



**GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Sveučilišta u Rijeci**

**HRVATSKO DRUŠTVO ZA ODVODNJAVANJE  
I NAVODNJAVANJE**

**PRIRUČNIK  
ZA HIDROTEHNIČKE MELIORACIJE**

**II. KOLO**

**NAVODNJAVANJE**

**KNJIGA 6**

**KVALITETA I RASPOLOŽIVOST  
VODE ZA NATAPANJE**

Rijeka 1997.

*Sadržaj ove knjige predstavlja rezultat šeste godine istraživanja u okviru znanstvenog projekta "Znanstvene osnove za razvoj navodnjavanja u Hrvatskoj", financiranog od Ministarstva znanosti, tehnologije i informatike Republike Hrvatske. Izdavanje rezultata istraživanja u vidu priručnika u ograničenom broju primjeraka novčano su potpomogli:*

- Javno vodoprivredno poduzeće "Hrvatske vode", Zagreb, Avenija grada Vukovara 220*
- "Hidroprojekt - ing" Projektiranje d.o.o., Zagreb, Draškovićeva 35/1*
- "Hidroing" d.o.o. za projektiranje, građenje i nadzor, Osijek, Križanićev trg 3*
- Javno vodoprivredno poduzeće za slivno područje primorsko - goransko - otočkih i ličkih slivova Rijeka, G. Verdi 6 IV*
- Javno vodoprivredno poduzeće "Vodoprivreda hrvatske republike Herceg - Bosne", Mostar, Husinske bune 2*
- Elektroprojekt, Zagreb, Ulica grada Vukovara 37*

**Ministarstvo znanosti, tehnologije i informatike**

**Republike Hrvatske**

Projekt: Znanstvene osnove za razvoj natapanja u Hrvatskoj

Šifra: 114104

Voditelj projekta: Prof.dr. Zorko Kos

Istraživači:

Prof.dr. Zorko Kos

Prof.dr. Franc Tomić

Prof.dr. Stanislav Tedeschi

Doc.dr. Dragutin Gereš

Doc.dr. Davor Romić

Dr. Nevenka Ožanić

Mr. Vladimir Prosen

Mr. Ivica Plišić

Senko Vlah, dipl. inž. građ.

Katalogizacija u publikaciji - CIP

Sveučilišna knjižnica Rijeka

UDK 626.8(035)

PRIRUČNIK za hidrotehničke melioracije // urednik Zorko Kos/.

- Rijeka: Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci / etc./,

1992- . - sv. ; 24 cm

Kolo

2: Navodnjavanje

Knj.

6 :Kvaliteta i raspoloživost vode za natapanje.

- 1997. - XIV, 258 str. : ilustr., graf. prikazi

Bibliografija iza svakog poglavlja

Rezultati istraživanja na temi tokom 1996. i 1997.

**GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Sveučilišta u Rijeci**

**HRVATSKO DRUŠTVO ZA ODVODNJAVANJE  
I NAVODNJAVANJE**

**PRIRUČNIK**

**ZA HIDROTEHNIČKE MELIORACIJE**

**II. KOLO**

**NAVODNJAVANJE**

**KNJIGA 6**

**KVALITETA I RASPOLOŽIVOST  
VODE ZA NATAPANJE**

**Autori:**

**Prof.dr. Zorko Kos**

**Prof.dr. Stanislav Tedeschi**

**Prof.dr. Frane Tomić**

**Doc.dr. Dragutin Gereš**

**Doc.dr. Davor Romić**

**Rijeka, 1997.**

# GRAĐEVINSKI FAKULTET

## Sveučilišta u Rijeci

Za izdavača:

Prof.dr. Zorko KOS

Uredništvo:

Prof.dr. Zorko KOS

Prof.dr. Juraj PLENKOVIĆ

Prof.dr. Edvard PAVLOVEC

Doc.dr. Ivica KOŽAR

Prof.dr. Ante MATKOVIĆ

Glavni i odgovorni urednik:

Prof.dr. Zorko KOS

Recenzenti:

Prof.dr. Ognjen BONACCI

Doc.dr. Dragutin PETOŠIĆ

Lektor:

Mr. Istočnica BABIĆ

Kategorizacija:

Znanstvena monografija

Adresa uredništva: Rijeka, Viktora Cara Emina 5

Naklada: 250 primjeraka

Grafička obrada i kompjutorski prijelom:

Senko VLAH, Urbanistički institut Rijeka doo PC1

Tisak: Tipograf Rijeka

## PREDGOVOR

Dovršen je, eto, i posljednji svezak Priručnika za hidrotehničke melioracije, a prema programu rada, koji je donijelo Predsjedništvo Društva za odvodnjavanje i navodnjavanje Hrvatske na sjednici od 11. ožujka 1981. Program je sastavio i Predsjedništvu predložio potpisani, tada predsjednik Predsjedništva. Stvarni rad na pripremi rukopisa prve knjige započeo je 1982., pa se može, prema tome, zaključiti da je rad na izdavanju čitavog projekta, svrstanog u dva kola i 12 svezaka, trajao 15 godina. Dapače, taj je rok realno bio i nešto kraći jer je prva knjiga izašla u lipnju 1983., a ova izlazi u listopadu 1997.

Obilježavajući ovaj nadasve vrijedan jubilej, prilika je da se prisjetimo i ukratko rekapituliramo neke osnovne značajke i događaje ovog poduhvata.

Za organizaciju, rukovođenje i osiguranje financijskih sredstava za vrijeme pripremanja izdanja I. kola Priručnika (1981.-1991.) brinulo se Predsjedništvo DONH-a. Ono je donosilo sve odluke glede imenovanja urednika, izdavačkog savjeta, uredništva, odobrenja programa, cijena i sl. Radovi su se odvijali relativno dobro i u skladu s utvrđenim planom sve do 1987., kada su nastupile izvjesne teškoće koje su se odrazile i na brzinu pripreme pojedinih izdanja tako da su knjige 5 i 6 pripremane po dvije godine svaka umjesto uobičajene jedne.

Da bi se otklonili uočeni nedostaci, ubrzao rad na pripremi rukopisa za pojedine sveske te posebno da se održi visoka stručna i znanstvena razina kvalitete, potpisani je 1991. sastavio istraživački tim i podnio zahtjev Ministarstvu znanosti i tehnologije Republike Hrvatske za odobrenje znanstvenog projekta za tu temu, a u okviru Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci. Projekt je uskoro odobren pod nazivom "Znanstvene osnove za razvoj navodnjavanja u Hrvatskoj", šifra 2-11-059, voditelj projekta prof. dr. Zorko Kos. Na taj je način ovaj projekt "udomljen" u jednoj znanstveno-nastavnoj instituciji, a istovremeno mu Ministarstvo osigurava osnovne materijalne preduvjete za kvalitetan rad. Prema tome, II. kolo Priručnika realizirano je u režiji Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, koje je osiguralo sve organizacijske, prostorne, financijske i druge preduvjete za ostvarenje zadanog programa.

U proteklih 15.-ak godina obrađena je i stručnjacima dana na uporabu veoma opsežna, dragocijena i nadasve korisna grada koja čini temelj modernog razvoja poljoprivrede, što je za našu zemlju od izuzetnog značenja. Da bi se uočio opseg izvršenog posla i rezultata koji su time postignuti u nastavku će se navesti nekoliko temeljnih pokazatelja ovog projekta.

Urednik prvih četiriju svezaka prvoga kola (odvodnjavanje) bio je prof. dr. Zorko Kos, a preostalih dvaju prof. dr. Josip Marušić. Što se drugoga kola tiče (navodnjavanje), voditelj projekta 2-11-059, u kojem su se nalazili stručnjaci te grane iz svih četiriju hrvatskih sveučilišta, bio je prof. dr. Zorko Kos. Građevinski

fakultet Sveučilišta u Rijeci imenovao je uredništvo Priručnika, a za glavnog urednika postavio prof. dr. Zorka Kosa, koji tu funkciju obavlja i sada.

Kao što je u uvodu napomenuto, prvo kolo tiskano je između 1983. i 1991. u šest knjiga i ukupnog opsega 1650 stranica. Drugo je kolo također tiskano u šest knjiga, opsega 1330 stranica. Prema tome, cijeli projekt obuhvaća 12 knjiga gradiva sa 2980 tiskanih stranica.

U oba je kola na pripremi rukopisa za tisak ukupno sudjelovalo 37 autora, pretežito hidrotehničke i agronomске struke, iz većeg broja institucija i poduzeća te iz svih krajeva naše zemlje. U pisanju pojedinih poglavlja pojavilo se 26 pojedinačnih autora, te 13 grupa autora. Pet najplodnijih pojedinačnih autora pripremio je gotovo 60% rukopisa. Njihova su imena:

Zorko Kos	- 22,0%
Dragutin Gereš	- 12,7%
Ognjen Bonacci	- 9,2%
Josip Marušić	- 8,8%
Frane Tomić	- 6,2%

Većina ih je sudjelovala još i u grupama autora.

Iako je, po izlasku ovog broja, osnovni program dovršen, na tome se neće stati. Postoji potreba da se obrade još neke teme iz domene drugog kola (natapanje), i to ponajprije mehanizacija natapanja i eventualno održavanje natapnih sustava. Kako bi se osigurala materijalna podloga za taj nastavak i izdalo još nekoliko brojeva Priručnika, podnesen je zahtjev Ministarstvu znanosti i tehnologije za nastavak rada projekta. Zahtjev je prihvaćen i projekt odobren (šifra 114-104) na rok od tri godine pa će se radovi na pripremi rukopisa nastaviti bez prekida. Dogovoren je ujedno i nastavak sufinanciranja JVP "Hrvatske vode".

I na kraju nekoliko riječi o sadržaju knjige. Već se iz naslova uočava da se sadržaj ove knjige donekle razlikuje od sadržaja ranijih brojeva. Naime, dok su se u ranijim brojevima uglavnom obrađivale pojedine tematske cjeline koje se danas u svijetu primjenjuju u planiranju i projektiranju natapnih sustava, uz osvrt na mogućnosti primjene u našoj zemlji, dotle je dobar dio gradiva ove knjige posvećen obradi osnovne podloge za razvoj natapanja, a to je količina i kakvoća raspoloživih voda. Dakako, ovako ozbiljnu i opširnu temu nije moguće bezpogovorno obraditi u nekoliko poglavlja Priručnika, već je za to nužno načiniti veći broj studija i analiza. Ipak, smatrali smo nužnim da već jednom treba krenuti i dati približno opće orijentacijske raspoložive količine i slatkih i otpadnih voda koje se u dugoročnom planu do 2050. godine mogu koristiti za natapanje. Prikazane su ujedno i potrebe za koje se očekuje da će se u tom razdoblju pojaviti. Svi su podaci razrađeni po slivovima, odnosno vodnim područjima kako bi se mogli lakše koristiti. Iz izloženoga je očito, da je Hrvatska, što se tiče pokrića dugoročnih potreba, u izuzetno povoljnom položaju ne samo u Europi već i u svjetskim razmjerima. Danas se ta prednost još ne uočava jer i većina drugih zemalja više-manje uspješno pokriva svoje potrebe. Ta će prednost, sasvim sigurno, doći do punog izražaja za nekoliko desetaka

godina, kada će vodno gospodarstvo, posebno korištenje voda, doći u sasvim drugi položaj.

Nadam se da će ova knjiga, kao i sve prethodne, biti od velike koristi stručnjacima koji se bave hidrotehničkim melioracijama i da će im bitno olakšati posao u ovom segmentu struke koji obrađuje. Ujedno se nadam da će se politika vlasti prema ovoj grani vodoprivrede uskoro bitno promijeniti te da će se i naša zemlja u tom pogledu moći uspoređivati s razvijenim nam susjednim zemljama.

Rijeka, listopad 1997.

Prof.dr. Zorko Kos





# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<i>Prof. dr. Zorko Kos</i>	
<b>1.1. OPĆENITO</b> .....	1
<b>1.2. KORIŠTENJE ZASLANJENIH VODA ZA NATAPANJE</b> .....	2
<b>1.3. KORIŠTENJE OTPADNIH VODA ZA NATAPANJE</b> .....	4
<b>2. KRITERIJI KVALITETE VODE ZA NATAPANJE</b> .....	5
<i>Prof. dr. Zorko Kos</i>	
<b>2.1. OPĆENITO</b> .....	5
<b>2.2. FIZIČKE ZNAČAJKE NATAPNE VODE</b> .....	11
2.2.1. Temperatura .....	11
2.2.2. Mutnoća .....	11
<b>2.3. KEMIJSKE ZNAČAJKE NATAPNE VODE</b> .....	12
2.3.1. Osnovni pokazatelji kvalitete zaslanjenih voda .....	13
2.3.2. Dijagram saliniteta .....	20
2.3.3. Gospodarenje zaslanjenim tlama .....	23
2.3.4. Zaključna razmatranja .....	44
<b>2.4. OTROVNOST POJEDINIH IONA</b> .....	48
2.4.1. Općenito .....	48
2.4.2. Klor .....	48
2.4.3. Natrij .....	49
2.4.4. Bor .....	50
2.4.5. Rješavanje problema toksičnosti .....	50
2.4.6. Učinak toksičnosti pri natapanju kišenjem .....	53
<b>2.5. PROBLEM VODOPROPUSNOSTI</b> .....	55
2.5.1. Razmatranje problema infiltracije .....	55
2.5.2. Rješavanje problema infiltracije .....	57
<b>2.6. NATAPANJE I UTJECAJ NA OKOLIŠ</b> .....	61
2.6.1. Općenito .....	61
2.6.2. Degradacija tla .....	63
2.6.3. Zagađenje voda .....	64
2.6.4. Ugrožavanje ekosustava .....	65

2.6.5. Utjecaj na zdravstvene prilike .....	66
<b>LITERATURA .....</b>	<b>68</b>
<b>3. UTJECAJ KVALITETE VODE NA OPREMU ZA NATAPANJE .....</b>	<b>69</b>
<i>Doc. dr. Dragutin Gereš</i>	
3.1. OPĆENITO .....	69
3.2. UZROCI ZAČEPLJENJA U SUSTAVU ZA LOKALIZIRANO NATAPANJE .....	69
3.3. PROCJENA ZAČEPLJENJA OPREME .....	71
3.4. SANACIJA ZAČEPLJENIH EMITERA .....	74
3.5. SPREČAVANJE ZAČEPLJENJA .....	74
3.6. INJEKTIRANJE KEMIKALIJA ZA TRETMAN VODE .....	76
<b>LITERATURA .....</b>	<b>77</b>
<b>4. KVALITETA VODE ZA STOČARSTVO I RIBOGOJSTVO .....</b>	<b>79</b>
<i>Prof. dr. Zorko Kos</i>	
4.1. UVOD .....	79
4.2. POTREBE ZA VODOM ZA STOKU .....	79
4.3. KVALITETA VODE ZA STOKU .....	81
4.4. KVALITETA VODE ZA RIBOGOJSTVO .....	85
4.4.1. Neki specifični aspekti upotrebe otpadnih voda u ribogojstvu .....	86
<b>LITERATURA .....</b>	<b>91</b>
<b>5. RASPOLOŽIVOST VODE U REPUBLICI HRVATSKOJ .....</b>	<b>93</b>
<i>Doc. dr. Dragutin Gereš</i>	
5.1. UVOD .....	93
5.2. OPĆI PODACI .....	94
5.2.1. Reljef i geomorfološke osobine .....	94
5.2.2. Geološki sastav i grada .....	96
5.2.3. Klimatske prilike .....	96
5.2.4. Srednje temperature .....	97
5.3. OBORINE .....	98

5.3.1.	Srednje godišnje količine oborina .....	98
5.3.2.	Godišnja količina vode od oborina .....	98
5.3.3.	Regionalizacija teritorija Hrvatske .....	100
<b>5.4.</b>	<b>POVRŠINSKE VODE</b> .....	<b>103</b>
5.4.1.	Slivna i vodna područja Hrvatske .....	103
5.4.2.	Vodno područje sliva Save .....	104
5.4.3.	Bilanca površinskih voda vodnog područja Save .....	105
5.4.4.	Vodno područje slivova Drave i Dunava .....	106
5.4.5.	Bilanca površinskih voda vodnog područja slivova Drave i Dunava .....	106
5.4.6.	Vodno područje primorsko-istarskih slivova i bilanca površinskih voda .....	107
5.4.7.	Vodno područje dalmatinskih slivova i bilanca površinskih voda .....	108
5.4.8.	Bilanca površinskih voda za Hrvatsku .....	109
<b>5.5.</b>	<b>PODZEMNE VODE</b> .....	<b>110</b>
5.5.1.	Vodno područje sliva Save .....	110
5.5.2.	Vodno područje slivova Drave i Dunava .....	114
5.5.3.	Vodna područja primorsko-istarskih i dalmatinskih slivova .....	116
5.5.4.	Bilanca podzemnih voda u Hrvatskoj .....	120
<b>5.6.</b>	<b>UKUPNO RASPOLOŽIVE VODE</b> .....	<b>122</b>
<b>LITERATURA</b> .....		<b>123</b>
<b>6.</b>	<b>PROCJENA MOGUĆE POTREBE ZA VODOM ZA NATAPANJE I VODOOPSKRBU U 2050. GODINI U REPUBLICI HRVATSKOJ</b> .....	<b>125</b>
	<i>Doc. dr. Dragutin Gereš</i>	
<b>6.1.</b>	<b>UVOD</b> .....	<b>125</b>
<b>6.2.</b>	<b>OPĆI PODACI O POLJOPRIVREDI, POVRŠINAMA I TLIMA</b> .....	<b>126</b>
<b>6.3.</b>	<b>SLIVNA I VODNA PODRUČJA HRVATSKE</b> .....	<b>128</b>
6.3.1.	Vodno područje sliva Save .....	129
6.3.2.	Vodno područje slivova Drave i Dunava .....	131
6.3.3.	Vodno područje primorsko-istarskih slivova .....	133
6.3.4.	Vodno područje dalmatinskih slivova .....	135
6.3.5.	Zbirni podaci za Republiku Hrvatsku .....	137
<b>6.4.</b>	<b>IZVORIŠTA NATAPNE VODE</b> .....	<b>138</b>

6.5.	<b>PROCJENA POTREBNE VODE ZA VODOOPSKRBU U HRVATSKOJ</b> .....	140
6.5.1.	Demografske i gospodarske promjene .....	140
6.5.2.	Potrošnja vode u Hrvatskoj .....	140
6.6.	<b>ZAKLJUČAK I VODNOGOSPODARSKA BILANCA VODA</b> .....	142
<b>LITERATURA</b> .....		144
7.	<b>KOLIČINA I KVALITETA OTPADNIH VODA U REPUBLICI HRVATSKOJ</b> .....	145
	<i>Prof. dr. Stanislav Tedeschi</i>	
7.1.	<b>VODNO PODRUČJE SLIVA RIJEKE SAVE</b> .....	149
7.2.	<b>VODNO PODRUČJE SLIVA DRAVE I DUNAVA</b> .....	150
7.3.	<b>VODNO PODRUČJE PRIMORSKO - ISTARSKIH SLIVOVA</b> .....	150
7.4.	<b>VODNO PODRUČJE DALMATINSKIH SLIVOVA</b> .....	151
7.5.	<b>UKUPNE KOLIČINE OBNOVLJENE VODE U HRVATSKOJ</b> .....	152
<b>LITERATURA</b> .....		154
8.	<b>UPOTREBA OTPADNE VODE ZA NATAPANJE</b> .....	155
	<i>Prof. dr. Zorko Kos</i>	
8.1.	<b>RAZVOJ I STANJE STANDARDA ZA UPOTREBU OTPADNIH VODA ZA NATAPANJE</b> .....	155
8.1.1.	Uvod .....	155
8.1.2.	Istraživanja i praksa tijekom XIX. stoljeća .....	156
8.1.3.	Stanje u prvoj polovini XX. stoljeća .....	157
8.1.4.	Sadašnje stanje .....	159
8.2.	<b>ZNAČAJKE I KVALITETA OTPADNIH VODA I EFLUENTA</b> .....	164
8.2.1.	Općenito .....	164
8.2.2.	Značajke otpadnih voda .....	165
8.3.	<b>SMJERNICE ZA KORIŠTENJE OTPADNE VODE ZA NATAPANJE</b> .....	167
8.4.	<b>KORIŠTENJE OTPADNE VODE ZA NATAPANJE</b> .....	168
8.4.1.	Uvod .....	168
8.4.2.	Primjena otpadne vode za natapanje .....	169

8.4.3. Neki aspekti kvalitete otpadne vode za natapanje .....	170
<b>8.5. OBRADA OTPADNIH VODA .....</b>	<b>174</b>
8.5.1. Općenito .....	174
8.5.2. Uobičajeni postupci obrade otpadnih voda .....	174
8.5.3. Prirodni biološki sustavi obrade .....	180
<b>8.6. NEKE POSEBNOSTI PRI PRIMJENI</b>	
<b>    OTPADNE VODE ZA NATAPANJE .....</b>	<b>190</b>
8.6.1. Općenito .....	190
8.6.2. Izbor načina (metode) natapanja .....	191
<b>LITERATURA .....</b>	<b>194</b>
<b>8A. UPOTREBA OTPADNE VODE ZA NATAPANJE .....</b>	<b>195</b>
<i>Prof. dr. Stanislav Tedeschi</i>	
<b>LITERATURA .....</b>	<b>208</b>
<b>9. ISKUSTVA I STANDARDI NEKIH ZEMALJA U</b>	
<b>    KORIŠTENJU VODA NIŽE KAKVOĆE ZA NATAPANJE .....</b>	<b>209</b>
<i>Prof. dr. Zorko Kos</i>	
<b>9.1. UVOD .....</b>	<b>209</b>
<b>9.2. BLISKI ISTOK .....</b>	<b>210</b>
9.2.1. Jordan .....	210
9.2.2. Kuvajt .....	212
9.2.3. Saudijska Arabija .....	213
9.2.4. Ujedinjeni Arapski Emirati .....	213
9.2.5. Zaključno o Bliskom istoku .....	214
<b>9.3. AFRIKA .....</b>	<b>215</b>
9.3.1. Egipat .....	215
9.3.2. Libija .....	216
9.3.3. Tunis .....	218
9.3.4. Jezero Čad .....	220
<b>9.4. CIPAR .....</b>	<b>220</b>
<b>9.5. SOVJETSKI SAVEZ .....</b>	<b>223</b>
<b>9.6. SJEDINJENE AMERIČKE DRŽAVE .....</b>	<b>226</b>
9.6.1. Natapni sustav Fresno .....	226
9.6.2. Korištenje otpadnih voda grada Bakersfielda .....	227
9.6.3. Natapni sustav Toulumne .....	228
9.6.4. Natapni sustav kanala Friant - Keru .....	228

9.6.5. Natapanje podzemnom vodom visokog sadržaja bikarbonata .....	229
<b>9.7. SAVEZNA REPUBLIKA NJEMAČKA .....</b>	<b>229</b>
<b>9.8. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>230</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>232</b>
<b>9A. ISKUSTVA I STANDARDI NEKIH ZEMALJA U KORIŠTENJU VODA NIŽE KAKVOĆE ZA NATAPANJE .....</b>	<b>233</b>
<i>Prof. dr. Stanislav Tedeschi</i>	
<b>LITERATURA .....</b>	<b>241</b>
<b>10. ZNAČAJKE VODE VRANSKOG JEZERA U DALMACIJI KAO KRITERIJI PROCJENE POGODNOSTI ZA NATAPANJE .....</b>	<b>243</b>
<i>Doc. dr. Davor Romić</i> <i>Prof. dr. Frane Tomić</i>	
<b>10.1. UVOD .....</b>	<b>243</b>
<b>10.2. MATERIJAL I METODE RADA .....</b>	<b>244</b>
<b>10.3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I RASPRAVA .....</b>	<b>245</b>
10.3.1. Režim voda Vranskog jezera .....	245
10.3.2. Klasificiranje vode Vranskog jezera za natapanje .....	251
<b>10.4. ZAKLJUČCI .....</b>	<b>255</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>257</b>

# 1. UVOD

*Prof. dr. Zorko Kos  
Građevinski fakultet  
Sveučilišta u Rijeci*

## 1.1. OPĆENITO

Nema nikakve dvojbe da je osnova opstanka, razvoja i napretka ljudske zajednice, odgovarajuća opskrba poljoprivrednim proizvodima. Potrebe za hranom i ostalim sirovinama iz poljoprivredne i stočarske proizvodnje uglavnom rastu proporcionalno porastu stanovništva. Broj stanovnika na Zemlji 1950. iznosio je 2,5 milijardi, 1985. već 4,9 milijardi, 1990. oko 5,3 milijarde, da bi se prema prognozama, već 2000. popeo na 6,3 milijarde, a 2025. čak na 8,5 milijardi (UN, 1991.). Dakle, upravo smo sada u fazi kada je ritam porasta stanovništva dosegao brojku od milijardu duša u 10 godina s tendencijom stalnog rasta. Predviđa se da će stanovništvo u zemljama u razvoju, koje danas čini tri četvrtine svjetske mase, rasti u tekućoj dekadi po stopi od oko 2 % godišnje i iznositi 90 % ukupnoga svjetskog prirasta (Svjetska banka, 1988.). Takav porast nalaže povećanje proizvodnje hrane u sljedećih 30-40 godina za oko 40-50 % kako bi se održao sadašnji standard opskrbe (20 % u razvijenim i 60 % u nerazvijenim zemljama).

Povećanje proizvodnje hrane može se provesti povećanjem površine obradivog tla, intenziteta korištenja obradiva tla te priroda po jedinici obrađene površine. Prema procjenama organizacije FAO (1988.) u tekućem desetljeću oko dvije trećine proizvodnje dobit će se povećanjem priroda, jedna petina povećanjem obradivih površina, a ostalo intenziviranjem proizvodnje. Kako će se povećanje obradivih površina uglavnom dobiti gradnjom natapnih sustava, a i povećanje prinosa je vezano na tu mjeru, očito je da ključnu ulogu u ostvarenju plana igra natapanje.

Prema Jensen et.al. (1990.) natapanje površine na svijetu rasle su ovim ritmom: 8 milijuna hektara 1800.; 48 milijuna hektara 1900.; 94 milijuna hektara 1950.; 198 milijuna hektara 1970. i oko 220 milijuna hektara 1990. Oko tri četvrtine svih natapanih površina nalazi se u zemljama u razvoju. U tim zemljama oko 60 % proizvodnje osnovnih žitarica (riža i pšenica) dobiva se na natapanim površinama. Računa se da se od ukupno obradivih površina na Zemlji natapa oko 15 %, ali se na tim površinama proizvodi oko 36 % hrane (FAO, 1988.).

Organizacija FAO istaknula je 1988. da bi proširenje natapanih površina na svijetu do 2000. godine moralo rasti po stopi od 2,25 % kako bi se podmirile potrebe



za hranom koje će tada nastupiti. Međutim, početkom je 90-ih taj rast bio ispod 1 % godišnje. Razloga za tako nisku stopu rasta ima više, ali najvažniji su ovi:

- visoki troškovi razvoja natapnih površina;
- već su iskorištena najpovoljnija izvorišta vode i površine tla; i
- preostale su površine za razvoj ne samo skuplje već i nepodobnije i opterećene sociogospodarskim problemima. Računa se da je kod oko 600 milijuna hektara tla na kojemu je moguć razvoj natapanja, limitirajući faktor osiguranje natapne vode. Nadalje, veliki je broj ranije građenih natapnih sustava niske učinkovitosti, a to se dodatno pogoršava lošim upravljanjem, održavanjem i pogonom. Rezultat je toga pojava da u mnogo slučajeva tek oko 50 % zahvaćene vode stigne do biljke, što dodatno uzrokuje značajne ekološke probleme.

Iako se u zadnjih nekoliko decenija tehnologija poljoprivredne proizvodnje bitno izmjenila i usavršila, gotovo svugdje u svijetu ima ozbiljnih problema kako održati takav (i povećani!) intenzitet korištenja, a da se ne poremete pridruženi ekosustavi. Odnos održivog razvoja poljoprivrede i zaštite okoliša komplementaran je i međuzavisan. U sklopu intenzivnog i održivog razvoja poljoprivrede u uvjetima natapanja treba paralelno rješavati moguće popratne pojave: zaboravanje tla, zaslanjivanje, eroziju, pojavu raznih bolesti, otrovnost specifičnih kemikalija na ekosustav i čovjeka itd. Procjenjuje se da se danas, zbog raznih oblika degradacije tla, gubi oko 7 milijuna hektara oranica godišnje s tendencijom da to u godini 2000. poraste na oko 10 milijuna hektara (0,7 % sada obrađenog tla).

Raspoložive su količine slatke vode ograničene pa će se povećanje potrošnje za natapanje u budućnosti morati prvenstveno temeljiti na adekvatnoj upotrebi zaslanjenih voda, recikliranih drenažnih i otpadnih voda. Današnja znanstvena saznanja omogućuju da se takve vode uspješno primjenjuju za natapanje bez bojazni od negativnih dugoročnih posljedica za biljke i tlo. Takvih voda ima u velikim količinama u mnogim krajevima svijeta (Australija, Indija, Pakistan, Egipat, SAD, bivši SSSR i drugdje). Razvoj novih usjeva otpornih na salinitet i novih agrotehničkih metoda korištenja tla već je danas znatno uznapredovao, a taj trend će se, bez sumnje, i dalje odvijati tako da će se sačuvati i tlo i bilje od moguće degradacije.

Da bi se postigao taj osnovni cilj - ekološka ravnoteža u širem smislu - nužno je razvijati nove - kompleksne - metode upravljanja bogatstvom vode i tla u širem prostoru. Naime, poznato je da su mnogi veliki natapni sustavi, nakon višegodišnjeg pogona izazvali prave ekološke katastrofe zaslanjivanjem i zaboravanjem velikih površina, iako su rabili za natapanje vodu "dobre kvalitete".

## 1.2. KORIŠTENJE ZASLANJENIH VODA ZA NATAPANJE

Zaslanjene su one vode koje svojim sadržajem topivih soli umanjuju prinose ili onemogućuju svaku proizvodnju. U natapnim su vodama redovito prisutne u malim

količinama, ali dugotrajnom upotrebom za natapanje mogu izazvati velike probleme ako se na vrijeme ne poduzmu odgovarajuće mjere. Natapanjem, soli ulaze u tlo zajedno s vodom i ostaju tamo nakon što se voda isparila ili ju je bilje upotrijebilo za svoj razvoj. Tlo se može, međutim zaslaniti i kapilarnim dizanjem zaslanjenih podzemnih voda, a i na neki drugi način.

Salinitet se pojavljuje kao problem kada utječe (smanjuje) na prinose. Događa se to onda kada je koncentracija soli u zoni korijena takva da bilje svojim žilnim sustavom nije više u stanju crpiti dovoljno vode iz zaslanjenoga zemljišnog rastvora. Biljka na to reagira kao da je nastupila suša: lišće najprije vene, a potom se i suši. Djelovanje ovisi o uzrastu; najočitije je u ranijim fazama razvoja.

Dio soli koji se u tlu akumulira može se eliminirati (isprati) tako da se za natapanje upotrijebi više vode nego što je bilje treba za svoj razvoj. Pri tome je važno napomenuti da bilanca sadržaja soli u tlu mora biti mala ili negativna, t.j. da je količina isprane soli jednaka ili veća od količine koja je unesena natapanjem. Potreba za ispiranjem određuje se ovisno o koncentraciji soli u natapnoj vodi i otpornosti kulture na slanost.

Sadržaj soli u tlu mijenja se s dubinom. Najmanji je u gornjemu, površinskom sloju i raste s dubinom. Koncentracija je u površinskom sloju obično bliska koncentraciji natapne vode, dok je pri dnu zone korijena višestruko veća. Ako se ne poduzimaju nikakve mjere za odstranjenje soli (nema ispiranja ili jačih oborina), koncentracija stalno raste jer se voda troši, a sol ostaje.

Kao što je navedeno, voda je u površinskom sloju najkvalitetnija pa se i najbrže troši jer je tu koncentracija žilja najveća, a troši se i na isparivanje. Dakako, biljka troši vodu po čitavome vertikalnom presjeku, ali najprije i najviše tamo gdje je opskrba najpovoljnija. Prema tome, pri kraju turnusa natapanja, ostat će na raspolaganju najviše vode u dubljim horizontima s većom koncentracijom soli.

Pri natapanju tala s plitkom podzemnom vodom (oko 2 m ispod površine), soli se akumuliraju u tome podzemnom vodonosnom horizontu i najčešće zaslanjuju površinske slojeve kapilarnim izdizanjem zaslanjene vode. Stalnim natapanjem stanje se neprekidno pogoršava jer treba dodavati sve više vode za ispiranje što uzrokuje dizanje razine podzemne vode. Takvi se problemi mogu uspješno riješiti jedino izgradnjom učinkovite odvodnje (drenaža).

Pridruženo salinitetu najčešće se pojavljuje problem toksičnosti specifičnih iona. Obično se radi o ionima klora, natrija i bora koji s natapnom vodom dospiju u biljku, kolaju po biljci i dospiju u lišće, gdje se voda transpirira, a ioni se stalno koncentriraju sve do stupnja kada izazivaju štete. Šteta se očituje kao sušenje oboda lista i pojave kloroze, a u težim slučajevima može se smanjiti urod pa i uginuti biljka. Proces je intenzivniji u toplim predjelima i vrućem dijelu godine. Jednak učinak nastaje i neposrednom apsorpcijom iona preko lišća, što se događa pri natapanju kišenjem (iznad krošnje). Primjećuje se da su pri tome najosjetljiviji nasadi, i to voćnjaci i vinogradi i posebno agrumi.

Povećani salinitet može bitno utjecati na smanjenje vodopropusnosti tla. Događa se to kada je relativan odnos sadržaja natrija prema kalciju i magneziju velik. Ta

pojava negativno djeluje na dotok vode (oborinske i natapne) s površine u niže horizonte, što može bitno poremetiti opskrbu vodom donjih dijelova žilnog sustava.

### 1.3. KORIŠTENJE OTPADNIH VODA ZA NATAPANJE

Izuzetno visoka potrošnja vode za natapanje (više od dvije trećine od ukupne) u svijetu te naglo rastuće potrebe ostalih potrošača (oko 10 puta u proteklih 100 godina), bitno su smanjile raspoložive rezerve, a u mnogim su zemljama one već u cijelosti iskorištene. To je potaklo mnoge stručnjake i institucije u svijetu da se znanstveno pozabave problemom korištenja za natapanje svih voda marginalne kvalitete, tj. ne samo zaslanjenih (bočatih) već i otpadnih, posebno kućanstva. Treba istaknuti da sporadičnih primjera upotrebe otpadnih voda za natapanje nailazimo još u srednjem vijeku (navodno primat drži Bunzlau u Njemačkoj, 1531.), dok se u XIX. stoljeću počela ta problematika i institucionalno razmatrati. U novije doba ima veliki broj zemalja koje ulažu značajne napore u korištenje otpadnih voda za natapanje pa su u tom smislu provedena opsežna istraživanja, doneseni odgovarajući standardi i propisi, a i ostvareni veliki radovi. To se posebno odnosi na zemlje u aridnim i semiaridnim zonama, gdje su ti zahvati i najviše napredovali.

Treba istaknuti da kvalitetno planirano korištenje otpadne vode za natapanje ne samo da štedi kvalitetnu vodu za druge namjene već opskrbljuje poljoprivredne kulture znatnim količinama hraniva. U mnogim je ostvarenim projektima dokazano da otpadna voda može u cijelosti namiriti hraniva za uzgajane usjeve te da otpada potreba za dodavanjem umjetnih gnojiva. Poželjno je da se (ako je moguće) planiranje upotrebe otpadne vode za natapanje provede istovremeno s izradom studije (projekta) odvoda i kondicioniranja otpadnih voda razmatranoga grada ili regije. To može bitno smanjiti troškove pripreme otpadne vode za natapanje i, općenito, osigurati izradu optimalnog rješenja sustava (npr. lokacija).

Mnoge su zemlje na svijetu u strategiju svoje gospodarske politike već uvele obvezu upotrebe otpadnih voda za natapanje. Tako se npr. u mnogim aridnim predjelima Australije i SAD rabe velike količine otpadnih voda za natapanje i na taj se način oslobađa dio slatke vode za vodoopskrbu stanovništva. Neke su pak zemlje (Jordan, Saudijska Arabija) donijele propise o obaveznoj upotrebi svih otpadnih voda za natapanje i k tome cilju učinile su već veliki napredak. U NR Kini već se oko 40 godina intenzivno radi na korištenju otpadnih voda za natapanje te se već oko 1,5 mil. hektara tla opskrbljuje vodom na taj način. Dosadašnja su istraživanja u cijelosti potvrdila prikladnost i korist primjene otpadnih voda za natapanje tla što se tiče agronomsko-gospodarskih čimbenika. Pozornost treba posvetiti mogućima negativnim utjecajima na zdravlje ljudi i zaštiti okoliša. Cilj je ovoga rada da upravo u tom pravcu usmjeri težište obrade i dade odgovarajuće upute i preporuke kako bi se u potpunosti osiguralo zaposleno osoblje i potrošači te poštivala ekološka pravila.

## 2. KRITERIJI KVALITETE VODE ZA NATAPANJE

*Prof. dr. Zorko Kos  
Građevinski fakultet  
Sveučilišta u Rijeci*

### 2.1. OPĆENITO

Prikladnost neke vode za natapanje treba razmatrati u odnosu prema utjecaju što bi ga mogla imati na bilje, tlo i životinjski svijet. Mogući negativni utjecaji natapne vode mogu se pokazati u određenima fizičkim, kemijskim i biološkim značajkama. Od fizičkih značajki koje treba razmotriti najvažniji su temperatura i mutnoća, a od kemijskih otopljene soli i plinovi. Poseban je problem primjena otpadnih voda, kod kojih treba osnovnu pozornost usmjeriti na toksičnost pojedinih komponenata te mogućnost prijenosa različitih vrsta i oblika zaraza.

U tablici 2-1 dan je sumarni prikaz najvažnijih fizičkih, kemijskih i bioloških značajki koje treba razmotriti prilikom ocjenjivanja mogućnosti primjene neke vode u poljoprivredi.

#### *Osnovni parametri za ocjenu kvalitete vode*

*Tablica 2-1*

Fizički	Kemijski	Biološki
ukupno otopljene soli suspendirani nanos temperatura boja/mutnoća tvrdoća	reakcija-pH odnos adsorpcije natrija vrsta i konc. aniona vrsta i konc. kationa mikroelementi toksični ioni, teški metali	broj koliformnih org. broj patogenih klica biološ. potreba za kisikom (BPK)

Dosada je u većem broju zemalja izrađeno i publicirano nekoliko klasifikacija i uputa za ocjenu kvalitete vode ili samo za natapanje ili za primjenu u poljoprivredi općenito. Neke se klasifikacije međusobno bitno razlikuju, dijelom i zbog toga što su izrađene u različitim uvjetima i za različite svrhe. Spomenut ćemo neke značajnije. Hilgard (1906.) bavio se među prvima tim pitanjem pa je preporučio standarde koji

se temelje na sastavu i ukupnoj koncentraciji soli u natapnoj vodi. Slijede istraživanja uz poboljšanja metodologija procjene koje su proveli Kelley i Brown (1928.), Scofield (1936.), Doncen (1949.), US Salinity Laboratory (1954.), Wilcox (1955.), California Water Quality Control Board (1963.), Schainberg i Oster (1978.), American Public Health Association (1980.) i FAO (1985.).

Agencija FAO u svojoj publikaciji o toj temi (1985.) podijelila je problem kvalitete natapnih voda u dvije skupine, i to kvalitetu uobičajenih izvorišta voda i, u nešto suženom opsegu, problem korištenja otpadnih voda. Razmatranje kvalitete vode za konvencionalna izvorišta može se grupirati u pet osnovnih skupina parametara, i to:

- a) fizičke značajke natapnih voda,
- b) slanost,
- c) brzina infiltracije vode (vodopropusnost),
- d) toksičnost specifičnih iona i
- e) ostali problemi.

Preporuke o procjeni mogućnosti primjene natapne vode, koje se temelje na gore spomenutim parametrima, sadržane su u navedenoj publikaciji (1985.) i prikazane su u tablici 2-2.

Po tim se uputama natapna voda svrstava u jednu od navedenih triju kategorija, odnosno: bez ograničenja, slabo do umjereno te strogo ograničenije. Pri upotrebi prve kategorije, uz uobičajeni način gospodarenja, nema nikakve opasnosti od pojave bilo kakvih problema na tlu i usjevima. Ako se želi natapati vodama druge kategorije, može se postići potpun uspjeh uroda jedino uz uvjet brižljivog izbora kultura i primjenom posebnih mjera u gospodarenju tlom. Korištenje voda treće kategorije izazvat će ozbiljne probleme na tlu i znatno smanjenje uroda.

Vrijednosti pojedinih ograničenja navedenih u tablici 2-2 treba shvatiti kao pomagalo korisnicima da bolje shvate utjecaj kvalitete vode na tlo i planirane, odnosno očekivane prinose poljoprivrednih usjeva. Tako će zainteresirani biti u stanju bolje prilagoditi gospodarenje tlom uz upotrebu vode niže kvalitete. U svakom slučaju, s obzirom na specifične prilike svakog područja, treba izbjegavati doslovnu primjenu i upute valja shvatiti kao putokaz pri rješavanju konkretnih problema. Za svaki značajniji zahvat bit će potrebno izraditi potrebne analize i preporučena ograničenja provjeriti na pokusnim poljima ili potvrditi praksom.

Tablica 2-2 sadrži preporučene vrijednosti ograničenja za uobičajene slučajeve i standardnu primjenu natapne vode. U njoj nisu sadržane vrijednosti ograničenja sadržaja ni pesticida i drugih polutanata koji se mogu pojaviti u vodi ni mikroelemenata. Problem prisutnosti mikroelemenata te koncentracije koje mogu biti toksične prikazane su u tablici 2-3. Budući da se natapna voda u nekim slučajevima upotrebljava i za napajanje stoke i za ribnjake, kratak osvrt na problem kvalitete vode za tu namjenu bit će dan u posebnom poglavlju.

Osim navedenoga kemijskog sastava natapnih voda u tablici 2-2, sve vode sadrže neke elemente u tragovima (mikroelemente) - odnosno u jako niskoj koncentraciji, najčešće nižoj od nekoliko mg/l. Najveći se dio tih elemenata akumulira na površini tla, a biljke se njima koriste u malim količinama. Ponkad se događa da ih biljke

apsorbiraju u količini većoj nego što je njihova metabolična potreba, što može kasnije biti štetno za životinje i ljude koji ih troše.

### Preporuke za interpretaciju kvalitete vode za natapanje

Tablica 2-2

Mogući problemi pri natapanju	Jedinica mjere	Ograničenje primjene		
		Nikakvo	Slabo do umjereno	Strogo
<b>Slanost</b> (utječe na raspoloživost vode bilju) <sup>1</sup> EV <sub>v</sub> ili OSU	dS/m mg/l	< 0,7 < 450	0,7-3,0 450-2000	> 3,0 > 2000
<b>Infiltracija</b> (utječe na brzinu infiltracije vode u tlo; ocijeniti korištenjem EV <sub>v</sub> i SAR <sup>2</sup> zajedno) SAR=0-3 i EV <sub>v</sub> = SAR=3-6 i EV <sub>v</sub> = SAR=6-12 i EV <sub>v</sub> = SAR=12-20 i EV <sub>v</sub> = SAR=20-40 i EV <sub>v</sub> =		> 0,7 > 1,2 > 1,9 > 2,9 > 5,0	0,7-0,2 1,2-0,3 1,9-0,5 2,9-1,3 5,0-2,9	< 0,2 < 0,3 < 0,5 < 1,3 < 2,9
<b>Toksičnost specifičnih iona</b> (utječe na osjetljivo bilje) <b>Natrij (Na)</b> Površinsko natapanje Natapanje kišenjem <b>Klor (Cl)</b> Površinsko natapanje Natapanje kišenjem <b>Bor (B)</b> Mikroelementi (vidi tabl. 2-3)	SAR mc/l mc/l mc/l mc/l	< 3 < 3 < 4 < 3 < 0,7	3-9 > 3 4-10 > 3 0,7-3,0	> 9 - > 10 - > 3,0
<b>Ostalo</b> (utječe na osjetljivo bilje) <b>Dušik (NO<sub>3</sub>- N)<sup>3</sup></b> <b>Bikarbonati (HCO<sub>3</sub>)</b> (samo kišenje iznad krošnje) pH	mg/l mg/l	< 5 < 1,5	5-30 < 1,5-8,5	> 30 > 8,5
			uobičajena vrijednost 6,5-8,4	

<sup>1</sup> EV<sub>v</sub> - električna vodljivost - mjera saliniteta vode - izražena u decimemensima po metru pri 25°C (dS/m) ili u jedinicama milimho po centimetru (mmho/cm). Obje su jedinice ekvivalentne. OSU znači: otopljene soli ukupno, izražene u miligramima po litri (mg/l).

<sup>2</sup> SAR - sodium adsorption ratio. Odnos adsorpcije natrija.

<sup>3</sup> NO<sub>3</sub> - nitrati izraženi u kemijski ekvivalentnom dušiku (N).

**Preporuka najveće dopustive koncentracije mikroelemenata u natapnoj vodi**

Tablica 2-3A

Element	Najveća preporučljiva koncentracija <sup>1</sup> (mg/l)	Opaska
Al	5,0	Može izazvati neplodnost kiselih tala (pH < 5,5), ali znatno alkalna tla, pH > 7,0, istaložit će ion i eliminirati toksičnost.
As	0,10	Toksičnost za bilje znatno varira, od 12 mg/l za Sudan - travu do ispod 0,05 mg/l za rižu.
Be	0,10	Toksičnost za bilje znatno varira, od 5 mg/l za kelj do ispod 0,5 mg/l za niski grah.
Cd	0,01	Toksičan za grah, repu i korabu u koncentraciji od 0,1 mg/l u hranjivom rastvoru. Preporučene su strožije granice zbog mogućnosti akumulacije u tlu i bilju u koncentraciji koja može biti štetna ljudima.
Co	0,05	Toksičan biljkama rajčice u koncentraciji od 0,1 mg/l u rastvoru. Teži neaktivnosti u neutralnom i alkalnom tlu.
Cr	0,10	Općenito nije priznat kao bitan element razvoja. Preporučene su stroge granice jer nije poznat njegov toksičan utjecaj na bilje.
Cu	0,20	Toksičan je stanovitom broju biljaka u koncentraciji od 0,1 do 1,0 mg/l u hranjivom rastvoru.
F	1,0	Nije aktivan u neutralnom i alkalnom tlu.
Fe	5,0	Nije toksičan za bilje u prozračnim tlima, ali može pridonijeti zakiseljivanju tala i gubitku potrebne količine fosfora i molidbena. Kišenje iznad krošnje može izazvati ružne taložine na bilju, opremi i zgradama.
Li	2,5	Podnošljiv za većinu usjeva sve do 5 mg/l. Pokretljiv je u tlu. Otrovan je za agrume u niskoj koncentraciji (< 0,075 mg/l). Djeluje slično kao bor.
Mn	0,20	Toksičan jednom broju usjeva pri nekoliko desetinki do nekoliko mg/l, ali obično samo u kiselim tlima.

Zbog toga je istraženo i to područje i preporučene su granice za maksimalni sadržaj mikroelemenata. Tablica 2-3 sadrži preporuku najveće dozvoljene koncentracije mikroelemenata u natapnoj vodi, po preporuci FAO (1985.).

*Preporuka najveće dopustive koncentracije mikroelemenata u natapnoj vodi*

*Tablica 2-3B*

Element	Najveća preporučljiva koncentracija <sup>1</sup> (mg/l)	Opaska
Mo	0,01	Nije toksičan za bilje pri normalnoj koncentraciji u tlu i vodi. Može biti toksičan za stoku ako se krma uzgaja na tlima s visokom koncentracijom raspoloživog molidbena.
Ni	0,20	Toksičan je jednom broju biljaka pri 0,5 mg/l do 1 mg/l. Otrovnost se smanjuje kod neutralnih ili bazičnih tala.
Pb	5,0	Može spriječiti rast biljnih stanica pri jako visokoj koncentraciji.
Se	0,02	Toksičan je za bilje već pri koncentracijama od samo 0,025 mg/l i otrovan za stoku ako je krma rasla na tlima s relativno visokim postotkom dodanog selena. Element bitan za razvoj životinja, ali u veoma niskoj koncentraciji.
Sn		-
Ti		Bilje ga praktično ne upotrebljava. Djelovanje nepoznato.
W		-
V	0,01	Toksičan za većinu biljaka pri niskoj koncentraciji.
Zn	2,0	Toksičan za većinu biljaka u širokom rasponu koncentracije; toksičnost se smanjuje pri pH > 6,0 i u tlima fine teksture ili organskog sastava.

<sup>1</sup> Maksimalna koncentracija temelji se na dugoročnom natapanju visoke norme (10000 m<sup>3</sup>/ha/god). Ako ta norma bitno odstupa od navedene, dopustivu koncentraciju treba adekvatno povišiti, odnosno sniziti.



Laboratorijske analize nužne za procjenu kvalitete natapne vode navedene su u tablici 2-4. Analitički postupak za određivanje pojedinih vrijednosti nije predmet razmatranja u ovom radu. Smatra se da rezultati zadovoljavaju ako ne odstupaju više od  $\pm 5\%$ .

*Laboratorijske analize za procjenu kvalitete uobičajenih natapnih voda*

*Tablica 2-4*

	Simbol	Jedinica mjere <sup>1</sup>	Uobičajena vrijednost u natapnoj vodi
<b>Salinitet</b>			
<i>Sadržaj soli</i>			
električna vodljivost ili otopljene soli ukupno	EV <sub>v</sub>	dS/m	0 - 3 dS/m
<i>Kationi i anioni</i>	OSU	mg/l	0 - 2000 mg/l
kalcij	Ca <sup>++</sup>	me/l	0 - 20 me/l
magnezij	Mg <sup>++</sup>	me/l	0 - 5 me/l
natrij	Na <sup>+</sup>	me/l	0 - 40 me/l
karbonati	CO <sub>3</sub> <sup>--</sup>	me/l	0 - 0,1 me/l
bikarbonati	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	me/l	0 - 10 me/l
kloridi	Cl <sup>-</sup>	me/l	0 - 30 me/l
sulfati	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	me/l	0 - 20 me/l
<b>Hraniva <sup>2</sup></b>			
nitriti - dušik	NO <sub>2</sub> -N	mg/l	0 - 10 mg/l
amonijak - dušik	NH <sub>4</sub> -N	mg/l	0 - 5 mg/l
fosfat - fosfor	PO <sub>4</sub> -P	mg/l	0 - 2 mg/l
kalij	K <sup>+</sup>	mg/l	0 - 2 mg/l
<b>Ostalo</b>			
bor	B	mg/l	0 - 2 mg/l
reakcija	pH	-	6,0 - 8,5 mg/l
natrij	SAR <sup>3</sup>	me/l	0 - 15 ,g/l

<sup>1</sup> dS/m = decisimens po metru (ekvivalentan je 1 mmho/cm)

mg/l = miligram po litri ~ parts per million (ppm)

me/l = miliekvivalent po litri (mg/l - ekvivalentna težina = me/l); u SI sustavu, 1 me/l = 1 m/mol/l

<sup>2</sup> NO<sub>3</sub>-N znači da će se rezultat laboratorijske analize za NO<sub>3</sub> izraziti u kemijski ekvivalentnom dušiku. Jednak se postupak primjenjuje za NH<sub>4</sub>-N i PO<sub>4</sub>-P, samo se u ovome zadnjem slučaju to izražava u fosforu.

<sup>3</sup> SAR se računa za Na, Ca i Mg (izraženi u me/l), kako je to u nastavku obrazloženo.

## 2.2. FIZIČKE ZNAČAJKE NATAPNE VODE

Od fizičkih značajki natapne vode obradit će se temperatura i mutnoća, a od kemijskih otopljene soli, toksičnost specifičnih iona, sadržaj nekih elemenata u štetnoj koncentraciji i neke druge.

### 2.2.1. Temperatura

Temperatura je najvažnija fizička značajka natapne vode. Previše topla ili previše hladna natapna voda može izazvati štete, pogotovo na mlađem bilju. Općenito se smatra da je za većinu usjeva u vegetacijskom razdoblju najpovoljnija temperatura natapne vode oko 25°C.

U odnosu prema toplinskom stanju, obično imamo tople i hladne natapne vode. U koju ćemo grupu svrstati neku natapnu vodu, ovisi o području gdje se voda upotrebljava, o godišnjem dobu, vrsti usjeva, o metodi natapanja, fenološkoj fazi razvoja bilja te o vremenu u danu u kojem se tlo natapa. Tako se npr. u našim južnim krajevima smatra da je voda temperature niže od 15 do 20°C hladna, a istovremeno se u alpskim predjelima drži da je hladna voda čija je temperatura niža od 6 do 10°C. Suprotno tome, vode temperature oko 10°C smatraju se u jesenskom i zimskom natapanju toplima.

Temperatura natapne vode ovisi o njenom podrijetlu i o putu što ga prođe u kanalima prije nego što stigne na natapno polje. Ljeti su najhladnije podzemne vode, a najtoplije površinske; zimi je obično obratno. Temperatura se ljeti može podignuti uskladištenjem u bazenima i akumulacijama te dužinom protjecanja u kanalima.

Temperatura vode posebno je važna pri toplinskom natapanju, npr. u zimskom uzgoju riže i "grijanju livada", tzv. marcita. Natapna je voda hladna ili topla, već prema tome je li temperatura vode niža ili viša od srednje dnevne temperature zraka.

### 2.2.2. Mutnoća

Natapne vode mogu u obliku suspenzije sadržavati različite količine krutih čestica, koje mogu biti korisne ili štetne za natapni sustav i natapne površine. Sadržaj je muteži uglavnom primjeren vodama površinskih vodnih tokova.

Karakteristični pokazatelji muteži jesu: protok nanosa u kg/s, koji označuje masu nanosa koju vodotok pronosi kroz određeni presjek u jedinici vremena; specifična mutnoća izražena u g/m<sup>3</sup>, koja izriče odnos pronosa nanosa i protoka vode nekog presjeka u određenom trenutku vremena; specifični pronos nanosa izražen u t/km<sup>2</sup> kojim se definira prosječna proizvodnja nanosa slivnog područja po četvornom kilometru površine i za određeno vrijeme.

Stupanj specifične mutnoće mijenja se u istom vodotoku ovisno o godišnjem dobu, vrsti i tipu oborina, osobito u odnosu prema karakteru slivne površine, njezin vegetacijski pokrov i način uređenja tla.

Upotreba voda za natapanje s većim sadržajem muteži može biti korisna ili štetna. Štetne posljedice pokazuju se u taloženju mulja na livadama (degradira sijeno), u povišenju kote terena (ponekad), a naročito u zatrpavanju kanala i drugih građevina. Korisni učinci pokazuju se pri melioraciji kolmiranjem, u poboljšanju pedoloških značajki tla (npr. na pijescima) u doprinosu hranjivih materija bilju. Tipičan je stoljetni koristan učinak upotrebe mutne vode na poljoprivredu Egipta postignut poplavama hranjivim muljem što ga je Nil ispirao pretežno u Etiopiji.

U odnosu prema granulometrijskom sastavu, Kostjakov smatra da su nanosi čestica veličine veće od 0,1 mm nepoželjni u natapnoj vodi, jer se lako talože u kanalima i drugim građevinama. Nanosi veličine od 0,1 do 0,005 mm mogu povoljno utjecati na fizikalna svojstva tla, ali imaju slabu hranjivu vrijednost. I naposljetku, nanosi manji od 0,005 mm, a naročito manji od 0,001 mm imaju veliku hranidbenu vrijednost za bilje, ali mogu pogoršati fizikalna svojstva tla, jer smanjuju vodopropusnost i aeraciju.

## 2.3. KEMIJSKE ZNAČAJKE NATAPNE VODE

Upotreba voda za natapanje koje sadrže veće ili manje količine otopljenih soli povezana je s nizom različitih problema koje treba razmatrati u odnosu prema biljci, tlu, vodi, okolini i klimi. Sadržaj mineralnih komponenata u vodi vrlo je važan za njezinu učinkovitu upotrebljivost u natapanju. Kada je ukupan sadržaj soli visok, voda redovito sadrži u većoj mjeri upravo one komponente koje nepovoljno utječu na rast bilja. Soli mogu biti štetne za biljku na tri načina:

- Toksičnim djelovanjem iona pojedinih elemenata
- Veći postotak nekih soli u vodi može stvoriti netopljive spojeve s nužnim hranjivim komponentama, čime sprečava prehranu bilja, i
- Osmotski tlak rastvora soli može biti tako visok da onemogućiti biljci apsorpciju potrebne količine vlage za razvoj.

Metode proučavanja saliniteta kao i procjene upotrebljivosti zaslanjenih voda za natapanje uglavnom su novijeg datuma. Naročito se intenzivno na tom području radi poslije drugoga svjetskog rata, posebno u SAD-u i SSSR-u. Sve veća potreba za poljoprivrednim proizvodima diktirana naglim povećanjem populacije i podizanjem životnog standarda u svim krajevima svijeta jedna je od bitnih komponenata intenziviranja poljoprivredne proizvodnje i osvajanja velikih prostranstava aridnih površina.

Uobičajeni sastav soli koji je važan sa stajališta mogućnosti upotrebe natapne vode, jest 4 bazična i 5 kiselih iona. Kationi su kalcij, magnezij, natrij i kalij, a anioni karbonati, bikarbonati, kloridi, sulfati i nitrati. U tablici 2-5 prikazane su njihove kemijske značajke.

*Glavni lužnati i kiseli ioni sadržani u natapnoj vodi*

Tablica 2-5

Kationi			Anioni		
Sastav	Kemijski simbol	Kombinirana težina	Sastav	Kemijski simbol	Kombinirana težina
kalcij	Ca	20,0	karbonati	CO <sub>3</sub>	30,0
magnezij	Mg	12,2	bikarbonati	HCO <sub>3</sub>	61,0
natrij	Na	3,02	kloridi	Cl	35,5
kalij	K	39,1	sulfati	SO <sub>4</sub>	48,0
			nitriti	NO <sub>3</sub>	62,0

Ostali sastojci koji mogu biti prisutni u natapnoj vodi uključuju aluminij, bor, fluor, željezo, selen, silicij i još neke druge elemente. Najveći broj natapnih voda sadrži te elemente samo u tragovima, ali osobita se pozornost mora obratiti kada se upotrebljava voda iz specifičnih izvorišta. Bor zaslužuje posebnu pažnju koja će se kasnije obraditi.

U nastavku ćemo najprije sažeto prikazati znanstvena dostignuća radi minimiziranja efekata utjecaja zaslanjenih voda i tala na prinos i kvalitetu pojedinih poljoprivrednih kultura, a zatim ćemo prikazati sadašnja nastojanja te eventualni mogući budući pravac aktivnosti. Iako se intenzivna istraživanja te problematike provode već oko 50 godina, a zadnjih 10-ak godina i ubrzanim ritmom, treba ipak istaknuti da su adekvatna rješenja prikladne upotrebe velikih nalazišta dosada neadekvatno iskorištavanog bogatstva tla i vode tek pred nama. U tom smislu učinjeni su tek početni koraci.

*2.3.1. Osnovni pokazatelji kvalitete zaslanjenih voda*

Scofield je još 1935. godine dokazao da sadržaj Na i K u vodi za natapanje ima veliku važnost. Visoki postotak Na u odnosu prema K i Mg može biti opasan za tlo i usjeve. Voda s visokim sadržajem Na neće biti škodljiva ako je sadržaj Ca i Mg također visok, ali ta ista voda može biti vrlo štetna ako je sadržaj Ca i Mg nizak. Dakako, važne su i ostale značajke tla. Dozvoljen odnos Na prema ukupnom sadržaju kationa Scofield je izrazio formulom:

$$\%Na = \frac{Na \cdot 100}{Ca + Mg + Na + K}$$

Taj bi postotak morao uvijek biti niži od 60, odnosno prema nekim autorima 70.

Wilcox je kasnije izradio empirijski dijagram za procjenu natapnih voda na osnovi saliniteta (bikarbonati, sulfati i kloridi) i postotka Na. Thorne je 1951. učinio korak dalje i izradio dijagram koji nezavisno prikazuje opasnost od saliniteta i Na, pri čemu se uzima u obzir tekstura tla i dreniranost. Ipak najpotpunija klasifikacija izradena je

nešto kasnije (1954.) dijagramom saliniteta, pri čemu upotrebljivost voda ovisi o kemijskim i mehaničkim značajkama.

Pri određivanju kvalitete natapnih voda najveću pozornost treba obratiti ovim pokazateljima:

- ukupnoj koncentraciji topljivih soli
- relativnom odnosu Na prema ostalim kationima
- koncentraciji bora ili drugih elemenata koji mogu biti toksični
- u stanovitim uvjetima koncentraciji bikarbonata u odnosu prema koncentraciji Ca + Mg.

Ukupna koncentracija soli može se adekvatno izraziti pomoću električne vodljivosti. Električna je vodljivost vrlo koristan parametar, jer može biti brzo, lako i točno određena. Općenito se može istaknuti da gotovo sve natapne vode imaju vodljivost ispod  $2250 \mu\text{mho}/\text{cm}^*$ , ali ima slučajeva da su se na pojedinim tlima za pojedine usjeve uspješno primjenjivale zalivne vode s više od  $5000 \mu\text{mho}/\text{cm}$ .

Kako je već spomenuto, količina se soli u tlu povećava proporcionalno dodavanju vode natapanjem. Najveći se dio dodane vode troši evapotranspiracijom tako da se koncentracija soli u tlu neprekidno povećava. Da bi se spriječilo povećanje koncentracije soli na stupanj koji bi smanjio prinose ili čak onemogućio korištenje tla za poljoprivrednu proizvodnju, nužno je ukloniti višak soli iz tla. Opće prihvaćena metoda u čitavom svijetu jest ispiranje viška soli. Sastoji se u primjeni veće količine natapne vode nego što je za ET potrebno tako da jedan dio perkolira kroz cjelokupnu zonu korijena i ispod odnoseći sa sobom dio akumuliranih soli. Dio dodane količine vode koji prolazi ispod korijenova sustava i protječe dalje zove se odnos ili potreba ispiranja i izražava se izrazom:

$$\text{Potreba za ispiranjem} = \frac{\text{Količina vode koja prolazi ispod korijenja}}{\text{Količina ukupno dodane vode}}$$

Nakon većeg će se broja natapanja akumulacija soli u tlu postupno uravnotežiti s koncentracijom baziranom na salinitetu natapne vode i odnosa ispiranja. Salinitet drenirane vode može se procijeniti iz jednadžbe:

$$EV_{dv} = \frac{EV_v}{PI}$$

gdje je:

$EV_{dv}$  - salinitet drenirane vode koja protječe ispod zone korijena (jednaka salinitetu tlo-voda,  $EV_{tv}$ )

$EV_v$  - salinitet primijenjene natapne vode

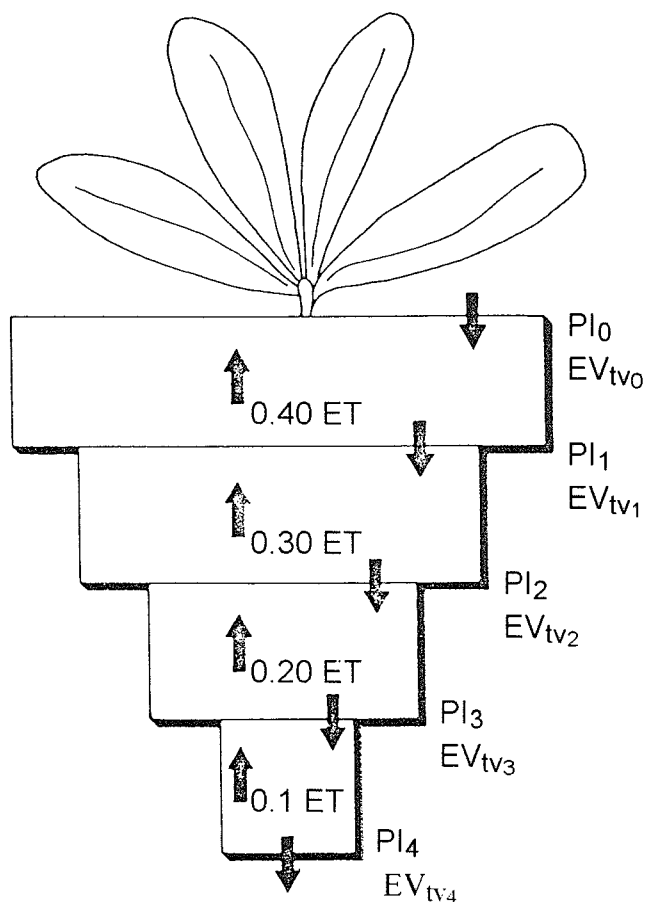
PI - potreba za ispiranjem

---

\* Prema SI, jedinica za električnu vodljivost jest siemens;  $1 \text{ S} = 1 \Omega^{-1}$

Na primjer, ako neki usjev natapamo vodom  $EV_v = 1 \text{ ds/m}$  uz odnos ispiranja  $PI = 0,20$ , onda će salinitet drenirane vode (a i tla) na dnu zone korijena iznositi:

$$EV_{dv} = EV_v = \frac{EV_v}{PI} = \frac{1}{0,2} = 5 \text{ ds / m}$$



Sl. 2-1 Shema utroška i saliniteta vode po četvrtinama

Ta jednadžba može poslužiti i za proračun prosječnog saliniteta vode - tla, ali za to moramo poznavati količine utroška vode po dubini i veličinu dodane vode (ET). Ako pretpostavimo da biljka troši vodu u pojedinoj četvrtini ukupne dubine korijena (počevši od površine tla) po shemi (u %) 40-30-20-10, i uz  $ET = 1000$ ,  $PI = 0,2$ , dobijemo:

a) Potreba za vodom (PV)

$$PV = \frac{ET}{1 - PI} = \frac{1000}{1 - 0,2} = 1250 \text{ mm}$$

b) Kako natapna voda prodire u tlo s površine, jasno je da će potreba za ispiranjem na površini biti bliska jedinici, dakle  $PI_0 = 1$ .

c) Za dno prvog sloja (dno prve četvrtine)

$$PI = \frac{\text{drenirana voda}}{\text{ukupno dodana}} ; EV_n = \frac{EV_v}{PI}$$

$$PI_1 = \frac{1250 - 0,4(1000)}{1250} = 0,68$$

odakle proizlazi da je slanost na ovom mjestu

$$ETV_{n_1} = \frac{EV_v}{PI_1} = \frac{1}{0,68} = 1,47 \text{ dS} \cdot \text{m}$$

i tako redom sve do dna

$$PI_2 = \frac{1250 - 0,4(1000) - 0,3(1000)}{1250} = 0,44$$

$$ETV_{n_2} = \frac{1}{0,44} = 2,27$$

$$PI_3 = \frac{1250 - 0,4(1000) - 0,3(1000) - 0,2(1000)}{1250} = 0,28$$

$$ETV_{n_3} = \frac{1}{0,28} = 3,57$$

$$PI_4 = \frac{1250 - 0,4(1000) - 0,3(1000) - 0,2(1000) - 0,1(1000)}{1250} = 0,20$$

$$ETV_{n_4} = \frac{1}{0,2} = 5,00$$

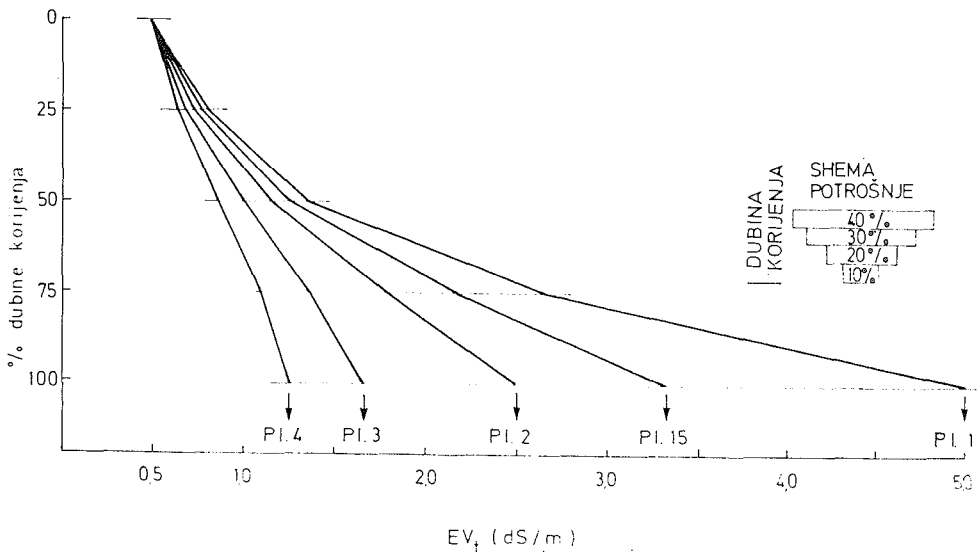
d) Prosječna vrijednost slanosti čitavog presjeka zone korijena bit će jednaka prosjeku tih vrijednosti; dakle imamo:

$$EV_{iv} = \frac{EV_0 + EV_1 + EV_2 + EV_3 + EV_4}{5}$$

$$EV_{iv} = \frac{1,0 + 1,47 + 2,27 + 3,57 + 5,0}{5} = 2,66 \text{ dS / m}$$

što pokazuje da će salinitet drenirane vode ispod zone korijena biti 2,66 puta veći od saliniteta natapne vode.

Biljka crpi vodu po čitavoj dubini korijena i uzima je tamo gdje je raspoloživa (uz najmanji otpor). Najprije i najviše to čini u gornjemu, površinskom sloju, koji se najčešće opskrbljuje vodom natapanjem i oborinama. Zbog toga se u rasponu između dvaju natapanja najprije iscrpi voda u površinskom sloju, što biljku prisiljava da se opskrbljuje iz dubljih slojeva koji u pravilu imaju veći sadržaj soli, za što je potrebna i veća usisna sila. Što su natapanja odnosno oborine rjeđe, to će se češće pojaviti potreba za crpljenjem vode iz veće dubine. Proizlazi zaključak da je shema crpljenja vode po dubini ovisna o učestalosti natapanja, tj. što su natapanja češća, to se veći postotak vode troši iz gornjega - površinskog sloja. Iskustvo pokazuje da u normalnim uvjetima i za uobičajene turnuse to iznosi 40, 30, 20, 10 postotaka u četvrtinama presjeka u kojem se nalazi korjenov sustav, i to počevši od najgornje prema najdonjoj. Ta shema je zadržana kod svih razmatranja u ovoj knjizi. Na priloženoj slici 2-2 prikazan je salinitet po dubini koji će se vjerojatno uspostaviti dužim natapanjem vodom s  $EV_v = 1 \text{ dS/m}$ , a za različite odnose ispiranja. Pritom je, dakako, uzeta navedena shema potrošnje od 40, 30, 20, 10.



Sl. 2-2 Razvoj saliniteta po dubini nakon dugotrajne upotrebe vode s  $EV_v = 1,0 \text{ dSm}$  za različite odnose ispiranja



Dosada nismo uzimali u obzir utjecaj vrste kultura na mogućnost crpljenja vode iz zaslanjenih tala, već smo pretpostavili da sve biljke reagiraju na jednak način. To, međutim, nije točno. Neke su u stanju više, a neke manje vode crpsti iz tla jednake koncentracije, što dokazuje da su neke više, a neke manje osjetljive na salinitet. Iskustvo pokazuje da taj odnos može biti i do 8 do 10 puta, međutim, o tome će biti riječi kasnije.

Prema nekim ispitivanjima provedenim u SAD-u, potreba za ispiranjem u odnosu prema električnoj vodljivosti natapne vode bila bi kako je prikazano u tablici 2-6.

*Postotak potrebe za ispiranjem u odnosu prema kol. upotrebljive natapne mase*

*Tablica 2-6*

Električna vodljivost natapne vode ( $\mu\text{mho/cm}$ )	Potreba za ispiranjem izražena u % upotrijebljene natapne vode ovisno o maksimalnoj električnoj vodljivosti odvodne vode u zoni korijena			
	4 mmho	8 mmho	12 mmho	16 mmho
100	2,5	1,2	0,8	0,6
250	6,2	3,1	2,1	1,6
750	18,8	9,4	6,2	4,7
2250	56,2	28,1	18,8	14,1
5000	-	62,5	41,7	31,2

Napomena:

a) 1 mmho (milimho) = 1000  $\mu\text{mho}$  (mikromho)

b) jedinica električnog otpora jest ohm; suprotna jedinica električne vodljivosti jest mho, tj. 1 mho = 1/ohm

c) prema SI, jedinica za električnu vodljivost jest simens: 1S = 1  $\Omega^{-1}$

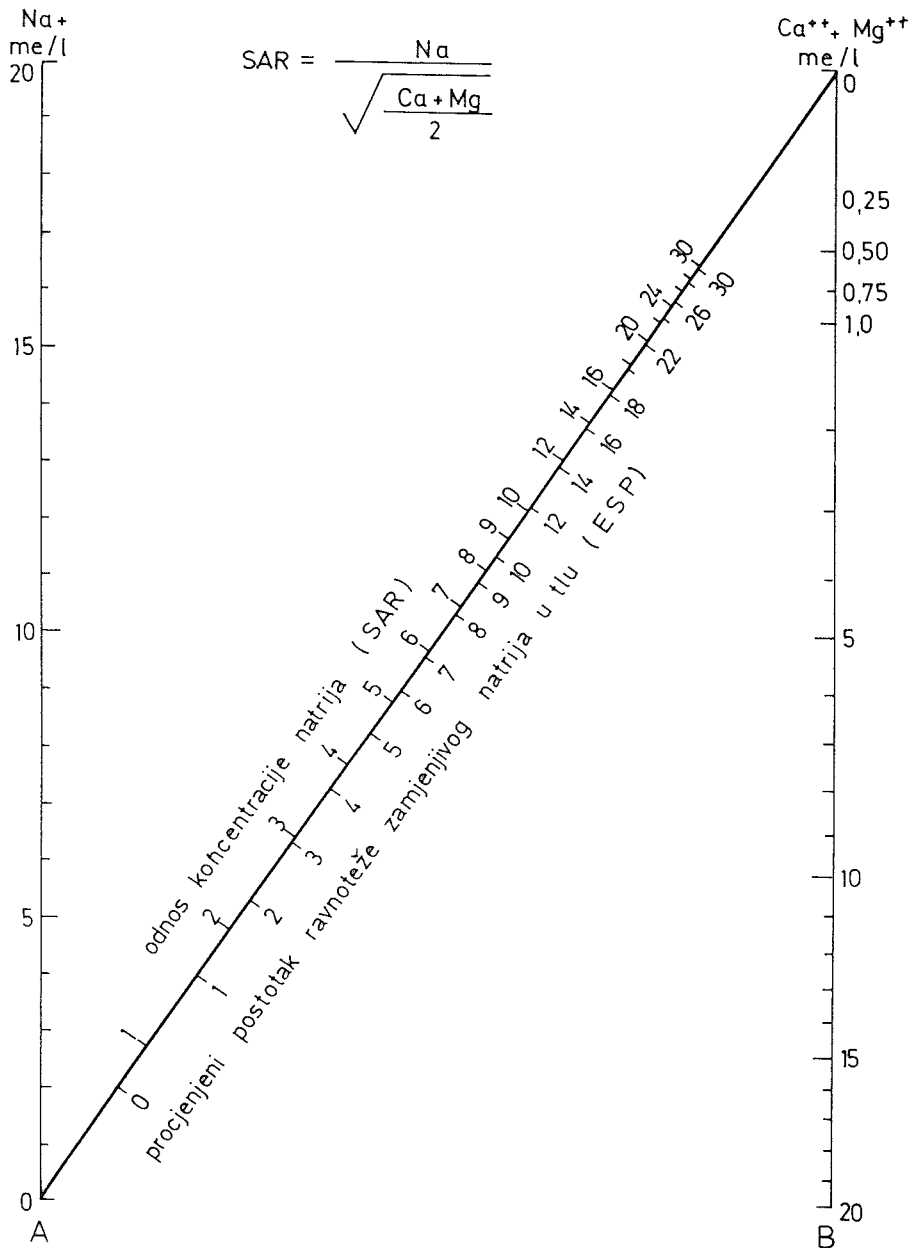
Relativan odnos Na prema ostalim kationima, ili kako se to često označuje SAR (Sodium-Adsorption-Ratio), empirijska je veličina i obično se izražava odnosom:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

gdje su vrijednosti za katione izražene u miliekvivalentima na litru. Radi bržeg i jednostavnijeg nalaženja vrijednosti SAR načinjen je nomogram (sl. 2-3).

Poznavanjem vrijednosti za  $Na^+$  i za  $Ca^{++} + Mg^{++}$ , možemo na gornjem dijelu dijagonalne ljestvice odmah očitati vrijednosti SAR za promatrani uzorak. Donja podjela služi za određivanje vrijednosti ESP (Exchangeable-Sodium-Percentage), odnosno postotka zamjenjivog natrija, čije su analitičke vrijednosti izražene odnosom:

$$EPS = \frac{100(-0,0126 + 0,01475 SAR)}{1 - (-0,0126 + 0,01475 SAR)}$$



**Sl. 2-3** Nomogram za određivanje vrijednosti SAR natapne vode i procjenu odgovarajuće ESP vrijednosti tla koja je u ravnoteži s vodom

Donja ljestvica zapravo prikazuje tlo koje je u ravnoteži s analiziranom vodom.

Salinitet je zemljišnog rastvora obično 2 do 100 puta veći od saliniteta natapne vode, što ovisi o intenzitetu isparivanja i o količini potrošnje biljaka. Vrijednost SAR povećava se u odnosu prema drugom korijenu od ukupne koncentracije, tj. ako se koncentracija udvostruči, vrijednost SAR povećava se faktorom 1,41 itd.

Visoka koncentracija bikarbonata u natapnoj vodi može prouzročiti taloženje Ca i Mg u obliku soli. Taloženje Ca i Mg izaziva povećanje odgovarajuće količine Na u vodi, a na tlo to djeluje na jednak način kao da se količina Na u natapnoj vodi povećala. Visoka koncentracija bikarbonata može, također, prouzročiti povećanje pH u tlu, što ponekad pospješuje stvaranje tzv. "crnih alkalija". Prema nekim istraživanjima iz 1954. godine, što su ih proveli Wilcox i Blair, čini se da je voda potpuno neškodljiva za bilje ako sadržaj bikarbonata nije veći od 1,25 ekvivalenta na milijun od sume Ca + Mg, odnosno ako je  $HCO_3^- (Ca + Mg) = 1,25$ .

Usporedo s napredovanjem tih reakcija, koncentracija Ca + Mg smanjuje se, a relativan odnos Na raste. Eaton je 1950. postavio tri izraza u vezi s tim relacijama:

a) "nađeni" rastvorljivi postotak Na:

$$Na = \frac{Na^+ \cdot 100}{(Ca^{++} + Mg^{++} + Na^+)}$$

b) "mogući" rastvorljivi postotak Na:

$$Na = \frac{Na^+ \cdot 100}{(Ca^{++} + Mg^{++} + Na^+) - (CO_3 + HCO_3^-)}$$

c) "rezidualni"  $Na_2CO_3$ :

$$Na_2CO_3 = (CO_3^- + HCO_3^-) - (Ca^{++} + Mg^{++})$$

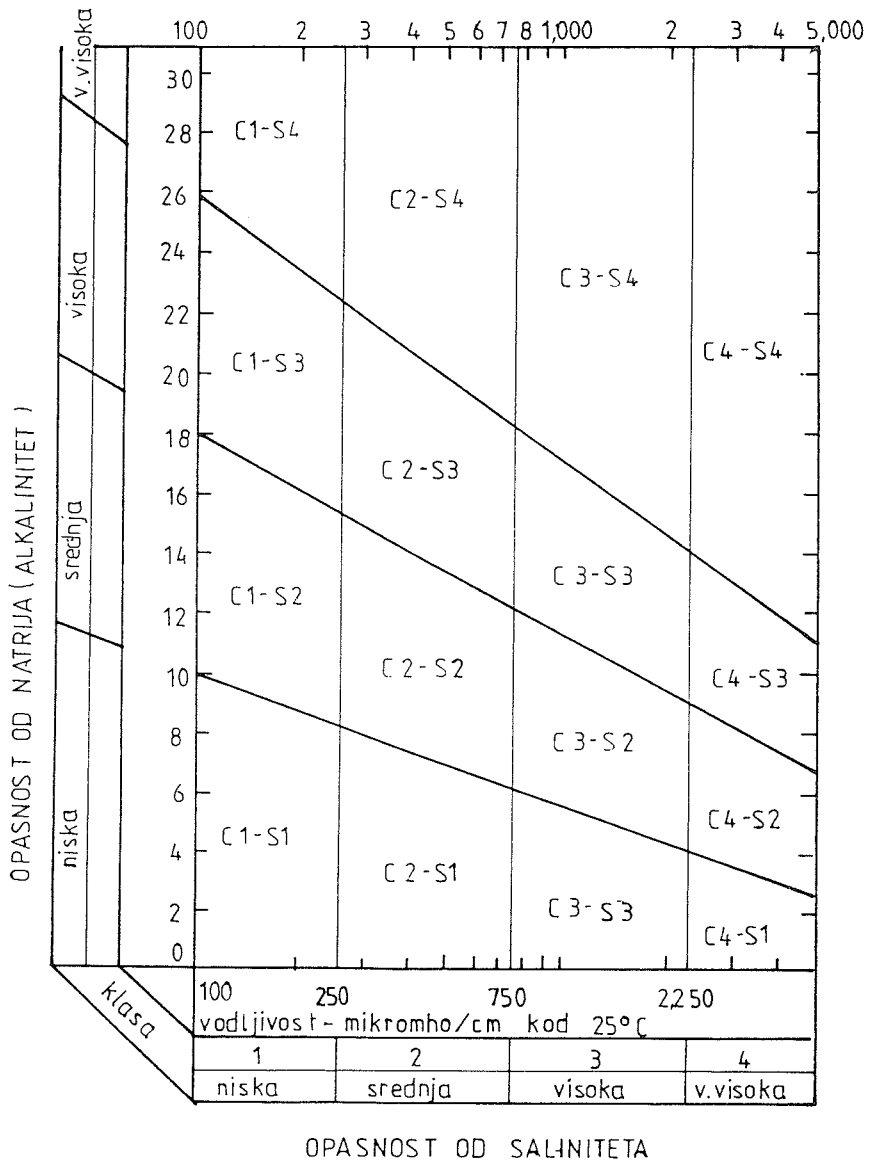
Smatra se da voda s više od 2,5 me/l rezidualnog  $Na_2CO_3$  nije prikladna za natapanje, a vode kojima se ta vrijednost kreće između 1,25 i 2,50 smatraju se umjereno prikladnima. Sadržaj je rezidualnog  $Na_2CO_3$  ispod 1,25 me/l vjerojatno neškodljiv.

### 2.3.2. Dijagram saliniteta

US Salinity Laboratory publicirao je 1954. nomogram za klasifikaciju kvalitetne natapne vode ovisno o opasnosti od alkaliniteta i saliniteta.

Iz grafičkog prikaza (slika 2-4) vidi se da se na vodoravnu os nanosi električna vodljivost koja najbolje predočuje salinitet, a na vertikalnu os nanose se SAR vrijednosti kao pokazatelj alkaliniteta. Prema tome, što je veća vrijednost na horizontalnoj osi, to će se više javljati potreba za većim količinama vode za ispiranje tla, odnosno što je veća vrijednost na vertikalnoj osi, to će tlo zahtijevati dodavanje

većih količina gipsa kako bi se neutraliziralo toksično djelovanje natrija. Ta se vrijednost redovno označuje kao potreba za gipsom (PG).



Sl. 2-4 Dijagram saliniteta

Analitičke vrijednosti krivulja (odnosno pravaca na prikazanom logaritamskom dijagramu) saliniteta jesu:

$$\text{gornja krivulja: } S = 43,75 - 8,87 \log V$$

$$\text{srednja krivulja: } S = 31,31 - 6,66 \log V$$

$$\text{donja krivulja: } S = 18,87 - 4,44 \log V$$

gdje S označuje SAR vrijednosti, a V električnu vodljivost u  $\mu\text{mho/cm}$  pri 25°C.

Dijagram saliniteta omogućuje razvrstavanje natapnih voda u 16 kategorija. Donosimo skraćeni opis glavnih kategorija (na temelju prikaza US Salinity Laboratory).

#### a) *Opasnost od saliniteta*

Vrijednost ukupnog saliniteta može se izraziti kao koncentracija iona (pozitivnih i negativnih), kao težina otopljenih soli u jednoj litri vode ili u jedinicama vodljivosti. Vode niskog saliniteta mogu se upotrijebiti za većinu usjeva i na većini tala. Potrebno je nešto malo ispiranja, ali to se ionako zbiva uobičajenim procesom. Vodljivost im je od 100 do 200  $\mu\text{mho}$ , a sadržaj soli 64-160 mg/l. osim na tlima niske propusnosti.

Vode srednjeg saliniteta mogu se normalno upotrebljavati samo ako se tlo povremeno ispire. Srednje otporni usjevi mogu se uzgajati bez naročitih postupaka za kontrolu saliniteta. Te vode sadrže 160 do 480 mg/l soli.

Vode visokog saliniteta nisu prikladne za natapanje u normalnim okolnostima, ali se ponekad mogu upotrijebiti u posebnim uvjetima. Tlo mora biti jako propusno, a odvodnja bespriječna. Znatne količine vode moraju se upotrebljavati za ispiranje. Uzgajati se mogu samo veoma otporni usjevi. Te vode sadrže od 480 do 3200 mg/l soli.

#### b) *Opasnost od natrija*

Klasifikacija natapnih voda u odnosu prema SAR temelji se ponajprije na djelovanju zamjenjivog natrija na fizikalna svojstva tla.

Vode s niskim sadržajima Na mogu se upotrebljavati za natapanje na gotovo svim tlima s malom vjerojatnošću razvoja štetne koncentracije zamjenjivog Na.

Vode sa srednjim sadržajem Na mogu biti vrlo opasne na tlima fine teksture i visoke sposobnosti zamjene kationa, osobito u uvjetima slabog ispiranja bez prisutnosti gipsa u tlu. Te se vode mogu upotrijebiti na krupnozrnatim ili organskim tlima dobre vodopropusnosti.

Vode s visokim sadržajem Na mogu stvoriti štetnu koncentraciju zamjenjivog Na na većini tala pa zahtijevaju poseban postupak: dobru odvodnju, jako ispiranje i dodavanje organske materije. Ponekad će biti nužni kemijski dodaci radi odstranjenja zamjenjivog Na, osim ako ti dodaci nisu topljivi u vodi visokog saliniteta.

Vode s visokim sadržajem Na općenito su neprikladne za natapanje, osim pri niskom ili eventualno srednjem salinitetu, pa ih rastvor Ca iz tla ili upotreba gipsa ili drugih dodataka može donekle poboljšati.

Može se, dakle, zaključiti da je ocjena vode po ovoj metodi vrlo jednostavna i brzo provediva. Potrebno je, međutim, napomenuti da pritom važno, a ponekad i presudno

značenje imaju kemijski sastav tla i njegova fizikalna svojstva. Prema tome, pogrešno je analizirati i klasificirati upotrebljivost natapne vode, a da se pritom ne uzmu u obzir i ti činioci.

Rezultati analiza izraženi u dijelovima na milijun (ppm) preračunavaju se u miliekvivalente na litru ako se dijelovi na milijun pomnože s odgovarajućim faktorima (tablica 2-7).

### *Faktori pretvorbe*

*Tablica 2-7*

Kationi	Faktor konverzije	Anioni	Faktor konverzije
kalcij (Ca)	0,0499	karbonati (CO <sub>3</sub> )	0,0333
magnezij (Mg)	0,0822	bikarbonati (HCO <sub>3</sub> )	0,0164
natrij (Na)	0,0435	sulfati (SO <sub>4</sub> )	0,0208
kalij (K)	0,0256	kloridi (Cl)	0,0282

### *2.3.3. Gospodarenje zaslanjenim tlima*

Slanost tla nužno je držati pod kontrolom (u određenim granicama) da se osigura postizanje planiranih alternativnih rješenja koja se mogu primjenjivati pojedinačno ili kombinirano.

U ovom će se poglavlju razmatrati značenje ispiranja viška soli prije nego što se akumuliraju u opasnim koncentracijama te održavanje kvalitetne opskrbe vodom bilja za cijelo razdoblje vegetacije. Treba odmah istaknuti da bez učinkovite i prikladne odvodnje nije moguće dugoročno održavati povoljan odnos saliniteta u tlu.

