1. Regionalni vodovod kao izvor vode za navodnjavanje

Osnovni okvir za korištenje vodoopskrbnog sustava za navodnjavanje

Iako viškovi kapaciteta postoje njihovo uzimanje iz vodoopskrbnog sustava za potrebe poljoprivrede je ograničeno zbog karakteristika vodoopskrbnog sustava koji se nikada ne planira niti gradi da bi zadovoljio potrebe navodnjavanja, osim potreba navodnjavanja okućnica. Da bi se postojeći vodoopskrbni sustav koristio za navodnjavanje potrebno je prije svega zadovoljiti dva ključna kriterija:

1. Korištenjem viškova kapaciteta ne smije se ugroziti normalni planirani rad vodoopskrbnog sustava i sigurnost vodoopskrbe. Režim potrošnje vode za poljoprivredu i urbanih potreba ima različite karakteristike, zbog čega se vodoopskrbni sustav ne može direktno koristiti za zajedničku potrošnju. Potrošači kao što su domaćinstva, turizam i industrija imaju predvidljivi dnevni i sezonski režim potrošnje vode zbog čega je moguće planirati njihovu potrošnju u pojedinim periodima godine i tijekom dana. Navodnjavanje poljoprivrednih površina ima stohastični karakter zbog čega se ne može sa velikom sigurnošću planirati potrošnja, jer ista značajno ovisi o klimatskim uvjetima. Iz tog razloga je direktno korištenje postojećeg vodoopskrbnog sustava za potrebe poljoprivrede neprihvatljivo. Direktno uzimanje vode iz vodoopskrbnog sustava bez nadzora Vodovoda bi izazvalo potpunu anarhiju i kolaps sustava.

2. Korištenje viškova kapaciteta mora biti ekonomski isplativo za korisnike i za Vodovod. Kod ovakvog rješenja je teško govoriti o ekonomskoj isplativosti bez detaljne ekonomske analize. Međutim, kako postojeći višak kapaciteta predstavlja neiskorišteni potencijal bilo bi svakako dobro pronaći način da se iskoristi primjenjujući ekonomske instrumente. Uz to, veća protočnost u sustavu u zimskom periodu je potrebna iz tehnoloških razloga jer se povećava pogonska sigurnost sustava i kakvoća vode.

Ukupna količina vode koja se smije uzeti iz vodoopskrbnog sustava za potrebe poljoprivrede je:

$$Q_{uk,t}^{POLJ} \leq Q_{uk,t}^{TEOR} - Q_{uk,t}^{POTR} \quad (3.1)$$

$Q_{uk,t}^{TEOR}$ - teorijski kapacitet sustava u trenutku t;

$Q_{uk,t}^{POTR}$ - ukupna potrošnja vode za potrebe domaćinstava, industrije i turizma u sustavu u trenutku t ;

$Q_{uk,t}^{POLJ}$ - raspoložive količine vode za potrebe poljoprivrede u sustavu u trenutku t .

Normalni planirani rad vodoopskrbnog sustava ne smije biti ugrožen ni na jednoj dionici sustava. Stoga je količina vode koja se na nekoj dionici "i" može uzeti za potrebe poljoprivrede slijedeća:

$$Q_{i,t}^{POLJ} \leq Q_{i,t}^{RASP} - \sum_i^n Q_{i,t}^{POTR} - \sum_{i+1}^n Q_{i,t}^{POLJ} \quad (3.2)$$

(moguće količine za navodnjavanje) < (raspoloživo) - (potrebno za komunalne potrebe) - (prethodno iskorištene od poljoprivrede) uz uvjet da je:

$$Q_{i,t}^{POLJ} \leq Q_{i,t}^{RASP} - \sum_i^n Q_{i,t}^{POTR} - \sum_{i+1}^n Q_{i,t}^{POLJ} \quad (3.3)$$

ako je:

$$Q_{i-1,t}^{NEISK} \geq Q_{i,t}^{TEOR} \Rightarrow Q_{i,t}^{RASP} = Q_{i,t}^{TEOR}$$

$Q_{i,t}^{TEOR}$ - teorijski kapacitet dionice

$Q_{i,t}^{RASP}$ - raspoloživi kapacitet za sve planirane potrebe, uključujući i poljoprivredu

$Q_{i,t}^{NEISK}$ - neiskorišteni kapacitet nakon što je uzeta voda za sve planirane potrebe, uključujući i već rezervirano korištenje za navodnjavanje

Na ovaj način se svaki novi korisnik vode sustava za navodnjavanje prilagođava procijenjenom raspoloživom višku kapaciteta sustava na određenom području, odnosno dionici sustava.

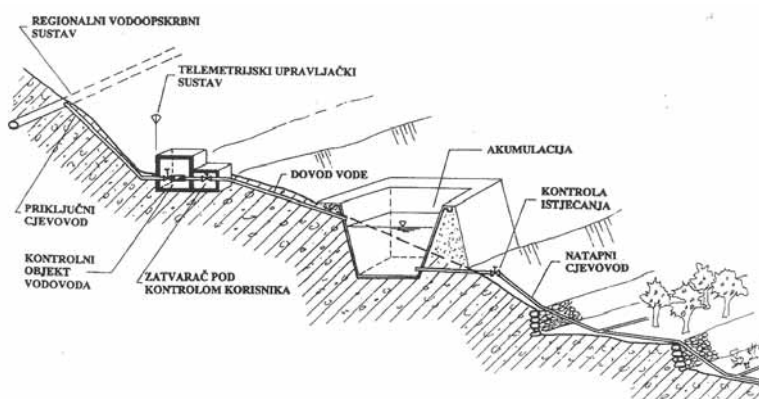
Koncept mogućeg rješenja

Raspoloživi viškovi su u zimskom periodu godine pa je rješenje u vremenskoj preraspodjeli voda, odnosno rješenje je izgradnja akumulacije/rezervoara. Punila bi se kada postoje viškovi u vodoopskrbnom sustavu i to isključivo pod kontrolom Vodovoda, a praznila bi se pod kontrolom korisnika kada je navodnjavanje potrebno. Prema tome, rezervoar je ključni objekt kojim se osigurava voda za navodnjavanje, te istovremeno eliminira utjecaj navodnjavanja na vodoopskrbni sustav i obrnuto, eliminira direktan utjecaj vodoopskrbnog sustava na režim navodnjavanja.

Na ovaj način Vodovod provodi sigurnu kontrolu uzimanja vode iz

vodoopskrbnog sustava u periodima kad se ostvare uvjeti za to, odnosno kad postoji sigurni višak vode. Iskoristivost viškova koji se javljaju tijekom godine će biti bolja što je sustav monitoringa i upravljanja bolji. Daljinskim nadzorom i upravljanjem moguće je iskoristivost sustava značajno povećati kao i sigurnost opskrbe vodom svih korisnika sustava. Normalno, jedan ovakav koncept zahtjeva nadogradnju postojećeg sustava nadzora i upravljanja jer isti nije bio predviđen za ove namjene. Koncept predloženog rješenja za korištenje postojećeg vodoopskrbnog sustava za potrebe navodnjavanja prikazan je na slici 3.1.

Dovodni cjevovod se gradi od vodoopskrbnog cjevovoda do rezervoara. Na kraju cjevovoda se gradi zatvoreni sustav kontrole istjecanja vode (zatvarač i vodomjer) koji dozvoljava pristup regulacijskom uređaju samo službenim osobama Vodovoda. Voda iz sustava se daje samo kad ima viška u sustavu i to onoliko koliko Vodovod smatra da može dati u tom trenutku. Drugi sustav kontrole imaju korisnici vode, te zatvaračima kontroliraju punjenje akumulacija vodom iz vodoopskrbnog sustava (uzimaju raspoloživu vodu kad žele).



Slika 3.1. Koncept rješenja osiguranja vode za navodnjavanje iz vodoopskrbnog sustava

Poželjno je rezervoar graditi na polju, ili što bliže polju koje se navodnjava i to na koti na kojoj se može osigurati gravitacijsko dotjecanje iz vodovoda u akumulaciju. U slučaju da je akumulacija iznad tlačne crte vodoopskrbnog sustava, voda bi se morala crpiti, a to bi povećalo investiciju i troškove pogona, te umanjilo isplativost rješenja. Drugi razlozi za odabir najviše kote akumulacije su slijedeći:

- u tom slučaju je tlak u dovodnom/priključnom cjevovodu najmanji, te su i gubici najmanji;
- izvedba cjevovoda je najjeftinija jer je dovodni cjevovod najkraći i koriste se cijevi za manje tlakove;
- viši položaj akumulacije omogućava gravitacijsko zalijevanje poljoprivrednih površina.

Ključni i najskuplji objekt predloženog rješenja je rezervoar. Volumen rezervoara ovisi o raspoloživom kapacitetu vodoopskrbnog sustava (dotjecanju) s jedne strane i potrebama pojedinih korisnika (istjecanju) s druge strane.

Raspoloživi volumen vode (rezervoara) za vremenski period Δt na dionici "i" je:

$$V_{i,t} = Q_{i,t}^{POLJ} * \Delta t$$

odnosno, za duži period T (1,...N) mjeseci:

$$V_{i,T} = \sum_{t=1}^N Q_{i,t}^{POLJ} * \Delta t \quad (3.4)$$

Poželjno je da se gradi što manji broj rezervoara, odnosno što većeg volumena, jer se time smanjuju troškovi izgradnje, a povećava sigurnost opskrbe. Ključni kriterij za utvrđivanje moguće maksimalne veličine rezervoara je raspoloživi kapacitet vodnog sustava na razmatranoj dionici. Volumen vode koji stoji na raspolaganju za navodnjavanje je u funkciji kapaciteta dionice i vremenskog trajanja viška. Kada i koliko dugo će se akumulacije puniti ovisi o stanju sustava, odnosno protjecajnom kapacitetu razmatranog dijela vodoopskrbnog sustava, potrošnji vode u sustavu, te potrebama za navodnjavanje.

Ako je raspoloživi višak vode manji od potreba poljoprivrede na tom lokalitetu, tada će vrijeme punjenja biti jednako periodu u kojem se javlja višak kapaciteta sustava na razmatranoj dionici,

$$T = \sum \Delta t; t = (Q^{teoret} \triangleright Q^{pot}) \quad (3.5)$$

gdje je:

Q_{teoret} - teoretski kapacitet sustava na razmatranoj dionici

Q_{pot} - potrebni kapacitet sustava na razmatranoj dionici

a ako je raspoloživi višak vode veći od potreba za navodnjavanje tada će ukupni period punjenja rezervoara biti kraći.

Poželjno je da se akumulacije vremenski pune što kraće i po mogućnosti što bliže periodu korištenja, jer se na taj način smanjuju gubici vode iz rezervoara, a povećava se sigurnost rada sustava za navodnjavanje.

Svakako bi bilo poželjno, gdje god je to moguće, kao dodatnu sigurnost koristiti prirodne vodne resurse za punjenje akumulacije. To mogu biti manji povremeni vodotoci u zimskom periodu, manja izvorišta ili sakupljanje kišnice. Ovakvim se rješenjem bitno povećava sigurnost zadovoljenja potreba vodom za navodnjavanje, a povećava se i sigurnost rada vodoopskrbnog sustava, te dobiva ukupno niža cijena vode.

Ekonomski okvir

Evidentno da je opisano rješenje u tehničkom smislu ostvarivo, ali se postavlja pitanje ekonomske isplativosti. Pri rješavanju ekonomske problematike je potrebno promatrati isplativost predloženog rješenja obzirom na poljoprivrednike, državu i vlasnika vodovoda. Država ima interesa ulagati u poljoprivredu na otocima jer poljoprivreda uz turizam ostvaruje dobre socio-ekonomske učinke, a vlasnik vodovoda razvojem navodnjavanja ima veću prodaju vode, a time i zaradu. Međutim, za poljoprivrednike je ovo rješenje isplativo samo ukoliko bi se povećanom godišnjom poljoprivrednom proizvodnjom mogli otplaćivati ukupni godišnji troškovi proizvodnje te ostvario profit.

Za analizu ekonomske isplativosti opskrbe vodom poljoprivrede je ključno utvrditi za koliko bi se trebala povećati poljoprivredna proizvodnja (produktivnost) da bi se pokrili svi troškovi investicije i pogona, te ostvarila minimalna zarada. Na isplativost korištenje ovog izvora vode najviše utječe cijena vode. Cijena vode u vodoopskrbnim sustavima je danas dosta visoka od 10 - 25 kuna. Opterećena je proizvodnim troškovima, te amortizacijom, troškovima kanalizacije, porezima, taksama i PDV-om. Voda koja bi se koristila za navodnjavanje trebala bi imati proizvodnu cijenu uvećanu za minimalnu zaradu Vodovoda. Svi ostali, uključujući i Državu trebali bi se odreći svojih prihoda od prodaje vode.

Kapacitet

Regionalni vodovod ima određeni kapacitet prilagođen potrebama otoka tijekom turističke sezone. Taj sustav se razvija kako se razvija turistička aktivnost na otoku tako da raspoloživi kapaciteti uvijek rastu.

Svaki vodoopskrbni sustav tijekom zime ima višak kapaciteta. Višak ovisi o razlici broja korisnika sustava tijekom zime i ljeta, odnosno dnevnih zimskih i ljetnih potreba. Ovisno o stanju na otoku ljetna potrošnja je 5 do 15 puta veća od zimske.

U slijedećim tablicama navedeni su primjeri za dvije općine na otoku Braču, jednu manju Postire i najveću općinu Supetar.

Tablica 3.1: Mjesečna potrošnja vode općine Postira ($m^3/mjeseć$); 2005.

Mjesec	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	Ukupno
Ukupno	5874	3163	10892	9035	11879	30255	32334	24759	16200	9569	10089	9379	173.429
Stanovništvo	3387	1823	7932	5882	7359	18805	19992	16703	9375	5926	6445	5207	108.837
Poljopriv.	0,65	0,35	0	263	715	7048	5098	3079	1365	153	0	0	17.722
Privreda	2486	1339	2960	2890	3805	4402	7244	4977	5460	3490	3644	4172	46.870

Tablica 3.2: Mjesečna potrošnja vode grada Supetra ($m^3/mjeseć$); 2005.

Mjesec	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	Ukupno
Ukupno	11497	6190	27283	23145	35092	83551	96071	94176	59247	27708	23201	20849	508.010
Stanovništvo	9040	4.867	22355	17698	22757	54100	62223	59773	33487	17140	16594	16452	335.666
Poljopriv.	82	44	105	209	2247	8494	9723	8287	7398	785	498	135	38.007
Privreda	2375	1279	4823	5238	10088	20957	24125	26116	18362	9783	6109	4262	134.337

Vidljivo je da potrošnja vode dosta varira tijekom godine:

- (i) Postire: veljača : srpanj = 1:10,22
- (ii) Supetar: veljača : srpanj = 1:15,70

Potrošnja je direktno u funkciji klimatskih čimbenika, a prije svega količine oborina i temperature, koji direktno utječu na turističku i poljoprivrednu aktivnost i potrošnju, te porast broja korisnika tijekom ljeta.

Očito je da vodoopskrbni sustav u periodu listopad - travanj ima izrazito velike i sigurne viškove, a u rujnu i svibnju nešto manje viškove u kapacitetu opskrbe koji se mogu koristiti za navodnjavanje.

3.2. Kišnica i gustrine

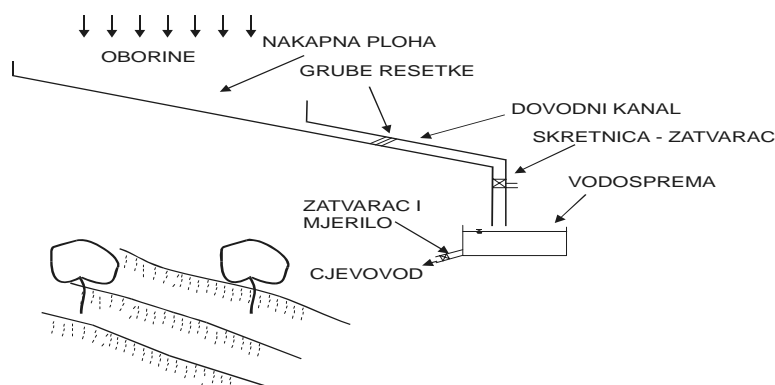
Tradicionalni oblik osiguravanja vode za potrebe navodnjavanja je korištenje kišnice. Količina kiše koja padne na području otoka je relativno velika i dostatna za navodnjavanje tijekom sušnih ljetnih mjeseci. Međutim, korištenje kišnice zahtjeva izgradnju nakapne plohe i akumulacije. Ovo je dobro i relativno jeftino rješenje, ali uglavnom individualnog karaktera korištenja. To znači da se ovo rješenje koristi uglavnom za manje lokalne potrebe, a ne kao regionalno rješenje većeg kapaciteta. Razlog za to je oduvijek bila skupa izgradnja. Međutim, danas je izgradnja znatno jeftinija i jednostavnija te se akumulacije-gustrine mogu brzo i jeftino graditi. Zbog toga je ovaj oblik osiguranja vode za potrebe navodnjavanja moguć te ga stoga treba ozbiljno razmotriti.

Opis osnovnih karakteristika sustava

Osnovni elementi sustava opskrbe vodom kišnicom kojeg će se u tekstu skraćeno zvati "sustav" ili "cisterna", prikazani su na slici 3.2. Za razliku od "kućnih cisterni" kod ovog sustava nakapna ploha je prirodna ili umjetno stvorena površina, dok cisternu zamjenjuje akumulacija/rezervoar. Dva su

osnovna dijela ovog sustava: nakapna ploha/površina za sakupljanje vode i vodospremište/akumulacija za spremanje vode. Sustav se oprema svim potrebnim elementima u skladu s karakteristikama lokacije, od kojih su najvažniji: (i) elementi za uzimanje vode, (ii) elementi za održavanje sustava.

Tehnološki proces sustava je jednostavan. Kiša pada na nakapnu plohu; pala kiša se sakuplja kanalima i odvodi kanalima ili cijevima u vodospremu. Prije nego dođe do vodospreme kišnica se pročišćava na gruboj rešetki. Sakupljena voda u vodospremištu se zadržava i koristi u skladu s potrebama. Voda za korištenje iz vodospremišta se uzima direktno nategom ili indirektno sa odvodnim cjevovodom. Sustav treba koncipirati tako da voda kroz sustav teče gravitacijski. Na ovaj način se izbjegavaju troškovi opskrbe energijom koji su u slučaju izoliranih lokacija vrlo veliki.



Slika 3.2: Osnovni koncept sustava opskrbe vodom poljoprivrednika

Kad se sustav projektira potrebno je prije svega odrediti veličine glavnih dijelova: površinu nakapne plohe (A) i volumen vodospreme (V), maksimalnu protoku u sustavu.

Veličina potrebne nakapne plohe određuje se u skladu s potrebnim količinama vode i raspoloživom veličinom oborina. Volumen se određuje na temelju karakteristika dotjecanja s nakapne plohe i režima potrošnje u skladu s potrebama, te trajanja sušnog perioda (period u kojem nema dotjecanja u cisternu).

Dimenzioniranje elemenata sustava opskrbe od nakapne plohe do cisterne vrši se u skladu s veličinom maksimalne protoke u dotjecanju.

Dimenzioniranje

Dimenzioniranje sustava provodi se na razne načine, shodno karakteristikama ulaznih podataka i važnosti vodoopskrbnog sustava koji se rješava. Na proračun utječu sve više i raspoloživi alati kojih je razvojem kompjuterske tehnike sve više.

Ulazni podaci

Osnovne varijable na kojima se zasniva proračun sustava su:

O - oborine: dnevne, mjesečne i godišnje

T - trajanje sušnog perioda

ϕ - koeficijent gubitaka/otjecanja nakapne plohe

Q - količina potrebne vode: dnevna, mjesečna i godišnja

G - gubici u vodospremištu i dijelovima sustava

Oborine su podaci koji se dobiju opažanjem na kišomjernim stanicama kao dnevne ukupne oborine ili ombrografski podaci. Najkvaliteniji su ombrografski podaci kojih na otocima nema mnogo. Uglavnom su na raspolaganju kišomjerni podaci, odnosno ukupne dnevne oborine.

Trajanje suše se dobije na temelju opažanja kao niz beskišnih dana ili nedovoljno velikih kišnih dana. Najpovoljnija situacija za projektiranje je kad se raspolože duljim vremenskim nizom opažanja koji je statistički analiziran, tako da su na raspolaganju podaci kao što su: dnevne, mjesečne i godišnje veličine oborina, osnovni statistički podaci (srednje vrijednosti, maksimumi, minimumi), trajanje sušnog i kišnog perioda, vjerojatnost pojave određenog trajanja sušnog perioda, funkcije ili krivulje vjerojatnosti pojave određene veličine kiše i sušnog perioda, ITP krivulje, model vremenske serije, itd..

Ukupna godišnja potrošnja vode računa se u skladu s planiranim korištenjem vode. Potrebna količina vode u poljoprivredi (q_n) ovisi o vrsti kulture koja se navodnjava i tehnologiji navodnjavanja. Potrebne ukupne dnevne količine vode dobiju se kao zbroj svih potreba, odnosno:

$$Q_{dnevno} = q_n \cdot P_n \cdot N_d \quad (3.6)$$

Ukupno potrebne mjesečne količine vode su:

$$Q_{mjesecno} = q_n \cdot P_n \cdot N_m \quad (3.7)$$

a godišnje:

$$Q_{godisnje} = q_n \cdot P_n \cdot N_g \quad (3.8)$$

gdje je:

P_n - površina koja se navodnjava

N_d - broj navodnjavanja u danu

N_m - broj navodnjavanja u mjesecu

N_g - ukupni broj navodnjavanja tijekom godine

q_n - potrebna količina vode za jedno navodnjavanje (l/m^2)

Koeficijent gubitaka nakapne plohe određuje se na temelju karakteristika i načina izvedbe nakapne plohe, te klimatskih karakteristika područja. Svaka površina ima manje ili veće gubitke vode zbog procjeđivanja i isparavanja vode sa površine. Procjeđivanje određuje način izvedbe i materijal kojim je izgrađena nakapna ploha, dok isparavanje uvjetuju klimatske karakteristike, a prije svega temperatura. U skladu s tim imamo:

$$\varphi = \varphi_i \times \varphi_m \times \varphi_t \quad (3.9)$$

gdje je:

- φ_i - koeficijent gubitaka zbog izvedbe
- φ_m - koeficijent gubitaka zbog materijala
- φ_t - koeficijent gubitaka od isparavanja

Način izvedbe odnosi se na konstruktivne elemente nakapne plohe. Tu se prije svega radi o fugama, radnim reškama i načinu njihove izvedbe, te mogućnosti formiranja pukotina na nakapnoj plohi. Sva ova mjesta mogu uzrokovati gubitke vode, te ih stoga treba eliminirati ako je ikako moguće. Jedan od načina je i povećanje pada nakapne plohe. Korištenjem geomembrana ovi gubici su vrlo mali.

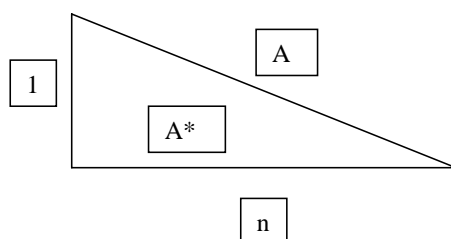
Gubici od klimatskih karakteristika u najvećoj su mjeri rezultat isparavanja, odnosno utjecaja temperature. Što je temperatura veća bit će veći i gubici vode. Međutim, gubici od isparavanja ovise i o trajanju/količini kiše. Kod malih kratkotrajnih kiša gotovo sva voda ispari, normalno brže ljeti nego zimi, dok su kod dugotrajnijih kiša gubici u odnosu na ukupnu oborinu manji. Proračun veličine ovih gubitaka je složen i neprecizan, pa se u praksi uglavnom koriste preporuke do kojih se došlo mjerenjem i iskustvom. Uobičajene veličine koeficijenta otjecanja/gubitaka za različite vrste materijala su date u Tablici 3.3.

Tablica 3.3. *Koeficijent otjecanja/gubitaka različitih vrsta materijala i izvedbi (mali padovi do 10 %)*

Vrsta nakapne plohe	Zimski uvjeti	Ljetni uvjeti
Krovovi	0.75 - 0.95	0.40 - 0.60
Beton	0.80 - 0.95	0.45 - 0.65
Beton sa spojnicama	0.70 - 0.80	0.40 - 0.60
Mozaik od kamenih ploča i sl.	0.40 - 0.55	0.20 - 0.30

Veličina gubitaka na većim nakapnim plohamo ovisi i o nagibu plohe. Što je nagib veći to su gubici kod otjecanja po površini manji. U slučaju pada nakapne plohe većeg od 30 % gubici su vrlo mali bez razlike od kojeg su materijala građeni (oborine veće od 5 mm). Zbog toga su manje propusni strmiji prirodni tereni dobra zamjena za uređenu nakapnu plohu.

Međutim, valja znati da što je pad plohe veći da je aktivna površina za sakupljanje kiše manja:



A^* - aktivna površina (m^2)

A - stvarna površina nakapne plohe (m^2)

Dimenzioniranje nakapne plohe i vodospreme

Dimenzioniranje sustava ovisi o raspoloživim podacima i karakteristikama problema kod čega su najvažniji podaci o oborinama. Ovisno o oborinama situacija može biti slijedeća:

- (i) Za razmatranu lokaciju i njoj bliže područje ne postoje opažanja, već je jedino poznata veličina ukupnih godišnjih količina oborina koja vrijedi za šire područje.
- (ii) Za razmatranu lokaciju postoje kraća i nepotpuna opažanja dnevnih oborina.
- (iii) Za razmatranu lokaciju ili njoj susjednu, postoje ombrografska opažanja u nizu od više godina.

Dimenzioniranje uz korištenje ukupne godišnje i sezonske oborine

U ovom slučaju potrebne dimenzije se ne mogu osobito točno određivati, tako da se pri određivanju potrebnih dimenzija treba uz osnovni račun na temelju raspoloživih podataka koristiti i iskustva koja već postoje na tom ili susjednim područjima.

Uvijek je moguće na temelju općih klimatoloških podataka za šire područje doći do veličina ukupnih godišnjih oborina i trajanja sušnog perioda. U nekim slučajevima moguće je doći i do podataka o veličini godišnjih oborina određene vjerojatnoće prekoračenja. U ovakvim situacijama proračun se zasniva na osnovnim jednadžbama sustava. Proračun potrebne nakapne površine proračunava se na osnovu formule:

$$A_r = \frac{Q_g}{\varphi \cdot O} \quad (3.10)$$

gdje je:

A_r - računski veličina nakapne plohe (m^2)

Q_g - ukupna godišnja potreba (potrošnja + gubici vode) (m^3)

φ - koeficijent gubitaka nakapne plohe ($\varphi < 1$)

O - ukupna godišnja oborina (m)

Računska površina nakapne plohe je njena tlocrtna površina, a ne stvarna veličina.

Koristeći formulu (3,10) može se konstruirati nomogram za proračun potrebne površine nakapne plohe, slika 3.3.

Potrebni neto volumen cisterne (V) računa se po formuli:

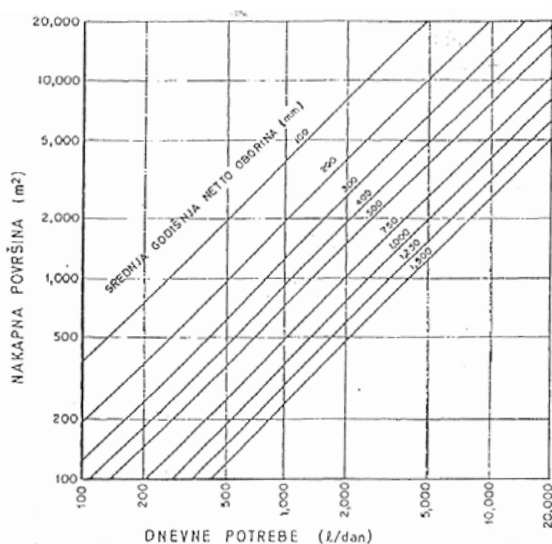
$$V_{\text{neto}} = q \times T \quad (3.10A)$$

gdje je:

V_{neto} - volumen cisterne potreban za navodnjavanje (m^3)

q - dnevna potrošnja vode potrebna za navodnjavanje (m^3/dan)

T - broj neprekinitih sušnih dana u računskom nizu u kojima se vrši redovito navodnjavanje



Slika 3.3. Nomogram za proračun nakapne plohe u skladu s potrebnom potrošnjom vode i veličinom neto oborine ($O_{\text{neto}} = O \times \varphi$)

Sušni dani se smatraju dani bez oborine ili dani sa nedovoljnom količinom oborine za usjeve koji se navodnjavaju. To su dani kod kojih je:

$$O_{\text{dnevno}} \times A \times \varphi \leq q_{\text{dnevno}} \times k \quad (3.11)$$

gdje je:

O_{dnevno} - dnevna količina oborina (m)

q_{dnevno} - dnevna potreba vode za razmatranu kulturu (m^3)

k - koeficijent prihvatljivog umanjenja vlaženja zemljišta

Za naše prilike uobičajeno je za navodnjavanje na otocima koristiti duljine sušnog period od 60 - 90 dana ovisno o kulturi koja se navodnjava, vodeći računa i o cijeni vode koja se koristi za navodnjavanje.

Ukupno potrebni volumen akumulacije je:

$$V = V_{\text{neto}} + V_{\text{gubici}}$$

V_{gubici} uključuju sve gubitke iz akumulacije kao i u distribucionom sustavu.

Veću sigurnost daje proračun koji se bazira isključivo na kišama/dotoku izvan sezone navodnjavanja. Nakapna ploha se dimenzionira isključivo na temelju kiša u zimskom periodu. Ovaj proračun je na strani sigurnosti, a za rezultat ima nešto veće površine nakapnih ploha, oko 20 %.

Osim ove najjednostavnije mogu se koristiti i druge složenije metode, stohastičke i simulacijske (Margeta, 1990. i 1992.).

Dimenzioniranje dovodnih i odvodnih elemenata sustava

Dovodni elementi u sustavu su: kanali, cijevi i rešetka. Svi ovi elementi trebaju se dimenzionirati na maksimalno očekivanu protoku (m^3/s), u skladu s projektiranim povratnim periodom.

Odvodni elementi u sustavu su zahvat vode za korištenje te elementi za zaštitu sustava za navodnjavanje. Potrebne dimenzije zahvatnih cjevovoda, usisnih košara i zaštitnih filtera određuju se u skladu s planiranom maksimalnom potrošnjom vode (m^3/s). U slučaju velikih sustava potrebno je odrediti maksimalne protoke potrošnje vode i to maksimalnu satnu protoku.

Problematika kakvoće vode

Kakvoća vode kišnice je u pravilu dobra za navodnjavanje te ista ne predstavlja problem. Kakvoća kišnice je posljedica cijelog niza procesa koji se odvijaju u atmosferi, u bližoj ili daljoj okolini lokacije vodospreme, kao i samih lokalnih uvjeta.

Zagađivači koji utječu na kakvoću voda kišnice dijele se na lokalne i vanjske. Lokalni zagađivači su: ispuštanja u atmosferu, talog i prašina sa okolnog terena, raslinje, životinje, korisnik vode i procjeđivanje u cisternu, dok su vanjski zagađivači uglavnom ispuštanja u atmosferu. Zagađenje akumulacija odvija se:

- (i) ispiranjem atmosfere;
- (ii) ispiranjem nakapne plohe;
- (iii) procjeđivanjem vode sa površine.

Ispuštanja u atmosferu su u najvećoj mjeri rezultati izgaranja lokalnih ili velikih sustava (termoelektrane, toplane, rafinerije, itd.) koji mogu biti u blizini nakapne plohe ili na velikim udaljenostima. Veliki sustavi mogu utje-

cati na zagađenje atmosfere na velikim udaljenostima, što je danas dobro poznato (kisele kiše). Posebni problem predstavljaju izgaranja vezana za pogon automobila čiji je utjecaj uglavnom lokalni, a djelovanje vrlo štetno. Njaopasniji dio ispuštanja u atmosferu su ispuštanja raznih industrija. Što su izvori ispuštanja bliže sustavu, to su štetni utjecaji veći.

Talog i prašina sa terena su povremeni zagađivači jer se oni talože na nakapnu plohu u periodu vjetrova. Utjecaj istih ovisi o sastavu taloga i prašine. U sredinama sa velikim prometom i izgaranjima utjecaj na kakvoću vode je velik, dok je u seoskim sredinama i izoliranim područjima (kao što su naši otoci) utjecaj vrlo mali. Zagađenja koja nastaju ovim procesom su uglavnom: anorganske tvari, organske tvari i teški metali (promet).

Raslinje koje se nalazi u blizini cisterni je također jedan od izvora zagađenja i to povremenog karaktera. Lišće i otpaci raslinja nošeni vjetrom mogu dospjeti na nakapne plohe i tako uzrokovati zagađenje. Ovaj oblik zagađenja je u pravilu mali i ne naročito opasan.

Životinje kao što su ptice, mačke i slično koje se kreću po nakapnim plohamama su uzrok uglavnom bakteriološkog zagađenja, ali i drugih tvari.

Sam proces zagađenja odvija se u sušnom i kišnom periodu. U sušnom periodu uglavnom se sakuplja talog na nakapnim plohamama koji u kišnom periodu zajedno sa talogom iz atmosfere otječe u vodospremu.

Kakvoća voda kišnice znatno varira od slučaja do slučaja, a naročito varira s trajanjem kiše. Kišnica je najzagađenija u početku kiše dok se ne ispere nakapna ploha, a sa trajanjem kiše kakvoća vode postaje bitno bolja.

Kakvoća voda van velikih gradova je u pravilu uvijek dobra za potrebe navodnjavanja, pa prema tome i na otocima, te se može koristiti bez ograničenja.

Održavanje sustava

Osnovni preduvjet sigurnog i trajnog korištenja akumulacija/cisterni je njihovo kvalitetno održavanje. Čiste se u pravilu jednom godišnje na početku kišne sezone. Kod svakog pražnjenja vodosprema se treba oprati. Prije nego se isto provede treba pregledati sve stijenke, a naročito prodore kroz objekt, te provjeriti da nema mjesta na kojima može doći do gubitaka vode.

Potrebno je redovito svake godine kontrolirati sve važne dijelove sustava kao što su: preljevi, ventili i drugo, a sve kako bi isti obavljali predviđene funkcije.

Osim čišćenja, redovito se trebaju popravljati uočene greške, kao i zamjena istrošenih dijelova. Redovita zamjena korištenih elemenata i uređaja obavlja se u skladu s preporukama proizvođača.

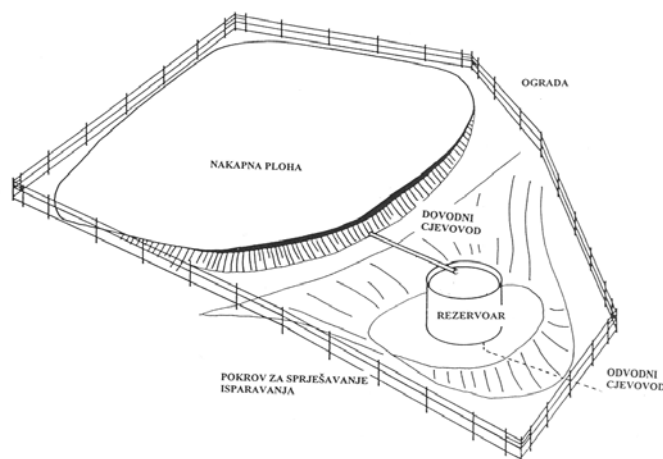
Diskusija i zaključak

Sustav opskrbe vodom putem kišnice je bio i bit će jedan od kvalitetnih oblika vodoopskrbe poljoprivrednih površina.

Da bi ovaj sustav opskrbe bio pouzdan i učinkovit potrebno ga je ispravno dimenzionirati i projektirati, ali i dobro održavati. Sustav je vrlo jednostavan i nema nikakvih posebno složenih dijelova koji bi otežavali i ograničavali njegovu upotrebu. Zbog toga je omogućena njegova široka primjena.

Dimenzioniranje sustava bitno ovisi o količini i kakvoći raspoloživih podataka. Danas podaci više nisu velika prepreka za dobro dimenzioniranje sustava, jer postoji dobra mreža kišomjernih stanica. Postoji i cijeli niz dostupnih i jeftinih, ali vrlo efikasnih računskih alata/programa kojima se lako i brzo mogu analizirati raspoloživi podaci, te tako pouzdano dimenzionirati sustav. Dobra izgradnja sustava nije više veliki problem kao ni trošak. Na hrvatskom i Europskom tržištu postoje svi elementi potrebni za jeftinu i kvalitetnu izgradnju ovog sustava, tako da se isti mogu u potpunosti kvalitetno izvesti.

Na temelju svega, slobodno se može reći da je ovaj tradicionalni oblik vodoopskrbe i danas jednako aktualan kao i u dalekoj prošlosti, prije svega zbog svoje prihvatljivosti u odnosu na cijenu, pouzdanosti u odnosu na kakvoću vode.



Slika 3.4. Tipični sustav korištenja kišnice za potrebe poljoprivrednika

3.3. Korištenje površinskih voda

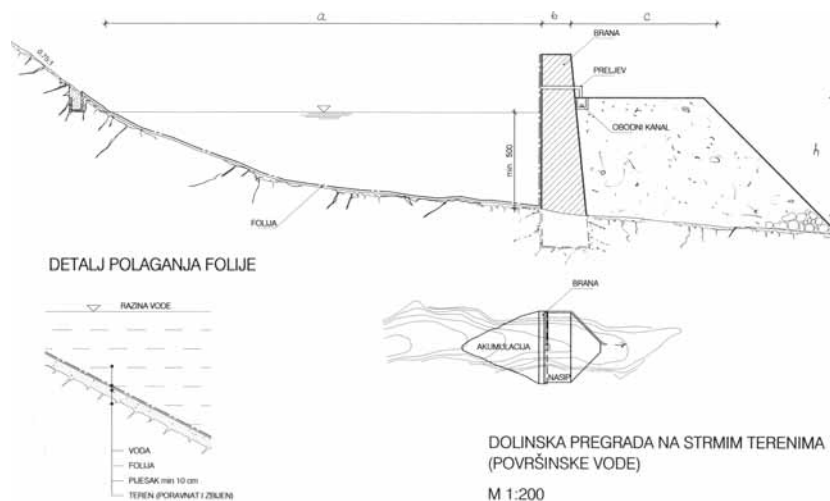
Na otocima uglavnom ne postoje stalne površinske vode. Povremeno se u periodima intenzivnih kiša formiraju vododerine i površinsko tečenje vode. Ovakvo tečenje se javlja u dubljim i strmijim udolinama, gdje se površinska voda relativno brzo koncentrira. Površinsko otjecanje se redovi-

to javlja tijekom zimskog perioda i intenzivnih kiša na manjim strmijim i stjenovitim površinama. To su manje, međusobno razdvojene površine koje zbog toga nisu u stanju formirati veću protoku koja bi rezultirala značajnim i duljim površinskim tokom vode. Naime, mala količina vode se relativno brzo izgubi tečenjem duž udoline.

Kratki tok vode se može odgovarajućom zahvatnom građevinom, recimo Tirolskim/brdskim tipom zahvata, u cijelosti zahvatiti i transportirati u akumulaciju. Ovakva područja se mogu iskoristiti u funkciji nakapnih ploha za pojedine akumulacije. Korištenje površinskih voda je slično zahvaćanju kišnice, s tom razlikom što je u ovom slučaju slivno područje prirodna i neuređena nakapna ploha, Slika 3.5. Ovo rješenje može biti dobro ali samo za pojedine lokacije gdje su uvjeti formiranja površinskih tokova vode dobri. Prema tome zahvaćanje površinskih voda je dobar sustav opskrbe vodom za potrebe navodnjavanja i treba ga realizirati gdje god je isplativo.

Moguće je zajedničko korištenje površinskih i podzemnih voda na način da se uzvodno od akumulacije gradi i galerija kojom se zahvaća uzvodna podzemna voda. Izgradnjom galerije period punjenja akumulacije se produžuje jer je tečenje vode u podzemlju dugotrajnije od površinskog otjecanja.

Da bi se ovakvo rješenje realiziralo, jedno potrebno je organizirati motrenje kretanja površinskih voda tijekom kišnog perioda kako bi se utvrdile i analizirale potencijalne površine kao mogući izvor vode za punjenje lokalnih akumulacija.



Slika 3.5: Akumulacija i zahvatanje površinskih voda

Kapacitet

Kapacitet zahvata ovisi o veličini slivne površine, oborine i koeficijentu otjecanja. Za zahvatanje su relevantne kiše veće od kritičnog intenziteta kod kojeg se javlja otjecanje. Stoga bi za svaki konkretni slučaj valjalo analizirati koja je to kiša koja generira otjecanje, te utvrditi učestalost i trajanje takovih kiša tijekom godine. Na temelju tih podataka moguće je jednostavnijim metodama odrediti potencijalne količine vode.

Primjer za otok Brač:

Prosječna količina godišnjih oborina na prostoru cijelog otoka Brača iznosi oko 1013 mm. Na osnovu toga proizlazi da prosječno godišnje na 1 ha (10.000 m²) slivne površine iz atmosfere padne 10.013 m³ slatke vode, što izraženo u m³/s iznosi 0,317 l/s. Koliko od te vode ispari, dospije u krški vodonosnik te površinski otječe, može se tek grubo procijeniti.

U zimskom kišovitom periodu (listopad, studeni, prosinac, siječanj, veljača i ožujak) kada je isparavanje najmanje i kada je tlo djelomično zasićeno vlagom može se pretpostaviti da je koeficijent površinskog otjecanja veći od 0,05 jer se na strmijim dionicama ne javlja veće otjecanje u podzemlje. Pretpostavlja se da u ovom periodu padne više od 60 % godišnjih oborina. Uvažavajući ove pretpostavke u tablici naprijed daje se procjena količina vode koje se mogu sakupiti na strmijim dijelovima sliva za različite uvjete u slivu. Navedene veličine su donja granica mogućih volumena vode koje se mogu sakupiti sa jediničnih veličina tlocrtne površine sliva.

Tablica 3.4: Jedinični godišnji kapaciteti slivne površine

Vrsta terena slivne površine	Količina kiše u zimskom periodu je 1,013 m x 0,6	tlocrtna površina (F)	
		1 km ²	1 ha
a) strme stjenovite dionice, nagib veći od 20 %, tlo dijelom zasićeno vodom; koeficijent površinskog otjecanja 0,20	$1,013 \text{ m} \times 0,6 \times 0,20 \times F =$	121.600 m ³	1216 m ³
b) strme i djelomično stjenovite dionice, nagib veći od 10 %, tlo dijelom zasićeno vodom; koeficijent površinskog otjecanja 0,10	$1,013 \text{ m} \times 0,6 \times 0,10 \times F =$	60.700 m ³	607 m ³
c) strme i manje stjenovite dionice, nagib veći od 5 %, tlo dijelom zasićeno vodom; koeficijent površinskog otjecanja 0,05	$1,013 \text{ m} \times 0,6 \times 0,05 \times F =$	30.300 m ³	303 m ³

Dobivene veličine su značajne, što je i za očekivati jer je prosječna količina oborina na otoku Braču relativno velika (prosječno 1013 mm/godinu).

Potencijalne lokacije

Obilaskom terena i analizom slivnih površina moguće je utvrditi potencijalne lokacije na kojima bi se površinske vode mogle zahvatiti putem brdskih zahvata i sakupljati u akumulacije. "Orto foto" snimci i satelitski snimci otoka bitno olakšavaju ovaj rad, a posebno su korisni u pripremi terenskog rada.

Lokacije se odabiru između ostalog i temeljem kriterija:

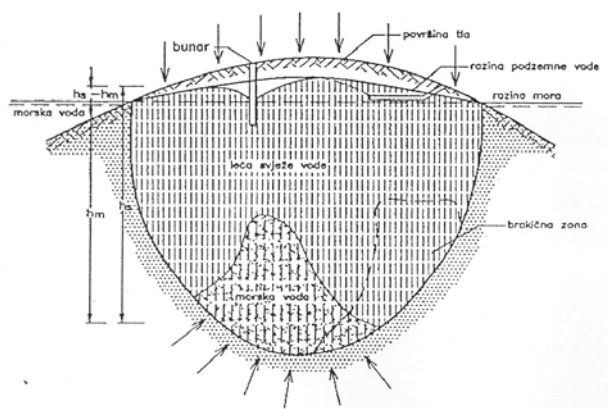
- procijenjeni troškovi građenja pregrade i akumulacije;
- procijenjeni troškovi izgradnje brdskog zahvata;
- gubici vode na isparavanje/veličina površine;
- visinski položaj u odnosu na korisnike;
- značajke slivne površine;
- blizina drugih izvora vode za punjenje akumulacije.

Radi se o preliminarnom analiziranju lokaliteta i rješenja koje bi trebalo nastaviti detaljnijim inženjerskim istraživanjima i projektiranjima, a posebno hidrološkim analizama kako bi se dobili bolji i pouzdaniji podaci za detaljniju procjenu značajki pojedinih lokaliteta i rješenja. Tek temeljem takovih rezultata moguće je donijeti konačne odluke o prihvatljivosti ovog izvora vode za potrebe navodnjavanja.

Poželjno je da ove lokacije uvijek imaju mogućnost punjenja vodom iz više izvora, čime se pouzdanost opskrbe vodom sustava za navodnjavanje bitno povećava. Uz to, različiti izvori imaju i različitu cijenu dobave vode, pa se kombinacijom više izvora shodno stanju može birati najisplativija kombinacija opskrbe vodom akumulacije.

3.4: Korištenje podzemnih voda

Temeljem geoloških i hidrogeoloških karata otoka potrebno je utvrditi mogućnosti formiranja pojedinačnih vodonosnika i njihov kapacitet. Međutim, kod svakog otoka najznačajniji je vodonosnik na razini mora, odnosno leća slatke vode koja pliva na morskoj vodi, slika 3.6. To je vodonosnik u krškim stijenama koji je formiran u šupljinama stijenskih masiva otoka. Voda s površine infiltrira u podzemlje kroz šupljine u geološkim strukturama otoka dok ne dosegne razinu mora gdje se zaustavlja i formira vodonosnik. Zbog razlike gustoće morske i slatke vode, slatka voda pliva na morskoj vodi ispod otoka formirajući leću različite debljine. Tijekom kišnog perioda kada je priliv voda s površine u podzemlje znatan, leća je najdeblja a tijekom sušnog perioda leća je najtanja. Leća/vodonosnik je u stalnom kontaktu s morskom vodom, a na rubnom području otoka se postepeno prazni u more. U zimskom periodu kada je najdeblja pražnjenje je intenzivno da bi ljeti bilo najmanje. To znači da nije za očekivati formiranje jedne cjelovite kontinuirane vodne cjeline u podzemlju, već samo voda koja se nalazi u kavernama i šupljinama stijenskih masiva otoka. Tamo gdje su kaverne i šupljine veće, veće su količine voda i obrnuto. Na mjestima gdje su kaverne i šupljine u kontaktu sa morem pražnjenje vodonosnika je veće i intenzivnije (vruje).



Slika 3.6 a: *Leća slatke vode-osnovni koncept*



Slika 3.6 b: *Vruja/izvor ispod mora-osnovni koncept*

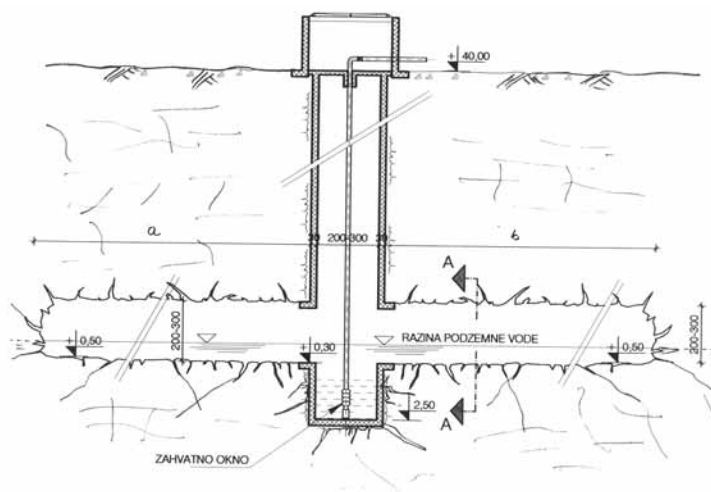
Ovakva hidrogeološka situacije nije povoljna za eksploataciju podzemnih voda. Teško je očekivati da će se bušenjem bunara doći do sigurnih količina za eksploataciju, jer bunar mora pogoditi upravo područje šupljina da bi zahvatio vodu. Da bunar pogodi takvo područje njegov kapacitet bi bio mali jer priliv voda prema bunaru određuje propusnost i kapacitet šupljina oko njega.

U ovakvim slučajevima za zahvaćanje podzemnih voda koriste se galerije, dugački horizontalni zahvati (tuneli) kojima se presijecaju geološke šupljine putem kojih se podzemna voda kreće prema moru. Galerija formira novi prisilni put putem kojeg se voda kreće do mjesta zahvaćanja/usisa crpne stanice. Galerije se pretežito grade u razini plime na oko 0,5 - 0,8 m nad morem kako bi zahvaćale vodu i u najsušnijem periodu godine. Duljina galerija ovisi o uspješnosti zahvaćanja podzemnih tokova i potrebnom kapacitetu zahvata. U pravilu su dugačke više stotina metara ili više kilometara. Koncept rješenja galerije prikazan je na slici 3.7.

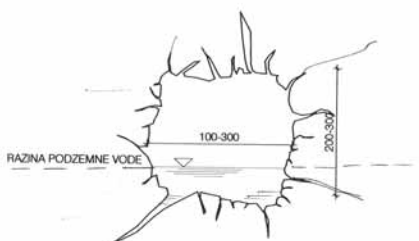
Galerije je najpouzdanije graditi na prostorima na kojima je utvrđeno kretanje vode prema moru, područje priobalnih vruja i sličnih pojava. To su uglavnom obalne udoline na otoku putem kojih se lokalno dreniraju vode

slivnog područja doline.

Međutim, galerije se mogu graditi i u unutrašnjosti. Takove galerije zahtijevaju izgradnju dubokog okna kojim se dolazi do galerija na razini mora zbog čega je njihova izgradnja skuplja.



PRESJEK A - A
M 1:100



Slika 3.7: Koncept izvedbe galerija

Drugi tip vodonosnika koji se može formirati su lokalni aluvijalni vodonosnici dubljih udolina koji su se procesima erozije formirali tijekom vremena. To su vodonosnici koji ispunjavaju stijenske šupljine po obodu i ispod udoline, te sitnozrnasti materijal/naplavina koja se tijekom vremena formirala u udolinama gdje stvara uspor tečenju vode iz podzemlja u pravcu mora. Ova područja zadržavaju i sadržavaju vodu koja se infiltrirala s površine udolina, a postepeno kreće prema moru formirajući isto tako slatku vodu u kontaktu sa morskom. U kišnom periodu ovaj vodonosnik može imati značajan kapacitet ako je udolina velika. Prednost ovog vodonosnika je u tome što se gradnjom bunara može s većom sigurnošću doći do podzemne vode koja u ovom slučaju ispunjava pore sitnozrnastog

materijala udoline/sedimenta. Bunar u ovom slučaju ne treba pogoditi šupljine u stijeni već najdeblje i vodom najbogatije slojeve sedimenta, a što je daleko lakše. Gradnja galerija u ovakvim terenima nije povoljna zbog velikih troškova. Umjesto galerija uz bunare se mogu graditi i horizontalni drenovi putem koji se mogu zahvaćati vode na većem prostoru i tako dovoditi veće količine voda do bunara. Na žalost ovi vodonosnici imaju male kapacitete, najčešće nedovoljne za eksploataciju tijekom ljeta dok su kapaciteti zimi i u rano proljeće značajno veći i mogu se koristiti za punjenje akumulacija.

Podzemne vode su uglavnom dobre kakvoće. Kakvoću ovih voda može ugroziti jedino otpadna voda naselja koja se nalazi iznad ovih voda. Zagađenje koje se najčešće javlja i prelazi dozvoljene granice vode za piće je bakteriološko. Količina bakteriološkog zagađenja je uglavnom mala tako da se ove vode mogu bez ikakvih zapreka i pročišćavanja koristiti u poljoprivredi.

Najveća opasnost za vodonosnike u kontaktu sa morem je zaslanjene vodonosnika do kojeg može doći zbog nepravilne eksploatacija. Točkasto i naglo crpljenje vode iz vodonosnika može dovesti do uvlačenja mora u vodonosnik i time do njegovog zaslanjenja. Zbog toga su horizontalni zahvati/drenovi i galerije znatno povoljniji zahvati od bunara jer oni postepeno ubiru slatku vodu na velikim prostorima i time vrlo malo utječu na kretanje vode i formiranu kontaktnu plohu između slatke i slane vode.

