

**UNIVERZITET U BEOGRADU**

***Građevinski fakultet***

***Mr Mile M. Božić, dipl.inž.građ.***

***PROCENE UČINKA I POKAZATELJI EFIKASNOSTI  
DRENAŽNIH SISTEMA ZA UPRAVLJANJE  
REŽIMOM PODZEMNIH VODA  
NA POLJOPRIVREDNIM PODRUČJIMA***

***Doktorska disertacija***

***Beograd, 2016. godina***

**UNIVERSITY OF BELGRADE**  
**FACULTY OF CIVIL ENGINEERING**

*Mile M. Božić, M.Sc.C.E.*

**PERFORMANCE EVALUATION AND  
INDICATORS OF THE EFFICIENCY OF  
DRAINAGE SYSTEMS FOR MANAGEMENT  
OF THE GROUNDWATER REGIME  
ON AGRICULTURAL LAND**

*Doctoral Dissertation*

*Belgrade, 2016.*

*Ova doktorska disertacija urađena je na  
Građevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu.*

*Mentor disertacije bio je prof.dr Marko Ivetić,  
kome se zahvaljujem na razumevanju, pomoći i korisnim savetima  
tokom izrade disertacije.*

*Zahvalnost dugujem profesorima  
dr Milošu Staniću i dr Nevenki Đurović, članovima komisije,  
na podrškama, sadržajnim sugestijama i višegodišnjoj saradnji  
koja je započela još pre izrade ovog rada.*

*Posebna zahvalnost profesorima  
dr Savi Petkoviću, dr Svetlani Potkonjak i dr Milenku Pušiću  
na brojnim korisnim savetima koje su mi pružili tokom izrade disertacije.*

*Ovom prilikom bih se posebno zahvalio mojim kolegama  
iz Zavoda za hidrotehničke melioracije Instituta za vodoprivredu "Jaroslav Černi",  
koji su mi pomogli u sistematizaciji podataka merenja, statističkim analizama,  
proračunima i štampanju rada.*

*Na kraju, ali nipošto manje važna, je moja zahvalnost supruzi i kćerkama  
na strpljenju, razumevanju i pomoći tokom svih ovih godina.*

*Mr Mile M. Božić, dipl.inž.građ.*

---

## **PROCENE UČINKA I POKAZATELJI EFIKASNOSTI DRENAŽNIH SISTEMA ZA UPRAVLJANJE REŽIMOM PODZEMNIH VODA NA POLJOPRIVREDNIM PODRUČJIMA**

### **REZIME**

Rizik od prevlaživanja poljoprivrednog zemljišta podzemnim vodama je u manjoj ili većoj meri zastupljen na svim poljoprivrednim površinama. Poznavanje režima podzemnih voda, u različitim prirodnim uslovima, predstavlja osnov za izbor i primenu tehnički ispravnih i ekonomski opravdanih rešenja u oblasti upravljanja režimom podzemnih voda. Upravljanje režimom podzemnih voda na poljoprivrednim područjima je značajno i predstavlja veoma složen i kreativan posao koji iziskuje relevantne i pouzdane informacije o prirodnoj sredini i objektima drenažnih sistema. Takođe, drenažni sistemi najčešće pokrivaju veoma velike površine i sa socio-ekonomskog stanovišta predstavljaju jedne od najvrednijih infrastrukturnih sistema. I pored toga ne postoji jasna metodologija sa kojom bi se mogli kvantifikovati efekti njihovog rada.

Procene učinka su poslednjih godina uobičajene u analizi rada irigacionih sistema, prvenstveno zbog sve većih deficita vode za navodnjavanje u većini aridnih područja u svetu. Razvoju metodologije za procene učinka drenažnih sistema na poljoprivrednim zemljištima se do skoro nije posvećivala značajnija pažnja. Praktična primena procena učinka još uvek nije uobičajena u analizi rada drenažnih sistema u svetu, a pogotovu ne u Srbiji. Razlozi za to su različiti: velika prostorna i vremenska varijabilnost prirodnih uticaja, čak i u okviru istog sliva, neravnomeran stepen razvoja, planiranja, izgradnje i rada drenažnih sistema, što otežava definisanje jedinstvenih pokazatelja koji bi važili za sva područja.

U disertaciji su pre svega definisani najvažniji tehnički i ekonomski pokazatelji učinka, kao i metodologija za njihovo određivanje. Pošlo se od činjenice da se na osnovu saznanja o hidrološkim, fizičko-mehaničkim svojstvima istraživanog područja i parametrima bilansa podzemnih voda, planira i gradi drenažni sistem. Od tog trenutka, rad drenažnog sistema, kao i efekti projektovanih mera za upravljanje režimom podzemnih voda na poljoprivrednim područjima, mogu se simulirati primenom odgovarajućih matematičkih modela. Na osnovu tih simulacija se prate pokazatelji učinka drenažnog sistema. Svrha procena učinka je da se oceni funkcionisanje sistema u odnosu na postavljene standarde,

---

kao i da se predloži i metodologija, prvo za smanjenje neodređenosti pokazatelja učinka, a zatim i njihovo poboljšanje.

U okviru disertacije prikazana je metodologija za utvrđivanje pokazatelja učinka kompleksnih drenažnih sistema, imajući u vidu tačnost ulaznih podataka na osnovu kojih se oni računaju. Saznanja takvih analiza ukazuju na složenost utvrđivanja učinka, mera za smanjenje neodređenosti pokazatelja i mera vezanih za ekonomsko-socijalno poboljšanje samih vrednosti pokazatelja. Posebna pažnja je posvećena oceni učinka drenažnih sistema za upravljanje režimom podzemnih voda na poljoprivrednim područjima.

Proteklih decenija, u zemljama sa tradicijom u izgradnji drenaže, konstatovano je da je za procene učinka drenažnih sistema na poljoprivrednim područjima neophodno više osmatranja i merenja na drenažnim poljima, odnosno više relevantnih informacija. S obzirom da često u procenama učinka postoje nedovoljno istražene relacije između prirodnog okruženja i drenažnog sistema, predmet istraživanja u ovom radu su relevantni pokazatelji za procene učinka, popravljavanje njihove neodređenosti i primena tako dobijenih saznanja na izgrađenom i osmotrivom drenažnom sistemu na području Pančevačkog rita. Režim podzemnih voda na ovom izuzetno složenom drenažnom sistemu, koga čine sedam podslivova, zavisi od prirodnih i antropogenih faktora. Za popravljavanje učinka dosadašnjeg, potpuno neadekvatnog upravljanja režimom podzemnih voda, analizirano je nekoliko različitih scenarija koji su obuhvatali odgovarajuće upravljačke, tehničke i ekonomske kriterijume. Pokazano je da se pokazatelji učinka postojećeg sistema za odvodnjavanje mogu značajno poboljšati uz sprovođenje određenih tehničkih i upravljačkih mera. Imajući u vidu složenost drenažnog sistema za odvodnjavanje u Pančevačkom ritu analizirana je neodređenost pokazatelja efikasnosti rada drenažnog sistema. To su neodređenost visina padavina, količina prepumpanih voda iz crpnih stanica i osetljivost na promenu relevantnih ekonomskih pokazatelja rada postojećeg drenažnog sistema. Dobijeni rezultati ukazuju da za ispitivane parametre postoji izvestan stepen neodređenosti. Najveći stepen neodređenosti je utvrđen pri određivanju količina prepumpanih voda u crpnim stanicama i kreće se od 15% do čak 40%.

Metodologija za procenu i popravljavanje pokazatelja učinka drenažnih sistema za upravljanje režimom podzemnih voda na poljoprivrednim područjima, prikazana u disertaciji, predstavlja doprinos u procesu izrade novih planova, strategija i propisa za razvoj drenažnih sistema.

---

**Ključne reči:** drenažni sistemi, režim podzemnih voda, poljoprivredna područja, procena učinka, pokazatelji efikasnosti, neodređenost pokazatelja, matematički modeli za simuliranje dinamike podzemnih voda, Pančevački rit

**Naučna oblast:** GRAĐEVINSKO INŽENJERSTVO

**Uža naučna oblast:** HIDROTEHNIKA

**UDK:** 626.8 (043.3)

---

**PERFORMANCE EVALUATION AND INDICATORS OF THE EFFICIENCY  
OF DRAINAGE SYSTEMS FOR MANAGEMENT OF THE GROUNDWATER  
REGIME ON AGRICULTURAL LAND**

**ABSTRACT**

The risk of waterlogging in agricultural land, due to high groundwater levels, exists to a degree in all agricultural areas. Understanding the groundwater regime in different natural conditions forms the basis for selecting and implementing technically correct and economically viable solutions in a field of groundwater management. Groundwater management in agricultural areas is important and represents very complex and creative work that requires relevant and reliable data on the natural environment and structures of the drainage systems. Also, drainage systems mostly cover wide areas and represent one of the most valuable infrastructural systems, from a socio-economic point of view. In spite of this, there is no clear methodology for quantifying the effects of their work.

In recent years, performance evaluation of irrigation systems has become common, primarily due to the increasing deficit of water for irrigation in arid regions worldwide. Until recently, developing a methodology for the assessment of the performance of agricultural land drainage systems hasn't drawn much attention. Therefore, a practical application of the performance evaluation of drainage systems operation is not common yet, especially not in Serbia. The reasons for this are various: large spatial and temporal variability of natural influences, even within the same drainage basin, uneven levels of development, planning, construction and operation of drainage systems, which impedes the defining of unique indicators that would cover all areas.

The most important technical and economic performance indicators, as well as the methodology for their determination, are defined in this dissertation. The starting point is the fact that an understanding of hydrological and physical-mechanical properties of the study area and the parameters of the groundwater balance form the basis for planning and building a drainage system. From that point on, the operation of a drainage system, as well as the effects of the designed measures for groundwater management in agricultural areas, can be simulated using the appropriate mathematical models. These simulations are used to observe the performance indicators of the system. The purpose of the performance evaluations is to assess the functioning of the system in relation to the set standards, and to

---

propose a methodology for decreasing the uncertainty of performance indicators, as well as for their improvement.

The methodology for determining the performance indicators of complex drainage systems is given in this dissertation, taking into account the accuracy of input data used for their calculation. The findings of these analyses indicate the complexity of determining the performance, the measures for reducing the uncertainty of indicators and measures related to the socio-economic improvement of the indicator values themselves. Special attention is paid to the performance assessment of drainage systems for groundwater management in agricultural areas.

In recent decades, in countries with a tradition of drainage construction, it has been noted that additional observations and measurements in the drainage fields, i.e. more relevant information, is required for the performance evaluation of drainage systems in agricultural areas. Considering that the relations between the environment and drainage systems are often insufficiently examined in performance evaluations, the focus of this research is on the relevant indicators for the performance evaluation, decreasing their uncertainty and applying the obtained knowledge on the existing drainage system in the area of Pančevački Rit. The groundwater regime in this extremely complex drainage system, which consists of seven sub-basins, depends on natural and anthropogenic factors. To alleviate the effect of the current, and the completely inadequate management of the groundwater regime, a number of different scenarios that include adequate operational, technical and economic criteria were analyzed. It is shown that the performance indicators of the existing drainage system can be significantly improved by implementing certain technical and control measures. Given the complexity of the drainage system in Pančevački Rit, the uncertainty of efficiency indicators was analyzed. These uncertainties include the amount of precipitation, the amount of water pumped by pumping stations and the sensitivity to change of the relevant economic indicators of the existing drainage system operation. The results indicate that a degree of uncertainty exists for the examined parameters. The highest degree of uncertainty was established in determination of the amount of pumped water, and ranges from 15 to 40%.

The methodology for assessing and improving the performance indicators of drainage systems used for groundwater management in agricultural areas, which is presented in this dissertation, represents a contribution to the development of new plans, strategies and regulations regarding the development of drainage systems.

---



**Key words:** drainage systems, groundwater regime, agricultural land, performance evaluation, efficiency indicators, uncertainty of indicators, mathematical modelling of groundwater flow, Pančevački Rit

**Scientific area:** CIVIL ENGINEERING

**Scientific subarea:** HYDROTECHNICS

**UDK:** 626.8 (043.3)

---

## S A D R Ž A J

<b>1. UVOD</b>	1
1.1 CILJEVI RADA	2
1.2 ISTORIJSKI OSVRT	4
1.3 ZADACI ISTRAŽIVANJA	5
1.4 PRIMENJENE METODE ISTRAŽIVANJA	6
1.5 PODRUČJE ISTRAŽIVANJA	7
1.6 SADRŽAJ RADA	7
<b>2. PREGLED LITERATURE</b>	10
2.1 MONITORING U OBLASTI DRENAŽNIH SISTEMA U POLJOPRIVREDI	12
2.1.1 Monitoring padavina	12
2.1.2 Monitoring evapotranspiracije	12
2.1.3 Monitoring nivoa, kretanja i kvaliteta podzemnih voda	13
2.1.4 Monitoring nivoa vode u prirodnim vodotocima i drenažnim kanalima	14
2.2 UPRAVLJANJE REŽIMOM PODZEMNIH VODA I NUMERIČKO MODELIRANJE KRETANJA PODZEMNIH VODA	14
2.3 TESTIRANJE PERFORMANSI SISTEMA (BENCHMARKING)	18
2.3.1 Definicija benčmarkinga	18
2.3.2 Tipovi benčmarkinga	21
2.3.3 Faze procesa benčmarkinga	22
2.3.4 Osnovni deskriptori sistema za navodnjavanje i odvodnjavanje	25
2.3.5 Osnovni indikatori performansi sistema za navodnjavanje i odvodnjavanje	27
2.3.6 Indikatori performansi sistema za odvodnjavanje i njihova procena	29
2.3.7 Implementacija programa performansi sistema za odvodnjavanje	30
2.4 EKOLOŠKI ASPEKTI ODVODNJAVANJA POLJOPRIVREDNIH POVRŠINA	31
2.4.1 Uticaj odvodnjavanja na okolinu i geografska rasprostranjenost	31
2.4.2 Konceptualni modeli uticaja odvodnjavanja na okolinu	38
2.4.3 Održivi sistemi za odvodnjavanje	40
<b>3. PRIKAZ POKAZATELJA ZA PROCENU UČINKA DRENAŽNIH SISTEMA</b>	44
3.1 DEFINICIJE I OSNOVNE POSTAVKE	44
3.2 KARAKTERISTIKE PROCENE UČINKA DRENAŽNIH SISTEMA	46
3.3 DELOKRUG PROCENE UČINKA DRENAŽE	47

3.4	<b>POKAZATELJI PROCENE UČINKA DRENAŽNIH SISTEMA</b>	49
3.4.1	Osnovna svojstva pokazatelja učinka	50
3.4.2	Klasifikacija tehničkih pokazatelja za procenu rada drenažnih sistema	52
3.4.3	Svojstva pokazatelja za procenu učinka drenažnih sistema	56
3.4.4	Prikaz najznačajnijih direktnih tehničkih pokazatelja za procenu učinka drenažnih sistema	57
3.4.5	Prikaz najznačajnijih indirektnih tehničkih pokazatelja za procenu učinka drenažnih sistema	61
3.4.6	Prikaz najznačajnijih ekonomskih pokazatelja za procenu učinka drenažnih sistema	67
3.5	<b>PROGRAM PROCENE UČINKA</b>	74
3.5.1	Prvi korak: preliminarna istraživanja	75
3.5.2	Drugi korak: primarna istraživanja	76
3.5.3	Treći korak	76
3.6	<b>POUZDANOST I MOGUĆNOST UPOTREBE REZULTATA PROCENE UČINKA RADA DRENAŽNIH SISTEMA</b>	77
4.	<b><i>METODE REŠAVANJA STRUJANJA PODZEMNIH VODA KOD KOMPLEKSNIH DRENAŽNIH SISTEMA</i></b>	80
4.1	<b>SPECIFIČNOSTI DRENAŽNIH SISTEMA</b>	80
4.2	<b>VODOPRIVREDNI BILANS PODZEMNIH VODA</b>	82
4.2.1	Hidrološke metode	82
4.2.2	Hidrodinamičke metode	84
4.2.3	Određivanje vertikalnih faktora bilansa i karakteristika porozne sredine na osnovu osmatranja režima podzemnih voda	85
4.3	<b>TEORIJSKE OSNOVE STRUJANJA PODZEMNIH VODA</b>	88
4.3.1	Granični uslovi	91
4.3.2	Kalibracija modela	93
5.	<b><i>TEHNIČKI I EKONOMSKI POKAZATELJI EFIKASNOSTI RADA KOMPLEKSNOG DRENAŽNOG SISTEMA U PANČEVAČKOM RITU</i></b>	95
5.1	<b>OSNOVNE KARAKTERISTIKE PODRUČJA PANČEVAČKOG RITA</b>	95
5.1.1	Opšti podaci	95
5.1.2	Opšte karakteristike režima podzemnih voda	98
5.1.3	Kriterijumi za upravljanje režimom podzemnih voda na području Pančevačkog rita	103
5.1.4	Koncept rešenja uređenja režima podzemnih voda na poljoprivrednim područjima	103
5.2	<b>TEHNIČKA REŠENJA ZA UPRAVLJANJE REŽIMOM PODZEMNIH VODA</b>	104
5.3	<b>TEHNIČKI POKAZATELJI EFIKASNOSTI RADA DRENAŽNIH SISTEMA</b>	107

5.3.1	Nivoi podzemnih voda u funkciji vremena _____	108
5.3.2	Raspored nivoa podzemnih voda po prostoru _____	111
5.4	<b>ANALIZA UTICAJA POJEDINIH FAKTORA NA EFIKASNOST SISTEMA ZA ODVODNJAVANJE U PANČEVAČKOM RITU _____</b>	112
5.4.1	Područje obuhvaćeno modelom _____	113
5.4.2	Prostorne i filtracione karakteristike _____	113
5.4.3	Granični uslovi _____	115
5.4.4	Kalibracija i verifikacija matematičkog modela režima podzemnih voda _____	118
5.5	<b>ANALIZA EFIKASNOSTI RADA DRENAŽNOG SISTEMA ZA RAZLIČITE SCENARIJE UPRAVLJANJA _____</b>	122
5.6	<b>DISKUSIJA DOBIJENIH REZULTATA _____</b>	133
6.	<b><i>PRIKAZ METODOLOGIJE ZA POPRAVLJANJE ODABRANIH POKAZATELJA UČINKA DRENAŽNIH SISTEMA _____</i></b>	135
6.1	<b>PREGLED MOGUĆIH NEODREĐENOSTI KOD POKAZATELJA UČINKA DRENAŽNIH SISTEMA NA POLJOPRIVREDNIM PODRUČJIMA _____</b>	135
6.1.1	Neodređenost u analizama i projektovanju hidrotehničkih sistema _____	135
6.1.2	Neodređenost numeričkih modela _____	136
	<i>6.1.2.1 Neodređenost ulaznih parametara _____</i>	137
	<i>6.1.2.2 Neodređenosti numeričkog modeliranja dinamike podzemnih voda _____</i>	142
6.2	<b>PRIKAZ METODOLOGIJE ZA POPRAVLJANJE HIDROLOŠKE NEODREĐENOSTI MESEČNIH SUMA PADAVINA _____</b>	148
6.2.1	Teorijske postavke _____	148
6.3	<b>PRIKAZ METODOLOGIJE ZA POPRAVLJANJE NEODREĐENOSTI PREPUMPANIH KOLIČINA VODE U CRPNIM STANICAMA _____</b>	158
6.4	<b>ANALIZA OSETLJIVOSTI KOD DRENAŽNIH SISTEMA _____</b>	159
7.	<b><i>PRIKAZ PRIMENE METODOLOGIJE ZA POPRAVLJANJE ODABRANIH POKAZATELJA UČINKA NA ODABRANOM DRENAŽNOM SISTEMU NA PODRUČJU PANČEVAČKOG RITA _____</i></b>	162
7.1	<b>NEODREĐENOST SUMA PADAVINA ZA PANČEVAČKI RIT SA PREDLOGOM ZA POPRAVLJANJE _____</b>	162
7.1.1	Praktična primena VNC na području Pančevačkog rita _____	162
7.2	<b>NEODREĐENOST PREPUMPANIH KOLIČINA VODE SA PREDLOGOM ZA POPRAVLJANJE NA PRIMERU CS "BORČA-NOVA" _____</b>	166
7.2.1	Tehničke karakteristike odabrane crpne stanice „Borča-Nova“ _____	166
7.2.2	Sprovedena merenja proticaja, na zajedničkom cevovodu, ultrazvučnom metodom _____	167

7.2.3	Rezultati merenja	169
7.2.4	Zaključci	171
7.3	<b>REZULTATI PRIMENE ANALIZE OSETLJIVOSTI POKAZATELJA EKONOMSKE EFIKASNOSTI DRENAŽNIH SISTEMA NA PODRUČJU PANČEVAČKOG RITA</b>	171
8.	<b>ZAKLJUČCI</b>	183
9.	<b>LITERATURA</b>	188

## **PRILOZI**

⇒	<b>ANEKS 1</b>	194
	<b>MESEČNE I GODIŠNJE SUME PADAVINA (mm)</b>	
	– T-1/1 P. S. Sakule	
	– T-1/2 P. S. Kovačica	
	– T-1/3 P. S. Crepaja	
	– T-1/4 P. S. Pančevo	
	– T-1/5 P. S. Borča	
	– T-1/6 P. S. Batajnica	
	– T-1/7 P. S. Stara Pazova	
	– T-1/8 P. S. Besni Fok	
	– T-1/9 P. S. Beograd	
	– T-2 P. S. Beljarica	
⇒	<b>ANEKS 2</b>	205
	<i>Tabela 1. Proračun neto sadašnje vrednosti (NSW), €</i>	
	<i>Tabela 2. Proračun interne stope rentabilnosti (ISR), %</i>	
	<i>Tabela 3. Senzitivna analiza - povećanje ulaganja za 20%</i>	
	<i>Tabela 4. Senzitivna analiza - smanjenje primanja za 20%</i>	

## SADRŽAJ SLIKA

<b>Slika 2.1</b>	<b>Redosled koraka pri primeni numeričkih modela</b> <i>(izvor: Groundwater modeling, 2014.)</i>	16
<b>Slika 2.2</b>	<b>Faze procesa benčmarkinga</b> <i>(Izvor: ICID, 2004.)</i>	23
<b>Slika 2.3</b>	<b>Šematski prikaz prostornih i vremenskih razmera</b> <i>Izvor: Vincent et al., 2007.</i>	30
<b>Slika 2.4</b>	<b>Pozitivni efekti i uticaji odvodnjavanja</b> <i>Izvor: Scheumann i Freisem, 2002.</i>	33
<b>Slika 2.5</b>	<b>Šematski prikaz nepovoljnih uticaja odvodnjavanja na promene ekosistema</b> <i>Izvor: Blann et al., 2009.</i>	39
<b>Slika 2.6</b>	<b>Konceptualni model uticaja površinskog i podpovršinskog odvodnjavanja na akvatične ekosisteme</b> <i>Izvor: Blann et al., 2009.</i>	40
<b>Slika 3.1</b>	<b>Trougao upravljanja sistemima za navodnjavanje</b> <i>(Vincent B. et al., 2007.)</i>	47
<b>Slika 3.2</b>	<b>Prostorne i vremenske razmere kod procena učinka drenažnih sistema</b> <i>(Vincent B. et al., 2007.)</i>	49
<b>Slika 3.3</b>	<b>Pokazatelji, kriterijumi, ciljni nivoi</b> <i>(Vincent B. et al., 2007.)</i>	50
<b>Slika 3.4</b>	<b>Varijacije u visini vode u kanalu (trapeznog profila) kao funkcija Maning-Striklerovog koeficijenta, ujednačen režim</b>	62
<b>Slika 3.5</b>	<b>Algoritam za prikupljanje i obradu podataka za ocenu efikasnosti drenažnih sistema</b>	70
<b>Slika 3.6</b>	<b>Standardne procedure procene učinka</b> <i>(Smedema L. K. et al., 2004.)</i>	75
<b>Slika 3.7</b>	<b>Stepen preciznosti/pouzdanosti procena učinka</b> <i>(Vincent, B. et al., 2007.)</i>	78
<b>Slika 4.1</b>	<b>Primer korelacione zavisnosti <math>\Delta H = f(P)</math>, za slučaj delovanja isključivo „vertikalnih faktora bilansa“</b> <i>[D. Ibrig, 1962.]</i>	83
<b>Slika 4.2</b>	<b>Primer korelativne zavisnosti <math>q_r = f(\Delta H)</math> za sliv crpne stanice „Reva“ – Pančevački rit (korelacija je rađena za mesece u kojima je radila crpna stanica)</b> <i>[Stanisavljević, 1966.]</i>	84
<b>Slika 4.3</b>	<b>Zavisnost evapotranspiracije sa nivoa podzemne vode i isparavanja sa slobodne vodne površine u funkciji dubine zaleganja podzemne vode</b>	86
<b>Slika 4.4</b>	<b>Zavisnost između infiltracije i padavina</b>	86
<b>Slika 4.5</b>	<b>Šematski prikaz numeričke diskretizacije, početnih i graničnih uslova na modelu</b>	87
<b>Slika 4.6</b>	<b>Položaj ćelije i, j, k i susednih ćelija</b>	90

<i>Slika 5.1</i>	<i>Položaj Pančevačkog rita</i> _____	96
<i>Slika 5.2</i>	<i>Položaj vodotokova koji opasuju Pančevački rit</i> _____	98
<i>Slika 5.3</i>	<i>Pijezometri Pančevačkog rita, korišćeni za kalibraciju modela podzemnih voda</i> _____	101
<i>Slika 5.4</i>	<i>Dijagram zastupljenosti površina terena u Pančevačkom ritu u odnosu na krive trajanja nivoa Dunava, za različite režime rada HE „Đerdap I“</i> ____	102
<i>Slika 5.5</i>	<i>Osnovni tip zaštite i uređenja poljoprivrednih površina u Pančevačkom ritu</i> _____	104
<i>Slika 5.6</i>	<i>Zaštita i uređenje poljoprivrednih površina sa cevnom drenažom</i> _____	105
<i>Slika 5.7</i>	<i>Drenažni bunar</i> _____	107
<i>Slika 5.8</i>	<i>Snimak bunara CB 41 u trenutku izlivanja podzemnih voda (Krnjača, april 2004.)</i> _____	108
<i>Slika 5.9</i>	<i>Registrovani nivoi podzemnih voda u „obodnim“ pijezometrima</i> _____	109
<i>Slika 5.10</i>	<i>Registrovani nivoi podzemnih voda u pijezometrima unutar područja</i> _	110
<i>Slika 5.11</i>	<i>Registrovani nivoi podzemnih voda u pijezometrima pored Tamiša</i> ____	110
<i>Slika 5.12</i>	<i>Raspored maksimalnih nivoa podzemnih voda – mart 1981. godina – (Božić M., 2010.)</i> _____	111
<i>Slika 5.13</i>	<i>Osnovna karta područja Pančevačkog rita</i> _____	114
<i>Slika 5.14</i>	<i>Osmotreni srednji mesečni vodostaj Dunava i Tamiša u periodu 1987. – 2004. god.</i> _____	116
<i>Slika 5.15</i>	<i>Kalibracija i verifikacija matematičkog modela preko registrovanih vodostaja u spoljnim vodotokovima i registrovanih nivoa vode u izabranim pijezometrima</i> _____	119
<i>Slika 5.16</i>	<i>Kalibracija i verifikacija matematičkog modela preko prepumpanih količina vode na crpnim stanicama (sumarni dijagram)</i> _____	119
<i>Slika 5.17</i>	<i>Uporedni prikaz sumarnih količina prepumpane vode</i> _____	120
<i>Slika 5.18</i>	<i>Zaleganje podzemnih voda (10% verovatnoće pojave), verifikovan model Pančevačkog rita</i> _____	121
<i>Slika 5.19</i>	<i>Dijagram ukupno prepumpane vode na području Pančevačkog rita za usvojeni period obrade</i> _____	123
<i>Slika 5.20</i>	<i>Uporedni prikaz sumarnih količina prepumpane vode</i> _____	124
<i>Slika 5.21</i>	<i>Zaleganje nivoa podzemne vode verovatnoće pojave 10% za scenario 1</i> __	124
<i>Slika 5.22</i>	<i>Dijagram ukupno prepumpane vode na području Pančevačkog rita za usvojeni period obrade</i> _____	125
<i>Slika 5.23</i>	<i>Uporedni prikaz sumarnih količina prepumpane vode</i> _____	125
<i>Slika 5.24</i>	<i>Zaleganje nivoa podzemne vode verovatnoće pojave 10% za scenario 2</i> __	126
<i>Slika 5.25</i>	<i>Dijagram ukupno prepumpane vode na području Pančevačkog rita za usvojeni period obrade</i> _____	127
<i>Slika 5.26</i>	<i>Uporedni prikaz sumarnih količina prepumpane vode</i> _____	127
<i>Slika 5.27</i>	<i>Zaleganje nivoa podzemne vode verovatnoće pojave 10% za scenario 3</i> ____	128
<i>Slika 5.28</i>	<i>Dijagram ukupno prepumpane vode na području Pančevačkog rita</i> _____	129

	<i>za usvojeni period obrade</i> _____	
<b>Slika 5.29</b>	<b>Uporedni prikaz sumarnih količina prepumpane vode</b> _____	129
<b>Slika 5.30</b>	<b>Zaleganje nivoa podzemne vode verovatnoće pojave 10% za scenario 4</b> _____	130
<b>Slika 5.31</b>	<b>Zaleganje nivoa podzemnih voda u aprilu 2006. godine</b> _____	132
<b>Slika 5.32</b>	<b>Zaleganje nivoa podzemnih voda u maju 2014. godine</b> _____	132
<b>Slika 6.1</b>	<b>Korelaciona zavisnost mesečnih suma padavina za Beograd i Boljevce</b> (Gregorić E., 2008.) _____	138
<b>Slika 6.2</b>	<b>Tipičan izgled lizimetra</b> ( <a href="http://www.ugt-online.de/en/produkte/lysimetertechnik/lysimeter.html">http://www.ugt-online.de/en/produkte/lysimetertechnik/lysimeter.html</a> ) _____	139
<b>Slika 6.3</b>	<b>Lizimetar sa konstantnim nivoom podzemne vode u Pančevačkom ritu</b> (Hajdin G., 1983.: Osnovi hidrotehnike) _____	141
<b>Slika 6.4</b>	<b>Upoređenje nivograma Save sa nivogramom kanala Galovica u profilu ispred crpne stanica Galovica</b> (Gregorić E., 2008.) _____	142
<b>Slika 6.5</b>	<b>Povećanje srednje letnje temperature vazduha u °C, u Evropi i Srbiji, za period 2071.-2100.</b> (Dankers R. and Hiederer R., 2008.) _____	145
<b>Slika 6.6</b>	<b>Promena indeksa suše pri povećanju temperature vazduha od 2°C u odnosu na period 1961.-1990.</b> (RHMZ Republike Srbije, Odeljenje za agrometeorologiju <a href="http://www.hidmet.gov.rs/podaci/agro/ciril/klipro_agrorhmzs.pdf">http://www.hidmet.gov.rs/podaci/agro/ciril/klipro_agrorhmzs.pdf</a> ) _____	146
<b>Slika 6.7</b>	<b>Relativna promena sezonskih padavina u Evropi do kraja dvadeset prvog veka u odnosu na prosek iz perioda 1961-1991.</b> (a) zima; (b) proleće; (c) leto; (d) jesen (Dankers R. and Hiederer R., 2008.) _____	147
<b>Slika 6.8</b>	<b>Šema standardizacije promenljive <math>X_j</math></b> _____	150
<b>Slika 6.9</b>	<b>Šematski prikaz empirijske prostorne korelacione funkcije</b> _____	154
<b>Slika 6.10</b>	<b>Šematski prikaz zavisnosti <math>U_o = U(X_o)</math> (jednačina 35)</b> _____	157
<b>Slika 7.1</b>	<b>Prostorna korelaciona funkcija mesečnih suma padavina na širem prostoru Pančevačkog rita</b> _____	164
<b>Slika 7.2</b>	<b>Brzine prostiranja ultrazvuka u mirnom i pokretnom fluidu</b> _____	167
<b>Slika 7.3</b>	<b>Dijagram promene pijezometarske kote na potesu pumpe 1</b> _____	170
<b>Slika 7.4</b>	<b>Q-H dijagram pumpe 1 i pumpe 2</b> _____	170
<b>Slika 7.5</b>	<b>Crpna stanica „Borča nova“ – dijagram Q(t) za pumpe 1 i 2</b> _____	170
<b>Slika 7.6</b>	<b>Dinamika realizacija investicija</b> _____	173
<b>Slika 7.7</b>	<b>Investicije po odbranjenom ha (€/ha)</b> _____	174
<b>Slika 7.8</b>	<b>Struktura troškova funkcionisanja</b> _____	177
<b>Slika 7.9</b>	<b>Ukupni troškovi funkcionisanja po scenarijima (fazama) upravljanja</b> _____	177
<b>Slika 7.10</b>	<b>Jedinični troškovi funkcionisanja po odbranjenoj površini</b> _____	178



## SADRŽAJ TABELA

<b>Tabela 2.1</b>	<b>Osnovni deskriptori sistema za navodnjavanje i odvodnjavanje</b> <i>Izvor: (ICID, 2004.)</i>	26
<b>Tabela 2.2</b>	<b>Osnovni indikatori performansi u sektoru navodnjavanja i odvodnjavanja</b> <i>Izvor: (ICID, 2004.)</i>	28
<b>Tabela 2.3</b>	<b>Indikativni podaci za deset zemalja sa najvećim dreniranim površinama</b> <i>Izvor: (International Commission on Irrigation and Drainage, 2001. i podaci CEMAGREF-a)</i>	32
<b>Tabela 2.4</b>	<b>Relativna efikasnost različitih tipova vegetativnih zavesa na smanjenje negativnih efekata odvodnjavanja</b> <i>Izvor: (Hudson R., 2005.)</i>	43
<b>Tabela 3.1</b>	<b>Karakteristike (tehničke, operativne i strateške) procena učinka drenažnih sistema</b> <i>(Vincent B. et al., 2007.)</i>	48
<b>Tabela 3.2</b>	<b>Potencijalni pokazatelji za procenu učinka drenaže</b> <i>(Vincent B. et al., 2007.)</i>	55
<b>Tabela 3.3</b>	<b>Karakteristike pokazatelja brzine opadanja podzemne vode</b>	58
<b>Tabela 3.4</b>	<b>Proračun neto prihoda drenažnog sistema (poljoprivreda)</b>	72
<b>Tabela 3.5</b>	<b>Ekonomski tok drenažnog projekta</b>	73
<b>Tabela 3.6</b>	<b>Projektovanje finansijskog toka novca</b>	74
<b>Tabela 5.1</b>	<b>Osnovne karakteristike slivnih područja</b>	97
<b>Tabela 7.1</b>	<b>Prikaz nelinearnih koeficijenata korelacije <math>r_{i,k}</math> između mesečnih suma padavina na širem prostoru Pančevačkog rita</b>	163
<b>Tabela 7.2</b>	<b>Prikaz najverovatnijih koeficijenata linearne regresije <math>\alpha_{0,j}</math> i težine svake slučajne promenljive <math>\delta_{0j}</math></b>	163
<b>Tabela 7.3</b>	<b>Prikaz koeficijenata standardizovane korelacije između okaliteta Beljarice i svih ostalih padavinskih stanica u regionu Pančevačkog rita – <math>r_{0,j}</math></b>	165
<b>Tabela 7.4</b>	<b>Prikaz proračunatih aprilskih i godišnjih suma padavina sa statističkim parametrima</b>	165
<b>Tabela 7.5</b>	<b>Pregled ugroženih površina po fazama (Sc0-Sc5) [ha]</b>	172
<b>Tabela 7.6</b>	<b>Investiciona analiza</b>	173
<b>Tabela 7.7</b>	<b>Troškovi funkcionisanja po scenarijima (fazama)</b>	176
<b>Tabela 7.8</b>	<b>Proračun efekata primenom diferencijalne kalkulacije</b>	180

## 1. UVOD

Ekonomsko socijalni uslovi u Srbiji nameću potrebu da se poljoprivrednoj proizvodnji, kao velikom domaćem izvozniku, posveti odgovarajuća pažnja u cilju podizanja njene efikasnosti i konkurentnosti. U sadašnjim uslovima, ona je nestabilna i opterećena je nizom prirodnih i antropogenih faktora. Sa jedne strane, hidrogeološke i pedološke odlike zemljišta diktiraju vrstu poljoprivrednih aktivnosti, dok klimatske karakteristike područja utiču na to da je poljoprivredna proizvodnja i prostorno i unutar godine nestabilna. Sa druge strane, društveno ekonomski uslovi (vlasnički odnosi, veličina poseda, organizaciona struktura i dr.) nepovoljno utiču na primenu savremenih agrotehničkih i organizacionih mera, čime umanjuju i tako nedovoljnu efikasnost proizvodnje.

U takvim uslovima, na poljoprivrednim područjima neophodno je uspostaviti konsistentno upravljanje režimom podzemnih voda sa ciljem da se poboljšaju uslovi života, omogući normalan urbani razvoj i poveća poljoprivredna proizvodnja. Takvo upravljanje podrazumeva sveobuhvatno izučavanje svih relevantnih faktora (prirodnih, tehničkih, proizvodnih, ekonomskih, urbanih i dr.) i uspostavljanje realnih kriterijuma, prvenstveno u pogledu dubina podzemnih voda, koji omogućavaju optimalne uslove uzgoja poljoprivrednih kultura, urbanog razvoja i sanitarne potrebe stanovništva.

Upravljanje vodama u svetu dobija sve više na značaju zbog porasta potrošnje i nepovoljnih trendova zagađivanja. U sklopu tih aktivnosti, upravljanje režimom podzemnih voda ima veoma izražen ekonomski i socijalni značaj. Uprkos ogromnom značaju, upravljanju podzemnim vodama na poljoprivrednim zemljištima dugo godina nije posvećivana odgovarajuća pažnja (*Scheumann and Freisem, 2002.*). Međutim, u poslednje dve decenije je analiza efikasnosti funkcionisanja drenažnih sistema bila predmet mnogobrojnih istraživanja. Veoma značajan korak ka iznalaženju optimalnog rešenja dreniranja prevlaženih površina je predstavljalo uvođenje numeričkih hidrodinamičkih modela strujanja podzemnih voda. Numerički modeli su kombinovani sa optimizacionim tehnikama, u cilju definisanja strategije rada pumpnih stanica na drenažnim sistemima (*Barlow et al., 1996.*). Korišćenje optimizacionih tehnika i numeričkih modela postalo je nezaobilazan alat pri projektovanju u oblasti korišćenja voda (*Mayer et al., 2002.*). Hidrodinamički model (MODFLOW) povezan sa genetskim algoritmima je korišćen u postupku optimizacije, upravljanja i procene učinka planiranih i projektovanih mera na uređenju voda.

Procene učinka rada hidromelioracionih sistema su poslednjih godina uobičajene u analizi rada irgacionih sistema, prvenstveno zbog sve većih deficita vode za navodnjavanje u većini aridnih područja u svetu. Razvoju metodologije za procenu učinka drenažnih sistema posvećuje se malo značajnija pažnja tek poslednjih nekoliko godina. U ovom radu dat je prilog razvoju metoda za procenu učinka drenažnih sistema za upravljanje režimom podzemnih voda na poljoprivrednim područjima.

## 1.1 CILJEVI RADA

Proteklih decenija, u zemljama sa tradicijom u izgradnji drenaže, ulažu se značajni napori, kako u proceni učinka, tako i u daljim investiranjima u drenažne sisteme. Takav trend zahteva više osmatranja i merenja na drenažnim poljima, odnosno više informacija. S obzirom da često u procenama učinka postoje nedovoljno istražene relacije između prirodnog okruženja i drenažnog sistema, ili neadekvatna metodologija, predmet istraživanja u ovom radu su procene učinka drenažnog sistema, verifikovane na izgrađenom i osmotrivom sistemu na području Pančevačkog rita.

Osnovni cilj ovog rada je definisanje pokazatelja efikasnosti drenažnih sistema za upravljanje režimom podzemnih voda na poljoprivrednim zemljištima. Korišćenjem savremenih tehnika trebalo je kvantifikovati uticaj pojedinih parametara, kao i njihov međusobni odnos, u oceni učinka drenažnih sistema. Najzad, završni cilj ovoga rada je da se definiše metodologija za procenu i popravljavanje pokazatelja učinka drenažnih sistema za upravljanje režimom podzemnih voda na poljoprivrednim područjima, čime bi se obezbedila osnova za izradu novih planova, strategija i propisa za razvoj drenažnih sistema.

U daljem tekstu je dat detaljniji prikaz ciljeva ove disertacije.

Glavni ciljevi rada su :

- ⇒ Analiza postojeće prakse upravljanja režimom podzemnih voda na poljoprivrednim područjima u Srbiji;
- ⇒ Prikaz osnovnih principa koji su povezani sa procenama učinka i predlogom metoda za procene učinka;
- ⇒ Prikaz primene opšteg sistemskog pristupa na upravljanje i procene učinka drenažnih sistema;

- ⇒ Prikaz saznanja sa jednog konkretnog, veoma karakterističnog dreniranog poljoprivrednog područja, koje je korišćeno za osmatranje, sakupljanje i sistematizaciju informacija i podataka za procene učinka.

Za ostvarivanje planiranih ciljeva, trebalo bi koristiti savremene sistemske pristupe, sa metodama i alatima za izučavanje predmetne problematike:

- ⇒ Matematičko modeliranje složenih stanja podzemnih voda u realnim uslovima i sa različitim pretpostavljenim scenarijima daljeg razvoja, dogradnje i poboljšanja drenažnog sistema;
- ⇒ Verifikaciju primenjenih matematičkih modela;
- ⇒ Prikaz metodologije za utvrđivanje pokazatelja učinka drenažnih sistema i
- ⇒ Procene učinka drenažnih sistema za upravljanje režimom podzemnih voda.

Kao područje odabrano za analize i proračune, izabran je drenažni sistem u Pančevačkom ritu, koga karakterišu složeni prirodni uslovi i veoma izraženi antropogeni uticaji.

U cilju izučavanja mera za upravljanje i procenu učinka drenažnog sistema u Pančevačkom ritu bilo je neophodno obaviti sledeći radove:

- ⇒ Sagledati relevantne prirodne i antropogene činioce;
- ⇒ Prikazati kriterijume za zaleganje podzemnih voda;
- ⇒ Opisati tehnička rešenja za upravljanje režimom podzemnih voda;
- ⇒ Izvršiti matematičko modeliranje režima podzemnih voda u cilju identifikacije problema i vrednovanja efekata tehničkih mera;
- ⇒ Izvršiti kalibraciju primenjenog matematičkog modela;
- ⇒ Prikazati pokazatelje za procenu učinka drenažnih sistema;
- ⇒ Izvršiti procene učinka rada drenažnih sistema;
- ⇒ Prikazati metodologiju za popravljavanje odabranih pokazatelja učinka,
- ⇒ Predložiti adekvatna tehnička rešenja za poboljšanje režima podzemnih voda;
- ⇒ Na osnovu rezultata matematičkog modela režima podzemnih voda vrednovati saznanja metodologije za popravljavanje pokazatelja učinka i efekata predloženih tehničkih mera;
- ⇒ Na osnovu rezultata dobijenih na modelu sagledati ekonomske efekte upravljanja režimom podzemnih voda na ovom području.

## 1.2 ISTORIJSKI OSVRT

Značajan napredak u izučavanju podzemnih voda započeo je pojavom Darcy-jevog zakona 1856. koji je dao matematičke formulacije kretanja vode u poroznoj sredini. Ovo je omogućilo iznalaženje analitičkih rešenja strujanja podzemnih voda. Međutim, tek uvođenjem elektronskih računara u praksu stvoreni su uslovi za brzo rešavanje i najsloženijih numeričkih jednačina u realnim sistemima većih razmera. Naime, računari omogućavaju:

- ⇒ Numerička rešenja kompleksnih problema strujanja podzemnih voda za koje nisu bila moguća analitička rešenja;
- ⇒ Analizu i precizno sagledavanje procesa strujanja podzemnih voda u složenim sistemima velikih razmera, pošto se na računarima može raditi sa velikom količinom podataka.

Sa druge strane, početkom šezdesetih godina prošlog veka, svet je počeo da shvata da je voda, do izvesne mere, i neobnovljiv resurs. Sa porastom broja stanovnika i povećanjem privrednih aktivnosti, javlja se sve veća potreba za vodom. Istovremeno, zbog porasta zagađenja, značajno je ograničena upotrebljivost raspoloživih vodnih resursa. Ove okolnosti sve više dovode do sukoba interesa. Zbog kompleksnosti problema korišćenja i zaštite voda i zaštite od voda, iznalaženje ekonomski optimalnih rešenja dobija na značaju. U takvim uslovima ubrzano su se razvijale tehnike sistemskih analiza, koje omogućavaju korišćenje kombinovanih hidrauličkih i hidroloških modela i sistema upravljanja. Koristeći savremenu tehniku za simulacije ponašanja vodoprivrednih sistema, dobijena je osnova za upravljanje, razvoj i procenu učinka drenažnih sistema.

Procene učinka drenažnih sistema su definisane i razvijene u naučnim krugovima koji su se bavili navodnjavanjem. Razvijene metode su od samog početka pokrivale i drenažne sisteme (*Bos et al., 1994*). Sve do 1996. godine (16-ti kongres ICID-a, Kairo) aktivne naučne rasprave o procenama učinka drenažnih sistema nije bilo. Od tada počinju ozbiljne analize procene učinka i pokazatelja drenažnih sistema, da bi od 2000. godine procene učinka bile proširene i na testiranje performansi, odnosno ocene kvaliteta rada drenažnih sistema.

Upravljanje režimom podzemnih voda na poljoprivrednim područjima, odnosno sistemima za odvodnjavanje u Srbiji, tradicionalno se zasniva na iskustvu i načelima iz prakse. Određene mere za poboljšanje rada sistema uglavnom se preduzimaju kada u sistemu dođe do uspostavljanja nepoželjnih stanja i pojave štetnih posledica. Da bi se poboljšalo upravljanje, korisnici sistema primenjuju iskustvena pogonska pravila. Ipak, povećani

zahtevi za vodom odnosno zaštitom od voda, ubuduće, dovešće do potrebe za objektivnijim metodama za planiranje, projektovanje, upravljanje i procenu učinka rada drenažnih sistema na poljoprivrednim područjima. Primenom sistemskog pristupa mogle bi se predvideti neželjene pojave i trendovi, proceniti učinak rada drenažnih sistema i na osnovu toga preventivno delovati u cilju njihovog sprečavanja ili eliminisanja (*Božić M., 2010.*).

### 1.3 ZADACI ISTRAŽIVANJA

Istraživanjem su obuhvaćeni svi koraci u definisanju metodologije za procenu učinka, sa predlogom daljeg razvoja i unapređenja rada drenažnih sistema.

Istraživanjima su traženi odgovori na sledeća pitanja:

- ⇒ U okviru preliminarnih istraživanja: kako izabrati reprezentativne pokazatelje učinka drenažnih sistema? Da li su ovi pokazatelji uvek standardni i univerzalni ili postoje specifičnosti vezane za konkretne prirodne i socioekonomske uslove?
- ⇒ Na koji način kvantifikovati ove pokazatelje (primenom modela i kvalitativnim analizama) i kakva je pouzdanost njihove procene?
- ⇒ Kako definisati skup tehno-ekonomski opravdanih i socijalno prihvatljivih mera za popravak odabranih pokazatelja učinka drenažnih sistema i izabrati optimalnu strategiju upravljanja i razvoja drenažnog sistema?

U disertaciji se drenaža posmatra kao kritična komponenta integralnog upravljanja vodnim resursima (*Vlotman et al., 2002.*). Programi procena učinka drenažnih sistema su usmereni na: potvrde projekta, metode izgradnje, potrebe za rekonstrukcijom ili opravdanost ulaganja, ali i percepciju korisnika sistema po pitanju efikasnosti sistema i važnosti pojedinih pokazatelja (*Vojinović & Abbott, 2012.*). Sigurno, ovakvi ciljevi zahtevali su različite pristupe, metode i pokazatelje, kao i višekriterijumsku analizu za potrebe izbora optimalne strategije.

## 1.4 PRIMENJENE METODE ISTRAŽIVANJA

Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije realizovana su primenom naučnih metoda i postupaka primerenih području i cilju rada:

- ⇒ za hidrološke analize metode matematičke statistike, uključujući korelacione analize i prilagođavanja empirijskih podataka teorijskim raspodelama;
- ⇒ za definisanje upravljanja režimom podzemnih voda determinističke metode, kroz matematičku simulaciju strujanja podzemnih voda na istraživanom poljoprivrednom području.

Takođe, disertacijom su obuhvaćene analize rezultata terenskih i laboratorijskih istražnih radova, uz upotrebu standardnih metoda i široko rasprostranjenih programskih paketa.

Za utvrđivanje opštih karakteristika, kao i specifičnosti odabranog područja, korišćene su digitalizovane topografske, geološke i pedološke podloge, a zatim je izvršena analiza meteoroloških parametara, hidroloških i hidrauličkih karakteristika, kao i načina korišćenja zemljišta.

Za osnovnu obradu podataka korišćene su odgovarajuće statističke analize u cilju opisa postojećih problema i definisanja eventualnih trendova. Dobijeni rezultati su predstavljali osnovu za razvoj hidrodinamičkog modela strujanja podzemnih voda. Nakon toga, su vršene simulacije, definisani indikatori performansi drenažnih sistema, ocene učinka postojećeg rada, kao i predlog mera za efikasniji rad drenažnih sistema.

Takođe, sprovedena je analiza osetljivosti određenih parametara, radi utvrđivanja u kojoj meri se može tolerisati netačnost ulaznih parametara ili pretpostavki zbog njihovog uticaja na izlazne podatke. Osnovni cilj ovakve analize je da se sagleda uticaj različitih parametara na promenu vrednosti pojedinih kriterijuma, kao i sagledavanje uticaja ovih promena na ukupne procene učinka drenažnog sistema.

Naučne metode koje su primenjene u okviru ove disertacije su:

- ⇒ Modelska istraživanja
  - a) Numeričko modeliranje dinamike podzemnih voda
  - b) Dinamička višekriterijumska analiza pokazatelja efikasnosti drenažnog sistema
- ⇒ Statističke analize rezultata

## 1.5 PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Na području Srbije nekim vidom odvodnjavanja obuhvaćeno je oko 2.000.000 ha poljoprivrednog zemljišta. Na većini tih područja prisutni su brojni problemi funkcionisanja sistema, tako da proizvodni i ekonomski efekti nisu uvek u skladu sa sredstvima uloženim u njihovu izgradnju.

Kao što je prethodno rečeno, cilj ovog rada je da ukaže na mogućnosti primene systemske analize za iznalaženje boljeg načina upravljanja drenažnim sistemima. Primena saznanja o procenama učinka i efikasnosti rada, sprovedena je na veoma složenom drenažnom sistemu na području Pančevačkog rita.

Izbor ovog područja bio je uslovljen različitim faktorima, među kojima su najznačajniji:

- ⇒ Pančevački rit se nalazi u neposrednoj blizini velikih urbanih centara i predstavlja osnovu za proizvodnju hrane za stanovništvo tih centara;
- ⇒ Područje karakterišu specifični prirodni uslovi – niska zemljišta oivičena prirodnim vodotocima – Dunavom i Tamišom;
- ⇒ Na razmatranom području su izgrađeni značajni objekti za odvodnjavanje i zaštitu od poplava (nasipi, kanali, crpne stanice, brojne ustave, propusti, horizontalna cevna drenaža i dr.);
- ⇒ Prirodni hidrološki režim Dunava je značajno promenjen izgradnjom HEPS „Đerdap I”;
- ⇒ Na području Rita je došlo do nekontrolisane izgradnje stambenih i privrednih objekata, čime je usporeno i onako sporo oticanje površinskih voda.

## 1.6 SADRŽAJ RADA

Zbog pogrešnog uverenja da je Srbija bogata vodom, upravljanju režimom voda kod nas se nije pridavao odgovarajući značaj. Međutim, poslednjih godina se, zbog rastućih zahteva za vodom i njenog povećanog zagađivanja, osetila potreba za boljim gazdovanjem i upravljanjem vodama, kao i sagledavanjem učinka rada drenažnih sistema. Da bi se postigao ovaj cilj, neophodno je u našu praksu uvesti analize rada i performansi drenažnih sistema. Primena određenih analiza,



koje bi predstavljale osnov za unapređenje upravljanja režimom podzemnih voda na poljoprivrednim područjima, razmatrana je na drenažnom sistemu u Pančevačkom ritu.

U uvodnom poglavlju su detaljno razmatrani ciljevi i zadaci istraživanja, a zatim je dat istorijski osvrt na razvoj metoda za upravljanje podzemnim vodama na poljoprivrednim zemljištima. Opisane su metode istraživanja da bi na kraju bio dat pregled karakteristika Pančevačkog rita.