Odvodnja, ispiranje i izmjena plodoreda radi uvođenja otpornijih usjeva osnovne su metode borbe protiv zaslanjivanja tla, a primjenjuju se kao strategija gospodarenja u dugoročnom razdoblju. Za kratkoročno postizanje ciljeva, najčešće tijekom vegetacijske sezone, mogu se primijeniti i neke specifične metode gospodarenja tлом. Toj skupini ponajprije pripadaju primjena učestalijeg natapanja, ravnanje tla, vrijeme gnojidbe i način sjetve.

Prikladnost tla za poljoprivrednu proizvodnju uvelike ovisi o mogućnosti dovoda vode i zraka i prikladnosti za adekvatnu obradu. Niska vodopropusnost i otežana obrada najčešći su problemi natapanih površina. Suprotno zaslanjenim tlima, tla bogata natrijem obično imaju smanjenu vodopropusnost i lošu obradivost. Dosadašnja istraživanja ukazuju na potrebu da se problem vodopropusnosti tla i obradivost razmatraju združeno s problemom saliniteta i postotka zamjenjivog natrija (SAR) te pH vrijednosti površinskog sloja.

Smanjenje brzine infiltracije vode u tlo obično se pojavljuje tijekom sezone natapanja zbog pogoršanja strukture tla i pojave pokorice na površini. Hidraulička je vodljivost pokorice obično dva do tri puta niža od sloja tla ispod nje, naročito ako je koncentracija soli u vodi niska, a relativna koncentracija zamjenjivog natrija visoka.

Dodavanje gipsa (bilo tlu, bilo vodi) može znatno ublažiti ili eliminirati problem smanjenja brzine infiltracije i hidrauličke vodljivosti.

### 2.3.3.1. Utjecaj odvodnje i natapanja na salinitet tla

Zaslanjenost je tla u natapnim perimetrima veoma često prouzročena plitkom podzemnom vodom (manje od 2,0 m ispod površine terena). U tom slučaju voda se kapilarnim putem diže u zonu korijena i, ako sadrži soli, one se tu akumuliraju, a vodu troši bilje, odnosno gubi se na isparivanje. Ta je vrsta zaslanjivanja površinskih horizonata veoma intenzivna u toplim, aridnim krajevima, pogotovo ako tlo dio godine (što je vrlo često slučaj) ostaje neobrađeno. Brzina akumulacije soli iz podzemne vode ovisi o metodi natapanja, dubini i koncentraciji soli podzemne vode, teksturi tla i klimatskim uvjetima.

U aridnim i semiaridnim predjelima salinitet prouzročen slabom odvodnjom ne može se djelotvorno kontrolirati bez sniženja i održanja podzemne vode na dubini koja neće imati bitnijeg utjecaja na porast saliniteta na površini. Ta dubina obično iznosi 2,0 m ili više.

Kako je poznato, svaka natapna voda, pa makar i ona bolje kvalitete, sadrži stanovitu količinu otopljenih soli. Višegodišnja upotreba takve vode za natapanje nekog polja postupno povećava sadržaj soli u tlu jer se voda neprekidno, svake godine troši, a soli se stalno akumuliraju. Ako se npr. godišnje upotrijebi za natapanje 5000 m<sup>3</sup>/ha vode koja sadrži samo 250 mg/l otopljenih soli, što je uobičajena koncentracija u vodi većine velikih rijeka čije se vode upotrebljavaju za natapanje, onda će se količina soli u tlu godišnje povećati za 1250 kg/ha. Uz pretpostavku da se natapa dubina tla od 0,5 m te da sva količina soli ostaje u tlu, za samo 6 godina koncentracija soli u tlu bit će već oko 0.1 %, što je već granica u pravcu prema slabo zaslanjenu tlu.

Jedini način da se spriječi gomilanje soli u zoni korijena jest ispiranje tla viškom vode za vrijeme natapanja. Određena količina vode mora proći ispod zone korijena bilja, odvesti višak soli i kao takva mora se evakuirati izvan melioracijskog područja. Brzina i količina perkolacije (poniranja) vode ovise o više faktora, od kojih su najvažniji metoda natapanja, tekstura tla, način uređenja parcela i količina natapne vode. Ovisno o utjecaju i važnosti faktora, poniranje najčešće iznosi između 10 i 40 %.

Odvodnja je najčešća komplementarna mjera pri natapanju kako bi se izbjeglo zaslanjivanje tla. Vrlo se često uvođenjem natapanja povisuje razina podzemne vode. Natapanjem se, naime, znatno povećava količina vode koja ponire ispod zone korijena, što bi postupno dovelo do povećanja saliniteta tla ako se kvalitetnom odvodnjom to ne spriječi. Drenažni se sustav može graditi istovremeno s natapnim ili naknadno. Ako je razina podzemne vode dosta duboko, onda se može i naknadno sagrađiti, tj. onda kada, zbog stalnog povišenja razine, ona već ugrožava normalnu eksploataciju tla uz povećanje saliniteta. U slučaju relativno plitke dubine podzemne vode (ne dublje od 5 m ispod razine tla), najbolje je drenažu sagrađiti istovremeno s natapnom mrežom jer se tako štede investicije.

Prosječan sadržaj soli u zoni korijena upućuje na ravnotežu između unošenja soli natapnom vodom i smanjenja koncentracije ispiranjem. Ako želimo izbjeći neprekidno povećanje koncentracije, onda ulaz mora biti u ravnoteži s izlazom. Ako uzmemo da je koncentracija soli proporcionalna električnoj vodljivosti, onda se taj odnos može izraziti ovako:

$$NEV_n = OEV_0 \quad ,$$

gdje N i O označuju količinu natapne, odnosno odvodne vode, a  $EV_n$  i  $EV_0$  njihove odgovarajuće električne vodljivosti. S tim u vezi odvodnja je zapravo predstavljena količinom vode koja prolazi ispod donje granice zone korijena.

Salinitet se tla obično iskazuje uz pomoć električne vodljivosti saturiranog rastvora,  $EV_e$ . Podnošljivost na salinitet i smanjenje prinosa obično su proporcionalni s  $EV_e$ . Kako je sadržaj vode rastvora oko dva puta veći od sadržaja vode tla kod poljskoga vodnog kapaciteta, njegova je električna vodljivost oko dva puta manja od vodljivosti vode drenirane iz tla, tj.

$$EV_e = 0,5 EV_0$$

Uvođenjem faktora ispiranja PI, kao odnosa između drenirane i natapne količine vode, može se pisati za prosječnu razinu vode zone korijena:

$$EV_{n+p} = \frac{N}{N+P} EV_n$$

Taj izraz daje mogućnost procjene prosječnog saliniteta zone korijena iz koncentracije soli natapne vode i postotka dugoročne količine neto poniranja koji se može očekivati ovisno o teksturi tla i drugim faktorima. Poslije toga može se birati odgovarajući usjev ovisno o otpornosti na salinitet i dozvoljeno smanjenje prinosa.

U klimatskim zonama gdje se ispiranje provodi kombiniranim djelovanjem natapne vode i oborina, umjesto  $EV_n$  u ranijem izrazu, može se uzeti združeni prosjek koncentracije soli natapne i oborinske vode  $EV_{n+p}$  kao mjerilo kvalitete upotrijebljene vode. Ako se zanemari koncentracija soli u oborinskoj vodi, združeni prosjek iznosi:

$$EV_e = EV_n \frac{I}{2PI}$$

Kod voda niskog saliniteta ( $EV_n = 0,25 - 0,5$  dS/cm) dovoljan je odnos ispiranja od 0,05 do 0,1 da se održi salinitet na razini 2,5 dS/cm, što zadovoljava bilje osjetljivo na salinitet. Za vode srednjeg saliniteta ( $EV_n = 0,5 - 1,0$  dS/cm), potrebno je primijeniti odnos ispiranja od 0,1 do 0,2 da bi se održala jednaka razina te, naposljetku, kod voda visokog saliniteta treba uzeti odnos ispiranja od 0,2 do 0,4 da bi se mogle uzgajati biljke otporne na salinitet.

Praktično, tekstura tla i učinkovitost odvodnje osnovni su faktori ograničenja primjene ispiranja. Visoki postotak ispiranja, 0,40 i više, moguć je samo kod krupnozrnatih tala velike propusnosti kakva su pijesak i pjeskovita ilovača, uz odlične



prirodne uvjete odvodnje. Kod teških glinenih tala, perkolacija obično ne može prijeći vrijednost od 0,1, ni u uvjetima izgradnje dobre odvodne mreže. Ako se u takvim slučajevima povećava količina vode za ispiranje, postoji opasnost od zasićenja i stagnacije u donjem dijelu zone korijena pa je povoljnije rješenje primjena otpornijih usjeva.

Na natapnim površinama poluaridnog i aridnog podneblja, odvodni se sustav mora projektirati tako da je u stanju odvesti svu vodu koja ponire na polju te gubitke natapnih kanala. Kod velikih natapnih sustava s dovodnim kanalima znatnog protoka, procjeđivanje iz kanala može bitno pogoršati hidrološke prilike u podzemlju izazivajući neprekidno povišenje razine podzemne vode, što u dugovječnoj eksploataciji može dovesti do potpunog zabarivanja područja sa zaslanjenim vodama. Dakako, najsigurnija je zaštita protiv te pojave oblaganje kanala ili pak izgradnja intercepcijskih drenova uzduž trase kanala s namjenom da prikupe sve procjedne vode i odvedu ih u neki recipijent. Uz pretpostavku da je eliminirano procjeđivanje iz natapnih kanala te da se količina oborinskih voda za odvodnju može zancmariti, uobičajena količina drenažnih voda za najveći broj istraženih lokacija iznosi između 1,5 i 3,0 mm/dan. Za propusna i intenzivno obrađivana tla, ta će se količina približiti gornjoj vrijednosti, a kod težih glinovitih tala, to će ponkad iznositi i manje od 1,5 mm/dan. Kod jako propusnog tla sa slabom tehnikom natapanja, ta vrijednost može iznositi i znatno više od 3 mm/dan.

U sezoni natapanja zahtijevana razina podzemne vode ovisi o vodno-zračnom režimu uzgajanog bilja. U vanvegetacijskom razdoblju više razine podzemne vode mogu povećati salinizaciju soluma. Obično se traži da se za vrijeme vegetacije ta razina održi na 1,0 do 1,2 m ispod razine terena za povrće i poljske usjeve te na 1,2 m do 1,6 m za voćarske stablašice.

Za vrijeme sezone natapanja uglavnom nema "straha" od povećanja saliniteta zbog vertikalne - gravitacijske perkolacije vode. Naprotiv, u zimskom razdoblju intenzivno kapilarno dizanje vode može bitno povišati koncentraciju soli u zoni korijena. Da bi se spriječila opasnost od zaslanjivanja u izvanvegetacijskom razdoblju, preporučuje se da se razina podzemne vode drži najmanje na dubini od 1,4 m za pjeskovita i glinovita tla te oko 1,7 m za praškasta. Te mjere nisu još uvijek sigurna zaštita protiv zaslanjenja zimi jer, kako je poznato, kapilarno dizanje može iznositi i 3 - 4 m pa i više, pa će se sigurna zaštita postići samo vertikalnom perkolacijom koja prekida kapilare i onemogućuje uzdizanje zaslanjenih voda.

U humidnim se predjelima gradi podzemna cijevna drenaža, pretežno radi odvoda viška oborinskih voda. Slično je i kod aridnih krajeva kao obavezna mjera uz natapne projekte radi sprečavanja zaslanjenja. Razlika je jedino u tome što su drenažne cijevi u aridnim predjelima obično položene dublje negoli u humidnima, pa im dubina varira od 1,2 do 2,4 m, što povećava troškove gradnje. Izvedba drenaže u pjeskovitim tlima s visokom razinom podzemne vode bila je ranije znatno otežana jer je gradnja uvjetovala prethodno sniženje razine vode bunarima, dok je danas s pomoću drenopolagača (trenchless) to bitno olakšano.

Ako je transmisivitet vodonosnog horizonta visok, barem iznad 100 m<sup>3</sup>/dan, može se primijeniti vertikalna drenaža. Izgradili bi se plitki bunari kapaciteta 5 - 10 l/s.

Ako je pak transmisivitet znatno veći, mogu se izgraditi duboki bunari, kapaciteta 30 - 60 l/s, što bitno poboljšava stanje i omogućuje da se sačuva površinski sloj vode koji je obično nižeg saliniteta. Duboki bunari tog tipa primijenjuju se na velikim površinama u zapadnim državama u SAD-u, u Punjabu (Indija) i Pakistanu.

Dispozicija drenažnih voda u velikim natapnim projektima postaje sve veći problem. Kao primjer spominju se područja Ria Grande, doline Colorada i San Joaquina u SAD-u, Eufrata i Tigrisa u Iraku te dolina Inda u Indiji i Pakistanu. Zbog toga treba nastojati da se količina tih voda svede na minimum.

### 2.3.3.2. Korištenje podzemnih voda

U mnogim dijelovima aridnih i semiaridnih područja, podzemna je voda jedini pouzdan izvor za razvoj biljne i stočarske proizvodnje. U proizvodnji pak hrane, i za ljude i za stoku, kudikamo najveća količina vode troši se na biljnu proizvodnju. Od te količine najveći dio potječe iz oborina te iz površinskih vodnih tokova za natapanje. Podzemna voda ima veliko značenje u aridnim područjima i općenito kao dopunska količina u drugim krajevima.

Iako se ovdje razmatra kvaliteta podzemne vode, treba odmah istaknuti da je ona u uskoj vezi s kvantiteom. Naime, pri intenzivnoj eksploataciji podzemnih voda, često se zbivaju intenzivne promjene kvalitete (pogoršanje). To se često zbiva u obalnom pojasu zbog prodora mora te u kontinentalnim predjelima zbog izdizanja donjih, zaslanjenih voda.

Kvaliteta podzemne vode varira u širokim granicama, od jako dobre do znatno gore od morske. Općenito uzevši, ona ima veći sadržaj otopljenih soli, ali je najčešće bakteriološki kvalitetnija od površinske. Veoma jednostavna klasifikacija podzemne vode, koju su predložili Freeze i Cherry 1979., prikazana je u tablici 2-8.

#### *Klasifikacija podzemne vode na osnovi koncentracije otopljenih soli*

*Tablica 2-8*

Klasa	Ukupno otopljenih soli (mg/l)
slatka voda	0 - 1000
bočata voda	1000 - 10000
slana voda	10000 - 100000
hiperslana	više od 100000

Općenito uzevši, voda s 2000 - 3000 mg/l otopljenih soli suviše je slana za piće, a koncentracija od oko 35000 mg/l već je morska voda. Najčešći kemijski spojevi koji su u podzemnoj vodi jesu: Ca, Mg, Cl, Si, Na i sulfati - koji zajedno čine više od 90 % otopljenih soli. Najčešće je kvaliteta vode bolja iz manjih dubina jer se stalno obnavlja. Sve što se više infiltrira u veću dubinu, gibanje je sve slabije, a sadržaj soli sve veći. S druge pak strane, plitke podzemne vode koje se obnavljaju dotokom s obrađenih poljoprivrednih površina, mogu znatno povećati zagadenje jer s površine

ispiru umjetna gnojiva i pesticide, odnosno druge kemikalije. Odnos je kvalitete podzemnih voda i povećanja proizvodnje hrane jako složen jer svako od njih nepovoljno utječe na drugo.

Za ocjenu kvalitete podzemnih voda za natapanje, orijentacijske vrijednosti sadržaja soli preporučili su Ayers i Westcot (1985.), i to kako slijedi: kod ukupnog sadržaja soli do 450 mg/l nema nikakvih ograničenja. Za vrijednosti između 450 i 2000 mg/l ograničenja su mala do umjerena, a za sadržaj iznad 2000 mg/l ograničenja su stroga.

Kao i kod primjene površinskih voda, jedna je od bitnih pretpostavki adekvatnog korištenja podzemnih voda pravilno gospodarenje vodom i tlom. Pritom su važni faktori izbor usjeva i mogućnost ispiranja soli iz tla. Pravilno gospodarenje vodom mora uzimati u obzir i mogućnost da se kvaliteta podzemne vode mijenja s potrošnjom odnosno s vremenom. Pritom se može uspostaviti režim crpljenja vode iz bunara tako da se upotrijebi kvalitetniji dio podzemnih rezerva. Pri svemu tome bitno je uspostaviti adekvatnu organizaciju u upravljanju, a najviše stalnu i prikladnu kontrolu kako ne bi bilo nepoželjnih iznenađenja.

### 2.3.3.3. Kontrola saliniteta ispiranjem

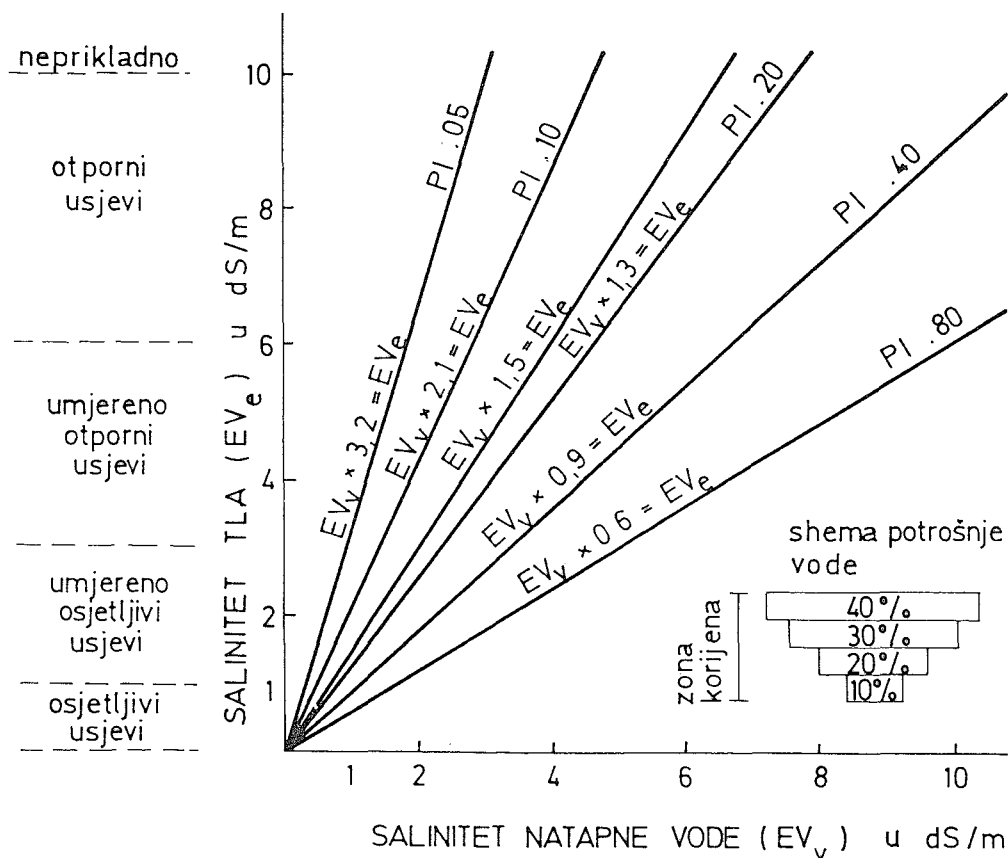
Smanjenje slanosti tla ispiranjem postiže se primjenom veće količine vode za natapanje nego što je potrebno za podmirenje ET. Taj višak vode, s koncentracijom soli jednakom tlu donjeg ruba zone korijena, ponire ispod zone korijena odnoseći sa sobom otopljene soli. Tu vodu treba, dakako, odvesti iz natapnog područja jer bi u suprotnom povećavala salinitet i razinu podzemne vode. To se najčešće čini dubokom drenažom te prikladnom odvodnom mrežom. Osnovna pitanja koja se pritom postavljaju i koja treba riješiti odnose se na proračun potrebne količine vode za ispiranje i definiranje vremena kada to treba provesti.

#### a) Potreba za ispiranjem

Da bi se mogla proračunati potrebna količina vode za ispiranje, mora se prethodno odrediti salinitet natapne vode ( $EV_v$ ) i otpornost usjeva na slanost tla ( $EV_e$ ). Salinitet vode određuje se laboratorijski, a otpornost usjeva uzima se iz tablice koja se u nastavku prilaže (vidi tablicu 2-9A i 2-9B). Vrijednosti otpornosti usjeva na salinitet pretpostavljaju da primjena tog saliniteta može prouzročiti smanjenje prinosa od najviše 10 %.

Potreba za ispiranjem može se odrediti na dva načina: za orijentacijske vrijednosti iz dijagrama na sl. 2-5, a za točnije proračune po ovom izrazu (Rhoades Merrill, 1976.):

$$PI = \frac{EV_v}{5(EV_e - EV_v)}$$



$PI$  - minimalna potreba za ispiranjem nužna za održavanje sadržaja soli u tlu ( $EV_e$ ) u sklopu dopuštenih granica usjeva uz primjenu uobičajenih načina površinskog natapanja (jednako je odnosu ispiranja)

$EV_v$  - salinitet natapne vode u  $dS/m$

$EV_e$  - prosječni salinitet što ga podnosi usjev mjeren na ekstraktu saturiranog tla.

**Sl. 2-5** Učinak natapne vode saliniteta  $EV_v$  na salinitet tla u zoni korijena za različite odnose ispiranja ( $PI$ )

Ukupna godišnja potreba za vodom ( $GP$ ), i za potrebe  $ET$  i za ispiranje, može se odrediti iz ovog izraza (dugoročno):

$$GP = \frac{ET}{1 - PI}$$

gdje je:

$GP$  - potreba za vodom u  $mm/god.$

ET - godišnje potrebe za ET u mm/god.

PI - potreba za ispiranjem izražena kao odnos ispiranja

### Primjer

Polje kukuruza natapa se brazdama riječnom vodom saliniteta  $EV = 1,3$  dS/m. Sezonske potrebe za ET određene su 800 mm, uz učinkovitost od 0,65. Koliko vode treba dodati za ispiranje?

Zadano:

$$EV_v = 1,3 \text{ dS/m}$$

$$EV_e = 2,5 \text{ dS/m (iz tablice 2-9 za 90 \% prinosa)}$$

$$EV_e = 1,7 \text{ dS/m (iz tablice 2-9 za 100 \% prinosa)}$$

$$V = 800/0,65 = 1230 \text{ (potreba za vodom - bruto)}$$

### Proračun

$$PI = \frac{EV_v}{5(EV_e) - EV_v} = \frac{1,3}{5(2,5) - 1,3} = 0,11 \text{ (za 90\% prinosa)}$$

$$PI = \frac{1,3}{5(1,7) - 1,3} = 0,18 \text{ (za 100\% prinosa)}$$

$$GP = \frac{ET}{1 - PI} = \frac{800}{1 - 0,11} = 899 \quad 900 \text{ mm / sezona}$$

Budući da se za kukuruz troši 1230 mm da bi se zadovoljile potrebe ET od 800 mm, postavlja se pitanje koji se dio tih gubitaka odnosi na duboko poniranje. Ako je to sva ili veći dio vode, onda nije potrebno dodavati nikakve količine vode jer to poniranje osigurava dovoljan učinak ispiranja. Za taj slučaj - ako se pretpostavi da se svi gubici odnose samo na duboko poniranje (što je malokad slučaj), potreba za ispiranjem bila bi zadovoljena sve do odnosa ispiranja od 0,35.

### b) Provedba ispiranja

Pri upotrebi voda manjeg saliniteta trebat će jedna ili više sezona dok se soli u tlu akumuliraju u opasnoj koncentraciji. Ispiranje se ne preporučuje sve dok koncentracija ne počne negativno utjecati na prinose. Pri nižem stupnju zaslanjivanja učinak ispiranja može dugotrajno uspješno provoditi višak natapne vode zbog slabije djelotvornosti natapanja. Pri značajnijim oborinama u izvanvegetacijskom razdoblju, akumulirane se soli mogu uspješno ukloniti ispiranjem kišnicom koja redovno ima vrlo nizak salinitet ( $EV 0,05$  dS/m). Ako nijedan od tih načina, ili njihovo združeno djelovanje nisu dovoljni, onda treba povećati količine natapne vode. To se može činiti bilo za vrijeme svakog natapanja bilo naizmjenice, jednom u sezoni ili čak rjede.

Budući da je za vrijeme intenzivne vegetacije (topli dio godine) ponkad teško zadovoljiti sve potrebe, dobro je ispiranje provoditi prije sjetve ili/i nakon žetve.

Na temelju mnogobrojnih pokusa i istraživanja koji se zadnjih godina vrlo intenzivno provode na većem broju lokaliteta širom svijeta, mogu se izvući ove preporuke:

- Ako je ikako moguće, ispiranje valja provoditi u hladnom dijelu godine
- Pri planiranju plodoreda treba birati otpornije usjeve koji zahtijevaju manje ispiranja
- Treba dobro obrađivati tlo kako bi se efekt ispiranja povećao
- Pri natapanju kišenjem valja birati manje intenzitete, svakako manje od brzine upijanja tla
- Pri ispiranju potapanjem treba primijeniti naizmjenice punjenje i pražnjenje jer djelotvornije uklanja soli.

#### *2.3.3.4. Otpornost bilja na salinitet*

Sve poljoprivredne kulture ne reaguju na salinitet na jednak način: neke mogu dati zadovoljavajuće prinose pri znatno višem salinitetu neko druge. Razlog je u mogućnosti bolje prilagodbe potrebnoga osmotskog tlaka za crpljenje potrebne količine vode iz zaslanjenog tla. To je veoma važno pri obradi zaslanjenih tala i pri primjeni zaslanjene vode za natapanje kada nije moguće primijeniti ispiranje. Tada izbor otpornih kultura može biti jedino rješenje.

Raspon podnošljivosti soli između najosjetljivijih i najotpornijih kultura iznosi 8 do 10 puta. To omogućuje primjenu relativno zaslanjenih voda, za koje se ranije mislilo da su neupotrebljive. Time se i raspon upotrebljivih voda znatno proširio.

U priloženoj tablici 2-9 dani su najnoviji podaci (Maas, 1984.) otpornosti velikog broja usjeva na salinitet. Podaci su kvantificirani tako da mogu poslužiti za proračun vrijednosti ispiranja, što je već ranije prikazano. Vrijednosti su dobivene za usjeve uzgajane uz natapanje u semiaridnom klimatu. Za usporedbu, dane su i relativne vrijednosti otpornosti za velik broj kultura, uključivo i one iz tablice 2-9, a prikazane su u tablici 2-10. Opći prikaz otpornosti bilja po grupama dan je i u priloženom dijagramu 2-6.

Ako će za izabrane kulture uz danu kvalitetu natapne vode biti nužno primijeniti potrebu ispiranja od 0,30 ili veću, trebat će detaljnije analizirati problem. Ako se radi o dobro dreniranom i jako propusnom tlu (pjeskovitom), poteškoća neće biti. Međutim, kod teških će tala ispiranje biti teže provedivo. U tom slučaju bit će najbolje, ako je ikako moguće, promijeniti plodored izborom otpornijih kultura. Budući da u svemu tome bitan utjecaj imaju lokalni faktori (tlo i klima), za veće zahvate bit će nužno podatke provjeriti na pokusnim poljima.

*Otpornost usjeva i potencijalni prinosi pri upotrebi zaslanjene natapne vode (EV<sub>e</sub>) ili tla (EV<sub>v</sub>) prema Maasu i Hoffmanu (1977.) i Maasu (1984.)*

Tablica 2-9A

Ratarski usjevi	Potencijalni prinosi <sup>1</sup>									
	100 %		90 %		75 %		50 %		0 % <sup>2</sup>	
	EV <sub>e</sub>	EV <sub>v</sub>	EV <sub>e</sub>	EV <sub>v</sub>	EV <sub>e</sub>	EV <sub>v</sub>	EV <sub>e</sub>	EV <sub>v</sub>	EV <sub>e</sub>	EV <sub>v</sub>
Ječam	8.0	5.3	10	6.7	13	8.7	18	12	28	19
Pamuk	7.7	5.1	9.6	6.4	13	8.4	17	12	27	18
Šećerna repa	7.0	5.1	8.7	5.8	11	7.5	15	10	24	16
Sirak	6.8	4.5	7.4	5.0	8.4	5.6	9.9	6.7	13	8.7
Pšenica	6.0	4.0	7.4	4.9	9.5	6.3	13	8.7	20	13
Pšenica tvrda	5.7	3.8	7.6	5.0	10	6.9	15	10	24	16
Soja	5.0	3.3	5.5	3.7	6.3	4.2	7.5	5.0	10	6.7
Kikiriki	3.2	2.1	3.5	2.4	4.1	2.4	4.9	3.3	6.6	4.4
Riža	3.0	2.0	3.8	2.6	5.1	3.4	7.2	4.8	11	7.6
Šećerna trska	1.7	1.1	3.4	2.3	5.9	4.0	10	6.8	19	12
Kukuruz	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
Lan	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
Bob	1.5	1.1	2.6	1.8	4.2	2.0	6.8	4.5	12	8
Grah	1.0	0.7	1.5	1.0	2.3	1.5	3.6	2.4	6.3	4.2
<b>Povrtlarski usjevi</b>										
Tikvice	4.7	3.1	5.8	3.8	7.4	4.9	10	6.7	15	10
Blitva, cikla	4.0	2.7	5.1	3.4	6.8	4.5	9.6	6.4	15	10
Brokoli	2.8	1.9	3.9	2.6	5.5	3.7	8.2	5.5	14	9.1
Rajčica	2.5	1.7	3.5	2.3	5.0	3.4	7.6	5.0	13	8.4
Krastavci	2.5	1.7	3.3	2.2	4.4	2.9	6.3	4.2	10	6.8
Špinat	2.0	1.3	3.3	2.2	5.3	3.5	8.6	5.7	15	10
Celer	1.8	1.2	3.4	2.3	5.8	3.9	9.9	6.6	18	12
Kupus	1.8	1.2	2.8	1.9	4.4	2.9	7.0	4.6	12	8.1
Krumpir	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
Krumpir slatki	1.5	1.0	2.4	1.6	3.8	2.5	6.0	4.0	11	7.0
Paprika	1.5	1.0	2.2	1.5	3.3	2.2	5.1	3.4	8.6	5.8
Salata	1.3	0.9	2.1	1.4	3.2	2.1	5.1	3.4	9.0	6.0
Rotkvice	1.2	0.8	2.0	1.3	3.1	2.1	5.0	3.4	8.9	5.9
Luk	1.2	0.8	1.8	1.2	2.8	1.8	4.3	2.9	7.4	5.0
Mrkva	1.0	0.7	1.7	1.1	2.8	1.9	4.6	3.0	8.1	5.4
Grah	1.0	0.7	1.5	1.0	2.3	1.5	3.6	2.4	6.3	4.2
Repa bijela	0.9	0.6	2.0	1.3	3.7	2.5	6.5	4.3	12	8.0

**Otpornost usjeva i potencijalni prinosi pri upotrebi zaslanjene natapne vode ( $EV_v$ ) ili tla ( $EV_e$ ) prema Maasu i Hoffmanu (1977.) i Maasu (1984.)**

Tablica 2-9B

Krmno bilje	Potencijalni prinosi <sup>1</sup>									
	100 %		90 %		75 %		50 %		0 % <sup>2</sup>	
	$EV_e$	$EV_v$	$EV_e$	$EV_v$	$EV_e$	$EV_v$	$EV_e$	$EV_v$	$EV_e$	$EV_v$
Pirika obična	7,5	5,0	9,9	6,6	13	9,0	19	13	31	21
Zubača obična	6,9	4,6	8,5	5,6	11	7,2	15	9,8	23	15
Ječam (krma)	6,0	4,0	7,4	4,9	9,5	6,4	13	8,7	20	13
Ljulj engleski	5,6	3,7	6,9	4,6	8,9	5,9	12	8,1	19	13
Smiljkita rošk.	5,0	3,3	6,0	4,0	7,5	5,0	10	6,7	15	10
Blještac	4,6	3,1	5,9	3,9	7,9	5,3	11	7,4	18	12
Vlasulja	3,9	2,6	5,5	3,6	7,8	5,2	12	7,8	20	13
Pirika sibirski	3,5	2,3	6,0	4,0	9,8	6,5	16	11	28	19
Grahorica običn.	3,0	2,0	3,9	2,6	5,3	3,5	7,6	5,0	12	8,1
Sirak sudanski	2,8	1,9	5,1	3,4	8,6	5,7	14	9,6	26	17
Raž divlja	2,7	1,8	4,4	2,9	6,9	4,6	11	7,4	19	13
Smiljkita močv.	2,3	1,5	2,8	1,9	3,6	2,4	4,9	3,3	7,6	5,0
Lucerna	2,0	1,3	3,4	2,2	5,4	3,6	8,8	5,9	16	10
Rosulja	2,0	1,3	3,2	2,1	5,0	3,0	8,0	5,3	14	9,3
Kukuruz (silaž.)	1,8	1,2	3,2	2,1	5,2	3,5	8,6	5,7	15	10
Djetelina aleks.	1,5	1,0	3,2	2,2	5,9	3,9	10	6,8	19	13
Oštrica klupčas.	1,5	1,0	3,1	2,1	5,5	3,7	9,6	6,4	18	12
Lisičji repak	1,5	1,0	2,5	1,7	4,1	2,7	6,7	4,5	12	7,9
Djetelina crvena	1,5	1,0	2,3	1,6	3,6	2,4	5,7	3,8	9,8	6,6
Djetelina šved.	1,5	1,0	2,3	1,6	3,6	2,4	5,7	3,8	9,8	6,6
Djetelina bijela	1,5	1,0	2,3	1,6	3,6	2,4	5,7	3,8	9,8	6,6
Djetelina livad.	1,5	1,0	2,3	1,6	3,6	2,4	5,7	3,8	9,8	6,6
<b>Voćarske kulture</b>										
Palma (datulje)	4,0	2,7	6,8	4,5	11	7,3	18	12	32	21
Grejpfrut	1,8	1,2	2,4	1,6	3,4	2,2	4,9	3,3	1,8	5,4
Naranča	1,7	1,1	2,3	1,6	3,3	2,2	4,8	3,2	8,0	5,3
Breskva	1,7	1,1	2,2	1,5	2,9	1,9	4,1	2,7	6,5	4,3
Marelica	1,6	1,1	2,0	1,3	2,6	1,8	3,7	2,5	5,8	3,8
Vinova loza	1,5	1,0	2,5	1,7	4,1	2,7	6,7	4,5	12	7,9
Badem	1,5	1,0	2,0	1,4	2,8	1,9	4,1	2,8	6,8	4,5
Šljiva bistrica	1,5	1,0	2,1	1,4	2,9	1,9	4,3	2,9	7,1	4,7
Kupina	1,5	1,0	2,0	1,3	2,6	1,8	3,8	2,5	6,0	4,0
Jagoda	1,0	0,7	1,3	0,9	1,8	1,2	2,5	1,7	4,0	2,7

<sup>1</sup>  $EV_e$  označuje prosječan salinitet zone korijena mjereno kao električna vodljivost saturiranog ekstrakta tla izraženog u decisimensima po metru (dS/m), pri 25°C.

$EV_v$  označuje električnu vodljivost natapne vode, također u decisimensima po metru (dS/m). Odnos između saliniteta tla i saliniteta vode ( $EV_e = 1,5 EV_v$ ) pretpostavlja odnos ispiranja od 15 do 20 % i shemu utroška vode po dubini 40-30-20-10 % računajući odozgo prema dolje (od gornje četvrtine prema donjoj).

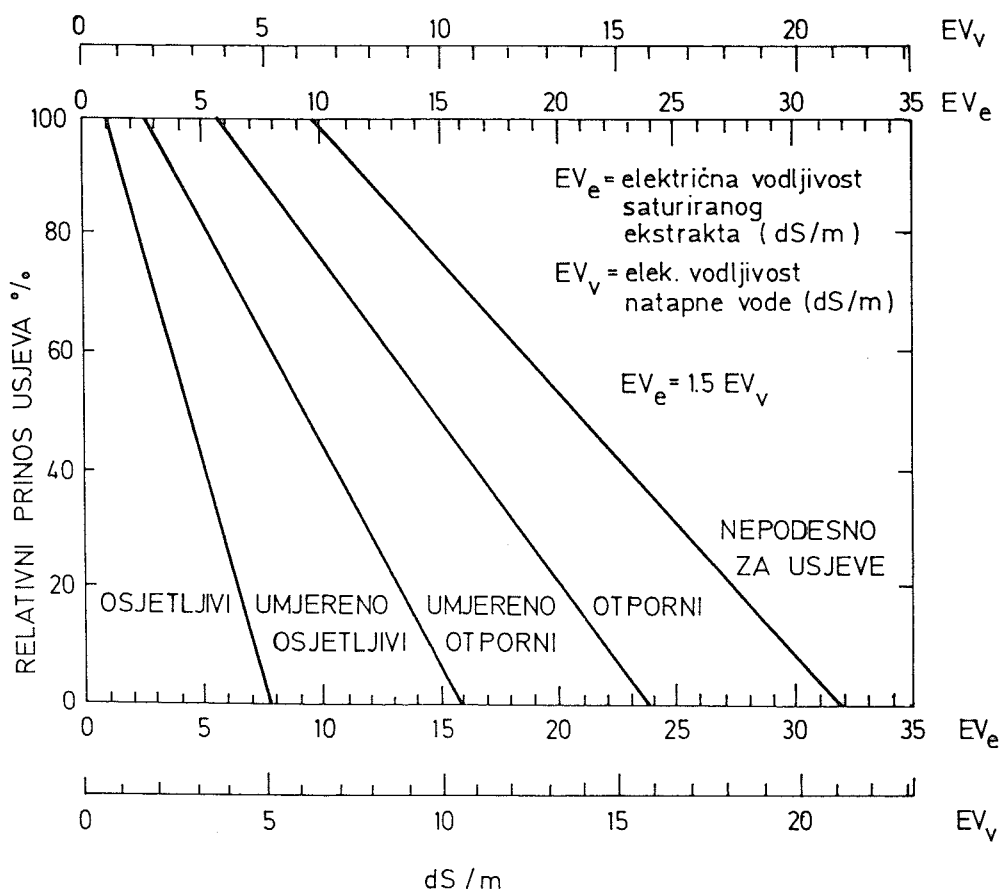
<sup>2</sup> Potencijalni prinos nula ili maksimum  $EV_e$  označuje teoretski salinitet tla ( $EV_e$ ) pri kojem biljka ugiba.



## Relativna otpornost poljoprivrednih kultura na salinitet

Tablica 2-10

<b>1. Otporne</b>	kukuruz slatki	<b>Trave i krmno bilje</b>
<b>Žitarice i industrijsko bilje</b>	krastavci	lucerna
ječam	patlidžan	djetelina hibridna
pamuk	kelj	djetelina aleksandrijska
jojoba	koraba	djetelina bijela
šećerna repa	salata	djetelina crvena
<b>Trave i krmno bilje</b>	paprika	djetelina livadna
zubača obična	krumpir	kukuruz (silažni)
pirika	rotkvice	lisičji repak
divlja raž altajska	špinat	zob (silažna)
divlja raž ruska	krumpir slatki	oštrica klupčasta
<b>Povrtno bilje</b>	rajčica	raž (silažni)
šparoga	repa	mačji repak
<b>Voćarsko bilje</b>	dinja	grahorica uskolisna
palma (datulje)	<b>Voćarsko bilje</b>	
	vinova loza	
<b>2. Umjereno otporne</b>	<b>3. Umjereno tolerantne</b>	<b>5. Osjetljive</b>
<b>Žitarice i industrijsko bilje</b>	<b>Trave i krmno bilje</b>	<b>Žitarice i industrijsko bilje</b>
zob	pirika američka	grah
raž	divlja raž kanadska	sezam
sirak	<b>Povrtno bilje</b>	<b>Povrtno bilje</b>
soja	artičoka	grah
pšenična raž	cikla	mrkva
pšenica	tikve	luk
<b>Trave i krmno bilje</b>	<b>Voćarsko bilje</b>	pasternak
ječam (silažni)	smokva	<b>Voćarsko bilje</b>
škajola	maslina	badem
smiljkita bijela	papaja	jabuka
vlasulja	ananas	kajsija
proso	šipak	avokado
repa		kupina
ljulj talijanski	<b>4. Umjereno osjetljive</b>	trešnja
sirak sudanski	<b>Žitarice i industrijsko bilje</b>	višnja
smiljkita roškasta	bob	ribiz
pšenica (silažna)	ricinus	grejpfrut
pirika sibirski	kukuruz	limun
<b>Povrtno bilje</b>	lan	mušmula japanska
brokoli	kikiriki	mango
kelj pupčasti	riža	naranča
kupus	šećerna trska	breskva
cvjetača	suncokret	kruška
celer		kaki virginijana
		šljiva
		jagoda



Sl. 2-6 Grafička predodžba podjele poljoprivrednih kultura u skupine otpornosti na salinitet te utjecaj na prinose

#### a) Proračun utjecaja saliniteta

Na temelju mnogobrojnih pokusa u poljskim uvjetima Maas i Hoffman (1977.) i Maas (1984.) izradili su tablicu 2-9 s kvantitativnim vrijednostima utjecaja veličine saliniteta na prinose. Analiza pokazuje da je smanjenje rasta bilja linearno proporcionalno s porastom saliniteta, odnosno da se može izraziti odnosom:

$$Y = 100 - b(EV_e - a) \quad ,$$

gdje je:

Y - relativan prinos kulture (u postocima)

$EV_e$  - salinitet saturiranog ekstrakta tla u dS/m

- a - vrijednost graničnog saliniteta  
 b - gubitak prinosa za jedinicu povećanja saliniteta

Po toj su formuli izračunate vrijednosti u tablici 2-9. Parametar (a) - prag saliniteta tla - označuje vrijednost  $EV_e$  za potencijal prinosa od 100 %. Veličina parametra (b) može se odrediti iz tablice 2-9 po ovom izrazu:

$$b = \frac{100}{EV_e \text{ kod } 0\% \text{ prinosa} - EV_e \text{ kod } 100\% \text{ prinosa}}$$

Vrijednosti  $EV_e$  iz tablice 2-9 za prinose niže od 100 %, mogu se izračunati iz prethodne jednadžbe prinosa (Maas i Hoffman, 1977.) ako se ona izrazi za  $EV_e$ , odnosno:

$$EV_e = \frac{100 + ab - Y}{b}$$

### Primjer

Treba izračunati ovisnost porasta saliniteta na potencijalni pad prinosa za pamuk. Iz tablice 2-9 za prinos 100 % (prag saliniteta) imamo  $a = 7,7$  dS/m.

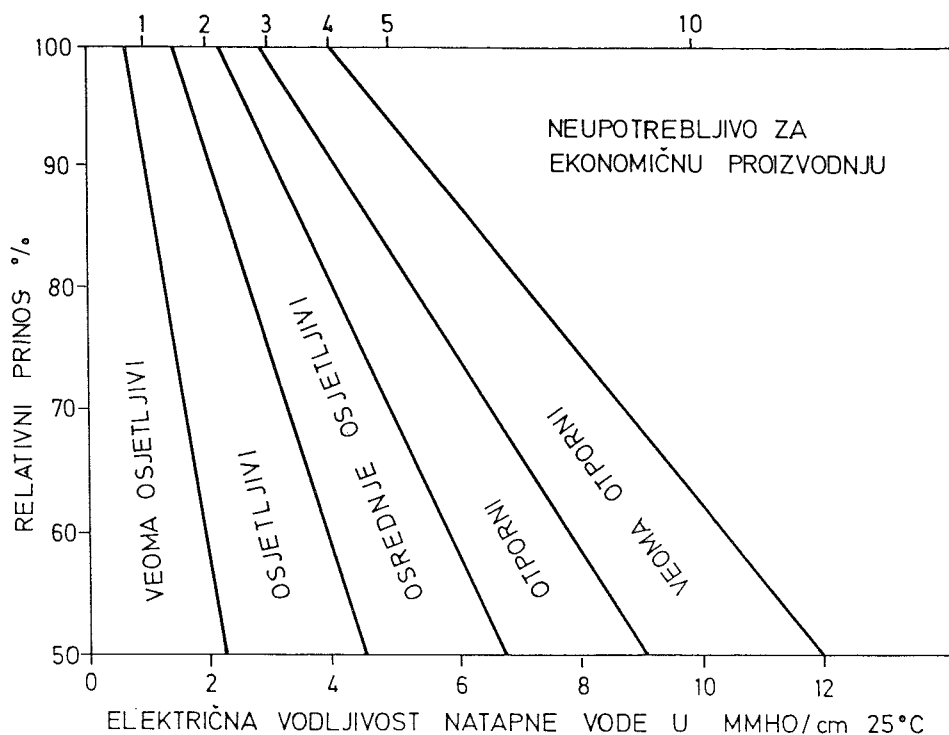
$$b = \frac{100}{EV_e \text{ kod } 0\% \text{ prinosa} - EV_e \text{ kod } 100\% \text{ prinosa}}$$

gdje je b - nagib pravca smanjenja prinosa;  $b = 5,2$  % - gubitak prinosa po jedinici porasta saliniteta tla. Dakle, imamo:

$$EV_e = \frac{100 + ab - Y}{b} = \frac{100 + 5,2 \cdot 7,7 - 100}{5,2} = 7,7 \text{ ds / m}$$

Za ostale podatke naznačene u tablici dobit ćemo ove vrijednosti:

Potencijalni prinos (%)	$EV_e$ (dS/m)
100	7,7
90	9,6
75	13
50	17
0	27



**Sl.2-7 Preporuke za primjenu bočatih voda pri uzgoju povrtlarskih usjeva**

*b) Faktori koji utječu na otpornost*

Na veličinu prinosa mogu, dakako, utjecati i drugi faktori osim saliniteta. Vrijednosti u tablici 2-9 dobivene su pod pretpostavkom da je salinitet jedini ili barem prevladavajući utjecajni faktor. Preporučena otpornost odnosi se na razdoblje od razvijenih sadnica (biljaka) do zrelosti. Utjecaj saliniteta na fazu klijanja i nicanja nije dovoljno istražen i zasada postoje tek nesigurni podaci za manji broj usjeva. Općenito se smatra da salinitet veći od 4 dS/m može usporiti klijanje sjemena i nicanje te rani rast usjeva.

Selekcioniranje novih sorta otpornih na salinitet u imalo značajnijoj mjeri poduzeto je tek prije nekoliko godina te se rezultati koji bi mogli biti upotrijebljeni u praksi, uskoro očekuju.

I klima može znatno utjecati na otpornost. Općenito uzevši, kulture koje se uzgajaju u hladnijem klimatskom pojasu ili u hladnijem dijelu godine otpornije su na salinitet. To je vjerojatno povezano s većim utroškom vode na ET u toplijoj okolini, a prisutnost soli to jače potencira, što se odražava na bilje kao stres. Čini se da je utjecaj klime više izražen kod osjetljivih biljnih sorta.

### 2.3.3.5. Utjecaj saliniteta na kakvoću uroda

Iako se u praksi već duže vremena primjećuje nepovoljan utjecaj povećanog saliniteta tla i vode na kvalitetu ploda uzgajanih kultura, rezultati su znanstvenih istraživanja još uvijek oskudni. Općenito uzevši, primijećeno je da salinitet utječe na veličinu ploda, promjenu boje i izgleda te na sastav proizvoda. U svijetu je do sada, u vezi s tim problemom, proveden manji broj znanstvenih istraživanja od kojih se neka u nastavku navode.

Shalhevet et al. (1969.) navodi slučaj smanjenja zrna kikirikija uzgajanoga na tlu saliniteta većeg od  $EV_e = 3$  dS/m. Međutim, povećanjem je saliniteta u izvjesnoj mjeri primijećeno povećanje sadržaja ulja u plodu. Tablica 2-11 daje o tome detaljnije podatke.

*Utjecaj saliniteta tla na težinu i sadržaj ulja u zrnu kikirikija  
(Shalhevet et al. 1969.)*

*Tablica 2-11*

$EV_e$ (dS/m)	Težina 1000 zrna (g)	Sadržaj ulja (% suhe tvari)
1,74	774	48,9
2,92	690	49,0
3,16	676	50,2
4,41	656	47,6
5,61	470	46,2

S druge pak strane (Shalhevet i Yaron, 1973.) dokazano je da za svako povećanje  $EV_e$  iznad 2 dS/m za 1,5 dS/m kod rajčice pojavljuje se smanjenje uroda za 10 %. Smanjenje uroda nastaje samo zbog smanjenja veličine i mase plodova, a ne i njihova broja. Međutim, primijećeno je znatno povećanje topive tvari s povećanjem saliniteta, što bi moglo biti od značaja prilikom vrednovanja korištenja za natapanje voda, povećanog saliniteta za ovaj usjev. U tablici 2-12 dani su o tome detaljniji podaci.

*Utjecaj saliniteta na plodove rajčice*

*Tablica 2-12*

$EV_e$ (dS/m)	Težina po plodu (g)	% topive tvari	% pokvarenih plodova
1,6	68,5	4,5	15,5
3,8	59,5	4,5	17,7
6,0	55,8	4,8	12,3
10,2	51,9	5,9	11,1

Prosječan pH koncentrata bio je 4,3 neovisno o tretmanu.

Meiri et al. (1981.) navode da je primjenom natapne vode s povišenim salinitetom primijećeno smanjenje veličine plodova kod dinje (*Cucumis melo*). Istovremeno je ubrzano sazrijevanje plodova.

Bielorai et al. (1978.) spominju slučaj smanjenja prinosa greipfruta s povećanjem koncentracije klorida, što je uslijedilo zbog smanjenja veličine i težine plodova.

Rhoades et al. (1989.) bilježe slučaj povećanja kvalitete uroda pšenice, lubenica i lucerne kod upotrebe zaslanjene drenažne vode za natapanje.

### *2.3.3.6. Utjecaj agrotehničkih operacija*

Ključni faktori o kojima ovise prinosi usjeva uzgajanih u uvjetima zaslanjenog tla i/ili natapne vode, kao što su odvodnja, ispiranje i otpornost bilja, obrađeni su u prethodnim poglavljima. Ima, dakako još niz faktora koji na to utječu pa ćemo neke od njih u nastavku ukratko prikazati.

#### *a) Ravnanje tla*

Kod neravne površine tla natapna voda raspodjeljuje se neravnomjerno, što utječe na veću koncentraciju soli na pojedinim mjestima. Na povišenim točkama pojavljuje se veća koncentracija soli zbog manjeg ispiranja, a u depresijama voda stagnira, stvara pokoricu i smanjuje infiltraciju vode u površinskom sloju.

Tu operaciju treba razlikovati od planiranja (uređenja) tla za pojedine vrste površinskog natapanja, gdje se najčešće parcelama daje određeni pad koji ostaje trajno. Ravnanje treba provesti kod promjene usjeva ili metode natapanja koji su diktirali stvaranje određenih morfoloških oblika na površini tla. Prema tome, ta se operacija obično provodi jednom godišnje.

#### *b) Vrijeme i učestalost natapanja*

Povećan sadržaj soli u tlu smanjuje mogućnost da korjenov sustav crpi vodu, što se kod još uvijek relativno velikog sadržaja vode u tlu na bilje odražava kao da je već dostignuta granica venjenja. Prema tome, jedan je način smanjenja negativnog utjecaja soli progušćivanje natapanja, odnosno skraćnje turnusa. Međutim, ni to se uvijek ne može provesti s uspjehom jer se tako kod nekih površinskih metoda (npr. brazde) povećava utrošak vode, smanjuje učinkovitost i opterećuje odvodnja.

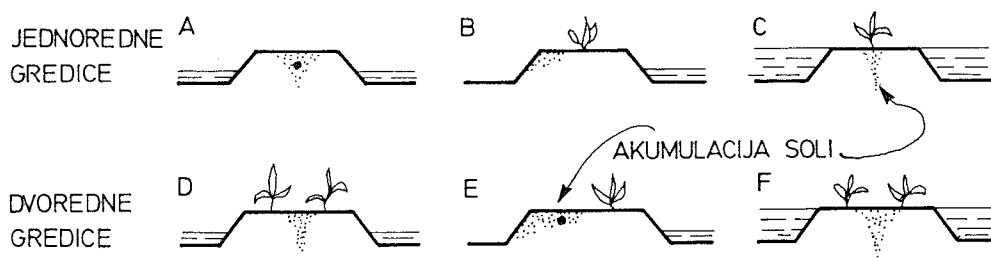
U nekim sredozemnim krajevima vrlo djelotvorno ispiranje soli u površinskom sloju postižu jesenske i zimske kiše. Ako to nije dovoljno, onda se preporučuju kasnojesenska i ranoproljetna natapanja, odnosno natapanja prije sjetve.

Ako se vodom s relativno visokim sadržajem klorida i natrija natapaju kišcnjem iznad krošnje neke osjetljive voćarske sorte, mogu se također izazvati neki problemi. Toksično djelovanje saliniteta manifestira se najčešće kao opaljenost ruba lišća, ali i oštećenja ploda. Može se pojaviti ako koncentracija Na i Cl prijedce vrijednost od 3 me/l. Djelovanje se može smanjiti natapanjem s većim intenzitetom, birajući dane s većom relativnom vlažnošću zraka i natapanjem noću.

## c) Položaj sjemena

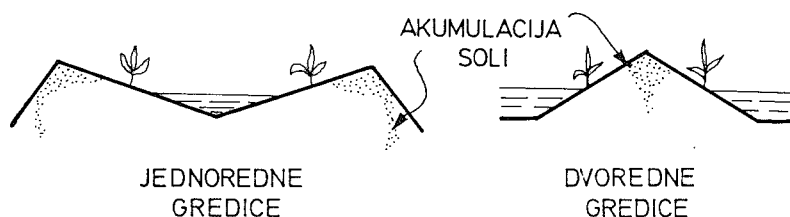
Već je ranije napomenuto da su, općenito uzevši, usjevi mnogo osjetljiviji na salinitet u fazi klijanja i nicanja. Da bi se minimizirao negativan utjecaj te pojave, vrlo se često primjenjuje povećanje količine sjemena, što najčešće nije dobro rješenje jer izaziva poteškoće druge vrste, a to je gustoća i neravnomjernost biljaka. Taj se problem učinkovitije rješava pravilnim izborom mjesta na gredici gdje će se sjeme posijati, položajem i oblikom gredice te načinom natapanja.

Na sl. 2-8 i 2-9 dano je nekoliko primjera vrste gredica i položaja sjemena na gredici uređenoj za natapanje brazdama, prema istraživanjima Bernsteina, Firemana i Reevea iz 1975. godine. Uočljivo je da je kod jednoredne sjetve koncentracija soli na površini tla to manja što je dubina vode u brazdi veća (sl. 2-8).



Sl. 2-8 Akumulacija soli kod ravnih gredica

Nadalje, pri natapanju svakom drugom brazdom, soli će se pretežno akumulirati na suprotnoj strani od omočene brazde. Ako se alternativno upotrebljavaju brazde za natapanje kod dvorednih gredica, onda se preporuča samo jedan red usjeva jer se na položaju drugoga sakuplja veća količina soli (sl. 2-8).



Sl. 2-9 Akumulacija soli kod kosih gredica

Dakako, oblika i dimenzija gredica pri natapanju brazdama može biti više. Na slici 2-9 prikazan je tip s kosim površinama i najpovoljniji položaj sjemena te mjesto najveće koncentracije soli. U nekim se krajevima oblik i veličina brazde mijenja tijekom vegetacijske sezone, i to u operacijama obrade. Tako se često kose površine

pretvaraju u ravne jer je bilje u razvijenim fazama otpornije na salinitet pa te mjere nisu više potrebne.

#### *d) Gnojidba tla*

Umjetno i stajsko gnojivo te razni kemijski dodaci tlu sadrže dosta topljivih soli u visokoj koncentraciji. Ako se primijene dosta blizu sjemenu ili mladoj biljci, mogu pogoršati problem saliniteta ili toksičnosti. Zato se dodavanje većih količina gnojiva zajedno sa sjemenom u zaslanjenom tlu ili natapnoj vodi ne preporučuje.

Dakle, treba se brinuti o mjestu gdje se gnojiva dodaju i o vremenu (fazi razvoja biljke) kada se dodaju. Uostalom, biljka pri klijanju i nicanju treba male količine hraniva. Kod rizičnih slučajeva treba upotrebljavati umjetna gnojiva s niskim indeksom saliniteta.

### *2.3.3.7. Izbor načina natapanja*

O primijenjenoj metodi ovisi učinkovitost natapanja te mjesto i količina akumulacije soli. Tako npr. kišenje i potapanje ravnomjerno raspoređuju vodu u tlu pa se soli akumuliraju u donjim dijelovima soluma. Dakako, akumulacija bitno ovisi o odnosu ispiranja.

Na slici 2-10 prikazane su sheme mjesta i intenziteta koncentracije soli za četiri načina natapanja koji se danas najviše upotrebljavaju: kišenje ili potapanje, prelijevanje, brazde i lokalizirano natapanje. Pri ravnomjernoj raspodjeli vode na čitavu površinu (prve dvije skice) i soli se ravnomjerno raspoređuju u opadajućoj koncentraciji odozgo prema dolje. Kod načina gdje se natapa samo dio površine akumulacija soli je obrnuto proporcionalna količini vode pa je najveća u dijelovima površina koje su najmanje ili uopće nisu vlažne. To se najbolje uočuje pri lokaliziranom natapanju, gdje se soli sakupljaju po rubovima tijela omočenog kapalicama ili drugim uređajima za raspodjelu vode.

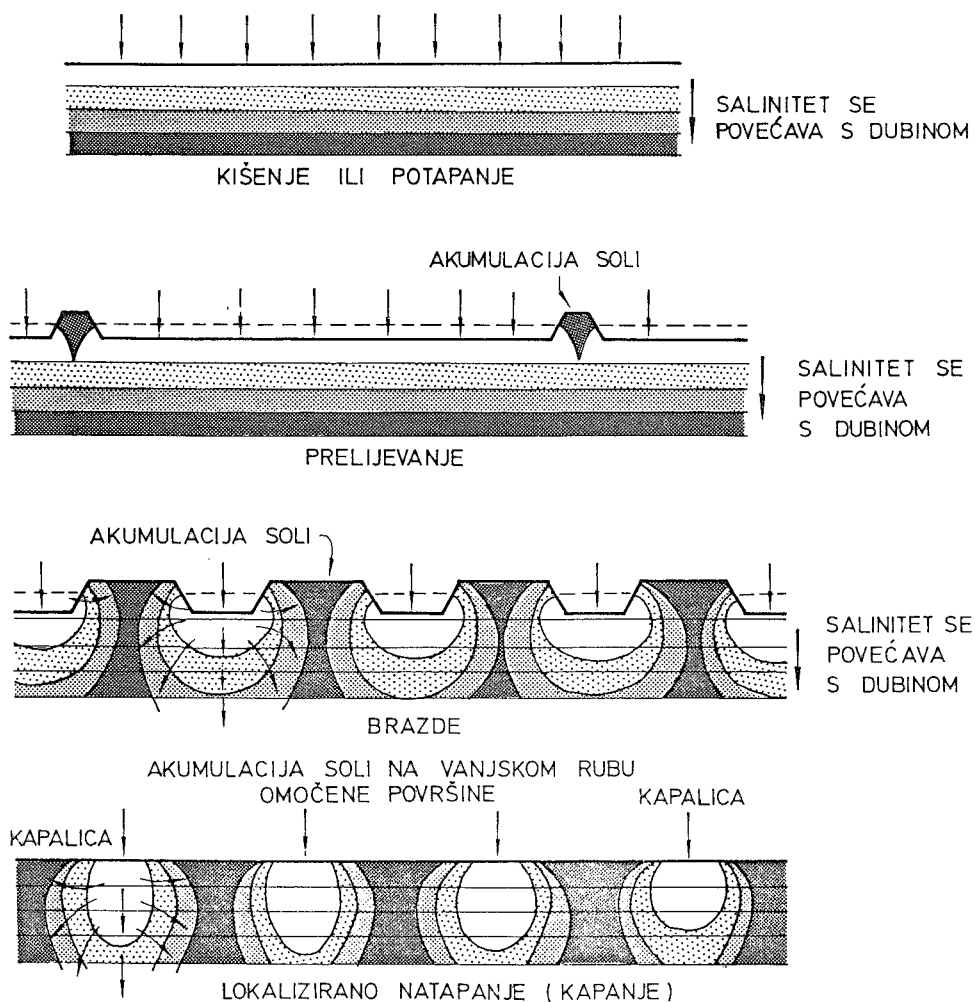
U analizi utjecaja načina natapanja na akumulaciju soli treba razmotriti sve pozitivne i negativne faktore svake metode i tek nakon toga donijeti odluku koja će se metoda primijeniti, odnosno zamijeniti. Tako npr. površinski načini (potapanje, prelijevanje i brazde) imaju sposobnost ravnomjernog ispiranja, odnosno koncentracije po dubini, ali istovremeno mogu nastupiti značajne razlike akumulacije soli po dužini parcele. Razlog je taj što sloj vode koji teče nije svugdje jednake visine, zatim trajanje toka nije isto na svim presjecima parcele i, naposljetku, raspodjela vode po dužini nije ravnomjerna. Kod tih metoda natapni modul, između ostaloga, ovisi i o dužini parcele pa je za malo duže jedinice ta vrijednost dosta visoka (80 do 100 mm za jedno natapanje) i nije fleksibilna. S tim u vezi učestalija natapanja, koja se za ispiranje soli često primjenjuju, ne mogu se ovdje preporučiti jer bi izazvala druge nepoželjne učinke (smanjenje djelotvornosti, pogoršanje odvodnje i dr.)

Uređaj za natapanje kišenjem, ako je dobro dimenzioniran i upravljan, daje ravnomjernu raspodjelu vode, čija se količina može po volji regulirati i može veoma uspješno poslužiti i za kontrolu saliniteta. Dakako, i kišenje ima svojih nedostataka, npr. neravnomjernost raspodjele zbog utjecaja vjetra, povećanje isparavanja na



visokim temperaturama, paljenje ruba listova zbog povećane sadržine Cl i Na i sl., ali se ti nedostaci mogu minimizirati pravilnim izborom uređaja i pogona.

Metode lokaliziranog natapanja obično doziraju vodu na osnovi dnevne bilance i mogu neprekidno održavati sadržaj vlage u tlu na razini poljskoga vodnog kapaciteta ili nešto više i time neprekidno održavati silazni tok vode. Nedostatak im je što soli akumuliraju u pojasevima između dvaju susjednih ispusta. To može biti opasno ako nakon žetve dođe drugi usjev pa sjeme dopre u pojaseve povišene slanosti. Zato se preporučuje da se te soli uklone ispiranjem zimskim oborinama ako je to izvodljivo ili pak ispiranjem kišenjem ili prelijevanjem nakon žetve, odnosno prije iduće sjetve.



**Sl. 2-10** Sheme akumulacije soli za: natapanje kišenjem ili potapanjem; natapanje prelijevanjem; natapanje brazdama; lokalizirano natapanje

### 2.3.3.8. Priprema i obrada tla

Jedan od bitnih preduvjeta za postizanje zadovoljavajućih rezultata kod zaslanjenog tla ili vode jest priprema tla. Pripreme tla za tu namjenu dijelimo u dvije skupine, i to: formiranje i uređenje parcele prije početka njezina iskorištavanja (što se radi jednom) i svakogodišnji radovi koji se obično izvode poslije žetve ili prije sjetve. Ovdje će biti govora o ovoj drugoj skupini kojoj pripadaju: ravnanje tla, poboljšanje odvodnje, duboka obrada i meliorativno ispiranje.

#### a) Ravnanje tla

Ravnomjernu raspodjelu i infiltraciju vode u tlo gotovo je nemoguće postići ako površina tla nije dobro izravnana. Kako kontrola saliniteta u najvećoj mjeri ovisi upravo o tima dvama parametrima, jasno je da tome treba obratiti adekvatnu pozornost. Za ravnanje se tla obično upotrebljavaju teški strojevi koji donekle komprimiraju tlo pa se nakon te operacije preporučuje podriavanje ili neki drugi način rahljenja tla.

#### b) Poboljšanje odvodnje

Visoka razina podzemne vode i neadekvatna odvodnja (drenaža) umnogome otežavaju, pa čak i onemogućuju rješavanje problema saliniteta. Visoka je razina podzemne vode najčešće prouzročena nepropusnim ili slabopropusnim slojem relativno blizu površine, a otežana je odvodnja obično izazvana prekomjernim količinama natapne vode i procjeđivanjem kanala. Održavanje je saliniteta na određenoj razini gotovo nemoguće bez sniženja prekomjerne podzemne vode (manje od 0,2 m od razine tla). Odvodnja pak mora biti riješena adekvatnom drenažom, a ako prilike zahtijevaju i dvokratnom te uredno održavana u učinkovitu pogonu.

#### c) Duboka obrada

Slojevita tla, odnosno tla gdje se u pedološkom profilu pojavljuje više horizonata različite propusnosti (glina, pijesak i sl.), vrlo su neprikladna za natapanje, a pogotovo za ispiranje soli zbog slabe vertikalne perkolacije vode. Problem natapanja i kontrole slanosti pojednostavljuje se bitno ako se ti slojevi homogeniziraju. To se može postići nekom od metoda podriavanja ili dubokim oranjem. Iskustva pokazuju da je duboko oranje bitno učinkovitije i dugovječnije od podriavanja.

#### d) Meliorativno ispiranje

Kod tala gdje je salinitet znatno iznad dopuštene granice za otporne usjeve, treba prije sjetve provesti meliorativno ispiranje. U takvim se slučajevima obično radi ili o solima koje su se akumulirale izdizanjem iz zaslanjenoga plitkog horizonta podzemne vode ili zbog dugotrajne loše prakse natapanjem zaslanjenim vodama. U svakom slučaju, koncentracija soli mora se sniziti na dopustivu granicu za otporne usjeve barem u gornjem dijelu zone koncentracije korijena (oko 0,3 m). Ako je salinitet u granicama od 10 do 12 dS/m, primjena sloja vode za ispiranje od 100 do 200 mm

obično zadovoljava za početnu otpornu kulturu (npr. ječam ili pamuk). Pri znatno višem salinitetu, bit će nužno prije sjetve provesti meliorativno ispiranje.

Količina vode koju treba upotrijebiti pri melioracijskom ispiranju izravno je proporcionalna salinitetu, po principu viši salinitet - veća količina vode. Pri tom se mogu primijeniti dva postupka: neprekidno potapanje i naizmjenično punjenje i pražnjenje. Naizmjenično punjenje i pražnjenje smanjit će salinitet mnogo učinkovitije, ali zato zahtijeva više vremena (ali manju količinu vode).

Budući da melioracijsko ispiranje soli ovisi o većem broju parametara, teško je unaprijed izračunati količinu vode koja je za to potrebna. Općenito se može uzeti da je za uklanjanje 70-80 % topivih soli potreban stupac vode približno jednak debljini ispiranog sloja tla. Poslije provedbi ispiranja treba što prije zasijati prvi melioracijski usjev jer se daljnjim natapanjem, dodavanjem organske materije, obradom i sl. pospješuje sniženje razine soli u tlu.

### 2.3.3.9. Zamjena ili miješanje natapne vode

Neki istraživači preporučuju da se kvaliteta vode za natapanje mijenja ovisno o promjeni otpornosti bilja na salinitet. Drugim riječima, voda nižeg stupnja zaslanjenosti upotrebljavala bi se za osjetljive usjeve, odnosno i za druge usjeve u fazi klijanja i nicanja, a kasnije, u odrasloj fazi biljke, kada je ona u pravilu otpornija, upotrijebila bi se voda s većim sadržajem soli. To je vrlo jednostavno reći, ali najčešće veoma teško realizirati. U takvim se okolnostima danas često primjenjuje i postupak miješanja vode niže kvalitete s vodom više kvalitete. Naravno, time se ne dobije kvalitetnija voda, ali se zato dobije veća količina upotrebljive vode, odnosno mogućnost da se natapa veća površina. U svakom slučaju, prije nego što se donese konačna odluka što treba činiti, treba pomno problem razmotriti kako s tehničkoga, tako i s ekonomskog stajališta, a kod većih površina pokusima definirati najbolje rješenje.

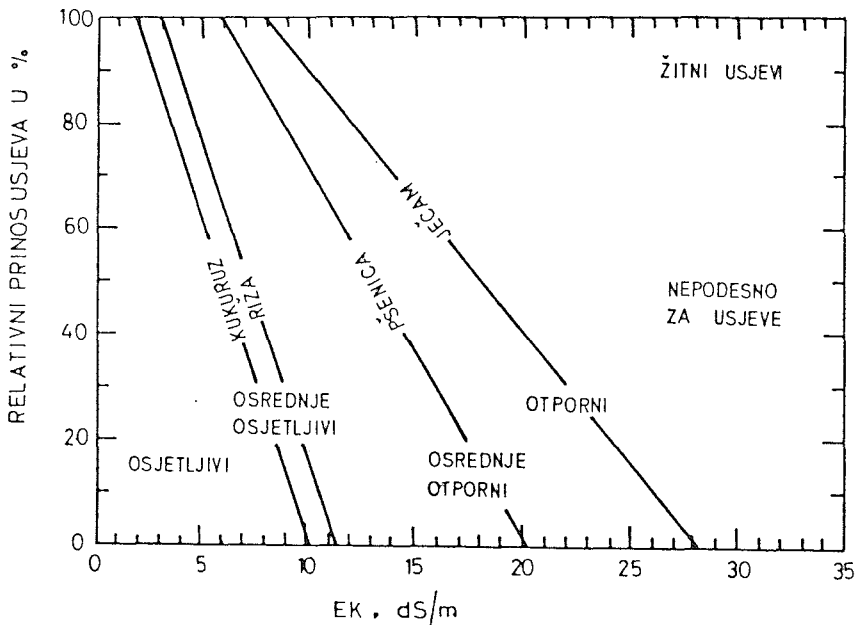
### 2.3.4. Zaključna razmatranja

U novije vrijeme razvijene su u mnogim specijaliziranim institucijama širom svijeta savršenije i prikladnije metode primjene zaslanjenih voda u poljoprivredi. Jedno od zadnjih dostignuća u tom smislu jesu istraživanja US Salinity laboratory (Rhoades, 1984., 1992.), koji i inače desetljećima prednjači na tom području. Bit je te metode u ocjeni podobnosti primjene natapne vode polazeći od:

- a) predviđanja potencijala zemljišne vode u prostoru i vremenu, što proizlazi iz primijenjenog natapanja i plodoreda;
- b) interpretacije takve informacije u odnosu prema mogućnosti razvoja bilo kojeg usjeva u tim uvjetima pod bilo kojim skupom klimatskih varijabla.

Polazeći od kriterija, razvijena je metoda procjene, odnosno simulacije budućeg stanja i mogućega kemijskog sastava zemljišnog rastvora uz primjenu određene dubine zakorijenjivanja, sastava natapne vode te postotka ispiranja. Nakon toga

procjenjuje se utjecaj takva stanja saliniteta na prinose i alkaliniteta na vodopropusnost tla. Ta se metoda može primjenjivati uz uobičajeni način, ali i s pomoću kompjutoriziranog programa pod nazivom "Watsuit"<sup>\*</sup>. Program može izračunati sastav vode u tlu - koncentraciju  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}\cdot\text{SO}_4^-$ , zbroj kationa i aniona, zatim odnos  $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$ , pH, električnu provodljivost  $\delta$ , odnos adsorpcije Na, SAR i osmotski potencijal  $\pi$  - za pet dubina zakorijenjivanja (na površini, za 0,25, 0,50, 0,75 i 1,0 odnosa dubine) za svaki od pet odnosa ispiranja (0,05, 0,1, 0,2, 0,3 i 0,4) te još nekoliko skupova nužnih informacija. Proračun se ponavlja uz simuliranje primjene natapne vode različitog stupnja neutralizacije pomoću sumporne kiseline ili gipsa kako bi se analizirala mogućnost primjene voda graničnog stupnja opasnosti od saliniteta, odnosno natrija.



Sl. 2-11 Otpornost žitnih usjeva na salinitet

Postupci za procjenu upotrebe kvalitete vode za natapanje koji su ovdje opisani s pridruženim opažanjima na mnogobrojnim pokusima širom svijeta upućuju na mogućnost uspješne primjene voda znatno većeg saliniteta nego što se općenito misli, za natapanje određenih kultura. S tim u vezi bit će nužno revidirati globalnu strategiju planiranja razvoja ove grane za dalju budućnost.

Danas se u svijetu izbacuju u različite recipijente upravo goleme količine voda iz odvodnih mreža (u sklopu natapanja) koje mogu u dobrom dijelu, prema ovdje

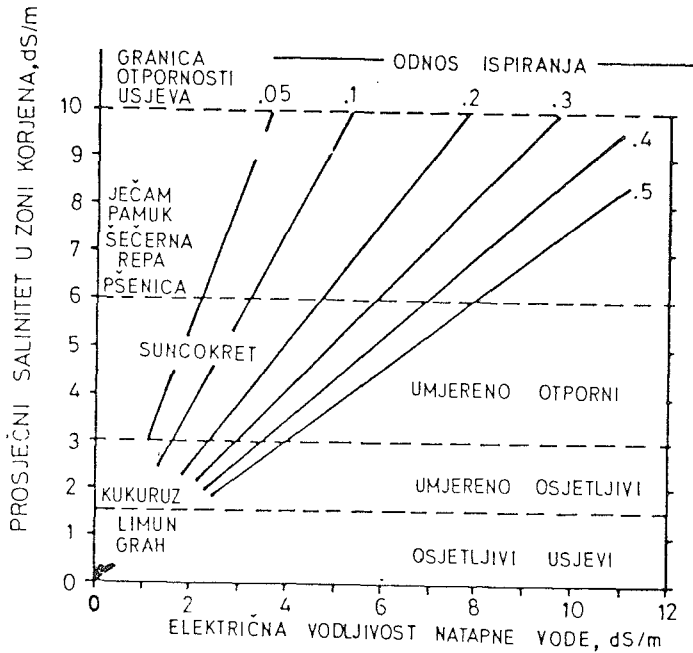
<sup>\*</sup> Detaljnije o tome vidi u *FAO Irrigation and Drainage Paper 48, Rome 1992.*

opisanim procjenama, poslužiti za natapanje. Iskorištavanjem tih voda ne samo da bi se povećale raspoložive količine već bi se istodobno smanjilo zagađenje vode recipijenata u koje se izbacuju.

Primjera uspješne upotrebe zaslanjenih voda za natapanje ima već dosta širom svijeta. Navest ćemo neke najznačajnije. U dolini Arkansas, Colorado uspješno se natapaju velike površine lucerne, sirka i pšenice vodama ukupne sadržine soli od 1500 do 5000 mg/l (Miles, 1977.). U dolini Pecos, vode prosječnog sadržaja soli od 2500 mg/l, ali sa znatnim oscilacijama prema gore, koriste se za natapanje već decenijama (Moore i Hefner, 1976.) Jury et al. (1978.) uzgajali su u lizimetrima pšenicu s vodom sve do saliniteta od  $7,1 \text{ dSm}^{-1}$ . Shalhevet i Kambusov (1976.) u svojoj analizi globalnih kretanja u ovom području navode činjenicu da su vode do 6000 mg/l često uspješno korištene za natapanje. Harden (1978.) navodi da je natapao nasad krušaka vodom sve do 4000 mg/l bez smanjenja uroda. Keren i Shainberg (1978.) navode primjer komercijalnog uzgoja pamuka u Izraelu s vodom električne provodljivosti od  $4,6 \text{ dSm}^{-1}$ . Navode se, nadalje, dobri primjeri postignuti u Uzbekistanu (SSSR) dugotrajnim natapanjem drenažnim vodama sa 5000 - 6000 mg/l ukupno otopljenih soli, itd.

U opisanim primjerima navedena kvaliteta natapnih voda upotrebljava se kod uobičajenog "klasičnog" gospodarenja tлом bez primjene neke osmišljene strategije gospodarenja, uz minimiziranje nepovoljnog učinka štetnih sastojaka. Osnovna je strategija "gospodarenja" kvalitetom vode u tome da se zamijeni voda (drenažna, ponegdje podzemna, i sl.) za "dobru" vodu kada se natapaju poncki usjevi na onoj fazi razvoja kada su otporni na te soli. Voda više kvalitete upotrebljava se u drugim fazama ili u rotaciji kod drugih usjeva. Maksimalni salinitet tla u zoni korijena neće nastupiti ako zaslanjenu vodu upotrebljavamo samo dio vremena vegetacije. Vrijeme primjene ovisit će o kvaliteti tih dviju voda, plodoređu, klimi i načinu natapanja. Koncentracija soli u tlu koja će nastati za vrijeme korištenja zaslanjene vode, bez obzira na veličinu, bit će smanjena u sljedećem razdoblju kada će se uzgajati znatno osjetljiviji usjev za koji će se upotrebljavati znatno kvalitetnija voda. Nadalje, prinos toga osjetljivijeg usjeva ne mora se zbog toga smanjiti ako se poduzmu adekvatne mjere za ispiranje suvišnih soli u zoni tla gdje klije i u ranijoj fazi se razvija novi usjev (gornji dio). Kasnije, u punoj sezoni, natapanjem će se soli postupno ispirati sve dublje, dok se to ne provede u punom profilu žilnog sustava. Tako se pripremaju tla za upotrebu u sljedećoj sezoni, kada će se ponovno zasaditi otporno bilje uz primjenu jače zaslanjene vode. Na taj se način - dugoročno - osigurava tlo od prekomjernog zaslanjivanja primjenom "dobre" i "loše" vode, a u ukupnoj bilanci koristi se - u prosjeku - 50 % vode nižeg standarda kvalitete.

Ta je strategija u zadnjih nekoliko godina isprobana na nekoliko pokusnih polja u SAD. Jedno od njih realizirano je u blizini Lost Hillsa u dolini San Joaquin Kalifornija, u trajanju od sedam godina. U tom se slučaju upotrebljavala voda saliniteta 6000 mg/l otopljenih soli za natapanje pamuka. Prilikom sjetve - kroz četiri godine - upotrebljavala se voda niskog saliniteta - samo 300 mg/l soli. Iza toga došao je ciklus sa šećernom repom, s kojom su također postignuti vrlo dobri rezultati s vodom do 6000 mg/l.



Sl. 2-12 Opasnost od saliniteta za konvencionalno gospodarjenje

Na temelju opisanih značajki vrsta prirodnih voda koje su danas na raspolaganju poljoprivredi za natapanje i osjetljivosti pojedinih vrsta i sorta kulturnog bilja na koncentraciju soli u tlu i vodi te ostalih dostignuća razvoja poljoprivrede u tom kontekstu, mogu se dati ove preporuke:

1. Najnovija istraživanja upućuju na činjenicu da se racionalnom upotrebom natapne vode pri konvencionalnom gospodarjenju u poljoprivredi, mogu upotrebljavati vode više koncentracije soli nego što se dosada smatralo, uz adekvatnu selekciju kultura u skladu s njihovim genetskim osobinama otpornosti.
2. Sadašnji standardi kvalitete temelje se uglavnom na pretpostavci raspoloživosti velike količine natapne vode niskog saliniteta. Kada takve vode nema dovoljno, onda se i voda niže kvalitete često smatra "dobrom", što upućuje na zaključak da su ocjene o tome dosta varijabilne i podložne lokalnim prilikama. S druge pak strane, na mnogim se istraživanim nasadima dokazalo da se mnogi usjevi, u slučaju nedostatka kvalitetne vode, prilagode vodi nižeg standarda. Mnogobrojni primjeri širom svijeta upućuju na uspješnu primjenu za natapanje voda koje po standardima koji su na snazi, to ne bi mogle biti.

3. Povećanje raspona primjene zaslanjenih voda u natapanju, bez osjetnog smanjenja uroda, može se postići adekvatnim gospodarenjem u natapnom području. Princip se sastoji u primjeni dvojnog plodoreda - osjetljivog i otpornog bilja u rotaciji - u određenim fazama razvoja i uz upotrebu povećane količine natapne vode. Pritom se slabo otporni usjevi natapaju vodom niskog saliniteta u rotaciji s otpornim usjevima, koji se natapaju vodom visokog saliniteta. Najčešće se na početku sezone (obrada, sijanje, sadnja) otporni usjevi natapaju slatkom vodom, a zatim zaslanjenom. Uspješna je primjena tog postupka već potvrđena na većem broju imanja.

## 2.4. OTROVNOŠĆ POJEDINIH IONA

### 2.4.1. Općenito

Problem toksičnosti (otrovnosti) razlikuje se od saliniteta po tome što se proces zbiva u samoj biljci i nije vezan za pomanjkanje vode. Nastaje kada se stanoviti ioni usišu zajedno s vodom i zbog transpiracije akumuliraju u lišću izazivajući oštećenje biljke. Veličina oštećenja ovisi o trajanju, koncentraciji, osjetljivosti kulture i potrošnji vode i može izazvati smanjenje uroda. Uobičajeni otrovni ioni u natapnoj vodi jesu klor, natrij i bor.

Sve kulture nisu podjednako osjetljive na te ione. Općenito uzevši, najmanje su osjetljivi godišnji usjevi, a najviše voćke - stablašice. Taj se problem najčešće pojavljuje zajedno sa salinitetom i zabarivanjem.

Osim usisivanjem posredstvom korjenovog sustava, otrovni ioni mogu se apsorbirati i kroz lišće, i to vlaženjem za vrijeme natapanja kišenjem. Taj se proces najintenzivnije zbiva za vrijeme visokih temperatura i niske relativne vlažnosti.

Osim navedenih elemenata, ima veći broj mikroelemenata (elemenata u tragovima) koji mogu također biti otrovni pri vrlo niskim koncentracijama. Srećom, to se veoma rijetko pojavljuje i općenito ne izaziva veće probleme.

### 2.4.2. Klor

Klor je najučestaliji uzročnik toksičnosti natapne vode. Biljka ga usisava zajedno s otopinom pa se akumulira u lišću i procesu transpiracije. Tipični simptomi oštećenja jesu spaljenost lišća, sušenje pojedinih dijelova te u težim slučajevima defolijacija. Kod osjetljivih kultura simptomi se pojavljuju već pri akumulaciji klora u lišću od 0,3 do 1,0 % u odnosu prema težini suhe tvari.

Osjetljivost pojedinih kultura na klor nije još u svijetu detaljnije istražena, kao npr. na salinitet, pa zasada i nemamo, za većinu, podataka o tome. Kako je već ranije navedeno, klor se može akumulirati u lišću i za vrijeme natapanja kišenjem vlaženjem lišća (kišenje iznad krošnje).

### 2.4.3. Natrij

Otrovnost natrija nije tako jednostavno dijagnosticirati kao kod klora. Simptomi su slični, samo se spaljenost lišća najprije pojavljuje na vanjskim rubovima, i to po pravilu na starijim listovima. Oštećenja se koncentrično šire prema sredini i, po pravilu, traju relativno dugo. Najosjetljivije su kulture koštuničasto voće, orasi, agrumi, avokado, grah, ali i mnogi drugi. Simptomi kod drvenastih kultura pojavljuju se već pri koncentraciji od 0,25 do 0,50 % (na osnovi suhe tvari). Dijagnoza se provodi analizom sadržaja natrija u lišću (na oštećenim biljkama), a preporučuje se i uspoređivanje sa sadržajem na neoštećenim usjevima.

Otrovno djelovanje natrija smanjuje se znatno ili čak potpuno uklanja ako u tlu ima dovoljno kalcija. Istraživanja su te pojave upravo u punom tijeku. Tako je već sa sigurnošću utvrđeno, barem za nekoliko godišnjih usjeva, da pomanjkanje kalcija može imati jednake simptome i izazvati jednake štete kao koncentracija natrija. U tom slučaju treba tlu dodavati gnojiva na bazi kalcija, npr. kalcijev nitrat i gips.

#### *Relativna otpornost nekih kultura na zamjenjivi natrij<sup>1</sup>*

*Tablica 2-13*

Osjetljive	Poluosjetljive	Otporne
avokado	mrkva	lucerma
koštuničasto voće	djetelina bijela	ječam
orasi	salata	blitva
grah	šćerna trska	šćerna repa
pamuk (pri nicanju)	djetelina aleksandr.	zubača obična
kukuruz	repa	pamuk
grašak	zob	pirika obična
grejpfrut	kapula	
naranča	rotkvice	
breskva	riža	
leća	raž	
kikiriki	ljulj talijanski	
slanutak	sirak	
	špinat	
	rajčica	
	grahorica	
	pšenica	

<sup>1</sup> Prema podacima FAO-UNESCO (1973.), Pearson (1960.) i Abrol (1982.)

U priloženoj tablici 2-13 dana je relativna otpornost na natrij za nekoliko karakterističnih kultura. Podaci su prikazani ne kao SAR vrijednosti već u obliku zamjenjivog natrija iz tla (ESP), što se može očitati u priloženom nomogramu (sl. 2-



13). Približna veličina postotka zamjenjivog natrija (ESP) koja odgovara svakoj od predloženih triju kategorija osjetljivosti jest: osjetljive biljke ispod 15 ESP; poluosjetljive 15-40 ESP; otporne iznad 40 ESP. U svakoj se koloni otpornost smanjuje redom kako je navedeno, i to odozgo prema dolje. Treba napomenuti da su naznačene otpornosti relativne prirode jer osim ostalog ovise o načinu ishrane, karakteristikama tla itd. Naprimjer, neki izrazito otporni usjevi pokazuju niži stupanj otpornosti ako su struktura i aeracija tla nepovoljna.

#### 2.4.4. Bor

Suprotno natriju, bor je nužan element za razvoj bilja. Biljka se njime koristi u vrlo malim količinama, a ako se koncentracija poveća, postaje otrovan. Naprimjer, ako je za neki usjev koncentracija od 0,2 mg/l optimalna, vrijednost od 1 do 2 mg/l može biti toksična. Površinske vode obično ne sadrže bor u štetnoj koncentraciji, ali ga često imaju podzemne vode, naročito u području termalnih izvora i potresnih rasjeda. Bor može biti otrovan skoro za sve kulture ali, dakako, pritom je raspon otpornosti širok.

Simptomi su toksičnosti bora slični kao i u prethodnim slučajevima: žućenje i sušenje lišća, obično od periferije prema sredini.

Uobičajena koncentracija kod koje se simptomi pojavljuju najčešće iznosi 250 - 300 mg/kg (u odnosu prema suhoj tvari). Neke kulture (koštuničasto voće, jabuke, kruške i neke druge) ne akumuliraju bor u lišću pa se analize moraju provoditi na drugi način, i to najčešće analizom tla i vode te promatranjem simptoma na biljci.

Vrlo opširni pokusi o osjetljivosti pojedinih usjeva na bor provedeni su u SAD-u početkom 40-ih godina (Eaton, 1944.). Nakon toga u većem broju lokaliteta širom svijeta provedena su opširna istraživanja. Na temelju svih tih rezultata Maas je 1984. god. sastavio tablicu koju donosimo (tablica 2-14), koja prikazuje najnovije rezultate u tom području. Navedeni podaci ne temelje se na simptomima toksičnosti, nego na značajnom smanjenju prinosa ako se navedene granice prekorače. Pritom treba naglasiti da tolerancija bilja na bor ovisi i o klimi, karakteristikama tla i sorti usjeva.

#### 2.4.5. Rješavanje problema toksičnosti

Nema nikakve sumnje da je najbolji način da se onemogući pojava toksičnosti zbog koncentracije navedenih iona, primjena natapne vode koja ne može izazvati takve probleme. Ali, ako takve vode nemamo na raspolaganju, onda moramo poduzeti sve one mjere koje će štete nastale zbog toksičnosti navedenih iona svesti na minimum. U nastavku će se takve najznačajnije mjere ukratko opisati.

*Relativna otpornost na bor za neke poljoprivredne kulture<sup>1</sup>*

Tablica 2-14

<p><b>Jako osjetljive (&lt; 0,5 mg/l)</b> limun kupina</p> <p><b>Jače osjetljive (0,5-0,75 mg/l)</b> avokado grejfrut naranča kajsija breskva trešnja šljiva kaki smokva vinova loza lješnjak luk</p> <p><b>Osjetljive (0,75-1,0 mg/l)</b> češnjak krumpir slatki pšenica ječam suncokret jagoda artičoka grah kikiriki</p> <p><b>Umjereno osjetljive (1,0-2,0 mg/l)</b> paprika grašak mrkva rotkvice krumpir krastavac</p>	<p><b>Umjereno otporne (2,0-4,0 mg/l)</b> salata kupus celer repa zob kukuruz artičoka duhan tikvice dinja</p> <p><b>Otporne (4,0-6,0 mg/l)</b> sirak rajčica lucerna peršin cikla šćerna repa crvena repa</p> <p><b>Veoma otporne (6,0-15,0 mg/l)</b> pamuk šparoga</p>
--	--

<sup>1</sup> Prema podacima Maasa (1984.)

### a) Ispiranje

Znatan dio iona koji izazivaju toksičnost (Cl i Na) ujedno su u najvećoj mjeri uzročnici zaslanjenosti tla. Prema tome, ključna mjera kojom se smanjuje salinitet, a to je ispiranje, primjenjuje se i za eliminiranje toksičnosti. Toksičnost se može razviti nakon nekoliko natapanja ili poslije jedne ili više vegetacijskih sezona.

Ioni klora putuju iz jednog mjesta do drugoga s natapnom vodom i čine važan dio saliniteta.