Potrebno je naglasiti da su podzemne vode uz kišu najsigurniji trajni lokalni izvor vode na otoku. U kišnom periodu i mjesecima iza tog perioda, mogu imati značajne kapacitete. Na žalost, najmanje ih ima ljeti kad ih najviše trebamo. I u ovom slučaju kao i kod korištenja kišnice formiranje akumulacije rješava sigurnost opskrbe tijekom ljetnog perioda.

3.5. Desalinizacija

More se već tradicionalno koristi za vodoopskrbu stanovništva u sušnim područjima pa i Hrvatskoj (otoci Lastavo i Mljet). Zadnjih dvadesetak godina tehnologije desalinizacije su značajno napredovale tako da je cijena dobave vode iz mora sve povoljnija. Posebno su značajno napredovale membranske tehnologije, odnosno postupak inverzne osmoze. Korištenje mora je vrlo jednostavno, a postrojenje je relativno malo i bez značajnijeg utjecaja na okoliš. Ključni element desalinizacije je energija. Ovaj postupak zahtjeva značajne izvore energije. Ako ista lokalno nije dostupna, tada je dobava energije najveća stavka investicije.

U slučaju otoka kritični period za opskrbu energije je ljeto, kada je potrošnja najveća. Zbog toga bi instaliranje većeg sustava sa desalinizacijom sigurno zahtijevalo značajne investicije u opskrbu energijom što može bitno

umanjiti isplativost ovoga zahvata (dovod energije s kopna). Međutim, kao i kod vodoopskrbe svi otoci izvan ljetne sezone imaju značajne viškove energije te za rad sustava za desalinizaciju u tom periodu ne bi trebalo ulagati u energetski sustav (povećanje kapaciteta od kopna do otoka). To znači da bi i u ovom slučaju možda trebalo graditi akumulaciju kao dio rješenja.

Troškove dobave vode iz mora je teško unaprijed odrediti jer značajno ovisi o lokalnim uvjetima, ali je pravilo da su jedinični troškovi manji što je uređaj veći. Kod manjih uređaja do 100 m³/dan troškovi su oko 1 - 3 eura/m³ proizvedene vode. Troškovi značajno opadaju što je voda manje slana, odnosno što je više bočata:

Voda	troškovi energije (\$/m ³)	Ukupni troškovi rada (\$/m ³)
Morsaka voda (70 bara)	0,42	0,49 - 2,12
Bočata voda (30 bara)	0,11	0,22 - 0,94
Mekšanje tvrde vode (15 bara)	0,04	0,11 - 0,63

Ovakav zahvat se praktično može koristiti svugdje u obalnom pojasu. Povoljnije je za potrošače bliže moru, a posebno je povoljno ako se koriste bočate vode. Kao što je već rečeno, u pojedinim državama ovakav sustav opskrbe vodom za navodnjavanje je našao je svoju opravdanost za realizaciju.

3.6. Korištenje pročišćenih voda

Jedan od trajnih izvora vode su pročišćene otpadne vode naselja. Naselje trajno koristi pitku vodu za razne namjene. Jednom uporabljena voda postaje otpadna, koja se sustavom kanalizacije prikuplja na uređaju za pročišćavanje gdje se pročišćava i potom ispušta u more. Količina ovih voda je negdje oko 65 % potrošenih pitkih voda u naselju. Što je potrošnja vode u naselju veća to je i količina otpadnih voda veća. To znači da ovih voda ima najviše upravo kad je voda najpotrebnija i kada se najviše troši, odnosno ljeti. Izvor je najizdašniji upravo kada je najpotrebniji.

Ove vode se tradicionalno koriste kao vode za navodnjavanje, prije svega poljoprivrednih kultura koje se ne jedu sirove (masline, vinogradi, agrumi, industrijsko bilje i slično). Poznato je da su ove vode jedine vode koje se koriste za navodnjavanje svih kultura u Izraelu i drugim državama koje su inače veliki izvoznici agruma i hrane pa i u Hrvatsku. Od prošle godine manji membranski uređaj je instaliran u Istri i to za pročišćavanje otpadnih voda kampa, a pročišćena voda se koristi za navodnjavanje zelenila u samom kampu. Trenutno je u pripremi više ovakvih projekata.

Preduvjet za korištenje ovih voda je postojanje kanalizacije i uređaja odgovarajućeg stupnja čišćenja otpadne vode. Najveći problemi koji se vežu za korištenje ovih voda su zdravstveni, odnosno bakteriološka kakvoća voda. Poznato je da su komunalne otpadne vode zagađene vode kod kojih je za čovjeka najopasniji dio bakteriološko zagađenje. Drugo opasno

zagađenje su teški metali i druge otrovne tvari kojih u pravilu nema u otpadnim vodama turističkih naselja.

Uspješno rješavanje ovakvog problema zahtjeva visoki stupanj čišćenja vode (najmanje II. stupanj čišćenja) kako bi se tako pročišćena voda mogla uspješno raskuživati/dezinficirati da bi se eliminiralo bakteriološko zagađenje. Pročišćene komunalne vode su inače bogate hranjivim solima (N, P, K) tako da su u tom smislu i vrlo korisne, jer dijelom zamjenjuju gnojivu poljoprivrednih kultura.

Postoje razne tehnologije pročišćavanja koje manje ili više uspješno pročišćavaju komunalne otpadne vode za potrebe navodnjavanja, kao i u druge svrhe. Danas su najznačajnije niskotlačne membranske tehnologije koje su našle svoju primjenu i kod nas, Rumora i Dugalić, 2006. Jedan od vrlo značajnih dijelova takvog sustava kojim se bitno poboljšava kakvoća vode za navodnjavanje je sezonski rezervoar u kojem se pročišćena voda zadržava bar 25 dana, a po mogućnosti i dulje. Zadržavanjem vode u otvorenom rezervoaru/akumulaciji odvija se cijeli niz prirodnih procesa kojima se poboljšavaju značajke vode, a posebno bakteriološke. Međutim, rezervoar nije nužni uvjet za korištenje voda za navodnjavanje, već kakvoća pročišćene vode.

U prilogu su prezentirani standardi kojima mora odgovarati pročišćena voda koja se koristi za razne namjene.

Korištenje ovakvih voda za potrebe poljoprivrede je moguće, ali samo ako se potencijalnim korisnicima to isplati. Isplativost je zagarantirana ako troškovi čišćenja otpadnih voda ne idu na teret korisnika ovih voda. Ovim vodama je naročito povoljno navodnjavati poljoprivredne površine bliže naselju, odnosno lokaciji uređaja. To znači da o planiranju ovakvog korištenja voda treba voditi računa i kod planiranja kanalizacijskog sustava.

Korištenje pročišćenih otpadnih voda za lokalno navodnjavanje je moguće je i u slučajevima lokalnih uređaja-septičnih jama. U ovoj situaciji, pročišćene vode iz septične jame se zadržavaju u manjim akumulacijama oko 20 dana i potom se voda iz njih može koristiti. Ako će se vode ispuštati u teren podzemno putem drenažnih cijevi, tada nije nužna izgradnja akumulacija. Na ovaj način se manje parcele oko mjesta boravka ljudi/stambenih i drugih objekata mogu trajno navodnjavati tijekom ljeta jer se po osobi dobije oko 80 l/dan vode za navodnjavanje. Navodnjavanje se mora provoditi isključivo pod-površinskim sustavom, a nikada prskanjem ili zalijevanjem. Naime, voda je i dalje bakteriološki zagađena te je mogući izvor širenja oboljenja. Da se to ne bi dogodilo čovjek kao i životinje ne smiju doći u direktan kontakt sa tim vodama.

4. ZAKLJUČCI I PRIJEDLOZI

Strategija

Strategija rješavanja problema navodnjavanja je jednostavna:

- (i) navodnjavati najproduktivnije kulture i zemljišta;
- (ii) za navodnjavanje koristiti pouzdane i najekonomičnije izvore vode;
- (iii) koristiti pouzdane i najekonomičnije sustave navodnjavanja.

Znači, prvo se mora napraviti analiza isplativosti poljoprivredne proizvodnje na području otoka. Temeljem provedene analize utvrditi rang listu pogodnosti-vrijednosti pojedinih područja (od P1 do P5).

Druga aktivnost je analiza raspoloživih vodnih resursa, isplativosti i značajki njihovog zahvatanja. Najpouzdaniji izvor vode za navodnjavanje na otocima je u pravilu regionalni vodoopskrbni sustav, te potom kiša, odnosno površinske vode.

Posebne značajke vodovoda na otocima kao što su:

- Dovod vode postojećim opskrbnim sustavom do viših kota terena;
- Dovod vode postojećim opskrbnim sustavom do blizine poljoprivrednog zemljišta;
- Veliki sezonski višak vode, opravdavaju ovaj zaključak.

Korištenje vode iz vodoopskrbnog sustava mora se maksimalno racionalizirati. U skladu s tim, kod korištenja ovog sustava trebaju se trajno provoditi aktivnosti za racionalnu potrošnju i čuvanje vode kao što su: navodnjava se najracionalnijim sustavom kao što je sustav "kap po kap", kvalitetno održavanje sustava, eliminiranje gubitaka u svim dijelovima sustava i drugo.

Metode navodnjavanja koje dolaze u obzir u slučaju korištenja kišnice su:

1. Infiltracija - Voda se dovodi do biljne kulture malim i uskim kanalima iz kojih se infiltrira u tlo. Učinkovitost ovakvog navodnjavanja u donosu na vodu je $\eta = 0,50 - 0,6$.

2. Lokalizirano navodnjavanje/navodnjavanje kapanjem - Voda iz sustava gusto postavljenih plastičnih cijevi izlazi kroz male otvore-kapaljke u teren i to na površini terena ili što je još učinkovitije ispod terena. Gubici vode su vrlo mali, tako da je učinkovitost ovakvog navodnjavanja u odnosu na vodu $\eta = 0,85 - 0,95$.

Navodnjavanje prelijevanjem, potapanjem ili kišenjem nije učinkovito u odnosu na potrošnju vode, te se stoga ne preporučuju na otocima.

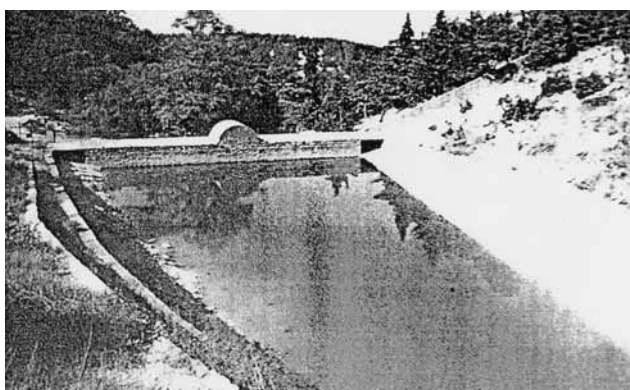
Proizlazi da se najviše isplati rješavati navodnjavanje na produktivnim parcelama koje su blizu regionalnog cjevovoda vodoopskrbnog sustava i to do kote terena do koje voda dotječe tlakom iz vodoopskrbnog sustava.

Na otocima je zbog ograničenih vodnih resursa, velike usitnjenosti i raštrkanosti poljoprivrednih površina, brdovitosti terena, uglavnom moguće graditi lokalne sustave navodnjavanja kojima je obuhvaćeno jedno manje područje otoka, polje, udolina, zaravan, itd. Gradnja ovih lokalnih sustava je brza, jednostavna i jeftina. Gradnja velikih otočkih regionalnih sustava navodnjavanja sa velikim akumulacijama je dugotrajna, skupa, nesigurna i neracionalna. Zbog toga se predlaže izgradnja manjih lokalnih sustava kao racionalnije, sigurnije i jednostavnije rješenje za financiranje, organiziranje i upravljanje.

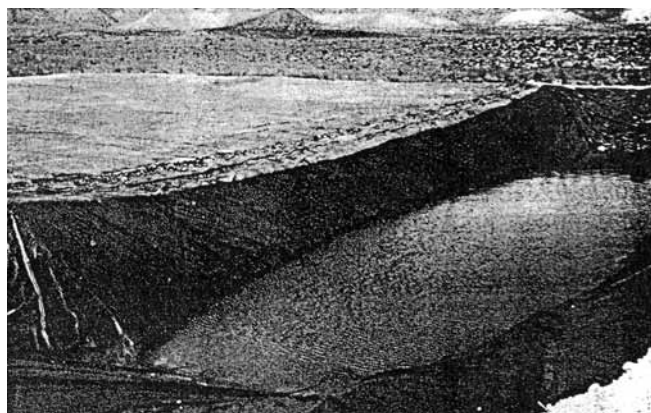
Predloženi koncept je fleksibilan i prilagodiv stvarnim potrebama i interesima. Gradi se samo ono što stvarno ima opravdanja. To vrijedi za područja izgradnje, potrebni kapacitet vodosprema i sustav u cjelini. Sve se prilagođava stvarnim potrebama.

Izgradnja većih dolinskih akumulacija za zahvat površinskih voda je na otocima teško izvodivo. Površinska voda, ako je ima, je pogonski najjeftinija voda jer se ne plaća i uglavnom se javlja na višim kotama te se stoga uvijek treba iskoristiti. Zbog toga, umjesto dolinskih akumulacija predlaže izgradnja jeftinih brdskih zahvata vode na svim lokacijama gdje se voda zimi javlja, te transport vode do akumulacija koje se grade na povoljnijim lokacijama u odnosu na gradnju i položaj u sustavu navodnjavanja. Preduvjet za korištenje povremenih površinskih voda je bar jednogodišnje motrenje protoke.

Izgradnja velikih akumulacija za zahvaćanje površinskih voda ($V > 100.000 \text{ m}^3$) je dugotrajna i skupa jer se prije izgradnje trebaju obaviti opsežni višegodišnji istraživački radovi i projektiranja, a tek potom se može planirati izgradnja. Nasuprot tome izgradnja manjih vodosprema ($V = 5.000 - 20.000 \text{ m}^3$) s priključkom na regionalni vodoopskrbni sustav može se realizirati u tijeku jedne godine sa znatno manjim sredstvima.



Slika 3.8: Izgled manje dolinske akumulacije



Slika 3.9: Jednostavna izvedba akumulacije i nakapne plohe korištenjem geomebrana

Upravljanje

Svako izgradnji mora predstojati utvrđivanje vlasnika sustava kao i organizacije koja će voditi računa o izgradnji, pogonu i održavanju sustava za navodnjavanje. Bez ispunjavanja ovog uvjeta planiranje gradnje sustava navodnjavanja je besmisleno.

Upravljanje opskrbnim sustavom je tehnološki jednostavno i ne zahtjeva uposlenje posebnih školovanih kadrova. Sustav upravljanja značajno ovisi o veličini objekta i broju korisnika. U slučaju izgradnje i pogona regionalnog sustava sa većim brojem korisnika, nužno je formirati cijelu ekipu koja bi se brinula o pogonu i održavanju svih objekata, te upravljala korištenjem sustava. Sustavom u cjelini mogu upravljati sami korisnici shodno postavljenoj organizaciji i dogovoru, pogotovo ako se radi o manjem sustavu.

Važno je uspostaviti kvalitetno motrenje stanja vode u akumulaciji, dotoku i korištenje voda. Potrebno je formirati odgovarajuću banku podataka koja će tijekom vremena poslužiti za izradu pravilnika za optimalno korištenje sustava. Motrenje stanja vode u vodospremištima kao i samo korištenje vode može se obavljati telemetrijski iz jednog upravljačkog centra, ako se sustav opremi odgovarajućom opremom. Ovim načinom upravljanja broj uposlenih se može smanjiti. Najskuplji element takovog rješenja osim opreme je izvedba elektroenergetskog sustava napajanja svih mjernih mjesta i upravljačkih jedinica (ventila).

U slučaju korištenja regionalnih vodoopskrbnih sustava prije puštanja u pogon nužno je izraditi odgovarajući pravilnik o korištenju natapnog sustava, te potpisati s nadležnim Vodovodom dugoročni ugovor o korištenju.

Plan za realizaciju projekta

Da bi se projekt navodnjavanja realizirao potrebno je obaviti slijedeće radove:

1. Na samom početku potrebno je izraditi Studiju ili Idejno rješenje i utvrditi:

- investitora;
- korisnike;
- politiku korištenja sustava;
- konfiguraciju sustava;
- stvarno potrebni kapacitet sustava;
- etapnost razvoja;
- veličinu investicije;
- uvjete za realizaciju.

2. Dogovoriti sa Vodovodom:

- uvjete korištenja magistralnog cjevovoda;
- lokaciju priključka na magistralni cjevovod;
- izvedbu i opremanje objekata na mjestu priključka.

3. Dogovoriti s nadležnim vodnogospodarskim službama:

- uvjete korištenja voda;
- lokaciju zahvata;
- izvedbu i opremanje objekata na zahvatu.

4. Utvrditi mikrolokaciju akumulacija shodno vlasništvu zemljišta, raspoloživosti i značajkama zemljišta, te riješiti imovinska pitanja.

5. Utvrditi trase cjevovoda i izvršiti geodetski snimak/premjer.

6. Izraditi geodetski premjer lokacija akumulacije i trase cjevovoda, katastar zemljišta i vlasnika.

7. Utvrditi potencijalne korisnike i raspored armatura za uzimanje vode duž opskrbnog cjevovoda.

8. Potom je potrebno izraditi Idejni projekt i odgovarajući Lokacijski elaborat nužan za ishođenje lokacijske dozvole. Za ove objekte u pravilu nije potrebna izrada studije o utjecaju na okoliš.

9. Nakon ishođenja lokacijske dozvole potrebno je izvršiti zakonski nužna geomehanička ispitivanja lokacija akumulacije. Radi se o širokim i plitkim objektima dubine do 10 m te će se tijekom iskopa prikupiti najveći dio geomehaničkih informacija za izvođenje.

10. Na temelju prikupljenih podataka i informacija potrebno je izraditi Glavni projekt na temelju kojeg bi se ishodila građevinska dozvola.

11. Shodno uvjetima financiranja izgradnje potrebno je izraditi odgovarajući Natječajni dokument-Tender za građenje i izbor izvođača. Izvođač je dužan izraditi Izvedbeni projekt, te snimak i Elaborat izvedenog stanja.

5. DOKUMENTACIJA:

- 1) Bonacci, O. 1991. Hydrology and water resources of small karst islands along the Yugoslav Adriatic coast - Krš Jugoslavije 13, JAZU - Zagreb, 1-34.
- 2) Milković, J. 1998. Oborina na otocima i obali. Zbornik radova "Voda na hrvatskim otocima", Hvar, HHD, 83-98.
- 3) Ivičić, D. i Biondić, B. 1998. Dalmatinski otoci - prirodni uvjeti, stanje i mogućnost vodoopskrbe. Zbornik radova "Voda na hrvatskim otocima". Hvar, HHD, 119-134.
- 4) Zavod za geološka i geofizička istraživanja (Beograd) 1961. Hidrogeološka istraživanja i vodoistražni radovi u području Postira na ostrvu Braču (izvod). Projektna dokumentacija - neobjavljeno
- 5) Margeta, J. Fistanić, I, 2000: Mogućnosti korištenja vodoopskrbnog sustava otoka Brača za potrebe navodnjavanja, Hrvatske vode, br. 31, Volumen 8, rujan 2000, str.141-151, UDK 628.1(497.5), ISSN 1330-1144.
- 6) Margeta, J. 1998: Vodoopskrba korištenjem kišnice; Okrugli stol: Voda na hrvatskim otocima, Hvar, 30.09 - 2.10. 1998. Zbornik radova, str. 63-83, ISBN 953-96705-0-0
- 7) Margeta, J. 2004: Studija vodoopskrbe i navodnjavanja općine Sutivan - Brač, Građevinsko arhitektonski fakultet, Split.
- 8) Margeta, J. 2006: Navodnjavanje poljoprivrednih površina Dol-Postire, Knjiga II - Idejni projekt opskrbe vodom, Sveučilište u Splitu, Građevinsko-arhitektonski fakultet.
- 9) Rumora, D. Dugalić, M., 2006. MBR uređaj - ponovna uporaba pročišćene otpadne vode, Suvremene tehnologije i uređaji za pročišćavanje pitkih i otpadnih voda, Poreč, 8-12.11. 2006.
- 10) Bonacci, O. 2000: Studija zona sanitarne zaštite izvorišta Dol i Bol, Građevinski fakultet Split.
11. Margeta, J. (1987). Water Resources Development of Small Mediterranean Islands and Isolated Areas, MAP Technical Report Series, No.12., UNEP-PAP, Split.
12. Margeta J. I Fontane D.G. (1990). Desiging communal rain-harvesting systems by spreadsheet method, Water Resources Development, Volume 6, No. 4., 276-286.
13. Bonacci, O. J. Margeta, J. (1992). Hydrology and water resources of small islands: a practical guide, Case study - Silba, Unesco, Paris , 394-

8

SEKUNDARNO KORIŠTENJE UPOTRIJEBLJENIH VODA ZA NAVODNJAVANJE

Prof.dr.sc. Goran Gjetvaj
Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

David Rajko, dipl. inž. građ.
Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci

1. UVOD	1
2. PRISTUPI RECIKLIRANJU OTPADNIH VODA	1
3. POSTOJEĆI STUPANJ KORIŠTENJA RECIKLIRANE VODE U SVIJETU	1
3.1 Stanje u Sredozemlju	1
4. PRIMJER PRORAČUNA KORIŠTENJA OTPADNIH VODA ZA POTREBE NAVODNJAVANJA U ISTRI	1
4.1. Osnovne značajke prostora	1
4.2. Određivanje potrebe vinove loze za vodom	1
4.3. Prikupljanje i akumuliranje upotrebljenih i oborinskih voda	1
4.3.1. Mjerodavne količine otpadnih sanitarnih voda	1
4.3.2. Oborine	1
4.3.3. Pročišćavanje voda	1
4.3.4. Akumulacijski objekt	1
4.3.5. Sustav za navodnjavanje	1
5. ZAKLJUČAK	1
6. DOKUMENTACIJA	1

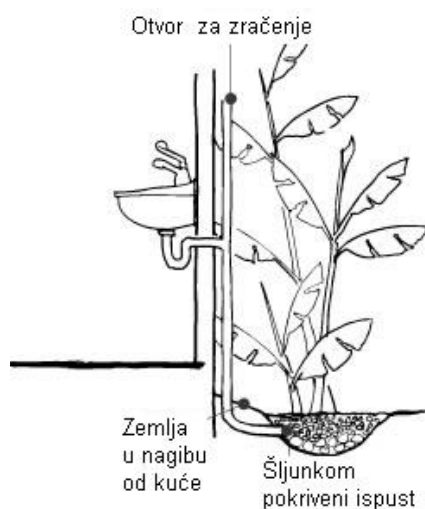
1. UVOD

Točan početak kontroliranog navodnjavanja nije poznat, no nagađa se da je to bilo prije 5.000-6.000 g. u područjima Egipta i Mezopotamije. Razvoj tehnike je omogućio povećanje površina koje se navodnjavaju, ali se zbog trenda smanjenja količine kvalitetne vode, pojavljuje potreba za njenom štednjom. Osim toga, kvalitetna voda nije ravnomjerno raspoređena te postoje područja u kojima je izraziti manjak pitke vode. Iz navedenih razloga se sve češće ponovno koristi već jednom upotrebljena i pročišćena voda što se naziva recikliranjem vode.

Pojam recikliranja se uobičajeno veže uz metale, staklo i papir. Valja istaknuti da se i voda može reciklirati. Kroz prirodni hidrološki ciklus, zemlja je reciklirala i ponovno koristila vodu milionima godina. Pod sekundarnim korištenjem upotrebljenih voda se podrazumijevaju projekti za ubrzanje tih prirodnih procesa.

Recikliranje vode je ponovno korištenje pročišćenih otpadnih voda za navodnjavanje poljoprivrednih ili zelenih površina (parkova, golf igrališta, groblja) industrijske procese (rashladna voda), ispiranje toaleta, pranje ulica, gašenje požara ili prihranjivanje vodonosnih slojeva.

Pitka voda je ograničeni prirodni resurs. Globalno povećanje broja stanovništva kao i nagli razvoj društva nameće povećanu potražnju za sanitarno ispravnom vodom. Korištenjem reciklirane vode se smanjuje potreba za sanitarno ispravnom vodom a smanjuje se i količina hranjivih tvari koje se unose u vodotoke (recipiente) čime se štiti okoliš. Previše hranjivih tvari u vodi može štetiti okolišu ali pogoduje navodnjavanju poljoprivrednih površina. Korištenje reciklirane vode je često financijski znatno povoljnije od korištenja sanitarno ispravne vode.



Slika 1. *Primjer korištenja upotrebljenih voda za navodnjavanje*

Kada se promatra upotreba otpadnih voda u navodnjavanju treba razmotriti prednosti, mane i moguće rizike. U tablici 1 su navedene prednosti, mane i mogući rizici te utjecaj raznih supstanci iz vode na tlo.

Tablica 1. Prednosti, mane i potencijalni rizici od recikliranja otpadne vode

Prednosti	Mane	Rizici
-povećanje ekonomske učinkovitosti u području ispuštanja otpadnih voda i navodnjavanja -očuvanje izvora čiste vode - prihranjivanje vodonosnika infiltracijom vode	- otpadne vode nastaju kontinuirano tijekom cijele godine, dok je navodnjavanje potrebno samo u vegetacijskom periodu	Potencijalna opasnost za podzemnu vodu zbog postojanja teških metala, nitrata i organske tvari
Korištenje hranjivih tvari iz otpadne vode se: - smanjuje korištenje umjetnih gnojiva - poboljšavaju karakteristike tla	Neke tvari mogu u otpadnoj vodi biti u koncentracijama koje su štetne (otrovne) za biljke ili mogu izazvati štetu u okolišu.	Postoji opasnost po ljudsko zdravlje zbog širenja patogenih organizama
Smanjenje troškova pročišćavanja otpadnih voda		Postoji opasnost za tlo zbog nakupljanja teških metala
Smanjenje utjecaja otpadnih voda na okoliš (npr. smanjenje eutrofikacije)		

Reciklirana voda može zadovoljiti većinu potreba za vodom, ako je odgovarajuće tretirana i zadovoljava kriterije za odabranu vrstu upotrebe. Reciklirane vode nisu prikladne za konzumiranje, zadovoljavanje higijenskih potreba, punjenje bazena i u drugim slučajevima kad mogu biti izravno unesene u ljudski organizam.

2. Pristupi recikliranju otpadnih voda

U mnogim se nerazvijenim ruralnim dijelovima Azije, Afrike i Latinske Amerike, (npr. Pakistan, Gana, Vijetnam, Meksiko...) za navodnjavanje koriste netretirane otpadne vode prikupljene sustavom kanalizacije. Otpadne vode su često puta jedini izvor vode za navodnjavanje u tim područjima. Čak i u područjima u kojima postoji javna vodoopskrba, mali poljoprivrednici često preferiraju korištenje otpadnih voda za navodnjavanje jer time izbjegavaju troškove za kupovinu umjetnih gnojiva.

U spomenutom načinu korištenja otpadnih voda se javlja veliki problem zaštite ljudskog zdravlja.



Slika 2. Korištenje otpadnih voda za navodnjavanje u Vietnamu (lijevo) i kanal koji dovodi kanalizacionu vodu iz grada na poljoprivrednu površinu u Pakistanu (desno)

U razvijenim zemljama su uobičajeni sljedeći načini korištenja recikliranih voda ovisno o stupnju pročišćavanja:

- a) u slučaju da otpadne vode prođu samo prvi stupanj pročišćavanja (rešetke i taloženje) se ne predviđa njihovo sekundarno korištenje
- b) u slučajevima kad se na otpadne vode primjeni drugi stupanj pročišćavanja (biološki tretman i dezinfekcija), reciklirane vode se mogu koristiti za površinsko navodnjavanje vinograda i voćnjaka, navodnjavanje vegetacija koji ne služe za ishranu, navodnjavanje zelenih površina, prihranjivanje vodonosnika iz kojih se ne crplji voda za vodoopskrbu stanovništva, prihranjivanje močvara te kao industrijske rashladne vode.
- c) u slučaju da su prikupljene vode tercijarno pročišćene mogu se koristiti za zalijevanje golf terena, ispiranje toaleta, pranje vozila, navodnjavanje prehrambenih kultura te prihranjivanje vodonosnika iz kojih se crpi voda za potrebe vodoopskrbe stanovništva. Reciklirana voda se može koristiti i za umjetnu infiltraciju na mjestima gdje treba spriječiti zaslanjivanje voda koje služe za vodoopskrbu.

U pojedinim razvijenim zemljama je pravnom regulativom definirana potrebna kvaliteta reciklirane vode koja se koristi za navodnjavanje.

3. Postojeći stupanj korištenja reciklirane vode u svijetu

Sekundarno korištenje upotrebljenih voda je relativno malo u odnosu na ukupnu upotrebu voda ali je u stalnom porastu. Najveće je (i ima najveću tendenciju rasta) u područjima koja oskudijevaju vodom. U 2000. godini je u SAD-u reciklirana voda podmirivala oko 1,5% ukupne potražnje za vodom, u Tunisu 4,6 % a u Izraelu 15%. Udio otpadnih voda u navodnjavanju je oko 7% u Tunisu, 8% u Jordanu, 24% u Izraelu i 32% u Kuvajtu.

Recikliranje vode je na Floridi postalo integralni dio gospodaranje

otpadnim vodama kao i raspolaganja vodnim resursima. Na Floridi je 2001. godine dnevno korišteno $2,6 \cdot 10^6$ m³ reciklirane vode. Najveći potrošači su tereni za igranje golfa (419 igrališta) koji koriste 501 000 m³/dan ili oko 20% reciklirane vode.

Reciklirana voda se već niz godina koristi u Californiji za navodnjavanje vinograda, a veličina površina koje se navodnjavaju na taj način su u stalnom porastu. Nedavno su vinarije Gallo dovršile sustav navodnjavanja 140 hektara sa recikliranom vodom.



Slika 3. *Primjer akumulacije za prikupljanje reciklirane vode za navodnjavanje golf igrališta na Havajima (Koele Golf Course)*

U Francuskoj pokrajini Clermont-Ferrand se od 1997. godine navodnja-va preko 700 hektara kukuruza sa oko 10. 000 m³/dan pročišćene otpadne vode. U Italiji se sa recikliranom vodom navodnja-va više od 4000 hektara raznih kultura.

U svijetu se često (u okviru projektiranja racionalnih stambenih objekata) koristi prikupljanje i korištenje pročišćenih otpadnih voda i na nivou jednog stambenog objekta. Tada se najčešće koriste sive i oborinske vode za potrebe navodnjavanja okućnice.



Slika 4.
Primjer korištenja reciklirane vode u okviru jednog objekta

3.1 Stanje u Sredozemlju

Vruća i suha ljeta te blage zime u kojima padne većina godišnjih oborina karakteriziraju mediteransku klimu.

U Sredozemlju se sekundarno korištenje otpadnih voda prakticira od doba staro Grčke i Rimske civilizacije. Upotreba otpadnih voda za navodnjavanje je stara i učestala praksa koja je tokom vremena prolazila kroz razne stupnjeve razvoja, poznavanja procesa, tehnologija pročišćavanja te razvoja pravne regulative.

Zemlje sa postojećom pravnom regulativom ili smjernicama za korištenje otpadnih voda na Sredozemlju su Cipar, Francuska, Izrael, Italija, Monaco, Španjolska, Tunis, Turska, dok je u Alžiru, Egiptu, Grčkoj, Libanonu, Libiji, Malti, Maroku, Siriji odgovarajuća pravna regulativa u izradi ili razmatranju.

Hrvatska spada uz Albaniju, Bosnu i Hercegovinu i Sloveniju u jedine zemlje na Sredozemlju koje nemaju smjernice za sekundarno korištenje vode niti značajnije kapacitete za recikliranje.

Smjernice za korištenje otpadnih voda su nužne za planiranje i sigurnu implementaciju sustava za sekundarno korištenje otpadnih voda.

4. Primjer proračuna korištenja otpadnih voda za potrebe navodnjavanja u Istri

Mogućnost korištenja pročišćenih voda u sustavu navodnjavanja će biti prikazana na primjeru tri ruralna naselja u općini Barban (Istra). Prikazani primjer opisuje mogućnost navodnjavanja vinove loze iz prikupljenih sanitarnih i oborinskih voda na vlastitom slivu.

Natapna voda najpotrebnija je u vegetacijskom periodu tj. ljeti kad se u cijeloj Istri nalazi povećani broj turista. U vodoopskrbi, turizam svakako ima prioritet u odnosu na poljoprivredu te postoji velika vjerojatnost da će u vegetacijskom periodu doći do prekida vodoopskrbe za potrebe poljoprivrede. Troškovi navodnjavanja sakupljenom vlastitom recikliranom vodom su manji nego troškovi navodnjavanja iz sustava za vodoopskrbu stanovništva jer se ne zahtijeva tako visok stupanj pročišćavanja a i troškovi transporta vode su obično manji.

4.1. Osnovne značajke prostora

Općina Barban je smještena u istočnom dijelu Istarske županije, zapadno od rijeke Raše i sjeverozapadno od Raškog zaljeva (slika 5.). Kroz promatrano područje ne prolaze glavni cestovni pravci koji spajaju Istarsku županiju i ostatak Hrvatske.



Slika 5.
Položaj vinograda za koje se razmatra navodnjavanje recikliranim vodama

Na području ruralnih naselja Rajki, Rojnići, Valići i Trošti su nastanjena 43 objekta te se može pretpostaviti da u svakom od njih žive po četiri osobe što znači da su na slivnom području nastanjene 172 osobe. Budući da se na tom području razvija agro-turizam usvojiti će se i povećanje broja stanovnika za 30 % koliko se predviđa kapacitet privatnog smještaja, za potrebe proračuna otpadne sanitarne vode je usvojeno ukupno 224 osobe.

Na promatranom području se nalazi klimatska postaja Barban koja raspolaže samo sa podacima za oborine. Podaci o mjesečnim količinama oborina su usvajeni na osnovu obrade kontinuiranog niza mjerenja od 1961. g. do 1990.g. Pri određivanju temperature i vlažnosti zraka te brzine vjetra korištene su izmjerene vrijednosti na klimatskih postaja u Pazinu i Rovinju. Za određivanje osunčanja (insolacije) korišteni su rezultati opažanja na klimatskim postajama u Puli i Poreču.

Cijela općina Barban, te samim time i promatrano područje je pokrivena sustavom javne vodoopskrbe zasnovanom na zahvatima vode u dolini rijeke Raše, posebice izvora Rakonek.

Kako na promatranom području nema organiziranog sistema odvodnje, nameće se potreba njegove izgradnje. Prostornim planom se planira izgradnja postrojenja za pročišćavanje sanitarne otpadne vode čija sposobnost pročišćenja iznosi minimalno 95%.

Za potrebe navodnjavanja se osim korištenja otpadnih voda iz domaćinstava, predviđa i prikupljanje oborinska voda sa krovnih i asfaltiranih površina te sa zemljišta. Zbog učestalijeg prometa na županijskoj cesti koja spaja gradove Barban i Žminj, prikupljena oborinska voda sa te prometnice sadrži znatnije količine štetnih supstanci (ulja, masti, komadića

guma,...) te se stoga taj dio oborinskih voda sa prometnice mora odvojeno prikupiti u poseban sustav odvodnje i sprovesti prema uređaju za pročišćavanje prije no što se upusti u akumulaciju.

4.2. Određivanje potrebe vinove loze za vodom

Prvi korak u procesu projektiranja sustava za navodnjavanje je određivanje potrebne količine vode za navodnjavanje. U ovom radu je opisana mogućnost navodnjavanja vinove loze obzirom da je to kultura koja se tradicionalno uzgaja u razmatranom području.

Određivanje potrebe vinove loze za vodom se provodi pomoću računalnog programa CropWAT. Program CropWAT se temelji na Penman-ovoj formuli za evapotranspiraciju:

$$ET_o = C [W \times R_n (1 - W) \times f_u (R_a - R_d)] \quad \dots (1)$$

pri čemu je:

- ET_o - referentna evapotranspiracija [mm/dan]
- C - faktor korekcije radi izravnavanja dnevnih i noćnih meteoroloških uvjeta
- W - faktor ponderacije o utjecaju temperature
- R_n - neto radijacija kao ekvivalent isparavanja [mm/dan]
- f_u - utjecaj vjetra
- R_a-R_d - razlika tlaka saturirane vodene pare pri srednjoj temperaturi zraka i stvarno prosječnom tlaku vodene pare [mbar]

Za dobivanje evapotranspiracije potrebni su podaci o vrsta tla, nadmorska visina, geografska širina i geografska dužina, te mjesečni podaci o temperaturi, relativnoj vlazi,. U tablici 2. je prikazan rezultat proračuna referentne evapotranspiracije.

Tablica 2. Prikaz referentne evapotranspiracije ET_o za klimatsku postaju Rajki

Mjesec	Max temp. [°C]	Min temp. [°C]	Vlaga [%]	Vjetar [km/dan]	Osunčanje [sati]	Radijacija [MJ/m ² /dan]	ET _o [mm/dan]
Siječanj	8,7	-0,6	80	121	3,5	5,3	0,6
Veljača	9,9	-0,1	77	138	4,4	8,0	1,0
Ožujak	12,8	2,1	74	164	5,5	12,3	1,8
Travanj	16,6	5,6	73	173	6,9	17,0	2,7
Svibanj	21,3	9,5	75	156	8,7	21,5	3,6
Lipanj	25,0	13,0	74	147	9,7	23,6	4,4
Srpanj	28,1	14,9	70	147	11,0	24,9	5,0
Kolovoz	27,9	14,5	73	130	10,3	22,0	4,4
Rujan	24,3	11,8	78	130	8,1	16,1	3,0
Listopad	19,6	7,9	79	138	5,8	10,3	1,8
Studeni	13,9	4,0	80	138	3,6	5,8	1,0
Prosinac	9,9	0,6	79	130	3,4	4,7	0,7
Godišnje	18,2	6,9	76	143	6,7	14,3	916

Iz tablice 2 se može očitati da su prosječne dnevne vrijednosti evapotranspiracije od minimalnih 0,6 mm/dan u siječnju, do maksimalnih 5,0 mm/dan u srpnju, dok ukupna godišnja vrijednost iznosi 916 mm.

Kod izračunavanja efektivnih oborina potrebno je uzeti u obzir gubitke na otjecanje i duboko poniranje. Za potrebe ovog rada uzela se u obzir najjednostavnija metoda određivanja efektivnih oborina, a ta je preko fiksnog postotka a (gdje vrijednost fiksnog postotka iznosi $a = 0,8$). Podaci o prosječnim količinama oborinama su izračunati za niz od 1961 god. do 1990. god.

Tablica 3. Proračun efektivnih oborina za klimatsku postaju Barban

Mjesec	E_t [mm/mj.]	Oborine [mm/mj.]	Efektivne oborine [mm/mj.]
Siječanj	18,6	112,6	90,1
Veljača	28,0	98,2	78,6
Ožujak	55,8	99,4	79,5
Travanj	81,0	99,2	79,4
Svibanj	111,6	84,6	67,7
Lipanj	132,0	85,9	68,7
Srpanj	155,0	59,0	47,2
Kolovoz	136,4	95,7	76,6
Rujan	90,0	106,9	85,5
Listopad	558,0	125,8	100,6
Studeni	30,0	152,0	121,6
Prosinac	21,7	105,8	84,6
Godišnje	915,9	1225,1	980,1

Efektivna oborina je 80% oborina

Osim proračunavanja efektivnih oborina potrebno je definirati podatke o vegetaciji za vinovu lozu. Spomenuti podaci su podijeljeni po fazama vegetacijskog ciklusa. Svakoj fazi potrebno je pridružiti trajanje faze u danima, koeficijent kulture K_c , dubinu zakorijenjivanja, dopustivo sniženje vlage u tlu te faktor smanjenja prinosa K_y (tablica 4.).

Tablica 4. Podaci o vegetaciji vinove loze

Razvojna faza	Jed. mjere	Početna	Razvojna	Središnja	Kasna	Ukupno
Trajanje faze	dana	30	60	40	80	210
Koeficijent kulture; K_c	[1]	0,30	→	0,70	0,45	
Dubina zakorijenjivanja	[m]	1,20	→	1,20	1,20	
Sniženje vlage; p	[1]	0,45	→	0,45	0,45	
Faktor prinosa; K_y	[1]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,85



Slika 6.

Prikaz sadašnjeg stanja nasada vinove loze na odabranom poljoprivrednom području

Tablica 5. Prikaz potrebe vinove loze za vodom

Klimatska postaja: Rajki								
Kultura: Vinova loza								
Datum sjetve: 15. ožujak								
Mjesec	Dekada	Faza	Kc	ET _{crop} [mm/dan]	ET _{crop} [mm/dek]	P _{eff} [mm/dek]	I _R R _{eq} [mm/dan]	I _R R _{eq} [mm/dek]
Ožujak	3	početna	0,30	0,63	6,3	26,5	0,00	0,0
Travanj	1	početna	0,30	0,72	7,2	26,5	0,00	0,0
Travanj	2	početna	0,30	0,81	8,1	26,5	0,00	0,0
Travanj	3	razvojna	0,33	1,00	10,0	25,2	0,00	0,0
Svibanj	1	razvojna	0,40	1,32	13,2	23,9	0,00	0,0
Svibanj	2	razvojna	0,47	1,68	16,8	22,6	0,00	0,0
Svibanj	3	razvojna	0,53	2,06	20,6	22,7	0,00	0,0
Lipanj	1	razvojna	0,60	1,48	24,8	22,8	0,20	2,0
Lipanj	2	razvojna	0,67	1,93	29,3	22,9	0,64	6,4
Lipanj	3	središnja	0,70	3,22	32,2	20,5	1,17	11,7
Srpanj	1	središnja	0,70	3,41	34,1	16,8	1,73	17,3
Srpanj	2	središnja	0,70	3,57	35,7	13,7	2,20	22,0
Srpanj	3	središnja	0,70	3,41	34,1	17,7	1,64	16,4
Kolovoz	1	kasna	0,68	3,15	31,5	21,6	0,99	9,9
Kolovoz	2	kasna	0,65	2,87	28,7	25,5	0,32	3,2
Kolovoz	3	kasna	0,62	2,45	24,5	26,5	0,00	0,0
Rujan	1	kasna	0,59	2,05	20,5	27,5	0,00	0,0
Rujan	2	kasna	0,56	1,68	16,8	28,5	0,00	0,0
Rujan	3	kasna	0,53	1,37	13,7	30,2	0,00	0,0
Listopad	1	kasna	0,50	1,09	10,9	31,9	0,00	0,0
Listopad	2	kasna	0,47	0,84	8,4	33,5	0,00	0,0
Ukupno					427,4	513,3		88,9

Za datum sadnje (odnosno pupanja) se iz iskustva na promatranoj poljoprivrednoj površini odabire 15-ti ožujka. Na osnovu usvojenih pretpostavaka se dobiva potreba vinove loze za vodom u razvojnim fazama (tablica 5.).

Iz tablice 5. se može očitati količina stvarne evapotranspiracije vinove loze ET_{crop} te se vidi da maksimalna vrijednost iznosi 3,57 mm/dan u drugoj dekadi mjeseca srpnja. U istoj tablici prikazani su podaci o efektivnim oborinama P_{eff} . Potreba vinove loze za vodom (IR_{Req}) se dobiva pomoću jednadžbe:

$$I_R R_{eq} = ET_{crop} - P_{eff} \quad \dots (2)$$

Po podjeli prema osjetljivosti kultura na nedostatak vode, vinova loza spada u skupinu nisko-srednjih podložnih kultura, te je za nju važno osigurati vodu prvenstveno u početnoj fazi, dok kultura pupa i cvijeta.

Kad su izračunate potrebe biljke za vodom kreće se u izračunavanje rasporeda natapanja. Za raspored natapanja potrebno je usvojiti podatke o evapotranspiraciji, oborinama i o vinovoj lozi te podatke o tlu na tom poljoprivrednom području. Za tip tla je usvojena crvenica, kao ukupni sadržaj fiziološke aktivne vode u tlu je usvojeno 140 mm/dan, maksimalna brzina infiltracije je usvojena sa 40 mm/dan, maksimalnu dubina zakorijenjavanja sa vrijednošću 900 cm, početni sadržaj vode u tlu je 50% te početna raspoloživa količina vlage u tlu 70 mm/m.

U ovom primjeru je predviđeno natapanje sa fiksnim turnusima svakih 10 dana u periodu od 1. travnja do 21. listopada sa normom natapanja od 30 mm. Uz usvojene pretpostavke se može izračunati bruto obrok natapanja od 41,7 mm.

Iz podatka da je bruto obrok natapanja 41,7 mm se može izračunati volumen vode potreban za jedan obrok navodnjavanja hektara nasada vinove loze ($V = 417 \text{ m}^3$). Kako je potrebno navodnjavati kroz 8 dekada ukupna godišnja potreba za vodom po hektaru vinograda je 3.336 m^3 . Valja napomenuti da su drugi autori, usvajajući drugačije pretpostavke, izračunali da je za navodnjavanje vinove loze u Istri, ovisno o lokaciji, potrebno između 1500 i 2500 m^3 vode. U ovom radu usvojene vrijednosti su na strani sigurnosti.

Hidrauličkim proračunom je potrebno provjeriti veličinu akumulacije kako bi se osigurala tražena količina vode za svaki turnus natapanja tokom čitave vegetacijske sezone.

4.3. Prikupljanje i akumuliranje upotrebljenih i oborinskih voda

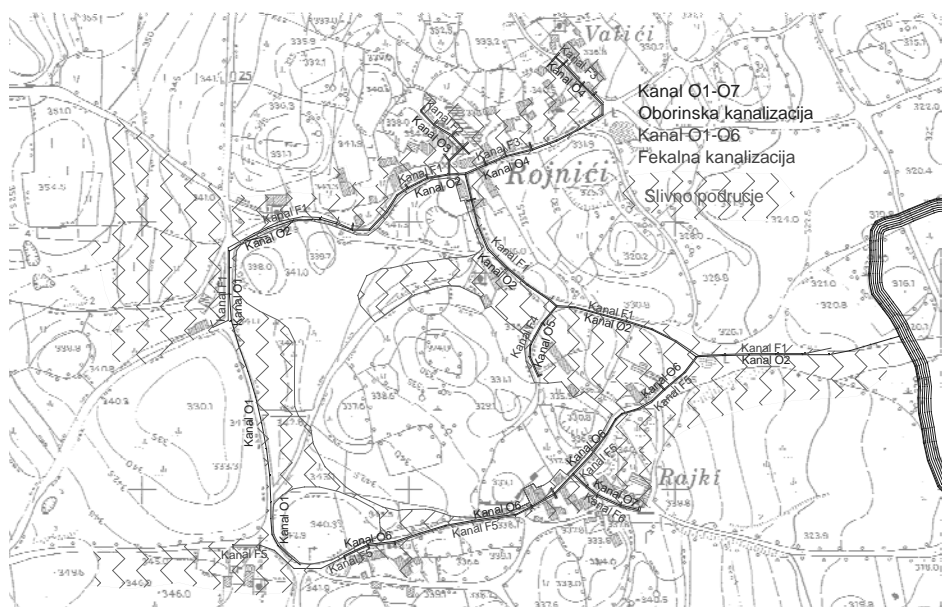
U ovom primjeru je pretpostavljeno je da se sva oborinska i sanitarna otpadna voda koja se nalazi unutar slivnih granica koristi za navodnjavanje.

Sanitarne otpadne vode odnose se na vodu koja potječe iz domaćinstava, ugostiteljstava, poslovnih prostora i dr. Oborinske vode se odnose na dio oborina koje nakon isparivanja i procjeđivanja otječu po površini sliva u sustav javne odvodnje.

U ovom primjeru je odabran razdjelni tip kanalizacije što znači da se svaka vrsta vode odvodi zasebnim sustavom kanala. Time se dobivaju manji troškovi tretmana vode, te manji promjeri cijevi. Valja reći da se odabirom razdjelnog tipa kanalizacije povisuju ukupni troškovi izgradnje za 40 %

naspram izgradnje mješovitog tipa kanalizacije.

Slika 7. Situacijski plan razdjelne kanalizacije i slivnog područja



Promatrano područje je s vrlo razvijenim reljefom te se pažljivim projektiranjem postiglo gravitacijsko tečenje u svim kanalima do uređaja za pročišćavanje i akumulacije.

Proračun mjerodavnih količina voda je proveden odvojeno za sanitarne kanale (kojima otječu sanitarne otpadne), te za oborinske kanale (kojima otječu oborinske vode). Sam hidraulički proračun ima dva osnovna cilja: a) određivanje potrebnih promjera cjevovoda kako bi se mogla dimenzionirati kanalizacijska mreža i b) određivanje ukupnog godišnjeg dotoka u akumulaciju kako bi se mogao provjeriti bilans voda.

Uobičajenim hidrauličkim proračunom su određeni potrebni promjeri cijevi kako sanitarne kanalizacijske mreže tako i oborinske mreže. Dimenzioniranje oborinske kanalizacije je provedeno pomoću računalnog programa Canalis zasnovanom na racionalnoj (Lloyd-Daveis) metodi. Kako područje na kojem se projektira sustav nema klimatsku postaju, te samim time ni određenu ITP-krivulju, kao mjerodavna je usvojena ITP krivulja definirana za grad Pazin. Oborinska kanalizacija je projektirana na povratni period od 5 godina i trajanje padalina od 10 minuta (intenzitet oborina iznosi 297 l/s/ha).

U ovom radu je prikazan rezultat hidrauličkog proračuna bilansa voda koji je poslužio za određivanje potrebnog volumena akumulacije i mogućnost navodnjavanja.

4.3.1. Mjerodavne količine otpadnih sanitarnih voda

Količina sanitarne otpadne vode ovisi o broju stanovnika, stupnju razvoja te njihovim navikama. Prilikom provedbe hidrauličkog proračuna je usvojeno da na promatranom području obitavaju 224 osobe. Specifična potrošnja vode se može usvojiti sa $q_{\text{spec, st}} = 220$ l/potrošač/dan, dok je zbog usvojenog koeficijenta umanjenja količine otpadnih voda ($k_{\text{um}} = 0.8$) specifična potrošnja vode koja utječe u kanal $q_{\text{spec, st, R}} = 220 \times 0.8 = 176$ [l/potrošač/dan]. Godišnji dotok je tada $Q_{\text{god}} = q_{\text{spec, st, R}} \times 224$ stanovnika $\times 365$ dana = 14.4×10^3 [m³/god].

4.3.2. Oborine

Za određivanje količina vode koje se mogu akumulirati za potrebe navodnjavanja prikupljanjem oborina potrebne su mjesečne količine padalina koje se usvajaju na osnovu podataka sa klimatske postaje Barban. Na osnovu prikupljenih meteoroloških podataka je izračunata srednja godišnja oborina $h_{\text{obo}} = 1225$ mm. Ti podaci množe se sa površinom pripadajućeg sliva $A_{\text{Ukupno}} = 101.000$ m² i srednjim koeficijentom otjecanja ($C_{\text{src}} = 0,346$) te se dobiva volumen palih oborina $V_{\text{obo}} = 42,8 \times 10^3$ m³/god.

Osim oborina koje se kanalizacionom mrežom prikupe sa slivnih površina treba nadodati i oborine koje padnu na površinu akumulacije (Voboak) koje se mogu dobiti kao umnožak površine akumulacije $A_{\text{ak}} = 8000$ m², oborina hobo = 1225 mm i koeficijenta otjecanja $C_{\text{ak}} = 1$ te se dobiva volumen oborina koje padnu na površinu akumulacije $V_{\text{oboak}} = 9,8 \times 10^3$ m³/god.

Ukupno se godišnje u akumulaciju slijeva 67 x 10³ m³/god. a svaki hektar vinove loze je potrebno navodnjavati sa 3336 m³ te proizlazi da se raspoloživom vodom može navodnjavati 20,1 ha. Bilans voda po mjesecima je prikazan u tablica 6.

Tablica 6 Prikaz ulaza i izlaza iz akumulacije po mjesecima

Mjesec	Prosječne oborine [mm]	Dotok oborinskih voda [m ³]	Oborine na akumulaciju [m ³]	Dotok sanitarnih [m ³]	Ukupan dotok [m ³]	Natapanje [m ³]	Razlika [m ³]
I	112,6	3935	901	1200	6036	0	6036
II	98,2	3432	786	1200	5417	0	5417
III	99,4	3472	795	1200	5467	0	5467
IV	99,2	3468	794	1200	5462	0	5462
V	84,6	2956	677	1200	4833	0	4833
VI	85,9	3002	687	1200	4889	25120	-20231
VII	59,0	2062	472	1200	3734	25120	-21386
VIII	95,7	3344	766	1200	5310	16746	-11436
IX	106,9	3736	855	1200	5791	0	5791
X	125,8	4396	1006	1200	6603	0	6603
XI	152,0	5312	1216	1200	7728	0	7728
XII	105,8	3697	846	1200	5744	0	5744
Ukupno	1225,1	42812	9801	14400	67013	66986	

Na osnovu analize dinamike dotoka vode u akumulaciju po mjesecima kao i podataka o potrošnji vode za navodnjavanje u vegetativnom razdoblju izračunat je potreban minimalan volumen akumulacije od 53.100 m³.