U drugom poglavlju ove disertacije dat je pregled literature, u kome je najpre detaljno analiziran značaj monitoringa ključnih parametara u procesu upravljanja drenažnim sistemima. Zatim je dat osvrt na sam proces upravljanja podzemnim vodama i primeni numeričkih modela za modeliranje kretanja podzemnih voda. Nakon toga je dat prikaz razvoja metoda za testiranje performansi meliorativnih sistema, sa posebnim osvrtom na drenažne sisteme na poljoprivrednim područjima. Na kraju ovog poglavlja je posebna pažnja posvećena ekološkim aspektima odvodnjavanja suvišnih voda sa poljoprivrednih zemljišta.

U poglavlju 3. dat je prikaz karakteristika i osnovnih svojstava pokazatelja učinka, sa mogućnošću primene na drenažne sisteme. Analizirani su potencijalni pokazatelji, direktni-indirektni, odnosno tehnički (operativni) i strateški. Osvetljena je i pouzdanost upotrebe rezultata procena učinka drenažnih sistema za upravljanje režimom podzemnih voda na poljoprivrednim područjima.

Poglavlje 4. sadrži metode rešavanja strujanja podzemnih voda kod kompleksnih drenažnih sistema, osnove za sagledavanje bilansa voda i radne hipoteze u određivanju vertikalnih faktora bilansa i karakteristika porozne sredine.

U poglavlju 5. dat je opis tehničkih i ekonomskih pokazatelja rada drenažnih sistema, sa analizom uticaja pojedinih faktora na efikasnost sistema za odvodnjavanje. Prikaz efikasnosti je analiziran na drenažnom sistemu na području Pančevačkog rita. Prikazano je područje obuhvaćeno modelom, kalibracija i verifikacija, sa komentarom rezultata verifikacije modela. Prikazani su drenažni kriterijumi i rešenja (scenariji) upravljanja drenažnim sistemima na poljoprivrednim područjima. Takođe, predložene su osnove ekonomskog vrednovanja, na bazi troškova uređenja i funkcionisanja drenažnog sistema.

U poglavlju 6. dat je pregled mogućih neodređenosti kod pokazatelja učinka drenažnih sistema i prikaz metodologija za popravljavanje hidrološke neodređenosti (suma mesečnih i godišnjih padavina) i neodređenosti prepumpanih količina vode u crpnim stanicama.

U poglavlju 7. prikazani su rezultati primene metodologije za popravljavanje odabranih pokazatelja drenažnog učinka na području drenažnog sistema u Pančevačkom ritu. Na osnovu dobijenih rezultata, razmatrana je i analizirana neodređenost suma mesečnih padavina, neodređenost prepumpanih količina vode na crpnoj stanici "Borča-Nova" i analiza osetljivosti pokazatelja ekonomske efikasnosti drenažnih sistema na području Pančevačkog rita.

U završnom poglavlju su nakon kratkog pregleda polaznih osnova, ciljeva i zadataka istraživanja dati zaključci i preporuke za dalja istraživanja.

## 2. PREGLED LITERATURE

Upravljanje vodama u svetu dobija sve više na značaju zbog porasta potrošnje i nepovoljnih trendova zagađivanja. U sklopu tih aktivnosti, upravljanje režimom podzemnih voda ima veoma izražen ekonomski i socijalni značaj. Adekvatan režim podzemnih voda je uslov stabilne i povećane proizvodnje na poljoprivrednim zemljištima nedovoljne drenirajuće sposobnosti, kao i urbanog razvoja i održavanja sanitarnih uslova (Božić M., 2010.). Pravovremenim odvođenjem suvišnih voda sprečava se prevlaživanje zemljišta i na taj način uspostavljaju optimalni uslovi za rast i razvoj biljaka.

Razvoj drenažnih sistema je poslednjih nekoliko decenija naglo ubrzan u cilju povećanja prinosa useva, redukcije varijabilnosti prinosa, smanjenja površinskog oticaja i erozije zemljišta, smanjenja rizika po zdravlje stanovništva (Strock et al., 2010.). Značajnost sistema za odvodnjavanje može se pokazati i upoređivanjem parcijalnih vodnih potencijala biomasa koje se ostvaruju u višenamenskim vodoprivrednim sistemima (Dorđević, 1990.). Parcijalni potencijal biomasa koje se dobiju merama odvodnjavanja ( $E_{bo}$ ) dobija se preko relacije:

$$E_{bo} = V_o \cdot e_{bo} \quad (J)$$

gde je:  $V_o$  - količina suvišne vode koja se odvede sa prevlaženog zemljišta, dok je  $e_{bo}$  – specifična energija koja se ostvari u biljnoj proizvodnji po jedinici odstranjene suvišne vode. Taj pokazatelj pokazuje višak energije dobijene u biljnoj proizvodnji sa odvodnjavanjem ( $P_2$ ) u odnosu na energiju bez odvodnjavanja ( $P_1$ ), po  $m^3$  odvedene vode ( $V_o$ ), ili:  $e_{bo} = (P_2 - P_1) / V_o$ . Veličina  $e_{bo}$  je različita, ali za uobičajene ratarske kulture je oko  $e_{bo} = 20 \div 30 \text{ MJ/m}^3$ . To treba uporediti sa parcijalnim potencijalom biomasa koje se dobijaju navodnjavanjem uz korišćenje ( $V_n$ ) količine vode:

$$E_{bn} = V_n \cdot e_{bn} \quad (J)$$

gde je:  $e_{bn}$  – specifična proizvodnja bioenergije ( $J/m^3$ ) ostvarene navodnjavanjem.

Ta veličina je u našim klimatskim uslovima, za uobičajene ratarske kulture oko  $e_{bn} \approx 12 \div 15 \text{ MJ/m}^3$ .

Zapaža se da je specifična ostvarena bioenergija oko dva puta veća u uslovima odvodnjavanja, zbog čega i sledi bazna strategija pri postupnoj realizaciji melioracionih sistema da i sa stanovišta strategije korišćenja parcijalnih vodnih potencijala mere odvodnjavanja imaju apsolutni prioritet (Dorđević, 1990.).

Međutim, odvođenje suvišnih voda može imati veoma nepovoljne efekte na prirodne ekosisteme. Promena hidroloških uslova može značajno promeniti prirodni hidrološki balans koji je neophodan za održavanje i razvoj autohtonog biljnog i životinjskog sveta na površinama na kojima se predviđa izgradnja drenažnih sistema. Prevlaživanje zemljišta je veoma složen proces jer zavisi od topografskih, geoloških, pedoloških, hidrogeoloških, klimatskih i hidroloških odlika područja. Drenažni sistemi u poljoprivredi obezbeđuju brže oticanje vode sa površine terena, snižavanje nivoa podzemnih voda, što veoma povoljno utiče na poljoprivrednu proizvodnju (*Oosterbaan, 1994.*). Naravno, dobro funkcionisanje drenažnih sistema se ne može ni zamisliti bez odgovarajućeg monitoringa najznačajnijih parametara. Rezultati monitoringa, dakle, sa jedne strane daju uvid u efikasnost rada drenažnih sistema, dok sa druge strane služe kao ulaz za primenu numeričkih modela strujanja podzemnih voda. Simuliranje kretanja podzemnih voda, za različite uslove, predstavlja jedan od najvažnijih koraka pri određivanju upravljačke politike drenažnih sistema u poljoprivredi. Naime, kada planeri, donosioci odluka ili inženjeri uoče potrebu promene postojećeg načina upravljanja podzemnim vodama, veoma često je egzaktna priroda problema nejasna, pa rešavanje problema zavisi od individualnog stava i pogleda (*Tanji & Kielen, 2002.*).

Pri određivanju upravljačke politike drenažnih sistema u poljoprivredi nije dovoljno razmotriti samo hidrauličko-hidrološke aspekte, već je neophodno izvršiti i odgovarajuće tehno-ekonomske analize. Najzad, poslednjih godina se veoma značajna pažnja posvećuje testiranju performansi drenažnih sistema. Pri tome je ključan izbor indikatora performansi drenažnih sistema. Uprkos ogromnom značaju, upravljanju podzemnim vodama na poljoprivrenim zemljištima dugo godina nije posvećivana odgovarajuća pažnja (*Scheumann & Freisem, 2002.*). Sve ovo utiče na potrebu da se uspostavi nova, sveobuhvatnija definicija odvodnjavanja (kako predlažu ICID i Svetska banka) po kojoj je odvodnjavanje aktivnost kojom se upravlja zemljištem i vodom na nekom području, primenom mera za kontrolu nivoa podzemne vode i/ili mera za odvođenje suvišne površinske vode, a sve u cilju postizanja optimalnih ekonomskih i socijalnih efekata uz očuvanje ključnih ekoloških funkcija na tom području. (*The World Bank, 2004.*). Ova izmenjena definicija (doktrina) očigledno promovise sistemski pristup u planiranju i upravljanju drenažnim sistemima.

## 2.1 MONITORING U OBLASTI DRENAŽNIH SISTEMA U POLJOPRIVREDI

U procesu planiranja, projektovanja, izgradnje i održavanja drenažnih sistema u poljoprivredi neophodno je obezbediti permanentni monitoring ključnih parametara koji utiču na efikasnost njihovog funkcionisanja. Prevlaživanje zemljišta je veoma složen proces koji zavisi od većeg broja faktora. Topografske, geološke i pedološke karakteristike područja dobijaju se kao rezultat odgovarajućih istražnih radova. Međutim, hidrogeološke, klimatske i hidrološke odlike područja su promenljive tokom vremena, pa je neophodno obezbediti njihovo kontinuirano praćenje i merenje.

Za poznate topografske, geološke i pedološke karakteristike područja opasnost od prevlaživanja zemljišta zavisi od karakteristika padavina, evapotranspiracije i režima podzemnih voda. Ako su drenažni sistemi locirani u blizini prirodnih vodotoka tada je neophodno kontinualno meriti i promene nivoa vode u vodotocima.

### 2.1.1 Monitoring padavina

Monitoring padavina vrše nacionalne hidrometeorološke službe i ti rezultati su dostupni svim zainteresovanim korisnicima. Međutim, ako je područje na kome se planira izgradnja drenažnog sistema isuviše udaljeno od najbliže kišomerne stanice, može se uspostaviti lokalna kišomerna stanica na kojoj monitoring padavina vrši planer, projektant, a kasnije korisnik drenažnog sistema.

### 2.1.2 Monitoring evapotranspiracije

Evapotranspiraciju, odnosno potrebu useva za vodom, bi trebalo meriti korišćenjem lizimetara. Međutim, kako je postavljanje lizimetara relativno skupo, danas se u svetu skoro isključivo koriste empirijske formule za izračunavanje vrednosti evapotranspiracije. Danas se u svetu najviše koristi metoda Penman-Monteith-a, čiji rezultati odstupaju od merenih vrednosti u opsegu od 10% (*Allen et al., 1998.*). Za primenu metode Penman - Monteith-a je neophodno raspolagati podacima o merenjima temperature i vlažnosti vazduha, osunčanosti i brzine vetra. Te podatke obezbeđuje nacionalna hidrometeorološka služba.

### 2.1.3 Monitoring nivoa, kretanja i kvaliteta podzemnih voda

Opis osnovnih komponenti plana monitoringa podzemnih voda je detaljno razrađen u publikaciji Smernice za izradu plana za monitoring podzemnih voda (*Ground Water Monitoring Plan Guidance, 2008.*). U priručniku se predlažu svi neophodni koraci od kojih su najvažniji sledeći:

- a) Opis fizičkih i hidrogeoloških karakteristika područja na kome je izgrađen drenažni sistem. Taj opis obuhvata sledeće:
  1. Utvrđivanje pravca, proticaja i ambijentalnih karakteristika podzemnih voda;
  2. Utvrđivanje primarne i sekundarne poroznosti, horizontalne i vertikalne propustljivosti akvifera;
  3. Utvrđivanje debljine akvifera;
  4. Definisane topografskih karakteristika terena, prikupljanje podataka o karakteristikama zemljišta i podataka o susednim površinskim drenažnim sistemima;
- b) Dati prikaz lokacija predloženih pijezometara za merenje nivoa podzemnih voda;
- c) Predvideti sve tehničke detalje za postavljanje i konstrukciju pijezometara;
- d) Definisati metode merenja nivoa i kvaliteta podzemnih voda.

U publikaciji Smernice za monitoring kvaliteta površinskih i drenažnih voda na poljoprivrednim područjima (*Iital & Tattari, 2012.*) definisani su ključni aspekti koji se odnose na sisteme za monitoring kvaliteta voda:

- ⇒ Strategija uzorkovanja (pokrivenost područja mernim mestima, frekvencija zahvatanja uzoraka, metode merenja proticaja i laboratorijske metode koje se koriste za analizu uzoraka) i mogućnost odabranog sistema za monitoring da obezbedi pouzdane podatke za definisanje uticaja rasutog zagađenja đubrivom sa poljoprivrednog zemljišta, kao i sposobnost sistema za monitoring da detektuje difuzna zagađenja podzemnih voda đubrivima sa poljoprivrednih površina, ili drugim vrstama zagađivača;
- ⇒ Definisane pokrivača poljoprivrednih površina;
- ⇒ Utvrđivanje retencione sposobnosti sistema zemljište-voda;
- ⇒ Korišćenje senzora za automatsko praćenje kvaliteta podzemnih voda.

#### 2.1.4 Monitoring nivoa vode u prirodnim vodotocima i drenažnim kanalima

Kada se drenažni sistem nalazi u blizini prirodnih vodotoka, režim podzemnih voda može biti pod dominantnim uticajem režima voda u vodotocima. Tada je osim nivoa podzemnih voda neophodno obezbediti i monitoring nivoa vode u prirodnim vodotocima i drenažnim kanalima.

## 2.2 UPRAVLJANJE REŽIMOM PODZEMNIH VODA I NUMERIČKO MODELIRANJE KRETANJA PODZEMNIH VODA

Prevlaživanje zemljišta je veoma složen proces jer zavisi od topografskih, geoloških, pedoloških, hidrogeoloških, klimatskih i hidroloških odlika područja. Ključni stavovi Okvirne direktive o vodama EU nedvosmisleno ukazuju da se integralno upravljanje vodama, pa samim tim i podzemnim vodama, mora vršiti na nivou sliva (*EU Water Framework Directive, 2000.*). Dakle, adekvatna rešenja odvođenja suvišnih voda se mogu obezbediti samo na bazi detaljnih analiza, imajući u vidu specifičnosti upravljanja vodama u datom regionu, dosadašnja iskustva i očekivane ciljeve. U svetu se danas čine kontinuirani naponi da se integralno upravljanje podzemnim vodama, korišćenjem standardnih regulatornih i ekonomskih pristupa, primeni na što više lokacija gde je takav pristup održiv (*FAO, Report 25, 2003.*).

Na području Srbije nekim vidom odvodnjavanja obuhvaćeno je oko dva miliona hektara poljoprivrednog zemljišta. Zaštita poljoprivrednih površina od suvišnih voda primenom odvodnjavanja sprovodila se u prošlosti najčešće uporedo sa radovima na odbrani od poplava. Na većini područja u Srbiji su prisutni brojni problemi funkcionisanja sistema za odvodnjavanje, tako da proizvodni i ekonomski efekti nisu uvek u skladu sa sredstvima uložanim u izgradnju. Osnovni problemi koji ugoržavaju funkcionalnost i dalji razvoj drenažnih sistema su vezani za nedostatak celovitog sagledavanja i pristupa rešavanju problema koji bi uključio sve vodoprivredne, ekonomske, legalne i institucionalne aspekte koji utiču na njihov održivi razvoj. No, i pored toga, odvodnjavanjem poljoprivrednih površina u Srbiji se postižu brojni pozitivni efekti. U plodored su uvedene sa većom zastupljenošću industrijske kulture za koje ranije nisu postojali povoljni uslovi vodnog režima, naročito na teškim glinovitim zemljištima. Povećanje prinosa pšenice u odnosu na

okolne nedrenirane površine iznosi 10 - 30%, kod kukuruza do 50%, a slično je i sa drugim kulturama (*Plamenac, 1988.*).

Radom sistema za odvodnjavanje u Srbiji veoma retko se upravlja u skladu sa modernim principima. Umesto toga, upravljanje je najčešće tradicionalno i zasniva se na iskustvu i načelima prakse; mere se preduzimaju uglavnom onda kada se pojave nepoželjna stanja ili se uoče nepovoljni trendovi. Dosadašnji pristup upravljanja podzemnim vodama u Srbiji uglavnom se svodio na primenu nekog hidrodinamičkog modela kretanja podzemnih voda. Takvi modeli su, u jednostavnim slučajevima, gde je režim podzemnih voda pod dominantnim uticajem padavina i evapotranspiracije, davali sa inženjerskog aspekta sasvim zadovoljavajuće rezultate. Međutim, za upravljanje podzemnim vodama se u kompleksnim slučajevima, naročito kada je režim podzemnih voda pod dominantnim uticajem rečnih tokova, uz hidrodinamički model moraju koristiti i odgovarajući ekonomski pokazatelji (*Božić, 2010.*).

Upravljanje režimom podzemnih voda direktno zavisi od karakteristika podzemnih voda, to jest od njihovog nivoa i pravca kretanja. U početku su rađeni numerički modeli kretanja podzemnih voda za svaki karakterističan problem. Tako je, na primer, za rešavanje problema zaslanjivanja zemljišta i definisanje optimalnog režima upravljanja režimom podzemnih voda korišćen kalibrisani model kretanja podzemnih voda (*Richardson et al. 1995.*).

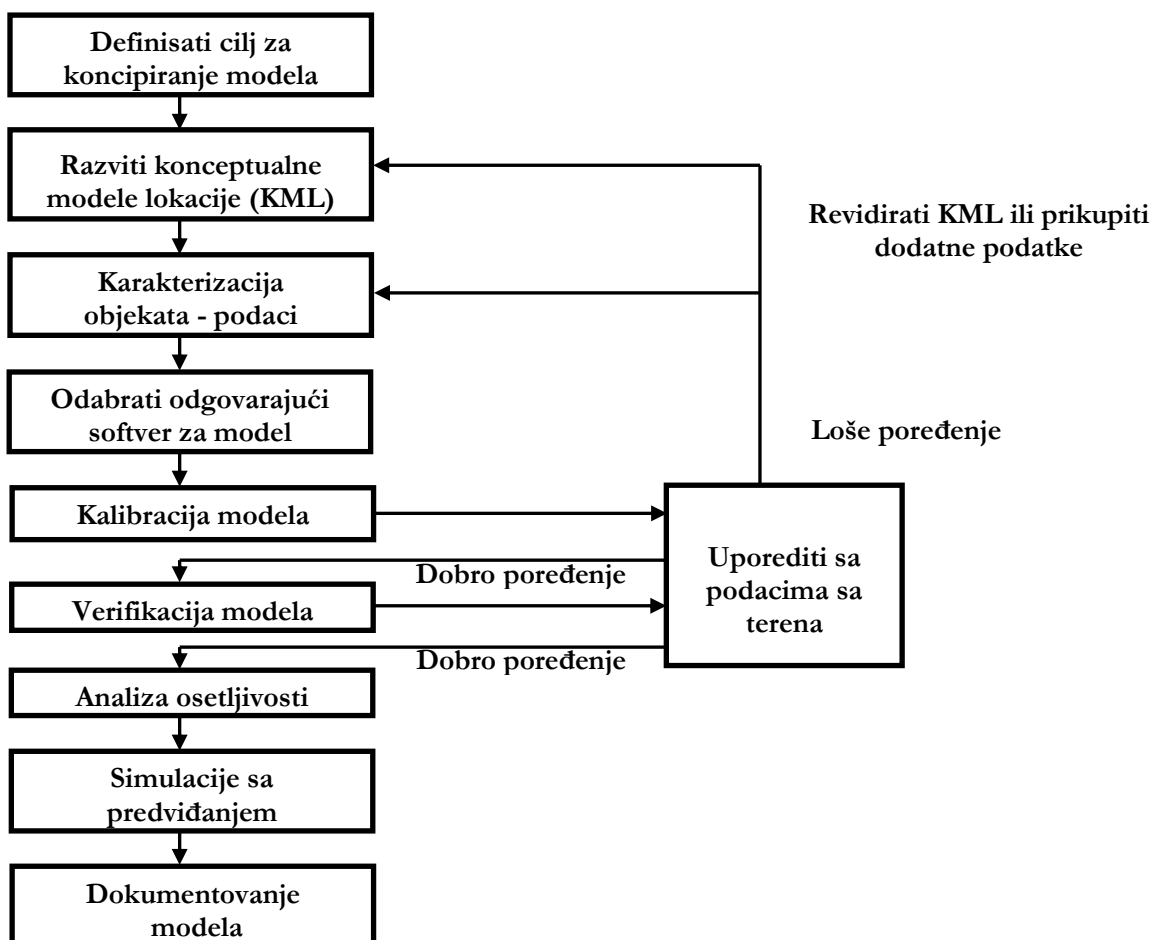
Danas u svetu postoji veći broj komercijalnih numeričkih modela za modeliranje kretanja podzemnih voda. Pouzdanost i kvalitet modeliranja podzemnih voda prvenstveno zavisi od rezultata monitoringa podzemnih voda. Naime, kalibracija i verifikacija numeričkih modela za kretanje podzemnih voda nije moguća bez relevantnih podataka o praćenju prostornih i vremenskih karakteristika podzemnih voda. Dakle, prvi korak ka iznalaženju nekakvih optimalnih rešenja dreniranja prevlaženih površina predstavlja uvođenje numeričkih hidrodinamičkih modela kretanja podzemnih voda. Potrebno je naglasiti da, i pored širokog spektra dostupnih komercijalnih numeričkih modela, modeliranje podzemnih voda nije ni malo lak zadatak. Postoje dva fundamentalna problema koja komplikuju modeliranje nivoa i kretanja podzemnih voda na relativno velikim površinama ili na regionalnom nivou. Prvo, ne postoje fundamentalni „zakoni“ koji bi mogli da opišu kretanje podzemnih voda na regionalnom nivou. Osim toga, parametrizacija modela velikih razmera je veoma otežana izuzetno velikom prostornom heterogenošću akvifera, kao i zbog veoma izražene prostorne i vremenske varijabilnosti graničnih uslova (*Schoups et al. 2005.*).



Veoma detaljan pregled numeričkih modela za simuliranje kretanja podzemnih voda je dat u publikaciji GROUNDWATER MODELING (*Michigan Department of Environmental Quality Remediation and Redevelopment Division, February 2014.*). Numerički modeli služe za rešavanje kompleksnih jednačina koje opisuju kretanje podzemnih voda i transport rastvorenih elemenata. Za rešavanje tih kompleksnih jednačina moraju se koristiti određene aproksimacije, pa se koriste ili metode konačnih razlika ili metode konačnih elemenata. Aproksimacije takođe zahtevaju diskretizaciju prostornih i vremenskih karakteristika. Primena numeričkih modela je karakteristična za složenije probleme kao što je dvodimenzionalno ili trodimenzionalno kretanje podzemnih voda i rastvorenih elemenata.

Najčešće korišćeni numerički modeli za simuliranje kretanja podzemnih voda su MODFLOW, BIOPLUME II, BIOPLUME III, MOC, SUTRA i FREEFLOW.

Na slici 2.1 šematski je prikazan redosled koraka pri primeni numeričkih modela kretanja podzemnih voda.



Slika 2.1 Redosled koraka pri primeni numeričkih modela  
(izvor: Groundwater modeling, 2014.)

U pojedinim slučajevima je dovoljno koristiti neki od komercijalnih numeričkih modela za dobijanje zadovoljavajućeg rešenja problema. Za iznalaženje rešenja snižavanja visokih nivoa podzemnih voda u dolini Jordana u Izraelu korišćen je model MODFLOW (Mirlas V., 2009.). Korišćenjem modela trodimenzionalnog strujanja podzemnih voda dobijen je najefikasniji način redukcije saliniteta zemljišta izborom odgovarajuće dubine drenažnih cevi i lokacija bunara i pumpi za dreniranje podzemnih voda.

Mada su svi koraci podjednako značajni, posebna pažnja se mora posvetiti kalibraciji i verifikaciji modela. Kalibracija modela se sastoji u promeni vrednosti ulaznih parametara, u nekom prihvatljivom rasponu, u cilju pokušaja da se rezultati modela poklope sa stvarnim stanjem akvifera u okviru nekih prihvatljivih kriterijuma. Proces kalibracije bi trebalo obavezno da obuhvati upoređenje rezultata numeričke simulacije i rezultata terenskih merenja za sledeće parametre:

- ⇒ Nivoi podzemnih voda
- ⇒ Gradijenti nivoa podzemnih voda (veličina i pravac)
- ⇒ Količine i oblast prihranjivanja podzemnih voda

Drugi korak kalibracije modela se u stručnoj literaturi naziva verifikacija modela. U anglosaksonskoj literaturi se proces verifikacije modela veoma često označava kao „history-matching process“. Kalibrisani model koristi odabrane vrednosti hidrogeoloških parametara, izvora i ponora i graničnih uslova, u cilju dobijanja što boljeg slaganja rezultata numeričke simulacije sa stvarnim uslovima na terenu, za odabrani vremenski period. Taj izbor kalibrisanih parametara modela se naziva „realizacija“. Međutim, pošto postoji beskonačan broj statistički sličnih realizacija, kroz proces verifikacije modela se biraju neki istorijski uslovi na terenu, različiti od onih koji su korišćeni u procesu kalibracije modela. Na taj način se može smanjiti broj realizacija i varijabilnost rezultata simulacije (GROUNDWATER MODELING, 2014.).

Potrebno je naglasiti da se numerički modeli podzemnih voda retko koriste izolovano, već najčešće u sprezi sa nekim drugim modelima i simulacionim tehnikama. Tako se problemi projektovanja u oblasti vodnih resursa rešavaju spregnutim korišćenjem optimizacionih i numeričkih modela (Mayer et al., 2002.). Hidrodinamički model (MODFLOW) je korišćen zajedno sa genetskim algoritmima u cilju dobijanja optimalnih rešenja sprečavanja prevlaživanja i zaslanjivanja zemljišta (Rana et al., 2008.). Simulaciono-optimizacioni pristup je korišćen za identifikaciju strategije pumpanja podzemne vode za kontrolu visokih nivoa

podzemnih voda na jednom lokalitetu u Kaliforniji (Barlow, 1996.). Taj pristup kombinuje rezultate simulacije kretanja podzemnih voda sa optimizacionim tehnikama u cilju definisanja i poboljšanja rezultata prethodnih studija u kojima je korišćen samo numerički model kretanja podzemnih voda.

Da bi se dobilo održivo upravljanje kanalom za navodnjavanje, morale su biti primenjene i odgovarajuće tehno-ekonomske analize (Kumar et al., 2012.). Slično je i sa upravljanjem podzemnim vodama, jer se bez tehno-ekonomskih analiza ne mogu naći odgovarajuća rešenja, posebno u slučajevima kompleksnih drenažnih sistema. Takav primer rešavanja problema primenjen je na izuzetno složenom lokalitetu Pančevačkog rita (Božić, 2010.).

Faktori koji utiču na neophodnost uvođenja sistemskog pristupa pri upravljanju podzemnim vodama su neprekidno povećanje kompleksnosti u korišćenju drenažnih sistema zbog sve veće interakcije sa ostalim vodoprivrednim sektorima. Primera radi, u Srbiji se drenažni sistemi sve više koriste za prihvatanje efluenta iz gradskih i/ili industrijskih kanalizacionih sistema, kao i za transport vode za navodnjavanje. U takvim uslovima je potrebno da se u fazi planiranja i kasnije upravljanja ovim sistemima vodi računa o postojanju različitih, konfliktnih interesa.

## 2.3 TESTIRANJE PERFORMANSI SISTEMA (BENCHMARKING)

### 2.3.1 Definicija benčmarkinga

Da bi se objasnio pojam benčmarking najpre treba poći od definicije engleske reči (pojma) „benchmark“. Navodimo definiciju koja je data u Concise Oxford English Dictionary: „Benchmark je standard ili referentna tačka u odnosu na koju se stvari mogu porediti ili oceniti“. Za pojam benčmarking postoji nekoliko kratkih i jezgovitih definicija (Cornish, 2005.):

***„Benčmarking znači poboljšati sebe učeći od drugih.“***

***„Benčmarking označava process upoređenja sa drugim organizacijama i izvlačenje koristi koje nam takvo upoređenje omogućava.“***

***„Benčmarking je kontinualan process merenja proizvoda, usluga i prakse sa najžešćim konkurentima ili sa kompanijama koje su priznate kao industrijski lideri (najbolji u klasi).“***

Postavlja se pitanje koji bi bio idealan prevod za engleski termin „benchmarking“. Pregledom domaće literature čini se da bi najedakvatniji prevod pojma benchmarking mogao biti:

***Testiranje performansi sistema*** ili

***Uporedna ocena performansi sistema***

Veoma je važno razlikovati podatke benčmarkinga i šireg pojma „proces benčmarkinga“. Podaci benčmarkinga predstavljaju samo vrednosti indikatora performansi ili ciljeva. Proces benčmarkinga označava korišćenje podataka benčmarkinga za utvrđivanje odstupanja tekuće prakse sa primerima najbolje prakse. Taj proces dovodi do neophodnih promena da bi se poboljšale performanse.

Dugo godina pojam benčmarkinga nije uopšte korišćen u oblasti navodnjavanja i odvodnjavanja. Benčmarking se prvi put pominje početkom devedesetih godina dvadesetog veka u korporativnom poslovnom sektoru kao način da se poslovnim kompanijama izmeri, a samim tim i popravi, kompetitivnost u odnosu na ključne konkurente (*ICID, 2004.*). Proučavajući ključne pokazatelje proizvodnje i produktivnosti konkurenata i analizirajući procese koji vode dostizanju performansi konkurenata mnoge organizacije uspevaju da dostignu najbolje elemente upravljanja i znatno poboljšaju sopstvene performanse. U nekim slučajevima organizacije izvrše proces poboljšanja performansi sistema tako dobro da one postanu uzor konkurentima. Benčmarking mogu da vrše različiti tipovi organizacija:

- ⇒ Privatne kompanije
- ⇒ Državne organizacije
- ⇒ Regulatorne i supervizorske organizacije
- ⇒ Konsultantske organizacije u oblasti upravljanja
- ⇒ Nezavisne agencije

IACID (Irrigation Australia's Committee on Irrigation & Drainage) je jedna od prvih organizacija u svetu koja je primenila program benčmarkinga u sektoru navodnjavanja i odvodnjavanja. Benčmarking u navodnjavanju je započet 1988. godine na 33 irigaciona sistema u Australiji, korišćenjem 15 indikatora performansi (*Burton, 2001.*). Već u izveštaju za 2002./2003. godinu opisan je proces benčmarkinga za 66 sistema za navodnjavanje.

Taj benčmarking program je obuhvatao 65 indikatora performansi sistema za navodnjavanje:

- ⇒ Rad sistema (n=12)
- ⇒ Poslovni procesi (n=25)
- ⇒ Finansijsko upravljanje (n=14)
- ⇒ Upravljanje u sektoru životne sredine (n=14)

Poslednjih petnaestak godina se upravljanje irigacionim i drenažnim sistemima u poljoprivredi sve više oslanja na testiranje performansi sistema, odnosno benčmarkingu. Benčmarking se može definisati kao identifikacija i primena najbolje organizacije sa ciljem poboljšanja kompetitivnosti, performansi i efikasnosti (*Malano & Burton, 2001.*).

Benčmarking je kontinualni proces koji obuhvata:

- a) internu ocenu organizacije;
- b) upoređenje sa najboljim primerima bilo unutar područja delovanja kompanija ili izvan njega;
- c) definisanje razlika između tekuće organizacije sa najboljim primerima organizacije;
- d) izbor najboljih primera iz prakse i njihovo prilagođavanje i implementacija u tekuću organizaciju.

Proces benčmarkinga ne isključuje druge vrste analize dijagnoze i procene sistema, već je komplementaran sa njima. Benčmarking je promena sa tekuće pozicije na bolju poziciju. Pritom je veoma važno da ljudi zaduženi za organizaciju programa benčmarkinga imaju sva ovlašćenja da vrše promene i da proces promena bude u potpunosti integrisan u organizaciono upravljanje.

Uviđajući ogroman značaj koji bi proces benčmarkinga mogao imati u sektoru navodnjavanja i odvodnjavanja, početom 2000. godine preduzeta je široka međunarodna inicijativa koju su podržale Svetska banka, IPTRID (International Programme for Technology and Research in Irrigation and Drainage), IWMI (International Water Management Institute), ICID (International Commission on Irrigation and Drainage) i FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Kao rezultat te inicijative proistekao je dokument pod nazivom Smernice za sprovođenje benčmarkinga u sektoru navodnjavanja i odvodnjavanja (*GUIDELINES FOR BENCHMARKING PERFORMANCE IN THE IRRIGATION AND DRAINAGE SECTOR, 2001.*), koji je

nakon objavljivanja postao jedan od najznačajnijih dokumenata u oblasti benčmarkinga u sektoru navodnjavanja i odvodnjavanja. Autori ovih smernica su Hector Malano (Australija) i Martin Burton (Velika Britanija).

Proces benčmarkinga u organizacijama u sektoru navodnjavanja i odvodnjavanja omogućava uvid u kvalitet performansi sistema u svim oblastima njihovih usluga i korišćenja resursa. U širem kontekstu navodnjavanja i odvodnjavanja koristi od benčmarkinga se ogledaju i u produktivnijem i efikasnijem korišćenju resursa (zemljišta, vode, radne snage, finansijskih sredstava i poljoprivrednih inputa). Sve to omogućava razvoj produktivnije i održive poljoprivrede, poboljšanja sredstava za život i dobrobiti ruralne populacije (*Malano & Burton, 2001.*). Postoji dosta širok spektar korisnika procesa benčmarkinga u oblasti navodnjavanja i odvodnjavanja:

- ⇒ Korisnici vode
- ⇒ Snabdevači - Upravljači sistemom, odnosno distributeri vode
- ⇒ Državna regulatorna tela
- ⇒ Donatorske i finansijske agencije

### 2.3.2 Tipovi benčmarkinga

U stručnoj literaturi se može naići na veći broj tipova benčmarkinga, ali se ipak najčešće izdvajaju sledeći tipovi (*Cornish, 2005.*):

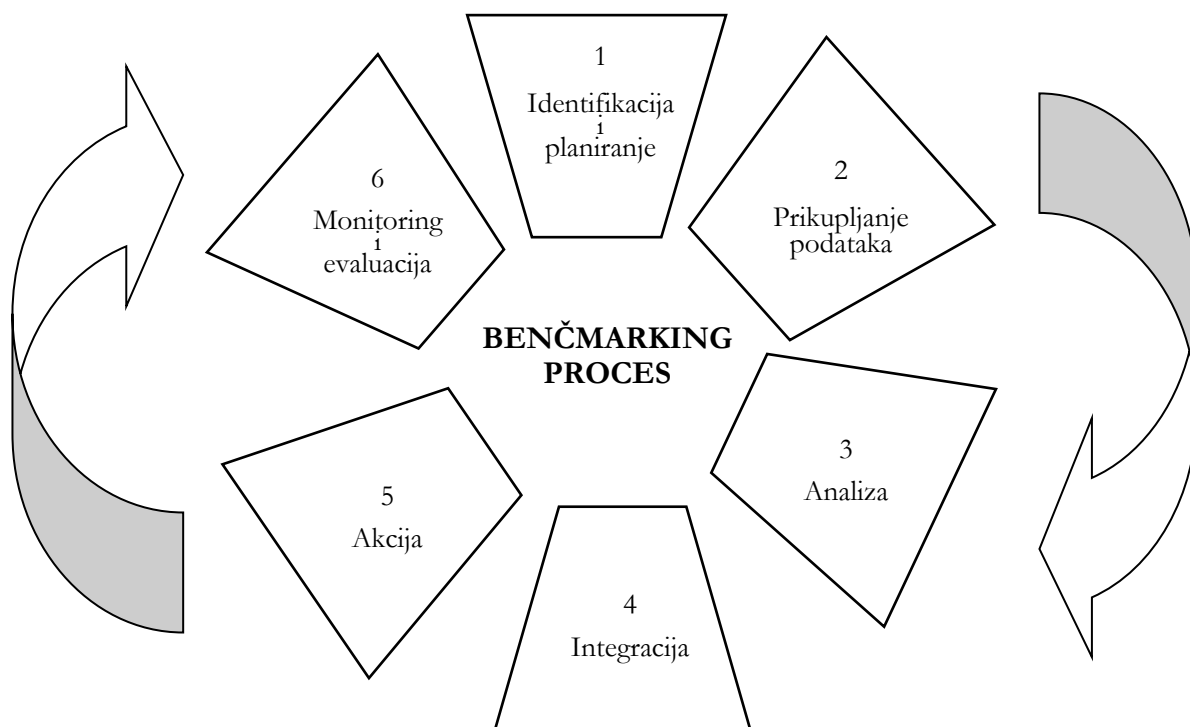
- ⇒ **Strateški benčmarking** obuhvata analizu ključnih aktivnosti i kompetentnosti agencija ili kompanija. Kroz strateški benčmarking dolazi se do novih proizvoda ili usluga ili promena u bilansu aktivnosti. Dakle, odnosi se na strateško planiranje i donošenje odluka i slično je strateškom pregledu kompanije.
- ⇒ **Benčmarking performansi ili „metrični benčmarking“** se odnosi na upoređenje prodaje ili isporuka usluga neke kompanije ili agencije sa sličnim proizvođačima ili snabdevačima. On zahteva uvođenje numeričkih indikatora performansi, kako bi specifični ciljevi mogli biti unapređeni i mereni. Ali upoređenje performansi sa konkurentima nije dovoljno da bi se naznačili procesi unutar kompanije koji ugrožavaju performanse sistema. Za to je potrebna identifikacija i analiza ključnih procesa. Ovaj tip benčmarkinga se zahteva u sektoru navodnjavanja i odvodnjavanja.

- ⇒ **Procesni benčmarking** predstavlja analizu ključnih procesa koji se odnose na isporuku, usluge ili prodaju proizvoda. U stručnoj literaturi se navodi da ovaj tip benčmarkinga zahteva ogromna ulaganja i veoma mnogo vremena, a ako se ne uradi valjano onda demotiviše odgovorne ljude u kompanijama da taj tip benčmarkinga ponovo rade.
- ⇒ **Dijagnostički benčmarking** je neka vrsta hibrida između metričnog i procesnog benčmarkinga. Najpre se prikupljaju informacije unutar jedne organizacije o performansama i tekućoj praksi. Upoređenjem sa primerima najbolje prakse („best practices“) lako se utvrđuju razlike koje ukazuju na slabosti. Dijagnostički benčmarking identifikuje oblasti gde postoje problemi, ali ne daje uvek i rešenja uočenih problema.

Osim prethodno navedenih tipova benčmarkinga u stručnoj literaturi se veoma često definišu tipovi benčmarkinga u odnosu na nivo na kome se vrše upoređenja performansi. **Interni benčmarking** se odnosi na upoređenje performansi unutar jedne organizacije, agencije ili kompanije, težeći da se dostignu željene norme ili standardi. **Spoljni (eksterni) benčmarking** se odnosi na upoređenje performansi različitih organizacija unutar jednog sektora, kako bi se utvrdile, a zatim primenile procedure koje dovode do relevantno najbolje prakse („best practice“). Najzad postoji i **internacionalni benčmarking** koji je neka vrsta ekstenzije spoljnog benčmarkinga, jer obuhvata upoređenje organizacija, agencija i kompanija iz različitih zemalja.

### 2.3.3 Faze procesa benčmarkinga

Analiza procesa benčmarkinga i opis njegovih faza su veoma detaljno opisani u studiji koja je proizašla na osnovu rezultata istraživanja performansi irigacionih i drenažnih sistema u Australiji (*LACID, 2000.*). Osnovni rezultati ove studije sumirani su takođe u radovima (*Malano & Burton, 2001.*) i (*ICID, 2004.*). Osnovne faze procesa benčmarkinga su šematski prikazane na slici 2.2.



**Slika 2.2** *Faze procesa benčmarkinga*  
(Izvor: ICID, 2004.)

Proces benčmarkinga ima šest faza:

### **Faza 1: Identifikacija i planiranje**

Identifikacija i planiranje procesa benčmarkinga je veoma važna polazna tačka koja obuhvata sledeće:

- ⇒ Definisane cilja, motiva i željenih rezultata procesa benčmarkinga;
- ⇒ Definisane korisnika procesa benčmarkinga, unutar ili van organizacije;
- ⇒ Koje oblasti aktivnosti organizacije će biti pokrivenne procesom benčmarkinga;
- ⇒ Koja organizacija će biti odabrana za poređenje i koje performanse će biti predmet procesa benčmarkinga;
- ⇒ Definisane indikatora performansi;
- ⇒ Koji podaci su potrebni za benčmarking i kako ih prikupiti.



**Faza 2: Prikupljanje podataka**

Jedna od ključnih aktivnosti u procesu benčmarkinga je prikupljanje podataka. Da bi se omogućilo poređenje različitih sistema za navodnjavanje i odvodnjavanje neophodno je da prikupljeni podaci budu konsistentni i međusobno uporedivi. Postoje tri tipa prikupljanja podataka:

- a) Podaci koji se dobijaju svakodnevnim merenjima koja se odnose na upravljanje i održavanje irigacionih sistema i sistema za odvodnjavanje;
- b) Podaci koji se prikupljaju za proces benčmarkinga i upoređenje sa drugim sistemima;
- c) Podaci koji se prikupljaju kao deo dijagnostičkog procesa performansi sistema.

Najveći problem u fazi prikupljanja podataka predstavljaju podaci o svakodnevnim merenjima funkcionisanja sistema za navodnjavanje i odvodnjavanje (*Malano & Burton, 2001.*). Naime, svaki od sistema za navodnjavanje i odvodnjavanje je jedinstven i ima neke svoje specifičnosti. Kako postoji veći broj promenljivih veličina koje utiču na performanse sistema za navodnjavanje i odvodnjavanje, veoma često se dešava da proces upoređenja performansi sistema može da bude veoma složen i težak.

**Faza 3: Analiza**

Ovu fazu benčmarkinga karakteriše analiza raskoraka (odstupanja) performansi odabranog sistema sa organizacijom ili organizacionim normama i standardima drugih sistema sa kojima se vrši upoređenje. Rezultati ove analize omogućavaju uvid u:

- ⇒ Utvrđivanje raskoraka (odstupanja) performansi odabranog sistema i performansi sistema koji su odabrani za upoređenje;
- ⇒ Utvrđivanje uzroka raskoraka (odstupanja) performansi odabranog sistema i performansi sistema koji su odabrani za upoređenje;
- ⇒ Definisane potrebne mere za eliminisanje raskoraka (odstupanja) performansi odabranog sistema i performansi sistema koji su odabrani za upoređenje.

Iz prethodnog se može videti da proces benčmarkinga nije samo upoređenje performansi različitih sistema, već obuhvata dijagnostičku analizu koja ukazuje na uzroke razlika u performansama. Tek kada se utvrde uzroci razlika u performansama, predlažu se odgovarajuća rešenja i mere koje je potrebno preduzeti. Ta dijagnostička analiza može biti veoma teška, jer se upravo na tom nivou definišu željeni ciljevi performansi sistema (*ICID, 2004.*).

**Faza 4: Integracija**

Kada se u fazi 3. definišu akcioni plan i mere koje je potrebno preduzeti za poboljšanje performansi odabranog sistema, u sledećoj fazi se oni moraju integrisati u operacione procese i procedure organizacije odabranog sistema, što bi trebalo da dovede do željenih promena. Čitav proces benčmarkinga zavisi od toga da li osobe zadužene za benčmarking imaju dovoljno snage da unutar organizacije sprovedu neophodne promene. Mnogi programi benčmarkinga su propali jer su osobe zadužene za benčmarking smatrale da je iluzorno pokušavati da se nešto menja unutar ustaljene organizacije.

Taj proces integracije i usvajanja novih procesa i procedura za poboljšanje performansi sistema se često naziva „unutrašnji marketing“ jer treba da ubedi vlasnike i ključne aktere unutar organizacije u neophodnost procesa benčmarkinga (*ICID, 2004.*).

**Faza 5: Akcija**

U trenutku kada se prihvate novi procesi i procedure, tada se donosi odluka da se ti novi procesi i procedure sprovedu kako bi se obezbedile željene promene organizacije sistema.

**Faza 6: Monitoring i evaluacija**

Da bi se utvrdilo da li je process benčmarkinga doveo do željenih ciljeva neophodno je obezbediti odgovarajući monitoring i evaluaciju. Rezultati monitoringa i evaluacije služe za donošenje nekih korektivnih mera, ukoliko se pokaže da je to neophodno.

Kao što je ranije naglašeno, proces benčmarkinga je kontinualni proces, što se vidi i na slici 2.2. Uspeh benčmarkinga zavisi od kontinualnog merenja performansi odabranog sistema i upoređenja sa ciljanim normama i standardima, koji su određeni u fazi integracije. Međutim, ti ciljevi se menjaju tokom vremena, pa je neophodno kontinualno prilagođavanje i revizija ciljeva kako bi održali najbolje procedure u postizanju željenih performansi sistema.

**2.3.4 Osnovni deskriptori sistema za navodnjavanje i odvodnjavanje**

Jasno je da je svaki sistem za navodnjavanje ili odvodnjavanje jedinstven. Međutim, da bi se olakšao proces benčmarkinga neophodno je grupisati slične sisteme na osnovu prikupljenih podataka koji opisuju karakteristike sistema za navodnjavanje i odvodnjavanje. Osnovni

deskriptori sistema za navodnjavanje i odvodnjavanje obuhvataju informacije o lokaciji sistema, klimatskim karakteristikama područja, vodnim resursima, tipovima useva koji se uzgajaju, navodnjavanjem površinama, prosečnim veličinama farmi, metodama navodnjavanja, tipovima upravljanja, tipovima drenaže, itd. (ICID, 2004.). Tipičan primer osnovnih deskriptora sistema za navodnjavanje i odvodnjavanje je prikazan u Tabeli 2.1.

**Tabela 2.1 Osnovni deskriptori sistema za navodnjavanje i odvodnjavanje**  
Izvor: (ICID, 2004.)

Deskriptor	Moguće opcije	Napomene sa objašnjenjem
Površina koja se može navodnjavati	-	Definiše da li je projekat velikog, srednjeg ili malog obima
Površina koja se odvodnjava*	Površina sa gravitacionim sistemom drenaže Površina sa kontrolisanom drenažom (uključujući ispumpavanje)	Definiše veličinu drenažnih sistema koji čine deo upravljanja vodnim resursima
Godišnje navodnjavane površine	Površina koja se navodnjava površinskom vodom Površina koja se navodnjava podzemnom vodom	Pokazuje intenzitet korišćenja i ravnotežu između navodnjavanja površinskim i podzemnim vodama
Klima	Sušna; polu-sušna; vlažna; vlažna tropska; mediteranska	Postavlja klimatski kontekst. Značajna zbog upoređivanja između projekata.
Raspoloživost vodnih resursa	Izobilje; zadovoljavajuća; nestašica vode	Postavlja kontekst vodnih resursa, može da se poveže sa klimom.
Poreklo vode	Akumulacija na reci; podzemna voda; oticanje iz reke; zajedničko korišćenje površinske i podzemne vode	Utiče na raspoloživost i pouzdanost snabdevanja vodom za navodnjavanje
Prosečne godišnje padavine	-	Povezane sa klimom, postavlja klimatski kontekst i potrebu za navodnjavanjem i/ili drenažom
Prosečna godišnja referentna potencijalna evapotranspiracija useva (ET <sub>0</sub> )	-	Povezana sa klimom, postavlja klimatski kontekst i potrebu za navodnjavanjem
Metoda crpenja vode	Pumpanjem; gravitacijom, arteska	Utiče na snabdevanje vodom za navodnjavanje
Infrastruktura za isporuku vode	Otvoreni kanal; cevovod; obložen; neobložen	Utiče na potencijalni stepen učinka
Vrsta distribucije vode	Potražnja; organizovana prema potražnji; organizovana; orijentisanost na ponudu	Utiče na potencijalni stepen učinka
Vrsta drenaže*	Gravitaciona; kontrolisana; ispumpavanje. Površinska; podpovršinska (hor.); vertikalna	Utiče na potencijalni stepen učinka

Deskriptor	Moguće opcije	Napomene sa objašnjenjem
Preovlađujuća praksa navodnjavanja na farmama	Površinsko – brazde, basen, rubni delovi, poljski kanali, redni usevi gajeni u brazdama (furrow-in-basin); Navodnjavanje kišenjem – vodeni pištolj, bočno kišno krilo, uređaj za kružno kišenje (centre pivot); Kap-po-kap: podzemno (odn. kontrolisana drenaža)	Utiče na potencijalni stepen učinka
Glavni usevi (sa procentima ukupno navodnjavane površine)	-	Postavlja poljoprivredni kontekst. Odvaja projekte sa pirinčanim od projekata sa drugim kulturama, monokulture od mešovitih plodoreda.
Prosečna veličina farme	-	Značajna za upoređivanje između projekata, bilo da su projekti za velika imanja ili za male posede
Vrsta upravljanja sistemom za navodnjavanje	Državna ustanova; privatno preduzeće; zajedničko upravljanje državna ustanova/ poljoprivrednik; upravljanje od strane poljoprivrednika	Utiče na potencijalni stepen učinka
Vrsta upravljanja drenažnim sistemom	Državna ustanova; privatno preduzeće; zajedničko upravljanje državna ustanova/ poljoprivrednik; upravljanje od strane poljoprivrednika	Utiče na potencijalni stepen učinka
*predložen u skorije vreme i još nije uključen u tekuće ispitivanje benčmarkinga na terenu		

### 2.3.5 Osnovni indikatori performansi sistema za navodnjavanje i odvodnjavanje

Primena benčmarkinga u sektoru navodnjavanja i odvodnjavanja je započeta 1988. godine u Australiji. U međuvremenu je veći broj zemalja započeo sa uvođenjem aktivnosti benčmarkinga (Meksiko, Indija, Kina, Egipat, Malezija, Pakistan, Francuska, Španija, itd.).

Već 2001. godine je predložen set indikatora performansi sistema za navodnjavanje koji je postao dostupan svim zemljama u svetu (*IWMI, 2001.*). Međutim, Australija, Francuska i Španija su uvele sopstvene setove indikatora performansi pre uvođenja tih međunarodnih preporuka za izbor indikatora performansi sistema. Mnoge zemlje su, osim internacionalnih indikatora performansi sistema, koristile i neke druge indikatore koji su specifični za funkcionisanje sistema za navodnjavanje i odvodnjavanje u tim zemljama. U Tabeli 2.2. je

dat pregled nekih indikatora performansi sistema koji se najčešće koriste u svetu. Iz Tabele 1 se može uočiti da se benčmarking dominantno koristi u sektoru navodnjavanja, dok su za sektor odvodnjavanja tek predloženi neki indikatori.

**Tabela 2.2 Osnovni indikatori performansi u sektoru navodnjavanja i odvodnjavanja**  
Izvor: (ICID, 2004.)

Domen	Indikator performansi
Vršenje usluge isporuke vode	Ukupna godišnja količina isporuke vode za navodnjavanje (m <sup>3</sup> /godina)
	Godišnja isporuka vode za navodnjavanje po jedinici navodnjavane površine (m <sup>3</sup> /ha)
	Efikasnost glavnog sistema za isporuku vode
	Godišnje relativno vodosnabdevanje (odnos snabdevanje/potražnja za vodom)
	Godišnje relativno snabdevanje vodom za navodnjavanje
	Kapacitet isporuke vode
	Sigurnost prava na snabdevanje
	Ukupna godišnja količina odstranjene drenažne vode (m <sup>3</sup> /godina, m <sup>3</sup> /ha)
	Ukupna godišnja količina obrađene drenažne vode za ponovnu upotrebu (m <sup>3</sup> /godina, m <sup>3</sup> /ha)
	Koeficijent drenaže*
Finansijski	Koeficijent povraćaja troškova
	Koeficijent troška održavanja u odnosu na prihod
	Ukupan trošak upravljanja pogonom i održavanja (MOM) po jedinici površine (USD/ha)
	Ukupan trošak po osobi zaposlenoj na isporuci vode (USD/osoba)
	Učinak naplaćivanja prihoda
	Broj zaposlenih po jedinici površine (osobe/ha)
Proizvodna efikasnost	Prosečan prihod po kubnom metru snabdevene vode za navodnjavanje (USD/m <sup>3</sup> )
	Ukupna bruto godišnja poljoprivredna proizvodnja (tone)
	Ukupna godišnja vrednost poljoprivredne proizvodnje (USD)
	Prinos po jedinici servisirane površine (USD/ha)
	Prinos po jedinici navodnjavane površine (USD/ha)
Pokazatelji životne sredine	Prinos po jedinici snabdevanja vodom za navodnjavanje (USD/m <sup>3</sup> )
	Prinos po jedinici iskorišćene vode (USD/m <sup>3</sup> )
	Kvalitet vode (navodnjavanje, drenaža*): salinitet (mmhos/cm)
	Kvalitet vode (navodnjavanje, drenaža*): biološki (mg/litar)
	Kvalitet vode (navodnjavanje, drenaža*): hemijski (mg/litar)
	Prosečna dubina do podzemne vode (m)
Promena nivoa podzemne vode tokom vremena (m)	
Bilans soli (tone)	
*Predloženo u skorije vreme i još nije uključeno u tekući OIBS (onlajn benčmarking servis za navodnjavanje)	

Ovi indikatori su već testirani u mnogim zemljama.