Proračun količine ispiranja (odnos ispiranja) može se provesti po istoj formuli kao i za salinitet, samo prilagođenoj za klor, pa u tom slučaju poprima oblik:

$$PI_{(Cl)} = \frac{Cl_v}{5 Cl_e - Cl_v} ,$$

gdje je:

$PI_{(Cl)}$  - minimalna potreba ispiranja radi održanja klora u granicama normale uz primjenu uobičajenih metoda površinskog ispiranja

$Cl_v$  - koncentracija klora u primijenjenoj natapnoj vodi izražena u me/l

$Cl_e$  - dopustiva koncentracija klora za uzgajane kulture u saturiranom ekstraktu tla, u me/l.

Slično kao kod klora, ispiranjem se i natrij može držati u određenim granicama. Natrij, međutim, ne putuje tako brzo s vodom kao i klor pa bi za veće koncentracije trebalo primijeniti ispiranje iznad 0,30, što nije poželjno jer može izazvati probleme aeracije i odvodnje. U tom se slučaju treba služiti i drugim mjerama, a to je obično upotreba raznih dodataka kao što su gips i kalcij. Ako ni ta mjera ne da zadovoljavajuće rezultate, treba uvesti otpornije kulture.

Što se bora tiče, uklanjanje je ispiranjem znatno složenije negoli kod klora i natrija, jer se sporo premješta iz jednog mjesta do drugoga. Za ispiranje određene količine bora potrebno je utrošiti oko tri puta više natapne vode negoli za ekvivalent klorida ili saliniteta. Neka najnovija istraživanja koja u praksi još nisu potvrđena upućuju na mogućnost primjene sumporne kiseline za melioriranje tala kod kojih je izražena toksičnost klora.

### b) Izbor poljoprivrednih kultura

Izbor je otpornije kulture na otpornost tih iona, svakako, jedan od najprikladnijih načina rješavanja ove problematike, ali samo do neke granice i ovisno o lokalnim uvjetima podneblja i dugih ograničenja.

Slično kao i za salinitet, kulture su svrstane u grupe ovisno o otpornosti na klor, natrij ili bor, ali dosada su o tome raspoložive tek ograničene informacije i tek će u budućnosti trebati u potpunosti rasvijetliti taj problem. Neki podaci o tome navedeni su u priloženim tablicama.

### *c) Agrotehničke mjere*

Već je u prethodnom izlaganju navedeno da je ključna mjera za sprečavanje toksičnosti iona ispiranje soli iz tla. Pritom veoma veliko značenje imaju pojedine agrotehničke operacije koje omogućuju ravnomjerniju raspodjelu vode (ravnanje), bolju vodopropusnost i odvodnju.

Iako se općenito smatra da gnojidba nema veliko značenje u borbi protiv saliniteta, kod problema toksičnosti ona ponekad može biti korisna. Naprimjer, dokazano je da se toksičnost bora na plantažama citrusa može u određenoj mjeri eliminirati dodavanjem većih (2,4 - 2,6 % - suhe tvari) količina dušika. Naime, bor se najprije akumulira u otrovnoj koncentraciji u starijim listovima, koji postupno opadaju, čime smanjuju fotosintetsku sposobnost stabla. U tom slučaju dušik služi za ubrzaniji vegetativni rast odnosno nadomještaj izgubljenog lišća i uspostavljanje ponovne ravnoteže fotosinteze.

Toksičnost natrija (visoki SAR) smanjuje se najčešće dodavanjem gipsa ili tlu ili natapnoj vodi. Ako je salinitet natapne vode relativno nizak ( $EV_v < 0,5$  dS/m), učinak je gipsa bitno veći negoli u obratnom slučaju. Nadalje, problem toksičnosti natrija otežan je također ako tlo sadrži veći postotak gline.

## *2.4.6. Učinak toksičnosti pri natapanju kišenjem*

Pri natapanju osjetljivih kultura kišenjem iznad krošnje mogu se pojaviti simptomi toksičnosti koji se inače ne bi pojavili pri uobičajenim načinima površinskog natapanja. Razlog je u tome što se preko lišća apsorbiraju prekomjerne količine natrija i klora, što u težim slučajevima može izazvati spaljenost lišća i defolijaciju. Pritom je učinak to veći što je temperatura zraka viša, a vlaga niža. Najnepovoljniji učinak imaju rotirajući rasprskivači jer se između dvaju okretaja voda na lišću ispari, a Cl ili Na apsorbira.

Toksičnost se kod osjetljivih usjeva pojavljuje pri relativno niskoj koncentraciji klora ili natrija ( $> 3$  me/l) i općenito se smatra da, što je usjev osjetljiviji na Cl i Na, to više tih iona apsorbira kroz lišće. I ovdje važi pravilo da su godišnji usjevi otporniji od voćnih vrsta. Zasada ima prilično malo eksperimentalnih podataka o odnosu usjeva prema tom obliku toksičnosti, dijelom i zbog veoma naglašenog utjecaja klimatskih faktora. Najnoviji podaci o osjetljivosti nekih kultura na toksičnost natapne vode raspodijeljene rasprskivanjem prikazani su u tablici 2-15. Podaci su orijentacijski.

Pri pojavi toksičnosti izazvanoj folijarnom apsorpcijom nužno je poduzeti određene mjere koje će to spriječiti ili barem umanjiti. Neke navodimo u nastavku.

### *Natapanje noću*

Noćnim se natapanjem bitno smanjuje opasnost toksičnosti natrija i klora jer je sadržaj vlage veći, a vjetovitost općenito manja negoli danju. Time se smanjuje

isparavanje i apsorpcija iona kroz lišće. Inače, noćno natapanje ima i drugih povoljnijih učinaka od dnevnoga.

*Relativna otpornost nekih kultura na oštećenja lišća  
primjenom zaslanjene vode rasprskivanjem<sup>1</sup>*

Tablica 2-15

Koncentracija Na <sup>+</sup> ili Cl <sup>-</sup> koja izaziva oštećenja lišća (me/l)			
< 5	5-10	10-20	> 20
badem	loza	lucerna	cvjetača
marelica	paprika	ječam	pamuk
citrusi	krumpir	kukuruz	šećerna repa
šljive	rajčica	krastavci	suncokret
		sezam	sirak

<sup>1</sup> Podaci prema Maasu (1984.)

*Izbjegavanje razdoblja jakih vjetrova*

Topli i suhi vjetrovi jesu jedan od najvažnijih faktora koncentracije, taloženja i apsorpcije toksičnih elemenata. To se posebno odražava pri nošenju mlaza niz vjetar. U tim slučajevima natapanje treba obustaviti ili pak pomicati rasprskivače niz vjetar.

*Povećanje brzine okretanja rasprskivača*

Kod rasprskivača koji se sporo okreću moguće je sušenje lisne površine između dvaju sukcesivnih okreta, što ubrzava apsorpciju. U takvom slučaju potrebno je povećati brzinu okretanja, odnosno izabrati vrstu opreme s većom brzinom. Obično brzina jednog okretaja u minuti zadovoljava tu svrhu.

*Povećanje intenziteta natapanja*

Ako pedološke značajke dopuštaju, povećanjem intenziteta natapanja može se smanjiti učinak toksičnosti navedenih elemenata jer se time skraćuje vrijeme natapanja, odnosno vlaženje lišća. Mnogi primjeri iz prakse to potvrđuju. To se može postići bilo prilagodavanjem rasprskivača i pogona (manji razmak, viši tlak i dr.) bilo izborom odgovarajuće opreme.

Ima još nekoliko mogućnosti rješavanja tog problema, uglavnom izborom odgovarajuće opreme za kišenje ili prilagodavanjem postojeće. Tu bismo mogli spomenuti smanjenje površine lišća koja se vlaži (smanjenje kuta elevacije rasprskivača i natapanje ispod krošnje), povećanje mase kišnih kapljica (jer je manje isparavanje) i neke druge.

## 2.5. PROBLEM VODOPROPUSNOSTI

Problem vodopropusnosti pojavljuje se kada natapna voda ne prodire dovoljno brzo u tlo da bi opskrbila donje dijelove soluma između dvaju sukcesivnih natapanja. Ako je brzina infiltracije (upijanja) smanjena zbog neadekvatne kvalitete natapne vode, onda je nepropusni sloj najčešće ograničen na gornjih nekoliko centimetara tla. Tada nastaje pomanjkanje vode za bilje kao i kod saliniteta, samo na drugi način. Dok slaba vodopropusnost onemogućuje prodor vode u donje slojeve, dotle salinitet sprečava korištenje (apsorpciju) raspoložive vode u tlu.

Brzina infiltracije vode od oko 3 mm/sat smatra se niskom, a vrijednost veća od 12 mm/sat jest relativno visoka. Na to mogu utjecati i brojni drugi faktori osim kvalitete vode, npr. fizikalne karakteristike tla, kemijski sastav tla, uključujući zamjenjive katione i drugi. Na priloženoj slici 2-13 prikazan je relativan utjecaj kvalitete natapne vode, i to i saliniteta ( $EV_v$ ) i odnosa adsorpcije natrija (SAR) na brzinu infiltracije vode u tlo. Brojčane vrijednosti tog utjecaja prikazane su u tablici 2-2.

Općenito uzevši, brzina infiltracije povećava se s povećanjem saliniteta, a smanjuje se ili sa smanjenjem saliniteta ili relativnim povećanjem natrija u odnosu prema kalciju i magneziju. Prema tome, ta dva faktora, salinitet i SAR, smatraju se ključnima za adekvatnu procjenu utjecaja kvalitete vode na brzinu infiltracije.

### 2.5.1. Razmatranje problema infiltracije

Vode niskog saliniteta (ispod 0,5 dS/m, a osobito ispod 0,2 dS/m) korozivne su i ispiru topive soli na površini, posebno kalcijeve, čime narušavaju stabilnost i strukturu tla. Bez kalcija se tla disperziraju, a tako nastale sitne čestice brtve mikropore na površini i bitno smanjuju brzinu infiltracije vode u tlu.

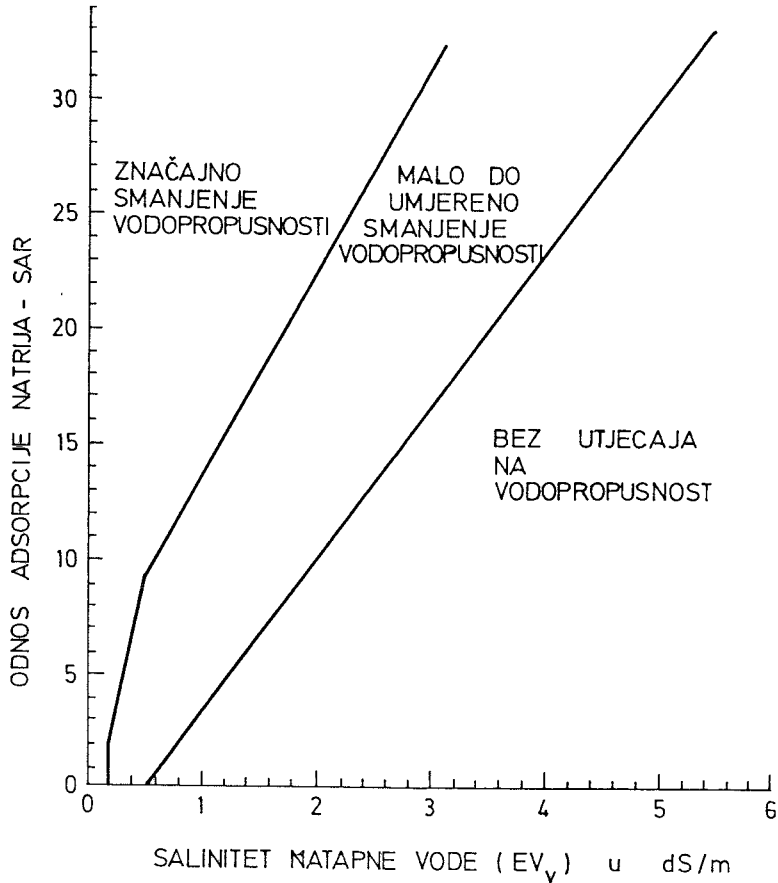
Visok sadržaj natrija u natapnoj vodi također izaziva disperziju tla i lom strukture, ali samo ako je odnos takav da je sadržaj natrija veći od 3:1 prema kalciju. Prekomjerne količine natrija izazivaju i druge nepoželjne posljedice, npr. stvaranje pokorice na površini tla, smanjena aeracija, otežano nicanje sjemena i druge.

Prije su se upotrebljavali drugi postupci za analizu mogućih problema vodopropusnosti. Tako se 50-ih godina mnogo upotrebljavala metoda rezidualnoga natrijeva karbonata (Eaton, 1950.; Richards, 1954.). Danas se najviše koristi postupak primjenom odnosa adsorpcije natrija (SAR, Richards, 1954.). Izraz za proračun SAR vrijednosti glasi:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

a naveden je i opisan u glavi 2.3.

U novijim člancima i raspravama o ovoj problematici SAR se često označava s RNA. Izrazi su sinonimi. Postupak proračuna po SAR-u analiza je utjecaja viška natrija - u odnosu prema kalciju i magneziju na problem infiltracije.



*Sl. 2-13 Relativan utjecaj kvalitete natapne vode (salinitet i SAR) na brzinu infiltracije vode u tlo*

Daljnje usavršavanje tog proračuna postigli su Suarez (1981.) i Rhoades (1982.) uvođenjem pojma adj RNA (adjusted Sodium Adsorption Ratio), odnosno prilagođenog ili modificiranog RNA. Tim se postupkom može točnije predskazati potencijalna opasnost problema infiltracije zbog relativno visokog sadržaja natrija (ili niskog kalcija) u natapnoj vodi. Kako je razlika ovog i prije opisanog postupka obično u granicama od  $\pm 10\%$ , neće se ovdje opširnije opisivati. Rhoades je za taj

postupak izradio (1982.) i odgovarajući simulacijski model za proračun pomoću elektroničkog računala.

## 2.5.2. Rješavanje problema infiltracije

Za rješavanje problema infiltracije, da bi se održao planirani prirod, mogu se primijeniti kemijske i fizičke mjere. Kemijskim mjerama pripada izmjena kemijskog sastava tla ili vode koji utječe na vodopropusnost. To se najčešće postiže dodavanjem tlu ili vodi nekog minerala (uglavnom gipsa) ili pak miješanjem dviju ili više vrsta voda. Metode fizičke prirode sastoje se uglavnom u specifičnim agrotehničkim operacijama koje poboljšavaju infiltracijsku moć tla. Neke od tih mjera bit će ukratko opisane u nastavku.

### 2.5.2.1. Dodaci tlu i vodi

Niska brzina infiltracije prouzročena prekomjernim sadržajem natrija ili niskim salinitetom natapne vode može se povećati nekim kemijskim dodacima tlu i vodi. Poboljšanje se može očekivati ako dodatak poveća sadržaj topivog kalcija ili bitno poveća salinitet vode. To je zapravo zasada i jedini način utjecaja na kemizam tla, odnosno natapne vode, jer za uklanjanje viška soli ili samo natrija nema još prihvatljive metode koja bi bila i ekonomski opravdana. Dodavanjem npr. gipsa povećava se sadržaj kalcija i istovremeno smanjuje SAR vrijednost.

#### a) Gips

Gips se najčešće primjenjuje kao dodatak i može se dodati ili vodi ili tlu. Za melioriranje tala s viškom natrija, dodaje se tlu u količini od 5 do 40 t/ha, i to u zrnatom obliku. Količine veće od 10 t/ha dodaju se obično samo jednokratno, za poboljšanje tla, a pri većem sadržaju natrija u natapnoj vodi manje količine doziraju se svake godine.

Kako je već spomenuto, smanjenje vodopropusnosti tla prouzročeno niskim EV ili visokim SAR vrijednostima obično je ograničeno na nekoliko centimetara površinskog sloja tla. Zato je rasipanje gipsa po površini ili plitko inkorporiranje mnogo djelotvornije negoli unošenje pri dubokom oranju. Dakle, pri problemima koje izaziva natapna voda treba primjenjivati male ali učestale količine u površinskom sloju, a pri melioraciji tla jednokratno velike količine izmiješane po većoj dubini soluma. U praksi se najčešće u natapnu vodu dozira količina od 1 do 4 me/l otopljenog Ca. Ta relativno mala količina može u vodi niska saliniteta povećati vodopropusnost i do 300 %.

Brzina otapanja gipsa u najvećoj mjeri ovisi o veličini zrna, odnosno o finoći mliva. Fino mljeveni gips (zrnca) promjera manjeg od 0,25 mm otopit će se veoma brzo. Uobičajena je praksa da se fine granulacije upotrebljavaju kao dodaci vodi, a krupnije kao dodaci tlu. Razlog je što su sitniji sortimenti obično skuplji.



### Primjer

Natapna voda niskog saliniteta ( $EV_v = 0,15 \text{ dS/m}$ ) upotrebljava se za natapanje agruma. Površina iznosi 5 ha, a norma je natapanja 50 mm. Kako se pojavio problem vodopropusnosti, odlučeno je da se poveća sadržaj kalcija u vodi za 2 me/l, i to primjenom gipsa 70 % čistoće.

Zadano:

$$EV_v = 0,15 \text{ dS/m (natapne vode)}$$

$$\text{Površina} = 5 \text{ ha}$$

$$\text{Ukupna količina natapne vode: } 5 \text{ ha} \cdot 50 \text{ mm} = 250 \text{ mm} = 2500 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ me/l Ca} = 86 \text{ kg } 100 \% \text{ gipsa na } 1000 \text{ m}^3 \text{ vode}$$

$$\text{Gips } 70 \% \text{ čistoće}$$

### Rješenje

$$1 \text{ me/l Ca} = 86 \text{ kg } 100 \% \text{ gipsa na } 1000 \text{ m}^3 \text{ vode}$$

$$\text{Na } 2500 \text{ m}^3 \text{ vode treba } 2,5 \cdot 86 = 215 \text{ kg } 100 \% \text{ gipsa}$$

$$\text{Za me/l treba } 215 \cdot 2 = 430 \text{ kg } 100 \% \text{ gipsa}$$

$$\text{Količina gipsa } 70 \% \text{ čistoće bit će:}$$

$$G = \frac{430 \cdot 100}{70} = 615 \text{ kg}$$

### b) Dodaci na bazi kiseline

Kiseline ili sredstva iz kojih se stvaraju kiseline mogu također poslužiti za opskrbu tla kalcijem, ali uz uvjet da je vapnenac ( $\text{CaCO}_3$ ) prisutan u tlu. Za tu svrhu najviše se upotrebljavaju sumpor i sumporna (sumporasta) kiselina, a relativno malo svi ostali.

### Dodaci vodi i tlu i njihova relativna učinkovitost u opskrbi tla kalcijem

Tablica 2-16

Dodatak	Ekvivalent u tonama za 1 tonu 100 % gipsa
gips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )	1,00
sumpor (S)	0,19
sumporna kiselina ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )	0,61
željezni sulfat/ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ /	1,09
kalcijev klorid ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )	0,86
kalcijev nitrat/ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ /	1,06
kalcijev karbonat ( $\text{CaCO}_3$ )	0,58

Pomoću sumpora može se obogatiti tlo kalcijem ako sadrži vapnenac i odlično je sredstvo za melioraciju alkalnih tala. Nije prikladan kao dodatak vodi te za

poboljšanje vodopropusnosti. Elementarni sumpor najprije mora oksidirati i stvoriti sumpornu i sumporastu kiselinu koje zatim reagiraju s vapnencem da se oslobodi kalcij. Reakcija je dosta spora i obično traje oko 30 dana, a ubrzava je toplo, dobro prozračno tlo.

Sumporna je kiselina veoma jaka i korozivna, a može se izravno primijeniti i za vodu i na tlu. Reakcija je vrlo brza i učinkovita jer nije potrebna prethodna oksidacija da bi proces započeo. Ta je kiselina veoma korozivna i štetna skoro za sve materijale s kojima dolazi u dodir, a opasna je za ljude pa prilikom primjene treba veoma pažljivo postupati, pogotovo kada se dodaje vodi.

### 2.5.2.2. Miješanje natapne vode

Kako se iz slike 2-13 može uočiti, SAR od 12 ili veći može znatno umanjiti brzinu infiltracije ako je istovremeno salinitet manji od 3 dS/m. Međutim, jednak će se učinak pojaviti ako se SAR snizi na 6 ako je salinitet vode niži od 1,2 dS/m. Dakle, vodopropusnost se može povećati ili sniženjem SAR-a ili povećanjem saliniteta.

Miješanjem, odnosno razrjeđivanjem vode s visokim SAR vrijednostima s drugom, povoljnijih značajki, može se bitno sniziti SAR i dobiti upotrebljiva voda bez štetnih posljedica. To se najčešće čini s površinskom (kanalskom) i podzemnom vodom. Naime, iz izraza za SAR proizlazi da će se brojnik (Na) smanjiti proporcionalno razrjeđenju, i to u većoj mjeri negoli nazivnik (Ca + Mg) koji se nalazi pod korijenom. Idući primjer to najbolje potvrđuje.

#### Primjer

Na raspolaganju je za natapanje površinska voda dobre kvalitete, ali nedovoljne količine. Treba je miješati s podzemnom vodom znatno slabije kvalitete. Treba odrediti SAR mješavine, ako je omjer mješavine 75 % površinske i 25 % podzemne vode.

Zadano: kemijske analize voda (vidi tablicu)

	EV <sub>v</sub> (dS/m)	Ca (me/l)	Mg (me/l)	Na (me/l)	HCO <sub>3</sub> (me/l)	SAR
površinska voda	0,23	1,41	0,54	0,48	1,8	0,5
podzemna voda	3,60	2,52	4,00	32,00	4,5	18,0

#### Rješenje

Kvaliteta mješavine može se dobiti upotrebom ove jednadžbe:

$$\left[ \text{me/l od } (a) \cdot \text{proporcionalni dio}(a) \right] +$$

$$\left[ \text{me/l od } (b) \cdot \text{proporcionalni dio}(b) \right] =$$

= mješavina u me/l

dakle imamo:

$$Ca = (1,41 \times 0,75) + (2,52 \times 0,25) = 1,69 \text{ me/l (miješano)}$$

$$Mg = (0,54 \times 0,75) + (4,00 \times 0,25) = 1,41 \text{ me/l (miješano)}$$

$$Na = (0,48 \times 0,75) + (32,0 \times 0,75) = 8,36 \text{ me/l (miješano)}$$

$$HCO_3 = (1,8 \times 0,75) + (4,5 \times 0,25) = 2,48 \text{ me/l (miješano)}$$

$$EV_v = (0,23 \times 0,75) + (3,6 \times 0,25) = 1,07 \text{ dS/m (miješano)}$$

$$SAR = \frac{8,36}{\sqrt{\frac{1,69 + 1,41}{2}}} = 6,7$$

Prema tome, miješanje voda povoljnog i nepovoljnog kemijskog sastava dolazi u obzir samo kada imamo na raspolaganju nedovoljne količine kvalitetne natapne vode i dovoljne količine vode neprikladne za natapanje pa miješanjem povećavamo ukupnu količinu raspoložive vode, odnosno tako možemo povećati natapnu površinu.

### 2.5.2.3. Agrotehnički radovi

Raznim dodacima vodi i tlu te miješanjem voda mijenjaju se kemijska svojstva vode, dok fizičke metode povećavaju brzinu infiltracije fizičkim sredstvima. Najčešće se primjenjuje okopavanje i duboko rahljenje. Obje su djelotvorne ali kratkotrajne.

Okopavanje (frezanje i sl.) poduzima se najčešće radi uništavanja korova, ali znatno pomaže i za povećavanje brzine infiltracije razbijanjem pokorice i povećanjem specifične površine tla, čime se povećava ploha upijanja vode (voda sporije otječe). Tu operaciju treba ponckad ponoviti više puta godišnje, katkad čak prije svakog natapanja.

Duboko rahljenje (duboko oranje, podrivanje i sl.) omogućuje povećanje brzine perkolacije u dublje slojeve kako bi se čitav profil korijenova sustava ravnomjerno opskrbio vodom. Može se primijeniti jedino prije sjetve ili zimi za vrijeme mirovanja biljaka (ako se radi o voćnjaku).

### 2.5.2.4. Organski otpaci

Otpaci usjeva (slama, pljeva, korijenje) ili drugi organski otpaci, ako se ostave ili dodaju polju, mogu bitno povećati infiltraciju vode u tlo. To je ujedno veoma jednostavan i jeftin način povećanja vodopropusnosti.

Organski otpaci, ako se ostave na površini ili plitko unesu u tlo, mogu poboljšati infiltraciju vode kod alkalnih tala i pri natapanju vodom s visokim SAR-om. Veći učinak postižu otpaci koji se sporije razgrađuju te korijenje nekih žitarica (ječam, riža, pšenica, kukuruz i dr.). Da bi se postigao značajniji učinak, potrebno je dodati velike količine organske tvari. Pri upotrebi stajskog gnoja norma iznosi od 40 do 400 tona po hektaru. Prema nekim istraživanjima bitno poboljšanje infiltracije može se

očekivati primjenom organske tvari u količini od 10 do 30 % volumena tla u gornjem sloju od 15 cm.

Osim navedenoga dosada se u praksi najviše upotrebljavala piljevina, pljeva riže (otpaci pri ljuštenju) te mnogi drugi otpaci. Zajednički im je nedostatak što je učinak tih mjera redovito jako kratak, obično jednu sezonu, pa postupak treba ponoviti. Iako se tako tlo obogaćuje organskom tvari, zabilježene su i neke nepoželjne pojave (povećanje saliniteta, toksičnost, prekomjerna koncentracija dušika i dr.). Svakako, prije primjene te mjere na širem planu treba dobro proučiti lokalne prilike i pokusima utvrditi izvodljivost plana.

### *2.5.2.5. Postupak natapanja*

Nema nikakve sumnje da su opisane kemijske i fizičke mjere najdjelotvornije za povećanje vodopropusnosti. Kako te mjere zahtijevaju svake godine povećane troškove za materijal i radnu snagu, neprekidno se traga i za drugim mogućnostima poboljšanja infiltracijskih karakteristika tla, odnosno načina dovoda većih količina vode u zonu korijenova sustava. S tim u vezi i neke promjene u pogonu natapanja koje se navode dalje u tekstu mogu olakšati rješavanje problema.

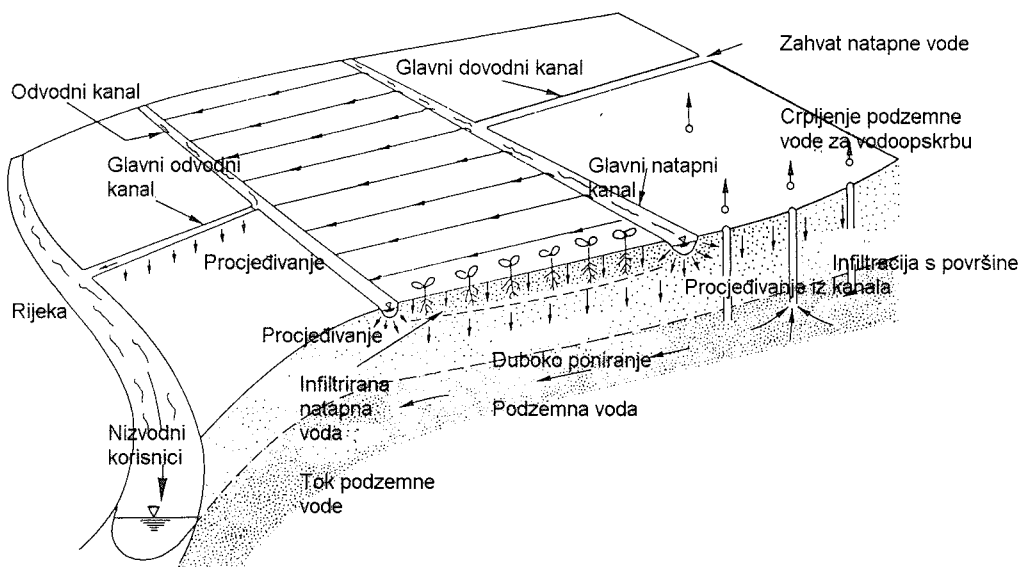
- a) Češće natapanje može povećati količinu vode koja dopire do glavine korijenja, a pogotovo u gornjem sloju.
- b) Natapanje prije sjetve može biti vrlo djelotvorno za punjenje soluma vodom jer može trajati neograničeno dugo bez štete za mlado bilje.
- c) Produženje trajanja natapanja s manjim modulom može također u nekim slučajevima biti korisno. Tako se može i štedjeti voda, ali površine moraju prethodno biti dobro pripremljene (izravnane) kako bi se osigurala ravnomjerna raspodjela bez viška vode.
- d) Pri složenijim slučajevima bit će nužno promijeniti način natapanja. Na primjer, ako je na pjeskovitom tlu izgrađena neka od površinskih metoda, trebat će je zamijeniti kišenjem kako bi bilo moguće uvijek natapati s bilo kojom učestalošću i intenzitetom. Suprotno tome, na teškome glinovitom tlu poboljšanje bi bilo zamjena površinskog natapanja nekom od varijanti lokaliziranog natapanja. Dakako, te promjene zahtijevaju značajne troškove pa prije poduzimanja bilo kakvih mjera problem treba razmotriti i analizirati sa svih stajališta.

## 2.6. NATAPANJE I UTJECAJ NA OKOLIŠ

### *2.6.1. Općenito*

Prirodni su izvori koji služe kao osnova za proizvodnju hrane na Zemlji, zbog neprekidnih povećanja zahtjeva, u mnogim krajevima dovedeni do gornje granice mogućeg korištenja tako da buduće povećanje mora biti usklađeno s održivim

razvojem u ovom području. Održivi razvoj u poljoprivredi organizacija FAO (1990.) definira: "Održivi razvoj u poljoprivredi znači upravljanje i zaštita bogatstva prirodne osnove i ustroj tehnoloških i institucionalnih promjena tako da se osigura postizanje i neprekidno zadovoljavanje ljudskih potreba za sadašnje i buduće generacije". Prekomjerno korištenje ("eksploatacija") nedostatnih prirodnih bogatstava i tome pridruženo zagađenje tla i vode, obično zbog neadekvatnog razvoja i bijede, dovodi do "stresa okoliša". Vrijeme je da se poduzmu i osiguraju gospodarski (financijski) i drugi uvjeti kako bi se zaštita tla i vode mogla uspješno provoditi i u tim - složenijim - prilikama.



**Sl. 2-14 Shematski prikaz tipičnoga natapnog sustava i njegove okoline (Kandiah, 1990.)**

Neprekidnim povećanjem proizvodnje hrane i drugih poljoprivrednih proizvoda, a pogotovo zbog upotrebe zaslanjenih i drugih voda niže kvalitete za natapanje, pojavljuje se veći broj mogućih negativnih utjecaja na okoliš te na gospodarske i društvene čimbenike društva. Ti činioci mogu imati dalekosežne negativne posljedice na život budućih generacija, a pogotovo na poljoprivredu, ako se na vrijeme ne poduzmu određene mjere.

Na slici 2-14 prikazan je tipični natapni projekt sa svim elementima okoliša i ekologije na koje je moguć nepoželjan utjecaj provedbe natapanja (Kandiah, 1990.).

Kao što se vidi, voda se dovodi na natapno polje kanalom. Dio (višak) vode skuplja se u odvodnoj mreži i odvodi u rijeku. Voda je niskog saliniteta, urod je dobar

i gospodarski učinak zadovoljavajući. Nema obrade otpadne vode; problemi se saliniteta i vodopropusnosti ne primjećuju. Međutim, ta djelatnost uzrokuje da:

- se na nizvodno ležećoj površini pojavljuje problem saliniteta i vodopropusnosti zbog pojave plitkoga vodopropusnog sloja prouzročena dubokim poniranjem odvodne vode;
- vodotok u koji se izlijevaju drenažne vode postaje zagađen solima i kemikalijama korištenim u poljoprivredi tako da nizvodno stanovništvo vodu ne može koristiti za piće;
- podzemna voda ispod natapne površine zagađuje se vodom koja duboko ponire (drenaža ne "hvata" svu količinu), i to svim materijama korištenim u poljoprivredi (soli, nitrati, bor, pesticidi i dr.). Time je ugrožena opskrba pitkom vodom u bunarima koji su tu locirani;
- kao posljedica zagađenja nizvodne površine (vode) mijenja se biljni i životinjski svijet koji je tu oduvijek postojao;
- vodene ptice koje su ranije tu obitavale na vlažnom tlu nestaju zbog otrovnosti selena sadržanog u vodi;
- ribiči i lovci koji se koriste za ishranu ribom i divljači s toga područja imaju ozbiljnih zdravstvenih tegoba zbog sadržaja selena u mesu;
- dovodni i odvodni kanali postaju leglo komaraca, što može dovesti do pojave malarije.

Ovaj hipotetički primjer ukazuje na brojnost mogućih problema okoliša, ekologije, zdravstva i sl. koji se ponekad mogu pojaviti pri neadekvatno planiranom i upravljanoj odvodnoj i natapnoj sustavu. Dakako, korištenje slane vode za natapanje uvelike bi pogoršalo stanje na terenu. Dakako, svi ti problemi ne mogu se u cijelosti izbjeći pri provedbi natapanja, ali se mogu bitno suziti, a poncki i eliminirati pri pravilno planiranom i održavanoj natapnoj sustavu.

Od ukupno mogućih opasnosti šteta po okoliš izazvanih natapanjem, posebno zaslanjenih voda, izdvojit ćemo četiri osnovne koje ćemo u nastavku ukratko obraditi. To su: smanjenje proizvodnosti tla (degradacija); zagađenje voda štetnim tvarima; oštećenje ekosustava te povećana opasnost za javno zdravlje.

### 2.6.2. Degradacija tla

Degradacija tla prouzročena intenzivnim natapanjem u najvećoj se mjeri manifestira u povećanju saliniteta i zabarivanju tla. Iako pouzdanih podataka o tome nema, procjene se kreću od 25 % (Postel, 1989.) do 50 % (Adams i Hughes, 1990.). Zemlje u kojima je taj problem najviše izražen jesu: Australija, Egipat, Indija, Irak, Kina, Meksiko, Pakistan, republike bivšeg SSSR-a, Turska i SAD. U tablici 2-17 dani su podaci za pet najugroženijih država.

*Procjena oštećenja tla natapanjem (zaslanjenje) za pet najugroženijih zemalja (Postel, 1989.)*

Tablica 2-17

Država	Oštećena površina (mil. ha)	Postotak od ukupno natapane površine
Indija	20,0	36
Kina	7,0	15
SAD	5,2	27
Pakistan	3,2	20
Bivši SSSR	2,5	12
Ukupno	37,9	24
Cijeli svijet	60,2	24

Najveće površine zaslanjenih tala pojavljuju se u aridnim i semiaridnim predjelima, i to u niskoležećim dolinama sa slabom prirodnom ili umjetnom odvodnjom. Zbog intenzivnog natapanja i visoke evapotranspiracije oslobadaju se velike količine soli i akumuliraju u podzemnoj vodi koja je često veoma visoka pa se odatle kapilarnim penjanjem dižu sve do površine tla.

Dakako, zaslanjenih je voda i tala na svijetu uvijek bilo, ali sve do unatrag 100 godina postojala je određena ravnoteža i zadržavao se kakav-takav "status quo". Intenzivan razvoj natapanja poremetio je ustaljenu ravnotežu pa su se problemi počeli javljati više-manje svugdje u svijetu s tendencijom stalnog rasta. Jedan od uzročnika takvu stanju jest i niska učinkovitost većeg broja natapnih sustava. Tako nije rijetkost da se manje od 60 % zahvaćene vode za natapanje troši na evapotranspiraciju (Jensen et al. 1990., Biswas 1990.). Znakovito je napomenuti da se i pri korištenju vode s relativno niskim salinitetom nakon višegodišnjeg natapanja može pojaviti znatna akumulacija soli u tlu. Sadašnja je tendencija u svijetu da se, zbog već započete "krize vode", za natapanje koriste vode niže kvalitete, a to znači otpadne i zaslanjene, pa se prema tome može očekivati već u bližoj budućnosti da će se taj problem još više zaoštriti. Svakako, za sada, jedini način da se smanje negativne posljedice tog problema jest povećanje učinkovitosti dovodne i razvodne natapne mreže (smanjenje gubitaka) te poboljšanje odvodnje (drenaže).

### 2.6.3. Zagađenje voda

Kao što je već spomenuto, višak natapne vode koja se dodaje tlu (ono što bilje ne koristi) prolazi ispod zone korijenja. Ta voda zajedno s procjednom vodom iz kanala često otapa soli koje se nalaze u tlu, čime joj se povećava koncentracija. U svom daljnjem toku, ta voda utječe u rijeke, jezera ili druga vodna nalazišta te ih zagađuje. Mogući dopunski izvori zagađenja tih voda jesu kemikalije korištene u poljoprivredi (gnojiva i pesticidi) koji povećavaju zagađenje prijemnika.

Da se minimizira negativni učinak drenažnih voda koje su prethodno obavile funkciju ispiranja viška soli u tlu, obavljani su u SAD-u opsežni pokusi na većem broju vodotoka o utjecaju veličine faktora (postotka) ispiranja na količinu soli u odvodnoj vodi. Primijenjene su tri veličine faktora ispiranja (0,1, 0,2, 0,3) i dokazano je da se smanjenjem tog faktora bitno smanjuje količina soli koju sadrži odvodna voda, a time snižuje opterećenje recipijenta. Na veličinu ispiranja soli bitno utječu i vremenske prilike (oborine, otjecanje i dr.), koje otapaju i odvođe soli.

Iz izloženoga se zaključuje da je tipično zaslanjivanje površinskih i podzemnih vodnih sustava prouzročeno prevelikim količinama derivirane vode za potrebe natapanja. Naime, najprije dio te vode, u postupku natapanja, kroz evapotranspiraciju povećava koncentraciju soli, zatim ta koncentrirana drenažna voda duboko ponire, dopunski otapa "geološke" naslage soli, pojavljuje se na površini, otječe u vodotoke i zagađuje (zaslanjuje) ih. To je tipična slika većine rijeka na svijetu u čijem se porječju natapaju velike površine tla i istovremeno odvođe velike količine drenažnih voda u vodotok.

#### *2.6.4. Ugrožavanje ekosustava*

Za sada ima još relativno malo prikupljenih podataka i spoznaja o opsegu šteta učinjenih ekosustavima, a izazvanih natapanjem zaslanjenim vodama. Problem je otežan i činjenicom da nije još razradena praktična metodologija i pripremljena sredstva za pouzdano praćenje takvih promjena, pogotovo u velikim natapnim sustavima.

Tipičan primjer korijenitih ekoloških promjena zbog razvoja poljoprivredne proizvodnje u zadnjih 150 godina jest San Joaquin Valley u Kaliforniji. Prije razvoja (natapa se oko 1,9 milijuna ha) ta je dolina bila habitat (močvare, šume, savane) brojnih i raznovrsnih biljnih i životinjskih vrsta kao što su: medvjed grizli, los, antilopa, jelen, vuk, guska, patka i mnogobrojne ptice selice, a u rijekama i potocima obitavale su pastirke, lososi i druge plemenite ribe. Sada, kada je površina močvarnih terena bitno smanjena (od 105.300 ha na samo 2.025 ha) i kada su se površine slatkovodnih jezera smanjile od 243.000 ha na samo 2.835 ha, u velikoj se mjeri izmijenila ekološka slika. Nadalje, zbog izgradnje velikog broja akumulacija i drugih riječnih građevina promjenio se režim voda u vodotocima, a razvoj natapanja povećao je salinitet riječnih voda i koncentraciju drugih nepoželjnih elemenata. Kao posljedica tako drastičnog smanjenja staništa pojedinih životinjskih vrsta bitno je smanjena populacija divljači i riba, a pojedine su endemijske vrste posve izumrle, dok su druge na rubu da to postanu. Da bi se koliko-toliko smanjio nepoželjan učinak zagađenih drenažnih voda na kvalitetu recipijenta, prije 20-ak godina započela je gradnja tzv. evaporacijskih bazena, tj. bazena za isparavanje drenažnih voda kako bi se spriječilo unošenje otrovnih materija u vodotoke. Međutim, kako su se vodom tih bazena služile ptice i druga divljač, ustanovljeno je da meso te divljači sadrži visoku koncentraciju selena i drugih štetnih elemenata pa je zaključeno da to nije rješavanje problema, a takve su se građevine počele zatvarati.



Nažalost, Kalifornija nije jedino mjesto na svijetu gdje je razvoj natapanja stvorio velike ekološke probleme. Na svijetu se sada koristi godišnje oko 3300 km<sup>3</sup> vode iz rijeka, jezera i podzemnih nalazišta za natapanje (Postel, 1989.) Takva je preraspodjela voda bitno poremetila ekološku ravnotežu. Velike površine močvarnih staništa nestale su zbog smanjenja učestalosti velikih voda i uredjenja vodotoka. Površinski su vodotoci zaslanjeni i zagadeni kemikalijama u upotrebi u poljoprivredi; razine podzemnih vodonosnih horizonata snizile su se zbog prekomjernog crpljenja, a ribe i vodene ptice sadrže opasne koncentracije otrovnih elemenata.

Jedan drugi primjer narušavanja ekološke ravnoteže, možda i najizraženiji na kugli zemaljskoj, odnosi se na Aralsko more u srednjecazijskim republikama bivšeg SSSR-a. Na tom je prostoru, u zadnjih 40-ak godina, natapna površina povećana na više od 7 milijuna hektara, i to uglavnom vodama rijeka Amudarija i Sirdarija. Kao posljedica toga, volumen mora smanjio se za dvije trećine, a salinitet se utrostručio. Sve su autohtone riblje vrste nestale, a vjetar sa suhoga morskog dna diže oko 43 milijuna tona pijeska i rasipa ga po okolnima plodnim poljima. Budućnost je ovog područja neizvjesna i sumorna, a rješenje se još ne nazire.

Zaštita i ponovno uspostavljanje prirodnih ekosustava zahtijeva dugogodišnja istraživanja, velike napore i prikladna rješenja u širokom rasponu znanstvenih područja. Možda će jedna od mjera biti i smanjenje korištenja vode za natapanje, ali u svakom slučaju usavršavanje načina upotrebe i zaštite vode, smanjenje dubokog poniranja te načina dispozicije otpadnih drenažnih voda. Ponovna upotreba drenažnih voda i korištenje zaslanjenih voda za natapanje svakako će doprinijeti tom rješenju. Da bi se to postiglo trebat će razviti nove sorte otpornog bilja na salinitet te nove metode upravljanja natapnim sustavima.

### *2.6.5. Utjecaj na zdravstvene prilike*

Kao što je poznato, ima veći broj zaraznih bolesti koje se šire prijenosnicima, tzv. vektorima, za čiji je razvoj potrebna voda, odnosno kod kojih se izvjesne faze razvoja organizirano odvijaju u vodi ili na vodi. S tim u vezi, razvoj natapanja s većim brojem građevina u kojima se doprema i skladišti voda (kanali, bazeni i sl.), upravo su idealna legla za nastanak i razvoj tih organizama. Stoga nije ni čudo što su se neke od tih bolesti u nekim krajevima svijeta počele naglo širiti gradnjom velikih natapnih sustava.

Od svih bolesti za čiji je razvoj nužno postojanje većih vodenih površina kao što su prirodna i umjetna jezera, močvare, mirne površine dovodnih kanala i sl., najznačajnije su malarija i shistosomijaza (bilharcijaza).

Malarija je dakako najznačajnija, najopasnija i najraširenija. Računa se da je u globalnim razmjerima malarijom ugroženo oko dvije milijarde stanovnika; oko 240 milijuna zaraženo je parazitom, a godišnje se od te bolesti liječi oko 100 milijuna stanovnika. Vektori su malarije komarci soja anopheles koji za dio svoga razvojnog ciklusa (larve) traže mirne, stajaće ili sporo gibajuće, relativno čiste vode. Izutetno, neke se vrste razvijaju u bočatim i otpadnim vodama.

Shistosomijaza je bolest koja je endemska u 76 zemalja svijeta, u kojima je oko 200 milijuna stanovnika zaraženo tim parazitom. Prenosilac te bolesti jest vrsta slatkovodnog puža koji je prilagođen na veći broj uvjeta okoliša, ali je najčešće raširen u slatkovodnim staništima uz obilje vegetacije i organske materije, što upućuje na zaključak da su mu natapni sustavi starijih generacija upravo idealno leglo.

Neovisno o naprijed navedenim uvjetima pod kojima se te zarazne bolesti mogu razvijati, u svijetu je zabilježeno mnogo slučajeva odstupanja od toga pravila tako da je praktički svaka otvorena vodena površina moguće leglo tih vektora. Posebno se to odnosi na loše projektirane i upravljane (održavane) odvodne sustave s lokvama i barama, stajace vode te zaraštene i rijetko čišćene kanale odvodne mreže. Zato je najučinkovitiji način da se eliminiraju te i slične bolesti uredno održavanje odvodnog i gradnja zatvorenog (cijevnog) natapnog sustava. Naime, treba nastojati da površina s otvorenim vodnim licem bude što manje.

## LITERATURA

1. FAO Water Quality for Agriculture. Irrigation and Drainage Paper 29, Rome 1985., pag. 174.
2. FAO The Use of Saline Waters for Crop Production, Irrigation and Drainage Paper 48, Rome 1992., pag. 133.
3. Kos, Zorko: Fizičke i kemijske osobine natapne vode. Vodoprivreda 20, 111-112 (1988/1-2), 39-50, Beograd.
4. Kos, Zorko: Kriteriji kvalitete vode za natapanje, Građevinar 40 (1988)7, 323-329, Zagreb.
5. Kos, Zorko: Iskustvo i standardi nekih zemalja u korištenju vode niže kvalitete za natapanje. Vodoprivreda 20, 116 (1988/6), 317-325.
6. Kos, Zorko: Hidrotehničke melioracije tla, Natapanje, udžbenik, Školska knjiga, Zagreb, 1987., str.216.
7. Kos, Zorko: Hidrotehničke melioracije tla, Kvaliteta vode za natapanje, udžbenik, Školska knjiga, Zagreb, 1991., str. 115.
8. Sailer, S. Ya: Irrigation Water Quality Requirements, Water International, Vol. 12, No 1., 1987., Urbana, USA.

## 3. UTJECAJ KVALITETE VODE NA OPREMU ZA NATAPANJE

*Doc. dr. Dragutin Gereš  
Javno vodoprivredno poduzeće  
"Hrvatske vode", Zagreb*

### 3.1. OPĆENITO

Kakvoća vode za natapanje je definirana određenim fizikalnim, kemijskim i biološkim svojstvima. Često je pitanje kakvoće vode zanemarivano, naročito u slučajevima u kojima je dobre, kvalitetne vode bilo dovoljno. Stanje se danas promijenilo u pogledu vodnih resursa pa se moraju koristiti vode slabije kakvoće. Pri planiranju sustava za natapanje mora se osigurati optimalna upotreba takvih voda.

Posebnu osjetljivost po pitanju kvalitete vode pokazuje lokalizirano natapanje. Začepljenje dovodnih cijevi, kapalica i ostale opreme u ovom načinu natapanja nastaje od fizičkog, kemijskog ili biološkog onečišćenja vode. Prije rješenja problema, ili njegovog smanjivanja, moraju se egzaktno utvrditi uzroci fenomena za svaki slučaj. Univerzalna rješenja problema ne postoje.

Suspendirane organske tvari kao i sedimenti neorganskog porijekla uzrokuju probleme u pogonu sustava za natapanje kao npr. smetnje u radu zapornica, rasprskivača (sprinklera) i kapalica u lokaliziranom navodnjavanju. Štete se mogu pojaviti na crpkama ako se suspendirane tvari i nanos ne otklone odgovarajućom rešetkom. Općenito, nanos ispunjava kanale za dovod vode te na taj način stvara probleme u održavanju. Nanos također smanjuje količinu infiltrirane vode, naročito u slabo propusnom tlu.

### 3.2. UZROCI ZAČEPLJENJA U SUSTAVU ZA LOKALIZIRANO NATAPANJE

Istraživanja su pokazala da je većina rješenja opreme i uređaja za lokalizirano natapanje kompromis između suprotnih tendencija malih otvora emitera, koji ispuštaju male količine vode - ispod kapaciteta upijanja vode tla, i velikih otvora, s

većim količinama vode i manjom vjerojatnošću začepljenja (Hillel, 1982.). Ovakvi kompromisi međutim nisu uvijek mogli riješiti probleme začepljenja.

Sustav za lokalizirano natapanje je projektiran tako da biljkama dostavlja vrlo male količine vode. Razumljivo je da voda mora proći kroz mikro otvore na kapalicama ili emiterima. Ukoliko voda nije čista pojavljuju se začepljenja. Ukoliko dođe do potpunog začepljenja kapalica tada se taj slučaj lako ustanovi. Međutim djelomično začepljenje kapalica se vrlo teško otkriva. Začepljenje emitera smanjuje jednolikost isporuke vode i izaziva veće troškove pogona, zbog većih potreba rada na pronalaganju mjesta začepljenja i otklanjanja poteškoća. Začepljenje emitera se može spriječiti ako se sustav ispravno planira i projektira (Gereš, 1994.). Ugradnja adekvatne opreme za sprečavanje začepljenja manje košta nego ispravljanje i dopuna opreme u kasnijim fazama. Potencijalne uzroke začepljenja treba utvrditi na vrijeme. Ti uzroci začepljenja mogu se utvrditi analizom kakvoće vode. Osnovni fizički, kemijski i biološki elementi koji doprinose začepljenju prikazani su u tablici 3-1, (Bucks i dr. 1979.). Često su navedeni faktori međusobno povezani, pa je tada problem potencijalnog začepljenja ozbiljniji. Na primjer, rast bakterijskog filma (sluzi) unutar distribucijskog voda i emitera uzrokuje dalje začepljenje kada se smanjuje protok vode i kada se suspendirane čestice prilijepe na bakterijsku sluz.

#### *Uzročnici začepljenja pri lokaliziranom natapanju*

*Tablica 3-1*

<b>Fizički (suspendirane tvari)</b>	<b>Kemijski (talog)</b>	<b>Biološki (bakterije i alge)</b>
1. pijesak	1. kalcijev ili magnezijev karbonat	1. vlaknaste alge
2. prah	2. kalcijev sulfat	2. sluz (film)
3. glina	3. hidroksidi teških metala, oksidi, karbonati, silikati i sulfati	3. mikrobiološko taloženje: a) željeza b) sumpora c) mangana
4. organska materija	4. gnojiva: a) fosfatna b) željezo, cink, bakar, mangan	4. bakterije
		5. mali akvatični organizmi: a) jaja puža b) larve

Preporučljivo je provesti kompletnu analizu vode prije projektiranja sustava za natapanje. Na taj se način može odrediti proces pročišćavanja vode. U slučaju korištenja površinske vode moguće su velike razlike u kvaliteti vode tijekom sezone. Zbog toga se radi niz analiza, kojima se utvrđuju varijacije u kvaliteti vode. Temeljem analiza vode mogu se odrediti i vrste detaljne opreme za različita razdoblja godine. Potrebne analize ovise o lokalnoj situaciji. Trošak analiza vode u odnosu na trošak lokaliziranog natapanja je vrlo malen. Preporučuje se provesti standardna ispitivanja, koja su prikazana u tablici 3-2.

### *Standardna ispitivanja kvalitete vode za lokalizirano natapanje*

*Tablica 3-2*

Red. broj	Naziv	Red. broj	Naziv
1.	Sadržaj soli (kationi i anioni)	8.	Mikroorganizmi
2.	Tvrdoća	9.	Željezo
3.	Suspendirane tvari	10.	Otopljeni kisik
4.	Ukupno otopljene tvari	11.	Sumporovodik
5.	Biološka potreba kisika - BPK	12.	Željezne bakterije
6.	Kemijska potreba kisika - KPK	13.	Bakterije koje reduciraju sulfate
7.	Organske i anorganske materije		

Kod korištenja površinskih voda za natapanje nužno je provesti analize označene pod brojem 1 do 4, jer većina problema dolazi od suspendiranih tvari i kemijskih taloga. Preporučljivo je provesti i analize označene brojevima 5 do 8, posebno u slučajevima ako se može pojaviti otpadna voda. Pri korištenju podzemne vode za natapanje potrebno je provesti analize označene brojevima 1 do 4 i 9 do 13, naročito ako je električna provodljivost  $EC_w > 1,0$  dS/m (deciSiemens po metru pri 25°C - ekvivalentno 1mmho/cm (milimho po centimetru)).

### 3.3. PROCJENA ZAČEPLJENJA OPREME

Ne postoji dovoljno iskustva u primjeni lokaliziranog natapanja pa se ne može precizno prognozirati da li će se pojaviti začepljenje i u koje vrijeme se to može dogoditi. Mogu se prikazati relativna mjerila u kojim slučajevima se problemi začepjenja pojavljuju. U narednoj tablici se prikazuje prva aproksimacija potencijalnih problema, ali podaci ne predstavljaju čvrste kriterije (Hillel, 1982.).

## Utjecaj kvalitete vode na moguće začepljenje kapalica (emitera)

Tablica 3-3

Mogući problem	Jedinica	Stupanj ograničenja pri korištenju		
		bez	mali do srednji	ozbiljan
Fizički				
Suspendirane tvari	mg/l	< 50	50 - 100	> 100
Kemijski				
pH		< 7,0	7,1 - 8,0	> 8,0
Otopljene tvari	mg/l	< 500	500 - 2000	> 2000
Mangan	mg/l	< 0,1	0,1 - 1,5	> 1,5
Željezo	mg/l	< 0,1	0,1 - 1,5	> 1,5
Sumporovodik	mg/l	< 0,5	0,5 - 2,0	> 2,0
Biološki				
Bakterije	max. broj/ml	< 10000	<10000 - 50000	> 50000

Glavni uzrok začepljenja kapalica su čvrste čestice u suspenziji vode, ali je to i najlakše rješivi problem. Suspendirane čestice se najčešće pojavljuju u površinskoj vodi, ali se mogu pojaviti i u podzemnoj vodi. Suspenzija se sastoji od čestica tla različitih dimenzija, vapna, algi i erodiranog materijala iz akumulacije. Čestice teže od vode mogu se otkloniti filtracijom ili taloženjem. Najstarija i najjeftinija metoda je taloženje u taložnicama. Ovaj način ne može osigurati traženu kvalitetu vode. Filtracija vode je povoljnija metoda. Danas je moguće nabaviti razne vrste filtera. Postoje i tipovi filtera koji se automatski čiste, čime je znatno smanjena opasnost od začepljenja (Kos, 1991.).

Kemijsko taloženje, npr. vapna ( $\text{CaCO}_3$ ) i fosfata ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ), također može biti uzrok začepljenja opreme, posebno kapalica. Proces je spor i teško se otkriva. Visoke temperature vode ili visoke vrijednosti pH su obično uzročnici ovih problema. Do taloženja dolazi zbog prevelikog sadržaja kalcijevog karbonata ili magnezijevog karbonata. Željezo može biti uzročnikom taloženja u slučaju kada u dodiru s kisikom oksidira u netopljive željezovite oblike.

Taloženje kalcija iz vode može se predvidjeti, iako još ne postoji praktična metoda za ocjenu ozbiljnosti problema taloženja, jer proces ovisi o više faktora. Prva aproksimacija taloženja kalcija radi se proračunom saturacijskog indeksa Langeliera (citirano po Ayers, 1985.). Nakon dostizanja točke saturacije kalcija, uz prisustvo bikarbonata, vapno ( $\text{CaCO}_3$ ) se taloži iz otopine. Saturacijski indeks se definira kao razlika stvarne vrijednosti pH vode ( $\text{pH}_s$ ) i teorijske pH ( $\text{pH}_t$ ), kojeg voda može imati ako je u ravnoteži s  $\text{CaCO}_3$ .

$$S.I. = \text{pH}_s - \text{pH}_t$$

Pozitivna vrijednost indeksa ( $\text{pH}_s > \text{pH}_t$ ) ukazuje na tendenciju taloženja  $\text{CaCO}_3$  iz vode, a negativna vrijednost indeksa ukazuje da će voda otopiti  $\text{CaCO}_3$ . Vrijednosti  $\text{pH}_s$  dobijaju se laboratorijskim istraživanjem, a vrijednosti  $\text{pH}_t$  se određuju prema

podacima iz tablice 3-4. Sve vode s pozitivnim saturacijskim indeksom mogu izazvati probleme taloženja u sustavu za lokalizirano natapanje te se moraju predvidjeti preventivne mjere.

### *Primjer*

Voda za natapanje ima  $\text{pH}=7,7$ ;  $\text{Ca}=3,65$  me/l;  $\text{HCO}_3=3,80$  me/l i ukupne soli 8,23 me/l ( $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Na}$ ). Teorijski  $\text{pH}$  je 7,4 pa je saturacijski indeks:  $7,7-7,4=0,3$ , što ukazuje na mogućnost taloženja karbonata. Ako se  $\text{pH}$  reducira na 7,0 dodavanjem kiselina tada saturacijski indeks postaje -0,4 i neće doći do taloženja.

### *Proračun teorijske vrijednosti $\text{pH}_t$*

*Tablica 3-4*

Koncentracija (me/l)	$\text{pK}_2-\text{pK}_c$	$\text{pCa}$	$\text{p(Alk)}$
0,05	2,0	4,6	4,3
0,10	2,0	4,3	4,0
0,25	2,0	3,9	3,6
0,50	2,1	3,6	3,3
0,75	2,1	3,4	3,1
1,00	2,1	3,3	3,0
4,00	2,2	2,7	2,4
6,00	2,2	2,5	2,2
8,00	2,3	2,4	2,1
10,00	2,3	2,3	2,0
20,00	2,4	2,0	1,7
50,00	2,5	1,6	1,3
80,00	2,5	1,4	1,1

$$\text{pH}_t = (\text{pK}_2 - \text{pK}_c) + \text{pCa} + \text{p(Alk)}$$

$\text{pK}_2 - \text{pK}_c$  se dobije iz koncentracije ( $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Na}$ ) u me/l

$\text{pCa}$  se dobije iz  $\text{Ca}$  u me/l

$\text{p(Alk)}$  se dobije iz koncentracije ( $\text{CO}_3+\text{HCO}_3$ ) u me/l

me/l = miliekvivalent po litri (mg/l : ekvivalentna težina).

$\text{pH}$  - negativni logaritam koncentracije vodikovih iona

$\text{K}_c$  - konstanta elektrolitičke disocijacije

$\text{K}_2$  - konstanta disocijacije drugog stupnja

$\text{pK}$  - mjera za jakost nekog elektrolita, odgovara negativnom logaritmu konstante disocijacije

$\text{pCa}$  - negativni logaritam koncentracije kalcijevih iona

$\text{p(Alk)}$  - negativni logaritam koncentracije alkaličnosti



Označeni izraz dobiven je primjenom zakona o djelovanju masa, koji je temeljni zakon za reakcije u stanju kemijske ravnoteže: omjer produkata koncentracija tvari koje stupaju u reakciju i tvari koje nastaju pri reakciji kod dane temperature konstantan je i naziva se konstanta ravnoteže (K). Kod elektrolitičke disocijacije (ionizacija molekula) K je konstanta disocijacije.

Teža je procjena potencijalnog začepljenja od željeza. Željezo doprinosi razvoju željezovitih bakterija, koje u obliku sluzave mase doprinose začepljenju. Podaci iz tablice 3-3 su maksimalne vrijednosti. U kombinaciji s ostalim uzročnicima začepljenja, količina željeza od 0,5 mg/l predstavlja veliki problem, npr. ako ukupni sulfidi prelaze 2 mg/l.

### 3.4. SANACIJA ZAČEPLJENIH EMITERA

Sanacija djelomično začepljenih emitera može se provoditi s uspjehom, kako pokazuju rezultati istraživanja (Hillel, 1982.). Tako se npr. može otkloniti bakterijska sluz superklorinacijom od 1000 mg/l, međutim mora se voditi računa da se zaštite biljke. Manja količina sluzi i neznatna redukcija u količini vode otklonjeni su upotrebom 250 mg/l klora u trajanju od najmanje 12 sati. Ovaj način nije opasan za biljke. U slijedećem slučaju sanirani su emiteri začepljeni s biološkom sluzi tretiranjem sustava u trajanju od 24 sata s 100 mg/l klora s dodatkom sumporne kiseline u cilju spuštanja pH na 2.

Protok se povećao na 90 % do 95 % projektirane, a prije sanacije redukcija je bila 50%. Nakon sanacijskog tretmana stalno je dodavano 1 mg/l klora pri pH 7.

### 3.5. SPREČAVANJE ZAČEPLJENJA

U cilju sprečavanja taloženja najbolje rješenje je poduzimanje preventivnih mjera za smanjivanje ili eliminaciju začepljenja opreme i emitera. Preventivno održavanje uključuje filtraciju vode, kontrolu na polju, ispiranje cijevi i kemijski tretman vode. Suštinske aktivnosti jesu kontrola na polju i filtracija vode. Ispiranje pomaže smanjenju taloženja, a kemijski tretman vode održava za dulje vrijeme sustav u dobroj kondiciji (Doneen, 1984.).

#### *Filtracija vode*

Za određivanje parametara filtracije vode - izbor tipa, veličine i kapaciteta filtera, mora se poznavati kvaliteta vode i vrsta opreme i emitera. Potrebno je uvažiti preporuku proizvođača opreme o stupnju filtracije. Ukoliko ne postoje takve preporuke koristi se pravilo da je otvor zadnjeg filtera (sita) jedna desetina promjera otvora emitera. Ukoliko je nužno mogu se dva ili više filtera povezati u seriji. Filterska jedinica dimenzionira se najmanje 20 % većeg kapaciteta od potrebnih

količina vode. Isto se postupa s veličinama crpki - predviđa se rezervni tlak i kapacitet za ispiranje filtra i ispiranje mreže. Najuoobičajeniji su mrežasti filtri (čelik, plastika i sintetičke tkanine). Mrežasti filtri, kao i ostali tipovi moraju se redovno čistiti i kontrolirati, kako bi davali projektirane učinke.

Filtri s ispunom sastoje se od finog šljunka i pijeska određene granulacije, koji su smješteni u tlačnoj posudi. Ovi filtri otklanjaju relativno velike količine suspendiranog nanosa. Uklanjaju čestice od 25 do 100  $\mu\text{m}$ . Iza svih vrsta filtera mogu se postaviti i sekundarni filtri.

Separatori pijeska, hidrocikloni ili centrifugalni filtri otklanjaju čestice veće od 75  $\mu\text{m}$ , međutim oni su neefikasni za većinu organskih tvari. Separator pijeska se obično postavlja ispred filtra.

Taložnice, lagune ili akumulacije otklanjaju velike količine pijeska i praha. Ovi objekti se normalno koriste kao predtretman pročišćavanja površinke vode. Mora se kontrolirati rast algi u objektima.

### *Kontrola na polju*

Sistematska kontrola je nužna da bi se otkrili nedostaci u pogonu: slaba protoka u emiterima, procurivanje iz cijevi i ostali nedostaci opreme. Dobro održavanje opreme uključuje čišćenje filtera i tjednu inspekciju sustava.

Začepljenje emitera, procjeđivanje iz cijevi i ostali nedostaci mogu se kontrolirati na vodomjerima. Dijeljenjem kumulativne protoke s vremenom pogona utvrđuje se protoka u sustavu. Kada dođe do promjene u veličini protoke više od 10 % mora se kontrolirati cijeli sustav.

### *Ispiranje mreže*

Zatvarači za ispiranje mreže se moraju predvidjeti na kraju primarnih i sekundarnih dovoda te na krajevima lateralnih cijevi. Lateralni dovodi se mogu ispirati automatski ili na ručni pogon. Automatski rad se predviđa u slučajevima kada voda za natapanje sadrži velike količine praha, gline ili bioloških tvari. Preporučuje se ispiranje dovoda vode najmanje svakih šest (6) mjeseci u slučaju natapanja voćnjaka a na početku, u sredini i na kraju svake sezone za kulture u redovima (Bucks i dr., 1979.) U početku rada sustava potrebno je češće ispiranje mreže. Pri ispiranju nužno je postići brzinu tečenja najmanje 0,3 m/s.

### *Kemijski tretman vode*

Sumporna i klorna kiselina se uobičajeno upotrebljavaju za smanjivanje kemijskog taloženja. Fosforna kiselina se može koristiti za tretman vode i kao gnojivo. Klorinacija je primarni način za kontrolu mikrobioloških aktivnosti. Tekući i čvrsti klor imaju alkalnu reakciju s vodom pa se može javiti potreba da se vodi dodaje kiselina, ako natapna voda ima visoki pH. Plinski klor, s druge strane, uzrokuje kiselu reakciju s vodom, pa se vodi ne mora dodavati kiselina. Prilikom korištenja klora mora se mjeriti rezidualni klor. To je višak aktivnog klora, iznad potrebne količine za uništenje bakterija. Uobičajene doze klora prikazane su u tablici 3-5.

### *Količine klora za kontrolu razvoja organizama*

*Tablica 3-5*

<b>Vrsta organizama</b>	<b>Količina - obrok klora</b>
Alge	0,5 - 1,0 mg/l neprekidno ili 20 mg/l za 20 min
Sumporovodik	3,5 - 9,0 puta sadržaj sumporovodika mg/l
Željezovite bakterije	1,0 mg/l u ovisnosti o broju bakterija
Sluz	0,5 mg/l neprekidno

Postoje i alternativne kemikalije za kontrolu bakterija i algi: akrolajn, soli bakra, vodikov peroksid, jodin i neke amonijeve soli (Hillel, 1982.).

## 3.6. INJEKTIRANJE KEMIKALIJA ZA TRETMAN VODE

Kemikalije za tretman vode kao kiseline, algicidi, baktericidi i dr., mogu se injektiranjem dodavati vodi za natapanje, Uobičajeni način injektiranja otopine kemikalija u vodi je pomoću tlačne crpke s mjeračem. Može se koristiti vakum injektor. Krajnja koncentracija za tretman vode je općenito niska, između 0,5 i 10 mg/l. Koncentracija se rutinski određuje nakon prolaza otopine kroz primarni filter a prije ulaska u primarni cjevovod. Povremeno se vrši mjerenje koncentracije na kraju laterala da bi se ustanovilo da li je kemikalija utrošena u sustavu.

Kiseline i klorne komponente moraju se uskladištiti odvojeno, preporučljivo je čuvati ih u plastičnim ili staklenim posudama - tankovima. U pripremi razrijeđenih otopina kemikalije se dodaju vodi a nikad se ne smije postupiti obrnuto. Radnici moraju imati zaštitnu odjeću i zaštititi lice pri radu s kemikalijama. Pri upotrebi plinskog klorinatora moraju se instalirati sigurnosni uređaji.

## LITERATURA

1. Ayers, R. S., Westcot, D. W.: Water Quality for Agriculture. FAO Irr. and Drain P. 29, rev. 1, Rome, 1985.
2. Bucks, D. A., Nakayama, F. S., Gilbert, R. C.: Trickle Irrigation Water Quality and Preventive Maintenance. Agricultural Water Management 2 (1979): 149-162.
3. Doneen, L. D., Westcot, D. W.: Irrigation Practice and Water Management. FAO Irr. and Drain. P. 1, rev. 1, Rome, 1984.
4. Gereš, D.: Lokalizirano natapanje. Priručnik za hidrotehničke melioracije, II kolo, knjiga 3, str. 163-178, Rijeka, 1994.
5. Hillel, D.: Advances in Irrigation, Vol. 1. Academic Press, New York, 1982.
6. Kos, Z.: Hidrotehničke melioracije tla - kvaliteta vode za natapanje. Školska knjiga, Zagreb, 1991.

---

## 4. KVALITETA VODE ZA STOČARSTVO I RIBOGOJSTVO

*Prof. dr. Zorko Kos  
Građevinski fakultet  
Sveučilišta u Rijeci*

### 4.1. UVOD

Ova je tema uvrštena u ovaj rad zbog toga što vrlo često natapni kanali i druga izvorišta natapne vode ujedno služe i kao napajališta za stoku ili se pak vode iz natapne mreže upotrebljavaju za potrebe stočarstva, peradarstva ili ribogojstva. Zbog toga će se u nastavku najprije dati kratak prikaz potreba za vodama za ovu namjenu, a zatim standardi kvalitete.

Stočarstvo i ribogojstvo jesu vrlo značajna privredna grana u sklopu osiguranja odgovarajućih prehrambenih proizvoda za ljudsku ishranu te nužnih sirovina za prehrambenu i ostale industrije. Oni su od najstarijih vremena i bitan faktor u razvoju ljudskog društva pa će, u to nema sumnje, to i ostati makar u nešto izmijenjenom obliku.

Sadržaj je vode u tijelu životinja relativno konstantan i kreće se u rasponu od 68 do 72 %. Ta se vrijednost ne može bitnije mijenjati bez nepoželjnih posljedica za životinju. Voda se troši na izlučine, a jedan dio i na rast kod mladih životinja. Izlučine čine urin, znoj, isparavanje i drugo, ali i korisni sekreti kao što su mlijeko i jaja. Bilo koja mjera ili uzročnik koji utječe na promjenu količine tih izlučina istovremeno djeluje na promjenu (povećanje) minimalnih potreba za vodom dotičnog grla.

### 4.2. POTREBE ZA VODOM ZA STOKU

Iako su gotovo u svakom udžbeniku ili priručniku iz vodoopskrbe neki podaci o potrebama za vodom za razne kategorije stoke, malo kritičnijim pogledom utvrdit ćemo da su to najčešće orijentacijske vrijednosti koje variraju u širokom rasponu. Nažalost, pouzdanijih podataka novijih istraživanja za pojedine specifične prilike i uvjete ima jako malo. U nastavku ćemo navesti neke raspoložive podatke.

R. Samavka u udžbeniku *Opskrba vodom*, izdavača Geodetskog fakulteta, Zagreb, 1975. godine, navodi da "u scoskim naseljima za domaćinstva koja drže

stoku, za čišćenje i piće po danu i po komadu stoke, bez čišćenja štala" vrijede podaci iz tablice 4-1.

Isti autor navodi da se za čišćenje gospodarskih dvorišta može planirati 1-2 l vode na dan po m<sup>2</sup> površine. Slični se podaci mogu naći u još nekoliko udžbenika koji su izdani u državama bivše Jugoslavije. Tako se u knjizi N. N. Abramov, Snabdijevanje vodom, Građevinska knjiga, Beograd, 1974. osim uobičajenih podataka daje i struktura norme potrošnje za jednu mliječnu kravu, koja se sastoji od količine vode za:

- spremanje hrane (stočne hrane)	4
- napajanje	35
- pranje stoke	18
- pranje prostorija	4
- pranje posuda i muznih uređaja	19
Ukupno:	80 l/dan

#### *Potrošnja vode za stoku*

*Tablica 4-1*

Vrsta stoke	l/dan/kom.
krupna stoka (konji, krave i dr.)	50-75
sitna stoka (ovce, svinje, koze)	10-15
perad - 10 kom.	3-5

Američka nacionalna akademija znanosti izdala je 1974. godine preporuku o normativima za očekivanu potrošnju vode raznih vrsta odraslih domaćih životinja, prosječne težine, za prilike umjerenoga klimatskog pojasa. Te se vrijednosti prikazuju u tablici 4-2.

#### *Normativi potrošnje vode za stoku (Prema Američkoj nacionalnoj akademiji znanosti)*

*Tablica 4-2*

Vrsta stoke	l/dan/kom.
točno govedo	26-66
mliječno govedo	38-110
konji	30-45
svinje	11-19
ovce i koze	4-15
kokoši	0,2-0,4
purani	0,4-0,6

Kako se može očekivati, podaci raznih izvora razlikuju se donekle. To se ponajprije odnosi na razlike u tehnologiji uzgoja te uvjete u kojima su odnosni podaci dobiveni.

### 4.3. KVALITETA VODE ZA STOKU

Istraživanja kvalitete vode za stoku i ostale domaće životinje provodili su Leitch i Thomson (1944.) te kasnije Sykes (1955.). Dakako, ima još veći broj istraživanja u okviru raznih instituta i u sklopu određenih programa.

Općenito uzevši, u vodi se nalazi veći broj kemijskih elemenata koji su nužni za pravilan uzgoj stoke. Ako količina tih minerala ne zadovoljava potrebe stoke, razlika se može podmiriti kroz hranu. S druge pak strane, ako životinja u pitkoj vodi konzumira jedan ili više minerala u količini većoj od gornje dopustive granice, dolazi do trovanja.

Najčešće razmatrani pokazatelj kvalitete vode za napajanje stoke odnosi se na salinitet, obično izražen kao ukupne otopljene soli. Treba naglasiti da su gotovo sva istraživanja uputila na velik raspon gornjih granica tolerancije. Smatra se da uzrok leži u većem broju mogućih faktora od kojih su najznačajniji: vrsta stoke, starost, spol, breadavost, laktacija, eventualni težak fizički rad te klimatske prilike.

Sovjetski propisi daju ove normative za dopušteni sadržaj soli u vodi za napajanje stoke (izraženo kao isparni ostatak).

#### *Dopušteni sadržaj soli u pitkoj vodi za stoku prema propisima bivšeg SSSR-a*

*Tablica 4-3*

Vrsta stoke	Dopušteni sadržaj soli (mg/l)
rogata stoka	2400
svinje	1200
konji	1000
ovce	5000

S druge pak strane, Američka nacionalna akademija znanosti publicirala je 1974. godine preporuku za mogućnost korištenja zaslanjenih voda za napajanje stoke i peradi koja se prikazuje u tablici 4-4.

Novija istraživanja koja se odnose na podobnost upotrebe podzemnih voda za napajanje stoke izraženu u obliku gornje granice dopustive koncentracije otopljenih soli, publicirao je Pallas (1985.), a prikazana su u tablici 4-5.

Prema istraživanjima Australijskog savjeta za vodoprivredu, magnezij je najvažnija komponenta vode za stoku koja može biti otrovna i na koju treba obratiti pozornost. Savjet je izradio i objavio standarde koji se navode u tablici 4-6.



*Preporuke za korištenje zaslanjenih voda za napajanje stoke i peradi**Tablica 4-4*

<b>Otopljene soli (ukupno mg/l)</b>	<b>Komentar</b>
manje od 1000	Ove vode imaju relativno nizak sadržaj soli i ne bi trebale izazvati ozbiljnije neprilike za bilo koju vrstu stoke ili peradi.
1000-2999	Vode ovog saliniteta trebale bi biti zadovoljavajuće za sve vrste stoke i peradi. Mogu izazvati povremene i lagane dijareje kod stoke koja nije naviknuta na takve vode ili pak vodenu kapljivost kod peradi (naročito kod gornje granice), ali to neće utjecati na zdravlje i napredovanje.
3000-4999	Ove se vode mogu bez štete upotrijebiti za stoku, iako mogu izazvati povremenu dijareju ili ih pak na početku odbija stoka koja na njih nije naviknuta. To su vode slabe kvalitete za perad. često izazivaju proljev i (kod gornje granice saliniteta) povećanu smrtnost i smanjen prirast, naročito kod purana.
5000-6999	Ove se vode mogu upotrijebiti uz osrednji uspjeh za mliječna i tovna goveda, ovce, svinje i konje. Treba izbjegavati upotrebu voda na gornjoj granici saliniteta za bređa i mliječna grla. Nisu prikladne za perad jer gotovo uvijek izazivaju neki problem, osobito u području gornje granice, kada se po pravilu javlja smanjen prirast i proizvodnja te povećana smrtnost.
7000-10000	Ove su vode neprikladne za perad i vjerojatno za svinje. Znatno se rizik može pojaviti ako se napajaju bređe ili mliječne krave, konji, ovce, naročito mlada grla ili ako se životinje nalaze u toplim predjelima. Općenito uzevši, ove vode treba izbjegavati, iako ima primjera da ih stariji preživaju, konji, pa čak i perad i svinje mogu izdržati duže vrijeme, ako nisu podložni stresovima.
više od 10000	Rizik je primjene voda ovako visokog saliniteta tako visok da se ne mogu preporučiti u bilo kakvim uvjetima.

**Najveća dopustiva koncentracija soli u podzemnoj vodi koja se može upotrijebiti za napajanje stoke**

Tablica 4-5

Stoka	Otopljene soli (ukupno mg/l)
perad	2800
svinje	4300
konji	6400
goveda (mliječna)	7100
goveda	10000
odrasle ovce	12800

**Preporuka gornjih granica koncentracije magnezija u vodi za napajanje stoke**

Tablica 4-6

Stoka	Koncentracija magnezija	
	mg/l	me/l
perad	< 250	< 21
svinje	< 250	< 21
konji	250	< 21
krave (mliječne)	250	< 21
ovce s janjcima	250	< 21
junad	400	33
odrasle ovce na suhoj hrani	500	41

Određen broj elemenata koji se gotovo uvijek nalaze u vodi malokad izazivaju probleme jer se pojavljuju u niskoj koncentraciji. Kao primjer mogu se navesti željezo, aluminij, bor, bakar, mangan, cink. S druge pak strane, opasnim se elementima smatraju olovo, živa i kadmij jer se mogu nakupiti u vodi u koncentraciji koja je otrovna i mogu se zatim akumulirati u mesu, mlijeku, jajima i drugim sastojcima, što ih može činiti nepodobnim za ljudsku ishranu. U tablici 4-7 navode se gornje granice dopustive koncentracije nekih elemenata i spojeva koji mogu biti otrovni ako se nalaze u vodi za napajanje stoke i peradi.

Bishop (1959.) i Gorham (1964.) utvrdili su da su neke vrste plavo-zelenih algi otrovne za stoku. Gorham spominje šest vrsta otrovnih algi od kojih su najmanje dvije opasnog stupnja. Zbog toga, radi opreznosti treba izbjegavati vode u kojima intenzivno rastu alge.

U praksi se najčešće nailazi na probleme izazvane sadržajem fluorida željeza, nitrata ili sumporovodika. Fluor zapravo i nije toksičan, već izaziva probleme na zubima i kostima. Ako se već mora upotrijebiti voda s visokim sadržajem fluora,

onda je poželjno povremeno koristiti se alternativno drugom vodom, pogotovo za mlađa grla koja nisu tako otporna kao odrasla.

**Dopustiva koncentracija nekih elemenata  
i spojeva u vodi za napajanje stoke**

*Tablica 4-7*

Element ili spoj	Dopustiva gornja granica koncentracije u mg/l
arsen	0,2
barij	nije utvrđeno
kadmij	0,05
krom	1,0
kobalt	1,0
bakar	0,5
cijanidi	nije utvrđeno
fluoridi	2,0
željezo	nije utvrđeno
olovo	0,1
mangan	nije utvrđeno
živa	0,01
molidben	nije utvrđeno
nikal	1,0
nitrat - N	100
nitrit - N	10
vanadij	0,1
salinitet	vidi tablicu 4-4
cink	25,0

Problem sadržaja otrovnih elemenata i tvari intenzivira se ako se i krma, odnosno pašnjaci natapaju istom vodom koja može biti potencijalno toksična. U tom se slučaju otrovne materije koncentriraju u hrani pa se zbrajaju s onima iz vode. Često se to događa sa selenom.

Trovanje stoke zbog prisutnosti nitrata ili nitrita u vodi nije zabilježeno ako su se poštivala ograničenja navedena u tablici 4-7. To, međutim, ne znači da visoka koncentracija nitrata izaziva određene probleme. To se ponajprije odnosi na intenzivan rast algi, koje pak izazivaju probleme druge vrste (toksini: plavo-zelene alge). Kontrola razvoja alga može se provesti upotrebom bakarnog sulfata, i to u vrlo niskoj koncentraciji (oko 1 mg/l), ali pritom treba voditi brigu o tome da se ne izazovu drugi problemi.

## 4.4. KVALITETA VODE ZA RIBOGOJSTVO

Od svih vrsta slatkovodnih riba, kojih kod nas ima oko 100, umjetno se uzgajaju šaran (*Cyprinus carpio*), som (*Silurus glanis*), smud (*Lucioperca sandra*), karas (*Carrassius vulgaris*) i linjak (*Tinca vulgaris*). Šaran je ipak najznačajniji i najzastupljeniji od svih vrsta. Nastava nizinske rijeke, a voli mir, sunce, toplinu i obilje hrane. Najbolje mu odgovara temperatura vode od 16 do 25°C. U tim granicama, što je temperatura viša, to se brže tovi.

Šaranski se ribnjaci najčešće označuju kao topli, za razliku od ribnjaka za uzgoj salmonida (pastreve) koji se smatraju hladnima, jer se temperatura vode u njima kreće u rasponu od 11 do 16°C.

U svijetu je na snazi još uvijek jako malo standarda kvalitete vode namijenjene ribogojstvu te se najčešće primjena određene vrste vode vezuje s klasifikacijom kvalitete površinskih voda (rijeke, jezera, more) koju kod nas donosi uredbom Hrvatska vlada. Prema klasifikaciji koja je u nas još uvijek na snazi, a donijelo ju je Savezno izvršno vijeće, sve se površinske vode bivše Jugoslavije u ovisnosti o fizičkim, kemijskim, biološkim i radioaktivnim svojstvima svrstavaju u četiri razreda (Sl. list bivše SFRJ br. 6/78), od kojih vode I razreda odgovaraju standardu za uzgoj plemenitih vrsta riba (salmonide), a vode II razreda za uzgoj ostalih vrsta riba (ciprinide).

Serijska ispitivanja voda nekih akumulacija na području Gorskog kotara iz 1971. i 1972. godine, provedena u svim godišnjim dobima, pokazala je ove rezultate osnovnih kemijskih parametara:

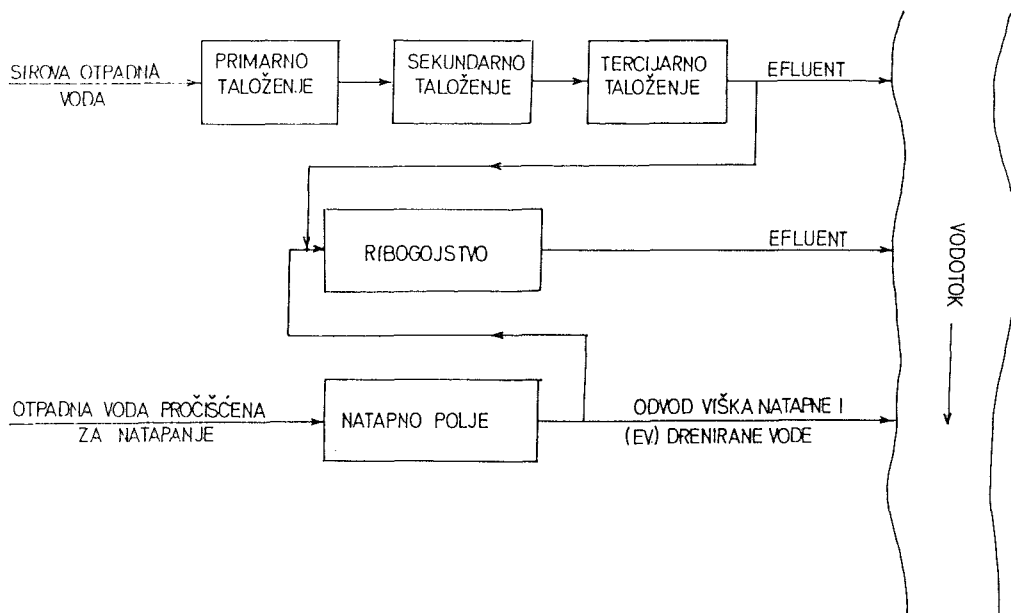
*Tablica 4-8*

Pokazatelj	Jezero Bajer		Omladinsko jezero	
	min.	max.	min.	max.
O <sub>2</sub> mg/l	9,76	12,80	8,80	14,92
CO <sub>2</sub> mg/l	2,03	8,69	3,05	3,68
pH	6,7	8,7	6,5	9,0
NO <sub>3</sub> mg/l	0,01	0,03	0,01	0,05
PO <sub>4</sub> mg/l	0,008	0,82	0,005	0,53
Ca mg/l	17,86	32,16	14,29	-
Mg mg/l	9,97	13,87	8,67	-
KMnO <sub>4</sub>	9,62	16,85	8,79	-

Uspoređujući zajedničke pokazatelje iz spomenute Uredbe o klasifikaciji voda i navedene rezultate istraživanja u akumulacijama Gorskog kotara (otopljeni kisik, pH te kemijska potrošnja kisika), lako se može uočiti da te vode pripadaju prvom razredu kvalitete uz izuzetak nekoliko rezultata koji se nalaze između prvog i drugoga.

### 4.4.1. Neki specifični aspekti upotrebe otpadnih voda u ribogojstvu

Što se tiče upotrebe otpadne vode za ribogojstvo, u svijetu već postoji neko iskustvo s takvim vodama nakon tercijarnog taloženja. Na temelju tih iskustava preporučuje se gradnja posebnih laguna za potrebe ribogojstva uz primjenu bilo otpadnih voda gradske kanalizacije bilo već upotrijebljene vode za natapanje, već prema vrsti (prehrani) uzgajane ribe. Svakako je preporučljivo odvojiti uređaje za kondicioniranje otpadne vode (taloženje) od ribnjaka kako bi se, prema potrebi, u ribnjacima mogla dodavati odgovarajuća hranjiva ili druga sredstva. To također omogućuje prekid dovoda otpadne vode prije izlova, što se obično radi četiri do šest tjedana prije.



Sl. 4-1 Moguće sheme upotrebe otpadne vode u ribogojstvu

#### 4.4.1.1. Problemi okoliša

Da bi se uspješno razvijao neki sustav akvakulture, mora se uspostaviti ravnoteža kako pojedinih vrsta organizama radi osiguranja prehrane na svim razinama života, tako i odgovarajuća kemijska ravnoteža, odnosno dovoljno kisika za rast riba i svodenje na minimum nakupina otrovnih metaboličkih proizvoda (Colman i Edwards, 1987.).

Utvrđeno je da je sniženje koncentracije otopljenog kisika u gnojnim ribnjacima posljedica visoke potrošnje kisika na disanje u noćnim satima od guste koncentracije fitoplanktona. Romaine et al. (1978.) preporučili su ovu formulu za bilanciranje u praskozorje otopljenog kisika (OK) u ribnjacima hranjenim otpadnom vodom.

$$OK_{pr} = OK_{su} \pm OK_{df} - OK_m - OK_r - OK_p$$

U ovoj jednadžbi pojedini indeksi označuju:

- pr - koncentracija OK u praskozorje (zoru)
- su - koncentracija OK u suton (sumrak)
- df - gubitak ili dobitak OK difuzijom
- m - OK potrošen od mulja
- r - OK potrošen od riba
- p - OK potrošen od planktona

U dobro upravljanim ribnjacima koji se koriste otpadnom vodom koncentracija otopljenog kisika ujutro treba biti samo nekoliko mg/l, dok u predvečerje mora biti hipersaturiran kisikom. Glavni je izvor kisika u vodi fotosinteza fitoplanktona, dok se noću najviše kisika troši na disanje. Prema Edwardsu (1990.) fitoplankton je ujedno i glavni izvor hrane u azijskim ribnjacima.

Pomor riba u ribnjacima hranjenih otpadnom vodom može se svesti u ove tri grupe:

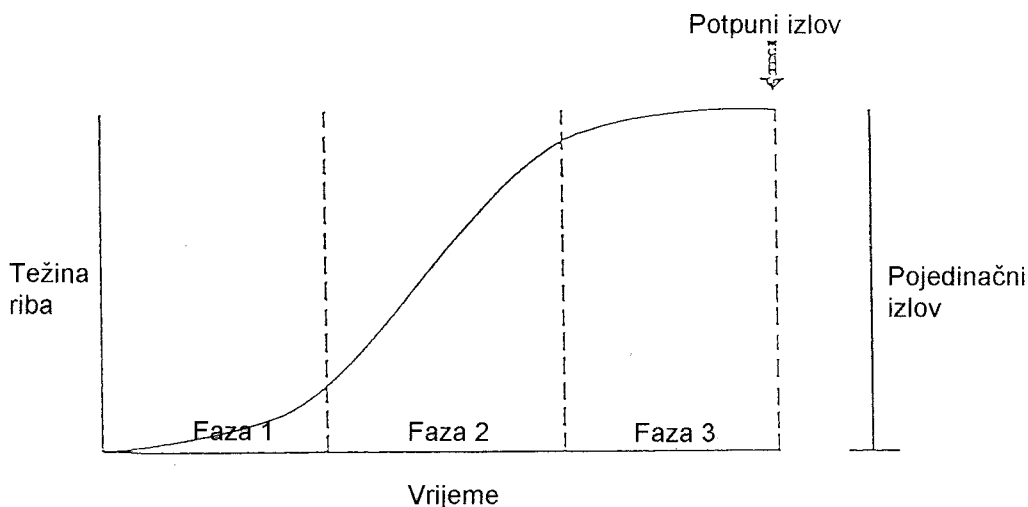
- sniženje koncentracije kisika zbog povećane potrošnje bakterija izazvane povećanjem organske materije;
- sniženje koncentracije noću zbog povećane potrošnje na disanje fitoplanktona (prekomjerna količina fitoplanktona - neuravnotežena količina mikroorganizama);
- visoka koncentracija amonijaka u otpadnoj vodi.