4.3.3. Pročišćavanje voda

Sva otpadna voda u ovom primjeru gravitacijski otječe razdjelnim sustavom kanalizacije prema akumulaciji u kojoj nema značajne izmjene vode. Opadne vode sadrže hranjive tvari dušik i fosfor, koje i u maloj koncentraciji mogu uzrokovati pojavu eutrofikacije. Pojavu eutrofikacije treba pod svaku cijenu izbjeći, tako da je prikupljenu vodu prije upuštanja u akumulaciju potrebno pročititi.

Projektom se predviđa ugradnja tipskog postrojenja za aeracijski tretman otpadnih voda sa sitnomjehuričastim prozračivanjem. Odabrano postrojenje ima kapacitet za 1000 stanovnika te može pročititi do 150 m³ otpadne vode na dan te ima i mogućnost aerobne i anaerobne pripreme taloga koji se može upotrebljavati za gnojidbu vinove loze. Da bi se izbjegla pojava eutrofikacije u akumulacionom jezeru pročišćena otpadna voda se mora podvrgnuti tercijajarnom pročišćavanju.

Za tercijarno tretiranje otpadnih voda se predlaže izgradnja biljnih uređaja koji imaju visok stupanj pročišćavanja, niske troškove gradnje, jednostavno i jeftino održavanje, te malu (ili nikakvu) potrebu za korištenjem električne energije. Održavani biljni uređaji se dobro uklapaju u krajolik, ne šire neugodne mirise niti potstiču okupljanje i razmnožavanje insekata.

U Hrvatskoj se biljni uređaji relativno malo koriste, iako su rezultati ispitivanja na pilot modelu biljnog uređaja Hrvatskih voda na lokaciji Hruščica dali vrlo dobre rezultate u pročišćavanju otpadnih voda.



Slika 8.
*Pilot model biljnog pročišćivača
Hrvatskih voda na lokaciji
Hruščica*

4.3.4. Akumulacijski objekt

U akumulaciji se tokom cijele godine sakupljaju pročišćene sanitarne i oborinske vode te oborine koje padnu direktno na površinu same akumulacije. Pretpostavljeno je da se sva akumulirana voda upotrebljava za potrebe navodnjavanja vinove loze u vegetacijskoj sezoni.



Slika 9.
*Akumulacija
Butoniga*

Da bi se smanjila evaporacija i onemogućio ulaz sunčevoj svjetlosti, čime se onemogućuje razvoj velikog dijela algi koje su štetne i za akumulaciju i za sustav za navodnjavanja, predviđa se polaganje zaštitne folije na vodnu površinu.

Tlo na kojem se formira akumulacija je djelomično propusno, te bi gubici otjecanjem bili znatni. Da bi se ovi gubici izbjegli, potrebno je projektirati i izvesti oblogu dna akumulacije. Vodonepropusnost akumulacije se može postići ugradnjom nepropusne folije (geomembrana i netkani tekstil) na izravnavajući sloj pijeska.

U projektu je predviđen i preljev koji služi u slučaju da razina vode u akumulaciji dosegne razinu koja bi mogla uzrokovati prelijevanje preko krune nasipa što bi moglo ugroziti stabilnost nasipa koji formira akumulaciju.

4.3.5. Sustav za navodnjavanje

Glavni dijelovi sustava za navodnjavanje su crpka, tlačni cjevovod, i sustav za distribuciju vode.

Crpkom se formira tlačna visina potrebna za distribuciju vode do mjesta navodnjavanja (biljaka). Uz crpku se po potrebi treba ugraditi zračni kotlić kako bi se izbjegla pojava vodnog udara prilikom ulaska ili izlaska crke iz pogona.

U ovom radu je pretpostavljeno navodnjavanje kapanjem koje može postići visok stupanj efikasnosti iskorištenja vode (čak do 95%).

Osim spomenute crpke, tlačnog cjevovoda i kapaljki u sustav za navodnjavanje treba ugraditi i niz cijevi, filtera, fertilizatora, ventila i drugog pribora te računala i odgovarajućih računalnih programa za optimaliziranje rada sustava.



Slika 10.
Kompletni digitalni sustav nadzora navodnjavanja nasada vinove loze

Za prikupljanje podataka o potrebnim količinama vode za navodnjavanje te upravljanja sustavom navodnjavanja se najčešće koriste male klimatske stanice koje imaju senzore za mjerenje vlage tla, smjera i brzine vjetra, temperature, insolacije, količine oborina te vlage zraka.

5. ZAKLJUČAK

Kroz prirodni hidrološki ciklus, zemlja je reciklirala i ponovno koristila vodu milionima godina. Pod sekundarnim korištenjem upotrebljenih voda se podrazumijevaju projekti za ubrzanje tih prirodnih procesa.

Pitka voda je ograničeni prirodni resurs. Globalno povećanje broja stanovnika kao i nagli razvoj društva nameću povećanu potražnju za sanitarno ispravnom vodom. Korištenjem reciklirane vode se smanjuje potreba za sanitarno ispravnom vodom a smanjuje se i količina hranjivih tvari koje se unose u vodotoke (recipijente) čime se štiti okoliš. Previše hranjivih tvari u vodi može štetiti okolišu ali pogoduje navodnjavanju poljoprivrednih

površina. Korištenje reciklirane vode je često financijski znatno povoljnije od korištenja sanitarno ispravne vode.

Reciklirana voda treba biti uzeta u obzir kod koncipiranja održivog gospodarenja vodama. Sekundarno korištenje upotrebljenih voda se sve više uključuje (integrira) u planiranje i razvoj sustava vodoopskrbe Mediteranskih zemalja, posebno za potrebe navodnjavanja poljoprivrednih i zelenih površina.

U radu je prikazano idejno rješenje navodnjavanja nasada vinove loze na primjeru tri ruralna naselja u centralnoj Istri. Proračun je pokazao da je moguće projektirati i izgraditi sustav koji u svakom trenutku vegetativnog razdoblja biljkama osigurava dovoljnu količinu natapne vode iz vlastitih vodnih resursa a ne iziskuje značajna dodatna sredstva u odnosu na uobičajene sustave odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda i sustave navodnjavanja.

U prikazanom primjeru je hidraulički proračun zasnovan na pretpostavci da se razdjelnim sustavom kanalizacije prikupljaju oborinske i sanitarne otpadne vode te se pročišćavaju i akumuliraju. Akumulirana voda se uz pomoć crpke i tlačnog sustava distribuira u nasad vinove loze gdje je predviđeno navodnjavanje kapanjem. Prikupljanjem sanitarnih i oborinskih voda u promatrana tri naselja sa 224 žitelja se može navodnjavati 20 ha vinograda.

Trenutno se na Sredozemlju (Izrael, Francuska, Tunis i Cipar) realiziraju značajni projekti za recikliranje vode koji su u skladu sa nacionalnim smjernicama za sekundarno korištenje otpadnih voda. Valja istaknuti nužnost postojanja spomenutih smjernica. One pomažu u zaštiti ljudskog zdravlja, povećavaju količinu raspoloživih voda i smanjenju zagađivanja priobalnog mora. Ujednačavanje kriterija za recikliranje otpadnih voda na Sredozemlju će pridonijeti zaštiti sredozemnog mora te pospješiti ekonomski razvoj i turizam.

Sve zemlje Sredozemlja, osim Hrvatske, Albanije, Bosne i Hercegovine te Slovenije imaju ili izrađuju smjernice za korištenje otpadnih vode. Smjernice za korištenje otpadnih voda su nužne za planiranje i sigurnu implementaciju sustava za sekundarno korištenje otpadnih voda te treba što prije pristupiti njihovoj izradi.

6. DOKUMENTACIJA

- [01] Agroskin, I. I. i dr.; Hidraulika; Tehnička knjiga, Zagreb; 1969.
- [02] Bašić, F. i dr.; Konzervacijsko djelovanje na tlima izloženim djelovanju erozije; Zagreb; Hrvatske vode, 8(2000)33
- [03] Brouwer, C. i dr.; Irrigation water management: Irrigation Scheduling, Training manual no. 4; <http://www.fao.org/docrep/T7202E/T7202E00.htm>
- [04] Guidelines for Water Reuse.US EPA Office of Technology Transfer and Regulatory Support. EPA/625/R-92/004, September 1992
- [05] Kos, Z.; Hidrotehničke melioracije tla, Navodnjavanje; Školska knjiga, Zagreb; 1987.
- [06] Kos, Z.; Vodoprivreda u budućnosti, II dio; Zagreb; Hrvatske vode, 1(1993)3
- [07] Kos, Z. i dr.; Građevinski Godišnjak '97; Topgraf, Velika Gorica, 1997.
- [08] Kos, Z. i dr.; CROPWAT, Računalni program za određivanje potrebe vode za natapanje, Građevinski Godišnjak '97; Topgraf, Velika Gorica, 1997.
- [09] Ericsson, Calle; Impeller, Control the flow with reliable communication; 64/2004.
- [10] Flyght Systems Engineering; Design Recommendations, Pumping Stations With Large Submersible Centrifugal Pumps; Sweden; 1998.
- [11] Kontošić, D.; Barban i barbanština - Biser i oaza unutrašnjosti Istre; Elaborat o proglašenju Barbana i općine Barban turističkim mjestom; ožujak, 2003.
- [12] Marasović, J.; Hidromelioracijsko uređenje imanja (rudine) Rašinovca kod Nina; Hrvatska Vodoprivreda, 108/2001.
- [13] Margeta, J.; Kanalizacija naselja; Split, Osijek; 1998.
- [14] Mileta, M.; Suša u 2003. godini; Hrvatska Vodoprivreda,134/2004.
- [15] Mučman,J. i dr.; Snadbevanje vodom, Priručnik; Građevinska knjiga, Beograd; 1962.
- [16] Nathanson, J. A.; Basic environmental technology, water supply, waste management and pollution control, Prentice Hall, Upper saddle river, New Jersey Columbus; Ohio, 1997.
- [17] Petrešin, E.; Vodovod I; NIO "Poslovna politika", Zemun, 1989.
- [18] Petrešin, E.; Vodovod II; NIO "Poslovna politika", Zemun, 1989.
- [19] Prostorni Plan općine Barban
- [20] Radojković, M. i dr.; Računari u komunalnoj hidrotehnici; Građevinska knjiga, Beograd; 1989.

- [21] Radonić, M.; Vodovod i kanalizacija, Obnovljeno izdanje; Croatiaknjiga, Zagreb; 2003.
- [22] Romić, D. i dr.; Priručnik za hidrotehničke melioracije, II/5; Sveučilišna knjižnica Rijeka, Rijeka; 1995.
- [23] Simović, V.; Leksikon građevinarstva; Masmedia, Zagreb; 2002.
- [24] Štafa, Z., i dr.; Kvantitativna svojstva domaćeg kultivara engleskog ljujka (*Lolium perenne* L.) u odnosu na strane; Sjemenarstvo 22(2005)3-4
- [25] prof.dr. Tomić, F., i dr.; Priručnik za hidrotehničke melioracije, II/7; Rijeka, 1999.
- [26] Unger, P.; Tabellen zur hydraulischen Dimensionierung von Abwasserkanälen und -leitungen aus HOBAS Rohren; Standard ATV 110; West Germany; 1994.
- [27] Vuković, Ž.; Osnove hidrotehnike; Prvi dio-Prva knjiga; Akvamarine, Zagreb; 1994.
- [28] Vuković, Ž.; Osnove hidrotehnike; Prvi dio-Druga knjiga; Akvamarine, Zagreb; 1994.
- [29] Walski, T. M., i dr.; Water Distribution Modeling, First Edition; Haestad Methods, Waterbury, USA; 2001.
- [30] Fortex AGS; Pročišćivač otpadnih voda sa sitnomjehuričastim prozračivanjem; Češka
- [31] StudioARS; Canalis 5.0, Priručnik za Situaciju; Rijeka
- [32] www.agr.gc.ca
- [33] www.fao.org
- [34] www.library.thinkquest.org
- [35] www.netafim.com
- [36] www.wikipedia.com
- [37] www.israel-mfa.gov.il/mfa/
- [38] www.spray.com

9

SUVREMENE METODE UPRAVLJANJA SUSTAVIMA ZA NAVODNJAVANJE

Doc.dr.sc. Barbara Karleuša
Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci

1. UVOD	1
2. PLANIRANJE I UPRAVLJANJE SUSTAVIMA ZA NAVODNJAVANJE	1
3. SUVREMENE METODE UPRAVLJANJA SUSTAVIMA ZA NAVODNJAVANJA	1
3.1. Jednostavne metode upravljanja sustavima za navodnjavanje	1
3.2. Upravljanje sustavima za navodnjavanje korištenjem računarski programa razvijenih za određivanje rasporeda navodnjavanja	1
3.2.1. CROPFLEX	1
3.2.2. WISE	1
3.3. Upravljanje sustavima za navodnjavanje korištenjem ekspertnih sustava	1
3.3.1. Osnove ekspertnih sustava	1
3.3.2. Korištenje ekspertnih sustava u upravljanju sustavima za navodnjavanje - primjeri iz svijeta	1
3.3.3. Razvoj ekspertnih sustava u području gospodarenja vodama u Hrvatskoj	1
4. ZAKLJUČAK	1
5. DOKUMENTACIJA	1

1. UVOD

Ulaganja u poljoprivrednu proizvodnju danas zahtijevaju određenu sigurnost ostvarenja planiranih prinosa stoga je u cilju ostvarenja ekonomski rentabilne proizvodnje potrebno primjenjivati odgovarajuće hidrotehničke melioracije.

Uspješnost poljoprivredne proizvodnje (količina i kvaliteta proizvoda) ovisi o nizu prirodnih parametara među kojima su:

- sunčeva insolacija,
- vlažnost (zraka i tla),
- temperatura,
- starost biljke,
- količina i raspored oborina u toku vegetacijskog perioda,
- karakteristike tla i sl.

Ako se promatra poljoprivredna proizvodnja pod plastenicima, ona predstavlja proizvodnju u potpuno kontroliranom okruženju. Tada se većina navedenih parametara može kontrolirati te je planirani prinos obično i ostvaren, ali takav način proizvodnje zahtjeva velika ulaganja. Troškovi poljoprivredne proizvodnje na otvorenom su znatno niži, ali se na meteorološke parametre kao što su sunčeva insolacija, temperatura, količina i raspored oborina i sl., ne može utjecati. Međutim, može se, umjetnim putem i uz razumne troškove, poboljšati određene uvjete za rast biljki i tako osigurati planirani prinos. Radnje koje se mogu poduzeti su: navodnjavanje, odvodnja suvišne vode, dohranjivanje i sl.

U ovom radu težište je dano na navodnjavanje poljoprivrednih površina, što je danas u Hrvatskoj vrlo aktualna tema s obzirom da je u tijeku realizacija početnih aktivnosti Nacionalnog plana navodnjavanja, izrada odnosno dovršavanje izrade Županijskih planova navodnjavanja.

Prirodno raspoloživa količina vode je oborina (kiša) koja u većini slučajeva nije dovoljna za rast biljke ili nije ravnomjerno raspoređena kroz vegetacijski period biljke stoga je neophodno, u cilju ostvarenja ekonomsko rentabilne proizvodnje, osigurati navodnjavanje poljoprivrednih površina.

2. PLANIRANJE I UPRAVLJANJE SUSTAVIMA ZA NAVODNJAVANJE

Proces razvoja vodnogospodarskih sustava, pa tako i sustava za navodnjavanje obuhvaća nekoliko obaveznih faza, a to su:

1. Planiranje
2. Projektiranje - oblikovanje rješenja
3. Izgradnja - izvedba rješenja
4. Upravljanje
5. Kontrola

Planiranje predstavlja prvi korak u razvoju sustava za navodnjavanje. U fazi planiranja uočavaju se problemi koje treba riješiti (da li je potrebno navodnjavati, u kolikoj mjeri i sl.), te pronalaze različiti načini rješavanja tih

problema sagledavajući problematiku cjelokupnog gospodarenja vodama na analiziranom području i šire. Za rješavanje problema iznalaze se različite strategije navodnjavanja, među kojima se izabire, na temelju definiranih ciljeva, kriterija i mjera, najpogodnija strategija.

Projektiranje sustava za navodnjavanje je faza koja obuhvaća pripreme radove za provođenje odabrane strategije navodnjavanja. U fazi projektiranja sustav za navodnjavanje oblikuje se do najmanjih detalja (počevši od idejnog pa do izvedbenog projekta).

Izgradnja predstavlja fizičku realizaciju sustava za navodnjavanje koji je u prethodnoj fazi projektiran. Kada je sustav za navodnjavanje u potpunosti izgrađen započinje faza njegovog korištenja.

Pri korištenju sustava za navodnjavanje važno je njime upravljati na način da se uz minimalne troškove postigne što veći prinos (korist), uz minimalizaciju negativnog utjecaja na okoliš. Način upravljanja, korištenja i održavanja sustava također je potrebno planirati, ali i kontrolirati jer se kontrolom uočavaju eventualni propusti u upravljanju, korištenju i pogonu, kao i mogućnosti poboljšanja rada sustava za navodnjavanje.

Pomoću sustava za navodnjavanje biljkama se kroz cijelo vegetacijsko razdoblje osigurava količina vode potrebna za njihov rast. "Kako?" i "Kada?" treba navodnjavati pitanje je upravljanja sustavima za navodnjavanje.

Upravljanje sustavima za navodnjavanje podrazumijeva određivanje:

- potrebne količine vode za navodnjavanje (norme i modula navodnjavanja),
- početka navodnjavanja,
- turnusa navodnjavanja i
- trajanja isporuke vode.

Osiguranje pravovremenog i količinski odgovarajućeg navodnjavanja je rezultat pažljivog promatranja prirodnih uvjeta, najvećim dijelom meteoroloških, te interveniranje na način da se umjetnim putem osiguranju optimalni uvjeti za rast biljke.

Upravljanje bilo kojim sustavom, pa tako i sustavom za navodnjavanje, danas je neostvarivo bez korištenja moderne tehnologije za utvrđivanje stanja, analizu i obradu podataka i donošenje optimalnih odluka. Stoga se u ovom radu daje pregled suvremenih metoda upravljanja sustavima za navodnjavanje koje bi mogle pružiti odgovarajuću potporu u upravljanju sustavima navodnjavanja planiranim u aktualnim Županijskim planovima navodnjavanja čija se realizacija očekuje u skoroj budućnosti.

3. SUVREMENE METODE UPRAVLJANJA SUSTAVIMA ZA NAVODNJAVANJE

3.1. Jednostavne metode upravljanja sustavima za navodnjavanje

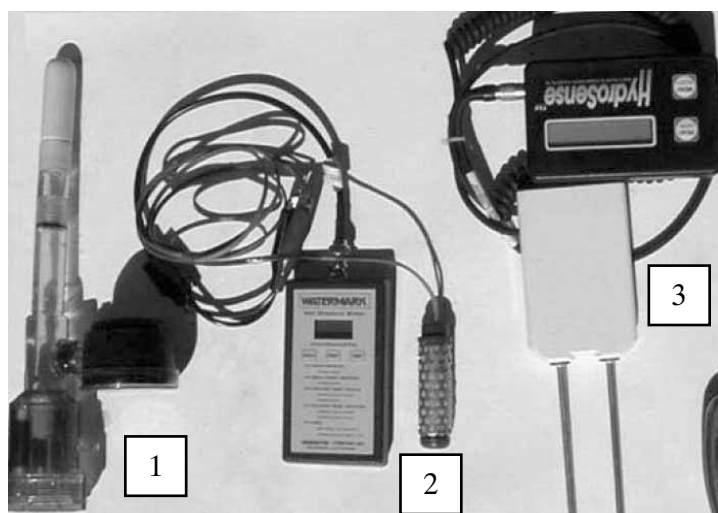
Analizu metoda upravljanja treba započeti najjednostavnijom metodom, a to je određivanjem količine i učestalosti navodnjavanja prema stvarnoj potrebi na poljoprivrednom zemljištu u realnom vremenu.

Za navodnjavanje na temelju stvarne potrebe neophodno je poznavati stvarno stanje količine tj. deficita vode u tlu, kao i fiziološko stanje biljaka. Kada se ustanovi da je dostignuta minimalna količina vode potrebna za rast biljke ili minimalno definirana količina vode prema želji poljoprivrednika potrebno je sustavom za navodnjavanje biljci umjetnim putem osigurati potrebnu količinu vode.

Određivanje količine vode u tlu provodi se korištenjem različitih metoda od kojih su najjednostavnije: procjena količine vode u tlu na temelju vizualnog opažanja tla i stanja biljke (kada se količina vode u tlu smanji ispod točke venjenja to se očituje na izgledu biljke) ili na temelju jednostavnog pokusa stiskanja uzorka tla u šaci te usporedbe ponašanja analiziranog tla s opisanim karakteristikama tla koje sadrži određenu količinu vode [1].

Određivanje vode u tlu može se provesti direktnim metodama kao što je ispitivanje tla u laboratoriju gdje se mjerenjem težine tla prije i nakon provedenog sušenja uzorka može odrediti % vode u odnosu na ukupnu težinu uzorka.

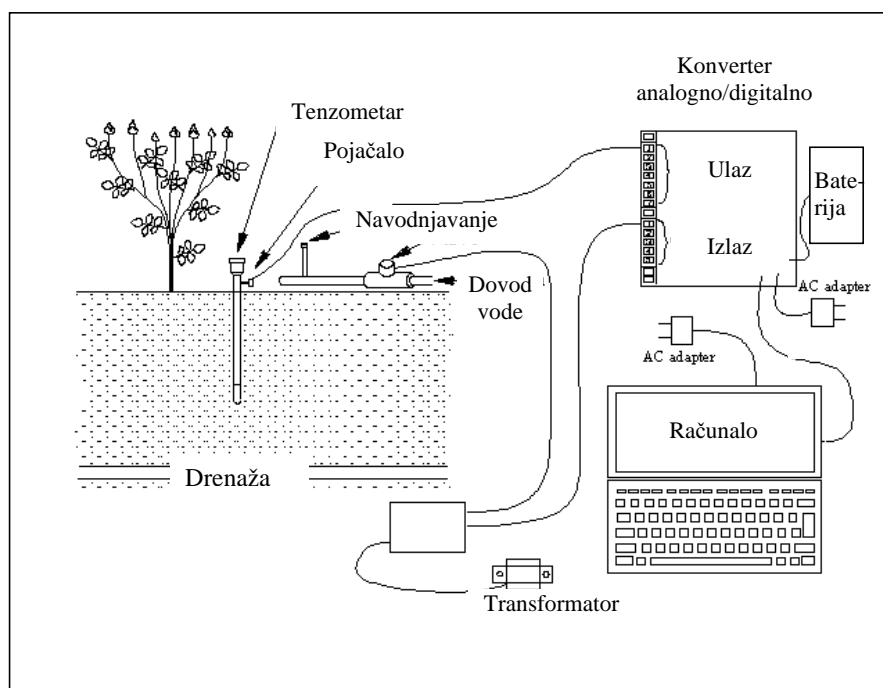
Indirektne metode za određivanje vlažnosti tla, predstavljaju složeniji način i podrazumijevaju korištenje odgovarajuće opreme tzv. senzora vlažnosti [2]. Postoje dvije osnovne grupe indirektnih metoda za određivanje vlažnosti tla, a to su tenzometrijske i volumetrijske metode. Instrumenti koji se temelje na tenzometrijskim metodama su: tenzometri, gips blokovi i GMS (Granular Matrix Sensors), dok se na volumetrijskim metodama temelje reflektometri: TDR (Time Domain Reflectometers), FDR (Frequency Domain Reflectometers), ADR (Amplitude Domain Reflectometers) i dr. (slika 1.).



Slika 1.: Instrumenti za mjerenje vlažnosti tla: 1 - tenzometar, 2 - GMS i 3 - TDR [3]

Na temelju podatka o stanju u tlu poljoprivrednik može sam pokrenuti sustav navodnjavanja ili može koristiti automatski kontrolni sustav (prikazan na slici 2.) koji u realnom vremenu mjeri vlažnost tla i u trenutku kada ona dostigne minimalnu vrijednost pokreće sustav za navodnjavanje. Ovakvim sustavom provodi se navodnjavanje kada je ono stvarno potrebno.

Drugi način upravljanja sustavom za navodnjavanje je korištenje uređaja (slika 3.) koji je vremenski programiran i aktivira sustav za navodnjavanje prema točno definiranim terminima (time-based). Da se navodnjavanje ne bi provodilo i u periodu kada je vlažnost tla zadovoljavajuća ovakvi sustavi mogu imati dodatnu kontrolu vlažnosti tla korištenjem senzora vlažnosti. U navedenom slučaju prije termina za aktiviranje sustava senzori ma se provjerava vlažnost tla i ukoliko je ona zadovoljavajuća sustav za navodnjavanje se ne aktivira (time/sensor based).



Slika 2.: Kontrolni sustav za upravljanje navodnjavanjem [4]



Slika 3.: Uredaj za uključivanje/isključivanja sustava za navodnjavanje prema definiranim terminima [3]

Postoje i kontrolni sustavi povezani s meteorološkim postajama koji aktiviraju odnosno ne aktiviraju sustav za navodnjavanje ovisno o količini oborina koja je pala između dva navodnjavanja (slika 4.). Ovi se kontrolni sustavi također mogu kombinirati sa sustavima koji imaju senzore vlažnosti ili sustavima koji sadrže vremenski definirane termine navodnjavanja.



Slika 4.: Mala meteorološka postaja [3]

3.2. Upravljanje sustavima za navodnjavanje korištenjem računarskih programa razvijenih za određivanje rasporeda navodnjavanja

Za velike poljoprivredne površine i značajne investicije u poljoprivrednoj proizvodnji potrebno je planirati navodnjavanje kroz duže vremenske periode, ponekad za cijeli vegetacijski period. Pravovremenim utvrđivanjem rasporeda navodnjavanja i količine vode koju trebati osigurati za tu namjenu moguće je bolje gospodariti vodnim resursima promatranog područja.

Planiranje rasporeda navodnjavanja za duži vremenski period podrazumijeva korištenje složenijih proračuna, u kojima treba obuhvatiti potrebe odabrane kulture za vodom i prirodno raspoložive vode.

Količina vode koju biljka troši u idealnim uvjetima, tj. potrebna količina vode za optimalan rast biljke, naziva se evapotranspiracija (ET). Ona ovisi o vrsti biljke koja se uzgaja i stadiju rasta u kojem se biljka nalazi.

Prirodno raspoloživa količina vode je oborina (kiša) koja u većini slučajeva nije dovoljna za rast biljke ili nije ravnomjerno raspoređena kroz vegetacijski period biljke.

Za utvrđivanje rasporeda navodnjavanja potrebno je izračunati referentnu evapotranspiraciju i usporediti je s prirodno raspoloživom efektivnom oborinom (koju se može odrediti na temelju meteoroloških podataka, karakteristika poljoprivredne površine, ...) i tu razliku nadomjestiti navodnjavanjem. Evapotranspiracija se može odrediti direktnim metodama (npr. korištenjem lizimetara) [5] ili indirektnim metodama tj. korištenjem neke od 30-tak parametarskih metodologija procjena evapotranspiracije iz klimatskih podataka [6]. Najčešće korištene metode su:

- Penmanova metoda,
- Modificirana Penmanova metoda,
- Turcova metoda,
- Thornthwaiteova metoda,
- Blaney-Criddleova metoda i dr.

Za određivanje rasporeda navodnjavanja razvijen je niz računarski programa kao CROPWAT, CROPFLEX i WISE. S obzirom da je program CROPWAT detaljnije već obrađen u jednom od prethodnih priručnika [7] u ovom radu ukratko će se prikazati programi CROPFLEX i WISE. Oba računarska programa moguće je besplatno preuzeti s Interneta (<http://ulysses.atmos.colostate.edu/~crop/>; <http://wise.prosser.wsu.edu/>).

3.2.1. CROPFLEX

CROPFLEX 2000 je računarski program razvijen 2000. godine na Sveučilištu države Colorado (SAD) i radi u Windows okruženju [8]. Danas je dostupna i novija verzija CROPFLEX 2005. Program daje preporuke poljoprivrednicima vezane uz definiranje:

- rasporeda navodnjavanja (irrigation scheduler),
- rasporeda prihranjivanja biljaka (fertility scheduler),
- proračuna dobiti od poljoprivredne proizvodnje i
- modela za otjecanje hranjivih tvari s poljoprivredne površine (leaching model).

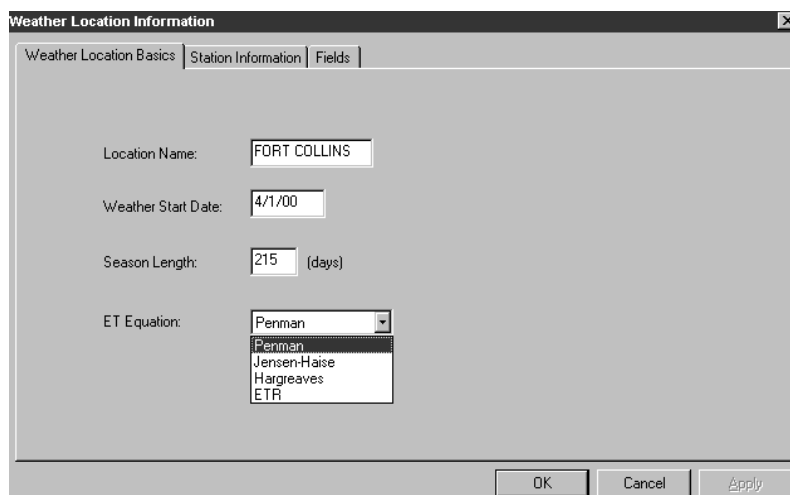
Tema ovoga rada je upravljanje sustavima za navodnjavanje stoga će se prezentirati samo dio programa koji je vezan uz navedenu problematiku.

Smisao korištenja CROPFLEX modula za raspored navodnjavanja je u definiranju preporučljivog vremena početka navodnjavanja, turnusa navodnjavanja, trajanja isporuke i količine vode potrebne za navodnjavanje. Raspored navodnjavanja formira se na temelju procjene vlažnosti tla u zoni korijena za svaki dan vegetacijskog perioda. Količina vode za navodnjavanje izračunava se korištenjem metoda za određivanje referentne evapotranspiracije: Penman, Jensen-Haise, Hargreaves; ili se evapotranspiracija može direktno upisati. Program koristi prethodno definirane minimalne vlažnosti da bi se utvrdilo je li trenutačna vlažnost toliko niska da je neophodno navodnjavati.

Program daje mogućnost definiranja više lokacija od kojih svaka predstavlja geografsku površinu uz koju je vezan određen skup klimatskih podataka, te polja na tim lokacijama koja su određena površinom koja se koristi za poljoprivrednu proizvodnju te skupom parametara kojima se definiraju karakteristike svakog polja.

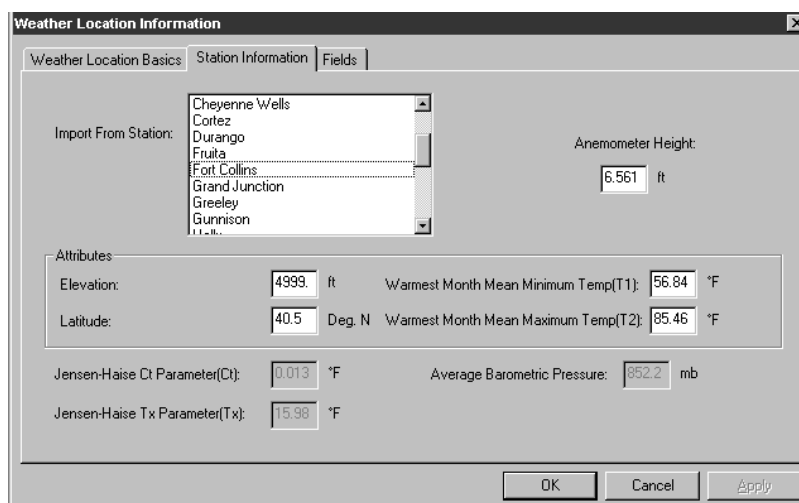
Program traži da se prvo definiraju podaci o lokaciji i to:

- osnovni podaci: ime lokacije, početni datum definiranja vremenskih prilika, trajanje sezone i izbor metode proračuna evapotranspiracije (slika 5.);
- podaci o meteorološkoj postaji: nadmorska visina, geografska širina, prosječan pritisak, visina anemometra, najtopliji mjesec, prosječna minimalna i maksimalna temperatura i sl. (slika 6.).



Slika 5.: Definiranje osnovnih podataka o lokaciji

Pri definiranju podataka nudi se mogućnost izbora meteoroloških postaja na analiziranom području ili direktan upis podataka. Potrebno je definirati i podatke o vremenu tijekom vegetacijskog perioda, koji se mogu upisivati pojedinačno ili učitavati kao paketi podataka (file-ovi).



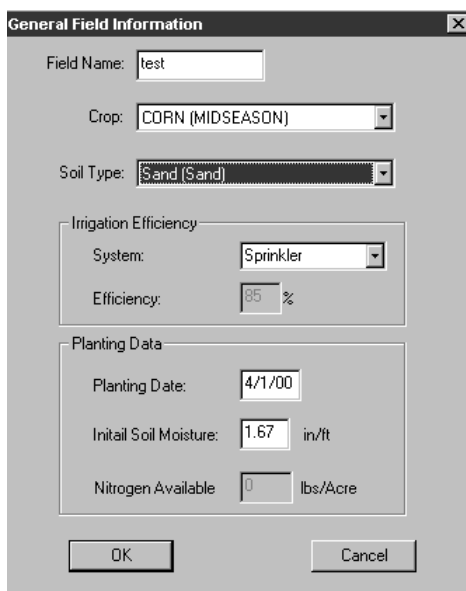
Slika 6.: Definiranje podataka o meteorološkoj postaji

Osnovni podaci o polju, kao što se vidi iz slike 7., podrazumijevaju definiranje:

- imena polja,
- vrste tla,
- vrste usjeva,
- vrste sustava za navodnjavanje,
- efikasnosti sustava za navodnjavanje,
- datuma sadnje i
- početne vlažnosti tla.

Na temelju definiranih podataka program prikazuje unesene vrijednosti i proračunava evapotranspiraciju (slika 8.), a zatim i potrebu za navodnjavanjem odnosno raspored navodnjavanja (slika 9.).

Program daje mogućnost korigiranja podataka i definiranja dimenzija u kojima se želi provesti proračun (npr. dubina se može iskazati u in, mm ili cm).



The screenshot shows a dialog box titled "General Field Information" with a close button (X) in the top right corner. The dialog contains the following fields and options:

- Field Name:
- Crop:
- Soil Type:
- Irrigation Efficiency section:
 - System:
 - Efficiency: %
- Planting Data section:
 - Planting Date:
 - Initial Soil Moisture: in/ft
 - Nitrogen Available: lbs/Acre

At the bottom of the dialog are two buttons: "OK" and "Cancel".

Slika 7.: Definiranje osnovnih podataka o polju

SUVREMENE METODE UPRAVLJANJA SUSTAVIMA ZA NAVODNJVANJE

CropFlex - fortco0 - (Location: fort collins)

Field	Crop	Growth Stage	Soil Moisture(in)	Next Irrigation	Irrigation Amount(in)

Date	Rain(in)	Tmin(°F)	Tmax(°F)	SolarRad(y/day)	Min RH(%)	Max RH(%)	WindSpd(mi/day)	Etr(in)
04/01/00	0.1	29.5	45.2	578.7	51	100	160.6	0.14
04/02/00	0.1	24.8	59.8	473.3	28	99	152.2	0.17
04/03/00		29.4	46.3	518.2	29	89	170.1	0.15
04/04/00		27.0	79.3	634.6	11	95	109.0	0.26
04/05/00		40.1	83.5	645.6	8	74	150.9	0.33
04/06/00		36.4	79.0	619.3	9	81	94.6	0.25
04/07/00		28.7	57.3	583.4	19	79	170.1	0.21
04/08/00		22.7	70.6	615.2	14	93	74.6	0.20
04/09/00		31.1	83.8	633.4	9	92	119.7	0.29
04/10/00		38.1	70.3	512.5	20	81	158.8	0.24
04/11/00		37.9	58.2	424.3	35	92	109.9	0.15
04/12/00		32.8	74.4	614.5	12	97	64.7	0.21
04/13/00		35.2	82.1	609.5	8	86	99.0	0.26
04/14/00		40.3	85.0	530.6	8	70	158.7	0.33
04/15/00		28.6	47.4	364.1	50	90	126.5	0.11
04/16/00		23.9	68.0	657.5	21	97	113.3	0.22
04/17/00		33.9	77.7	443.9	15	88	109.7	0.22

Cropflex is Ready

Slika 8.: Rezultat proračuna evapotranspiracije

CropFlex - test00 - (Field: test Location: fort collins)

Field	Crop	Growth Stage	Soil Moisture(in)	Next Irrigation	Irrigation Amount(in)
test	CORN	V1. Tasseling	3.77	07/05/00 (ASAP)	4.4

Date	Rain(in)	Tmin(°F)	Tmax(°F)	SolarRad(y/day)	Min RH(%)	Max RH(%)	WindSpd(mi/day)	Etr(in)
04/01/00	0.1	29.5	45.2	578.7	51	100	160.6	0.14
04/02/00	0.1	24.8	59.8	473.3	28	99	152.2	0.17
04/03/00		29.4	46.3	518.2	29	89	170.1	0.15
04/04/00		27.0	79.3	634.6	11	95	109.0	0.26
04/05/00		40.1	83.5	645.6	8	74	150.9	0.33
04/06/00		36.4	79.0	619.3	9	81	94.6	0.25
04/07/00		28.7	57.3	583.4	19	79	170.1	0.21
04/08/00		22.7	70.6	615.2	14	93	74.6	0.20
04/09/00		31.1	83.8	633.4	9	92	119.7	0.29
04/10/00		38.1	70.3	512.5	20	81	158.8	0.24
04/11/00		37.9	58.2	424.3	35	92	109.9	0.15
04/12/00		32.8	74.4	614.5	12	97	64.7	0.21
04/13/00		35.2	82.1	609.5	8	86	99.0	0.26

Date	GDD(°F)	Growth Stage	Root Depth(in)	Crop ET(in)	Etr Irrig(in)	Range	Date	N Available(bu/Acre)	N App(bu/Acre)	Crop Uptake(bu/Acre)	Deep Percip
04/01/00	-2	Harvest	2.0	0.02		0	04/01/00	328		0	
04/02/00	2	Planting	2.1	0.04		0	04/02/00	328		0	
04/03/00	2	Planting	2.1	0.04		0	04/03/00	328		0	0
04/04/00	17	Planting	2.6	0.05		0	04/04/00	319		0	
04/05/00	34	Planting	3.2	0.06		0	04/05/00	319		0	
04/06/00	48	Planting	3.7	0.04		0	04/06/00	319		0	
04/07/00	52	Planting	3.9	0.04		0	04/07/00	319		0	
04/08/00	63	Planting	4.2	0.03		0	04/08/00	319		0	
04/09/00	80	VE Emergence	4.8	0.04		0	04/09/00	319		0	
04/10/00	90	VE Emergence	5.2	0.04	0.8	0	04/10/00	319		0	
04/11/00	94	VE Emergence	5.3	0.12		0	04/11/00	319		0	0
04/12/00	106	VE Emergence	5.8	0.11		0	04/12/00	272		0	
04/13/00	123	VE Emergence	6.3	0.10		0	04/13/00	272		0	
04/14/00	140	VE Emergence	7.0	0.06		0	04/14/00	272		0	

Cropflex is Ready

Slika 9.: Rezultat korištenja programa CROPFLEX - raspored navodnjavanja

3.2.2. WISE

Washington Irrigation Scheduling Expert (WISE) računarski program razvijen je za potrebe navodnjavanja u državi Washington (SAD) [9,10]. Pisan je u JAVA-i s Net Beans DeveloperX2 komponentama da bi se postigla više-platformska mogućnost izvođenja i lak pristup podacima o referentnoj evapotranspiraciji iz 60 Washingtonskih državnih javnih poljoprivrednih meteoroloških postaja. WISE predstavlja alat kojim se poljoprivrednici mogu koristiti bez dodatne stručne pomoći.

Razvijen je 2001. na temelju dva starija modela SCHED i WIF (Washington Irrigation Forecaster).

Korisničko sučelje programa je intuitivno i pomaže korisniku da unese podatke s terena kao što je npr. vrsta usjeva, vrijeme, vlažnost tla i detaljnije podatke o sustavu za navodnjavanje. WISE nije model crne kutije (black box) i korisniku se razjašnjava put i logika, odnosno pravila koja je koristio program na putu donošenja odluke o tome koliko i kada treba navodnjavati.

WISE se može koristiti kao edukacijski software na kojem se mogu naučiti principi izrade rasporeda navodnjavanja.

Za uspješno korištenje programa potrebno je definirati sve podatke potrebne za proračun rasporeda navodnjavanja (slika 10.), a to su podaci vezani uz:

- referentnu evapotranspiraciju,
- vrstu usjeva,
- vlažnost tla i
- sustav navodnjavanja.

Za određivanje referentne evapotranspiracije izabire se meteorološka postaja koja je najbliža polju za koje se radi raspored navodnjavanja, definira se datum početka navodnjavanja te program preko internetske veze preuzima podatke potrebne za proračun (slika 11.). Proračun se može provesti korištenjem meteoroloških podataka za zadnja tri dana, na temelju podataka o evapotranspiraciji iz prošlosti, na temelju podataka koje ubaci korisnik ili se može upisati vlastita procjena evapotranspiracije.

Proračun evapotranspiracije korištenjem WISE programa provodi se po modificiranoj Penmanovoj metodi.

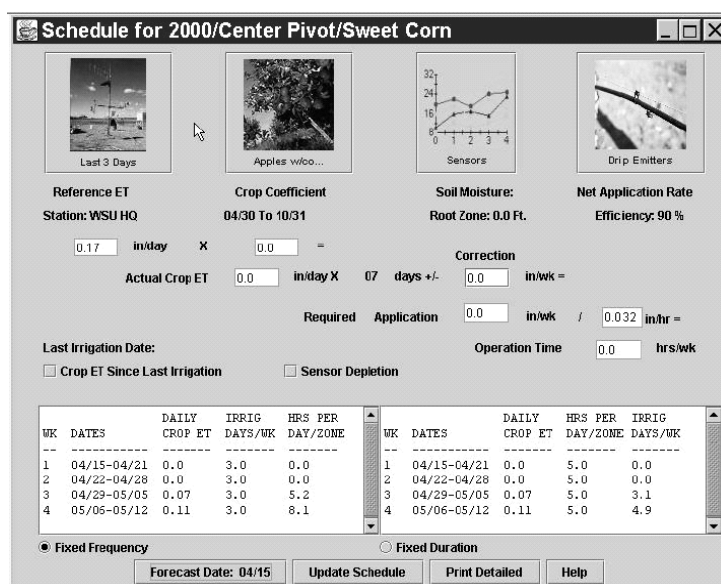
Slijedeća faza korištenja WISE programa je definiranje podataka o usjevu tj. o poljoprivrednoj kulturi koja se želi navodnjavati (slika 12.). Izborom usjeva program sam nudi slijedeće podatke:

- datume žetve/branja,
- koeficijente usjeva,
- faze razvoja usjeva,
- dubinu korijenja,
- maksimalno dozvoljen deficit vode i
- željenu vlažnost tla nakon navodnjavanja.

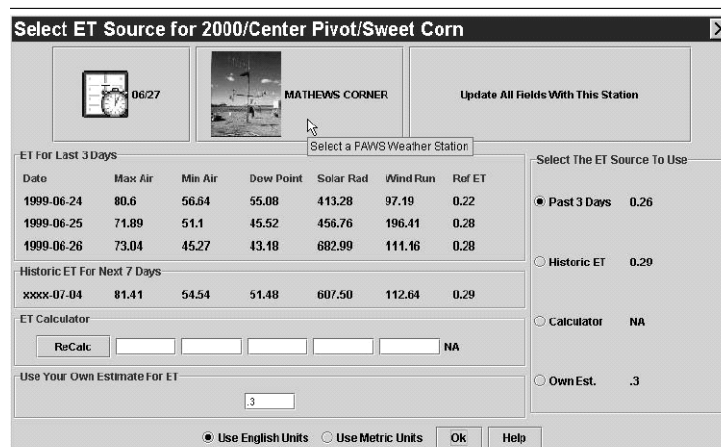
Ponuđeni podaci služe kao smjernice korisnicima, stoga ih korisnici mogu mijenjati prema svojim potrebama i vlastitom iskustvu.

Vlažnost tla može se određivati na temelju evapotranspiracije, ali se prema želji korisnika podaci o vlažnosti mogu i direktno upisivati ili osigurati povezivanjem sa sensorima vlažnosti na polju (slika 13.).

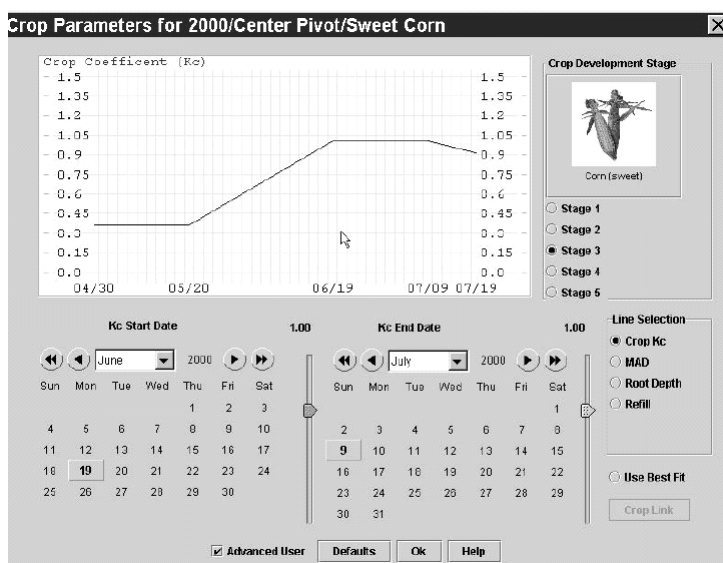
Za definiranje sustava za navodnjavanje potrebno je izabrati način navodnjavanja (deset ponuđenih načina) i definirati parametre sustava kao što je efikasnost sustava, gubici uslijed isparavanja, površinsko otjecanje, procjeđivanje i sl. (slika 14.).



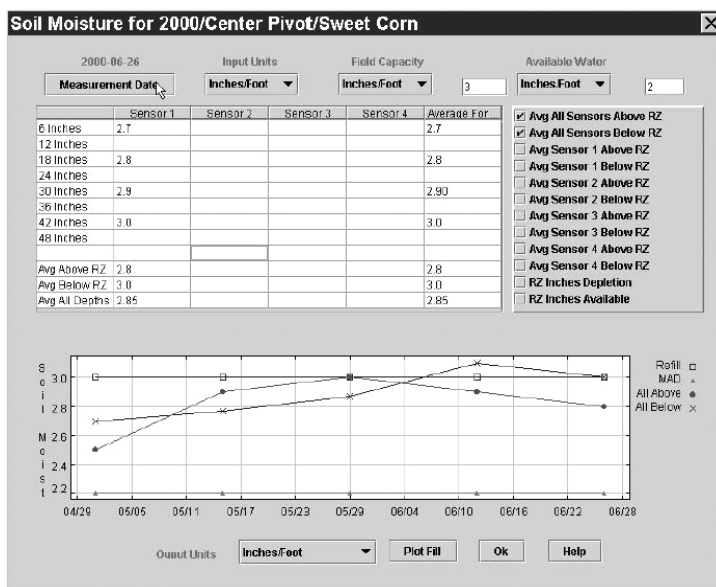
Slika 10.: Definiranje ulaznih podataka



Slika 11.: Definiranje podataka potrebnih za određivanje referentne evapotranspiracije



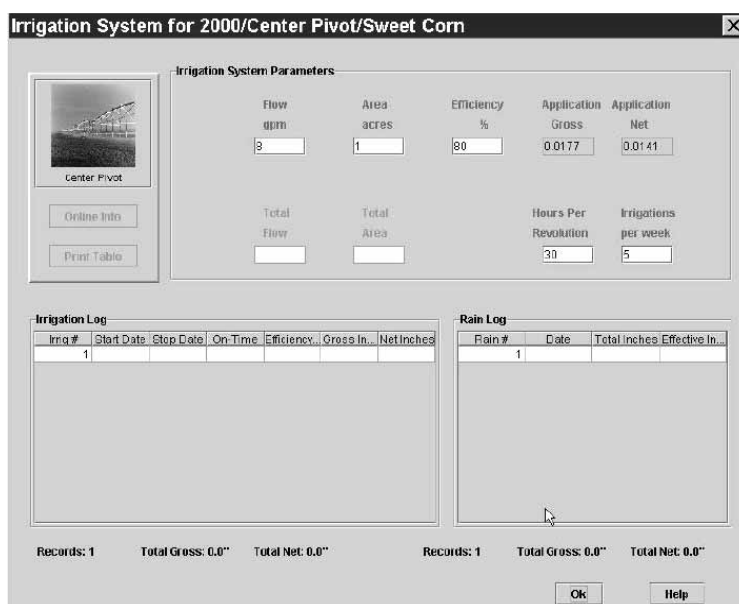
Slika 12.: Definiranje podataka o usjevu



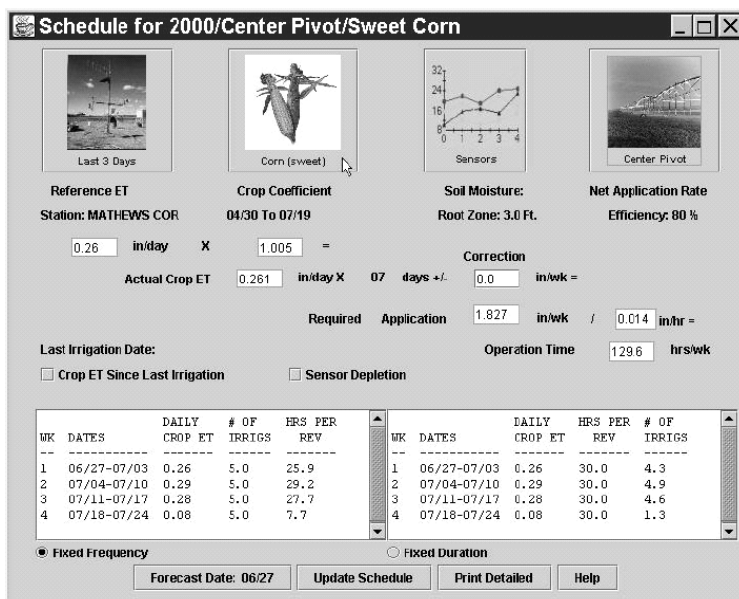
Slika 13.: Definiranje vlažnosti tla

Mogu se definirati očekivani turnusi i trajanje navodnjavanja da bi program usporedio proračunati raspored navodnjavanja s preferencijama korisnika.

Rezultat korištenja WISE programa je raspored navodnjavanja (slika 15.).



Slika 14.: Definiranje podataka o sustavu za navodnjavanje



Slika 15.: Rezultat korištenja programa WISE - raspored navodnjavanja

3.3. Upravljanje sustavima za navodnjavanje korištenjem ekspertnih sustava

3.3.1. Osnove ekspertnih sustava

Ekspertni sustavi su dio područja kojeg nazivamo umjetna inteligencija. Umjetna inteligencija je polje računarske znanosti koje se bavi razvijanjem strojeva-računala koji se ponašaju/razmišljaju kao ljudi odnosno oponašaju principe na kojima funkcionira ljudska inteligencija. Podpodručja umjetne inteligencije su: računalni vid, robotika, govorna sinteza i prepoznavanje, automatsko prosuđivanje, procesiranje glasa, automatsko programiranje, automatsko učenje, ekspertni sustavi i neuralne mreže [11,12,13].

Prema literaturi [13,14] pod ekspertnim sustavima ističu se dva osnovna tipa:

- ekspertni sustavi temeljeni na znanju (knowledge based expert systems - KBES),
- ekspertni sustavi temeljeni na neuralnim mrežama (neural networks - NN).

Pod pojmom "ekspertnih sustava" u većini literature težište je dano na ekspertne sustave temeljene na znanju.

Često se u primjeni ekspertnih sustava može uočiti korištenje tzv. hibridnih ekspertnih sustava koji obuhvaćaju ekspertne sustave temeljene na znanju i neuralne mreže pa se takvi sustavi nazivaju ekspertne mreže.

Ekspertni sustavi temeljeni na znanju mogu biti ekspertni sustavi temeljeni na pravilima (rule based expert systems), kao i ekspertni sustavi temeljeni na vjerojatnosti (probabilistički - probability based expert systems) koji se koriste za probleme kod kojih informacije potrebne za donošenje odluka imaju probabilistički karakter, te se odluke usvajaju s određenim stupnjem vjerojatnosti [15]. Također postoje ekspertni sustavi koji su sposobni na temelju podataka "učiti" odnosno inducirati pravila (rule inducing expert systems) i ekspertni sustavi koji se temelje na pravilima postojećih slučajeva (case based expert systems) [16].