Osim toga uveden je i on-line benčmarking servis: <http://www.iwmi.org>.

### 2.3.6 Indikatori performansi sistema za odvodnjavanje i njihova procena

Za razliku od sistema za navodnjavanje, indikatori performansi sistema za odvodnjavanje nisu u potpunosti definisani (*Vincent et al., 2007.*). Kako je ovaj rad u potpunosti posvećen performansama sistema za odvodnjavanje, u daljem tekstu se daje njegov malo opširniji prikaz.

Mada postoje međusobne veze pri utvrđivanju performansi sistema za navodnjavanje i odvodnjavanje, neophodno je istaći i nekoliko očiglednih razlika:

- ⇒ Farmerima na površinama pokrivenim sistemima za navodnjavanje nije potpuno jasan značaj odvodnjavanja u pogledu sprečavanja zaslanjivanja i prevlaživanja zemljišta. Posebno je teško uočiti performanse podpovršinskih sistema za odvodnjavanje. Ponekad farmeri čak smatraju odvodnjavanje štetnim, „jer otklanja - odvodi vodu iz zemljišta“.
- ⇒ Dok se oštećenja na sistemima za navodnjavanje lako detektuju, to nije slučaj kod sistema za odvodnjavanje. Osim toga, loše performanse sistema za navodnjavanje se odmah uočavaju praćenjem razvoja useva. Za utvrđivanje loših performansi sistema za odvodnjavanje je potreban znatno duži vremenski rok.
- ⇒ Programi utvrđivanja performansi sistema za odvodnjavanje mogu imati različite ciljeve: potvrda projektovanih i izvođačkih metoda, procena potreba za revitalizacijom sistema ili efikasnošću investicionih ulaganja.
- ⇒ Definisane programe utvrđivanja performansi sistema za odvodnjavanje nije moguće bez aktivnog učešća farmera, jer samo oni mogu dati pouzdane indikatore performansi drenažnih sistema.

Utvrđivanje performansi sistema za odvodnjavanje je od kapitalnog značaja za njihovo rukovođenje. Svaka organizacija koja rukovodi nekim sistemom za odvodnjavanje mora da ima definisane ciljeve i načine (sredstva) koja će omogućiti njihovo dostizanje. Takođe je veoma važno da se utvrdi u kojoj meri su ciljevi ispunjeni, odnosno kolika je efektivnost sistema za odvodnjavanje. Najzad, treći bitan faktor upravljanja je koliko su bili efikasni načini i sredstva koji su korišćeni za postizanje željenih ciljeva. Ceo taj ciklus se naziva trougao rukovođenja (*Vincent et al., 2007.*).

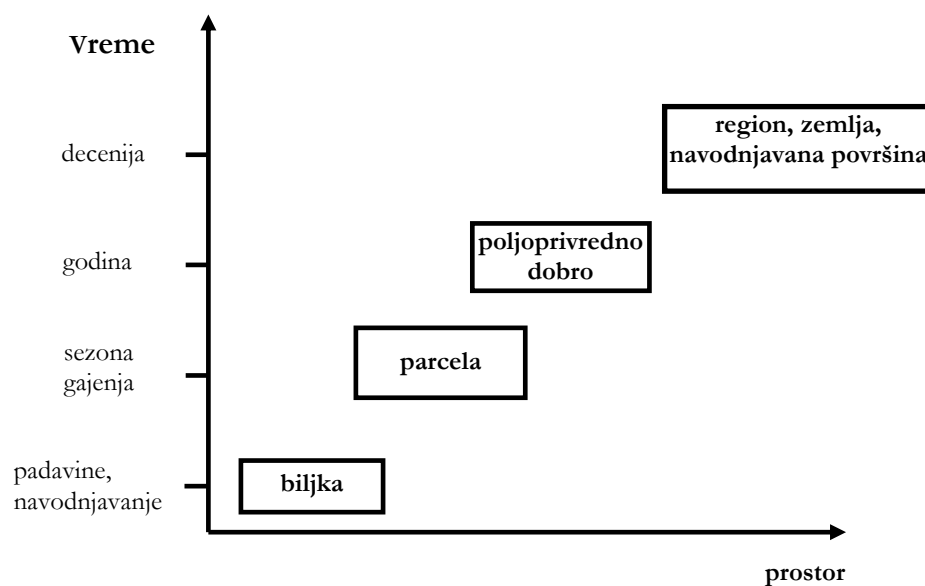
Performanse mogu biti definisane i procenjene sa više aspekata:

- a) Da li su produkti ili servisi neke organizacije u skladu sa potrebama korisnika;
- b) Do kog stepena neka organizacija koristi raspoložive strateške i operacione resurse;
- c) U kojoj meri je sistem u skladu sa tehničkim projektnim kriterijumima.

Primenjeno na sisteme za odvodnjavanje, operacione performanse se odnose na to koliko je sistem u skladu sa projektnim kriterijumima. Strateške performanse se odnose na izlazne produkte sistema, koji nisu isključivo vezani za performanse drenažnog sistema.

### 2.3.7 Implementacija programa performansi sistema za odvodnjavanje

Performanse drenažnih sistema su rezultat više procesa koji se dešavaju u različitim vremenskim i prostornim razmerama (Vincent et al., 2007.). Na slici 2.3 je dat šematski prikaz različitih prostornih i vremenskih razmera koje je potrebno uzeti u obzir pri određivanju performansi sistema za odvodnjavanje. U malim razmerama (biljka, parcela) dominiraju biofizički procesi. U prelaznim razmerama (polje, farma) tehnički aspekti su predominantni. U velikim razmerama socio-ekonomski i politički aspekti imaju dominantan značaj.



**Slika 2.3** Šematski prikaz prostornih i vremenskih razmera

Izvor: Vincent et al., 2007.

U stručnoj literaturi se veoma često osnovne informacije o proceni performansi sistema nazivaju parametri. Do podataka o parametrima se dolazi merenjima i terenskim opservacijama. Na taj način parametri mogu biti kvantitativni ili kvalitativni (*Vincent et al., 2007.*). Do procene performansi dolazi se korišćenjem seta indikatora u kombinaciji sa kriterijumima i ciljanim vrednostima. Za svaki indikator definišu se kriterijumi i opsezi vrednosti indikatora koji se smatraju prihvatljivim ili neprihvatljivim. Na primer, za zasoljenost zemljišta mogu se dati sledeći kriterijumi: neslana, blago zasoljena, slana i veoma slana. Nominalna vrednost kao i devijacije oko nominalne vrednosti definišu ciljanu vrednost indikatora.

Najveći izazov u procesu utvđivanja performansi sistema nije sama definicija indikatora, već definisanje kriterijuma i ciljanih vrednosti indikatora i dozvoljenih odstupanja od njih (*Vincent et al., 2007.*). Kako indikatori zavise od klimatskih karakteristika područja i samih karakteristika područja, za definisanje ciljanih vrednosti indikatora se moraju izvršiti odgovarajuće studije slučajeva (case studies).

Pri izboru indikatora je važno voditi računa o njihovoj prirodi. Neki indikatori opisuju samo neku specifičnu aktivnost, dok drugi opisuju uklapanje ili transformaciju grupe aktivnosti. Indikatori mogu biti direktni i indirektni (*Smedema & Vlotman, 1996.*). Direktni indikatori su skoro uvek funkcija samo jednog parametra.

## **2.4 EKOLOŠKI ASPEKTI ODVODNJAVANJA POLJOPRIVREDNIH POVRŠINA**

### **2.4.1 Uticaj odvodnjavanja na okolinu i geografska rasprostranjenost**

Nekoliko milenijuma unazad postojala je tendencija da se okupljanje ljudskog stanovništva odvija u dolinama reka. Ta tendencija je bila uslovljena proizvodnjom hrane koja je trebalo da zadovolji potrebe celokupnog stanovništva. Kasnije se privredna moć nekog društva ogledala u sposobnosti da se proizvedu količine hrane koje nadmašuju osnovne potrebe stanovništva. Viškovi hrane su predstavljali osnovu za osvajanje novih teritorija i širenje uticaja nekog društva. Povezanost ljudi sa rekama i vodom je izazvala potrebu za naukom o vodama i hidrotehnikom (*Vladislavljević, 1969.*). Tako prvi veliki projekti navodnjavanja i odvodnjavanja datiraju nekoliko milenijuma pre nove ere. Ostaci tih građevina ukazuju da



su tadašnji graditelji bili veoma dobro upoznati sa osnovnim inženjerskim principima, koji i danas čine osnove hidrotehnike i vodoprivrede. U rimsko doba je okolina Sremske Mitrovice bila močvarna. Imperator Probus, rodom iz Sremske Mitrovice (Sirmium) zaposlio je svoje stručnjake i vojnike kopanjem kanala za odvodnjavanje (*Vladisavljević, 1969.*). Ti kanali postoje i danas i narod ih zove „jarčine“. Međutim, nisu samo isušivana močvarna područja već i prirodna jezera. Oko 40 godina posle nove ere isušeno je današnje jezero Celano u Italiji. Jezero je isušeno probijanjem tunela kroz stensku masu, ukupne dužine od oko 5600 m. Na taj način je dobijeno 25 000 ha plodnog zemljišta (*Vladisavljević, 1969.*). Kako je poprečni presek tunela iznosio 11 m<sup>2</sup>, postavlja se pitanje kako su tadašnji graditelji uopšte mogli ga izgrade tako impozantan objekat.

Nagli porast stanovništva u svetu u poslednja dva stoleća uslovio je i nagli porast dreniranih površina, naročito u zemljama u razvoju (*De Wrachien & Feddes, 2003.*). U Tabeli 2.3 su prikazani karakteristični podaci za deset zemalja sa najvećim dreniranim površinama.

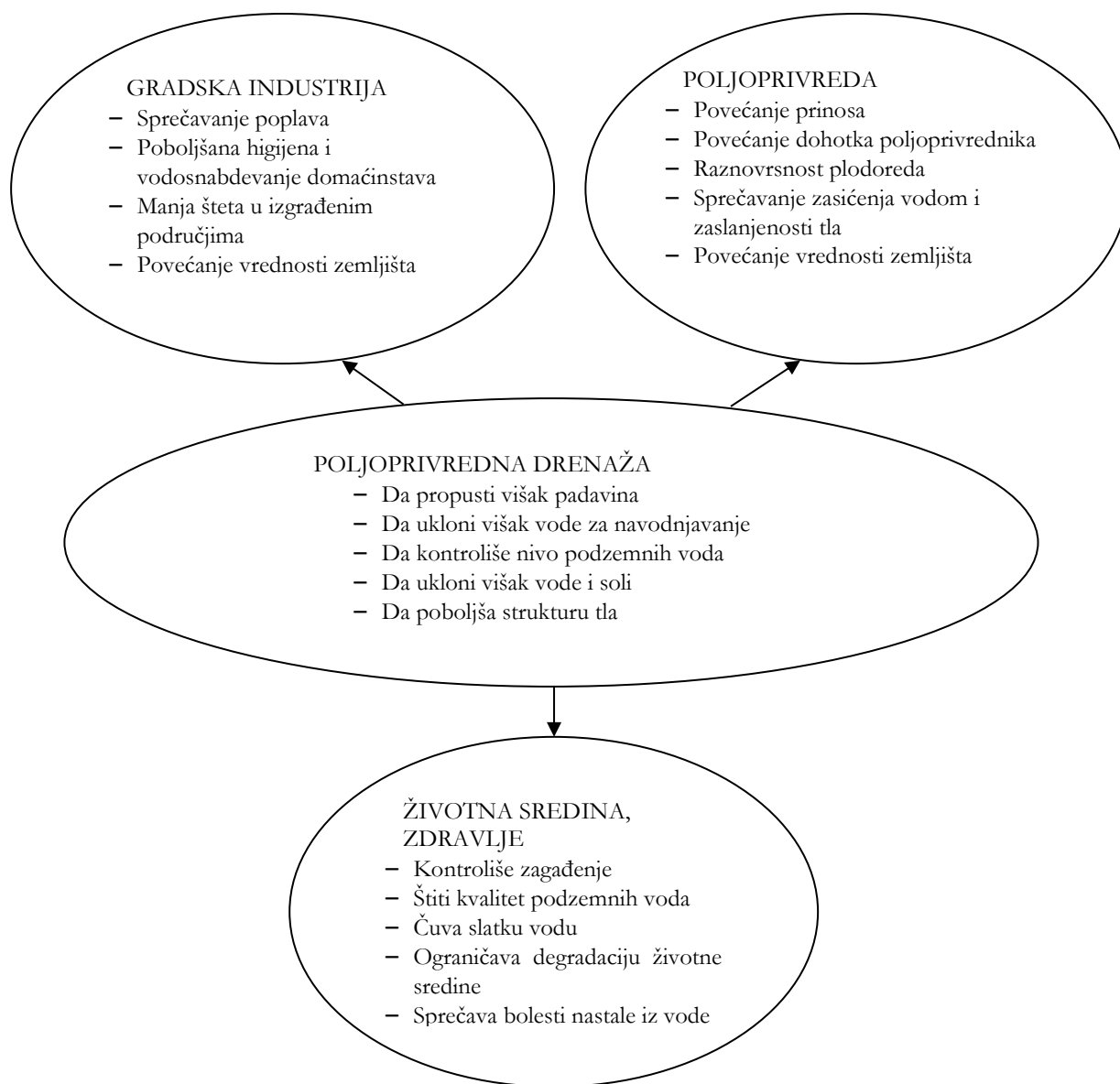
**Tabela 2.3** *Indikativni podaci za deset zemalja sa najvećim dreniranim površinama*

*Izvor: (International Commission on Irrigation and Drainage, 2001. i podaci CEMAGREF-a)*

Zemlja	Stanovništvo (x10 <sup>6</sup> )	% stanovništva u poljoprivredi	Ukupna površina (10 <sup>6</sup> ha)	Obradiva zemlja (10 <sup>6</sup> ha)	Drenirana površina (10 <sup>6</sup> ha)
Brazil	168	19	851	66	8
Kanada	31	3	997	46	10
Kina	1267	68	960	96	29
Nemačka	82	3	36	12	5
Indija	998	61	329	170	13
Indonezija	209	50	190	30	15
Japan	127	4	38	5	3
Pakistan	152	48	80	22	6
Poljska	39	23	32	15	4
SAD	276	2	936	188	47
Ukupno	3349		4449	650	142
Svet	6000		13000	1512	190

Može se uočiti da je u svetu drenažnim sistemima pokriveno oko 190 miliona hektara, od čega se oko 75% se odnosi na deset zemalja sa najvećim dreniranim površinama.

Pozitivni efekti odvodnjavanja su u prethodnom tekstu već u više navrata isticani. Na slici 2.4 su šematski sumirani pozitivni efekti odvodnjavanja na poljoprivredu, urbanu industriju, okolinu i zdravlje.



**Slika 2.4** *Pozitivni efekti i uticaji odvodnjavanja*

(Izvor: Scheumann i Freisem, 2002.)

Potrebno je naglasiti da je čitav razvoj sistema za odvodnjavanje bio isključivo povezan sa povećanjem poljoprivredne proizvodnje u cilju obezbeđivanja dovoljno hrane za naglo

rastući broj svetskog stanovništva. Dugo vremena negativnim efektima odvodnjavanja nije poklanjana nikakva pažnja, čak i u najrazvijenijim zemljama u svetu. Tek u poslednje dve decenije počinju da se spominju izuzetno ozbiljni ekološki problemi koji se javljaju kao posledica odvodnjavanja. Početkom devedesetih godina dvadesetog veka u izveštaju Svetske banke se konstatuje da neadekvatno i nepropisno odvodnjavanje može dovesti do znatne redukcije koristi od navodnjavanja i do veoma štetnih efekata na okolinu. Već tada je ocenjeno da bi neadekvatno i nekontrolisano odvodnjavanje moglo predstavljati jedan od najznačajnijih dugoročnih problema u oblasti održivog poljoprivrednog razvoja. Generalno govoreći odvodnjavanje ima izuzetan uticaj na promenu izgleda prirodnog pejzaža, biodiverzitet i nizvodne hidrološke procese (*Blanc et al., 2012.*).

Poslednjih godina objavljeni su rezultati mnogobrojnih istraživanja koji se odnose na negativne efekte odvodnjavanja u pojedinim zemljama u svetu. Veoma nagli razvoj površinskog i podpovršinskog odvodnjavanja u Severnoj Americi je značajno promenio hidrološke karakteristike terena u odnosu na istorijske prirodne uslove (*Blann et al., 2009.*). Odvodnjavanje je transformisalo hidrološku dinamiku, kao i strukturu, funkciju, količine i konfiguraciju vodotoka i akvatičnih ekosistema. U mnogim poljoprivrednim regijama u Severnoj Americi je odvodnjavanjem obuhvaćeno više od 80% površine slivova. Smanjenjem površinskog zadržavanja voda, povećanjem oticaja i drenažnih površina su značajno izmenjene dinamičke karakteristike prirodnih vodotoka, što je dovelo do povećanja proticaja u većim rekama. Kumulativni negativni efekti odvodnjavanja koji se ogledaju u promenama hidroloških karakteristika, geomorfologiji, ciklusu nutrijenata i dinamici transporta nanosa u rečnim tokovima imaju izuzetno značajne implikacije na akvatične ekosisteme i biodiverzitet. Procenjuje se da je od kraja devetnaestog veka u SAD izgubljeno nešto manje od polovine tadašnjih površina vetlanda (vlažnih područja) kao posledica izgradnje sistema za odvodnjavanje. Slična situacija je i u Kanadi gde je kao posledica odvodnjavanja u poljoprivredi izgubljeno između 81% i 85% vetlanda u severnom Ontariju (*Walters & Shrubsole, 2003.*).

Odvodnjavanje površinskih voda u Australiji je karakteristično za dve vrste predela. U jugozapadnoj Australiji je karakteristično podizanje nivoa podzemnih voda koje prouzrokuje zaslanjivanje zemljišta, koje ima negativne posledice na useve. Obaranje nivoa podzemnih voda se vrši izgradnjom drenažnih sistema. U istočnoj Australiji je odvodnjavanje karakteristično u obalnim područjima koja imaju prirodno visok nivo kiseli

sulfata u zemljištu. Devedesetih godina dvadesetog veka su jasno uočene promene prirodnih karakteristika životne okoline u Australiji. Većina tih promena su posledica uklanjanja autohtone vegetacije, šumskih požara ili uvođenja novih agrotehničkih mera (Taffs, 2001.). Međutim, uticaj odvodnjavanja na promene životne okoline i modifikaciju hidrološkog režima je dugo bio potpuno zanemaren u Australiji. Sredinom devedestih godina je urađena jedna detaljna analiza uticaja odvodnjavanja na promene životne sredine u Australiji (Spaling & Smit, 1995.). U studiji je razvijen konceptualni model definisanja kumulativnih efekata odvodnjavanja na životnu okolinu. Rezultati nekih kasnijih studija su pokazali da se razvojem sistema za odvodnjavanje pogoršava kvalitet voda. Osim toga, u Australiji još uvek preovlađuje mišljenje da je odvodnjavanje rešenje za sprečavanje degradacije zemljišta, a ne direktni uzrok (Taffs, 2001.).

Poslednjih godina se u Egiptu posvećuje velika pažnja uticaju drenažnih sistema u poljoprivredi na životnu okolinu. Negativni efekti odvodnjavanja su naročito izraženi u široj zoni delte Nila, jer se drenažne vode sa poljoprivrednih zemljišta direktno ispuštaju u reku Nil. Osnovni problem je u tome što se, osim viška vode sa poljoprivrednih zemljišta, u reku Nil ispuštaju i industrijske, komunalne i otpadne vode domaćinstava (Nasralla, 2009.). Zbog toga se u zoni delte Nila planiraju veliki projekti ponovnog korišćenja (recikliranja) drenažnih voda, pre upuštanja u reku Nil. Primer delte Nila je indikativan za sagledavanje prednosti i mana sistema za odvodnjavanje u poljoprivredi. Sa jedne strane, odvodnjavanje omogućava dobijanje novih površina za poljoprivrednu proizvodnju, na odvodnjavanim površinama se poboljšava kvalitet zemljišta i najzad, odvodnjavanjem se omogućava održivost korišćenja navodnjavanih površina. Sa druge strane, odvodnjavanje ima i određene mane, koje se u slučaju delte Nila ogledaju u veoma štetnim posledicama koje prouzokuje ispuštanje kontaminirane drenažne vode (soli, nitrati, herbicidi, pesticidi, itd.) u reku Nil.

Negativni efekti odvodnjavanja u poljoprivredi su veoma izraženi i u Evropi. Procenjuje se da je u severozapadnoj Evropi oko 34% prirodnih predela izmenjeno kao posledica odvodnjavanja u poljoprivredi, dok taj procenat u Škotskoj iznosi čak 50% (Abbot & Leeds-Harrison, 1998.). Pre petnaestak godina procenjeno je da se u Velikoj Britaniji odvodnjava 60,9% poljoprivrednih površina, dok su u Danskoj i Finskoj procenti odvodnjavanih površina iznosili 51,4%, odnosno 91%. (Wisikow & van der Ploeg, 2003.).

Već je istaknuto da je odvodnjavanje na teritoriji današnje Srbije, odnosno pokrajine Vojvodine, prisutno od doba Rimske Imperije. Međutim, do početka XVIII veka oko 50%

površina u Vojvodini bilo je ugroženo vodom, od poplava reka koje protiču kroz ovo područje, od unutrašnjih voda i visokih podzemnih voda. Regulisanjem toka reka, odbranom od poplava i odvodnjavanjem, od početka XVIII veka do danas, površine su postepeno oslobađane od suvišnih voda i pretvarane u plodne njive. Danas se u Vojvodini, za potrebe poljoprivrede, može koristiti oko 2 miliona ha, odnosno oko 92% ukupne teritorije (*Dragović et al., 2005.*).

Višenamenski hidrosistem Dunav - Tisa - Dunav (HS DTD), sa razgranatom kanalskom mrežom u dužini od 930 km i velikim brojem složenih hidrotehničkih objekata (24 ustave, 16 prevodnica, 6 crpnih stanica i 5 sigurnosnih ustava), predstavlja jedan od najvećih i najstroženijih vodoprivrednih sistema u svetu. Višenamenski karakter Hidrosistema ogleda se u mogućnostima odvodnjavanja suvišnih voda sa oko 760.000 ha, navodnjavanja poljoprivrednih površina na oko 500.000 ha, korišćenja voda za snabdevanje naselja i industrije, plovidbe na dužini kanala od oko 660 km, kao i korišćenja voda za rekreativne svrhe. I pored izuzetnog značaja tog višenamenskog Hidrosistema, skoro u potpunosti su zanemareni neki negativni uticaji na životnu sredinu. Naime, nakon početka eksploatacije HS DTD konstatovano je da izgrađena kanalska mreža u potpunosti zadovoljava sve pobrojane zahteve, ali i da se pojavio jedan problem koji je skoro u potpunosti zanemaren u fazi planiranja i projektovanja HS DTD. Naime, na većem broju lokacija, duž mreže kanala HS DTD, uočeno je intenzivno zasipanje nanosom korita kanala, što je prouzrokovalo postepeno smanjenje proticajnih profila kanala u tim zonama. Intenzitet zasipanja kanala nanosom, kao i veličina zona izloženih zasipanju, razlikovali su se od lokaliteta do lokaliteta, ali je za sve lokalitete karakteristična nagla promena režima tečenja vode kao i relativno složena strujna slika u zoni samog lokaliteta. Po količinama istaloženog nanosa posebno su se izdvojili vodozahvati na Dunavu i Tisi, lokaliteti u zoni prevodnica, lokaliteti u zoni ukrštanja prirodnih vodotoka i osnovne kanalske mreže i lokaliteti ušća prirodnih vodotoka u kanalsku mrežu (*Petković, 2002.*). Kada su količine istaloženog nanosa značajno redukovale proticajne profile kanala, tako da je bilo ugroženo normalno funkcionisanje Hidrosistema, odlučeno je da se započne sa izmuljivanjem kanala, odnosno bagerovanjem istaloženih količina nanosa na najugroženijim lokalitetima. Bagerovanje istaloženih naslaga nanosa izvodi se od početka eksploatacije HS DTD do danas, a dinamika i količine izbagerovanog nanosa ne zavise samo od zahteva za obezbeđivanje normalnog funkcionisanja Hidrosistema, već skoro isključivo od mogućnosti raspoložive mehanizacije za bagerovanje i ekonomskih uslova za njenu maksimalnu eksploataciju.

Najintenzivnije bagerovanje koincidira sa krajem osamdesetih godina, a 1988. godine izbagerovana je maksimalna količina istaloženog nanosa od oko  $440 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ . Početkom devedesetih godina količine izbagerovanog nanosa drastično opadaju, a 1993. godine u periodu hiperinflacije i velikih ekonomskih poremećaja, bagerovanje uopšte nije vršeno. Kao posledica smanjenog obima bagerovanja problem istaložavanja nanosa postajao je sve izraženiji, a u pojedinim periodima bilo je ozbiljno ugroženo normalno funkcionisanje Hidrosistema. Potrebno je naglasiti da je funkcionisanje Hidrosistema bilo posebno ugroženo sa aspekta odvodnjavanja. Naime, umesto odvodnjavanja i prihvatanja suvišnih voda sa poljoprivrednih površina, kanalska mreža je na pojedinim lokalitetima služila i kao recipijent industrijskih i komunalnih otpadnih voda. Usled smanjene protočnosti kanalske mreže, kao posledica istaložavanja nanosa, došlo je i do značajnog pogoršanja kvaliteta voda u kanalskoj mreži. Istaloženi nanos na dnu kanalske mreže je na mnogim lokalitetima kontaminiran, pa je prilikom čišćenja i bagerovanja nanosa veoma često dolazilo do masovnog pomora ribe. Poseban problem predstavlja odlaganje izbagerovanog nanosa. U dosadašnjoj praksi su duž kanalske mreže kopane kasete u koje je deponovan izbagerovan nanos. Međutim, kako je izbagerovan nanos veoma često kontaminiran, postoji opasnost od zagađenja podzemnih voda u zoni kasete u koje se deponuje nanos. Očigledno je da je potrebno posvetiti znatno veću pažnju izučavanju nekih negativnih uticaja HS DTD na životnu sredinu.

Interesantan primer odvodnjavanja u Srbiji predstavlja područje Pančevačkog rita. Područje predstavlja aluvijalnu ravan Dunava i Tamiša, smeštenu severno od Beograda, okruženu odbrambenim nasipima pored tri vodotoka: Dunava (52,6 km), Tamiša (32 km) i Karašca (5,4 km). Na području ukupne površine 32.200 ha, pored naselja Krnjača i Borča, koja u pravom smislu predstavljaju urbane celine, ima manjih naselja, koja su nastala za potrebe naseljavanja radnika zaposlenih na poljoprivrednim površinama i industrijskim kompleksima. Osnovna kanalska mreža za odvodnjavanje koncipirana je isključivo prema kriterijumima poljoprivrede, odnosno odvođenja unutrašnjih voda. Evakuacija suvišnih voda se ostvaruje preko 7 crpnih stanica ukupnog instalisanog kapaciteta  $35,8 \text{ m}^3/\text{s}$ . Međutim, sadašnje stanje odvodnjavanja na području Pančevačkog rita je nezadovoljavajuće. Ključni razlog je vezan za loše upravljanje i održavanje postojećeg sistema za odvodnjavanje. Osim toga, evidentni su određeni tehnički nedostaci i problemi koji se odnose na kompletnu zaštitu područja od podzemnih voda. Iako je područje Pančevačkog rita sistemom ustava podeljeno na slivna područja, dosadašnji način upravljanja podzemnim vodama je bio takav da su sve ustave bile stalno otvorene, pa je čitavo područje Rita

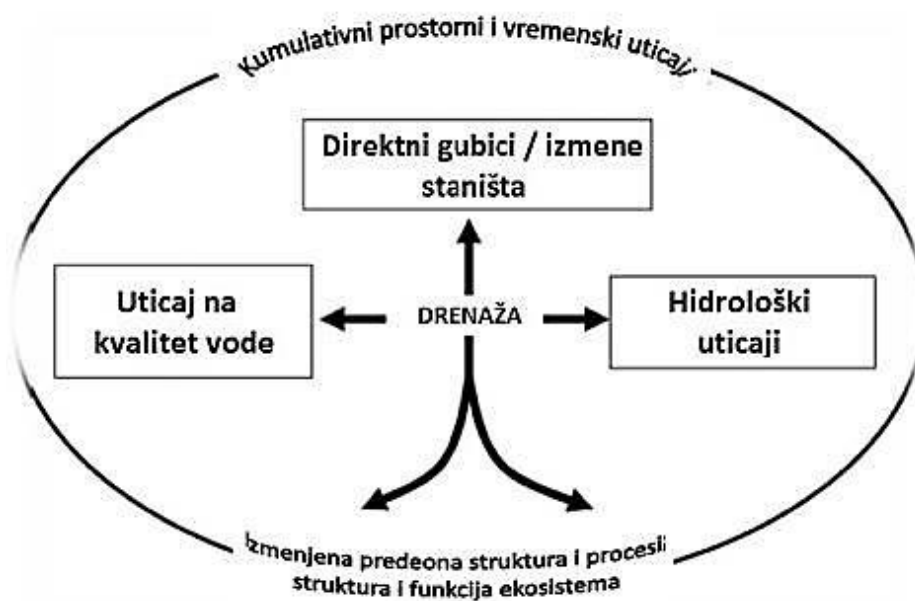
predstavljalo jedno slivno područje, a postojeće crpne stanice su bile neravnomerno opterećivane i nisu mogle da ostvare postavljene kriterijume u drenažnim sistemima. Loše održavanje sistema za odvodnjavanje je direktna posledica veoma velikih finansijskih problema sa kojima se već dvadesetak godina susreće sektor upravljanja vodama u Srbiji (Božić, 2010.). Negativni efekti izgrađenog sistema za odvodnjavanje još uvek nisu ozbiljnije razmatrani.

#### 2.4.2 Konceptualni modeli uticaja odvodnjavanja na okolinu

Akvatični ekosistemi su značajno promenjeni i ugroženi korišćenjem zemljišta, hidrološkim promenama i promenama kvaliteta voda koji su posledica intenzivnog razvoja površinskog i podpovršinskog odvodnjavanja (Blann *et al.*, 2009.). Kumulativni negativni efekti odvodnjavanja u poslednjem stoleću bi se mogli sumirati na sledeći način:

- ⇒ Široko rasprostranjeno propadanje netolerantnih vrsta
- ⇒ Dramatične promene sastava akvatičnih zajednica
- ⇒ Homogenizacija akvatične faune sa dominantnim učešćem tolerantnijih vrsta

Sredinom devedesetih godina dvadesetog veka veći broj autora je počeo da razvija heurističke konceptualne modele generalnih međusobnih odnosa odvodnjavanja i uticaja na okolinu. Na slici 2.5 prikazan je konceptualni model koji ilustruje kako površinsko i podpovršinsko odvodnjavanje utiče na akvatične ekosisteme. Model je nastao kao kompilacija većeg broja ranije razvijenih modela (Blann *et al.*, 2009.). Sa slike se najpre uočava da odvodnjavanje može direktno uticati na promenu ili gubitak prirodnih staništa. Odvodnjavanje takođe ima direktne uticaje na promene kvaliteta voda i hidrološke karakteristike područja. Međutim, kumulativni prostorni i vremenski uticaji odvodnjavanja u sprezi sa promenom pejzaža i strukture i funkcije ekosistema mogu dovesti do dugoročnih promena regionalnog biodiverziteta.



**Slika 2.5** Šematski prikaz nepovoljnih uticaja odvodnjavanja na promene ekosistema

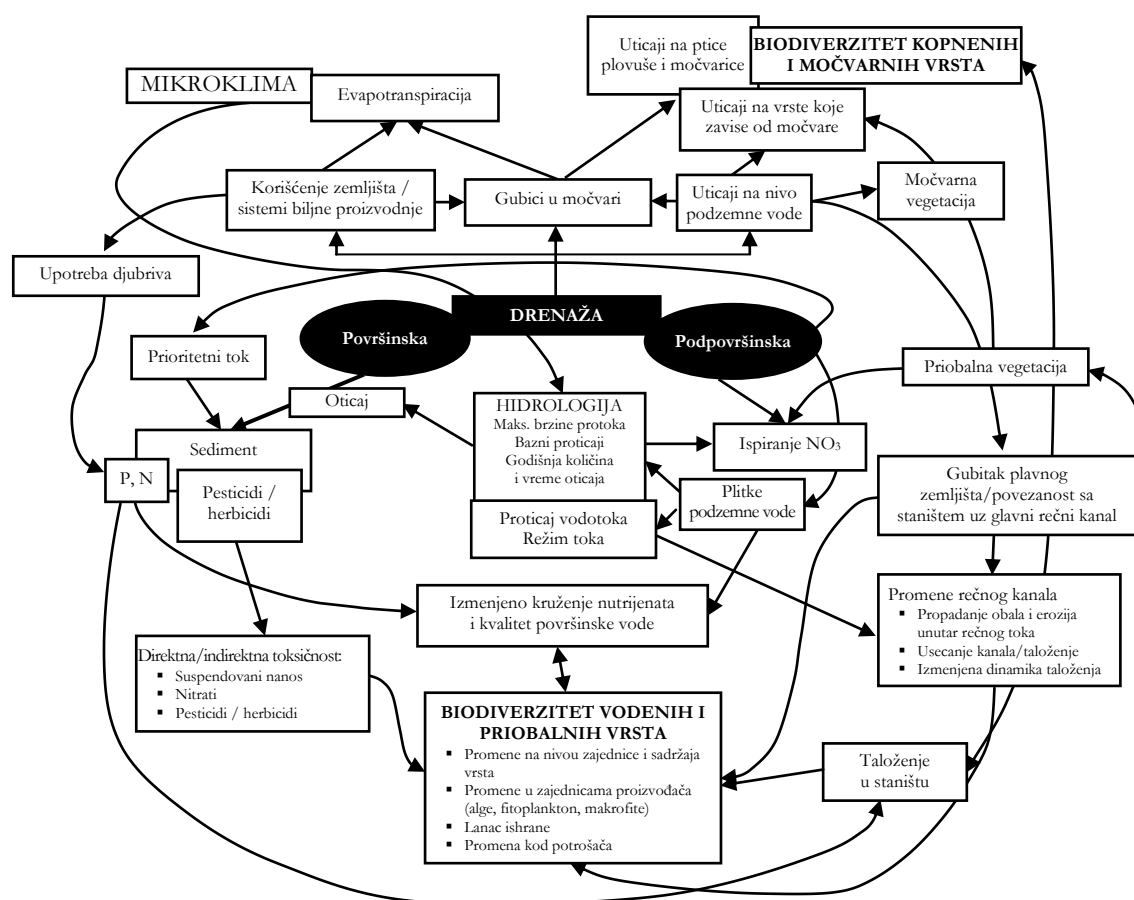
Izvor: Blann et al., 2009.

Naravno, moguća je i znatno detaljnija prezentacija ranga direktnih i indirektnih uticaja odvodnjavanja na ekosisteme, koja ističe svu kompleksnost međusobnih interakcija različitih faktora.

Na slici 2.6 prikazan je znatno detaljniji konceptualni model uticaja odvodnjavanja na akvatične ekosisteme, pri čemu su razdvojeni uticaji površinskog (leva strana dijagrama) i podpovršinskog odvodnjavanja (desna strana dijagrama).

Jačina uticaja odvodnjavanja u poljoprivredi na akvatične ekosisteme karakteriše se u odnosu na stepen kojim odvodnjavanje menja lokalne i regionalne ekološke strukture, funkcije i remeti režime na koje su se prirodne zajednice adaptirale (Blann et al., 2009.). Najizraženiji nepovoljni uticaji obuhvataju dinamiku hidroloških, hemijskih, geomorfoloških i temperaturnih karakteristika područja ili regiona.





**Slika 2.6** *Konceptualni model uticaja površinskog i podpovršinskog odvodnjavanja na akvatične ekosisteme*  
 Izvor: Blann et al., 2009.

### 2.4.3 Održivi sistemi za odvodnjavanje

U prethodnom tekstu su jasno istaknute prednosti i mane odvodnjavanja poljoprivrednih površina. Jasno je da zaštita akvatičnog biodiverziteta zahteva značajno smanjenje primene đubriva i agrohemijskih sredstava, kao i redukcije količina nanosa koje stižu u zonu akvatičnih ekosistema. Da bi se izbegli neželjeni efekti površinskog i podpovršinskog odvodnjavanja na akvatične ekosisteme preporučuje se primena kombinacije različitih strategija zaštite ekosistema (Blann et al., 2009.). U svetu se danas insistira da se uz pojam odvodnjavanje obavezno doda pridev održivo. Dakle, nije dovoljno da se odvodnjavanjem stvore uslovi za intenzivnu poljoprivrednu proizvodnju, već je neophodno da mere odvodnjavanja što je moguće manje narušavaju prirodne karakteristike područja. U

anglosaksonskoj stručnoj literaturi se za pojam održivi drenažni sistemi koristi akronim SUDS (Sustainable Drainage Systems).

U inženjerskoj praksi je poznat slogan „Nema navodnjavanja bez odvodnjavanja“. Međutim danas se sve više insistira da se taj slogan proširi i da glasi „Nema održive poljoprivrede bez odvodnjavanja“ (*Scheumann & Freisem, 2002.*). Pri tom se mora voditi računa o efektima odvodnjavanja na prirodu i okolinu. Dok je potreba za efikasnim korišćenjem voda generalno prihvaćena, odvodnjavanje zemljišta još uvek nije jasno inkorporisano u koncept održivog upravljanja vodnim resursima.

U Velikoj Britaniji se posebno razmatraju održivi drenažni sistemi u urbanim i ruralnim područjima. Za oba slučaja su izrađeni odgovarajući priručnici za planiranje i projektovanje drenažnih sistema. Za urbane drenažne sisteme izrađeno je nekoliko priručnika:

- ⇒ Guidance on the use of sustainable drainage systems (SUDS) and an overview of the adoption policy, [www.anglianwater.co.uk](http://www.anglianwater.co.uk)
- ⇒ The SUDS Manual 2007 CIRIA 697 (including the handbook for the construction of SUDS: CIRIA C698)
- ⇒ The Interim Code of Practice for SUDS: National SUDS Working Group– CIRIA at [www.ciria.org/SUDS](http://www.ciria.org/SUDS)

Osnovni cilj izgradnje održivih urbanih drenažnih sistema (SUDS) je da odvodnjavanje urbanih sredina bude što sličnije odvodnjavanju prirodnih sistema. Međutim, izgradnjom održivih drenažnih sistema trebalo bi obezbediti još neke koristi. Najpre, oni se moraju uklopiti u prirodni ambijent i obezbediti odgovarajući biodiverzitet. Osim toga, održivi urbani drenažni sistemi moraju obezbediti zaštitu okoline kontrolisanjem kvaliteta i kvantiteta voda površinskog oticaja ([www.anglianwater.co.uk](http://www.anglianwater.co.uk)).

Kako ruralni drenažni sistemi imaju svoje specifičnosti izrađen je poseban priručnik pod nazivom Rural Sustainable Drainage Systems (RSuDS). Mada ruralni održivi drenažni sistemi ne predstavljaju neki novi koncept, oni još uvek nisu našli široku primenu u Velikoj Britaniji. Njihova dosadašnja primena je pokazala veoma dobre efekte na redukciju štetnih uticaja površinskog oticaja na floru, faunu i hemijski status površinskih voda (*Avery, 2012.*). Takođe je konstatovano da održivi ruralni drenažni sistemi održavaju dobar kvalitet voda i sprečavaju eroziju zemljišta.

Odvodnjavanje na Novom Zelandu ima veoma bogatu i dugačku istoriju, ali je fokus svih izgrađenih sistema za odvodnjavanje stavljen na hidrauličku efikasnost, to jest na odvođenje suvišne vode što je moguće brže. Tek poslednjih desetak godina se održivom upravljanju sistemima za odvodnjavanje posvećuje značajna pažnja. Izrađen je priručnik pod nazivom „Održivo upravljanje odvodnjavanjem“ (Hudson, 2005.). U priručniku se razmatraju neki ključni aspekti koji imaju dominantnu ulogu u upravljanju sistemima za odvodnjavanje na Novom Zelandu:

- ⇒ **Istaložavanje nanosa:** Jedan od ključnih problema funkcionisanja sistema za odvodnjavanje na Novom Zelandu je intenzivno istaložavanje nanosa duž drenažnih kanala. Istaloženi nanos smanjuje proticajne profile kanala, povećava hidrauličku rapavost što utiče na povećanje nivoa vode u kanalima, opasnost od poplava i prevlaživanje pašnjaka. Prljava voda ugrožava nizvodne korisnike.
- ⇒ **Vegetacija:** Bujanje vegetacije u odvodnim kanalima takođe povećava rapavost i utiče na povišenje nivoa vode. Vegetacija ima štetno dejstvo i sa staništa riba. Na primer inanga, ključna vrsta bele ribe preferira otvorene kanale, bez vegetacije, za svoju ishranu.
- ⇒ **Kvalitet vode:** Kvalitet vode u kanalima za odvodnjavanje je veoma loš zbog oticanja sa farmi i izmeta stoke.
- ⇒ **Biodiverzitet:** Tokom čišćenja drenažnih kanala od nanosa i trave se remeti mrešćenje pastrmke, jer se nizvodno od mesta intervencije taloži najfiniji nanos. Takođe, tokom iskopa nanosa se uklanja i riblja ikra sa dna kanala.

Na Novom Zelandu se za sprečavanje negativnih efekata odvodnjavanja na okolinu veoma često koriste vegetativne zavese duž korita drenažnih kanala. Vegetativne zavese mogu biti vrlo efikasne za sprečavanje istaložavanja nanosa u drenažnim kanalima, redukciju zagađenja vode i povećanje vizuelnog diverziteta. Potrebno je naglasiti da relativna efikasnost vegetacije duž kanala varira i dominantno zavisi od hidroloških uslova i tipova zagađivača. U Tabeli 2.4 su sumirani efekti vegetativnih zavesa duž drenažnih kanala sa aspekta smanjenja unošenja nanosa, redukcije zagađenja vode u kanalima, uticaja na akvatične i zemljišne ekosisteme, povećanja vizuelnog diverziteta, sprečavanja poplava i ekonomskih prihoda.

**Tabela 2.4** *Relativna efikasnost različitih tipova vegetativnih zavesa na smanjenje negativnih efekata odvodnjavanja*

*Izvor: (Hudson, 2005.)*

Korist	Vrsta vegetacije			
	Trska	Trava	Grmlje	Drveće
Stabilizuje eroziju obale	Niska-visoka	Srednja	Visoka	Visoka
Filtrira talog	Visoka	Visoka	Niska	Niska
Filtrira hranjive materije, pesticide, mikrobe				
– Vezane za talog	Visoka	Visoka	Niska	Niska
– Rastvorljive	Visoka	Srednja	Niska	Srednja
Vodeno stanište (zaklon, hrana, senka)	Visoka	Niska	Srednja	Visoka
Kopneno stanište				
– Vrste sa nekultivisanih pašnjaka	Srednja	Visoka	Srednja	Niska
– Šumske vrste	Niska	Niska	Srednja	Visoka
Vizuelni diverzitet	Visoka	Niska	Srednja	Visoka
Smanjivanje plavljenja	Niska	Niska	Srednja	Visoka
Ekonomski proizvodi	Niska	Srednja	Niska	Srednja-visoka

### **3. PRIKAZ POKAZATELJA ZA PROCENU UČINKA DRENAŽNIH SISTEMA**

#### **3.1 DEFINICIJE I OSNOVNE POSTAVKE**

Kako bi različite procene, do kojih se dolazi tokom trajanja vodoprivrednog sistema, bile uporedive, potrebno je imati jasne i precizne definicije:

1. Monitoring i procena (M&P) se primenjuje za procenu potreba za intervencijama, a ne na procene učinka. To je više generička metodologija od procene učinka. Fokus monitoringa i procene je često interni za organizaciju.
2. Kontrola kvaliteta (KK) je više povezana sa projektantskim procedurama, za proveru građevinskih zahteva i specifikacija. Procene učinka se primenjuju u toku čitavog veka trajanja sistema, dok se kontrola kvaliteta generalno vrši samo u toku i odmah nakon izgradnje objekta/sistema.
3. Procena učinka (PU) sistema za navodnjavanje i odvodnjavanje. Definicije su različite ali opisuju procenu učinka kao „*metodologiju za istraživanje, uz korišćenje ograničenog broja pokazatelja, stepena radne eksploatacije instaliranih sistema*“, odnosno obuhvata ono što istraživači procene učinka smatraju njegovim najznačajnijim osobinama.
4. Benčmarking (BM) može da se definiše kao: „*sistematski proces u cilju obezbeđenja konstantnog poboljšanja, kroz upoređivanje sa relevantnim i dostižnim internim i eksternim normama i standardima*“ (Malano, 2001.). Benčmarking pokazatelji imaju za cilj da omoguće upoređivanje sistema i da obezbede najveću osetljivost u blizini identifikovane ciljne vrednosti. Pokazatelji procena učinka, koji detaljno ispituju interne procese, ne mogu biti korišćeni za benčmarking.
5. Istraživanje i razvoj (I&R), obezbeđuje nove tehnologije ili metode koje se razlikuju od pružanja informacija o funkcionisanju objekata. Istraživanje nije procena učinka, mada primenjeno istraživanje može da koristi podatke koje je proizveo BM, PU, M&P i KK.

Definisanjem performansi drenažnih sistema, stvaraju se uslovi za njihovo međusobno upoređivanje. Svrha procena učinka (PU) je da se proceni funkcionisanje sistema u odnosu

na postavljene standarde, korišćenjem usvojenih pokazatelja. Uopšte uzev, procene učinka su interne u sistemu, dok se definisanjem performansi (ocene kvaliteta rada) drenažnih sistema stvaraju uslovi za eksterno upoređivanje sa nekim drugim sistemom. Stoga je to korak dalje u nizu procena koje se vrše u toku trajanja vodoprivrednog sistema: od planiranja, projektovanja, izgradnje, funkcionisanja, upravljanja i održavanja. Procene učinka su korak više od monitoringa drenažnih sistema. Odnos kontrole kvaliteta prema ovim aktivnostima je u razlici između tehničkih, operativnih i strateških ciljeva i/ili osnovnih principa. U osnovi, sve aktivnosti procene do benčmarkinga su interno orijentisane. Benčmarking ima za cilj korišćenje istih podataka za procenu učinka koji su na raspolaganju eksterno, tako da je moguće upoređivanje između sistema.

Uloga benčmarkinga u procenama učinka drenažnih sistema i sistema za navodnjavanje se razlikuje. Ovo je posebno izraženo kod sistema za navodnjavanje većih razmera, u aridnim zonama, na koja su dosadašnja istraživanja na procenama učinka uglavnom bila usmerena. Dosadašnje aktivnosti na procenama učinka drenažnih sistema, bile su usmerene na učinak podzemne cevne drenaže, bez zalaženja u sisteme sa površinskom drenažom i sisteme za kontrolu poplava.

Osnovna razlika u pogledu procena učinka između sistema za navodnjavanje i odvodnjavanje je da je za funkcionisanje sistema za navodnjavanje, generalno, potrebna neposredna saradnja sa korisnicima, odnosno sa poljoprivrednicima. Tradicionalno, rad drenažnih sistema predstavlja proces koji je uglavnom gravitaciono upravljiv, koji funkcioniše uz minimalno upravljanje i tehničku kontrolu. Imajući u vidu manji broj operativno promenljivih vrednosti i opcija, često se smatralo da su procene učinka drenažnih sistema manje potrebne i manje vredne nego u sektoru navodnjavanja.

Danas, shvatajući značaj drenaže, dolazi do promene tog shvatanja i većeg značaja benčmarkinga u drenažnom sektoru. Sve više se drenaža posmatra kao kritična komponenta integralnog upravljanja vodnim resursima. Prvo, sve je veća važnost zaštite životne sredine, a u najvećoj meri zaštita kvaliteta voda i biološke raznovrsnosti, na koju rad drenažnih sistema utiče više nego rad sistema za navodnjavanje. Drugo, drenaža dobija na značaju, jer se sve više prepoznaje da je adekvatna drenaža presudna za održivost poljoprivrede uz primenu navodnjavanja, naročito u područjima sa suvim ratarenjem. Treće, kontrolisana drenaža je neophodna u mnogim prilikama, što znači i veće angažovanje udruženja i poljoprivrednika u funkcionisanju drenažnog sistema (*Vlotman, 2002.*). Imajući u vidu ove trendove, za očekivati

je da će u budućnosti rasti značaj učinka izgrađenih drenažnih sistema, što će zahtevati više ispitivanja i merenja, nego u prošlosti. Upravljanje drenažnim sistemima će zahtevati osmatranja i merenja, sa savremenom i pouzdanom opremom, kako bi se moglo odgovoriti na očekivane zahteve za informacijama i preporukama korisnicima sistema.

### 3.2 KARAKTERISTIKE PROCENA UČINKA DRENAŽNIH SISTEMA

Procene učinka drenažnih sistema u okviru Integralnog upravljanja vodnim resursima, u potpunosti nisu definisane. Svakako, to je i posledica različitiog obima i nivoa razvoja drenaže u svetu, ali i činjenice da su brojna, različita ministarstva i institucije uključene u sistem vodoprivrede.

Odnosi između procena učinka navodnjavanja i odvodnjavanja su jasni (*Smedema, 1996.*), naročito u domenu vodno-sonog režima zemljišta. Ali postoje i neke razlike:

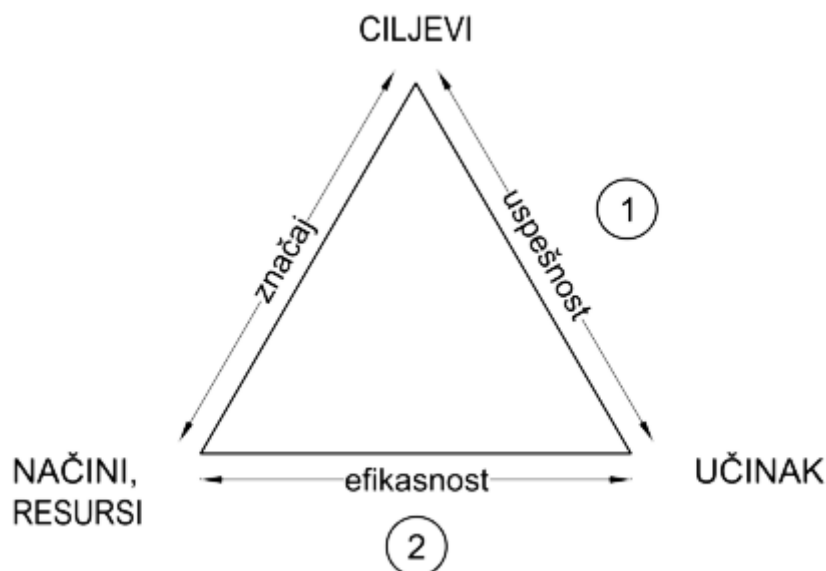
- ⇒ Značaj drenaže za rešavanje problema zaslanjenosti ili prevlaženosti zemljišta vodom nije očigledan za korisnike u aridnim područjima. Funkcionisanje podzemne drenaže nije tako lako uočljivo za poljoprivrednike. Predstava o drenaži je, ponekad, i negativna, jer se smatra da „ona odvodi vodu iz zemljišta“ i da su njeni efekti suprotni od efekata navodnjavanja.
- ⇒ Nedostaci kod rada sistema za navodnjavanje se prilično lako i dobro uočavaju, za razliku od drenažnih sistema, gde to nije očigledno, pri čemu se posledice nepravilnog rada drenažnog sistema procenjuju kroz vreme, dok su posledice nepravilnog rada sistema za navodnjavanje trenutne i jasno se odmah zapažaju kod useva.
- ⇒ Programi za procenu drenažnog učinka mogu da imaju različite ciljeve: potvrda projekta ili metode izgradnje; procena potreba za rekonstrukcijom ili opravdanost ulaganja. Sigurno, ta različitost zahteva primenu i različitih metoda i pokazatelja.
- ⇒ Nemoguće je razviti program procena drenažnog učinka bez aktivnog uključivanja poljoprivrednika, s obzirom da oni mogu da pruže pouzdane pokazatelje za rad njihovih drenažnih sistema.