Osjetljivost riba na veličinu koncentracije kisika ovisi o vrsti, uzrastu (jajašca, larve, odrasle jединke) i životnim procesima (prehrana, rast, reprodukcija). Općenito se smatra da koncentracija od 5 mg/l može zadovoljiti u svim slučajevima, ali prema Alabaster i Lloyd (1980.), vjerojatni apsolutni minimum leži čak ispod 1 mg/l (za kraće vrijeme). Ako pak potrebe nalažu, u nekim slučajevima može se kisik dodavati u vodu i mehaničkim putem.

#### 4.4.1.2. Upravljanje ribnjacima i uzgoj

Raspoloživi podaci ukazuju na širok raspon količine uzgojene ribe u ribnjacima koji se koriste otpadnim vodama. Tako se spominje godišnji urod od 2 do 6 t/ha u Indoneziji, 2,7-9,3 t/ha u Kini, 3,5-7,8 t/ha na Tajvanu, itd. Glavnina riblje populacije uzgajane na taj način odnosi se na šarana, ali ima više primjera uzgoja i drugih vrsta. Dakako, o načinu upravljanja ribnjakom uglavnom ovisi i urod, ali se smatra da je gornja granica oko 10-12 t/ha godišnje (Edwards, 1990.).

Na slici 4-2 grafički je prikazan tijek rasta riba u ribnjacima, i to težine u ovisnosti od vremena rasta. Ukupno vrijeme uzgoja može se podijeliti u tri faze. U prvoj fazi riblji mlad sporo povećava težinu pa se može primijeniti veća gustoća po jedinici površine. Faza 2 ima najintenzivniji rast pa se na kraju jedinke približavaju maksimalnoj (zreloj) težini, odnosno onoj težini pri kojoj daljnji uzgoj nije rentabilan zbog nesrazmjera između utrošene hrane i povećane težine. Prirast je u trećoj fazi najsporiji, dijelom i zbog toga što je opterećenje ribnjaka doseglo gornju granicu kapaciteta. Da bi se povećao urod, često se pristupa, na kraju druge faze, djelomičnom izlovu, čime se smanjuje gustoća i povećava raspoloživost hrane po jedinki.



Sl. 4-2 Ciklusi razvoja riba (Edwards, 1990.)

Prema tome, da bi postigao optimalan prinos u ribnjacima hranjenim otpadnom vodom, treba utvrditi kapacitet ribnjaka i maksimalno trajanje uzgoja. To se postiže variranjem količine otpada i utvrđivanjem maksimalne proizvodnje prirodne hrane koja se može dobiti vodom određene kvalitete tijekom cijeloga razvojnog ciklusa. Gustoća riba ovisi o kapacitetu ribnjaka i zahtijevanoj težini jedinki pri izlovu, a prema ovom odnosu:

$$\text{Gustoća riba (broj/ha)} = \text{kapacitet ribnjaka (kg/ha)} / \text{težina jedinki kod izlova (kg)}$$

Iskustvo pokazuje određeno ograničenje količine uzgoja riba u ribnjacima koji se koriste otpadnom vodom. Da bi se povećao prinos, treba dodavati hranu bogatu energijom, npr. žitarice, mekinje, peletiziranu krmu i sl.

#### 4.4.1.3. Utjecaj ribnjaka s otpadnom vodom na zdravlje ljudi

Pri planiranju upotrebe otpadne vode za napajanje ribnjaka, treba svakako onemogućiti dispoziciju otrovnih materija u gradske otpadne vode. Međutim, u cijelosti je gotovo nemoguće to spriječiti pa se suočavamo s problemom prisustva u efluentu teških metala i pesticida. To dovodi do problema bioakumulacije kada se otpadna voda koristi u akvakulturi. Ustanovljeno je da alge mogu u svom organizmu akumulirati teške metale (osim žive), ali za ribe nije još dokazano da se u njima akumuliraju te otrovne materije. Iako još uvijek ima malo prikupljenih podataka o tome, općenito se smatra da će držanje riba tijekom nekoliko tjedana prije izlova u bazenima s čistom vodom otkloniti preostale mirise iz mesa riba i očistiti ih od patogenih klica.

Ribe uzgajane u kućnim otpadnim vodama ili u ribnjacima gnojnim izmetom mogu biti zaražene bakterijama i virusima pa postoji potencijalni izvor prijenosa infekcije kada se ribe jedu sirove ili nedovoljno kuhane. Nakon pregleda cjelokupne dosadašnje dokumentacije o tom predmetu Strauss (1985.) dao je ove preporuke:

- vjerojatno se prodor bakterija u mišićno tkivo riba pojavljuje kada koncentracija koliformnih organizama i salmonele prijeđe prag od  $10^4$  i  $10^5$  u 100 ml.;
- opasnost od prodora u tkivo povećava se s povećanjem vremena kontakta riba sa zaraženom vodom;
- mala je vjerojatnost akumulacije crijevnih mikroorganizama i patogenih klica u jestivom dijelu ribljeg tkiva kada je koncentracija koliformnih mikroorganizama u vodi ispod  $10^3$  u 100 ml.;
- čak i u vodama niskog stupnja zaraze, može se pojaviti visoka koncentracija zaraznih klica u probavnom traktu riba;
- primijećen je također i prodor klica u slezenu, bubrege i jetru.

S obzirom na malobrojna ispitivanja utjecaja primjene otpadne vode u ribnjacima provedena do tada, Znanstvena radna grupa za upotrebu pročišćene otpadne vode u poljoprivredi i akvakulturi Svjetske zdravstvene organizacije mogla je na svom skupu 1989. dati samo ograničene preporuke u tom pravcu. Ta se preporuka svodi na to da se granica određuje kao geometrijski prosjek koliformnih bakterija od  $\leq 10^3$  u 100 ml. Nadalje, s obzirom na moguće razrjeđenje otpadne vode, ista grupa preporučuje da se postupak razrjeđenja ili pročišćavanja provede do granice od  $10^3$  do  $10^4$  fekalnih koliforma u 100 ml. Na taj bi se način osiguralo neprodiranje patogenih klica u mišićno tkivo, ali s mogućnošću da se klice akumuliraju u probavnom traktu. To može, pak, prouzročiti zarazu ako se kod pripreme ribe za jelo ne poduzmu sve potrebne higijenske mjere. Posebno treba istaknuti da se meso ribe mora dobro skuhati (ispeći).

Buras et al. (1985., 1987.) obrađivali su također tu problematiku i dali preporuku klasifikacije kvalitete ribe uzgajane u ribnjacima uz uporabu otpadne vode kao



hraniva na osnovi sadržaja ukupnih acrobnih bakterija u tijelu riba. Naime, oni polaze od pretpostavke da ako su te bakterije prisutne u tijelu ribe, onda postoji velika vjerojatnost za prisutnost i patogenih mikroorganizama. Njihove su preporuke prikazane u tablici 4-9.

*Bakteriološka kvaliteta riba uzgajanih u ribnjacima s upotrebom otpadne vode*

*Tablica 4-9*

<b>Ukupna koncentracija aerobnih bakterija u mesu ribe (bakterija/g.)</b>	<b>Kvaliteta riba</b>
0 - 10	vrlo dobra
10 - 30	osrednja
> 50	nezadovoljavajuća

## LITERATURA

1. Abramov, N.N.: Snabdevanje vodom, Građevinska knjiga, Beograd, 1974.
2. FAO Water Quality for Agriculture. Irrigation and Drainage Paper 29, 1985., Rome pag 1-174.
3. FAO Wastewater Treatment and Use in Agriculture. Irrigation and Drainage Paper 47, Rome, 1992., pag 1-125.
4. Kos, Zorko: Korištenje otpadnih voda za natapanje, Građevinar 41 (1989.) 8, 389-393.
5. Kos, Zorko: Kvaliteta voda za stočarstvo i ribogojstvo. Vodoprivreda 22, 125-126. (1990./3-4), 495-498.
6. Kos, Zorko: Hidrotehničke melioracije tla. Natapanje, udžbenik, Školska knjiga, Zagreb, 1987., str. 216.
7. Kos, Zorko: Hidrotehničke melioracije tla, Kvaliteta vode za natapanje, udžbenik, Školska knjiga, Zagreb, 1991., str. 115.
8. Margeta, Jure: Opskrba vodom, I dio. Građevinski institut, FGZ Split, 1985.
9. \*\*\* Mogućnost iskorištavanja jezera "Vode" u sportske ribolovne svrhe. Institut za ribarstvo, Zagreb, 1975.
10. Sarnavka, R.: Opskrba vodom, Geodetski fakultet, Zagreb, 1975.
11. Saenz, R.: Use of Wastewater Treated in Stabilization Ponds for Irrigation - Evaluation of Microbiological Aspects, Water Quality Bulletin, Vol. 12, No 2, 1987.
12. Sailer, S.Ya: Irrigation Water Quality Requirements, Water International, Vol. 12, No 1, 1987., Urbana, USA.
13. Shuval, N., J.: Wastewater Reuse for Irrigation: Evaluation of Health Standards, Water Quality Bulletin, Vol. 12, No. 2, 1987., Ontario, Canada.
14. Prost, A.: Health Risks Stemming for Wastewater Reutilization: Water Quality Bulletin, Vol. 2, No. 2, 1987., Ontario, Canada.

---

## 5. RASPOLOŽIVOST VODE U REPUBLICI HRVATSKOJ

*Doc. dr. Dragutin Gereš  
Javno vodoprivredno poduzeće  
"Hrvatske vode", Zagreb*

### 5.1. UVOD

Život na Zemlji nije moguć bez vode. Voda je sastavni dio svih živih organizama, regulator i nosilac izmjene materija i temperature, prirodno stanište u kojem i oko kojega se životinje i biljke mogu naseljavati, održavati i razvijati. Jednako je tako važna uloga vode u osiguravanju gospodarske egzistencije ljudi. Voda je bitan faktor u poljoprivrednoj i industrijskoj proizvodnji. Praktično u svim gospodarskim djelatnostima sudjeluje voda, bilo kao sirovina ili kao pomoćna materija bez koje se ne mogu odvijati procesi. U razvoju i prehrani svih živih bića i biljnih kultura posebno je uloga vode fundamentalna u dva aspekta: voda je najprije konstitutivni element, zatim se nalazi u kombinaciji s elementima u tlu i u atmosferi; voda je također prijenosno sredstvo koje dovodi biljkama minerale i nutritijente iz tla, to je vegetativna voda. Za uzgoj biljnih kultura potrebne su znatne količine vode. Potrošnja vode u m<sup>3</sup> po toni proizvoda iznosi: za kukuruz 800, pšenicu 900, suncokret 1.700, šećernu repu 200, povrće oko 300, lucernu 700, itd. Izraženo visinom stupca vode, to iznosi od 250 do 800 mm.

Ako se te količine usporede s količinom oborina u razdoblju od šest mjeseci aktivne vegetacije, može se uočiti nedostatak vode od oborina za razvoj biljaka. U istočnom je dijelu Hrvatske prosječna visina oborina za vegetacijsko razdoblje 386 mm. Od te količine jednu polovinu apsorbiraju biljke, a druga polovina ispari, otječe površinski ili se infiltrira u tlo. Naravno, biljke koriste i zimsku vlagu iz tla pa se u normalno vlažnim godinama postižu normalni prirodni. U sušnim godinama potrebno je osigurati vodu za natapanje ako se žele postići normalni prirodni. U jadranskom je dijelu Hrvatske nestašica vode još jače izražena.

Voda za natapanje mora se osigurati u dovoljnoj količini i mora biti odgovarajuće kvalitete. U klimatskim uvjetima Hrvatske radi se o dopunskom natapanju u svrhu povećanja prirodne i njegova ujednačavanja. Voda za natapanje može se osigurati korištenjem površinskih voda ili korištenjem podzemnih voda.

Površinske vode nalaze se u vodotocima i jezerima i ima ih u većim količinama. Kako se često događa da raspoloživa količina vode ne zadovoljava potrebe biljaka za

vrijeme vegetacijskog razdoblja, potrebno je graditi akumulacijske prostore koji prikupljaju vodu iz zimskog razdoblja. To se događa u vodotocima koji imaju oborinski režim. Količina vode u vodotocima snježnog režima odgovara potrebama natapanja. Podzemna voda koristi se putem zdenaca, arteških zdenaca, galerija i sl. Potrebna je energija da se podzemna voda podigne na površinu sustava za natapanje.

Pomanjkanje slatke vode jest česta tema znanstvenih skupova o budućnosti čovječanstva, koji najavljuje krizu vode kao glavni problem u idućem stoljeću. Za to ima niz razloga koji se mogu svrstati u tri grupe: bilanca vode i hidrološki ciklus, raspodjela vode po područjima i potrošnja vode. Sveopće prisustvo vode u svima čovjekovim aktivnostima uz ograničenost raspoloživih vodnih resursa čini pitanja gospodarenja vodama složenim i delikatnima. Cilj je ovog poglavlja analizirati stanje vodnog bogatstva u Hrvatskoj. Metoda je rada regionalna analiza. Vodna bogatstva Hrvatske nisu ravnomjerno raspoređena. Njihova raspodjela ovisi o klimatskima, topografskim, hidrološkim i drugim karakteristikama (Gereš i sur. 1995.)

## 5.2. OPĆI PODACI

Republika Hrvatska ima površinu kopna 56.538 km<sup>2</sup> i površinu obalnog mora 33.200 km<sup>2</sup>. Po popisu iz 1991. godine ima 4.784.265 stanovnika.

Republika Hrvatska pruža se u obliku luka od Dunava na sjeveroistoku do Savudrije u Istri na zapadu i Boke Kotorske na jugu.

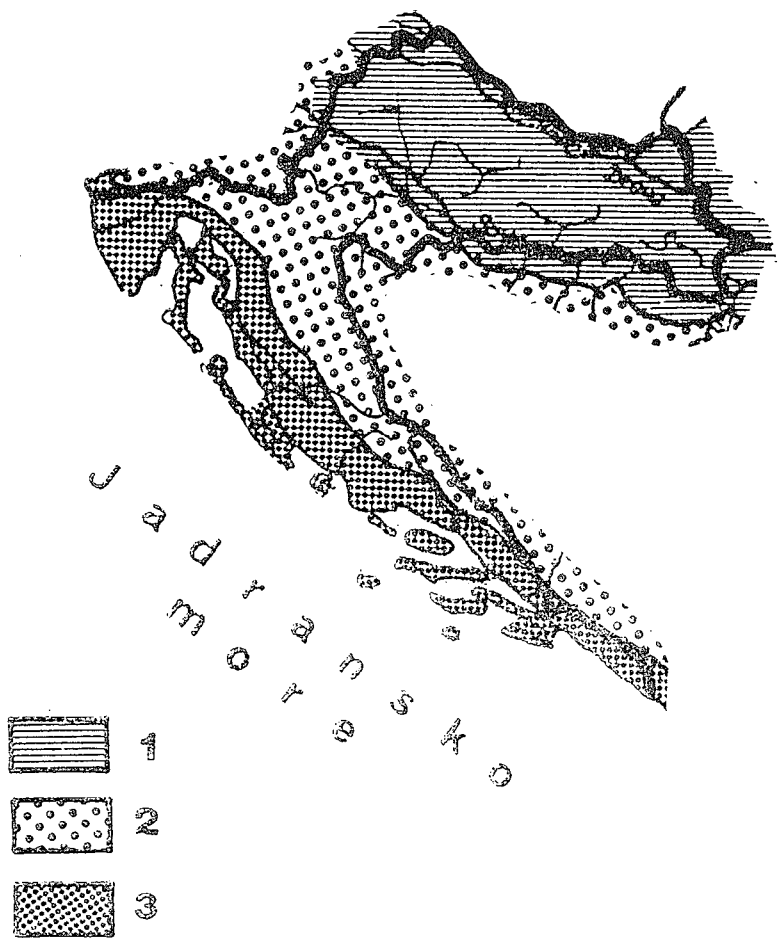
### 5.2.1. *Reljef i geomorfološke osobine*

Oko 53 % površine Hrvatske opada na nizine do 200 m.n.m., 25 % teritorija na brežuljkaste terene visine između 200 i 500 m, a približno 20 % površine zauzimaju krajevi iznad 500 m visine. Međutim, i ovdje ima dosta izravnjenih površina, npr. polja u Lici na visinama između 500 i 700 m. Iako je znatnim dijelom brdska i gorovita zemlja, Hrvatska nema ni jedan planinski vrh viši od 1.900 m nadmorske visine. Istočna Hrvatska nije u svim dijelovima izrazito nizinski kraj jer se pravi panonski predjeli pružaju na zapad do obronaka slavonskih gora i nešto dalje na zapad ravnica uz rijeke Savu i Dravu. Požeška kotlina i zavala središnje Hrvatske jesu tektonska udubljenja koja također imaju svojstva nizinskih krajeva. Žumberačka gora, Ivančica i Medvednica jesu planine sjeverno od Save koje su više od 1.000 m. Lika se sastoji od nekoliko kotlina međusobno odvojenih uzvišenjima. Polja su na nadmorskoj visini između 500 i 700 m. Gorski je kotar u prosjeku najviši dio Hrvatske, a krajevi do 500 m visine nalaze se u dolini Kupe i rubnoj Ogulinskoj zavali. Najviše planine nalaze se na prijelazu iz kontinentalnih krajeva u primorje - Risnjak, Velika Kapela, Dinara (1.831 m), Plješćivica ili neposredno uz more - Učka, Velebit i Biokovo. Hrvatska obala Jadranskog mora ubraja se među

najrazvijenije u Europi. Najveći poluotoci jesu Istra i Pelješac. Otoka, grebena i hridi ima više od tisuću.

Područje Hrvatske u geomorfološkom pogledu pripada euroazijskom reljefnom sustavu. Razlikovati se mogu tri geomorfostrukturne cjeline:

- gorski sustav Dinarida
- panonska zavalata
- jadranska međugorska zavalata.



Slika 5-1 Panonsko, brdsko-planinsko i primorsko područje

Prema glavnima vanjskim morfološkim procesima područje Hrvatske pretežito pripada riječno-erozijskoj (fluvioerozijskoj) oblasti umjerenog pojasa, koje karakterizira dolinski i nizinski reljef. Velika područja, više od 35 % teritorija Republike, obilježena su vapnenačko-dolomitiskim sustavom, gdje je oblikovan specifični krški i riječno-krški reljef.

U Hrvatskoj razlikujemo šest tipova reljefa: nizinski, ravnjački ili zaravanski, brdski, gorski i planinski. Gorski i planinski masivi oblikovani su tektonskim izdizanjem tijekom alpske orogeneze. Tako su nastali planinski sustav Dinarida i "otočne" gore i zavale u panonskom prostoru. Prevladavaju vanjski procesi: riječna erozija, padinski, krški, riječno-krški, abrazijski itd. pa otuda i denudacijsko-tektonski reljef. Masivi gorja Panonske zavale jesu dijelovi panonske mase izdignuti rasjedima tijekom tercijara i kvartara. Tragove tektonskog smirivanja sustava Dinarida čine razine zaravnavanja u vapnencima i predgorske stepenice.

Pobrda, podgorske stepenice ili sedimenti, lesne zaravni, polja u kršu i udoline u flišu pripadaju tipu denudacijsko-akumulacijskog reljefa dolinskog obilježja. U sklopu Panonske zavale oblikovane su lesne zaravni, predgorske stepenice i pobrda, a u dinarskom području fišne udoline, pobrda, predgorske stepenice, zavale i polja u kršu.

Akumulacijsko-tektonski reljef najraspostranjeniji je u panonskom bazenu. Bazeni i zavale oblikovane su spuštanjem i vanjskim akumulacijskima geomorfološkim procesima: riječnima, colskima, jezerskima, padinskima, riječno-ledenjačkima. Prevladava nizinski reljef neznatnih nagiba različitog podrijetla: riječnog, riječno-jezersko-močvarnog i riječno-colskoga.

Podmorje je Jadranskog mora međugorska zavala između gorskih sustava Dinarida, Apenina, Alpa i Helenida. Zavala je oblikovana dizanjem morske razine za približno 100 m nakon ledenog doba.

### *5.2.2. Geološki sastav i građa*

Na području Hrvatske ima stijena svih triju skupina:

- magmatske stijene (graniti i bazalti) pokrivaju manje od 1 % površine
- sedimentne ili taložne stijene pokrivaju više od 95 % površine
  - a) klastične: nevezane, poluvezane i vezane
  - b) karbonatne: vapnenci i dolomiti
- metamorfne ili izmijenjene stijene pokrivaju 2-3 % površine: kristalasti škriljavci, gnajsovi i rijetko mramori.

U panonskom području prevladavaju starije (prekambrij i paleozoik) i mlade (neogen, kvartar) stijene, i to magmatske, metamorfne i klastične, a u krškom području stijene srednje (mezozoik, paleogen) starosti, pretežito karbonatne.

Osnovne su značajke strukturne građe pretežito radijalna tektonika - normalni rasjed kroz neogen i kvartar u panonskome te tangencijalna tektonika - reversni rasjed i navlake kroz paleogen i neogen u krškom području.

### *5.2.3. Klimatske prilike*

U Hrvatskoj prevladavaju umjerene klimatske prilike s izražena sva četiri godišnja doba. Ljeta nisu prevruća, izrazite su zimske hladnoće rijetke, proljeće i jesen jesu

ugodna i dobro izražena godišnja doba. Na takve klimatske prilike utječe veći broj čimbenika - umjerena zemljopisna širina u prevladavajućem utjecaju zapadnih oceanskih zračnih masa, položaj Hrvatske uz toplo Jadransko more, blizina kopnenih masa Afrike s juga, otvorenost kontinentalnog dijela Hrvatske prema sjeveru i planinska barijera duž morske obale. Značajne su činjenice da je veći dio Hrvatske u zavjetrini Alpa i odvojenost panonske zavale od primorja uskim gorskim pragom. U primorskom pojasu i na otocima klima je mediteranska, koju obilježavaju blage i vlažne zime i topla ljeta. U Zagori je klima submediteranska, u kojoj su zime nešto hladnije i ljeta toplija. Godišnje su količine oborina u primorju dovoljne, ali zbog propusne podloge - krš na vapnencima i dolomitima - te nepovoljnoga godišnjeg rasporeda javljaju se poteškoće u vodoopskrbi. Niži dijelovi gorske Hrvatske imaju osobine pretplaninskog podneblja, a najviši krajevi značajke planinske klime. Tu su temperature najniže, a Gorski kotar i Velebit imaju najveće količine oborina u Hrvatskoj. Snijeg se zadržava na tlu 50-60 dana, a na najvišim planinama više od 100 dana. Sjeverni i istočni dijelovi Hrvatske imaju umjerenu kontinentalnu klimu, razlike se ogledaju u smanjenju vlažnosti i povećanju godišnje temperaturne amplitude od zapada prema istoku. Ljeta su topla, ali nisu suha kao u primorju. Snijeg se zadržava na tlu 25-40 dana u godini.

#### 5.2.4. Srednje temperature

Modifikatorski su utjecaji reljefa i nadmorske visine na zimske srednje temperature zraka (u siječnju) vrlo veliki. Jasna je razlika između panonskoga, planinskog i jadranskog dijela, a veliki je utjecaj toploga Jadranskog mora. U panonskoj su zavali i rubnim dijelovima razlike u temperaturama male, raspodjela im je jednostavna, a niža je temperatura značajka viših dijelova - gora. U unutrašnjosti je srednja dnevna temperatura zraka u siječnju između -2 i 0 °C, a samo je na višim gorama temperatura niža od -2 °C. U primorju je temperatura viša od 0 °C, sjevernije od Šibenika 4-6 °C, južno od Šibenika viša od 6 °C. Siječanjska izoterma od 8 °C zahvaća otoke srednje i južne Dalmacije. U Zagori su temperature niže od 4 °C, na planinama ispod 0 °C. Zimi je česta pojava inverzija temperature koja nastaje zbog zadržavanja hladnijeg i težeg zraka najčešće u kotlinama, riječnim dolinama i pojasiima u kršu. Siječanjske su jutarnje temperature niže od poslijepodnevniha za 2-3 °C u primorju i za 3-5 °C u unutrašnjosti.

Reljef i nadomske visine ljeti su još izraženiji modifikator temperatura zraka nego zimi. Relativno su male razlike između spranjskih temperatura u primorju i kontinentalnom dijelu Hrvatske. U sjevernim i istočnim dijelovima Hrvatske srednje su dnevne temperature između 20 i 22 °C, u primorju i na otocima iznad 23 °C, u Zagori između 20 i 22 °C, a samo su iznad 500 m nadmorske visine manje od 20 °C. Srednja dnevna temperatura zraka dobiva se kao presjek triju mjerenja: u 7, 14 i 21 sat. Razlike između jutarnjih i poslijepodnevniha temperatura mogu biti znatne: u primorju 3-5 °C, u kontinentalnom dijelu 7-9 °C.



Promatrajući raspodjelu siječanjских i srpanjskih temperatura uočava se da se godišnje temperaturne amplitude povećavaju od južnoga prema sjevernom Jadranu i od obale prema unutrašnjosti. Najveće su razlike u istočnim dijelovima Hrvatske: 23-24 °C, a najmanje na otocima južne Dalmacije: 15-16 °C.

## 5.3. OBORINE

### 5.3.1. Srednje godišnje količine oborina

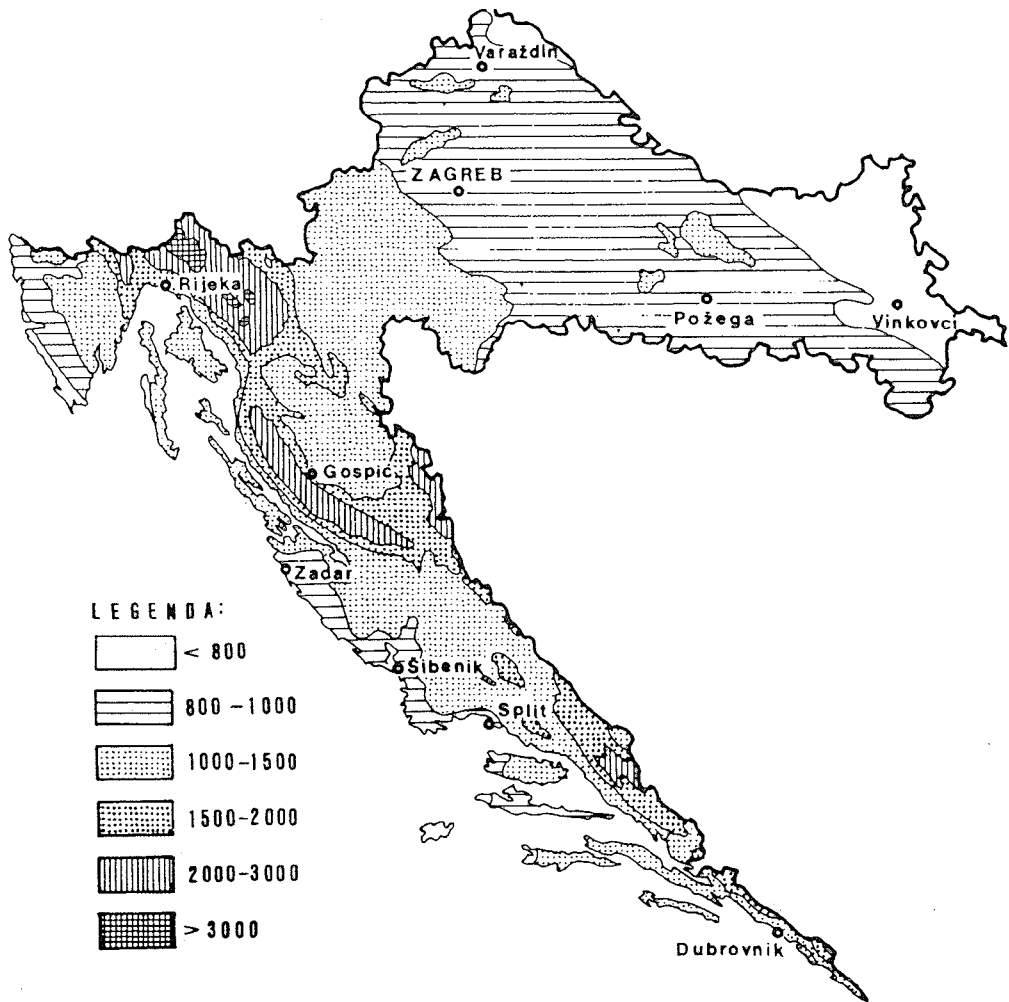
Vlažne zračne mase dolaze na područje Hrvatske sa zapada i juga pa je alpsko-dinarski planinski niz važna barijera na kojoj se kondenzira znatan dio te vlage. Zato se svaka planina količinom oborina ističe u odnosu prema nižim okolnim krajevima. Izuzme li se utjecaj reljefa, u ostalim krajevima može se registrirati prilično pravilan raspored godišnje količine oborina. U kontinentalnom dijelu količina oborina smanjuje se prema istoku, a u primorju od juga prema sjeveru. Približavanjem od vanjskih otoka prema obali, količina se oborina povećava.

Prema godišnjem režimu oborina razlikuju se dva osnovna područja u Hrvatskoj:

1. Područje sjeveroistočno od crte Karlovac-Sisak-Dvor: tu vlada kontinentalni režim s nešto većom količinom oborina (55-60 %) u toplijem dijelu godine i s maksimumom u svibnju ili lipnju te minimumom u siječnju, veljači ili ožujku.
2. Područje zapadno i južno od spomenutog pravca: u tom dijelu Hrvatske prevladavaju oborine u hladnijoj polovici godine (duge ciklonske kiše u primorju), a njihov udio raste do 80% u južnoj Dalmaciji. Najviše oborina padne u primorju u listopadu i studenom na sjeveru, odnosno studenom i prosincu na jugu. Najsušniji su mjeseci srpanj i kolovoz. Gorska je Hrvatska također pod utjecajem primorskog režima, ali ljeta nisu suha jer ti krajevi imaju dovoljno oborina od orografskih kiša. Količine oborina tijekom godine iznose oko 1.000 mm u obalnom pojasu, 1.000 - 1.500 mm u zaleđu primorja, do 2.000 mm u Lici i Gorskom kotaru (ali na višim planinama više od 3.000 mm), u kontinentalnom dijelu Hrvatske 800 - 1.200 mm na sjeverozapadu i manje od 800 mm na istoku. Udio snijega u ukupnoj količini oborina iznosi između 5 i 20 %, ali je mnogo važnije vrijeme njegova zadržavanja na tlu.

### 5.3.2. Godišnja količina vode od oborina

Srednja godišnja količina oborina u Hrvatskoj kreće se između 650 i 3.500 mm. Prostorni je raspored oborina prilično neujednačen.



*Slika 5-2 Srednja godišnja količina oborina na području Hrvatske (Mayer, 1996.)*

Mayer (1996.) izračunao je srednju godišnju količinu vode od oborina za područje Hrvatske. Planimetriranjem površina između dviju susjednih izohijeta s detaljne karte izohijeta iz Planerskog atlasa Hrvatske 1974. godine i množenjem površina s odgovarajućom srednjom godišnjom oborinom, dobivene su ukupne količine voda. Proračun je prikazan u tablici 5-1.

*Godišnja količina voda od oborina u Hrvatskoj**Tablica 5-1*

Srednja godišnja količina oborina mm	Površina km <sup>2</sup>	Godišnja količina voda 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
600 - 800	7.462	5.370,3
800 - 900	16.135	13.714,7
900 - 1000	8.090	7.685,5
1000 - 1250	13.480	15.165,0
1250 - 1500	5.780	7.947,5
1500 - 2000	3.170	5.368,7
2000 - 3000	2.421	6.303,7
<b>Ukupno</b>	<b>56.538</b>	<b>61.555,4</b>

Na području Hrvatske padne godišnje 61.555 milijuna m<sup>3</sup> vode od oborina ili prosječno 1.088 mm, što po stanovniku iznosi 12.860 m<sup>3</sup>.

*5.3.3. Regionalizacija teritorija Hrvatske**Homogene oborine*

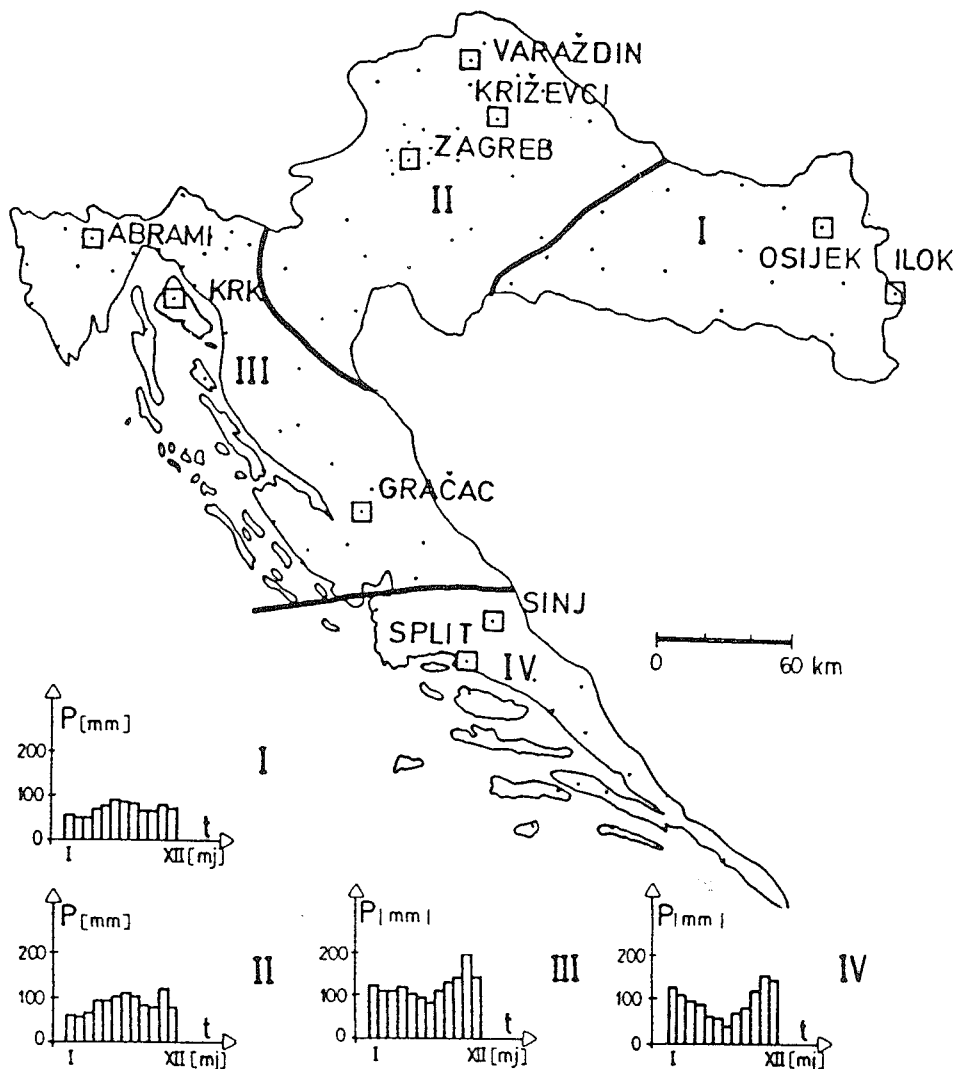
Oborine su temeljeni klimatološki faktor. Pandžić (1988.) utvrdio je područja Hrvatske na kojima padaju homogene oborine primjenom faktorske analize oborina na 80 kišomjernih stanica u Hrvatskoj. Teritorij Hrvatske može se podijeliti na četiri regije:

1. Prva je regija istočna Hrvatska, površine oko 11.100 km<sup>2</sup>. Režim je oborina tipično kontinentalan s godišnjom srednjom oborinom od 600 do 700 mm. Izraženi je maksimum u VI. mjesecu, a drugi je manje izraženi u XI. mjesecu. Na stanici Osijek srednja je godišnja oborina 685 mm, u vegetacijskom razdoblju (IV.-IX. mjesec) srednja je oborina 369 mm, a u izvanvegetacijskom razdoblju (X.-III. mjesec) 316 mm. Nadmorska je visina stanice 89 m n.m.
2. Druga je regija središnja Hrvatska, površine oko 19.700 km<sup>2</sup>. Režim je oborina dominantno kontinentalan, ali se osjeća utjecaj mediteranske klime u izraženom maksimumu u XI. mjesecu. Srednja je godišnja oborina između 700 i 900 mm. Na stanici Zagreb srednja je godišnja oborina 870 mm, u vegetacijskom razdoblju 527 mm, a u izvanvegetacijskom razdoblju 343 mm. Nadmorska je visina stanice 157 m.n.m.
3. Treća regija pokriva sjeverno primorje, gorski dio Hrvatske i dio sjeverne Dalmacije, približno do rijeke Krke. Površina je te regije oko 14.000 km<sup>2</sup>. Režim je oborina je maritimno-mediteranski, ali pojavljuju se utjecaji i kontinentalnog režima. Prosječna godišnja oborina iznosi oko 1.000 mm. Izraženi maksimum pojavljuje se u XI. mjesecu, a minimum u VII. mjesecu.

4. Četvrta je regija srednja i južna Dalmacija, površine oko 11.740 km<sup>2</sup>. Režim je oborina mediteranski. Izražen je ljetni minimum u VII. mjesecu i maksimum u XI. mjesecu. Srednje godišnje oborine kreću se od 1.000 mm na više. Na stanici Sinj srednja je godišnja oborina 1.265 mm, u vegetacijskom razdoblju 489 mm i u izvanvegetacijskom razdoblju 776 mm. Nadmorska je visina stanice 298 m n.m.

### Evapotranspiracija

Evapotranspiracija je kompleksni proces kojim se voda s površine zemlje transferira u atmosferu. Uključuje isparavanje vode u tekućem ili krutom stanju s površine tla i bilja te transpiraciju vode kroz biljke.



Slika 5-3 Raspodjela regija homogenih oborina u Hrvatskoj (Pandžić, 1988.)

Za određivanje veličine potencijalne evapotranspiracije ETP koriste se podaci o izračunatima godišnjim veličinama metodom Thornthwaitea i Blaney-Criddlea na području Hrvatske (Tomić i dr., 1993.). za regije homogenih oborina izračunate su veličine srednjih veličina ETP. Podaci su prikazani u tablici 5-2.

*Veličina godišnje potencijalne evapotranspiracije u Hrvatskoj*

*Tablica 5-2*

Regija	Stanica	Potencijalna evapotranspiracija		
		po Thornthwaiteu  mm	po Blaney-Criddleu  mm	srednja vrijednost za regiju mm
Istočna Hrvatska	Osijek	685	802	744
	Đakovo	680	798	739
	Sl. Brod	664	777	721
				735
Središnja Hrvatska	Zagreb	699	816	758
	Bjelovar	663	778	721
	Varaždin	652	756	704
				728
Sjeverni Jadran	Rijeka	754	968	861
	Pula	757	972	865
	Gospić	584	647	616
				781
Južni Jadran	Šibenik	803	1.196	1.000
	Split	845	1.254	1.050
	Dubrovnik	837	1.103	970
				1.007
<b>Prosjeak za Hrvatsku (po metodi "težina"-veličina regija)</b>				<b>800</b>

Izračunati prosjeak veličine potencijalne evapotranspiracije za Hrvatsku u iznosu od 800 mm daje ukupnu godišnju količinu od  $45.230,4 \times 10^6 \text{ m}^3$  vode.

Ukupna godišnja količina vode koja oborinama padne na područje Hrvatske iznosi  $61.555,4 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Ako tu količinu umanjimo za količinu godišnje evapotranspiracije ( $45.230,4 \times 10^6 \text{ m}^3$ ), dobijemo iznos od  $16.325 \times 10^6 \text{ m}^3$  vode, koja oborinama dopijeva na područje Hrvatske. Po 1 stanovniku to iznosi  $3.400 \text{ m}^3$  vode godišnje.

## 5.4. POVRŠINSKE VODE

Temeljem izračunatih godišnjih količina voda oborina u prethodnom poglavlju, Hrvatska se svrstava u zemlje vrlo bogate vodom. Međutim, vodna bogatstva nisu ravnomjerno raspoređena. Njihova raspodjela ovisi o klimatskima, topografskima, hidrološkim, hidrogeološkim i drugim karakteristikama. Otjecanje vode u najvećoj mjeri ovisi o oborinama, ali otjecanja nisu srazmjerna oborinama. Koeficijent otjecanja je najveći u primorskom dijelu Hrvatske i iznosi 0,62, a najmanji je u panonskom dijelu Hrvatske i iznosi 0,26 (Margeta, 1992.).

### 5.4.1. Slivna i vodna područja Hrvatske

Područje Hrvatske pripada slivovima Crnog mora i Jadranskog mora. Vodna područja obuhvaćaju područje jednog ili više slivova glavnih riječnih vodotoka ili njihovih dijelova koji čine prirodnu hidrografsku cjelinu. Vodna područja u Hrvatskoj daju se u tablici 5-3.

#### *Slivna i vodna područja u Hrvatskoj*

*Tablica 5-3*

Slivna i vodna područja	Površina km <sup>2</sup>
<b>A Sliv Crnog mora</b>	
1. Vodno područje sliva Save	24.283
2. Vodno područje slivova Drave i Dunava	9.657
<b>Ukupno sliv Crnog mora</b>	<b>33.940</b>
<b>B Sliv Jadranskog mora</b>	
1. Vodno područje primorsko-istarskih slivova	9.840
2. Vodno područje dalmatinskih slivova	12.758
<b>Ukupno sliv Jadranskog mora</b>	<b>22.598</b>
<b>Sveukupno</b>	<b>56.538</b>

Vode na kopnu Hrvatske odvodnjavaju se prema Crnom moru i Jadranskom moru. Sliv je Crnog mora veći, zauzima 33.940 km<sup>2</sup> ili 60% površine Hrvatske. Manji je sliv Jadranskog mora na krškim terenima, a jednu trećinu površine čine zatvoreno krško slivno područje bez nadzemnog otjecanja prema moru. Površina je tog sliva 22.598 km<sup>2</sup> ili 40% površine Hrvatske. Zbog raširenosti krša teško je točno odrediti razvodnicu između Jadranskog i Crnomorskog sliva pa se ona najčešće uzima prema nadzemnoj mreži tekućica. Rijeke crnomorskog sliva veće su, manjeg pada i mirnijeg toka, dok su primorske rijeke kraće, manjih porječja, imaju veće padove i

vrednije su za hidroenergetsko iskorištavanje - 60% potencijalnih vodnih snaga Hrvatske. Znatne su razlike i u godišnjem režimu protjecanja voda.

#### 5.4.2. Vodno područje sliva Save

Površina sliva rijeke Save iznosi 95.419 km<sup>2</sup>, od čega u Hrvatskoj 24.283 km<sup>2</sup> ili 25,4 %. Sava izvire u Sloveniji na ograncima Julijskih Alpa i Karavanki. Duljina je rijeke Save 946 km, od kojih je na teritoriju Hrvatske 562 km ili 60 %. Sava prima brojne pritoke, od kojih su desne pritoke najveće i najvažnije. Prosječni padovi korita u gornjem toku do ulaska u Hrvatsku iznose 2,3 m/km, u srednjem toku od ušća Sutle do ušća Bosne (Slavonski Šamac) iznose 0,131 m/km, a nizvodno od ušća rijeke Bosne 0,041 m/km. Sliv je rijeke Save asimetričan i dekoncentriran, čime je pojava ekstremno velikih voda nešto ublažena. S geološkog aspekta gotovo četvrtinu ukupnog sliva rijeke Save čine krški tereni koji omogućuju prodiranje vode u podzemlje, što ima za posljedicu retardiranje i ublažavanje valova velikih voda. Godišnji režim protjecanja voda pokazuje dva maksimuma - proljetni, u III. i IV. mjesecu i jesenski, u X. - XII. mjesecu. Minimum je protjecanja ljeti, u VIII. i IX. mjesecu. Na slivnom području rijeke Save u Hrvatskoj živi 2.308 milijuna stanovnika ili 48,2% od ukupnog broja stanovnika Hrvatske.

Sava u znatnom dijelu toka čini prirodnu granicu prema Bosni i Hercegovini. Granične su rijeke Sutla i Una. Kupa je najveća hrvatska rijeka koja se cijelim svojim tokom nalazi na teritoriju Hrvatske. Sava između Siska i izlaska iz Hrvatske prima svoje najveće pritoke, sve s desne strane, a osim Kupe sve dolaze iz Bosne.

Srednji godišnji protjecaji vode (višegodišnji prosjek u m<sup>3</sup>/s):

- Sava, prije ušća Sutle	329
- Sutla	11
- Sava, poslije ušća Sutle	340
- Dobra, ušće	31
- Mrežnica, ušće	45
- Korana, ušće	86
- Glina, ušće	35
- Kupa, ušće	283
- Lonja, ušće	62
- Una, ušće	234
- Sava, poslije Une, Jascnovac	880
- Sava, poslije Vrbasa, Davor	990
- Sava, poslije Bosne, Sl. Šamac	1.180

### 5.4.3. Bilanca površinskih voda vodnog područja Save

Višegodišnja bilanca voda ukupnog sliva rijeke Save, od izvora do ušća, izračunata je prema izrazu (Schiller, 1986.):

$$O = E + R$$

gdje je:

- O - oborine koje su pale na sliv (mm)
- E - količina vode koja se isparila s površine sliva (mm)
- R - otjecaj koji se formirao na dijelu sliva (ulaz s uzvodnog dijela umanjeno za vrijednost izlaza u susjedni nizvodni sliv) (mm)

Dobivene su ove vrijednosti:

- oborine 1.019 mm
- isparavanje 634 mm
- bilancna pogreška - 5,22 %
- koeficijent otjecanja 0,47

#### Bilanca površinskih voda vodnog područja Save u Hrvatskoj

Tablica 5-4

Vodotok - slivno područje	Površina područja (km <sup>2</sup> )	Godišnji protjecaji				Q <sub>1</sub> / Q <sub>2</sub>
		Q <sub>1</sub> (m <sup>3</sup> /s)	W <sub>1</sub> (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Q <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> /s)	W <sub>2</sub> (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	
1. Sava, prije ušća Sutle	10.630	329	10.375	86	2.709	3,83
2. Kupa, u Sloveniji	948	109	3.437	15	473	7,27
3. Kupa, u Hrvatskoj	8.077	174	5.487	24	757	7,25
4. Kupa, ušće	9.026	283	8.924	39	1.230	7,26
5. Una, u BIH	9.130	140	4.415	23	724	6,09
6. Una, u Hrvatskoj	1.055	94	2.964	16	504	6,87
7. Una, ušće	10.192	234	7.379	39	1.228	6,09
8. Sava, u Hrvatskoj	15.151	500	15.768	135	4.252	3,70
<b>Ukupno na ter. Hrvatske</b>	<b>24.283</b>	<b>768</b>	<b>24,219</b>	<b>175</b>	<b>5.513</b>	<b>4,38</b>

Prosječni godišnji protjecaji za višegodišnje razdoblje, prosječna godišnja količina (masa) otklele vode i minimalni protjecaj, uz 95 % osiguranje za vodno područje sliva Save prikazani su u tablici 5-4.



#### 5.4.4. Vodno područje slivova Drave i Dunava

Mura, Drava i Dunav u znatnom su dijelu toka granične rijeke prema Mađarskoj i Srbiji. Godišnji režim protjecanja vode rijeke Drave razlikuje se od ostalih rijeka crnomorskog sliva jer ima sniježno-kišni režim s jednim naglašenim maksimumom u kasno proljeće (VI mjesec). Oblik je sliva Drave i Dunava vrlo izdužena prirodna cjelina dužine oko 350 km i proteže se u smjeru jugoistok - sjeverozapad. Površina je sliva u Hrvatskoj 9.657 km<sup>2</sup>, što je oko 17 % površina, a brdsko-planinsko područje pokriva oko 23 % površina. Nadmorske visine u nizinskom dijelu kreću se od 85 m.n.m. do 200 m.n.m.

Na slivnom je području nekoliko geomorfoloških cjelina: Međimurje, gornja Podravina (do Virovitice), donja Podravina (od Virovitice do Osijeka), istočna Slavonija i Baranja.

Na vodnom području slivova Drave i Dunava živi 0,92 milijuna stanovnika ili 19,3 % ukupnog broja stanovnika u Hrvatskoj.

Srednji godišnji protjecaji vode (višegodišnji prosjek u m<sup>2</sup>/s):

- Drava, Varaždin	360
- Mura, ušće	207
- Drava, poslije Mure	587
- Drava, ušće	610
- Dunav, ulaz u Hrvatsku	2.350
- Dunav poslije Drave	2.730

#### 5.4.5. Bilanca površinskih voda vodnog područja slivova Drave i Dunava

Višegodišnja bilanca vode ukupnog sliva rijeke Drave, od izvora do ušća, izračunata je prema iznosu prikazanom u točki 5.4.4.

Dobivene su ove vrijednosti:

- oborine	998 mm
- isparavanje	575 mm
- bilancna pogreška	- 1,2 %
- koeficijent otjecanja	0,44

Prosječni godišnji protjecaj za višegodišnje razdoblje, prosječna godišnja količina (masa) otkle vode i minimalni protjecaji, uz 95 % osiguranje za vodno područje slivova Drave i Dunava prikazani su u tablici 5-5.

*Bilanca površinskih voda vodnog područja Drave i Dunava u Hrvatskoj*

Tablica 5-5

Vodotok - slivno područje	Površina područja (km <sup>2</sup> )	Godišnji protjecaji				Q <sub>1</sub> / Q <sub>2</sub>
		Q <sub>1</sub> (m <sup>3</sup> /s)	W <sub>1</sub> (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Q <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> /s)	W <sub>2</sub> (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	
1. Drava, do Hrvatske	4.653	320	10.091	132	4.158	2,42
2. Drava, Hrvatska	9.335	290	9.145	103	3.244	2,81
3. Đrava, ušće	-	610	19.237	235	7.410	2,59
4. Dunav, neposredni sliv	322	37	1.167	10	315	3,70
<b>Ukupno na ter. Hrvatske</b>	<b>9.657</b>	<b>327</b>	<b>10.312</b>	<b>113</b>	<b>3.559</b>	<b>2,89</b>

*5.4.6. Vodno područje primorsko-istarskih slivova i bilanca površinskih voda**Bilanca površinskih voda za vodna područja primorsko-istarskih i dalmatinskih slivova*

Tablica 5-6

Vodotok - slivno područje	Površina područja (km <sup>2</sup> )	Godišnji protjecaji				Q <sub>1</sub> / Q <sub>2</sub>
		Višegod. pros.		Min. protjecaj		
		Q <sub>1</sub> (m <sup>3</sup> /s)	W <sub>1</sub> (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Q <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> /s)	W <sub>2</sub> (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	
<b>A) Primorsko-istarski slivovi</b>						
1. Istra, Primorje i Zaleđe	9.840	94	2.964	6	189	15,7
<b>Ukupno</b>	<b>9.840</b>	<b>94</b>	<b>2.964</b>	<b>6</b>	<b>189</b>	<b>15,7</b>
<b>B) Dalmatinski slivovi</b>						
1. Dalmacija	9.520	73	2.302	2	63	37,00
2. Cetina, ukupno	5.250	127	-	-	-	-
3. Cetina, u Hrvatskoj	1.948	127	4.005	11	347	11,50
4. Neretva, ukupno	8.680	378	11.920	55	1.734	6,90
5. Neretva, u Hrvatskoj	1.290	25	788	4	126	6,70
<b>Ukupno</b>	<b>12.758</b>	<b>225</b>	<b>7.095</b>	<b>17</b>	<b>536</b>	<b>9,70</b>
<b>Ukupno na ter. Hrvatske</b>	<b>24.283</b>	<b>768</b>	<b>24.219</b>	<b>175</b>	<b>5.513</b>	<b>4,38</b>

U ovom su vodnom području najveće rijeke Dragonja (granična rijeka prema Sloveniji), Mirna i Raša. U Lici ima najviše ponornica - Gacka, Lika i dr. godišnji

režim protjecanja pokazuje izraženi minimum u ljetnim mjesecima (VIII.) i dva maksimalna. Proljetna i jesenska.

Na ovom vodnom području živi 0,591 milijuna stanovnika ili 12,4 % od ukupnog broja stanovnika Hrvatske.

Srednji godišnji protjecaji voda (višegodišnji prosjek u m<sup>3</sup>/s)

- Mirna, ušće	16
- Raša, ušće	12
- Rječina, ušće	24
- Gacka, ponornica	14
- Lika, ponornica	28

Bilanca površinskih voda primorsko-istarskih slivova prikazana je u tablici 5-6.

### 5.4.7. Vodno područje dalmatinskih slivova i bilanca površinskih voda

U vodnom su području dalmatinskih slivova najveće rijeke Zrmanja, Krka, Cetina i Neretva. Najveća rijeka Jadranskog mora na istočnoj obali jest Neretva, ali je samo 20 km njezina toka ispred ušća u more na području Hrvatske. Na ovom vodnom području živi 0,962 milijuna stanovnika ili 20,1 % od ukupnog broja stanovnika naše Republike.

#### Bilanca površinskih voda u Hrvatskoj

Tablica 5-7

Slivna i vodna područja	Površine sliva km <sup>2</sup>	Broj stanovnika 1991. u 000						Q <sub>1</sub> /Q <sub>2</sub>
			Q <sub>1</sub> m <sup>3</sup> /s	q l/s/km <sup>2</sup>	W <sub>1</sub> 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Q <sub>2</sub> m <sup>3</sup> /s	W <sub>2</sub> 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	
<b>A) Sliv Crnog mora</b>								
1. Vodno područje sliva Save	24.283	2.308	768	31,6	24.219	175	5.513	4,38
2. Vodno podr. slivova Drave i Dunava	9.657	923	327	33,8	10.312	113	3.559	2,89
<b>Ukupno sliv C. mora</b>	<b>33.940</b>	<b>3.231</b>	<b>1.095</b>	<b>32,3</b>	<b>34.531</b>	<b>288</b>	<b>9.072</b>	<b>3,80</b>
<b>B) Sliv Jadranskog mora</b>								
3. Vodno podr. prim.-istarskih slivova	9.840	591	94	9,6 <sup>1</sup>	2.964	6	189	15,70
4. Vodno područje dalmatinskih slivova	12.758	962	225	17,6	7.095	17	536	9,70
<b>Ukupno sliv Jadr. mora</b>	<b>22.598</b>	<b>1.553</b>	<b>319</b>	<b>14,1</b>	<b>10.059</b>	<b>23</b>	<b>725</b>	<b>13,90</b>
<b>Sveuk. podr. Hrvatske</b>	<b>56.538</b>	<b>4.784</b>	<b>1.414</b>	<b>25,0</b>	<b>44.590</b>	<b>311</b>	<b>9.797</b>	<b>4,55</b>

<sup>1</sup> Specifično otjecanje odnosi se samo na površinski dotok. Ukupno je otjecanje, uključujući i podzemno, reda veličine q=30 l/s/km<sup>2</sup>

Srednji godišnji protjecaji voda (višegodišnji prosjek u  $\text{m}^3/\text{s}$ ):

- Zrmanja, ušće	23
- Krka, ušće	50
- Cetina, ušće	127
- Neretva, ušće	378

Bilanca površinskih voda dalmatinskih slivova prikazana je u tablici 5-6.

### 5.4.8. Bilanca površinskih voda za Hrvatsku

U prethodnim poglavljima prikazane su bilance površinskih voda po slivovnim i vodnim područjima Hrvatske. U prikazu su analizirani svi vodotoci čiji su slivovi na teritoriju Hrvatske te oni vodotoci koji se dijelom nalaze na području drugih država. Uzeta je u obzir samo ona količina vode koja se prikuplja preko slivnih površina na teritoriju Hrvatske. Rezultati analize prikazani su u tablici 5-7, iz koje se vide osnovni pokazatelji rasporeda površinskih voda na području Hrvatske.

U tablici su prikazane površine slivova i vodnih područja, broj stanovnika, prosjek višegodišnjih protjecaja  $Q_1$  u  $\text{m}^3/\text{s}$ , ukupnoga godišnjeg otjecanja  $W_1$  u  $10^6 \text{ m}^3$  višegodišnjeg protjecaja malih voda 95 % osiguranja u  $\text{m}^3/\text{s}$ , ukupnog otjecaja malih voda u  $10^6 \text{ m}^3$  i odnos prosječnoga višegodišnjeg protjecaja i protjecaja malih voda.

Analizirani podaci ukazuju na nejednolik raspored voda po teritoriju Republike, slivovima i u vremenu. Površinske vode pokazuju veliku nejednakost otjecanja, naročito za manje vodotoke. Kod njih su prosječni protjecaji za 10 do 20 puta veći od malih protjecaja. To pokazuje da bi za izjednačenje tih voda, što omogućuje njihovo učinkovito iskorištavanje, bili potrebni značajni objekti i sredstva. Pri tome se mora uzeti u obzir da se sve vode ne mogu iskoristiti te da se za sve veće količine voda moraju graditi akumulacije koje bi redistribuirale vode u vremenu i prostoru. Veliki se vodotoci izdvajaju pri analizi odnosna prosječnih i malih voda. Kod njih su te razlike manje: Drava 3, Sava 4 itd. Za izjednačenje voda tih slivova potrebno je razmjerno manje objekata i sredstava.

Modul otjecanja,  $q$  u  $\text{l/s/km}^2$  jest mjera vodnosti rijeka. Iz analize modula otjecanja vidi se da je kontinentalni dio Hrvatske znatno vodnije područje od primorskog dijela Hrvatske. Prosječni je modul za Hrvatsku  $25 \text{ l/s/km}^2$ , za kontinentalni dio  $32 \text{ l/s/km}^2$ , a za primorski dio  $14 \text{ l/s/km}^2$ . Temeljem prosječnih rezultata za Hrvatsku može se zaključiti da je ukupna raspoloživa površinska voda velika, po 1 stanovniku iznosi  $9.320 \text{ m}^3/\text{godišnje}$ , ali je njezin raspored nepravilan.

Raspodjelu površinskih voda potrebno je pratiti po vremenu tijekom godine. Za takvu analizu potrebni su detaljniji podaci. Za neke se vodotoke u kontinentalnom dijelu Hrvatske, temeljem raspoloživih podataka, može ustanoviti da osnovna masa vode protekne u razdoblju između veljače i lipnja, dok su u ostalom dijelu godine male vode. Kod manjih je vodotoka velika vremenska nejednačnost voda. Razlika između velikih voda i voda sušnih razdoblja iznosi i do 20 puta.

Površinske su vode u Hrvatskoj nejednako rasporedene u vremenu i prostoru. To uvjetuje probleme u iskorištavanju te vode. Na osnovi vodnogospodarske bilance

raspoloživih količina površinskih voda mogu se izvući zaključci o strategiji budućih vodnogospodarskih planova i akcija.

## 5.5. PODZEMNE VODE

### 5.5.1. Vodno područje sliva Save

Osnovno hidrogeološko obilježje po vodnom području daju aluvijalni vodonosnici u ravničarskom predjelu Save. Osim tog vodonosnika određene rezerve vode sadrže plitki aluvijalni vodonosnici pritoka Save te gorski i prigorski vodonosnici u dijelovima orografski istaknutih područja.

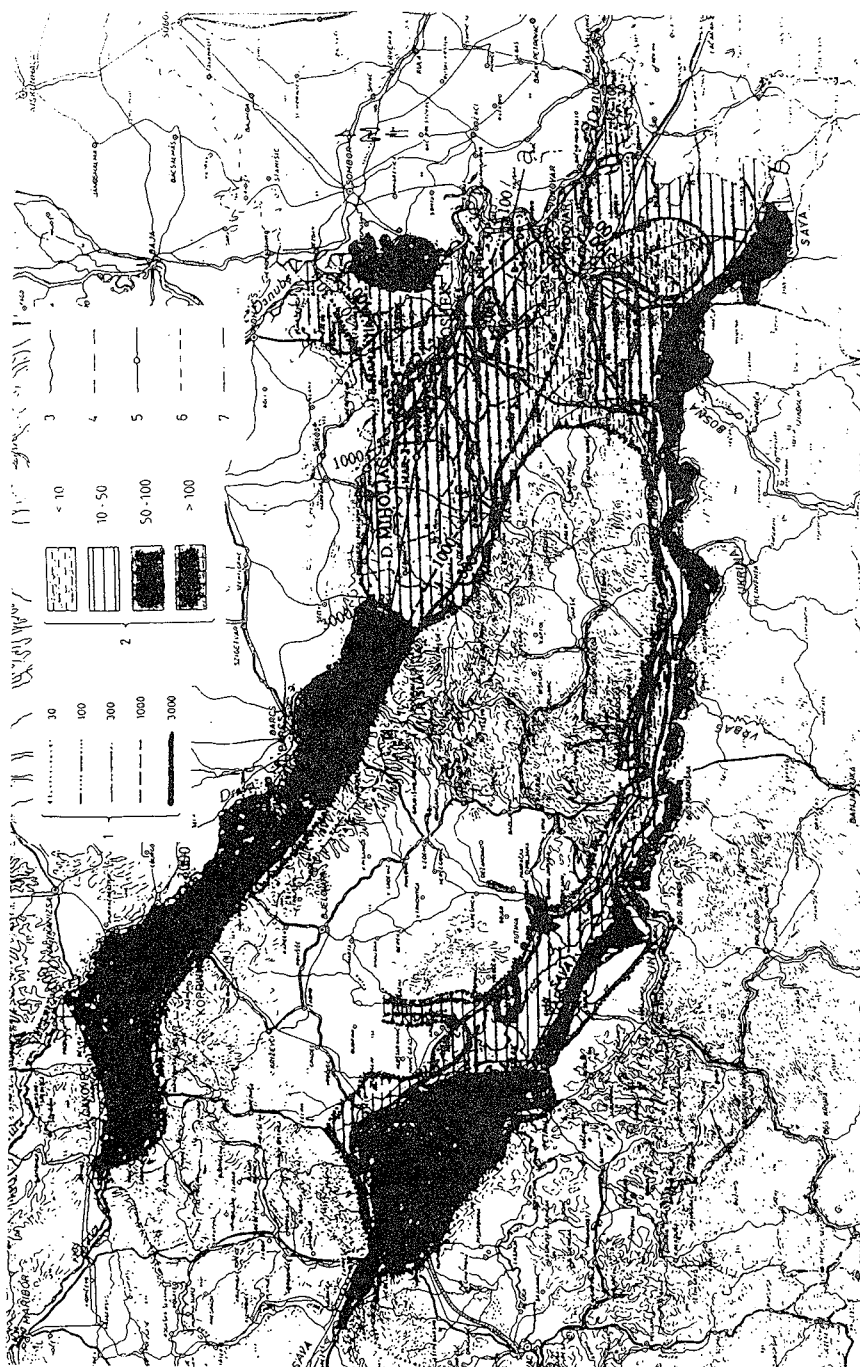
Savski vodonosnik sadrži velike zalihe podzemnih voda, međutim, one su neravnomjerno distribuirane. Dubina zalijeganja propusnih slojeva jest vrlo raznolika (slika 5-5), velike debljine su prostorno ograničene, a kvaliteta je vode u većem dijelu područja nepovoljna.

Specifičnost savskoga aluvijalnog vodonosnika proizlazi kao posljedica asimetričnosti porječja i neotektonskih prilika koje su pratile formiranje kvartarnih naslaga u savskoj depresiji. Općenito se može reći da u zapadnom području dominiraju šljunčani nanosi Save vrlo visoke propusnosti, a u središnjim područjima dominantan utjecaj imaju aluvijalni nanosi šljunka i pijeska desnih pritoka Save, koji se u obliku lepeze šire preko Save na sjever i uklinjuju u sitnoklastične taložine savske i slavonsko-srijemske depresije.

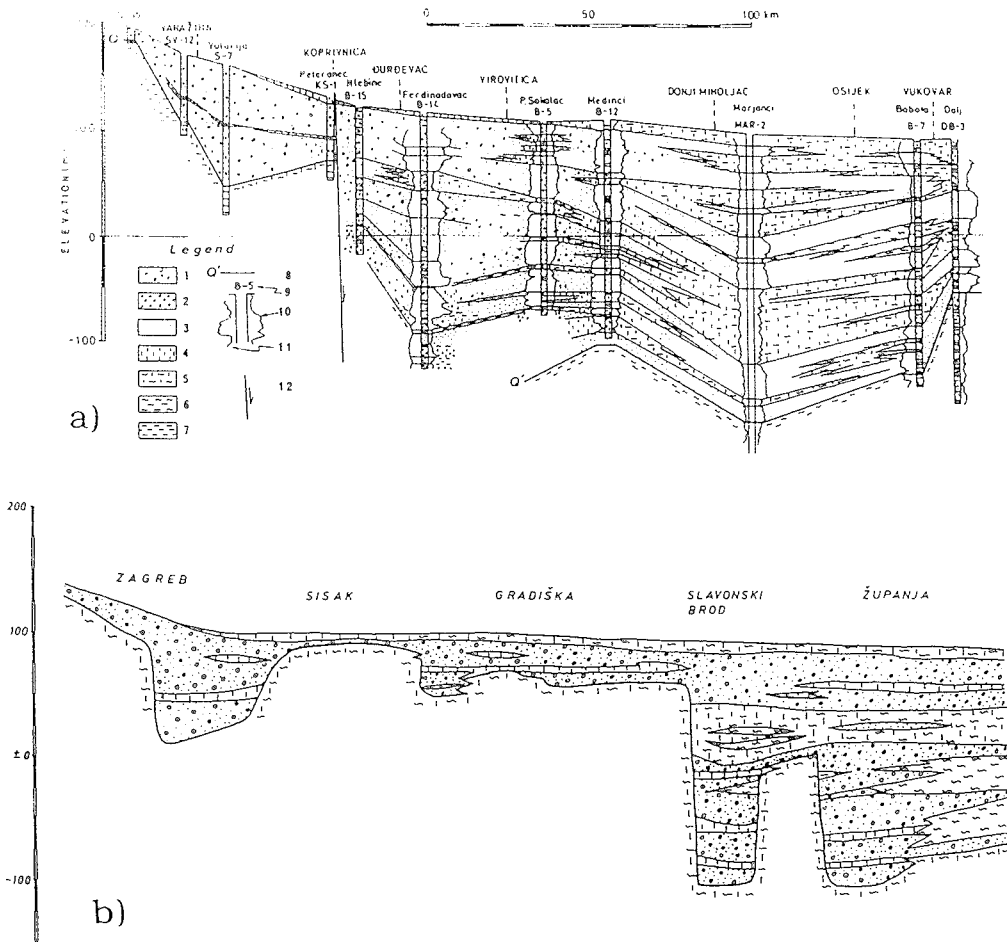
U regionalizaciji savskoga aluvijalnog vodonosnika mogu se izdvojiti:

- zagrebačko područje,
- područje srednje Posavine i
- područje istočne Posavine.

U zapadnim predjelima (zagrebačko područje) imamo situaciju koja je vrlo slična prilikama u varaždinskom području. Vodonosnik je u zapadnim predjelima (kod Zaprešića) izgrađen od šljunčanih nanosa debljine desetak, a idući prema istoku prvo se postupno, a zatim naglo povećava debljina od oko 100 m kraj Črnkovca i znatno više kraj Prevlake, gdje se pojavljuje veći broj glinovito-prašinastih proslajaka. Dalje prema istoku vodonosnik oplićava pa kod Siska iznosi tek desetak metara. Hidraulička je vodljivost u širem području Zagreba vrlo visoka, iznosi oko 1.000 do 5.000 m/dan, što je oko deset puta više od hidrauličke vodljivosti dravskog vodonosnika. Istočno od Rugvice hidraulička vodljivost naglo opada oko desetak puta. Prirodna je kvaliteta podzemnih voda zagrebačkog vodonosnika vrlo povoljna za vodoopskrbu, ali je na brojnim mjestima degradirana zbog zagađenja. U istočnim dijelovima zagrebačkog područja zapažaju se značajne pojave glinovitih proslajaka koje u pravilu prate reduktivni uvjeti, karakteristični za močvarišta u kojima su nastali.



Slika 5-4 Transmisivost i hidraulička vodljivost savskog i dravskog vodonosnika (Gereš i dr. 1996.); oznake: 1) transmisivost ( $m^2/dan$ ), 2) hidraulička vodljivost ( $m/dan$ )



**Slika 5-5** Litološki profil dravskog (a) i savskog (b) vodonošnika (Gereš i dr. 1996.); oznake 1) i 2) šljunak, 3) pijesak, 4) prah, 5) prašinstava glina, 6) glina, 7) lapor

Područje srednje Posavine, između Siska i Slavonskog Broda, geotektonski pripada uskoj savskoj depresiji. Aluvijalni vodonošnik nastajao je pod dominantnim utjecajem desnih pritoka Save, tj. Une, Vrbasa i Ukrine koje su nanijele relativno velike količine gruboklastičnog materijala i čiji su periferni dijelovi u obliku lepeza istaloženi na lijevoj obali Save. Promjene u granulometrijskom sastavu opadanja veličine zrna tu idu od juga prema sjeveru, tj. u nastavku smjera pritoka, a ne Save. Savska je depresija uska, a promjene su nagle pa širina pojavljivanja debljih gruboklastičnih slojeva ne premašuje nekoliko kilometara. U središnjim dijelovima savske ravnice, u srednjoj Posavini, taloženi su pretežito močvarni i jezerski talozi, a aluvijalne vodonošnike manjeg prostranstva zapažamo tek u sjevernim rubovima kao nanose lijevih pritoka koje su podređene utjecaju, ali lokalno mogu biti značajan izvor

vodoopskrbe. Kontinuitet aluvijalnih naslaga ovoga područja narušen je i nazočnošću lokalnih pozitivnih geoloških struktura koje se i površinski zapažaju kao slabije izraženi nagnuti ravnjaci. Izgleda da su na hidrogeološke odnose poseban utjecaj imali Stružička struktura kod Popovače i Visoka Greda između Nove i Stare Gradiške.

Debljina vodonosnika u većem dijelu područja ne premašuje desetak metara, a povećava se do nekoliko desetaka metara u području lepezastih nanosa desnih pritoka Save. Tu je i hidraulička vodljivost viša i obično doseže nekoliko desetaka m/dan. Izuzetak je područje Slavenskog Broda, gdje su istaložene naslage šljunka i pijeska s proslojnicima gline debljine oko 200 m, a hidraulička vodljivost najplićeg sloja šljunka iznosi oko 100 m/dan.

Taloženje gruboklastičnih, kvartarnih naslaga u području srednje Posavine odvijalo se u reduktivnim uvjetima pa se pojavljuje povišeni sadržaj željeza, mangana, prirodnog amonijaka i pratećih sastojaka.

Područje istočne Posavine geotektonski pripada slavonsko-srijemskoj depresiji, u kojoj se prostor taloženja širi, pa se zapažaju postupni prijelazi idući od juga prema sjeveru, a ukupna debljina vodonosnog kompleksa doseže i preko 200 m. Debljina je propusnih slojeva raznolika, a u pravilu je veća u južnim predjelima gdje dominiraju nanosi šljunka i pijeska u lepezama nanosa Bosne i Drine, a postupno se reducira u sjevernim predjelima gdje se nalaze proslojci sitnih jednoličnih pijeskova unutar prevladavajućih slojeva praha i gline. Takav granulometrijski sastav uvjetuje i veličinu hidrauličke vodljivosti, koja se kreće oko 50 m/dan u južnim predjelima, a u sjevernim predjelima iznosi oko ili nešto preko 10 m/dan.

Prirodna je kvaliteta podzemnih voda specifična. U pravilu su karakteristični reduktivni uvjeti, no rašireni su predjeli sa sadržajem željeza oko 0.5 mg Fe/l i oko 0.1 mg Mn/l, dakle u pravilu smo nešto iznad iznosa za pitku vodu, ali s visokim utroškom  $\text{KMnO}_4$ .

Područje lesolikih ravnjaka (đakovački i vukovarski) čine rubne predjele Dravske i Slavonsko-srijemske depresije, a istovremeno je granično područje porječja Save i Drave. Čakovački ravnjak pretežito pripada vodnom području porječja Save, a vukovarski vodnom području porječja Dunava. Đakovački ravnjak i zapadni dio vukovarskoga karakteriziraju tanki slojevi sitnozrnastog pijeska. U istočnim predjelima vukovarskog ravnjaka pojavljuju se slojevi šljunka i konglomeratičnih šljunaka u predjelima ravnjaka oko Fruške gore, a ti se slojevi mogu kontinuirano pratiti i prema južnim predjelima savske depresije u kojima dominiraju konusne naplavine Drine. Prema središnjim dijelovima vukovarskog ravnjaka šljunci prelaze u jednolične pijeske. U tim rubnim dijelovima vukovarskoga lesnog ravnjaka, a naročito u onima s konglomeratičnim šljuncima pojavljuje se snižen sadržaj željeza otopljenog u podzemnoj vodi.

Obnovljive zalihe podzemnih voda (u  $10^6 \text{m}^3$  godišnje):

Područje bilance:

- Bregana-Dugo Selo	220
- Dugo Selo-Kutina	405
- Kutina-Nova Kapela	453



- Nova Kapela-Sl. Brod	105
- Sl. Brod-Drenovci	104
- Pokuplje	7.616
- Pounje	1.792

Krški dio vodnog područja sliva Save veličine 3.192 km<sup>2</sup> opisan je u točki 5.5.3.

### 5.5.2. Vodno područje slivova Drave i Dunava

Dravski vodonosnik sadrži veće zalihe podzemnih voda. Vodonosnik aluvijalnih naslaga u ravničarskim predjelima Drave, u gruboj shematizaciji, karakterističan je primjer aluvijalnih naslaga s izrazito dominirajućim zajedničkim izvorom gruboklastnih taložina. Osnovna su izvorišta uzvodna porječja Drave i Mure. Sedimentirani se materijal po veličini maksimalnog i prosječnog zrna mijenja idući od uzvodnog dijela, gdje prevladavaju dobro građurani šljunci, prema nizvodnim, istočnim predjelima, gdje dominiraju sitnozrnasti i jednolični pijesci. U istom se smislu povećava broj i debljina prašnasto-glinovitih proslojaka. Tu sliku neznatno mijenja, i to samo u rubnim predjelima, donošenje šljunčanih materijala rječicama s Papuka i Krndije između Orahovice i Našica te Dunavom u istočnim predjelima Baranje.

Oblik tih kvartarnih naslaga i formiranje kemijskog sastava podzemne vode uvjetovani su neotektonskim pokretima i paleoklimatskim prilikama. U predjelima spuštanja terena nastaju debele klastične naslage. U određenima paleoklimatskim uvjetima tijekom kvartara tu nastaju močvarišta u kojima se razvija reduktivna sredina s karakteristično povišenim sadržajem prirodnog amonijaka, željeza, mangana i pratećih sastojaka. U tektonski stabilnijim predjelima talože se manje debljine gruboklastičnog materijala u oksidativnim uvjetima pa u podzemnim vodama nema otopljenih metala karakterističnih za reduktivne uvjete. Takve su podzemne vode pogodne za vodoopskrbu bez pročišćavanja suvišnih sastojaka.

Karakteristična je posebnost pojedinih slojeva u dravskom vodonosniku da su pojedini predjeli naknadno okopnjavani pa su ti slojevi djelomice ili potpuno oksidirani. U takvim su slojevima djelomice ili potpuno reducirani sadržaji koji karakteriziraju reduktivne uvjete.

Dravski vodonosnik može se u okviru gornje opće sheme regionalizirati prema propusnosti i debljini naslaga te osnovnim svojstvima podzemnih voda na;

- varaždinsko područje,
- područje srednje Podravine,
- područje donje Podravine i Podunavlja i
- područje prapornih ravnjaka (đakovački i vukovarski).

Varaždinsko područje obuhvaća ravničarske predjele murske depresije i proteže se od granice Hrvatske sa Slovenijom do potciza Koprivnica-Legrad (legradskog praga koji dijeli mursku od dravske depresije). Debljina vodonosnika kreće se od oko 10 m u zapadnim predjelima do oko 140 m u središnjim predjelima, a dalje prema istoku postupno oplicava. Hidraulička vodljivost se kreće oko 100-300 m/dan. Vodonosnik

je izgrađen od šljunka u kojemu se na oko 30 do 50 m pojavljuje tanki glinoviti prosljak odvajajući vodonosnik u dva sloja. Napajanje podzemnih voda odvija se infiltracijom padalina izravno u prvi vodonosnik u kojemu je usječena rijeka Drava. Inicijalno besprijekorna kvaliteta podzemnih voda u prvom sloju degradira se porastom nitrata kao posljedicom razvoja poljodjelstva i farmi za uzgoj pilića. Režim je podzemnih voda pod snažnim utjecajem vodnih stepenica na Dravi, koje mogu imati pozitivne i negativne učinke na crpilišta glede količine i kvalitete podzemne vode, ovisno o položaju crpilišta pri nazočnim rubnim uvjetima.

Područje srednje Podravine podudara se sa zapadnim dijelom dravske depresije, a proteže se od Koprivnice (legradskog praga) do iza Podravske Slatine. U zapadnim je predjelima vodonosnik pretežito izgrađen od šljunka i konglomeratičnog šljunka s proslicima pijeska, praha i gline. Idući prema istoku veličina prosječnog zrna opada pa šljunci facijalno prelaze u pijeske, a broj i debljina polupropusnih praškasto-glinovitih prosljaka raste. Hidraulička vodljivost kreće se u rasponu od oko 30 do 150 m/dan, a u prosjeku više vrijednosti prevladavaju u zapadnim predjelima, a niže u istočnima. Debljina vodonosnog kompleksa naglo zadebljava istočno od legradskog praga i u najdubljim predjelima možda premašuje 300 m (sl. 5-5). Dominiraju reduktivni uvjeti, ali po dubini i u planu pojavljuju se i oksidirane zone pa u njima sadržaj željeza opada znatno ispod, a mangana na ili nešto ispod dopuštenog sadržaja za pitku vodu. U krovinskom dijelu pojavljuje se sve deblji polupropusni pokrivač koji je značajan za zaštitu podzemnih voda.

Infiltracija oborina odvija se preko polupropusnog pokrivača, a ima predjela koji su po režimu podzemnih voda slični zapadnim predjelima.

Područje donje Podravine i Podunavlja podudara se s istočnim dijelom dravske depresije. Vodonosnik je pretežito izgrađen od srednjega do sitnozrnastog, jednoličnog pijeska s proslojnicama praha i gline. Pojave su šljunka rijetke, uglavnom su to sitne valutice koje su u dnu markantnijih slojeva pijeska. Izuzetak su lepezasti konusi nanosa rječica s Papuka i Krndije te šljunci u inundacijskom području Dunava. Idući prema istoku veličina prosječnog zrna neznatno opada, a ukupna debljina polupropusnih, praškasto-glinovitih prosljaka mjestimice prelazi ukupnu debljinu slojeva pijeska. Hidraulička se vodljivost kreće od oko 10 do oko 50 m/dan. Debljina vodonosnog kompleksa kreće se pretežito oko 200 m, a postupno oplićava prema rubnim predjelima, osim uz rub glavnoga rubnog rasjeda, gdje vodonosni slojevi naglo uklinjavaju. Ukupna debljina propusnih slojeva kreće se od oko 10 do blizu 100 m. Dominiraju reduktivni uvjeti, koji su naročito izraženi u depresijama Karašice Vučice i Vuke, gdje u pojedinim dijelovima sadržaj željeza raste i preko 10 mg/l. Po dubini i u planu pojavljuju se ipak mjestimice oksidirane zone u kojima sadržaj željeza opada i nešto ispod, a mangana oko granice dopuštenog sadržaja za pitku vodu. U krovinskom dijelu pojavljuje se polupropusni pokrivač debljine do nekoliko desetaka metara, koji je značajan za zaštitu podzemnih voda. Infiltracija padalina odvija se preko polupropusnog pokrivača.

Plitki aluvijalni vodonosnici pojavljuju se u uskim dolinama pritoka Save i Drave. Izgrađuju ih tanke gruboklastične naslage debljina kojih ne prelazi nekoliko, a iznimno do desetak metara. U pravilu su visoke propusnosti, ali su plitkog zalijeganja

i maloga korisnog obujma pa su izdašnosti crpilišta uvjetovane induciranim napajanjem iz odnosne rijeke. Voda je bez željeza kod onih vrlo plitkih, a kod nešto dubljeg zalijeganja vodonosnika (5-10 m) pojavljuje se povišen sadržaj željeza. U tim su vodonosnicima zahvati za vodoopskrbu Karlovca, dio izvorišta Križevaca i Slavonske Požege te stari zahvat za vodoopskrbu Siska.

Obnovljive zalihe podzemnih voda (u  $10^6\text{m}^3$  godišnje):

Područje bilanca:

- Međimurje	61
- uzvodna Podravina	76
- srednja Podravina	180
- nizvodna Podravina	192
- Baranja	60

### 5.5.3. *Vodna područja primorsko-istarskih i dalmatinskih slivova*

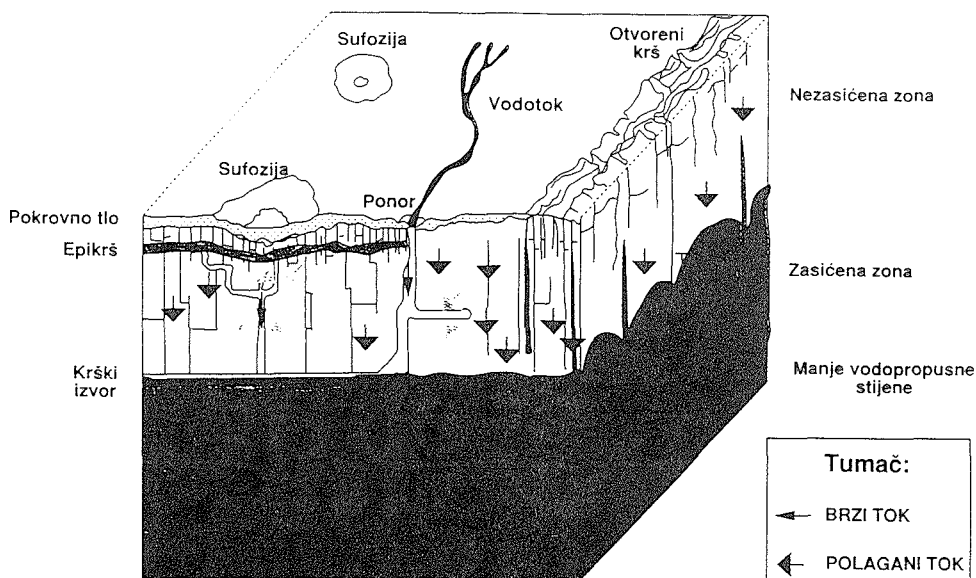
Vodna područja primorsko-istarskih i dalmatinskih slivova pripadaju slivu Jadranskog mora. Jadranski sliv čini široko područje krša koje u Hrvatskoj pokriva  $25.790\text{ km}^2$ . Površina obaju vodnih područja iznosi  $22.598\text{ km}^2$ . Preostala površina krša od  $3.192\text{ km}^2$  pripada vodnom području sliva Save. Područje je krša posebnost Hrvatske kao i krški fenomeni: ponor, dolina, krško polje i dr. Klasični krš pokriva područje Hrvatske južno od Karlovca i uključuje Gorski Kotar, Liku, Istru, Hrvatsko primorje, Podvelebitsko područje, Ravne kotare, Dalmaciju, Dalmatinsku zagoru, Dubrovačko primorje i otoke u Jadranu. Podzemna voda u kršu, u područjima izgrađenim od karbonatnih stijena, teče kroz kanale i kaverne proširenima trajnim disolucijskim procesima. Ljudske aktivnosti imaju veći negativni utjecaj na podzemne vode u kršu nego na druge tipove vodonosnika - akvifera.

Osnovna obilježja krškog područja jesu: nedostatak stalnih površinskih tokova, pojave ponora i zatvorenih depresija, pojave brojnih kaverni i podzemnih kanala, pojava velikih krških izvora smještenih u bazama karbonatnih masiva. Krš ima specifičan površinski krajolik, podzemne oblike i vodonosnike.

Procesi u kršu mijenjaju pukotinske značajke karbonatnih vodonosnika, stvarajući mrežu podzemnih tokova. To je uzrok velikih raznolikosti uvjeta podzemnog tečenja i kemizmu vode. Krški sustav definira se geološkom strukturom, mrežom podzemnih tokova i hidrauličkim elementima koji ovise o stupnju razvoja i uvjetima u geološkoj prošlosti.

Krški vodonosnici sadrže nezasićenu i zasićenu zonu. U nezasićenoj su zoni tipovi prihranjivanja različiti, kao na primjer: difuzno prihranjivanje kroz pokrivač na karbonatnim stijenama; koncentrirano prihranjivanje kroz ponore gdje površinski tokovi s manje propusnih područja utječu u krški vodonosnik, epikršku zonu čine saturirani dijelovi u pripovršinskoj zoni. U zasićenoj zoni razlikujemo: podzemne kanale proširene solucijskim procesima vode. To su proširene pukotine i kaverne

sličnoga prostornog rasporeda kao i na površini terena. U podzemnim kanalima tipične su velike brzine i količine podzemnih tokova, kratko zadržavanje vode u podzemlju i malo miješanje vode. U zasićenoj zoni ima podzemnih retencija, koje su dodatak odvodnom sustavu, ograničenih disolucijskih oblika. Tu je kretanje vode vrlo polagano i zadržavanje vode u podzemlju daleko duže. Za razliku od međuzrnastih i prslinskih vodonosnika, krški procesi mijenjaju značajke karbonatnih vodonosnika brzo i do velikih dubina. Zbog toga nije moguće definirati krški vodonosnik nekim elementima kao ostale tipove vodonosnika. Kod krških vodonosnika razmatra se cjelokupna drenažna struktura i njezin razvoj u geološkoj prošlosti.



Slika 5-6 Konceptualni model krškog vodonosnika (Biondić, 1996.)

Pri iskorištavanju krških vodnih bogatstava moraju se poznavati značajke krških vodonosnika. To su: nizak stupanj filtracije jer se prihranjivanje vodonosnika obavlja kroz proširene pukotinske sustave; brzine podzemnih tokova su veće u pojedinim dijelovima vodonosnika (od 240 m do 3.000 i više metara na dan), od brzina u međuzrnastim vodonosnicima (u aluvijalnim vodonosnicima nekoliko metara na dan); ponori omogućuju površinskoj vodi izravan prilaz podzemnim kanalima. To su točke osobito ranjive na onečišćenje vode. Samopročišćavanje je vode u kršu ograničeno, a velike brzine tokova brzo šire onečišćenja od točke uviranja u podzemlje. Razrjeđenje je vode glavni oblik smanjenja onečišćenja u krškim vodonosnicima. Velike brzine podzemnih tokova osiguravaju brzo razmještanje vode u podzemlju, ali i rasprostiranje onečišćenja. Onečišćenja mogu biti zadržana u saturiranoj zoni zbog određenih prilika u hidrauličkom sustavu. Ovisno o uvjetima onečišćenja, mogu se isprati nekoliko dana ili tjedana kasnije bez ikakva razrjeđenja, za vrijeme poplavnog vala. Krški su vodonosnici bez pokrovnih naslaga osjetljivi na prihvatanje onečišćenja.

Krški su vodonosnici heterogeni, ali tokovi su podzemne vode dobro organizirani s nekoliko privilegiranih smjerova koji dreniraju velike prostore. Uz tu su veliku brzinu podzemnih tokova filtracijske mogućnosti i disperzija ponekad sporedni i onečišćenje može brzo doseći mjesto istjecanja, odnosno zahvata podzemnih voda u kršu. Značajke podzemnih krških sustava ovise o obliku prihranjivanja, tipu podzemnih tokova i prostiranja vodonosnika. Sva tri faktora variraju u široku rasponu: od visoko okršena sustava do nekrških vodonosnika. Oblici prihranjivanja mogu biti od pretežito točkasta do difuzna uviranje vode u podzemlje.

Uvjeti tečenja u krškim vodonosnicima variraju od polagana difuzna toka do toka pretežito u krškim kanalima. Količina akumulirane podzemne vode ovisi o efektivnom porozitetu vodonosnika i njegovu geološkom položaju u odnosu prema bazi okršavanja ili vodonepropusnoj podlozi. Ovaj je prikaz napisan prema Biondiću (1996.).