Ekspertni sustavi temeljeni na znanju mogu koristiti "fuzzy" logiku i imati inkorporirane optimizacijske metode kao što je genetski algoritam [17,18]. U novije vrijeme razvili su se i objektno orijentirani modeli [13].

Ekspertni sustav je interaktivan računarski program koji može na visokom stupnju kompetencije rješavati složene probleme za koje je potrebno znanje i iskustvo [19]. Može se koristiti samostalno ili u sklopu većih programa/modela.

Ekspertni sustavi koriste znanje o tehnikama, informacijama, pravilima i procesima rješavanja problema stručnjaka za ta područja. Oni omogućuju spremanje znanja i koriste se za [11,12]:

- pružanje stručne podrške ukoliko nema stručnjaka u blizini,
- oslobađanje stručnjaka od rješavanja lakših problema tako da se oni mogu posvetiti složenijim,
- spremanje znanja koje bi se inače moglo izgubiti kada neki stručnjak ode u mirovinu, da otkaz i sl.,
- podizanje stupnja stručnosti manje stručnim zaposlenicima,
- smanjenje troškova obrazovanja novih zaposlenika,
- osiguranje da se stručnost primjenjuje jednoliko, objektivno i konzistentno,
- automatiziranje stručnosti (automating expertise) koja se može prikazati kao proizvod ili usluga.

Korištenje ekspertnih sustava treba sagledavati u kontekstu unapređenja ljudskog stručnog znanja, opstanka znanja, povećanja broja stručnjaka i pristupačnosti postojećem stručnom znanju od strane većeg broja ljudi i smanjenja cijene stručnog znanja [15].

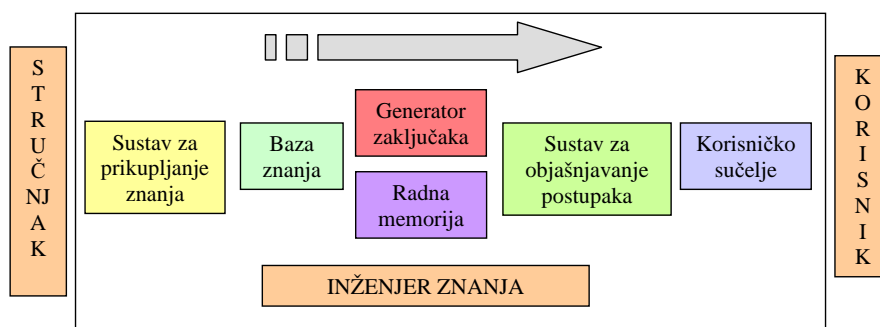
Ekspertni sustavi se prema [12,20] mogu koristiti za: predikciju/predviđanje, dijagnostiku/pronalaženje problema, ispravljanje pogrešaka, rješavanje problema, planiranje, promatranje/monitoring, usmjeravanje, interpretaciju, kontrolu i sl.

Ekspertni sustavi se sastoje od šest podsustava što je prikazano slikom 16. [13,19,21]:

- sustav za sakupljanje znanja (knowledge aquisition)
- baza znanja (knowledge base)
- radna memorija (working memory)
- sustav za zaključivanje / generator zaključaka (inference engine)
- sustav za objašnjavanje postupaka (explanation)
- korisničko sučelje (user interface)

dok su tri "osobe" uključene u razvoj i rad ekspertnog sustava:

- korisnik: osobe kojima je namijenjen ekspertni sustav i koje će se njime koristiti preko korisničkog sučelja
- stručnjak (ekspert): osoba ili izvor znanja (literatura) na temelju čijeg znanja će funkcionirati eksperti sustav
- inženjer znanja: osoba koja će na temelju znanja stručnjaka složiti ekspertni sustav i kasnije ga održavati i ažurirati, moguće je da inženjer znanja bude ujedno i stručnjak.



Slika 16.: Shema ekspertnog sustava

Baze znanja potrebnog za rješavanje određenog problema nastaju "sakupljanjem znanja", a izvori znanja su:

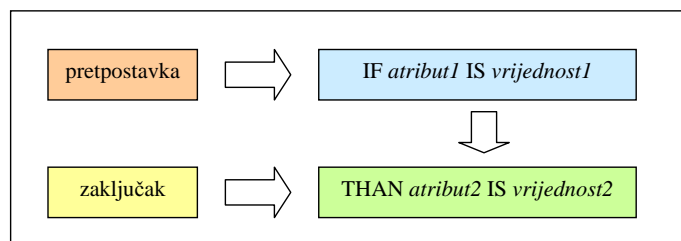
- stručnjaci (osobe koji se bave definiranom problematikom),
- literatura: knjige (udžbenici, priručnici, monografije i sl.), članci, zakoni, pravilnici, web stranice na Internetu i niz drugih pisanih dokumenata u kojima je uskladišteno znanje stručnjaka.

Znanje stručnjaka može se sakupljati i analizirati intervjuiranjem i anketiranjem stručnjaka, dok se sakupljanje znanja iz literature usmjerava na analizu literature vezane uz problem koji se treba riješiti i izdvajanja znanja značajnog za rješavanje tog problema. Sakupljeno znanje treba pretvoriti u niz pravila na temelju kojih će ekspertni sustav donositi odluke odnosno davati rješenja za definirani problem. Sakupljanje znanja je produkt zajedničkog rada stručnjaka i inženjera znanja.

U bazu znanja pohranjuje se sakupljeno stručno znanje vezano uz problem. Baza znanja sastoji se od činjeničkih obrazaca i pravila za izvođenje zaključaka [13]. Znanje se može uobličiti kao skup pravila, okvira ili semantičkih mreža [15,22].

Pravila se formiraju korištenjem dva elementa pretpostavke (premise) i zaključka (conclusion). Takva pravila nazivamo "IF-THEN" pravilima (slika 17.).

Pretpostavki i zaključaka može biti više pa se onda koristi "AND", dok ukoliko nije zadovoljena pretpostavka može se koristiti "ELSE". Važno je znati koji su atributi, vrijednosti, atributa i pravila koja ih povezuju.



Slika 17.: Prikaz IF-THEN pravila

Radna memorija se sastoji od dinamičkih protočnih podataka o nekom specifičnom problemu. To je opis trenutnog stanja problema. S obzirom da korisnik prema potrebi mijenja ulazne podatke tako ekspertni sustav na temelju tih podataka ponovo zaključuje, pa se stoga radna memorija stalno mijenja [13].

Mehanizmi za zaključivanje mogu se prema [13,17,23] temeljiti na zaključivanju lančanjem unaprijed (forward chaining), lančanjem unazad (backward chaining) i kombiniranim lančanjem.

Ekspertni sustavi temeljeni na znanju imaju mogućnost objašnjavanja svojih postupaka i učinjenoga. Objašnjenja mogu varirati od traga provođenja procesa rješavanja problema ili donošenja odluke do sposobnosti ekspertnog sustava da odgovara na pitanja vezana uz provođenje procesa (Kako? - How?) [19].

Korisnik koristi ekspertni sustav preko korisničkog sučelja. Korisničko sučelje koncipirano je preko otvaranja menija, prozora, ikona ili grafika. Preko sučelja ekspertni sustav postavlja pitanja i daje korisniku mogućnost izbora među ponuđenim opcijama i odgovorima i na temelju tako definiranih ulaznih podataka koristeći bazu znanja i mehanizam za zaključivanje daje rješenje ili zaključak, donosi odluku, dijagnozu i sl.

Izgradnja ekspertnog sustava može se prikazati slijedećim koracima:

- Definiranje problema kojeg treba rješavati,
- Pronalazak izvora znanja i sakupljanje znanja,
- Oblikovanje ekspertnog sustava - plan,
- Određivanje stupnja sudjelovanja korisnika,
- Odabir alata, ljske ili programskog jezika,
- Razvoj prototipa,
- Vrednovanje/potvrda valjanosti prototipa i usavršavanje,
- Održavanje, ažuriranje i dopunjavanje podataka.

Ekspertni sustav se može izgrađivati korištenjem programskih jezika (Lisp, Prolog, C, Fortran i Pascal, C++ , Java, Visual Basic i drugi [13,18,19] i korištenjem ekspertnih ljski (expert shells).

Ekspertne ljske su alat kojim se i osobe koje nemaju veliko znanje o programiranju mogu koristiti za gradnju ekspertnih sustava. One su nastale eliminiranjem baze znanja iz ekspertnih sustava koji su se koristili za konkretne probleme. Ugradnjom nove baze znanja mogu se koristiti principi generiranja zaključaka i sustava objašnjavanja postupaka prethodnog ekspertnog sustava. Danas na tržištu postoji niz ekspertnih ljski.

3.3.2. Korištenje ekspertnih sustava u upravljanju sustavima za navodnjavanje

Analizom dostupne literature i Interneta uočena je značajna primjena ekspertnih sustava u upravljanju sustavima za navodnjavanje u svijetu.

Primjena ekspertnih sustava na problematici navodnjavanja obuhvaća više aspekata kao npr. određivanje načina i rasporeda navodnjavanja u cilju određivanja potrebnih količina vode za navodnjavanje, sekundarno korištenje vode u svrhu navodnjavanja, onečišćenje vodnih resursa uslijed ispiranja pesticida s poljoprivrednih površina i dr.

Analizom dostupne literature i Interneta ističu se slijedeći ekspertni sustavi:

- Ekspertni sustav za ocjenu plana navodnjavanja [24],
- Ekspertni sustav za uštedu vode za navodnjavanje [25],
- Ekspertni sustav za upravljanje poljoprivrednom proizvodnjom [26],
- NEPER - ekspertni sustav za upravljanje sustavom za navodnjavanje pšenice [27,28],
- SIMDSS - Surface Irrigation Management Decision Support System [29],
- Ekspertni sustav za upravljanje sustavom za navodnjavanje pivskog ječma [30] i dr.

U ovom radu prikazuje se primjena ekspertnih sustava na nekoliko primjera iz svijeta.

Primjer 1 - Kina:

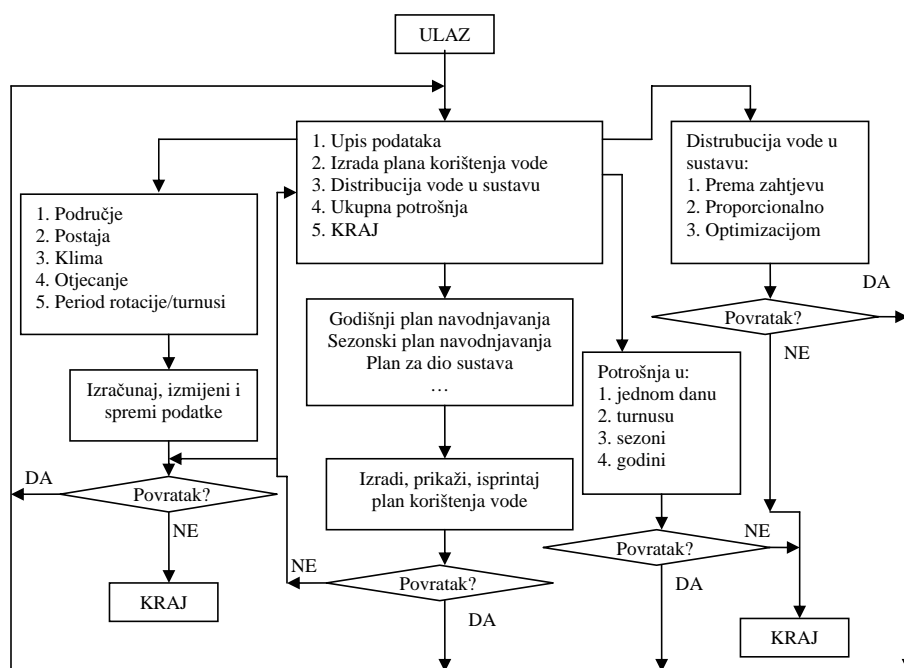
Za upravljanje sustavima za navodnjavanje poljoprivrednih površina Sjeverne Kine (regija Shaanxi), s ciljem uštede vode, razvijena su i integrirana četiri ekspertna sustava: ekspertni sustav za određivanje potreba za vodom i donošenje odluka vezanih uz uštedu vode, ekspertni sustav za planiranje korištenja i distribucije vode, ekspertni sustav za reformu gospodarenja vodama na području koje se navodnjava i ekspertni sustav za donošenje odluka vezanih uz izbor strategije gospodarenja za vrijeme suše [25].

Ekspertni sustav za određivanje potrebe za vodom za navodnjavanje i donošenje odluka vezanih uz uštedu vode temelji se na proračunu potrebnih količina vode za navodnjavanje prema referentnoj evapotranspiraciji, uključujući vrstu usjeva i stadij razvoja biljke, i vremenskim uvjetima (proračun je sličan kao kod računarskih programa CROPFLEX i WISE). Konačno donošenje odluke o strategiji navodnjavanja provodi se na temelju ekonomskog kriterija.

Ekspertni sustav za planiranje korištenja i distribucije vode za navodnja-

vanje obuhvaća tri aspekta (slika 18):

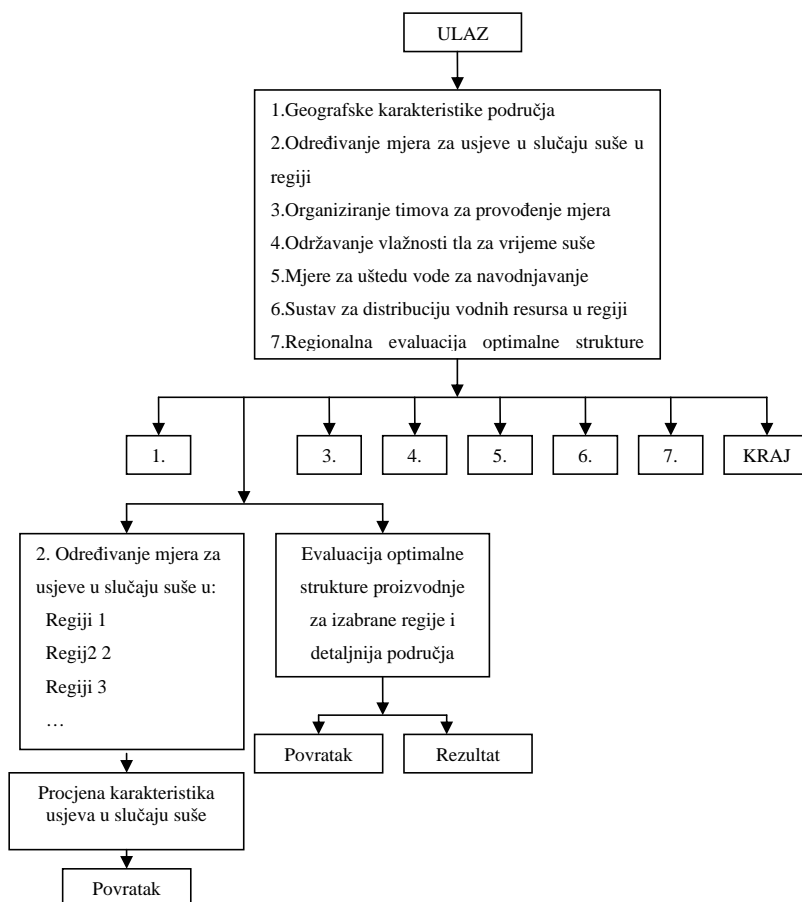
- izradu planova korištenja vode (godišnji i sezonski plan za cijeli sustav navodnjavanja, planove za pojedine dijelove sustava),
- definiranje distribucije vode u sustavu u vegetacijskom razdoblju (izrada različitih shema distribucije prema potrebama za vodom i optimizacija strategije distribucije vode),
- nakon prestanka navodnjavanja prikaz potrošene vode (potrošnja po danima, turnusima, sezoni i tijekom cijele godine).



Slika 18.: *Ekspertni sustav za planiranje korištenja i distribucije vode za navodnjavanje [25]*

Ekspertni sustav za donošenje odluka vezanih uz izbor strategije gospodarenja za vrijeme suše sastoji se od sedam modula, koji sadrže detaljnije podatke, smjernice i upute (slika 19.):

- geografske karakteristike područja,
- određivanje mjera u slučaju suše u regiji,
- organiziranje timova za provođenje mjera,
- održavanje vlažnosti tla za vrijeme suše,
- mjere za uštedu vode za navodnjavanje,
- sustav za distribuciju vodnih resursa u regiji i
- regionalna evaluacija optimalne strukture poljoprivredne proizvodnje.

Slika 19.: *Ekspertni sustav za donošenje odluka u periodu suše [25]*

Cilj izgradnje i korištenja opisanog ekspertnog sustava je olakšati stanovništvu koje se bavi poljoprivredom prijelaz s tradicionalne poljoprivredne proizvodnje na suvremenu koja podrazumijeva navodnjavanje da bi se ostvarili planirani prinosi. Ekspertni sustav u ovom primjeru ima funkciju savjetodavnog i edukacijskog alata kojim se lokalnom stanovništvu može približiti modernije tehnologije te mogućnost primjene te tehnologije na vlastitom poljoprivrednom zemljištu.

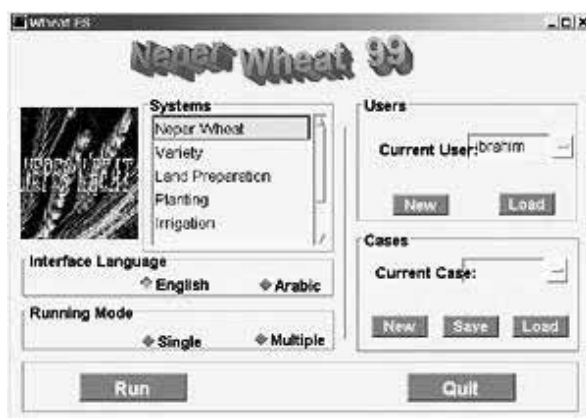
Primjer 2 - Egipat:

Ekspertni sustav za upravljanje sustavom za navodnjavanje pšenice, pod nazivom NEPER, razvijen je 90-tih godina prošlog stoljeća u Egiptu [27,28,31]. Radi u Windows okruženju te se može koristiti kao savjetodavni alat za:

- izbor odgovarajuće sorte usjeva,
- pripremu poljoprivrednog zemljišta,

- definiranje rasporeda navodnjavanja i prihranjivanja,
- kontrolu štetočina i korova,
- provođenje žetve,
- dijagnosticiranje bolesti i sugeriranje odgovarajućeg tretmana.

NEPER se sastoji od dvije komponente: strateške i taktičke. Strateška komponenta obuhvaća šest podsustava: izbor usjeva, priprema zemljišta, sadnja, navodnjavanje, prihranjivanje i žetva. Korištenje strateške komponente te proračuni na kojima se temelji slični su kao kod računarskih programa CROPFLEX i WISE (slika 20.). Taktička komponenta sastoji se od tri podsustava: dijagnostika bolesti, identifikacija vrste korova i definiranje tretmana.



Slika 20.: Strateška komponenta sustava - glavni meni [27]

Podsustav za izbor odgovarajućeg usjeva (vrste pšenice) daje prijedlog o tipu usjeva kojeg bi trebalo uzgajati na određenom zemljištu na temelju ulaznih parametara o specifičnosti analiziranog poljoprivrednog zemljišta (vrsta tla, zaslanjenost, suša, klima i sl.). Izlazi iz ovog sustava služe kao ulazni podaci za podsustav sadnje i žetve.

Podsustav za pripremu poljoprivrednog zemljišta daje preporuke o pripremi tla za uzgoj pšenice, što uključuje preporuke o: oranju zemlje, osiguranju odvodnje suvišne vode (drenaža), uklanjanju korova, poravnavanju zemljišta i sl. Rezultati ovog podsustava kao i rezultati podsustava za izbor odgovarajućeg usjeva predstavljaju ulazne podatke za podsustav sadnje koji određuje najpogodnije vrijeme sadnje, metode sadnje i količinu sjemena.

Podsustav navodnjavanja određuje raspored navodnjavanja uzimajući u obzir sve relevantne parametre vrstu tla, zaslanjenost, kakvoću vode, oborinu, temperaturu, i sl., dok podsustav prihranjivanja određuje vrstu hranjiva, dozu i vrijeme prihranjivanja ovisno o plodnosti tla, prethodnog usjeva, kakvoći vode i sl.

Podsustav žetve daje preporuke o odgovarajućem datumu žetve i korištenju mehanizacije.

Ulazni podaci o na temelju kojih podsustavi daju preporuke definirani su u četiri grupe: podaci o poljoprivrednom zemljištu (slika 21.), podaci o tlu i vodi (slika 22.), podaci o opremi (slika 23.) i podaci o gnojivu (slika 24.).

Slika 21.:
Podaci u poljoprivrednom zemljištu [28]

Slika 22.: Podaci o tlu i vodi [28]

Slika 23.: Podaci u opremi [28]

Nitrogen Fertilizer		Phosphate Fertilizer	
Ammonium Sulphate:	Cost: 20 L.E./50 Kg	Super Phosphate 37%:	Cost: 30 L.E./50 Kg
Ammonium Nitrate:	Cost: 22 L.E./50 Kg	Super Phosphate 15%:	Cost: 16 L.E./50 Kg
Urea:	Cost: 30 L.E./50 Kg	Other Fertilizers	
		Potassium Sulphate cost:	60 L.E./Kg
		Magnesium Sulphate cost:	2 L.E./Kg
		Organic Manure cost:	10 L.E./m3
Micro Elements			
Sulphate Elements:		Chelate Elements:	
Manganese Sulphate Cost:	1.5 L.E./Kg	Manganese Chelate Cost:	4 L.E./Kg
Zinc Sulphate Cost:	1.5 L.E./Kg	Zinc Chelate Cost:	4.5 L.E./Kg
Iron Sulphate Cost:	2 L.E./Kg	Iron Chelate Cost:	5 L.E./Kg

Slika 24: Podaci o gnojivu [28]

Primjer preporuke koju daje NEPER ekspertni sustav za određene ulazne podatke prikazan je na slici 25.

Slika 25.: Preporuka podsustava za pripremu poljoprivrednog zemljišta [28]

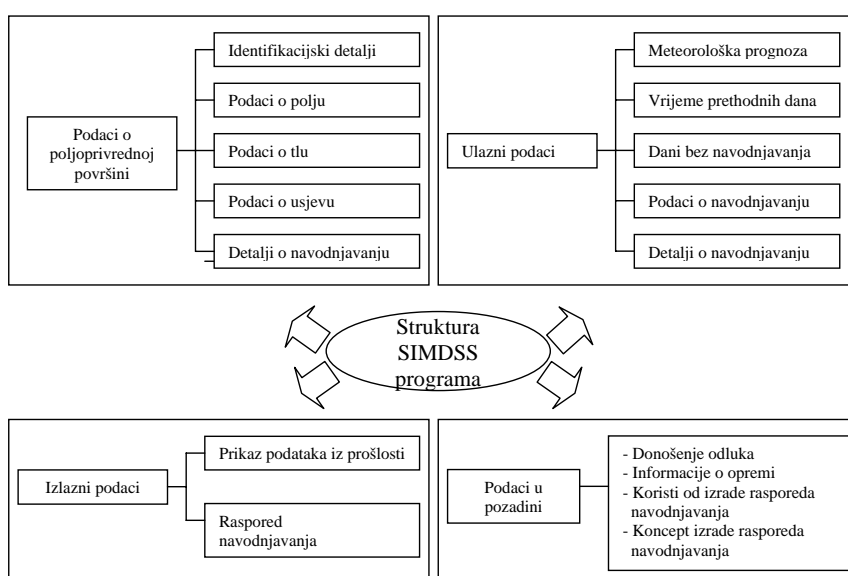
Primjer 3 - Australija:

Ekspertni sustav SIMDSS (Surface Irrigation Management Decision Support System) za upravljanje sustavima za navodnjavanje prelijevanjem razvijen je u KnowledgePro(Win) ekspertnoj ljusci [29]. Program je razvijen za usjeve i uvjete navodnjavanja karakteristične za jugoistočnu Australiju, a sastoji se od četiri modula (slika 26.):

- definiranje podataka o poljoprivrednom zemljištu i usjevu,
- definiranje podataka o vremenskim prilikama (u prošlosti i u budućnosti-prognoza),

- raspored navodnjavanja,
- informacije o putu kojim je ekspertni sustav došao do određenog zaključka.

Valjanost ekspertnog sustava SIMDSS je testirana 1994/95 u praksi. U tom periodu prikupljena su znanja koja su integrirana u program. Korištenjem ekspertnog sustava uočeno je da je najveći doprinos sustava u zadnjem dijelu vegetacijskog perioda kada su odluke o navodnjavanju složenije uslijed većih potreba biljaka za vodom. Za optimizaciju strategije navodnjavanja program ima ugrađenu optimizacijsku Simplex metodu.



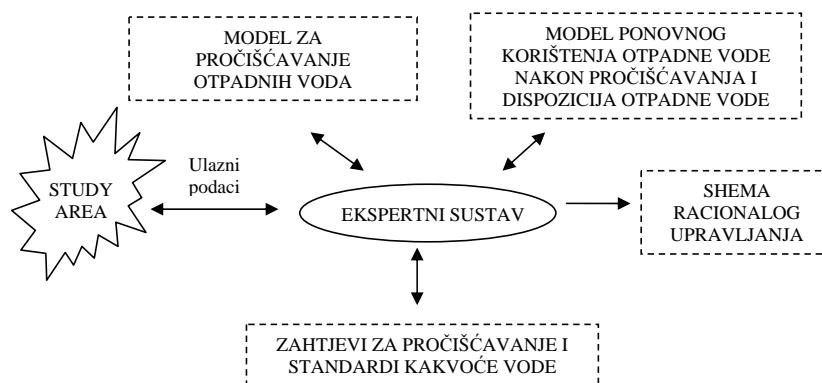
Slika 26.: *Struktura programa SIMDSS*

Primjer 4 - Grčka:

Problematika obrade otpadnih voda i dispozicije pročišćene vode u okoliš danas se promatra i s aspekta ponovne uporabe pročišćene vode. Kako upravljati složenim sustavima odvodnje korištenjem ekspertnog sustava prikazano je u radu [32] na primjeru kanalizacijskog sustava naselja Keramoti u sjevernoj Grčkoj.

Razvijeni ekspertni sustav pruža podršku u razvoju racionalnih shema gospodarenja otpadnim vodama za mala i srednja naselja s naglaskom na zaštiti ljudskog zdravlja, ponovnom korištenju pročišćene vode za navodnjavanje i smanjenju zagađenja u vodnim resursima koji služe kao prijemnici (slika 27.). Ekspertni sustav na temelju promjena broja stanovnika i klimatskih uvjeta sugerira optimalne načine obrade otpadne vode (kao što su prirodni načini pročišćavanja otpadne vode npr. lagune), korištenje

pročišćene vode za navodnjavanje i ostale načine ispuštanja pročišćene vode kroz cijelu kalendarsku godinu. Maksimizira se ponovno korištenje vode za navodnjavanje, a minimalizira količina ispuštene otpadne vode u prijemnik i izabire najekonomičnija varijanta.



Slika 27.: *Struktura ekspertnog sustava za podršku u razvoju racionalnih shema gospodarenja otpadnim vodama*

Primjer 5 - Novi Zeland:

U cilju kontrole zagađenja vode pesticidima s poljoprivrednih površina, na Novom Zelandu, poljoprivrednici su obavezni izraditi plan navodnjavanja za svoje poljoprivredne površine (slika 28.). Za ocjenu plana navodnjavanja razvijen je sustav za podršku u odlučivanju koji određuje utjecaj određenog plana navodnjavanja na vodne resurse [24]. Navedeni sustav za potporu u odlučivanju koriste nadležni službenici za donošenje odluke o prihvaćanju plana navodnjavanja, ali ga mogu koristiti i sami poljoprivrednici. Svaki plan navodnjavanja kojeg poljoprivrednik donosi na kontrolu analizira se danim sustavom za potporu u odlučivanju. Sustav sadrži simulacijski model (SWIM), stablo za donošenje odluke i podatke o tlu. Ekspertni sustav služi kao most između korisnika sustava za podršku u odlučivanju i simulacijskog modela. Preko upita ekspertnog sustava određuju se ulazi za simulacijski model (slika 29.). Na taj način korisnik ne mora imati stručno znanje potrebno za direktno korištenje simulacijskog modela.

Ekspertni sustav proračunava potrebnu količinu vode, raspored navodnjavanja i utjecaj na okoliš, ocjenjujući predloženi plan navodnjavanja i pružajući korisniku preporuke u cilju boljeg upravljanja sustavom za navodnjavanje. Na slici 30. prikazana je usporedba mjerene vlažnosti tla i vlažnosti tla proračunate korištenjem ekspertnog sustava tijekom vegetacijske sezone za primjer voćnjaka.

Name: South Block

Area Irrigated: 5 ha Soil: Hastings clay loam

Crop: Potatoes Hydrogeological zone: Plains Margins

Irrigation system: Scheduling Mechanism:

Multiple nozzle travelling irrigator Calendar - every 10 days

- flowrate: 18,000 litres/hr

- radius: 30m

- travel speed: 30 m/hr

- date last calibrated: 1/9/92

Slika 28.: Plan navodnjavanja [24]

Irrigation Management Plan Evaluation

? Is the irrigation system likely to be uniform? Yes

? Is there a pre-season water deficit check? Yes

? Is this IMP efficient (i.e. is water delivered only when required)? Unlikely

? Will there be preferential flow? Probably

Is an irrigation application likely to lead to significant drainage into :

? the groundwater? Probably

? surface water? Unlikely

? What is the likely total water requirement over and above rainfall?

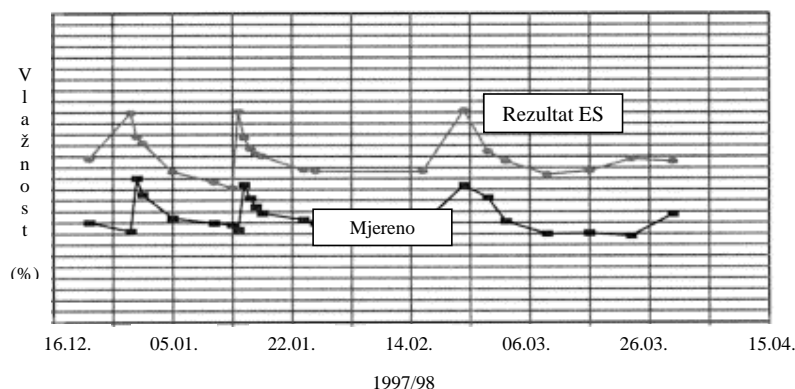
in a much drier than average season: 1950 mm

in a moderately drier than average season: 1700 mm

in a slightly drier than average season: 1590 mm

OK

Slika 29.: Definiranje ulaznih podataka za vrednovanje plana navodnjavanja [24]



Slika 30.: Usporedba stvarnog stanja vlažnosti u tlu i rezultata dobivenih korištenjem razvijenog ekspertnog sustava [24]

3.3.3. Razvoj ekspertnih sustava u području gospodarenja vodama u Hrvatskoj

Iz primjera opisanih u točki 3.3.2. može se zaključiti da se ekspertni sustavi, u svijetu, značajno primjenjuju kao pomoćni alat u upravljanju sustavima za navodnjavanje te da bi takvu tehnologiju trebalo još detaljnije istraživati i primjenjivati. Prezentirani primjeri korištenja ekspertnih sustava mogu poslužiti kao smjernice za razvoj ekspertnih sustava koje bi trebalo prilagoditi karakteristikama hrvatskog podneblja i poljoprivrednih kultura koje se kod nas uzgajaju. Korištenje ekspertnih sustava od pomoći je stručnjacima, zaposlenicima u javnim institucijama, kao i samim poljoprivrednicima, a može služiti i kao edukacijski alat za učenje i bolje razumijevanje problematike upravljanja sustavima za navodnjavanje.

Ideja o primjeni ekspertnih sustava u Hrvatskoj obrađivana je u sklopu Znanstvenog projekta Građevinskog fakulteta u Zagrebu pod nazivom: "Primjena ekspertnih sustava u vodoprivredi Hrvatske" [33] i u radovima [34,35,36].

Iako se niti u jednom od radova ne razvija ekspertni sustav za upravljanje sustavima za navodnjavanje, treba spomenuti stanje razvoja ekspertnih sustava vezanih za problematiku gospodarenja vodama u Hrvatskoj jer se iskustva do kojih su autori došli u svojim istraživanjima mogu koristiti u razvoju novih ekspertnih sustava u raznim područjima gospodarenja vodama, pa tako i ekspertnih sustava za pružanje podrške u upravljanju sustavima za navodnjavanje.

U radu [34] opisana je mogućnost korištenja ekspertnog sustava temeljenog na neuralnoj mreži koji pomaže u identifikaciji vodenih površina na satelitskim snimcima, dok je u radu [35] prikazana primjena ekspertnog sustava temeljenog na znanju i ekspertnog sustava temeljenog na neuralnoj

mreži u upravljanju sustavima urbane odvodnje, na primjeru kanalizacijskog sustava grada Osijeka.

U radu [36] razvijena su tri ekspertna sustava. Razvijen je ekspertni sustav za ocjenjivanje uspješnosti provođenja procesa planiranja u gospodarenju vodama, čime se ostvaruje mogućnost kontrole nad kvalitetom planiranja i njeno poboljšanje i time očekuje ostvarenje unapređenja gospodarenja vodama Water Management Planning Consultant (WMPC) - Savjetnik za planiranje u gospodarenju vodama i dva manja vrlo jednostavna ekspertna sustava: Public Consultant Expert System (PCES) - Savjetodavni ekspertni sustav za javnost, kojim se upućuje javnost, ali i svi zainteresirani, na instituciju gospodarenja vodama koja je nadležna za uočen problem, vezan uz vode, uz direktnu mogućnost prijave uočenog problema i Water Concession Consultant (WCC) - Savjetnik za dodjelu koncesija nad vodom, razvijen za informiranje i edukaciju javnosti, ali i svih zainteresiranih, o proceduri izdavanja koncesija nad vodom i vodnim dobrom.

Iz navedenog se zaključuje da je primjena ekspertnih sustava na problematici gospodarenja vodama u Hrvatskoj, pa tako i na problematici upravljanja sustavima za navodnjavanje, tek u začetku. Znanja o korištenju ekspertnih sustava u upravljanju sustavima za navodnjavanje do kojih su došli stručnjaci u svijetu kao i iskustva o primjeni ekspertnih sustava u gospodarenju vodama do kojih su došli istraživači u Hrvatskoj, trebala bi biti podloga za razvijanje novih ekspertnih sustava baziranih na karakteristikama našeg područja u cilju poboljšanja postojećeg gospodarenja vodama općenito pa tako i u segmentu upravljanja sustavima za navodnjavanje.

4. ZAKLJUČAK

U prvom dijelu rada dan je uvod u problematiku upravljanja sustavima za navodnjavanje, a zatim su prezentirana tri modela upravljanja sustavima za navodnjavanje.

Jednostavni modeli upravljanja sustavima za navodnjavanje baziraju se: na vlastitoj procjeni poljoprivrednika, na korištenju vremenski definiranog rasporeda navodnjavanja (time-based) ili na određivanju potrebe za navodnjavanjem prema stvarno utvrđenom stanju vode u tlu (npr. mjerenjem vlažnosti tla).

Nešto složeniji modeli upravljanja sustavima za navodnjavanje su računarski programi koja proračunavaju raspored navodnjavanja za odabrani usjev kroz cijelo vegetacijsko razdoblje i od kojih su dva prezentirana u ovom radu (CROPFLEX i WISE).

Među najsloženijim modelima upravljanja sustavima za navodnjavanje ubrajaju se ekspertni sustavi. Stoga su u ovom radu dane osnove razvoja i

funkcioniranja ekspertnih sustava u cilju boljeg razumijevanja mogućnosti njihove primjene na problematici upravljanja sustavima za navodnjavanje, dok je na konkretnim primjerima iz svijeta, opisana njihova dosadašnja primjena na navedenoj problematici.

Iskustva istraživača u svijetu koji su razvili različite ekspertne sustave za unapređenje upravljanja sustavima za navodnjavanje, ali i iskustva istraživača u Hrvatskoj koji su se bavili problematikom ekspertnih sustava i njihovom primjenom na području gospodarenja vodama trebala bi biti podloga za razvoj novih ekspertnih sustava u području upravljanja sustavima za navodnjavanje koji bi bili prilagođeni specifičnostima našeg područja i čija bi primjena mogla unaprijediti poljoprivrednu proizvodnju u Hrvatskoj.

5. DOKUMENTACIJA

- [1] <http://www.ext.colostate.edu/pubs/CORPS/04700.html>, pristupljeno 15.11.2006.
- [2] Fedro, S.Z.; Smajastra, A.G.; Clark, G.A.: Irrigation System Controllers, <http://edis.ifas.ufl.edu/AE354>, pristupljeno 03.11.2006.
- [3] <http://faculty.abe.ufl.edu/~mdukes/presentations/FACTS2003automaticirrigation.pdf>, pristupljeno 15.11.2006.
- [4] <http://lieth.ucdavis.edu/Research/tens/CCFC/95/>, pristupljeno 15. 11. 2006.
- [5] Kos, Z.: Hidrotehničke melioracije tla - navodnjavanje, Građevinski Fakultet Sveučilišta u Rijeci, Školska knjiga, Zagreb, 1987.
- [6] Kos, Z. i drugi: Priručnik za hidrotehničke melioracije: Potrebe vode za navodnjavanje, II. Kolo, knjiga 2., Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 1993.
- [7] Romić, D.; Šošćarić, J.; Tomić, F.; Mađar, S.: Program "CROPWAT" - Primjena u planiranju i projektiranju natapanja, Priručnik za hidrotehničke melioracije: Planiranje, projektiranje i organizacija natapnih sustava, II. Kolo, knjiga 5., str. 161-182, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, 1996.
- [8] Lorenz, J.; Broner, I.: CROPFLEX 2000, A Crop Management System User's Manual, Department of Chemical and Bioresource Engineering, Colorado State University, 2001.
- [9] Leib, B.G.; Elliott, T.V.: Washington Irrigation Scheduling Expert (WISE) Software, <http://wise.prosser.wsu.edu.7wise-asae.pdf>, pristupljeno 29.10.2006.
- [10] Leib, B.G.; Elliott, T.V.; Matthews, G.: WISE: A Web-linked and Producer Oriented Program for Irrigation Scheduling, Computers and Electronics in Agriculture, br. 33, str. 1-6, 2001.

- [11] Wurbs, R. A.: Computer Models for Water Resources Planning and Management, Texas A&M University, College Station, Texas, 1994.
- [12] <http://rarc.rutgers.edu/ai/about.html>, pristupljeno 23.10.2003.
- [13] Rajčić, V.: Ekspertni sustavi (materijali uz predavanja), Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- [14] Žagar, Z.: Ekspertni sustavi, Ceste i mostovi, br. 3, str. 51-59, 1993.
- [15] Castillo, E.; Alvarez, E.: Expert Systems, Uncertainty and Learning, Computational Mechanics Publications/Elsevier Applied Science, Boston/London New York, 1991.
- [16] <http://accounting.rutgers.edu/raw/eises/www.bus.orst.edu/faculty/brownc/es>, pristupljeno 4.11.2003.
- [17] Xpert Rule KBS Reference manual, Attar Software Limited, UK, 2000.
- [18] <http://www.cs.cofc.edu/~manaris/ai-education-repository/expert-systemstools.html>, pristupljeno 07.06.2005.
- [19] Maher, M. L.: Expert Systems for Civil Engineers: Technology and Application, American Society of Civil Engineers, New York, 1987.
- [20] <http://www.scit.wlv.ac.uk/~c9724548>, pristupljeno 10.06.2003.
- [21] Walters, J. R.; Nielsen, N. R.: Crafting Knowledge Based Systems: Expert Systems Made Realistic, A Willey-Interscience Publication, New York, 1988.
- [22] Lozzi-Kožar, D.; Kožar, I.: Ekspertni sustav na primjeru Zakona o građenju, Hrvatsko društvo građevinskih inženjera, Sabor hrvatskih graditelja '96, Cavtat, 7.-9. studeni 1996.
- [23] Liao, H.T.; Enke, D.; Wiebe, H.: An Expert Advisory System for the ISO 9001 Quality System, Expert Systems with Applications, br. 27, str. 313-322, 2004.
- [24] Lilburne, L.; Watt, J.; Vincent, K.: A Prototype DSS to Evaluate Irrigation Management Plans, Computers and Electronics in Agriculture, br. 21, str. 195-205, 1998.
- [25] Zhinnong, W.; Shazhong, K.; Yunzhang, X.; Mixia, W.: Study of Management and Decision-making Expert System for Water Saving Irrigation, International Conference of Engineering and Technical Sciences, Beijing, 11.-13. October 2000.
- [26] Rafea, A.; El-Azhari, S.; Hassan, E.: Integrating multimedia with expert systems for crop production management, http://www.claes.sci.eg/publication/document_view.-asp?doc_id=66&File_Name=ifacpap.pdf

- [27] Rafea, A.; Edrees, S.; Mostafa, M.: An Expert System for Irrigated Wheat in Egypt, <http://www.icarda.org/Publications/Caravan/Caravan14/Car145/Car145.html>, pristupljeno 26.10.2006.
- [28] Solima, A.E.; Rafea, A.; Fathy, I.; Yahia, M.: NEPER: A Multiple Strategy Wheat Expert System, *Computers and Electronics in Agriculture*, br. 40, str. 27-43, 2003.
- [29] Malano, H.M.; Turrall, H.N.; Wood, M.L.: Surface Irrigation Mangement in Real Time in Southeast Australia: Irrigation Scheduling and Field Application; <http://www.fao.org/docrep/W4367E/w4367e0d.htm>, pristupljeno 26.10.2006.
- [30] Broner, I.; Thompson K.; Dillon, M.: Validaion of a Malting Barley Water and Nutrient Management Expert System, *Agricultural Water Management*, br. 33, str. 159-168, 1997.
- [31] Rafea, A.; Hassen, H.; Hazman, M.: Automatic Knowledge Acquisition Tool for Irrigation and Fertilization Expert Systems, *Expert Systems with Application*, br. 24, str. 49-57, 2003.
- [32] Economopoulou, M.A.; Economopoulos, A.P.: Expert System for Municipal Wastewater Management for Municipal Management with Emphasis in Reuse, *Water Science and Technology: Water Supply*, vol. 3, br. 4, str. 79-88, 2003.
- [33] http://www.mzos.hr/svibor/2/11/080/proj_e.htm, pristupljeno 18. 09. 2004.
- [34] Barbalić, D.; Rajčić, V.: Identifikacija vodenih površina na satelitskim snimcima neuralnom mrežom, *Građevinar*, br. 55, str. 513-518, 2003.
- [35] Šperac, M.: Upotrebljivost neuralnih mreža za određivanje otjecanja u sustavu urbane odvodnje, *Disertacija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu*, Zagreb, 2004.
- [36] Karleuša, B.: Unapređenje gospodarenja vodama korištenjem ekspertnog sustava, *Disertacija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu*, Zagreb, 2005.

10.

PROBLEMI ZASLANJENJA, KORIŠTENJA I PRECRPLJIVANJA PRIOBALNIH KRŠKIH IZVORA I VODONOSNIKA - PRIMJERI SJEVERNO-JADRANSKOG PODRUČJA

mr.sc.Josip Rubinić, dipl.in.građ.

Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci

1. UVOD	322
2. VODNI RESURSI SJEVEROJADRANSKOG PRIOBALJA	324
3. MORE I MEHANIZMI ISTJECANJA I ZASLANJIVANJA PRIOBALNIH VODNIH RESURSA	330
4. ZADOVOLJAVANJE POTREBA ZA VODOM ZA NAVOD- NJAVANJE U PRIOBALJU - PRISTUPI I OGRANIČENJA	340
5. PRIMJERI OSOBITOSTI PRIOBALNIH KRŠKIH IZVORA I VODONOSNIKA SJEVERNO-JADRAN- SKOG PODRUČJA I RIZICI NJIHOVA ZASLANJIVANJA	344
5.1. Područje zapadne obale Istre	345
5.2. Područje južne Istre	348
5.3. Područje doline i ušća rijeke Raše i Boljunčice i njihova zaleđa	351
5.3.1. Izvorište Fonte Gaia - Kokoti	352
5.3.2. Izvor Blaz	355
5.3.3. Bubić jama	359
5.3.4. Jamske vode Labinščine	364
5.4. Područje sjevero-istočne obale Istre	368
5.5. Područje riječkog i bakarskog priobalja	370
5.6. Područje crikveničko-novljanskog priobalja	372
5.7. Podvelebitsko primorje	375
5.8. Otočki vodonosnici	378
6. ZAKLJUČCI	379
7. DOKUMENTACIJA	380

1. UVOD

Ubrzani proces litoralizacije, prisutan kako na globalnom tako i regionalnom planu, nezaustavljivo troši i devastira najvrednije resurse koje ima Hrvatska - njen prostor i vodu. Taj proces također dominantno utječe i na njezine vodne resurse kako u smislu pojačanih pritisaka onečišćenja, tako i porasta potreba za vodom. Sve više različitih aktivnosti, kao i sve više postojećih i budućih potrošača i onečišćivača na uskom priobalnom području, uz zapažene negativne opće trendove vezane uz prirodne procese (opadanja količina oborina, protoka i razina podzemnih voda, porast razine mora), oslozjavaju okvir unutar koga se planira aktualni koncept razvoj navodnjavanja na priobalnim prostorima Hrvatske. Raspoloživih i lako pristupačnih zaliha voda primjerene kakvoće za navodnjavanje ima u priobalju uglavnom malo. No, ako i postoje, i te vodne resurse uglavnom karakteriziraju prostorno-vremenski pomaci njihove vodne bilance u odnosu na područja i razdoblja godine s potrebama voda za navodnjavanje.

Zbog sezonske koincidencije razdoblja nastupa malih voda u vodotocima i na izvorima s razdobljima potreba vode za navodnjavanje, kod površinskih vodotoka u priobalju posebno je naglašen problem osiguranja ekološki prihvatljivog protoka. Naime, u priobalnom području Hrvatske i njegovom neposrednom, također krškom zaleđu, ima malo površinskih vodotoka s raspoloživom vodnom bilancom za neposredni zahvat voda za navodnjavanje tijekom razdoblja potreba za vodom za navodnjavanje, kao i pogodnih profila za izgradnju akumulacija za navodnjavanje. Razlog tome su hidrološke i hidrogeološke značajke područja s velikim udjelom krških struktura. Naime, posljedica takvih hidrogeoloških osobitosti su s jedne strane relativno siromaštvo površinske hidrografske mreže, a s druge strane uglavnom nepovoljni uvjeti za ostvarenje vododrživih akumulacijskih prostora.

Stoga je sigurno da će se rješenja osiguranja vode za navodnjavanje tražiti u većem korištenju podzemnih voda kao prirodnih akumulacija, odnosno u većem korištenju priobalnih krških izvora i vodonosnika. Pri tome, u nedostatku prihvatljivijih opcija, sigurno će biti nužna i orijentacija i na korištenje uvjetno rečeno "problematičnijih" vodnih resursa u kršu. Prije svega se tu misli na izvorišta i vodonosnike koji pri precrpljivanju mogu zaslaniti, ili pak i u sadašnjim uvjetima povremeno zaslanjaju. Radi se o resursima iz kojih se, kombinacijom primjerenih strukturalnih rješenja i njima korespondentnih upravljačkih modela, mogu osigurati komercijalno prihvatljive zalihe voda za navodnjavanje. No, uz navedeni problem osiguranja vodnih zaliha za navodnjavanje, jednako je važan cilj ovog rada pokazati i rizike učestalijeg i intenzivnog zaslanjivanja priobalnih vodnih resursa. Naime, s takvim ćemo se rizicima sve češće suočavati, pogotovo ukoliko se planirani razvoj navodnjavanja na priobalnom području ne realizira na jedan upravljački sustavan način koji uključuje i potpunu kontrolu korištenja voda u skladu s prisutnim hidrološko-hidrauličkim uvjetima uključujući i kontrolu dinamike međuodnosa priobalnih vodonosnika i mora.

U tom kontekstu planirani razvoj navodnjavanja u priobalju ne može se promatrati izdvojeno od ostalih vidova korištenja voda. Prije svega se to odnosi na vodoopskrbu koja najveći dio svojih potreba zadovoljava upravo iz priobalnih krških izvorišta i njihovih vodonosnika. S obzirom da su u postojeće vodoopskrbne sustave uključeni praktički svi značajniji izvori na hrvatskom priobalju, posebno oni kod kojih se pri sadašnjoj razini korištenja ne osjeća negativni utjecaj prodora mora, za očekivati je da će se za potrebe navodnjavanja povećati razina njihova korištenja a time kod dijela izvorišta i rizici od zaslanjivanja. Naime, dok recentni razvoj vodoopskrbe tijekom posljednjih 20-tak godina nije bio praćen i povećanjima količina crpljenih voda (što zbog ratnih prilika i pada turističkog prometa devedesetih prošlog stoljeća, što zbog postupne orijentacije ka uvođenju ekonomske cijene voda koja rezultira stimuliranje smanjenja gubitaka i općeniti pad specifične potrošnje), razvoj navodnjavanja neosporno će barem u prvoj fazi biti praćen isključivo povećanje zahvaćenih količina voda za tu namjenu.

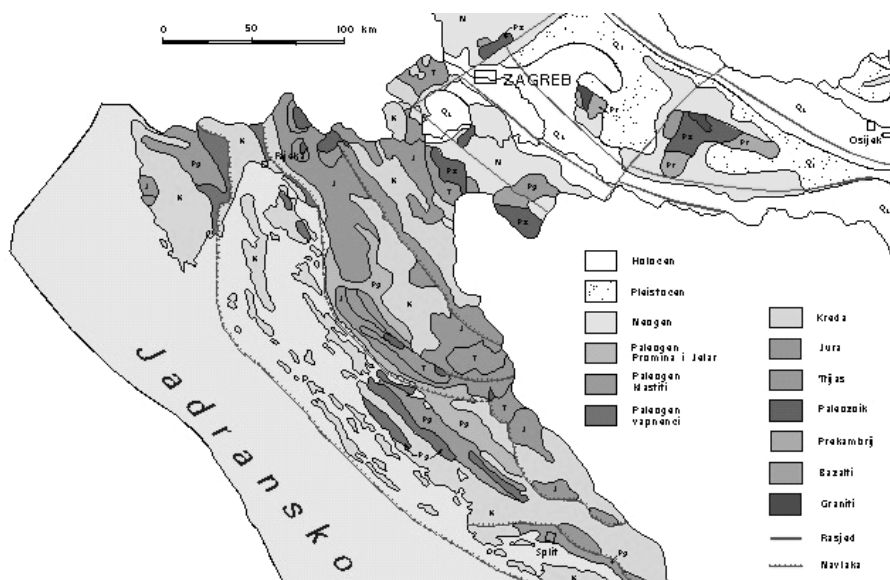
Za očekivati je da će razvoj navodnjavanja u priobalju potaknuti i povećanje neposrednih zahvata podzemnih voda iz krških vodonosnika, ali s tim u svezi i potrebu izvedbe kompleksnijih zahvata u funkciji zaštite voda od zaslanjenja na nekima od izvora koji i bez njihova korištenja povremeno ili trajnije zaslanjuju. Provedba takvih aktivnosti podrazumijeva potrebu primjerenijeg poznavanja mehanizama funkcioniranja krških vodonosnika, kao i optimalizaciju svih vidova korištenja voda, prije svega za potrebe vodoopskrbe, energetike i naravno navodnjavanja.

Stoga je u predmetnom radu obrađena problematika korištenja priobalnih izvora za navodnjavanje s nekoliko aspekata - razmatranja pojavnosti podzemnih voda i njihova istjecanja u priobalju te mogućnosti njihova zaslanjivanja, razmatranja postojećeg režima korištenja voda i rizicima od precrpljivanja, kao i analiza mogućih pristupa za osiguravanje dodatnih zaliha voda za navodnjavanje iz priobalnih izvora i vodonosnika.