U zemljama sa tradicijom izgradnje i korišćenja drenažnih sistema i gde su poljoprivrednici investitori drenaže, monitoring drenažnih sistema je dovoljan za procenu njihovog rada. U zemljama kod kojih su drenažni sistemi izgrađeni poslednjih decenija, procene učinka drenažnih sistema, generalno, još nisu ni počele. U ovim zemljama država, u saradnji sa

finansijskim institucijama, odlučuje o ulaganju u drenažu. U takvim uslovima, jasna je potreba da se proceni značaj investiranja nakon nekoliko godina. Za ovo su potrebni pokazatelji koji se često razlikuju od onih koji su potrebni poljoprivrednicima i stručnjacima u oblasti drenaže.

### 3.3 DELOKRUG PROCENE UČINKA DRENAŽE

Procene učinka su suštinski deo upravljanja sistemom. Svaki sistem treba da ima ciljeve i načine da ih postigne (Slika 3.1) i suštinski je važno da se proceni kako su ti ciljevi ispunjeni (uspešnost) i kakva su sredstva i načini upotrebljeni (efikasnost).



**Slika 3.1** *Trougao upravljanja sistemima za navodnjavanje*

(*Vincent et al., 2007.*)

Generalno, učinak može da se definiše i proceni iz različitih perspektiva:

- 1) stepen u kojem organizacija koristi resurse koji su joj na raspolaganju, strateške i operativne, (*Bos et al., 1996.*), ili
- 2) stepen do kojeg je sistem usaglašen sa projektnim kriterijumima (tehničkim).



**Tabela 3.1** *Karakteristike (tehničke, operativne i strateške) procene učinka drenažnih sistema (Vincent et al., 2007.).*

Tehnička	Operativna	Strateška
Nivo funkcionisanja	Stepen radne eksploatacije	Isplativost, uticaj na životnu sredinu, reakcija useva
Usaglašenost sa tehničkim (projektnim) kriterijumima	Usaglašenost sa projektnim kriterijumima (sistema)	Opšti (fizički, ekonomski) ciljevi drenaže
Kvalitet, uspešnost	Efikasnost	Efikasnost, održivost
Kratkoročna	Kratkoročna	Srednje i dugoročna
Projektanti, konsultanti, vodoprivredne agencije	Vodoprivredne agencije/preduzeća	Vodoprivredne agencije, viši vladini resori, odn. Ministarstvo za vodoprivredu, donatori

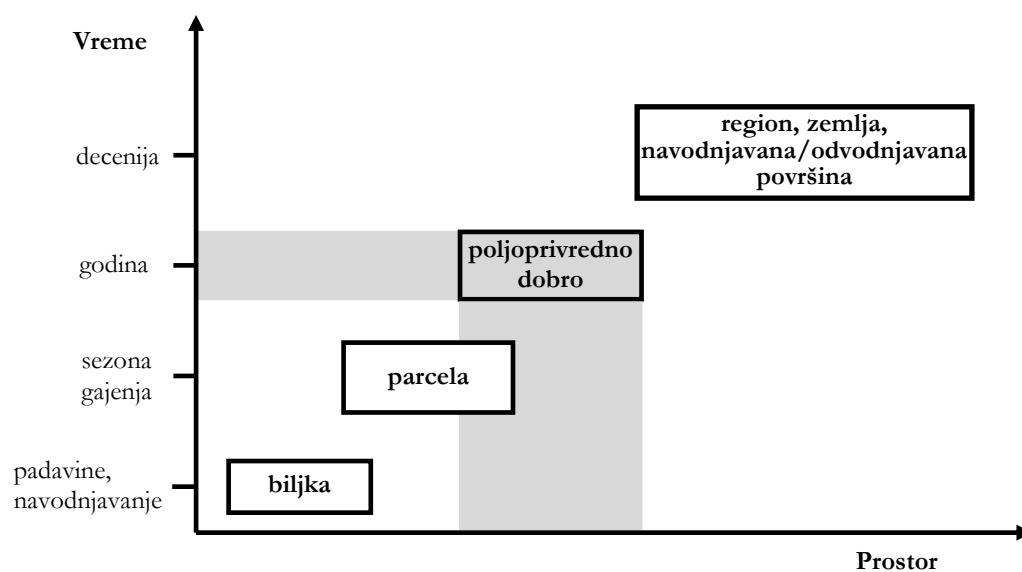
Operativni učinak drenažnih sistema se odnosi na stepen usaglašenosti sistema sa projektnim kriterijumima, dok se strateški učinak odnosi na njegove proizvodne rezultate, koji često nisu samo rezultat učinka drenažnog sistema.

Operativna procena može da bude regionalna ili vrlo specifična za lokaciju i u tom slučaju se za vrednosti pokazatelja koriste kriterijumi iz detaljnih projekata. Praktično, na nivou poljoprivrednog polja, operativni učinak se odnosi na odvođenje površinske vode, nakon kiša ili navodnjavanja i/ili odgovarajuću kontrolu nivoa podzemne vode. Na nivou sistema, operativni učinak se odnosi na odgovarajuće odvođenje vode sa polja, odnosno iz sistema.

Strateški učinak se odnosi na ulogu drenaže na stabilizaciji i povećanju biljne proizvodnje. Takođe, on obuhvata i kontrolu zasljenosti zemljišta (do dubine korenovog sistema), doprinos ruralnom razvoju i uticaju na životnu sredinu. Na tehničkom i operativnom nivou direktni pokazatelj kao što je promena dubine podzemne vode u vremenu (oscilacije nivoa), ili dubina nivoa podzemne vode u prostoru, u karakterističnim periodima je, uopšte uzev, dovoljna.

Učinak drenažnih sistema je rezultat nekoliko procesa koji se događaju u različitim prostornim i vremenskim razmerama (Slika 3.2). U malim razmerama (biljka - parcela) biofizički procesi preovlađuju. U srednjim razmerama (polja, poljoprivredno dobro) tehnički aspekti preovlađuju, dok u većim razmerama preovlađuju društveno-ekonomski i politički aspekti.

U ovom radu učinak drenažnih sistema je razmatran na poljoprivrednom području Pančevačkog rita (srednja razmera), u periodu od 1987. do 2014. godine.

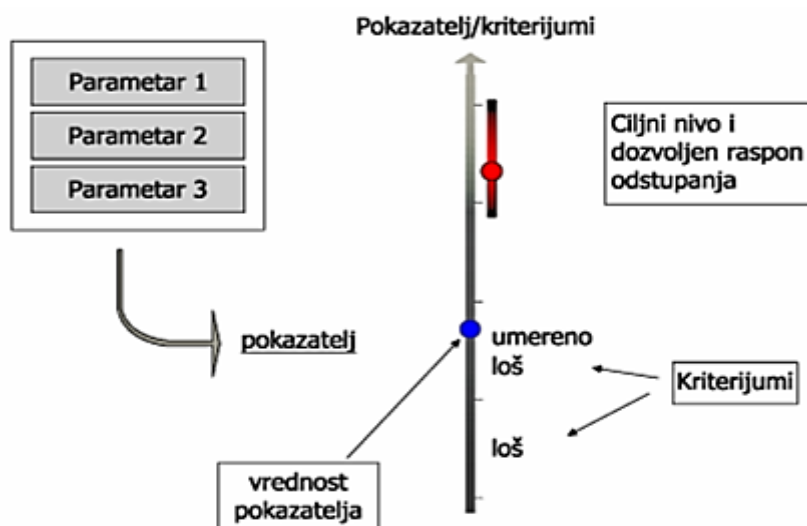


**Slika 3.2** Prostorne i vremenske razmere kod procena učinka drenažnih sistema  
(Vinsset et al., 2007.)

Na poljoprivrednim područjima sa izgrađenim sistemima za navodnjavanje, ne može se smatrati da je strateški učinak samo učinak drenažnog sistema. U ovom slučaju teško je odvojiti učinak drenažnog sistema od učinka sistema za navodnjavanje.

### 3.4 POKAZATELJI PROCENA UČINKA DRENAŽNIH SISTEMA

Učinak drenažnih sistema se procenjuje uz upotrebu grupe pokazatelja koji su povezani sa kriterijumima i ciljnim nivoima (Slika 3.3). Pokazatelji nastaju spajanjem više parametara, dok kriterijumi predstavljaju vrednosti pokazatelja koji se koriste za klasifikovanje vrednosti pokazatelja u prihvatljive i neprihvatljive raspone. Ciljni nivoi su nominalne vrednosti, a raspon odstupanje od prihvatljivih vrednosti koje su približne nominalnoj vrednosti.



**Slika 3.3 Pokazatelji, kriterijumi, ciljni nivoi**

(*Vincent et al., 2007.*)

Suštinski, procena učinka nije u definisanju pokazatelja, već preporuka kriterijuma sa ciljnim nivoima i rasponima. Jasno je da su ciljne vrednosti u funkciji meteoroloških, hidroloških, pedoloških i drugih relevantnih prirodnih karakteristika analiziranog područja. Saznanja i rezultati prethodnih istraživanja i generalnih studija su polazni osnov za dobijanje kriterijuma i ciljnih nivoa.

### 3.4.1 Osnovna svojstva pokazatelja učinka

Pokazatelji za procenu rada drenažnih sistema (slično i za sisteme za navodnjavanje) treba da imaju sledeće odlike (*Bos & Murray-Rust, 1994.*):

**Pokazatelj može da bude sačinjen od većeg broja parametara, pri čemu**

- ⇒ parametar predstavlja promenljivu vrednost izmerenu u određenom trenutku, a
- ⇒ pokazatelj izračunatu ili izmerenu promenljivu vrednost u vremenu.

Definisanje pokazatelja, sastoji se iz sledećih koraka :

- ⇒ prikupljanja potrebnih parametara;
- ⇒ primene određenih metoda merenja;
- ⇒ sagledavanja neophodne učestalosti i gustine merenja;
- ⇒ sagledavanja metoda računanja i korišćenja pokazatelja;
- ⇒ analize opravdanosti; i
- ⇒ određivanja raspona pokazatelja.

Osnovna svojstva pokazatelja su:

- a) Pokazatelji su zasnovani na empirijski izmerenim, statistički ispitanim na modelu, onog dela sistemskog procesa koji on opisuje, pri čemu neslaganja između empirijske i teorijske osnove treba da budu jasna. Da bi se omogućilo upoređivanje studija procene učinka na internacionalnom nivou, pokazatelji treba da budu slično formatirani. (*Bos & Nugteren 1990., ICID 1978., Wolters 1992.*)
- b) Podaci koji su potrebni da bi se pokazatelj mogao kvantifikovati, treba da budu dostupni, da se mogu izmeriti, odgovarajućom tehnikom, i iskazani u merama koje se lako reprodukuju.
- c) Takođe, pokazatelj se veže za kriterijum, njegove ciljne vrednosti i dopuštena odstupanja. Ciljne vrednosti (i njihova dopuštena odstupanja) su funkcije raspoložive tehnologije.
- d) Važan činilac koji utiče na odabir pokazatelja vezan je za njegovu prirodu: pokazatelj može da opisuje jednu specifičnu aktivnost ili može da opisuje skup ili promenu u grupi osnovnih aktivnosti. Poželjno je da pokazatelji daju informaciju o stvarnoj aktivnosti u odnosu na određenu ciljnu vrednost. Pokazatelj može da bude direktan i/ili indirektan (*Smedema L. K. i Vlotman W. F., 1996.*). Poželjno je da direktni pokazatelj bude funkcija jednog parametra, ali on treba da u potpunosti opisuje kriterijum koji je odabran za taj određeni osnovni princip, nezavisno od drugih pokazatelja (npr. kontrola nivoa podzemne vode se može pripisati drenažnom sistemu, mada na njega utiču padavine i/ili infiltracija od reka, odnosno od navodnjavanja). S druge strane, salinizacija zemljišta ne može da bude samo funkcija nivoa podzemnih voda, već u velikoj meri zavisi od ukupnog vodoprivrednog režima, karakteristika zemljišta i kvaliteta vode. Direktni pokazatelji su obično operativni pokazatelji, dok su strateški pokazatelji obično indirektni pokazatelji. Za svaki osnovni princip, može se odrediti glavni pokazatelj, koji je direktan ili indirektan.
- e) Kod upravljanja, poželjno je da pokazatelji učinka, budu tehnički izvodljivi, i da je njihova upotreba jednostavna za zaposlene u vodoprivrednim organizacijama (u skladu sa njihovom tehničkom opremljenošću, nivoom znanja i interesom). Takođe, primena pokazatelja je u funkciji finansijskih sredstava, opreme i potrebe za ljudskim resursima i treba da bude u okviru mogućnosti vodoprivredne organizacije.

### 3.4.2 Klasifikacija tehničkih pokazatelja za procenu rada drenažnih sistema

Dosadašnjim istraživanjem, monitoringom i procenom, dobijeni su parametri koji mogu da budu korisni prilikom formulisanja pokazatelja. Potencijalni pokazatelji, koji koriste jedan ili više parametara u odgovarajuću svrhu procene učinka, dati su u nastavku (*Bos et al., 1994; Bos, 1997.*)

#### Pokazatelji vezani za dubinu zaleganja podzemnih voda

- ⇒ **Relativno trajanje zaleganja nivoa podzemne vode koje je iznad zahtevanog (kritičnog)** – ovaj pokazatelj bi se u sistemima za odvodnjavanje mogao smatrati osnovnim
- ⇒ **Brzina sniženja nivoa podzemne vode** – ovaj pokazatelj daje vreme reakcije sistema za odvodnjavanje koje se meri vremenom koje je potrebno da se nivo podzemne vode, nakon povećanja, koje je posledica intenzivnih padavina ili navodnjavanja, vrati na nivo pre povećanja
- ⇒ **Stepen sniženja nivoa podzemne vode** = 
$$\frac{\text{nova dubina} - \text{stara dubina}}{\text{stara dubina}}$$
  - posmatra se odnos prosečne dubine zaleganja pre i posle izgradnje sistema za odvodnjavanje

#### Pokazatelji vezani za količinu drenirane vode i površinu koja se odvodnjava

- ⇒ **Stepen dreniranosti sistema** – može se definisati kao odnos površine koja je pod sistemom za odvodnjavanje i ukupne poljoprivredne površine. Kod sistema za navodnjavanje, koji istovremeno imaju izgrađen i sistem za odvodnjavanje, pod istim terminom – stepen ili odnos dreniranosti se podrazumeva odnos između količine vode koja je prikupljena drenažnim sistemom u odnosu na ukupnu zapreminu vode koja je uneta u sistem

$$\text{Odnos dreniranosti sistema} = \frac{\text{Ukupna količina vode drenirane iz sistema}}{\text{Stvarna količina uneta u sistem}}$$

- ⇒ **Prosečna godišnja zapremina drenirane vode po jedinici površine (m<sup>3</sup>/ha)** – drenažna voda koja se sistemom za odvodnjavanje prikupi i transportuje u recipijent
- ⇒ **Specifičan instalisani kapacitet sistema (l/s/ha)** – ovaj pokazatelj predstavlja hidromodul sistema, što je osnov između instalisanog kapaciteta sistema i površine koja se odvodnjava

**Pokazatelji vezani za kvalitet vode i zemljišta:**

Stepen salinizacije se može kvantifikovati kroz dva pokazatelja

$$\text{Relativna promena EC} = \frac{\text{Nova vrednost EC} - \text{Stara vrednost EC}}{\text{Stara vrednost EC}}$$

ili

$$\text{Odnos povećanja EC} = \frac{\text{EC} \text{ ni\u017evodno od korisnika} - \text{Ec} \text{ uzvodno od korisnika}}{\text{EC} \text{ uzvodno od korisnika}}$$

Za ocene učinka drena\u017enih sistema potrebno je raspolagati pokazateljima, koji se odnose na sam učinak sistema. U velikom broju slu\u010dajeva, pokazatelji nisu nezavisni, ve\u0107 su povezani sa drugim pokazateljima, koji su naj\u0107e\u0161\u0107e reprezentivi opa\u017eenih trendova ili relativnih promena.

Pri odabiru pogodnog pokazatelja, potrebno je defini\u0161ati cilj ili osnovni princip za procenu učinka. Tako\u0111e, neophodno je znati da li se pokazatelj smatra direktnim ili indirektnim, kao i da li se osnovni princip smatra operativnim ili strate\u0161kim. Osnovne principe procene učinka dobijamo postavljanjem slede\u0107ih pitanja:

1. Da li sistem funkcioni\u0161e u skladu sa projektnim kriterijumima?
2. Da li je potrebna rekonstrukcija sistema?
3. Koji je uticaj drena\u017enog sistema na prinos useva, odnosno prihode poljoprivrednika?
4. Koja je dubina polaganja drena\u017enih cevi, razmak izme\u0111u drena\u017enih cevi, odnosno koji je projektovani drena\u017eni proticaj?
5. Da li drena\u017eni filter funkcioni\u0161e?
6. Koji su najbolji materijali za drena\u017eni filter?

Kada razmotrimo navedena pitanja, sa gledi\u0161ta procena učinka, mogu\u0107i scenariji su:

1. Funkcionisanje drena\u017enog sistema je pitanje koje zahteva procenu učinka. Osnovni princip je operativan. Kada \u017albe na rad sistema pristignu do nadle\u017enih institucija, izdaje se zahtev za procenu učinka. Pitanja koja se postavljaju su da li sistem funkcioni\u0161e u skladu sa:
  - \u2192 projektnim kriterijumima,
  - \u2192 operativnim kriterijumima, ili
  - \u2192 dogovorenim nivoom funkcionisanja?

Potencijalni glavni i direktni pokazatelji su:

- ⇒ brzina snižavanja nivoa podzemne vode (površinska i podzemna drenaža);
- ⇒ Q-h dijagrami (podzemna drenaža);
- ⇒ razmera i trajanje plavljenja nakon padavina (prvenstveno površinska drenaža).

2. Rekonstrukcija drenažnih sistema zahteva primenu procena učinka, pri čemu su one strateške po prirodi. Pokazatelji mogu da budu tehnički, statistički ili finansijski. Odgovorna nadležna vodoprivredna služba odlučuje da li je potrebno sistem zameniti, ili je prihvatljivo nastaviti dalje održavanje. Glavni pokazatelji su:

- ⇒ dubina nivoa podzemne vode kao funkcija vremena (zbir dana prekoračenja određenih dubina nivoa podzemne vode);
- ⇒ dubina nivoa podzemne vode kao funkcija površine;
- ⇒ promena u broju odgovarajućih žalbi;
- ⇒ promena dinamike i troškova održavanja;
- ⇒ promene u Manning-Strikler-ovim koeficijentima
- ⇒ odnos prinosa useva/ prihoda poljoprivrednika i troškova drenažnog sistema. Da li su promene u prinosu poljoprivrednih kultura u funkciji rada drenažnog sistema, ako jesu, u kojoj meri? Da li sistem zahteva procenu učinka? Sa tačke gledišta upravljača sistema: ne. Sa tačke gledišta agencije koja ulaže sredstva, to pitanje je veoma značajno i zahteva obimnija istraživanja od procena učinka.

3. Optimalna dubina za postavljanje drenažnih cevi, optimalni razmak između drenažnih cevi ili projektni proticaj. Svrha analize procena učinka jeste poboljšanje projektnih kriterijuma. Sigurno, nivo je operativan, ali nije u interesu operatera, odnosno upravljača sistemom.

4. Funkcionisanje drenažnog filtera. Da li filter funkcioniše u skladu sa projektnim kriterijumima? Za upravljača sistema, direktno, nije bitno, iako je to često uzrok slabog učinka drenažnog sistema. Glavni i direktni pokazatelji su ulazni otpori i brzina snižavanja nivoa podzemne vode.

5. Od kojih materijala je napravljen drenažni filter? Ovo sigurno ima veze sa prethodnim pitanjem i jasno da ovo nije procena učinka već istraživanje.

Mogući principi sa spiskom potencijalnih pokazatelja vezanih za drenažne sisteme su dati u tabeli 3.2.

**Tabela 3.2 Potencijalni pokazatelji za procenu učinka drenaže***(Vincent et al., 2007.)*

	<b>Tehnički/operativni</b>	<b>Strateški</b>
<b>Direktni</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Nivo podzemne vode u funkciji vremena</li> <li>2. Brzina snižavanja nivoa podzemne vode</li> <li>3. Dubina nivoa podzemne vode u funkciji površine</li> <li>4. Q-h dijagrami</li> <li>5. Nivo vode u kanalima</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Učestalost žalbi</li> </ol>
<b>Prelazni</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Relativna dubina nivoa podzemne vode (ICID)</li> <li>2. Odnos jediničnog proticaja prema projektnom proticaju</li> <li>3. Q/h odnos</li> <li>4. Protok drenažnog sistema kao funkcija vremena</li> <li>5. Intenzitet drenaže</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Zbijenost tla (zemljišta)</li> </ol>
<b>indirektni</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Izračunati koeficijent filtracije u poređenju sa projektnim</li> <li>2. Gubitak pritiska tokom vremena</li> <li>3. Potreban razmak drenažnih cevi u poređenju sa projektnim razmakom</li> <li>4. Ulazni otpor</li> <li>5. Relativna promena kvaliteta drenažne vode u kolektoru tokom vremena</li> <li>6. Zamuljenje cevi, revizionih šahtova</li> <li>7. Odnos nadpritiska u kolektorima</li> <li>8. Starost drenažnog sistema</li> <li>9. Odnos projektnog proticaja prema stvarnom proticaju tokom vremena</li> <li>10. Promene u odnosima pritisak-proticaj</li> <li>11. Promene u Maning-Striklerovom koeficijentu</li> <li>12. Odnos kretanja vode u korenovoj zoni (ispiranje)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Održivost drenažnog područja (prilagođen ICID za područje koje može i da se navodnjava)</li> <li>2. Učestalost, nivo i troškovi održavanja</li> <li>3. Kontrola obraslosti (zakorovljenosti)</li> <li>4. Intenzitet kontrole sedimentacije</li> <li>5. Starost objekata i učestalost održavanja</li> <li>6. Relativna promena zaslanjenosti zemljišta</li> <li>7. Zaslanjenost zemljišta tokom vremena</li> <li>8. Relativna promena alkalnosti zemljišta (SAR ili ESP)</li> <li>9. Alkalnost zemljišta (SAR ili ESP) tokom vremena</li> <li>10. Prinos tokom vremena</li> <li>11. Relativna promena prinosa</li> <li>12. Status zemljišta pod usevima</li> <li>13. Promenljivost useva</li> <li>14. Neto dobit poljoprivrednog dobra</li> <li>15. Neto sadašnja vrednost</li> <li>16. Odnos koristi i troška</li> <li>17. Interna stopa prinosa</li> <li>18. Korist za poljoprivredike</li> <li>19. Nova radna mesta</li> <li>20. Izvodljivost</li> </ol>



### 3.4.3 Svojstva pokazatelja za procenu učinka drenažnih sistema

U cilju uopštavanja pokazatelja, potrebno je da pokazatelj sadrži sledeće podatke:

1. Da li je tehnički, operativni ili strateški pokazatelj?
2. Osnovni princip procene učinka i kriterijum koji će se koristiti, uključujući ciljne nivoe i raspon.
3. Objašnjenje o tome šta se očekuje od pokazatelja (opravdanost korišćenja).
4. Da li je pokazatelj direktan ili indirektan?
5. Ukoliko je indirektan, koji dodatni pokazatelji su potrebni?
6. Parametri koji su potrebni za određivanje svakog pokazatelja.
7. Metoda merenja parametara.
8. Učestalost i gustina (ukoliko je primenljivo) merenja parametara.
9. Metode za računanje pokazatelja.

Najčešće se koriste sledeći pokazatelji (*Vincent et al., 2002.*):

#### Direktni pokazatelji

- ⇒ Dubina nivoa podzemne vode u funkciji vremena;
- ⇒ Brzina snižavanja (opadanja) nivoa podzemne vode;
- ⇒ Dubina nivoa podzemne vode u funkciji površine;
- ⇒ Nivo vode u kanalima.

#### Indirektni pokazatelji

- ⇒ Razvoj Maning-Striklerovog koeficijenta u vremenu;
- ⇒ Broj i učestalost žalbi (napomena: moguće je da žalbe ne budu relevantne za osnovni princip);
- ⇒ Q-h dijagrami;
- ⇒ Status useva (glavni pokazatelj);
- ⇒ Trend procesa salinizacije zemljišta i/ili vode (glavni pokazatelj).

Jasno je, da glavni pokazatelji mogu da budu direktni i indirektni pokazatelji. U većini slučajeva, oni će biti indirektni pokazatelji kada analiza podataka i/ili izračunatih pokazatelja nije samo analiza trendova.

### 3.4.4 Prikaz najznačajnijih direktnih tehničkih pokazatelja za procenu učinka drenažnih sistema

#### **Pokazatelj (D.1): Oscilovanje nivoa podzemne vode u vremenu**

Za utvrđivanje karakteristika oscilovanja podzemne vode, u funkciji vremena, zahtevaju se osmatranja u pijezometrima ili bunarima u dužem vremenskom periodu (poželjna su 2-3 puna hidrološka ciklusa). Ovaj pokazatelj je najkorisniji kod primarnih istraživanja procene učinka i smatra se glavnim i direktnim pokazateljem, budući da je relativno nezavisan od drugih pokazatelja i da sam može da omogući ocenu funkcionisanja ili efikasnosti drenažnog sistema. Kriterijum predstavlja prekoračivanje prethodno određenog nivoa, tokom određenog vremena.

Parametri koje je potrebno prikupiti su: vreme (datum) merenja, očitavanje dubine podzemne vode, kota merne tačke, kota terena u mernoj tački, kota dna bušotine za osmatranje nivoa podzemne vode ili pijezometra, dubina drenažnih cevi, broj dana od poslednjeg navodnjavanja u poljima koja se nalaze u blizini tačke osmatranja. Takođe je poželjno odrediti njenu lokaciju u prostoru (u koordinatnom sistemu), što će se pokazati korisnim kod procenjivanja stepena prevlaživanja vodom na tom području.

Učestalost merenja zavisi od svrhe pokazatelja: ukoliko se pokazatelj koristi, da bi se dobila opšta slika o podzemnim vodama razmatranog područja, dovoljna su osmatranja jednom u dve nedelje ili mesec dana. Ukoliko je cilj da se odredi funkcionisanje drenažnog sistema, odnosno krive sniženja nivoa podzemnih voda, u tom slučaju može postojati potreba za kontinuiranim osmatranjem. Svakodnevna merenja su poželjna kako bi se odredio zbir dana prekoračenja prethodno određenih dubina nivoa podzemne vode.

Za procenu učinka drenažnog sistema i horizontalne cevne drenaže, uobičajeno je postavljanje pijezometara na sredini, između drenažnih cevi, a gustina će biti u funkciji razmaka drenažnih cevi. Smernice FAO (*Dieleman & Trafford, 1976.*), koje su uglavnom zasnovane na iskustvima iz pojasa vlažno umerene klime, predlažu tri grupe pijezometara za osmatranje nivoa podzemne vode duž drenažne linije.

Najčešće se dubina do podzemne vode pretvara u visinu nivoa podzemne vode i prikazuje na dijagramu, u odnosu na vreme, postavljanjem vertikalne ose (visina) tako da gornji deo grafikona predstavlja kotu (površinu) zemljišta. U tom slučaju stiče se slika i o dubini i o

visini. Ukoliko je potrebno objasniti određene pojave sniženja ili povećanja, potrebno je da se pokazatelj kombinuje sa padavinama ili navodnjavanjem, kao i sa plodoredom. Ukoliko finansijska sredstva to dozvoljavaju, predlaže se svakodnevno osmatranje. Uz svakodnevna osmatranja, moguće je takođe odrediti mesečni, sezonski, kao i prosek vegetacijskog perioda, ili prekoračenje određenih nivoa.

Kako bi se izbeglo izdizanje podzemne vode, dubina nivoa podzemne vode ne bi trebalo da bude plicā od 0,6 m, više od 3 - 5 dana nakon navodnjavanja ili padavina. Korenova zona se obično pruža do 0,6 – 0,8 m ispod površine zemljišta, a nivo podzemne vode koji je 0,6 m ispod površine zemljišta tokom 3 dana ne predstavlja problem za useve sa tom dubinom korenova.

### **Pokazatelj (D.2): Brzina opadanja nivoa podzemne vode**

Jedan od direktnih pokazatelja funkcionisanja podzemne cevne drenaže jeste istraživanje brzine opadanja nivoa podzemne vode. Osnovne karakteristike ovog pokazatelja, kao i svih drugih pokazatelja, mogu se prikazati u tabelarnom obliku.

**Tabela 3.3** *Karakteristike pokazatelja brzine opadanja podzemne vode*

Naziv glavnog pokazatelja Strateški/operativni	Brzina opadanja nivoa podzemne vode Operativni
Osnovni princip Kriterijum	Da li sistem funkcioniše u skladu sa projektom Iznad projektne dubine 3 do 5 dana nakon prihranjivanja
Ciljni nivo Raspon	Na projektnoj dubini u roku od 3 do 5 dana Plus-minus jedan dan
Opravdanost upotrebe	Ukazuje na odgovarajuće snižavanje nivoa podzemne vode
Direktan/indirektan	Direktan
Dodatni pokazatelji	Nema
Potrebni parametri glavni pokazatelj	Visina i dubina ispod površine, datum
Metoda (metode) merenja	Automatsko ili manuelno
Parametri učestalosti/gustine	Jednom ili dva puta dnevno. Neprekidno ukoliko je automatsko.

Parametri koje je potrebno prikupiti, njihova učestalost, gustina merenja su isti kao za pokazatelj oscilovanja podzemne vode u funkciji vremena.

### **Metoda računanja i korišćenja pokazatelja**

Kod oscilovanja nivoa podzemnih voda, predstavljenih krivom, moguće je uočiti: deo povećavanja nivoa podzemnih voda, deo brzog opadanja i deo sporog opadanja. Za svaki deo moguće je odrediti brzinu. Ukoliko ne postoje podaci za dovoljan vremenski period, brzina se ekstrapoliše. Dovoljan vremenski period se određuje kriterijumom, da nivo podzemne vode treba da bude na dubini  $Y$  za  $X$  dana nakon prihranjivanja, pri čemu bi merenje trebalo da traje  $X+2$  dana. Princip definisanja ovog pokazatelja bazira se na određivanju tangenti za brzi i spori nivo opadanja podzemnih voda.

Brzina opadanja nivoa podzemne vode u određenom broju osmatračkih punktova, za osmatranje, je direktan pokazatelj za ocenu funkcionisanje drenažnog sistema ili efikasnost određenog filtera drenažne cevi.

### **Pokazatelj (D.3): Nivo podzemne vode u funkciji površine**

Iako je upotreba ovog pokazatelja podržana od Svetske banke, ne postoji jasna definicija ni perioda ni područja tokom kojeg bi osmatranje trebalo sprovoditi.

Nivo podzemne vode u funkciji površine je direktni pokazatelj, pri čemu su parametri koji treba da budu prikupljeni, metode, učestalost i gustina merenja isti kao i za pokazatelj oscilovanja podzemne vode u funkciji vremena.

### **Metoda računanja i korišćenja pokazatelja**

Za korišćenje rezultata osmatranja neophodno je poznavati koordinate svih tačaka na kojima su vršena osmatranja. Konturni dijagrami mogu da se dobiju ručno ili da se generišu kompjuterskim programima, a raspodela učestalosti za određene klase dubina nivoa podzemne vode može da se izračuna. Vremenske serije će ukazati na promene iz jedne klase u drugu, a to je korisno za donosioca odluka prilikom odlučivanja o efikasnosti određenih mera, ili o ozbiljnosti problema. Sve tačke na kojima se prikupljaju podaci, treba povezati sa situacionim planom drenažnog sistema i kartirati na kartama (uobičajena razmera 1:10.000). Savremeni programi poput ArcView i drugih, omogućavaju prikaz i proračun područja, sa ucrtavanjem izolinja na karti.

Ovaj pokazatelj ukazuje na veličinu evidentiranog problema, ali i na efikasnost određenih mera. Ovaj pokazatelj je neophodan kako bi se ocenilo funkcionisanje drenažnog sistema.

Određene vrednosti su već usvojene kao što je (srednja) dubina nivoa podzemne vode manja od 0,8 – 1,0 metar ispod površine terena na prostoru većem od 10% od analiziranog područja, ili nivo podzemne vode na manje od 1,0 m ispod površine zemljišta u barem 75% područja (*Small, 1992.*). Može se napomenuti da često projektni kriterijumi za podzemne drenažne sisteme samo propisuju da prosečna dubina nivoa podzemne vode treba da bude ispod 1 m.

#### **Pokazatelj (D.4): Nivo vode u kanalima**

Redovno održavanje drenažnih kanala, vremenski i po obimu radova, je od velikog značaja za upravljanje režimom podzemnih voda na poljoprivrednim područjima. Rast vegetacije i zamuljenje utiču na hidrauličke karakteristike sistema. Najčešća posledica toga je da dolazi do izdizanja nivoa vode u kanalima, što dovodi do potapanja izliva drenažnih cevi, ili još gore do izolacije drenažnih sisavaca, kanala nižeg reda. Jasno je da je osmatranje nivoa podzemnih vode u okviru drenažnih sistema ključni pokazatelj rada istih. Nivo vode u kanalskoj mreži treba da bude povezan sa padavinama (ili sa navodnjavanjem) i sa merenjem proticaja, kako bi se odredilo da li sistem funkcioniše u prihvatljivom rasponu ili su potrebne određene intervencije. Lociranje osmatračkih punktova zavisi od topografije (mikroreljefa) drenažnog sistema, pri čemu mogu da se nalaze u bilo kojoj tački duž kanala koja je dovoljno udaljena od bilo kakvih promena izazvanih objektima na kanalima. Kada se nivo vode u kanalu povećava tokom vremena, pri istim uslovima proticaja, može se pretpostaviti da je potrebno pristupiti izmuljenju kanala.

Ne postoji univerzalno pravilo učestalosti merenja nivoa vode koje bi se moglo preporučiti. Potrebno je sprovoditi merenja tokom padavina ili u karakterističnim periodima navodnjavanja.

Vezano za metode proračuna, bitno je izračunati Maning-Striklerov koeficijent, pretvoriti očitane dubine vode u kanalu u visinu, a zatim uporediti sa projektovanim vrednostima. Takođe, ako postoji merenje proticaja, moguće je uspostaviti zavisnost krive proticaja i dubine vode i prikazati na dijagramu. Deonice gde se nivo vode povećava tokom vremena ukazuju na probleme koji se javljaju u drenažnom sistemu.

Zamuljivanje, vegetacija, kolmiranje ili objekti koji nisu izgrađeni prema projektu na kanalu, ili bilo koja druga prepreka povećava nivo vode u kanalu. U uslovima ujednačenih padavina ili navodnjavanja pokazatelj će sam, ili u kombinaciji sa izmerenim proticajem, ukazati da li sistem funkcioniše na projektovan način. Upotreba ovog pokazatelja se preporučuje u

uslovima ujednačenog proticaja tokom merenja, osim ukoliko je moguće utvrditi nivo vode između reprezentativnih mernih tačaka.

Podaci treba da budu grupisani oko izračunatih nivoa vode, u funkciji proticaja. Proticaj može biti veći i od projektnog proticaja, naročito u slučaju da kanal ima ulogu transporta voda, nastalih usled površinskog doticaja.

### 3.4.5 Prikaz najznačajnijih indirektnih tehničkih pokazatelja za procenu učinka drenažnih sistema

#### **Pokazatelj (I.1): Maning-Striklerov koeficijent**

U slučaju obraslosti kanala vegetacijom, povećava se hrapavost kosina, pri čemu se Maning-Striklerov koeficijent smanjuje. Stoga je Maning-Striklerov koeficijent pouzdani pokazatelj rada drenažnih kanala.

Parametri koje je potrebno prikupiti su identični kao parametri za pokazatelj vodostaja u kanalima.

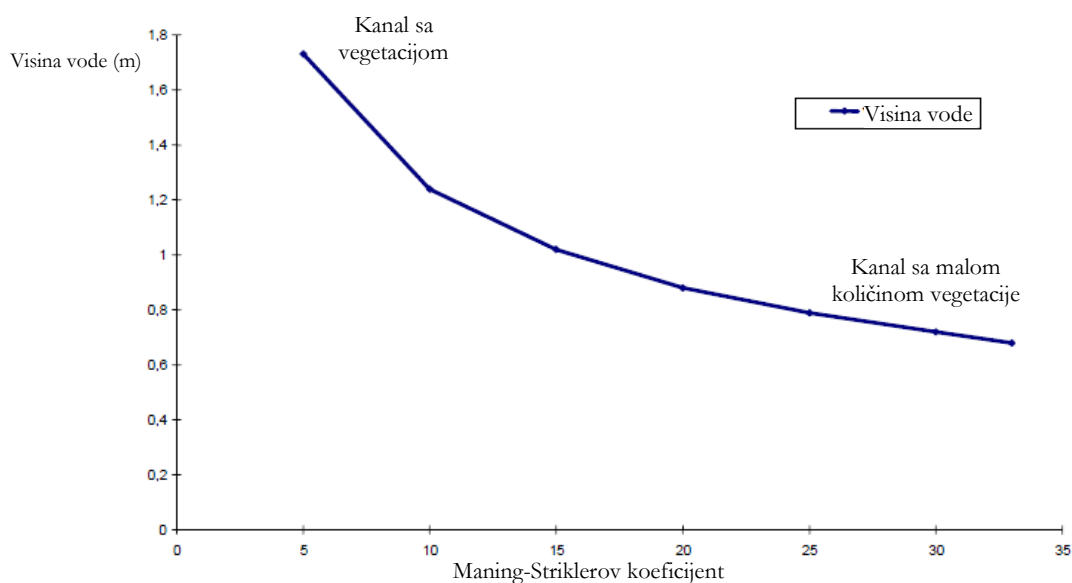
Vezano za učestalost i gustinu merenja, ne postoji pravilo koje se preporučuje. Sigurno da je potrebno vršiti merenja tokom padavina ili nakon navodnjavanja.

Maning-Striklerov koeficijent je moguće izračunati za različite deonice i za širok raspon proticaja i/ili nivoa vode, prema sledećoj formuli:

$$Q = K_S S \sqrt{I} R_H^{2/3}$$

- $Q$  = proticaj ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- $K$  = Maning Striklerov koeficijent
- $I$  = nagib dna kanala
- $S$  = okvašena površina ( $\text{m}^2$ )
- $R$  = hidraulički radijus (m)

Primer proračuna Maning-Striklerovog koeficijenta u funkciji dubine vode u kanalu dat je na slici 3.4.



**Slika 3.4** Varijacije u visini vode u kanalu (trapeznog profila) kao funkcija Maning-Striklerovog koeficijenta, ujednačen režim

Dubine vode u kanalu se značajno povećava sa smanjenjem Maning-Striklerovog koeficijenta sa 33 (novi zemljani kanal) na 5 (kanal sa velikom količinom vegetacije).

- ⇒ Uz Maning-Striklerov koeficijent 15, nivo vode se povećava za 50%,
- ⇒ Uz Maning-Striklerov koeficijent 10, nivo vode se povećava za 80%,
- ⇒ Uz Maning-Striklerov koeficijent 5, nivo vode se povećava za 150% u odnosu na novi zemljani kanal

Ukoliko su merna mesta dovoljno udaljena od hidrauličnih prepreka, smatra se da je uspostavljen ustaljeni režim za dati proticaj, tj. primenljiva je Maning-Striklerova formula i moguće je izračunati Maning-Striklerov koeficijent.

Raspon pokazatelja se kreće između veoma malih vrednosti (oko 5) i vrednosti za novi zemljani kanal (oko 33).

### **Pokazatelj (I.2): Q-h dijagrami**

Upotreba ovog pokazatelja je uobičajena, iako je u velikom broju slučajeva tumačenje podataka složeno.

Za sagledavanje ovog pokazatelja, potrebno je prikupiti dubine nivoa podzemne vode (jedno očitavanje ili prosek nekoliko očitavanja duž drenažne linije- srednja vrednost), istovremeni proticaj, podatke o padavinama ili opis navodnjavanja duž drenažne linije i evidentirati tip strujanja.

Sva merenja bi trebalo da se sprovode istovremeno (dubine podzemnih voda, drenažni proticaji i dr.). Kod zemljišta krupnije strukture, vreme između merenja može da iznosi nekoliko sati, za razliku od zemljišta finije strukture, kada bi merenja trebalo sprovoditi u roku od jednog sata. Teoretski, vreme prolaska vode kroz drenažnu cev ukazuje na teoretski dopustivo vreme između merenja pritiska duž linije i merenja protoka na kraju.

Procena Q-h je primenljiva u uslovima padavina gde su padavine jednake duž drenažne linije. U uslovima navodnjavanja, korišćenje ovog pokazatelja je složenije.

Očitana dubina nivoa podzemne vode se prevodi u visinu i zatim se izračuna pijezometarska visina u odnosu na središnju liniju drenažne cevi, za prečnike drenažnih cevi do 80 mm, a u odnosu na dno drenažne cevi, za drenažne cevi sa većim prečnicima. Praksa kod specijalista za drenažu je da se izmereni proticaj prevodi u „mm/d“ deljenjem proticaja sa razmakom i dužinom cevi. Rezultati osmatranja drenažnog sistema se prikazuju u relaciji prema drenažnoj formuli koja je korišćena u projektu (*npr. Hooghoudt, Glover-Dumm, itd.*). Za koeficijent filtracije se u početku koriste projektni parametri, ali je sigurno bolje da se koeficijent filtracije zemljišta utvrdi terenskim istraživanjem iz bušotina za osmatranje nivoa podzemnih voda i drenažnog rova. Potrebno je koristiti i druge parametre koji su korišćeni za projekat, kao što su ekvivalentna dubina, dubina do nepropusnog sloja, itd. Na osnovu geometrijskih karakteristika drenaže moguće je proceniti najveći očekivani proticaj koristeći Maningovu jednačinu.

U uslovima ujednačenih padavina ili navodnjavanja, pokazatelj će ukazati na to da li sistem funkcioniše prema projektnim očekivanjima. U uslovima neujednačenih padavina ili navodnjavanja, dolazi se do veoma različitih podataka iz kojih su zaključci nepouzdaniji. Jasno je da se ukoliko ne postoje uslovi konstantnog prihranjivanja tokom merenja, ne preporučuje upotreba ovog pokazatelja.

Podaci treba da budu grupisani oko teoretske Q-h krive iz drenažne formule koja je upotrebljena u projektu, niži od najvećeg očekivanog (mogućeg) proticaja kroz drenažnu cev, kada je cev puna i ne dolazi do natpritiska.



**Pokazatelj (I.3): Status useva**

Status useva je očito najbolje merilo kod procene učinka drenažnih sistema. Status useva se obično izražava kroz prinos i stoga je potrebno da se za ovo merenje koriste savremena naučna dostignuća u poljoprivredi. Ukoliko su ispitivanja statusa useva vezana za program procene učinka, bitno je:

- ⇒ Merenje prinosa nema značaj bez merenja komponenti prinosa. Merenje prinosa je kompleksno merenje koje uključuje sve činioce koji utiču na biljnu proizvodnju. Veličina prinosa je u funkciji različitih parametara, zavisno od razvojne faze useva. Stoga, prinos nije nužno povezan sa parametrom koji se razmatra, već je merenje komponenti prinosa jedini način povezivanja relevantnih parametara sa fenološkom fazom i konačno sa prinosom.
- ⇒ Nije moguće improvizovati dnevnik polja. Iz tog razloga, ako se vrši analiza ovog pokazatelja, poljoprivredni inženjeri treba da budu uključeni u program procene učinka, uključujući i praćenje statusa useva.

**Pokazatelj (I.4): Kontrola vodno - sonog režima zemljišta**

U aridnim i semiaridnim navodnjavanim područjima, drenaža bi trebalo da obezbedi kontrolu prevlaživanja i salinizacije u korenovoj zoni biljke. Procena učinka u pogledu prevlaživanja (zasićenosti) vodom je relativno jednostavna, što nije slučaj sa vodno-sonim režimom zemljišta.

Procena vodno – sonog režima zemljišta treba da se definiše na osnovu drenažnog sistema, ako postoji, i sistema za navodnjavanje, kao i poljoprivredne proizvodnje. Budući da je voda medij za prenošenje soli, kod primene navodnjavanja potrebne su ujednačene količine kvalitetne vode i da postoji odgovarajući drenažni sistem za odvođenje viška vode, koja se primenjuje za ispiranje soli iz zemljišnog profila. Stoga, cilj kontrole zaslanjenosti jeste održavanje i/ili smanjenje salinizacije u korenovoj zoni useva do prihvatljivih nivoa u odnosu na toleranciju useva, ujednačeno u najvećoj mogućoj meri.

Takođe je značajno da li su na analiziranom području sprovedene kompleksne melioracije i da li su u funkciji. Za takve uslove se sačinjavaju i kriterijumi.

### Parametri koje je potrebno prikupiti

1. Električna provodljivost zemljišta je glavni parametar koji je potrebno meriti. Ova merenja treba da budu usmerena na korenovu zonu, zbog čega su plića očitavanja relevantnija.  
Ukoliko oprema za merenje električne provodljivosti na terenu nije dostupna, vrši se uzorkovanje zemljišta, a EC se određuje laboratorijski. U tom slučaju, obim uzorkovanja je značajno umanjen, a samim tim i pouzdanost procene zaslanjenosti zemljišta.
2. Potrebna je korelacija terenski izmerenih vrednosti sa podacima o električnoj provodljivosti koji su izmereni na ekstraktima saturacije (*USSL, 1954.*) iz uzoraka zemljišta, koji su uzeti iz najveće dubine glavne korenove zone useva u plodoredu. Mesta za uzorkovanje zemljišta se određuju na osnovu statističke analize podataka koji su prikupljeni tokom terenskih merenja. Električna provodljivost zemljišta i mesta uzorkovanja mogu da se georeferenciraju uz upotrebu globalnog pozicionog sistema (GPS), ili mogu da se manuelno registruju ukoliko ovaj sistem nije dostupan.
3. Potrebno je sagledati plodored, kao i izmeriti električnu provodljivost vode za navodnjavanje.

### Učestalost i gustina merenja

1. Kontrolu zaslanjenosti zemljišta potrebno je sprovesti pre i nakon vegetacionog perioda, obično u proleće i jesen. Poželjno je da količina vode u zemljištu u ovom periodu bude relativno visoka i ujednačena (*Lesch et al., 1998.*). Gustina merenja bi trebalo da bude slična geodetskom merenju, obično u obliku mreže, kako bi se zabeležila promenljivost zaslanjenosti zemljišta u polju ili drenažnom sistemu. Na obim istraživanja utiče veličina polja, kao i informacije o aktuelnoj zaslanjenosti analiziranog polja. Sekundarni pokazatelji kao što su izgled useva, mesto drenažnih cevi, nagib, izmene u zemljištu i prisustvo soli na površini zemljišta mogu se koristiti za utvrđivanje dispozicije mernih mesta.

Posebnu pažnju treba obratiti prilikom kartiranja drenažnih sistema sa horizontalnom cevnom drenažom, kako bi se osiguralo da očitavanja budu pravilna (upravno na drenažne cevi), na rastojanju pola i četvrtine razmaka drenažnih cevi, kako bi se mogle prikazati varijacije salinizacije u odnosu na udaljenost od drenažnih cevi (*Rhoades et al., 1999.*).

2. Gustina uzorkovanja zemljišta (broj bušotina i profila) zavisi od statističke analize postojećih, raspoloživih podataka. Dubina uzorkovanja od 1,0 m je obično odgovarajuća za karakterisanje korenove zone kod većine useva.
3. Ukoliko postoji opravdana sumnja da se voda za navodnjavanje menja tokom sezone navodnjavanja, u tom slučaju je potrebno proveravati kvalitet vode pri svakom navodnjavanju.

### **Metoda računanja i korišćenja pokazatelja**

Glavni pokazatelj je zapreminska zaslanjenost zemljišta kao vrednost zasićene paste. Ova vrednost se određuje kalibracijom EM očitavanja na zasićenim ekstraktima izmerenim na uzorcima zemljišta.

Najveće vrednosti zaslanjenosti se očekuju na sredini između drenažnih cevi. Ova analiza promena salinizacije je od posebne koristi utoliko što je često moguće postojanje samo lokalizovanih problema u okviru drenažnih sistema. Ovi problemi mogu biti izazvani problemima u održavanju, npr. zamuljena drenažna cev, neadekvatan rad pumpi, ili se mogu odnositi na neodgovarajuće projektovan sistem, npr. deo polja može imati manje pokazatelje vodopropusnosti, što nije bilo uočeno tokom istraživanja za potrebe projekta. Analizom promenljivosti dodatno mogu da se procene i drugi lokalizovani problemi kao što je procurivanje iz kanala za navodnjavanje ili neujednačena raspodela vode za navodnjavanje, kako u polju tako i između polja.

Za celokupnu procenu, potrebno je izračunati srednju vrednost zaslanjenosti za polje ili za područje. Kartirana zaslanjenost se takođe može upotrebiti za stvaranje klasa zaslanjenosti, koje mogu da se upoređuju tokom godina. Ove vrednosti zatim mogu da se koriste u godinama koje slede, kako bi se odredilo da li je zaslanjenost pod kontrolom na polju ili u području, tokom vremena.

### **Opravdanost**

Zapreminska zaslanjenost u korenovoj zoni tokom dužeg vremenskog perioda je jedino merilo koje je indikativno za rad sistema. Prostorna i vremenska distribucija električne provodljivosti će ukazati na to da li je u pitanju neadekvatno funkcionisanje drenažnog

sistema, a ako je primenjeno navodnjavanje, nedostatak vode za ispiranje soli. Sam sadržaj soli u drenažnoj vodi nije dovoljan pokazatelj, u slučaju da je reč o „izvlačenju soli“ iz slojeva ispod korenove zone, što dovodi do visoke zaslanjenosti drenažne vode. Ovakva visoka zaslanjenost drenažne vode se može tumačiti kao ispiranje soli iz korenove zone i stoga kao održavanje bilansa soli, međutim podzemni drenažni sistemi pokreću soli koje se nalaze na daleko većoj dubini od korenove zone, i stoga se ne može nužno smatrati da su soli koje se nalaze u drenažnoj vodi zaista uklonjene iz korenove zone.

### **Raspon pokazatelja**

Raspon zaslanjenosti zemljišta će biti funkcija tolerancije na soli useva koji se uzgajaju u polju (*Maas & Hoffman, 1977.*), pri čemu će najviša vrednost za održavanje proizvodnje biti granična vrednost pri kojoj počinje umanjenje prinosa.

Kvalitet vode za navodnjavanje će uticati na zaslanjenost zemljišta i potrebno je uzeti u obzir prilikom procenjivanja dugoročne reakcije zaslanjenosti u profilu. Potrebno je da se zapreminska zaslanjenost uporedi sa vrednostima tolerancije na soli za useve u plodoredu, i da se proceni da li celokupan sistem, uključujući komponente za navodnjavanje i drenažu, održava zaslanjenost u korenovoj zoni na nivoima koji ne ograničavaju proizvodnju. Takođe se mogu načiniti teorijski proračuni zaslanjenosti zemljišta uz odgovarajuće ispiranje soli (*Hoffman, 1990.*) i uporediti sa izmerenim vrednostima (*Rhoades et al., 1999.*).

#### **3.4.6 Prikaz najznačajnijih ekonomskih pokazatelja za procenu učinka drenažnih sistema**

U slučaju ekonomskih i finansijskih pokazatelja za procenu učinka drenažnih sistema, treba razlikovati pokazatelje koji se odnose na ocenu rada postojećih sistema i pokazatelje koji se odnose na ocenu opravdanosti ulaganja u sisteme za odvodnjavanje, što bi za posledicu svakako imalo poboljšanje tehničkih pokazatelja, ali bi recimo zahtevalo povećanje naknade za odvodnjavanje.

## Ekonomski pokazatelji za procenu rada sistema za odvodnjavanje

Jedan od osnovnih ekonomskih pokazatelja su ekonomska naknada za odvodnjavanje  $N_{od}$  (€/ha). Ekonomsku naknadu treba razlikovati od stvarne naknade za odvodnjavanje koju zaista plaćaju korisnici sistema, koja često ne mora imati realnu ekonomsku vrednost. Ekonomskom naknadom za odvodnjavanje su obuhvaćeni svi operativni troškovi rada sistema (C), čijim se diskontovanjem i izjednačavanjem sa prihodom od naknade za odvodnjavanje dobija stvarna ekonomska vrednost :

$$N_{od} = \frac{\sum C_n / (1 + i)^n}{\sum A / (1 + i)^n}$$

gde je :

- A - površina koja se odvodnjava (ha)
- i - kamatna stopa ( $i=p/100$ )
- n - broj godina trajanja sistema i
- $C_n$  - troškovi eksploatacije (osim amortizacije i kamate) sistema (€)

Na sličan način se može odrediti i ekonomska cena prikupljene vode za odvodnjavanje  $C_{od}$  (€/m<sup>3</sup>):

$$C_{od} = \frac{\sum C_n / (1 + i)^n}{\sum V / (1 + i)^n}$$

gde je V godišnja zapremina vode koja se prikupi i odvede sistemom za odvodnjavanje (m<sup>3</sup>).