Hidrogeološkim opisom sliva rijeke Cetine detaljno će se prikazati krški fenomeni i krški vodonosnik. Rijeka Cetina odvodi - drenira područje neposrednog sliva kao i područje zapadnobosanskih krških polja: Glamočkoga (dio), Livanjskoga, Kupreškoga (dio) i Duvanjskog polja te Buško blato. Cetini gravitiraju vode sa sjeveroistoka pa je sliv rijeke izrazito asimetričan. Površina je hidrogeološkog sliva veća od površine topografskog sliva. Problem određivanja slivnih površina u kršu jest po težini jedan od većih problema. Hidrogeološka vododjelnica u vapnencima ne čini potpuno definirane granice od kojih vode gravitiraju na jednu ili drugu stranu vododjelnice. Tako se za sliv Cetine javljaju podaci o površini sliva od 3.770 km<sup>2</sup> do 5.800 km, ovisno o istraživanjima i autorima. Vrlo složeni hidrogeološki odnosi u slivu Cetine nastali su kao rezultat prostornog položaja vapnenca i vodonepropusnih stijena sedimentata neogena i hidroloških karakteristika stijena prominskih slojeva. Jedan dio podzemnih voda, gibajući se prema najnižoj zoni, nailazi na barijere od neogenskih sedimentata, pojavljuje se na površini i teče preko vodonepropusnih stijena, zatim ponire i dalje teče podzemljem. Dio vode nalazi puteve izvan tih barijera i pojavljuje se na vrelima Cetine po obodu Sinjskog polja. To su vrela: Velika i Mala Ruda, Grab, Ovrlja i Kosinac. Vrele se nalaze na kontaktu neogena i vapnenca na približno 340 m.n.m. Istraživanjima je utvrđena dobra hidrološka veza u razinama vode Buškog blata i vrele Ruda i Graba. Prosječna izdašnost vrele iznosi oko 34 m<sup>3</sup>/s. Nizvodno od Trilja slivu Cetine pripada uski pojas područja. To područje pripada primorskom pojasu krša. To je posljedica odnosa vodopropusnih i vodonepropusnih stijenskih masa. Podzemne vode iz sjevernog dijela sliva dreniraju se brojnim povremenim vrelima samo pri visokim razinama podzemne vode. Specifični hidrogeološki odnosi donjeg toka Cetine vidljivi su kod sela Luka. Pri visokim razinama podzemnih voda, od sela Putišića vode se kreću prema Cetini te se kod sela Luke dreniraju na više estavela, udaljenih oko 500 m od Cetine. Estavele su mala kapaciteta i aktivne su nekoliko puta na godinu. U većem dijelu godine podzemne vode područja Putišići-Luke gravitiraju prema nižem cilju, vrelima Studenci. Ta se vrele nalaze na tektonskom kontaktu vapnenca i eocenskog fliša na desnoj obali Cetine. Izvorište je razvijeno na dužini od oko 1 km. Srednji je kapacitet tih vrele preko 2,5 m<sup>3</sup>/s.

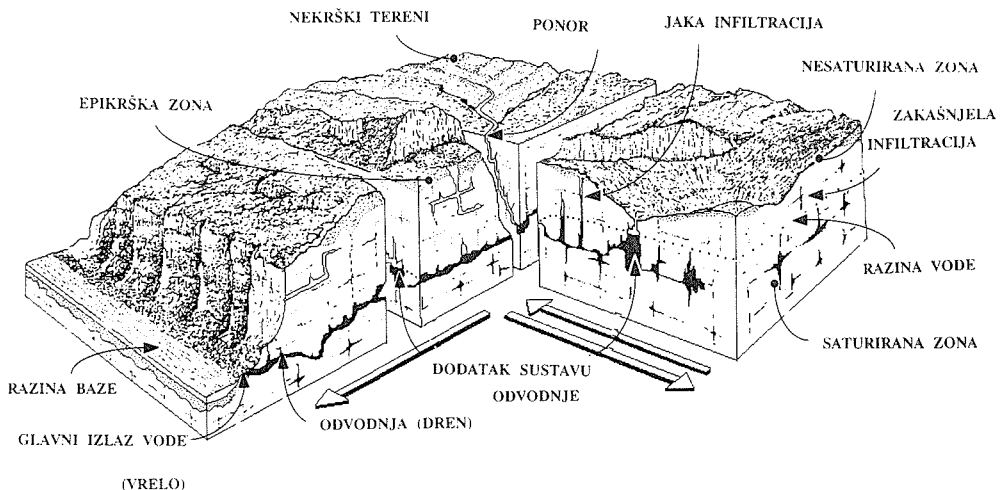
Koeficijenti su otjecanja u kršu redovno visoki. Od ukupnih oborina koje padnu na slivu Cetine, rijekom otječe oko 80 %. Iz toga se može zaključiti da je tečenje - cirkulacija podzemnih voda diktirana razinom mora i nadmorskom visinom doline rijeke ili krških polja. Fiktivna brzina tečenja podzemnih voda, utvrđena bojenjima, kreće se u granicama od nekoliko cm/s. Gradijent pada između ponora i izvora varira u velikom rasponu od približno 0,004 do 0,03. Ovisnost je između ukupnog pada i brzine vode vrlo slabo izražena. To je posljedica različitih geoloških prilika, stvarnog puta koji voda prođe od ponora do izvora, postavljanja lokalnih barijera itd.

Za slučaj zatvorenoga hidrogeološkog sustava podzemnih voda, opća se jednadžba bilance može pojednostaviti:

$$O + Q_{PU} = Q_{PO} + Q_{PI} + ET \pm \Delta V \quad ,$$

gdje je:

- O - oborine
- $Q_{PU}$  - ulazne površinske vode u sustav
- $Q_{PO}$  - otjecanje površinske vode iz sustava
- $Q_{PI}$  - izlaz podzemne vode iz sustava
- ET - evapotranspiracija
- $\Delta V$  - promjenjive zalihe podzemnih voda u sustavu



*Slika 5-7 Prikaz krškog sustava*

## 5.5.4. Bilanca podzemnih voda u Hrvatskoj

## Bilanca podzemnih voda u Hrvatskoj (maksimalna procjena)

Tablica 5-8

Vrsta	Obnovljive zalihe podzemnih voda		Stalne zalihe	
	m <sup>3</sup> /s	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /god	m <sup>3</sup> /s	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /god
<b>I Vodno područje sliva Save</b>				
1. Aluvijalni akviferi	221	6.969	1.216	38.360
2. Krški akviferi	144	3.590	-	-
3. Arteški i sl. akviferi	4	140	-	-
<b>Ukupno vodno područje sliva Save</b>	<b>339</b>	<b>10.699</b>	<b>1.216</b>	<b>38.360</b>
<b>II Vodno područje slivova Drave i Dunava</b>				
1. Aluvijalni akviferi	17	536	1.806	56.944
2. Arteški i sl. akviferi	1	20	-	-
<b>Ukupno vodno područje slivova Drave i Dunava</b>	<b>18</b>	<b>556</b>	<b>1.806</b>	<b>56.944</b>
<b>III Vodno područje primorsko - istarskih slivova</b>				
1. Krški akviferi				
Izvori	182	5.755	-	-
Vodonosnik	58	1.817	-	-
<b>Ukupno vodno područje primorsko - istarskih slivova</b>	<b>240</b>	<b>7.572</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>IV Vodno područje dalmatinskih slivova</b>				
1. Krški akviferi				
Izvori	275	8.682	-	-
Vodonosnik	87	2.742	-	-
<b>Ukupno vodno područje dalmatinskih slivova</b>	<b>362</b>	<b>11.424</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>Sveukupno Hrvatska</b>	<b>959</b>	<b>30.251</b>	<b>3.022</b>	<b>95.304</b>

Izvor: Mayer, 1996.

Iako su se izvodila razna i mnogobrojna istraživanja, spoznaja karakteristika vodnih bogatstava Hrvatske nije zadovoljavajuća. To se posebno odnosi na podzemne vode. Podzemne vode nisu dovoljno istražene. Uočljiva je i nejednakost istraženosti podzemnih voda različitih vrsta. Istraživanja su podzemnih voda složena i skupa pa nije čudno što su podzemne vode najmanje istražene. Problem je u dostupnosti i

raspoloživosti informacija. Zbog svega toga o bilanci podzemnih voda Hrvatske može se govoriti samo načelno.

Za ocjenu obnovljivih i stabilnih zaliha podzemne vode korišteni su podaci iz različitih izvornih materijala, npr.: Hidrogeološka karta, Studija uređenja Save, hidrogeološke studije i elaborati kao i monografski radovi objavljeni u stručnim i znanstvenim publikacijama itd. Konačni se rezultati bilanciranja razlikuju, kako se vidi iz tablica 5-8 i 5-9 Uvjetno, podaci u tablici 5-8 jesu maksimalna procjena, a podaci u tablici 5-9 minimalna procjena.

*Bilanca podzemnih voda u Hrvatskoj (minimalna procjena)*

*Tablica 5-9*

Vrsta	Obnovljive zalihe podzemnih voda		Stalne zalihe	
	m <sup>3</sup> /s	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /god	m <sup>3</sup> /s	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /god
<b>I Vodno područje sliva Save</b>				
1. Aluvijalni akviferi	36,21	1.141,9	-	-
2. Krški akviferi	15,27	481,6	-	-
3. Arteški i sl. akviferi	2,49	78,5	-	-
<b>Ukupno vodno područje sliva Save</b>	<b>53,97</b>	<b>1.702,0</b>	-	-
<b>II Vodno područje slivova Drave i Dunava</b>				
1. Aluvijalni akviferi	14,79	466,4	-	-
2. Arteški i sl. akviferi	1,02	32,2	-	-
<b>Ukupno vodno područje slivova Drave i Dunava</b>	<b>15,81</b>	<b>498,6</b>	-	-
<b>III Vodno područje primorsko - istarskih slivova</b>				
1. Krški akviferi				
Izvori	35,64	1.123,9	-	-
Vodonosnik	11,45	361,1	-	-
<b>Ukupno vodno područje primorsko - istarskih slivova</b>	<b>47,09</b>	<b>1.485,0</b>	-	-
<b>IV Vodno područje dalmatinskih slivova</b>				
1. Krški akviferi				
Izvori	46,32	1.460,7	-	-
Vodonosnik	14,88	469,3	-	-
<b>Ukupno vodno područje dalmatinskih slivova</b>	<b>61,20</b>	<b>1.930,0</b>	-	-
<b>Sveukupno Hrvatska</b>	<b>178,07</b>	<b>5.615,6</b>	-	-

Izvor: SVIZ Jugoslavije 1984.



## 5.6. UKUPNO RASPOLOŽIVE VODE

Bilance površinskih i podzemnih voda pokazuju da Hrvatska raspolaže velikim količinama površinske vode dotekle s vlastitog područja, koje su nejednoliko raspoređene prostorno i vremenski. Isto tako Hrvatska raspolaže velikim količinama podzemne vode. Različit stupanj istraženosti onemogućuje zajedničko bilanciranje površinskih i podzemnih voda.

Bilanca raspoloživih voda u Hrvatskoj (višegodišnji prosjek) glasi:  
u  $10^6 \text{m}^3/\text{god}$

1. Površinske vode
  - 1.1. Vode s teritorija Hrvatske 44.590
  - 1.2. Tranzitne vode 127.279
  - 1.3. Ukupno otekle vode 171.869
2. Podzemne vode (bez izvora) 3.030 do 15.800

Hrvatska ima značajne količine raspoloživih voda. Usporedba s nekim europskim zemljama prikazana je u tablici 5-10.

### Pregled oteklih voda

Tablica 5-10

Država	Višegodišnji prosjek oteklih voda					
	S vlastitog teritorija			Ukupno otjecanje		
	$10^6 \text{m}^3$	$\text{m}^3/\text{st}$	$\text{m}^3/\text{ha}$	$10^6 \text{m}^3$	$\text{m}^3/\text{st}$	$\text{m}^3/\text{ha}$
Hrvatska	44.590	9.320	7.890	171.870	35.920	30.400
Ausrija	56.300	7.497	34.710	90.200	12.010	55.610
Mađarska	6.000	560	1.121	113.700	10.616	21.240
Italija	185.000	3.242	14.864	187.000	3.277	15.025
Danska	11.000	2.110	4.150	11.000	2.110	4.150
Švedska	176.000	21.180	58.780	180.000	21.660	60.120
Francuska	168.000	3.130	8.865	207.000	3.850	10.9200
Njemačka	94.000	4.880	17.535	196.000	10.240	36.660
Španjolska	76.000	2.030	3.700	76.000	2.030	3.700

Izvor: ECE-Committee on water problems - 1982. S dopunama autora za Hrvatsku i Njemačku

Ocjena gospodarskog značaja vode može se dati na osnovi odnosa raspoloživih količina vode i potreba korisnika.

---

## LITERATURA

1. Biondić, B.: Hidrogeološki aspekti zaštite podzemnih voda u kršu, preporuke COST, projekt 65. Institut za geološka istraživanja. Zagreb, 1996.
2. Bonacci, O.: Regionalna hidrološka analiza potreba natapanja u Republici Hrvatskoj. Priručnik za hidrotehničke melioracije, II. kolo, knjiga 1, str. 61-87. Građevinski fakultet Rijeka i Hrvatsko društvo za odvodnju i natapanje, Zagreb, Rijeka 1992.
3. Gereš, D., Bonacci, O., Marušić, J., Ružić, J.: Water Management System in Croatia. Hrvatske vode, 3 (1995.) 12, 205-214.
4. Gereš, D., Urumović, K., Mihelčić, D., Mayer, D., Miletić, P., Vodopija, M.: Regionalna vodoopskrba zahvatom podzemnih voda iz aluvija i njihova zaštita. 10. vodoprivredni simpozij Hrvatska-Bavarska. Zagreb, 1996.
5. Margeta, J.: Osnove gospodarenja vodama. Građevinski fakultet Split. Split, 1992.
6. Mayer, D.: Manjak pitke vode - najveći problem 21. stoljeća. Hrvatske vode, 4 (1996.) 14, 25-32.
7. Miletić, P.: Evidencija i gospodarenje rezervama podzemnih voda Republike Hrvatske. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 1988.
8. Miletić, P.: Evidencija i gospodarenje rezervama podzemnih voda Republike Hrvatske. Izvještaj za 1992. godinu. RGN fakultet, Zagreb, 1993.
9. Pandžić, K.: Principal Components Analysis of Precipitation in the Adriatic - Panonian Area of Yugoslavia. Journal of Climatology. Vol. 8 (1988.), 357-380.
10. Schiller, H. (ed): Die Donau und Ihr Einzugsgebiet - Eine Hydrologische Monographie, Regionale Zusammenarbeit der Donauländer. München, 1986.
11. Tomić, F., Vidaček, Ž., Rumović, D.: Metoda Thornthwaitea i metoda Blaney - Cridgleya (za određivanje evapotranspiracije). U: Priručnik za hidrotehničke melioracije, II. kolo, knjiga 2, str. 57-76. Građevinski fakultet Rijeka i Hrvatsko društvo za odvodnju i natapanje, Zagreb, Rijeka, 1993.
12. \*\*\*: Study for Regulation and Management of the Sava River, Final Report. Consulting Eng. Consortium Polytecnica - Hydroprojekt - Carlo Lotti & Co., Prague-Roma, 1972.
13. \*\*\*: Hidrološka bilanca Dunava. Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi" i Savezni hidrometeorološki zavod, Beograd, 1977.
14. \*\*\*: Economic Commission for Europe - Committee on Water Problems, doc.water (6 el) R.33 and SGJ. Geneva. 1982.
15. \*\*\*: SVIZ Jugoslavije: Voda kao ekonomska kategorija i faktor razvoja, Beograd, 1984.

16. \*\*\*: Vodoprivredna osnova za vodno područje Drave i Dunava u SR Hrvatskoj. Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Beograd, 1986.
17. \*\*\*: A Concise Atlas of the Republic of Croatia and the Republic of Bosnia and Herzegovina. Leksikografski zavod "Miroslav Krleža", Zagreb, 1993.

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

*Doc. dr. Dragutin Gereš  
Javno vodoprivredno poduzeće  
"Hrvatske vode", Zagreb*

### 6.1. UVOD

Voda je temeljni element života, uz zrak, tlo i mineralne sirovine. Stvari nužne za život uvijek su iste: tlo i voda, rijeke u dolinama, minerali u utrobi Zemlje. Svugdje ljudi grade na tome svoj život. U gospodarenju vodnim zalihama pojavljuje se složenost tehničkih, ekonomskih i pravnih odnosa. Uzrok je te složenosti u osobinama vode. Voda je osnovna i finalna životna namirnica, predmet rada, sirovina, sredstvo za rad, aktivna razorna materija i ponekad destruktivni činilac. Upotrebljiva voda nalazi se u prirodi. Vodne se zalihe ne iscrpljuju potpuno dugotrajnim korištenjem. Prirodne zalihe koje su u jednom trenutku potpuno iscrpljene, u drugome se obnavljaju. Takve posebnosti nema kod tla i mineralnih sirovina. Vode se mogu koristiti onda kad ih daje priroda. Njihovo korištenje u kasnijem vremenu traži sadašnje ulaganje rada za očuvanje tih prirodnih voda. Potreban je stalan rad na vodama. Poznavanje i utvrđivanje korisnosti vodnih zaliha u budućnosti izaziva rad i troškove u sadašnjosti.

Vodne zalihe koriste se zahvaćanjem vode iz rijeka, jezera i podzemlja za potrebe vodoopskrbe naselja i gradova, za industrijsku proizvodnju, poljoprivredu, energetiku i druge gospodarske svrhe. Korištenje je voda danas u vodnom gospodarstvu višenamjensko. Ima korisnika vode čije su potrebe za vodom količinski i kvalitativno različite, a uz to su često prostorno i vremenski različite. Mogućnost višenamjenskog korištenja voda ovisi o kvalitativnim osobinama vodnih resursa. Održivo korištenje voda pretpostavlja izgradnju hidrotehničkih objekata (i sustava) koji će omogućiti jednolike protjecaje voda i njihovo racionalno korištenje. Važan uvjet održivog korištenja voda jest realno saznanje potreba sadašnjih i budućih korisnika te njihov prostorni i vremenski raspored.

Za uzgoj biljnih kultura potrebne su znatne količine vode. Biljna materija sadrži 60 do 95 % vode (konstitutivne i prijenosne) i proračunato to iznosi 400 do 600 kg vode (ponekad i 1000 kg), koju biljka utroši za svaki kilogram stvorene materije. Na

primjer, na jednom hektaru prirod šećerne repe zajedno s lišćem iznosi 50 tona, a uz prosječan sadržaj vode od 85 %, dobije se 42,5 tona vode. Za stvaranje 7,5 tona suhe organske materije istog uroda, potrebno je 4.500 m<sup>3</sup> vode ili, izraženo visinom stupca vode, 450 mm. Za pšenicu je potrebno 250 mm, lucernu 800 mm itd.

Natapna voda mora se osigurati u dovoljnoj količini i mora biti odgovarajuće kvalitete. Pri tome natapni sustav troši različite količine vode u sezoni. Uopće se može reći da je potreba za natapnom vodom jednog hektara u sušnim uvjetima 3.000 m<sup>3</sup> do 6.000 m<sup>3</sup>, a rijetko 10.000 m<sup>3</sup>. U klimatskim uvjetima Hrvatske radi se o dopunskom natapanju radi povećanja priroda i njegova ujednačavanja. Natapna se voda može osigurati korištenjem površinskih voda ili korištenjem podzemnih voda.

## 6.2. OPĆI PODACI O POLJOPRIVREDI, POVRŠINAMA I TLIMA

Poljoprivredne površine u Hrvatskoj iznose 32.350 km<sup>2</sup> (zaokružena brojka) ili 57,2 % teritorija Hrvatske. Najveći je udio oranica i vrtova, i to 14.700 km<sup>2</sup> ili 26 %, pašnjaka 11.870 km<sup>2</sup> ili 21 %, livada 4.150 km<sup>2</sup> ili 7,3 %, voćnjaka i vinograda 5.070 km<sup>2</sup> ili 9 % te šuma 20.750 km<sup>2</sup> ili 36,7 %. Obradive i ukupne melioracijske površine iznose 17.890 km<sup>2</sup> ili 55,3 % od ukupnih poljoprivrednih površina.

Na području Hrvatske mogu se izdvojiti četiri veće poljoprivredne regije.

- Nizinska regija obuhvaća većinu teritorija istočne Hrvatske i veliki dio središnje Hrvatske - središnja zavala, Podravina, Medimurje. To je poljoprivredno najvažniji dio Hrvatske i naša glavna žitorodna regija. Dominiraju od žitarica kukuruz i pšenica; od industrijskog bilja šećerna repa i uljanice; u zapadnim je dijelovima znatan dio površina zasijan krmnim biljem. U stočarstvu preteže svinjogojstvo i govedarstvo.
- Brežuljkasta regija obuhvaća panonske i peripanonske krajeve iznad 200 m visine i dijeli se na manje dijelove: bilogorsko-podravsko-moslavačku, zagorsko-prigorsku i pokupsko-kordunsko-banijsku regiju. Posjedi su usitnjeni, prevladava mješovita proizvodnja, udio je pod kukuruzom i pšenicom manji nego u nizinskim krajevima, a krumpir je najvažnija ratarska kultura. Veću važnost ima vinogradarstvo i voćarstvo. Veće pašnjačke površine pogoduju uzgoju goveda.
- Gorska regija ima dobre uvjete za ratarstvo samo u nižim dijelovima gdje su smještene polja i zavale, a glavne su kulture krumpir, ječam, raž i kupus. Zastupljeno je voćarstvo, a veliku gospodarsku važnost imaju šume. U stočarstvu prevladava sitna stoka.
- Jadranska (primorska ili mediteranska) regija pretežito je vinogradarsko i voćarsko područje s malo oranica i mnogo pašnjačkog kamenjara. Glavne ratarske kulture nalaze se samo u poljima u kršu. Siromašni pašnjaci pogoduju

ekstenzivnom stočarstvu. Obalni pojas i otoci također su krajevi s razvijenim ovčarstvom i vinogradarstvom te povrtlarstvom.

Hrvatska se odlikuje raznovrсноšću tala. Najbolja su tla u najistočnijim dijelovima Hrvatske - duboke i plodne crnice - černoziem, ritske crnice i gajnjače - dobra smeđa eutrična tla. Uz Savu, Dravu i Dunav veće su površine mladih riječnih naplavina - aluvijalna tla različite plodnosti. U središnjem i zapadnom dijelu savsko-dravskog međurječja i u Pokuplju, najraširenija su pseudoglejna tla, a uz veće rijeke livadska, močvarna i aluvijalna tla. Pseudogleji pogoduju razvoju pašnjaka, oranica manje vrijednosti, voćnjaka i vinograda. U Gorskom kotaru, Lici i Kordunu, tla su određena vapnenačkom ili dolomitikom podlogom, većim nagibom zemljišta i vlažnijom klimom. Raširena su slabija smeđa tla (distrična), smeđa tla na vapnencima i dolomitima te vapnenačko-dolomitiska crnica. Samo su dublja tla pogodna za ratastvo ili voćarstvo, a znatne su površine pod travnjacima. U jadranskom području prevladava litosol (kamenjar i goli krš) s pjegama crvenice i smeđa tla na vapnencima i dolomitima. Najviše plodnog tla ima u Istri - dublja crvenica i smeđa tla na flišu, u Ravnim kotarima te manjim flišnim zonama uz obalu i na nekim otocima. Polja u kršu pokrivena su mlađim naplavinama, a najplodnije su površine u Zagori. U delti Neretve ima tresetnog tla. Oko 3-5 % površine Hrvatske zauzimaju antropogena tla koja su se utjecajem čovjeka toliko izmijenila da su izgubila sličnost s okolnim prirodnim tlama. Vrlo su produktivna, a najčešće su pod plantažama, vinogradima i vrtovima.

### Visinski pojasi po regijama u Hrvatskoj

Tablica 6-1

Regija		Udio u ukupnoj površini					
		Ukupno	0-200	200-500	500-1.000	1.000-1.500	1.500-2.000
Panonska	km <sup>2</sup>	3.1000	22.060	7.905	1.023	12	-
	%	54,8/100	71,2	25,5	3,3	0,04	-
Gorsko-planinska	km <sup>2</sup>	7.540	110	1.270	5.322	810	28
	%	13,3/100	1,44	16,9	70,6	10,7	0,37
Primorska	km <sup>2</sup>	18.0003	7.790	5.310	3.580	1.260	60
	%	1,9/100	43,3	29,5	19,9	7,0	0,31
<b>Ukupno Hrvatska</b>	<b>km<sup>2</sup></b>	<b>56.538</b>	<b>29.960</b>	<b>14.485</b>	<b>9.925</b>	<b>2.082</b>	<b>88</b>
	<b>%</b>	<b>100</b>	<b>52,8</b>	<b>25,6</b>	<b>17,7</b>	<b>3,7</b>	<b>0,15</b>

Po prirodnim osobinama i kulturno-povijesnom razvitku, područje Hrvatske može se podijeliti na tri regije (slika 5-1 - poglavlje 5. u ovoj knjizi):

1. Panonska regija, površine oko 31.000 km<sup>2</sup> ili 54,8 % površine Hrvatske
2. Gosko-planinska regija, površine oko 7.540 km<sup>2</sup> ili 13,3 % od ukupne

3. Primorska ili mediteranska regija, površine oko 18.000 km<sup>2</sup> ili 31,9 % površine Hrvatske

Visinski odnosi unutar regija i korištenje zemljišta u 1990. godini pokazani su u tablicama 6-1 i 6-2.

### Korištenje zemljišta (stanje 1990.)

Tablica 6-2

Regija		Udio u ukupnoj površini							Ostalo
		Ukupno	Oranice i vrtovi	Voć- njaci	Vino- gradi	Livade	Paš- njaci	Šume	
Panonska	km <sup>2</sup>	3.1000	12.273	405	360	2.892	2.600	9.660	2.810
	%	54,8/100	39,6	1,3	1,15	9,3	8,4	31,17	9,1
Gorsko- planinska	km <sup>2</sup>	7.540	730	20	1	813	1.844	3.895	237
	%	13,3/100	9,7	0,25	0,01	10,8	24,5	51,66	3,95
Primorska	km <sup>2</sup>	18.000	1.863	300	373	380	7.045	7.157	882
	%	31,9/100	10,35	1,65	2,1	2,1	39,2	39,76	4,9
Ukupno Hrvatska	km <sup>2</sup>	56.538	14.866	725	734	4.085	11.489	20.712	3.929
	%	100	26,29	1,28	1,30	7,23	20,32	36,63	6,95

## 6.3. SLIVNA I VODNA PODRUČJA HRVATSKE

Daljnji tijek regionalne analize za procjenu potrebne natapne vode prikazat će se po slivnim i vodnim područjima u Hrvatskoj. Detaljnije o karakteristikama vodnih područja prikazano je u poglavlju 5.4.1. ove knjige.

Vodnogospodarski plan korištenja voda u poljoprivredi za natapanje, što se obrađuje u ovom poglavlju knjige, sadrži rješenja i mjere zaštite od poplava i odvodnje. Pregled stanja u Hrvatskoj o melioracijskim površinama i stupnju izgrađenosti sustava površinske i podzemne odvodnje prikazuje se u tablici 6-3.

**Melioracijske površine i izgrađenost sustava za odvodnju po vodnim područjima u Hrvatskoj (1990.)**

Tablica 6-3

Slivna i vodna područja	Ukupne melioracijske površine	Stupanj izgrađenosti sustava odvodnje				
		Površinski			Podzemni	
		Izgrađeni	Potrebna izgradnja	Izgrađeni	Potrebna izgradnja	
<b>A. Sliv Crnog mora</b>						
Sliv Save	km <sup>2</sup>	11.297,6	6.385,2	4.912,4	977,5	4.213,1
	%	63,1/100	56,5	43,5	-	-
Sliv Drave i Dunava	km <sup>2</sup>	5.708,4	4.439,8	1.268,6	588,7	2.229,9
	%	31,9/100	77,8	22,2	-	-
Ukupno sliv Crnog mora	km <sup>2</sup>	17.006	10.825	6.181,0	1.566,2	6.443,0
	%	95,0/100	63,7	36,3	-	-
<b>B. Sliv Jadranskog mora</b>						
Primorsko-Istarski sliv	km <sup>2</sup>	438,3	135,4	302,9	26,2	92,3
	%	2,5/100	30,9	69,1	-	-
Dalmatinski sliv	km <sup>2</sup>	446,5	228,5	218,0	22,9	72,10
	%	2,5/100	51,2	48,8	-	-
Ukupno sliv Jadranskog mora	km <sup>2</sup>	884,8	363,9	520,9	49,1	164,4
	%	5,0/100	41,1	58,1	-	-
Sveukupno Hrvatska	km <sup>2</sup>	17.890,8	11.188,9	6.701,9	1.615,3	6.607,4
	%	100	62,5	37,5	-	-

### 6.3.1. Vodno područje sliva Save

Površina je vodnog područja 24.283 km<sup>2</sup>, a ukupne poljoprivredne površine iznose 12.200 km<sup>2</sup>. Obradive površine, ujedno i melioracijske površine iznose 11.298 km<sup>2</sup>. U nizinskom području sliva oranice zauzimaju 55 % površine sliva, šume 19 %, livade, pašnjaci i močvare 16,5 % i neproduktivne 7 % od ukupne površine.

Danas postoje natapni sustavi površine 15,1 km<sup>2</sup>. Područja u kojima su tla pogodna za natapanje izabrana na osnovi podataka o pedološkim karakteristikama i potrebnoj vrijednosti tla, a prikazana su u tablici 6-4.



*Područja predviđena za natapne sustave*

Tablica 6-4

Područje	Natapne površine u ha		
	1990. g.	2015. g.	2050. g.
Zagorje	-	1.000	3.000
Zagreb	500	8.500	23.000
Moslavina	-	9.000	33.000
Bilogorsko	-	5.500	16.000
Slavonija	1.010	22.000	71.000
Karlovac	-	1.500	10.000
Banija	-	2.500	14.000
<b>Ukupno vodno područje</b>	<b>1.510</b>	<b>50.000</b>	<b>170.000</b>

Struktura je sjetve u uvjetima natapanja ova:

- žitarice 22 - 40%
- industrijsko bilje 8 - 18%
- krmno bilje 19 - 37%
- povrće 4 - 22%
- livade 5 - 46%

*Potrebe za natapnom vodom*

Potrebne količine natapne vode izračunate su na temelju nedostataka vode za razvoj biljnih kultura u vegetacijskom razdoblju. Usvojena je 80% vjerojatnoća pojave mjesečnih suma oborina. Zimska je rezerva vlage obračunata s 150 mm u istočnom dijelu sliva (dublja zemljišta), a 100 mm u zapadnom dijelu sliva. Potrebne količine natapne vode, neto i bruto norme natapanja prikazane su u tablici 6-5.

*Potrebne količine natapne vode, neto i bruto norme natapanja*

Tablica 6-5

Područje	Potrebne količine vode mm/ha	Norme natapanja	
		neto m <sup>3</sup> /ha	bruto m <sup>3</sup> /ha
Zagorje, Zagreb	195	1.950	2.440
Moslavina	200	2.000	2.500
Bilogorsko	200	2.000	2.500
Slavonija	300	3.000	3.750
Karlovac	195	1.950	2.440
Banija	195	1.950	2.400

Obračun ukupnih količina vode za planska razdoblja 2015. godine i 2050. godine prikazan je u tablici 6-6.

*Ukupne količine natapne vode za 2015. i 2050. godinu*

*Tablica 6-6*

Područje	Plansko razdoblje	
	2015. god. 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	2050. god. 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
Zagorje	2.440	7.320
Zagreb	20.740	56.120
Moslavina	22.500	82.500
Bilogorsko	13.750	40.000
Slavonija	82.500	266.250
Karlovac	3.660	24.400
Banija	6.100	34.160
<b>Ukupno vodno područje</b>	<b>151.690</b>	<b>510.750</b>

*6.3.2. Vodno područje slivova Drave i Dunava*

*Područja predviđena za natapne sustave*

*Tablica 6-7*

Područje	Natapne površine u ha		
	1990. god.	2015. god.	2050. god.
Međimurje	100	6.000	19.000
Varaždin	100	5.000	16.000
Koprivnica	200	9.000	29.000
Virovitica	200	10.000	32.000
Donji Miholjac	100	12.000	38.000
Osijek	620	15.000	50.000
Baranja	300	15.000	48.000
Vukovar	250	15.000	48.000
<b>Ukupno vodno područje</b>	<b>1.870</b>	<b>87.000</b>	<b>280.000</b>

Površina vodnog područja slivova Drave i Dunava iznosi 9.657 km<sup>2</sup>. Ukupne poljoprivredne površine iznose 6.211 km<sup>2</sup>. Oranice i vrtovi zauzimaju 4.805 km<sup>2</sup> ili

49,8 % površine ukupnoga vodnog područja, voćnjaci 115,4 km<sup>2</sup> ili 1,2 %, vinogradi 131,6 km<sup>2</sup> ili 1,4 %, livade 655,9 km<sup>2</sup> ili 6,8 %, šume 2.116 km<sup>2</sup> ili 21,9 % i ostalo 1.330 km<sup>2</sup> ili 13,7 % vodnog područja.

Danas se natapa oko 1.900 ha zemljišta. U tablici 6-7 prikazana su područja s tlima pogodnima za natapanje. Površine su izabrane na osnovi pedoloških karakteristika i upotrebne vrijednosti tla.

*Potrebne količine vode, neto i bruto norme natapanja*

*Tablica 6-8*

Područje	Potrebne količine vode mm/ha	Norme natapanja	
		neto m <sup>3</sup> /ha	bruto m <sup>3</sup> /ha
Međimurje	185	1.850	2.310
Varaždin	185	1.850	2.310
Koprivnica	190	1.900	2.380
Virovitica	220	2.200	2.750
Donji Miholjac	250	2.500	3.130
Osijek	290	2.900	3.620
Baranja	280	2.800	3.500
Vukovar	300	3.000	3.750

*Ukupne količine natapne vode za 2015. i 2050. godine*

*Tablica 6-9*

Područje	Plansko razdoblje	
	2015. god. 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	2050. god. 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
Međimurje	13.860	43.890
Varaždin	11.550	36.960
Koprivnica	21.420	69.020
Virovitica	27.500	88.000
Donji Miholjac	37.560	118.940
Osijek	54.300	181.000
Baranja	52.500	168.000
Vukovar	56.250	180.000
<b>Ukupno vodno područje</b>	<b>274.940</b>	<b>885.810</b>

Struktura je sjetve u uvjetima natapanja ova:

- žitarice 47%
- industrijsko bilje 15%

- krmno bilje 10%
- povrće 7%
- ostalo 21%

#### *Potrebe za natapnom vodom*

Globalni obračun potrebne količine natapne vode temelji se na nedostatku vode za razvoj biljnih kultura u vegetacijskom razdoblju. U obračunu je usvojena 80 %-tna vjerojatnoća pojave suma oborina. Zimska je rezerva vlage obračunata u iznosu 150 mm u istočnom dijelu sliva i 100 mm u zapadnom dijelu sliva. Potrebne količine vode, neto i bruto norme natapanja prikazane su u tablici 6-8.

Obračun ukupnih količina natapne vode za planska razdoblja 2015. godine i 2050. godine prikazan je u tablici 6-9.

### *6.3.3. Vodno područje primorsko-istarskih slivova*

Površina je vodnog područja 9.840 km<sup>2</sup>. Poljoprivredne površine iznose 2.318 km<sup>2</sup> površine vodnog područja. Melioracijske površine iznose 438 km<sup>2</sup>, šumske površine iznose 5.033 km<sup>2</sup> ili 51,1 % i ostalo 2.489 km<sup>2</sup> ili 25,3 % površine vodnog područja.

U 1985. godini, po statističkim podacima, natapano je 87 ha površina. Područja u kojima su tla pogodna za natapanje određena su na osnovu pedoloških karakteristika tla, klimatskih prilika i tehničkih mogućnosti natapanja i prikazana su u tablici 6-10.

#### *Područja predviđena za natapne sustave*

*Tablica 6-10*

Područje	Natapne površine u ha		
	1990. god.	2015. god.	2050. god.
Sliv Mirne	17	1.400	4.700
Sliv Raše i Boljunčice	20	1.450	4.800
Ostala područja Istre	40	3.450	11.500
Hrvatsko primorje	10	330	1.100
Slivovi Gorskog kotara	-	150	500
Slivovi Like	-	1.620	5.400
<b>Ukupno vodno područje</b>	<b>87</b>	<b>8.400</b>	<b>28.000</b>

Struktura je sjetve u uvjetima natapanja ova:

- žitarice 10%
- industrijsko i krmno bilje 10-30%
- povrće 30-35%
- voćnjaci 15-20%
- vinogradi 15-18%

*Potrebe za natapnom vodom*

Obračun potrebne količine natapne vode temelji se na nedostatku vode za razvoj biljnih kultura u vegetacijskom razdoblju. U obračunu je usvojena 80 %-tna vjerojatnoća pojave suma oborina. Zimska rezerva vlage obračunata je u iznosu od 50 mm. Potrebne količine vode, neto i bruto norme natapanja prikazane su u tablici 6-11.

*Potrebne količine vode, neto i bruto norme natapanja**Tablica 6-11*

Područje	Potrebne količine vode mm/ha	Norme natapanja	
		neto m <sup>3</sup> /ha	bruto m <sup>3</sup> /ha
Sliv Mirne	360	3.600	4.500
Sliv Raše i Boljunčice	300	3.000	3.750
Ostala područja Istre	330	3.300	4.100
Hrvatsko primorje	280	2.800	3.500
Slivovi Gorskog kotara	150	1.500	1.870
Slivovi Like	250	2.500	3.120

Obračun ukupnih količina natapne vode za planska razdoblja 2015. godine i 2050. godine prikazan je u tablici 6-12.

*Ukupne količine natapne vode za 2015. i 2050. godine**Tablica 6-12*

Područje	Plansko razdoblje	
	2015. god. 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	2050. god. 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
Sliv Mirne	6.300	21.150
Sliv Raše i Boljunčice	5.440	18.000
Ostala područja Istre	14.145	47.150
Hrvatsko primorje	1.155	3.850
Slivovi Gorskog kotara	280	930
Slivovi Like	5.054	16.850
<b>Ukupno vodno područje</b>	<b>32.374</b>	<b>107.930</b>

### 6.3.4. Vodno područje dalmatinskih slivova

Površina je vodnog područja 12.758 km<sup>2</sup>. Poljoprivredne površine iznose 2.093 km<sup>2</sup> ili 16,4 % površine vodnog područja. Melioracijske površine iznose 446,5 km<sup>2</sup> ili 3,5 %. Šumske površine iznose 4.990 km<sup>2</sup> ili 39,1 % površine vodnog područja, a ostalo 5.678 km<sup>2</sup> ili 44,5 %.

Po statističkim podacima, natapalo se 4.330 ha površina. Područja u kojima su tla pogodna za natapanje određena su na osnovi pedoloških karakteristika tla, klimatskih prilika i tehničkih mogućnosti natapanja i prikazana su u tablici 6-13.

#### Područja predviđena za natapne sustave

Tablica 6-13

Područje	Natapne površine u ha		
	1990. god.	2015. god.	2050. god.
Donja Neretva	1.070	3.950	7.000
Imotsko polje	1.500	2.000	4.000
Dalmatinski Rastok	-	500	740
Vrgorsko polje	-	950	3.000
Sinjsko polje	-	900	4.050
Hrvatačko polje	-	500	1.500
Vransko polje	512	1.150	3.150
Konavosko polje	-	950	1.300
Petovo polje	-	820	3.520
Kosovo polje	740	730	2.400
Područje Zadra	100	200	700
Ostala područja	408	1.000	5.240
<b>Ukupno vodno područje</b>	<b>4.330</b>	<b>13.650</b>	<b>36.600</b>

Struktura je sjetve u uvjetima natapanja ova:

- žitarice 10-15%
- industrijsko i krmno bilje 10-25%
- povrće 30-35%
- voćnjaci 15-20%
- vinogradi 12-15%

#### Potrebe za natapnom vodom

Obračun potrebne količine natapne vode temelji se na nedostatku vode za razvoj biljnih kultura u vegetacijskom razdoblju. U obračunu je usvojena 80 %-tna vjerojatnoća pojave suma oborina. Zimska rezerva vlage obračunata je u iznosu od 50 mm. Potrebne količine vode, neto i bruto norme natapanja prikazane su u tablici 6-14.

*Potrebne količine vode, neto i bruto norme natapanja*

Tablica 6-14

Područje	Potrebne količine vode mm/ha	Norme natapanja	
		neto m <sup>3</sup> /ha	bruto m <sup>3</sup> /ha
Donja Neretva	360	3.600	4.500
Imotsko polje	260	2.600	3.250
Dalmatinski Rastok	350	3.500	4.380
Vrgorsko polje	260	2.600	3.250
Sinjsko polje	280	2.800	3.500
Hrvatačko polje	320	3.200	4.000
Vransko polje	380	3.800	4.750
Konavosko polje	310	3.100	3.875
Petovo polje	310	3.100	3.875
Kosovo polje	320	3.200	4.000
Područje Zadra	380	3.800	4.750
Ostala područja	330	3.300	4.125

Obračun ukupnih količina natapne vode za planska razdoblja 2015. godine i 2050. godine prikazan je u tablici 6-15.

*Ukupne količine natapne vode za 2015. i 2050. godinu*

Tablica 6-15

Slivna i vodna područja	Plansko razdoblje	
	2015. god. 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	2050. god. 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
Donja Neretva	17.775	31.500
Imotsko polje	6.500	13.000
Dalmatinski Rastok	2.190	3.240
Vrgorsko polje	3.090	9.750
Sinjsko polje	3.150	14.170
Hrvatačko polje	2.000	6.000
Vransko polje	5.450	14.950
Konavosko polje	3.680	5.040
Petovo polje	3.200	13.640
Kosovo polje	3.280	14.080
Područje Zadra	3.470	11.400
Ostala područja	4.125	21.610
<b>Ukupno vodno područje</b>	<b>57.910</b>	<b>158.380</b>

### 6.3.5. Zbirni podaci za Republiku Hrvatsku

Ukupne površine u Republici Hrvatskoj, koje su u prethodnim dijelovima ovog poglavlja analizirane po regijama (prirodne osobine i poljoprivredne) te po slivovima i vodnim područjima, sada se prikazuju zbirno za Hrvatsku.

#### Površine u Hrvatskoj

Tablica 6-16

Slivna i vodna područja	Površine			Sustav za odvodnju	
	Ukupne km <sup>2</sup>	Poljoprivredne km <sup>2</sup>	Melioracijske	Izgrađeno	Potrebna izgradnja
Sava	24.283	12.200	11.298	6.385	4.913
Drava i Dunav	9.657	6.211	5.708	4.440	1.268
Primorsko-istarski	9.840	2.318	438	135	303
Dalmatinski	12.758	2.093	447	229	218
<b>Ukupno Hrvatska</b>	<b>56.538</b>	<b>22.822</b>	<b>17.891</b>	<b>11.189</b>	<b>6.702</b>

#### Program povećanja natapnih površina u Hrvatskoj

Tablica 6-17

Slivna i vodna područja	Natapne površine u ha		
	1985 ili 1990. god.	2015. god.	2050. god.
Sava	1.510	50.000	170.000
Drava i Dunav	1.870	87.000	280.000
Primorsko-istarski	87	8.400	28.000
Dalmatinski	4.330	13.650	36.000
<b>Ukupno Hrvatska</b>	<b>7.800</b>	<b>159.050</b>	<b>514.600</b>

Natapanje je dopunska hidrotehnička i agrotehnička mjera za povećanu i stabilnu proizvodnju hrane u većem dijelu Hrvatske. S obzirom na klimatske uvjete na pojedinim područjima, deficit vode pojavljuje se tijekom vegetacijskog razdoblja u različitom opsegu. Za uspješno natapanje površina, nužno je provesti zaštitu od štetnog djelovanja voda i odvodnju površina. Time se stvaraju uvjeti za intenzivnije korištenje zemljišta. Zaštita od štetnog djelovanja voda u Hrvatskoj riješena je uglavnom zadovoljavajuće.

Od ukupnih melioracijskih površina u Hrvatskoj od 1.789.100 ha sustav za površinsku odvodnju izgrađen je na 1.118.900 ha, a potrebna je izgradnja na 670.200 ha. Sustavi za podzemnu odvodnju izgrađeni su na 161.530 ha, a potrebna je



izgradnja na daljnjih 660.740 ha. Površine predviđene za natapanje u 2015. godini iznose 159.050 ha, a u 2050. godini 514.600 ha.

Prema tome, već danas je provedena potpuna odvodnja na preko 160.000 ha, koliko je približno planirano natapati u 2015. godini. Za daljnji razvoj natapanja potrebno je izgraditi sustave za podzemnu odvodnju.

### *Ukupne godišnje količine natapne vode za planska razdoblja*

*Tablica 6-18*

Slivna i vodna područja	Plansko razdoblje		Prosječna norma m <sup>3</sup> /ha
	2015. god. 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	2050. god. 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	
Sava	151.690	510.750	3.000
Drava i Dunav	274.940	885.810	3.160
Primorsko-istarski	32.374	107.930	3.850
Dalmatinski	57.910	158.380	4.330
<b>Ukupno Hrvatska</b>	<b>516.914</b>	<b>1.662.870</b>	<b>3.585</b>

## 6.4. IZVORIŠTA NATAPNE VODE

Rijeke Mura, Drava, Dunav, Sava i Kupa, bogate su vodom. Može se utvrditi da ima dovoljno natapne vode bez ograničenja. Osim tih voda predviđa se koristiti i vode iz brdskih akumulacija te višenamjenskih akumulacija. Kvaliteta vode u rijekama zadovoljava kriterije za natapanje. Prema kategoriji rijeke imaju vodu II. i III. kategorije. Iz brdskih akumulacija dobivat će se vode I. kategorije.

Akumulacije imaju značajnu ulogu u kompleksnom (integralnom) korištenju vode te u zaštiti od štetnog djelovanja voda. Prirodne su mogućnosti formiranja većeg broja akumulacija u Hrvatskoj povoljne. Hidrotehnički objekti koji imaju funkciju zaštite od štetnog djelovanja voda, funkciju namjenskog ili višenamjenskog korištenja voda ili više funkcija istovremeno, nazivaju se retencije i akumulacije. Retencije služe za prihvaćanje valova velikih voda i za smanjenje protoka velikih voda nizvodno od retencije. Prazne se u predviđenom vremenu kako bi dočekale sljedeći val velike vode. Akumulacije imaju funkciju akumuliranja određene količine vode koja se može upotrijebiti u različite svrhe. One nikada nisu prazne. Akumulacije su uglavnom višenamjenske.

Akumulacije na Dravi za HE Varaždin, Čakovec i Dubravu, izgrađene su i imaju ukupni korisni volumen 147x10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> vode. Rješenja su akumulacija višenamjenska, a njima se, uz korištenje hidroenergetskog potencijala Drave, uz ostale namjene omogućuje i natapanje poljoprivrednih površina.

Pregled akumulacija po vodnim područjima u Hrvatskoj prikazuje izgrađene i planirane akumulacije. U pregled nisu uključeni prostori retencija ni veliki volumeni višenamjenskih akumulacija.

*Podaci o izgrađenim i planiranim akumulacijama u Hrvatskoj*

*Tablica 6-19*

Slivna i vodna područja	Izgrađene (1990)		Planirane		Ukupno	
	broj kom	volumen $10^6\text{m}^3$	broj kom	volumen $10^6\text{m}^3$	broj kom	volumen $10^6\text{m}^3$
Sava	24	43.7	308	1.070	332	1.113
Drava i Dunav	19	18.8	84	84	103	103
Primorsko-istarski	11	198.4	12	81	23	279
Dalmatinski	4	49.6	9	55	13	105
<b>Ukupno Hrvatska</b>	<b>58</b>	<b>310.5</b>	<b>413</b>	<b>1.290</b>	<b>471</b>	<b>1.600</b>

U idućoj tablici prikazana su moguća izvorišta natapne vode i ukupne godišnje potrebne količine natapne vode. Bilanciranje je izvršeno samo s površinskim vodama, i to s minimalnim otjecajima u rijekama.

*Raspoložive natapne vode*

*Tablica 6-20*

Slivna i vodna područja	Akumulacije			Površinske vode $10^6\text{m}^3$	Potreba za vodom	
	izgrađene $10^6\text{m}^3$	planirane $10^6\text{m}^3$	ukupno $10^6\text{m}^3$		2015. g. $10^6\text{m}^3$	2050. g. $10^6\text{m}^3$
Sava	43	1.070	1.113	5.513	152	511
Drava i Dunav	19	84	103	3.559	275	886
Primorsko-istarski	198	81	279	189	32	108
Dalmatinski	50	55	105	536	58	158
<b>Ukupno Hrvatska</b>	<b>310</b>	<b>1.290</b>	<b>1.600</b>	<b>9.797</b>	<b>517</b>	<b>1.663</b>

Bogatstvo vodnih područja Save, Drave i Dunava površinskom vodom, računajući samo rijeke, pruža teoretski neograničene mogućnosti osiguravanja potrebnih količina natapne vode. Osim toga postoje mogućnosti za korištenje voda iz akumulacija za natapanje onih površina koje su udaljene od rijeka. U izboru izvorišta natapne vode, značajna je komplementarnost jednog ili drugog rješenja osiguranja natapne vode.

## 6.5. PROCJENA POTREBNE VODE ZA VODOOPSKRBU U HRVATSKOJ

### 6.5.1. Demografske i gospodarske promjene

Zbog specifičnih prilika u kojima je Republika Hrvatska i pod utjecajem složene i teške društvene i gospodarske krize u zemlji, koja je prisutna u minulom desetljeću, potrebna je obnova i preobrazba društva. Taj će proces trajati vjerojatno do konca ovog stoljeća. Zato nije moguće jednostavno predvidjeti demografske promjene. Veoma je teško izraditi bilo koju projekciju ili procjenu kretanja broja stanovnika. Posljedice Domovinskog rata u Hrvatskoj podupiru nepovoljnu demografsku budućnost. Iz tih razloga nemaju više dovoljno uporišta do sada izradene prognoze stanovništva za Hrvatsku. Više nije održiva prognoza da će godine 2015. Hrvatska imati 5 milijuna stanovnika. To je danas nerealno i teško ostvarljivo.

Temeljem navedenih uzroka, prognoze razvoja turizma i gospodarstva nisu više održive.

### 6.5.2. Potrošnja vode u Hrvatskoj

Godišnja potrošnja vode u Republici Hrvatskoj iskazana u tablici 6-21 dobivena je prema statističkim podacima.

*Godišnja potrošnja vode u Hrvatskoj ( $10^6 m^3$ )*

*Tablica 6-21*

Vrsta potrošnje	Godine							
	1985.	1990.	1991.	1992.	1993.	1994.	1995.	1996.
Javna vodoopskrba (stanovnici, turisti)	368	338	311	319	315	276	272	296
Industrija	129	111	87	79	69	97	86	56
Voda za hlađenje	310	251	127	203	205	210	215	210
Ostali potrošači	80	79	75	77	77	78	78	77
<b>Ukupno</b>	<b>887</b>	<b>779</b>	<b>600</b>	<b>678</b>	<b>666</b>	<b>661</b>	<b>651</b>	<b>639</b>

Podatke u tablici za potrošnju za javnu vodoopskrbu i za industriju potrebno je uvećati za veličinu gubitaka (25%) tako da se dobije ukupna potrošnja u 1996. godini od  $800 \times 10^6 m^3$ .

Pokušaj prognoze i procjene potrebne vode za vodoopskrbu za sve vrste potrošnje u Hrvatskoj za 2050. godinu prikazuje se u tablici 6-22. Podaci se odnose na zahvaćene količine vode na izvorima.

*Potrebe za vodom za vodoopskrbu u Hrvatskoj za 2050. godinu*

*Tablica 6-22*

Slivna i vodna područja	Plansko razdoblje	
	2015. g. $10^6\text{m}^3$	2050. g. $10^6\text{m}^3$
Sava	395	618
Drava i Dunav	110	171
Primorsko-istarski	210	299
Dalmatinski	285	437
<b>Ukupno Hrvatska</b>	<b>1.000</b>	<b>1.525</b>

Kao izvorišta vode za vodoopskrbu danas se koriste podzemne vode u 86 % slučajeva, a površinske vode u 14 % slučajeva. Za osiguravanje vode za vodoopskrbu stanovništva i industrije najznačajnije su obnovljive zalihe podzemnih voda, koje se zapravo mogu trajno eksploatirati. U idućoj tablici prikazane su potrebne količine vode za vodoopskrbu i obnovljive zalihe podzemnih voda.

*Potrebne količine vode za vodoopskrbu i obnovljive zalihe podzemnih voda*

*Tablica 6-23*

Slivna i vodna područja	Potreba za vodom	Obnovljive zalihe podzemnih voda	
	za vodoopskrbu	maksimalna	minimalna
	2050. g. $10^6\text{m}^3$	procjena $10^6\text{m}^3$	procjena $10^6\text{m}^3$
Sava	618	7.109	1.220
Drava i Dunav	171	556	499
Primorsko-istarski	299	7.572	1.485
Dalmatinski	437	11.424	1.930
<b>Ukupno Hrvatska</b>	<b>1.525</b>	<b>26.661</b>	<b>5.134</b>

Hrvatska ima zadovoljavajuće obnovljive zalihe podzemne vode, koje višestruko premašuju potrebne količine vode za vodoopskrbu za plansko razdoblje 2050. godine.

Voda za javnu vodoopskrbu mora zadovoljavati uvjete u pogledu fizičko-kemijskih, bakterioloških, radioloških i drugih svojstava. Vodne zalihe za vodoopskrbu ne smiju se prethodno koristiti za druge svrhe.

## 6.6. ZAKLJUČAK I VODNOGOSPODARSKA BILANCA VODA

Voda je prirodno bogatstvo i integralni dio životnog okoliša. Voda je uvjet života i gospodarskog i društvenog razvitka. Osiguravanje dovoljnih količina voda, uz zaštitu od štetnog djelovanja voda i zaštitu voda, ima izvanredan značaj za svako društvo. Korištenje voda zahtijeva dugoročnu plansku orijentaciju u pogledu racionalne i ekonomične eksploatacije raspoloživih vodnih zaliha, tj. primjenu postavki održivog razvitka. Višekratno korištenje vode, uključujući recirkulaciju vode, trebalo bi postati pravilo u gospodarenju vodama i ponašanju korisnika vode.

Opskrba vodom stanovništva i gospodarstva mora stalno biti u funkciji optimalno-mogućeg zadovoljenja potreba. Prilikom te vrste korištenja vode te u ostalim načinima korištenja vode, jedan se dio vode gubi, a drugi se dio obično onečišćuje otpadnim materijama i potom vraća u vodotoke ili more, što dovodi do njihova zagađivanja i degradacije, a time i do ugrožavanja uvjeta i mogućnosti korištenja voda u svim oblicima. Zahvat vode, njezin transport, korištenje i zagađivanje, kompleksan je problem koji se mora adekvatno rješavati.

### *Bilanca raspoloživih količina, potrošnje i potreba za vodom u Hrvatskoj*

*Tablica 6-24*

Opis	Ostvareno 1996.(1990.) $10^6 \text{m}^3/\text{g.}$	Planirano	
		2015. g. $10^6 \text{m}^3/\text{g.}$	2050. g. $10^6 \text{m}^3/\text{g.}$
<b>A. Raspoložive vode</b>	<b>(višegodišnji prosjek) (minimalni otjecaji)</b>		
1. Površinske vode			
1.1. Ukupno otekle vode	171.869		23.797
1.2. Tranzitne vode	127.279		14.000
1.3. Vode s teritorija Hrvatske	44.590		9.797
2. Podzemne vode (min. procjena)	5.134		-
<b>B. Potrebe korisnika za vodom</b>			
1. Vodoopskrba	800	1.000	1.525
2. Natapanje	24	517	1.663
Ukupno	824	1.517	3.188
<b>C. Višak oteklih voda s teritorija Hrvatske</b>			
1. Višegodišnji prosjek	43.766	43.073	41.402
2. Minimalni otjecaj	8.973	8.280	6.609

Za vodnogospodarsku bilancu voda koristit će se podaci iz poglavlja 5: Raspoloživost vode u Republici Hrvatskoj u ovoj knjizi i to iz tablica 5-7, 5-8, 5-9 i 5-10.

Gospodarski značaj vode vidi se iz odnosa raspoloživih količina vode i potreba korisnika. Vodnogospodarska bilanca omogućuje takvo sagledavanje za današnje vrijeme i za planska razdoblja. Ti podaci prikazani su u tablici 6-24.

Korištenje voda u 1996. (1990.) godini iznosi 2 % od ukupno otekle količine vode s područja Hrvatske (u odnosu na višegodišnji prosjek otjecanja). Za 2015. godinu to iznosi 3,4% (višegodišnji prosjek), za 2050. godinu 7,10 % (višegodišnji prosjek). U odnosu prema minimalnim otjecajima to je 8,4; 15,5 i 32,5 % za odnosne godine. Iz tih prosječnih pokazatelja može se zaključiti o povoljnim količinama vode i dobru osiguranju potrošača vode danas i u perspektivi. Međutim ta se optimistična slika mijenja kada se uzme u obzir povećanje zagađenja vode u vodotocima i u vodonosnicima, prostorna i vremenska nejednolikost raspoložive vode, pojave deficita vode u nekima gospodarski značajnim područjima itd.

## LITERATURA

1. Gereš, D.: Stanje i održivi razvitak vodoopskrbe u Hrvatskoj. *Građevinar* 47 (1995.)12, 740-759.
2. Gereš, D.: Natapanje. U "Građevni godišnjak '96." HDGI, Zagreb. Str. 315-389 1996.
3. Grupa autora: Dugoročni plan razvoja vodoprivrede SR Hrvatske od 1986. do 2005. godine. RVIZ, Zagreb, 1988.
4. \*\*\*: Study for the Regulation and Management of the Sava River, Final Report. FAO, Polytechna, Hydroproject, Carlo Lotti and Co, Prague-Roma, 1972.
5. \*\*\*: Vodoprivredna osnova za vodno područje slivova Drave i Dunava. RVIZ, Zagreb, 1988.
6. \*\*\*: A Concise Atlas of the Republic of Croatia and Republic of Bosnia and Herzegovina. Leksikografski zavod "Miroslav Krleža", Zagreb, 1993.
7. \*\*\*: Strategija prostornog uređenja Republike Hrvatske (Prijedlog). Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i stanovanja. Zagreb, 1996.

## 7. KOLIČINA I KVALITETA OTPADNIH VODA U REPUBLICI HRVATSKOJ

*Prof. dr. Stanislav Tedeschi*  
*Građevinski fakultet*  
*Sveučilišta u Zagrebu*

U Republici Hrvatskoj moguća je ponovna uporaba pročišćene otpadne vode u poljodjelstvu ili drugim namjenama, u okviru cjelovitog gospodarenja vodnim bogatstvom.

Uporaba "obnovljene" vode u poljodjelstvu razborita je u slučajevima nepovoljnih hidroloških prilika tijekom vegetacijskog razdoblja te kada su troškovi dobave svježje vode iz udaljenijih izvorišta veći od uporabe pročišćene otpadne vode.

Općenito, u Republici Hrvatskoj postoje dovoljne količine padalina tijekom godine pa u tom pogledu Hrvatska ne pripada sušnim područjima. Međutim, u pojedinim je dijelovima Hrvatske godišnja raspodjela ukupnih padalina nepovoljna tako da se tijekom vegetacijskog razdoblja pojavljuju pretežno sušna razdoblja. Nadalje, u južnoj polovini Hrvatske koja pripada dinarskom kršu, zbog propusnosti stijena, nepovoljno je otjecanje po površini zemljišta tako da padaline vrlo brzo poniru u podzemlje, pri čemu nastaje tečenje podzemnih voda koje nisu uvijek lako dostupne.

Izravnu ponovnu uporabu obnovljene vode korisno je primijeniti i u slučajevima nedovoljno razvijene mreže površinskih voda, dovoljne prijemne sposobnosti kao prijemnika otpadnih voda. U takvim slučajevima, ako je natapna voda potrebna, ponovna je uporaba vode istovremeno i doprinos zaštiti i očuvanju kakvoće prirodnih voda.

Poseban slučaj gospodarenja vodama čine većina jadranskih otoka. Jadranski otoci, osim nekoliko izuzetaka (Cres, Lošinj, Rab ...) uglavnom nemaju vlastitih izvorišta vode. Stoljećima se vodoopskrba obavljala sakupljanjem kišnice u cisternama, a posljednjih su desetljeća otoci priključeni na regionalne vodoopskrbne sustave. Voda, koja se ponekad doprema s udaljenosti od nekoliko desetaka kilometara, nakon jednokratne uporabe ispušta se u more pa je za daljnju uporabu "izgubljena" voda. Na mnogim otocima ima poljoprivrednih zemljišta koja bi se mogla koristiti za pojačanu proizvodnju poljoprivrednih kultura, ali je nedostatak vode ograničavajući činitelj. Na otocima, ali i u priobalnim područjima, ponovna uporaba obnovljene vode bila bi u skladu s gospodarenjem vodama prema načelima održivog razvitka, a istovremeno bi bila jedna od mjera očuvanja i unapređenja kakvoće priobalnog mora.

Tako se u Smjernicama za provedbu Strategije zaštite okoliša i održivog razvitka u Jadranskom području Republike Hrvatske [1] navodi:



- "Razraditi program primjene obnovljenih voda (pročišćenih urbanih i industrijskih efluenata) kao dodatnog izvorišta niže razine kakvoće u poljoprivredi, šumarstvu, uključivo i za protupožarne rezerve, u industriji i za komunalne potrebe".

Takva preporuka može se primijeniti i u zaleđu jadranskog priobalja. Naime, u području je dinarskog krša niz manjih i srednjih naselja koja bi, zbog topografskih prilika, trebala svoje otpadne vode crpkama potiskivati na veće udaljenosti, uz odgovarajuće visinske razlike, kako bi se pročišćene vode ispuštale u prijemnik podobne sposobnosti.

Druga mogućnost bila bi ispuštanje pročišćenih otpadnih voda u podzemlje, pri čemu se obavlja prihranjivanje podzemnih voda. Međutim, takva su rješenja uobičajena tamo gdje postoje dobro propusna tla s međuznatim šupljinama. U slučajevima tala s međuznatim šupljinama obavlja se dodatno čišćenje voda pa je takav postupak poznat kao drugačiji (alternativni) postupak čišćenja otpadnih voda u tlu.

U području je dinarskog krša razmjerno malo predjela gdje bi se mogao primijeniti postupak čišćenja u tlu, ali bi se, tamo gdje ima raspoloživoga poljoprivrednog zemljišta, mogla primijeniti ponovna uporaba obnovljene natapne vode. Zapravo u tim predjelima tijekom vegetacijskog razdoblja nedostaje voda.

Natapna bi se voda najvećim dijelom iskoristila za život biljki, manji bi dio ispario, a samo neznatan dio obnovljene vode procjeđivao bi se do podzemne vode. Naime, primjenom odgovarajućih obroka natapanja, taj "izgubljeni" dio vode mogao bi se održavati na najmanjoj mogućoj veličini.

Kako bi se procijenila mogućnost ponovne uporabe obnovljene vode u poljodjelstvu u Republici Hrvatskoj, potrebno je utvrditi količine vode koje bi mogle biti na raspolaganju. Jedan od prvih uvjeta za sigurnu uporabu obnovljene vode jest stalan nadzor nad prikupljanjem i čišćenjem otpadne vode te dovod i raspodjela otpadne vode do mjesta natapanja. To znači da moraju postojati izgrađeni kanalizacijski sustavi s odgovarajućim uređajima za čišćenje otpadne vode. Kanalizacijski sustavi u načelu grade se obično tamo gdje postoje javni vodoopskrbni sustavi, odnosno gdje je dnevna potrošnja vode veća od približno 50 do 100 l po stanovniku.

Neposredno prije početka Domovinskog rata bio je izraden Dugoročni program opskrbe pitkom vodom Republike Hrvatske [2]. Temeljem tog programa i obavljenih procjena, stupanj opskrbljenosti vodom u 1994. godini bio je oko 63 - 65 % [3]. Nisu sva područja Hrvatske bila jednako opskrbljena. Tako su područja u slivu Crnog mora bila opskrbljena vodom od 56 do 57 %, a u slivu Jadranskog mora 75 - 76 %.

Izgradnja je cjelovitih kanalizacijskih sustava značajno manje zastupljena. Naime, pojedina veća i srednja naselja imaju kanalizacijsku mrežu, ali i ta mreža nije izgrađena na način dovodenja ukupne otpadne vode do uređaja za čišćenje otpadnih voda. Najčešće su to pojedinačne kanalizacijske mreže s ispuštima u najbliže prijemnike, bez prethodnog čišćenja.

Broj stanovnika priključenih na uređaje za čišćenje otpadne vode, koji bi mogli biti odgovarajući "obnovljenoj" vodi, iznosi svega 17 %. [4]. Nešto je veći i broj

ukupno priključenih stanovnika (oko 30 %) na sve uređaje, računajući i one sa samo prethodnim čišćenjem, koji ne zadovoljavaju uvjetima "obnovljene" vode.

U takvim okolnostima samo mali dio ukupnih otpadnih voda mogao bi se ponovno uporabiti u poljodjelstvu ili drugim namjenama.

Razmatrat će se stanja vodoopskrbe i odvodnje koja se mogu očekivati u budućnosti, prema programima razvoja Republike Hrvatske.

Prema programu razvoja vodoopskrbe Hrvatske, predviđene su tri varijante razvoja, i to: 90 %, 81% i 72 % opskrbljenosti stanovništva i gospodarstva javnima vodoopskrbnim sustavima [3]. Međutim za daljnje razmatranje računat će se s varijantom razvoja vodoopskrbe od 90 % kako bi se obuhvatilo dugoročno razdoblje razvitka.

Dnevna potreba za vodom za vrijeme turističkog razdoblja, koje je u našim prilikama istovjetno s vegetacijskim razdobljem, bila bi u granicama od 48,35 m<sup>3</sup>/s. U te vrijednosti uključene su i industrijske potrebe, i to u vrijednostima od 17,59 m<sup>3</sup>/s, odnosno od 36 % ukupnih količina.

Od ukupne količine vode koja se troši za potrebe stanovništva i turizma, 70 - 80 % pojavljuje se kao otpadna voda u kanalizacijskim sustavima. Srednja dnevna količina otpadnih voda od stanovništva i turizma mogla bi biti u granicama od 23,07 m<sup>3</sup>/s.

Količina industrijskih otpadnih voda ovisi o načinu uporabe vode u proizvodnim pogonima, primjerice: pranje sirovina, hlađenje strojeva, korištenje u tehnološkom postupku kao sirovine ili dodatka. Zbog toga, bez poznavanja tehnološkog postupka pojedine tvornice, nije moguće procijeniti očekivanu količinu otpadnih voda.

U dosadašnjem razvitku Hrvatske, izgradnja cjelovitih kanalizacijskih sustava zaostajala je znatno za izgradnjom vodoopskrbnih sustava. U ranijim razdobljima zaštiti vode poklanjalo se vrlo malo pažnje. U tom razdoblju bile su precijenjene mogućnosti samočišćenja vode pa su se otpadne vode nedovoljno pročišćene ispuštale u prirodne vode. Tek osamdesetih godina, nakon što su pojedini dijelovi vodotoka bili teško zagađeni, započinje veća briga za stanje kakvoće vode.

Zakonom o vodama propisano je donošenje normi o kakvoći otpadnih voda prije ispuštanja u prijemnik. Time je na izravan način određeno da se sve otpadne vode moraju čistiti prije ispuštanja u okoliš, a to znači da se moraju primijeniti mjere i postupci za obnovu kakvoće vode.

Naime, ispuštene vode sadrže granične vrijednosti pokazatelja bitnih za očuvanje života u vodnim sustavima, odnosno neporemećenih stanja životnih zajednica. Međutim, to nisu dovoljni pokazatelji kakvoće vode podobne za natapanje.

Zbog toga je nužno, prije donošenja odluke o ponovnoj uporabi vode u poljodjelstvu, obaviti dodatna ispitivanja otpadne vode kako bi se odredio stupanj čišćenja otpadne vode prije ponovne uporabe.

U tablici 7-1 navedeni su potrebni pokazatelji za procjenu vode podobne za natapanje [6].

U načelu, otpadne vode domaćinstava, uključivo i turističkih djelatnosti, mogu se na razmjerno jednostavan način, i gospodarski prihvatljiv, pročistiti tako da zadovoljavaju normama obnovljene natapne vode.

Industrijske otpadne vode, ovisno o tehnološkom postupku, mogu sadržavati štetnih i opasnih tvari u tragovima, uključivo i teških metala, u takvim količinama da se bez dodatnog pročišćavanja ne mogu bez opasnosti koristiti u poljodjelstvu.

*Pokazatelji kavoče vode za procjenu podobnosti natapne vode*

*Tablica 7-1*

Pokazatelj	Jednina mjere
Ukupno otopljene tvari (UOT)	mg/l
Električna provodnost (ECw)	ds/m
Temperatura (T)	°C
Mutnoća	NTU / JTU
Tvrdoća	mg Ca CO <sub>3</sub> / l
Raspršene tvari	mg/l
Vrijednost pH	mg/l
Kalcij (Ca)	mg/l
Magnezij (Mg)	mg/l
Natrij (Na)	mg/l
Karbonati (CO <sub>3</sub> )	mg/l
Hidrogen - karbonati (HCO <sub>3</sub> )	mg/l
Kloridi (Cl)	mg/l
Sulfati (SO <sub>4</sub> )	mg/l
Bor (B)	mg/l
Elementi u tragovima (ovisno o otpadnoj vodi)	mg/l
Teški metali (As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Zn)	mg/l
Nitrati (NO <sub>3</sub> - N)	mg/l
Fosfati (PO <sub>4</sub> - P)	mg/l
Kalij (K)	mg/l

Budući da se ovaj prikaz odnosi na dugoročno razdoblje, pretpostavit će se učinkovito prethodno čišćenje industrijskih otpadnih voda prije ispuštanja u gradske kanalizacije ili okoliš. Za količinu obnovljene vode pretpostavit će se vrijednost od 70 % vodoopskrbne količine.

Treba naglasiti da će za svaki poseban slučaj biti potrebno istražiti sastav i količinu industrijske otpadne vode prije donošenja odluke o ponovnoj uporabi u poljodjelstvu.

U pogledu obnove industrijske otpadne vode, može se samo navesti da bi trebalo težiti posebnom obliku ponovne uporabe, odnosno kruženju (recikliranju) industrijske vode unutar proizvodnog pogona. Takav postupak bio bi koristan sa stajališta gospodarenja vodama, uključivo i zaštite okoliša.

## 7.1. VODNO PODRUČJE SLIVA RIJEKE SAVE

Vodno je područje rijeke Save u slivu Crnog mora. Ukupna veličina sliva Save u Hrvatskoj iznosi 24.395 km<sup>2</sup>, a na tom je području, prema popisu iz 1991. godine, bilo 2.307.900 stanovnika. Čitavo područje podijeljeno je na ove županije.

- I. Zagrebačka
- II. Krapinsko - Zagorska
- III. Sisačko - Moslavačka
- IV. Karlovačka
- VI. Krapinsko - Križevačka (dio)
- VII. Bjelovarsko - Bilogorska
- VIII. Primorsko - Goranska (dio)
- XI. Požeško - Slavonska
- XII. Brodsko - Posavska
- XIII. Zadarsko - kninska (dio)
- XIV. Osječko - baranjska (dio)
- XV. Vukovarsko - srijemska (dio)
- XXI. Grad Zagreb

Potrošnja vode i očekivane količine otpadne vode prikazane su u tablici 7-2 [3].

### *Dnevne potrebe za vodom i količina otpadnih voda vodnog područja Save*

*Tablica 7-2*

Pokazatelji	Potrošači (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /d)			
	Stanovništvo	Industrija	Turizam	Ukupno
Vodopskrba područja 90 % (m <sup>3</sup> /s)	748,69	878,90	66,00	1.693,59
Otpadnih voda (m <sup>3</sup> /s)	561,52	615,23	49,50	1.226,25

Za procjenu godišnje količine obnovljene vode pretpostavljena je potrošnja industrije od 250 dana godišnje te turista od 180 dana godišnje.

Prema učinjenoj procjeni bilo bi na raspolaganju 180 dana godišnje 367,67 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> obnovljene vode.

Radi boljeg prikaza te veličine, navodi se podatak da je u cijeloj Hrvatskoj tijekom 1995. za poljoprivredu (ribnjaci i natapanje) potrošeno svega 1 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> vode [7].

Kako bi se pokazala veličina teorijski moguće obnovljene vode, navodi se da je ta količina približno jednaka 28,6 % obnovljivih zaliha podzemne vode sliva Save, koji je procijenjen na 1.287 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/god. [7].

Može se zaključiti da su mogućnosti korištenja obnovljene vode u slivu Save za poljoprivredne namjene značajne.

## 7.2. VODNO PODRUČJE SLIVA DRAVE I DUNAVA

Područja rijeka Drave i Dunava pripadaju slivu Crnog mora. Ukupna je veličina slivnog područja Drave i Dunava u Republici Hrvatskoj 9.775 km<sup>2</sup>, a na tom području živjelo je, prema popisu iz 1991. god., 923.100 stanovnika.

U administrativnom je pogledu područje podijeljeno na ove županije:

- V. Varaždinska
- VI. Koprivničko - Križevačka (dio)
- X. Virovitičko - Podravska
- XI. Požeško - Slavonska (dio)
- XIV. Osječko - Baranjska (dio)
- XVI. Vukovarsko - Srijemska
- XX. Međimurska

Potreba za vodom kao i procjena količine otpadnih voda prikazane su u tablici 7-3.

### *Dnevne potreba za vodom i količina otpadnih voda vodnog područja Drave i Dunava*

*Tablica 7-3*

Pokazatelji	Potrošači (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /d)			
	Stanovništvo	Industrija	Turizam	Ukupno
Vodopskrba područja 90 % (m <sup>3</sup> /s)	257,43	194,20	16,50	468,13
Otpadnih voda (m <sup>3</sup> /s)	193,07	135,94	12,38	341,39

Godišnja količina obnovljene vode procijenit će se uz pretpostavku rada industrije od 250 dana godišnje i turizma od 120 dana.

Ukupna količina moguće obnovljene vode (za 90 % vodoopskrbe) bila bi 105,94 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/god. To je približno 19 % obnovljenih zaliha podzemnih voda sliva rijeke Drave, koja iznosi 569 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/god [7].

Vidi se da obnovljena voda može biti značajno dodatno izvorište vode u slivu Drave i Dunava.

## 7.3. VODNO PODRUČJE PRIMORSKO - ISTARSKIH SLIVOVA

Primorsko - istarsko područje pripada slivu Jadranskog mora. Proteže se na površini od 9.959 km<sup>2</sup>. Broj stanovnika iznosio je 591.100 prema popisu iz 1991.

god. Za ovo područje značajna je potrošnja vode u turizmu. Procijenjene su potrebe za vodom za 632.000 turista u planskoj godini [2].

Čitavo područje podijeljeno je na ove županije:

VIII. Primorsko - Goranska (dio)

IX. Ličko - Senjska

XVIII. Istarska

Procijenjena je potrošnja vode kao i količina otpadne vode u tablici 7-4 [3].

#### *Potreba vodom i količine otpadnih voda vodnog područja Primorsko - istarskih slivova*

*Tablica 7-4*

Pokazatelji	Potrošači ( $10^3 \text{ m}^3/\text{d}$ )			
	Stanovništvo	Industrija	Turizam	Ukupno
Vodopskrba područja 90 % ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	241,29	167,66	410,80	819,75
Otpadnih voda ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	180,96	117,36	308,10	606,42

Procijenjen je rad industrije od 250 dana godišnje, a turizma od 100 dana godišnje.

Temeljem navedene procjene mogu se očekivati količine obnovljene vode s područja primorsko - istarskih slivova od  $126,20 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{god}$ .

U odnosu prema ukupno obnovljivim zalihama dinarskog krša, koji je procijenjen na  $28.404 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{god}$  [7], količine obnovljene vode nisu posebno velike. Međutim, treba istaknuti da se najveći dio obnovljene vode ispušta u more, dakle, neuporabljiva je za korisne namjene, i nadalje da ukupna količina podzemne vode u kršu nije lako dostupna. Naime, značajan dio podzemne vode s krša dopijeva izravno u more ili se u priobalju miješa s morskom vodom i pojavljuje kao bočata (zaslanjena) voda koja, bez prethodnog odslanjivanja, nije upotrebljiva ni za poljoprivredu ni za druge namjene.

Zbog toga se čini razumno, gdje god se može, ponovno uporabiti obnovljenu vodu, a naročito u poljodjelstvu.

## 7.4. VODNO PODRUČJE DALMATINSKIH SLIVOVA

Područje je dalmatinskih slivova dio sliva Jadranskog mora. Veličina je područja  $12.225 \text{ km}^2$ . Ima 962.100 stanovnika, a broj je turista procijenjen u planskoj godini na 818.000 [2].

Na području su dalmatinskih slivova ove županije:

XIII. Zadarsko - Kninska (dio)

XV. Šibenska

XIX. Dubrovačko - Neretvanska

Potrebe za vodom i količine otpadnih voda za planirane vodoopskrbne mogućnosti prikazane su u tablici 7-5 [3].

*Potreba za vodom i količine otpadnih voda vodnog područja dalmatinskih slovova*

Tablica 7-5

Pokazatelji	Potrošači ( $10^3 \text{ m}^3/\text{d}$ )			
	Stanovništvo	Industrija	Turizam	Ukupno
Vodopskrba područja 90 % ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	385,49	279,15	531,70	1196,34
Otpadnih voda ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	289,11	195,41	398,78	883,30

Pretpostavljen je rad industrije od 250 dana i turizma od 100 dana godišnje.

Količine obnovljene vode s ovog područja bit će od  $194,26 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{god}$ . U usporedbi s obnovljenim zalihama podzemne vode dinarskog krša, koja je procijenjena na  $28,404 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{god}$  [7], veličina obnovljene vode nije značajna veličina. Međutim, treba napomenuti da se količina obnovljene vode nalazi pokraj naselja, ponekad već u blizini mjesta ponovne uporabe, što se posebno odnosi na obnovljenu vodu na otocima. Svježu podzemnu ili površinsku vodu koja bi se koristila umjesto obnovljene potrebno je zahvatiti i provoditi sustavom cjevovoda i precrpnih postaja, ponekad i na nekoliko desetaka kilometara udaljenosti. Uzimajući u obzir i sve navedeno u prethodnoj točki u pogledu mogućnosti dobave podzemne vode iz krša te općenito razboritim gospodarenjem vode, razumno je razmišljati o ponovnoj uporabi obnovljene vode.

Na mnogim je otocima to i jedina mogućnost razvoja značajnije poljodjelske proizvodnje tijekom sušnog razdoblja.

## 7.5. UKUPNE KOLIČINE OBNOVLJENE VODE U HRVATSKOJ

Temeljem obavljenih procjena, uz sve navedene pretpostavke, pri dugoročnom planiranju može se računati s ovima godišnjim količinama otpadne vode koje se mogu ponovno uporabiti.

*Dnevne i godišnje količine obnovljene vode u Hrvatskoj**Tablica 7-6*

Potrošač	Količina vode ( $10^6$ m <sup>3</sup> /god)	
	Dnevna	Godišnja
Stanovništvo	1,224	447,00
Industrija	1,064	265,99
Turizam	0,769	81,08
Ukupno	3,057	794,07



## LITERATURA

1. Savjet za prirodnoznanstvena istraživanja Jadrana: Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti: Strategija zaštite okoliša i održivog razvitka u Jadranskom području Republike Hrvatske, urednik akademik V. Stipetić, Prilozi za strategiju hrvatskog razvoja, svezak 9, HAZU, Zagreb, 1996: 71.
2. Javno vodoprivredno poduzeće "Hrvatska vodoprivreda": Dugoročni program opskrbe pitkom vodom Republike Hrvatske, urednik M. Vodopija, "Hrvatska vodoprivreda", Zagreb, 1991, 98.
3. Gereš, D: Putevi razvoja vodoopskrbe u Republici Hrvatskoj. Zbornik radova: 1. Hrvatska konferencija o vodama. Dubrovnik, 24 - 27. svibnja 1995. Knjiga 1. Zagreb: JVP "Hrvatska vodoprivreda", 1995, 111 - 121.
4. N. Gabrić, S. Tedeschi: Zaštita voda u Republici Hrvatskoj. Zbornik radova: 1. Hrvatska konferencija o vodama. Dubrovnik, 24 - 27. svibnja 1995. Knjiga 1. Zagreb: JVP Hrvatska vodoprivreda, 1995, 267 - 271.
5. Zakon o vodama. Narodne novine, 110/95.
6. Kandiah, A.: Water quality management for sustainable agricultural development. Natural Resources Forum. 14 (1), 1990, 22 - 32.
7. Gereš, D.: Održivim razvitkom Hrvatske vodoopskrbe ususret 21. stoljeću. Hrvatska vodoprivreda (V), 50, 1996, 38 - 40.

## 8. UPOTREBA OTPADNE VODE ZA NATAPANJE

*Prof. dr. Zorko Kos  
Građevinski fakultet  
Sveučilišta u Rijeci*

### 8.1. RAZVOJ I STANJE STANDARDA ZA UPOTREBU OTPADNIH VODA ZA NATAPANJE

#### *8.1.1. Uvod*

Na svijetu je već odavno utvrđena važnost natapanja za povećanje proizvodnje hrane te podizanje životnog standarda siromašnih slojeva poljoprivrednog i ostalog stanovništva. Nedavni statistički podaci pokazuju da se od ukupnoga obrađenog tla danas na svijetu natapa samo 15 % površina, ali se s tih površina ubire urod vrijedan 34 % ukupne svjetske poljoprivredne proizvodnje. Taj je potencijal kudikamo naglašeniji u semiaridnim područjima kao što je to npr. na Bliskom istoku, gdje osiguranje potrebne količine vode za natapanje čini bitan preduvjet povećanju ukupne poljoprivredne proizvodnje. Iako se u toj regiji od ukupne obrađene poljoprivredne površine natapa samo 36 %, vrijednost proizvodnje na toj površini iznosi oko 75 % ukupne poljoprivredne proizvodnje. Na velikim prostranstvima te regije bila bi nemoguća bilo kakva proizvodnja bez natapanja.

Danas je teško sa sigurnošću utvrditi kada je započela upotreba fekalnih otpadnih voda za natapanje poljoprivrednog tla. Poznato je npr. da se otpadne vode grada Milana u Italiji već stoljećima upotrebljavaju za natapanje livada zvanih "marcite" u neposrednoj okolici, ali nikada dosada ta primjena nije znanstveno obrađena i prikazana. Zna se jedino da se tu otpadne vode upotrebljavaju za natapanje i prehranu te za zagrijavanje prostranih površina trajnih livada na kojima se produžuje vegetacijska sezona i bitno povećava urod, a da istodobno dosada nije zabilježena nijedna nepravilnost.

Prema nekim drugim izvorima smatra se da su prva imanja koja su se koristila otpadnom vodom za natapanje bila ona u Bunzlau, u Njemačkoj, koja su bila u

pogonu već 1531. (Gerhard), te ona u Edinburghu u Škotskoj, gdje se fekalna voda upotrebljavala za natapanje oko 1650. (Stanbridge).

U Evropi se korištenje otpadne vode za natapanje osobito brzo raširilo nakon zasjedanja Prve kraljevske komisije o dispoziciji otpadnih voda, koja je i službeno odobrila primjenu fekalnih voda za natapanje.

U svom izvješću iz 1865. komisija ističe da je najbolji način dispozicije gradskih fekalnih voda "njihova upotreba za natapanje tla, čime će se izbjeći zagadivanje rijeka". Istovremeno je konzervativan pokret bitno pridonio primjeni te mjere zagovarajući reciklaciju sirovina, odnosno vraćanje hraniva u tlo. Čak je i slavni pisac Victor Hugo 1868., u svome poznatom romanu "Jadnici", podigao glas "da se sav ljudski i životinjski izmet koji se gubi izljevom kanalizacije u rijeke vrati zemlji umjesto da se odvodi u more, čime bi se moglo prehraniti čovječanstvo". Iako ti prvobitni motivi za upotrebu otpadne vode za natapanje vrijede i dan-danas, primjena se tog načela do današnjih dana donkle izmijenila kao rezultat znanstvenih dostignuća, dugogodišnje prakse te ekonomskih istraživanja.

U nastavku će se ukratko prikazati razvoj standarda za primjenu otpadnih voda u natapanju kako bi se kontrolirali i onemogućili negativni učinci sastava tih voda na narodno zdravlje. Jedino uz uvjet da narodno zdravlje nije ugroženo, te se vode mogu upotrijebiti za tu svrhu.

### *8.1.2. Istraživanja i praksa tijekom XIX. stoljeća*

Mišljenja pojedinih liječnika koji su se bavili istraživanjima utjecaja primjene otpadnih voda u natapanju na zdravlje ljudi, pojavila su se u časopisima zapadne Europe (naročito Velike Britanije) u drugoj polovini XIX. stoljeća. Neka od njih, prema navodima Wilsona (1944.), navodimo u nastavku.

U Prvom izvješću komisije za zaštitu rijeka od zagadjenja iz 1868. prof. Christison napisao je da se na imanjima u Edinburghu koja su upotrebljavala fekalnu vodu počevši od 1650., nije opazila pojava tifusa, dizenterije, kolere i drugih crijevnih zaraza, bilo u pojedinačnom ili epidemijskom obliku, u mjeri većoj negoli na drugim imanjima u okolici. Slično navodi dr. Littlejohn, javni zdravstveni radnik u Edinburghu, za farme u Piershillu i Barkingu. Dok je kolera u godinama 1865.-66. bjesnjela u Londonu i Edinburghu, na tim imanjima, koja su se koristila otpadnim vodama tih gradova, nije se pojavio nijedan slučaj oboljenja.

U Petom izvješću kraljevske komisije za kondicioniranje i dispoziciju otpadnih voda iz 1908. postavljeno je pitanje: "Je li imanje natapano otpadnim vodama opasno za zdravlje?", i odmah je dan odgovor: "Dosada se nije moglo utvrditi da je takva praksa izazvala neposredne štete ako je imanje dobro vođeno".

Treba, međutim, istaknuti da su tadašnja liječnička izvješća u odnosu prema današnjima bila jako manjkava, osobito zbog nedostatne evidencije o prijenosu zaraza, pa danas ne mogu biti meritorni. To je, međutim, pogodovalo širenju broja imanja koja su upotrebljavala fekalne vode, pa ih je na prijelazu u 20. stoljeće već bilo jako mnogo, osobito u Velikoj Britaniji i SAD-u. Nažalost, pogon natapanja na

tim imanjima, odnosno vrste i načini primjena otpadnih voda i materija, gotovo nigdje nije bio reguliran odgovarajućim propisima i standardima.

### *8.1.3. Stanje u prvoj polovini XX. stoljeća*

Početak XX. stoljeća naglo su se u svijetu povećale urbane aglomeracije, a posebno u razvijenim zemljama zapada i SAD-u. Urbanizirane zone počele su se "uvlačiti" na imanja koja su se koristila sirovim otpadnim vodama za natapanje, čime se neugodan smrad širio po prigradskim naseljima, što je izazvalo proteste i revolt stanovništva. Istovremeno su se naglo počele razvijati i primjenjivati moderne i jeftine metode kondicioniranja otpadnih voda, a razvoj znanosti omogućio je bolje i potpunije spoznaje o načinu i putevima širenja zaraza. To je omogućilo potpuniji pregled problematike od strane zdravstvenih vlasti, što je dovelo i do konstatacije da su se u prethodnom razdoblju, zbog neznanja, mogućnosti i načini prijenosa zaraza potcjenjivali. Zbog toga su zdravstvene vlasti uvele bitno strožije kriterije za dozvolu primjene otpadne vode u poljoprivredi, što je prouzročilo napuštanje mnogih takvih imanja.

Prvi detaljan prikaz stanja primjene otpadnih voda u poljoprivredi objavio je George W. Fuller 1912. god. U knjizi je, između ostaloga, istaknuo da su se primjedbe i kritike na takvu praksu zadnjih godina povećale te preporučuje da se napusti praksa natapanja sirovim otpadnim vodama povrća koje se, makar i izuzetno, jede sirovo. Nešto je kasnije (1924.) dr. Abel Wolman u svojoj knjizi dao detaljan prikaz higijenskih aspekata upotrebe otpadne vode i mulja pri uzgoju povrtnarskog bilja. On navodi da je Odbor za narodno zdravlje države Maryland predložio da se donesu odgovarajuće odluke kako bi se onemogućila primjena otpadnog mulja pri uzgoju povrća. Mišljenje o nepovoljnom utjecaju otpadnih voda i tvari na narodno zdravlje bilo je dijelom potkrijepljeno i primjerima iz drugih zemalja, naročito iz Azije, gdje je bilo mnogo pojava masovnih oboljenja u takvim slučajevima.