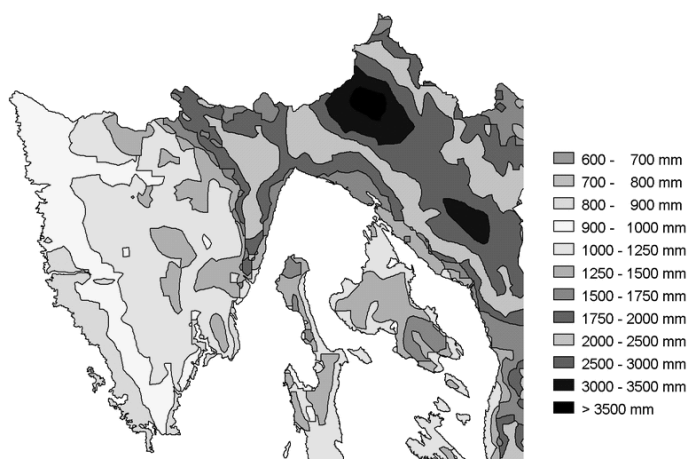
Spomenuta razmatranja su provedena na primjerima priobalnih vodnih resursa s područja Sjevernog Jadrana, za koje autor predmetnog rada ima i najviše neposrednih saznanja stečenih neposrednim učešćem u različitim dosadašnjim istraživačkim i studijskim projektima. Pri tim radovima za dio tih saznanja dugujem veliku zahvalnost kolegama hidrogeolozima koji su mi tako pomogli proširiti hidrološki okvir istraživanog problema međuodnosa priobalnih vodonosnika i mora. Iako je analiza provedena na nizu primjera, prikazani principi i postupci mogu se i šire generalizirati, kao i obraditi na višoj istraživačkoj razini koja uključuje i brojne suvremene alate. Na kraju su, sa sadašnje razine spoznaja, date i preporuke za optimalizaciju korištenja priobalnih vodnih resursa u uvjetima očekivanih porasta potreba za navodnjavanje, kako takav porast korištenja vodnih resursa za navodnjavanje ne bi prouzrokovao neželjene ekološke promjene, kao ni povećanje zaslanjenja priobalnih vodonosnika.

2. VODNI RESURSI SJEVERNOJADRANSKOG PRIOBALJA

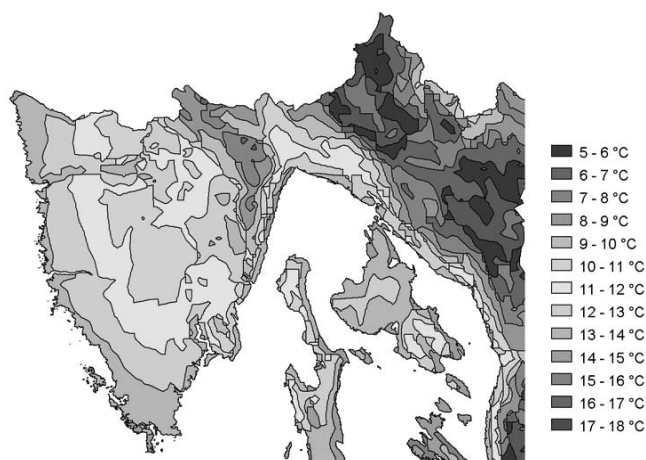
Sjevernojadransko priobalje čine priobalna područja Istarske, Primorsko-goranske i Ličko-senjske županije. Radi se o u hidrološkom pogledu vrlo heterogenom prostoru, a što je uvjetovano s vrlo velikom varijabilnošću geološke podloge (Slika 1), te oborinskoga (Slika 2) i temperaturnog režima (Slika 3).



Slika 1 - Shematizirana osnovna geološka karta sjevernojadranskog priobalja i njegova zaleđa (Velić I & Velić J, 1995)

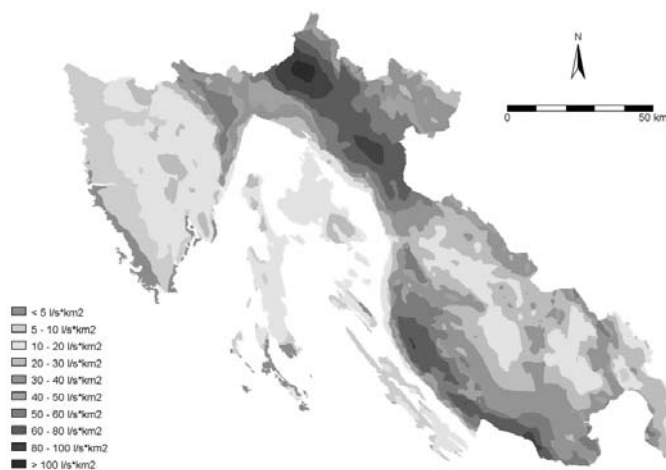


Slika 2
Prikaz srednjih godišnjih oborina analiziranog područja (prema DHMZ, 2002)



Slika 3 - Raspodjela srednjih godišnjih temperatura analiziranog područja (prema DHMZ, 2002)

Iz danih je prikaza vidljivo da na analiziranom, prostorno relativno ograničenom sjeverno jadranskom području, godišnje količine oborina variraju u rasponu između cca 800 pa do preko 3500 mm, a srednje godišnje temperature zraka između cca 6 i 14 °C. Posljedica toga su i vrlo značajne varijacije specifičnih protoka (Slika 4). One su na danom prikazu određene prema modificiranoj metodi Langbeina u GIS okruženju (Horvat i Rubinić, 2006), a na analiziranom se području kreću u vrlo širokom rasponu između 5 pa do preko 100 l/s/km². Vezano uz prikazane prostorne raspodjele godišnjih količina oborina i specifičnih protoka, posebno je nepovoljno to što uglavnom upravo područja koja su s agronomskog stanovišta potencijalno najpovoljnija za navodnjavanje, imaju najmanje oborina, odnosno karakterizira ih najmanji hidrološki potencijal izražen navedenim specifičnim godišnjim protokama.

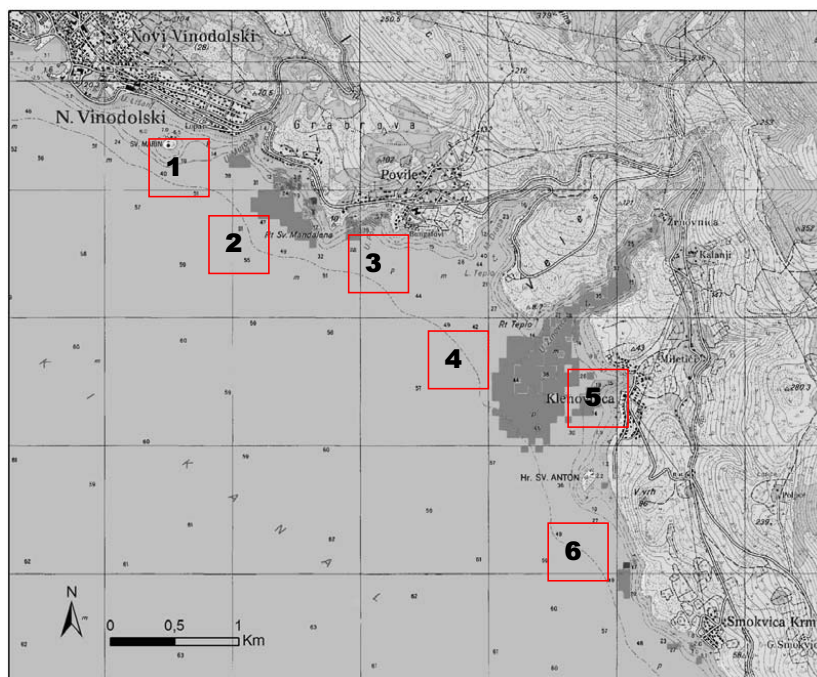


Slika 4 - Karta specifičnih protoka za područje Istarske, Primorsko-goranske i Ličko-senjske županije

Iz Slike 4 vidljivo je i da unatoč globalno gledajući visokih vrijednosti specifičnih protoka, na analiziranom prostoru ima relativno malo stalnih površinskih vodotoka koji pripadaju Jadranskom slivu - Dragonja, Mirna i Raša u Istri, Rječina u Kvarnerskom zaljevu, a donekle i Dubračina koja se u more ulijeva u Crikvenici. No Dubračina uz vlastite relativno male vode prihvaća i vode sustava HE Tribalj koje dotječu s viših horizonata u Gorskom kotaru. U more kod Sv. Jurja u blizini Senja koncentrirano dotječu s viših horizonata u Lici i vode hidroenergetskog sustava HE Senj. Navedenim se površinskim vodotocima, kao i objektima spomenutih hidroenergetskih sustava, godišnje drenira oko $65 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, odnosno svega oko $1/3$ od ukupno $194 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ prosječnih dotoka sjevernojadranskih slivova, koliko je dobiveno prilikom provedenih procjena prilikom izrade Vodnogospodarske osnove Hrvatske (Bonacci i Horvat, 2003). Tim bi se količinama moglo pridodati i najviše oko $5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ oborinskih voda koje manjim povremenim površinskim vodotocima, ili pak sustavima urbane odvodnje oborinskih voda, također neposredno utječu u more

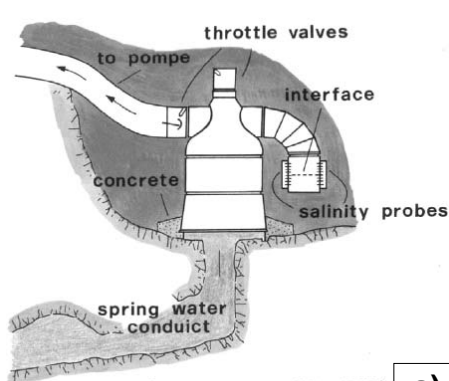
Za napomenuti je da su u bilancu spomenutih površinskih vodotoka uključene i vode dijela krških izvora koji se dreniraju tim vodotocima (npr. izvor Gradole u Mirnu, izvor Zvir u Rječinu). Kako orijentacijski procijenjena srednja godišnja izdašnost važnijih izvora sjevernojadranskog područja koji se pak neposredno dreniraju o more (izvor Blaz u Raškom zaljevu, izvori u Rijeci i Bakarskom zaljevu, Klenovačka Žrnovnica, Jurjevačka Žrnovnica) iznosi najviše do $10 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, proizlazi da se čak oko 60% voda s analiziranog područja neposredno drenira u more podzemnim putem - u vidu slabije lokaliziranih priobalnih izvorišta, vrulja ili pak širih zona difuznog istjecanja podzemnih voda u more. Često te zone priobalnih pražnjenja podzemnih voda nisu niti registrirane, pogotovo ukoliko se radi o širokim zonama karakteriziranim slabijim difuznim priobalnim istjecanjima podzemnih voda ili pak o vruljama. Naime, ukoliko se radi o vruljama koje su locirane na većim dubinama, njihove se vode često i ne zapažaju na površini mora uslijed morske termalne stratifikacije tijekom ljetnog razdoblja, u koje kalendarsko doba su se dosad terenskim prospekcijama najviše vrulje i istraživale.

No, razmjeri istjecanja podzemnih voda na pojedinim priobalnim lokalitetima mogu biti takvi da ih je moguće detektirati putem satelitskih termalnih snimaka. Primjer toga je i izvorište Klenovačka Žrnovnica kod Novog Vinodolskog (Slika 5), gdje se osim termalnog odraza istjecanja podzemnih voda na glavnom izvorištu (lokalitet 4), pojave značajnijeg istjecanja takvim pristupom zapažaju i na više drugih lokaliteta na širem području između Novog Vinodolskog te naselja Klenovica i Smokvica.

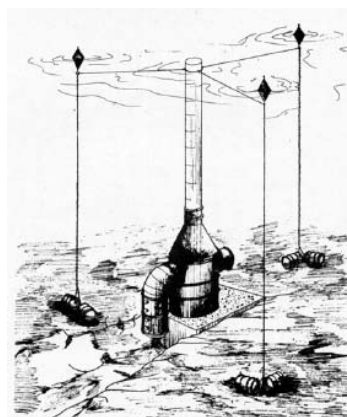


Slika 5 - Prikaz šireg područja istjecanja podzemnih voda analiziranog područja Žrnovnice dobivenog na osnovu satelitskog termalnog snimka (Građevinski fakultet Rijeka, 2005)

S obzirom na ranije spomenute ograničene mogućnosti zahvata površinskih voda, kao i povećanog korištenja postojećih izvora za osiguranje vode za navodnjavanje, očito je da će se u bliskoj budućnosti i kod nas morati intenzivirati i istraživanja mogućnosti zahvata i korištenja voda priobalnih izvora. Na mediteranskom području postoje primjeri takvih istraživanja pa i zahvata voda (Breznik, 1998). Kao ilustracija jednog od mogućih pristupa, na Slici 6 dan je prikaz eksperimentalne kaptaze vrulje Galeso u Tarantu, Italija (Sappa, 2006). Vrulja je locirana 800 m od obale, na dubini od 18 m, i ideja je bila da bi se s na slici prikazanim zahvatom vode s ove vrulje, te miješajući bočatu vodu s vrulje i vodu iz raspoloživih kopnenih resursa moglo osigurati značajnije količine voda za navodnjavanje i vodoopskrbu pokrajine Apulije. Biondić (2001), pozivajući se na rad Cotecchije i drugih (1990) navodi da se tijekom istraživanja organiziranih s prikazanim zahvatom kapacitet vrulje kretao od 300 - 800 l/s a salinitet 3-4 gr Cl/l. No, uslijed onečišćenja područja prihranjivanja vrulje u neposrednom zaleđu gdje je napušteno i nekoliko zdenaca, napuštena je i ideja o zahvatu te vrulje.



(after STEFANON, 1972) a)



b)

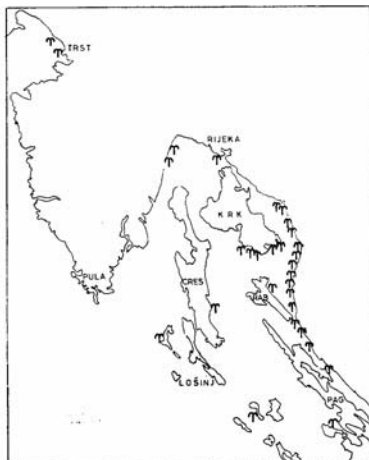


c)

Slika 6 - Eksperimentalna kaptaza vruļje Galeso u Tarantu (Italija) - preuzeto (Sappa, 2006)

a) ideja o naćinu kaptiranja vruļje;
b) ideja o sidrenju konstrukcije; c)
izvedeni zahvat na vruļji Galeso

Na hrvatskom se priobalju, ovisno o deficitarnosti pojedinih područja pitkom vodom, u cilju kaptiranja ili još češće zaštite već kaptiranih izvora, periodički posvećuje stručna i znanstvena pozornost istraživanjima važnijih priobalnih izvorišta koja povremeno zaslanjuju. No, istraživanja trajno li učestalije zaslanjenih priobalnih izvora i vruļja, ili pak širih zona s difuznim istjecanjima mora vrlo su rijetka i uglavnom vezana uz usamljene inicijative pojedinih zainteresiranih pojedinaca. Prema Alfireviću (1978), među prvim autorima koji još sredinom XIX stoljeća (1859, 1863) obraćaju pozornost na vruļje je Lorenz, koji opisuje vruļju uz obalu Jelenšćice nedaleko od Mošćenica. Doprinos istraživanjima priobalnih izvora i vruļja na hrvatskom priobalju daju sredinom 20 stoljeća još i Gjurašin (1942, 1943), Kušćer (1950), Petrik (1961), kao i Alfirević (1954, 1969a, 1969b). Interesantno je usporediti situaciju (Slika 7) položaja vruļja na sjevernom Jadranu danu po Alfireviću (1969 a) s kasnijim informacijama, pa i termalnim satelitskim snimkama, na osnovu kojih informacija se može zaključiti da je danim prikazom obuhvaćen samo manji dio stvarno prisutnih važnijih vruļja.



Slika 7 - Rasprostranjenost vrulja u sjevernom Jadranu - preuzeto od Alfirevića (1969a)

Nakon tog početnog razdoblja zanimanja za priobalne izvore i vrulje, za spomenuti je i više drugih autora koji su se bavili teoretskom osnovom ili pak praktičkim aspektima problematike istraživanja i zaštite zaslanjenih priobalnih izvora i vrulja na području hrvatske obale Jadrana. To su u prvom redu Breznik (1973, 1998), Mijatović (1974, 1990), Krznar (1978), Pavlin (1973, 1989) te Bonaccija (1987, 1995), Bonaccija i Roje-Bonacci (1997, 2000), kao i Bonaccija i drugih (1995). Za spomenuti je magistarski rad Biondić R (2001) s tematikom gospodarenja i zaštite priobalnih krških vodonosnika upravo na primjeru izvorišta sjevernog dijela Hrvatskog primora, kao i više drugih radova Biondića B i dr. (1995, 2000), Urumovića (2000), Kuhte i Novosela (2000), Novosel M i drugih (2006), Kuhta i Brkić (2006), Biondić R i drugi (2006). Za spomenuti je i rad Ravlića D i drugih (1992) o značenju vrulja sa stanovišta vodoopskrbe, a u kome se navodi i informacija o idejnim studijama vodoopskrbe Makarskog primorja temeljenim upravo na planiranom vodozahvatu na lokalitetu Vrulja između Mimica i Brela. Isto tako, za spomenuti je i osobni doprinos autora predmetnog članka, ponajprije vezano uz prva poznata kod nas provedena hidrometrijska mjerenja izdašnosti vrulje Vrutak na istočnoj obali otoka Cresa (JVP istarskih slivova, 1991a), kao i radu Rubinića i drugih (2000), te Rubinića i Ožanić (1999). Najnovija istraživanja priobalnih opatijskih izvora, provedena od strane Kuhte i Stroja iz HGI (2005), s vanjskim suradnicima Horvat B i autorom predmetnog rada, a u kojima je po prvi puta korištena i interpretacija satelitskih termalnih snimki, otvorila su mogućnost kombinacije klasičnih hidrogeoloških i hidroloških metoda sa novijim sofisticiranim tehnološkim postupcima. Vezano uz primjenu suvremenih metoda analize hidroloških podataka na obradi problematike zaslanjenih priobalnih izvora, za spomenuti je i primjenu ekspertnih sustava, na čemu pri pripremi svoje disertacije radi Fistanić sa Građevinsko-arhitektonskog fakulteta u Splitu.

No, opasnosti od zaslanjenja vodnih resursa u priobalju nisu isključivo vezane uz priobalne krške izvore i vodonosnike, već se ona javljaju i na ušćima i dolinskim dijelovima vodotoka. Tu se zaslanjenja javljaju uslijed smanjenja dotoka slatkih voda u sušnim hidrološkim razdobljima, ali i uslijed antropogenih utjecaja - potrošnje vode za navodnjavanje ili promjene vodnog režima malih voda pri akumuliranjima ili preusmjeravanjima malih voda. U ovisnosti o geodetskim visinskim međuodnosima takvih korita i hidrološkim prilikama, na takvim se lokalitetima može očekivati intenzivnija intruzija slane vode u slatkovodni sustav površinskih vodotoka, odnosno progradacija morskoga klina puno uzvodnije i učestalije u odnosu na postojeće prilike. Takvu je jednu analizu, kao i modeliranje za Neretvu u njezinom donjem dijelu toka napravio Ljubenković (2006) u svom magistarskom radu. Slične se manifestacije javljaju i na nekim vodotocima sjevernojadranskog područja (Mirna i Raša) čijim se donjim dijelovima toka koji su pod utjecajem uspora mora zapaža recirkulacija slane i slatke vode duboko uzvodno od ušća, a što je posebno izraženo tijekom trajanja malih voda.

Ono što je najveći problem i za analize utjecaja precrpljivanja priobalnih krških vodonosnika i za analize intruzije morske vode kroz korita priobalnih vodotoka je nedostatak mjerenih podataka, kako o razinama podzemnih (ili površinskih) voda i mora, podataka o registriranim zaslanjenjima (koncentracije klorida ili elektroprovodljivosti voda), tako i podataka o količinama crpljenja podzemnih voda koje su dovele do pojava zaslanjenja. Posebno se to odnosi na podatke vezane uz kopane ili bušene individualne bunara za navodnjavanje koji se na priobalnim područjima pogodnim za intenzivniju poljoprivredu potpuno nekontrolirano šire. Unatoč relativno niskim pojedinačnim vrijednostima tako crpljenih količina, s obzirom na brojnost takvih zahvata na pojedinim područjima, takva crpilišta čak i po ukupnoj količini zahvaćenih voda predstavljaju značajan faktor koji već danas ima naglašen utjecaj na ravnotežu slatkih i slanih voda u pojedinim priobalnim vodonosnicima. To je posebno naglašeno na dijelovima područja Zapadne i Južne Istre, gdje je samo na širem području Pule i njenoga zaleđa, još pred 10 godina, registrirano 1058 bušenih bunara za navodnjavanje, opću uporabu ili osiguranje tehnoloških voda (HGI d.o.o., 1997). Od tada je sigurno izbušen i veći dio novih bunara.

3. MORE I MEHANIZMI ISTJECANJA I ZASLANJIVANJA PRIOBALNIH VODNIH RESURSA

Mehanizam međuodnosa slatkih i slanih voda u priobalnom području počiva na općim hidrauličkim zakonitostima, izvedenim uglavnom za intergranularne homogene sredine. No, s obzirom na izraženu nehomogenost i brze dinamičke promjene koje se odvijaju unutar krških sredina, te zakoni-

tosti uglavnom imaju ograničenu primjenu, i koriste se uz određene aproksimacije. Najpoznatija aproksimacija dinamičkih uvjeta međuodnosa slanih i slatkih voda u krškom priobalju svodi se na primjenu hidrostatskog zakona ravnoteže dvije nemiješajuće tekućine različitih gustoća (Slika 8) - tzv. Ghyben (1889) - Hertzberg-ovog (1901) zakona do koga su spomenuti istraživači nezavisno došli (prema Bonacci, 1997).

Naime, granica ravnoteža slane i slatke vode je u hidrostatskim uvjetima određena razlikom u gustoćama slatke (ρ) i slane (ρ_s) vode. Pri tome se gustoća slane vode u našim jadranskim uvjetima kreće u rasponu između 1,022 i 1,035 kgm^{-3} , a obično se uzima 1,025 kgm^{-3} . Dakle, za takve uvjete vrijedi jednadžba ravnoteže prema spomenutom Ghyben-Hertzbergovom zakonu: pri čemu su:

$$\frac{h}{h_n} = \frac{\rho_s}{(\rho_s - \rho)} \quad \text{odnosno} \quad h = \frac{\rho_s}{(\rho_s - \rho)} \cdot h_n \cong \delta \cdot h_n$$

h - dubina slatke vode ispod razine mora

h_n - visina slatke vode iznad razine mora

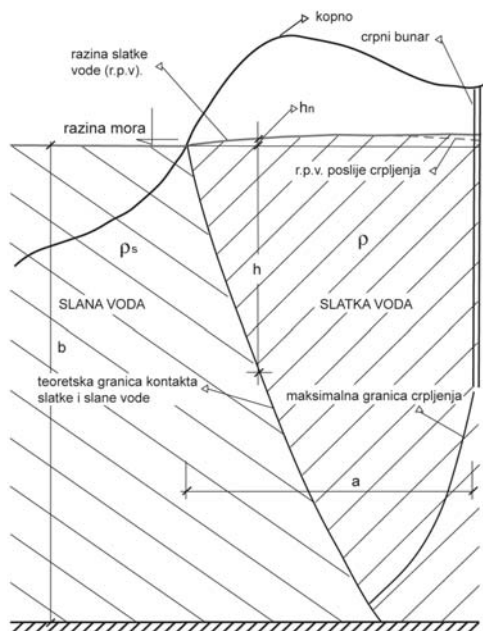
ρ - gustoća slatke vode ($\sim 1000 \text{ kgm}^{-3}$)

ρ_s - gustoća morske vode ($\sim 1025 \text{ kgm}^{-3}$)

δ - odnos gustoća slane vode i razlike gustoća slane i slatke vode (~ 40)

Pri danim pretpostavljenim gustoćama slatke i slane vode, međuodnos debljina nemiješajućih slojeva slane vode iznad i ispod srednje razine mora

unutar formirane slatkovodne leće teoretski iznosi 1:40. Takvi teoretski hidrostatski uvjeti prikazani su na Slici 8, gdje je dan i prikaz deformacije ravnoteže slatke i slane vode u situaciji koju izazivaju crpljenja slatkih voda u priobalnom vodonosniku.

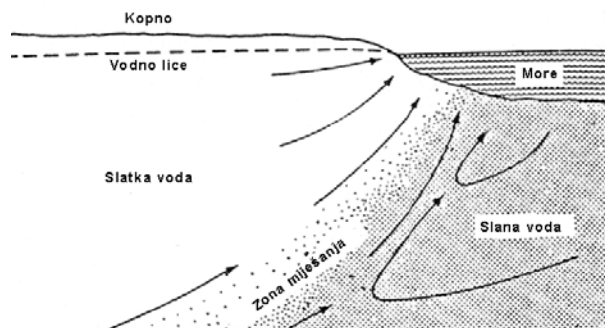


Slika 8.

Međuodnos slane i slatke vode u skladu s Ghyben - Herzbergovim hidrostatskim zakonom - prema Bonacciju (1997)

U tom kontekstu, pojednostavljeno gledano na jednom primjeru, ako se crpljenjima u crpnom bunaru snizi razina podzemnih voda s početnih 1 m n.m. na 0,5 m n.m., slatkovodna leća formirana u priobalnom vodonosniku će se izuzetno jako istanjiti, tako da će se granica kontakta slane i slatke vode s početnih - 40 m n.m. približiti na - 20 m n.m. Crpljenjem će se moći snižavati razina podzemnih voda u slatkovodnoj leći samo u mjeri pri kojoj će se ravnotežna granica slane i slatke vode nalaziti ispod donjeg ruba crpnog bunara. Ukoliko se na izvjesnoj dubini "b" nalazi vodonepropustan sloj, crpljenjima je moguće razinu podzemnih voda spuštati i puno niže od gornje pretpostavke, ali uz uvjet da je udaljenost "a" između ruba obale i crpnog bunara dovoljna da na njoj formirana slatkovodna leća stvara dovoljan natpritisak kojime sprečava prodor zaslanjenih voda u zonu crpljenja. Radi se o jednostavnom principu na kome se zapravo zasniva, ili bi se bolje rečeno trebala zasnivati, strategija crpljenja voda iz priobalnih vodonosnika bez neželjenih promjena u smislu prodora morskih voda u zonu crpljenja.

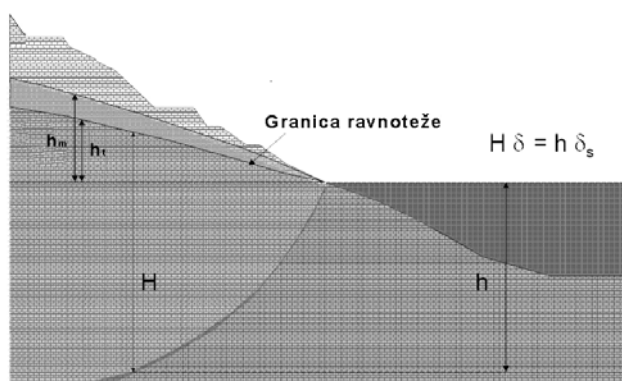
No, u stvarnosti, dijelom zbog pukotinskih sustava unutar krških vodonosnika koji omogućuju relativno velike brzine kretanja podzemnih voda u podzemlju, a dijelom zbog dnevnih oscilacija razine mora koje se prenose i na dinamičke promjene unutar vodonosnika, granica kontakta slane i slatke vode predstavlja jednu puno širu zonu miješanja. Zbog toga je i stvarna debljina slatkovodne leće u zoni aktivnih kontakata s morem obično puno tanja i deformabilnija. Naime, postavke na kojima počiva spomenuti Ghyben-Herzbergov zakon (o slanoj vodi u stanju mirovanja, te oštro izdvojenom strujanju slatke vode preko slane, tj. o tečenju bez miješanja tih tekućina), mogu se prihvatiti samo ako je režim kretanja slatke vode stacionaran, s malim brzinama reda do $5 \cdot 10^{-5}$ m/s, a što se može postići samo kod intergranularnih finoporoznih vodonosnika s pretežno subkapilarnim porama, gdje se stvarno kontaktna površina između slatke i slane vode svodi na zonu miješanja širine oko 1 m (Mijatoviću,1990). Kako takvi uvjeti u pravilu nisu prisutni u aktivnim dijelovima krških vodonosnika, zone miješanja slane i slatke vode su kod takvih vodonosnika u pravilu puno šire (Slika 9).



Slika 9.

Shematizirani meduodnos slane i slatke vode, te zone miješanja, u priobalnim vodonosnicima

Stabilna ravnoteža slatkih i slanih voda u priobalnim vodonosnicima može se održati, odnosno nema sa stanovišta korištenja voda neželjenih pomaka granice slatke i slane vode u smislu istanjivanja slatkovodne leće, jedino ako je nadvišenje, odnosno natpritisak slatke vode h_m veći od kritičnog natpritisaka h_t pri kome se održava takva ravnoteža (Slika 10). U tom se slučaju, pojednostavljeno gledajući, podzemne slatke vode dreniraju prema moru, a ukupna debljina slatkovodne leće H ($H = h_m + h$) na dubini h sprečava prodore zaslanjene vode u slatkovodnu leću, dokle god vrijedi odnos $H \cdot \rho \geq h \cdot \rho_s$

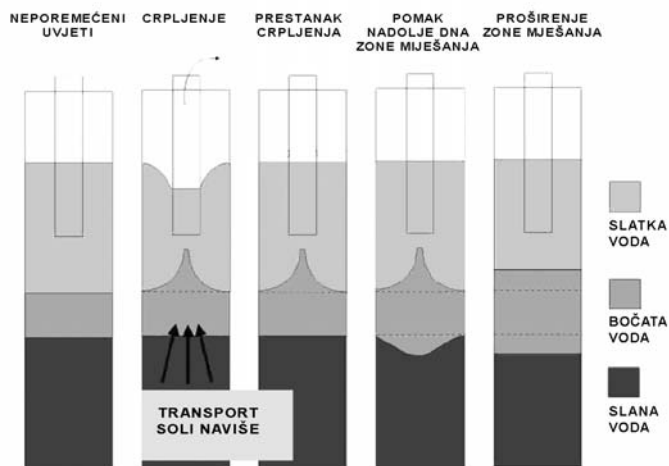


Slika 10

- Stanje u kome je prema Ghyben - Herzbergovom zakonu natpritisak slatke vode h_m veći od kritičnog potrebnog natpritisaka h_t , dovoljnog da spriječi prodore mora u slatkovodnu leću - (Sappa, 2006)

Na sličan način se može razmatrati i stanja te narušavanje ravnoteže slatke i slane vode prilikom crpljenja priobalnih vodonosnika (Slika 11). Crpljenjem se razina podzemnih voda spušta u odnosu na prirodno stanje. To uvjetuje promjenu ravnotežnih uvjeta i pomak granice slane vode, odnosno zone miješanja ka dijelovima vodonosnika u kojima su dotad vladali slatkovodni uvjeti. Učestalijim pomacima te granice, dolazi i do migracije soli prema gornjim zonama vodonosnika. To u konačnici ima za posljedicu proširenje zone miješanja slane i slatke vode, a time i veću

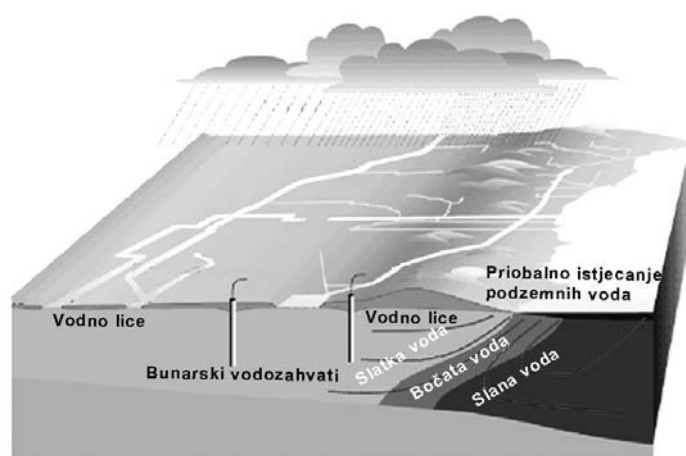
opasnost od zaslanjenja crpi-lišta u slučaju njegova forsiranog korištenja.



Slika 11 -

Konceptualni prikaz utjecaja crpljenja na proširenje granice miješanja slatke i slane vode (Sappa, 2006)

To uvjetuje i potrebu da se zone korištenja podzemnih voda iz krških vodonosnika zahvatima s crpnim bunarima lociraju dublje u zaleđu priobalnih vodonosnika (Slika 12). Brojna negativna iskustva iz pojedinih zemalja našega sredozemnog okruženja s precrcpljivanjem nekih priobalnih krških vodonosnika do kojih je došlo upravo zbog prekomjernog korištenja voda za potrebe navodnjavanja (južna Italija, južna Španjolska, Malta) nameću potrebu da se u domaćim uvjetima, kada je korištenje voda iz podzemnih priobalnih vodonosnika uglavnom gotovo još na početku, uspostavi sustavan pristup korištenja tih voda na način ne ponavljaju takve greške s precrcpljivanjem i njime izazvanim zaslanjivanjem podzemnih voda.



Slika 12 - Shematizirani prikaz međuodnosa slatkih i slanih voda u priobalnim vodonosnicima (Sappa, 2006)

Zbog spomenutih brojnih bunara u zaleđu Pule, upravo su na području južne Istre i zapažene prve pojave zaslanjenja podzemnih voda kod nas izazvane precrcpljivanjem rubnih dijelova njihovih vodonosnika. Tako su se pojave spomenutih zaslanjenja na pojedinim bunarima Vodovoda Pula zapažale i na udaljenostima do 1 km od morske obale (BONACCI-HIDRO-GEO, 1997; Bonacci i Roje-Bonacci, 2000). Na spomenutom primjeru priobalnog krškog vodonosnika južne Istre, Urumović (2000) je analizirao uvjete prodora morske vode u hidrodinamičkim uvjetima, te došao do zaključka da je pri danim značajkama vodonosnika potrebno održavati određeno otjecanje slatke vode u more kojime se ograničava prodor slane vode u zaobalje. Pri crpljenju bunara, između njih i mora nastaje razvođe koje režimom crpljenja treba održavati izvan dužine L (Slika 13), definiranu izrazom:

$$L = \frac{\Delta\gamma_m}{2\gamma_s^2} \frac{K_s z_m^2}{q_o}$$

Gdje su:

γ_s - specifična težina slatke vode

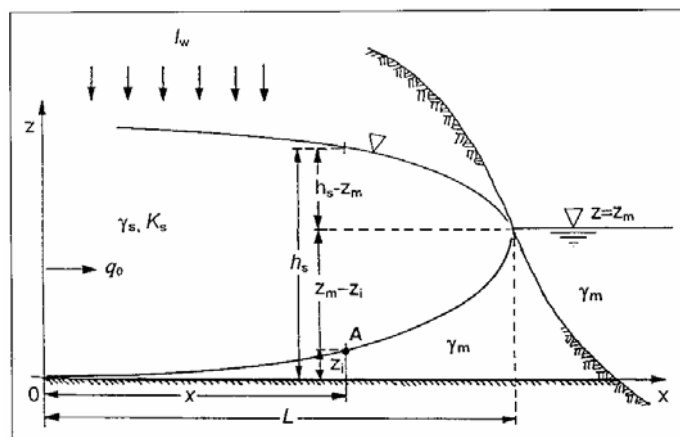
γ_m - specifična težina morske vode

$\Delta\gamma$ - razlika specifičnih težina slatke i morske vode

K_s - prosječna hidraulička vodljivost

z_m - razina mora

q_0 - veličina ulaznog dotoka



Slika 13 - Shematski prikaz odnosa slatke i slane vode u otvorenom vodonosniku - preuzeto od Urumovića (2000)

Na sličan je način, uvažavajući hidrodinamičke uvjete tečenja voda u priobalnom homogenom vodonosniku, Verrujit (preuzeto iz Mayer, 1993) definirao položaj granice slane i slatke vode prema slijedećim izrazima:

$$h = \sqrt{\frac{2\beta Q}{K(1+\beta)}} x$$

$$z = -\sqrt{\frac{Q^2}{\beta^2 K^2} \frac{1-\beta}{1+\beta} \frac{2Qx}{\beta K(1+\beta)}}$$

Gdje su:

h - nadvišenje slatke vode iznad srednje razine mora

z - dubina da granice slana/slatka voda ispod srednje razine mora

x - udaljenost od obalne linije

Q - dotok slatke vode u more po jedinici širine vodonosnog sloja

β - faktor ovisan o gustoći vode ($\beta = \frac{\rho_m - \rho_s}{\rho_s} \approx 0,025$)

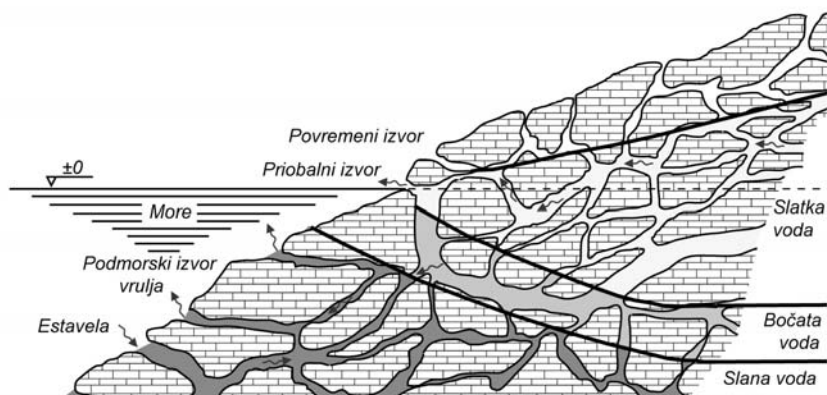
ρ_m - gustoća morske vode

ρ_s - gustoća slatke vode

K - koeficijent hidrauličke provodljivosti vodonosnog sloja

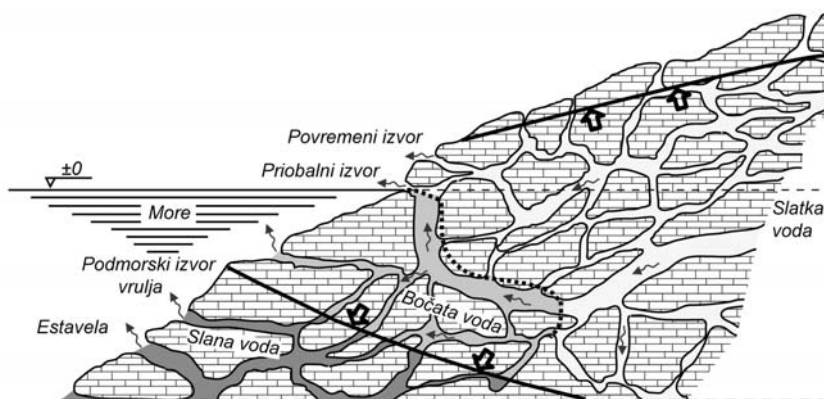
Naravno, u prirodnim uvjetima prisutne značajnije nehomogenosti krških vodonosnika uvjetuju dodatna osložnjavanja kretanja podzemnih voda i mora, pri čemu naglašenu važnost imaju tečenja kroz privilegirane pukotinske sustave, odnosno podzemne kolektore većih dimenzija (Slike 14 - 16). U ovisnosti o hidrološkim i hidrauličkim značajkama koji vladaju u pojedinim dijelovima vodonosnika, kao i o geometriji kanalskih sustava, u pojedinim se slučajevima javljaju istjecanja podzemnih voda i ispod razine mora. Isto tako, o položaju kanalskih kolektorskih sustava u odnosu na granice slane i slatke vode (zonu miješanja), ovisi ne samo režim istjecanja podzemnih voda, već i stupanj njihova zaslanjenja, a koji se obično mijenja u različitim hidrološkim prilikama. Često su dovoljne samo uobičajene dnevne oscilacije razine mora, pa da se kao reakcija priobalnoga krškoga vodonosnika javljaju i vrlo velike promjene saliniteta podzemne vode na mjestu njezina istjecanja. Upravo je proučavanje dubine kontakta slane i slatke vode na temelju informacija dobivenih praćenjima promjena razine mora i vode, kao i sadržaja klorida različitim dijelovima vodonosnika, jedan od najuobičajenijih pristupa istraživanjima usmjerenim planiranju mjera zaštite od zaslanjivanja.

U krškim priobalnim vodonosnicima koji imaju razvijenu mrežu kolektora većih dimenzija postoje dvije vrste toka i brzina voda - brza komponenta tečenja u kolektorskim pukotinskim sustavima te spora filtracijska tečenja unutar stijenskih blokova sa samo primarnom poroznošću. Pri dugotrajnim ustaljenim hidrološkim prilikama koje vladaju sušnim razdobljima ipak dolazi do uravnoteženja stanja unutar vodonosnika (Slika 14). Tijekom takvih razdoblja može se pretpostaviti da su i granice između slatke, bočate i slane vode donekle stabiliziraju, i variraju u ovisnosti dnevnih amplituda mijena plime i oseke i stupnju njihova prigušenja u dubini vodonosnika. Na prikazanoj je slici vidljivo da u danoj situaciji slatke vode imaju dovoljan natpritisak da drže stabilnom formiranu slatkovodnu leću, te drže ravnotežu sa bočatim i slanim vodama u dijelovima vodonosnika koji su izloženi utjecaju mora koje cirkuliraju u dubljim dijelovima vodonosnika. Ukoliko dulje vremena potraju sušne prilike, slatkovodna se leća postupno istanjuje, a što slabljenjem natpritiska slatke vode omogućava da se eventualno i bočate vode prazne kroz prikazani priobalni izvor.



Slika 14 - Shematski prikaz cirkulacije podzemnih voda u priobalnom krškom vodonosniku uz pretpostavku postojanja formirane stabilne vodne leće tijekom dugotrajnijih sušnih razdoblja

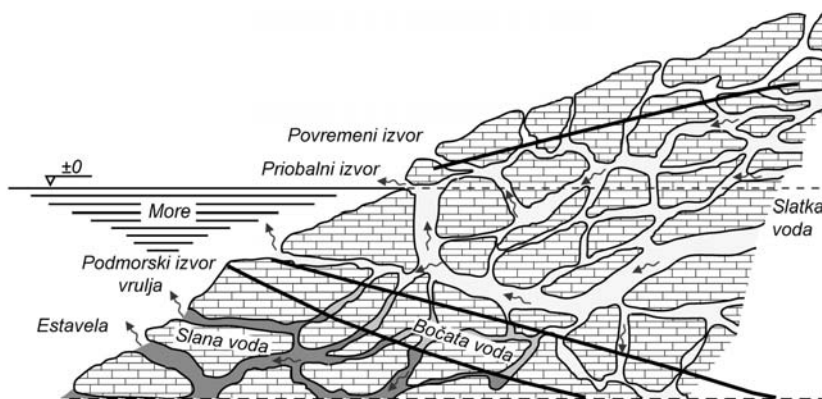
U takvim su sustavima, inače vrlo često zastupljenim upravo na priobalnim prostorima analiziranim u danom radu, nagle promjene izazvane pojavom intenzivnijih oborina i njima izazvanih većih dotoka slatkih voda manifestiraju i naglim promjenama hidrauličkih uvjeta, a time i na Slici 14 prikazane ranije dosegnute ravnoteže. Promjene ravnoteže manifestiraju se bržim prodorima slatke vode kroz pojedine krške kolektore većih dimenzija mjestimično položenih i ispod bočate vode. U ovisnosti o hidrološko-hidrauličkim prilikama u podzemlju u tim situacijama dolazi do efekta potiskivanja slanih voda u smjeru najmanjeg hidrauličkog otpora, a često je to upravo kroz ranije formirani slatkovodni dio vodne leće. Najčešće je slučaj da je to upravo sam krški izvor koji tako u početnom periodu nastupa takvih velikih voda nakon dugotrajnog sušnog razdoblja izbacuje iz svog sustava vodonosnika zaslanjenu vodu (Slika 15).



Slika 15 - Shematski prikaz cirkulacije podzemnih voda u priobalnom krškom vodonosniku u uvjetima nagloga dotoka većih voda nakon dugotrajnog sušnog razdoblja

U tim situacijama granice između slane, bočate i slatke vode uglavnom nisu jednoznačno razlučive niti čvrste. Generalno, zona slatkih voda se proširuje i nadvisuje, pa ona u tim uvjetima naglo potiskuje bočate i zaslanjene vode. Dio zaslanjenih voda se uspijeva potisnuti u dubljim dijelovima vodonosnika kroz razvijene pukotinske i porne sustave u jednom manje-više izraženom frontu prema moru. No, dio u vodonosniku zarobljenih bočatih voda koje se tim putem ne uspijevaju potisnuti, znade biti istisnut i u suprotnom smjeru - kroz zonu istjecanja samoga priobalnoga izvora uzrokujući povećanje saliniteta njegovih voda. U takvim se situacijama povećanih dotoka obično aktiviraju i povremeni izvori koji imaju više kote istjecanja, a povećava se i izdašnost priobalnih vrulja.

Pritjecanje većih količina slatkih voda u priobalnu vodnu leću nakon te početne "burne" faze razbijanja ranije dinamičke ravnoteže prati i proces uspostave nove ravnoteže, s većim nadvišenjima slatkih voda i postupnim procesom potiskivanja zaslanjenih voda ka moru i rubnim dijelovima krških vodonosnika - kako u privilegiranim krškim kolektorima, tako i unutar stijenskih blokova. Time se stvara stabilniji slatkovodni nadsloj formirane vodne leće unutar koga se dalje odvija proces dreniranja slatkih podzemnih voda kroz krški priobalni izvor (Slika 16).



Slika 16 - Shematski prikaz cirkulacije podzemnih voda u priobalnom krškom vodonosniku u uvjetima stabilizacije novoga stanja ravnoteže slatkih i slanih voda nakon prolaska prve faze nailaska većih voda

Naravno, prikazani mehanizam zaslanjenja i oslađivanja voda priobalnih izvora nije i jedini takav mogući scenario međuodnosa slatkih i slanih voda u priobalnom vodonosniku. Postoje i priobalna izvorišta kod kojih se u uvjetima povećanih dotoka niti ne može uspostaviti stabilna ravnoteža slatkih i slanih voda, tako da se kod toga tipa izvora najmanja zaslanjenja zapažaju tijekom najmanjih protoka. Isto tako, postoje i suprotni slučajevi priobalna izvorišta koja unatoč niske kote istjecanja u odnosu na razinu mora, imaju dobru hidrogeološku zaštitu od prodora mora u aktivne dijelove njihova vodonosnika, te nemaju problema sa zaslanjivanjima.

Osobna iskustva stečena na analizi priobalnih izvora sjevernojadranskog područja od kojih su neka prikazana u vidu primjera u nastavku ovoga rada govore da se opisane pojave povratnih zaslanjenja u uvjetima nakon pojava intenzivnijih dotoka učestalije javljaju u krškim strukturama koje u većoj mjeri karakteriziraju značajke tzv. dubokog krša. To su sustavi s jače izraženom tektonikom, sustavi vodonosnika koji imaju dublje razvedene aktivne krške kolektorske sustave, veće gradijente tečenja podzemnih voda, a u oborinskom smislu i "moćnije" zaleđe s intenzivnijim i obilnijim kratkotrajnim oborinama.

No, najčešći su slučaj priobalna izvorišta i vodonosnici koji reagiraju na uobičajeni način - povećani dotoci slatkih voda u njihov vodonosnik imaju za posljedicu "oslađivanje" njihovih vodonosnika, odnosno postupno potiskivanje granice kontakta slatke i slane vode ka moru i veću debljinu slatkovodne leće, a na samim se izvorima pri naglom nailasku većih dotoka ne zapaža ranije opisano izbacivanje zarobljenih "džepova" slane vode. Pogotovo se to odnosi na izvorišta i vodonosnike kod kojih je donji dio njihovih vodonosnika vezan uz vodonepropusnije geološke strukture koje onemogućavaju da tijekom sušnijih razdoblja i istanjivanja slatkovodne leće dolazi do podvlačenja zaslanjenih voda dublje u aktivan dio njihovih vodonosnika.

U izvjesnim slučajevima donji dijelovi krškog priobalnog vodonosnika i ne moraju biti izgrađeni od različite geološke strukture a da bi imali funkciju relativno vododržive barijere prodoru klina morske vode u aktivan dio vodonosnika. Poznato je da se je uslijed promjena razina mora mijenjala i razina okršavanja, te je posljednjom transgresijom morske razine došlo do potapanja ranije okršenih zona. Promatrajući u geološkim razmjerima vremena, promjenom hidrauličkih prilika uslijed djelovanja uspora mora pri puno višim kotama u odnosu na nekadašnju razinu okršavanja, dolazi do smanjenja brzina a time i strujanja voda u dubljim dijelovima vodonosnika. To za posljedicu ima i intenzivnije procese taloženja suspendiranog nanosa u takvim zonama. Time se otješnjuju ranije razvijeni pukotinski sustavi, te se smanjuje intenzitet miješanja slatkih i slanih voda u tim rubnim dijelovima vodonosnika. Takvi su procesi naglašeniji u tzv. binarnim sustavima krških vodonosnika, kod kojih je jaka površinska komponenta prihranjivanja sa zatvorenih površinskih slivova karakteriziranih s velikom produkcijom suspendiranog nanosa. Takav je slučaj upravo kod dijela analiziranih istarskih krških vodonosnika i njihovih slivova.

Poseban slučaj međuodnosa slanih i slatkih voda predstavljaju procesi koji se događaju unutar jamskih prostora nekadašnjih ugljenokopa Labinščine, detaljnije opisani u nastavku ovoga rada. Općenito gledajući, radi se iznimno prostranim podzemnim prostorima formiranih rudarenjem na dubinama i do 500 m ispod razine mora, a čiji napušteni tunelski sustavi,

okna i zone rudarenja u smislu dinamike strujanja podzemnih voda imaju funkciju sličnu funkciji vrlo razvijenih sekundarnih pukotinskih sustava u prirodnim krškim vodonosnicima. Prestankom rudarenja i postupnim potapanjem toga prostora (koje je za jamski sustav jama Raša-Labin-Ripenda trajalo i više od dvije godine), otvoreni se jamski prostor koji djeluje kao ogromna drenaža puni podzemnim vodama a dijelom i zaslanjenom vodom. Te se vode dinamički uravnotežuju, i za očekivati je da djeluje proces postupnog oslađivanja toga prostora. Naime, završetkom punjenja toga prostora svaka nova promjena pritiska podzemnih voda (dotoka voda nakon dugotrajnijih sušnijih razdoblja), uz potiskivanje dijela zaslanjenih voda kroz zonu najmanjih hidrauličkih otpora - vertikalno rudarsko okno Labin, ima za posljedicu i postupno potiskivanje zaslanjenih voda (dospjelih u taj prostor neprirodno visokim gradijentima u uvjetima izazvanim djelovanjem drenaže jamskih prostora u uvjetima njihove eksploatacije) ka udaljenijim dijelovima vodonosnika. Kako se po zatvaranju rudnika više ne ponavljaju situacije takvih iznimnih i u odnosu na prirodno stanje isforsiranih drenaža, za očekivati je da će se odvijati postupni procesa oslađivanja toga prostora. Taj će se proces odvijati sve dok se ne privede kraju proces trajnog potiskivanja zaslanjenih voda dospjelih u vodonosnik u ranijim isforsiranim uvjetima, tj. dok se u potpunosti ne stabilizira dinamika miješanja slatkih i slanah voda unutar promjena koje izaziva prirodan sezonski ciklus dotoka i istjecanja podzemnih voda iz tako formiranog vodonosnika. To ne znači da će se i potpuno eliminirati mogućnost pojave zaslanjenih voda u takvim sustavima, s obzirom da dotok tih voda ovisi o stupnju izloženosti vodonosnika jamskih prostora perifernim kontaktima slatkih i slanah voda unutar pojedinih dijelova tako formiranoga vodonosnika unutar redovitih unutar-godišnjih i godišnjih ciklusa.

Prikazani konceptualni primjeri najčešćih međuodnosa slatkih i slanah voda nisu i jedini koji karakteriziraju priobalne krške vodonosnike na sjevernojadranskom području. No, mogu se smatrati dovoljno ilustrativnim da prikažu generalne međuodnose slanah i slatkih voda u tom prostoru, kao i da upozore na posljedice do kojih može doći ukoliko se povećanim crpljenjima vode za potrebe navodnjavanja naruši ta nestabilna dinamička ravnoteža.

4. ZADOVOLJAVANJE POTREBA ZA VODOM ZA NAVODNJAVANJE U PRIOBALJU - PRISTUPI I OGRANIČENJA

U domeni problematike navodnjavanja neposredno vezanoj uz vodne resurse, osnovna su pitanja koliko vode treba na nekom području za zadovoljavanje iskazanih potreba za vodom, te odakle i pod kojim uvjetima ju je moguće osigurati. Naravno, uz sve to vezana je potreba prilagođavanja vre-

menškoj komponenta realizacije takvih planova, tj. dinamika postupnog povećanja iskazanih potreba u skladu s realizacijama pojedinih faza razvoja sustava za navodnjavanje. Aktualni županijski planovi navodnjavanja, završeni pred kratko vrijeme ili je pak njihova izrada ili priprema u tijeku, uglavnom su koncipirani tako da i ne daju eksplicitne odgovore na ta pitanja. Na osnovu dosad viđenih, može se dati opća konstatacija da se ti planovi uglavnom zadržavaju na analizi prostornih i drugih uvjeta za razvoj navodnjavanja, s generalnim naznakama mogućih rješenja osiguranja vode. Očekuje se da bi profilacija potreba za vodom i samih rješenja načina njihova osiguranja trebala biti razrađena s puno više kvantifikacijskih pokazatelja u detaljnijoj projektnoj dokumentaciji čija izrada slijedi županijske planove navodnjavanja.