## Ekonomski pokazatelji za procenu opravdanosti ulaganja u sistem za odvodnjavanje

Donošenje odluke o gradnji novih ili rekonstrukciji postojećih drenažnih sistema zavisi i od ekonomskih pokazatelja na osnovu kojih se procenjuje opravdanost planiranih radova.

Izgradnja drenažnih sistema na poljoprivrednom području zahteva značajna investiciona ulaganja koja zavise od: površine sistema, vrste i broja objekata, ostalih pratećih mera i radova. U zavisnosti od veličine sistema i iznosa raspoloživih finansijskih sredstava planirani objekti i radovi izvode se fazno. Zbog toga, značajno je utvrditi vreme i redosled izgradnje pojedinih faza.

Nakon izgradnje drenažnih sistema, radom izgrađenih vodnih objekata nastaju troškovi od kojih su najvažniji: amortizacija, održavanje, energija, radna snaga i kamata.

Izbor reprezentativnih pokazatelja za ocenu efikasnosti rada drenažnih sistema predstavlja kompleksan istraživački zadatak od koga može zavisiti uspeh planiranih poduhvata. Ovi pokazatelji mogu biti ekonomski, finansijski, socijalni, makro i mikro, kvantitativni i kvalitativni. Sektori kojima drenažni sistemi najviše doprinose su: poljoprivreda, šumarstvo, građevinarstvo, saobraćaj, turizam i dr. U tom smislu sastavljen je algoritam u kojem su obuhvaćeni svi pokazatelji koji su bitni za ocenu efikasnosti rada drenažnih sistema.

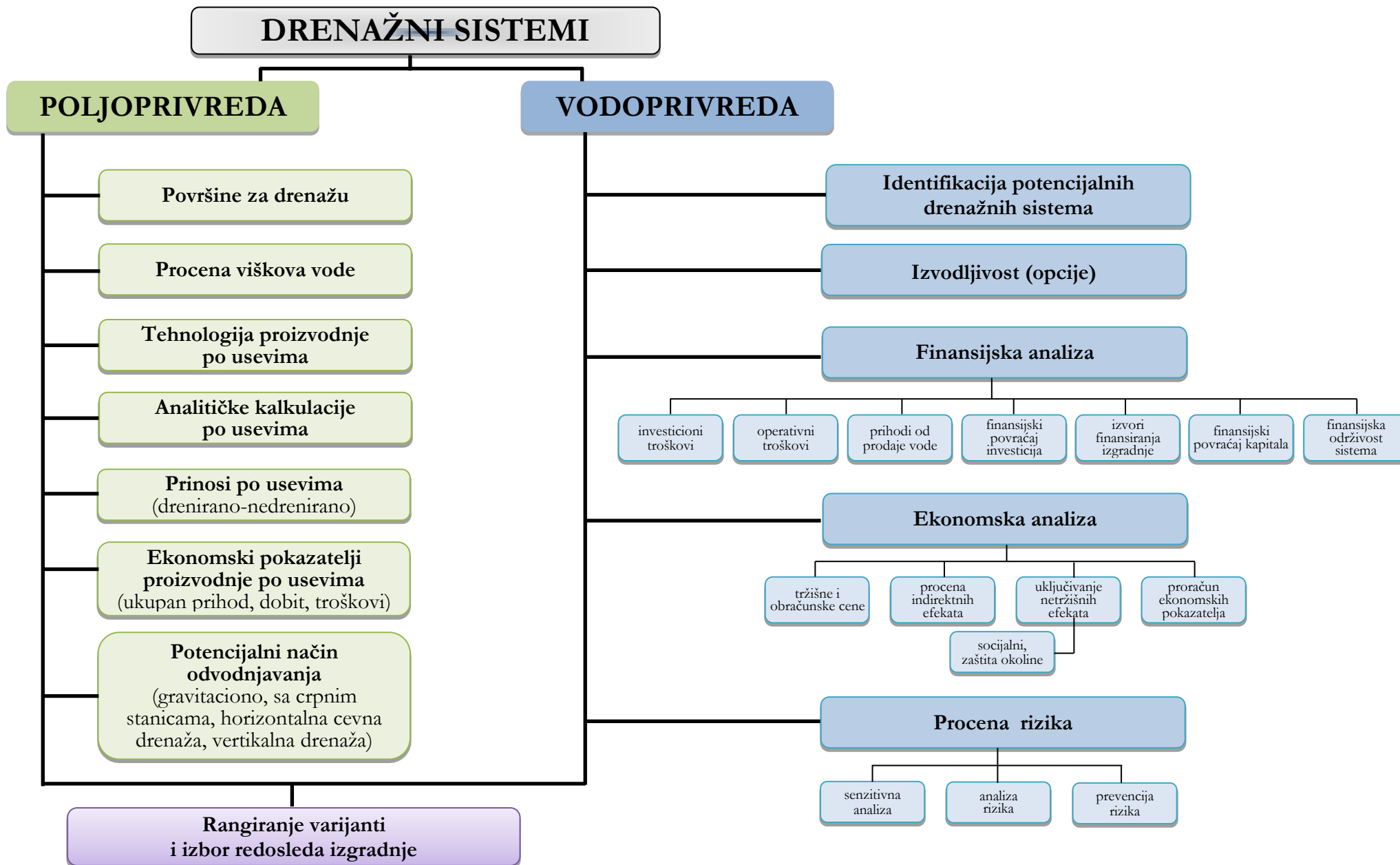
Najodgovornije delatnosti za funkcionisanje drenažnih sistema koji spajaju prirodne faktore, zemljište i vodu, su poljoprivreda i vodoprivreda (*Potkonjak et al., 2005.*). Podaci koje je neophodno prikupiti za istraživanje u ovom slučaju su dati na slici 3.5. Podaci koji su navedeni trebalo bi u najvećem broju pokazatelja da budu kvantifikovani. Svaki drenažni sistem je u ovom slučaju poseban istraživački zadatak kojem treba pristupiti sistematski i primenom važećih i naprednih metoda i metodologija.

Istraživanja ekonomskih pokazatelja efikasnosti drenažnih sistema koja su izvršena u ovom radu sastojala su se iz tri koraka:

**I korak:** Projektovanje neto-primanja na drenažnom sistemu prikazano je u tabeli 3.4, gde je dat redosled prikupljanja i vrste podataka neophodnih za proračun neto-prihoda, kao i način proračuna neto-prihoda na poljoprivrednim površinama koje će obuhvatiti drenažni sistem.

**II korak:** Za izradu ekonomskog toka projekta drenažnog sistema, s obzirom da su ulaganja u izgradnju dugoročnog karaktera, nije dovoljno izračunati samo godišnje ekonomske pokazatelje. Period eksploatacije ovih sistema iznosi i preko 30 godina u kojem nastaju i primanja i izdaci projekta (tabela 3.5). Pošto isti zavise od hidrološke godine to su primanja-prihodi i izdavanja-troškovi nejednaki tokom eksploatacije. Pošto u ovom slučaju vremenski faktor ima značajnu ulogu, to je kod proračuna ekonomske efikasnosti drenažnih sistema potrebno koristiti diskontne metode kao što su :

- ⇒ neto sadašnja vrednost projekta (NSW),
- ⇒ interna stopa prinosa (ISP),
- ⇒ odnos korist troškovi (B/C),
- ⇒ relativna neto-sadašnja vrednost (RNSV)



Slika 3.5 Algoritam za prikupljanje i obradu podataka za ocenu efikasnosti drenažnih sistema

*Neto – sadašnja vrednost (NSW)*, kao pokazatelj ekonomske efikasnosti drenažnih sistema izračunava se na osnovu izraza:

$$NSW = \sum_{i=1}^n \frac{B_n - C_n}{(1+i)^n} - INV$$

gde je:

- $B_n$  – koristi od odvodnjavanja, svake godine (€),
- $C_n$  – troškovi odvodnjavanja, u svakoj godini (€),
- INV – početna investiciona ulaganja, (€),
- $n$  – broj godina eksploatacije sistema,
- $i$  – kamatna (diskontna) stopa (%).

*Interna stopa prinosa* (internal rate of return) u ovom slučaju pokazuje stepen „ukamaćenja“ novčanih sredstava uloženi u sistem za odvodnjavanje za ceo period njegovog trajanja. To je u stvari stopa pri kojoj su prosečna godišnja primanja i prosečna godišnja izdavanja nastala eksploatacijom sistema međusobno jednaka. izvlačenju soli

Matematički izraz za internu kamatnu stopu prilagođen oceni efekata kod sistema za odvodnjavanje glasi:

$$\sum \frac{B_n}{(1+i)^n} = \sum \frac{C_n}{(1+i)^n}$$

gde je:

- $B_n$  – dodatna vrednost proizvodnje nastala odvodnjavanjem (€),
- $i$  – kamatna stopa ( $i = p/100$ ),
- $n$  – broj godina trajanja sistema i
- $C_n$  – troškovi eksploatacije (osim amortizacije i kamate) sistema (€).

Izračunata vrednost ovog pokazatelja za konkretni projekat poredi se sa kalkulativnom kamatnom stopom (koja je pokazatelj društvene cene kredita), pri čemu izračunata vrednost treba da bude viša, kako bi projekat zadovoljio po ovom kriterijumu.

Shodno prethodnim obrascima odnos korist (B) troškovi (C) izračunava se kao:

$$B/C = \frac{\sum \frac{B_n}{(1+i)^n}}{\sum \frac{C_n}{(1+i)^n}}$$



Prema ovim kriterijumima–pokazateljima izgradnja sistema za odvodnjavanje je ekonomski opravdana ako je:

$$B - C > 0$$

$$B/C \geq 1$$

Zavisnost između ove tri vrednosti su :

	NSW	ISP	B/C odnos
ako je	>0	tada je ISP > r	i > 1
ako je	<0	tada je ISP < r	i < 1
ako je	= 0	tada je ISP = r	i = 1

Relativna neto sadašnja vrednost (RNSW) predstavlja odnos neto sadašnje vrednosti i visine investicija potrebnih da bi se ona ostvarila i određuje se prema obrascu :

$$RNSW = NSW / \sum INV * (1/(1+i)^n)$$

gde je :

- RNSW – relativna neto sadašnja vrednost,
- $n$  – broj godina eksploatacije sistema,
- $i$  – kamatna (diskontna) stopa.

**Tabela 3.4 Proračun neto prihoda drenažnog sistema (poljoprivreda)**

Elementi	Pre projekta	Godine projekta			
		1	2	...	30
<i>PRIHOD</i>					
Pšenica					
Kukuruz					
.....					
Međuzbir					
<i>OPERATIVNI TROŠKOVI</i>					
Seme					
Hemija					
Usluge					
Osiguranje					
Rad					
Opšti troškovi					
Održavanje kanala					
Troškovi crpljenja					
Kamata na kratkoročni kredit					
* Međuzbir					
Neto – prihod sa porezom					
Manje porezi					
NETO PRIHOD					

**Tabela 3.5** *Ekonomski tok drenažnog projekta*

Red. broj	Elementi	Godine izgradnje	Godine projekta				Diskontovane vrednosti
			1	2	...	30	
<b>I</b>	<b>Ukupna primanja</b>						
1	Ukupan prihod						
2	Ostatak vrednosti projekta						
<b>II</b>	<b>Ukupni izdaci</b>						
3	Investicije						
4	Poslovni rashodi bez amortizacije						
5	Ostale obaveze						
<b>III</b>	<b>Neto-primanja</b>						NSW
	Diskontni faktor 1						
	Diskontovana primanja 1						
	Diskontni faktor 2						
	Diskontovana primanja 2						
	Diskontovana primanja						
	Diskontovana izdavanja						
	Interna stopa prinosa						ISP
	Relativna neto sadašnja vrednost						RNSW
	Odnos korist-troškovi						B/C

**III korak:** Projektovanje finansijskog toka novca

Ova faza sadrži važan finansijski pokazatelj projekta, a to je likvidnost. Bez obzira na ekonomski značaj drenažnih sistema prvenstveno za poljoprivredu, isti treba da budu likvidni u toku eksploatacije. To znači da razlika toka inputa i toka outputa bude pozitivan broj što praktično znači da sistem može ispunjavati svoje dospele tekuće obaveze. Menadžment sistema može da ima uticaja na ovaj pokazatelj, kao i mere ekonomske politike koje se sprovode u poljoprivredi i vodoprivredi (tabela 3.6).

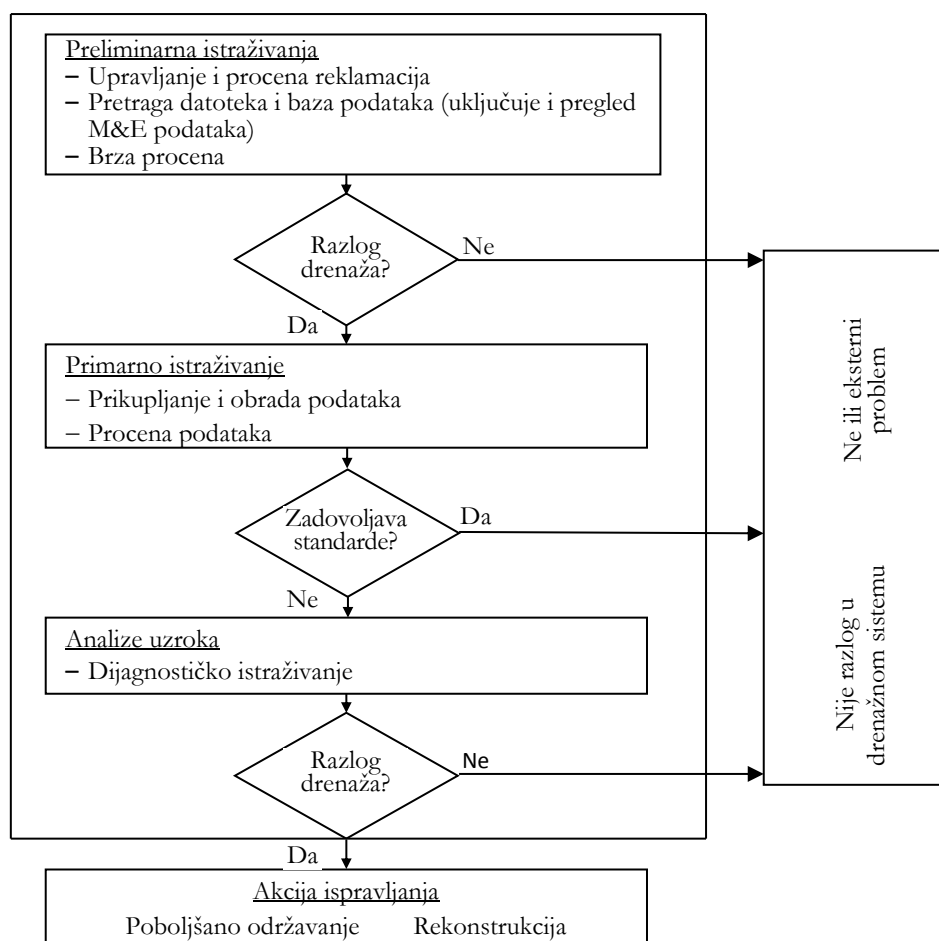
**Tabela 3.6 Projektovanje finansijskog toka novca**

Elementi	Pre projekta	Godine projekta			
		1	2	...	30
<b>Tok inputa</b>					
Prihodi od proizvodnje					
Dugoročni krediti					
Učešće preduzeća					
Kratkoročni krediti					
Međuzbir					
<b>Tok outputa</b>					
Operativni troškovi					
Investicije					
Porezi					
Otplate kratkoročnih kredita					
Obavezne usluge					
Kamata					
Otplata					
Međuzbir					
<b>Tok novca</b>					
Obavezna izdvajanja					
Amortizacija					
Fondovi					
Ostatak za raspodelu					
<b>Očekivani tok novca</b>					

### 3.5 PROGRAM PROCENE UČINKA

Standardne procedure procene učinka primenjene kod drenažnih sistema su šematski prikazane na slici 3.6. Termin „standardni“ podrazumeva da predložene procedure imaju široku primenu, pri čemu i druge procedure mogu biti potrebne (*Smedema, 1996.*).

Ove procedure uključuju nekoliko koraka u nizu. Naredni korak se preduzima samo kada se kod prethodnog koraka potvrdi njegova neophodnost. Proces procene učinka može da se završi nakon svakog koraka, odnosno ne mora da se primene svi koraci ili da se obave po naznačenom redu. Za svaki naredni korak je potrebna nova grupa pokazatelja, pri čemu pokazatelji postaju sve detaljniji i više specifični, kako procedure ulaze u sledeću fazu.



**Slika 3.6 Standardne procedure procene učinka**

(Smedema et al., 2004.)

### 3.5.1 Prvi korak: preliminarna istraživanja

Prvi korak uključuje sledeće aktivnosti:

1. Upravljanje reklamacijama (sistematizacija, arhiviranje i pretraga);
2. Pretraga baze podataka, vezano za tehničku dokumentaciju, odnosno razmatranu investiciju: vreme izrade projekta, primenjena tehnologija (materijali i metode izgradnje); primenjena kontrola kvaliteta; ugovorna dokumentacija i drugi relevantni pokazatelji koji imaju značaj pojedinačno ili u kombinaciji sa drugima;
3. Pretraga podataka vezanih za poljoprivredu: plodored i prinosi useva;
4. Brza procena: kratka kontrolna geodetska snimanja na terenu radi procene drenažnih uslova.

U toku prvog koraka procenjuje se potreba za drugim korakom. Za drugi korak je potreban i značajni rad na terenu i treba da se preduzima samo kada su preliminarna istraživanja potvrdila da postoje jasni pokazatelji da postoje problemi prevlaživanja i/ili zaslanjivanja zemljišta na području ili na značajnom delu područja i da su ovi problemi nastali, najverovatnije, usled lošeg rada drenažnih sistema.

### **3.5.2 Drugi korak : primarna istraživanja**

Ovaj korak se preduzima kada postoje problemi (veće) prevlaženosti i/ili salinizacije na području, koji su nastali usled lošeg rada drenažnih sistema. U ovom koraku, ova pretpostavka se potvrđuje ili odbacuje prikupljanjem i analizom podataka o režimu voda i zemljišta, kao što su dubina nivoa podzemnih voda, kvalitet podzemnih voda, fizičke i hemijske karakteristike zemljišta i dr. i njihovim upoređivanjem sa prihvaćenim standardima za dobar učinak. Ovaj korak može da se podeli na dva pod-koraka:

1. Prikupljanje, sistematizacija i obrada podataka: analiza relevantnih (odabranih) parametara, pokazatelja sa određenom obradom, kako bi se olakšala kasnija upotreba prikupljenih podataka;
2. Procena podataka: upoređivanje prikupljenih podataka, pokazatelja sa prihvaćenim standardima, na osnovu kojih se može sagledati učinak drenažnih sistema.

Naravno, moguće je da primarna istraživanja pokažu da ne postoji stvarno prevlaživanje ni salinizacija na području ili da uslovi koji preovlađuju na terenu ne potiču od lošeg funkcionisanja drenažnih sistema. U ovom slučaju zapaženi problemi se na odgovarajući način prijavljuju, a procena učinka drenažnog sistema se obustavlja.

Učestalost istraživanja kod ovog koraka zavisi od preliminarnog istraživanja i može da bude različito za svaku situaciju.

Primedbe standardnog monitoringa i procene, prikupljene u prvom koraku, mogu da se koriste za svrhu procene učinka (PU) u drugom koraku.

### **3.5.3 Treći korak**

U ovu fazu se ulazi kada primarna istraživanja potvrde da učinak izgrađenog drenažnog sistema ne odgovara očekivanim standardima. Zadatak je da se utvrdi uzrok (uzroci) slabijeg učinka sistema.

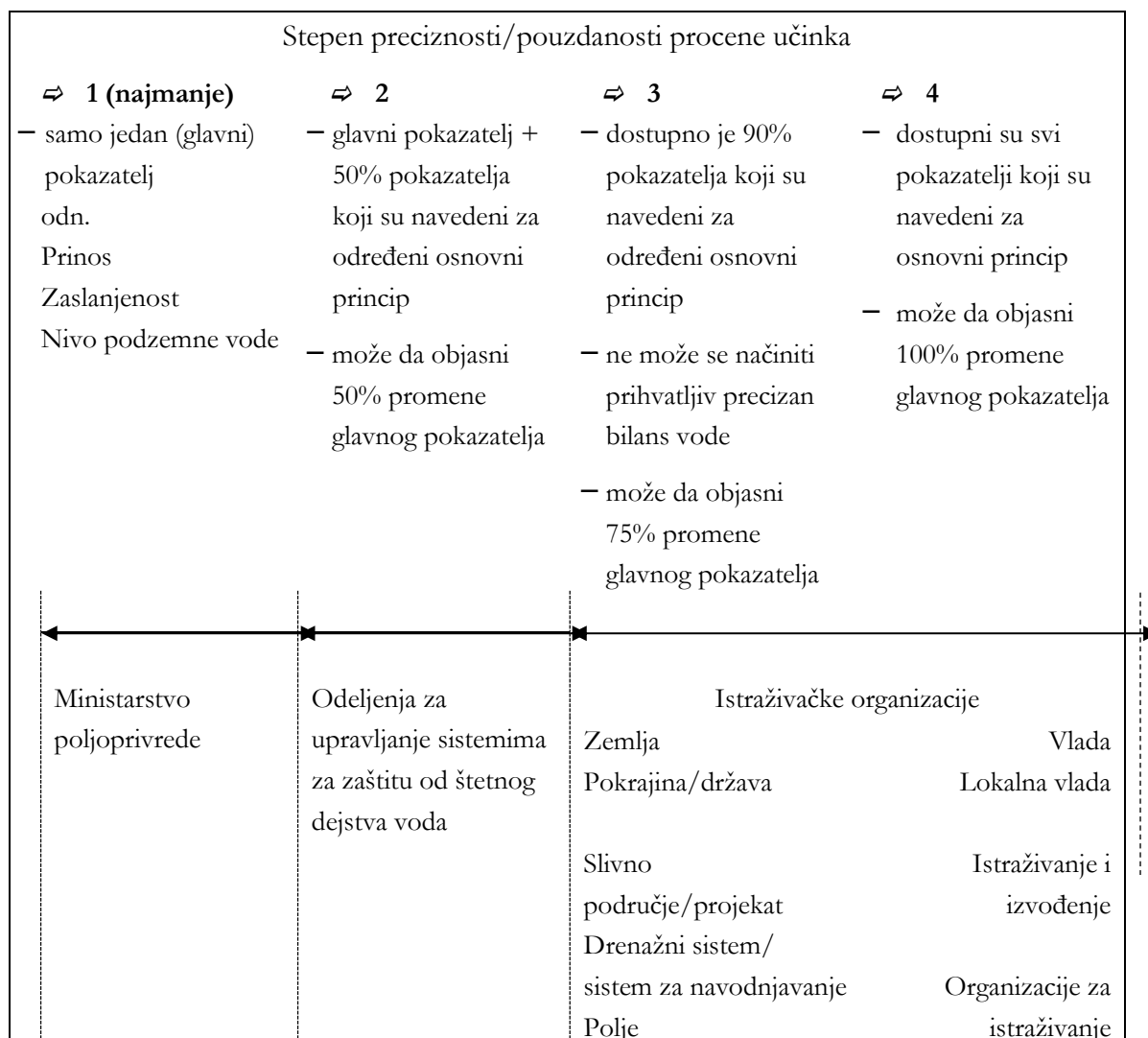
Jasno je da se procene učinka drenaže (slika 3.6) baziraju na tehničkim principima. U svetlu benčmarkinga i definisanja procene učinka koji su usmereni na radne karakteristike drenažnog sistema, očigledno je da proces treba da bude višedisciplinaran i da mu se pristupa sistematično u vodoprivrednoj organizaciji.

### **3.6 POUZDANOST I MOGUĆNOST UPOTREBE REZULTATA PROCENA UČINKA RADA DRENAŽNIH SISTEMA**

Kako bi se postigao određeni stepen preciznosti ili pouzdanosti u procenama učinka, neophodno je korišćenje određenog broja pokazatelja kako bi se dostigao odgovarajući nivo u objašnjenju promena. Drugim rečima: kako bismo preciznije objasnili promene u prinosima, potreban je veći broj određenih pokazatelja. Najčešće, ukoliko se postavlja pitanje zbog čega se određeni kriterijum menja, svi podaci neće biti dostupni i stoga je neophodno da se kvalitativno ukaže na preciznost ili pouzdanost procena učinka prilikom objašnjavanja promene.

Glavni pokazatelj je jedan od pokazatelja koji ukazuje na to da dolazi do promene koja je značajna u toj meri da nosioci odlučivanja traže objašnjenje. Glavni pokazatelj ne treba da se smatra primarnim ili direktnim pokazateljem kao što je prethodno definisano. Glavni pokazatelj, po određenim osnovnim principima, može da bude indirektni pokazatelj (ili sekundarni pokazatelj). Na primer, promene u prinosu ili statusu useva mogu da se smatraju glavnim pokazateljem ali nikako i direktnim pokazateljem. Pokazatelji koji opisuju upravljanje vodnim resursima i usevima (primena đubriva, pesticida, vreme setve, sorte, itd.) takođe su potrebni.

Broj pokazatelja može da bude promenljiv, ali da bi bio grupa koja može da da najbolje rezultate kako bi se ispunio cilj procene učinka, potrebno je da grupa može stoprocentno da objasni cilj ili promenu glavnog pokazatelja.



**Slika 3.7** *Stepen preciznosti/pouzdanosti procene učinka*

(Vincent et al., 2007.)

Najviši stepen procene učinka se postiže ukoliko su dostupni svi pokazatelji koji su navedeni za taj osnovni princip. Međutim, u praksi to često nije slučaj, dostići tu dostupnost je moguće u potpuno kontrolisanom eksperimentu. Obično nedostaje jedan ili više pokazatelja. Proizvoljno su određena dva dodatna stepena (slika 3.7):

- ⇒ Step 2. se postiže kada je dostupan glavni pokazatelj i 50% pokazatelja koji su navedeni za navedeni osnovni princip. Pretpostavlja se da ovi pokazatelji mogu da objasne 50% cilja procene učinka. To je u velikoj meri subjektivno, ali je važno proceniti prikladnost procene učinka.

⇒ Stepen 3., koji je drugi najbolji, dostiže se ukoliko je moguće postići 75% cilja sa dostupnim pokazateljima. Pokazatelji koji najčešće nedostaju u trećem stepenu su oni koji se odnose na dobijanje bilansa voda (najčešće jedan ili više parametara za definisanje pokazatelja koji se odnose na drenažu, prepumpavanje, evapotranspiraciju, itd., nisu dostupni). Ukoliko vodni bilans nije precizan (ovo je moguće izraziti upotrebom standardnih procena grešaka) najviši stepen može da bude Stepen 3. Ukoliko je postignut relativno visok stepen preciznosti u računanju vodnog bilansa, stepen preciznosti procene učinka je veći od Stepena 3., ali je moguće da još nije dostignut Stepen 4.

Prvi stepen prikladnosti procene učinka je stepen koji je najčešće dostupan u početku, i obično na visokom nivou (Ministarstvo poljoprivrede) kada se prvo postavljaju pitanja; odn. prinosi se smanjuju, ali nije moguće na odgovarajući način objasniti zbog čega. Vlada će zatim tražiti više informacija, što zahteva dalja istraživanja i procene učinka, koje mogu dovesti do procene učinka na Stepenu 2. Ovaj stepen je moguće postići nakon izvršenih preliminarnih istraživanja kao što je ukazano na slici 3.7. To bi, na primer, mogla biti vrsta procene učinka koja je potrebna kako bi Odeljenje za režim voda i zaštitu od štetnog dejstva unutrašnjih voda donelo odluke u procesu planiranja, ili to može da bude procena učinka koja je potrebna za operativno i sistemsko rukovođenje. Stepen 3. i 4. su obično vrste procena učinka koje sprovode istraživačke organizacije, ali je poželjno da ih takođe koriste i lokalne, pokrajinske i nacionalne institucije. Moguće je postići Stepen 3. nakon završetka primarnih istraživanja. Procena učinka na Stepenu 4. se može postići tek nakon obimnih istraživanja. U zavisnosti od broja i stepena preciznosti, kao i pouzdanosti kvaliteta podataka koji su prikupljeni, moguće je razlikovati nekoliko klasa podataka, kao što je prikazano na slici 3.7.



#### **4. METODE REŠAVANJA STRUJANJA PODZEMNIH VODA KOD KOMPLEKSNIH DRENAŽNIH SISTEMA**

Neophodnost modeliranja dinamike podzemnih voda kod procena pokazatelja učinka sistema za odvodnjavanje, proizilazi iz činjenice da, gotovo svi tehnički pokazatelji imaju značajnu prostornu varijabilnost. Prosečna vrednost pokazatelja bi se mogla dobiti :

1. Pravilnim izborom mernih mesta koja se mogu smatrati dovoljno reprezentativnim za određeno područje; i
2. Integracijom vrednosti pokazatelja po celoj površini, što je moguće uraditi na osnovu rezultata simulacije na kalibrisanom numeričkom modelu.

U radu je pokazana neophodnost razvoja, kalibracije i primene numeričkog modela kretanja podzemnih voda za procene kako tehničkih, tako i ekonomskih pokazatelja učinka drenažnih sistema.

##### **4.1 SPECIFIČNOSTI DRENAŽNIH SISTEMA**

Osnovna obeležja poljoprivrednih područja sa neuređenim vodnim režimom je da su sastavljena, dominantno, od glinovitih sedimenata i da su to najčešće najniži delovi terena.

Sa hidrogeološkog aspekta, uglavnom se izdvajaju dva zemljišna sloja:

- ⇒ gornji sloj, do površine terena, koji je sastavljen od slabije propusnih materijala (od 2 do 10 m) i
- ⇒ donji sloj, bolje vodopropusnosti, koji čine peskovi i šljunkoviti peskovi (od 5 do 30 m).

U skladu sa projektovanim tehničkim rešenjima uređenja režima podzemnih voda poljoprivrednih područja, u zavisnosti od specifičnosti uslova na području (hidrogeoloških, geomorfoloških, hidroloških, pedoloških i dr.), uočavaju se sledeći tipovi zaštite:

- ⇒ zaštita koju čine drenažna kanalska mreža;
- ⇒ zaštita drenažnim kanalima u kombinaciji sa delovima vodotokova; i
- ⇒ zaštita koju čine kanalska mreža u kombinaciji sa samoizlivnim drenažnim bunarima.

Na područjima sa teškim glinovitim zemljištem, u kombinaciji sa navedenim tipovima zaštite projektuje se horizontalna cevna drenaža. Takav skup mera predstavlja kompleksan drenažni sistem za zaštitu i uređenje režima podzemnih voda.

Osnovu sistema zaštite i uređenja vodnog režima čine sledeći objekti:

- ⇒ odbrambeni nasipi,
- ⇒ obaloutvrde i valobrani,
- ⇒ drenažni kanali koji zadiru u vodonosni sloj,
- ⇒ zatvoreni drenažni kolektori,
- ⇒ samoizlivni bunari,
- ⇒ drenažni bunari opremljeni crpkama,
- ⇒ horizontalna drenaža, i
- ⇒ crpne stanice.

U istoriji planiranja i projektovanja drenažnih sistema, za upravljanje režimom podzemnih voda na poljoprivrednim područjima zapaža se nekoliko važnih momenata:

- ⇒ Formulisanje Darcy-jevog zakona dovelo je do značajnog porasta saznanja o fizičkim procesima strujanja vode u zemljištu. Na bazi matematičke formulacije dobijen je veliki broj raznih analitičkih rešenja kretanja podzemnih voda;
- ⇒ Otkrićem elektronskih računara stvorena je mogućnost rešavanja:
  - kompleksnih problema strujanja za koja nisu bila moguća analitička rešenja
  - problema strujanja podzemnih voda na velikim površinama, pošto se na računarima može raditi sa velikim brojem podataka
  - U dosadašnjem periodu, poljoprivredna područja su sa aspekta režima podzemnih voda, analizirana uglavnom parcijalno. Izrađivani su hidrodinamički modeli različitih namena i karakteristika: od lokalnih, za potrebe interpretacije opita crpenja, preko modela manjih ili većih zona od interesa meliorativnog rejona. Kod izrade hidrodinamičkih modela režim podzemnih voda posmatra se integralno, tako da i model predstavlja jedinstvenu hidrauličku i hidrodinamičku celinu (*Stanić, 1993*).

## 4.2 VODOPRIVREDNI BILANS PODZEMNIH VODA

Proučavanje režima podzemnih voda obuhvata: fiziku kretanja vode u nezasićenoj i zasićenoj sredini, ispitivanje propusnosti zemljišta u toj zoni, određivanje oblasti prihranjivanja podzemnih voda i njene veličine, procene zaliha voda, biohemijski i fizički procesi podzemnih voda, itd.

Za definisanje režima podzemnih voda postoji niz metoda, koje mogu sa više ili manje uspeha da prikažu postojeći režim, da omoguće prognoze i predvide režime podzemnih voda u uslovima odvodnjavanja, navodnjavanja ili primene drugih tehničkih mera.

Izučavanje i prognoza režima podzemnih voda na poljoprivrednim područjima razvijala se u više pravaca, od kojih su najzastupljeniji :

- ⇒ Primena statističkih, korelacionih metoda, poznatijih kao hidrološke metode;
- ⇒ Primena determinističkih metoda (numeričko rešavanje diferencijalnih jednačina nestacionarnog kretanja podzemnih voda – hidrodinamičke metode) i
- ⇒ Kombinacija hidroloških i hidrodinamičkih metoda.

### 4.2.1 Hidrološke metode

Hidrološke metode baziraju se isključivo na statističkoj obradi rezultata osmatranja nivoa podzemnih voda i na stvaranju korelacija sa hidrološkim i meteorološkim veličinama. S obzirom da analiziraju sumarno dejstvo faktora bilansa i uspostavljaju postojeće zakonitosti u okviru određenih hidrogeoloških, geomehaničkih, klimatskih, eksploatacionih i drugih faktora, ne mogu se koristiti za prognozu režima u uslovima izmene pojedinih parametara bilansa (*Boreli, 1966; Boreli i Vuković, 1967.*).

Bilansna jednačina za analizirano područje ima oblik :

$$P - E + \Delta Q + \Delta G - \Delta R = \varepsilon \Delta H \quad (1)$$

gde je :

- P - ukupne padavine, [L]
- E - ukupna evapotranspiracija, [L]
- $\Delta Q$  - ukupna neto zapremina površinskog oticaja po jedinici površine, [L]
- $\Delta G$  - ukupna neto zapremina podzemnog oticaja po jedinici površine, [L]

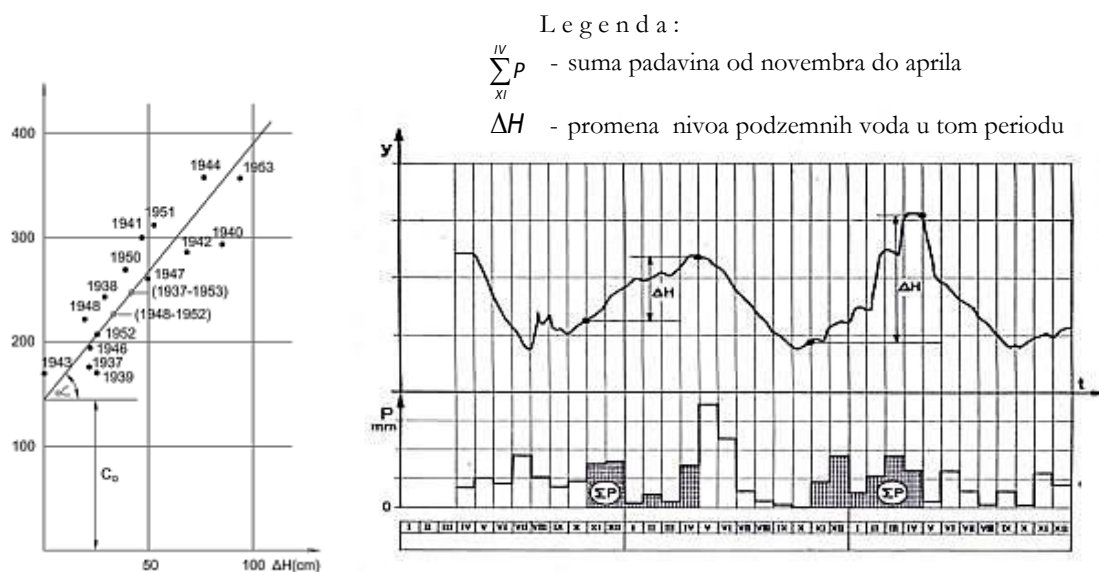
- $\Delta R$  - promena vlažnosti u zoni aeracije izražena kao promena zapremine vlage po jedinici površine, [L]
- $\epsilon$  - efektivna poroznost [-]
- $\Delta H$  - promena nivoa podzemnih voda u posmatranom intervalu vremena, [L].

Analizirajući navedenu jednačinu očigledno je da je za lako merljive veličine, padavine i nivoje podzemnih voda, moguće uspostaviti korelaciju  $\Delta H = f(P)$  (slika 4.1).

Ova korelacija ima opravdanje u uslovima:

- ⇒ za područja gde dominiraju „vertikalni faktori bilansa“, i
- ⇒ u periodu kada evapotranspiracija ima mali uticaj u bilansnoj jednačini.

Ovo praktično znači da prethodna korelaciona veza važi za zimski period, kada su vrednosti evapotranspiracije zanemarljivi. Sa slike 4.1 se uočava da je za analizu usvojen vremenski period od novembra do aprila.

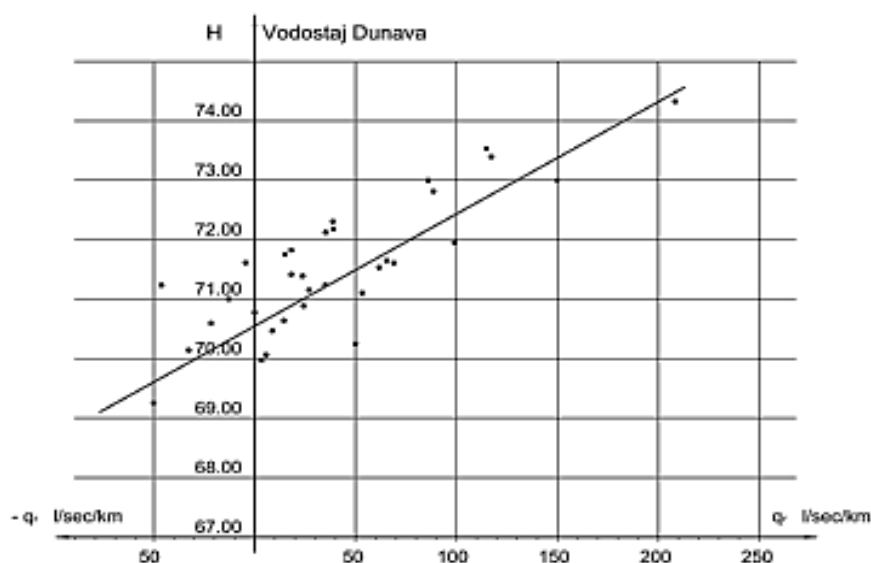


**Slika 4.1** Primer korelacione zavisnosti  $\Delta H = f(P)$ , za slučaj delovanja isključivo „vertikalnih faktora bilansa“

(Ibrig, 1962.)

U užem priobalnom pojasu gde se, praktično, mogu zanemariti faktori „vertikanog bilansa“, na režim podzemnih voda dominantno utiču podzemni doticaj i oticaj.

Na slici 4.2 je prikazana korelaciona veza između vodostaja reke Dunav (H) i doticaja iz pravca reke,  $q_r$ , za sliv crpne stanice „Reva“ u Pančevačkom ritu.



**Slika 4.2** Primer korelativne zavisnosti  $q_r=f(\Delta H)$  za sliv crpne stanice „Reva“  
– Pančevački rit (korelacija je rađena za mesece u kojima je radila crpna stanica)

[Stanisavljević, 1966.]

Prethodno navedene korelacione zavisnosti predstavljaju samo prvu, grubu aproksimaciju vodnog bilansa, za slučajeve kada se on može značajno pojednostaviti. Za detaljniju analizu, a posebno za prognozu režima podzemnih voda u uslovima navodnjavanja, odvodnjavanja i primene drugih mera (koje menjaju režim podzemnih voda), pouzdani rezultati mogu se dobiti samo primenom metoda koje se baziraju na izučavanju vodnog bilansa i na analizi relevantnih članova bilansa koji učestvuju u formiranju režima podzemnih voda u prirodnim i izmenjenim uslovima.

#### 4.2.2 Hidrodinamičke metode

Hidrodinamičkim metodama se vrši proračun bilansa podzemnih voda za analizirano područje, odnosno proračun infiltracionog hranjenja, isparavanja podzemnih voda i razlike između doticaja i oticaja podzemnih voda koje dolaze u područje, odnosno iz njega odlaze podzemnim putem.

Hidrodinamičkim metodama, na osnovu analiza osmotrenog režima podzemnih voda, moguće je odrediti i parametre vodonosnih slojeva (ovakav postupak je poznat kao rešavanje

inverznog zadatka), infiltraciju atmosferskih taloga, sumarno gubljenje podzemnih voda na opšte isparavanje i kretanje vlage ka zoni aeracije i u celini, bilans podzemnih voda, kako za pojedine tačke tako i za sliv u celini (*Soro i dr., 1984, 1997; Vuković, 1967.*).

Osim rešavanja ovih zadataka, rezultati osmatranja režima podzemnih voda koriste se za proučavanje: karaktera hidrauličke veze podzemnih voda sa površinskim vodama i sa dubljim međuslojnim vodama, količinske veze režima podzemnih voda u slivu i diferenciranje područja prema uslovima formiranja bilansa i režima podzemnih voda.

U praksi, za priobalna, aluvijalna područja, izučavanje režima podzemnih voda je uglavnom vezano za uslove višeslojevite, najčešće dvoslojevite porozne sredine.

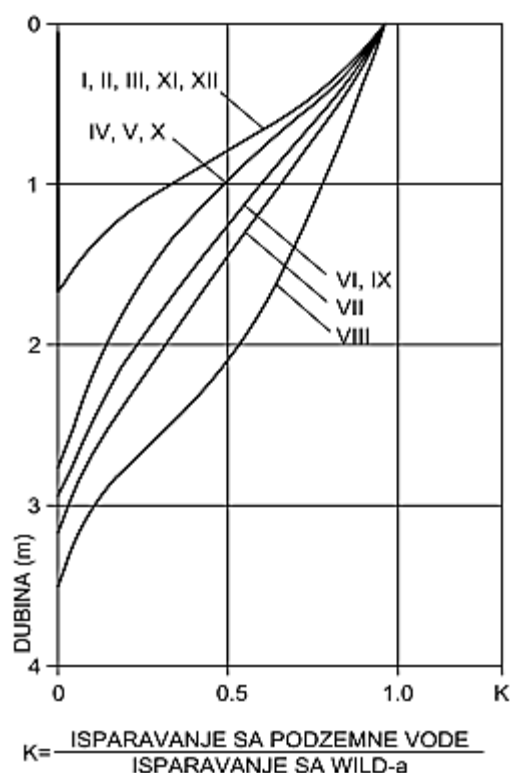
Dvoslojevita porozna sredina podrazumeva hidrogeološku sredinu koja se sastoji iz dva sloja različitih filtracionih karakteristika, koji leže na vodonepropusnoj podlozi. Donji sloj, koji je uglavnom veće debljine, predstavlja vodonosni sloj, dok se na površini prostire sloj slabih filtracionih karakteristika. Strujanje u ovako definisanoj poroznoj sredini ima kvazi arteski karakter, u donjem vodonosnom sloju vlada strujanje pod pritiskom, a u površinskom sloju, slabije propusnom, formira se slobodna površina podzemne vode.

U našim uslovima, ovakav prilaz je moguće primeniti na poljoprivrednim područjima u okviru rečnih aluvijona: Dunava, Save, Morave, Tise, itd.

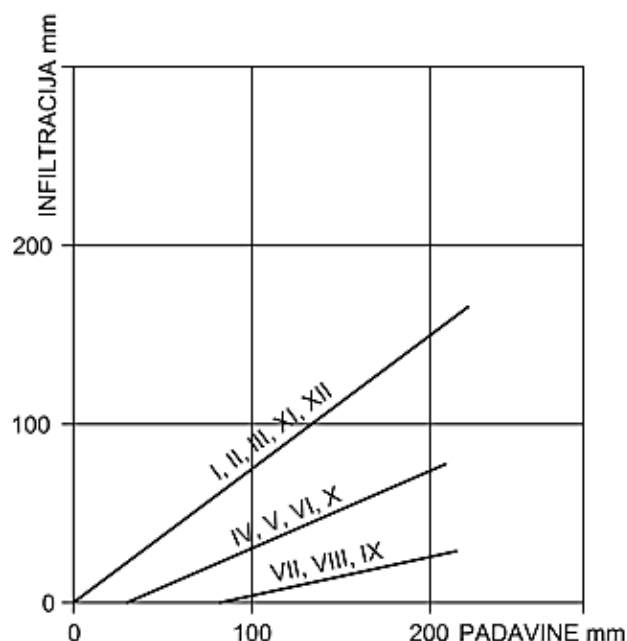
#### **4.2.3 Određivanje vertikalnih faktora bilansa i karakteristika porozne sredine na osnovu osmatranja režima podzemnih voda**

U primeni hidrodinamičkih metoda, posebnu pažnju treba posvetiti određivanju veličine infiltracije. Veličina infiltracije predstavlja sumu svih faktora vertikalnog bilansa (infiltracija od padavina ili navodnjavanja, evapotranspiracija i dr.), koji direktno utiču na bilans podzemne vode površinskog sloja, a indirektno na promenu pritiska u donjem vodonosnom sloju.

U Institutu za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ (*Boreli i Vuković, 1967.*), na osnovu rezultata višegodišnjih osmatranja priobalja Dunava, uspostavljena je zavisnost između isparavanja sa slobodne vodene površine i realne veličine evapotranspiracije za razne dubine nivoa podzemne vode, po mesecima (slika 4.3) i zavisnost između infiltracije i padavina po mesecima (slika 4.4).



**Slika 4.3** Zavisnost evapotranspiracije sa nivoa podzemne vode i isparavanja sa slobodne vodne površine u funkciji dubine zaleganja podzemne vode



**Slika 4.4** Zavisnost između infiltracije i padavina

Generalno, empirijski izvedene zavisnosti, važe za prostore na kojima su istraživanja sprovedena i ne mogu se primeniti na prostorima gde vladaju drugačiji uslovi.

Proračun komponenti vertikalnog vodnog bilansa zasniva se na rešavanju *Richards*-ove jednačine (*Pinder & Celia, 2006.*), kojom se opisuje kretanje vode u nezasićenju sredini:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( k_e(\theta) \left( \frac{\partial h_k}{\partial z} - 1 \right) \right) - \alpha(\theta) S_{max} \quad (2)$$

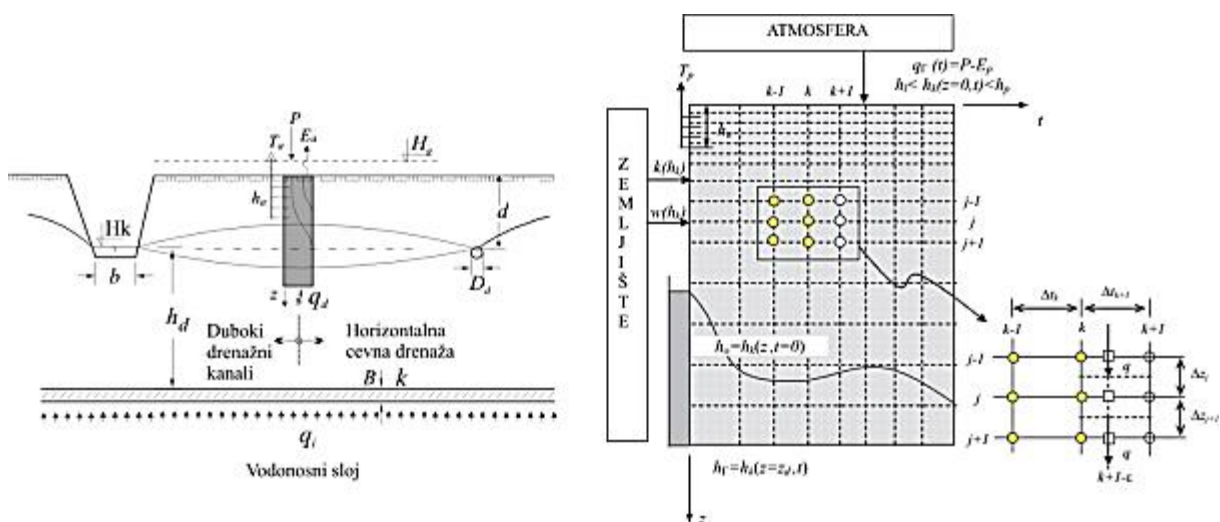
gde je :

- $\theta$  - vlažnost zemljišta (-),
- $k_e(\theta)$  - koeficijent filtracije u nezasićenom zemljištu ( $L T^{-1}$ ),
- $z$  - vertikalna koordinatna osa koja je pozitivno usmerena na dole (L),
- $h_k$  - kapilarni potencijal zemljišta (L),
- $S_{max} = T_p / h_a$ ,  $T_p$  potencijalna transpiracija ( $L T^{-1}$ ) i  $h_a$  dubina aktivnog sloja zemljišta (L),
- $\alpha(\theta)$  - koeficijent redukcije potrošnje od strane kultura s obzirom na simuliranu vlažnost zemljišta (-).

Potrebni ulazni podaci za model obuhvataju: **karakteristike zemljišta**, koje se definišu preko krivih koje predstavljaju zavisnost između vlažnosti i kapilarnog potencijala ( $\theta(h_k)$ ) kao i između vlažnosti i vodoprovodljivosti zemljišta ( $k(\theta)$ ), **meteorološke podatke**, koji obuhvataju padavine ( $P$ ) i podatke o temperaturi, vlažnosti vazduha, brzini vetra i vegetaciji, koji su potrebni za proračun potencijalne evapotranspiracije ( $ET_p$ ), kao i osmotrene režime (nivo) podzemnih voda u vodonosnom sloju iz koga se nezasićena sredina (zemljište) prihranjuje, odnosno u koji se drenira, i nivoje vode u drenažnim kanalima.

Rezultat simulacije su vlažnost zemljišta, stvarna evaporacija i transpiracija, procurivanje u dublje slojeve i/ili prihranjivanje zemljišta iz podzemne vode, što predstavlja komponentu vertikalnog vodnog bilansa, koja utiče na bilans podzemnih voda.

Za numeričko rešavanje prethodne parcijalne diferencijalne jednačine koristi se metod konačnih elemenata ili metod konačnih razlika (Celia M.A., Bouloutas E.T. and Zarba R.L., 1990.).



Slika 4.5 Šematski prikaz numeričke diskretizacije, početnih i graničnih uslova na modelu

Ako je model za simulaciju vertikalnog vodnog bilansa deo ukupnog hidrodinamičkog modela za simulaciju dinamike podzemnih voda (Abbott, Bathurst, Cunge, O'Connell & Rasmussen, 1986; Yan & Smith, 1994.), onda se kalibracija modela obavlja zajedno sa modelom koji će biti opisan u nastavku teksta, a kojim se opisuje dinamika kretanja vode u zasićenoj sredini (dinamika podzemnih voda).



Stepen tačnosti određivanja karakteristika zemljišta povećava se sa:

- ⇒ povećanjem broja osmatranih pijezometara,
- ⇒ povećanjem dužine perioda osmatranja,
- ⇒ uvođenjem većeg broja parametara u analizu i proračun.

Primenom „matematičkog modela“ moguće je izraditi i prognozu režima vode u zemljištu uvođenjem izmenjenih graničnih uslova, kao i dejstva raznih drenažnih i tehničkih mera. Takođe, moguće je izraditi prognozu sonog bilansa i procesa u zemljištu koji stoje u zavisnosti od „vertikalnih faktora bilansa“.

Za analizu strujanja podzemnih voda u ovom radu, korišćen je licencirani komercijalni softver za matematičku simulaciju, i to *MODFLOW*, autora *McDonald i Harbaugh (1988.)*, uz podršku „*U.S. Geological Survey*“. *MODFLOW* je svetski priznat standard za proračun i simulaciju strujanja podzemnih voda, baziran na primeni metode konačnih razlika (napomena: trenutno su u razvoju i drugi tipovi generisanja mreže, kao što su konačni elementi, konačne zapremine).