Posljedica sve većih zahtjeva i protesta mnogih učenjaka da se propišu normativi koje mora ispunjavati otpadna voda za natapanje, bila je pojava prvih standarda te vrste, koje je 1918. donijelo Ministarstvo zdravlja države Kalifornije (Ongerth i Jopling, 1977.). Nešto su kasnije ti standardi revidirani i pooštreni (vidi tablicu 8-1). Tim su propisima dane i potrebne upute hidrotehničkim stručnjacima, sanitarnim vlastima i poljoprivrednim proizvođačima o tome kako upotrijebiti gradske otpadne vode, nakon određenog postupka kondicioniranja, bez opasnosti i bojazni za okolinu. Nije nimalo slučajno da su se standardi pojavili najprije u Kaliforniji, jer to područje raspolaže izuzetno jakim prirodnim potencijalima tla i klime koji omogućuju visokoproduktivnu poljoprivrednu proizvodnju - osobito zato što je to aridno i poluaridno područje s ograničenim vodnim bogatstvom, naročito u vegetacijskome, sušnom razdoblju. Razvoju natapanja otpadnim vodama pomagala je i intenzivna urbanizacija i imigracija te stalno povećanje količine otpadnih voda i mulja. Korištenje otpadnih voda za natapanje djelovalo je pozitivno i na smanjenje opterećenja vodotoka otpadnim tvarima.

Pojava standarda za primjenu otpadnih voda u poljoprivredi Ministarstva zdravlja države Kalifornije ponovno je ohrabrila poljoprivrednike i gradske vlasti za upotrebu te vode za natapanje te potakla mnoge države s ograničnim vodnim bogatstvom da učine to isto. Slični standardi koji su se poslije Drugoga svjetskog rata počeli pojavljivati u velikom broju novooslobođenih zemalja, uglavnom se temelje na propisima savezne države Kalifornije.

*Standardi države Kalifornije za sigurnu i neposrednu upotrebu otpadne vode za natapanje i rekreaciju*

Tablica 8-1

Korištenje pročišćene vode	Zahtjev minimalne obrade i kvalitete otpadne vode			
	primarna obrada <sup>1</sup>	sekundarna obrada i dezinfekcija	Sek. obrada, koagulacija, filtracija <sup>2</sup> , dezinfekcija	koliformne bakterije br./100 ml (medijana)
- natapanje krmno bilje	x			bez ograničenja bez ograničenja bez ograničenja
bilje za vlakna	x			
sjemenski usjevi	x			
plodovi koji se jedu sirovi				
površinsko natapanje		x		2,2
plodovi koji se jedu sirovi			x	2,2
- natapanje kišenjem plodovi za preradu površinsko	x			bez ograničenja
natapanje		x		23
plodovi za preradu natapani kišenjem		x		23
livade, parkovi, itd.				
- akumulacije jezera za estetsku namjenu		x		23
jezera za ograničenu rekreaciju		x		2,2
jezera za neogranič. rekreaciju			x	2,2

<sup>1</sup> Sadržaj u efluentu ne veći od 1,0 ml/l taloživog nanosa

<sup>2</sup> Sadržaj u efluentu ne veći od 10 jedinica muteži

Iz tablice se vidi da su ograničenja za natapanje otpadnom vodom usjeva koji se jedu sirovi veoma stroga - gotovo na razini pročišćavanja pitkih voda, što destimulira širenje tog načina uzgoja i usmjeruje otpadne vode na korisnike koji će ih upotrijebiti za natapanje drugih usjeva. Za postizanje standarda od samo 2,2 koliformne bakterije na 100 ml vode, potrebno je provesti potpuno biološko kondicioniranje s jakim kemijskom dezinfekcijom kao što je kloriranje, što bitno poskupljuje postupak.

### 8.1.4. Sadašnje stanje

U posljednjih četvrt stoljeća bitno su se usavršile znanstvene metode detekcije i identifikacije patogenih mikrobioloških organizama u uzorcima okoline. S tim su u vezi brojne ekipe istraživača u velikom broju zemalja svijeta bile u stanju potvrditi da se velik broj crijevnih patogenih organizama u visokoj koncentraciji može naći u kanalima otpadnih voda. Pronalaskom tehnike za izolaciju crijevnih virusa u okolini bilo je moguće dokazati da se slično kao i bakterije, protozoe i crvi, i crijevni virusi u velikom broju nalaze na usjevima i tlu natapanom otpadnom vodom te u zraku na području gdje se natapanje tom vodom obavlja kišnjem. Time je započela nova faza istraživanja mogućnosti uvjeta i načina korištenja otpadnih voda u poljoprivredi.

Te su okolnosti ponukale ne samo pojedine velike i razvijene zemlje da ponovno poduzmu seriju istraživanja i s tim u vezi osuvremene i ažuriraju standarde i propise o uvjetima i načinu primjene otpadnih voda u natapanju već su se u to aktivno uključile i međunarodne organizacije koje djeluju u tom području. Tako je Svjetska zdravstvena organizacija dala grupi eksperata zadatak da izradi izvješće o stanju primjene otpadnih voda u poljoprivredi i predloži preporuke za adekvatnu upotrebu u poljoprivredi. Izvješće je dovršeno 1973. god., a u tablici 8-2 dane su preporuke iz izvješća o potrebi kondicioniranja vode za razne vrste upotrebe.

U navedenom se izvješću posebno ističe opasnost zaraza od povrća koje se jede sirovo ako otpadna voda nije adekvatno pročišćena. Analizira se osim ostaloga i mogućnost prijenosa trakavice na stoku koja pase na pašnjacima koji su natapani nedovoljno pročišćenom fekalnom vodom te mogućnost zaraza riba crijevnim organizmima ako se nedovoljno kondicionirana voda upušta u ribnjake.

Preporuke Svjetske zdravstvene organizacije naišle su na povoljan prijem u mnogim zemljama u svijetu i poslužile kao osnova zdravstvenim vlastima mnogih država za izradu nacionalnih standarda.

Da bi se postigli navedeni sanitarni kriteriji, nužna je obrada sa znakom xxx. Dalje, također je nužan jedan ili više procesa s oznakom xx, a daljnji postupci s oznakom x mogu također ponekad biti poželjni.

Kako se iz tablice može uočiti, studija preporučuje da se za svu otpadnu vodu koja se upotrebljava za natapanje prethodno provede primarna i sekundarna obrada te dezinfekcija (osim u jednom slučaju). Preporuka sadrži također i odredbu da se u efluentu može dopustiti do 100 koliformnih organizama na 100 ml vode, i to u 80 % uzoraka. Ta su ograničenja još uvijek dosta oštra, ali svakako liberalnija od onih u kalifornijskom standardu.

Preporuke Svjetske zdravstvene organizacije o obradi otpadnih voda za natapanje

Tablica 8-2

Vrsta obrade	Natapanje			Rekreacija		Vodoopskrba		
	plodovi za indirektnu ljudsku potrošnju	plodovi koji se jedu kuhani, ribogojstvo	plodovi koji se jedu sirovi	bez kontakta	uz kontakt	za industriju	nepitka voda	za piće
Sanitarni kriteriji	A+F	B+F ili D+F	D+F	B	D+G	C ili D	C	E
Primarna obrada	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Sekundarna obrada		xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Sek. filtriranje ili ekv.		x	x		xxx	x	xxx	xx
Nitrifikacija						x		xxx
Denitrifikacija								xx
Kem. bistenje						x		xx
Ads. ugljenom								xx
Izmjena iona						x		xx
Dezinfekcija		x	x	x	xxx	x	xxx	xxx

Sanitarni kriteriji:

- A - bez krupnog nanosa; znatno smanjenje patogenih klica
- B - kao A, plus znatno smanjenje bakterija
- C - kao A, plus veće smanjenje bakterija i nešto virusa
- D - ne više od 100 kolibakterija na 100 ml - u 80 % uzoraka
- E - bez kolibakterija na 100 ml; bez virusa na 1 000 ml; bez toksičnih efekata na čovjeka
- F - bez kemikalija, čije su taložine nepoželjne na usjevima i ribama
- G - bez kemikalija koja iritiraju kožu
- xxx - vrlo učinkovito čišćenje
- xx - dodatno uz osnovno čišćenje
- x - potrebno u nekim slučajevima

Općenito uzevši, u formuliranju mogućnosti primjene fekalnih voda pošlo se od stajališta da danas u tom smislu ima znatnih opasnosti i rizika, ali da se oni mogu prebroditi organiziranom akcijom i disciplinom u pripremi vode i pogonu natapanja.

Kao rezultat navedenih propisa i standarda te ostalih sličnih nacionalnih propisa (uglavnom su izrađeni na osnovi navedenih), danas je stanje takvo da se u razvijenim industrijskim zemljama gdje postoji i određena disciplina u poštovanju zakonitosti, vrlo rijetko događa da se povrće i usjevi koji služe za salate natapaju otpadnom vodom. U nerazvijenim zemljama i u zemljama u razvoju, iako imaju slične pa čak i strože propise od navedenih (npr. Indija), ne bi se moglo reći da se uvijek toga i pridržavaju. Stoga se često pojavljuju epidemije, naročito u većim gradskim aglomeracijama. Ta se pojava, uostalom, očituje i u drugim aktivnostima i djelatnostima jer je bez dobre organizacije i discipline nemoguće i uz "najbolji" propis ostvariti "dobar" učinak.

U svjetlosti tih činjenica, Svjetska je banka dala izraditi studiju, na osnovi mnogobrojnih znanstvenih istraživanja i pokusa u razvijenim zemljama te u zemljama u razvoju, o stvarnom utjecaju na zdravstveno stanje stanovništva primjene otpadnih voda na natapanje. Studija je uskoro dovršena, a uključuje i ponovnu ocjenu sadašnje primjene otpadnih voda u poljoprivredi. Ponajprije je trebalo utvrditi valjanost primjene sadašnjih standarda s epidemiološkog stajališta, a zatim postoji li opravdan razlog da se oni izmijene.

Bitan je nalaz studije da je dosadašnji stav zdravstvene službe bio suviše konzervativan, odnosno stav da svaki patogeni organizam koji dospije u čovječju okolinu ne mora istovremeno značiti i neposrednu opasnost za zdravlje čovjeka. Istovremeno je konstatirano da se izrazitio restriktivni standardi za primjenu efluenta pri natapanju povrća koje se jede sirovo ne mogu opravdati s epidemiološkog stajališta.

Tablica 8-3 predočuje stanje sadašnjih standarda. Ona zapravo prikazuje neki opći prosječan standard koji se više-manje danas u većem broju zemalja primjenjuje. U svakom slučaju, zahtjevi navedeni u ovoj tablici smatraju se danas dovoljnim da se zaštititi zdravlje stanovništva.

Na sastanku grupe eksperata za zaštitu okoline i epidemiologa koji je, u organizaciji Svjetske banke, Svjetske zdravstvene organizacije, UNEP-a, UNDP-a i Međunarodnog centra za dispoziciju otpadnih voda, održan u Engelbergu u Švicarskoj u srpnju 1985., formulirane su nove upute, s mikrobiološkog aspekta, za upotrebu obradenih otpadnih voda za natapanje. Te su preporuke poznate pod nazivom Izvješće iz Engelberga (The Engelberg Report, 1985.). Grupa je analizirala sve dotadašnje radove, uključujući i prethodnu studiju Svjetske banke te posebnu epidemiološku analizu koju su pripremili Blum i Feachem (1985.). Grupa je prihvatila nalaze i preporuke tih studija i u završnom izvješću konstatirala da su "sadašnje upute i standardi za upotrebu čovječjeg otpada suviše konzervativne i neprimjerene planiranom trendu razvoja, pa pogoduju neadekvatnoj primjeni otpada i otpadnih voda". Predložene, znatno blaže preporuke Engelbergova izvješća dane su u tablici 8-4.



**Kondicioniranje efluenta i kriteriji za primjenu u natapanju**

Tablica 8-3

Način natapanja	Efluent <sup>1</sup>	Efluent <sup>2</sup>	Dezinficirani efluent	Pročišćeni efluent <sup>3</sup>
Površinsko ili podzemno	voćna stabla vinogradi plodovi koji nisu za ishranu	voćna stabla krmno bilje pašnjaci	parkovi i travnjaci proizvodi koji se kuhaju	povrće za tržište i ono što se jede sirovo
kišenje	krmno bilje nema primjene	krmno bilje pašnjaci	proizvodi koji se kuhaju <sup>2</sup>	povrće za tržište i ono što se jede sirovo

<sup>1</sup> Uz uvjet da su radnici zaštićeni, da natapanje prestaje dva tjedna prije žetve, odnosno da se dopusti ispaša.

<sup>2</sup> Uz uvjet da je stambena zona više od jedan kilometar udaljena.

<sup>3</sup> Definicija: Broj fekalnih koliforma i streptokoka manje od 1 000 po litri.

**Prijedlog preporuka mikrobiološke kvalitete obrađenih otpadnih voda za ponovnu upotrebu za natapanje (Engelberg Report, 1985.)**

Tablica 8-4

Način upotrebe	Crijevni nematodi <sup>1</sup> (geometrijski prosjek: broj živih klica u litri)	Koliformne bakterije (geometrijski prosjek: broj na 100 ml)
Ograničeno natapanje <sup>2</sup> natapanje stablašica, industrijskog bilja, krmnog bilja, voćnih stabala <sup>3</sup> i pašnjaka <sup>4</sup>	< 1	ne može se primijeniti
Neograničeno natapanje, natapanje usjeva koji se jedu, sportski tereni i javni parkovi <sup>5</sup>	< 1	< 1000 <sup>6</sup>

<sup>1</sup> Ascaris, trichuris i trakavica.

<sup>2</sup> Minimum obrade ekvivalentno kao barem 1 dan anaerobnog taloženja i 5 dana aerobnog ili slično.

<sup>3</sup> Natapanje se mora obustaviti dva tjedna prije berbe i s tla se voće ne smije skupljati.

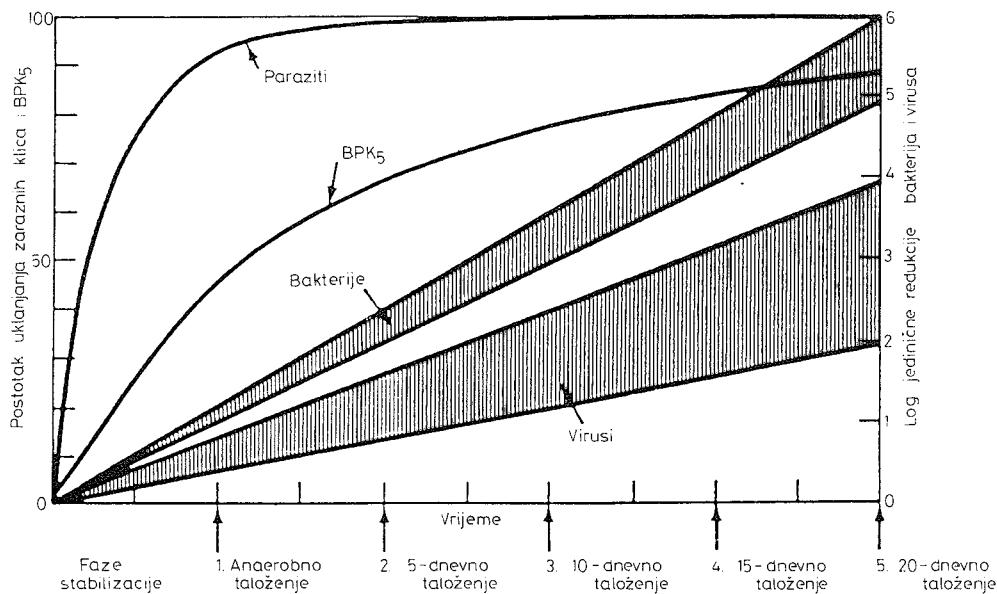
<sup>4</sup> Natapanje se mora obustaviti dva tjedna prije početka ispaše.

<sup>5</sup> Lokalni epidemiološki uvjeti mogu zahtijevati strože norme.

<sup>6</sup> Ako se plodovi uvijek troše dobro kuhani, ta odredba može biti blaža.

Kako se može primijetiti iz tablice, glavni naglasak Izvješća iz Engelberga usmjeren je na plodove koji se troše sirovi, za koje se traži manje od 1 klice na litru, što je znatno blaže od kalifornijskog standarda ili preporuka SB iz 1973. Veoma je

povoljna okolnost da se za udovoljenje predloženom standardu efluenta prije upotrebe za natapanje mogu veoma uspješno upotrijebiti bazeni za stabilizaciju u obliku laguna, čija je cijena veoma niska, pa su jako podobni za zemlje u razvoju. Na sl. 8-1 prikazan je tijek uklanjanja tih patogenih organizama u takvim taložnicama.



**Slika 8-1 Tijek uklanjanja patogenih organizama taloženjem**

I na kraju valja istaknuti da nakon više od jednog stoljeća upotrebe fekalnih otpadnih voda za natapanje, u kojem razdoblju na početku nije bilo nikakve regulative, a početkom stoljeća se ona pojavila u obliku jako strogih normativa, naposljetku su danas usvojeni trezveni stavovi i odluke temeljeni na zdravim i znanstveno utemeljenim načelima. Može se vjerovati da će tako umjeren i relativno liberalan stav prema toj problematici potaknuti snažniji razvoj natapanja otpadnim vodama, što će rezultirati višestrukom koristi, posebno u području zaštite okoliša, a stanovništvu će istodobno osigurati adekvatnu zdravstvenu zaštitu.

## 8.2. ZNAČAJKE I KVALITETA OTPADNIH VODA I EFLUENTA

### 8.2.1. Općenito

Naglo povećanje broja stanovnika u urbanim aglomeracijama te porast postotka opskrbljenih stanovnika pitkom vodom iz vodovoda, dovodi do "proizvodnje" sve većih količina gradskih otpadnih voda. Dispozicija tih voda stvara sve naglašenije probleme u zaštiti okoliša, posebno vodnih sustava, i to kako ekološke tako i gospodarske (financijske). S druge pak strane, mnoga su područja suočena sa sve većom nestašicom kvalitetne vode, posebno za natapanje, koje je i najveći korisnik. Budući da se za natapanje mogu upotrijebiti i vode niže kvalitete, koje inače nisu prikladne za drugu namjenu, na taj se način postiže dvostruka korist: povećanje fonda raspoloživoga vodnog bogatstva i adekvatna dispozicija tih voda.

S druge pak strane takva upotreba otpadnih voda ne samo da olakšava problem zaštite okoliša već može u znatnoj mjeri uzgajane kulture opskrbiti hranjivim sastojinama, što bitno smanjuje troškove proizvodnje. Sadržaj je dušika i fosfora u natapnoj vodi obično dovoljan za podmirenje svih potreba za tim elementima u prehrani bilja pa otpada dodavanje komercijalnih umjetnih gnojiva. Da se izbjegnú nepotrebni troškovi, preporučljivo je da se odluka o upotrebi otpadne vode za natapanje donese prije početka izrade projekta kanalizacijskog sustava. Naknadna izmjena načina dispozicije otpadnih voda može biti veoma složena i skupa.

Mnoge su zemlje već u svoju strategiju razvoja vodoprivrede uključile i ponovnu upotrebu kućnih (gradskih) otpadnih voda. Neke su pak (Jordan i Saudijska Arabija) već donijele odgovarajuće propise o obvezatnoj ponovnoj upotrebi otpadnih voda. Danas se te vode za natapanje koriste u mnogim krajevima svijeta, ali u velikoj mjeri u aridnim područjima SAD-a, Australije i Kine.

Primjera radi navodi se da grad od oko 400.000 stanovnika s prosječnom dnevnom potrošnjom od 250 l vode proizvede dnevno oko 85.000 m<sup>3</sup> otpadnih voda (oko 30 mil. m<sup>3</sup> godišnje) uz pretpostavku da se 85 % utrošene vode vraća u kanalizacijski sustav. Ako pretpostavimo da će se za natapanje godišnje trošiti oko 4.000 m<sup>3</sup>/ha, onda bi navedena količina bila dovoljna za natapanje ukupne površine od oko 7.500 ha. Kod uobičajene obrade gradskih otpadnih voda konvencionalnim metodama, efluent najčešće sadrži ove količine hranjivih tvari:

dušik (N) - 60 mg/l

fosfor (P) - 15 mg/l

kalij (K) - 40 mg/l

Prema tome, za planiranu normu natapanja (4.000 m<sup>3</sup>/ha/god.) ukupna količina gnojiva kojega bi efluent dostavio tlu, iznosila bi:

N - 240 kg/ha god.

P - 60 kg/ha god.

K - 160 kg/ha god., što je gotovo dovoljno za uobičajeni standard prehrane. Značajna se korist osim toga, postiže i velikim količinama organske materije i mikroelemenata koje sadrži efluent.

### 8.2.2. Značajke otpadnih voda

Gradske su otpadne vode, naravno, u najvećoj mjeri sastavljene od vode (99,9 %) uz relativno nisku koncentraciju suspendiranih i otopljenih organskih i anorganskih tvari. Od organskih materija nalaze se ugljikohidrati, lignin, masti, sapuni, sintetički deterdženti, proteini i dr., te najrazličitije sastojine koje proizlaze iz prerađivačke industrije.

U tablici 8-5 prikazan je najčešći sastav osnovnih komponenata otpadne vode, podijeljen u tri razine koncentracije (visoka, srednja, niska).

#### Glavne sastojine tipične gradske otpadne vode

Tablica 8-5

Sastojina	Koncentracija, mg/l		
	visoka	srednja	niska
ukupno krutih čestica	1200	700	350
otopljene soli	850	500	250
suspendirane čestice	350	200	100
dušik (kao N)	85	40	20
fosfor (kao P)	20	10	6
kloridi	100	50	30
alkalinitet (kao CaCO <sub>3</sub> )	200	100	50
masti	150	100	50
BPK <sub>5</sub>	300	200	100

Izvor: UN Department for Technical Cooperation for Development (1985.)

U aridnim i semiaridnim krajevima koncentracija otpadne vode jest relativno visoka, i to zato što se obično troši mala količina vode po osobi na dan. Primjera radi navode se podaci za grad Aman (Jordan), gdje potrošnja vode iznosi 90 l/dan/st.

Treba istaknuti da gradske otpadne vode sadrže još i veću količinu anorganskih tvari iz domaćinstva i industrije, uključujući i nekoliko mogućih otrovnih elemenata, npr. arsen, kadmij, krom, bakar, olovo, živu, cink i dr. Ponkad koncentracija otrovnih sastojina ne mora biti štetna za zdravlje ljudi, ali može biti fitotoksična, što takvu vodu ograničava za primjenu u poljoprivredi. U svakom slučaju, sa stajališta opasnosti za navodno zdravlje, najveća su opasnost patogeni mikro i makroorganizmi.

*Uobičajen sastav otpadne vode za Aman (Jordan)*

Tablica 8-6

Sastojine	koncentracija (mg/l)
ukupno otopljenih soli	1170
suspendirane tvari	900
dušik (kao N)	150
fosfor (kao P)	25
alkalinitet (kao CaCO <sub>3</sub> )	850
sulfati (kao SO <sub>4</sub> )	90
BPK <sub>5</sub>	770
KPK	1830
organski ugljik, ukupno	220

Izvor: Al-Salem (1987.)

U tablici 8-7 prikazana je uobičajena moguća koncentracija patogenih virusa, bakterija, protozoa i crva u standardnima gradskim otpadnim vodama. Općenito uzevši, patogene su bakterije, u pravilu, prisutne u otpadnoj vodi u znatno nižoj koncentraciji negoli koliformna grupa bakterija, koje se mnogo lakše identificiraju i kvantificiraju (kao ukupni koliformi/100 ml). Tipični je predstavnik te skupine *Escherichia coli*, koja se uzima kao indikator fekalnog zagađenja vode, a može biti vrlo lako i brzo izolirana i identificirana te kvantificirana u obliku fekalnih koliforma na 100 ml otpadne vode (FC/100 ml).

*Mogući sadržaj patogenih organizama u otpadnoj vodi*

Tablica 8-7

Vrsta patogenih organizama		Moguća koncentracija u litri gradske otpadne vode
virusi:	enterovirusi	5000
bakterije:	patogena <i>E. coli</i>	?
	<i>Salmonella</i> spp.	7000
	<i>Shigella</i> spp.	7000
	<i>Vibrio Cholerae</i>	1000
protozoe:	<i>Entamoeba histolytica</i>	4500
crvi:	<i>Ascaris Lumbricoides</i>	600
	<i>Anglostoma duodenale</i>	32
	<i>Schistosoma mansoni</i>	1
	<i>Taenia saginata</i>	10
	<i>Trichuris trichiura</i>	120

### 8.3. SMJERNICE ZA KORIŠTENJE OTPADNE VODE ZA NATAPANJE

Pri planiranju upotrebe otpadne vode za natapanje ili za neku drugu namjenu u poljoprivredi ili akvakulturi, treba obratiti pozornost na:

- obradu otpadnih voda i mulja,
- izbor prikladnih poljoprivrednih kultura,
- nadzor korištenja otpadne vode i
- higijenu zaposlenog osoblja (izloženost mogućoj zarazi).

Od navedenih problema koji se pojavljuju pri upotrebi otpadne vode u poljoprivredi, svi su više-manje obrađeni u pojedinim poglavljima ove knjige, ali u najmanjoj je mjeri to učinjeno za izloženost zaposlenog osoblja mogućoj zarazi. Zato će se o tom aspektu u nastavku nešto dodati. Svakako treba istaknuti da određene "ugrožene" grupe radnika i stanovnika dodu u neposredan dodir s patogenim klicama iz otpadne vode. Ugroženo se osoblje može svrstati u četiri grupe, i to:

- poljoprivredni radnici i njihove obitelji,
- rukovaoci poljoprivrednim proizvodima,
- potrošači plodina, mesa i mlijeka i
- stanovništvo u blizini natapnih polja.

Osnovne mjere zaštite poljoprivrednih radnika i rukovalaca poljoprivrednim proizvodima uključuju i zaštitnu odjeću, održavanje visokog stupnja higijene i imunizaciju (cijepjenje) protiv određenih infekcija. Svjetska je zdravstvena organizacija (1989.) u izvješću "Smjernice o zdravstvenim aspektima upotrebe otpadne vode u poljoprivredi i akvakulturi" dala određene upute i preporučila mjere kojih se treba pridržavati u tim slučajevima. Rizik zaraze može se bitno smanjiti kuhanjem poljoprivrednih proizvoda prije potrošnje te strogom higijenom pri pripremi i pohrani proizvoda. Domaće se stanovništvo mora u potpunosti obavijestiti o primjeni otpadne vode za natapanje te o mogućnosti zaraze kako bi se držalo podalje od natapnih uređaja i opreme. Uređaji za kišenje otpadnom vodom moraju biti udaljeni najmanje 100 m od kuća i prometnica.

Dakako, strogo treba paziti da se izbjegne bilo kakva mogućnost da se bilo tko koristi otpadnom vodom za piće ili neke kućanske potrebe. Dobro je uređaje i opremu jasno označiti (npr. određenom bojom), odnosno onemogućiti korištenje otpadne vode nepoželjnima (zabraviti zasune i ispuste).

## 8.4. KORIŠTENJE OTPADNE VODE ZA NATAPANJE

### 8.4.1. Uvod

Natapanje otpadnim vodama poljoprivrednih usjeva primjenjuje se u raznim zemljama svijeta već više stotina godina. Sve do početka ovog stoljeća ta je primjena bila sporadična, neorganizirana i uglavnom jednostrana. Sustavnoj analizi potreba, koristi i nadasve opasnosti za zdravlje i radnika zaposlenih na tim poljoprivrednim imanjima i potrošača poljoprivrednih proizvoda, pristupilo se tek poslije 1900., od kada se ta problematika nalazi u središtu pozornosti brojnih znanstvenih institucija i udruženja širom svijeta, a po svemu se čini da adekvatna rješenja za ključna pitanja još uvijek traže odgovor.

Dok se u ranijoj fazi primjena otpadne vode u natapanju sagledavala samo s aspekta koristi koje takve vode donose polju zbog sadržaja hranjivih tvari, odnosno u nekim slučajevima kombinirani učinak "hranjenja" i "grijanja", tj. povišenja temperature tla u kritičnim jesenskim i proljetnim razdobljima (produženje vegetacijske sezone), današnje spoznaje omogućuju i nalažu bitno složenija razmatranja. To se ponajprije odnosi na povećanje raspoloživog fonda vodnog bogatstva jer su u mnogim predjelima svijeta raspoložive količine "dobre" vode već iskorištene ili će to uskoro biti pa s tim u vezi eliminiranje ili pak minimiziranje jednog od glavnih izvorišta zagađenja brojnih rijeka, jezera i mora, a to su efluenti gradskih aglomeracija koji se intenzivno povećavaju iz godine u godinu, doprinosi se boljitku stanja vodnih sustava.

Otpadna je voda, svakako, vrijedan potencijal vodnog bogatstva koji se može svrsishodno iskoristiti u natapanju i ribogojstvu, posebno u aridnim i semiaridnim predjelima svijeta. Hranjive tvari u njoj mogu se smatrati gnojivom koje može bitno povećati prinose.

Upotreba nepročišćene vode za natapanje može, međutim, izazvati veoma nepoželjne posljedice za zdravlje ljudi. Toksični i patogeni mikroorganizmi mogu imati štetan utjecaj na bilje, tlo i ljude. Posebno se to odnosi na teške metale i neke organske spojeve koji ulaze u hranidbeni lanac i naposljetku dopijaju u ljudski organizam. Kao primjer spominje se kadmij koji nije fitotoksičan pa ga bilje brzo apsorbira, ali je zato već u vrlo malim koncentracijama otrovan za ljude. Zato su mnoge zemlje razvile standarde za dopustiv sadržaj teških metala u otpadnoj vodi i mulju na osnovi sadržaja kadmija.

S druge pak strane, zasad je još uvijek veoma malo informacija o tome kako bilje apsorbira razne sintetičke organske spojeve pa je i njihov učinak još uvelike nepoznat. Sintetičke pesticide npr. biljke ne apsorbiraju, već ostaju "neutralni" u tlu, ali ih zato može apsorbirati stoka na ispaši pa se kasnije pojavljuju u mlijeku.

### 8.4.2. Primjena otpadne vode za natapanje

Kako je već prije spominjano, otpadna se voda može uspješno upotrijebiti za natapanje:

- krmnog bilja: livada, pašnjaka, lucerne, djeteline i sl.
- žitarica: kukuruza, pšenice i ječma
- industrijskog bilja: pamuka, duhana, šećerne repe, šećerne trske i dr.
- rasadnika i šumskih nasada.

Uz adekvatnu obradu i gospodarenje, otpadnom se vodom mogu uspješno natapati voćnjaci i povrtlarski usjevi. Prema ispitivanjima Aguirre, J.M. (na pokusnoj farmi Taona u Peruu, 1974.), natapanjem otpadnim vodama postižu se bitno viši prinosi negoli upotrebom riječnih voda (vidi tablicu 8-8). To se odnosi i na sirovu i na istaloženu vodu.

Pročišćavanje otpadnih voda uz dezinfekciju koje se provodi u standardnim fekalnim stanicama, daje sa sanitarnog stajališta prihvatljivu kvalitetu efluenta, ali zbog visokih troškova taj pristup nije zasad u nerazvijenim zemljama naišao na širu primjenu. S druge pak strane, izdvajanje hranjivih komponenata iz otpadne vode nije zasad još provedivo. Ipak se čini da je za sadašnje prilike jedino ekonomski prihvatljivo rješenje stabilizacija u srijama u odgovarajućim taložnicama.

*Usporedbe prinosa uz natapanje otpadnom i riječnom vodom (t/ha)*

*Tablica 8-8*

Usjev	Sirova otpadna voda	Riječna voda
lucerna	120,0	70,0
kukuruz	5,0	2,0
grah	1,0	1,3
pšenica	3,0	1,8
ječam	4,0	2,0
krma (ovas)	22,0	12,0
rajčica	35,0	18,0
paprika	12,0	7,0
	<b>istaložen efluent</b>	<b>riječna voda</b>
krumpir	45,0	12,0
slatki krumpir	20,0	10,5
kukuruz	3,0	2,0
lucerna	12,5	10,0

Zbog sve akutnijih problema osiguranja dovoljnih količina vode za natapanje općenito, a na području Bliskog istoka posebno, organizacija FAO organizirala je 1985. god. na Cipru seminar o temi korištenje i pročišćavanje otpadnih voda za



natapanje. Na seminaru je podnesen velik broj referata, a cjelokupna problematika može se sažeti u ove točke:

- a) standardi za natapnu vodu (kemijski i biološki) te odgovarajući stupanj pročišćavanja otpadnih voda za natapanje;
- b) kratkoročni i dugoročni utjecaji primjene otpadne vode na proizvodnu sposobnost tla i narodno zdravlje. U ovoj je točki uključena povećana plodnost tla, opasnosti od povećane sadržine Na i saliniteta, toksični efekti teških metala i sintetičkih materija te mogućnost infekcija;
- c) adekvatna obrada otpadnih voda koje se upotrebljavaju za natapanje, osobito u odnosu prema taloženju (lagune) i upuštanju u podzemne horizonte;
- d) obrada i dispozicija mulja, posebno s njegovom primjenom za potrebe poljoprivrede; i
- e) primjeri adekvatnog rješavanja navedenih problema.

Na temelju rezultata mnogobrojnih projekata koji se koriste otpadnom vodom za natapanje, može se već sada zaključiti da su prednosti višestruke, posebno u zemljama u razvoju. Ponajprije će se tako maksimalno valorizirati ograničeno vodno bogatstvo za proizvodnju hrane i industrijskog bilja. S tim u vezi poboljšat će se kvaliteta raspoložive vode i javnog zdravlja uz niske troškove. Dalje, kako zemlje u razvoju, po pravilu, ne raspolažu s dovoljno kapitala za potpuno kondicioniranje otpadnih voda, to je relativno jeftin način za zaštitu okoliša.

### *8.4.3. Neki aspekti kvalitete otpadne vode za natapanje*

Prilikom razmatranja mogućnosti primjene neke određene kvalitete vode za natapanje treba uzeti u obzir i analizirati čitav niz parametara pojedinačno te njihov međusobni utjecaj. To se ponajviše odnosi na osobine tla u vezi sa stanjem i potrebom hidromelioracije, svojstvima i osobinama poljoprivrednih kultura, posebno u odnosu prema otpornosti na neke specifične sadržaje otpadne vode; zatim na utjecaj dugoročne primjene natapne vode niže kvalitete na plodnost tla, prinose i kvalitetu proizvoda te mogućnosti kondicioniranja sastava otpadne vode - posebno na sadržaj određenih organskih i anorganskih tvari.

#### *8.4.3.1. Tlo*

Nekoliko je osobina tla jako važno pri razmatranju mogućnosti primjene otpadnih voda za natapanje. Najvažnija od svih jest svakako reakcija tekuće komponente, odnosno pH, zatim potencijal oksidacije, kapacitet izmjene kationa i sadržaj organske tvari. Veličina pH jest možda najznačajnija i zbog toga jer se većina teških metala uglavnom pojavljuje pri niskim vrijednostima pH. Kako je poznato, kiselina se tla mogu uspješno neutralizirati vapnom. S tim u vezi značajno je napomenuti da vapno bitno reducira patogene organizme i taloženje većine teških metala. Dalje, neke anaerobne bakterije pretvaraju teške metale u netopive spojeve, čime ih čine

neškodljivima. Sustav tlo - biljka ima značajan autopurifikacijski potencijal za degradaciju i upotrebu nekih polutanata, ali pozornost treba ponajviše obratiti akumulaciji tvari koje nisu biološki razgradljive u tlu koje se natapa otpadnom vodom. Teški se metali najviše sakupljaju u gornjem sloju tla zbog jake adsorpcije i precipitacije.

Kod jako propusnih tala ili ako je razina podzemne vode visoka, treba voditi brigu da se ne zagadi podzemna voda. I naposljetku, prije nego što se pristupi natapanju zagađenim vodama, treba ustanoviti koliki je sadržaj opasnih materija u tlu prije početka natapanja.

#### 8.4.3.2. Poljoprivredne kulture

Mnogi se polutanti u bilju mogu akumulirati u takvoj koncentraciji da predstavljaju opasnost za zdravlje ljudi i životinja, a da se prethodno ne pojave nikakve vanjske oznake na bilju. Podnošljivost bilja na te polutante varira u širokim granicama, ovisno o sorti biljke i osobinama tla. Adsorpcija je isključivo ovisna o rastu biljke i biljnim organima. Tako se npr. akumulacija žive u jestivim dijelovima tih usjeva smanjuje prema njihovu redosljedu: riža, kupus, repa, kukuruz, pšenica; naprotiv, kod kadmija je taj redosljed ovaj: repa, kupus, pšenica, riža. Srećom je kod voćarskih kultura akumulacija teških metala u lišću i korijenu veća negoli u plodu, što bitno olakšava zaštitu.

Teški metali o kojima je riječ jesu Cd, Cu, Zn, Hg, Pb, Cr i Ni. Kako je već navedeno, neki se akumuliraju u jestivim dijelovima ne oštećujući biljne organe, dok su drugi fitotoksični. Adsorpcija ovisi o sorti biljke i kemijskom sastavu tla. Teški se metali po pravilu talože u rastvoru tla alkalne reakcije pa je prema tome opasno ako se pH snizi ispod 6,0.

#### Najveća dopustiva razina nekih parametara natapne vode u Kaliforniji i Indiji

Tablica 8-9

Parametar	Kalifornija		Indija
	poljoprivreda	igrališta i parkovi	
Cl (mg/l)	365	250	600
SO <sub>4</sub> (mg/l)	-	250	1000
OSU (mg/l)	2100	1500	2100
bor (mg/l)	2	2	2
EK $\mu$ mho/cm	-	-	3000 (250°)
SAR (mek/l)	10	8	
RNK (mg/l)	2.5	-	

SAR - Sodium adsorption ratio

RNK - Rezidualni natrijev karbonat

OSU - Otopljene soli ukupno

### 8.4.3.3. Anorganski i organski polutanti

Nema nikakve sumnje da od svih zagađivača koji su prisutni u otpadnoj vodi, teški metali čine najteže probleme. Naprimjer, male količine kadmija koje neki usjevi apsorbiraju čine ih neprikladnima za ljudsku prehranu. Žive i olova također veoma često ima u otpadnoj vodi, žive uglavnom u otpadnom mulju. Prema provedenim istraživanjima proizlazi da se većina usjeva može uspješno razvijati i uz koncentraciju olova u tlu od oko 2 100 ppm, što je štetno za zdravlje ljudi. U nekim se otpadnim vodama često pojavljuju još krom, arsen, nikl i bor, koji su također otrovni. Naprimjer, dok je bor niskih koncentracija koristan i nužan, postaje toksičan već pri koncentraciji većoj od samo 1 mg/l u otpadnoj vodi.

Iz skupine organskih zagađivača najveće nepravilike izazivaju sporo razgradljivi sintetički spojevi, herbicidi, insekticidi i druga brojna sredstva za zaštitu i prehranu bilja. Sadašnji ritam pojave na tržištu tih proizvoda u svim zemljama svijeta doseže brojku od preko 1000 godišnje, što će se u budućnosti sasvim sigurno povećavati. Kako iskustvo s njima i adekvatne mjere zaštite nužno dolaze iza njihove primjene, očito je da će u ovom području biti stalno, čak sve više i više, otvorenih problema.

Kudikamo najveće količine teških metala i organskih spojeva dolaze u otpadne vode iz industrijskih i sličnih postrojenja. Prema tome, prva i svopća mjera zaštite sastojala bi se u tome da sva ta postrojenja prije ispuštanja svojih voda u gradsku kanalizaciju (u svom dvorištu!) provedu određenu fazu pročišćavanja kako bi se te vode dovele na razinu kvalitete kućnih otpadnih voda. Iako su takve mjere već na snazi u velikom broju zemalja, proći će još dosta vremena dok se one budu adekvatno provodile na čitavoj kugli zemaljskoj! Mislim da je već došlo doba da se razne regionalne i međunarodne organizacije, velike i najveće sile, umjesto da silnu energiju i sredstva troše na "dokazivanje" tko je u krivu ili tko je u pravu, čiji je "komad" kontinenta iz "petnih žila" se naprežu za stvaranje tehnologije i sredstava za uništenje svega onoga što je čovjek dosada stvorio - da "preusmjere" svoj politički stroj u stvaranju preduvjeta i uvjeta za zaštitu onoga što je čovjek dosada postigao, odnosno o osiguranju globalnog dogovora za budući skladan razvoj čitavoga biljnog i životinjskog svijeta koji nužno čine jedinstvenu cjelinu.

### 8.4.3.4. Epidemiološki aspekti

U mnogim se dosadašnjim civilizacijama životinjski i ljudski izmet smatrao vrijednim gnojivom posebno bogatim dušikom, koji treba adekvatno iskoristiti. Kinezi su to činili neprekidno, u toku više tisuća godina, dok se u Evropi ta praksa "obnovila" negdje u XVII. stoljeću, najprije u Velikoj Britaniji.

Nasuprot tome, u aridnom i semiaridnom ambijentu, gdje je ograničeno vodno bogatstvo glavni faktor ograničenja razvoja poljoprivrede (a nekada i demografski), upotreba fekalnih otpadnih voda bila je, a i danas je dosta značajno izvoriste vode za natapanu poljoprivredu. Neovisno o sadržaju u otpadnoj vodi različitih organskih i anorganskih spojeva koji mogu biti toksični, neobrađena ili neadekvatno obrađena fekalna voda stalna je opasnost zaraza velikim brojem patogenih organizama.

Nema nikakve sumnje da će se i ubuduće obje važne komponente (voda i hraniva) otpadne vode valorizirati i upotrebljavati ponajprije u poljoprivredi. Tražiti neku apsolutnu sigurnost od zaraza bilo bi apsurdno iz više razloga. Najvažniji su da to nalaže dosta visoke troškove i da to treba provoditi upravo u onim zemljama koje imaju najmanje financijskih sredstava. Prema tome, treba izabrati jedan razuman - osrednji put koji će na najbezbolniji i najracionalniji način osigurati kvalitetne sirovine uz adekvatnu zdravstvenu zaštitu stanovništva. Takva ravnoteža te kriteriji pročišćavanja koji iz toga proizlaze, uveliko ovise o vrsti usjeva koji se uzgajaju i o metodama natapanja koje se primjenjuju.

S epidemiološkog stajališta, opravdanje za adekvatno kondicioniranje otpadnih voda postoji samo u slučajevima kada se proizvodi povrće koje se jede sirovo i kada se otpadnom vodom natapaju livade i pašnjaci za ispašu muznih krava. U svima ostalim slučajevima treba provesti samo određene postupke obrade vode. Naprimjer, pašnjaci za tovnu stoku mogu se natapati vodom nakon sekundarne obrade, najčešće uz prekid od dva tjedna prije klanja.

Ako se otpadnom vodom natapa industrijsko bilje, odnosno usjevi koji se ne jedu sirovi i krma, prema dosadašnjem iskustvu opasnost zaraze ograničena je na zaposleno osoblje na imanju i eventualno članove njihove obitelji. Danas se u mnogim zemljama još uvijek u tim slučajevima upotrebljava sirova otpadna voda, ali kao razumna mjera opreza od zaraze može se preporučiti sekundarna obrada, tj. taloženje uz fermentaciju.

#### *8.4.3.5. Aspekt gospodarenja tlom*

Nema nikakve sumnje da je bitan činilac uspješne primjene otpadne vode u natapanju način gospodarenja tlom i vodom, adekvatna služba promatranja i kontrole sklopa utjecaja tlo-voda-biljka na zdravstveno stanje ljudi i životinja te perspektive razvoja poljoprivrede u takvim uvjetima.

Da bi se minimizirali mogući toksični efekti teških metala, organskih zagadivača i patogenih mikroorganizama, preporučuju se ove mjere u gospodarenju tlom:

- a) održavati pH vrijednosti u tlu na 7 ili iznad 7 kako bi se smanjio neželjeni nepovoljni učinak većine teških metala;
- b) održavati, što je duže moguće u vegetacijskoj sezoni, niske vrijednosti potencijala oksidacije - zasićenjem vodom nizinskih područja tla;
- c) birati kulture koje ne apsorbiraju teške metale ili ih pak ne apsorbiraju u dijelovima koji se upotrebljavaju;
- d) birati kulture koje se ne jedu
- e) upotrebljavati najmanje moguće količine natapne vode;
- f) češće kontrolirati sastav otpadne vode kako bi se izbjegle nenadane i neželjene posljedice.

U vezi s napomenom u zadnjoj točki prethodnog stava treba istaknuti da, osim organizirane i stalne kontrole, treba jednako tako stalno pratiti koncentraciju opasnih materija u tlu, poljoprivrednim proizvodima i podzemnoj vodi.

## 8.5. OBRADA OTPADNIH VODA

### 8.5.1. *Općenito*

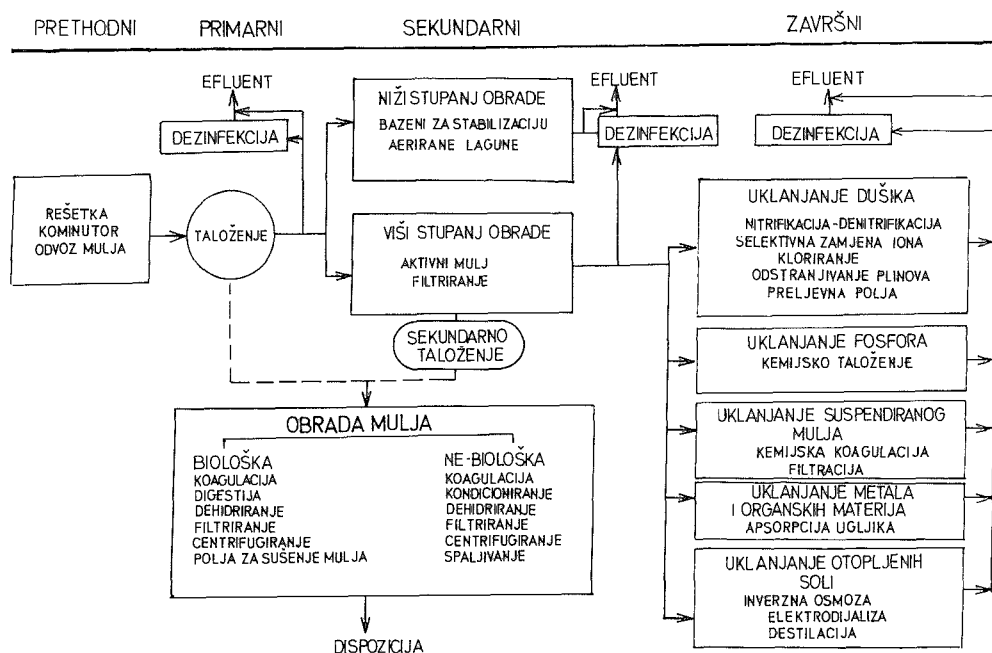
Osnovna je svrha obrade (pročišćavanja) kućnih ili industrijskih otpadnih voda kako bi se dispozicija tih voda obavila bez opasnosti za ljudsko zdravlje, odnosno neprihvatljivih šteta za okoliš. Natapanje je otpadnim vodama jedan od najučinkovitijih načina ne samo dispozicije već i upotrebe tih voda. Dakako, izvjestan stupanj obrade (pročišćavanja) kućnih otpadnih voda mora se provesti prije negoli se upotrijebe u poljoprivredi ili ribogojstvu. Stupanj obrade ovisi o kulturama koje će se uzgajati, vrsti i stanju tla te načinu primjene (natapanja).

Metoda obrade otpadnih voda koja će se primijeniti mora osigurati dovodenje otpadne vode na kvalitetu propisanu odgovarajućim standardima uz prihvatljivu cijenu i minimalne troškove održavanja i pogona. Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda planira se ponajprije tako da snizi sadržaj organske i suspendirane tvari na mjeru da ne zagađuje okoliš. Pri tome, za standardne slučajeve, nije bitno uklanjanje patogenih organizama, ali ako se voda koristi u poljoprivredi, to poprima primarnu važnost. Dalje, iz otpadne vode treba ukloniti one sastojine koje mogu biti otrovne ili štetne za bilje, ribe i ljude.

Dotok otpadne vode iz naseljenih mjesta nije ravnomjeran, već slijedi određeni hod koji ovisi o više čimbenika od kojih su najvažniji veličina naselja, djelatnost stanovništva naselja, podneblje i drugo. Dotoci su, svakako, najmanji rano ujutro, zatim slijedi prvi vrh (maksimum) u kasnim jutarnjim satima te drugi navečer. Sve što je naselje veće, to su dotoci ravnomjerniji. Izvjesno izravnaje protoka slijedi nakon prolaza kroz uređaj za kondicioniranje, ali i tada ne u dovoljnoj mjeri da se može neposredno koristiti za natapanje pa se efluent skladišti za kraća razdoblja u odogovarajućim bazenima.

### 8.5.2. *Uobičajeni postupci obrade otpadnih voda*

Pročišćavanje otpadnih voda provodi se uobičajenim fizičkim, kemijskim i biološkim postupcima radi uklanjanja krutih i organskih materija, a ponkad i hraniva. Ovisno o stupnju pročišćavanja, ti se postupci obično nazivaju prethodna, primarna, sekundarna i tercijarna obrada. Uobičajena shema tih postupaka prikazana je na slici 8-2.



Sl. 8-2 Uobičajeni dijagram tijeka za pročišćavanje gradskih otpadnih voda

### 8.5.2.1. Prethodna obrada

Ovaj se postupak sastoji u uklanjanju krupnog nanosa i predmeta iz otpadne vode kako bi se osigurala nesmetana obrada u idućim fazama. Sastoji se od grube rešetke i taložnice krupnog nanosa, a ponkad i kominutora. U ovoj se fazi obavezno ugrađuje i uređaj za mjerenje protoka.

### 8.5.2.2. Primarna obrada

Cilj je ove vrste obrade uklanjanje taložive organske i anorganske tvari te plivajućih predmeta. Uobičajeno je da se ovim postupkom uklanja oko 25 do 50 % ulazne biokemijske potrebe za kisikom ( $BPK_5$ ), 50 do 70 % ukupno suspendiranih tvari (UST) i 65 % masti i ulja. Tim se postupkom ujedno uklanja i nešto organskog dušika i fosfora te teških metala, ali ne i otopljene i koloidalne komponente. U tablici 8-10 prikazani su tipični podaci o rezultatima primarne obrade na trima uređajima u Kaliforniji.

## Podaci o učinku primarne obrade otpadnih voda za neke postaje u Kaliforniji

Tablica 8-10

Parametri kvalitete (mg/l ili kako je navedeno)	Grad Davis		San Diego		Općina Los Angeles	
	Sirova voda	Primarni efluent	Sirova voda	Primarni efluent	Sirova voda	Primarni efluent
BPK <sub>5</sub>	112	73	184	134	-	204
organski ugljik ukupno	63,8	40,6	64,8	52,3	-	-
suspendirane tvari	185	72	200	109	-	219
dušik ukupno	43,4	34,7	-	-	-	-
NH <sub>3</sub> -N	35,6	26,2	21,0	20,0	-	39,5
NO <sub>3</sub> -N	0	0	-	-	-	-
org - N	7,8	8,5	-	-	-	14,9
fosfor ukupno	-	7,5	-	10,2	-	11,2
Orto - P	-	7,5	11,2	-	-	-
pH	7,7	-	7,3	7,3	-	-
kationi:						
Ca	-	-	-	-	78,8	-
Mg	-	-	-	-	25,6	-
Na	-	-	-	-	357	359
K	-	-	-	-	19	19
anioni:						
SO <sub>4</sub>	-	-	160	-	270	-
Cl	-	-	120	-	397	-
cl. vodljivost, dS/m	2,52	2,34	-	-	2,19	-
otopljene tvari, ukupno	-	-	829	821	1404	1406
topivi natrij, %	-	-	-	-	70,3	-
SAR	-	-	-	-	8,85	6,8
bor (B)	-	-	-	-	1,68	1,5
alkalinitet (CaCO <sub>3</sub> )	-	-	-	-	322	332
tvrdća (CaCO <sub>3</sub> )	-	-	-	-	265	-

Izvor: Asano i Tchobanoglous (1987.)

U većini se razvijenih zemalja primarna obrada smatra minimalnom razinom pročišćavanja za korištenje otpadne vode za natapanje. To se posebno odnosi na proizvode koji se ne koriste za prehranu ljudi te na vinograde i voćnjake i neke kulture za prerađivačku industriju. Ipak, da se izbjegnju kasnije neugodnosti u dovodnoj mreži (naročito u zališnim bazenima) i u takvim se slučajevima preporučuje barem jedan dio sekundarne obrade.

Obično su bazeni za primarno taloženje okrugli ili pravokutni, dubine 3 do 5 m s hidrauličkim zadržavanjem od 2 do 3 sata. Istaloženi mulj skuplja se odgovarajućim napravama u središnji bunar, a potom prebacuje crpkama na uređaj za obradu.

U velikim se uređajima za pročišćavanje primarni mulj najčešće obrađuje biološki anaerobnom digestijom. Na taj se način organska masa pretvara u mulj, stabilizira i smanjuje joj se volumen. Digestija se provodi u zatvorenim bazenima s vremenom zadržavanja od 10 (visokoučinkoviti) do 60 dana (niskoučinkoviti bazeni). Proizvedeni plin sadrži 60 do 65 % metana i može se koristiti kao gorivo. U malim se uređajima mulj može obrađivati na različite načine, i to aerobnom digestijom, skladištenjem u lagunama, neposrednim odvodom na polja za sušenje mulja, razastiranjem na obradive površine i sl.

### 8.5.2.3. Sekundarna obrada

Sekundarnom se obradom pročišćava primarni efluent radi uklanjanja preostale organske materije i suspendiranog nanosa. Najčešće je to faza koja slijedi iza primarne obrade, a zadaća joj je uklanjanje biodegradirajuće otopljene ili koloidalne organske materije primjenom aerobnih bioloških procesa. Aerobni mikroorganizmi (pretežito bakterije) metaboliziraju organsku materiju u otpadnoj vodi i na taj se način intenzivno množe uz završne produkte:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  i  $\text{H}_2\text{O}$ . Danas je u primjeni veći broj tipova uređaja koji se razlikuju ponajprije po tome kako se doprema kisik do mikroorganizama i po brzini kojom mikroorganizmi razgrađuju organsku materiju.

Visokoučinkoviti uređaji za biološku obradu otpadnih voda imaju relativno malu zapreminu i visoku koncentraciju mikroorganizama u odnosu prema niskoučinkovitim, pa je tu i množenje mikroorganizama znatno naglašenije zbog povoljnijih uvjeta okoline. Iduća faza obrade sastoji se u taloženju (bistrenju) otpadne vode, koja se bitno ne razlikuje od postupka taloženja u primarnoj obradi. Talog uklonjen pri sekundarnoj obradi (sekundarni biološki mulj) obrađuje se dalje zajedno s onim iz primarne obrade.

Uobičajeni visokoučinkoviti procesi uključuju aktivirani mulj, prokapsnike (biološke filtre), oksidirajuće rovove i biodiskove. Pri obradi industrijskih otpadnih voda s visokim sadržajem organske materije, ponekad se primjenjuje kombinacija ovih dvaju postupaka. Visokoučinkovita biološka obrada zajedno s primarnim taloženjem obično uklanja 85 %  $\text{BPK}_5$  i suspendirane tvari te nešto teških metala. Aktivirani mulj s pridruženom dezinfekcijom u znatnoj mjeri smanjuje i bakterije i viruse, ali jako malo fosfora, dušika i ne biorazgradljivu organsku materiju ili otopljene minerale. Neki podaci o kvaliteti efluenta sekundarne obrade s nekoliko uređaja iz Kalifornije prikazani su u tablici 8-11.



*Podaci o kvaliteti sekundarnog efluenta za neke postaje za obradu otpadnih voda u Kaliforniji*

Tablica 8-11

Parametri kvalitete (mg/l ili kako je navedeno)	Prokapnici		Aktivirani mulj	
	Chino Basin MWD (No. 1)	Chino Basin MWD (No. 2)	Santa Rosa Laguna	Montecito Sanitary Dist.
BPK <sub>5</sub>	21	8	-	11
KPK	-	-	27	-
suspendirane tvari	18	26	-	13
dušik ukupno	-	-	-	-
NH <sub>3</sub> -N	25	11	10	1,4
NO <sub>3</sub> -N	0,7	19	8	5
org - N	-	-	1,7	-
fosfor ukupno	-	-	12,5	-
Orto - P	-	-	3,4	-
pH	-	-	-	7,6
kationi:				
Ca	43	55	41	82
Mg	12	18	18	33
Na	83	102	94	-
K	17	20	11	-
anioni:				
HCO <sub>3</sub>	293	192	165	-
SO <sub>4</sub>	85	143	66	192
Cl	81	90	121	245
el. vodljivost, dS/m	-	-	-	1,39
otopljene tvari, ukupno	476	591	484	940
SAR	2,9	3,1	3,9	3,7
bor (B)	0,7	0,6	0,6	0,7
alkalinitet (CaCO <sub>3</sub> )	-	-	-	226
tvrdoaća, ukup. (CaCO <sub>3</sub> )	156	200	175	265

Izvor: Asano i Tchobanoglous (1987.)

#### 8.5.2.4. Tercijarna i/ili završna obrada

Ovaj se stupanj obrade primjenjuje kada se specifične sastojine otpadne vode ne mogu ukloniti prethodno opisanim postupcima. Kao što se vidi na slici 8-2, posebne su metode obrade nužne za uklanjanje nitrata, fosfora, suspendiranih tvari, otopljenih tvari i teških metala. U praksi ima veći broj mogućih kombinacija ovih metoda obrade. Tako završna obrada često slijedi visokoučinkovitu sekundarnu pa se naziva tercijarna. Ali ovaj proces može slijediti i primarnu obradu ili se pak primjenjuje umjesto sekundarne.

*Podaci o kvaliteti efluenta nekih tercijarnih uređaja za obradu otpadnih voda u Kaliforniji<sup>1</sup>*

Tablica 8-12

Parametri kvalitete (mg/l ili kako je navedeno)	Lokacija uređaja					
	Long Beach	Los Coyotes	Pomona	Dublin S. Ramon	City of Livermore	Simi Valley CSD
BPK <sub>5</sub>	5	9	4	2	3	4
suspendirane tvari	-	5	-	1	-	-
dušik ukupno	-	-	-	-	-	19
NH <sub>3</sub> -N	3,3	13,6	11,4	0,1	1,0	16,6
NO <sub>3</sub> -N	15,4	1,1	3	19,0	21,3	0,4
org - N	2,2	2,5	1,3	0,2	2,6	2,3
fosfor ukupno	-	-	-	-	-	-
Orto - P	30,8	23,9	21,7	28,5	16,5	-
pH	-	-	-	6,8	7,1	-
ulja i masti	-	-	-	-	-	3,1
kolibakterija, uk.	-	-	-	2	4	-
kationi:						
Ca	54	65	58	-	-	-
Mg	17	18	14	-	-	-
Na	186	177	109	168	178	-
K	16	18	12	-	-	-
anioni:						
SO <sub>4</sub>	212	181	123	-	-	202
Cl	155	184	105	147	148	110
el. vodljivost, dS/m	1,35	1,44	1,02	1,27	1,25	-
otopljene tvari, ukupno	867	827	570	-	-	585
topivi natrij, %	63,2	59,2	51,7	-	-	-
SAR	5,53	4,94	3,37	4,6	5,7	-
bor (B)	0,95	0,95	0,66	-	1,33	0,6
alkalinitet (CaCO <sub>3</sub> )	-	256	197	150	-	-
tvrdća, uk. (CaCO <sub>3</sub> )	212	242	206	254	184	-

<sup>1</sup> Unaprijedena obrada na ovim postajama slijedi nakon sekundarne i sastoji se iz kemijske koagulacije (stipsa i polimer) i filtracije kroz pješčane filtre ili aktivnog ugljena. Izvor Asano i Tchobanoglous (1987.)

U mnogim slučajevima, kada je velika vjerojatnost dolaska stanovništva u dodir s obrađenom vodom ili pojedinima njenim sastojinama, svrha je dodatne obrade minimiziranje moguće zaraze s enterovirusima ili drugima patogenim organizmima. Da bi se provela učinkovita dezinfekcija nužno je prethodno iz vode ukloniti suspendirane i koloidalne tvari. Uobičajeni je redoslijed postupaka kondicioniranja koji se najčešće primjenjuju u SAD-u ovaj: sekundarna obrada nakon koje slijedi

kemijska koagulacija, taloženje, filtracija i dezinfekcija. Pretpostavlja se da takav efluent ne sadrži viruse.

#### 8.5.2.5. Dezinfekcija

Dezinfekcija se uglavnom provodi uvođenjem klora na ulazu odgovarajućeg bazena za kloriranje. Doza klora ovisi o sastavu otpadne vode i drugih čimbenika, ali se najčešće kreće između 5 i 15 mg/l. Za tu svrhu mogu se upotrijebiti i ozon i ultraljubičaste zrake, ali se zbog visoke cijene rijetko koriste. Najčešće su bazeni za kloriranje pravokutni kanali s odgovarajućim pregradama radi sprečavanja brzog protjecanja. Zadržavanje je vode u bazenu najčešće 30 min., ali se za specifične načine natapanja ili upotrebu otpadne vode vrijeme ponekad povisi i na 120 minuta. Baktericidno djelovanje klora i drugih dezinfektanata ovisi o pH vrijednosti, sadržaju organske tvari, vremenu kontakta i temperaturi.

#### 8.5.2.6. Skladištenje efluenta

Iako ne uvijek, najčešće se između postaje za obradu otpadne vode i natapnog sustava planira bazen za skladištenje efluenta. Bazen je potreban iz ovih razloga:

- radi izravnjanja dnevnih varijacija dotoka i potrošnje te za zimsko skladištenje;
- da se osigura vršna potrošnja pri natapanju i pri prosječnom dotoku otpadne vode;
- radi minimiziranja šteta koje mogu nastati zbog ispada iz pogona postaje za obradu otpadne vode ili kvara na natapnom sustavu;
- radi dodatne obrade: za vrijeme skladištenja dodatno se snižuju BPK<sub>5</sub>, suspendirane tvari, dušik i mikroorganizmi.

### 8.5.3. Prirodni biološki sustavi obrade

Prirodni su niskoučinkoviti biološki sustavi za obradu organske tvari u otpadnoj vodi uglavnom nižih troškova i manjih zahtjeva u pogonu od istovjetnih visokoučinkovitih. Za njihovu je realizaciju potrebno osigurati veće površine terena, ali zato radikalnije uklanjaju patogene organizme, i ako su dobro planirani i održavani, mogu dugovječno pouzdano funkcionirati. Između svih metoda ove vrste danas na raspolaganju, najviše se primjenjuju bazeni za stabilizaciju i poljska obrada pa za te sustave ima najviše iskustva i raspoloživih podataka.

#### 8.5.3.1. Bazeni za stabilizaciju otpadne vode

U izvješću Svjetske banke o tom problemu (Shuval et. al. 1986.) zaključuje se da je najpovoljniji način obrade otpadne vode za potrebe poljoprivrede upravo primjena stabilizacijskih bazena. Ta se metoda najviše koristi u zemljama u razvoju gdje ima dovoljno zemljišta uz relativno nisku cijenu, a deficitarna je visokokvalificirana radna

snaga. U tablici 8-13 prikazana je usporedba ove metode s nekoliko visokoučinkovitih metoda obrada otpadne vode.

*Prednosti i mane različitih sustava obrade*

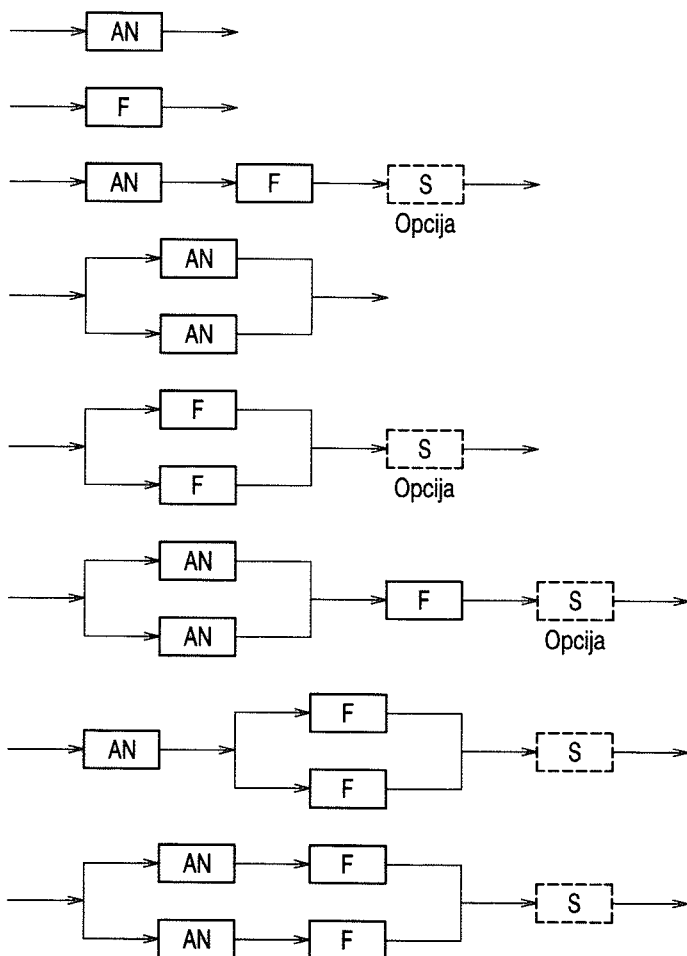
*Tablica 8-13*

	Kriterij	Aktivirani mulj	Produžena aeracija aktiviranog mulja	Biološki filtri	Jarci za oksidaciju	Aerirane lagune	Bazeni za stabilizaciju
z n r a e č d a a j j k a e	Sniženje BPK <sub>5</sub>	O	O	O	D	D	D
	Uklanjanje bak. koli	S	O	S	O	D	D
	Uklanjanje susp. tvari	D	D	D	D	O	O
	Uklanjanje crva	O	S	S	O	O	D
	Uklanjanje virusa	O	S	S	O	D	D
g č o i s m p b o e d n a i r k	Cijena izgradnje	S	S	S	O	O	D
	Jednostavnost pogona	S	S	O	O	S	D
	Potreba za zemlj.	D	D	D	D	O	S
	Troškovi pogona	S	S	O	S	S	D
	Potreba za energ.	S	S	O	S	S	D
Trošak ukl. mulja	O	O	O	S	O	D	

Značenje simbola: D - dobro (povoljno); O - osrednje; S - slabo (nisko, nedovoljno)

Izvor: Arthur (1983.)

Bazeni za stabilizaciju otpadne vode planiraju se za različit stupanj pročišćenja. Ovisno o opterećenju otpadne vode organskom materijom te zahtijevanim stupnjem pročišćavanja, planiraju se najviše do tri stupnja u seriji. Da bi se dobila jednostavnost u održavanju i fleksibilnost u pogonu, običnom se planiraju dva vlaka uređaja paralelno. Jako opterećena otpadna voda, s koncentracijom BPK<sub>5</sub> više od 300 mg/l, najprije će se tretirati u anaerobnim bazenima koji postižu visok stupanj uklanjanja organske tvari. Vode nižeg stupnja zagađenja ili tamo gdje anaerobni bazeni nisu poželjni mogu neposredno prebaciti u primarne fakultativne bazene. Vode iz anaerobnih bazena prvog stupnja prebacuju se u sekundarne fakultativne bazene gdje se obavlja biološka obrada drugog stupnja. Nakon primarnih ili sekundarnih fakultativnih bazena, ako je nužno dalje smanjenje patogenih organizama, planiraju se polja za zriobu kao treći stupanj obrade. Uobičajene konfiguracije ovih sustava prikazane su na slici 8-3.



Sl. 8-3 Konfiguracije stabilizacijskih bazena: AN - anaerobni; F - fakultativni; S - za sazrijevanje (Pescod i Mara 1988.)

#### a) Anaerobni bazeni

Anaerobni su bazeni veoma učinkoviti za uklanjanje  $BPK_5$ , kada je prisutna u visokoj koncentraciji. Za uobičajeni sastav kućnih otpadnih voda ( $BPK_5$  do 1000 mg/l) dovoljan je jedan bazen u svakom vlaklu. Za jako zagađene industrijske otpadne vode mogu se primijeniti do tri bazena u seriji, ali tako da vrijeme zadržavanja u svakom bazenu bude najmanje jedan dan.

Anaerobni uvjeti u stabilizacijskim bazenima prve faze održavaju se visokim volumetrijskim opterećenjem organske mase (više od 100 g  $BPK_5/m^3$ ). Volumetrijsko opterećenje  $\lambda_v$ , izražava se:

$$\lambda_v = \frac{L_i}{V} \quad ,$$

gdje je:

$L_i$  - ulazni BPK<sub>5</sub>, mg/l (influent)

$Q$  - ulazni protok, m<sup>3</sup>/dan

$V$  - zapremina bazena m<sup>3</sup>

a budući da je  $V/Q = t_{an}$  vrijeme zadržavanja:

$$\lambda_v = \frac{L_i}{t_{an}}$$

Veoma visoko opterećenje vode (do 1000 BPK<sub>5</sub>/m<sup>3</sup> dan) osigurava učinkovitu upotrebu zapremine bazena, ali ako voda sadrži visoku koncentraciju sulfata (preko 100 mg/l), razvoj H<sub>2</sub>S može prouzročiti probleme zbog neugodna mirisa.

Uobičajena dubina anaerobnih bazena iznosi 2 do 5 m, a funkcioniра kao otvorena septička jama s ispuštanjem plinova u atmosferu. U bazenu se razvijaju jednaki biokemijski procesi kao i u anaerobnim digestorima. U tablici 8-14 prikazan je učinak uklanjanja BPK<sub>5</sub> za različita vremena zadržavanja i za uvjete toplog klimata. Kasnije (1986.) Gambril et.al. preporučili su da se za temperaturu do 10° C uzima uklanjanje od 40 % BPK<sub>5</sub> uz volumno opterećenje  $\lambda_v = 100$  g/m<sup>3</sup>/dan te 60 % za temperature iznad 20° C uz opterećenje od 300 g/m<sup>3</sup>/dan. Za temperature od 10° C do 20° C preporučuje se linearna interpolacija.

#### *Uklanjanje BPK u anaerobnim bazenima opterećenim s 250g BPK<sub>5</sub>/m<sup>3</sup> dan*

*Tablica 8-14*

Vrijeme zadržavanja , $t_{an}$ dana	Uklanjanje BPK <sub>5</sub> , %
1	50
2,5	60
5	70

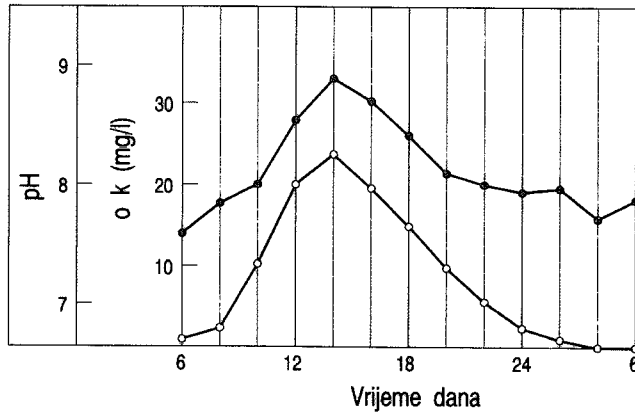
Krute tvari koje sadrži otpadna voda te proizvedena biomasa taložiti će se u bazenima prve faze. Uobičajeno je da se ta masa uklanja kada doseže visinu od pola dubine bazena. Za uobičajeni se sastav kućnih otpadnih voda to postiže nakon dvije godine pogona.

#### *b) Fakultativni bazeni*

Efluent iz anaerobnih bazena treba prije dalje upotrebe podvrgnuti izvjesnom postupku aerobne obrade. Za to se najčešće koriste fakultativni bazeni, ali i



vjetra. Neadekvatno miješanje moglo bi prouzročiti "kratke spojeve" i termalnu stratifikaciju, što dovodi do anacrobioze.



Sl. 8-5 Dnevne varijacije pH i otopljenog kisika u fakultativnim bazenima (Pescod i Mara, 1988.)

Danas se za projektiranje fakultativnih bazena najviše primjenjuje metoda McGarry i Pescod objavljena 1970. Izvorna je formula izrađena za anglosaksonske jedinice mjere, dok taj izraz preveden na SI glasi:

$$\lambda_{s(max)} = 60,3(1,099)^T \quad ,$$

gdje je:

$\lambda_s$  - (površinsko) zračno organsko opterećenje, kg BPK<sub>5</sub>/ha dan

T - srednja temperatura zraka najhladnijeg mjeseca, °C

Arthur (1983.) pojednostavio je i preradio tu formulu pa je uključio i koeficijent sigurnosti od 1,5, tako da sada glasi:

$$\lambda_s = 20T - 60$$

To zračno opterećenje BPK<sub>5</sub> može se prevesti na zahtijevanu površinu prosječne dubine koristeći formulu:

$$A_f = \frac{10L_i Q}{\lambda_s} \quad ,$$

odakle imamo:



$$A_f = \frac{L_i Q}{2T - 6} ,$$

a srednje hidrauličko zadržavanje u bazenu  $t_f$  ( u danima) jest:

$$t_f = \frac{A_f D_f}{Q}$$

Odstranjenje BPK<sub>5</sub> u bazenima obično doseže 70-80 λs. Vrijeme zadržavanja iznositi će najčešće 20-40 dana pa, uz dubinu od oko 1,5 m, potrebna površina bit će bitno veća od one za anacrobni bazen. Efluent takva bazena, koristeći gradsku otpadnu vodu, trebao bi imati BPK<sub>5</sub> između 50 i 70 mg/l, i to kao rezultat suspendiranih alga. Ispuštanjem efluenta u površinske vode ne bi se trebali pojaviti nikakvi problemi ako je nizvodno razrjeđenje reda veličine 8 : 1.

Održavanje je pravilno planiranih i građenih fakultativnih bazena relativno jednostavno i jeftino. Uglavnom se odnosi na čišćenje naslage pjene na nizvjetrovnoj strani i košnju trave po rubovima. Da bi se osigurao pravilan pogon, procese u bazenu treba stalno pratiti uz odgovarajuća motrenja, ali i u nedostatku toga, oni su relativno pouzdani u pogonu.

### c) Bazeni za sazrijevanje (zriobu)

Bazeni za sazrijevanje primjenjuju se u onim slučajevima kada je efluentu iz fakultativnih bazena potrebna dalja obrada, odnosno sniženje BPK<sub>5</sub>. Uobičajeni izlazni sadržaj BPK<sub>5</sub> u efluentu iz fakultativnih bazena iznosi najmanje 50 mg/l. Tako npr. da se efluentu BPK<sub>5</sub> većem od 75 mg/l snizi BPK<sub>5</sub> na oko 25 mg/l, potrebna su dva bazena za sazrijevanje u seriji, svaki s vremenom zadržavanja od 7 dana. Jedna od najvažnijih zadaća dalje obrade efluenta u bazenima za sazrijevanje jest uklanjanje patogenih mikroorganizama kako bi se voda mogla nesmetano koristiti u poljoprivredi. Kao indikator zagađenja patogenim organizmima, općenito uzevši, koriste se koliformne bakterije. S druge pak strane, ciste protozoa i jajašca crva uklanjaju se sedimentacijom u bazenima za stabilizaciju, i to tako da serija tih bazena s retencijom od oko 20 dana može u potpunosti ukloniti ciste i jajašca (Feachem et.al. 1983.)

Smanjenje koliformnih bakterija u bilo kakvu bazenu za stabilizaciju (anaerobnome, fakultativnom i za zriobu), može se izraziti ovim odnosom:

$$N_e = \frac{N_i}{1 + K_b \cdot t}$$

gdje je:

$N_e$  - broj koliforma/100 ml efluenta

$N_i$  - broj koliforma/100 ml influenta

$K_b$  - konstanta prvog reda za uklanjanje koli, dana

$t$  - vrijeme zadržavanja u bilo kome bazenu, dana.

Za  $n$  bazena u seriji, prednja formula poprima oblik:

$$N_e = \frac{N_i}{(1 + K_b \cdot t_{an})(1 + K_b \cdot t_f)(1 + K_b \cdot t_{m_1}) \dots (1 + K_b \cdot t_{m_n})}$$

Veličina  $K_b$  jest izuzetno osjetljiva na temperaturu, a vrijednost se može odrediti po Maraisu, po izrazu:

$$K_{b(T)} = 2,6(1,19)^{T-20},$$

gdje je  $K_{b(T)}$  vrijednost  $K$  pri temperaturi  $T$  °C.

Za gradske otpadne vode tipična vrijednost za  $N = 1 \times 10^8$  bakterija koli/100ml pa se to najčešće uzima kao osnova proračuna.

Pri proračunu niza bazena u seriji koriste se podaci standardnih parametara. Ako rezultat nije zadovoljavajući, poveća se broj bazena za sazrijevanje sve dok se ne postigne povoljan rezultat. Pri tome se obično uzima vrijeme zadržavanja od 7 dana. Gambrill et.al. objavio je 1986. za tu namjenu program za elektronička računala.

### 8.5.3.2. Obrada otpadne vode protjecanjem preko travnjaka

Prema Priručniku Američke agencije za zaštitu okoliša [US Environmental Protection Agency's Process Design Manual for Land Treatment of Municipal Wastewaters (EPA 1977.)] po toj se metodi efluent prelijeva preko blago nagnuta travnjaka na slabo propusnu tlu i polagano teče po padini do rovova na dnu i u njoj se skuplja. Na padini se uzgajaju hidrofilne trave.

Taj način obrade zahtijeva naizmjeničnu primjenu efluenta i ostanak suhog terena kako bi se tlo ozračilo i trava pokosila. Ukupna površina travnjaka planirana za tu vrstu obrade mora se podijeliti na više parcela kako bi se osigurao neprekidan pogon uz intermitentno korištenje pojedinih parcela. Taj se način obrade široko upotrebljava u Australiji, Novom Zelandu i Velikoj Britaniji kao tercijska obrada te u većem broju zemalja kao primarna.

Osnovne značajke poljskih parcela za tu metodu obrade preporučila je EPA (1977.) a prikazane su u priloženoj tablici 8-15. Treba istaknuti da se strmiji padovi koriste uz manje hidrauličko opterećenje. Navedeni rasponi za potrebnu poljsku površinu i normu primjene ovise o kvaliteti efluenta koji se obrađuje i značajkama terena. Ako se primjenjuje na propusnu tlu, treba obratiti pozornost na mogući utjecaj na podzemnu vodu.

### Značajke polja i planski elementi za obradu otpadne vode protjecanjem preko travnjaka

Tablica 8-15

nagib	dovršena padina 2-8 %
potrebna površina polja, ha	6,55-44
vodopropusnost tla	niska (glina, prah i tla s nepropusnim proslojcima)
godišnja norma, m	3-20
uobičajena tjedna norma, cm	6-40

Izvor: EPA (1977.)

Količina (norma) primjene otpadne vode ponajprije ovisi o vrsti tla, kvaliteti efluenta te fizičkoj i biokemijskoj aktivnosti u površinskom okolišu tla. Neke planske detalje za realizaciju tih polja preporučio je Middlebrooks et.al. (1982.). Tako se npr. preporučuje da dužina padine bude od 30 do 60 m.

Veoma važna komponenta pri planiranju jest i travni pokrivač, koji mora štiti tlo od erozije, koristiti hraniva iz vode i osiguravati trajni film - medij za biološku obradu. Trave za tu namjenu moraju imati dugu vegetacijsku sezonu, biti tolerantne prema vodi i imati jako razvijen korijenov sustav, kao npr. vlasulja i druge.

Metodom protjecanja vode preko travnjaka uklanja se suspendirana i koloidalna organska tvar. Uklanjanje dušika i amonijaka jest obrnuto proporcionalno primijenjenoj normi, duljini padine i temperaturi tla. Uklanjanje je patogenih organizama približno jednako učinkovito kao i pri sekundarnoj obradi. Preporučuje se da se na svakom uređaju uspostavi služba stalnog praćenja osnovnih pokazatelja pogona.

#### 8.5.3.3. Makrofitska obrada

Bazeni za sazrijevanje u kojima rastu plivajući podvodni i nadvodni korovi (akvatično bilje) nazivaju se još i makrofitski bazeni. Naziv je ušao u terminologiju posljednjih 10-ak godina kako bi se što određenije klasificirali pojedini tipovi stabilizacijskih bazena. Makrofiti troše velike količine anorganske materije, naročito N i P kao teških metala, posebno Cd, Cu, Hg i Zn, pa snižuju koncentraciju alga kao posljedicu zasjenjenja vodene površine lisnom krošnjom.

Kao primjer spominje se sustav makrofita (Ajhornija) na Floridi koji je, primajući sirovu otpadnu vodu, postigao kvalitetu sekundarnog efluenta zadržavanjem u bazenu kroz šest dana s dubinom vode od 60 cm i hidrauličkim opterećenjem od 1860 m<sup>3</sup>/ha/dan (Reddy i Debusk, 1987.).

##### a) Sustav plivajućih vodenih makrofita

Plivajuće makrofitske vrste s jako razvijenim korjenom, veoma su učinkovite u trošenju hranjivih tvari iz otpadne vode. Iako se na većem broju pokusnih uređaja primjenjivalo više sorti (Salvinia, Spirodella, Lemna, eichornia), utvrđeno je da je eichornia crassipes (ajhornija, vodeni hijacint) dala najbolje rezultate. U tropskim

predjelima ajhornija udvostručuje svoju masu otprilike svakih šest dana tako da makrofitski bazen proizvede oko 250 kg/ha/dan suhe mase. Također je utvrđeno da se dušik smanjuje za 80 %, a fosfor oko 50 %. Na nekim bazenima u Indiji ustanovljeno je da je *Ceratophyllum demersum* (voščika) veoma učinkovita u uklanjanju amonijaka (97 %) i fosfora (96 %), ali i BPK<sub>5</sub> (95 %). Ta sorta sporije raste od ajhornije pa je treba rjeđe kositi.

Osim navedenih svojstava, makrofitski sustavi pokazali su se kao jako prikladni živi supstrati za mikrobiološku aktivnost na uklanjanju BPK i dušika, ali i bitno smanjenje fosfora i teških metala. Prema tome je njihova osnovna funkcija asimilacija, koncentracija i skladištenje (kratkotrajno) glavnih zagađujućih materija. Košnjom i berbom raslinja osigurava se trajno uklanjanje "otpadne tvari". U tablici 8-16 dani su osnovni podaci o proizvedenoj masi i hranivima za neke uobičajene makrofite.

Jedna od mogućih neželjenih pojava pridružena korištenju makrofitskih bazena jest razvoj i množenje muha i komaraca. Taj se problem može donekle riješiti unošenjem u bazene riblje vrste koje jedu larve insekata kao što je *Gambusia* i *Poecilia*. Zelena masa proizvedena u bazenima može se upotrijebiti kao krma za ishranu stoke, za zelenu gnojdbu u poljoprivredi ili se pak može pretvoriti u bioplin u anaerobnim digesterima.

*Prirast i sadržaj hraniva (N i P) nekih uobičajenih makrofita*

*Tablica 8-16*

Bilje	biomasa		sadržaj hraniva	
	nepokošeno bilje t/ha	god. proizvodnja t/ha/god	N g/kg	P g/kg
<b>Plivajući makrofiti:</b>				
<i>Eichornia crassipes</i>	20,0-24,0	60-110	10-40	1,4-12,0
<i>Pistia stratiotes</i>	6,0-10,5	50-80	12-40	1,5-12,5
<i>Hydrocotyle</i> spp.	7,0-11,0	30-60	15-45	2,0-12,5
<i>Alternanthera</i> spp.	18,0	78	15-35	2,0-9,0
<i>Lemna</i> spp.	1,3	6-26	25	4,0-15,0
<i>Salvinia</i> spp.	2,4-3,2	9-45	-	1,8-9,0
<b>Nadvodni makrofiti:</b>				
<i>Typha</i>	4,3-22,5	8-61	5-24	0,5-4,0
<i>Juncus</i>	22,0	53	15	2,0
<i>Scirpus</i>	-	-	8-27	1,0-3,0
<i>Phragmites</i>	6,0-35,0	10-60	18-21	2,0-3,0
<i>Eleocharis</i>	8,8	26	9-18	1,0-3,0
<i>Saururus cernuus</i>	4,5-22,5	-	15-25	1,0-5,0

Izvor: Reddy i De Busk (1987.)

### *b) Sustav nadvodnih makrofita*

U zadnje se vrijeme, za obradu sirovih i djelomično pročišćenih otpadnih voda počelo koristiti močvarno i prevlažno zemljište. Močvarno je tlo najčešće neiskorišteno, pa, da bi se koristilo za navedenu svrhu i postigao što bolji učinak, potrebno ga je opremiti određenom infrastrukturom. Temeljne značajke koje osiguravaju obradu otpadne vode tog staništa trske i šaša jesu:

- rizomi trske razvijaju se vertikalno i horizontalno u tlu i time otvaraju tzv. "hidrauličke staze";
- BPK i dušik uklanjaju se aktivnošću bakterija; u rizosferi nastaju aerobni procesi, a anaerobna obrada stvara se u okolnom tlu;
- kisik ulazi iz atmosfere u rizosferu putem lišća i stabljike trske te šupljikavih rizona;
- suspendirani se nanos kompostira aerobno na nadzemnom sloju vegetacije koji se tvori iz mrtvog lišća i stabljika;
- hraniva i teški metali uklanjaju se metabolizmom bilja.

Brzina rasta i kapacitet asimilacije otpadne tvari tih korova, pretežito phragmites (trska) i scirpus lacstris (rogoz), ograničeni su sustavom kultura, opterećenjem otpadnom vodom, gustoćom biljaka, klimom i načinom održavanja.

## 8.6. NEKE POSEBNOSTI PRI PRIMJENI OTPADNE VODE ZA NATAPANJE

### *8.6.1. Općenito*

Kao što je poznato, natapanje igra ključnu ulogu u povećanju priroda i stabilizaciji poljoprivredne proizvodnje.

Da bi se osiguralo uspješno poslovanje na nekom natapnom gospodarstvu, moraju se ispuniti ovi uvjeti:

- treba dostaviti potrebnu količinu vode;
- voda mora biti zadovoljavajuće kvalitete;
- voda se mora planski (vremenski) dostaviti;
- primijeniti treba prikladan način natapanja;
- akumulacija soli u zoni korijena mora se onemogućiti ispiranjem;
- višak vode mora se adekvatno odvesti drenažom;
- opskrba hranivima mora se obaviti na optimalan način.

Ova pravila jednako vrijede pri upotrebi bilo koje vrste vode, pa i otpadne. Primjena otpadne vode ima i određenih prednosti jer se bilje istovremeno opskrbljuje i hranivima, što je ponekad posve dovoljno za uobičajeno gospodarjenje. Dakako, u tom je slučaju potrebno primijeniti posebne mjere zaštite od mogućih zaraza.

Načini za ispunjenje uvjeta navedenih u prethodnom odlomku opisani su u ostalim poglavljima ove knjige i ostalih brojeva Priručnika pa se više neće ponavljati, već se čitalac upućuje na odnosnu literaturu.

### 8.6.2. Izbor načina (metode) natapanja

Općenito uzevši, izbor načina natapanja ovisi o mogućnostima opskrbe vodom, klimi, tlu, vrsti poljoprivredne ili druge kulture, troškovima natapanja i mogućnosti poljoprivrednika da upravlja sustavom. Ipak, pri korištenju otpadne vode za tu namjenu, trebat će razmotriti i druge činioce kao što je zaraza bilja, ploda, radnika i okoliša te različiti problemi otrovnosti i zasljanjivanja. Izborom prikladne metode natapanja mogu se bitno suziti neželjeni učinci tih voda.

#### *Ocjena najčešće primjenjivanih načina natapanja pri upotrebi obrađene otpadne vode*

Tablica 8-17

Parametar koji se ocjenjuje	Natapanje brazdama	Natapanje prelijevanjem	Natapanje kišenjem	Lokalizirano natapanje
1. Vlaženje lišća, oštećenje lišća i kao posljedica slab urod	Nema oštećenja lišća jer se ne vlaži	Zahvaćeno je samo lišće: nema veće štete niti smanjenja uroda	Znatno oštećenje lišća može izazvati i osjetno smanjenje uroda	Nema oštećenja lišća
2. S ponovljenom primjenom akumulacija soli u zoni korijena	Sol se skuplja po rubovima, što može oštetiti kulturu	Sol putuje odozgo prema dolje i nije vjerojatno da će se sakupiti u zoni korijena	Sol putuje vertikalno pa se vjerojatno neće akumulirati u zoni korijena	Sol putuje radialno i akumulirat će se po rubu lukovice
3. Mogućnost održavanja visokoga vodnog potencijala u tlu	Bilje može biti podvrgnuto stresu između sukcesivnih natapanja	Bilje može biti podvrgnuto stresu između sukcesivnih natapanja	Nije moguće održati visoki vodni potencijal u čitavoj sezoni	Moguće je održavati visok vodni potencijal i minimizirati učinak slanosti
4. Mogućnost korištenja bočatih voda bez znatnog smanjenja uroda	Slabo do srednje. S dobrim upravljanjem i odvodnjom postižu zadovoljavajući prinosi	Slabo do srednje. S dobro vođenim natapanjem i odvodnjom mogu se dobiti zadovoljavajući prinosi	Slabo do srednje. Većina kultura trpi oštećenja lišća pa su prinosi niski	Odlično do dobro. Skoro svi usjevi mogu se uzgajati uz malo smanjenje uroda

Izbor odgovarajuće metode natapanja pri upotrebi otpadne vode ovisi o ovim čimbenicima:

- vrsti kulture;

- vlaženju lišća, ploda i zračnih dijelova;
- raspodjeli vode, soli i zagađujućih tvari u tlu;
- mogućnosti održavanja visokoga vodnog potencijala u tlu;
- učinkovitostima primjene; i
- mogućnostima zaraze radnika i okoliša.