No, da bi se ipak dobila predodžba, odnosno da bi se prodiskutiralo koliko u smislu povećanja ukupnih potreba za vodom na nekom prostoru može značiti planirani razvoj navodnjavanja, odabran je primjer Istarske županije za koju postoje kvantificirani generalni bilančni podaci i u prethodnoj planskoj dokumentaciji. Naime, u prethodnom planu navodnjavanja za područje Istre (Građevinski fakultet Rijeka, 1998), a koji je napravljen prema koncepciji temeljenoj na izgradnji sustava velikih površinskih akumulacija (Hrvatske vode VGO Rijeka, 1998), postoje kvantificirane potrebe za vodom za navodnjavanje i prijedlog načina njihova osiguranja. Ukupne godišnje netto potrebe za vodom za navodnjavanje u tom su planu procijenjena na 51,346 mil. m³, što uz 15% procijenjenih gubitaka vode u transportu od zahvata do površina za navodnjavanje iznosi ukupno oko 59,0 mil. m³. Ukoliko se pretpostavi da bi se u slijedećih 15 godina, tj. do 2021.g. koja je u vodoopskrbnom planu (IGH PC Rijeka, u izradi) uzeta kao krajnja za koje su analizirane potrebe, realiziralo 50% planiranih zahvata na površinama potencijalno pogodnim za navodnjavanje, proizlazi da bi potrebe za navodnjavanjem na kraju tog razdoblja iznosile oko 29,5 mil. m³ vode. Za sada nema nekih čvrstih kvantificiranih podataka o zahvaćenim količinama vode za navodnjavanje iz lokalnih vodozahvata (najčešće se radi o bunarima za crpljenje podzemnih voda), ali se na temelju oskudnih informacija o zastupljenosti navodnjavanih površina može procijeniti da se te količine kreću reda veličine značajnije ispod 1 mil. m³ vode godišnje.

Prema spomenutom dokumentu (IGH PC Rijeka, u izradi), postojeće stanje u vodoopskrbi Istarske županije je takvo da je referentne 2005.g. na području Istre zahvaćeno ukupno 30,679 mil. m³ vode, od čega je isporučeno korisnicima na području istarske županije 19,026 mil. m³ vode. Za zaključno odabranu 2021.g., predviđeno je povećanje ukupnih isporučenih količina voda na 24,298 mil. m³ vode, a što, uz isti međuodnos zahvaćenih i isporučenih količina vode kao u 2005.g., daje ukupne potrebe za zahvaćanje od 39,269 mil. m³ vode. Korištenje tehnoloških voda nije

obuhvaćeno spomenutim vodoopskrbnim planom. Najveći postojeći potrošač je HEP TE Plomin sa zahvatom voda na Bubić jami, s ukupno zahvaćenim količinama u 2005.g. od 0,698 mil. m³ vode, a s najvećom godišnjom potrošnjom tijekom 2002.g. (0,808 mil. m³ vode). Na osnovu tih podataka i podataka o zahvatima ostalih korisnika tehnoloških voda na području Istarske županije, procjenjuje se da se sadašnje količine tako zahvaćenih voda kreću do oko 1 mil. m³ vode, a da bi se za 15-tak godina te količine mogle udvostručiti na 71 mil. m³ vode.

Usporede li se iskazane sadašnje i planirane ukupne potrebe za vodom, vidljivo je da bi u slučaju ostvarivanja danih planskih pretpostavki kroz 15 g. ukupne potrebe za vodom mogle narasti na oko 71 mil. m³ vode. To je više od dvostruko u odnosu na postojećih 31,5 mil. m³ zahvaćenih voda, a koje količine u kritično sušnim hidrološkim godinama ujedno predstavljaju i limit koga pružaju zahvaćena prirodna izvorišta i akumulacija Butoniga. Naime, izgrađena višenamjenska akumulacija Butoniga, planirana i kao akumulacija za navodnjavanje, sa svojim problemima vezanim uz loše projektne procjene njene vodne bilance i velikih voda, kao i problemima vezanim uz osiguranje primjerene kakvoće vode za rad uređaja za kondicioniranje pitkih voda (Građevinski fakultet Rijeka, 2003), u nepovoljnim hidrološkim prilikama neće moći zadovoljiti ne samo planirane potrebe za navodnjavanje, nego niti postojeće vodoopskrbne potrebe. Korisnik akumulacije - Istarski vodovod iz Buzeta ima koncesijski odobrene količine zahvata od 10.0 mil m³ godišnje, i to za postojeće stanje - izgrađenu I fazu uređaja za kondicioniranje kapaciteta 1,0 m³s⁻¹, dok je u konačnoj fazi planiran maksimalni kapacitet uređaja od 1,945 m³s⁻¹. Dakle, u uvjetima kritično sušnih razdoblja, ne samo da neće biti moguće zadovoljiti 1,3 m³s⁻¹ potreba vode za navodnjavanje iz te akumulacije u mjesecu najveće potrošnje do 2030. godine (Hrvatske vode VGO Rijeka, 1998), već je uz nastavak procesa koji se odvijaju u akumulaciji, i sama vodoopskrbna funkcija akumulacije upitna pri stanjima nižih razina vode. Tako dane nerealno optimističke postavke o mogućnosti korištenja vode za navodnjavanje iz akumulacije su revidirane (Hrvatske vode VGO Rijeka, 2005), odnosno ublažene na način da se konstatira da teoretski postoji mogućnost osiguranja 6,943 mil. m³ vode za navodnjavanje uz osiguranje vodoopskrbnih količina od 9,283 mil. m³, odnosno za slijedećih 20-tak godina dok potrebe za vodoopskrbu na narastu na maksimalno 800 l/s. U tom smislu konstatirano je da se iz ove akumulacije ne može dugoročno računati na korištenje vode za navodnjavanje. Ocjena autora ovoga rada je da je problem akumulacije Butoniga još i daleko značajniji, te da je i njena vodoopskrbna funkcija ugrožena tijekom kritičnih hidroloških razdoblja. To, uz neke moguće zahvate sa optimalizacijom korištenja vodnih zaliha u akumulaciji i povećanjem samog akumulacijskog/ih prostora u slivu Butonige, implicira na očekivano povećanje

količine voda koje će se za potrebe vodoopskrbe, ali i navodnjavanja, u perspektivi osiguravati iz priobalnih vodonosnika.

Uz moguću izgradnju nekih od ranije planiranih većih akumulacija za navodnjavanje na površinskim vodotocima Istre, za osiguranje dijela potreba vode za navodnjavanje za očekivati je da će se razviti i koncept povezivanja vodoopskrbnih sustava sa sustavima za osiguranje vode za navodnjavanje. To se povezivanje može ostvariti na način da se manje površinske akumulacije koje bi se gradile u blizini navodnjavanih površina kombinirano prihranjuju - vlastitim dotocima, podzemnim vodama (koje bi se za potrebe punjenja akumulacija crpile u razdoblju njihovih povećanih dotoka i situacijama bez rizika od zaslanjivanja), a takve bi se akumulacije mogle prihranjivati i viškovima iz vodoopskrbnog sustava tijekom razdoblja s manjim vodoopskrbnim potrebama od preljevnih kapaciteta izvorišta uključenih u vodoopskrbni sustav. Takvo je rješenje sugerirano prilikom analize vanjskih voda grada Rovinja (Građevinski fakultet Rijeka, 2004), kao protuteža već započetog razvoja suprotnog koncepta - neposredna opskrba navodnjavanih površina iz javnog vodoopskrbnog sustava (Istarski vodovod, 2003). Prema tom je dokumentu tijekom razdoblja 1995.-03. na području Rovinja izgrađeno ili je bilo u gradnji preko 28 km mreže cjevovoda namijenjene isključivo navodnjavanju neposredno iz vodoopskrbnog sustava, pri čemu je osigurana i povlaštena cijena vode koju korisnici plaćaju u odnosu na cijenu vode za vodoopskrbu. Takav pristup, u slučaju njegova proširenja u smislu da postane neki od generalno prihvaćenih i preporučenih koncepata pri razvoju navodnjavanja u Istri ili nekim drugim priobalnim područjima, u konačnici bi mogao ugroziti i samu vodoopskrbu tijekom kritičnih sušnih razdoblja. Stoga je primjerenije da se u sličnim situacijama dozvoli neposredno korištenje vode za navodnjavanje samo u razdobljima kada vodoopskrbni sustav ima evidentne viškove voda, tijekom kojih razdoblja bi se mogle puniti i akumulacije koje bi trebale služiti za osiguranje vode za navodnjavanje tijekom kritičnih sušnih razdoblja. Povoljnija je varijanta ukoliko bi se takvi zahvati vode za navodnjavanje vezani uz vodoopskrbne sustave mogli realizirati separatno - odvajanjem vodoopskrbnih potreba na samim vodozahvatima izvorišta prije procesa kondicioniranja voda. No, nije isključena mogućnost tehnoeekonomske opravdanosti osiguranja vode za navodnjavanje i punjenjem takvih akumulacija vodom iz vodoopskrbnog transportnog sustava, koristeći i vodu koja se ispušta prilikom uobičajenih sezonskih pranja magistralnih cjevovoda.

No, bez obzira na koncept i način realizacije sustava za navodnjavanje, sigurno je da će navodnjavanje u priobalnim područjima povećati crpljenja podzemnih voda i u rizičnim zonama u kojima se javlja kontakt slatke i slane vode. To, u slučajevima neprimjerenog upravljanja korištenjem tih vodnih zaliha, može potencirati i dublje prodore mora u krški vodonosnik. Stoga je

jedan od ciljeva ovog rada upozoriti na te procese kako bi se usporedno sa sustavima za navodnjavanje i njihovim zahvatima voda, izgradili i odgovarajući upravljački i kontrolni mehanizmi. U protivnom, precrpljivanjem vodnih resursa će biti ugroženi i navodnjavani sustavi, i vodoopskrba, a prijeteći i ekološka devastacija vodnih resursa. Klimatske promjene (ili varijacije) s prisutnim izraženim negativnim trendovima smanjenja vodnih zaliha (protoka u vodotocima i na izvorima, te razina podzemnih voda u vodonosnicima), uz prisutne trendove porasta razine mora za koje većina znanstvenika očekuje i da će se tijekom ovog stoljeća još i povećati, dodatno osložnjavaju mogućnosti korištenja postojećih priobalnih vodnih resursa.

Vodoopskrba i navodnjavanje su i trebaju biti povezani, ali prije svega u smislu zajedničke brige oko optimalnog korištenja raspoloživih vodnih resursa, naročito na prostorima gdje su ti resursi ograničeni. Ne manje važan je i drugi aspekt međudnosa navodnjavanja i vodoopskrbe, a vezano je uz utjecaj navodnjavanja na kakvoću vode, no koji nije predmet ovog rada.

5. PRIMJERI OSOBITOSTI PRIOBALNIH KRŠKIH IZVORA I VODONOSNIKA SJEVERNO-JADRANSKOG PODRUČJA I RIZICI NJIHOVA ZASLANJIVANJA

Namjera ovoga poglavlja je da prikaže neke osobitosti vodnih resursa analiziranog područja, te upozori na probleme vezane uz kontakt slanih i slatkih voda, kako vezano uz postojeće stanje, tako i u uvjetima njihova očekivanog povećanog korištenja ukoliko se ostvare planske pretpostavke razvoja navodnjavanja i vodoopskrbe. Pri provedenoj analizi resursi se nisu dijelili na uvjetno rečeno vodoopkrbne resurse i resurse za navodnjavanje. Razlog takvog pristupa je što s jedne strane takva podjela niti na terenu, a niti u relevantnoj planskoj vodnogospodarskoj dokumentaciji zapravo i ne postoji. S druge strane, i mehanizmi mogućeg zaslanjivanja vodnog resursa u uvjetima njegova precrpljivanja, a time i rizici zaslanjivanja, su neovisni o namjeni vodnih resursa. Zbog toga će se uglavnom na primjerima zaslanjivanja izvorišta vode za vodoopkrbu dati i naznake problematike vezane uz moguća zaslanjivanja i drugih priobalnih izvora i vodonosnika vezana uz očekivano vrlo značajno povećanje korištenja voda za navodnjavanje.

Pregled osobitosti priobalnih krških izvora i vodonosnika dat je u kontekstu osobnih autorovih neposrednih iskustava na pojedinim istraživanjima s analiziranog prostora. Zbog nedostatka informacija i osobnih iskustava, neka su područja sjeverno-jadranskih priobalnih vodonosnika, s prisustvom također respektabilnih rezervi podzemnih voda, izostavljena iz predmetne analize. Radi se prije svega o rubnom području sjeverne Istre (gdje su u

dolini Dragonje kaptirani izvori Bužin i Gabrijele, te interesantne pojave vode u napuštenim sečovljanskim ugljenokopima), izvorima u Rijeci (Martinščica) i Bakru (Perilo, dobra i Dobrica). To ne znači da su ti lokaliteti manje značajni ili manje interesantni kao potencijalni vodni resursi za vodoopskrbu ili navodnjavanje, već ih se jednostavno u nedostatku originalnih informacija o rezultatima istraživanja nije moglo na odgovarajući način obraditi. Isto tako, iz prikaza koji slijede vidljivo je da su neki od obrađivanih lokaliteta dani s detaljnijom razinom sagledavanja, a kod nekih je zadržana generalna razina sagledavanja. Taj je izbor bio pak ovisan o razini dokumentiranosti opisanog problema u ranijoj publiciranoj literaturi kako bi se izbjegla ponavljanja, o tome da li se opisivana problematika namjerava publicirati u nekom od pripremanih radova, te posebno vezano uz ocjenu interesantnosti opisanog problema za generalizaciju nekih zaključaka o funkcioniranju priobalnih krških vodonosnika ili o načinu njegova istraživanja.

5.1. Područje zapadne obale Istre

Područje zapadne obale Istre pripada u geološkom smislu zapadnoistarskoj antiklinali koju karakterizira relativno kompaktan prostor, bez ili sa vrlo malo površinskih vodotoka, unutar kojega je formiran prostran krški vodonosnik. Taj prostor razdvajaju doline Mirne koja tu ima i svoje ušće, te dolina uglavnom suhe drage Tinjanske vale koja se nastavlja u Linski kanal.

U zaleđu i okruženju većih gradova i naselja (Rovinj, Poreč, Novigrad, Umag postoje i značajnije poljoprivredne površine unutar kojih je već odavno, većim dijelom na početku i prije 20. stoljeća, izvedeno niz kopanih zdenaca - uglavnom za opću uporabu stanovništva i minorno zalijevanje povrtlarskih kultura. No, bilo je i značajnijih bunara iz kojih se do izgradnje vodoopskrbnog sustava Istarskog vodovoda vršila i vodoopskrba priobalnih gradova. Na takve je bunare u Dugom polju (Campo Longo) nekada bila oslonjena i vodoopskrba Rovinja, da bi kasnije ti bunari promjenili namjenu u izvorišta tehnološke vode tvornice Mirna - Rovinj. Osamdesetih, a naročito devedesetih godina prošlog stoljeća, došlo je do ekspanzije izvedbi niza bušenih bunara za potrebe poljoprivrede. Ti su bunari uglavnom izvađani na parcelama neposredno zainteresiranih poljoprivrednika - ujedno i investitora takvih zahvata, bez pripremnih istražnih radova, te bez suglasnosti i kontrole nadležnih službi. Najviše je bunara izvedeno u priobalnim područjima s najnižim kotama terena, gdje su dubine bušenja do vodnog lica podzemne vode najmanje, najveći uspjesi u pogledu osiguranja dotoka u bunar, ali i najveća moguća zaslanjenja.

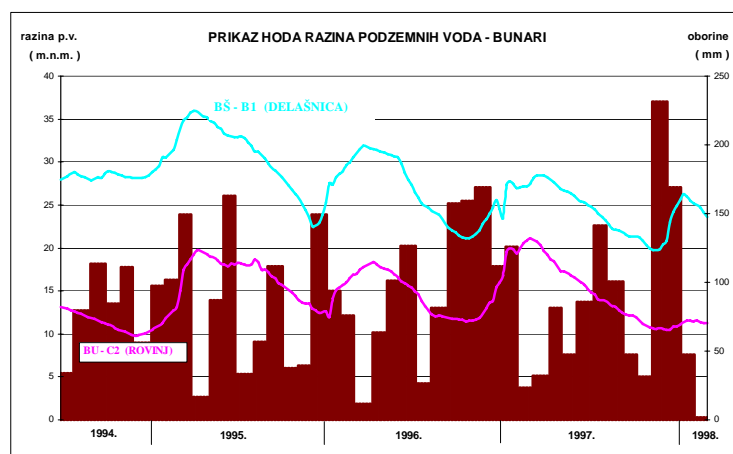
Na osnovu podataka provedenih osmatranja razina vode na odabranim lokalitetima na području zapadne obale Istre i povremenih uzorkovanja kakvoće vode u razdoblju od sredine 1994. pa do zaključno 2002., koje je

vodio GEO-5 iz Rovinja, utvrđene su interesantne zakonitosti. Generalno gledajući, utvrđeno je prisustvo povećanog sadržaja klorida u vodama bunara koji su locirani bliže morskoj obali, a koje su ujedno karakterizirale i niže razine podzemnih voda. Taj je sadržaj klorida na pojedinim lokalitetima bio povišen u tolikoj mjeri da je onemogućavao mogućnost korištenja voda iz tih bunara za navodnjavanje. Tijekom pojedinih godina broj lokaliteta na zapadnoj obali Istre (na potezu Umag - Rovinj) na kojima su provedena spomenuta opažanja GEO-5 (sa 7-dnevnom diskretizacijom očitavanja) varirao je do oko 10-tak. No, na istraživanom prostoru ima daleko veći broj bunara. Nažalost, među njima nije poznat ni broj bunara koji se koriste za navodnjavanje, ali nije niti odviše broj. No, za pretpostaviti da se, pogotovo na području Rovinja, njima ipak crpe respektabilne količine voda. S obzirom na nekontrolirani pristup, u sve većoj mjeri zapažaju se posljedice precrpljivanja nekih bunara na priobalnom dijelu vodonosnika, kao i njihovo zaslanjenje. Ti se bunari onda neko vrijeme i dalje koriste, dok sadržaj soli u vodi i navodnjavanom tlu ne počinje izazivati trajne degenerativne promjene na biljkama.

S obzirom na količine oborina te na pojedinim dijelovima tako široko rasprostranjenog vodonosnika vrlo dobre hidrogeološke značajke terena, iz vodonosnika analiziranog zapadno-istarskog prostora moguće je zahvatiti puno značajnije količine voda. No, radi zaštite od zaslanjenja, nužno je takve zahvate ostvarivati dublje u zaleđu, na način da se između bunarskih polja i obale mora može stvoriti dovoljno stabilna i visoka vodna leća podzemnih voda koja bi držala branu od daljnjih većih prodora mora (Slika 12). U slučaju postojanja dovoljno stabilne vodne leće, dublje u zaleđu može se ići i na sezonska precrpljivanje vodonosnika tijekom sušnih razdoblja, te korištenje i statičkih vodnih rezervi podzemnih voda.

Dijelovi vodonosnika analizirane zapadnoistarske antiklinale koji su značajnije udaljeni od priobalja imaju mogućnost i sezonskog i višegodišnjeg akumuliranja i izravnjanja vodnih zaliha, dok priobalni dijelovi imaju samo unutargodišnje - sezonske oscilacije vodnih i sušnih razdoblja. Blizina mora kao najniže drenažne baze uvjetuje rubne uvjete dreniranja podzemnih voda. Dakle, takvi bunari nemaju mogućnost da uvjetno rečeno "pohranjuju" vodne rezerve iz vodnih hidroloških godina i prenose ih u sušnije godine. Na Slici 17 dan je usporedni prikaz primjera hoda kolebanja razina vode na dva karakteristična bunara - BŠ-B1 Delašnica lociranoj u zaleđu Poreča na udaljenosti od 8 km od mora, te bunaru BU-C2 u Rovinju, cca 2,5 km udaljenom od mora. Iz nje je vidljivo da su povoljne hidrološke prilike iz 1994.g. (a koje su pak posljedice iznimno vodnog razdoblja na kraju 1993.godine) kod bunara BŠ-B1 utjecale na dinamiku i raspone opaženih vodostaja i tijekom nekoliko narednih godina. Nasuprot tome, hod kolebanja razina podzemnih voda u zaleđu Rovinja neposrednije je

ovisan o stanju hidroloških prilika tijekom tih godina. Zbog toga je na nešto vodnije prilike krajem 1996.g. jače (u smislu raspona promjene razina voda) reagirao bunar BU-C2, ali s nešto većim vremenskim zakašnjenjem potrebnim da se dotoci vode iz središnjih dijelova vodonosnika dreniraju prema rubnim dijelovima vodonosnika. Dakle, uočljivo je da središnjem dijelu Istre bliži BŠ-B1 vremenski dulje "pamti" stanje hidroloških prilika, te mu razina vode, osim o sezonskim oborinskim prilikama tijekom godine, bitno ovisi i o stanju hidroloških prilika tijekom prethodnih godina. Zbog toga su mu i minimumi tijekom triju uzastopnih godina (1995.-1997.) sve izrazitiji, a isto tako su i sve niži zabilježeni maksimumi. Zabilježena kolebanja na BU-B2 uglavnom osciliraju unutar sličnih raspona vodostaja, te pokazuju dominantan utjecaj sezonskih hidroloških prilika. To na lokalitetima bliže moru, odnosno na lokalitetima gdje je veća interakcija slane i slatke vode u tim rubnim dijelovima vodonosnika, može imati za da se posljedicu brže pražnjenje vodonosnika u slučaju njegova precrcpljivanja, te uvlačenje zaslanjenih voda u te dijelove vodonosnika.



Slika 17 - Međudodnos palih oborina i kolebanja razine vode u zdencima BŠ-B1 i BU-C2 na području zapadne obale Istre (1994.-1997.)

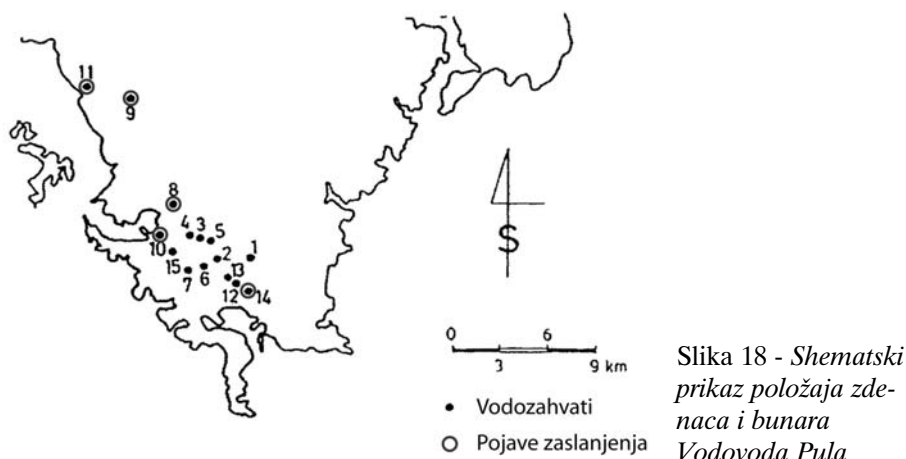
Vezano uz problematiku zaslanjenja voda zapadne obale Istre, za spomenuti je i međuutjecaje površinskih voda Mirne i voda u obuhvatnim kanalima sa zaslanjenim morskim vodama. Tijekom radova na izradi dvaju dokumenata - najprije studije navodnjavanja Donje Mirne (Vodoprivreda Rijeka, 1986), a onda i idejnog projekta (Vodoprivreda Rijeka, 1989), provedeno je tijekom 1986. i 1987.g. nekoliko serija uzorkovanja sadržaja klorida u vodama Mirne i kanalima hidromelioracijskog sustava. Isto tako, za potrebe ocjene izdašnosti izvora na području desne obale doline rijeke Mirne provedeno je i nekoliko serija vodomjerenja i uzorkovanja sadržaja klorida tijekom 1993.g. (JVP istarskih slivova, 1993). Spomenutim serijama

uzorkovanja, utvrđeno je da se u situacijama malih voda povišeni sadržaj klorida (275 mg Cl/l) zapaža na dionici toka Mirne čak i na profilu Portonskog mosta, lociranom 13,2 km uzvodno od ušća Mirne, a nekoliko km nizvodnije koncentracije klorida približavaju se i podatku od 2000 mgCl/l. Sadržaji klorida u kanalskoj mreži unutarnje odvodnje kretali su, ovisno o lokaciji i vremenu uzorkovanja, između nekoliko stotina pa do nekoliko desetaka tisuća mgCl/l, a što je posljedica neposredne infiltracije mora u branjeni kanalski sustav. Povećane koncentracije klorida zapažene su i u vodama nizvodnog dijela obuhvatnih kanala hidromelioracijskog sustava Donje Mirne, posebno desnoga obuhvatnoga. Povećani sadržaj klorida u tim vodama iznosio je od nekoliko stotina, pa do blizu 1000 mgCl/l. Na taj način zaslanjuju se vode, a dijelom i vodonosnici, više krških izvorišta lociranih na rubu doline Mirne, čije vode, kao i vode gravitirajućih bujičnih slivova te padinske oborinske vode, prikupljaju obuhvatni kanali. Rješenje koje bi omogućilo smanjenje zaslanjenja tih voda, kao i voda u kanalskoj mreži unutarnje odvodnje, te njihovo djelomično korištenje za navodnjavanje, je izgradnja zapornice na ušću obuhvatnih kanala. S automatskom regulacijom položaja zapornice u ovisnosti o količini vode u kanalu, bilo bi moguće zaustaviti progradaciju morskoga klina vode uzduž kanala. Općenito gledajući, takvo je rješenje moguće i u samome koritu Mirne, no za sada s teško dokazivom isplativošću. Najbliže realizaciji je rješenja izvedbe zapornice na lokaciji obuhvatnog kanala hidromelioracijskog sustava Donje Raše, a kojime bi se od povremenih zaslanjivanja štitile i vode izvorišta Fonte Gaia - Kokoti, uključenih u vodoopskrbni sustav Vodovoda Labin.

5.2. Područje južne Istre

Južna Istra, odnosno područje Pule i njezina zaleda, je zona s najintenzivnijim crpljenjima podzemnih voda priobalnih krških vodonosnika ne samo u Istri, nego i na čitavom hrvatskom priobalju. Zbog toga su se tu najprije ispoljili i štetni antropogeni utjecaji - kako u smislu vrlo velikih onečišćenja podzemnih voda (Stojanović i Dravec, 2005) zbog kojih je za javnu vodoopskrbu i izgubljen sada već i najveći dio bunara uključenih u sustav Vodovoda Pula (Radetić i Medančić, 2001), tako i u vidu pojava zaslanjenja rubnih dijelova vodonosnika (; BONACCI-HIDRO-GEO, 1997; Bonacci i Roje-Bonacci, 2000, Rubinić, 1999). Krajem 19. te početkom 20.-tog stoljeća započela javna vodoopskrba na području Pule na način da su izvedeni zdenci koji su kopani u blizini prethodno hidrogeološki i speleološki ispitanih jama s vodom. Takvim pristupom ostvareni su vodozahvati u dinamički aktivnijim zonama cirkulacije podzemnih voda, te su dobivene i vrlo povoljne izdašnosti izvedenih zdenaca. Tako se izdašnosti većih kopanih zdenaca kreću od nekoliko l/s pa do 40-tak, kolika je

uobičajena izdašnost zdenca Jadreški u Puli tijekom sušnih razdoblja. Značajnije manje izdašnosti imaju bušeni bunari, no koje na pojedinim lokacijama karakterizira značajna brojnost. U najvećoj mjeri radi se tu o privatnim bušenim bunarima za potrebe navodnjavanja, iako ima i nekoliko bušenih bunara i u sustavu Vodovoda Pula. Tako je prilikom izrade katastra bušenih zdenaca južne Istre, na analiziranoj površini od oko 400 km², utvrđeno 1137 bušenih bunara (HGI d.o.o., 1997), odnosno s tijekom posljednjih desetak godina novoizbušenim bunarima dolazi se do brojke od oko 3 bunara/km². No, iako je samo manji dio tih bunara u funkciji, obzirom na njihovu brojnost, na pojedinim se lokalitetima zapažaju i kumulativni štetni utjecaji takvog precrcpljivanja. Na Slici 18 dan je shematski prikaz položaja zdenaca i bunara Vodovoda Pula, a u Tablici 1 prikaz karakterističnih razina podzemnih voda i raspon zabilježenih klorida.



Iz dane Tablice 1 vidljivo je da su se problemi sa povećanim sadržajem klorida (> 200 mgCl/l) javljali čak na 5 od 15 zahvata voda koje Vodovoda Pule ima iz vodonosnika južne Istre. Najizloženiji procesima zaslanjivanja u eksploataciji pokazali su se zdenac Peroj, svojevremeno iskopan radi osiguranja vodoopskrbe Brijuna, koji je jedini od zahvata upravo zbog zapaženih sve učestalijih i dugotrajnijih zaslanjenja i isključen iz eksploatacije. Svi ostali zdeneci i bunari isključeni su iz eksploatacije zbog prisutnih onečišćenja podzemnih voda izazvanih neprimjerenim gradskim sadržajima i poljoprivrednom aktivnošću u zoni njihova utjecaja. Bunar Ševe nije u uobičajenoj eksploataciji zaslanjivao, već je registrirani povećani sadržaj klorida rezultat njegova probnog precrcpljivanja od strane Vodovoda Pula. Tom je prilikom provedeno sniženja razine vode u njemu do ispod -5 m ispod razine mora, a kako bi se utvrdio da li postoji mogućnost prodora mora u taj dio njegova vodonosnik. Pojave zaslanjenja priobalnih bunara i

zdenaca još su očitije kod takvih zahvata privatnih investitora, no na žalost s nedovoljno i provedenih analiza, i nedovoljno poznatih rezultata i njihovih interpretacija. Ipak, dio tih rezultata sadržan je u godišnjim izvještajima o opažanjima razina podzemnih voda koje je, kao što je prethodno spomenu- to, tijekom razdoblja 1994.-2002. provodio GEO-5 iz Rovinja.

Tablica 3 - Prikaz karakterističnih parametara zdenaca Vodovoda Pula (Rubinić, 1999)

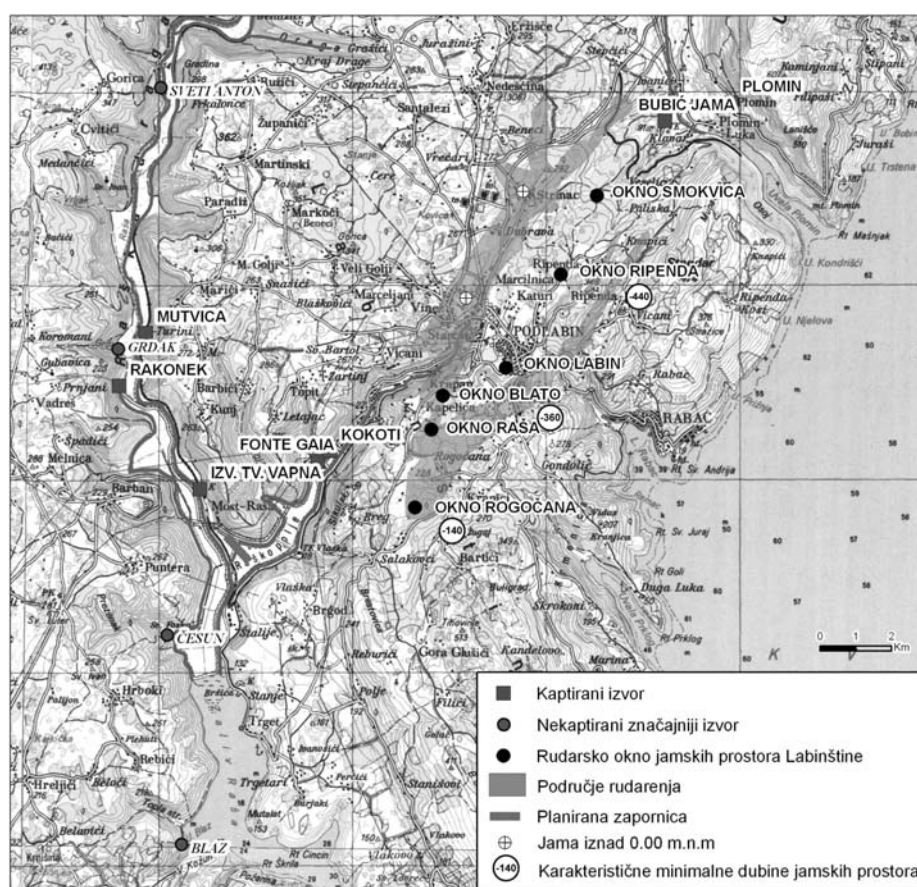
RED. BROJ	NAZIV ZAHVATA	KARAKTER	SR.GOD.. CRPLJ. (l/s)	KAPAC. PO KONCES. (l/s)	MIN. VODOSTAJ (m n.n.)	SR.VODOSTAJ (m n.n.)	MAX. VODOSTAJ (m n.n.)	SALINITETI (mgCl/l)
1.	Šišan*	kopani zdenaci u razdoblju 1897.-1911.	25	28	-2.91	3.26	13.81	59 - 95
2.	Jadreški*		32	39	-0.70	3.08	16.76	52 - 118
3.	Valdragon 3		8	13	-1.53	1.22	8.19	35 - 87
4.	Valdragon 4		10	12	-2.00	1.30	8.49	43 - 85
5.	Valdragon 5		5	7	-2.18	3.74	13.97	30 - 83
6.	Skatari		3	8	-1.32	4.06	19.53	37 - 75
7.	Fojbon		6	8	-2.20	2.76	15.40	27 - 74
8.	Tivoli		34	34	0.60	2.07	4.44	30 - 1740
9.	Karpi		7	11				13 - 325
10.	Karolina	izvor	35	nema kon.	0.30		1.67	> 200
11.	Peroj	1954. kop. zdenac	1	6	-0.81	0.66	8.19	18 - >200
12.	Campanož	bušeni bunari	16	22	-0.70 (-1.10??)	3.99	9.09	35 - 105
13.	Lokvere		4	nema kon.	-3.80 (-5.30??)	8.22	23.50	40 - 73
14.	Ševe		8	10	-5.45	2.03	13.00	58 - 240**
15.	Rizzi		9	nema kon.	-4.58	1.44	6.30	35 - 65

* - zdenaci u eksploataciji - ostali napušteni zbog problema s kakvoćom voda

No, precrcpljivanje na svakom lokalitetu ne mora imati za posljedicu i zaslanjenje podzemnih voda u toj zoni. Ukoliko se vodi računa o globalnoj raspodjeli nadpritisaka podzemnih voda na nekom prostoru i dinamici njihova kolebanja, to može i mora biti osmišljeni način pridobivanja većih eksploatacijskih količina podzemnih voda na račun sezonskog korištenja njihovih statičkih rezervi (Rubinić, 1999). Prema Urumoviću (2000), formiranje krškog vodonosnika južne i jugozapadne Istre uvjetovano je rubnim uvjetima i pojavom raštrkanih kaverni koje su međusobno povezane pukotinama i prslinama. U dostatno velikom mjerilu ovakva vodonosna sredina može se promatrati kao porozni sustav u kojemu se usporava gibanje podzemnih voda i održava saturiranost vodonosnika i u dugim sušnim razdobljima. U takvim uvjetima izvodivo je crpljenje podzemnih voda uz snižavanje razine podzemne vode u zdencima i nekoliko metara ispod razine mora. Pri tome, dosezanje prodora morske vode ovisi o odnosu specifičnog otjecanja i regionalne hidrauličke vodljivosti vodonosnika. To znači da je pri eksploataciji podzemnih voda nužno održavati i otjecanje voda u more radi održavanja ograničenog prodora morske vode u vodonosnik.

5.3. Područje doline i ušća rijeke Raše i Boljunčice i njihova zaleđa

Slivna područja rijeka Raše i Boljunčice izgrađena su od karbonatnih naslaga krede paleocena i eocena, te od klastičnih (flišnih) naslaga eocena, dok su njihova korita usječena u kvartarnim nanosima. To područje je reljefno jako izraženo uslijed dugotrajnih i snažnih geotektonskih pokreta i navlačenja istočnih rubova - od Koromačna, preko Labina, Ripende, Plomina i dalje na sjever Ćićarija sa Učkom (Slika 19). Geomorfološke struktura Raškog i Plominskog zaljeva formirane su pred oko 18.000 godina, na prijelazu virma u holocen, kada je došlo do naglog dizanja razine mora (Šegota, 1968).



Slika 19 - Prikaz položaja lokacija izvorišta na području ušća Raše i Boljunčice

Raški zaljev (estuarij) je nastao potapanjem prethodno formiranog riječnog korita i riječne doline koje su formirane kontinuiranim procesima erozije tijekom posljednjeg virmkog glacijala (Benac i drugi, 1991). Karakteriziraju ga značajni sedimentacijski procesi koji utječu na

progradaciju ušća u Raški zaljev. Na tom je prostoru sredinom tridesetih godina prošlog stoljeća izgrađen hidromelioracijski sustav koji je dijelom utjecao i na režim otjecanja prirodnih krških izvora koji se nalaze u tom području. Taj je sustav izgrađen na području ušća rijeke Raše u Raški zaljev, kada je sustavom nasipa, obuhvatnih i sabirnih kanala uređeno oko 4 km² poljoprivrednog zemljišta na prethodno močvarnom tlu, kao i području koga je zauzimalo jezera Krapanj. Najvažniji izvori toga područja su Rakonek koji je uključen u vodoopskrbni sustav Vodovoda Pula, izvorišta Fonte Gaia - Kokoti i Mutvica koji su uključeni u vodoopskrbni sustav Vodovoda Labin, te nekoliko drugih nekaptiranih izvora kao Grdak, Blaz i Česuni (Slika 19). Plominski zaljev je formiran potapanjem dijela Plominske drage. Prokapanjem 4,5 km dugog tunela Čepić-Plomin u periodu 1932.-1933. godine u svrhu isušivanja Čepićkog jezera, bitno je povećana dinamika sedimentacije u Plominskom zaljevu odnosu na prvotno stanje. Na prostoru Plominskog zaljeva nalazi se i više krških priobalnih izvorišta i vrulja, kao i Bubić jama - krška jama s vodom koja se koristi kao vodozahvat tehnoloških voda TE Plomin. Između dvaju spomenutih zaljeva nalazi se prostor nekadašnjih ugljenokopa Labinštine, a koji je po prestanku rudarenja predstavlja i potencijalno interesantan vodni resurs.

Obzirom na različit stupanj otvorenosti kontakta kojeg vodonosnici spomenutih izvorišta imaju s morem, različite su i manifestacije pojava zaslanjenja. U nastavku će se opisati neki od karakterističnih primjera zabilježenih pojava.

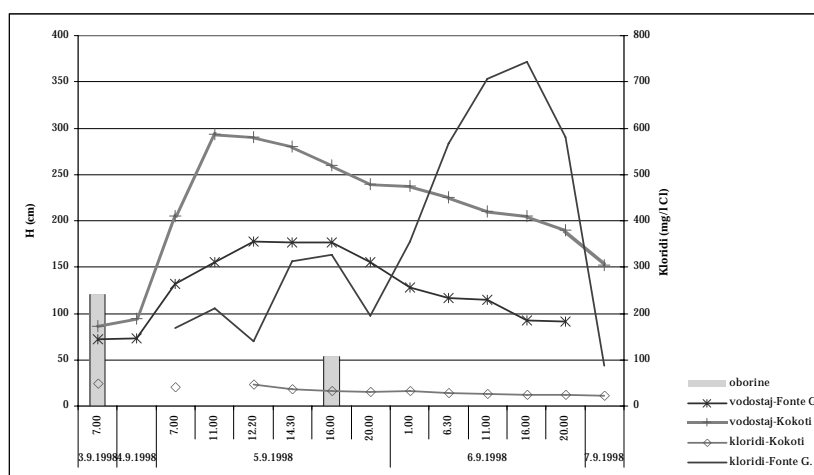
5.3.1. Izvorište Fonte Gaia - Kokoti

Izvorište Fonte Gaia - Kokoti sastoji se od dvaju kako hidrološko-hidraulički, tako i tehnički povezanih crpilišta međusobno udaljenih 270 m. Locirano je na rubu vapnenačke stijenske mase i doline rijeke Raše, odnosno Raškog zaljeva. Godišnje se s ovoga izvorišta iscrpi oko 3 mil. m³ vode, a što zadovoljava oko 80% od ukupnih postojećih potreba za pitkom vodom područja Labinšćine. Izvorišna zona Fonte Gaia - Kokoti nalazi se uz hidromelioracijski sustav Donje Raše, na početku tzv. desnoga obuhvatnog kanala br. 2. Taj kanal uz vanjske oborinske vode prihvaća i preljeve vode ovih dvaju izvorišta, te ih transportira u Rašu. Ušće Raše karakteriziraju intenzivni procesi sedimentacije nanosa iz gornjih dijelova sliva (Juračić i drugi, 1995), koji imaju utjecaj na formiranje rubnih uvjeta otjecanja spomenutih krških izvora na tom prostoru (Rubinić i Ožanić, 1999).

Sustav izvorišta Fonte Gaia - Kokoti može se, u smislu bilančnih pokazatelja tretirati kao jedan hidrološki sustav, iako svaki od spomenutih izvorišnih ogranaka ima svoj mehanizam pražnjenja i rubne uvjete međudonosa s morskom vodom. Zaslanjena voda u kontakt s krškim vodonosnikom dolazi uvlačeći se tijekom sušnih razdoblja spomenutim obuhvatnim kanalom br. 2. Naime, geometrija kanala, odnosno položaj njegovog dna koji je niži od razine mora, uvjetuje da kad oslabi dotok preljevnih voda spomenutih izvorišta i niza manjih izvora lociranih na kontaktu kanala i karbonatnog zaleđa, pod utjecajem plime i oseke dolazi do uvlačenja klina

morske vode u kanal te dalje i u rubne dijelove priobalnog vodonosnika s kojim je u neposrednom kontaktu. Ukupna srednja godišnja izdašnost ovoga sustava izvorišta za analizirano razdoblje 1994.-2002. iznosi oko 0,475 m³s⁻¹, a srednja godišnja količina crpljenih voda iznosi oko 0,059 m³s⁻¹. Tijekom ljetnih sušnih razdoblja maksimalna dnevna količina crpljenja dosežu i preko 0,140 m³s⁻¹. Preljevi oba izvorišna ogranka redovito presušuju (posljedica crpljenja), a maksimalne protoke kreću se do oko 3 m³s⁻¹ kod Fonte Gaia te do 8,7 m³s⁻¹ kod Kokota. Srednja razina vode na Fonte Gaia iznosi cca 0,80 m n.m., a kod Kokota cca 1,5 m n.m. U normalnim se uvjetima saliniteti voda na izvorištu kreću između 15 i 68 mg/l Cl, ali je u nekoliko navrata zabilježeno i nekoliko pojava značajnijeg porasta saliniteta tijekom dugotrajnih sušnih razdoblja koji su kratkotrajno ugrozili i vodoopskrbu (Rubinić i drugi, 2000). Tako je tijekom ljetnog razdoblja 1993. i 1996.g., za trajanja izrazite suše i povećanih crpljenja vode, na vodozahvatu Kokoti došlo do postupnog povećanja saliniteta do 150 mgCl/l s tendencijom daljnjeg povećanja, pa se je u cilju stabilizacije saliniteta moralo reagirati smanjenjem količine crpljenja (Mileta, usmeno priopćenje).

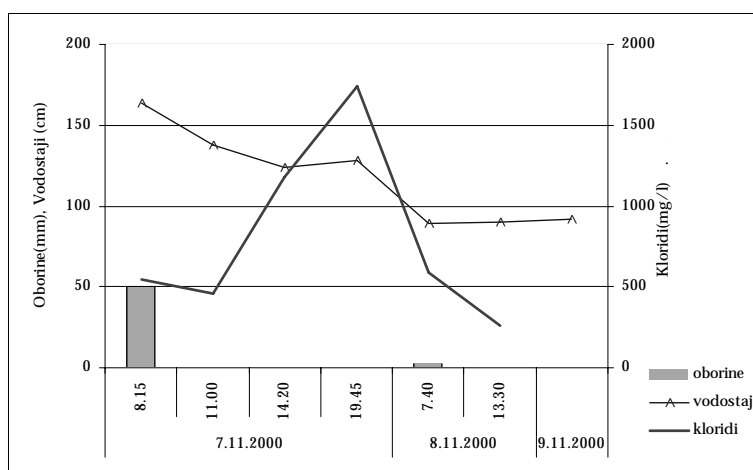
Početkom rujna 1998.g. zabilježena je, kao posljedica iznimno intenzivnih dnevnih oborina nakon dugotrajnijeg sušnog razdoblja. Dne 5.9.1998. palo je 121 mm, a dan iza daljnjih 53,5 mm, što je imalo za posljedicu nagli dotok vode ka izvorima i aktiviranje njihovih preljeva. No, posljedica takvih naglih hidrauličkih prilika u podzemlju bila je i naglo povećanje sadržaja klorida na izvorištu Fonte Gaia do maksimalnih 742 mg Cl / l 30-tak sati nakon zabilježenog vrha hidrograma, a da bi nakon cca 24 sata ti kloridi postupno pali na stotinjak mgCl/l. Istovremeno, na susjednom izvorišnom ogranku Kokoti pojava vodnog vala uzrokovala je najprije jedva primjetno blago podizanje saliniteta s početnih 35 na 41 mgCl/l, a da bi onda nastavilo s oslađivanjem voda i koncentracijama do 17 mgCl/l (Slika 20).



Slika 20 - Prikaz međuođnosna razine vode i saliniteta na izvorima Fonte Gaia i Kokoti (03.-07.9.1998.)

Interesantno je da je nakon tjedan dana istjecanja tako blago zaslanjenih voda na izvoru Fonte Gaia (spomenutih stotinjak mgCl/l), nova značajnija dnevna oborina od 43,2 mm registrirana dne 13.09.1998. izazvala ponovnu pojavu istjecanja zaslanjenih voda, ali manjega intenziteta (420 mgCl/l), nakon čega tijekom daljnja 24 sata slijedi pad na sedamdesetak mgCl/l i konačno stabiliziranje hidroloških prilika na tom izvorištu. Analizirana pojava zaslanjenja može se tumačiti time što je nailaskom većih količina oborinskih voda došlo do povećanja hidrauličkog pritiska u zoni miješanja slane i slatke vode, pa su zarobljeni "džepovi" morske vode u zoni miješanja slane i slatke vode izbačeni iz izvorišne zone na mjestu s najmanjim hidrauličkim otporom - u datom slučaju kroz samo izvorište. Ta je pojava detaljno opisana i analizirana u radu Rubinića i drugih (1999), te se ovdje, osim iznijetih osnovnih podataka i tumačenja, neće ponavljati.

No, to nije bila i jedina pojava ekstremnog zaslanjenja toga izvorišta. Zaslanjenja manjega obima zabilježena su u još nekoliko kasnijih navrata. Po intenzitetu zaslanjenja čak i značajnija pojava u odnosu na prethodno opisanu zabilježena je početkom studenog 2000.g. Također se je manifestirala istjecanjima zaslanjenih voda na samo izvorišnom ogranku Fonte Gaia s maksimalnom koncentracijom od čak 1743 mgCl/l, dok je na istovremeno na Kokotima maksimalna koncentracija iznosila svega 43,8 mgCl/l Cl. Uzrok te pojave bila je također pojava intenzivnih oborina nakon dugotrajnog sušnog razdoblja. Naime, od sredine inače u početnom dijelu vodnog srpnja, tijekom naredna dva i pol mjeseca, tj. zaključno s 1.10.2000. palo je svega 30,9 mm. Nakon toga je uslijedilo razdoblje od deset kišnih dana na početku listopada s ukupno registriranih 138,5 mm oborina na postaji Labin. Slijedilo je ponovno kraće sušno razdoblje da bi u razdoblju 31.10. - 6.11.2000. zabilježeno ukupno 79,7 mm novih oborina. Na tako saturirano tlo s vodom dne 7.11. palo je novih 50,5 mm oborina. Takve su hidrološke prilike uzrokovale naglu promjenu hidrauličkih prilika u podzemlju i spomenuto potiskivanje zarobljene zaslanjene vode kroz sam izvor (Slika 21).



Slika 21 - Prikaz zaslanjenja izvorišta Fonte Gaia (7. - 9.11.2000.)

Nasuprot tome, na drugim izvorima s područja Donje Raše, također visinski relativno nisko položenih ali čiji vodonosnici nisu u neposrednom kontaktu s morem (Rakonek, Mutvica, izvor u tvornici vapna), takve pojave zaslanjenja nisu zabilježene. S obzirom na položaj izvorišne zone Fonte Gaia - Kokoti, ocijenjeno je (Rubinić i drugi, 2000) da bi se hidrotehničkim zahvatima na rekonstrukciji hidromelioracijskog sustava Donja Raša, odnosno izgradnjom zapornice na Obuhvatnom kanalu br. 2 (Slika 19), moglo onemogućiti cirkulaciju mora u neposrednoj okolini izvorišne zone, te time spriječiti uvjete za pojave zaslanjenja na tom izvorištu. Hidrogeološka sagledavanja pogodnosti takvoga rješenja provedena su i potvrđena u elaboratu Geološkoga konzaltinga (2002), a pripremni radovi na rekonstrukciji kanalske mreže koja bi mogla omogućiti uspostavu takovoga rješenja započeti su od strane Hrvatskih voda tijekom 2006.g.

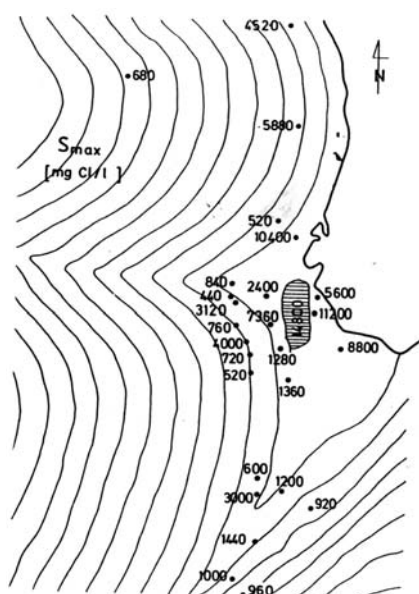
Na taj način bi se od utjecaja mora bi se mogli zaštititi i bočati izvori koji su locirani uz nizvodniji dio toka obuhvatnog kanala, a koji su najviše koncentrirani na lokalitetu Donišnice. Ideja uspostave takve zapornice je da se i podzemne vode s prostora nizvodno od izvora Mutvice, koje se za sada samo minorno koriste samo zahvatom jame s vodom Tvornici vapna kod Mosta Raša, izoliraju od utjecaja mora, te kasnijom izvedbom pogodnih zahvata privedu mogućoj eksploataciji. Izgradnja zapornica na vodotocima koji dvostrano komuniciraju (s morem i s krškim vodonosnicima potencijalno pogodnih izvorišta vode) jedan je od načina zaštite krških izvora od pojave zaslanjenja. Istovremeno, na analiziranoj lokaciji sustava hidromelioracijskog sustava Donje Raše, na taj bi se način mogle osigurati i izvjesne rezerve voda za navodnjavanje, vodeći pri tome računa da se takvim crpljenjima ne ugrozi vodoopskrba.

5.3.2. Izvor Blaz

Izvorište Blaz čini oko 500 m široka zona istjecanja podzemnih voda na zapadnoj obali Raškog zaljeva, cca 4 km južno od ušća Raše u more. Sastoji se od više izvora i lokacija s difuznim istjecanjem izvorskih voda na potezu između uvale Klana i uvale sjeverno od Raklja. Glavni je izvor lociran upravo u toj uvali, na dnu vrlo izrazite jaruge. Prije utoka u more ima formirano protočno jezerce dimenzije cca 40 x 20 m dno kojega je na koti od -3.7 m od srednje razine mora. Izvori - mjesta istjecanja u spomenutoj izvorišnoj zoni su pukotinskog tipa i uglavnom istječu približno na razini mora. Izuzetak je glavni izvor na kojemu je izgrađenim nasipom ka moru ostvarena denivelacija u odnosu na morsku razinu od oko 1 m. No, po proboju morskog nasipa koji dijeli spomenuto izvorišno jezerce i more ta je denivelacija daleko manja, te osim o hidrološkim prilikama na izvoru i njegovom zaleđu, ovisi i o dinamici kolebanja razine mora.

Izvorište Blaz redovito zaslanjuje. Kod manjih priobalnih izvora kojima

je zona istjecanja neposredno na razini mora, to je redovito stanje, te praktički stalno istječe više ili manje bočata voda. Na glavnom izvoru uglavnom istječe nezaslanjena voda sa sadržajem klorida koji varira ispod 100 mg/l (minimum 25 mg Cl/l). U posebnim hidrološkim prilikama - tijekom trajanja sušnoga perioda, ali i u uvjetima nailaska većih voda nakon prethodno sušnog razdoblja, javljaju se i povećani saliniteti - koji se očituju u sadržaju klorida i preko 14.000 mg/l). Slični rezultati dobiveni su i praćenjem saliniteta u okolnih 26 pijezometarskih bušotina po amplitudi njihovih vodostaja - ti se saliniteti kreću između 20 i 10.400 mg/l (Slika 22).