Za unos podataka i interpretaciju rezultata proračuna korišćen je interfejs *Groundwater Vistas*, verzija 3, američke firme „*Environmental Simulations, Inc.*“. Autori su *Jim i Doug Rumbaugh*.

### 4.3 TEORIJSKE OSNOVE STRUJANJA PODZEMNIH VODA

U opštem slučaju, matematički model strujanja podzemnih voda je predstavljen sistemom jednačina, kojima se opisuje dato strujanje, uređenih za rešavanje nekom od numeričkih metoda na računaru, zatim graničnim i početnim uslovima, kao i parametrima oblasti strujanja (geometrija, filtracione karakteristike).

Zadatak modela je da kroz seriju hidrodinamičkih proračuna simuliraju uslove režima podzemnih voda, kako u prirodnim uslovima, tako i u uslovima primene raznih tehničkih mera. Primena matematičkog modela je u ovom radu predviđena zbog njegove nezamenljive sposobnosti da relativno lako integriše i kvantifikuje pojedinačne uticaje različitih parametara na inače komplikovan sistem podzemnih voda izučavane izdani.

Korišćeni softver je baziran na primeni numeričke metode konačnih razlika rešavanja sistema diferencijalnih jednačina strujanja podzemnih voda.

Parcijalna diferencijalna jednačina trodimenzionalnog strujanja podzemnih voda konstantne gustine u zasićenoj poroznoj sredini, koja je primenjena u pomenutom softveru, može se napisati kao:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial b}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} \frac{\partial b}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{zz} \frac{\partial b}{\partial z} \right) - W = S_s \frac{\partial b}{\partial t} \quad (3)$$

gde je:

- $x, y, z$  – koordinate Dekartovog pravouglog koordinatnog sistema,
- $K_{xx}, K_{yy}, K_{zz}$  – vrednosti koeficijenata filtracije u pravcu  $x, y$  i  $z$  ose ( $L T^{-1}$ )
- $b$  – nivo podzemne vode (L),
- $W$  – zapreminski proticaj po jedinici zapremine porozne sredine, predstavlja prihranjivanje, ili dreniranje izdani u jedinici vremena ( $T^{-1}$ ),
- $S_s$  – koeficijent specifične izdašnosti izdani ( $L^{-1}$ ),
- $t$  – vreme (T).

Jednačina (3) opisuje neustaljeno strujanje podzemnih voda kroz heterogenu i anizotropnu zasićenu sredinu, sa pretpostavkom da su komponente koeficijenta filtracije ( $K_{xx}, K_{yy}, K_{zz}$ ) paralelne sa osama koordinatnog sistema. Zajedno sa graničnim i početnim uslovima, jednačina predstavlja matematički izraz strujanja podzemnih voda kroz poroznu sredinu, šematizovanu modelom kontinuuma.

U **metodi konačnih razlika**, gde je kontinualni sistem opisan jednačinom (3), strujna oblast je aproksimirana sa konačnim brojem polja u vremenu i prostoru. Parcijalni diferencijali su aproksimirani razlikama nivoa u susednim poljima. Korišćenjem ove procedure dolazi se do sistema linearnih diferencijalnih jednačina, čija rešenja predstavljaju vrednosti pijezometarskih nivoa u diskretizovanim poljima tokom vremena. Diskretizacija strujnog polja je u planu izvršena mrežom kvadrata, ili pravougaonika - ćelija (u prostoru su to kocke ili prizme). Lokacije, tj. prostorni položaj datih ćelija definisani su terminima red, kolona i sloj.

Razvoj jednačine strujanja podzemnih voda u formu konačnih razlika sledi iz primene jednačine kontinuiteta: ukupna promena (razlika) mase vode koja uđe u, i izađe iz, elementarne zapremine porozne sredine za vreme  $\Delta t$  jednaka je promeni mase vode u elementarnoj zapremini.

Pod pretpostavkom da je gustina podzemne vode konstantna, jednačina kontinuiteta se može definisati:

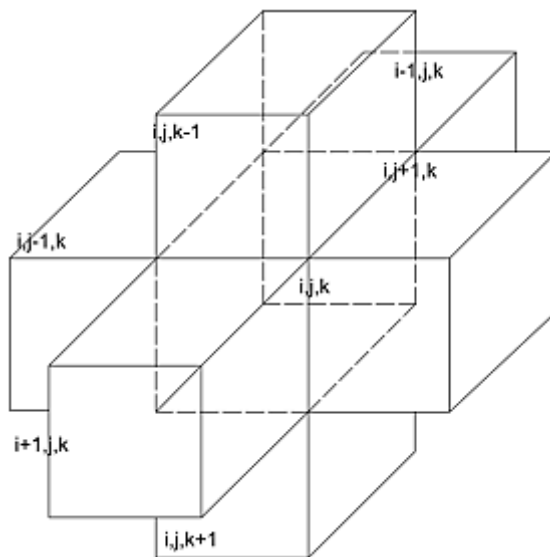
$$\sum Q = S_s \frac{\Delta h}{\Delta t} \Delta V \quad (4)$$

gde je:

- $Q$  – proticaj kroz ćeliju ( $L^3T^{-1}$ ),
- $S_s$  – koeficijent specifične izdašnosti izdani: količina vode koja se može iscrpeti, ili naliti po jedinici zapremine porozne sredine, pri jediničnoj promeni nivoa podzemne vode ( $L^{-1}$ ),
- $\Delta V$  – zapremina ćelije ( $L^3$ ),
- $\Delta h$  – promena nivoa podzemne vode u vremenskom periodu  $\Delta t$ .

Desni član jednačine (4) je jednak količini vode koja uđe u posmatranu ćeliju. Isticanje iz ćelije se zadaje kao negativan proticaj.

Na slici 4.6 je prikazana ćelija  $i,j,k$  i njene susedne ćelije  $i-1,j,k$ ;  $i+1,j,k$ ;  $i,j-1,k$ ;  $i,j+1,k$ ;  $i,j,k-1$ ;  $i,j,k+1$ .



**Slika 4.6. Položaj ćelije  $i, j, k$  i susednih ćelija**

Radi pojednostavljenja, proticaj se smatra pozitivnim ako ulazi u ćeliju  $i,j,k$ , a negativan znak, obično inkorporiran u Darsijev zakon, izostavljen je iz svih članova.

Na osnovu iznetih pretpostavki, dotok u ćeliju  $i,j,k$  iz ćelije  $i,j-1,k$ , dat je Darsijevim zakonom:

$$q_{i,j-1/2,k} = KR_{i,j-1/2,k} \Delta c_i \Delta v_k \frac{h_{i,j-1,k} - h_{i,j,k}}{\Delta r_{j-1/2}} \quad (5)$$

gde je:

- $h_{i,j,k}$  – nivo u ćeliji  $i,j,k$ , a  $h_{i,j-1,k}$  je nivo u ćeliji  $i,j-1,k$  (L),
- $q_{i,j-1/2,k}$  – proticaj na kontaktu između ćelija  $i,j,k$  i  $i,j-1,k$  ( $L^3T^{-1}$ ),
- $KR_{i,j-1/2,k}$  – koeficijent filtracije duž reda između članova  $i,j,k$  i  $i,j-1,k$  ( $LT^{-1}$ ),
- $\Delta c_i \Delta v_k$  – površina poprečnog preseka ćelija normalnog na pružanje redova, ( $L^2$ ),
- $\Delta r_{i,j-1/2,k}$  – rastojanje između članova  $i,j,k$  i  $i,j-1,k$ .

#### 4.3.1 Granični uslovi

Prilikom izrade matematičkog modela poljoprivrednog područja koriste se granični uslovi, koji se generalno mogu svrstati u tri kategorije:

- ⇒ granični uslovi sa zadatom (definisanim) vrednošću pijezometarskog nivoa (Dirichlet),
- ⇒ granični uslovi sa zadatim proticajem (Neumann),
- ⇒ kombinovani uslov (Robin).

Od **granica sa zadatom vrednošću pijezometarskog nivoa** u izradi modela koristi se granica konstantnog potencijala, reprezentativna za vertikalnu šematizovanu sloju.

**Granica konstantnog potencijala ( $H = \text{const.}$ )** Ovaj granični uslov je predstavljen šemom savršenog rova, bez parazitskih hidrauličkih gubitaka na kontaktu sa poroznom sredinom. Zadaje se kao konstantan nivo u polju diskretizacije u datom sloju.

Od **granica sa zadatom (definisanim) vrednošću proticaja** u izradi modela, korišćeni su:

- ⇒ granični uslov „bunar“,
- ⇒ granični uslov „infiltracija“, odnosno „evapotranspiracija“.

**Granični uslov „bunar“** spada u tip graničnog uslova sa definisanom vrednošću proticaja, odnosno sa proticajem, konstantnim ili promenljivim tokom vremena. Koristi se za simulaciju eksploatacije i/ili injektiranje, odnosno nalivanje vode u izdan. Da li će se raditi o

crpenju ili nalivanju zavisi od predznaka koji se stavlja pred vrednost proticaja prilikom zadavanja. Negativan znak ispred proticaja označava crpenje vode iz izdani, dok pozitivan znak ispred proticaja označava nalivanje.

**Granični uslov „infiltracija“, odnosno „evapotranspiracija“** pripada prethodnom tipu graničnih uslova. Koristi se da bi se na modelu simuliralo dejstvo tzv. „parametara vertikalnog bilansa“, tj. infiltracije od padavina i evapotranspiracije. Način zadavanja je specifičan, jer se zadaju po površini modela, kao posebni entiteti: u skladu sa prethodnim, infiltracija ima pozitivan, dok evapotranspiracija ima negativan predznak.

Veličina infiltracije i evapotranspiracije zavisi od više parametara, kao što su količina i intenzitet padavina, koeficijent filtracije porozne sredine, dubina do nivoa podzemnih voda, itd. Pojedini softveri omogućavaju zadavanje osnovnih elemenata, kao što su padavine, temperatura i vlažnost vazduha, parametri porozne sredine, doba godine, itd., na osnovu kojih se izračunava efektivna infiltracija.

Kombinovani granični uslov karakterističan je po tome što se njime zadaje i koeficijent lokalnog hidrauličkog otpora na konturi graničnog uslova i porozne sredine. Ovde su primenjeni :

- ⇒ granični uslov „reka“ i
- ⇒ granični uslov „drenaža“.

**Granični uslov „reka“** Značajnu, čak dominantnu ulogu u definisanju režima podzemnih voda meliorativnog područja imaju reke. Pored njih, značajni su i kanali meliorativnog sistema, naročito kanali prvog reda. Njihova hidraulička uloga u modelu simulirana je sa graničnim uslovom „reka“. Kod ovog graničnog uslova se računa razlika između zadatog nivoa, odnosno vodostaja i pijezometarskog nivoa u ćeliji modela, u kojoj je data granica definisana. Razlika u nivou se zatim množi hidrauličkom provodnošću, koja predstavlja odnos između koeficijenta filtracije rečnog dna, površine ćelije i debljine naslaga rečnog dna, da bi se dobila količina vode koja ulazi ili izlazi iz strujnog polja.

Proticaj između reke i izdani na modelu se računa preko jednačine:

$$q = C \cdot (h_{reke} - h) \quad (6)$$

gde je:

$q$  – proticaj između reke i izdani po jedinici površine, ( $LT^{-1}$ )

- $C = \frac{K}{d} \omega$  – hidraulička provodnost rečnog dna, ( $L^2T^{-1}$ ),  
 $h_{reke}$  – vodostaj reke u posmatranoj ćeliji, (L),  
 $h$  – pijezometarski nivo u poroznoj sredini u kojoj se reka nalazi, (L),  
 $K$  – koeficijent filtracije naslaga rečnog dna, ( $LT^{-1}$ ),  
 $d$  – debljina naslaga rečnog dna, (L),  
 $\omega$  – površina rečnog dna u polju diskretizacije u ćeliji u kojoj je zadata reka, ( $L^2$ ).

Smer kretanja vode između reke i izdani zavisi od hipsometrijskog odnosa nivoa podzemnih voda i nivoa u rekama. Ukoliko je nivo u rekama viši od nivoa podzemnih voda, reka „hrani“ izdan, tj. smer tečenja vode je iz reke u izdan. U suprotnom, reka drenira izdan, tj. smer tečenja vode je iz izdani u rečno korito.

U slučaju da reke presecaju povlatni slabije propusni sloj i ulaze u vodonosni kompleks sedimenata, ove reke su na modelu (kao granični uslov) zadate u drugom, odnosno glavnom vodonosnom sloju.

**Granični uslov „drenaža“** Granični uslov „drenaža“, koji je upotrebljen za simuliranje efekata rada kanalske mreže je veoma sličan graničnom uslovu „reka“, samo sa jednom razlikom: protok vode postoji samo ako je zadani vodostaj u drenaži niži od pijezometarskog nivoa izdani i usmeren je iz pravca izdani u kanalsku mrežu. Doticaj u drenažu prestaje onog trenutka kada se nivo podzemnih voda spusti ispod kote vodostaja vode u kanalu.

#### 4.3.2 Kalibracija modela

Kalibracija modela podzemnih voda predstavlja klasičan primer rešavanja inverznog zadatka. Ovaj postupak je poznat i pod imenom „identifikacija reprezentativnih karakteristika“. Na osnovu rezultata sistematskih osmatranja i praćenja promena elemenata režima (oscilacija pijezometarskih nivoa i elemenata bilansa podzemnih voda), moguće je inverznim postupkom doći do reprezentativnih parametara izdani.

Kalibracija predstavlja skup postupaka kojima se za usvojenu šematizaciju geometrijskih i filtracionih karakteristika, kao i zadate granične uslove (koji se u opštem slučaju daju kao veličine promenljive po vremenu), dolazi do reprezentativnih veličina koje karakterišu

izučavanu izdan. Karakter i oblik procesa kalibracije modela sprovodi se u zavisnosti od obima i kvaliteta raspoloživih podataka, kao i stepena željene tačnosti. Svaki nivo i karakter podloga ima po pravilu i odgovarajući nivo tačnosti i pouzdanosti dobijenih reprezentativnih karakteristika. Dakle, što su kvalitetniji raspoloživi podaci sa kojima se ulazi u proces identifikacije, to je matematički model sa reprezentativnim parametrima bliži prirodi, pa su i dobijeni rezultati prognoze pouzdaniji.

Po definiciji, proces kalibracije se sprovodi kako za uslove ustaljenog (kvazistacionarnog), tako i za uslove neustaljenog strujanja. Činjenica je da kalibracija matematičkog modela za uslove neustaljenog strujanja daje modelu izdani veći stepen reprezentativnosti i pouzdanosti, pa samim tim i veću sigurnost u prognozi budućih efekata eksploatacije. Kao matematički model, reprezentativan za dalje proračune i prognozu, usvaja se takav kompleks reprezentativnih geometrijskih, hidrogeoloških i hidrodinamičkih karakteristika izdani, koji daju zadovoljavajuću saglasnost podataka dobijenih proračunom i merenih u prirodi.

## **5. TEHNIČKI I EKONOMSKI POKAZATELJI EFIKASNOSTI RADA KOMPLEKSNOG DRENAŽNOG SISTEMA U PANČEVAČKOM RITU**

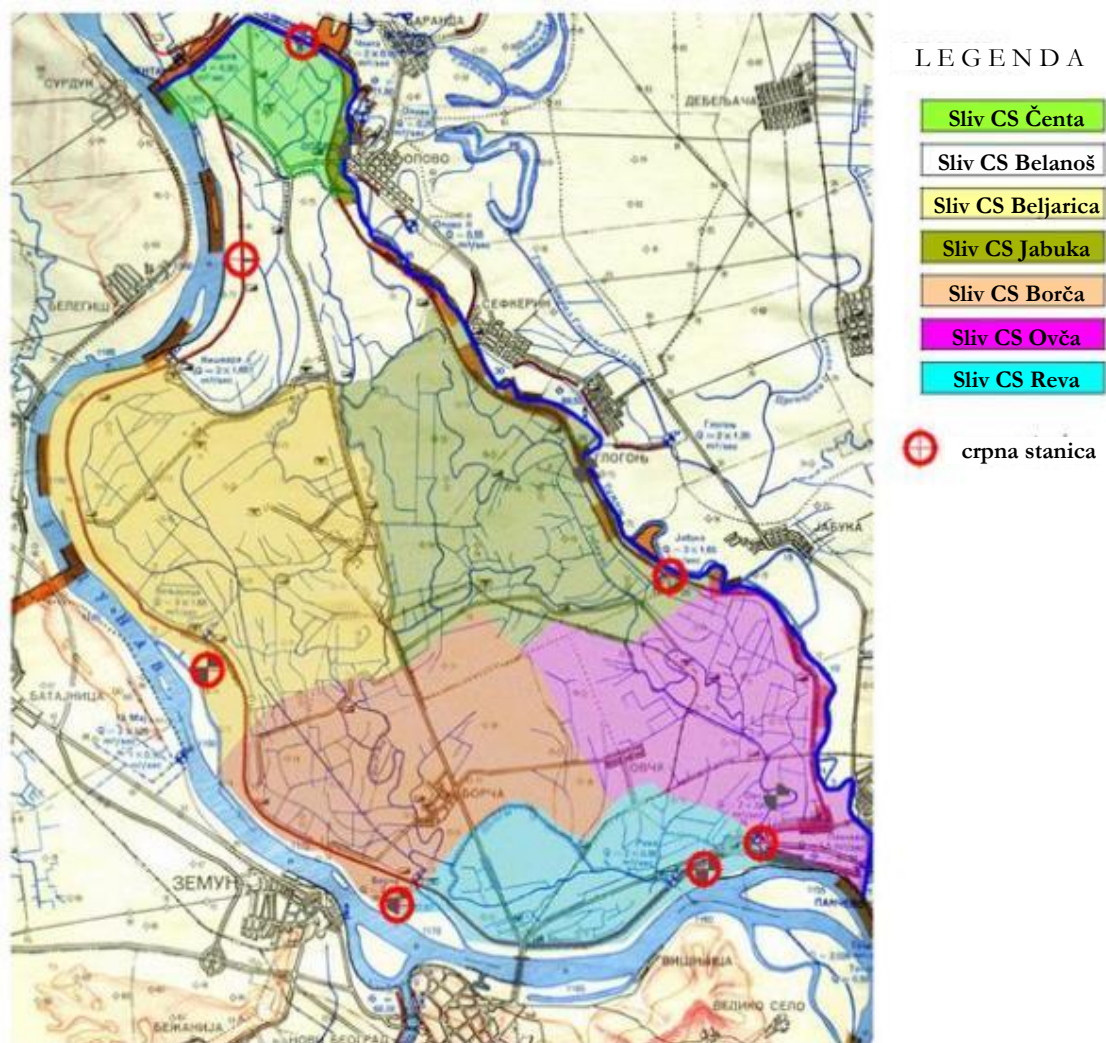
Na formiranje režima podzemnih voda na poljoprivrednim područjima utiču mnogobrojni prirodni i antropogeni faktori. Među prirodnim faktorima najznačajniju ulogu imaju prirodni režim voda u okolnim vodotocima, padavine, infiltracija vode, evapotranspiracija, dotok vode iz dubljih arteskkih horizonata i drugi parametri bilansa, čija je uloga od sekundarnog značaja ili se pak oseća na manjim lokalitetima. Najznačajniji antropogeni faktori su odvodnjavanje i sistemi za eksploataciju podzemnih voda za potrebe industrije i naselja. Pored ovoga, određeni uticaj na režim podzemnih voda imaju i sistemi za navodnjavanje. Vodotoci koji okružuju ili su blizu uz poljoprivredno područje, čiji je režim voda izmenjen izgradnjom objekata, mogu imati dominantan uticaj na režim površinskih i podzemnih voda na poljoprivrednom području. U takvim slučajevima je režim podzemnih voda veoma složen i nalazi se pod uticajem doticaja, odnosno oticaja ka spoljnim vodama. Za prikaz tehničkih i ekonomskih pokazatelja efikasnosti rada složenog drenažnog sistema odabrano je područje Pančevačkog rita.

### **5.1 OSNOVNE KARAKTERISTIKE PODRUČJA PANČEVAČKOG RITA**

#### **5.1.1 Opšti podaci**

Poljoprivredno područje Pančevački rit (slika 5.1), koje je poslužilo za primenu metodologije za popravljavanje odabranih pokazatelja za procenu učinka drenažnih sistema, predstavlja aluvijalnu ravan Dunava i Tamiša, smeštenu severno od Beograda, okruženu odbrambenim nasipima pored vodotoka Dunava (52,6 km), Tamiša (32 km) i Karašca (5,4 km). Na području Rita, ukupne površine 32.200 ha, pored naselja Krnjača i Borča, koja u pravom smislu predstavljaju urbane celine, ima manjih naselja, koja su nastala za potrebe naseljavanja radnika zaposlenih na poljoprivrednim površinama i industrijskim kompleksima u Ritu.





*Slika 5.1 Položaj Pančevačkog rita*

Kote terena Pančevačkog rita se kreću između 69,5 mm na jugu do 74,5 mm na severu, sa izraženim mikoreljevnim oblicima, nastalim od starih tokova Dunava i Tamiša. Povoljne karakteristike zemljišta i pogodnost za poljoprivrednu proizvodnju usloveli su još 1913. godine pokretanje akcije za zaštitu ovih površina od visokih nivoa voda obodnih reka, kojima su često bile plavljene. U toku 1929. g. započela je izgradnja odbrambenog nasipa, sistema kanalske mreže, crpnih stanica i pratećih objekata. Završetkom izgradnje odbrambenog nasipa (1935. g.), područje Pančevačkog rita, koje je u prošlosti predstavljalo veliku inundaciju Dunava i Tamiša i bilo plavljeno i po nekoliko meseci u toku godine, zatvoreno je u jedinstvenu kasetu.

Dalja rekonstrukcija i izgradnja novih drenažnih kanala vršena je pri izgradnji HEPS „Đerdap I“, u okviru kompleksnog rešenja zaštite od uspora.

U cilju odvođenja suvišnih voda, čitavo područje Rita je kanalskom mrežom podjeljeno na 7 slivova, koji nose nazive crpnih stanica kojima se voda izbacuje sa područja – slika 5.1.

U sadašnjim uslovima sistem zaštite Pančevačkog rita čine:

- ⇒ nasip pored Dunava, od ustave Čenta do spoja starog sa novim nasipom kod ustave Pančevo;
- ⇒ objekti uz Tamiš i Karašac – odbrambeni nasip, ustave Opovo, Čenta i hidročvor Pančevo, sa svojim režimom (sistem Donji Tamiš); i
- ⇒ drenažni sistem: kanalska mreža, crpne stanice, ustave i horizontalna cevna drenaža.

Ukupna dužina svih nasipa iznosi oko 90 km, a kanalske mreže 816 km, što čini gustinu kanalsanosti od oko 25,0 m/ha. Osnovna kanalska mreža za odvodnjavanje koncipirana je isključivo prema kriterijumima poljoprivrede, odnosno odvođenja unutrašnjih voda. Na slivnom području crpnih stanica Borča, Beljarica, Belanoš, Jabuka i Čenta – nova izvedena je i horizontalna cevna drenaža na ukupnoj površini od 6.140 ha. Evakuacija suvišnih voda se ostvaruje preko 7 crpnih stanica ukupnog instalisanog kapaciteta 35,8 m<sup>3</sup>/s (tabela 5.1).

**Tabela 5.1 Osnovne karakteristike slivnih područja <sup>1</sup>**

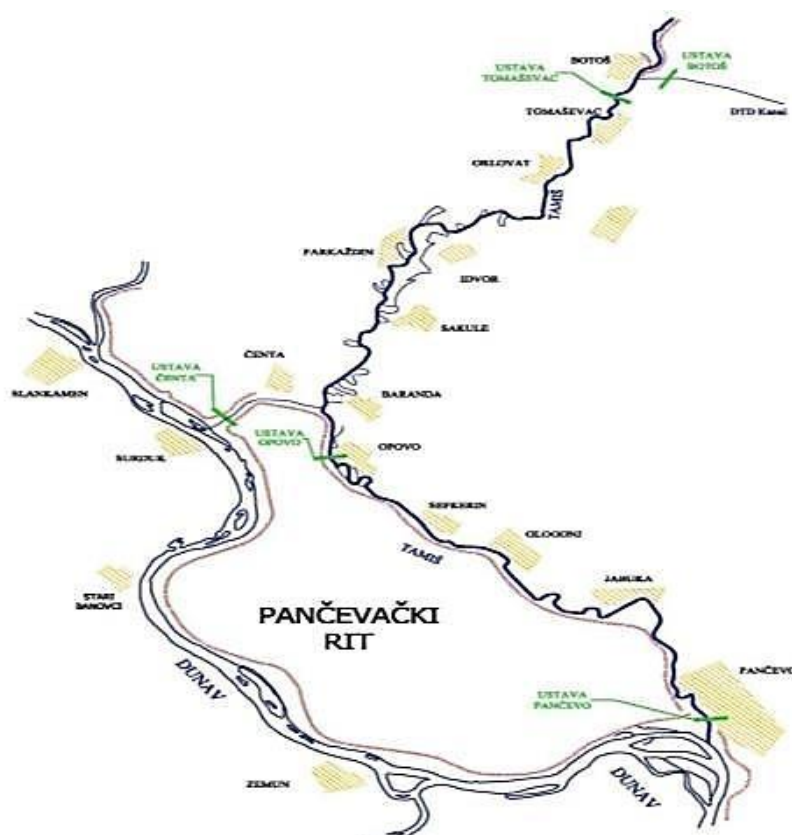
Crpna stanica	Površina sliva (ha)	Stacionaža nasipa (Dunava/Tamiša)	Broj agregata i instalisani kapacitet (m <sup>3</sup> /s)	Dužina kanalske mreže (m)	Namena
<b>Čenta (stara)</b>	1.600	85+750	2×0,90=1,80	270.188	odvodnjavanje
<b>Čenta (nova)</b>	(1.600)	83+390 (Tamiš 41 + 300)	2×1,10=2,20	(270.188)	odvodnjavanje
<b>Belanoš - D</b>	1.995	7+425 (1200 + 200)	3×0,88=2,70	77.162	odvodnjavanje
<b>Belanoš - T</b>	-	75+780	3×0,70=2,10	-	nije u funkciji
<b>Beljarica 1 (stara)</b>	7.904	24+320	3×1,60=4,80	158.841	odvodnjavanje
<b>Beljarica 2</b>	(7.904)	24+370 (1182 + 450)	4×1,00=4,00	(158.841)	odvodnjavanje
<b>Jabuka</b>	6.510	63+430 (Tamiš 21 + 000)	3×1,60=4,80	126.509	odvodnjavanje
<b>Borča 1 (stara)</b>	6.731	35+875	2×2,40=4,80	60.150	odvod./navodnj.
<b>Borča 2 (nova)</b>	(6.731)	35+915 (1171 + 160)	2×2,00=4,00	(60.150)	odvodnjavanje
<b>Reva</b>	2.430	45+890 (1160 + 300)	2×0,95=1,90	71.190	odvodnjavanje
<b>Ovča</b>	5.025	50+040 (1157 + 000)	2×2,40=4,80	51.770	odvodnjavanje navodnjavanje
<b>Σ</b>	<b>32.195</b>		<b>35,80</b>	<b>815.810</b>	

<sup>1</sup> Podaci preuzeti iz *Mišljenja o stanju i efektima zaštite priobalja HE "Đerdap"*

### 5.1.2 Opšte karakteristike režima podzemnih voda

Analizirano (odabrano) područje Pančevačkog rita je u potpunosti okruženo Dunavom, Tamišem i Karašcem. Njihovi međusobni uticaji su veoma izraženi, te čine da je režim tečenja u zoni Pančevačkog rita veoma složen. Izgradnjom brane HE „Đerdap I“, vodostaji su povećani i praktično celom dužinom oboda Pančevačkog rita nivoi vode u vodotocima su uglavnom viši, a samo izuzetno, i to u kratkim intervalima vremena, niži od najnižih kota priobalnog terena. Uticaj uspora HE „Đerdap I“ na Tamiš, kompenzovan je izgradnjom sistema ustava kod Čente, Opova i Pančeva. Ove ustave su izgrađene sa ciljem da se reguliše režim voda u Tamišu između ustava Pančevo i Opovo, dok ustava Čenta ima za cilj da spreči velike vode Dunava da teku od Čente preko Karašca i Tamiša prema Pančevu. Režim rada ustava je propisan u zavisnosti od proticaja i vodostaja Dunava kod Pančeva i Čente i proticaja i vodostaja Tamiša kod ustave Opovo (slika 5.2).

Ovakav odnos vodostaja i terena u Pančevačkom ritu uslovljava praktično neprekidnu infiltraciju voda iz spoljnih vodotoka u branjeno područje, dok prirodnog dreniranja podzemnih voda iz Rita u vodotoke praktično nema.



Slika 5.2 Položaj vodotokova koji opasuju Pančevački rit

**Uticao padavina, evapotranspiracije i infiltracije.** Infiltracija voda od padavina i evapotranspiracije ima značajnu ulogu u formiranju režima podzemnih voda. Ova pojava je naročito izražena na površinama koje su udaljenije od vodotoka i gde je ređa mreža kanala za odvodnjavanje. Na tim površinama uočava se jasna zavisnost između oscilacija nivoa podzemnih voda i padavina, odnosno evapotranspiracije.

Mesečne vrednosti referentne evapotranspiracije dobijene su računskim putem, korišćenjem modifikovane Penman-Monteith metode. Potrebni podaci za proračun (srednje mesečne vrednosti minimalnih temperatura, maksimalnih temperatura, vlažnosti vazduha, brzine vetra i osunčanosti) osmotreni su na meteorološkoj stanici Beograd – Opservatorija, koja se nalazi na 6 km udaljenosti od južnog dela Pančevačkog rita (naselje Krnjača). Dobijene prosečne vrednosti referentne evapotranspiracije, za period 1987. – 2014. godine, kreću se između 1 i 3 mm/dan u mesecima vanvegetacione sezone.

Najveća količina padavina evidentirana je u periodu maj – juli, kada u proseku padne više od 30% godišnje sume padavina. U tim mesecima javljale su se i najveće mesečne količine padavina, iako taj period nije kritičan sa stanovišta odvodnjavanja. U kritičnim periodima sa aspekta prevlaživanja zemljišta (mart-april) maksimalno zabeležene mesečne padavine su između 100 i 150mm.

**Uticao sistema za odvodnjavanje.** Znatan uticao na režim podzemnih voda ima sistem za odvodnjavanje, koji čine crpne stanice, kanalska mreža i cevna drenaža. Analizirani drenažni sistem u Pančevačkom Ritu je podeljen na više slivnih područja, koja su sada međusobno povezana. Zbog toga praktično na celom Ritu se održava isti, ili bar u najvećoj meri sličan režim rada u drenažnom sistemu. Kapacitet crpnih stanica, pri postojećem stepenu izgrađenosti drenažnog sistema, ne predstavlja ograničavajući faktor u održavanju režima vodostaja u kanalskoj mreži. Režim voda u osnovnoj kanalskoj mreži, tj. u ostacima starih korita i glavnim kanalima odgovara režimu koji održavaju crpne stanice. Uticao sistema za odvodnjavanje na režim podzemnih voda ostvaruje se direktno – dreniranjem podzemnih voda i indirektno – menjajući parametre bilansa podzemnih voda. Direktni uticao kanala na režim podzemnih voda je veoma teško utvrditi na osnovu raspoloživih osmatranja nivoa podzemnih voda. Imajući u vidu dimenzije pojedinih tokova, hidrogeološke uslove i raspoložive podatke osmatranja nivoa podzemnih voda, ocenjeno je da značajniju drenažnu ulogu imaju pojedini delovi ostataka starih tokova (Kalovita, Sebeš, Vizelj, Dunavac). Takođe je evidentno drenažno dejstvo ranije izvedenih kanala uz Dunav (sistemi Borča i

Beljarica). Na ostalim delovima područja neposredan uticaj otvorenih kanala, s obzirom da se oni uglavnom nalaze u gornjem slabije propusnom sloju, je praktično zanemarljiv. Takođe, uticaj se ostvaruje odvođenjem određenih količina podzemnih voda, koje dospevaju do podpovršinskog sloja – oranice, ili su izbile na njegovu površinu. S obzirom na uslove koji vladaju u području Pančevačkog rita, najveće količine podzemnih voda izbijaju na površinu terena odmah iza odbrambenog nasipa, odakle se putem kanalske mreže odvođe do crpnih stanica. Indirektan uticaj na režim podzemnih voda sistem za odvodnjavanje ostvaruje odvođenjem dela padavina sa područja, čime se smanjuje njihova infiltracija u podzemne vode i na taj način izaziva njihovo sniženje.

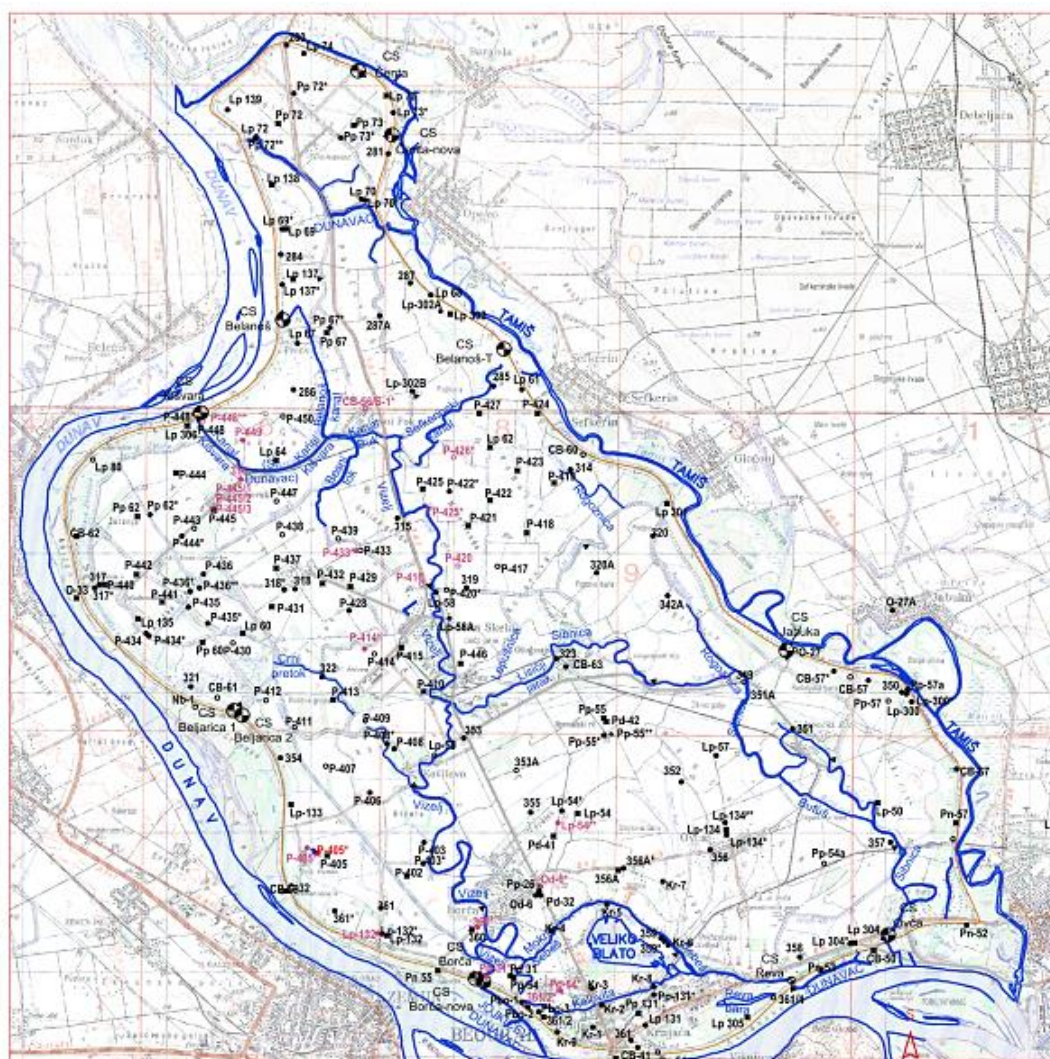
**Uticaj ostalih parametara.** U sadašnjim uslovima, s obzirom na intenzitet navodnjavanja, veličinu navodnjavanih površina i način navodnjavanja, uticaj ove aktivnosti na režim podzemnih voda nema veći značaj. Preko CS Kišvara ( $Q=4,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) i razvodnih kanala (značajne količine vode se „izgube“ pre nego što doteknu do sistema za navodnjavanje) obezbeđuje se voda za navodnjavanje u Ritu. Takođe, dopremanje dunavske vode za ribnjak Veliko blato preko CS Borča i kanala Sebeš, vezano je sa značajnim gubicima. Na području Ovče postoji indikacija da se površinska (kvartarna) izdan prihranjuje iz dubljih (arteskkih) vodonosnih slojeva i pored veoma velike debljine podine vodonosnog sloja, koja se sastoji od praktično nepropusne tercijarne gline. Na tu pojavu prvenstveno ukazuju sprovedene hemijske analize podzemnih voda.

Podzemne vode se eksploatišu za potrebe pančevačkog vodovoda, PKB-a i snabdevanja vodom poljoprivrednih gazdinstava na području. Količina koju eksploatiše pančevački vodovod lociran u jugoistočnom delu Pančevačkog rita, prema proceni, iznosi oko 400 l/s. Uticaj ovog vodovoda je ograničen samo na krajnji jugoistočni deo Rita, dok je uticaj vodovoda izgrađenih za potrebe poljoprivrednih gazdinstava strogo lokalnog karaktera.

## *Karakteristike režima podzemnih voda na području Pančevačkog rita na osnovu rezultata merenja nivoa podzemnih voda*

### **Osmatračka i istraživačka mesta na području**

Pančevački rit je u prošlosti bio predmet brojnih hidrogeoloških istraživanja. Najobimnija hidrogeološka istraživanja obavljena su za potrebe definisanja režima podzemnih voda u priobalju Dunava. U Pančevačkom ritu je sistematizovano osmatranje podzemnih voda počelo još 1950. godine. Raspored osmatračkih pijezometara je bio takav da se pokrije celokupna istražna površina Pančevačkog rita, te da se iz rezultata njihovog praćenja i merenja može dobiti pouzdana slika o režimu podzemnih voda (slika 5.3).

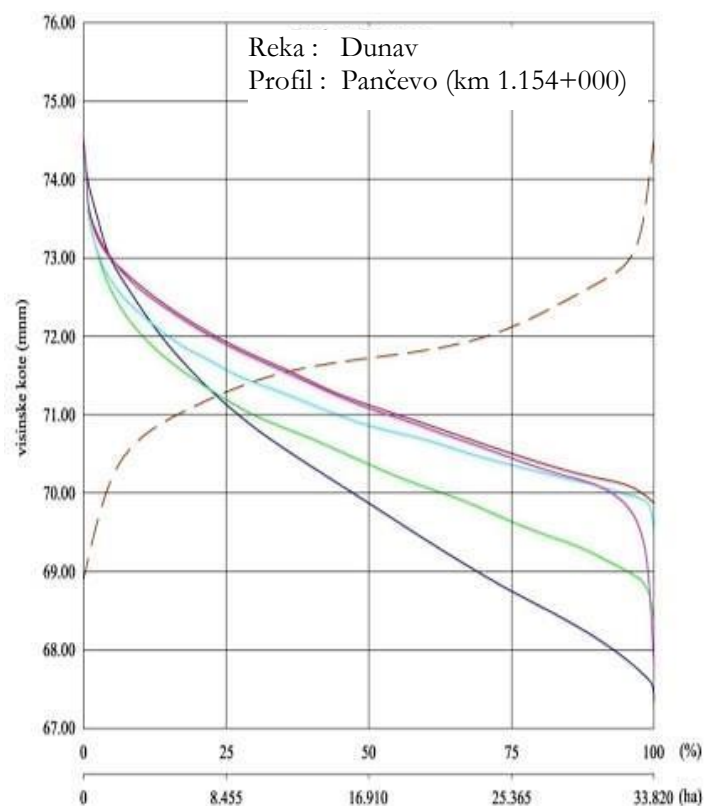
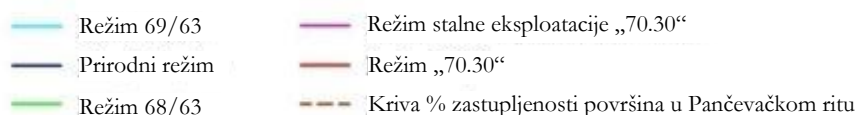


*Slika 5.3 Pijezometri Pančevačkog rita, korišćeni za kalibraciju modela podzemnih voda*

### Generalna ocena ugroženosti područja visokim nivoima podzemnih voda

Melioraciono područje Pančevačkog rita, generalno, ima neuređen vodni režim, što predstavlja limitirajući činitelj za veću i stabilniju poljoprivrednu proizvodnju i život na urbanim područjima. Glavni uzroci neuređenog vodnog režima su visoke podzemne vode, kao i suvišne površinske vode od padavina.

Analizirajući reljef terena i krive trajanja nivoa Dunava, uočava se da je 19% površina ispod kote 71,00 mm, koje su više od 6 meseci godišnje niže od kota nivoa vode u obodnim tokovima (slika 5.4). Ovakav odnos vodostaja i terena u Pančevačkom ritu uslovljava praktično neprekidnu infiltraciju vode iz spoljnih vodotoka u branjeno područje, dok prirodnog dreniranja podzemnih voda iz Rita u vodotoke praktično nema. Zato je za Pančevački rit tokom poplavnih talasa, kada visoki vodostaji okolnih tokova traju duže, uobičajena pojava da nivoi podzemnih voda izbijaju na teren na znatnim površinama u zoni nasipa.



**Slika 5.4** Dijagram zastupljenosti površina terena u Pančevačkom ritu u odnosu na krive trajanja nivoa Dunava, za različite režime rada HE „Đerdap I“

Neuređeni vodni režim je glavni uzročnik pojava zasoljavanja i alkalizacije zemljišta na nekim delovima područja. Postojeće stanje favorizuje ovu pojavu, kako prostorno, tako i po stepenu degradacije (*Plamenac et al., 1976.*). Izgrađeni sistemi za odvodnjavanje u postojećim uslovima nisu u stanju da eliminišu uzroke neuređenog vodnog režima zemljišta, između ostalog i zbog izuzetno nepovoljnih karakteristika zemljišta na znatnim površinama Pančevačkog rita. Posledica nepovoljnih karakteristika zemljišta je periodična pojava jake prevlaženosti zemljišta, pre svega zbog njegove nemogućnosti da prihvati vodu od padavina i propusti je u kanale ili u dublje slojeve zemljišta. Na taj način se ne obezbeđuju neophodni preduslovi za racionalno i intenzivno iskorišćavanje zemljišta za potrebe poljoprivrede na velikom delu površina.

### **5.1.3 Kriterijumi za upravljanje režimom podzemnih voda na području Pančevačkog rita**

Kriterijumi za upravljanje režimom podzemnih voda prvenstveno zavise od namene područja, odnosno od načina njegovog korišćenja.

Kao ekonomsko-tehnički opravdano, usvojen je kriterijum da nivo podzemnih voda 10% verovatnoće pojave bude na dubini većoj od:

- ⇒ 0,8 do 1,0 m za poljoprivredne površine, i
- ⇒ 2,0 m za urbana naselja.

### **5.1.4 Koncept rešenja uređenja režima podzemnih voda na poljoprivrednim područjima**

Uvažavajući postavljene zahteve, kriterijume i ograničenja, projektuju se tehno-ekonomski prihvatljiva rešenja. U praksi, rešenja se gradiraju, od onih koja već u prvim fazama realizacije daju određene rezultate uz minimalna ulaganja, pa sve do tehničkih rešenja kojima se ostvaruje kompletno i kompleksno uređenje voda na poljoprivrednim područjima.

Analize efekata primene odgovarajućih tehničkih mera upravljanja režimom podzemnih voda poljoprivrednog područja sprovode se kroz serije hidrodinamičkih proračuna, na matematičkom modelu, na kojem je u prethodnoj fazi sprovedeno kalibrisanje sa podacima iz prirode.

Projektovana rešenja se ekonomski valorizuju kako bi se mogla međusobno upoređivati ne samo prema ostvarenim efektima zaštite, nego i prema veličini potrebne investicije za realizaciju tehničkog rešenja zaštite.



## 5.2 TEHNIČKA REŠENJA ZA UPRAVLJANJE REŽIMOM PODZEMNIH VODA

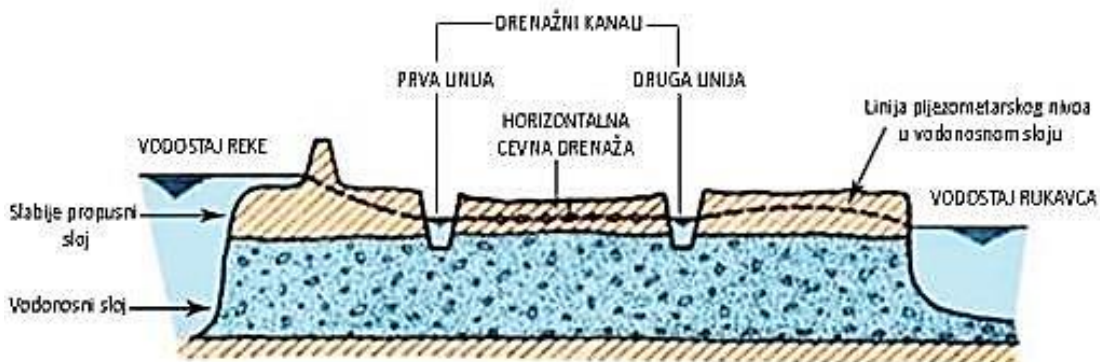
Na analiziranim poljoprivrednim područjima, kao što je već rečeno, ugroženost područja je zbog visokih nivoa podzemnih voda. Drenažnim sistemom, izgrađenim pored reke, održava se određeni režim pijezometarskih nivoa u donjem vodonosnom sloju. Na taj način stavlja se pod kontrolu uticaj reke na branjeno područje i eliminiše negativan uticaj visokih vodostaja spoljnih vodotokova (Ubell, 1964.).

U zavisnosti od izabrane koncepcije i kriterijuma zaštite i uređenja niskih poljoprivrednih površina, specifičnih uslova na području (hidrogeoloških, geomorfoloških, hidroloških, pedoloških i dr.) i ekonomskih parametara, moguća je primena odgovarajućih tehničkih mera, koje se svode na dva osnovna oblika zaštite.

**Zaštita poljoprivrednih površina** u priobalju reka, za usvojeni kriterijum da zaleganje podzemnih voda 10% verovatnoće pojave bude na dubini između 0,8 i 1,0 m (Eggelsmann, 1973.; Filipović, 1980.), u praksi se postiže izgradnjom sledećih objekata:

- ⇒ otvorena drenažna kanalska mreža, sa crpnim stanicama;
- ⇒ otvoreni drenažni kanali u kombinaciji sa starim rukavcima i delovima drugih vodotoka, sa crpnim stanicama;
- ⇒ otvorena kanalska mreža u kombinaciji sa samoizlivnim drenažnim bunarima, sa crpnim stanicama;
- ⇒ pojedinačni specijalni sistemi zaštite.

Drenažni sistem u Pančevačkom ritu je veoma složen i sastoji se od otvorene kanalske mreže, u kombinaciji sa starim rukavcima i delovima drugih vodotoka, i crpnih stanica (slika 5.5).

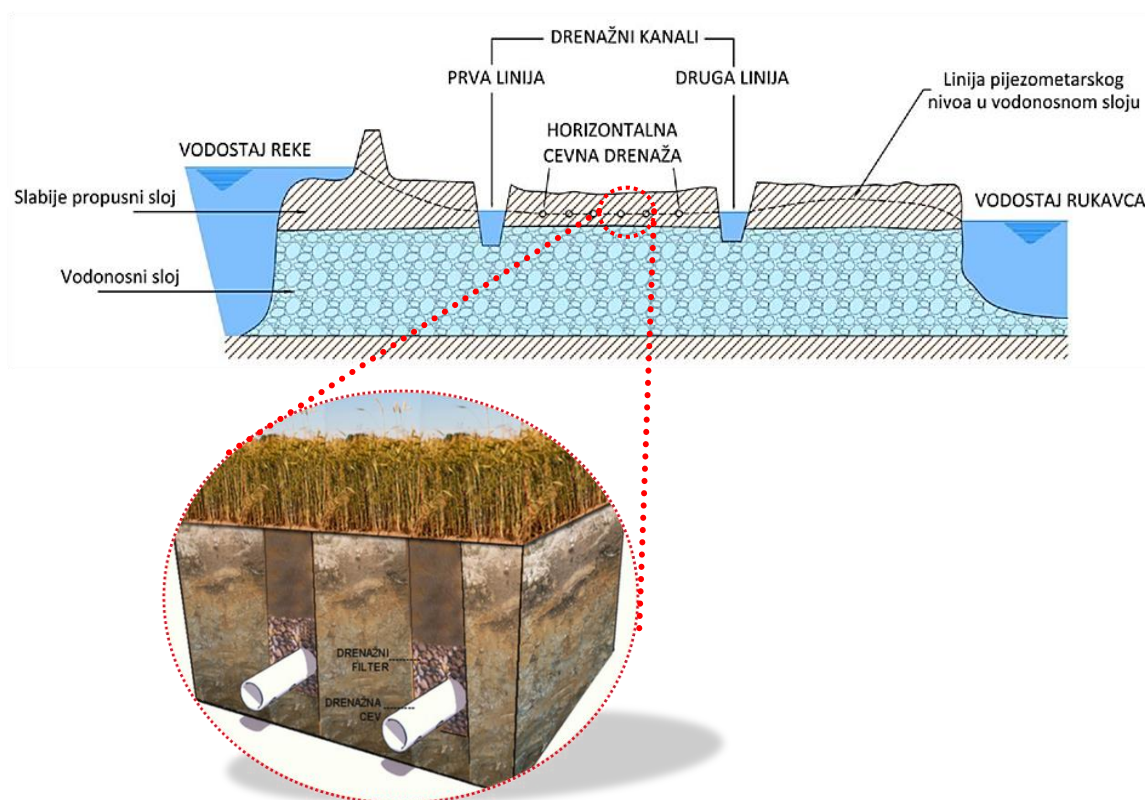


Slika 5.5 Osnovni tip zaštite i uređenja poljoprivrednih površina u Pančevačkom ritu

Na delovima poljoprivrednih područja gde je površinski, slabije propusni sloj manje debljine (1,5-2,0 m) zaštita je predviđena sistemom otvorenih drenažnih kanala, koji svojim dnom zalaze u peskovito-šljunkovite naslage vodonosnog sloja. Ovi kanali gravitiraju crpnim stanicama, putem kojih se unutrašnje vode preko nasipa evakušu u recipijente.

U pojedinim područjima je drenažna funkcija u sistemu zaštite, osim kanalima, predviđena i delovima korita prirodnih vodotoka (stari rukavci i sl.).

Na delovima područja sa izrazito niskim kotama terena i sa teškim glinovitim zemljištem, gde suvišne vode atmosferskog porekla stvaraju teškoće, u kombinaciji sa navedenim tipovima zaštite, predviđena je horizontalna cevna drenaža (Škinkis, 1981; Mitrović, 1988; Pokrić, 2008.). Detalj kompleksnog drenažnog sistema, sa horizontalnom cevnom drenažom, prikazan je na slici 5.6.



**Slika 5.6** Zaštita i uređenje poljoprivrednih površina sa cevnom drenažom

Poseban problem u Pančevačkom ritu je zaštita urbanih zona, posebno u priobalju, od visokih nivoa podzemnih voda. Buduća rešenja moguće je svesti na tri osnovne šeme:

- ⇒ nasipanje terena, tj. veštačko izdizanje ugroženih površina do kota koje će obezbediti da slobodno formirani nivoi podzemnih voda ne budu na većoj visini od zahtevane kote,
- ⇒ dreniranje ugroženih površina tj. snižavanje podzemnih voda na željeni nivo,
- ⇒ kombinovana metoda tj. nasipanjem područja uz istovremeno dreniranje površina.

Nasipanjem terena veštački se menjaju hidrogeološko – hidrodinamički uslovi. Nasipanje površina u najvećem broju slučajeva bi se vršilo refuliranjem peskom, te bi na taj način, veštačkim putem, bila oformljena troslojevita porozna sredina.

Parcijalno nasipanje sa primenom drenažne zavese, kao kombinovano rešenje, počiva na identifikaciji postojećeg stanja na terenu. U primeni ovog rešenja posebno je potrebno voditi računa da sa poboljšanjem situacije na nekim lokalitetima ne oteža situacija na terenima koji ostaju na nižim kotama. Na tim površinama će doći do izdizanja nivoa podzemnih voda, tako da će se postojeći objekti naći u nepovoljnijim uslovima.