U tablici 8-17 dane su analize tih čimbenika za najčešće primjenjivane načine natapanja.

Općenito uzevši, učinkovitost natapanja kod svih površinskih načina ne umanjuje se bitno upotrebom otpadne vode, ali je zato mogućnost zaraze zaposlenog osoblja velika. Problemi mogu nastati ako efluent sadrži veće količine suspendiranog nanosa jer se taloži u kanalima i cjevovodima i brtvi ispuste i ostalu opremu. Upotreba primarno obrađenog efluenta bitno će smanjiti te probleme. Da se izbjegne stagniranje vode, tlo treba dobro poravnati, a osigurati treba i odgovarajući nagib terena.

Pri natapanju kišenjem treba izbjegavati sustave iznad krošnje jer oni mogu zaraziti plodove, stabla i zaposlene radnike. U svakom slučaju otpadna voda pri kišenju stvara više problema negoli kod površinskih načina jer brtvi cijevi, rasprskivače i ostalu opremu, može opaliti lišće i izazvati akumulaciju fitotoksičnih elemenata u plodu ako ih ima u vodi. Sekundarni efluent uklonit će u najvećoj mjeri navedene probleme. Jedna od mjera za održavanje opreme u ispravnom pogonu jest i primjena sapnica s većim otvorom, svakako ne manjim od 5 mm.

### *Kvaliteta vode i problemi začepjenja pri lokaliziranom natapanju*

*Tablica 8-18*

Potencijalni problem	Jedinica mjere	Stupanj ograničenja korištenja		
		Nikakav	Nizak do srednji	Visok
Fizikalni - suspendirane tvari	mg/l	< 50	50-100	> 100
Kemijski - pH		< 7,0	7,0-8,0	> 8,0
- otopljene tvari	mg/l	< 500	500-2000	> 2000
- mangan	mg/l	< 0,1	0,1-1,5	> 1,5
- željezo	mg/l	< 0,1	0,1-1,5	> 1,5
- sumporovodik	mg/l	< 0,5	0,5-2,0	> 2,0
Biološki - populacije bakterija	max. br./ml	< 10000	10000-50000	> 50000

Izvor: Nakayama (1982.)

Sve su vrste lokaliziranog natapanja jako osjetljive na sadržaj suspendiranih (pa i otopljenih) tvari u vodi. Zato će za taj način natapanja trebati koristiti samo visokokvalitetan efluent (sekundarna ili terciarna obrada). Da se spriječe neželjene

posljedice, mrežu će povremeno trebati ispirati čistom vodom i redovno čistiti. Tablica 8-18 daje osnovne parametre kvalitete otpadne vode koji se moraju ispuniti pri ovom načinu natapanja.

U svakom slučaju, odluka o izboru nekog od mogućih načina natapanja ovisit će ponajprije o gospodarskim čimbenicima, ali pri tome treba uzeti u obzir sve relevantne čimbenike povezane s time, počev od opasnosti za ljudsko zdravlje, do potreba pročišćavanja, selekcije kultura, izbora opreme i dr.



## LITERATURA

1. FAO: Water Quality for Agriculture. Irrigation and Drainage Paper 29, 1985., Rome, pag. 1-174.
2. FAO: The Use of Saline Waters for Crop Production. Irrigation and Drainage Paper 48., 1992., Rome, pag. 1-133.
3. FAO: Wastewater Treatment and Use in Agriculture. Irrigation and Drainage Paper 47., 1992., pag. 1-125.
4. Kos, Zorko: Fizičke i kemijske osobine natapne vode. Vodoprivreda 20, 111-112 (1988./1-2), str. 39-50, Beograd.
5. Kos, Zorko: Razvoj i stanje standarda za upotrebu otpadnih voda za natapanje. Vodoprivreda 20, 113-114 (1988./3-4), str. 151-157., Beograd.
6. Kos, Zorko: Kriteriji kvalitete vode za natapanje, Građevinar 40 (1988.) 7, 323-329., Zagreb.
7. Kos, Zorko: Iskustvo i standardi nekih zemalja u korištenju vode niže kvalitete za natapanje. Vodoprivreda 20, 116 (1988./6), str. 317-325., Beograd.
8. Kos, Zorko: Korištenje otpadnih voda za natapanje. Građevinar 41 (1989.) 8, 389-393, Zagreb.
9. Kos, Zorko: Hidrotehničke melioracije tla. Natapanje, udžbenik Školska knjiga, Zagreb, 1987., str. 216.
10. Kos, Zorko: Hidrotehničke melioracije tla. Kvaliteta vode za natapanje, udžbenik. Školska knjiga, Zagreb, 1991., str. 115.
11. Saenz, R.: Use of Wastewater Treated in Stabilization Ponds for Irrigation - Evaluation of Microbiological Aspect, Water Quality Bulletin, Vol. 12, No 2, 1987. Ontario, Canada.
12. Sailer, S. Ya.: Irrigation Water Quality Requirements, Water International, Vol. 12, No 1, 1987., Urbana, USA.
13. Shuval, N.,J.: Wastewater Reuse for Irrigation: Evaluation of Health Standards, Water Quality Bulletin, Vol. 12, No 2, 1987., Ontario, Canada.
14. Prost, A.: Health Risks Stemming for Wastewater Reutilization: Water Quality Bulletin. Vol. 2, No 2, 1987., Ontario, Canada.
15. Tedeschi, S.: Zaštita vodnih sustava i pročišćavanje otpadnih voda. Građevinski institut, Zagreb, 1983.

## 8A. UPOTREBA OTPADNE VODE ZA NATAPANJE

*Prof. dr. Stanislav Tedeschi  
Građevinski fakultet  
Sveučilišta u Zagrebu*

Otpadne vode nastaju uporabom u seoskim i gradskim naseljima, nadalje u tehnološkim postupcima te proizvodnji energije.

Otpadne vode prikupljaju se sustavom kanala te ispuštaju u vodne sustave kanalskim ispustima. Takav način unošenja otpadne vode u prijemnike jest ispuštanje "točkastim ispustom".

Pod širim se pojmom otpadnih voda ponekad obuhvaćaju i oborinske vode koje ispiru površine tla. Oborinske vode s površine stambenih naselja prikupljaju se također sustavnim kanalima, kod nas najčešće istim kanalima otpadne vode ili ponekad posebnom kanalizacijskom mrežom. Takve se oborinske vode također ispuštaju točkastim ispustima.

Međutim, oborinske vode koje ispiru šumska, poljoprivredna i druga zemljišta dospijevaju u prirodne vode procjeđivanjem i otjecanjem po površini tla do prirodnih površinskih voda pa se takav način ispuštanja naziva i "raspršenim ispustima".

U otpadnim vodama koje se prikupljaju kanalskim sustavima može se nadzirati otpadna tvar s pomoću uređaja za čišćenje otpadnih voda. Točkasti izvori onečišćenja mogu na taj način biti istovremeno i nadzirani izvori onečišćenja.

Kod raspršenih se izvora onečišćenja u načelu ne može nadzirati otpadna tvar pa su takvi izvori neprovjereni izvori onečišćenja.

Kako bi se očuvala i zaštitila kakvoća prirodnih voda, nužno je primijeniti postupke čišćenja otpadnih voda prije ispuštanja. Na taj način obavlja se "obnova vode" te se obnovljena voda smije ispuštati u prirodne vode sustava, bez opasnosti od neželjenih promjena kakvoće vode.

Time je dalje omogućena ponovna uporaba vode nizvodno od ispusta jednom korištene i obnovljene vode. Taj način ponovne uporabe vode poznat je kao "posredni" i primjenjuje se oduvijek.

Kada nedostaje čista prirodna voda za ukupne potrebe određenog područja, odnosno kada su troškovi dobave vode s udaljenih izvorišta veći od troškova ponovne uporabe obnovljene vode, primjenjuje se postupak "neposredne uporabe vode".

Neposredna je uporaba voda planirana i razborita primjena pročišćene otpadne vode (obnovljene) za korisne svrhe, npr.: poljoprivredu, industriju, obogaćivanje

podzemnih voda, razonodu, uzgoj vodnih organizama (akvakultura), komunalne potrebe pa čak i vodoopskrbu.

Korištenje vode niže razine kakvoće, za one namjene gdje je to moguće, doprinos je općem gospodarenju vodnim bogatstvom. Tako se čuvaju čiste prirodne vode za namjene kod kojih je potrebna voda visoke kakvoće, na primjer za vodoopskrbu stanovnika. Obnovljena voda za ponovnu uporabu je "dodatno izvorište" vode, odnosno izvorište vode niže kakvoće.

Naziv "ponovna uporaba" vode nije istoznačan sa "kruženje" (recikliranje) vode. Kruženje vode označava ponovnu uporabu vode unutar tvornice ili proizvodnog pogona radi očuvanja vode ili nadzora onečišćenja.

Ponovnom uporabom vode mogu se postići odgovarajuće koristi. Prva od očekivanih dobrobiti jest poboljšanje vodne bilance, stvaranjem dodatnih izvorišta vode.

Najčešći način korištenja obnovljene vode jest natapanje poljodjelskih površina. Obnovljenom vodom omogućuje se razvoj poljodjelstva i u područjima gdje zbog nedostatka i/ili odgovarajuće cijene vode, ne bi bilo moguće. Daljnja prednost obnovljene natapne vode jest neovisnost o klimatskim okolnostima. Ponovnom uporabom obnovljene vode unose se u tlo i hranjive tvari iz otpadnih voda, npr.: dušik, fosfor, kalij te druge hranjive tvari u tragovima. Time se smanjuje potrošnja umjetnih gnojiva te dalje štedi energija potrebna za proizvodnju umjetnih gnojiva. Unošenjem organskih tvari u poljoprivredna tla doprinosi se očuvanju plodnog tla stvaranjem humusnih tvari.

Konačno primjenjujući načela obnovljene vode te neposredno ponovne uporabe, doprinosi se zaštiti vodnih sustava od onečišćenja te općenito očuvanju i poboljšanju čitavog okoliša.

Međutim, ponovna uporaba obnovljene vode nije uvijek bez opasnosti za ljudsko zdravlje te okoliš, naročito ako se ne poštuju odgovarajuće mjere i postupci zaštite. Moguće opasnosti ovise o osobinama otpadne vode te načinu i mjestu ponovne uporabe.

Daljnji nepovoljan učinak ponovne uporabe obnovljene vode jest moguće onečišćenje podzemne vode, na primjer kod sadržaja veće količine nitrata.

Natapne vode koje sadrže veće količine natrija mogu utjecati na fizikalno i fizikalno-kemijska svojstva tla, odnosno može doći do smanjenja propusnosti, naročito na površini tla.

Konačno, jedan od nepovoljnih utjecaja na okoliš pri primjeni postupka ponovne uporabe vode može biti neugodan miris, zbog neprimjerenog čišćenja otpadne vode.

Navedeni nedostaci ponovne uporabe vode mogu se izbjeći primjenom odgovarajućih normi, mjerila i smjernica.

Mjerila za čišćenje otpadne vode, ovisno o načinu ponovne uporabe, temelje se na ovim zahtjevima:

- zaštita ljudskog zdravlja
- zaštita okoliša
- zaštita građevina i naprava

Opasnost za ljudsko zdravlje pri ponovnoj uporabi kućanskih otpadnih voda, moguća je:

- uzimanjem hrane onečišćene otpadnom vodom (voće, povrće, ribe);
- korištenjem vode za piće onečišćene otpadnom vodom (biološki ili kemijski);
- udisanjem kapljica raspršene vode u zraku (aerosola) koje mogu prenositi patogene mikroorganizme i/ili opasne otpadne tvari;
- dodirrom s travom na igralištima, livadama i sl. natapanom kućanskim otpadnim vodama.

Okoliš može biti ugrožen zbog ponovne uporabe vode poremećajima prirodne biološke ravnoteže, smanjenjem biološke raznolikosti te općenito gubitkom ljepote krajolika.

Gradske otpadne vode mogu sadržavati zapaljivih, eksplozivnih i nagrizajućih tvari i spojeva pa mogu razarati građevine i naprave kanalizacijskog sustava te sustava za ponovnu uporabu vode.

Sastav gradskih otpadnih voda ovisi o mnogo činitelja, a naročito o životnom standardu stanovnika, klimatskim uvjetima, načinu vodoopskrbe te raspoloživim količinama vode. Sastav i koncentracija pojedinih kemijskih tvari i spojeva u otpadnoj vodi razlikuje se u pojedinim gradovima, a u ovisnosti je i o industrijskim otpadnim vodama koje se upuštaju u gradsku kanalizaciju.

Najčešće primijenjeni pokazatelji otpadne vode jesu:

- biokemijska potrošnja kisika (petodnevnna pri temperaturi vode od 20° C),
- ukupne raspršene (suspendirane) tvari,
- mikroorganizam pokazatelj, ukupne koliformne bakterije ili fekalni koliformi.

Pokazatelj biokemijske potrošnje kisika (BPK-5) ne označava ukupnu potrošnju kisika u otpadnoj vodi. U slučajevima kad otpadna voda sadržava tvari ili spojeve koje ometaju rast mikroorganizama, pokazatelj BPK-5 nije podoban pokazatelj sastava i koncentracije otpadne tvari koja izaziva potrošnju kisika u vodi.

Kemijska je potrošnja kisika (KPK) sigurniji pokazatelj, a osim toga dobivaju se i brži rezultati ispitivanja voda. U nepročišćenim je kućanskim otpadnim vodama odnos BPK-5/KPK u granicama od 0,4 do 0,8.

#### *Dnevna količina otpadne tvari po stanovniku*

*Tablica 8A-1*

<b>Pokazatelj</b>	<b>Količina otpadne tvari g/st</b>
BPK-5	60
KPK	120
Raspršene tvari	70
Dušik (N)	11
Fosfor (P)	2,5

Koncentracija otpadnih tvari ovisi o dnevnoj potrošnji vode po stanovniku pa više koncentracije označavaju manju dnevnu potrošnju vode.

U pojedinim slučajevima, kad nema ispitivanja otpadnih voda pojedinih naselja, može se procijeniti sastav otpadne vode prema dnevnoj vodopskrbnoj normi po stanovniku te dnevnoj količini otpadne tvari po stanovniku [2].

Osim navedenih pokazatelja, za ponovnu uporabu vode u poljodjelstvu mogu biti zanimljivi i drugi osebujni pokazatelji, primjerice ioni natrija, kalcija, magnezija i bora.

Sadržaj je otopljenih tvari u sirovoj otpadnoj vodi jednak koncentracijama iste tvari kao u vodi za vodoopskrbu, uvećanima za one količine koje se dodatno otope u kućanstvima korištenjem vode. Neke srednje vrijednosti pojedinih iona i drugih pokazatelja navode se u tablici 8A-2 [3].

*Uobičajene vrijednosti povećanja otopljenih tvari u vodi uporabom u kućanstvu*

*Tablica 8A-2*

Pokazatelj	Povećanje vrijednosti (mg/l)
<b>Anioni</b>	
Hidrogen-karbonati ( $\text{HCO}_3$ )	50 - 100
Karbonati ( $\text{CO}_3$ )	0 - 10
Kloridi (Cl)	20 - 50
Nitrati ( $\text{NO}_3$ )	20 - 40
Fosfati ( $\text{PO}_4$ )	5 - 15
Sulfati ( $\text{SO}_4$ )	15 - 30
<b>Kationi</b>	
Kalcij (Ca)	6 - 16
Magnezij (Mg)	4 - 10
Kalij (K)	7 - 15
Natrij (Na)	40 - 70
<b>Ostali</b>	
Aluminij (Al)	0,1 - 0,2
Bor (B)	0,1 - 0,4
Željezo (Fe)	0,2 - 0,4
Mangan (Mn)	0,2 - 0,4
Silicij ( $\text{SiO}_2$ )	2 - 10
<b>Ukupan alkalinitet (kao <math>\text{CaCO}_3</math>)</b>	<b>60 - 120</b>
<b>Ukupno otopljene tvari</b>	<b>150 - 380</b>

U navedene vrijednosti nisu uključene količine koje se pojavljuju u proizvodnim pogonima. U količinu klorida nisu uračunate dodatne količine koje nastaju u kućanstvima zbog omekšavanja vode.

U slučajevima kad se industrijske otpadne vode ispuštaju u gradsku kanalizaciju, otpadne vode mogu sadržavati tvari s vjerojatnom opasnosti za ljude, biljke i životinje, i to zbog otrovnosti, postojanosti i gomilanja u hranidbenom lancu (bioakumulaciji). Teške kovine i osebujne organske tvari mogu biti vrlo opasne za

biljke, ali i za ljude i životinje. U otpadnim su vodama najčešće u tragovima: bor, kadmij, bakar, molibden, nikal i cink. U većim količinama opasne su za biljke kad se nalaze u natapnoj vodi. Osim otrovnosti za same biljke, opasno je kad biljka apsorbira te elemente iz tla, zatim ih gomila u tkivu, čime biljke postaju opasne kao hrana ljudi i životinja. Biljke su osjetljive na povećane koncentracije klorida, sulfata i bora.

Neke otpadne tvari, npr. amonijak, kojih uvijek ima u otpadnim vodama, mogu biti otrovne, posebno za riblje larve, pri većim koncentracijama.

Potrebno je istaknuti da se pri uobičajenim postupcima čišćenja navedene tvari ne uklanjaju u potpunosti iz otpadne vode.

Broj i vrsta mikroorganizama u otpadnoj vodi ovise o zdravstvenim prilikama slivnog područja. U tablici 8A-3 navedene su neke uobičajene vrijednosti pojedinih organizama pokazatelja u otpadnoj vodi [4].

### *Mikroorganizmi u nepročišćenim gradskim otpadnim vodama*

*Tablica 8A-3*

<b>Organizam</b>	<b>Koncentracija broj/ml</b>
Ukupni koliformi	$10^5 - 10^6$
Fekalni koliformi	$10^4 - 10^5$
Fekalni streptokoki	$10^3 - 10^4$
Enterokoki	$10^2 - 10^3$
Shigella	Opažena u vodi
Salmonella Pseudomonas aeruginosa	$10^0 - 10^2$
Clostridium perfringens	$10^1 - 10^3$
Mycobacterium tuberculosis	Opažen u vodi
Protozoa - ciste	$10^1 - 10^3$
Giardia - ciste	$10^{-1} - 10^2$
Cryptosporidium - ciste	$10^{-1} - 10^1$
Helminti - jaja	$10^{-2} - 10^1$
Enterovirusi	$10^1 - 10^2$

Vrijeme preživljavanja mikroorganizama na tlu ili biljkama ovisi o mjesnim okolnostima, a posebno o jačini sunčeva svjetla, temperaturi, vlazi, pH vrijednosti i organizmima predatorima. Na temelju brojnih istraživanja može se navesti vrijeme preživljavanja patogenih mikroorganizama, pri temperaturi zraka 20 - 30° C [4].

## Vrijeme preživljavanja patogenih mikroorganizama

Tablica 8A-4

Mikroorganizam	Preživljavanje	
	Na tlu	Na biljkama
<b>Virusi</b>		
Enterovirusi uključivo polioečo i coxsackievirusi	manje od 100, ali najčešće 20	manje od 60 dana, ali najčešće 15 dana
<b>Bakterije</b>		
Fekalni koliformi	manje od 70, ali najčešće 20 dana	manje od 30, ali najčešće 15 dana
Salmonella	manje od 70, ali najčešće 20 dana	manje od 30, ali najčešće 15 dana
Vibrio cholerae	manje od 20, ali najčešće 10 dana	manje od 5, ali najčešće 2 dana
<b>Protozoe</b>		
Entamoeba histolytica, ciste	manje od 20, ali najčešće 10 dana	manje od 10, ali najčešće 2 dana
<b>Helminti</b>		
Ascaris lumbricoides, jaja	više mjeseci	manje od 60, ali najčešće 30 dana
Taenia saginata, jaja	više mjeseci	manje od 60, ali najčešće 30 dana
Trichuris trichiura, jaja	više mjeseci	manje od 60, ali najčešće 30 dana

Temeljem epidemioloških istraživanja utvrđeno je da kod primjene nepročišćenih otpadnih voda za natapanje, najveću opasnost čine helminti (nematode) i bakterije.

Kako bi se otpadne vode mogle izravno ili neizravno ponovno upotrebljavati, primjenjuju se postupci čišćenja otpadnih voda. Čišćenjem se iz otpadnih voda odvajaju:

- krutine od tekućina izravno ili neizravno nakon pretvorbe otopljenih tvari u kruto stanje;
- kapljevine od vode;
- plinovi iz vode;

Otopine ili raspršene tvari pretvaraju se u kapljevine ili plinove koji nemaju svojstvo onečišćivača; nadalje, čišćenjem otpadnih voda smanjuje se broj mikroorganizama u vodi, koji mogu izazivati bolesti. Kako bi se iz vode uklonile otpadne tvari, primjenjuju se različiti postupci i radnje, i to najčešće slaganjem pojedinih radnji i postupaka u jednu cjelinu koji se obavljaju na uređajima za čišćenje otpadne vode.

*Radnje i postupci za uklanjanje nekih onečišćivača**Tablica 8A-5*

<b>Onečišćivač</b>	<b>Radnje i postupci</b>
<b>Raspršene tvari</b>	Rečtanje i usitnjavanje Taloženje Cijedenje Isplivavanje Zgrušavanje Alternativni postupci
<b>Biorazgradive organske tvari</b>	Aktivni mulj Prokavnici Okretni biološki nosači Lagune Fizikalno-kemijski postupci (zgrušavanje - pahuljičenje) Alternativni postupci
<b>Patogeni mikroorganizmi</b>	Kloriranje Ozonizacija UV zračenje Alternativni postupci
<b>Dušik</b>	Nitrifikacija - denitrifikacija Odvajanja amonijaka Ionska izmjena Kloriranje do "kritične točke" Alternativni postupci
<b>Fosfor</b>	Kemijsko obaranje Zgrušavanje vapnom Biološki postupci Alternativni postupci
<b>Postojanje organske tvari</b>	Adsorpcija aktivnim ugljenom Ozonizacija
<b>Teške kovine</b>	Kemijsko obaranje Ionska izmjena Alternativni postupci
<b>Otopljene anorganske tvari</b>	Ionska izmjena Reverzna osmoza Elektrodializa

Uobičajeni postupci i radnje za uklanjanje otpadnih tvari prikazani su u tablici 8A-5 [3].

Pri čišćenju otpadnih voda radnje i postupci koji se primjenjuju na uređaju za čišćenje otpadne vode, najčešće se razvrstavaju kao:



- prethodno čišćenje (preliminarno)
- prvi stupanj čišćenja (primarno)
- drugi stupanj čišćenja (sekundarno)
- treći stupanj čišćenja (tercijarno)

Postupci koji se primjenjuju na trećem stupnju čišćenja nazivaju se i "napredna tehnologija".

Podjela radnji i postupaka prema redoslijedu na uređaju za čišćenje vidi se iz ove tablice:

*Pregled radnji i postupaka čišćenja na uređaju za čišćenje otpadne vode*

*Tablica 8A-6*

Prethodno	Prvi stupanj	Drugi stupanj	Treći stupanj
Rešetanje Usitnjavanje Uklanjanje pijeska masnoća	Uklanjanje raspršene tvari - Taloženje - Isplivavanje - Cijedenje na mikrositima	Uklanjanje biorazgradive tvari - Biološki postupci - Fizikalno-kemijski postupci	Uklanjanje dušika i fosfora Uklanjanje postojane organske tvari Uklanjanje teških kovina i otopljene anorganske tvari

Ponekad se određuju ciljevi pojedinih stupnjeva čišćenja kako bi se točnije označilo što se očekuje od pojedinog stupnja čišćenja. Tako u skladu s Uputama savjeta Europske Unije u pogledu čišćenja gradskih otpadnih voda [5]:

- Prethodni stupanj čišćenja označava primjenu radnji i postupaka kojima se iz otpadnih voda uklanjaju krupne plutajuće otpadne tvari te pijesak i šljunak;
- Prvi stupanj čišćenja označava primjenu fizikalnih i/ili kemijskih postupaka čišćenja otpadnih voda kojima se iz vode uklanja najmanje 50 % raspršenih tvari, a vrijednost BPK - 5 smanjuje barem za 20 % koncentracije ulazne otpadne vode;
- Drugi stupanj čišćenja označava primjenu bioloških i/ili drugih postupaka čišćenja kojima se u otpadnim vodama smanjuje koncentracija raspršene tvari i BPK-5 ulazne vode za 70 - 90 %, a koncentracija KPK za barem 75 %;
- Treći stupanj čišćenja označava primjenu fizikalno-kemijskih, bioloških i drugih postupaka kojima se u otpadnim vodama smanjuju koncentracije hranjivih soli ulazne vode za 80 %, odnosno uklanjaju i drugi osobujni pokazatelji otpadnih tvari u koncentracijama koje nije moguće postići primjenom drugog stupnja čišćenja;
- Odgovarajući ili primjereni stupanj čišćenja označava primjenu bilo kojeg postupka čišćenja i načina ispuštanja kojima se zadovoljavaju uvjeti prihvatne sposobnosti prijemnika.

Postupci čišćenja otpadnih voda poboljšavaju se stalno tako da se primjenom naprednih postupaka mogu otpadne vode pročititi do visokog stupnja čistoće. To se odnosi na većinu postupaka navedenih u tablici 8A-5, koji se još i nazivaju uobičajeni (konvencionalni).

Istovremeno u razvijenim zemljama i zemljama u razvoju istražuju se i primjenjuju drugačiji (alternativni) postupci čišćenja otpadnih voda. To su postupci bliži postupcima samočišćenja voda pa se još nazivaju i "prirodni sustavi čišćenja". Zahtijevaju manje građevina i opreme, troše znatno manje dodatne energije, a jednostavniji su u pogonu i održavanju uz najmanji potreban broj radnika.

Za razliku od uobičajenih postupaka od kojih su pojedini razvijeni do "visoke tehnologije", ti drugačiji postupci temelje se na "nižoj tehnologiji". Međutim, to ne znači da je učinak čišćenja drugačije ili odgovarajuće tehnologije nizak. Dapače, u određenim je okolnostima učinak čišćenja drugačijih postupaka vrlo visok i u potpunosti zadovoljava granične uvjete za ispuštanje u okoliš. Često su drugačiji postupci čišćenja otpadne vode podobni pri ponovnoj uporabi vode, dakle u slučajevima kad je bitno da ukupni troškovi obnovljene vode budu čim manji. Mogu se navesti neki od najčešće primjenjivanih drugačijih postupaka kao skupine postupaka čišćenja na/u tlu, akvakulture te čišćenje u dubokim spremnicima.

Za zaštitu zdravlja ljudi, i djelatnika na poljima koja se natapaju obnovljenom vodom i korisnika poljoprivrednih proizvoda, potrebno je smanjiti broj mikroorganizama koji mogu izazivati bolesti, na dopuštenu veličinu rizika. Potrebno je napomenuti da se uobičajenim postupcima čišćenja otpadne vode ne zadovoljavaju norme ili dopuštene vrijednosti mikroorganizama u obnovljenoj vodi namijenjenoj ponovnoj uporabi.

U tablici 8A-7 prikazano je smanjenje mikroorganizama kod primjene nekih postupaka čišćenja otpadne vode [4,7,8].

Klor i klorni spojevi najčešće se primjenjuju kao dezinfekcijsko sredstvo. Međutim, u pročišćenoj vodi u kojoj još uvijek ima otopljenih organskih tvari, a posebno dušikovih spojeva, klor se najprije troši za oksidaciju organskih spojeva. Učinkovitost dezinfekcije klorom ovisi ne samo o dodanoj količini klora već i o vremenu djelovanja. Pročišćene vode dezinficirane klorom sadrže klor - organskih spojeva, koji mogu biti otrovni za ribe i ostali živi svijet u vodi, pa i za čovjeka.

Ozon je jako oksidirajuće sredstvo, koje se također primjenjuje u postupcima dezinfekcije. Prednost je da se oksidacijom organskih spojeva ne stvaraju štetni i opasni spojevi.

Nedostatak je što dezinficirana voda ne sadrži ostatak sredstva za dezinfekciju. Zbog toga se nakon dezinfekcije ozonom vodi dodaje mala količina klornih spojeva, čime se sprečava naknadno, onečišćenje vode mikroorganizmima.

Ostala su dezinfekcijska sredstva, npr. jod, brom, zatim ultravioletno i gama zračenje, još uvijek razmjerno skupa pa se ne primjenjuju često u pripremama dezinfekcije otpadne vode.

**Očekivano smanjenje mikroorganizama pri nekim postupcima čišćenja otpadne vode**

Tablica 8A-7

Postupak čišćenja	Smanjenje (Log 10)		
	Bakterije	Helminti	Virusi
Taloženje	0 - 1	0 - 2	0 - 1
Zgrušavanje-pahuljičenje	1 - 2	1 - 3 (Z)	0 - 1
Aktivni mulj	0 - 2	0 - 2	0 - 1
Prokapnici	0 - 2	0 - 2	0 - 1
Prozračena laguna	1 - 2	1 - 3 (Z)	1 - 3
Stabilizacijska bara	1 - 6 (Z)	1 - 3 (Z)	1 - 4
Dezinfekcija - klorom, ozonom	2 - 6 (Z)	0 - 1	0 - 4
Čišćenje u dubokim spremnicima	1 - 6 (Z)	1 - 3 (Z)	1 - 4
Umjetno izgrađene močvare	2 - 3 (Z)	Nema opažanja	-
Čišćenje na/u tlu	3 - 4 (Z)	Nema opažanja	-

Z = zadovoljava norme ponovne uporabe obnovljene vode u poljodjelstvu, uz odgovarajući pogon i održavanje uređaja

Uklanjanjem otpadnih tvari iz voda ostaju na uređaju krute i tekuće tvari u koncentriranom obliku, koje se ne mogu ispuštati u okoliš bez opasnosti po ljudsko zdravlje te neželjenih promjena u ekosustavu.

Posebnu pozornost zahtijeva ostatak iz postupka taloženja, uključivo bistrenja nakon bioloških i fizikalno-kemijskih postupaka, koji se naziva "mulj" s uređaja za čišćenje vode.

Izbor pojedinog postupka ili radnje čišćenja otpadne vode i obrade mulja ovisi naročito o podrijetlu, sastavu i koncentraciji otpadne vode te načinu i mjestu ispuštanja otpadne vode i odlaganja mulja.

Korištenje obnovljene vode u svijetu primjenjuje se sve više, ne samo jer se time štedi voda visoke kakvoće već i radi očuvanja i unapređenja kakvoće okoliša. Međutim, pri tome je nužno pridržavati se mjera zaštite, kako se tim inače korisnim postupkom ne bi postigli neželjeni i neugodni učinci.

Pri tome se ponovno ističe da se postupcima čišćenja otpadnih voda, prije ispuštanja u prirodne prijemnike, ne uklanjaju u potpunosti svi onečišćivači vode. Iako postoje postupci čišćenja kojima bi se moglo postići vrlo učinkovito čišćenje, iz gospodarskih razloga to se u načelu ne primjenjuje. Nadalje, učinak rada uređaja ovisi naročito o načinu održavanja i pogona, te s tim u vezi, i o stručnosti radnika koji upravljaju uređajima.

Pri obradi mulja najčešće se primjenjuju ovi postupci:

## Postupci obrade mulja

Tablica 8A-8

Cilj postupka	Postupci
Zgušnjavanje	Zgušnjavanje gravitacijom Zgušnjavanje isplivavanjem Centrifugiranje
Stabilizacija	Kemijska stabilizacija Biološki postupci: aerobni i anacrobni Toplinska stabilizacija
Poboljšanje kakvoće	Kemijsko kondicioniranje Toplinsko kondicioniranje
Odstranjivanje vode	Centrifugiranje Cijedenje na cjediljkama vakuumom ili tlakom Polja za sušenje Lagune
Toplinska obrada	Sušenje Spaljivanje Pirroliza
Kompostiranje	Kompostiranje u naslagama Mehaničko kompostiranje

Kako bi se izbjegle moguće neugodnosti zbog ponovne uporabe obnovljene vode, mogu se preporučiti ove mjere i postupci zaštite [9]:

- donošenje normi za ponovnu uporabu vode;
- učinkovito čišćenje otpadne vode;
- nadzor kakvoće obnovljene vode;
- nadzor nad sustavom za raspodjelu obnovljene vode;
- nadzor nad primjenom;
- točno određena pravila postupanja;
- nadzor nad izloženosti ljudi.

Donošenje normi za ponovnu uporabu vode dio je pravnih mjera za zaštitu okoliša. Pojedine države donose podzakonske propise ovisno o zdravstvenima, gospodarskim i sociološkim prilikama. Pri tome se mogu koristiti Smjernice međunarodne zdravstvene organizacije i drugih međunarodnih organizacija.

Normama se mora zaštititi ljudsko zdravlje, ali jednako tako i ekosustav, kako bi se izbjegli poremećaji životnih zajednica.

Stupanj čišćenja otpadnih voda prije ponovne uporabe ovisi o podrijetlu i sastavu otpadnih voda te o namjeni obnovljene vode. Od posebnog je značaja stalno obrazovanje radnika koji upravljaju postupcima čišćenja.

Nadzor je nad kakvoćom obnovljene vode od izuzetne važnosti. U tom je pogledu potrebno organizirati stalno praćenje ispuštene vode iz uređaja za čišćenje otpadne vode. Program praćenja obuhvaća fizikalne, kemijske i biološke pokazatelje, ovisno o

planiranoj namjeni obnovljene vode. Osim mjesnoga, odgovarajuće opremljenog laboratorija, nužan je i povremeni nadzor laboratorija na državnoj razini.

Otpadna voda prikuplja se neprekidno u podjednakim količinama, uz neka dnevna i godišnja kolebanja. Uporaba obnovljene vode može biti povremeno u većim količinama kao na primjer kod poljodjelstva. U tom je slučaju potrebno predvidjeti spremnike obnovljene vode za izjednačavanje dotoka i potrošnje. Spremnici mogu biti nadzemni, u obliku umjetnih jezera, ili podzemni, ako to hidrogeološke prilike omogućavaju. U spremnicima obnovljene vode moguće je dodatno čišćenje obnovljene vode, ali u pojedinim slučajevima i određeno onečišćenje. Zbog toga je uvijek potrebno pripremiti i program praćenja kakvoće vode u spremnicima.

Obnovljena voda provodi se do mjesta uporabe zatvorenim cjevovodima ili otvorenim kanalima.

Ako se upotrebljavaju cijevne mreže, potrebno je sve cjevovode i opremu mreže predvidjeti iz različitih materijala od vodoopskrbne mreže. Bitno je i da razlika u boji cijevnog materijala bude uočljiva.

U otvorenim kanalima voda se može dodatno onečistiti, naročito kad se provodi na veće udaljenosti pa je program praćenja kakvoće vode obvezatan.

Na svim mjestima gdje bi ljudi mogli doći u dodir s obnovljenom vodom (spremnici, kanali), potrebno je istaknuti obavijesti o kakvoći vode, na primjer: "Voda nije za piće", "Voda nije za kupanje" i slično. Ovisno o kakvoći vode, potrebno je spriječiti pristup za napajanje stoke.

Nadzor nad primjenom obnovljene vode obuhvaća niz mjera prema mjestu i uporabi vode.

Pri ponovnoj uporabi u poljodjelstvu, nadzor obuhvaća: vrstu biljki, način natapanja, zaštitne mjere radnika. Prema kakvoći vode, kulture koje se natapaju mogu se ograničiti na samo industrijske ili one koje se jedu nakon kuhanja. O načinu natapanja ovisi i određene zaštitne mjere. Tako na primjer neke zemlje zahtijevaju najmanji razmak između razine podzemne vode i površine tla koje se natapa od 3,0 m [10]. U SAD-u primjenjuje se zaštitni pojas između polja za natapanje i stambenih zgrada širine 60 m, a do zdenaca za vodoopskrbu 150 do 300 m [10]. U zaštitnim pojasi predviđa se sadnja drveća kako bi se spriječio prijenos kapljica vode (aerosoli).

Pri ponovnoj uporabi obnovljene vode za obogaćivanje podzemne vode ili sprečavanja prodiranja slane vode u vodonosnik, u nekim zemljama zahtijeva se razmak između zdenca za upuštanje obnovljene vode i zdenca za crpljenje podzemne vode od 150 do 300 m ovisno o prethodnom čišćenju [11]. Općenito se traži vrijeme zadržavanja obnovljene vode u podzemlju od 6 do 12 mjeseci, a dopušteni najveći postotak obnovljene vode u odnosu prema godišnjoj prijemnoj sposobnosti vodonosnika 20 do 50 % [11].

Uporaba obnovljene vode zahtijeva strogo određena pravila postupanja. Uporaba obnovljene vode ne može se dopustiti "slučajnim" korisnicima. Naime, pri ponovnoj uporabi otpadne vode moraju se točno unaprijed planirati mjesto i način korištenja te s tim u vezi svi postupci koji doprinose zaštititi zdravlja i okoliša.

Kod primjene obnovljene vode u poljodjelstvu, često se primjenjuje zajedničko upravljanje i gospodarenje uređajem za čišćenje otpadnih voda te natapnim sustavom.

Obrazovanje korisnika obnovljene vode, tečajevima, seminarima, sredstvima javnog obavješćivanja, jedan je od temeljnih uvjeta za primjenu obnovljene vode. Nadalje, nužna su stalna obavješćivanja korisnika vode o stanju kakvoće vode te potrebnim mjerama zaštite. Od posebnih mjera zaštite mogu se navesti neke kod postupka primjene obnovljene vode u poljodjelstvu, zatim za komunalne potrebe (pranje ulica, natapanje zelenila). Za vrijeme rada s obnovljenom vodom, radnici se moraju pridržavati ovih pravila [12]:

- uporaba čizmi, radnih odijela i rukavica;
- osobna higijena (pranje ruku i tijela nakon rada);
- stalno zdravstveno obrazovanje;
- cijepljenje protiv tifusa i hepatitisa A;
- mogućnost odgovarajuće zdravstvene pomoći u slučaju zaraze.

Pri ponovnoj uporabi otpadne vode opasnost za zdravlje može postojati, osim kod radnika koji mogu biti u izravnom dodiru s vodom, i kod neizravnog dodira korisnika poljodjelskih proizvoda ili prolaznika u blizini mjesta korištenja obnovljene vode.

Pojačan zdravstveni nadzor potreban je na širem području uporabe obnovljene vode.

Suradnja s cjelokupnim mjesnim stanovništvom, naročito u pogledu obavješćivanja, bitno doprinosi učinkovitosti zdravstvenog nadzora.

## LITERATURA

1. UN Department of Technical Cooperation for Development: The use of non - conventional water resources in developing countries . Natural Water Resources Series No 14. UN DTCD, New York, 1985.
2. ATV: Bemessung von einstufigen Belegungslagen ab 5000 Einwohnerwerten. Regelwerk Abwasser - Abfall DK 628.356 :628.32.001.2 (083) Arbeitsblatt A 131, 1991.
3. Metcalf and Eddy: Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, Reuse. New York: McGraw-Hill, inc., 1991: 1334.
4. Feachem, R.G.; Bradley, D.J.; Garlick, H.; Mara, D.D.: Sanitation and Disease. Health Aspects of Excreta and Wastewater Management. Chichester: John Wiley, 1983.
5. Concl Directive of 21 May 1991 concerning urban waste water treatment (91/271 EEC). OJ No L 135/40.
6. Pescod, M.B.: Wastewater treatment and use in agriculture. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1992:125.
7. Idelovitch, E; Michail, M.: Soil Aquifer Treatment. A New Approach to an Old Method of Wastewater Reuse. Wat. Pollut. Control Fed. 56/1984: 936 - 940.
8. Reed, S.C.; Middlebrooks, E.J.; Crites, R.W: Natural Systems for Waste Management and Treatment. New York: Mc Graww Mill inc. 1988.
9. Mediterranean Action Plan: Environmental Guidelines for Municipal Wastewater Reuse in the Mediterranean region (Tedeschi, S. and Pescod M. eds). Split: Regional Activity Centre PAP-MAP/UNEP, 1991:127.
10. Morris, C.E.; Jewel, W.J.: Regulations and Guidelines for Land Application of Wastes-a 50 - State Overview. In: Land as a Waste Management Alternative (Lochr, R. C. -ed). Ann Arbor: Ann Arbor Science Publishers, 1977: 9-28
11. Asano, T.: Groundwater Recharge with Reclaimed Wastewater. Paper presented at the International Seminar on Wastewater Reuse - C. E. F. I. G. R. E. Sophia - Antipolis (France) 1989.
12. Hesperhol, I Guidelines and Integrated Measures for Public Health Protection in Agricultural Reuse System. Paper presented at the Regional Seminar on Wastewater Reclamation and Reuse. FAO Regional Project TCP/RAB/6751, UNDP/WORLD BANK. Cairo 1988.

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

*Prof. dr. Zorko Kos  
Građevinski fakultet  
Sveučilišta u Rijeci*

### **9.1. UVOD**

Zadnjih 20 godina u mnogim zemljama svijeta, naročito s aridnom i poluaridnom klimom, učinjeni su veliki naponi da se poveća raspoloživo vodno bogatstvo, posebno za potrebe natapanja prostranih poljoprivrednih površina. Akcije su uslijedile ponajprije zbog povećane potrošnje svih vrsta poljoprivrednih proizvoda koja je bila posljedica stalnog porasta stanovništva i povećanja životnog standarda. Nadalje, u većini zemalja u razvoju tekuća politika usmjerena je u pravcu smanjenja ovisnosti o uvozu ključnih potreba zemlje, pri čemu podmirenje potreba u prehrani zauzima važno mjesto.

Povećanje opće razine životnog standarda u nekoj zemlji nužno zahtijeva bitno povećanje potrošnje vode. Ono se najčešće očituje u dva pravca: za komunalno-industrijske potrebe zbog razvoja industrije i pratećih djelatnosti te urbanizacije područja te za povećanje poljoprivredne proizvodnje, koje je u sadašnjim uvjetima najčešće povezano s povećanjem prinosa po jedinici površine.

Značajan broj zemalja u razvoju s još značajnijim brojem stanovništva (oko jedne polovine svjetskoga) nalazi se u klimatskim zonama nepovoljnoga hidrološkog režima, posebno za poljoprivrednu proizvodnju. Napori koji se čine da se te nepovoljne prilike uklone ili minimiziraju usmjereni su u više pravaca, ali vidniji rezultati mogu se očekivati samo u dva, i to: u upotrebi zaslanjenih voda te korištenju već upotrijebljenih voda (reciklaža).

U ovom poglavlju dat ćemo kratak pregled sadašnjeg stanja i perspektivne planove upotrebe voda niže kvalitete u poljoprivredi nekih karakterističnih zemalja svijeta.

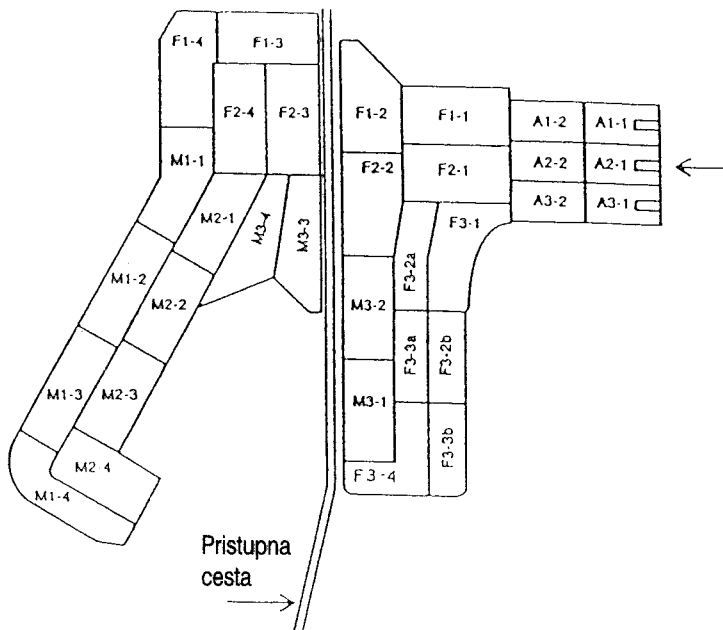


## 9.2. BLISKI ISTOK

Ovo je jedna od najinteresantnijih i najperspektivnijih regija glede potreba za otpadnim i drugim vodama niže kvalitete te mogućnosti njihova korištenja u natapanju. Razlozi su jasni: izrazito aridno područje s jakim financijskim potencijalom. Neke od ovih zemalja ćemo razmotriti pojedinačno, a ostale skupno uz prikaz glavnih pokazatelja.

### 9.2.1. Jordan

Ukupne raspoložive količine vode ove zemlje iznose oko 1.100 milijuna kubičnih metara godišnje, od čega su oko 80 % površinske, a 20 % podzemne vode. Ako se uzme u obzir da je već 1985. god. ukupna potrošnja iznosila 521 mil. kubičnih metara (oko 30 % stanovništvo i industrija te oko 70 % natapanje) i da se predviđa da će ona godine 2000. doseći 874 milijuna kubičnih metara, onda je sasvim jasno s kakvim se problemima ta zemlja suočuje i u kojem pravcu, što se tiče štednje i recirkulacije vode, treba ići.



Sl. 9-1 Prikaz stabilizacijskog bazena "Al Samra" (Al - Salem 1987)

*Efektivno korištenje bazena i vrijeme zadržavanja za opterećenje sustava od 68.000 m<sup>3</sup>/d.*

Tablica 9-1

Bazen	Ukupna dubina (m)	Efektivna dubina (m)	3 vlaka			2 vlaka		
			Površina (ha)	Volumen (m <sup>3</sup> ·10 <sup>5</sup> )	Vrijeme zadrž. (dana)	Površina (ha)	Volumen (m <sup>3</sup> ·10 <sup>5</sup> )	Vrijeme zadrž. (dana)
A1	5.00	3.00	9.50	2.85	4.2	6.30	1.90	2,8
A2	5.00	3.00	9.50	2.85	4.2	6.30	1.90	2,8
F1	2.25	1.50	21.75	3.26	4.8	14.5	2.17	3,2
F2	2.00	1.50	21.75	3.26	4.8	14.5	2.17	3,2
F3	1.50	1.50	21.75	3.26	4.8	14.5	2.17	3,2
F4	1.50	1.50	21.75	3.26	4.8	14.5	2.17	3,2
M1	1.25	1.25	18.75	2.34	3.4	12.5	1.56	2,3
M2	1.25	1.25	18.75	2.34	3.4	12.5	1.56	2,3
M3	1.25	1.25	18.75	2.34	3.4	12.5	1.56	2,3
M4	1.25	1.25	18.75	2.34	3.4	12.5	1.56	2,3
<b>Ukupno</b>			<b>181,00</b>	<b>28,10</b>	<b>41,2</b>	<b>120,6</b>	<b>18,72</b>	<b>27,6</b>

Izvor: Al - Salem (1987.)

*Sastav otpadne vode Amana*

Tablica 9-2

Parametar	Na zahvatu u sifon (Ain Ghazal) mg/l	Na ispustu u uređaj za pročišćavanje (Al Samra) mg/l
BPK <sub>5</sub>	766	623
Suspendirane tvari	899	754
KPK	1829	1376
CaCO <sub>3</sub>	848	645
Otopljene tvari	1172	1127
Ukupni N kao N	150	103
NH <sub>4</sub> -N	101	91
Ukupni P kao P	25	22
SO <sub>4</sub>	93	60
H <sub>2</sub> S	18,2	21,9

Izvor: Al - Salem (1987.)

Posljednjih se nekoliko godina veoma intenzivno grade uređaji za pročišćavanje gradskih otpadnih voda, a predviđa se da će se u godini 2000. najmanje 65 % količine

otpadnih voda zemlje obraditi u toj mjeri da se može upotrijebiti za natapanje.

1985. dovršen je uređaj za pročišćavanje otpadnih voda grada Amana primjenom bazena za stabilizaciju. Uređaj je smješten u Al Samra nekih 40-ak kilometara sjeveroistočno od Amana. Od Ain Ghazal (predgrade Amana) do lokacije u Al Samri voda se dovodi čeličnim cjevovodom presjeka 1200 mm izgrađenim od zavarenih čeličnih cijevi debljine 8,3 mm i zaštitnom betonskom oblogom od 25 mm. Prije ulaza u cjevovod voda se podvrgava taloženju krupnog nanosa i prolazi kroz grubu rešetku. Visinska razlika između zahvata i ispusta iznosi oko 100 m, a od ukupne dužine cjevovoda, 38,6 km čini sifon (visinska razlika između ispusta i najniže točke sifona jest 120 m). Uređaj je planiran za konačni kapacitet od 220.000 m<sup>3</sup> otpadne vode dnevno.

Na slici 9-1 prikazana je dispozicija bazena za stabilizaciju. Kao što se vidi, uređaj čine tri vlaka bazena, a svaki vlak ima dva anaerobna (A), 4 fakultativna (F) i četiri bazena za sazrijevanje (M). Zbog visokog sadržaja organske tvari, osam prvih bazena u svakom vlaku fingiraju kao anaerobni, dok su samo po dva zadnja ustvari fakultativna. Na početku je pogona gubitak na procjeđivanje iznosio 8,54 mm/dnevno, ali je već nakon nešto više od godinu dana snižen na samo 0,36 mm/d. Osnovne značajke uređaja prikazane su u tablici 9-1.

Za vrijeme tečenja otpadne vode od Ain Ghazal do Al Samre (18 sati) obavlja se "prethodna faza" pročišćavanja tako da se BPK smanji za 14 %, KPK za 25 %, a suspendirane tvari za 16 %. Sifon ustvari djeluje kao anaerobni digester. Podrobniji podaci o tim procesima prikazani su u tablici 9-2.

Učinkovitost pročišćavanja bitno ovisi o temperaturi okoliša tako da je znatno viša ljeti, kada su u pogonu samo dva vlaka ( $T_{sr} = 24$  °C), negoli zimi kada su u pogonu tri vlaka ( $T = 15$  °C). Ukupna učinkovitost uređaja tijekom 1986. bila je izuzetno visoka s uklanjanjem ulaznog BPK<sub>5</sub> od 80 % bez filtriranja efluenta, odnosno 91 % uz filtriranje. Istovremeno je ostvareno smanjenje fekalnih koliforma od 4,6 log.

Analizu smanjenja mikrobioloških organizama u razdoblju prosinac 1986. - ožujak 1987. opisali su Saqqar i Prescod 1990. i ukazali na znatnu učinkovitost, ali su rezultati bili ipak, u većini slučajeva, niži od normativa koje propisuje Svjetska zdravstvena organizacija ( $\leq 1000$  fekalnih koliforma na 100 ml). Tako su vrijednosti na ulazu u bazen A1 iznosile (ovisno o mjesecu) od  $2,22 \cdot 10^7$  do  $1,50 \cdot 10^7$  FC/100 ml, a na izlazu (bazen M4) između 814 i 4423 FC/100 ml.

### 9.2.2. Kuvajt

Kuvajt je jedna od najsiromašnijih zemalja svijeta po vodnom bogatstvu, posebno za natapanje. Zadnjih desetljeća opskrba vodom stanovništva i industrije rješava se desalinizacijom morske vode, ali za poljoprivredu je to još suviše skupo.

Sve do 70-ih godina poljoprivredna proizvodnja u zemlji bila je jako niska i ograničena. Još 1976. ukupno obrađene površine iznosile su samo 732 ha tako da se najveći dio hrane i krmnog bilja uvezio. Godine 1975., nakon višegodišnjih istraživanja, podignuto je imanje na površini od 900 ha, uglavnom za proizvodnju

krme (lucerne) na osnovi upotrebe pročišćenih otpadnih voda. Danas se ta površina u cijelosti obrađuje pa se osim lucerne koja je glavni usjev (75 %), proizvodi još paprika, krumpir, luk i drugo povrće. To je imanje 1985. god. prošireno s još 700 ha gdje se upotrebljava isti izvor vode.

1977. g. Ministarstvo javnih radova učinilo je dugoročni plan (do 2010.) za učinkovitu upotrebu nakon pročišćavanja, svih otpadnih voda u Kuvajtu. Po tom je planu do 1980. trebalo natapati ukupno 6.445 ha površina, a do 2010. čak 12.288 ha. Za natapanje se planiraju poljoprivredne i šumske površine. Na poljoprivrednim se površinama planira uzgoj krme za mliječne krave (lucerna, silažni kukuruz, sudanska trava, ječam i dr.) te veći broj povrtlarskih i voćarskih kultura (krumpir, luk, repa, kupus, cvjetača, zatim palme, masline, vinova loza i druge), ali i ratarski usjevi (kukuruz, pšenica, ječam i dr.). Površine predviđene za šumske kulture dijele se uglavnom u dvije skupine, i to brzorastuće ("gospodarske") i šume za ozelenjavanje krajolika i zaštitu tla od erozije. U konačnoj je fazi ukupno planirano natapati pročišćenim efluentom 2.700 ha intenzivnih poljoprivrednih površina te oko 9.000 ha šuma za ozelenjavanje krajolika. Radovi na realizaciji tog plana započeli su na svih 12 planiranih uređaja za pročišćavanje otpadne vode već sredinom 1981., a uglavnom su i dovršeni do kraja 1985.

### *9.2.3. Saudijska Arabija*

Ovo je zemlja bez stalnih površinskih vodnih tokova i s veoma niskim oborinama pa je opskrba vodom za sve potrebe orijentirana na podzemnu vodu. Raspoložive se zalihe te vode uglavnom ne obnavljaju pa je na mnogim mjestima zabilježeno znatno sniženje razine. Da bi se koliko-toliko zadovoljile rastuće potrebe, počelo je sistematsko kondicioniranje otpadnih voda radi upotrebe u industriji i poljoprivredi u unutrašnjosti zemlje te desalinizacija morske vode uz morsku obalu.

Planovi predviđaju da će od ukupnih potreba za vodom cijele zemlje u godini 2000., koje iznose 7.241 milijun kubičnih metara, otpadne vode podmiriti 675 milijuna. U pogonu je velik uređaj za kondicioniranje vode grada Rijada, koji dnevno dostavlja oko 110.000 kubičnih metara, i to 20.000 za rafineriju i ostalo za natapanje. U izgradnji je proširenje uređaja za još 80.000 kubičnih metara vode dnevno, čime će se ukupna površina natapana otpadnim vodama povećati na 4.000 hektara. Užurbano se također pripremaju projekti za korištenje otpadnih voda gradova Madinah i Qassim kapaciteta oko 240.000 kubičnih metara dnevno, čime će se i u ovom području natapati otpadnim vodama blizu 4.000 ha.

### *9.2.4. Ujedinjeni Arapski Emirati*

Još 1976. u Abu Dabiju bio je u pogonu uređaj za kondicioniranje otpadne vode na osnovi 660.000 stanovnika, uz proizvodnju od oko 70 milijuna m<sup>3</sup> vode godišnje. Voda se upotrebljava za natapanje parkova i gradskih površina i za komunalne

potrebe. Vode grada Al-Aina (stanovništvo 1984.: 150.000) kondicioniraju se također i upotrebljavaju za natapanje. U pravilu, sav mulj nakon aerobne obrade upotrebljava se kao gnojivo u poljoprivredi. Grad Dubaj ima uređaje za kondicioniranje otpadne vode, ali su već zastarjeli pa je upravo u tijeku (pri kraju) izgradnja novih, konačnog kapaciteta od 200.000 m<sup>3</sup> vode dnevno.

### 9.2.5. Zaključno o Bliskom istoku

Osim ostvarenih projekata navedenih u prethodnim točkama, i u drugim zemljama ove regije čine se značajni naponi da se poveća vodno bogatstvo zemlje ponovnom upotrebom već upotrijebljenih voda. Takvi se projekti pripremaju, a neki su već u fazi ostvarenja u Jemenu (grad Sana), Iraku i u Siriji (Damask).

Budući da se u ovoj regiji, koja ima izuzetno aridno podneblje i u posljednje vrijeme raspolaže značajnim financijskim sredstvima, paralelno planiraju i provode važne akcije i na recirkulaciji otpadne vode i na desalinizaciji morskih i bočatih voda, navest ćemo neke podatke o troškovima obrade i jednih i drugih u posljednjih nekoliko godina (tablica 9-3.)

U prvim godinama 80-ih, općenito uzevši, cijena obradene fekalne otpadne vode u zemljama Zaljeva iznosila je u prosjeku 0,40 US\$/m<sup>3</sup>. Pri tom se postiže minimalan standard od BPK 10 mg/l te ukupno otopljenih soli također 10 mg/l. Projekt se smatra rentabilnim ako se raspolaže nasobinom od najmanje 100.000 stanovnika uz izgradnju kanalizacijsku mrežu. Tako se smatra da će se upotreba otpadnih voda za natapanje u ovoj regiji i dalje sve više širiti kao zamjena nedostatnim količinama vode iz konvencionalnih izvorišta.

#### *Usporedba jedinične cijene obrade gradskih otpadnih voda s troškovima desalinizacije za neke zemlje Bliskog istoka*

Tablica 9-3

Lokacija	Godina	Obrada otpadnih voda US\$/m <sup>3</sup>	Desalinizacija US\$/m <sup>3</sup>	Opaska
Bahrein	1984. 1984.	0,28 0,84		-bez inverzne osmoze -uz inverznu osmozu
Kuvajt	1981.	0,18-0,31	2,50 (1984)	
Katar	1981. 1981.	0,24	1,14-1,16 1,45-1,64	-energija besplatna -energija u cijeni
Saudijska Arabija	1980. 1979-80.		0,4	-desalinizacija uz inverznu osmozu -višestupanjska desalinizacija
U.A.E.	1982.	0,30-0,41	1,00-1,45	

## 9.3. AFRIKA

Slično kao i Bliski istok, sjeverna Afrika jest druga velika regija s izraženim potencijalnim mogućnostima razvoja poljoprivrede uz samo jedan ograničavajući faktor, a to je voda. Prostrana područja Saharske pustinje imaju beznačajne oborine (godišnji prosjek ispod 20 mm), dok se one uz sredozemnu obalu kreću između 100 i 200 mm, a samo u izdvojenim oazama, obično viših nadmorskih visina, od nekoliko stotina mm. U takvu ambijentu nužno je racionalno i svrsishodno iskorištavati sva raspoloživa izvorišta vode.

### 9.3.1. Egipat

Iako je još Herodot napisao da je "Egipat dar Nila", valja istaknuti da ukupna površina doline Nila koju mogu natapati njegove vode (a to je ujedno i ukupna obradiva površina zemlje), iznosi samo 3,5 % ukupne površine države. Razvoj poljoprivrede, a time donedavna i demografski razvoj čitave zemlje, ovisio je jedino o razvijenosti natapanja. To je jedna od rijetkih zemalja svijeta gdje je ukupna obradena površina jednaka ukupnoj natapanoj površini.

Razvoj natapanja, a time i poljoprivrede u ovoj zemlji, u višemilenijskoj povijesti prošao je mnogostruke uspone i padove. Tako je još početkom prošlog stoljeća ukupno obradeno površina iznosila samo 1,25 mil. hektara sa samo 2,5 milijuna stanovnika. Gradnjom značajnih vodoprivrednih sustava i građevina tijekom XIX. stoljeća, obradeno se poljoprivredno površina udvostručila. Početkom 80-ih godina ovog vijeka broj stanovništva povećava se na oko 40.000.000 žitelja, a obradeno (natapano) poljoprivredno tlo prešlo je brojku od 3 milijuna ha. Takav je razvoj ponajprije omogućen potpunim korištenjem voda Nila nakon gradnje Asuanske brane. Prosječan godišnji protok Nila iznosi  $84 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ . On je prema sporazumu iz 1958. godine ovako podijeljen:  $55,5 \cdot 10^9$  Egipat,  $18,5 \cdot 10^9$  Sudan, a ostatak od  $10 \cdot 10^9$  iznose gubici na isparavanje. Kako je poznato, znatno bogatstvo Nila čini i suspendirani nanos čiji protok, prema procjenama, iznosi oko 110 milijuna tona godišnje kod Wadi Halfa (granica Egipat-Sudan) i oko 57,6 milijuna tona godišnje kod Kaira.

Od voda niže kvalitete koje se upotrebljavaju za natapanje, najvažniju skupinu čine drenažne vode, uglavnom u području Delte (oko 1,5 mil. ha). Prema ispitivanjima iz 1981., slanost tih voda varira između 960 i 10.000 ppm, uz najveće vrijednosti koje su zabilježene na nekim lokalitetima zapadnog dijela. Za svrsishodnu upotrebu zaslanjenih drenažnih voda, osim svih uobičajenih preporuka i opreza, treba voditi brigu o tome da se natapanje ograniči na tla krupne teksture kako bi se izbjeglo pogoršanje fizikalnih svojstava tla.

### 9.3.2. Libija

Libija pripada istoj geografsko-klimatskoj regiji kao i Egipat, ali s bitno drugačijim prilikama. Iako je površina zemlje gotovo dva puta veća od Egipta, ima oko deset puta manje stanovništva. Obalni je pojas (oko 1.800 km duga obala) relativno dobro opskrbljen oborinama (u prosjeku 150 - 400 mm god.) pa se pojedini usjevi (žitarice, vinova loza, bob i dr.) mogu uzgajati i u suhom ratarenju, i to uglavnom zimi kada su oborine i koncentrirane. Podzemnih i arteških voda u različitim horizontima i različite kvalitete ima gotovo po čitavoj zemlji. Najveće rezerve podzemne vode dobre kvalitete pronađene su u bazenu oaze Kufra, odakle se gradi golem vodoopskrbni sustav za opskrbu vodom većeg dijela obalnog pojasa (uglavnom za natapanje).

Autor je ovog rada prije 30-ak godina, u svojstvu savjetnika za natapanje u Ministarstvu poljoprivrede Libije, sudjelovao u planiranju i projektiranju natapnih sustava, koristeći se uglavnom podzemnima visokominceraliziranim vodama. (U Libiji nema nijednoga trajnog vodnog toka). Kao primjer dat će se u nastavku prikaz i analize arteških voda nekoliko bunara u okolici Misurate dubine 350 do 730 m i pojedinačne izdašnosti 50 - 100 l/s.

U tom je području još ranije bilo izbušeno ukupno 29 bunara, ali će se ovdje prikazati samo pet najkarakterističnijih.

#### Pregled najvažnijih osobina voda promatranih bunara

Tablica 9-4

Osobina	Jedinica mjere	Naziv, odnosno oznaka bunara				
		Zuabi	5	6	10	11a
Temperatura vode	°C	43	36	44	45	34
pH		6,9	7,5	7,3	7,3	7,3
Električna provodljivost	mho/25 °C	5850	7200	6300	5150	3200
Ukupna tvrdoća kao CaCO <sub>3</sub>	ppm	1222	1168	1206	1089	896
Isparni ostatak na 180 °C	ppm	3188	3910	3650	3010	1950
SiO <sub>2</sub>		16	13	13	12	12
Ca		312	244	285	229	196
Mg		107	136	120	125	99
Na		1028	994	833	621	301
K		86	80	72	58	51
HCO <sub>3</sub>		482	427	448	394	280
Cl		1808	1616	1489	1120	532
SO <sub>4</sub>		597	632	609	586	611
NO <sub>2</sub>		trag.	0,005	0,01	0,005	0,005
NO <sub>3</sub>		trag.	-	-	-	-

Rezultati provedenih analiza, uz preračunavanje podataka iz tablice 9-4, izraženih u ppm (dijelovi na milijun) s pomoću faktora u mc/l (miliekvivalent na litru), prikazani su u tablici 9-5. U toj su tablici ujedno prikazani i najvažniji rezultati analiza pogodnosti vode za natapanje. Potreba za ispiranjem računala se po dvjema metodama: Eaton uz Mss = 40 US Laboratory, uz pretpostavku da je dopuštena maksimalna koncentracija u zemljišnom rastvoru od 8.000  $\mu$ mho.

Kako se vidi prema tim klasifikacijama, vode su izuzetno loše za natapanje. Prema dijagramu saliniteta imaju vrlo visok salinitet (grupa C4). Istina, koncentracija Na, izražena ili kao SAR ili % Na ne prelazi dopuštene granice, ali se dugotrajnom upotrebom Na akumulira i može postati opasan. U ovom konkretnom slučaju on nije problem jer je tlo veoma propusno i dobro drenirano te bogato gipsom. Potreba za ispiranjem, računato po objema metodama, izuzetno je visoka i gotovo neprovediva. Vrijednost viša od 100 % znači da je tom vodom nemoguće postići zadani cilj jer natapna voda ima veći salinitet nego što bi trebala imati odvodna. Jedini je izuzetak donckle bunar 11a.

Malo smo se duže nego što bi možda bilo potrebno u okviru ovog rada, zadržali na ovom primjeru da prikažemo već ranije iznesene tvrdnje da kemijski sastav i klasifikaciju natapne vode treba promatrati u kontekstu ostalih bitnih činilaca u procesu uzgoja kulturnog bilja, ponajprije tla i bilja. U ovom slučaju, iako navedene analize upućuju na neprikladnost tih voda za natapanje, praksa je pokazala suprotno. Vode bunara 5 i 6 upotrebljavale su se dosta uspješno za natapanje više od 30 godina, i to bez štetnih posljedica za tlo. Njime su se uspješno natapale masline, ječam, repa, rajčica, lucerna i neki drugi usjevi. Primarnu ulogu pritom imaju vrlo povoljne fizikalne i kemijske osobine tla.

### Pregled rezultata provedenih istraživanja (ioni u mc/l)

Tablica 9-5

Osobina	Naziv, odnosno oznaka bunara				
	Zuabi	5	6	10	11a
Ca	15,55	12,18	14,22	11,46	9,80
Mg	8,78	11,6	9,85	10,42	8,24
Na	44,70	43,30	36,25	27,00	13,08
K	2,19	2,04	1,84	1,49	1,31
HCO <sub>3</sub>	7,92	7,00	7,36	6,46	4,59
Cl	51,20	45,60	42,00	35,50	14,95
SO <sub>4</sub>	12,21	13,13	12,68	12,20	12,72
Suma kationa	71,30	68,68	62,16	50,37	32,26
SAR	12,85	12,63	10,45	8,16	4,36
% Na	62,7	63,2	58,2	53,5	40,7
Ispiranje po Eatonu, Mss = 40	100	100	100	88,6	36,3
Ispiranje US Lab. uz 80 mc/l	89	86	78	63	41



### 9.3.3. Tunis

Glavno je izvoriste vode za natapanje u Tunisu rijeka Mederda, a njezina je dolina glavni poljoprivredni rajon. Prostrana ravnica te rijeke uz morsku obalu sastavljena je iz veoma teških i nepropusnih glina s visokim sadržajem karbonata ( $\text{CaCO}_3$  do 35 %). Tlo ima vrlo nisku vodopropusnost, što bitno smanjuje mogućnost ispiranja zimskim oborinama. Ljeti se pak raspuca pa voda odmah ponire u dubinu.

Kvaliteta vode rijeke Mederda bitno ovisi o sezoni i konduktivitet varira između 1,3 i 4,4 dS/m. U većem dijelu godine voda se može upotrebljavati za natapanje srednje otpornih do otpornih kultura, kao što su palme, sirak i dr. Ispiranje soli za vrijeme ljetne vegetacijske sezone nije djelotvorno zbog već spomenutih širokih i dubokih pukotina nastalih sušenjem zemljišta, a zimske oborine mogu ispirati soli samo s tankoga površinskog sloja. To je uvjetovalo da se razvila vrlo slaba struktura i niska vodopropusnost.

Da bi umanjila negativne efekte tih pojava, vlada je uz pomoć UNESCO-a organizirala važne istražne radove. Zadatak je bio istražiti kako gospodariti na teškim obalnim tlima uz korištenje natapnih voda niže kvalitete. Glavni nalaz i preporuka tih istraživanja sastoji se u pravilnom određivanju vremena ispiranja (štednji vode) te selekciji usjeva u skladu sa sadašnjom i budućom akumulacijom soli u tlu.

Glede korištenja otpadne vode za natapanje treba istaknuti da je Tunis učinio mnogo više nego većina ostalih zemalja. Ta se praksa provodi već više desetaka godina i danas čini integralni dio nacionalne dugoročne strategije razvoja vodnog gospodarstva. Već 1988. g. ukupna količina pročišćene otpadne vode i korištene u poljoprivredi iznosila je 78 mil.  $\text{m}^3$ , a predviđa se da će 2000. iznositi 125 mil.  $\text{m}^3$ .

U 1988. g. bilo je u pogonu 26 uređaja za obradu otpadnih voda (većinom u obalnom pojasu da se istovremeno štiti more od zagađenja), a za 1996. predviđeno je da im broj naraste na 54. Od postojećih uređaja (1988.), 16 koristi aktivirani mulj, 2 prokapanike, 5 bazene za stabilizaciju, te 3 jarke za oksidaciju.

Pročišćena se otpadna voda najčešće miješa s podzemnom, a potom se koristi za natapanje, pretežito u proljeće i ljeti. Natapaju se agrumi, masline, krmno bilje, pamuk, tereni za golf i hotelski travnjaci. Natapanje je povrća koje se može jesti sirovo zabranjeno. Najviše je postojećih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda locirano, a budućih će biti, u okolici grada Tunisa, gdje se proizvodi 68 % ukupne količine otpadne vode u zemlji.

U priloženoj tablici 9-6 dan je kratak prikaz sadašnjeg i budućeg stanja razvoja ove grane s osnovnim pokazateljima za pojedini uređaj. Da bi se učinkovito ostvario taj plan, uspostavljeno je nekoliko pokusnih ploha za natapanje otpadnim vodama. Na tim će se plohama testirati različiti parametri pogona natapanja, potrebna količina vode, potreba za dodavanjem hraniva bilju i sl. Prema rezultatima koji su postignuti do sada proizlazi da će se s normom natapanja od 6.000  $\text{m}^3/\text{ha}$  dostaviti bilju prekomjerna količina dušika (N) i kalija ( $\text{K}_2\text{O}$ ), ali nedostatna količina fosfora ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ). Koncentracija teških metala (Zn, Pb, Cu) nije prešla dopuštenu mjeru da bi bila fitotoksična za bilje.

**Sadašnje i buduće korištenje otpadne vode za natapanje u Tunisu (podaci za 1988.)**

Tablica 9-6

Lokacija	Natapna površina ha	Uređaj za pročišćavanje otpadne vode			Uzgajane kulture
		Naziv	Sustav	Kapacitet m <sup>3</sup> /dan	
<b>Postojeći</b>					
Tunis					
Soukra	600	Cherguia	AM	60.000	agrumi
Nabeul					
Oued Souhil	250	SE4	AM	14.400	agrumi
Sousse					
Sousse North	43	Sousse N	AM	13.000	tereni za golf
Sousse South	205	Sousse S	P	18.700	krmno bilje
Monastir					
Monastir		Monastir	P	2.600	tereni za golf
<b>U izgradnji</b>					
Tunis					
Soukra	200	Cherguia	AM	60.000	žitarice
Cebala	2 670	Choutrana	OR	43.000	krmno bilje
		Catiere N	BS	15.800	industrijsko bilje
Mornag	940	Meliane S	OR	37.500	
Nabeul	330	SE2	AM	3.500	
		SE4	AM	14.400	agrumi
		SE3	OR		
Hammamet	140	SE1	AM	6.600	tereni za golf
Sousse					
Sousse North	120	Sousse N	AM	13.000	krma, šuma
Sousse South	200	Sousse S	P	18.000	krma, šuma
Sfax					
Kaironan	270	Sfax	BS	24.000	krma, šuma
	240	Kairan	AM	12.000	krmno bilje; industr. bilje
Cafsa	157	Cafsa	BS	4.500	krma, šuma
<b>Planirani</b>					
Mokmine	100	Moknine	BS	2.400	
Sfax	130	Sfax	BS	24.000	
Tunis	15 000	Sedjaumi			

AM - aktivirani mulj; P - prokapanici; OR - oksidacijski rovovi; BS - bazeni za stabilizaciju  
Izvor: Bahri (1988.)

Tuniski zakon o vodama iz 1975. g. zabranjuje upotrebu nepročišćene otpadne vode za natapanje. Pročišćena se pak voda može primijeniti jedino za one kulture koje se ne mogu jesti sirove. Pročišćene se otpadne vode ne mogu koristiti ni za natapanje livada koje se koriste za ispašu. U izmjenama zakona iz 1985. i 1989. detaljnije su specificirani pojedini oblici moguće primjene pročišćenih otpadnih voda u poljoprivredi te mjere opreza koje treba tom prilikom poduzeti.

### 9.3.4. Jezero Čad

Jezero Čad, u istoimenoj centralnoafričkoj republici, u posljednje se vrijeme intenzivno proučava radi korištenja toga vodnog potencijala za razvoj okolnog područja, posebno natapanja. Ovo jezero već duže vrijeme privlači pažnju stručnjaka, jer suprotno očekivanju, njegova je voda niskog i konstantnog saliniteta. Jezero je zapravo depresija okružena okolnim brežuljcima tako da voda iz njega ne može istjecati, već samo dotječe s nekoliko vodotoka, od kojih je najvažnija rijeka Chari. Stupanj zaslanjenosti jezera ovisi o protoku rijeke Chari, odnosno sezoni te položaju zahvata vode u odnosu prema utoku rijeke. Dakle, zahvat vode za natapanje mora voditi brigu o tim činjenicama te o sezoni korištenja jer jezero ima velike fluktuacije vodostaja zbog visokog isparavanja.

Iz kemijskih analiza voda rijeke koje u jezero utječu te samog jezera proizlazi da sve te vode imaju zanemarivu koncentraciju klorida. Ako se k tome uzme u obzir da jezero hrani okolne podzemne vodonosne slojeve, onda je jasno zašto se salinitet ne mijenja s vremenom. Okolna podzemna voda pokazuje jednake karakteristike kao i jezero, odnosno visoku koncentraciju bikarbonata i nizak salinitet. Salinitet inače varira između 0,7 i 1,5 dS/m, osim u područjima gdje ima sulfata, gdje se  $E_v$  kreće oko 4,0 dS/m.

## 9.4. CIPAR

Iako je Cipar vrlo mala otočna zemlja s površinom od samo 9.251 km<sup>2</sup>, od čega poljoprivredno tlo čini samo oko 25 %, ima dosta važnu ulogu u razvoju natapne poljoprivrede, naročito primjenom voda niže kvalitete. To je i jedan od razloga što je 1985. god. FAO ovdje organizirala seminar o upotrebi otpadnih voda na Bliskom istoku za potrebe natapanja.

Nagli razvoj poljoprivredne proizvodnje zadnjih 25 godina, posebno u uvjetima natapanja, izazvao je gotovo potpuno iskorištenje raspoloživog fonda kvalitetne vode, a na mnogim lokacijama i prekomjerno iscrpljivanje zaliha podzemne vode. Zbog toga se u novije vrijeme intenzivno radi na uvođenju efikasnijih metoda natapanja, upotrebi voda niže kvalitete te korištenju otpadnih voda.

*Utjecaj zimskih oborina na električnu provodljivost (EV) i koncentraciju klora (Cl)*

Tablica 9-7

Dubina profila (cm)	Studeni 1984.	Ožujak 1985.	Studeni 1984.	Ožujak 1985.
	EV (dS/m)			
0-15	8,4	2,8	4,6	2,2
15-30	7,5	2,2	4,3	2,5
30-45	6,3	5,1	4,5	3,6
45-60	4,7	6,6	5,0	4,4
60-75	4,2	7,9	5,0	5,6
75-90	4,1	7,5	5,1	7,7
90-105	4,1	6,4	4,7	7,8
Cl(mol(-)/m <sup>3</sup> )				
0-15	63	10	42	7
15-30	56	8	39	8
30-45	46	28	41	14
45-60	32	47	24	16
60-75	29	60	28	28
75-90	31	56	42	54
90-105	34	52	45	65

Dosadašnja istraživanja pokazuju da se zaslanjene vode mogu uspješno upotrijebiti za natapanje primjenom modernih metoda (kapanjem i minirasprskivačima) na većem broju usjeva. Različite standarde, klasifikacije i ograničenja za primjenu zaslanjenih voda treba uzeti kao opći putokaz, ali ne i jedino mjerilo. Za Cipar je od presudne važnosti to što se u takvim uvjetima povišenje saliniteta na ograničenom volumenu plitkoga soluma, prouzročeno natapanjem, može uspješno ispirati zimskim oborinama. To je veoma uspješno za topive soli, ali dosta neuspješno za netopive (sulfate). Tablica 9-7 upućuje na jedan takav primjer.

*Kemijski sastav podzemne vode i pročišćene otpadne vode koje se upotrebljavaju za natapanje*

Tablica 9-8

Vrsta vode	EV <sub>v</sub> dS/m	SAR	pH	Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl
Podzemna	3,0	11,3	8,8	1,8	5,4	21,7	0,2	4,4	1,6	7,5	15,5
Pročišćena otpadna	2,6	12,0	9,2	2,2	3,1	19,6	1,2	3,7	3,6	5,3	13,4

**Usporedba prinosa pamuka i suncokreta uz natapanje kapanjem podzemnom i otpadnom vodom, za četiri faze gnojenja dušikom**

Tablica 9-9

Natapna voda	Doza dušika N(mg/l)			
	0	30	60	90
<b>Pamuk</b>				
Podzemna	2896 (1204) <sup>1</sup>	4037 (1679)	4587 (1816)	4931 (2626)
Otpadna	4455 (1786)	4431 (1812)	4516 (1788)	4627 (1836)
<b>Suncokret</b>				
Podzemna	4146	4680	4408	4589
Otpadna	4536	4622	4408	4822

<sup>1</sup>vlakna pamuka

Kako je deficit vode glavni faktor ograničenja razvoja poljoprivrede, već se više godina postupno povećava količina otpadnih voda koje se upotrebljavaju za natapanje. Računa se da bi otpadne vode u budućnosti mogle natapati 6 % ukupno natapanih površina. U tablici 9-8 prikazan je sastav podzemne vode i pročišćene otpadne vode koje se upotrebljavaju za natapanje od 1984. god. Vidi se da su razlike minimalne. Tim se vodama uspješno natapaju lucerna, pamuk, ječam, suncokret i drugo.

I naposljetku u tablici 9-10 prikazani su kriteriji za upotrebu otpadnih voda za natapanje poljoprivrednih usjeva koji su na snazi na Cipru.

**Kriteriji za upotrebu otpadnih voda za natapanje**

Tablica 9-10

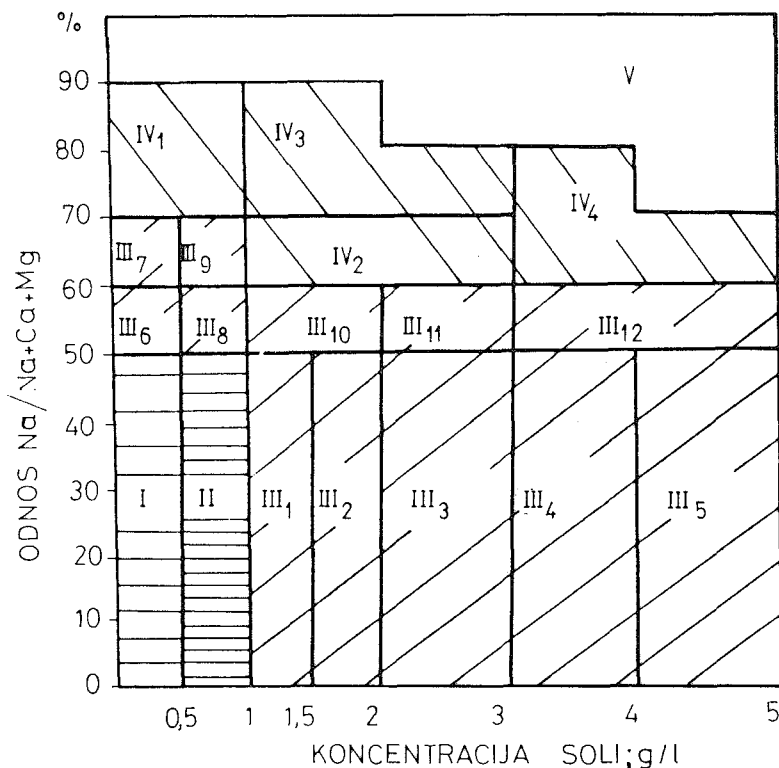
Kvaliteta otpadne vode (mg/l)	Zone za rekreaciju, korištenje neograničeno	Zone za rekreaciju, korištenje ograničeno	Krmno bilje	Industrijsko bilje
BPK <sub>5</sub> (80 %)	10		20	20
BPK <sub>5</sub> (80 %)	< 15	< 20		< 50
Suspendirani nanos (80 %)	10	30	30	
Suspendirani nanos stalno	< 15	< 30		< 60
Kkoli bakt. br. / 100 ml (80 %)	50	1000		5000
Stalno	<100		2 000	10000

## 9.5. SOVJETSKI SAVEZ

Velike površine stepskih i pustinjskih područja u SSSR-u uvjetovale su definiranje načina pristupa za korištenje tih tala uz upotrebu voda uglavnom niže kvalitete (zaslanjenih).

Pritom treba osobito voditi brigu o:

- klimi (oborinama, isparavanjima i dr.)
- odvodnji (topografiji, hidrogeologiji, infiltraciji)
- teksturi, hidrološkim i fizikalno-kemijskim osobinama tla i drugom.



Sl. 9-2 Klasifikacija natapne vode u odnosu prema otpornosti na alkalinizaciju

Pustinjska se područja razlikuju od ostalih po visokoj radijaciji i pomanjkanju prirodnog ispiranja. Znatno veća evapotranspiracija od oborina pospješuje gomilanje topivih soli u vodi i tlu. Imajući na umu specifične prilike u pojedinim regijama, kvaliteta vode mora se promatrati s tri različita stajališta:

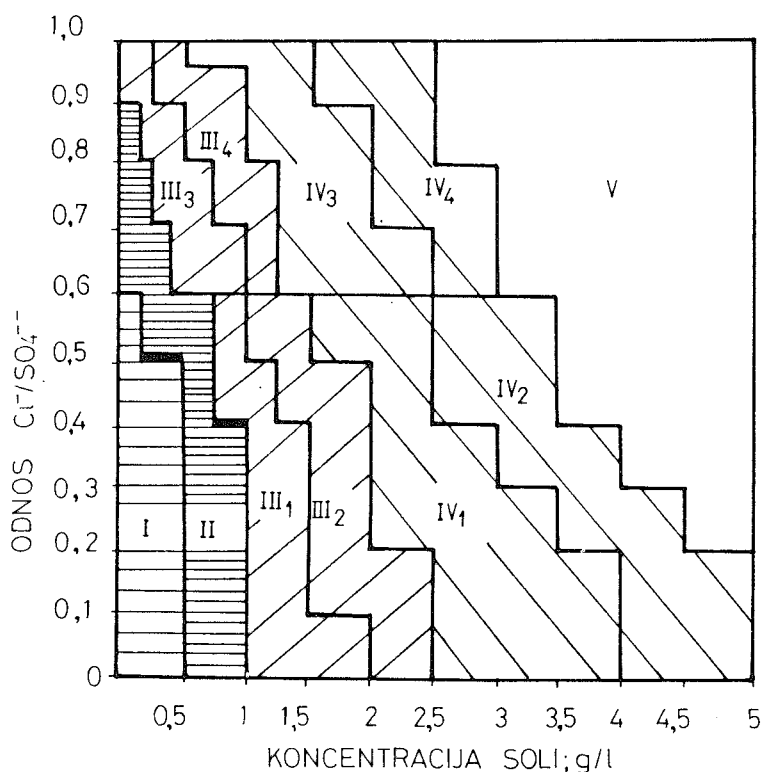
- opasnost od alkalinizacije
- opasnost od saliniteta
- opasnost uzgoja bilja različite otpornosti na soli.

S tim u vezi u SSSR-u izradene su tri klasifikacije natapne vode.

Osnovu prve klasifikacije čini veza koncentracije soli po težini i odnosa Na prema sumi ostalih kationa. Ta se klasifikacija sastoji od pet grupa i upućuje na opasnost alkalizacije tla od strane natapne vode (slika 9-2). Te grupe jesu:

- I - prikladna za sve kulture i sve vrste tala;
- II - prikladna za većinu kultura i vrsta tala;
- III - može se upotrebljavati u ograničenom opsegu;
- IV - primjenjiva u određenim uvjetima;
- V - neupotrebljiva.

Voda koja sadrži količinu Na veću od 50 % sume svih kationa mora se primijeniti u ograničenom opsegu, ali se može poboljšati miješanjem s vodom povoljnijega kemijskog sastava. Da bi se povećao sadržaj Ca, treba dodavati gips i ostale topljive soli.



Sl. 9-3 Klasifikacija natapne vode u odnosu prema otpornosti na salinitet

Druga klasifikacija koja upućuje na opasnost od saliniteta izradena je na osnovi veze koncentracije soli i odnosa  $Cl/SO_4$ . I ovdje se kvaliteta izražava u pet grupa, i to (slika 9-3):

- I - prikladna za sve kulture i sve vrste tala;
- II - prikladna za većinu kultura i vrsta tala;
- III - upotrebljiva u ograničenom opsegu;
- IV - upotrebljiva u izuzetno ograničenom opsegu;
- V - neupotrebljiva.

Kod obiju klasifikacija, pojedine se grupe dalje dijele na veći broj podgrupa, ovisno o prethodnoj obradi vode, vrsti usjeva koji se uzgajaju i drugo.

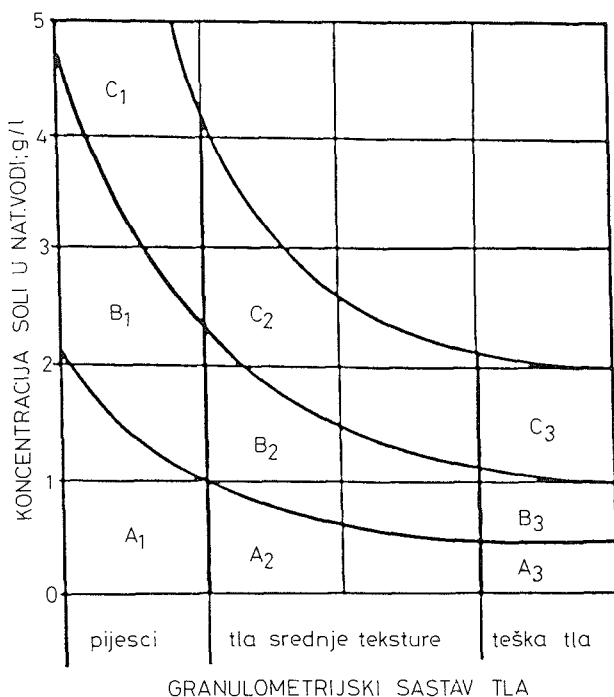
U tablici 9-11 prikazani su uvjeti glede kemijskog sastava koji moraju zadovoljavati vode pogodne za natapanje.

Treća se klasifikacija razlikuje od prethodnih dviju po tome što se uzima u obzir još i otpornost bilja na salinitet i teksturu tla. Dijeli se u tri grupe, i to: A, B i C, ovisno o tome je li usjev osjetljiv (A), srednje otporan (B) ili otporan (C) na salinitet. Svaka se grupa dalje dijeli na tri podgrupe ovisno o teksturi tla, što se vidi iz grafikona na slici 9-4, tj.

A1, B1, C1 - za pjeskovita tla

A2, B2, C2 - za tla srednje teksture, i

A3, B3, C3 - za teška tla.



**Sl. 9-4** Klasifikacija natapne vode za usjeve različite otpornosti na salinitet

I, na kraju, nije potrebno ni naglašavati da će, ako se ne pridržava uputa, prinosi i kvaliteta uroda biti adekvatno niži, a prikladnost tla za dalje korištenje sve slabija.