Slika 22 - Prikaz položaja glavnog izvora Blaz, važnijih bočatih priobalnih izvora, te 26 pijezometarskih bušotina s naznakom maksimalno zapaženih vrijednosti klorida - preuzeto od Bonaccija (1997)

Izvorište Blaz se nalazi na tektonski uvjetovanom privilegiranom pravcu pražnjenja podzemnih voda iz dalekog karbonatnog zaleđa središnjeg dijela Istre, te stoga predstavlja duboki podzemni dren šireg prostora istarskog poluotoka. Istražni radovi na ovom izvorištu u cilju osiguranja potrebnih podloga za izvedbu potrebnih zahvata na njegovom kaptiranju za vodoopskrbne svrhe i zaštiti od zaslanjenja započeti su 1967.g. (Građevinski fakultet Zagreb, 1968.), a 1968.g. uređen je glavni izvor (izgradnja preljeva i popravak "morskog" nasipa oko glavnog izvora). Započela su i intenzivna praćenja vodostaja i protoka, a dijelom i saliniteta te temperatura vode na glavnom izvoru i oko desetak istražnih bušotina. Broj opažaćkih bušotina s onima koje su izvedene tijekom nekoliko narednih godina dosegao je ukupno 26 lokaliteta, izvedenih u neposrednom okolišu izvora. Praćena su i kolebanja razine mora. Ta su opažanja bila najintenzivnija u razdoblju od sredine 1969. do sredine 1970.g., te u nastavku do zaključno siječnja 1971.g. Nažalost, kako je tada prevladavajuća koncepcija rješenja vodozahvata bila usmjerena na lokalno - neposredno mjesto istjecanja podzemnih voda, osim

dvaju udaljenijih pijezometarskih bušotina (Belavići i Barban) čija su motrenja ubrzo po uspostavi i prekinuta, sve su ostale bušotine bile locirane u neposrednom okolišu ili bliskom zaleđu glavnoga izvora.

Tijekom tog prvog razdoblja istraživanja režim istjecanja glavnog izvora bio je uvjetovan kotom uspora praga preljeva od +0.98 m n.m., da bi se izgradnjom dopunske niže zapornice s najnižom kotom preljevnog praga od +0.38 m n.m., počev od sredine kolovoza 1970.g. omogućilo kontrolirano sniženje razine vode. Sniženje razine vode na glavnom izvoru izazvalo je dvojake posljedice - s jedne strane povećana je izdašnost glavnog izvora zbog promjene rubnih uvjeta istjecanja podzemnih voda u široj zoni istjecanja, a s druge je strane povećan salinitet voda koje istječu na glavnom vrelu.

Rezultati hidroloških mjerenja i opažanja iz tog su razdoblja samo dijelom sačuvana u više elaborata datiranih krajem šezdesetih i početkom sedamdesetih godina (Građevinski fakultet Zagreb, 1968; IGI, 1969; Geotehnika, 1970), a dijelom su navedena i u dva kasnije datirana elaborata koja razmatraju problematiku funkcioniranja toga izvora (Bonacci, Biondić, 1994, Bonacci, 1995).

U razdoblju 1973.-75. istraživanja na Blazu vodi RGN-fakultet iz Zagreba (prof. Baturić), kada je neposredno na rubu glavnog izvora iskopana rudarska galerija dubine oko 250 m. Njome je probojem slabo propusnih vapnenaca u toj zoni trebalo preusmjeriti - zahvatiti dodatne količine podzemne vode koje se, prema tadašnjim pretpostavkama, nalaze iza te barijere te istjećući ispod nje komuniciraju s glavnim izvorom i ostalim mjestima istjecanja u toj izvorišnoj zoni. No, takve se pretpostavke nisu ostvarile, pa je vođenje nastavka hidrogeoloških istraživanja preuzela ekipa Industroprojekta iz Zagreba, čija je koncepcija istraživanja bila usmjerena na istraživanje mogućnosti zahvata podzemnih voda u dubljem zaleđu Blaza, izvan zone mogućeg zaslanjenja (Industroprojekt, 1977 i 1978). Ni ti radovi nisu rezultirali nikakvim konkretnim radovima na zahvatanju značajnih vodnih resursa ovoga izvorišta. Sinteznim izvještajem (Hrvojić, 1979), završava se desetogodišnje razdoblje započetih istraživanja. Nakon petnaestak godina odsustva bilo kakvih istraživanja (izuzev polugodišnjeg hidrološkog praćenja istjecanja na glavnom izvoru tijekom druge polovice 1981.g. u organizaciji DHMZ-a), spomenutim je elaboratima Bonaccija i Biondića (1994), te BONACCIJA-HIDRO-GEO (1995) provedeno preispitivanje raspoloživih podloga i rezultata prethodnih istraživanja.

Sami hidrološki podaci o vodnoj bilanci (protokama) Blaza zapravo su vrlo skromni i nesrazmjerni značenju ovoga izvora. Dijelom je razlog tome nemogućnost da se mjerenjima registriraju sve protoke koje se javljaju na glavnom izvorištu i na većem broju obližnjih izvora koji su u neposrednom kontaktu s morem. S druge strane, zbog složenosti istjecanja na izvorištu i

njegovoj udaljenosti od naselja, teško je i uspostaviti sustav mjerenja koji bi obuhvatio sve utjecajne elemente čak i na samom glavnom izvorištu. Nažalost, čak je i dio prikupljenih hidroloških podataka iz razdoblja istraživanja tijekom šezdesetih i sedamdesetih godina ostao nedovoljno dokumentiran.

Prema raspoloživim rezultatima provedenih analiza za razdoblje jedine cjelovito opažene hidrološke godine (1969./70.), srednja godišnja protoka na glavnom izvorištu Blaz iznosila je $1,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a za kritično sušno ljetno razdoblje (1.06. - 20.08.1970. srednja je protoka iznosila $0,250 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, pri čemu su minimalne dnevne protoke bile i višestruko manje, u rasponu između $0,050$ i $0,100 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Bonacci, Biondić, 1994). Tijekom kasnijeg razdoblja kontinuiranih opažanja u organizaciji DHMZ-a (01.07.-12.12.1981.), srednje mjesečne protoke zabilježene tijekom tri najsušnija mjeseca (srpnja, kolovoza i rujna) bile su značajnije veće ($0,670 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), a što je, uz moguće povoljnije hidrološke prilike, i posljedica sniženja kote istjecanja glavnog izvora zbog zabilježenog proboja nasipa prema moru.

Glavni izvor karakteriziraju velike sezonske, pa čak i značajne dnevne oscilacije vodostaja izvora zbog utjecaja plime i oseke, pa su tako i velike dnevne oscilacije u količinama istjecanja. U određenim situacijama javljaju se i velike dnevne oscilacije u sadržaju klorida. Stoga je odavno prisutna ideja mogućeg korištenja izvora Blaz na način da se njegove vode tijekom trajanja razdoblja kada nema pojava zaslanjenja crpe i pohranjuju u površinskoj akumulaciji čija bi lokacija bila o okolici Marčane (FAO-UNDP, 1979; Građevinski fakultet Rijeka, 1998).

Kao novu konceptijsku postavku treba spomenuti i načelne prijedloge moguće zaštite izvora Blaz od zaslanjenja deponiranjem sedimentacijskog materijala u široj utjecajnoj obalnoj zoni Raškog zaljeva (Rubinić, 1999, Rubinić i Ožanić, 1999), odnosno o forsiranoj, umjetnoj simulaciji prirodnih procesa sedimentacije na promjenu rubnih uvjeta istjecanja izvora u more. Naime, procesima prirodne sedimentacije kod uzvodnijih se izvora u dolini Raše uspio eliminirati (Rakonek), ili pak smanjiti negativni upliv mora na režim istjecanja izvora (Fonte Gaia, Kokoti). Proces oplićavanja Raškog zaljeva u utjecajnoj zoni komunikacija izvorišta Blaz s okolnim morem, uzrokovan sedimentacijom suspendiranog nanosa na ušću Raše, a koji je usporio ili prekinuo moguću komunikaciju izvorskih voda Blaza i mora u dubljim dijelovima zaljeva, moglo bi se umjetno pospješiti intenzivnim nasipavanjem obalnog pojasa na širem utjecajnom prostoru.

Materijal za takvo nasipanje bi se mogao osigurati ili prilikom nekoga od slijedećih odmuljivanja Plominskog zaljeva umjesto dosadašnjeg rješenja njegova deponiranja u more ispred Plominskog zaljeva, ili pak premještanjem dijelova već istaloženog sedimentog tijela u Raškom zaljevu. Naravno, radi se o veoma kompleksnim zahvatima, čija priprema i ocjena ekoloških

aspekata zahtijeva detaljnu pripremu. Na sličan način bi se mogla provesti i zaštita od zaslanjenja sjevernijeg priobalnog izvora Česuni (Čažune) koji također redovito zaslanjuje.

Na taj bi se način, provedbom radikalnih promjena rubnih uvjeta istjecanja i komunikacija vodonosnika krških izvorišta s morem na širem području njihova istjecanja, mogle osigurati i vrlo značajne količine vode za vodoopskrbu kao i za navodnjavanje. Ukoliko se dati koncept zbog svoje kompleksnosti pokaže prezahtjevnim i preradikalnim za blisko nam doba, alternativno je rješenje da se vode izvorišta Blaz koriste za navodnjavanje tako da se crpe tijekom razdoblja kada su kloridi unutar dopuštenih granica, te površinski akumuliraju. Takvo je rješenje, s površinskom akumulacijom za izravnavanje crpljenja i potreba za vodom na širem području Marčane (gdje je zbog velike vodopropusnosti terena nužno strukturalnim rješenjima planirati osiguranje vododrživosti zaplavnog prostora), predviđeno i prvim planom navodnjavanja (FAO-projekt, 1979), kao i njegovom novelacijom (Građevinski fakultet Rijeka, 1988). No, prepreka za njegovu realizaciju su sa dosadašnjega aspekta gledanja izuzetno veliki procijenjeni troškovi vode za navodnjavanje iz toga sustava - kako investicijski tako i pogonski.

5.3.3. Bubić jama

Izvorište Bubić jama locirano je na području ruba Plominskog zaljeva. Ima karakter tipičnog izdanskog oka - potopljene krške jama s vodom. Radi se o kriptodepresiji površine cca 60 x 40 m i ukupne dubine oko 25 m. Kota dna joj je 15,3 m ispod razine mora, kao i najveći je dio jame, uključujući i zahvat crpki. Kako se jama nalazi oko 900 m od ruba jako karstificiranog i tektonski poremećenog Plominskog zaljeva, te svega oko 300 m zapadno od korita Boljunčice čije je dno na utjecajnom prostoru dijelom ispod razine mora, voda u jami i njenom krškom vodonosniku u dinamičkoj su ravnoteži s morskom vodom. Zbog međuodnosa dotoka, crpljenja i dinamike kolebanja razina podzemnih voda i mora, najveći dio dosadašnjega razdoblja funkcioniranja jame kao vodozahvata tehnološke vode za potrebe TE Plomin na analiziranom je prostoru uspostavljena relativno stabilna ravnoteža koja stvara prirodnu zaštitu od prodora mora. No, na kraju nekih sušnih razdoblja, kao i tijekom poremećaja izazvanih precrcpljivanjem podzemnih voda za potrebe izvođenja geotehničkih radova na građevnoj jami dimnjaka, u više je navrata dolazilo do pojava zaslanjenja vode u jami zbog narušavanja te dinamičke ravnoteže.

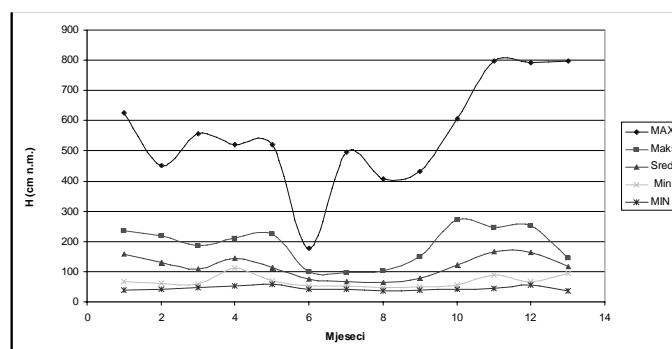
Kao upravljačka zaštita od precrcpljivanja jame a time i pojačanog prodora morske vode u okolni vodonosnik pa i samu jamu propisana su izvjesna ograničenja u smislu zabrane crpljenja kada se razina vode u jami spusti ispod nekih kritičnih kota. Najprije je, prema vodopravnoj suglasnosti iz

1969.g. i kasnijoj vodopravnoj dozvoli iz 1997.g., to ograničenje bilo vezano za kotu od 0,5 m n.m. Novom važećom koncesijom izdanom krajem 1999.g., ta je kritična razina, temeljem Izvještaja o rezultatima probnog crpljenja Bubić jame - Plomin (Industroprojekt, 1982) spuštena na kotu od 0,2 m n.m. No, kao što je u daljnjem tekstu ovoga poglavlja obrazloženo, niti je propisana sama razina vode u jami dovoljan i sam po sebi mjerodavan kriteriji za zaštitu tog izvorišta od zaslanjenja, a niti se korisnik pridržavao danih mu ograničenja. Rezultat toga su zabilježena dugotrajna razdoblja bez pojava zaslanjenja s korištenjem voda iz Bubić jame u uvjetima kada se razina vode u jami kretala i ispod praga od spomenutih dozvoljenih 0,5 m ispod razine mora, ali isto tako i zabilježena zaslanjenja u uvjetima kada je razina vode bila veća od spomenute kritične granice.

Inače, korištenje vode iz Bubić jame započelo je 1969.g. kada je u pogon puštena i TE Plomin I. Crpljene količine su se i povećale po izgradnji TE Plomin II 2000.g, kojom je prilikom koncesijski odboreno HEP-u TE Plomin crpljenje do maksimalnih 42 l/s.

Pitanje maksimalnih količina voda koje se mogu zahvatiti iz Bubić jame postavljeno je još šezdesetih godina prošlog stoljeća - prilikom inicijalnih planova o mogućnosti opskrbe vodom TE Plomin iz nje. U tom su cilju u nekoliko navrata provedena i probna crpljenja, s različitim kapacitetima crpljenja koji su se povećavali do 100 l/s, koliko iznose najnovije iskazane potrebe TE Plomin za tehnološkim vodama. Dobiveni su i različiti rezultati koji su se tijekom vremena i novih crpljenja sukcesivno povećavali. No, obzirom da je i pri dugotrajnijim manjim količinama crpljenja u pogonskim uvjetima rada elektrane dolazilo do zaslanjenja, postavlja se pitanje reprezentativnosti razdoblja u kojima su vršena takva crpljenja, kao i pitanje dostatnosti provedenog razdoblja precrcpljivanja Bubić jame u cilju ocjene rubnih uvjeta vezanih uz količinu crpljenja, trajanje i kritične razine vode. Detaljna hidrološka analiza dosadašnjih rezultata probnih crpljenja, kao i pogonskih uvjeta korištenja voda iz Bubić jame, napravljena je u studiji Građevinskog fakulteta Rijeka (2007). Iz te su studije u danom radu i preuzete neki od karakterističnih rezultata vezanih uz problem zaslanjivanja Bubić jame.

Na Slici 23 dan je prikaz karakterističnih mjesečnih razina vode na Bubić jami u razdoblju 1990.-2005., tj. razdoblje nakon što su završeni radovi na izgradnji temelja obližnjeg novoga dimnjaka, uslijed čega je tijekom 1988. i 1989.g. zabilježeno ekstremno sniženje razina vode u jami, kao i dugotrajno zaslanjenje. Zabilježene razine podzemnih voda u jami kretale su se u rasponu između 0,37 i 7,98 m n.m., s prosječnom razinom od cca 1,16 m n.m. Najveće prosječne razine javljaju se u studenom i prosincu, a najmanje tijekom kolovoza i srpnja. Vrlo niske razine se mogu javiti u svim kalendarskim mjesecima - od najnižih 0,37 m n.m. zabilježenih u kolovozu 1993., pa do 0,57 m n.m. koliko je zabilježeno u svibnju 2000.g. Po uključenju TE



Slika 23 - Prikaz hoda karakterističnih mjesečnih razina vode u Bubić jami (1990.-2005.)

Plomin 2 u normalni pogon (2000.g.) količina prosječnih mjesečnih i godišnjih crpljenja cca dvostruko se povećala u odnosu na ranije razdoblje rada samo TE Plomin 1. Te su prosječne mjesečne količine kreću u rasponu između 18,1 (svibanj) i 26,7 l/s (kolovoz), uz srednji godišnji prosjek od 22,9 l/s.

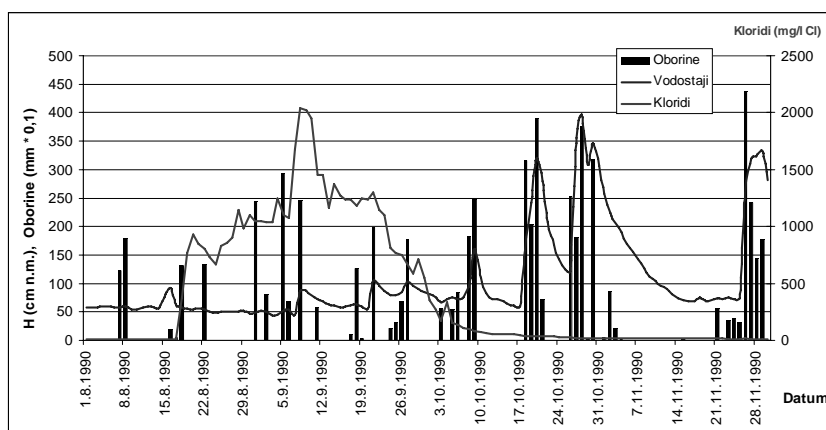
Tijekom dosadašnjeg korištenja vode iz Bubić jame pojave zaslanjivanja njezinih voda zabilježene su tijekom pojedinih godina. Posebno su naglašeni problemi sa salinitetima bili tijekom razdoblja od jeseni 1988. do svibnja 1989.god., kada je zbog koincidencije iznimno sušnih hidroloških prilika i crpljenja na obližnjoj građevnoj jami objekta TE Plomin II, došlo do intenzivnog prodora morske vode i u Bubić jamu. Tom prilikom zabilježena maksimalna koncentracija klorida na dne 28.09.1988. iznosila je čak 8.800 mgCl/l. Tijekom spomenutog razdoblja zabilježena su i ekstremna sniženja razine vode u Bubić jami i ispod razine mora - najniže -0.76 m n.m. zabilježeno je 6.1.1989.

No, povećani saliniteti na Bubić jami javljaju se i u normalnim, uobičajeno sušnim hidrološkim prilikama, i to i pri razinama vode iznad ranije propisane kritične kote 0.50 m n.m. Te su pojave zaslanjenja za razdoblje do 1988.g. skromno dokumentirane - samo kao zapisi o registriranim sadržajima klorida u vodi Bubić jame. Nakon uspostave limnografskih praćenja u jeseni 1988., uz koncentracije klorida u vodi postoje i zabilježeni podaci o vodostajima u Bubić jami. No, niti za jedno razdoblje tijekom kojega su se javila povećana zaslanjenja, na žalost nisu poznati podaci o crpljenim količinama voda. Prema raspoloživim zapisima, u razdoblju 1970. - 1977., zabilježeno je zaslanjivanje Bubić jame u čak četiri situacije, a nakon više godina bez problema zaslanjenja su ponovno zapažena svake godine tijekom razdoblja 1989.-1992.g., od kada se više nisu događala.

Prvi zapisi o zaslanjenju Bubić jame odnose se na sredinu srpnja 1971.g., kada nakon privremenog oslađivanja jame ponovno u kolovozu dosežu

maksimumom od 494 mgCl/l. Potpuno oslađivanje vode u Bubić jame zabilježeno je tek sredinom srpnja. Već slijedeće, 1972.g. se ponovno javlja blaže povećanje sadržaj klorida u izvorskoj vodi Bubić jame do maksimalnih 170 mgCl/l koliko je zabilježeno dne 13.12. Zaslanjenje Bubić jame je zabilježano i u 1973.g., te tijekom 1976.g., kada su sredinom ljeta porasli na maksimalnih 685 mgCl/l. Iza toga nema informacija o pojavama zaslanjenja tijekom nekih drugih razdoblja do kraja ljeta 1988.g. i uvodno navedene pojave zaslanjenja uslijed koincidencije pojava spuštanja razine vode u drenažnom sustavu građevne jame za TE Plomin 2 i nastupa iznimno sušnih hidroloških prilika.

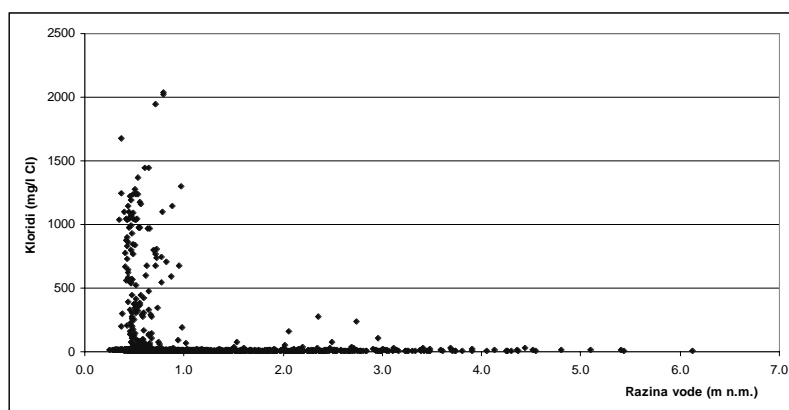
Hidrološke prilike koje su pogodavale toj pojavi zaslanjenja Bubić jame nastavile su se i tijekom razdoblja 1990.g. - 1992.g. tijekom kojega je došlo do nekoliko novih pojava dugotrajnijeg zaslanjenja. Kao karakteristična odabrana je situacija iz 1990.g. (Slika 24). Dne 17.08.1990. zabilježena je pri vodostaju od 0,64 m n.m. koncentracija klorida od svega 12,5 mgCl/l, a da bi već slijedećeg dana porasla na 380 mgCl/l. Maksimum je dosegnut dne 8.09.1990. u iznosu od 2040 mgCl/l (uz vodostaj 0,87 m n.m.), a da bi koncentracija klorida pala na 50 mgCl/l tek 16.10.1990.g. Također je i slijedeće, 1991.g. zabilježena pojava dugotrajnog povećanja sadržaja klorida u vodama Bubić jame, i to također pri vodnijim hidrološkim prilikama s dva polutograma zaslanjenja, te maksimalnom koncentracijom od 1220 mgCl/l zapaženoj dne 28.09. pri vodostaju od 0,53 m n.m. Do prodora zaslanjene vode u zonu Bubić jame došlo je i u razdoblju 12.09. - 9.10.1992. god. Ni tom prilikom se razina vode nije spuštala ispod +0.50 m n.m., ali je ipak došlo do povećanja sadržaja klorida do maksimalnih 420 mgCl/l - uz vodostaj od 0,67 m n.m.



Slika 24 - Prikaz hoda palih oborina, te kolebanja razine vode i sadržaja klorida u Bubić jami (1.8.1990. - 30.11.1990.)

Iza te 1992.g. pa do uključivo 2005.g. nije bilo više zabilježenih slučajeva povećanja koncentracije klorida, iako su se zbog rada TE Plomin 2 crpljenja od 2000.g. i povećala u odnosu na ranija. Radi se o vrlo interesantnoj činjenici da su pojave godina sa zaslanjenjima grupirane na dva razdoblja unutar kojih su se one uzastopno događale svake godine. Najprije se to radilo o razdoblju 1971.-1976., te nakon 12 godina (ako nije bilo nekih neregistriranih pojava unutar njih) ponovno u razdoblju 1988.-1992. Utvrđeno je da se pojave zaslanjenja na izvorištu Bubić jama javljaju u različitim hidrološkim prilikama - obično najprije kao posljedica neposrednog prodora zaslanjene morske vode u vodonosnik, a onda i u samu jamu u uvjetima naglašeno sušnih razdoblja, a da bi se slijedeće epizode zaslanjenja odvijale u vodnijim hidrološkim prilikama - kada nakon duljega sušnoga razdoblja padnu intenzivnije oborine koje izazovu razbijanje ravnoteže granice slane i slatke vode u podzemlju, te se zaslanjene vode potisnu prema Bubić jami. Crpljenja vode, iako se za njih nisu imali podaci tijekom razdoblja nastupa zaslanjivanja, spuštaju razinu vode u jami i okolnom vodonosniku, te potenciraju približavanje granice slane i slatke vode u zonu utjecaja samo jame.

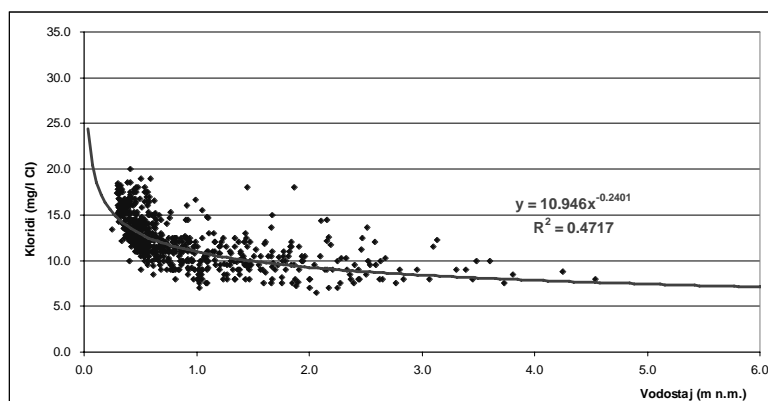
Utvrđeno je i da se zaslanjenja odvijaju pri različitim razinama vode na Bubić jami, dakle ne nužno samo pri najnižim razinama. Na Slici 25 dan prikaz međuodnosa zabilježenih razina vode u jami i sadržaja klorida, pri čemu je iz razmatranja isključeno razdoblje 1988.-1989.g. s precrpljivanjima vodonosnika za potrebe izvedbe građevne jame novoga dimnjaka. Vidljivo je da ne postoji neka čvršća, a pogotovo neka jednoznačna zavisnost između razina vode u Bubić jami i sadržaja klorida. Velika zaslanjenja su se javila po gotovo čitavoj donjoj polovici amplitudi zabilježenih vodostaja, ali ekstremna, veća od 500 mg/l, ipak samo ispod razine vode u Bubić jami od 1 m n.m.



Slika 25 - Međuodnos razine vode u Bubić jami i sadržaja klorida (1990.-2005.)

Ukoliko se takva analiza provede za razdoblje 1993.-2005. u kome nisu zabilježena povećana zaslanjenja voda Bubić jame (Slika 26), vidljivo je da za analizirane relativno niske koncentracije klorida postoji naznaka blagog trenda njihova smanjenja s povećanjem razine vode u Bubić jami, ali s relativno slabim koeficijentom determinacije ($R^2 = 0,47$).

Kao konačno tumačenje pojava zaslanjenja Bubić jame može se konstatirati da radi se o mehanizmu brzog potiskivanja zaslanjenih voda iz krškog vodonosnika (prilikom pojava intenzivnih oborina nakon dugog sušnog razdoblja tijekom kojega se more dublje zavlači u priobalni krški vodonosnik), ka mjestu najmanjega otpora takvom strujanju - u danom slučaju Bubić jami. Isti je mehanizam zaslanjenja zapažen i na više drugih lokaliteta priobalnih vodnih pojava na opisanih u ovome radu. Crpljenja potenciraju sniženje razine vode, a time i natpritisaka vode u slatkovodnoj leći priobalnoga vodonosnika, čime se pospješuju uvjeti za postupno dublje uvlačenje zaslanjenih voda u krški vodonosnik. Do zaslanjenja tada dolazi ili uslijed postupnog prodora zaslanjene vode u samo izvorište tijekom sušnih razdoblja, ili naglim promjenama hidrauličkih prilika u vodonosniku prilikom pojava intenzivnijih oborina i s njima vezanih dotoka.



Slika 26. - *Međuodnos razine vode u Bubić jami i sadržaja klorida (1993.-2005.)*

5.3.4. Jamske vode Labinščine

Kroz proteklih 200 godina vršilo se intenzivno rudarenje na prostorima Labinščine. Područje najintenzivnijeg rudarenja bilo je na priobalnom prostoru Labina i Raše (jame Raša, Labin, Vinež, Ripenda), kao i na području Potpićanskog polja. U uvjetima eksploatacije voda se u rudničkim prostorima prikupljala izgrađenim drenažnim sustavom i crpila na više horizonata, od kojih je najniži bio na koti od čak oko 500 m ispod razine mora. S obzirom da su tijekom eksploatacije jamski prostori predstavljali izuzetno jake drenove podzemnih voda, već je odavno postojao interes za korištenje tih voda, kako u smislu njihovog neposrednog korištenja po iscrpljenju iz jame, tako i u smislu očekivanja neposrednog korištenja po nakon planira-

nog zatvaranja ugljenokopa, tj. kada jamske vode potope rudničke prostore (Industroprojekt, 1983; JVP istarskih slivova, 1993; Rubinić i drugi, 1995; IGI 2004, Kuhta i drugi, 2005). Zadnji dokument u kome je analiziran potencijal jamskih voda izrađen je od strane Građevinskog fakulteta Rijeka (2007), iz kojega je i prenesen dio u nastavku danih rezultata i tumačenja međuodnosa slatkih i slanih voda u priobalnom vodonosniku.

Prestankom rudarenja došlo je do potapanja rudarskom eksploatacijom sekundarno narušenih podzemnih prostora. Time je u priobalnim područjima došlo i do formiranja široko rasprostranjenog, te u odnosu na razinu mora relativno visokog vodnog lica slatkovodne leće koja je u dinamičkoj ravnoteži s morem. Na Slici 19 dan je situacijski prikaz položaja spomenutih jamskih prostora, kao i njihovih karakterističnih - najnižih dubina rudarenja.

Vode koje se javljaju u potopljenim jamskim prostorima javljaju se kao krovinske oborinske vode iz neposrednog krovinskog površinskog sliva, temeljne podinske jamske vode čije se prihranjivanje vrši iz šireg okolnog, pa i regionalnog područja, a manjim dijelom i zaslanjene vode koje su se tijekom rudarenja i potapanja jama drenirale dubokim podzemnim drenovima u jamske prostore. Pojave morske vode očituju se u vidu povećanih saliniteta jamskih voda, utvrđenih u dubljim dijelovima jamskih prostora, kao i u situacijama izbacivanja dijela leće bočate morske vode pri naglijim pojavama značajnijih dotoka kroz okno Labin koje ima najniže visinski položen preljev.

Obzirom na to da čitavi jamski prostor, zbog svoje podzemne otvorenosti i rasprostranjenosti, praktički predstavlja drenažu podzemnih voda šireg okolnog prostora, kao i obzirom na značajnu akumulativnost tako formiranog akvifera, jamske vode su vrlo interesantan vodni potencijal kao eventualno tehnološke vode, vode za navodnjavanje a možda i vodoopskrbu u slučaju postojanja mogućnosti samopročišćavanja jamskih prostora od posljedica rudarenja. Proračunati volumen potopljenih šupljih prostora ispod razine podzemnih voda u sustavu jama Raša - Labin - Ripenda iznosi oko 12 mil. m³., a na području Pićanskog bazena cca 3 mil. m³, od toga u jami Pićan i cca 1,37 mil. m³ u jami Tupljak (IGI, 2004).

U sustavu jama Raša - Labin - Ripenda, koje su i izložene rubnom utjecaju kontakta slatke i slane vode, otkopavanja su vršena na dubinama od -140 m (Kaverna Raša), do -350 - 400 m u jami Labin, a najdublje u jami Ripenda - čak do -450 m pa i niže. Kroz čitavo vrijeme otkopavanja vršilo se crpljenjem jamskih voda, tj. održavala se potpuna drenaža podzemnih voda do površine. Zbog blizine mora u jamske podzemne vode djelomice su prodirale i manje količine mora (drenaža po rubu slatkovodne leće), orijentaciono do oko 10 % (Tomašić, 2006). Napuštanjem rudarenja ti su prostori potopljivi prirodnim pritjecanjem drenažnih jamskih voda (ranije su takve vode crpljene) do visine uvjetovane položajem iskopanih jamskih potkopa - drenažnih kanala prema moru. Nakon toga formira se režim sezonskih kolebanja razina podzemnih jamskih voda u novim, potopljenim uvjetima. Utvrđeno je (IGI, 2004) da su najniže razine po pojedinim okni-

ma, dostignute su na kraju izrazito sušnog razdoblja koncem rujna 2003. godine, slijedeće - u oknu Labin 6,85 m n.m., u oknu Raša na 6,98, u Ripendi na 6,22 m n.m., dok su ti minimumi bili znatno viši u jamskom sustavu udaljenom od mora - jami Tupljak 22,80, oknu 2 kod Tupljaka 23,24, te u jami izvora Jaškovića 22,16 m n.m.

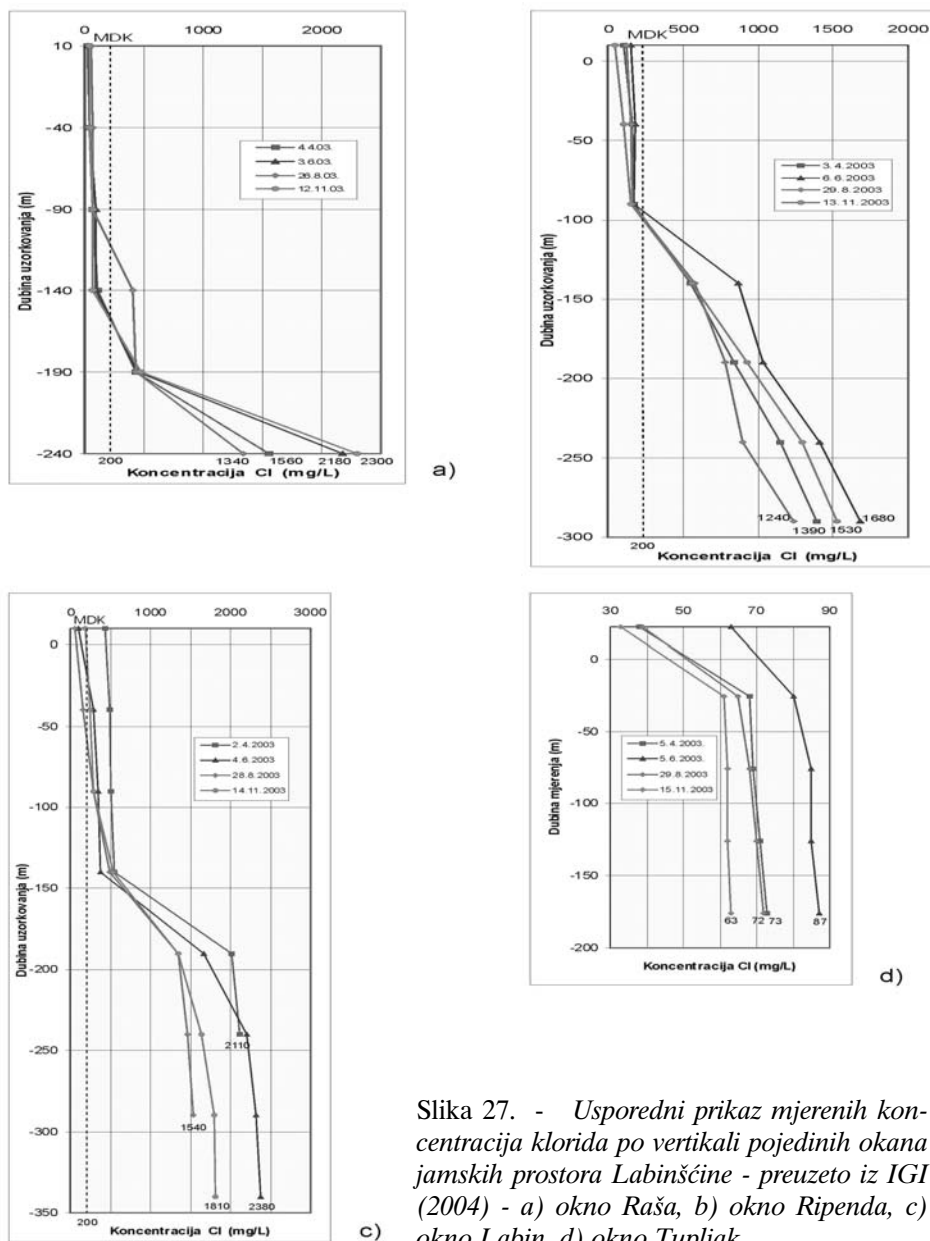
No, osim dinamike kolebanja podzemnih voda, na ocjenu stupnja mogućnosti korištenja podzemnih voda bitan utjecaj imaju i značajke kakvoće voda - prije svega saliniteti kao indikatori međuodnosa slatke i slane vode na istraživanom prostoru. Izmjereni saliniteti jamskih voda variraju ovisno o mjestu i dubini uzorkovanja, odnosno ovise i o stupnju otvorenosti tog dijela jamskog prostora ka komunikaciji s morskom vodom uvučenom u krški vodonosnik. U priobalnim jamskim prostorima jama Raša - Labin - Ripenda oni također variraju. Na oknu Raša oni su pri koti 0 m n.m. vrlo ujednačeni i niski - kreću se oko 20 - 25 mgCl/l. Pri kotama od cca -100 m od razine mora, oni ovisno o hidrološkim prilikama variraju između 20 i 120 mgCl/l, a na dnu okna, na još većim dubinama (cca - 220 m), saliniteti su gotovo stalno relativno visoki, te se kreću i do oko 5.000 mgCl/l. Saliniteti voda koje u količinama od nekoliko l/s (u minimumu), do desetak l/s (u maksimumu) istječu na potkopu Cerovo kreću se u granicama između 10 i cca 50 mgCl/l, a što potvrđuje da se, zbog visinskog položaja potkopa, radi o dreniranju krovinskih voda.

Na ulazu u najniže položeni potkop Rabac također su vršena uzorkovanja saliniteta voda koje tu dotječu i javljaju se kao dotoci krovinskih i naljevnih oborinskih voda iz jame Labin i Vinež (kad okno Labin ne prelijeva), ili pak zajedno s preljevim jamskih voda iz spomenutog okna. Pri pojavi prelijevanja, pogotovo na početku, javljaju se i na samom vrhu okna relativno visoki saliniteti podinskih voda - do oko 1000 mgCl/l. U sušnom razdoblju oni se stabiliziraju, te se kreću do oko 100 mgCl/l. Na većim su dubinama oni stalno značajnije veći. Tako npr. na dubini od cca -140 m od srednje razine mora, u sušnom razdoblju iznose oko 1000 mgCl/l, a na koti od -340 m, i do preko 3.000 mgCl/l. S obzirom da su uvjeti za prodor slanah voda bili najpovoljniji kad je i denivelacija razine vode u jami u odnosu na razinu mora bili najveća, tj. na samom početku potapanja jamskog prostora, za očekivati je da će se prodori mora relativno smanjivati, a eventualnim ponovnim kontroliranim režimom crpljenja vode iz jamskog prostora i postupno smanjivati udio zaslanjenih voda u njima.

Iz danih osnovnih pokazatelja vidljivo je da je potapanjem prostora jama Labin - Raša formirana prostrana podzemna akumulacija, koja je u procesu stvaranja ravnoteže s morskom vodom. Naravno, na dinamiku međuodnosa slatke i morske vode bitan utjecaj imaju i provedeni rudarski radovi koji su narušili prirodnu strukturu stijenskog masiva tog područja, te time omogućili neposredniju cirkulaciju vode, pa i mora u toj zoni.

Pretpostavka je da se u u jamskim prostorima jama Raša i Ripenda odvija postupni proces njihova odslađivanja od infiltriranih zaslanjenih morskih voda njihovim sporim filtracijskim potiskivanjima unutar geoloških struktura jame. Kod jame Labin to se događa i učestalim pojavama prelijevanja

jame prilikom kojih dolazi do naglih potiskivanja i istjecanja tzv. "džepova" zaslanjenih voda u smjeru najmanjih hidrauličkih otpora - kroz okno pa preljevom u potkop Rabac. Rezultati iz 2003.g. koji karakteriziraju recentno stanje u pogledu međudnosa slatkih i slanih voda na pojedinim oknima po dubini profila prikazani su na Slici 27.



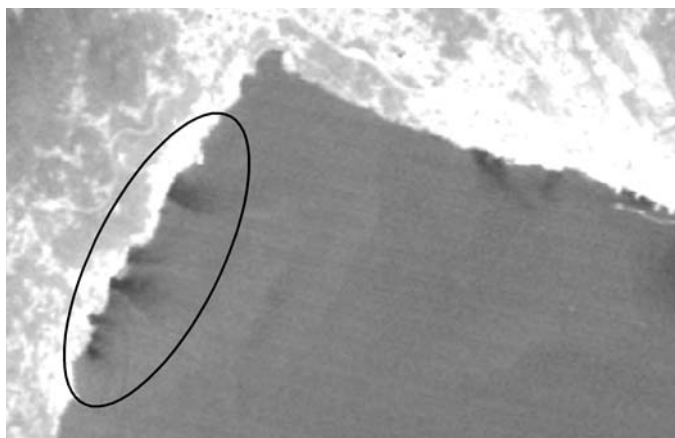
Slika 27. - Usporedni prikaz mjerenih koncentracija klorida po vertikali pojedinih okana jamskih prostora Labinšćine - preuzeto iz IGI (2004) - a) okno Raša, b) okno Ripenda, c) okno Labin, d) okno Tupljak

Prema dosadašnjim rezultatima (IGI, 2004) vidljivo je da kod svih jama sadržaj klorida raste s dubinom vode, čak i u jami Tupljak, lociranoj na od mora i njegovih utjecaja udaljenom i potpuno izoliranom Potpićanskom polju. Ipak, taj je porast pa i sadržaj klorida daleko naglašeniji u jamama Raša, Labin i Ripenda, gdje na dubinama od preko 200 m kloridi rastu, ovisno o hidrološkoj situaciji i lokalitetu, između 1240 i 2380 mgCl/l. Najgora je situacija u jami Labin, gdje je i u zoni relativno blizu površine vode u oknu jame sadržaj klorida varirao u rasponu između 59 i 465 mgCl/l, a zaslanjene su bile i preljevne vode. Pojave povećanog sadržaja klorida u dubokim jamskim prostorima moglo bi se povezati ne samo sa kontaktom s morem koji neosporno postoji, nego i geokemijskim reakcijama koje se odvijaju u reduktivnim uvjetima unutar toga prostora (Urumović, 2005 - usmeno priopćenje). Na to upućuje i povećanje temperature sa dubinom, koje je također utvrđeno prilikom uzorkovanja koje je proveo IGI (2004).

Postoje brojne ideje o mogućim rješenjima korištenja jamskih voda, ali i brojna prisutna ograničenja. Jedna od mogućnosti, ukoliko se pokaže da zadovoljava njihov kemizam, je i njihovo korištenje za navodnjavanje. No, puno je vjerojatnije da će se eventualnoj realizaciji toga rješenja pristupiti na lokalitetu jama Pićan i Tupljak koje su i prostorno bliže potencijalnom pogodnim površinama za navodnjavanje, a i izolirane su od utjecaja mora.

5.4. Područje sjevero-istočne obale Istre

Na Opatijskom području, ili bolje sjevero-istočnoj obali Istre, nalazi se velik broj priobalnih izvora i vrulja (Slika 28). Njihova je najveća koncentracija na području Preluke i Voloskog, Opatije (naročito između kupališta Slatina i marine hotela Admiral), te u Ičićima, Iki, Medveji kao i na priobalnom području južnije od Mošćeničke Drage. Praktički, na čitavom tom obalnom području postoje i više ili manje izražene pojave difuznog istjecanja voda, pogotovo tijekom vodnijih razdoblja. Kratkotrajno, tijekom intenzivnih vodnih razdoblja, na pojedinim lokacijama izvori izbijaju i na višim horizontima, na kotama od nekoliko pa do desetak m n.m.



Slika 28 - Satelitska snimka termalnog odraza u moru voda izvorišta na području Opatije i Rijeke - preuzeto od Horvat (2005)

Radi se o izvorima koji su u neposrednom kontaktu s morem ili pak pod utjecajem njegova uspora, zaslanjeni tijekom duljeg vremenskog razdoblja u godini ili najčešće stalno. S obzirom na deficitarnost područja Opatije i susjednih općina s vodom, postojali su planovi o zahvaćanju tih voda prije njihova zaslanjivanja. Radilo se o planovima oko zahvaćanja podzemnih voda u zaleđu vodom najbogatije grupe opatijskih izvora, i to s tunelskim pristupnim rovom i drenažnim bunarima - slično kao i u slučaju zahvata voda na vodocrpilištu Zvir II u Rijeci. No, radilo se samo o generalnim rješenjima za čiju je razradu nužno osigurati puno više informacija o režimu tih priobalnih izvora kao i kontaktu njihova vodonosnika s morem.

Zbog potopljenosti mjesta istjecanja ti izvori, osim pojedinačnih mjerenja, nisu niti bili predmet nekih sustavnih hidroloških ili barem učestalijih hidrometrijskih aktivnosti. Izuzetak je nekoliko provedenih serija vodomjerenja na izvorima Kristal i Admiral, kao i nekoliko drugih izvora tog područja. Iz rezultata tako provedenih mjerenja utvrđeno je da se radi o vrlo značajnim količinama voda, temeljem kojih je procijenjeno da izdašnost priobalnog izvora Kristal u sušnom razdoblju iznosi reda veličine oko $0,5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, ali i s vrlo velikim udjelom morske vode u takvoj bilanci istjecanja. U ovisnosti o hidrološkim prilikama, registrirani saliniteti su se kretali između cca 570 i preko 10.000 mg Cl/l. Tijekom sušnih razdoblja udio morske vode u izvorišnim vodama najvećeg i najstabilnijeg izvora Kristal iznosi oko 1/3 od ukupne izdašnosti (Građevinski fakultet Rijeka, 2004).

Klasičnim hidrometrijskim postupcima praktički je nemoguće izmjeriti ukupnu izdašnost pojedinih izvorišta čak ni tijekom sušnog razdoblja kada su istjecanja koncentrirana na manji broj lokaliteta. Zbog toga je u sklopu najnovijih istraživanja vodnoga potencijala najvažnije grupe priobalnih izvora na lokalitetu u Opatiji koju čine blisko locirani izvori Admiral, Kristal i Slatina, provedenih u organizaciji HGI (2005), dana i hidrološka interpretacija satelitskih termalnih snimaka. Iz triju snimaka u različitim hidrološkim prilikama, na temelju usporedbe termalnog odraza voda na ušću Rječine s hidrološki poznatim vrijednostima protoka i termalnog odraza voda spomenute grupe opatijskih izvora, dobiveni su vrlo interesantni i uporabivi rezultati. U jednoj od analiziranih situacija postojali su i rezultati vodomjerenja na izvoru Kristal, pa je mogla biti provedena i komparacija procijenjenih i registriranih vrijednosti. Dobivena je čak začuđujuće dobra podudarnost tih protoka i rezultata proračuna - ocjene protoka na osnovi satelitskih termalnih snimaka. Detaljniji prikaz provedene metodologije, samih rezultata i njihove hidrološke ocjene dati su u radovima Horvat i drugi (u pripremi) te Rubinić i drugi (u pripremi).

Provedenom analizom termalnih snimaka potvrđene su uobičajene izdašnosti izvora Kristal tijekom uobičajenih sušnih prilika u količini od oko $0,5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Analiza pak termalne satelitske snimke od kraja rujna 2003.g.,

kada su na području Primorsko-goranske županije zabilježene ekstremne minimalne izdašnosti krških izvora, pokazale su i minoran termalni odraz izvorišne zone Kristala te susjednih Admirala i Slatine u Opatiji. Time su potvrđene ocjene, temeljena na usporednoj hidrološkoj analizi ukupnih protoka i minimalnih vrijednosti izvorišta u slivu Mirne, da je minimalna izdašnost te grupe opatijskih priobalnih izvora reda veličine manja od 0,1 m³s⁻¹. Takva generalna ocjena bitno umanjuje očekivanja vezana uz mogućnosti zahvaćanja tih voda. Naime, otvoreni krški sustavi koji se neposredno dreniraju u more bez izraženijih hidrogeoloških struktura uspornih struktura u zoni kontakta s morem, kakav je i sustav opatijskog priobalnog vodonosnika i njegovih izvora, imaju relativno niske retencijske sposobnosti. Stoga su ti sustavi vrlo osjetljivi na pojave dugotrajnih sušnih razdoblja kada se u vrlo velikoj mjeri isprazne njihove vodne rezerve, a što, uz vrlo izraženu dinamiku miješanja s morem, bitno umanjuje mogućnost njihova zahvatanja s ekonomski prihvatljivim troškovima.

5.5. Područje riječkog i bakarskog priobalja

Područje riječkog (Slika 28) i bakarskog priobalja obiluje velikim koncentriranim pražnjenjima priobalnih podzemnih voda. Na tom se području nalazi velik broj izvora, s uglavnom niskim kotama istjecanja (oko 1 m n.m.). No, zbog povoljnih rubnih uvjeta istjecanja i kontakta njihovih vodonosnika s morem, u normalnim hidrološkim uvjetima uglavnom nema većih problema sa zaslanjivanjima njihovih voda. U sustavu Vodovoda Rijeka nalazi se veći broj kaptiranih izvora čiji su kapaciteti (u smislu karakterističnih malih voda) dati na osnovu dokumenta Geotehničkog fakulteta u Varaždinu (2003). To su u Rijeci izvori Zvir (1400 l/s), kaptažni zahvat Zvir II (600 l/s), Martinšćica (400 l/s), te u Bakru izvori Dobra (30 m³s⁻¹), Dobrica (90 l/s) i kaptažna galerija Perilo (240 l/s). Na području Rijeke je i čitav niz izvora kaptiranih za tehnološke potrebe, od kojih su se neki zbog prestanka rada industrijskih pogona prestali koristiti, ili su doživjeli prenamjenu. To su bunar Marganovo (200 l/s) kao i više drugih zahvata u nekadašnjoj Tvornici papira (150 l/s), Mlaka (250) kao i ostali bunari u rafineriji nafte INA na Mlaci (100 l/s), Pod Jelšun (50 l/s) te Cerovica u brodogradilištu 3.Maj (60 l/s). No, ima i čitav niz drugih nekaptiranih stalnih izvora (Brajda, Dolac, Potpinjol, Beli kamik...) koji ne zaslanjuju, a čija se ukupna izdašnost tijekom sušnih razdoblja kreće i preko 300 l/s. Postoji i više širih zona istjecanja priobalnih vodonosnika u more gdje je stalno prisutan problem zaslanjenja tih voda (Žminjci i Črno u Bakru, izvorište u lučici 3.Maj na Kantridi, ...). Za spomenuti je i da je vodoopskrbni sustav Vodovoda Rijeka najveći dio godine orijentiran na gravitacijsko korištenje voda izvora Rječine, no koji redovito i po više mjeseci presušuje pa se tada aktivira crpilište Zvir locirano u samome gradu Rijeci.

Povremena zaslanjenja kod kaptiranih izvora javljala su se kod dijela bunara na izvorištu Martinščica, te izvorištu Dobrica i galeriji Perilo u Bakru, a 2003. iznimno i na izvoru Dobra u Bakru. Kaptaza Dobra izvedena je na prirodnom izvoru minimalnog kapaciteta oko 30-tak l/s koji istječe na kontaktu vodopropusnih vapnenaca i fliša. Blizu je i kaptaza Dobrica, izgrađena kasnije, početkom šezdesetih prošlog stoljeća, nominalnog kapaciteta 190 l/s, ali zbog pojava zaslanjenja praktički ograničenog na 90 l/s. Izvedena je u vidu horizontalnog rova na kontaktu vodopropusnih vapnenaca i fliša. No, taj je kontakt otvoren i prema moru, tako da se pri dugotrajnim sušnim razdobljima javljaju i povremena zaslanjenja. Galerija Perilo izvedena je oko 200-tinjak m u zaleđu snažnih priobalnih izvora Perilo i Jaz u Bakru početkom osamdesetih prošlog stoljeća, gdje je nekad bio i zahvat voda za lokalni vodovod. No, zbog iznimnih bakterioloških zagađenja pa i epidemije kolere, na temelju provedenih hidrogeoloških istraživanja išlo se na zahvat u zaleđu gdje je pronađena ljuska veoma propusnih vapnenaca omeđena slojevima vodonepropusnog fliša a s druge klastičnim taloženama umjerene propusnosti. Na terenu s kotom od 58 m n.m. izvedeno je vertikalno okno koje se pruža do razine mora gdje je izvedena i horizontalna galerija dužine 55 m (Kos, 1989). Kota dna okna je na -1,5 ispod razine mora, a instalirani kapacitet crpki 240 l/s. Zbog češćih zaslanjenja, uz kaptazu je izvedena i 200 duboka pijezometarska bušotina kojom se kontrolira odnos slatke i slane vode u dubokim dijelovima vodonosnika (Geotehnički fakultet Varaždin, 2003).