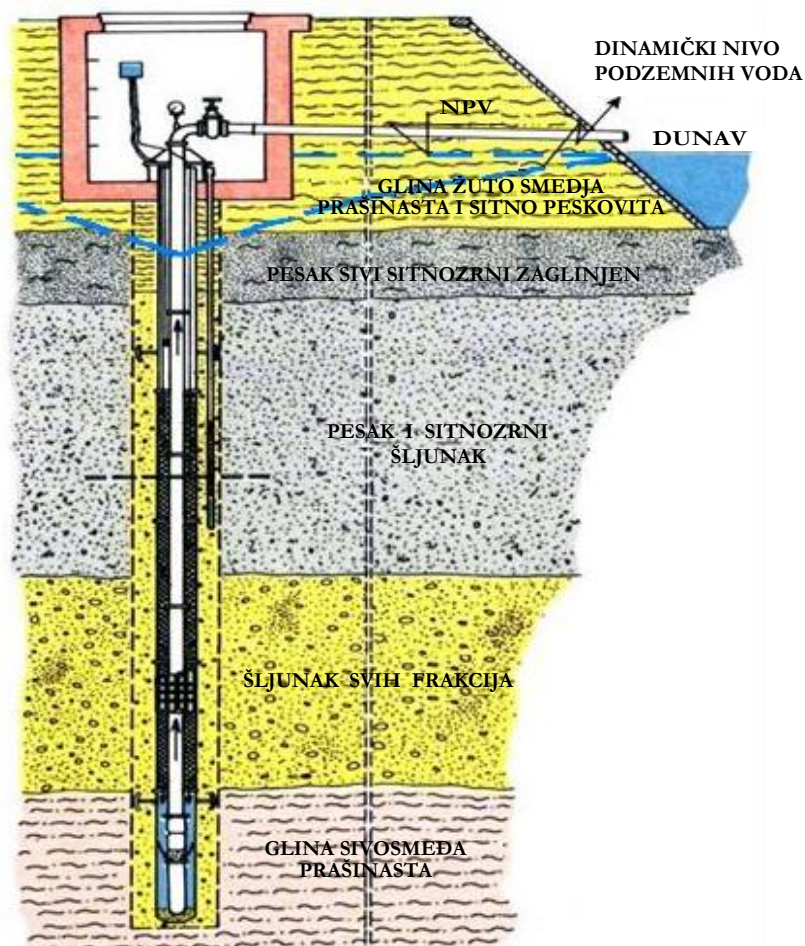
Izrada drenažne zavese, u takvim uslovima, omogućiće rešenje problema uređenja podzemnih voda na području. Održavanjem određenog režima pijezometarskih nivoa u donjem vodonosnom sloju drenažnim sistemom postavljenim pored reke eliminiše se negativni uticaj visokih vodostaja reke na branjeno područje.

Izrada drenažne zavese postiže se drenažnim bunarima (savršeni ili nesavršeni) sa potopljenim pumpama, drenažnim kolektorima, dubokim kanalima čije dno zadire u peskovite serije vodonosnog sloja, horizontalnim drenovima, bunarima sa horizontalnim drenovima, itd.

Duboki otvoreni kanali zbog svojih velikih dimenzija, ugrožene stabilnosti usled ispiranja finih čestica i nadasve zauzetog prostora često ne mogu biti primenjeni.

Drenažnu zavesu sa horizontalnim drenovima treba duboko ukopavati, da bi se ostvarili pozitivni efekti. Pored toga, postavljanje horizontalnog drena na velikim dubinama zahteva komplikovan rad u podzemnoj vodi, specijalne filterske materijale i posebnu pažnju pri izgradnji, jer svaki element mora imati, zbog kontinualnosti u radu pojedinih delova, potpunu sigurnost. Rekonstrukcija i eventualna zamena horizontalnog drena zahteva da se duž drenažne linije u jednoj široj zoni ne grade stalni objekti. Širina ove zone zavisi od karakteristika materijala na području i tehnologije izrade drena, ali je u svakom slučaju znatna.

Drenažni bunari (slika 5.7) se grade u nizu paralelno vodotoku, a nivoi vode u bunarima se održavaju tako da se na polurastojanju između bunara ostvaruje predviđena kota, odnosno dubina do podzemne vode od površine terena.



Slika 5.7 Drenažni bunar

### 5.3 TEHNIČKI POKAZATELJI EFIKASNOSTI RADA DRENAŽNIH SISTEMA

Na tehničkom nivou, direktni pokazatelji kao što su promene nivoa podzemne vode u funkciji vremena i po prostoru, uglavnom su dovoljni za procenu učinka i efikasnosti rada drenažnih sistema.

### 5.3.1 Nivoi podzemnih voda u funkciji vremena

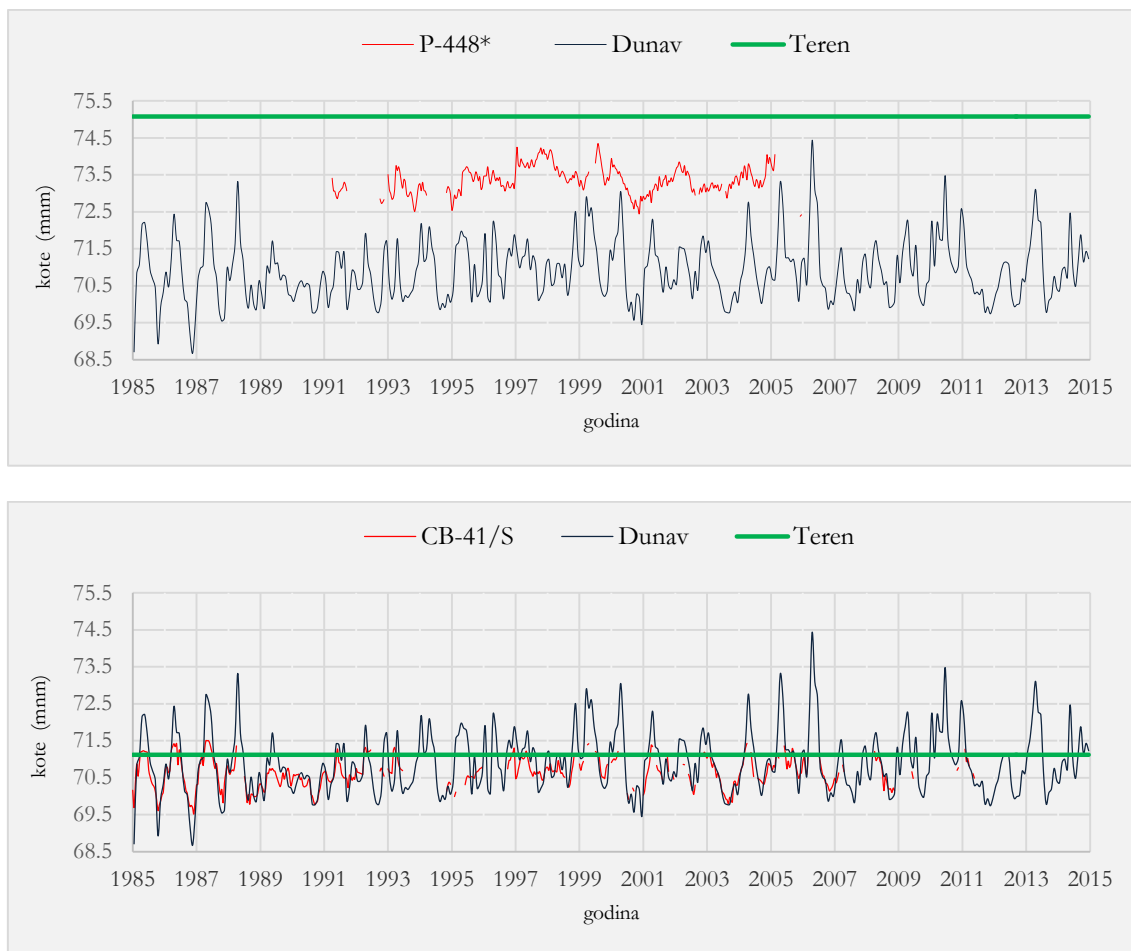
Režim podzemnih voda Pančevačkog rita pokazuje vremenske oscilacije i prostornu neujednačenost.

Analize nivoa podzemnih voda pokazuju da, generalno posmatrano, nivoi dostižu maksimalne kote u periodu mart – maj. U tim periodima, podzemna voda se javlja na dubinama manjim od 0,5 m na znatnim površinama Pančevačkog rita. Istovremeno, na nižim površinama podzemne vode izbijaju na površinu terena. U periodu pojave nižih nivoa (avgust – oktobar), podzemne vode ugrožavaju manje površine u lokalnim depresijama unutar područja i na delovima bliže naseljima pored Dunava i Tamiša.

Karakter oscilacija je promenljiv u prostoru. Na delovima Pančevačkog rita neposredno uz vodotok (teren iza nasipa), oscilacije pokazuju da nivoi podzemnih voda generalno prate oscilaciju reke. Ovo je izraženo praktično po celom obodnom delu. U fazi visokih vodostaja reka, kakve su poplavne godine, podzemna voda se nalazi na površini terena, a javljaju se i izlivanja vode preko vrha cevi pijezometra (slika 5.8 i 5.9).



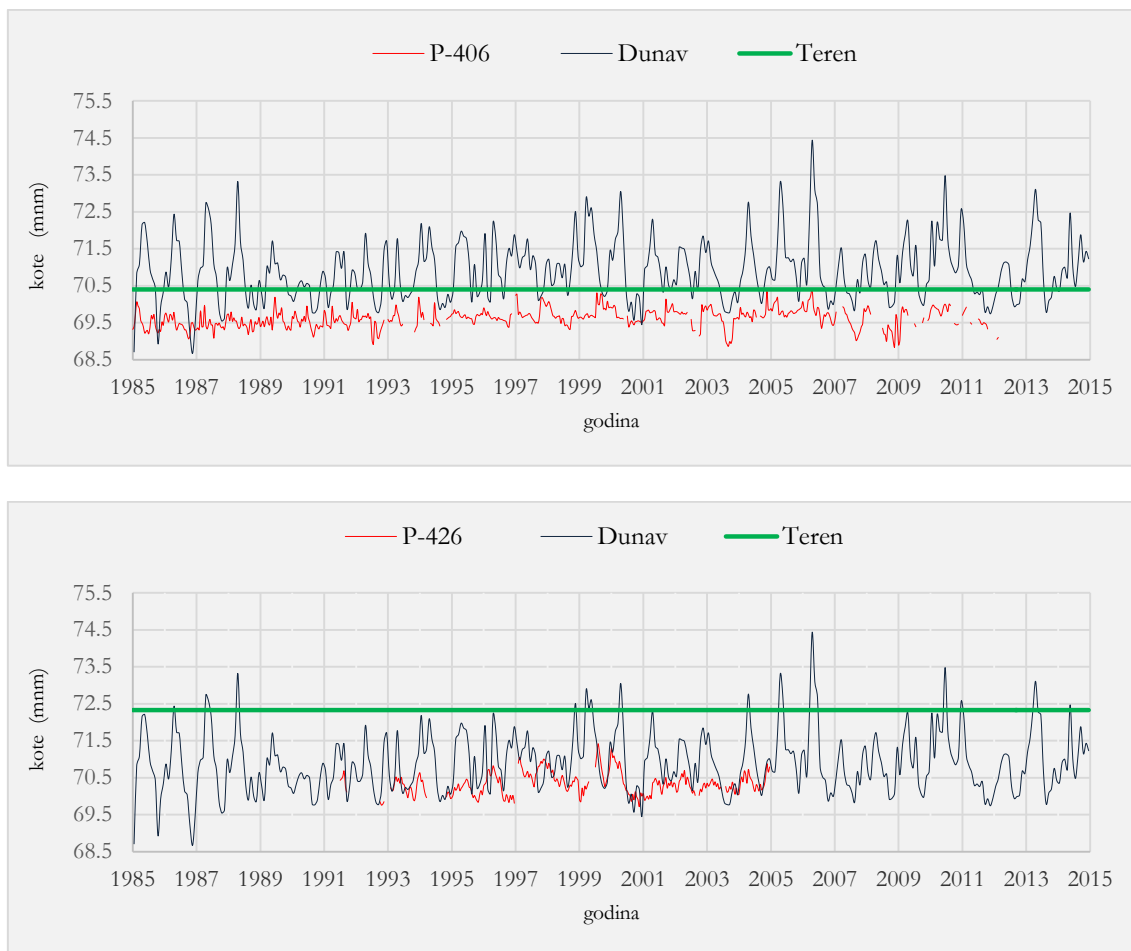
*Slika 5.8 Snimak bunara CB 41 u trenutku izlivanja podzemnih voda  
(Krnjača, april 2004.)*



**Slika 5.9** *Registrovani nivoi podzemnih voda u „obodnim“ pijezometrima*

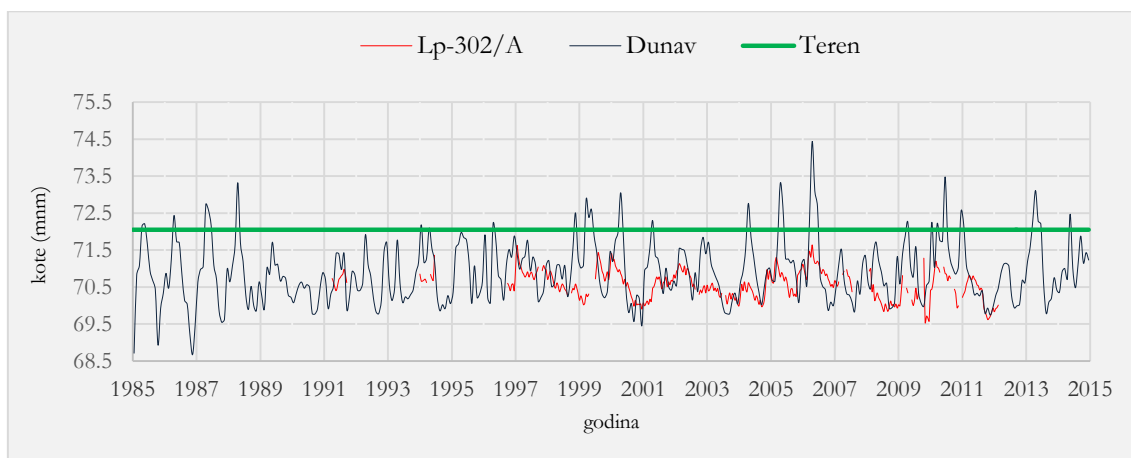
Unutar područja (slika 5.10), dalje od reka, karakter oscilacija podzemnih voda se menja. Jače izražene oscilacije nivoa podzemnih voda prisutne su na delu Rita istočno od puta Beograd – Zrenjanin (pijezometar P-426). Ovo je logično, s obzirom da je na tom području kanalska mreža vrlo retko postavljena, a znatnim delom i zamuljena, pa padavine ostvaruju značajan uticaj na režim podzemnih voda.

Sa druge strane, na prostoru zapadnog dela Pančevačkog rita (pijezometar P-406), nivoi podzemnih voda imaju amortizovane oscilacije. Navedena konstatacija važi i za užu zonu područja oko starog rukavca Dunavca, u severnom delu Pančevačkog rita. Na ovim područjima nivoi podzemnih voda ne pokazuju nagle promene, iako generalno prate pojavu padavina i promenu spoljnih vodostaja. Razlog takvog ponašanja je uticaj funkcionisanja sistema za odvodnjavanje. U toj zoni se nalazi više dubokih kanala i ostataka starih tokova koji imaju drenažnu ulogu. Istovremeno, na ovom delu područja je sekundarna kanalska mreža vrlo gusta, tako da se veća količina padavina sakuplja i evakuše kanalskom mrežom prema crpnim stanicama.



**Slika 5.10** *Registrovani nivoi podzemnih voda u pijezometrima unutar područja*

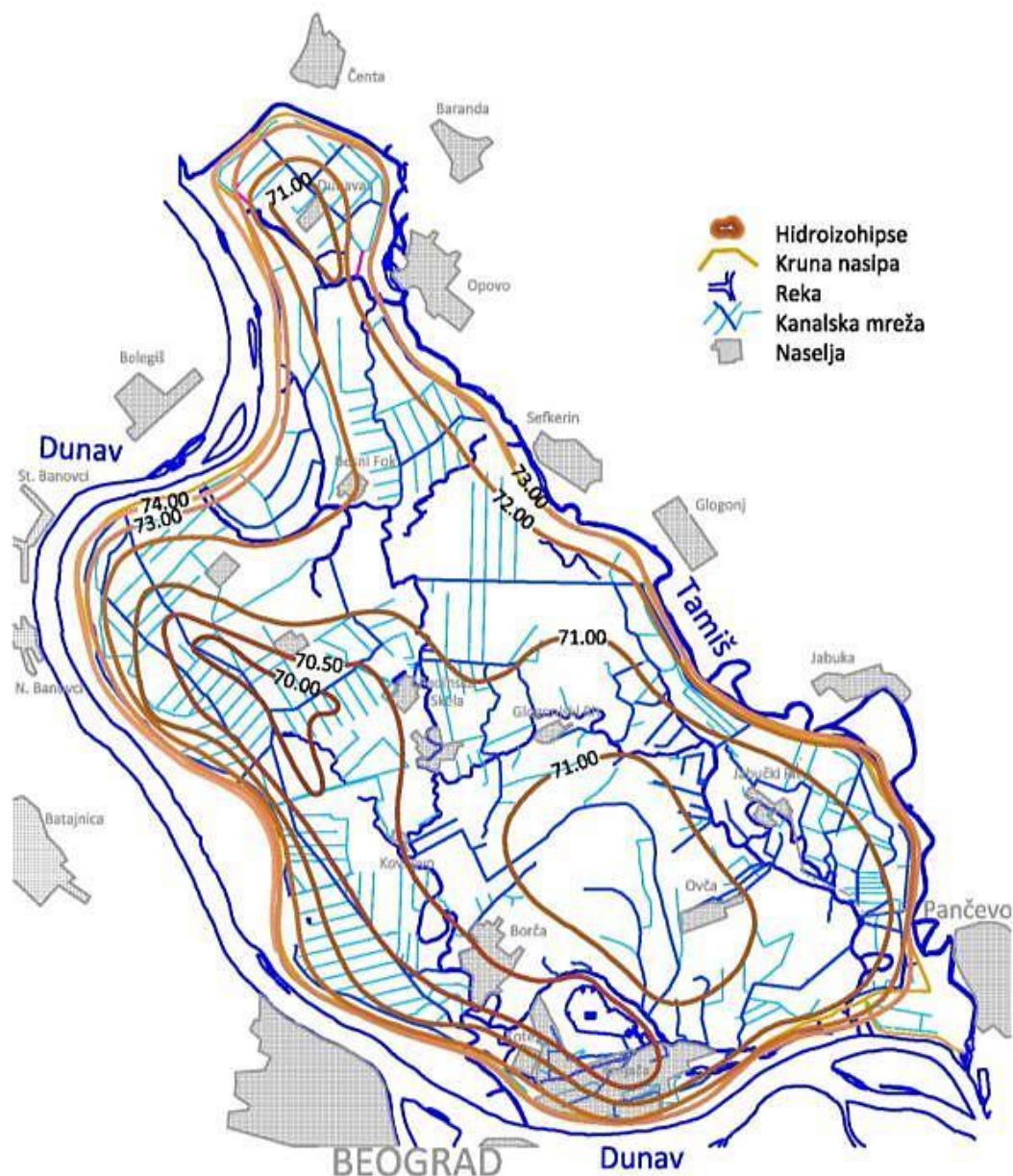
Koristeći rezultate osmatranja nivoa podzemnih voda utvrđeno je da se na nižim delovima područja uz Tamiš nivoi podzemnih voda javljaju vrlo plitko (slika 5.11). Plitko zaleganje podzemnih voda najizraženije je na potezu od CS Čenta do ušća Tamiša u Dunav, kao posledica nepostojanja I drenažne linije.



**Slika 5.11** *Registrovani nivoi podzemnih voda u pijezometrima pored Tamiša*

### 5.3.2 Raspored nivoa podzemnih voda po prostoru

U zavisnosti od konfiguracije terena na analiziranom području Pančevačkog rita se pojavljuju različiti nivoi podzemnih voda. Maksimalna udaljenost nivoa podzemnih voda od kota terena je oko 3 m na višim delovima područja, dok se na većem broju pijezometara, posebno u obodnom delu Pančevačkog rita, nivoi podzemnih voda vrlo često nalaze praktično na površini terena. Ilustracija svega prethodno rečenog data je na slici 5.12.



Slika 5.12 Raspored maksimalnih nivoa podzemnih voda

– mart 1981. godina –

(Božić, 2010.)



#### 5.4 ANALIZA UTICAJA POJEDINIH FAKTORA NA EFIKASNOST SISTEMA ZA ODVODNJAVANJE U PANČEVAČKOM RITU

Analiza uticaja pojedinih faktora na efikasnost sistema za odvodnjavanje, ne može se ni zamisliti bez numeričkog modeliranja dinamike podzemnih voda. Zadatak modela je da kroz seriju hidrodinamičkih proračuna simuliraju uslove režima podzemnih voda, kako u prirodnim uslovima, tako i u uslovima primene raznih mera i scenarija rada drenažnog sistema. Primena matematičkog modela je u ovom radu predviđena zbog njegove nezamenljive sposobnosti da relativno lako integriše i kvantifikuje pojedinačne uticaje različitih parametara na inače komplikovan sistem podzemnih voda izučavane izdani (*Božić, 2010.*).

Režim podzemnih voda u priobalnoj zoni reka u Pančevačkom ritu je pod njihovim dominantnim uticajem. Osim toga, na režim podzemnih voda imaju uticaja i glavni drenažni kanali, kao i sekundarna drenažna mreža koja je intenzivno razvijena na ovom prostoru. Crpne stanice na području Rita diktiraju generalne nivoe podzemnih voda preko održavanih vodostaja u kanalskoj mreži. U središnjem delu Pančevačkog rita značajan uticaj imaju parametri vertikalnog bilansa, infiltracija od padavina (deo koji se ne odvede drenažnim sistemom) i evapotranspiracija.

U skladu sa prethodnim, definisana je koncepcija izrade matematičkog modela podzemnih voda meliorativnog područja:

- ⇒ porozna sredina, u kojoj se odvija strujanje podzemnih voda, je predstavljena sa dva šematizovana sloja, kontinualnog rasprostranjenja,
- ⇒ donji sloj je glavni vodonosni sloj, predstavljen u prirodi peskovito – šljunkovitim tvorevinama,
- ⇒ gornji sloj je sa slabijim filtracionim karakteristikama, u prirodi predstavljen uglavnom glinovitim sedimentima povlate osnovnog vodonosnog kompleksa,
- ⇒ strujna oblast je diskretizovana u planu poljima kvadratnog oblika, veličine stranica  $\Delta=125$  m,
- ⇒ raspored geometrijskih i filtracionih karakteristika je u modelu zadavan u skladu sa rezultatima prethodnih analiza, kao reprezentativne vrednosti u poljima mreže diskretizacije,

- ⇒ na modelu su zadati različiti tipovi graničnih uslova, zavisno od šematizacije prirodnih stanja (reke - Dunav, Tamiš, Karaš, drenažna mreža, crpni centri - izvorišta, infiltracija i evapotranspiracija, itd.),
- ⇒ simulacija strujanja je realizovana hidrodinamičkim proračunima u stacionarnom i nestacionarnom režimu strujanja podzemnih voda,
- ⇒ proračunski period obuhvata vremenski interval od 01.01.1987. do 31.12.2014. godine, sa osnovnim poračunskim korakom od mesec dana.

#### 5.4.1 Područje obuhvaćeno modelom

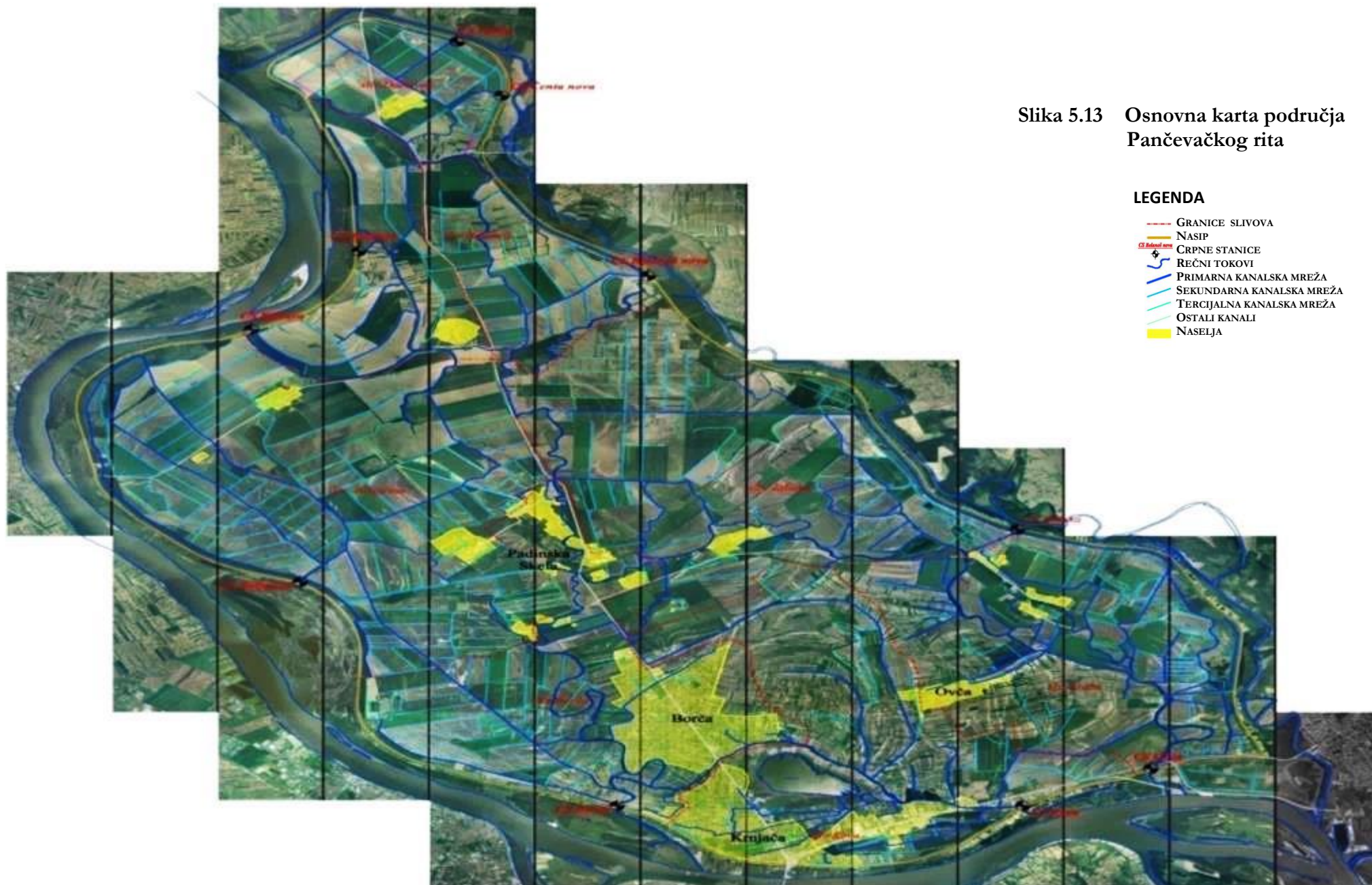
Horizontalno rasprostranjenje modela podzemnih voda prve izdani meliorativnog područja – Pančevački rit definisano je prirodnim i usvojenim hidrodinamičkim granicama posmatrane strujne oblasti i poklapa se sa geografskim položajem i prostiranjem Rita. Spoljnu konturu Rita, kao i formiranog modela, čine vodotoci: Dunav, koji se proteže duž zapadne i južne granice, Tamiš koji čini istočnu, te Karaš koji predstavlja severnu granicu modela (slika 5.13).

Diskretizacija strujnog polja u planu je izvršena osnovnom mrežom kvadrata, čije su dimenzije 125x125 m. Po vertikali je strujna oblast podeljena na dva sloja, različitih filtracionih karakteristika i debljine. Ova dva parametra su heterogeno raspoređena po prostoru Rita.

Ukupna površina oblasti iznosi 840 km<sup>2</sup>, od čega je efektivna (aktivna) površina strujnog polja 442 km<sup>2</sup>. Osnovna matrica mreže se sastoji od 240 redova i 224 kolona. Aktivnih polja u oba šematizovana sloja ima 56.346, a ukupno 107.520.

#### 5.4.2 Prostorne i filtracione karakteristike

Geometrija, odnosno rasprostranjenje šematizovanih slojeva u prostoru, dobijena je na osnovu rezultata analize i sinteze rezultata ranijih brojnih istraživanja i izučavanja terena. Kao rezultat, utvrđene su hipsometrijske i horizontalne karakteristike pružanja izdvojenih slojeva, koje su interpretirane i prikazane u obliku karata sa izolinijama podine i povlate slojeva. Ne treba pri tome izgubiti iz vida činjenicu da je površina terena istovremeno i povlata gornjeg, slabije propusnog sloja, a da je njegova podina ujedno i povlata (glavnog) vodonosnog sloja.



Kombinacijom kota analiziranih slojeva, moguće je, pored karata izolinija apsolutnih kota slojeva, dobiti i karte izobata (dubine od površine terena) i izopaha (debljine sloja).

Za poljoprivredno područje Pančevački rit kote terena su uglavnom između 70,00 i 73,00 mm, pri čemu su u srednjem i južnom delu dominantno između 70,50 i 71,50 mm. Analizom se može zaključiti da je povlata vodonosnog sloja između kota 63,00 i 65,00 mm, dakle, na dubini od 6,5 do 9,5 m, uglavnom između 7,5 i 8,0 m. Ove vrednosti su istovremeno i vrednosti debljina povlatnog, slabije propusnog sloja. Dubine do podine vodonosnog sloja su između 15,5 i 55,5 m, dominantno između 32,0 i 49,0 m. Debljina vodonosnog sloja je između 7,0 i 48,0 m, uglavnom između 24,0 i 40,0 m.

Veličina i raspored filtracionih karakteristika, na početku rada na modelu, usvojeni su na osnovu raspoloživih rezultata ranijih istraživanja, kao i na osnovu rezultata novih (namenskih) istraživanja.

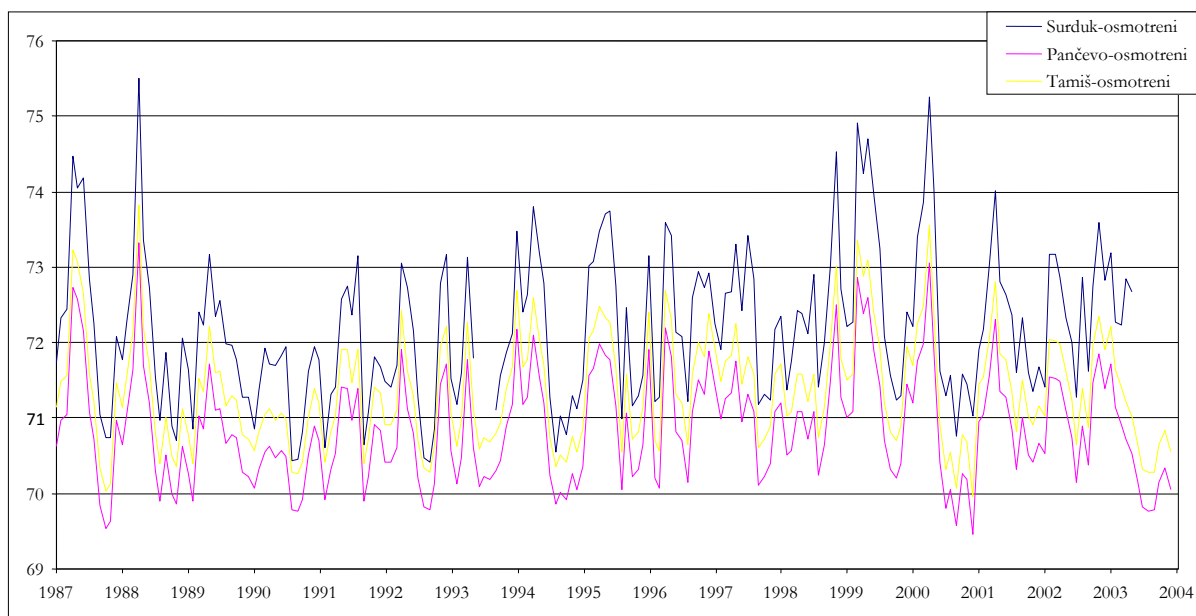
Konačne vrednosti i raspored koeficijenata filtracije šematizovanih slojeva dobijene su u postupku kalibracije i verifikacije modela. Dobijene vrednosti koeficijenata filtracije za glavni vodonosni sloj su u granicama između  $3,5 \cdot 10^{-4}$  do  $8 \cdot 10^{-4}$  m/s, preovlađuje prosečno oko  $6 \cdot 10^{-4}$  m/s. Za povlatni, slabije propusni sloj, vrednosti koeficijenta filtracije sedimenata su između  $5,5 \cdot 10^{-7}$  i  $2,2 \cdot 10^{-6}$  m/s.

### 5.4.3 Granični uslovi

U prethodnom tekstu je već naglašeno da je režim podzemnih voda na području Pančevačkog rita veoma kompleksan. Spoljne konture modela, koje se poklapaju sa konturama poljoprivrednog područja - Pančevački rit, a duž kojih su vodotoci Dunav, Tamiš i Karaš, na modelu su simulirane šematizovanim graničnim uslovima tipa „reka“. Pomenute reke su simulirane na modelu celom svojom širinom. Zadate su u drugom, vodonosnom, šematizovanom sloju modela.

Kao reprezent filtracionog otpora na kontaktu rečnog dna i vodonosne sredine, zadat je koeficijent otpora, parametar  $K/d$ , koji predstavlja količnik koeficijenta filtracije sloja ( $K$ ) u rečnom dnu u kome se formira analizirani hidraulički otpor i njegove debljine ( $d$ ). Prosečna veličina ovog parametra za Dunav je oko  $1 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ , dok je za Tamiš, odnosno Karaš reda  $2 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ .

Raspored vodostaja duž toka Dunava u kontaktu sa poljoprivrednim područjem - Pančevački rit je definisan na osnovu realno registrovanih vodostaja na vodomernim letvama. Pad vodenog ogledala duž rečnog toka usvojen je na osnovu vodostaja registrovanih na vodomernim stanicama Pančevo, Zemun i Surduk (slika 5.14).



**Slika 5.14 Osmotreni srednji mesečni vodostaj Dunava i Tamiša u periodu 1987. – 2004. god.**

S obzirom na to da između Tamiša i Dunava ne postoji fizički prekid, vodostaj Tamiša je u hidrodinamičkim proračunima usvojen na osnovu vodostaja Dunava, uzimajući u obzir minimalni pad rečnog ogledala Tamiša uzvodno, reda 2 ‰. Deo toka kanala Karaš, koji predstavlja severnu granicu Pančevačkog rita, od uliva u Dunav, uzvodno do spajanja sa Tamišem, nalazi se pod uticajem vodostaja Dunava. Naglašava se da je ovde prikazan tzv. osmotreni vodostaj, koji je korišćen u fazi kalibracije modela. U prognoznim proračunima su korišćeni tzv. proračunski vodostaji, koji su reprezentovali različite hidrološke režime, počevši od tzv. prirodnog, do različitih režima, diktiranih kotom održavanog vodostaja na brani HE „Đerdap“ i ušću Nere (68/63, 69,5/63, 70,3/63).

Drenažna mreža Pančevačkog rita je veoma razvijena. Kanali su razvrstani u više redova. Kanalska mreža prvog reda odlikuje se najvećim i najdubljim kanalima, koji su najmanje zapušteni. Kanalsku mrežu drugog reda čine loše održavani kanali male dubine. Kanali sekundarne mreže nemaju fiksirani položaj i funkciju, nego se periodično izmeštaju, neki se

zatrpavaju i prokopavaju novi. Svi kanali su povezani na neku od crpnih stanica Pančevačkog rita. Neke od ovih stanica su u pogonu, dok neke samo povremeno rade.

Radni nivoi u crpnim stanicama variraju u amplitudi od prosečno 0,7 m, ređe 1,0 m i bliže su predviđenom radnom maksimumu (70,0 mm), a veoma često i prelaze tu vrednost. Režim podzemnih voda Pančevačkog rita se praktično održava preko kanalske mreže što je, opet, diktirano radom crpnih stanica. Za razliku od priobalnih područja Pančevačkog rita u većem, centralnom delu terena, se održava približno stalno isti nivo podzemnih voda.

U zavisnosti od procenjene hidrauličke uloge u režimu podzemnih voda, neki kanali su u modelu simulirani graničnim uslovom „drenaža“, imajući u vidu njihovu isključivo drenažnu ulogu, dok su drugi simulirani graničnim uslovom „reka“. Kanalskom sistemu Pančevačkog rita pripada i Veliko blato, bivše izdansko oko, a sada ribnjak, u južnom delu terena (slika 5.13).

Veličina koeficijenta filtracionog otpora dna kanala ( $K/d$ ) zadavana je u intervalu od  $2 \cdot 10^{-6}$  do  $2 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ , u zavisnosti od lokalnih uslova, što je utvrđeno tokom kalibracije modela. Vodopropusna moć kanala je u funkciji koeficijenta filtracionog otpora ( $K/d$ ), širine dna, kao i dužine kanala, veličine koje su zadavane pojedinačno u svakom polju modela na lokaciji kanala.

**Izvorište „Sibnica“**, nalazi se u južnom delu Rita, sa leve strane puta Beograd - Pančevo, pored vodotoka Sibnica, koji je preuređen i pripada kanalskom sistemu. Ovo izvorište je glavni izvor vodosnabdevanja Pančeva. Na njemu postoji oko 50 aktivnih cevastih bunara, sa ukupnom izdašnošću oko 400 l/s. U modelu je ovo izvorište zadato sa konstatnim proticajem tokom celog proračunskog perioda.

**„Vertikalni bilans“** Parametri vertikalnog bilansa Pančevačkog rita u modelu su zadavani preko efektivne infiltracije od padavina i isparavanja sa nivoa slobodne vodene površine. Korišćeni softver ima mogućnost obračuna i sumiranja obe veličine u zavisnosti od dubine nivoa podzemnih voda u odnosu na površinu terena.

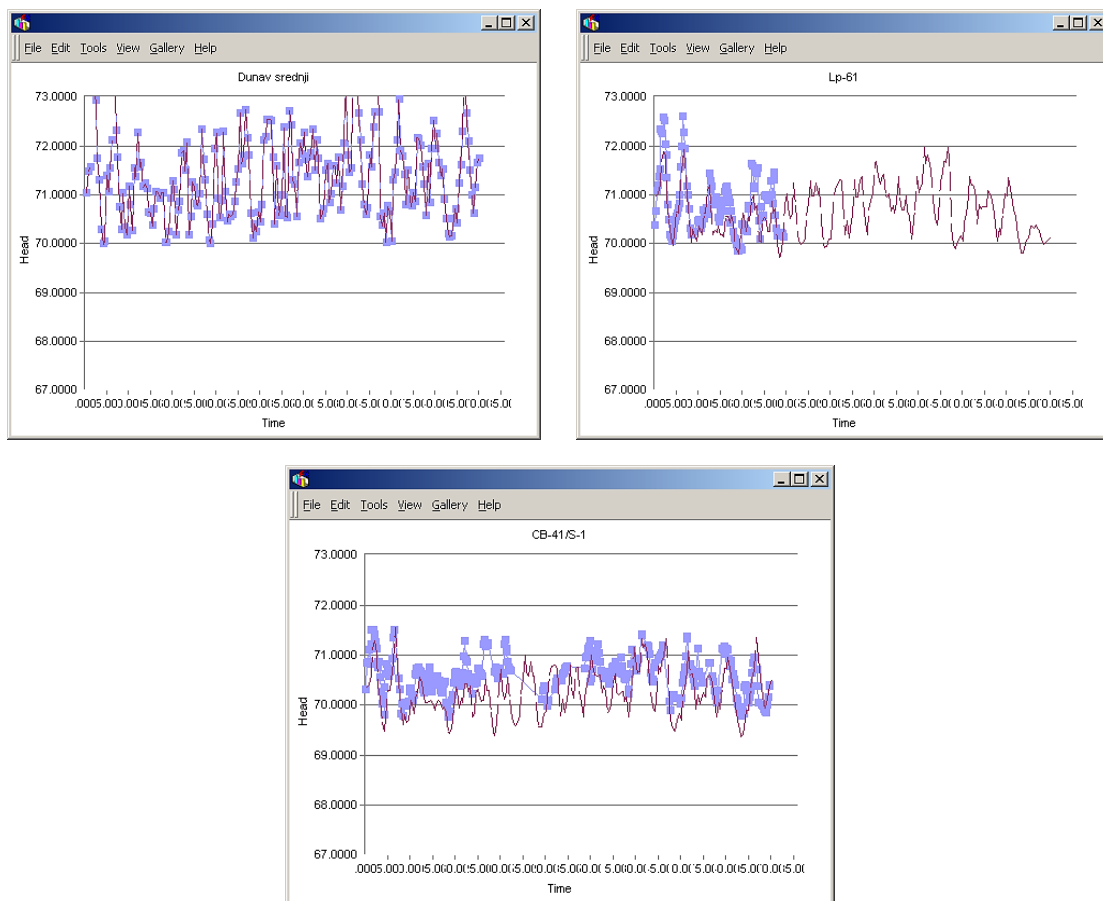
Efektivna infiltracija je određena na osnovu originalne metodologije, razrađene u Institutu za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, na osnovu analize rezultata dugogodišnjih osmatranja namenski izgrađene baterije lizimetara. Ova metodologija je razrađena za potrebe izučavanja režima podzemnih voda priobalnog područja Dunava pod uticajem uspora HE „Đerdap I“ i nalazi u praksi široku primenu (Boreli i Vuković, 1967.).

Evapotranspiracija, kao parametar vertikalnog bilansa, u modelu je simulirana preko veličine isparavanja sa nivoa slobodne vodene površine, utvrđene za MS Beograd preko temperature i vlažnosti vazduha.

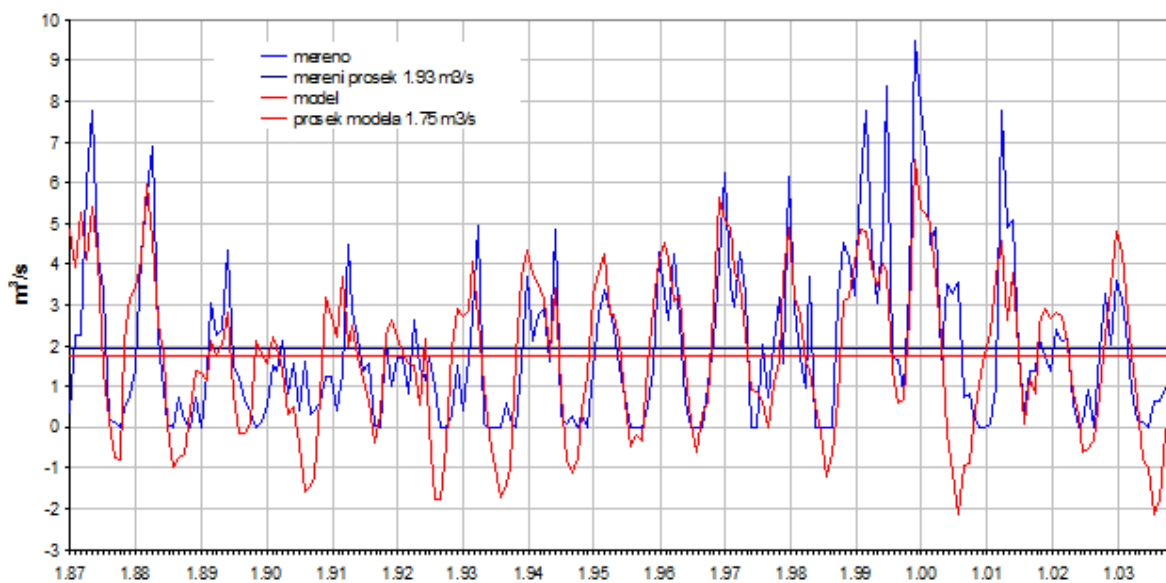
#### **5.4.4 Kalibracija i verifikacija matematičkog modela režima podzemnih voda poljoprivrednog područja Pančevački rit**

Kalibracija i verifikacija matematičkog modela realizovana je na osnovu registrovanih pijezometrijskih nivoa u odabranim pijezometrima (slika 5.15) i sumarnih količina prepumpanih voda preko crpnih stanica, za period od 1987. do 2004. godine (slika 5.16). Ovo drugo je posebno značajno, s obzirom da je po prvi put izvršena verifikacija i po parametru prepumpanih količina voda na pumpnim stanicama, kao i po kanalima, te da je Rit posmatran kao jedno slivno područje, što on faktički i jeste usled povezanosti slivova.

Verifikacija matematičkog modela Pančevačkog rita završena je onog trenutka kada je postignuto zadovoljavajuće slaganje nivoa podzemnih voda dobijenih proračunom i registrovanih vrednosti (slika 5.15), kao i kada je postignuto zadovoljavajuće slaganje oscilacija izračunatih na modelu i „merenih/registerovanih sumarnih proticaja na crpnim stanicama“ Pančevačkog rita, kako je prikazano na slici 5.16 (Božić, 2010). S obzirom da je Rit posmatran kao jedno slivno područje, što on faktički i jeste usled povezanosti slivova, analogijom su u okviru verifikacije matematičkog modela posmatrane i količine prepumpanih voda sumarno, dakle zbirno svih crpnih stanica sa područja.



*Slika 5.15 Kalibracija i verifikacija matematičkog modela preko registrovanih vodostaja u spoljnim vodotokovima i registrovanih nivoa vode u izabranim pjezometrima*



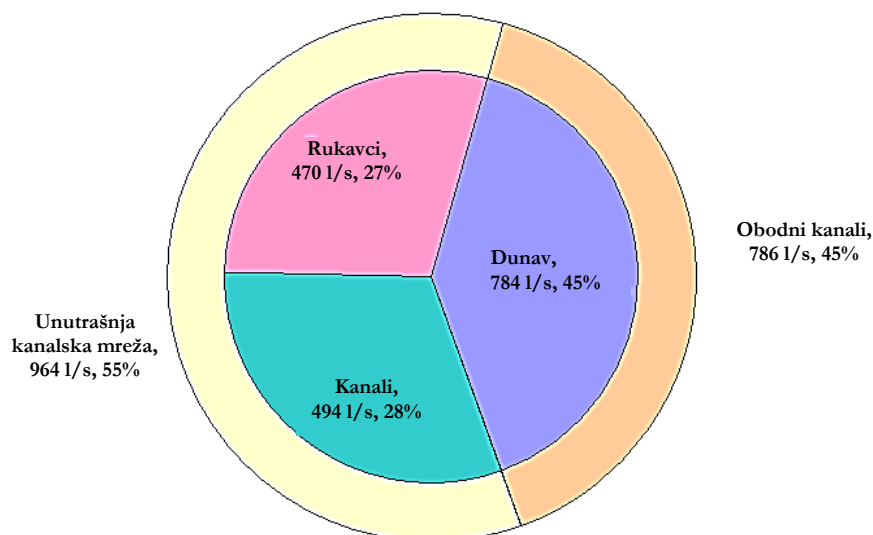
*Slika 5.16 Kalibracija i verifikacija matematičkog modela preko prepumpanih količina vode na crpnim stanicama (sumarni dijagram)*



U cilju pojašnjenja termina „mereni/registrovani sumarni proticaji na crpnim stanicama“ koji se koristi na narednim slikama i u okviru teksta, na crpnim stanicama Rita registruju se samo časovi rada instalisanih agregata. Na osnovu ukupnog broja sati rada svih agregata jedne crpne stanice u toku meseca i instalisanog kapaciteta, definisan je tzv. srednji mesečni proticaj ( $m^3/s$ ), odnosno mesečna količina vode prepumpane sa pojedinog sliva. Iako se terminološki ne radi o „merenim“, već o proračunom dobijenim vrednostima proticaja, u nastavkuse zadržava termin „mereno“ i na priložima i u tekstu.

I pored dobrog slaganja rezultata merenja i rezultata proračuna prepumpanih količina voda na crpnim stanicama, jasno je da matematički modeli predstavljaju idealizaciju stanja koja se dešavaju u realnosti. Naime, na slici 5.16 se može uočiti da vrednosti prepumpanih količina vode imaju „negativne“ vrednosti u pojedinim vremenskim periodima. Negativan predznak vrednosti prosečno prepumpanih voda iz kanala, koji su zadati graničnim uslovom „reka“ govori da su u razmatranom periodu, gledano u proseku, ti kanali prihranjivali podzemnu vodu. Razlog za ovakvo ponašanje modela je u realnosti. Drugim rečima, nivoi koji su se najčešće ostvarivali u kanalima ispred crpnih stanica, nisu prelazili zadatu vrednost nakon koje bi se reagovalo uključenjem crpnih stanica, te se određena zapremina vode drenirala iz kanala.

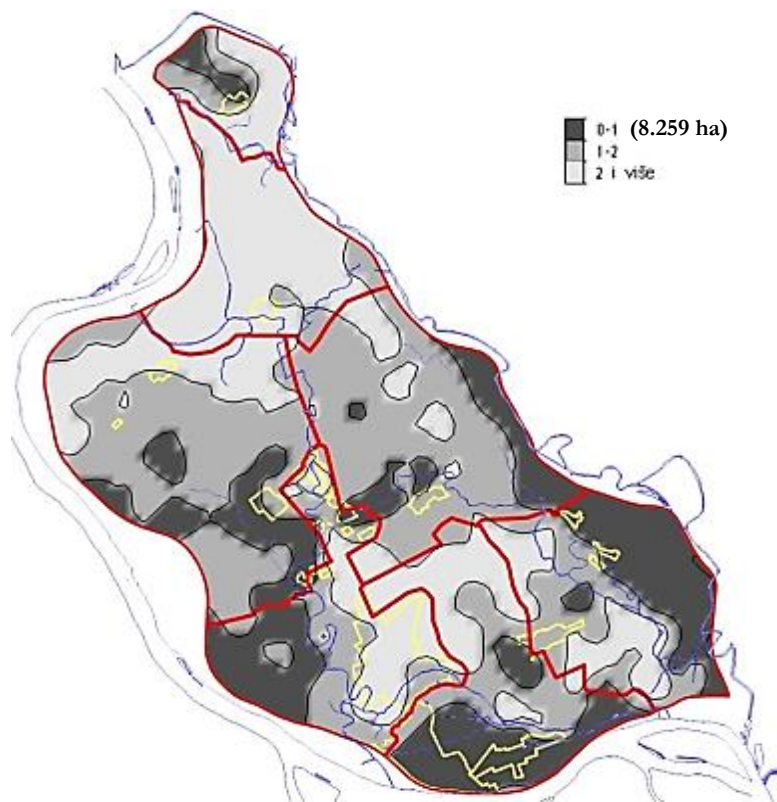
Na slici 5.17, kao poseban rezultat verifikacije matematičkog modela, prikazani su proticaji po kanalima, obodnim (drenažne linije) i unutrašnjim (rukavci i kanali za odvodnjavanje).



**Slika 5.17 Uporedni prikaz sumarnih količina prepumpane vode**

Zaleganje podzemnih voda u Pančevačkom ritu (10% verovatnoća pojave) sa postojećom vodoprivrednom infrastrukturom i režimom rada prikazano je na slici 5.18.

Na slici se jasno uočavaju razlika između zaleganja podzemnih voda na severnom i južnom delu Rita. Ukupno ugrožene poljoprivredne površine, sa nivoima podzemnih voda plićim od 1,00 m, iznose 8.259 ha.



**Slika 5.18** Zaleganje podzemnih voda (10% verovatnoće pojave), verifikovan model Pančevačkog rita

## 5.5 ANALIZA EFIKASNOSTI RADA DRENAŽNOG SISTEMA ZA RAZLIČITE SCENARIJE UPRAVLJANJA

Analiza **efikasnosti rada drenažnog sistema za različite scenarije upravljanja**, primenom odgovarajućih tehničkih mera, sprovedena je kroz seriju hidrodinamičkih proračuna korišćenjem matematičkog modela koji je u prethodnoj fazi kalibrisan i verifikovan.