*Kemijski sastav voda prikladnih za natapanje*

Tablica 9-11

	Vrijednost		Vrijednost
pH	6,0-8,4	Molibden	0.01-0,5 mg/l
SAR	<6	Nikl	0,2-0,5 mg/l
Mg/Ca	<1	Selen	0,01-0,02 mg/l
Ca	>20 mg/l	Arsen	0,1-0,2 mg/l
Kloridi	<150 mg/l	Nitrati	<5,0 mg/l
Bor	<0,75 mg/l	Sumporovodik	<30 mg/l
Fluor	<1,5 mg/l	NaHCO <sub>3</sub>	<1,25 mg/l
Željezo	<5 mg/l	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	<0,2 mg/l
Aluminij	<1,0 mg/l	Pri natapanju kišenjem	
Olovo	0,2 mg/l		
Bakar	0,02-0,5 mg/l	Kloridi	<3 mg/ckv/l
Mangan	0,2-0,8 mg/l	Natrij	<3 mg/ckv/l
Krom	0,1-0,5 mg/l	H CO <sub>3</sub>	<0,8 mg/ckv/l
Kobalt	0,05-0,5 mg/l		
Litij	2,0-2,5 mg/l		

## 9.6. SJEDINJENE AMERIČKE DRŽAVE

Upotreba otpadnih i drugih voda niže kvalitete za natapanje, vcoma je razvijena u SAD-u, posebno u predjelima s aridnom klimom (Arizoni, New Mexico, Kaliforniji).

## 9.6.1. Natapni sustav Fresno

Grad Fresno nalazi se u dolini San Joaquin u Kaliforniji i jedno je od najznačajnijih središta poljoprivredne proizvodnje u SAD-u. Uredaj za kondicioniranje gradske otpadne vode prerađuje dnevno 150.000 m<sup>3</sup> vode koja se upotrebljava za natapanje 1.625 ha tla. Uzgajaju se ovi usjevi: pamuk, kukuruz, lucerna, ječam, vinova loza, pšenica, sirak i grah.

Sadržaj elemenata u tragovima u toj vodi prikazan je u tablici 9-12. Prema izjavama većeg broja poljoprivrednih proizvođača, zbog dovoljnog sadržaja dušika usjeve ne treba gnojiti. Dosada nije zabilježen nijedan slučaj oboljenja prouzročen otpadnom vodom.

Za vrijeme vegetacijske sezone dio pročišćene otpadne vode upotrebljava se neposredno za natapanje, a ostatak se infiltrira u podzemni vodonosni sloj, odakle se istovremeno crpe dodatne količine vode potrebne za natapanje. U izvanvegetacijskom

razdoblju cjelokupna prerađena otpadna voda uskladištava se u podzemne vodonosne horizonte, što je ne samo veoma jeftino već je istovremeno tercijarni postupak kondicioniranja. Taj sustav godišnje dostavlja poljoprivredi oko 37 milijuna kubičnih metara vode relativno dobre kvalitete.

### *Sadržaj nekih elemenata u otpadnoj vodi grada Fresno*

*Tablica 9-12*

Element	Koncentracija (mg/l)
Arsen	0,002
Barij	0,005
Berilij	< 0,001
Bakar	0,013
Cink	0,041
Kadmij	< 0,001
Krom	< 0,001
Nikl	0,030
Olovo	0,050
Selen	0,003
Srebro	< 0,001
Živa	0,0003

### *9.6.2. Korištenje otpadnih voda grada Bakersfielda*

Grad Bakersfield, koji se nalazi na južnom kraju San Joaquina, koristi se gradskom otpadnom vodom za natapanje već više od 70 godina. S obzirom na veoma blagu klimu, vegetacija traje cijelu godinu, a kako su oborine dosta niske (oko 150 mm godišnje, i to zimi), natapa se gotovo čitavu godinu.

Uredaj za kondicioniranje gradske otpadne vode sastoji se od primarne obrade, nakon čega slijede duboke aerirane lagune i skladištenje u bazenima koji mogu primiti dotok od tri mjeseca.

Prerađena otpadna voda upotrebljava se za natapanje 2.250 ha površina na kojima se uzgaja ječam, kukuruz, lucerna i sirak, a dio se upotrebljava i kao pašnjak.

Količina dušika koju ova voda sadrži iznosi u prosjeku oko 250 kg/ha pri primjeni 1.000 mm natapne vode. Ta je količina uglavnom dovoljna za cijelu sezonu za većinu uzgajanih usjeva. S tim u vezi bilo je u prošlosti problema, naročito kod pamuka zbog prekomjerne vegetacije u završnim fazama razvoja. Danas je to riješeno tako da se ili za kasnije faze upotrebljava druga voda, s manjom količinom dušika, ili se pak ova miješa s vodom bez sadržaja dušika.

### 9.6.3. Natapni sustav Toulumne

Vodoprivredno poduzeće Toulumne (Kalifornija) pročišćava gradsku otpadnu vodu pa je zatim razvodi privatnim farmerima radi natapanja 500 ha tla koje se upotrebljava za uzgoj krmnog bilja i kao pašnjak. Nakon kondicioniranja, otpadna se voda cjevovodom dužine 14,2 km prebacuje u akumulaciju zapremine  $1,85 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . U zimskome izvanvegetacijskom razdoblju sva se voda uskladištava u akumulaciji, a ljeti se, već prema potrebi, voda za natapanje uzima iz akumulacije ili direktno iz uređaja za kondicioniranje.

Voda se upotrebljava za natapanje pašnjaka, sjemenskih usjeva te usjeva za proizvodnju vlakna, a isključena je primjena u onim slučajevima kada je moguć izravan dodir s korisnicima. Dosada nije bilo nikakvih nepravilnosti s primjenom te vode jer je efekt kondicioniranja zadovoljavajući. Sadržaj elemenata u tragovima u obradenoj otpadnoj vodi prikazan je u tablici 9-13. Vidi se da je razina koncentracije tih elemenata niža od dopuštene granice.

#### *Koncentracija nekih elemenata u pročišćenoj otpadnoj vodi grada Toulumne<sup>1</sup>*

Tablica 9-13

Element	mg/l	Element	mg/l
Ag	0,001	Fe	0,005
Al	< 1,0	Hg	< 0,001
As	< 0,01	Mn	< 0,05
Au	< 0,01	Mo	< 0,01
Ba	< 0,01	Na	< 0,01
Bc	< 0,01	Pb	< 0,005
Br	0,5	Sb	< 0,01
Cd	0,001	Se	< 0,005
Co	< 0,01	Sn	< 0,01
Cr	< 0,005	Ti	< 0,05
Cu	< 0,05	Tl	< 0,01
F	1,5	Zn	< 0,01

<sup>1</sup>Znak < znači da pri navedenoj koncentraciji element nije pronađen.

### 9.6.4. Natapni sustav kanala Friant - Keru

Kanal Friant - Keru zahvaća vodu za natapanje iz rijeke San Joaquin (Kalifornija) i razvodi je poljoprivrednim površinama uzduž istočnog ruba doline San Joaquin, od grada Fresno sve do južno od Bakersfielda, na potezu od oko 250 km. Voda potječe uglavnom od otapanja snijega, akumulira se u akumulaciji Friant, a zatim razvodi za

natapanje. Izuzetno je niska saliniteta ( $EV_v = 0,05$  do  $0,01$  dS/m), što često izaziva probleme infiltracije, naročito ako se upotrebljava za natapanje usjeva osjetljivih na pomanjkanje vlage, npr. krumpira i agruma.

Pri natapanju krumpira problem je riješen dodavanjem tlu gipsa u količini od 10 t/ha godišnje (plitko zaoravanje). Tako se brzina infiltracije bitno povećala, a sadržaj kalcija u tlu popeo se na 2 do 3 mg/l, što je povoljno utjecalo na razvoj usjeva.

U nekim područjima gdje se raspolagalo određenom količinom podzemne vode većeg saliniteta zahvaćene bunarima, voda je zamijenjena. Bunarska se voda upotrebljava za natapanje krumpira, a kanalska voda za duboko zakorijenjene kulture, npr. pamuk, vinovu lozu i voćarske kulture.

### *9.6.5. Natapanje podzemnom vodom visokog sadržaja bikarbonata*

U okolini Denvera (država Kolorado) natapa se cvijeće u staklenicima podzemnom vodom umjereno visoka sadržaja bikarbonata (4,9-5,9 me/l). Ta koncentracija i nije tako visoka sa stajališta primjene u poljoprivredi općenito i vjerojatno ne bi bila problem za ostale usjeve. Kako se cvijeće natapalo kišenjem, na lišću su se pojavile bijele mrlje zbog taloženja bikarbonata, što je snizivalo kvalitetu proizvoda. Nadalje, primijećeno je smanjenje broja cvjetova, što je opet pripisano sadržaju bikarbonata. Pri primjeni natapanja kapanjem, učestala je pojava začepjenja ispusta.

Da bi se eliminirale ili barem smanjile te neželjene pojave, poduzete su neke mjere, i to:

- a) Da bi se eliminirale nepoželjne bijele mrlje na lišću i cvijeću, zamijenjeno je natapanje kišenjem nekom od metoda pri kojoj se lišće i cvijeće ne vlaže (uglavnom kapanje).
- b) Smanjenje sadržaja  $HCO_3$  pokušalo se postići smanjenjem pH, koji je u prosjeku iznosio 7,8, i to dodavanjem vodi neke kiseline (uglavnom  $H_2SO_4$ ). Iako je ta operacija dosta neprikladna, ipak su njome postignuti određeni rezultati.

## 9.7. SAVEZNA REPUBLIKA NJEMAČKA

Iako područje centralne Europe nije karakteristično po izraženoj potrebi za natapanjem i pomanjkanju raspoložive količine vode, i ovdje ima značajnijih projekata na kojima se primjenjuju otpadne i ostale vode niže kvalitete. Također, jedan primjer je i korištenje otpadne vode grada Braunschweiga za natapanje, što se provodi već više od 100 godina. Taj se sustav 1954. godine proširio na 3.000 ha natapanih kišenjem, odnosno na opskrbu vodom 300 imanja uz pomoć razvodne

podzemne cijevne mreže dužine 100 km. Ranije se pogon obavljao ručno pokretnim krilima, a sada se natapanje provodi natapnim strojevima tipa typhon (100 komada).

U vrijeme ljetne vršne potrebe, raspoloživa količina otpadne vode nije dovoljna za podmirenje svih potreba (nema prostora za zalihe) pa se dopunske količine namiruju iz podzemne vode pomoću bunara. Voda se, po pravilu, dostavlja poljima u šest obroka godišnje, svaki po 50 mm.

Raspored je usjeva na natapanim površinama ovaj: 25 % ozima žita, 30 % jara žita, 20 % šećerna repa, 10 % šparoga, 10 % krmno bilje i 5 % krumpir. Dosada nije zabilježen bilo kakav problem utjecaja otpadne vode na tlo ili bilje, a ni neprilike u pogonu. Kroz natapno područje protječu rijeke Oker i Erse. Podaci o kvaliteti vode tih rijeka u priloženoj tablici odnose se na lokacije prije nego rijeka protječe kroz natapno područje. U priloženoj se tablici daju vrijednosti za glavne pokazatelje kvalitete otpadne vode te usporedba s podzemnom vodom u susjedstvu.

*Kvaliteta vode u hidromelioracijskom sustavu Braunschweiga i izvan njega koji se koristi otpadnom vodom za natapanje*

Tablica 9-14

Pokazatelj	Pročišćena otpadna voda	Rijeka Oker	Rijeka Erse	Podzemna voda	
				unutar	izvan
				natapnog područja	
mg/l					
NH <sub>4</sub> -N	49,0	7,0	14,2	2,8	2,9
NO <sub>3</sub> -N	0,2	8,4	7,0	30,0	8,7
P	13,0	0,9	0,7	0,5	0,4
K	32,0	11,0	55,0	33,0	85,0
Fe	2,0	1,2	0,8	12,0	8,3
Zn	0,9	0,6	0,5	0,4	0,7
Mn	0,3	0,4	0,9	1,7	2,1
Co	0,2	0,12	0,27	0,14	0,19
Cd	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02
Pb	0,04	0,02	0,03	0,07	0,04

## 9.8. ZAKLJUČAK

Mogli bismo, naravno, i dalje nizati rezultate napora mnogobrojnih institucija širom svijeta da se u što većoj mjeri iskoriste velike količine voda neprikladnih za izravnu upotrebu, ali i tih nekoliko primjera dovoljno upućuje na bit problema i na opću razinu stanja istraživanja i primjenu rezultata danas u svijetu. Kako je korištenje otpadnih voda za natapanje danas u nekim sredinama još u fazi kontroverznih

diskusija i dilema, nakraju ćemo zbrojiti prikaz uvjeta za primjenu tih voda u nekoliko najrazvijenih i najnaprednijih zemalja svijeta (tablica 9-15).

I na kraju nekoliko uputa u vezi s oprezom pri upotrebi otpadnih voda za natapanje:

- a) Otrovnne tvari i deterdženti koji se biološki ne razgrađuju moraju se ukloniti već na izvorištu. Analize sastava otpadne vode moraju se redovito provoditi i definirati dopušteni sastav u odnosu prema vrstama usjeva i tla koje će se natapati.
- b) Kondicioniranje otpadne vode treba provesti u skladu s planiranim načinom natapanja, (kišenjem i sl.).
- c) Radi zaštite zdravlja potrošača, natapanje treba prekinuti dva do četiri tjedna prije berbe. Radi zaštite zdravlja zaposlenih radnika treba ih opskrbiti zaštitnim sredstvima (odijelima, rukavicama i sl.). Poželjno ih je uputiti na zdravstvenu kontrolu svaka tri mjeseca.
- d) Vodu treba dodavati samo u nužnim količinama da se spriječi erozija i smanjenje propusnosti tla. Time se ujedno štiti voda od eventualnog zagađenja.
- e) Za pranje proizvoda prije nego što se otpreme na tržište, treba se koristiti kvalitetnom i čistom vodom. Na jednak način treba postupati ako se voda upotrebljava prilikom prijevoza, uskladištenja i drugo.

*Pročišćavanje otpadnih voda za natapanje nekih kultura prema propisima u SAD-u, Izraelu, SR Njemačkoj i Južnoafričkoj Republici*

*Tablica 9-15*

Kultura	Kalifornija		Izrael	Južnoafr. Republika	Savezna Republika Njemačka	Izvještaj Engelberg
	Površinsko natapanje	Natapanje kišenjem				
neogranič. upotreba za plodove koji se jedu sirovi	manje od 2.2 koli b./100ml	koagulacija, filtracija, dezinfekcija, mutež 10 jcd.	nije dopušteno izuzev za voće koje se guli		natapanje samo u fazi cvjetanja	manje od 100 k.b./100 ml, manje o 1 nematod klice po litri.
plodovi koji se jedu kuhani ili nakon prerade	primarna obrada	sek.obrada dezinfekcija, manje od 23 koli b./100 ml	manje od 1 000 koli b./100 ml u 80 % uzoraka	tercijarna obrada	terc. obrada, natapanje dopušteno do 4 tjedna prije žetve	manje od 1 nematod klice/l.
krmno bilje, bilje za vlakna i sjeme	primarna obrada	primarna obrada	sekundarna obrada	tercijarna obrada	pri natap. kišenjem; terc. obrada + kloriranje	manje od 1 nematod klice/l.
voćna stabla i vinogradi	primarna obrada	nije dopušteno	sekundarna obrada	terc. obrada; isključeno kišenje	isključeno kišenje	manje od 1 nematod klice/l.

## LITERATURA

1. FAO: Water Quality for Agriculture. Irrigation and Drainage Paper 29., 1985., Rome, pag. 1-174.
2. FAO: The Use of Saline Waters for Crop Production. Irrigation and Drainage Paper 48., 1992., Rome, pag. 1-133.
3. FAO: Wastewater Treatment and Use in Agriculture. Irrigation and Drainage Paper 47., 1992., Rome, pag. 1-125.
4. Kos, Zorko: Fizičke i kemijske osobine natapne vode. *Vodprivreda* 20, 111-112 (1988./1-2), str. 39-50, Beograd.
5. Kos, Zorko: Razvoj i sranje standarda za upotrebu otpadnih voda za natapanje. *Vodprivreda* 20, 113-114 (1988./3-4), str. 151-157, Beograd.
6. Kos, Zorko: Kriteriji kvalitete vode za natapanje. *Gradevinar* 40 (1988.) 7, 323-329, Zagreb.
7. Kos, Zorko: Iskustva i standardi nekih zemalja u korištenju vode niže kvalitete za natapanje. *Vodprivreda* 20, 116 (1988./6), str. 317-325, Beograd.
8. Kos, Zorko: Hidrotehničke melioracije tla. Natapanje, udžbenik, Školska knjiga, Zagreb, 1987., str. 216.
9. Kos, Zorko: Hidrotehničke melioracije tla. Kvaliteta vode za natapanje, udžbenik, Školska knjiga, Zagreb, 1991., str. 115.
10. Saenz, R.: Use of Wastewater Treated in Stabilization Ponds for Irrigation - Evaluation of Microbiological Aspects. *Water Quality Bulletin*, Vol. 12, No 2, 1987., Ontario, Canada.
11. Shuval, N. J.: Wastewater Reuse for Irrigation: Evaluation of Health Standards. *Water Quality Bulletin*, Vol. 12, No 2, 1987., Ontario, Canada.
12. Prost, A.: Health Risks Stemming for Wastewater Reutilization. *Water Quality Bulletin*, Vol. 2, No 2, 1987., Ontario, Canada.
13. Tedeschi, S.: Zaštita vodnih sustava i pročišćavanje otpadnih voda. *Gradevinski institut*, Zagreb, 1983.

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

*Prof. dr. Stanislav Tedeschi  
Građevinski fakultet  
Sveučilišta u Zagrebu*

Otpadne je vode potrebno pročititi prije ispuštanja u prirodne prijemnike. Pojedine zemlje donijele su norme o kakvoći pročišćene vode prije ispuštanja. U našoj zemlji norme ispuštene vode usklađene su sa standardima Europske unije.

Međutim, norme pročišćene ili obnovljene vode nisu dovoljne za procjenu ponovne uporabe obnovljene vode za pojedine namjene.

Za ponovnu uporabu obnovljene vode u poljodjelstvu nema norma u našoj zemlji, a nije ih donio ni Savjet Europske unije. Pojedine zemlje pripremile su vlastite norme koje su utemeljene na smjernicama Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) te Organizacije za prehranu i poljoprivredu (FAO).

Smjernice WHO usmjerene su na zaštitu zdravlja i poljodjelskih djelatnika i korisnika poljodjelskih proizvoda.

Smjernice FAO razmatraju međuodnose između natapne vode, osobina tla i poljodjelskih kultura. Dakle usmjerene su poljodjelskoj proizvodnji.

Budući da još nisu donesene norme kakvoće natapne vode u našoj zemlji, u daljnjem tekstu razmatrat će se preporuke i smjernice međunarodnih organizacija te pojedinih zemalja u kojima je vrlo razvijena praksa ponovne uporabe obnovljene vode u poljodjelstvu.

Tijekom 1973. g. Svjetska zdravstvena organizacija donijela je Smjernice za postupke čišćenja otpadnih voda prije uporabe [1]. Te smjernice obuhvatile su ponovnu uporabu za: poljodjelstvo, akvakulturu, razonodu, industriju te komunalne potrebe uključivo i vodu za piće. Smjernice predviđaju vrlo stroge mjere zaštite jer su utemeljene na načelu "nultog rizika".

Na temelju daljnjih istraživanja Svjetska zdravstvena organizacija pripremila je nove Smjernice za ponovnu uporabu natapne vode [2]. U tim smjernicama za natapanje biljki bez ograničenja preporučuje se norma kao geometrijska sredina od 1000 fekalnih koliforma u 100 ml. Nadalje, uvodi se kao pokazatelj "jaja helminta", koji nije uobičajen pri provjeri kakvoće pročišćene vode. Za uporabu u poljodjelstvu, odgovarajući su pokazatelj za helminte preživjela jaja nematoda. U postupcima



akvakulture, srednji geometrijski broj od 1000/100 ml fekalnih koliforma također se preporučuje te odsutnost jaja nematoda.

**Smjernice za kakvoću otpadne vode pri ponovnoj uporabi u poljodjelstvu (a)**

*Tablica 9A-1*

Vrsta	Uvjeti ponovne uporabe	Izložene skupine	Crijevne nematode (b) (srednja aritmetička vrijednost broja jaja u 1 litri) (C)	Fekalni koliformi (srednja geometrijska vrijednost broj u 100 ml) (C)	Stupanj čišćenja otpadne vode potreban za mikrobiološki standard
A	Natapanje kultura koje se jedu sirove, sportski tereni, javni perivoji	Radnici, potrošači i korisnici sportskih igrališta i perivoja (d)	≤ 1	≤ 1000 (d)	Niz bara za stabilizaciju projektiranih za mikrobiološki standard ili drugi odgovarajući postupci
B	Natapanje žitarica, industrijskih biljki, stočne hrane, pašnjaka i stabala (e)	Radnici	≤ 1	Nije obvezatno	Zadržavanje u barama za stabilizaciju 8-10 dana ili odgovarajući postupci smanjenja helminta i fekalnih koliforma
	Ograničeno natapanje biljki vrste B, ako nema izloženosti radnika i prolaznika	Nema	Ne primjenjuje	Ne primjenjuje	Prethodno čišćenje ovisno o načinu natapanja, ali ne manje od prethodnog taloženja

a: U posebnim slučajevima, mjesni i epidemiološki te ekološki uvjeti, moraju se uzeti u obzir pa je moguća i promjena smjernica;

b: Uključene su vrste *Ascaris* i *Trichuris* te trakavica;

c: Za razdoblje natapanja;

d: Stroži standard (≤ 200/100 ml f.c.) primijeniti za javno zelenilo (na primjer u hotelima) gdje je moguć izravan dodir s korisnicima;

e: Kod vočki natapanje treba prekinuti dva tjedna prije berbe, nije dopušteno skupljanje voća sa zemljišta; ne smije se primijeniti natapanje kišenjem.

Ranije norme WHO propisivale su stupnjeve čišćenja otpadne vode prije ponovne uporabe.

U novijim normama WHO odabrani su organizmi pokazatelja za zaštitu ljudskog zdravlja. Za ponovnu uporabu u poljodjelstvu, helminti su odabrani nakon istraživanja duljine vremena preživljavanja pojedinih vrsta mikroorganizama na tlu i biljkama (vidi tablicu 8A-4).

Druga bitna razlika novijih normi WHO u odnosu prema ranijima jest prijedlog primjene postupaka čišćenja otpadne vode. Novijim normama preporučeni su postupci niže tehnologije, primjerice stabilizacijske bare, što je također posljedica novijih istraživanja, i to učinkovitosti smanjenja mikroorganizama pri pojedinim postupcima čišćenja otpadnih voda (vidi tablicu 8A-7).

Smjernice za procjenu podobnosti natapne vode temelje se na ispitivanju dugogodišnjih utjecaja kakvoće vode na biljnu proizvodnju, prilike u tlu te općenito upravljanju poljoprivrednim djelatnostima. Smjernice su općenite pa se odnose na sve natapne vode uključivo svježu površinsku, podzemnu i obnovljenu vodu.

U pojedinim slučajevima kada voda sadrži veće koncentracije od vrijednosti označenih "značajno ograničenje", natapna se voda može koristiti uz prethodna ispitivanja primjene takve vode na određene kulture i tlo. Prethodna su ispitivanja nužna i u slučajevima kad voda sadrži nekih posebnih onečišćivača (osobujnih organskih tvari, pesticida i sl.)

U pogledu obnovljene vode, može se istaknuti da obnovljena voda iz domaćinstava, turizma i sličnih djelatnosti, bez značajnijeg utjecaja industrijske otpadne tvari, općenito zadovoljava za natapanja. Naime, kakvoća obnovljene vode odgovara vodovodnoj pitkoj vodi, uz manja povećanja koncentracije pojedinih iona (vidi tablicu 8A-2), zbog korištenja vode.

Stupanj propusnosti, odnosno procjeđivanja u tlu, osim slanosti ovisan je i o odnosu iona natrija, kalcija i magnezija u natapnoj vodi. Natrijev adsorpcijski odnos (SAR = Sodium adsorption ratio) izračunava se prema:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{(Ca + Mg) / 2}}$$

Koncentracija iona izražena je meq/l, a za navedene ione vrijedi odnos:

$$Na(\text{meq} / l) = \frac{Na(\text{mg} / l)}{23}$$

$$Ca(\text{meq} / l) = \frac{Ca(\text{mg} / l)}{20}$$

$$Mg(\text{meq} / l) = \frac{Mg(\text{mg} / l)}{12,2}$$

$$HCO_3(\text{meq} / l) = \frac{HCO_3(\text{mg} \cdot l)}{61}$$

Kod ponovne uporabe obnovljenih otpadnih voda u poljodjelstvu, potrebno je uvijek računati s "prilagođenim" SAR-om, zbog učinka obaranja i otapanja kalcijeva

karbonata u tlu, a odnosu prema sadržaju hidrogen. karbonata i otopljenog ugljik-dioksida u vodi [3,4].

Prilagođeni natrijev adsorpcijski odnos (Adjusted SAR) u površinskom dijelu tla računa se prema:

$$SAR_{adj} = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca_x + Mg}{2}}}$$

Na i Mg - vrijednosti natrija i magnezija u natapnoj vodi izražene u mc/l

Ca<sub>x</sub> - Prilagođena vrijednost kalcija u mc/l, u natapnoj vodi u ovisnosti o slanosti i odnosu HCO<sub>3</sub>/Ca u natapnoj vodi (mc/l), uz parcijalni tlak CO<sub>2</sub> uz površinu tla u vrijednosti 0,0007 bara

Vrijednosti Ca<sub>x</sub> prikazane su u tablici 9A-2 [3].

Pojedini elementi koji se nalaze u tragovima u otpadnim vodama jesu nužno hranivo za biljke. Međutim u povećanim koncentracijama mogu izazvati otrovan učinak.

Osim navedenih elemenata treba spomenuti bor (B), koji se u kućanskim vodama nalazi zbog uporabe deterdženata. Osjetljivost biljki na koncentracije bora u vodi vrlo su različite. Vrlo su osjetljivi limun i kupina pri koncentracijama manjim od 0,5 mg B/l. Na koncentracije 0,5 - 1,0 mg B/l osjetljive su: naranča, višnja, šljiva, smokva, vinova loza, jagoda, grahovice, suncokret i druge biljke. Maksimalno dopuštene koncentracije ovise o vrijednostima bora u vodi i tlu, klimatskim prilikama te kulturi koja se natapa [4].

Procjeđivanjem obnovljene vode kroz tlo nastaju fizičke i kemijske reakcije kojima se iz vode uklanjaju otpadne tvari u tragovima. Tvari u tragovima koje se nalaze u raspršenom stanju u vodi, uklanjaju se procjeđivanjem kroz tlo pa se zadržavaju u površinskom sloju tla. Otopljene otpadne tvari zadržavaju se u tlu postupcima ionske izmjene, kemijskog obaranja te adsorpcije, pri čemu su bitne i organske kompleksirajuće tvari.

Količina elemenata u tragovima koje koriste biljke pa na taj način smanjuju količine u tlu, jest razmjerno mala.

U tablici 9A-3 prikazano je smanjenje tvari u tragovima u tlu biljkama, pri natapanju pročišćenim otpadnim vodama, odnosno obnovljenom vodom [7].

Koncentracije su tvari u tragovima u obnovljenoj vodi niže od vrijednosti koje bi mogle izazvati kratkotrajne akutne štetne učinke.

Međutim, s obzirom na gomilanje elemenata u tragovima u tlu, potrebno je povremeno obavljati provjere sadržaja elemenata u tragovima u tlu. Pri uobičajenom sastavu otpadnih voda može se pretpostaviti da kod primjene obnovljene vode u vremenu do 100 godina neće se u tlu pojaviti količine otpadne tvari koje bi, prema sadašnjim saznanjima, mogle biti opasne za biljke, životinje i ljude.

Očekivanje koncentracije  $Ca_x$  u površinskom dijelu tla

Tablica 9A-2

		Slanost natapne vode EC <sub>w</sub> (ds/m)													
		0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	6.0	8.0		
Odnos $HCO_3/Ca$		0.05	13.20	13.61	13.92	14.40	14.79	15.26	15.91	16.43	17.28	17.97	19.07	19.94	
		0.10	8.31	8.57	8.77	9.07	9.31	9.62	10.02	10.35	11.32	11.32	11.32	12.01	12.56
		0.15	6.34	6.54	6.69	6.92	7.11	7.34	7.65	7.90	7.90	8.64	8.64	9.17	9.58
		0.20	5.24	5.40	5.52	5.71	5.87	6.06	6.31	6.52	6.52	6.86	7.13	7.57	7.91
		0.25	4.51	4.65	4.76	4.92	5.06	5.22	5.44	5.62	5.62	5.91	6.15	6.52	6.82
		0.30	4.00	4.12	4.21	4.36	4.48	4.62	4.82	4.98	4.98	5.24	5.44	5.77	6.04
		0.35	3.61	3.72	3.80	3.94	4.04	4.17	4.35	4.49	4.49	4.72	4.91	5.21	5.45
		0.40	3.30	3.40	3.48	3.60	3.70	3.82	3.98	4.11	4.11	4.32	4.49	4.77	4.98
		0.45	3.05	3.14	3.22	3.33	3.42	3.53	3.68	3.80	3.80	4.00	4.15	4.41	4.61
		0.50	2.84	2.93	3.00	3.10	3.19	3.29	3.43	3.54	3.54	3.72	3.87	4.11	4.30
		0.75	2.17	2.24	2.29	2.37	2.43	2.51	2.62	2.70	2.70	2.84	2.95	3.14	3.28
		1.00	1.79	1.85	1.89	1.96	2.01	2.09	2.16	2.23	2.23	2.35	2.44	2.59	2.71
		1.25	1.54	1.59	1.63	1.68	1.73	1.78	1.86	1.92	1.92	2.02	2.10	2.23	2.33
		1.50	1.37	1.41	1.44	1.49	1.53	1.58	1.65	1.70	1.70	1.79	1.86	1.97	2.07
		1.75	1.23	1.27	1.30	1.35	1.38	1.43	1.49	1.54	1.54	1.62	1.68	1.78	1.86
		2.00	1.13	1.16	1.19	1.23	1.26	1.31	1.36	1.40	1.40	1.48	1.54	1.63	1.70
2.25	1.04	1.08	1.10	1.14	1.17	1.21	1.26	1.30	1.30	1.37	1.42	1.51	1.58		
2.50	0.97	1.00	1.02	1.06	1.09	1.12	1.17	1.21	1.21	1.27	1.32	1.40	1.47		
3.00	0.85	0.89	0.91	0.94	0.96	1.00	1.04	1.07	1.07	1.13	1.17	1.24	1.30		
3.50	0.78	0.80	0.82	0.85	0.87	0.90	0.94	0.97	0.97	1.02	1.06	1.12	1.17		
4.00	0.71	0.73	0.75	0.78	0.80	0.82	0.86	0.88	0.88	0.93	0.97	1.03	1.07		
4.50	0.66	0.68	0.69	0.72	0.74	0.76	0.79	0.82	0.82	0.86	0.90	0.95	0.99		
5.00	0.61	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.76	0.76	0.80	0.83	0.88	0.93		
7.00	0.49	0.50	0.52	0.53	0.55	0.57	0.59	0.61	0.61	0.64	0.67	0.71	0.74		
10.00	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.45	0.47	0.48	0.48	0.51	0.53	0.56	0.58		
20.00	0.24	0.25	0.26	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.30	0.32	0.33	0.35	0.37		
30.00	0.18	0.19	0.20	0.20	0.21	0.21	0.22	0.23	0.23	0.24	0.25	0.27	0.28		

## Očekivano smanjenje tvari u tragovima biljkama

Tablica 9A-3

Element	Uobičajene koncentracije u otpadnoj vodi	Godišnji unos*	Uobičajene koncentracije u biljkama	Godišnje smanjenje**	(%)
	(mg/l)	(g/ha)	(mg/kg)	(g/ha)	
As	< 0,005	< 60	1	5	8,3
B	1,0	12000	50	250	2,1
Cd	0,005	60	0,5	2,5	4,2
Cr	0,025	300	0,5	2,5	0,8
Cu	0,10	1200	15	75	6,3
Hg	0,0009	11	0,02	0,1	0,9
Mo	0,005	60	1	5	8,3
Ni	0,02	240	5	25	10,4
Pb	0,05	600	2	10	1,7
Se	< 0,005	< 60	0,5	2,5	4,2
Zn	0,15	1800	50	250	13,9

\* Unošenje pri obroku natapanja od 1,2 m/god.

\*\* Pretpostavljen je urod suhe tvari od 5 t/ha, primjerice krumpira

Uporabom pročišćene otpadne vode u poljodjelstvu, prema kakvoći vode te načinu natapanja mogu nastati određene poteškoće, koje je potrebno ispitati za svaki slučaj posebno.

Tako na primjer vrijednost pH izvan uobičajenih granica (6,5 - 8,5) može izazvati nagrizanje cjevovoda i opreme, ali jednako tako može ukazivati i na povećanu otrovnost u vodi. Nagrizanje kovina i betona nastaje pri niskoj vrijednosti pH.

Problem začepjenja prskalica ili prokaplivanja opažen je, osim ostaloga, zbog povećane vrijednosti raspršenih tvari ili porasta mase bakterija. Podaci o ovoj pojavi prikazani su u tablici 9A-2.

Navodi se utjecaj nekih pokazatelja na pojavu začepjenja kod primjene natapanja prokaplivanjem [4].

U mnogim zemljama svijeta obnovljena voda ponovno se rabi, a naročito u poljodjelstvu. U Kaliforniji, SAD, postoji značajno iskustvo ponovne uporabe obnovljene vode u poljodjelstvu.

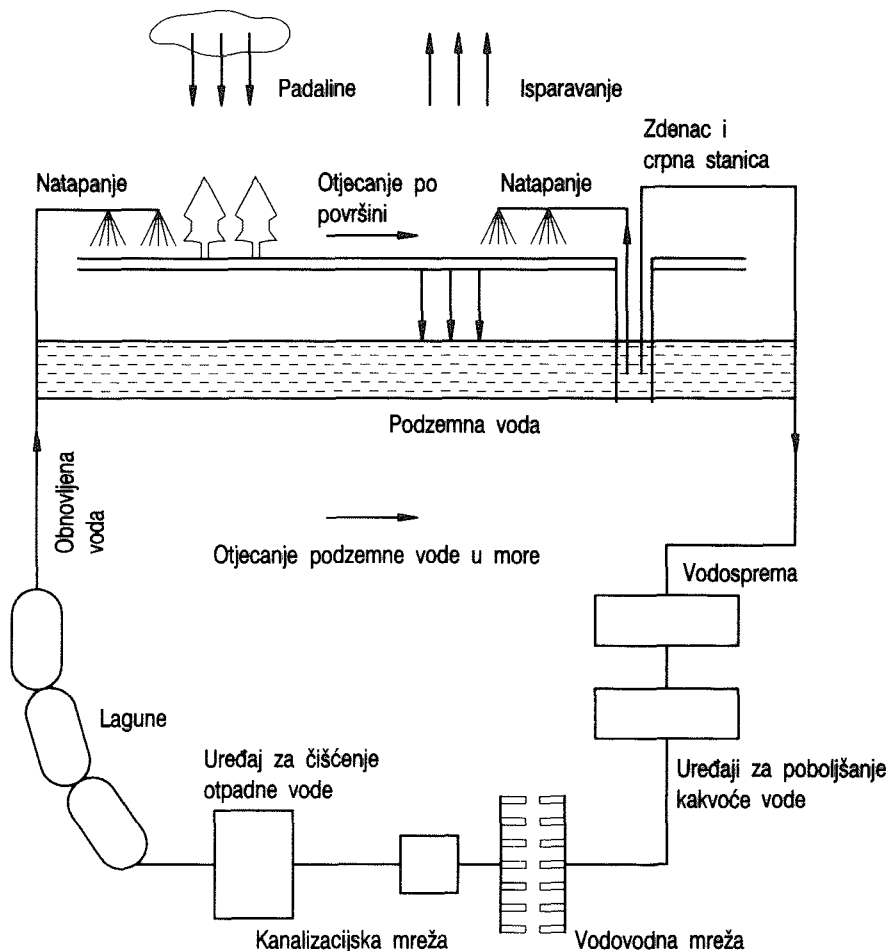
Krajem osamdesetih godina od ukupne količine otpadnih voda u Kaliforniji bilo je obnovljeno oko 8 %. Od ove vrijednosti 63 % koristilo se za natapanje zemljišta za proizvodnju industrijskog bilja i za uzgoj voća i povrća [6].

U sredozemnim su zemljama klimatske okolnosti osebujne po dugim suhim ljetima. U pojedinim su dijelovima Sredozemlja izvorišta vode gotovo u potpunosti iskorištena pa se pojavljuju problemi u vodoopskrbi stanovništva, turista i industrije, a u poljoprivrednoj je proizvodnji voda ograničavajući činitelj.

Primjerice u Izraelu, gotovo se sve obnovljene ( $4,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{d}$ ) zalihe vode već koriste. Od ukupne količine vode, u poljoprivredi se koristi oko 75 %, a za vodoopskrbu stanovnika i industrije 25 % [5]. Zbog takvih se uvjeta najveći dio otpadne vode obnavlja pa se koristi za natapanje u poljoprivredi, ali i drugim djelatnostima, primjerice industriji.

I u drugim zemljama Sredozemlja, primjerice na Cipru, u Italiji, Španjolskoj, Francuskoj, sve se više primjenjuju obnovljene vode u poljodjelstvu.

Na slici 9A-1 prikazana je shema gospodarenja vodama na otoku Porquerolles, Francuska [5], uz ponovnu uporabu pročišćenih otpadnih voda u poljodjelstvu.



Slika 9A-1 Shema gospodarenja vodama uz ponovnu uporabu otpadnih voda

Uporabom obnovljene natapne vode istovremeno je bilo moguće:

- zaštititi podzemnu vodu od pretjeranog iskorištavanja te s tim u vezi opasnosti od prodiranja slane vode u podzemlje.
- očuvati kakvoću priobalnog mora od onečišćenja zbog ispuštanja otpadne vode.

Značajna iskustva u primjeni pročišćene otpadne vode, dakle obnovljene, za natapanje poljoprivrednih zemljišta skupljena su u Tunisu. Krajem je osamdesetih godina u Tunisu bilo raspoloživo obnovljene vode  $78 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{god}$ , a krajem ovog stoljeća planira se ponovna uporaba obnovljene vode u poljodjelstvu u količini od  $125 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{god}$  [8, 5].

Uz više od dvadesetogodišnje iskustvo primjene obnovljene natapne vode u Tunisu nisu opaženi neželjeni učinci na tlo, biljke kao i podzemne vode.

## LITERATURA

1. WHO Technical Report Series No 517. Reuse of Effluents: Methods of Wastewater Treatment and Health Safeguards. Geneva: World Health Organization, 1973:63.
2. WHO Technical Report Series No 778. Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture. Geneva: World Health Organization, 1988:74
3. Ayers, R. S., Westcot, D. W.: Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29, Rev 1. Rome 1985:174
4. Westcot, D. W.; Ayers, R.S.: Irrigation Water Quality Criteria. In: Pettygrove, G. S.; Asano, T. (Eds): Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater - A Guidance Manual. Sacramento, Ca: California State Water Resources Control Board, Third Printing, 1988:3.1.-3-37.
5. Mediterranean Action Plan: Environmental Guidelines for Municipal Wastewater Reuse in the Mediterranean Region (Tedeschi, S and Pescod M. Eds). Split: Regional Activity Centre PAP-MAP/UNEP, 1991:127.
6. Pescod, M. B.: Wastewater treatment and use in agriculture. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1992:125.
7. Page, A. L.; Chang, A.C.: Fate of Wastewater Constituents in Soil and Groundwater: Trace Elements. In: Pettygrove, G. S.; Asano, T (eds): Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater - A Guidance Manual. Sacramento Ca: California State Water Resources Control Board, Third Printing, 1988: 13-1-13-16-
8. Bahri, A.: Present and future state of treated wastewater and sewage sludge in Tunisia. Presented at Regional Seminar on Wastewater Reclamation and Reuse, Cairo: FAO, UNDP, World Bank, 1988.



---

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

*Doc. dr. Davor Romić*

*Prof. dr. Frane Tomić*

*Agronomski fakultet*

*Sveučilišta u Zagrebu*

### 10.1. UVOD

Prateći aktivnost čovjeka kroz povijest, od ranih začetaka civilizacije, povećanje njegove populacije i širenje poljoprivrednog zemljišta bilo je praćeno i razvojem natapanja. Tako natapanje, kao jedan od najstarijih zahvata primjenjivanih u poljodjelstvu, ima dugačku povijest različitih ishoda, i povoljnih i nepovoljnih. Na natapanim površinama civilizacije su se razvijale, ali i propadale. Problem sekundarnog zaslanjivanja bio je i ostao jedan od najvažnijih problema natapanja. Nakupljanje štetnih soli u specifičnima agroklimatskim uvjetima, i u tlu i u vodama, tijekom tisuća godina irigacije pretvorilo je plodne doline u pustinje, a stare kulture i civilizacije u povijest. Tako, Buringh (prema Szabolcs, 1979) ukazuje na primjer stare Mezopotamije, područje plodnog tla između rijeka Tigris i Eufkrat, koje je nekada hranilo brojno pučanstvo, danas je pustinja. Natapanje kao mjera kojom se težilo suzbijanju neproduktivnosti tala prouzročenoj nedostatkom vode, dovelo je u velikom broju slučajeva do neproduktivnosti tala prouzročene zaslanjivanjem ili alkalizacijom. Problem sekundarnog zaslanjivanja nije svojstven natapanju već njegovoj nemarnoj praksi. Napredovanje u znanosti i tehnologiji natapanja podrazumijeva stjecanje i primjenu znanja koje vodi točnoj kontroli količine i kakvoće aplicirane vode. Cilj takve kontrole mora biti optimizacija primjene natapanja i povezivanje sa svima ostalim varijablama koje se međusobno prepleću u biljnoj proizvodnji. Kontrola ukupnoga irigacijskog sustava počinje na izvorištu vode.

Iako se problem sekundarnog zaslanjivanja i alkalizacije nije detaljnije obrađivao u našoj stručnoj i znanstvenoj literaturi, noviji podaci pokazuju da u mediteranskom dijelu Hrvatske, posebice u dolinama rijeka Jadranskog sliva, odnosno na njihovim ušćima, te u Vranskom polju (Romić i sur. 1993), taj je problem i vrlo aktualan upravo iz razloga što se za natapanje koriste zaslanjene ili čak alkalizirane vode.

Proizvodnja je povrća u području Vranskog bazena gotovo neostvariva bez natapanja. Za natapanje se obično koriste postojeći površinski vodotoci u kojima količine vode nisu dostatne. Uvođenje novih kultura u sustav biljne proizvodnje traži nove tehnologije gospodarenja, čime se povećavaju i potrebe za vodom. Vransko je jezero potencijalni izvor natapne vode u tom prostoru. Dosada izradene studije i projekti natapanja Vranskog bazena izvor vode nalaze u Vranskom jezeru. Ali, govoreći o kakvoći te vode, navodi se tek njezina "boćatost". Višestoljetna, često skupo plaćena iskustva u praksi natapanja vodama tada nedefinirane kakvoće, potakla su započinjanje višegodišnjih istraživanja kojima će se prikupiti relevantni parametri koji će omogućiti definiranje kakvoće vode Vranskog jezera za natapanje.

## 10.2. MATERIJAL I METODE RADA

Provedena višegodišnja istraživanja obavljena su na Vranskom jezeru (Biograd) te u laboratoriju Zavoda za melioracije Agronomskog fakulteta. Na ušću Glavnog kanala u Vransko jezero postavljena je vodomjerna letva na kojoj se svakodnevno očitava razina vode. Podaci tih mjerenja, za razdoblje od 5. kolovoza 1988. do 2. listopada 1992. godine, rabljeni su pri analizi dinamike vode u Vranskom jezeru.

Za analizu srednjih dnevnih vodostaja mora korišteni su podaci sa marigrafa lociranih u Žirju, Galženici i Zlarinu na kojima Državni hidrometeorološki zavod obavlja mjerenja.

Uzorci vode iz Vranskog jezera uzimali su se kod Auto kampa počevši od 5. kolovoza 1988., svakih 10 dana u vegetacijskoj, odnosno svakih 15 dana u izvanvegetacijskoj sezoni sve do 2. listopada 1992. godine. Ukupno tijekom razdoblja istraživanja analizirano je 111 uzoraka. Uzorci vode, uzimani u staklene boce, u laboratoriju su obrađeni standardnim metodama APHA (1980). Električna provodljivost (EC<sub>iw</sub>) određivala se konduktometrijski, mikroprocesorskim konduktometrom s platinastom elektrodom, a reakcija potencimetrijski. Koncentracija Ca<sup>2+</sup> i Mg<sup>2+</sup> određena je kompleksometrijski titracijom s Na-EDTA, K<sup>+</sup> i Na<sup>+</sup> plamenfotometrijski, Cl<sup>-</sup> putem AgNO<sub>3</sub> kloridimetrije, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> turbidimetrijski, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> spektrofotometrijski fenoldisulfonskom kiselinom, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> spektrofotometrijski Nesslerovim reagensom, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> titracijom s H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ASA-SSSA, 1982).

Izračunavanje SAR<sub>iw</sub> vrijednosti provedeno je prema izrazu:

$$SAR_{iw} = Na^+ \cdot (Ca^{2+} + Mg^{2+})^{0.5}$$

koji je dao U.S. Salinity Laboratory (1954), gdje je koncentracija kationa izražena u mmol/L. Popravljeni SAR<sub>iw</sub> (adj SAR<sub>iw</sub>) izračunat je po postupku Bowera i sur. (1968) kako slijedi:

$$adj\ SAR_{iw} = SAR_{iw} (1 + (8.4 - pH_e))$$

gdje je pH<sub>e</sub> teoretska reakcija koju bi voda imala u ravnoteži s CaCO<sub>3</sub>. RNa<sub>iw</sub> vrijednosti izračunate su po postupku Suarez (1981) koristeći izraz:

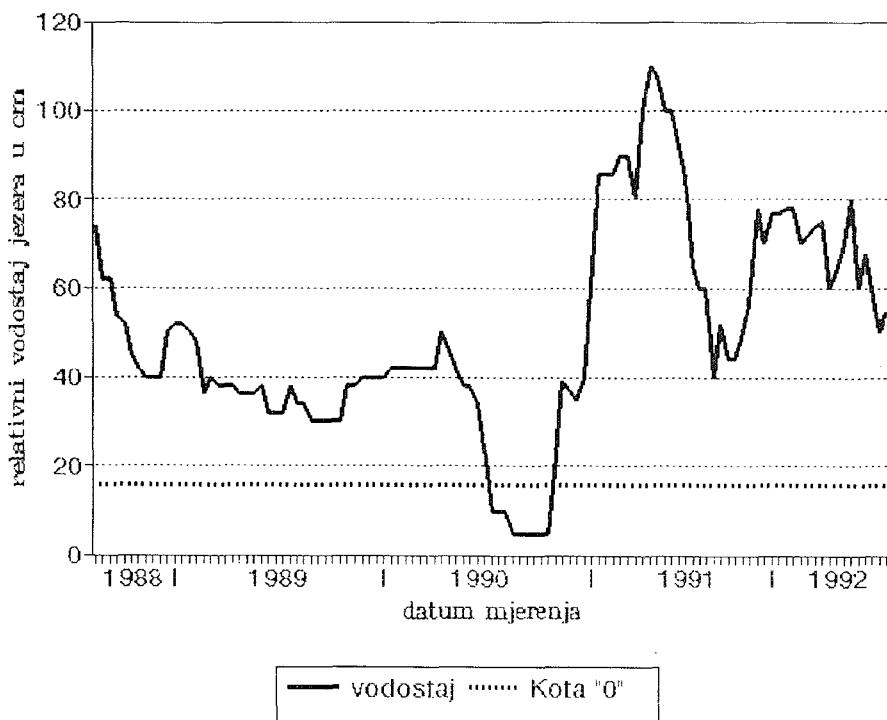
$$RNA_{iw} = Na^+ / (Ca_x + Mg^{2+})^{0.5} ,$$

gdje je  $Ca_x$  izvađen iz tablice dane od autora.

Pri procjeni kakvoće vode korištene su priznate klasifikacije i računalni program "Watsuit".

## 10.3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I RASPRAVA

### 10.3.1. Režim voda Vranskog jezera



Sl. 10-1 Dinamika vode u Vranskom jezeru tijekom razdoblja istraživanja

Režim površinskih voda podrazumijeva hidrološki proces uvjetovan prirodnim i umjetnim čimbenicima, a koji se, djelujući uzajamno u vremenu i prostoru, očituju promjenama količine i kakvoće vode.

Kod mosta na utoku "Glavnog kanala" u Vransko jezero postavljena je vodomjerna letva na kojoj se razina vode svakodnevno očitava. Očitavanja dobivena s

ove letve rabljena su za analizu dinamike vode, a rezultati su prikazani na grafu na slici 1.

Prosječna razina vode u Vranskom jezeru tijekom istraživanog razdoblja iznosila je 35.73 cm iznad razine plohe mora. Maksimalna vrijednost iznosila je 94.5 cm, a očitana je u svibnju 1991. godine. Najniža se vrijednost očitavala tijekom rujna i listopada 1990.g., a iznosila 10.5 cm ispod razine plohe mora. Vransko jezero fluktuiralo je 105 cm tijekom navedenog razdoblja.

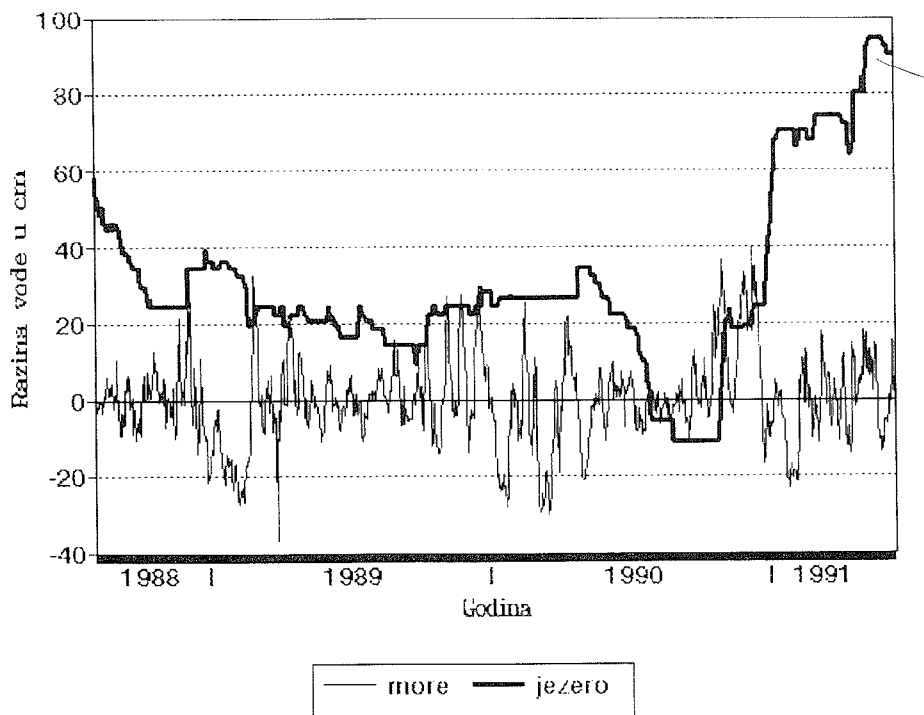
Nizak je vodostaj jezera u 1990. godini posljedica manje količine oborina u toj godini. Naime, u navedenoj godini zabilježena je najniža količina oborina, a koja je za čak 329.3 mm niža od dvadesetgodišnjeg prosjeka (1968.-1987.). U prethodnoj je godini (1989) također palo 247.8 mm oborina manje od dvadesetgodišnjeg prosjeka. Te su pojave izravno djelovale na manji dotjecaj vode u jezero sa slivne površine. Općenito, najniži se vodostaji javljaju u razdoblju od kolovoza do listopada. Pojava je niskih vodostaja uglavnom u drugoj polovini ljeta i tijekom jeseni posljedica manje količine oborina u tom razdoblju i znatno većih gubitaka na isparavanje. Kako ističe Marija Beraković (1983.), isparavanjem se s Vranskog jezera, površine 30 km<sup>2</sup>, gubi prosječno 49.5 milijuna m<sup>3</sup> vode godišnje.

Državni hidrografski institut obavljao je mareografska motrenja na lokaciji Žirje, Gaženica i Zlarin. Iz podataka srednjih dnevnih visina mora, dobivenih tim motrenjima, i dnevnih visina vode Vranskog jezera, iscrtana je slika 10-1 koja pokazuje odnose između analiziranih razina vode. Za razinu plohe mora uzeta je prosječna vrijednost trogodišnjih opažanja budući da postavljeni mareografi nisu bili povezani na državnu nivelmansku mrežu.

Iz grafa na slici 10-2 uočava se da srednja dnevna razina mora ponekad nadvisuje razinu vode u Vranskom jezeru. Ta se pojava posebice uočava u drugoj polovici 1990. godine, kada je izmjerena i najniža razina vode u jezeru. Vransko je jezero od mora odvojeno vapnenačkim grebenom širine 1 do 1.5 km. Greben pokrivaju foraminiferski vapnenci (glaukonitni i dijelom numulitni vapnenci) koji zapravo čine prijelazne naslage iz vapnenaca u fliš. Idući prema flišu, te naslage sadrže sve više laporovite komponente, što smanjuje propusnost vapnenaca. Fritz (1984.) geološki je rasčlanio greben koji dijeli jezero od mora na dva dijela. Prvi dio seže do oko 3.5 km sjeverozapadno od "Prosike", a drugi dio sjeverozapadnije do kraja jezera. Analizirajući drugi dio grebena, autor ističe da ga izgrađuju vapnenci u krilu antiklinale u čijoj su jezgri dolomiti. Ta antiklinala s dolomitima u jezgri odražava se na nepropusnost grebena. Prema istom autoru, morska voda komunicira s vodom u jezeru između dviju flišnih barijera sjeverno od Biograda i na potezu vapnenačkog grebena oko "Prosike". Voda jezera i mora komunicira i preko same "Prosike", kanala koji je izgrađen sredinom 18. stoljeća (Bella, 1935.), sa svrhom odvodnje Vranskog polja, a produbljen je početkom 19. stoljeća.

Zbog razlike hidrostatskog tlaka vode u moru i jezeru te uz činjenicu da barijeru između njih čine propusne karbonatne stijene i otvoreni kanal "Prosika", može se pretpostaviti da je u takvi okolnostima došlo do prodora znatnih količina morske vode u jezero. Naime, kako se iz grafa na slici 10-2 vidi, prosječna dnevna razina vode u moru bila je nekoliko mjeseci veća od razine vode u jezeru. Početkom 1991.g. došlo

je do povećanja razine vode u jezeru, što je rezultiralo obrnutim tokom vode, što znači da je voda otjecala iz jezera u more. To stanje održano je do kraja razdoblja istraživanja. Nadalje je uočljivo da je kolebanje mora manje u toplome nego u hladnijem dijelu godine.

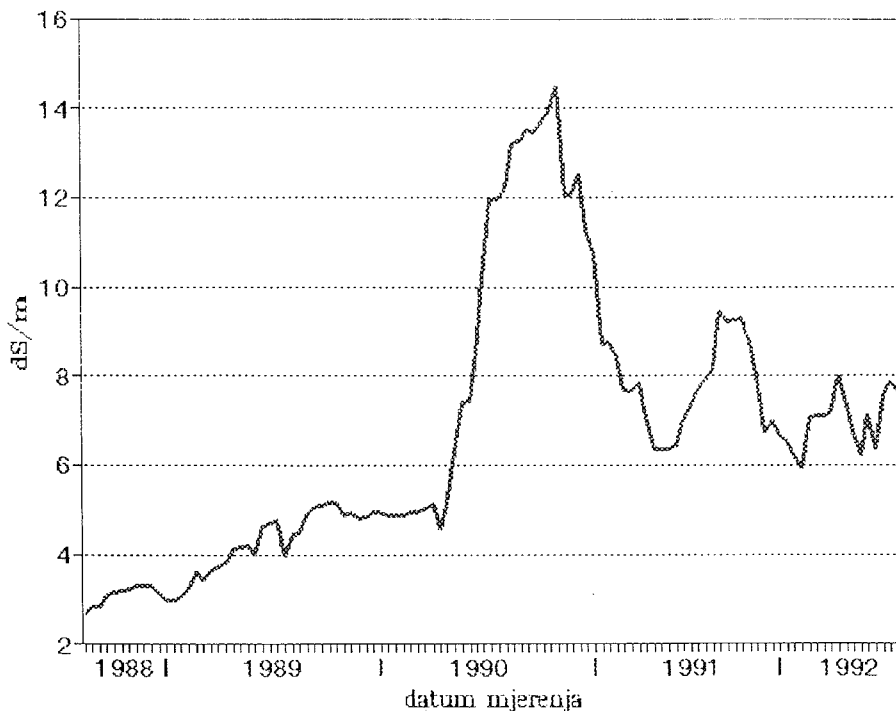


*Sl. 10-2 Odnos razine vode u Vranskom jezeru i moru tijekom razdoblja istraživanja*

Sve prirodne vode sadrže veću ili manju količinu otopljenih soli. Podrijetlo je soli u vodama različito, ali mu je ishodište u trošenju stijena. Da bi se utvrdile koncentracije soli u vodi Vranskog jezera, prema postavljenoj su metodici, uzorci vode uzimani u kontinuitetu od 5. kolovoza 1988. do 2. listopada 1992. godine. Promjenu koncentracija soli ( $EC_w$ ) tijekom razdoblja istraživanja pokazuje graf na slici 10-3.

Iz grafa na slici 10-3 uočava se blago povećanje ukupne koncentracije soli do svibnja 1990. godine. Nakon tog vremena dolazi do njezina nagla povećanja sve do pred kraj 1990. godine. Usporedbom grafova na slikama 10-1 i 10-3 uočava se da je maksimum koncentracije soli vremenski podudaran s minimalnom razinom vode. Kako je razina vode u moru u to vrijeme bila viša od one u jezeru, to samo potvrđuje da je, zbog razlike hidrostatskog tlaka, došlo do prodora mora u jezero, što je rezultat

povećanja koncentracije soli (maksimum 14.5 dS/m). Početkom 1991. godine, zbog većih količina oborina, dolazi do povećanja razine vode u jezzeru, a time i do smanjenja koncentracije soli. To opadanje koncentracije soli traje do polovice 1991. godine, kad ponovo počinje rasti.

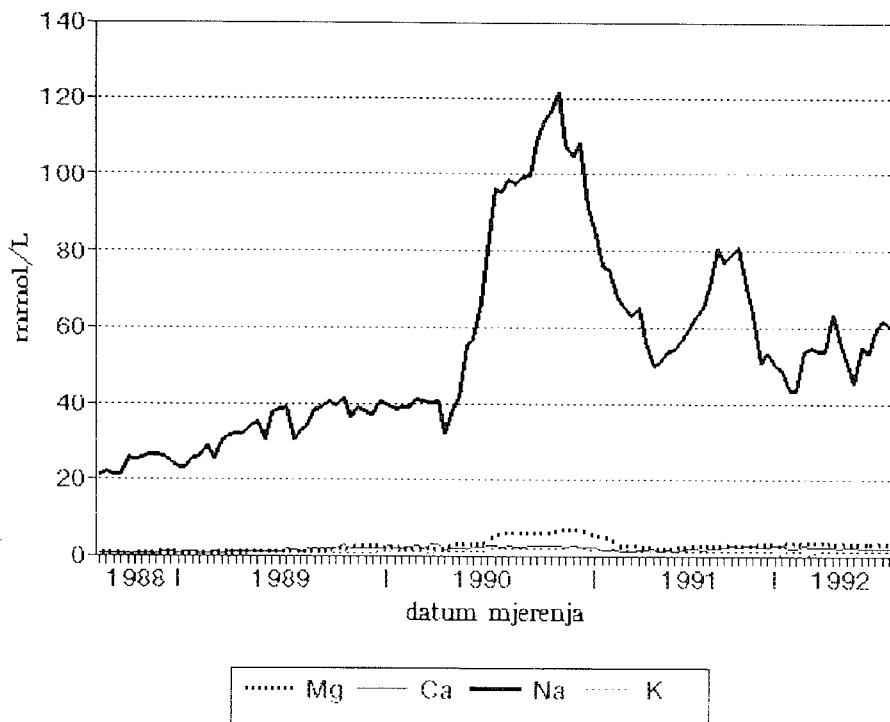


*Slika 10-3 Dinamika  $EC_{w}$  u vodi Vranskog jezera tijekom razdoblja istraživanja*

Vrijednosti ukupne koncentracije soli u vodi samo su jedan od parametara pri tumačenju kakvoće natapne vode. Detaljna tumačenja i ocjene kakvoće vode traže, međutim, poznavanje njezina ionskog sastava i međusobnog odnosa sadržaja pojedinačnih iona. Promjene koncentracija kationa i njihovi međusobni odnosi tijekom razdoblja istraživanja prikazani su grafom na slici 10-4. Iz tog grafa uočljivo je da se kao dominantan ion u vodi jezera pojavljuje  $Na^+$ . On u prosjeku čini oko 90% zastupljenosti kationa. Tijekom razdoblja istraživanja koncentracija  $Na^+$  mijenjala se 5.7 puta. Maksimalno izmjerena koncentracija (121.7 mmol/L; slika 10-4) zabilježena je pred kraj 1990. godine. Nakon tog vremena koncentracija  $Na^+$  počinje opadati do polovice 1991. godine, kada ponovo počinje rasti. Po zastupljenosti iza  $Na^+$  javlja se magnezijev ion kojega je koncentracija, kao i ostalih kationa, vrlo niska.

Promjene sadržaja aniona i njihovi međusobni odnosi tijekom ukupnog razdoblja istraživanja prikazani su grafom na slici 10-5. Analogno zastupljenosti natrija od

kationa, kloridni je ion dominantan anion u vodi jezera. On čini, u prosjeku, više od 90% udjela svih aniona. Koncentracija klorida tijekom razdoblja istraživanja mijenjala se 6.1 puta. Kao i kod Na<sup>+</sup> pred kraj 1990., godine koncentracija Cl<sup>-</sup> počinje opadati do polovice 1991., kada ponovo počinje rasti. Ostali su analizirani anioni vrlo malo zastupljeni.



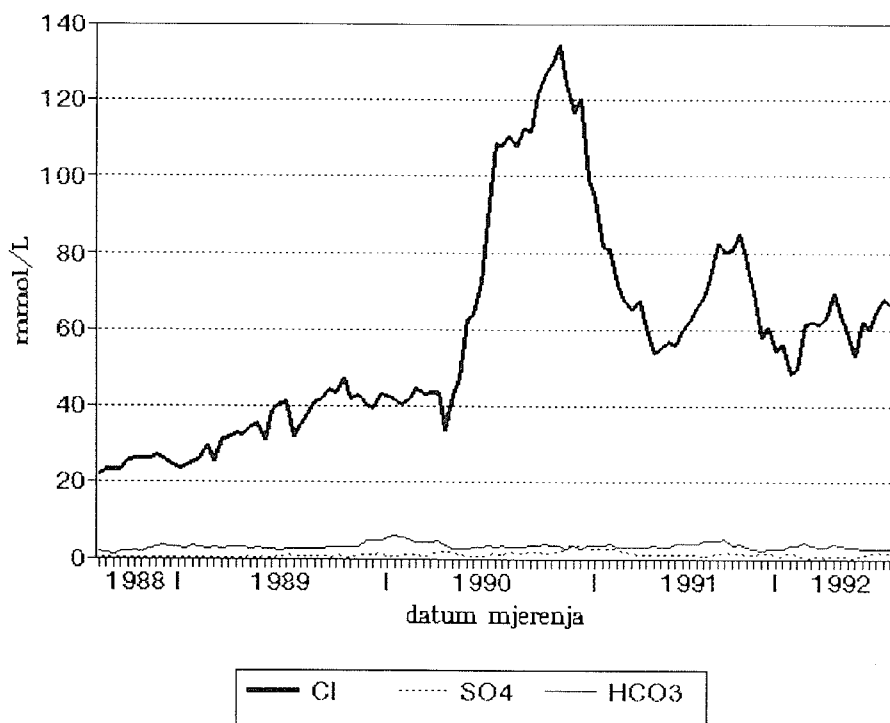
Sl. 10-4 Dinamika kationa u vodi Vranskog jezera tijekom razdoblja istraživanja

Uzimajući u obzir vrijednosti koncentracija pojedinačnih iona u natapnim vodama, koje su dali Ayers i Westcot (1985), može se zaključiti da se koncentracije kalcija, bikarbonata, sulfata, nalaze unutar uobičajenog raspona. Suprotno tome, prosječne su vrijednosti koncentracija natrija i klorida iznad uobičajenih u natapnim vodama

SAR je vrijednost jedan od najvažnijih parametara za procjenu kakvoće natapne vode. Stjecanjem znanja o ukupnosti fizikalno-kemijskih reakcija i njihovih smjerova u tlima, postupak za izračunavanje SAR vrijednosti bio je podložan promjenama. Postupak izračunavanja SAR<sub>iw</sub> vrijednosti predložili su istraživači U.S. Salinity Laboratory (1954). Bower i sur. (1965) korigirali su navedeni izraz za vrijednost precipitacije, uzimajući u obzir rezultate Langeliera (1936), a terminološki se mijenja



u adj.SAR<sub>iw</sub>. Bower i sur. (1968) i Rhoades (1968) testirali su, međutim, primjenjivost adj.SAR<sub>iw</sub> u lizimetrima i došli do zaključka da je vrijednost dvostruko precijenjena. Suarez (1981) uveo je u postupak za izračunavanje SAR vrijednosti odnos kalcija i bikarbonata, vrijednost ionske jakosti otopine i parcijalni tlak CO<sub>2</sub>. Izraz koji je dao Suarez (1981) za izračunavanje SAR vrijednosti promijenjen je terminološki u popravljeni RNA<sub>iw</sub> (Ayers i Westcot, 1985). Sve je to navedeno stoga što se pod nazivom SAR vrijednosti vrlo često kriju različiti postupci za njegovo izračunavanje. Na primjeru voda Vranskog jezera želi se upozoriti na razlike koji se dobivaju upotrebom različitih postupaka.

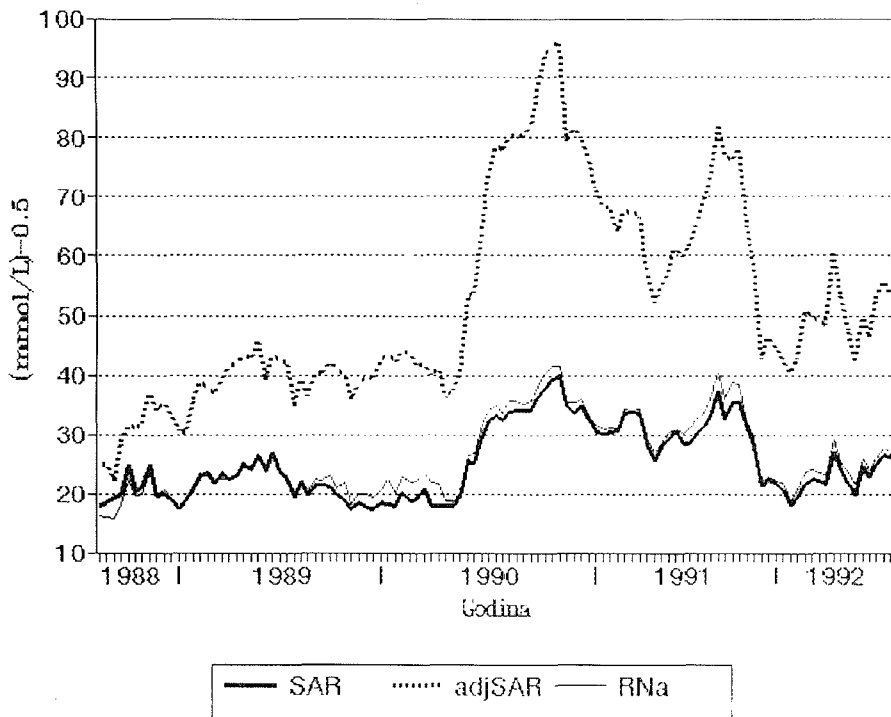


Sl. 10-5 Dinamika aniona u vodi Vranskog jezera tijekom razdoblja istraživanja

Dinamika SAR vrijednosti vode Vranskog jezera tijekom razdoblja istraživanja prikazana je na grafu na slici 10-6.

Iz grafa se uočava variranje vrijednosti pojedinoga determiniranog parametara tijekom razdoblja istraživanja. Tako je SAR<sub>iw</sub> vrijednost vode Vranskog jezera varirala 2.3 puta, dok je vrijednost adj.SAR<sub>iw</sub> varirala 4.3 puta. Vrijednost RNA<sub>iw</sub> varirala je 2.6 puta. Nadalje, vrijednosti adj.SAR<sub>iw</sub> više su od dvostruko veće od vrijednosti SAR<sub>iw</sub> i RNA<sub>iw</sub>. Na temelju istraživanja Bowera i sur. (1968) te Rhoadesa (1968), Ayers i Westcot (1985) predlažu da se adj.SAR<sub>iw</sub> pomnoži s 0.5 kako bi se

dobile realnije vrijednosti ili da se kod procjene kakvoće natapne vode upotrebljava  $RNA_{iw}$  vrijednost. Maksimalne vrijednosti javljaju se u drugoj polovici 1990. godine, kada je i koncentracija soli u Vranskom jezeru bila najveća. Sekundarni maksimum javlja se u drugoj polovici 1991. godine.



Sl. 10-6 Dinamika  $SAR_{iw}$ ,  $adj.SAR_{iw}$ , i  $RNA_{iw}$  u vodi Vranskog jezera

### 10.3.2. Klasificiranje vode Vranskog jezera za natapanje

Kakvoća vode koncepcijski upućuje na svojstva zaliha vode koja djeluju na pogodnost vode za specifičnu upotrebu u onolikoj mjeri kolike su potrebe korisnika. Kakvoća natapne vode definirana je fizikalnima, kemijskim i biološkim svojstvima. Prilikom ocjenjivanja natapne vode stavljen je naglasak na kemijske karakteristike vode i rijetko se događa da se neki drugi faktor pokaže važnijim (Ayers i Westcot, 1985).

Razvoj znanosti i iskustva upotrebe zaslanjenih voda za natapanje u različitim agroekološkim uvjetima, rezultirali su velikim brojem klasifikacija koje se razlikuju

po upotrijebljenim parametrima za ocjenu, a kao rezultat i lokalnih uvjeta. Međutim, najčešći kriterij za ocjenu kakvoće natapne vode i njihova udružena potencijalna štetnost na razvoj biljke jesu:

- zaslanjenost, djelovanjem soli na razvoj biljke putem osmotskog efekta, povezano prije s ukupnom koncentracijom nego koncentracijom pojedinačnih iona, reducirajući raspoloživost vode biljci u tolikoj mjeri da se odražava na prinos;
- alkalitet, djelovanjem suvišnog sadržaja zamjenivog  $\text{Na}^+$  u tlu na strukturu tla, propusnost i infiltracijsku sposobnost;
- toksičnost, djelovanjem pojedinih iona iz tla ili vode koji akumulirajući se u biljci do koncentracije koja uzrokuje oštećenje reduciraju prinos. To su, kada je natapna voda u pitanju, kloridi bor i natrij.

Na temelju podataka o koncentracijama soli u vodi Vranskog jezera, može se pristupiti njezinu klasificiranju u svrhu natapanja. Ocjena kakvoće vode Vranskog jezera, kao potencijalnog izvora natapne vode, učinjena je po klasifikaciji koju je predložio U.S. Salinity Laboratory (1954.) i klasifikaciji koju je predložio University of California (Ayers i Westcot, 1985.).

Uzimajući u obzir kriterije navedenih klasifikacija, može se istaknuti da se prosječna voda, prema U.S. Salinity Laboratory, nalazi, s obzirom na opasnost od zaslanjivanja ( $\text{EC}_{\text{w}}$  iznosi 6.69 dS/m), izvan kategorije, što znači da nije pogodna za natapanje. Najniža izmjerena vrijednost (2.68 dS/m) pripada klasi vrlo velike opasnosti od zaslanjivanja. Što se tiče opasnosti od alkalizacije, prosječna voda nalazi se unutar kategorije velike opasnosti od alkalizacije ( $\text{RNA}_{\text{w}}=26.42 \text{ (mmol/L)}^{0.5}$ ). Najniža izmjerena vrijednost  $\text{RNA}_{\text{w}}$  (15.91  $\text{(mmol/L)}^{0.5}$ ) pripada klasi srednje opasnosti od alkalizacije. Samo minimalne vrijednosti koncentracije soli i  $\text{RNA}_{\text{w}}$  vrijednosti vode Vranskog jezera pripadaju klasi C4-S4. Maksimalno izmjerene vrijednosti tijekom razdoblja istraživanja nalaze se izvan kriterija za natapanje.

Uzimajući u obzir kriterije koje je predložio University of California (Ayers i Westcot, 1985), voda Vranskog jezera pripada kategoriji vrlo velikog stupnja ograničenja s obzirom na zaslanjivanje. Prosječne vrijednosti  $\text{EC}_{\text{w}}$  i  $\text{RNA}_{\text{w}}$ , koji su ključni parametri za ocjenu potencijalnog problema smanjenja infiltracijske sposobnosti tla, ne ukazuju na mogućnost njegove pojave natapanjem vodom Vranskog jezera. Uzrok je tome visoka koncentracija elektrolita u ocijenjenoj vodi, bez obzira na vrijednost  $\text{RNA}_{\text{w}}$  i od 26.42  $\text{(mmol/L)}^{0.5}$ . Takvi zaključci sukladni su i s rezultatima koje daju Oster i Schroer (1979). S obzirom na probleme toksičnosti pojedinih iona, mogu se očekivati ozbiljni problemi pri natapanju kultura osjetljivih na soli. Prosječna je koncentracija  $\text{Na}^+$  6 puta veća od one koju predviđaju kriteriji navedene klasifikacije pri natapanju osjetljivih kultura (9 mmol/L). Slični odnosi vrijede i za  $\text{Cl}^-$  pri površinskom natapanju (10 mmol/L), a očekuju se mnogo ozbiljniji problemi pri natapanju kišnjem. Minimalno izmjerene vrijednosti pripadaju kategoriji male do srednje opasnosti od zaslanjivanja, nikakve opasnosti od smanjene infiltracijske sposobnosti, dok se mogu javiti toksičke posljedice kod biljaka osjetljivih prema solima.

Na osnovi interpretacije kakvoće vode Vranskog jezera upotrebom klasifikacija, može se zaključiti da takva voda nije pogodna za natapanje. Međutim, u literaturi postoje podaci da se upotrebom vode za natapanje sličnih ili većih koncentracija soli, prinos uzgajanih kultura nije smanjio. Tako su Jury i sur.(1978) natapali pšenicu u lizimetrima vodom vrijednosti  $EC_w$  7.1 dS/m bez štetna djelovanja na prinos. Bressler (1979) i Dhir (1976) ističu da se voda od  $EC_w$  4 do 15 dS/m može koristiti za natapanje određenih kultura. Jednako tako treba dodati da su upotrijebljene klasifikacije rezultat istraživanja i u sasvim drugačijim tehnološkim i agroekološkim uvjetima. Naime, na prostoru Kalifornije godišnje padne oko 300 mm oborina pa je time natapanje redovita tehnološka mjera u poljoprivrednoj proizvodnji. Za razliku od toga, na području Vranskog bazena u prosjeku padne 900 mm oborina, a natapanje je dopunska mjera, posebice za neke od uzgajanih kultura.

Na sastanku UN World Food Conference 1974. godine (citira Rhoades, 1987) zaključeno je kako se u budućnosti očekuje mala ekspanzija natapanih površina, budući da se raspoloživa pogodna zemljišta i voda uglavnom koriste. Autor smatra da taj zaključak nije sasvim valjan jer je koncept pogrešno primijenjen zbog upotrebe konzervativnih standarda za predviđanje pogodnosti vode (i tala) za natapanje. Voda, konvencionalnim metodama često klasificirana kao nepodgovna za natapanje, može se uspješno upotrebljavati, bez dugoročno štetnih posljedica za biljku i tlo čak uz primjenu uobičajenih postupaka. U svojoj strategiji ocjene kakvoće natapne vode, Rhoades (1987.) predlaže model za računala naziva "Watsuit". Model ima cilj predvidjeti zasljenjenost, alkalitet i toksičnost unutar rizosfere kao rezultata natapanja vodom poznata ionskog sastava u ustalnom (steady - state) stanju. Autor je rizosferu podijelio u četiri horizonta iz kojih biljka uzima različite količine vode (40, 30, 20, 10 % iz pojedinog horizonta po dubini). Parcijalni tlak  $CO_2$  mijenja se dubinom, a na površini tla iznosi 0.07 kPa. Natapanjem vodom poznata ionskog sastava, doći će do kemijski uravnotežene distribucije soli unutar profila tla, a koja odgovara odabranoj frakciji ispiranja (LF). U skladu s takvim uvjetima u tlu, vodu treba ocijeniti kroz mogućnost uzgoja kultura kojima oni pogoduju ili promjenom gospodarenja (promjenom LF ili dodavanjem kemikalija) proizvesti uvjete koji odgovaraju uzgajanoj kulturi.

*Distribucija soli kao rezultat natapanja prosječnim vodama Vranskog jezera dobivena upotrebom programa "Watsuit"*

Tablica 10-1

Horizont	$EC_e$ dS/m	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$K^+ + Na^+$	Cl <sup>-</sup>	$HCO_3^-$	$SO_4^{2-}$	$SAR_e$ (mmol/L) <sup>0.5</sup>
0	6.46	2.43	2.77	54.70	54.85	3.14	1.10	26.48
1	9.12	4.80	3.96	78.14	78.36	6.24	1.57	30.60
2	13.09	7.28	5.83	115.16	115.47	9.77	2.32	38.07
3	18.56	8.61	8.52	168.31	168.77	12.55	3.38	46.35
4	23.35	9.57	11.08	218.80	219.40	14.90	4.40	56.73

**Distribucija soli kao rezultat natapanja vodama najniže koncentracije soli u Vranskom jezeru dobivena upotrebom programa "Watsuit"**

Tablica 10-2

Horizont	EC <sub>e</sub> dS/m	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup> +Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	SAR <sub>e</sub> (mmol/L) <sup>0.5</sup>
0	2.70	2.73	0.45	21.50	21.43	2.37	0.20	15.91
1	3.91	5.04	0.64	30.71	30.61	4.84	0.29	17.96
2	5.74	7.47	0.95	45.26	45.12	7.50	0.42	21.75
3	8.00	8.95	1.38	66.15	65.94	9.28	0.62	28.70
4	10.15	10.08	1.80	86.00	85.72	10.70	0.80	34.80

Pri ocjeni vode Vranskog jezera u svrhu natapanja upotrebom modela "Watsuit", kao ulazni podaci poslužile su prosječne i minimalne vrijednosti koncentracije traženih iona. Primjenom tih voda u ustaljenim uvjetima, uz LF od 0.25 i bez dodavanja kemikalija, koncentracija soli i pojedinih iona u rizosferi postigla bi vrijednosti predočene u tablicama 10-1 i 10-2.

Iz rezultata iz tablice 10-1 vidi se da bi prosječna koncentracija soli u rizosferi natapanog tla iznosila 13.09 dS/m. Uzimajući u obzir rezultate Maasa i Hoffmana (1977.), te Maasa (1986.), možemo istaknuti da bi takvu koncentraciju soli u rizosferi podnijele samo neke, na soli vrlo tolerantne kulture (ječam). Autori su predočili i rezultate tolerantnosti 19 povrtnih kultura (Vranski je bazen tipičan povrćarski kraj). Samo 5 kultura (tikvice, rotkvica, brokoli, špinat i celer) uzgajanih u takvim uvjetima dale bi prinos, ali 50% manji od njihova potencijala. Povećanjem LF na 0.8 smanjila bi se prosječna EC<sub>e</sub> na 7.62 dS/m, što povećava mogućnost izbora kultura kojima takvi uvjeti odgovaraju. Visoka koncentracija Na<sup>+</sup> rezultirala je visokom SAR<sub>e</sub> vrijednošću otopine tla (46.75 (mmol/L)<sup>0.5</sup>). Dodavanje CaSO<sub>4</sub> jedna je od mjera gospodarenja na alkaliziranim tlima ili pri natapanju alkaliziranim vodama (Oster i Rhodes, 1990). Količina od 10 meq CaSO<sub>4</sub>, uz LF od 0.8, prosječnu bi SAR<sub>e</sub> vrijednost smanjila na 20.07 (mmol/L)<sup>0.5</sup>. Koncentracija Cl<sup>-</sup> u otopini tla kod LF od 0.25 bila bi toksična za mnoge kulture. Prema podacima Maasa (1986) maksimalno dozvoljena koncentracija Cl<sup>-</sup> u otopini tla iznosi od 15 do 60 mmol/L. Povećanjem frakcije ispiranja smanjila bi se koncentracija klorida.

Distribucija soli dobivena programom "Watsuit", s ulaznim podacima minimalne koncentracije soli u Vranskom jezeru, povoljnija je. Upotreba takve vode u ustaljenim uvjetima, proizvela bi prosječnu EC<sub>e</sub> vrijednost u rizosferi od 6.02 dS/m pri frakciji ispiranja od 0.25. Takva koncentracija soli omogućuje izbor velikog broja kultura kojima će takvi uvjeti odgovarati. Povećanje frakcije ispiranja još bi više smanjilo koncentraciju soli u rizosferi. Dodavanjem samo 1 meq CaSO<sub>4</sub> smanjila bi se prosječna SAR<sub>e</sub> vrijednost u rizosferi za 2 (mmol/L)<sup>0.5</sup>.

Upotreba takva modela omogućuje predviđanje dugoročnih posljedica koje natapanje vodom poznata ionskog sastava može ostaviti u tlu u ustaljenim uvjetima. Omogućuje, također, da se promjenom LF i/ili dodavanjem kemikalija (CaSO<sub>4</sub> i

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), ostvare uvjeti koji će odgovarati određenoj kulturi. Međutim, time se otvara pitanje kada i u kojim se uvjetima može postići ustaljeno stanje, koliki se LF može ostvariti u prirodnim uvjetima te koliki je doprinos prirodnog ispiranja, što se povezuje s oborinama.

Velik je broj klasifikacija za tumačenje kakvoće natapne vode razvijen tijekom povijesti. Svaka od njih može biti korisna, ali nijedna ne zadovoljava u potpunosti zbog velikog broja varijabli koje tumačenje uključuje. Naime, da bi klasifikacije mogle pokriti široko područje primjene, morale su biti pojednostavljene. Treba dodati da su klasifikacije rezultat istraživanja ili iskustva u točno definiranim agroekološkim uvjetima. Kako ističe Rhoades (1972.), nemoguće je izdvojiti precizne standarde koji će imati široku primjenu. Pogodnost vode treba ocijeniti na osnovi specifičnih uvjeta upotrebe, uključujući uzgajanu biljku, svojstva tla, praksu natapanja, agrotehničke mjere i klimatske prilike. Otpornost je biljnih vrsta na soli također različita, a kreće se, prema podacima Maasa i Hoffmana (1977.), i preko pet puta. I unutar pojedine biljne vrste ima mnogo kultivara različito otpornih na soli, a tolerantnost biljke varira i s razvojnom fazom. Klimatski uvjeti mogu modificirati reagiranje biljke prema solima. Tolerantna razina saliniteta otopine tla ne ovisi samo o tolerantnosti uzgajane biljke već i o distribuciji soli u profilu tla, o učestalosti i stupnju smanjenja koncentracije otopine tla između natapanja te sadržaju vode u tlu (Suarez 1989.). Odnos je sastava i koncentracije otopine tla i natapne vode složen i dinamičan i ovisi o velikom broju čimbenika koje je teško kvantificirati. Ispiranje je soli iz tla mjera gospodarenja pri primjeni zaslanjenih voda. Učestalost i stupanj ispiranja ovisi o kvaliteti vode, ali i o svojstvima tla i klimatskim karakteristikama. Cilj je navedenoga pokazati koje varijable djeluju pri ocjeni kvalitete natapne vode. Najveća je teškoća kvantificirati te odnose u praktično primjenjiv oblik. Stoga ne preostaje drugo nego vodu Vranskog jezera, takvu kakva jest, prihvatiti samo kao ulazni podatak, a posljedice koje ona može izazvati testiramo eksperimentima na lokaciji gdje bi mogla biti upotrijebljena, dakle u Vranskom bazenu.

## 10.4. ZAKLJUČCI

Na temelju provedenih istraživanja te analiza i tumačenja dobivenih podataka i rezultata, može se zaključiti ovo:

1. Voda Vranskog jezera fluktuirala je više od 1 m tijekom razdoblja istraživanja. U dijelu razdoblja istraživanja njena razina bila je ispod nulte kote. Na razinu vode u jezeru, osim oborina, utječu i drugi čimbenici.
2. Razina vode u moru bila je veća od razine vode u jezeru, što je zbog razlike hidrostatskog tlaka i specifičnih hidrogeoloških prilika rezultiralo prodorom morske vode u jezero. Međutim, razine se vode ne prate, što je statistički potvrđeno.
3. Koncentracija soli u Vranskom jezeru mijenjala se 5.5 puta, a u izravnoj je vezi s razinom vode, što je također statistički potvrđeno.

4. Dominantni je kation u vodi jezera  $\text{Na}^+$ , a anion  $\text{Cl}^-$ , koji u prosjeku čini i preko 90% analiziranih kationa odnosno aniona.
5. Voda Vranskog jezera, primjenom dviju klasifikacija ocijenjena je kao nepogodna za natapanje. Primjenom modela "Watsuit", natapanjem prosječnom vodom u ustaljenom stanju proizvelo bi uvjete u tlu koji bi odgovarali vrlo malom broju, na soli tolerantnih, kultura.

## LITERATURA

1. APHA (1980): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (15th Edition). APHA-AWWA-WPCF, Washington D.C.
2. ASA-SSSA (1982): Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties - Agronomy Monograph No.9 (2nd Edition). Madison, Wisconsin, USA.
3. Ayers R.S., Westcot D.W. (1985): Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29. Rev. 1. Rome.
4. Bella S. (1935): Melioracija tla. vlastita naklada. Tiskara Ivan Lesnik, Jastrebarsko.
5. Beraković Marija (1983): Pregrada na Vranskom jezeru. Idejno rješenje. Knjiga I. Klimatološko - hidrološka obrada sliva Vranskog jezera. Elektroprojekt Zagreb.
6. Bower C.A., Wilcox L.A., Akin C.W., Keyes M.G. (1965): An index of the tendency of  $\text{CaCO}_3$  to precipitate from irrigation waters. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 29: 91-93.
7. Bower C.A., Ogata M., Tucker J.M. (1968): Sodium hazard of irrigation waters as influenced by leaching fraction and by precipitation or solution of calcium carbonate. Soil Sci. 106, No.1:29-34.
8. Bressler M.B. (1979): The use of saline water for irrigation in the USSR. Joint Commission of scientific and technical cooperation. Water resource.
9. Dhir R.D. (1976): Investigation into use of highly saline waters in an arid environment. Salinity and alkali hazard conditions in soil under a cyclic management system. Proc. Int. Salinity Conf. on managing saline water for irrigation. Texas Tech. Univ. Lubbock. Str.608-609.
10. Fritz F. (1984): Postanak i starost Vranskog jezera kod Biograda na moru. Geološki vjesnik. Vol. 37:231-243.
11. Jury W.A., Frenkel H., Devitt D., Stolzy L.H. (1978): Use of saline irrigation waters and minimal leaching for crop production. Hilgarding 46 (5): 169-192.
12. Langelier W.F. (1936): The analytical control of anti-corrosion water treatment. J. Am. Water Works Assoc. 28: 1500-1521
13. Maas E.V., Hoffman G.J. (1977): Crop salt tolerance - Current assessment. J. Irrigation and Drainage Division, ASCE 103: 115-134.
14. Maas E.V. (1986): Salt Tolerance of Plants. Applied Agricultural Research No.1:12-25.
15. Oster J.D., Schroer F.W. (1979): Infiltration as influenced by irrigation water quality, Soil Sci. Soc. Am. J. 43:444-447.



16. Oster J.D., Rhoades J.D. (1990): Steady - State Root Zone Salt Balance. Chapter 22, ASCE Salinity Assessment and Management Handbook: 469-481.
17. Rhoades J.D. (1968): Mineral - weathering correction for estimating the sodium hazard of irrigation waters. Soil Sci. Soc. Am Proc. 32: 648-652.
18. Rhoades J.D. (1987): Use of Saline Water for Irrigation. WHO Collaborating Center on Surface and Ground Water Quality, Water Quality Bulletin, Volume 12, No 1:14-20.
19. Suarez D.L. (1981): Relation Between  $pH_e$  and Sodium Adsorption Ratio (SAR) and an Alternative Method of Estimating SAR of Soil or Drainage Waters. Soil Sci. Soc. Am. J. Vol. 45: 469 - 475.
20. Szabolcs I. (1979): Review of research on salt affected soils. Natural Resources Research XV, UNESCO, Paris.
21. United States Salinity Laboratory Staff (1954): Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, USDA Handbook, No. 60, Washington.