U cilju rješavanja tih problema u organizaciji IGI-ja, odnosno sadašnjeg HGI, tijekom proteklih desetak godina provedeni su hidrogeološki istražni radovi koji su išli za traženjem pojedinih mjesta za prelociranje postojećih zahvata vode unutar šire izvorišne zone. Povezivanjem sustava dvaju dotad nezavisnih sustava riječkog vodovoda - sustava oslonjenog na izvore u Rijeci i sustava oslonjenog na izvore u Bakru, pretpostavljalo se je da će se uz u odnosu na iskazane potrebe i prethodno navedene kapacitete pojedinih izvorišta i u slučajevima zaslanjenja nekih od spomenutih izvorišta unutar vodoopskrbnog sustava moći osigurati nedostajajuće količine voda.

No, ekstremna suša zabilježena tijekom 2003.g., uz zaslanjenje i isključenje iz vodoopskrbe svih Bakarskih izvora, pa čak i Dobre za koju se dosad nisu imala saznanja o pojavama prekomjernih koncentracija klorida, donijela je i vrlo neugodna saznanja o bitno manjim kapacitetima pojedinih izvorišta u odnosu na ranije dane procjene. Prema raspoloživim podacima uglavnom samo tjednih uzorkovanja, pojava prekomjernog zaslanjenje najprije je te 2003. godine zabilježena na izvorištu Dobrica, i to dne 15.07.2003. (371 mgCl/l), da bi nakon kratkotrajnoga ublažavanja tih koncentracija dne 19.08. 2003. one poprimile opet visoku vrijednost od 397 mgCl/l, a dne 09.09. čak i 2481 mgCl/l. Dne 19.08. koncentracije klorida na

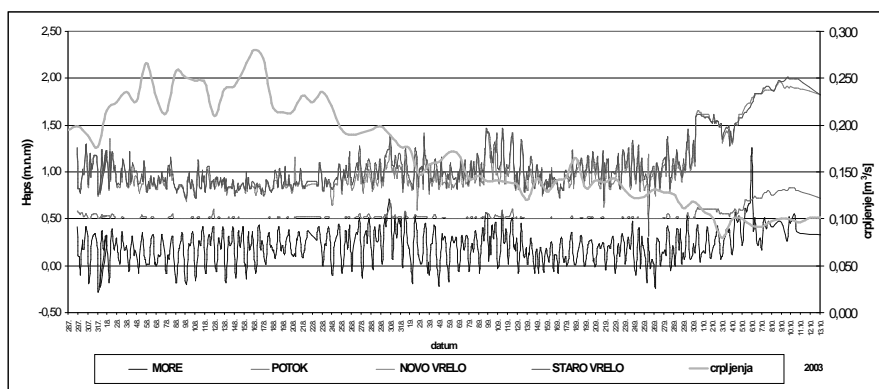
Dobri prelaze 206 mgCl/l, a dne 09.09.2003. 484 mgCl/l (Hrvatske vode VGO Rijeka, 2004). Voda u kaptažnoj galeriji Perilo je još ranije zaslanila. Mehanizam zaslanjenja bakarskih izvora dovodi se u vezu sa susjednim priobalnim izvorišnim zonama Žminjci i Črno, lociranim između Bakra i Bakarca. Tu je fliška hidrogeološka barijera potopljena i nalazi se desetak m ispod razine mora (Benac i drugi, 2003), pa pri određenim hidrološkim uvjetima dolazi do neposrednog kontakta vodonosnika i mora.

Kao što je uvodno spomenuto, posebno su interesantni podaci o stvarno registriranim kapacitetima izvorišta tijekom spomenute ekstremne suše krajem ljeta 2003.g. Izvor Zvir je tijekom spomenute suše davao svega 600 l/s, tj. upola manje od ranijih prognoza, Zvir II oko 450 l/s, Martinšćica oko 250 l/s, tako da je ukupna izdašnost svih raspoloživih izvorišta Vodovoda Rijeka iznosila svega oko 1300 l/s (Rubinić i Sarić, 2005). Tako kritično sušne hidrološke prilike, koje su ozbiljno dovele u pitanje sigurnost opskrbe Vodovoda Rijeka, intenzivirale su aktivnosti na istraživanjima vezanim uz zaštitu bakarskih izvora od zaslanjenja (IGI, 2004 i 2005), na koju temu su objavljena i dva recentna rada (Biondić R. i drugi, 2005; Kuhta i Brkić, 2005). No, upravo zbog velike otvorenosti i brze dinamike cirkulacija voda u izvorišnim zonama priobalnih vodonosnika na analiziranom prostoru, uz istraživanje mogućih strukturalnih zahvata na tim lokalitetima (koji obično donose i veliku dozu neizvjesnosti u pogledu konačnog i trajnog učinka) nužno je posvetiti i pozornost prognostičko-upravljačkim aktivnostima, kao i zahvatima u dubljem zaleđu - gdje natpritisak rubnih dijelova slatkovodne leće ima dovoljnu sposobnost da spriječi pojavu prodora mora iz priobalja ili dubljih dijelova vodonosnika, a istovremeno omogućava dublju drenažu podzemnih voda u njenom zaleđu.

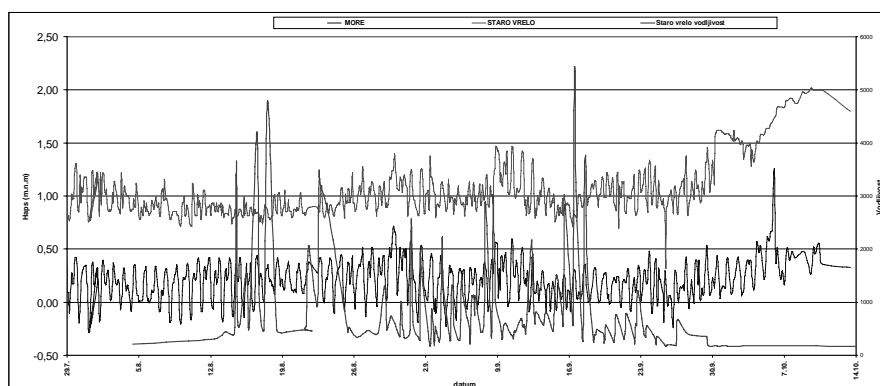
5.6. Područje crikveničko-novljanskog priobalja

Vrlo značajno područje istjecanja priobalnih krških izvora Crikveničko - novljanskog priobalja predisponirano je tektonikom Vinodolskog rova kojim su vode goranskog zaleđa usmjerene jednim dijelom ka Bakarskom zaljevu, a drugim ka široj zoni istjecanja južno od Novog Vinodolskog. Tu se nalaze vrlo dominantne vodne pojave (Slika 5) - vrlo snažni priobalni izvori u Klenovačkoj (Novljanskoj) Žrnovnici, kao i vrulje na području između Novoga, Povila i uvale Teplo gdje su i dva manja stalna priobalna, praktički uvijek zaslanjena izvora. Istjecanja značajnijih priobalnih izvora ima i južnije, na području Klenovice i Smokvice. Radi se o izvorišnoj zoni s možda i najvećim vodnim potencijalom na čitavom sjevernojadranskom području u Hrvatskoj, s obzirom na područje prihranjivanja i njegove oborinske značajke. Ono seže od Lič polja u Gorskom kotaru (koje je zajedničko područje prihranjivanja i izvorišta u Bakarskom zaljevu) na sjeverozapadu, pa do izvorišne zone Gacke, a moguće i šire na jugoistoku (Geotehnički fakultet Varaždin, 2003).

Zbog otvorenosti toga sustava i velikih hidrauličkih pritisaka u uvjetima nailaska velikih voda, brza su i pražnjenja vodnih rezervi, a i evidentan je dinamički kontakt mora s priobalnim vodonosnikom. Stoga se tijekom duljih sušnih razdoblja jedino kod dijela priobalnih izvora u uvali Žrnovnica ne pojavljuju zaslanjenja dijela voda koje tamo istječu (oko 1/3 od ukupnih količina). U cilju ograničenja kontakta zone istjecanja i mora, a time i povećanja eksploatacijskih količina slatkih voda, sredinom sedamdesetih izvedena je injekcijska zavjesa u središnjem dijelu izvorišne zone, a sredinom osamdesetih i njen nastavak s pristupnim injekcijskim tunelom usmjerenim ka susjednoj uvali Teplo (Pavlin, 1989). Za potrebe vodoopskrbe Novoga Vinodolskoga, Crikvenice i okolnih općina u toj su uvali kaptirani izvori Stara kaptaza (nominalnog kapaciteta 180 l/s), Nova kaptaza (80 l/s) i Čardak Čardak (160 l/s). No, tijekom već ranije spomenute ekstremne suše 2003.g., umjesto ukupnog kapaciteta od 420 l/s na koje je količine dana i koncesija, na izvorištu su bile raspoloživa dvostruko manje izdašnosti, a u tim uvjetima registrirana je i pojava zaslanjenja u središnjoj izvorišnoj zoni - na Staroj i Novoj kaptazi. Detaljna hidrološka analiza te pojave dan je u studiji Građevinskog fakulteta Rijeka (2005), iz koje su, radi ilustracije te pojave, preuzete i Slika 29 (prikaz režima crpljenja te kolebanja razine mora i razine vode na lokalitetima pojava istjecanja podzemnih voda u središnjoj izvorišnoj zoni tijekom razdoblja 28.07.2003. - 13.10.2003.) i Slika 30 (Prikaz hoda kolebanja razine mora, vode i konduktiviteta na Staroj kaptazi).



Slika 30 - Prikaz kolebanja apsolutnih vrijednosti vodostaja i crpljenja na izvorištu Žrnovnica (28.07.2003. - 13.10.2003.)



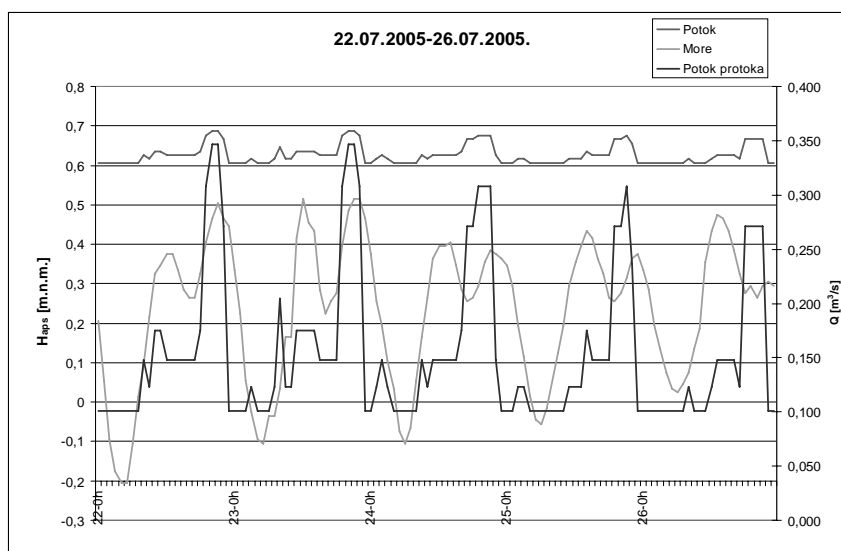
Slika 31 - Prikaz kolebanja apsolutnih vrijednosti vodostaja, razina mora i vodljivosti na Starom vrelu (28.07.2003. - 13.10.2003.)

Iz danih je prikaza vidljivo da je tijekom ljeta 2003.g., zbog izuzetno sušnih hidroloških prilika kao i samoga precrpljivanja izvorišta, došlo do naglog sloma dinamičke ravnoteže između slatke i slane vode na dijelu izvorišta Žrnovnica. Karakter suše vidljiv je po količini palih oborina u zaleđu prema kojima je prvih devet mjeseci 2003.g. imalo karakter iznimne suše 20-50 godišnje povratnog perioda, a po količinama oborina tijekom razdoblja lipanj - kolovoz, i iznad 50-godišnjeg. Zbog otvorenosti sustava i velikih gradijenata toka iz dubokog kopnenog zaleđa, kod izvorišta Klenovačka Žrnovnica i te ljetne oborine inače imaju doprinos u ljetnoj bilanci protoka za razliku od npr. dijela istarskih vodnosnika gdje one uglavnom imaju minoran utjecaj.

U tim je uvjetima, koincidiranim s povećanjem količine crpljenja od oko 200 na 250 l/s sredinom kolovoza, najprije došlo do prodora mora u zonu istjecanja izvorišnog ogranka Stara kaptaza, s nekoliko uzastopnih pikova od kojih je najveći bio s registriranih 5430 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a čemu odgovara sadržaj klorida od preko 2500 mgCl/l. Slična je situacija, s nešto manjim zabilježenim konduktivitetima zaslanjenih voda (max. 1955 S/cm) registrirana je i na 30-tak m udaljenoj Novoj kaptazi. Nasuprot tome, niti stotinu metara udaljeni izvorišni ogranak Čardak koji se nalazi na istočnom dijelu izvorišne zone Žrnovnica uopće nije dobio povećani udio klorida, te su njegove registrirane vodljivosti ostale u uobičajenim dozvoljenim granicama od oko 200 S/cm, koliko su bili konduktiviteti i na Staroj i Novoj kaptazi prije registriranog prodora mora.

Opisana pojava zaslanjenja inicirala je novi ciklus vodoistražnih radova koje vode Geo-info iz Zagreba, kao i uspostavu kompleksnijeg hidrološkoga monitoringa (Građevinski fakultet Rijeka, 2005). Hidrološki monitoring je proveden u razdoblju 11.1994.-9.1995. tijekom kojega se, zbog vodnijih hidroloških prilika, nisu zapazile pojave povećanih prodora mora u zonu ist-

jecanja i zahvata kaptiranih izvora. Ipak, dobiven je čitav niz vrlo korisnih hidroloških podataka koji daju uvid u dinamiku istjecanja podzemnih voda na tom području, ali i općenito proširuju saznanja o mehanizmu funkcioniranja priobalnih krških vodonosnika. U tom smislu indikativan je prikaz na Slici 32, gdje je dan međuodnos dinamike kolebanja razine mora i podzemnih voda na lokalitetu Potok gdje se prikupljaju preljevne vode svih izvorišta u toj zoni. Vidljiv je utjecaj dnevnih oscilacija mora na režim istjecanja priobalnog vodonosnika, s vrlo brzim reakcijama. Vidljiva je i dobra vremenska koincidencija minimalnih vrijednosti nivograma razine mora i hidrograma Potoka, dok njihove maksimalne vrijednosti pokazuju postupni pomak u takvoj koincidenciji.



Slika 31 - Prikaz međuodnosa vodostaja i protoka na profilu Potok i vodostaja mora (22.07.-26.07.2005) na lokalitetu priobalnog izvorišta Klenovačka Žrnovnica

5.7. Podvelebitsko primorje

U podvelebitskom priobalju nalazi se velik broj priobalnih izvora i vrulja kroz koje se prazni krški vodonosnik koji se prihranjuje iz široko rasprostranjenog zaleđa masiva Velebita i Ličko-Gackog platoa. Prije izgradnje hidroenergetskog sustava HE Senj praktički se je cjelokupna vodna bilanca jadranskog dijela slivova Like, Gacke i Podvelebitskog primorja drenirala podzemnim putem upravo kroz niz takvih podvelebitskih priobalnih izvora pa i sjeverno od vodotoka Senjske drage - sve do Klenovačke žrnovnice. S obzirom na rijetku površinsku hidrografsku mrežu površinskih bujičnih tokova koji se aktiviraju tek pri vrlo rijetkim povratnim periodima, sigurno se preko 95% od ukupno procijenjene vodne bilance toga područja, a koja prema Bonacciju i Horvat (2003) iznosi prosječno $105 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, dreniralo tim

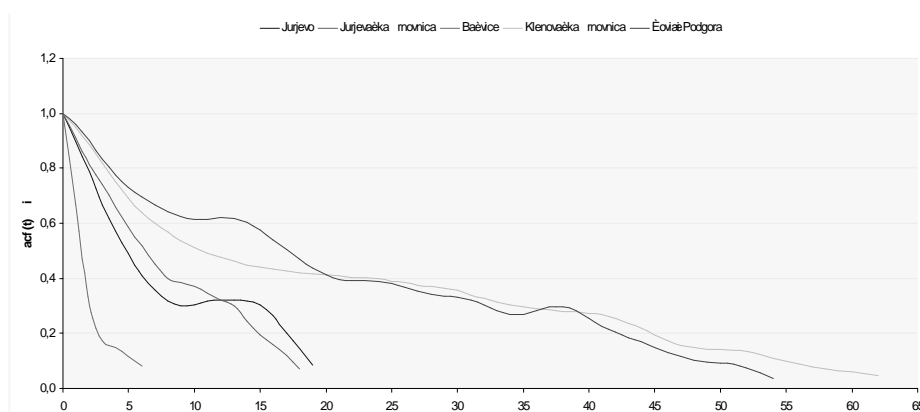
podzemnim putem u more. S obzirom da srednja godišnja količina voda koja prolazi postrojenjem HE Senj iznosi $31 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Institut za elektroprivredu i energetiku, 1997), proizlazi da se prosječno blizu $70 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ vode i dalje drenira putem priobalnoga podvelebitskog vodonosnika neposredno u more.

Postoje i brojni priobalni izvori koji su, zbog otvorenog kontakta s morem, praktički redovito zaslanjeni, tako da na tom vrlo dugom području nema niti jednog kaptiranog priobalnog izvoda. Najznačajnija istjecanja priobalnih izvora i vrulja locirana su na području Svetog Jurja i obližnje uvale Jurjevačka žrnovnica, uvale Ždralove sjeverno od Lukova Otočkog, te idući južnije u nešto manjoj mjeri kod Klade i Starigrada, te u čitavom nizu uvala južno od Zavratnice kod Jablanca, pa do Prizne. Među njima najznačajnije je istjecanje na izvorištu Bačvica, osamdesetih godina prošlog stoljeća kaptirano i podvodnim cjevovodom povezano s vodoopskrbnim sustavom otoka Paga. No, zbog velikih prodora mora u vodozahvat neposredno lociran uz morsku obalu, unatoč dodatno provedenih injektiranja, izvorište je nakon nekoliko godina eksploatacije napušteno 1990.g. Tijekom radova na izgradnje sustava HE Senj kraće je vrijeme bio kaptiran izvor i u uvali Jurjevačka žrnovnica. Za napomenuti je da su upravo vezano uz Jurjevačku žrnovnicu provedena jedna od prvih sustavnih istraživanja naših priobalnih izvora i vrulja koja su bila utemeljena na sustavnim terenskim opažanjima (slanost i temperature voda te lokalna trasiranja s fluoresceinom) tijekom razdoblja 1938.-40. te 1946.- 47. Tijekom tih istraživanja samo na priobalnom području između Sv.Jurja i Jurjevačke žrnovnice detektirano je preko 300 pojava priobalnih izvora i vrulja (Kuščer, 1950).

Tijekom razdoblja X.1989. - XII.1990.g. na podvelebitskim je izvorima uspostavljen sustav hidroloških praćenja u cilju snimanja nultog stanja istjecanja odabranih izvora prije nego li se započne s realizacijom proširenja hidroenergetskog sustava HE Senj izgradnjom planirane HE Kosinj (JVP istarskih slivova, 1991), pri čemu su na izvorištu Bačvice dijelom razdoblja monitoringa provedena i kratkotrajna praćenja sadržaja klorida. Provedene analize tih podataka u jednom diplomskom radu (Travica, 2006), iako kratke duljine i s grubom diskretizacijom očitavanja, ipak daju uvida u režim funkcioniranja odabranih vodnih pojava, kao i u njihove specifičnosti.

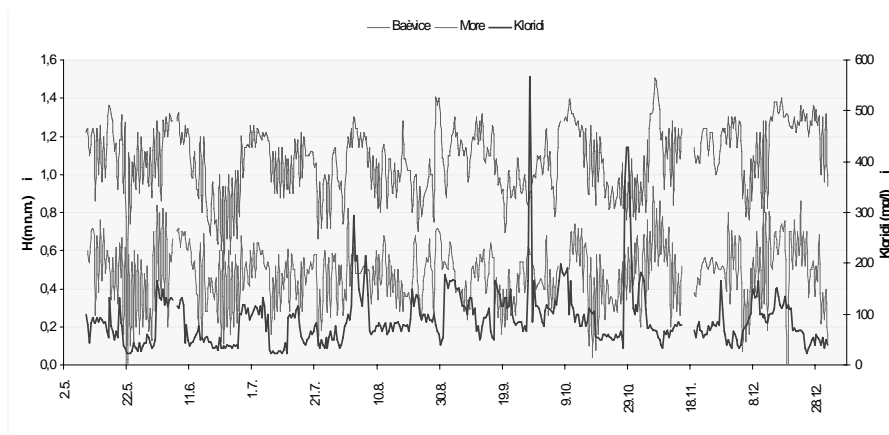
Na Slici 32 dan je prikaz usporednog hoda autokorelacijskih funkcija (acf) hoda dnevnih protoka analiziranih podvelebitskih priobalnih izvora, Klenovačke žrnovnice i izvorišne zone Gacke (u profilu Čovići Podgora). Iz njega je vidljivo da autokorelacijska funkcija različito opada kod različitih izvora. Kod izvorišne zone Gacke i Klenovačke žrnovnice ta funkcija, uz vrlo veliku međusobnu podudarnost, pokazuje i vrlo sporo opadanje a time i veliku međusobnu zavisnost analiziranih podataka, a što pak implicira i značajne retencijske kapacitete takvih izvora. S druge strane kod izvorišta

Bačvica zapažen je vrlo brzi pad autokorelacijske funkcije. To ukazuje na brzo pražnjenje njegova vodonosnika. Međusobno bliska izvorišta Jurjevo i Jurjevačka Žrnovnica, koja se nalaze i prostorno između Bačvica i Klenovačke žrnovnice, pokazuju da im se i "acf" nalaze između ova dva prethodna rubna primjera, kao i da su im "acf" međusobno slične. Karakteristike autokorelacijske funkcije ukazuju i na način prihranjivanja vodonosnika spomenutih priobalnih izvorišta, ali i na osjetljivost njihovih sustava na lokalne hidrološke prilike.



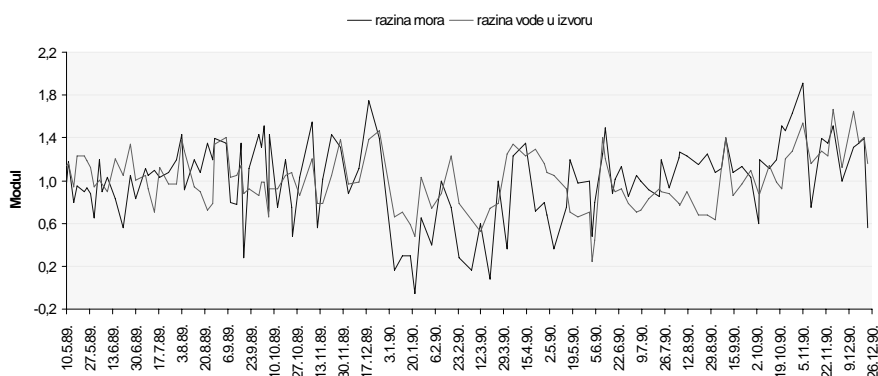
Slika 32 - Usporedni prikaz autokorelacijske funkcije analiziranih priobalnih izvora (10.1989. - 12.1990.) - preuzeto od Travica (2006)

Vrlo brze reakcije izvora Bačvice na lokalne prilike odražavaju su se i na režim njegova zaslanjivanja i oslađivanja (Slika 33). Vidljivo je da je tijekom promatranog razdoblja više puta došlo do prodora mora u zonu istjecanja samog izvora. Tako je početkom kolovoza (2.8.1989.) registrirano povećanje sadržaja količina klorida (294,3 mgCl/l) u situaciji koincidencije istovremenog relativnog podizanja morske razine i spuštavanja razine vode u izvoru, a što je sve skupa bilo praćeno i povećanim količinama crpljenja iz izvora za potrebe vodoopskrbe. Nakon nastupajućeg razdoblja stabilizacije klorida na izvorištu unutar dozvoljenih vrijednosti za pitku vodu, ponovna vršna vrijednost količine klorida (567,6 mgCl/l) registrirana je 27.9. u sličnim hidrološkim prilikama. Također i početkom studenog iste godine također dolazi do većega porasta klorida (429,0 mgCl/l).



Slika 33 - Prikaz kolebanja vodostaja, klorida i razine mora na izvoru Bačvice (9.5.-31.12.1989.)

Na Slici 34 dan prikaz modularnih vrijednosti hoda dnevnih kolebanja razina mora i razina vode na izvorištu Jurjevačka žrnovnica, iz koga se vidi da je dinamika istjecanja toga priobalnog izvora u neposrednoj vezi s dinamikom kolebanja morske razina. To pak implicira na vrlo čvrstu dinamičku vezu slatkih i slanih voda u tom vodonosniku.



Slika 34 - Modularne vrijednosti hoda dnevnih kolebanja razine mora i voda na izvorištu Jurjevačka žrnovnica (listopad 1989. - prosinac 1990.).

Novi ciklus istraživanja podvelebitskih izvora započet je tijekom 2006.g. u organizaciji HGI od strane Kuhte i Stroja.

5.8. Otočki vodonosnici

Ograničen fizički opseg predmetnog rada ne omogućuje da se ovom prilikom na analogan način kao i kod priobalnih kopnenih vodonosnika ana-

liziraju i otočki krški priobalni vodonosnici i njihove vodne pojave, mada po svom karakteru i vodnim zalihama zavrijeđuju posebnu pozornost. Naime, na sjevernojadranskim otocima ima niz posebnosti i otočkih vodnih fenomena koji predstavljaju vrijedne vodne resurse za vodoopskrbu, ekologiju otočkih staništa, pa i za navodnjavanje s obzirom da na sjeverno jadranskim otocima postoje i poljoprivredne površine na kojima se planira navodnjavanje.

No, neki od tih fenomena kao što je Vransko jezero na otoku Cresu, sa svojih 220 mil. m³ slatke vode na inače bezvodnom uskom otoku, predstavljaju i u svjetskim razmjerima značajnu prirodnu baštinu. Svoju obstojnost kriptodepresija Vranskog jezera upravo i zasniva na dinamičkoj ravnoteži međuodnosa slatkih i slanih voda u otočkom vodonosniku. Manje je poznato da i Jezero kod Njivica na otoku Krku također ima karakter kriptodepresije, kod koje je zbog karaktera neposrednijih podzemnih komunikacija s morem ta komunikacija između slatkih i slanih voda i puno osjetljivija. Kontakt slatkih i slanih voda zapaža se i u dijelu otočkog vodonosnika u okruženju akumulacije Ponikve locirane u središnjem dijelu otoka Krku, na prostoru gdje između ponorske zone depresije Ponikve ka izvorišnoj zoni u Malinskoj postoji duboki dren podzemnih voda (Rubinić, 2005). Uspješni bunarski zahvati podzemnih voda na sjevero istočnom dijelu otoka Krka (zaleđe Baške i Vrbnika) potvrdili su mogućnost pridobivanja i značajnijih količina podzemnih voda primjerene kakvoće i iz ograničenih otočkih krških vodonosnika. Vlastite eksploataibilne rezerve podzemnih voda imaju i otoci Rab i Pag, na kome postoje i površinske vodne pojave u neposrednom kontaktu s otočkim krškim vodonosnikom (Velo i Malo Blato). No, i manji otoci (kao Unije, Susak, Veli Brijun,...) imaju svoje vlastite rezerve podzemnih voda koje se pod određenim uvjetima mogu eksploatirati - zbog ograničenih mogućnosti zaštite vodonosnika od unosa antropogenih onečišćenja vjerojatnije prije za navodnjavanje nego li za vodoopskrbu.

Podatak da se čak i na najvećem otoku Krku za sada prosječno koristi svega oko 1,4 % od obnovljive otočke vodne bilance dovoljno govori o tome da pravo korištenje i upravljanje vodnim rezervama priobalnih vodonosnika zapravo tek predstoji. Kao prilog tome u jednom od budućih radova dati će se i ovom prilikom izostala analiza otočkih priobalnih vodonosnika.

6. ZAKLJUČCI

Upravljanje priobalnim vodnim resursima jedna je od ključnih odrednica razvoja priobalnih područja. Planirani razvoj poljoprivrede koji podrazumijeva i osiguranje dostatnih količina vode za navodnjavanje može biti jedna od bitnih sastavnica toga razvoja, ali nosi sobom i rizike vezane uz korištenje raspoloživih vodnih resursa u uvjetima naglo naraslih potreba.

Vidljivo je da te potrebe mogu u nekom ne baš dalekom predstojećem plan-skom razdoblju i dvostruko porasti u odnosu na sadašnju razinu korištenja voda, kao što je to slučaj na području Istre. Pri tome za očekivati je da će najveći pritisci biti vezani uz korištenje priobalnih krških izvora i vodonosnika, a čime se, u slučaju neprimjernog korištenja koje potencira pojave njihova zaslanjenja, može ugroziti i njihova vodoopskrbna funkcija.

Zaslanjenja priobalnih izvora i vodonosnika na području Hrvatske za sada su samo u manjoj mjeri uzrokovani neprimjerenim, prekomjernim precrpljivanjem njihovih vodnih rezervi. Uglavnom se radi o priobalnim izvorima sa prirodno uvjetovanim procesima zaslanjenja njihovih voda. Da bi se provela odgovarajuća zaštita potencijalno ugroženih izvora i vodonosnika u novim uvjetima očekivanog porasta potreba za vodom, nužno je istražiti mehanizme njihova zaslanjenja pri postojećem režimu korištenja, kao i moguće mjere zaštite. Stoga su u danom radu analizirani opći principi najčešće prisutnih mehanizma zaslanjenja priobalnih izvora i vodonosnika, koji su ilustrirani primjerima sa sjeverno-jadranskog priobalnog područja.

Iz analiziranih slučajeva, utvrđeno je da postoje dva načina zaslanjenja - prekomjernim crpljenjem tijekom dugotrajnih sušnih razdoblja kada se zaslanjena voda iz rubnih dijelova vodonosnika postupno uvlači u zonu vodozahvata, kao i prilikom nailaska većih voda nakon takvih dugotrajnih sušnih razdoblja kada se dijelovi vodonosnika sa zaslanjenim vodama potiskuju dijelom i kroz zonu njihova istjecanja i vodozahvata. Utvrđene su i druge mogućnosti zaslanjenja, ali i slučajevi kada rubni uvjeti pražnjenja krških izvora i vodonosnika pružaju dostatnu zaštitu.

Moguća rješenja zaštite voda od zaslanjivanja mogu se grupirati u dvije kategorije - strukturalnih i upravljačkih rješenja, kao i rješenja koja predstavljaju kombinaciju ovih dvaju kategorija. Osim fizičkog podizanja razine istjecanja priobalnih izvora, ugradnje zapornica za sprečavanje uvlačenja klina zaslanjene vode kanalskim sustavima u zonu komunikacije vodonosnika s okruženjem, otješnjenja zona komunikacije priobalnog vodonosnika s morem koja se najčešće vrši injektiranjem, u radu se sugerira i primjena modela zaštite izvorišta oponašanja prirodnih sedimentacijskih procesa na širem fronta kontakta vodonosnika i mora. No, osim zaštite priobalnih izvorišta na postojećim mjestima njihova istjecanja, u cilju njihove primjerenije zaštite nužno je razmotriti i mogućnosti prelociranja zahvata s problemima vezanim uz zaslanjivanja u zone smanjenih komunikacija vodonosnika s morem. Pri korištenju vodnih resursa na takvim, od utjecaja mora dovoljno udaljenim lokacijama, moguće je ići i u precrpljivanja, odnosno korištenja dijela sezonski obnovljivih statičkih vodnih rezervi vodonosnika. U sve kompleksnijim uvjetima korištenja voda u priobalnim vodonosnicima upravljačka rješenja moraju pratiti dinamiku kolebanja slanih i slatkih voda u vodonosniku, kao i blagovremeno prilagoditi režim korištenja crpilišta

uvjetima održanja njihove ravnoteže. Pri tome je, u cilju optimalizacije korištenja vodnih resursa na nekom regionalnom prostoru, nužno povezati pojedine resurse kako bi se kritična razdoblja zaslanjenja premostila korištenjem vodnih zaliha sa susjednih resursa. U tom smislu nužno je na nekom regionalnom prostoru razvoj navodnjavanja promatrati zajednički s razvojem vodoopskrbe, energetike i drugi vidova korištenja voda. Razvoj hidroloških modela ponašanja funkcioniranja priobalnih izvora i vodonosnika, kada se orijentira i na prognoze u realnom vremenu, uveliko će pridonijeti optimalizaciji korištenja i zaštite priobalnih vodnih resursa.

Dani rad napravljen je u vidu sinteznog dokumenta koji pokazuje različite aspekte međuodnosa priobalnih izvora i vodonosnika i mora na jednom regionalnom prostoru. Nije mu zadaća bila da dođe do nekih novih spoznaja ili da se pokaže neke nove metodologije istraživanja međuodnosa slatkih i slanih voda. Osnovni je njegov cilj bio da se na temelju analiziranih primjera upozori na realnu opasnost od posljedice mogućih precrpljivanja priobalnih vodonosnika, kao i da pokaže da uspješnost različite mogućnosti njihova rješavanja prije svega ovisi o razini poznavanja različitih procesa koji imaju utjecaj na mehanizme zaslanjenja.

7. DOKUMENTACIJA

- 1.) Alfireviću, S. (1978): Istraživanja podzemnih voda na morskom dnu uz istočnu obalu Jadrana. U: Zborniku referata Simpozija o istraživanju, eksploatiranju i gospodarenju podzemnim vodama. Zagreb 29.-31.3.1978., 41-59.
- 2.) Alfirević, S. (1954): Problematika geologije mora s posebnim osvrtom na nanos, reljef i podmorska vrela. Hidrografski godišnjak, Split.
- 3.) Alfirević, S. (1969 a): Jadranske vrulje u vodnom režimu Dinarskog primorskog krša i njihova problematika. Krš Jugoslavije 6, JAZU, Zagreb, 183-205.
- 4.) Alfirević, S. (1969 b): Uloga i značaj opskrbe vodom u ekonomskom preobražaju jadranskog otočkog pojasa. Krš Jugoslavije 6, JAZU, Zagreb, 381-402.
- 5.) Benac Č., Arbanas, Ž., Pavlovec, E. (1991): Postanak i geotehničke osobitosti doline i zaljeva Raše. Pomorski zbornik 29, 475-492.
- 6.) Benac, Č., Rubinić, J., Ožanić, N. (2003): The Origine and Evolution of Coastal and Submarine Springs in Bakar bay. // Acta Carstologica. 32/1; 157-171
- 7.) Biondića, B., Dukarić, F., Biondić, R. (1995): Utjecaj mora na priobalne krške vodonosnike. Zbornik radova 1. hrvatske konferencije o

- vodama - knjiga 2, JVP Hrvatska vodoprivreda, Dubrovnik 24.-27.05.1995., 31-39.
- 8.) Biondić, B., Biondić, R., Kapelj, S. (2000): Problem utjecaja mora na krške vodonosnike u Hrvatskoj. U: Zbornik radova 2. hrvatskog geološkog kongresa, Institut za geološka istraživanja, Cavtat - Dubrovnik 17.-20.05.2000., 531-538.
 - 9.) Biondić, R. (2001): Gospodarenje podzemnim vodama i zaštita priobalnih krških vodonosnika na primjeru izvorišta sjevernog dijela Hrvatskog primorja - Magistarski rad. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet. Zagreb.
 - 10.) Biondić R., Biondić, B., Dukarić, F. (2005): Hidrološki model zaslanjenja na crpilištu Dobrica u Bakarskom zaljevu. Zbornik radova 3. hrvatskog geološkog kongresa, Institut za geološka istraživanja, Opatija 29.9.-1.10.2005., 181-182..
 - 11.) Bonacci, O. (1995): Brackish karst spring Pantan (Croatia). Acta Carsologica XXIV, 97 - 107.
 - 12.) Bonacci, O. (1987): Karst hydrology. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, pp184.
 - 13.) Bonacci, O., Fritz, F., Denić-Jukić, V. (1995): Hydrogeology of Slanac Spring Croatia. Hydrogeology Journal. 3; 31-40
 - 14.) Bonacci, O., Biondić, B. (1994): Hidrološka i hidrogeološka ocjena mogućnosti zahvata voda na izvoru Blaž u Istri. Zagreb, Split, nepublicirano.
 - 15.) Bonacci, O., Horvat, B. (2003): Bilanca voda Hrvatske: dostignuća i potrebe. U: Zbornik radova 3. hrvatske konferencije o vodama, Osijek, 28.-31.05.2003., 33-43.
 - 16.) Bonacci, O. , Roje-Bonacci, T. (1997): Sea water intrusion in coastal karst springs: example of the Blaz Spring (Croatia). Hydrological sciences journal 42 /1, 1; 89-100
 - 17.) Bonacci, O. , Roje-Bonacci, T. (2000): Posebnosti krških vodonosnika. Hrvatske vode 8/30, 25-41.
 - 18.) BONACCI-HIDRO-GEO D.O.O. (1995): Hidrološka analiza izvora Blaž. Split, nepublicirano.
 - 19.) BONACCI-HIDRO-GEO D.O.O. (1997): Hidrološka analiza dinamike kolebanja razine vode bunara Vodovoda Pula u cilju zaštite njihovih voda. Split. Nepublicirano.
 - 20.) Breznik, M. (1973): Nastanek zaslanjenih kraških izvirev in njihova sanacija. Geologija - Rasprave in poročila, 16. knjiga, Ljubljana, 83-186.
 - 21.) Breznik, M. (1998): Storage reservoirs and deep wells in karst regions. A.A.Balkema, Rotterdam/Brookfield, pp 250.

- 22.) Cotecchia, F., Lollino, G., Pagliarulo, R., Stefanon, A., Tadolini, T., Triizzino, R. (1990): Hydrogeological conditions and field monitoring of the Galeso submarine spring in the Mar Piccolo of Taranto (Southern Italy). Proc.of the 11th salt water intrusion meeting, gdansk, poland, 171-208.
- 23.) DHMZ (2002): Meteorološka podloga za Vodnogospodarsku osnovu Hrvatske (nositelj zadatka Gajić-Čapka, M.), Zagreb, nepublicirano.
- 24.) GEO-5: Opažanja nivoa podzemne vode na prostoru zapadne i južne Istre - God izvještaji za razdoblje 1995.-2002.g. (nositelj zadatka Mihovilović M), Rovinj, nepublicirano.
- 25.) Građevinski fakultet Rijeka (1998): Plan navodnjavanja za područje istarskih slivova (vod. proj. Kos, Z.), Rijeka, nepublicirano.
- 26.) FAO-UNDP projekt (1979): Studiaj o mogućnosti razvoja i eksploatacije vodnog bogatstva u Istri - planovi navodnjavanja i vodoopskrbe - prethodni planski izvještaj. Rijeka - Roma, nepublicirano.
- 27.) Gjurašin, K. (1942): Prilog hidrografiji primorskog krša. Tehnički vjesnik 59, Zagreb.
- 28.) Gjurašin, K. (1943): Prilog hidrografiji primorskog krša. Tehnički vjesnik 60, Zagreb.
- 29.) Geološki konzalting (2002): Hidrogeološka ocjena mogućeg pozitivnog utjecaja rekonstrukcije Obuhvatnog kanala br.2 melioracijskog sustava Donje Raše na sprečavanje zaslanjenja labinskog vodocrpilišta Fonte Gaia - Kokoti (nos. Zad. Golubić, S.), Zagreb, nepublicirano.
- 30.) Geotehnički fakultet u Varaždinu (2003): Istraživanja zaštite izvorišta vodoopskrbe na području Primorsko-goranske županije (vod. proj. Biondić, B.), Varaždin, nepublicirano.
- 31.) Geotehnika (1970): Vodoistražni radovi - izvorište Blaž (1968.-1970.) (nos. zad. Franić, D., Krznar, J.), Zagreb, nepublicirano.
- 32.) Građevinski fakultet Rijeka (2003): Pražnjenje akumulacije Butoniga - Prijedlog programa pripremnih aktivnosti vezanih uz donošenje odluke o eventualnom pražnjenju i uspostavu monitoringa (nos. zad. Rubinić, J.). Rijeka, nepublicirano.
- 33.) Građevinski fakultet Rijeka (2004): Vanjske površinske vode grada Rovinja - hidrologija i analiza rješenja. Rijeka, nepublicirano.
- 34.) Građevinski fakultet Rijeka (2004): Istarživanja međugraničnih vodonosnika s područja jadranskog sliva Hrvatske i Slovenije - Hidrološka obrada (nos. zad. Rubinić, J.), Rijeka, nepublicirano.
- 35.) Građevinskog fakulteta Rijeka (2005): Hidrološki radovi na izvoru Žrnovnica (IX.2004.-IX.2005.) (nos. zad. Rubinić, J.). Rijeka, nepublicirano.

- 36.) Građevinskog fakulteta Rijeka (2007): Temeljna hidrologija, vodni resursi i sedimentacijski procesi na utjecajnom području TE Plomin (nos. zad. Rubinić, J.). Rijeka, nepublicirano.
- 37.) Građevinski fakultet Zagreb (1968): Izvještaj o hidrološkim istraživanjima izvorišta Blaž. Zagreb, nepublicirano.
- 38.) Horvat, B. (2005): Određivanje površinske temperature mora korištenjem Landsat TM i ETM snimaka. Zagreb, nepublicirano.
- 39.) Horvat, B., Rubinić, J. (2006): Annual runoff estimate- an example of karstic aquifers in the transboundary region of Croatia and Slovenia. Hydrological Sciences Journal. 51/2; 314-324
- 40.) HGI d.o.o. (1997): Katastar bušenih zdenaca Južne Istre (nositelj zad. Čakić, D.). Pula, nepublicirano.
- 41.) HGI (2005): Vodoistražni radovi na izvoristu Kristal u Opatiji, izvješće druge faze istraživanja (nos. zad. Kuhta, M.), Zagreb, nepublicirano.
- 42.) Hrvatske vode VGO Rijeka (1998): Plan navodnjavanja za područje istarskih slivova - Vodoprivredna rješenja (Konceptija i akumulacije) (nos.zad. Pavletić, Lj.), Rijeka, nepublicirano.
- 43.) Hrvatske vode VGO Rijeka (2004): Rezultati hidroloških praćenja iznimno sušnih prilika na području VGO Rijeka tijekom ljeta 2003. (nos.zad. Horvat, B.), Rijeka, nepublicirano.
- 44.) Hrvatske vode VGO Rijeka (2005): Akumulacija Botonega - Korištenje i upravljanje (nos.zad. Pavletić, Lj.), Rijeka, nepublicirano.
- 45.) Hrvojić, E. (1979): Problematika zahvata izvorišta Blaž - izvještaj o izvršenim radovima. Rijeka, nepublicirano.
- 46.) IGH PC Rijeka (2006): Vodoopskrbni plan Istarske županije - draft verzija (vod. proj. Ravlić, N.), Rijeka, Zagreb, nepublicirano.
- 47.) IGI (1969): Hidrogeološka istraživanja užeg područja izvora Blaž - knjiga I. Zagreb, nepublicirano.
- 48.) IGI (2004): Istražni radovi u svrhu ocjene vodnog potencijala napuštenih ugljenokopa Labinštine (nos.zad. Kuhta, m.), Zagreb, nepublicirano.
- 49.) IGI (2004): Izvorište Dobrica u Bakarskom zaljevu, hidrogeološka istraživanja za sanaciju crpilišta od utjecaja zaslanjenja (nos.zad. Biondić, R.), Zagreb, nepublicirano.
- 50.) IGI (2005): Izvorište Dobrica, vodoistražni radovi - analiza zaslanjenja (nos. zad. Kuhta, M., Brkić, Ž.), Zagreb, nepublicirano.
- 51.) Industroprojekt (1977): Hidrogeološki istražni radovi na lokalitetu Blaž (1975.-1977.) (nositelj zad. Dumančić, E.). Zagreb, nepublicirano.
- 52.) Industroprojekt (1978): Hidrogeološka istraživanja lokaliteta Blaž - dolina Klena (nositelj zad. Dumančić, E.). Zagreb, nepublicirano.

- 53.) Industroprojekt (1983): Studija o mogućnosti korištenja jamskih, izvorskih i površinskih voda na širem području Labina (nosit. zad. Haček, M.), Zagreb, nepublicirano.
- 54.) Institut za elektroprivredu i energetiku (1997): Produljivanje nizova dnevnih protoka i hidrološko bilanciranje HE Senj i Sklope (nos.zad. Pavić, I.), Zagreb, nepublicirano.
- 55.) Istarski vodovod PJ Rovinj (2003): Navodnjavanje na području grada Rovinja (nos. zad. Malčić-Pirin, D.) Rovinj, nepublicirano.
- 56.) Juračić, M., Sondi, I., Rubinić, J. i Pravdić, V. (1995): Sedimentacija u neravnotežnom estuariju pod utjecajem rijeke: krški estuarij Raše (Hrvatska). U: Zbornik radova 1. Hrvatskog geološkog kongresa, Opatija, 18-21.10.1995, 265-267.
- 57.) JVP istarskih slivova (1991a): Vransko jezero - Rezultati hidroloških istražnih radova I faza (nos.zad. Rubinić, J.). Labin, nepublicirano.
- 58.) JVP istarskih slivova (1991b): Akumulacija Kosinj - registracija nultog stanja korespodentnih izvora u priobalju (nos.zad. Rubinić, J.), Labin, nepublicirano.
- 59.) JVP istarskih slivova (1993 a): Istarživanje vodnog potencijala jamskih prostora napuštenih ugljenokopa s područja Labinštine (VIII-1992. - III-1993.) (nos. zad. Rubinić, J.), Labin, nepublicirano.
- 60.) JVP istarskih slivova (1993): Ocjena izdašnosti izvora na području desne strane doline donje Mirne (nos. zad. Rubinić, J.), Labin, nepublicirano.
- 61.) Kos, Z., Kos, E. (1989): Značajniji zahvati podzemne vode u kršu riječke regije. Vodoprivreda 21/1-2, 117-127.
- 62.) Krznar, J. (1978): Problematika zaslanjenja i zahvata vode na izvorištu Blaž. : Zborniku referata Simpozija o istraživanju, eksploatiranju i gospodarenju podzemnim vodama. Zagreb 29.-31.3.1978.,71-84.
- 63.) Kuhta, M., Brkić, Ž. (2005): Ispitivanje pojave zaslanjenja vodozahvata Dobrica spuštanjem razine preljeva. Zbornik radova 3. hrvatskog geološkog kongresa, Institut za geološka istraživanja, Opatija 29.9.-1.10.2005.,203-204.
- 64.) Kuhta, M., Novosel, T. (2000): Hidrogeološka strujanja vrulja u zaljevu Jurjevske Žrnovnice. U: Zbornik radova 2. hrvatskog geološkog kongresa, Institut za geološka istraživanja, Cavtat - Dubrovnik 17.-20.05.2000., 653-658.
- 65.) Kuhta, M., Stroj, A., Tomašić, M. (2005): Zbornik radova 3. hrvatskog geološkog kongresa, Institut za geološka istraživanja, Opatija 29.9.-1.10.2005.,205-206.
- 66.) Kušcer, I. (1950): Kraški izviri ob morski obali - Disert. Raz. Znanosti in Umetnosti, Classis III, Series A, Ljubljana.

- 67.) Lorenz, J. (1859): Die Quellen des liburnischen Karstes und der vorliegenden Inseln. Mitteil. d.k.k.Georg.Ges.III, Wien.
- 678.) Lorenz, J. (1863): Physikalische Verhältnisse und Verteilung der Organismen im Quarnerischen Golfe, Wien.
- 69.) Ljubenković (2006): Numerički model uslojenog tečenja na ušću rijeke u more - magistarski rad. Građevinsko-arhitektonski fakultet Sveučilišta u Splitu.126 str.
- 70.) Mayer, D. (1993): Kvaliteta i zaštita podzemnih voda. Hrvatsko društvo za zaštitu voda i mora, Zagreb, 146 str.
- 71.) Mijatović, B.F. (1974): Problematika zaslanjivanja kaptaza podzemnih voda u kraškim primorskim vodonosnicima. U: Zbornik radova III Jug. Simpoz. O hidrogeol. I inž. Geol., Opatija, 187-200.
- 72.) Mijatović, B.F. (1990): Kras - hidrogeologija kraških vodonosnika. Beograd.
- 73.) Novosel, M., Novosel, A., Požar-Domac, A., Pasarić, M., Olujić, G. (2006): Utjecaj vrulja na rast vrste *Pentapora fascialis* u Velebitskom kanalu. U: Zborniku sažetaka II zn. skupa Prirodoslovna istraživanja riječkog područja, Rijeka 14-17.06.2006.
- 74.) Pavlin (1973): Establishment of subsurface dams and utilisation of natural subsurface barriers for realisation of underground storages in the coastal karst spring zones and their protection against sea-water intrusion. Procc. 11th Cong. On Large Dams, Madrid Q 40R33, Paris, 487-501.
- 75.) Pavlin, B. (1989): Injekcijska zavjesa za zaštitu izvorišta Žrnovnica protiv upliva mora. Zbornik radova VII Jug. Simp. Za mehaniku stena i podzemne radove, Beograd.
- 76.) Petrik, M. (1961): Mjerenje na vruljama. Drugi jugoslavenski speleološki kongres. Zagreb.
- 77.) Radetić, J., Medančić, R. (2001): Značaj zaštite podzemnih voda u vodoopskrbi Pule. Zbornik radova Znanst. Str. Skupa Kako zaštititi vode Hrvatske s gledišta vodoopskrbe i odvodnje, Pula 26.-30.6.2001. Hrvatska grupacija vodovoda i kanalizacije, 21-30.
- 78.) Ravlić, D., Plišić, I., Ravlić, N. (1992): Značenje jadranskih vrulja sa stajališta vodoopskrbe. Pomorski zbornik 30, 679-691.
- 79.) Rubinić, J. (1999): Idejno rješenje razvitka izvorišta regionalnog vodoopskrbnog sustava Istre - Hidrologija. Labin, nepublicirano.
- 80.) Rubinić, J., Batelić, A., Kukuljan, I. (2000): Hidrološka analiza pojave zaslanjenja labinskog izvorišta vodoopskrbe Fonte Gaia u rujnu 1998. godine. Hrvatske vode 8(30), 17-24.

- 81.) Rubinić, J., Ožanić, N. (1999): Influence of the Sedimentation Process on the Raša River Mouth on the Outflow Regime of Coastal Springs. Proc. XXVII IAHR Biennial Congress Hydraulic Engineering for Sustainable Water Resources Management at the Turn of the Millenium, Graz 22.-27.08.1999., 41-48.
- 82.) Rubinić, J., Sarić, M. (2005): Hidrologija vodnih resursa u slivu Rječine. U: Zborniku radova Prošlost, sadašnjost i budućnost vodoopskrbe i odvodnje - Iskustva i izazovi, Opatija, 11.-15.10.2005., 199-207.
- 83.) Rubinić, J., Tomašić, M. i Kukuljan, I., (1995) Vodni potencijal jamskih prostora Labinštine. U: Zbornik radova 1. Hrvatskog geološkog kongresa, Opatija, 18-21.10.1995, 519-522.
- 84.) Rubinić, J. (2005): Hidrološke značajke izvorišta vodoopskrbe na otoku Krku. Rijeka, nepublicirano.
- 85.) Sappa, G. (2006): Idrogeo11 (151.100.152.9/website/people/gsapppa/dispense/idro)
- 86.) Stojanović, A., Dravec, Lj. (2005): Istra i zdravlje - Županijski plan za vodu. Hrvatski časopis za javno zdravstvo 1/3.
- 87.) Šegota T (1968): Morska razina u holocenu i mlađem virnu. Geografski glasnik 30, 15-39.
- 88.) Tomašić, M. (2006): Hidrogeologija jamskih prostora Labinštine. Labin, nepublicirano.
- 89.) Travica, T. (2006): Hidrološka analiza izvora Klenovačka Žrnovnica i priobalnih podvelebitskih izvora - Diplomski rad. Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci. Rijeka.
- 90.) Urumović, K. (2000): Uvjeti prodora morske vode u krški vodonosnik pulskih zdenaca. U: Zborniku radova 2. hrvatskog geološkog kongresa, 17-20.05.2000. Cavtat - Dubrovnik, Institut za geološka istraživanja, 815-820.
- 91.) Vodoprivreda Rijeka (1986): Navodnjavanje Donje Mirne - studija (nos. zad. Stojković, Z.), Rijeka, nepublicirano.
- 92.) Vodoprivreda Rijeka (1989): Navodnjavanje Donje Mirne - idejni projekt (nos. zad. Tuhtan, Z.), Rijeka, nepublicirano.