Kao osnovni kriterijumi za analizu efikasnosti drenažnog sistema za zaštitu Pančevačkog rita od podzemnih voda usvojena je namena područja, odnosno način korišćenja prostora, koji sačinjava 25.051 ha poljoprivrednog zemljišta i 2.399 ha površina urbanih zona. Imajući to u vidu, a prema dugogodišnjoj praksi u priobalju Dunava pod uticajem uspora HE „Đerdap I“, kao kriterijum je usvojeno da nivo podzemnih voda 10% verovatnoće pojave bude na dubini većoj od:

- ⇒ 1,0 m, za poljoprivredne površine,
- ⇒ 2,0 m, za urbane sredine.

Uvažavajući postavljene zahteve, kriterijume i ograničenja, projektovana su i izvedena odgovarajuća tehnička rešenja. Rešenja su gradirana od onih koja u prvim fazama realizacije daju određene rezultate uz minimalna ulaganja, pa sve do tehničkih rešenja kojima se ostvaruje kompletno i kompleksno uređenje voda na području Rita. Predložena rešenja su ekonomski valorizovana, kako bi se mogla međusobno upoređivati prema ostvarenim efektima zaštite.

Efikasnost sistema za odvodnjavanje na području Pančevačkog rita sagledavana je u funkciji sledećih parametara:

1. vodostaja u vodotokovima koji okružuju Rit,
2. izgrađenosti drenažnih linija i režima voda u njima, neposredno uz nasip, i
3. režima voda u meliorativnim kanalima.

Svi proračuni su izvedeni sa vremenskim proračunskim korakom od mesec dana, za vremenski period od 1987. do 2014. godine. Sprovedenim proračunima su određena stanja za slučajeve dubine zaleganja podzemnih voda verovatnoće pojave 10% (generalno se koristi pri dimenzionisanju drenažnih sistema).

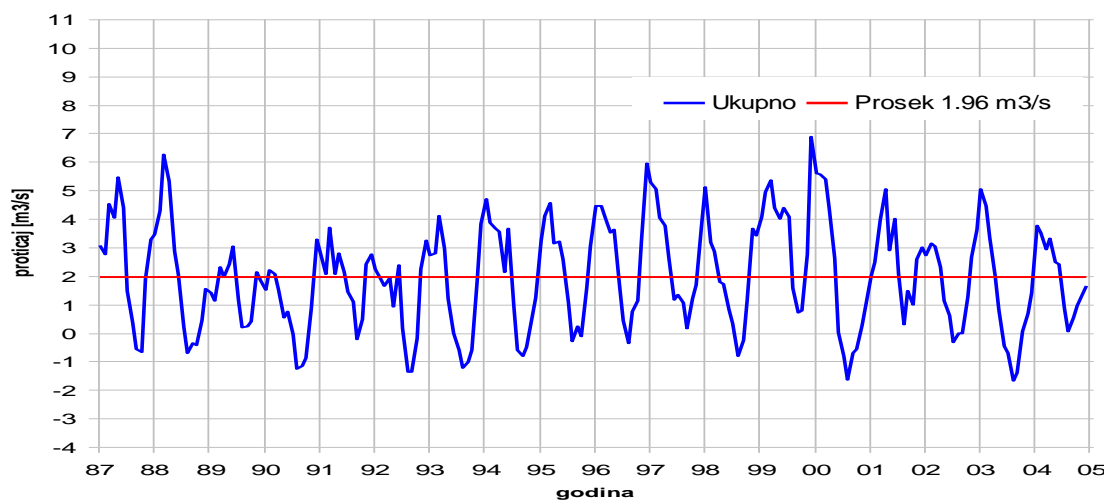
U svim proračunima analizirane su:

- ⇒ dubine zaleganja podzemnih voda, odnosno ugroženost površina plitkim zaleganjem podzemnih voda,
- ⇒ količine prepumpanih voda, i
- ⇒ količine evakuisanih voda po kanalima.

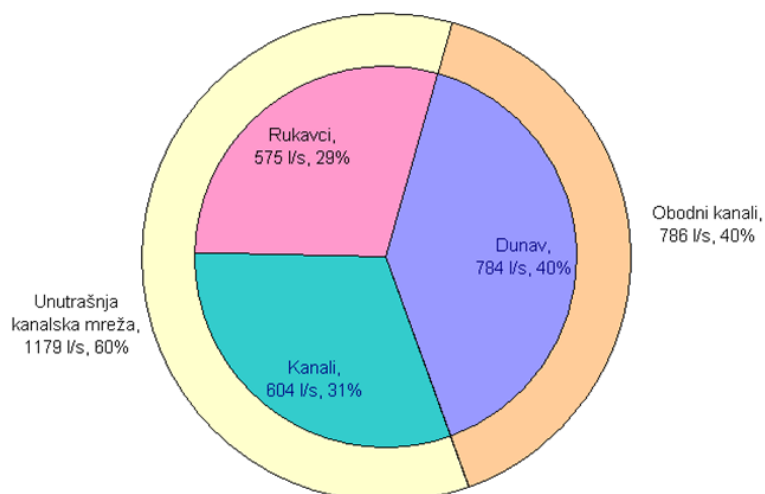
U cilju sagledavanja efikasnosti sistema za odvodnjavanje prikazani su rezultati hidrodinamičkih proračuna podzemnih voda Pančevačkog rita za različite scenarije upravljanja i rada drenažnog sistema, kao i za karakteristične mesece:

- ⇒ april 2006. godine, velike spoljne vode (Dunav, VS Pančevo 75,10 mm,  $Q=14.800 \text{ m}^3/\text{s}$ )
- ⇒ maj 2014. godine, velike unutrašnje vode (suma padavina tri puta veća od višegodišnjeg proseka za maj mesec).

**Scenario 1** – razdvajanje slivnih površina, zatvaranjem ustava; vodostaj Dunava osmotren/realizovan; izgrađena drenažna linija na sektoru uz Dunav, od kanala Karaš do CS Borča; kanali izvedeni prema postojećim projektima (gabaritno i dispoziciono), a nivoi u kanalima ispred crpnih bazena kao u sadašnim uslovima rada crpnih stanica.

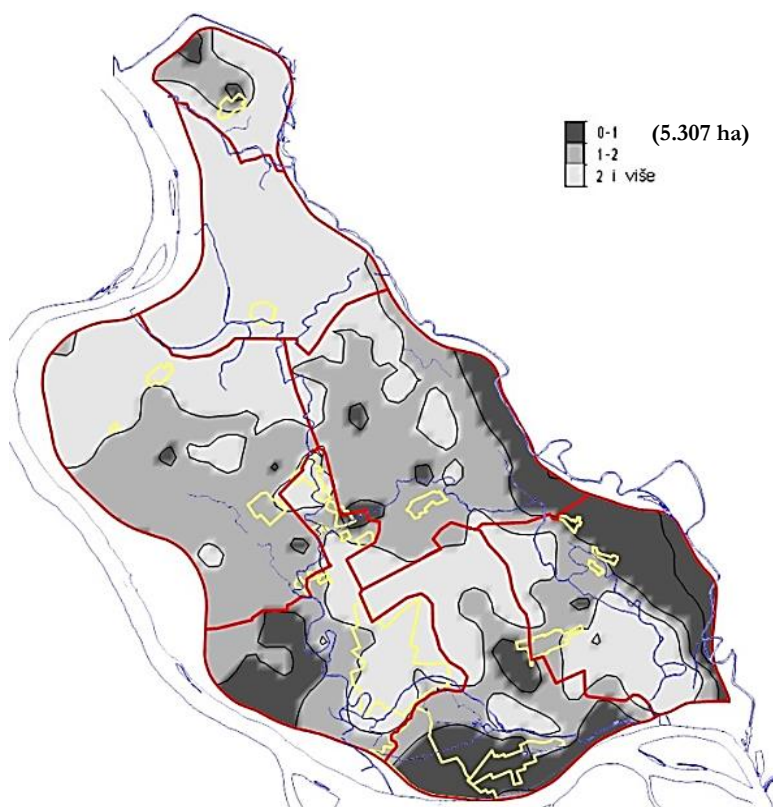


**Slika 5.19** Dijagram ukupno prepumpane vode na području Pančevačkog rita za usvojeni period obrade



**Slika 5.20** Uporedni prikaz sumarnih količina prepumpane vode

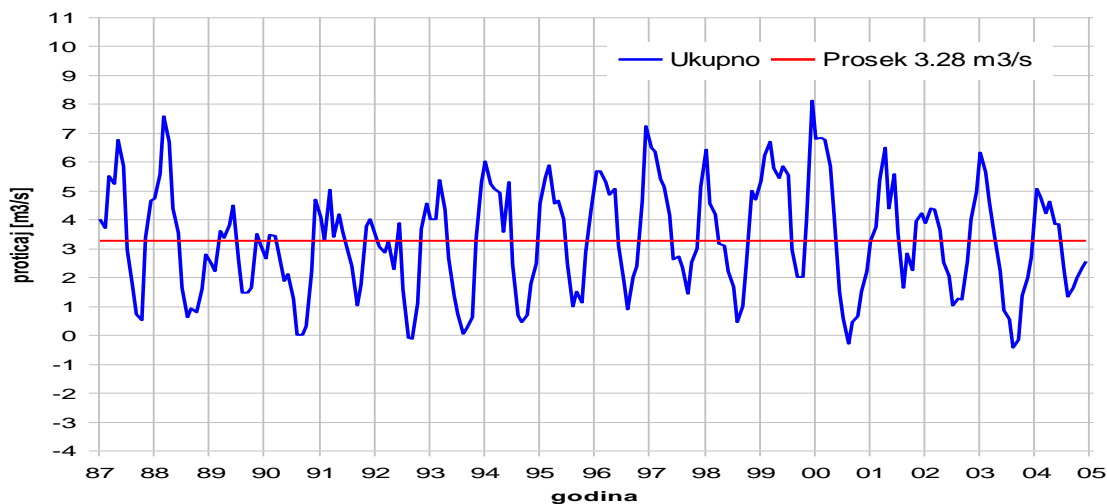
Na slici 5.20, za scenario 1, od ukupno prepumpanih voda iz Rita obodnim kanalima pripada 40%, a unutrašnjoj kanalskoj mreži 60%.



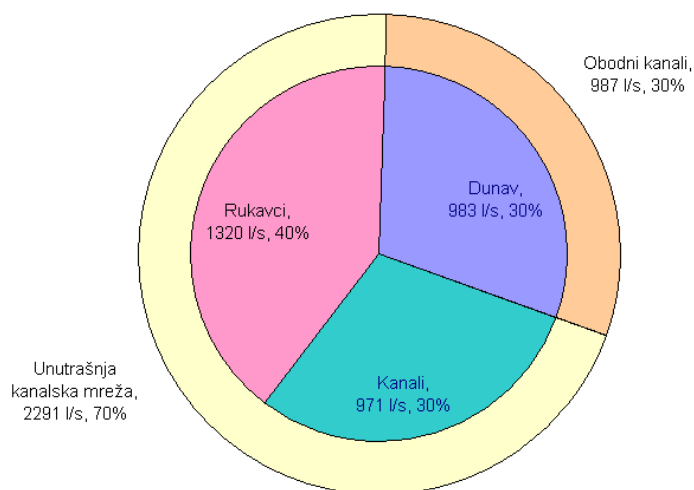
**Slika 5.21** Zaleganje nivoa podzemne vode verovatnoće pojave 10% za scenario 1

Prema uslovima iz scenarija 1, podzemne vode verovatnoće pojave 10% i dubine zaleganja do 1,0 m od površine terena ugrožavaju 5.307 ha, odnosno 19,40% Rita, što je za 36% manje ugroženih površina u odnosu na postojeće stanje.

**Scenario 2** - vodostaj Dunava osmotren/realizovan; izgrađena drenažna linija na sektoru uz Dunav, od kanala Karaš do CS Borča; kanali izvedeni prema postojećim projektima (dispoziciono), a nivoi u kanalima ispred crpnih bazena spušteni za 0,5 m.

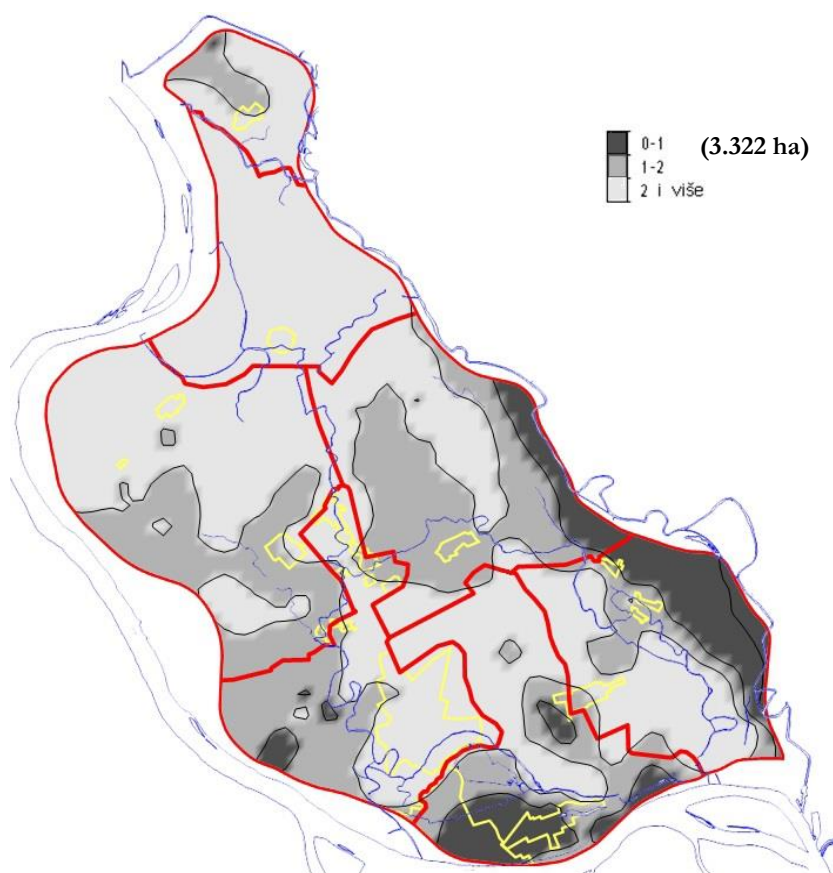


**Slika 5.22** Dijagram ukupno prepumpane vode na području Pančevačkog rita za usvojeni period obrade



**Slika 5.23** Uporedni prikaz sumarnih količina prepumpane vode

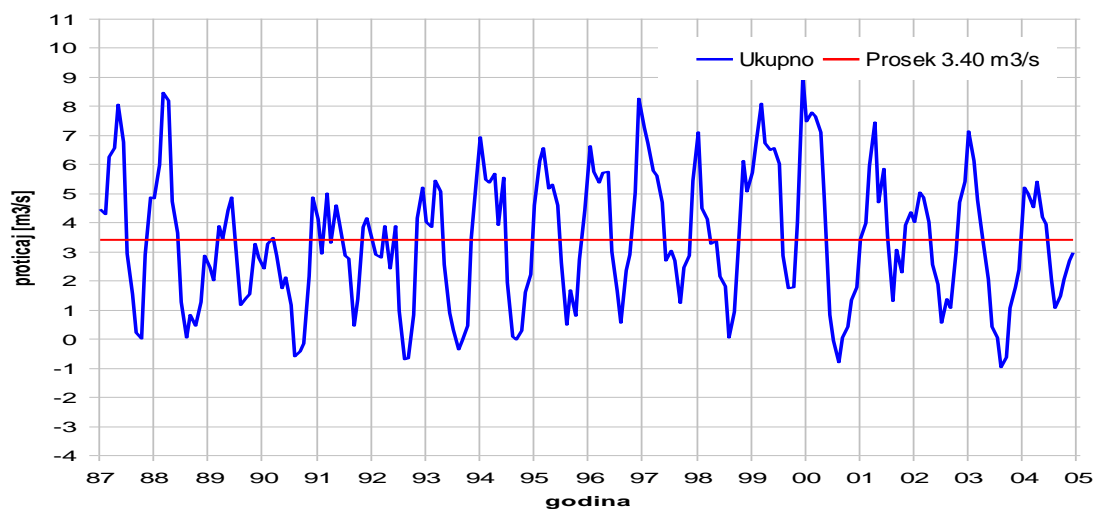
Spuštanjem nivoa vode u kanalima kod crpnih stanica za 0,5m (na sredinu projektovanog radnog režima) od ukupnog povećanja prepumpanih voda ( $1,53 \text{ m}^3/\text{s}$ ), u odnosu na postojeće stanje, 87% otpada na vode unutrašnje kanalske mreže.



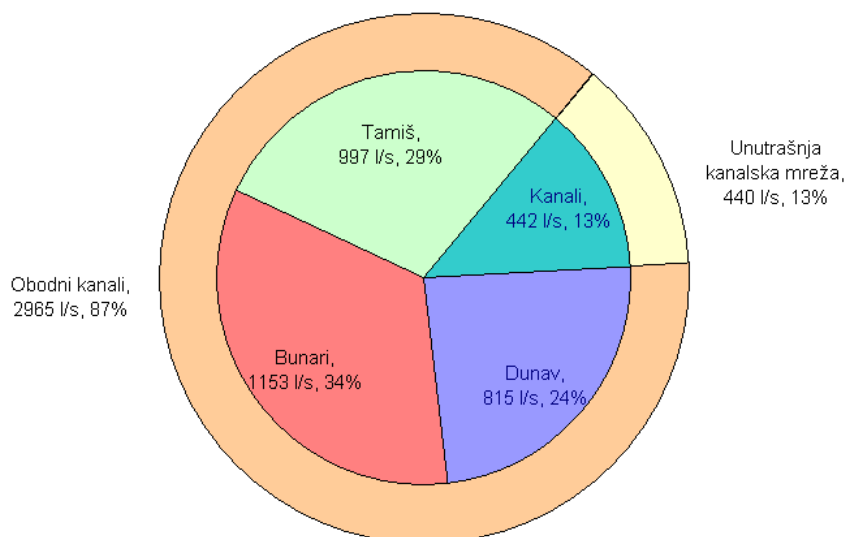
**Slika 5.24** Zaleganje nivoa podzemne vode verovatnoće pojave 10% za scenario 2

Prema uslovima iz scenarija 2, podzemne vode verovatnoće pojave 10% i dubine zaleganja do 1,0 m od površine terena ugrožavaju 3.322 ha, odnosno 12,10% Rira, što je za 60% manje ugroženih površina u odnosu na postojeće stanje, odnosno 37,50% manje ugroženih površina u odnosu na scenario 1.

**Scenario 3** - vodostaj Dunava osmotren/realizovan; izgrađena kompletna drenažna linija oko Rita, a na delu CS Borča - CS Reva drenažna zavesa dopunjena vertikalnim bunarima; kanali izvedeni prema postojećim projektima (gabaritno i dispoziciono), a nivoi u kanalima ispred crpnih bazena kao u sadašnjim uslovima rada crpnih stanica.



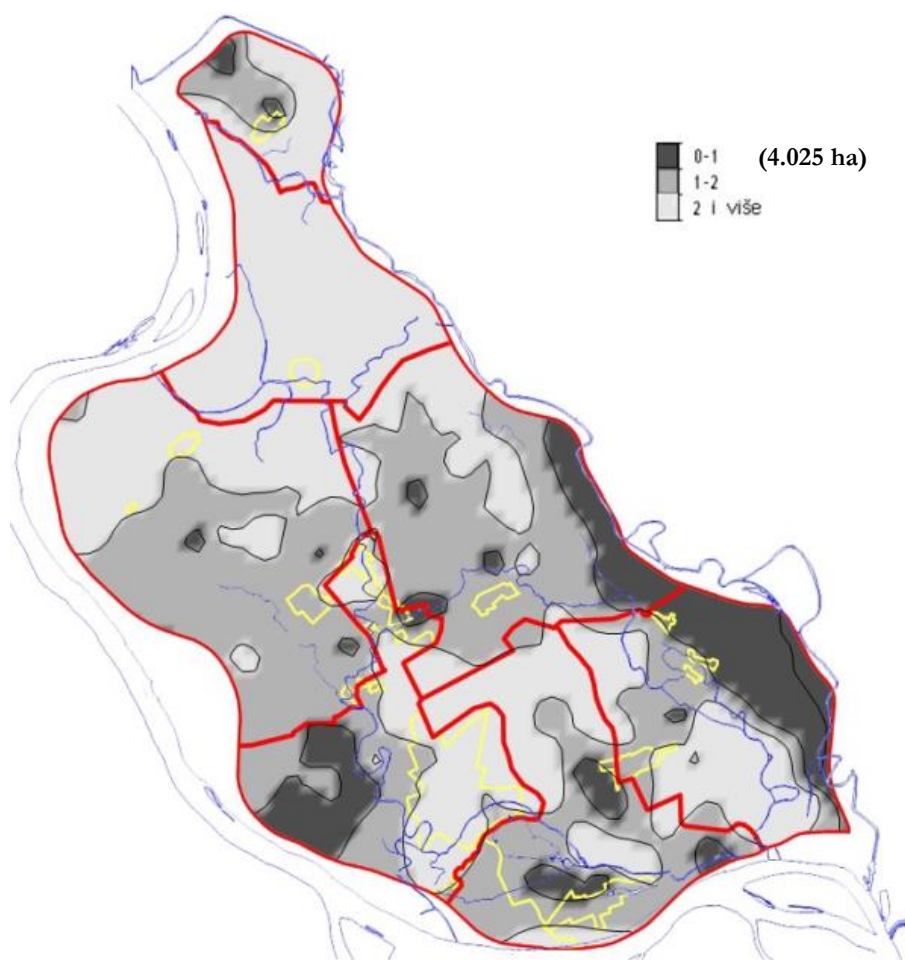
*Slika 5.25 Dijagram ukupno prepumpane vode na području Pančevačkog rita za usvojeni period obrade*



*Slika 5.26 Uporedni prikaz sumarnih količina prepumpane vode*

Kompletiranjem drenažne linije oko Rita, ukupno povećanja prepumpanih voda ( $1,65 \text{ m}^3/\text{s}$ ) otpada na vode iz obodnih kanala.

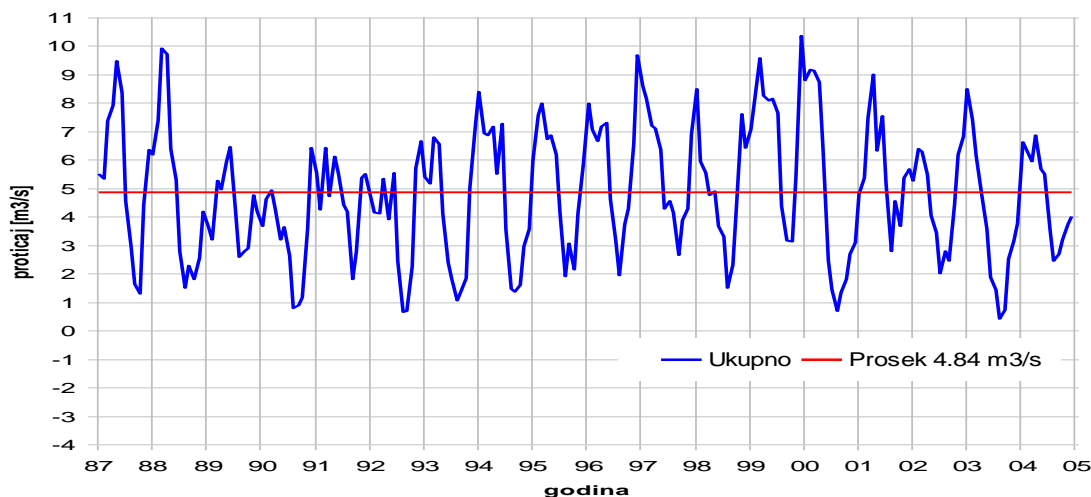




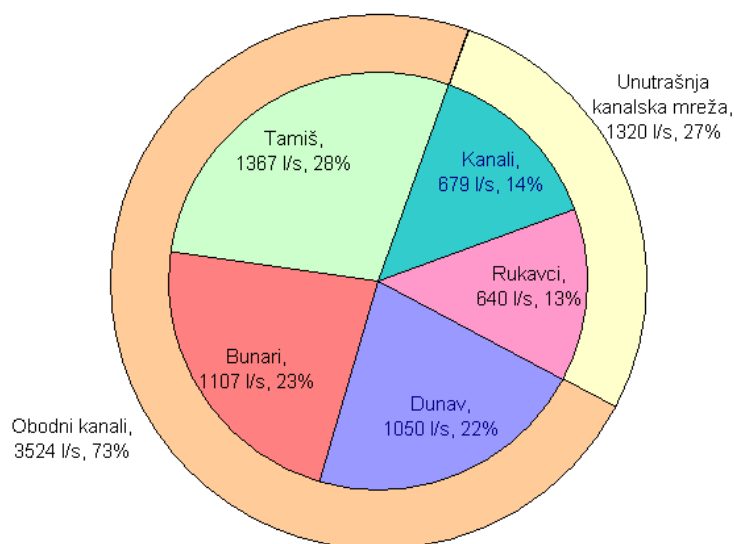
*Slika 5.27 Zaleganje nivoa podzemne vode verovatnoće pojave 10% za scenario 3*

Prema uslovima iz scenarija 3, podzemne vode verovatnoće pojave 10% i dubine zaleganja do 1,0 m od površine terena ugrožavaju 4.025 ha, odnosno 14,70% Rita, što je za 51,3% manje ugroženih površina u odnosu na postojeće stanje.

**Scenario 4** - vodostaj Dunava osmotren/realizovan; izgrađena kompletna drenažna linija oko Rita, a na delu CS Borča - CS Reva drenažna zavesa dopunjena vertikalnim bunarima; kanali izvedeni prema postojećim projektima (dispoziciono), a nivoi u kanalima ispred crpnih bazena spuštani za 0,5 m.

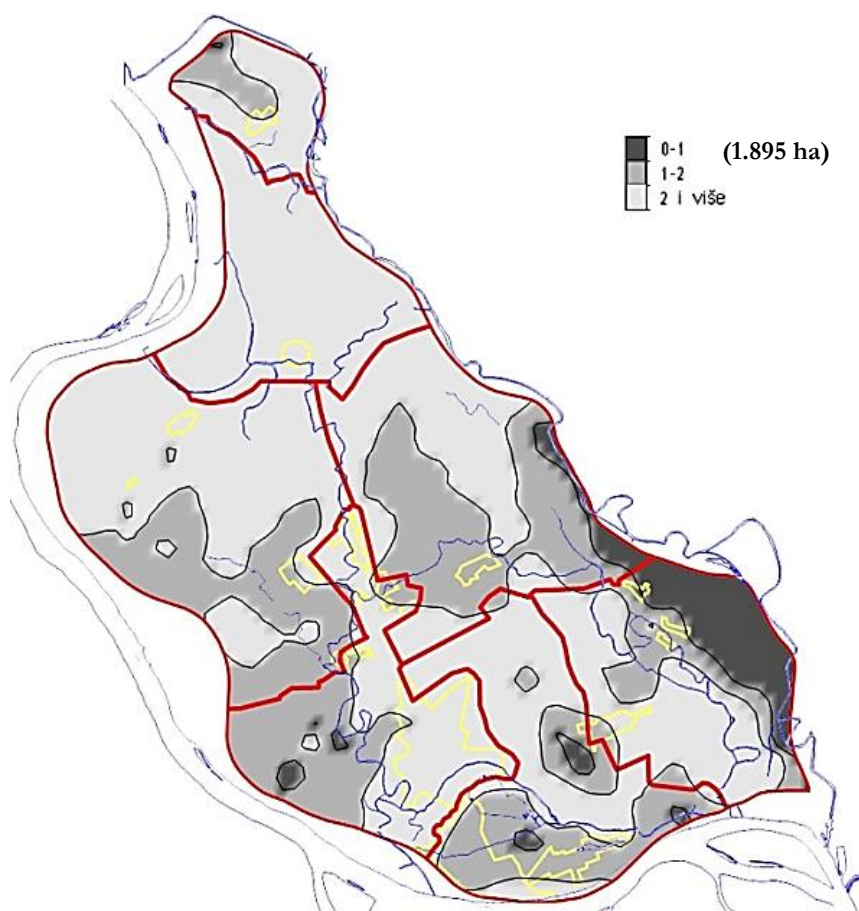


*Slika 5.28 Dijagram ukupno prepumpane vode na području Pančevačkog rita za usvojeni period obrade*



*Slika 5.29 Uporedni prikaz sumarnih količina prepumpane vode*

Spuštanjem nivoa vode u kanalima kod crpnih stanica za 0,5m (na sredinu projektovanog radnog režima) i kompletiranjem drenažne linije oko Rita, prepumpane vode su povećane 2,7 puta u odnosu na postojeće stanje.



*Slika 5.30 Zaleganje nivoa podzemne vode verovatnoće pojave 10% za scenario 4*

Prema uslovima scenarija 4, podzemne vode verovatnoće pojave 10% i dubine zaleganja do 1,0 m od površine terena ugrožavaju 1.895 ha, odnosno 7% Rita što je za 77,1% manje ugroženih površina u odnosu na postojeće stanje.

**Scenario 5** Scenarijem 5 je predviđeno kompleksno uređenje poljoprivrednih površina Pančevačkog rita. Drugim rečima, pored prethodno rečenog za scenario 4, potrebno je izgraditi horizontalnu cevnu drenažu na 1895 ha (uzimajući u obzir površine sa dubinom podzemne vode manjom od 1,00 m i zahtevima „savremene“ poljoprivredne proizvodnje).

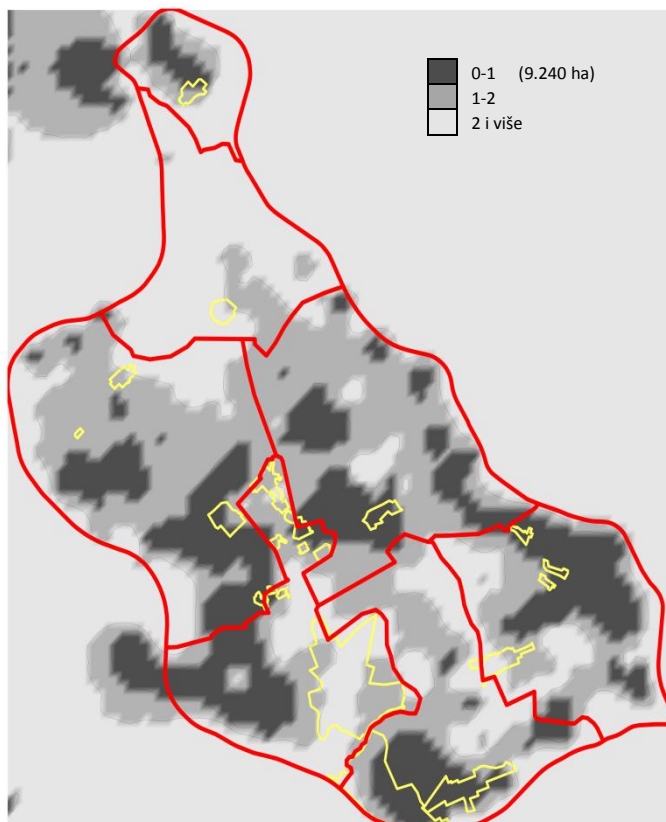
Imajući u vidu agropedološke zahteve za odvođenjem viška vode iz zemljišta (parcele) u roku tri dana, potrebe za izgradnjom horizontalne cevne drenaže su veće i kreću se do 5.000 ha, sa dodatnim crpnim stanicama.

### **Analiza efikasnosti drenažnog sistema u karakterističnim mesecima**

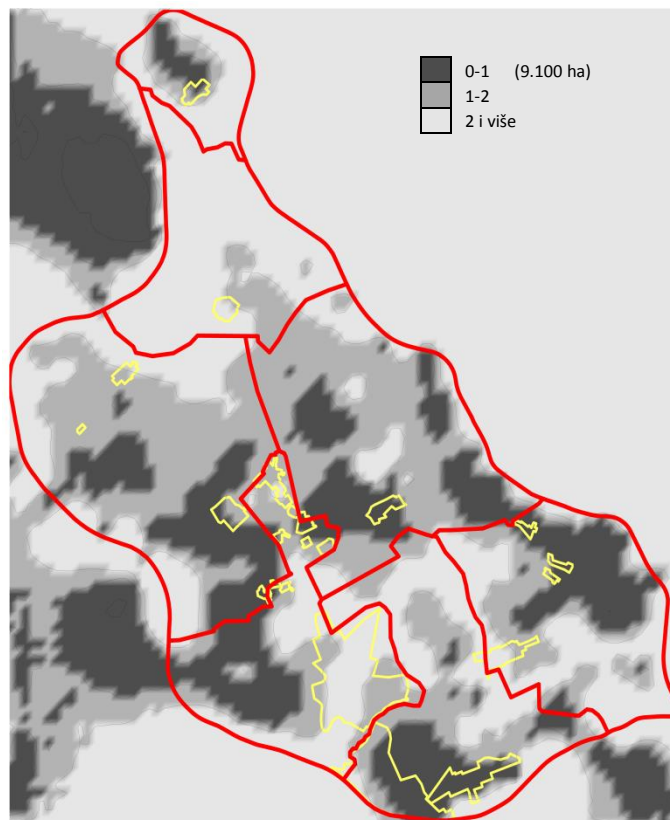
Analizom su sagledani efekti rada drenažnog sistema u aprilu 2006. (velike spoljne vode) i u maju 2014. godine (velike unutrašnje vode).

Na slici 5.31 prikazano je stanje u aprilu 2006. godine – Rit je posmatran kao jedno slivno područje, sa postojećom vodoprivrednom infrastrukturom i režimom rada, vodostaj Dunava iz aprila 2006., a padavine izmerene na MS Beograd. Ugrožene poljoprivredne površine, sa nivoima podzemnih voda plićim od 1,00 m, iznose 9.240,00 ha. Ukupno prepumpane vode iz Rita 7,50 m<sup>3</sup>/s.

Na slici 5.32 prikazano je stanje u maju 2014. godine – Rit je posmatran kao jedno slivno područje, sa postojećom vodoprivrednom infrastrukturom i režimom rada, vodostaj Dunava iz maja 2014., a padavine izmerene na MS Beograd. Ugrožene poljoprivredne površine, sa nivoima podzemnih voda plićim od 1,00 m, iznose 9.100,00 ha. Ukupno prepumpane vode iz Rita 5,60 m<sup>3</sup>/s.



*Slika 5.31 Zaleganje nivoa podzemnih voda u aprilu 2006. godine*



*Slika 5.32 Zaleganje nivoa podzemnih voda u maju 2014. godine*

## 5.6 DISKUSIJA DOBIJENIH REZULTATA

Analizom pojedinih karakterističnih faktora (ugrožene poljoprivredne površine, ukupno prepumpane količine vode, vode iz obodnih i iz unutrašnjih kanala), po različitim scenarijima izgradnje i upravljanja drenažnim sistemom, u sledećoj tabeli:

Scenario	Ukupno prepumpane vode (m <sup>3</sup> /s)	Vode iz obodnih kanala (m <sup>3</sup> /s)	Vode iz unutrašnjih kanala (m <sup>3</sup> /s)	Ugrožene poljoprivredne površine (ha)
$Sc_0$	1,75	0,79	0,96	8259,00
$Sc_1$	1,96	0,78	1,18	5307,00
$Sc_2$	3,28	0,99	2,29	3322,00
$Sc_3$	3,40	2,96	0,44	4025,00
$Sc_4$	4,84	3,52	1,32	1895,00

uočava se :

- ⇒ razdvajanje slivova kao neophodnim prvim korakom u upravljanju drenažnim sistemom ( $Sc_1$ ), za slične količine evakuisane vode, ugrožene poljoprivredne površine (zaleganje podzemnih voda pliće od 1,00 m) se smanjuju za više od jedne trećine (36%), a hidromodul odvodnjavanja je povećan za 11% ;
- ⇒ preduzimanjem upravljačkog koraka ( $Sc_2$ ), odnosno spuštanjem radnih nivoa kod crpnih stanica u sredinu projektovanog režima rada, smanjenje ugroženih površina je za 37% u odnosu na  $Sc_1$ , pri čemu je u ukupno prepumpanim količinama vode dominantno povećanje unutrašnjih voda (od ukupnog povećanja 1,320 m<sup>3</sup>/s na unutrašnje vode otpada 1,112 m<sup>3</sup>/s), dok je povećanje hidromodula za 68% ;
- ⇒ uvođenjem u funkciju komplet obodne drenažne linije, odnosno kompletna zaštita poljoprivrednog područja od spoljnih voda ( $Sc_3$ ), ukupno prepumpana količina vode se povećava 1,73 puta u odnosu na  $Sc_1$ , ugrožene površine se smanjuju za 24%, a hidromodul je veći za 74% ;
- ⇒ uvođenjem u funkciju komplet obodne linije i spuštanje radnog nivoa kod crpnih stanica za 0,50 m ( $Sc_4$ ) ugrožene površine se svode na 36% u odnosu na  $Sc_1$ , prepumpana količina vode se uvećava 2,50 puta, (dominantna komponenta u evakuisanim vodama su vode iz obodnih kanala, čije je povećanje 4,50 puta) i
- ⇒ za kompleksno uređenje poljoprivrednih površina ( $Sc_5$ ) potrebna je horizontalna cevna drenaža.

Sagledavajući efikasnost drenažnog sistema u Pančevačkom ritu, u uslovima velikih spoljnih voda, u aprilu 2006. godine ( Dunav, vs Pančevo 75,10 mm,  $Q = 14.800 \text{ m}^3/\text{s}$  ) i u uslovima velikih unutrašnjih voda, u maju 2014. godine (suma mesečnih padavina tri puta veće od višegodišnjeg proseka za mesec maj) uočava se :

- ⇒ sličan obim ugroženih poljoprivrednih površina podzemnim vodama do 1,00 m dubine (9.240,00 ha, odnosno 9.100,00 ha), pri čemu je u aprilu 2006. iz Rita evakuisano ( $7.50 \text{ m}^3/\text{s}$ ) za 34% više vode nego u maju 2014. godine ( $5,60 \text{ m}^3/\text{s}$ );

## **6. PRIKAZ METODOLOGIJE ZA POPRAVLJANJE ODABRANIH POKAZATELJA UČINKA DRENAŽNIH SISTEMA**

### **6.1 PREGLED MOGUĆIH NEODREĐENOSTI KOD POKAZATELJA UČINKA DRENAŽNIH SISTEMA NA POLJOPRIVREDNIM PODRUČJIMA**

Svrha procene učinka drenažnih sistema je da se oceni funkcionisanje sistema u odnosu na postavljene standarde, korišćenjem nekih prihvaćenih pokazatelja. U ovom radu ocena učinka je bila usmerena na definisanje i proračun učinaka drenažnih sistema na poljoprivrednim područjima. Istraživanjem je analizirana i neodređenost sračunatih izabranih pokazatelja, imajući u vidu tačnost ulaznih podataka na osnovu kojih se oni računaju. Najzad, u radu je predložena metodologija za izbor, proračun i popravljajanje pokazatelja učinka drenažnih sistema. Metodologija obuhvata mere koje se odnose kako na smanjenje neodređenosti pokazatelja drenažnih sistema, tako i na mere vezane za ekonomski i socijalno opravdano poboljšanje samih vrednosti pokazatelja.

Učinak drenažnih sistema bazirao se na rezultatima dve vrste modelskih istraživanja:

- ⇒ Numeričko modeliranje dinamike podzemnih voda;
- ⇒ Dinamička višekriterijumska analiza pokazatelja efikasnosti drenažnog Sistema.

#### **6.1.1 Neodređenost u analizama i projektovanju hidrotehničkih sistema**

Pojave rizika i neodređenosti pri projektovanju hidrotehničkih sistema, detaljno su analizirali *Mays & Tung (1992)*. U daljem tekstu je dat kratak osvrt o rizicima i neodređenosti, pri projektovanju hidrotehničkih sistema.

Analize rizika i pouzdanosti pri projektovanju hidrosistema zahtevaju određivanje neodređenosti kao i definicije rizika i pouzdanosti. Neodređenost bi jednostavno mogla biti definisana kao pojava događaja koji su izvan kontrole. Neodređenost kod hidrotehničkih sistema je karakteristika koja nije deterministička i koja je izvan rigidne kontrole. Prilikom projektovanja hidrosistema moraju se donositi odluke koje su pod uticajem različitih vrsta neodređenosti. Generalno govoreći, neodređenosti u oblasti projektovanja hidrotehničkih sistema mogu biti podeljene u sledeće osnovne grupe: hidrološke, hidrauličke, strukturne i ekonomske.



- ⇒ **Hidrološka neodređenost** može biti klasifikovana kao: svojstvene, parametarske i modelske neodređenosti. Pojava hidroloških događaja, kao što su tečenje u rekama ili padavine, mogu se smatrati stohastičkim procesima zbog osmotrene prirodne ili svojstvene slučajnosti. Zbog nedostatka pouzdanih hidroloških informacija o tim procesima, kao što je nedovoljno dug period snimanja i osmatranja, postoji informaciona neodređenost. Te neodređenosti mogu se pripisati parametarskoj ili modelskoj neodređenosti.
- ⇒ **Hidraulička neodređenost** se odnosi na neodređenost procesa projektovanja i analizi performansi hidrotehničkih objekata. Hidraulička modelska neodređenost se odnosi na primenu pojednostavljenih modela koji dovode do nepouzdatih projektovanih karakteristika hidrotehničkih objekata.
- ⇒ **Stukturna neodređenost** se odnosi na oštećenja objekata na hidrosistemu usled sopstvenih slabosti objekata. Fizička oštećenja hidrauličkih objekata nekog hidrosistema mogu biti prouzrokovana mnogobrojnim uzrocima kao što su saturacija zemljišta i gubitak stabilnosti objekta, erozija zemljišta u zoni objekata, hidrauličko preopterećenje, itd.
- ⇒ **Ekonomska neodređenost** proističe iz neodređenosti troškova izgradnje objekata hidrosistema, troškova nadoknade oštećenih objekata, projektovanih prihoda, troškova upravljanja i održavanja, inflacije, projektovanog roka trajanja objekata i drugih pokazatelja vezanih za troškove i koristi.

## 6.1.2 Neodređenost numeričkih modela

Kao osnovni uzroci neodređenosti numeričkih modela strujanja podzemnih voda (*Willamann et al., 2015.*) navode se:

### Neodređenost ulaznih parametara

Pod ovim se podrazumeva heterogenost ulaznih podataka, greške u merenju, interpretacija rezultata lokalnih merenja i nepoznati granični uslovi.

### Neodređenost numeričkog modeliranja dinamike podzemnih voda

Neodređenost numeričkog modeliranja dinamike podzemnih voda obuhvata: kalibraciju numeričkog modela (ne postoji jedinstven pristup pri kalibraciji različitih numeričkih modela); neodređenost strukture modela (najčešće je posledica nedovoljnog poznavanja

geoloških karakteristika terena); neodređenost pri ekstrapolaciji dobijenih rezultata u prostoru i vremenu i numerička neodređenost kod nelinearnih problema.

### **6.1.2.1 Neodređenost ulaznih parametara**

Režim podzemnih voda na poljoprivrednim područjima, udaljenim od vodnih tela (prirodni vodotoci, kanali, jezera i akumulacije) zavisi od padavina, infiltracije, evapotranspiracije i dotoka vode iz dubljih arteskih horizonata. Režim podzemnih voda postaje izuzetno složen ukoliko vodotoci okružuju ili su blizu poljoprivrednog područja. U takvim slučajevima se režim podzemnih voda nalazi pod uticajem doticaja, odnosno oticaja ka spoljnim vodama.

### **Neodređenost procene visina padavina**

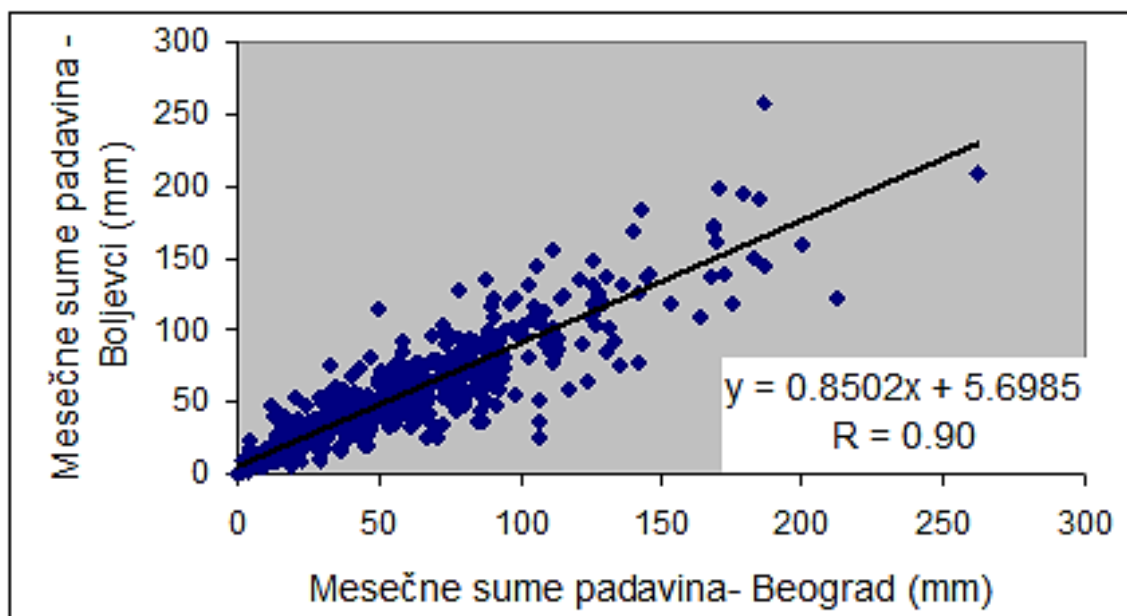
Sa aspekta poljoprivrede, padavine, pored temperature vazduha, predstavljaju najznačajniji klimatski parametar. Padavine predstavljaju veoma bitan deo bilansa voda na poljoprivrednom zemljištu, pa neodređenost u pogledu procene veličine padavina može imati značajan uticaj u analizama potreba za odvodnjavanjem.

Veoma često na poljoprivrednim područjima ne postoje kišomerene stanice, pa se za hidrološke analize moraju koristiti podaci sa meteoroloških stanica najbližih gradova. Problem korišćenja podataka sa meteoroloških stanica u gradovima za procenu visine padavina na obližnjim poljoprivrednim površinama postaje sve izraženiji što su gradovi veći. Postoji nekoliko hipoteza o uticaju velikih gradova na visinu padavina (<http://earthobservatory.nasa.gov>). Prema prvoj hipotezi urbane sredine predstavljaju „toplotna ostrva“. Beton, asfalt i čelik, predstavljaju adsorpcione materijale za toplotu koju kasnije emituju. Ako se tome pridoda i količina toplote koju svi gradski uređaji i mašine ispuštaju u atmosferu, onda je jasno da temperatura vazduha u gradovima raste. Procenjuje se da je temperatura u velikim gradovima viša od 3 do 4°C u odnosu na prigradska i ruralna područja u okolini. Topao vazduh teži da se penje u više slojeve atmosfere, gde se hladi formirajući kišonosne oblake. Druga hipoteza odnosi se na karakter strujanja vazduha. Naime, strujanje vazduha iznad poljoprivrednih površina i gradova je potpuno različito; dok je strujanje vazduha iznad poljoprivrednih površina pravolinijsko, strujanje vazduha iznad velikih gradova je haotično. Visoke zgrade dovode do konvergencije vazdušnih strujanja što može da dovede do pojave lokalnih pljuskova. Najzad, poznato je da bez prisustva takozvanih nukleusa ne može doći do kondenzacije vodene pare u oblacima.

Nukleusi su sitne čestice, prašina i produkti sagorevanja fosilnih goriva. Kako je u velikim gradovima vazduh najčešće veoma zagađen, koncentracija nukleusa u vazduhu je veoma visoka što dovodi do pojave čestih padavina.

Rezultati istraživanja ukazuju da su izmerene padavine na meteorološkoj stanici Beograd veće u odnosu na izmerene padavine u široj i bližoj okolini Beograda. Tako su na primer prosečne sume godišnjih padavina u Beogradu, u periodu od 1965. do 2000. godine, za oko 80 mm veće u odnosu na Sremsku Mitrovicu (Stričević *et al.*, 2005.).

Interesantni su i rezultati upoređenja padavina sa ruralnim područjima u okolini Beograda. Na slici 6.1 prikazana je korelaciona zavisnost srednjih mesečnih padavina u Beogradu i ruralnom području u Boljevcima (Gregorić, 2008.). Boljevci se inače nalaze pored reke Save, 40 km uzvodno od Beograda. Za raspon padavina od 100 do 250 mm mesečno u Beogradu, padavine su u Boljevcima bile od 11% do 15% manje, za isti raspon padavina.



*Slika 6.1 Korelaciona zavisnost mesečnih suma padavina za Beograd i Boljevce (Gregorić, 2008.)*

### Neodređenost procene evapotranspiracije

Ako je režim podzemnih voda pod dominantnim utjecajem klimatskih faktora, oscilacije nivoa podzemnih voda u funkciji vremena prvenstveno zavise od razlike padavina i evapotranspiracije. Evapotranspiracija predstavlja potrebu useva za vodom I, u uslovima navodnjavanja, ona je ključni parametar pri projektovanju.

Pouzdani podaci o evapotranspiraciji mogu se dobiti merenjima. Uređaji za merenje evapotranspiracije se nazivaju lizimetri. Na slici 6.2 je prikazan izgled jednog tipičnog komercijalnog lizimetra. Nažalost, lizimetri su skupi uređaji pa se merenja evapotranspiracije vrše uglavnom u razvijenim zemljama. Zbog toga se već nekoliko decenija razvijaju empirijske formule za proračun evapotranspiracije. Cilj svih do sada predloženih formula je bio da se na osnovu podataka o vrednostima izmerenih ključnih klimatskih faktora za dato područje dođe do procene vrednosti evapotranspiracije.

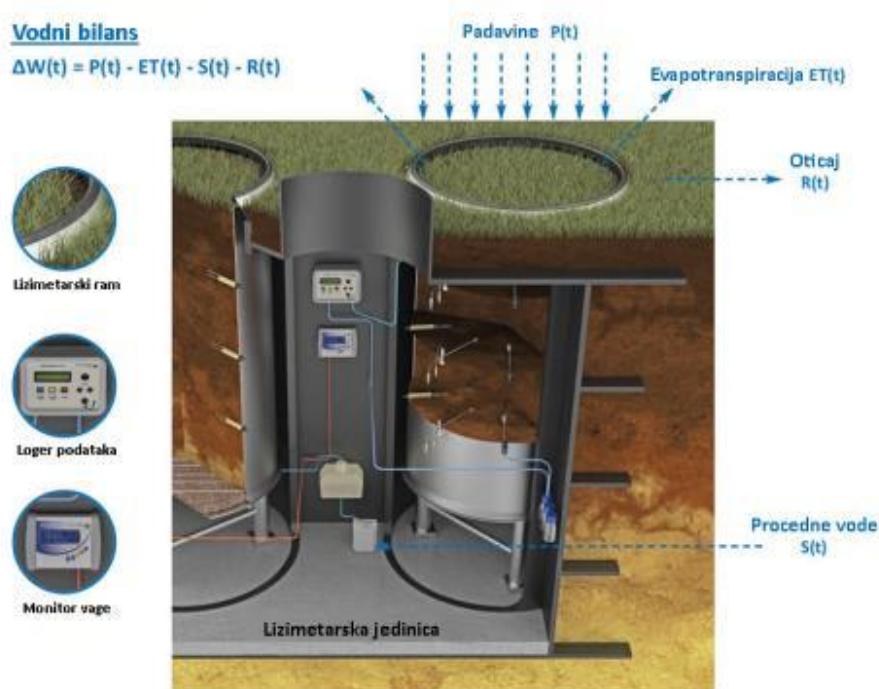
Praktično sve empirijske formule kao i metode bazirane na bilansu energije (Penmanova metoda) daju kao rezultat referentnu evapotranspiraciju  $ET_0$ . Evapotranspiracija useva  $ET_c$  dobija se množenjem vrednosti referentne evapotranspiracije  $ET_0$  i odgovarajuće vrednosti koeficijenta evapotranspiracije useva  $k_c$ :

$$ET_c = k_c \cdot ET_0, \quad \text{gde je:}$$

$ET_c$  – evapotranspiracija useva,

$ET_0$  – referentna evapotranspiracija

$k_c$  – koeficijent evapotranspiracije useva



**Slika 6.2** Tipičan izgled lizimetra

<http://www.ugt-online.de/en/produkte/lysimetertechnik/lysimeter.html>

Referentna evapotranspiracija  $ET_0$  izražava efekte klimatskih karakteristika područja, dok  $k_c$  obuhvata karakteristike useva.

Pod pojmom referentna evapotranspiracija se podrazumeva „iznos evapotranspiracije sa velike površine travnatog terena, gde je visina zelenog pokrivača uniformna i iznosi od 8 do 15 cm. Pri tom se podrazumeva da je travnati pokrivač u fazi aktivnog rasta u uslovima neograničenog snabdevanja vodom“.

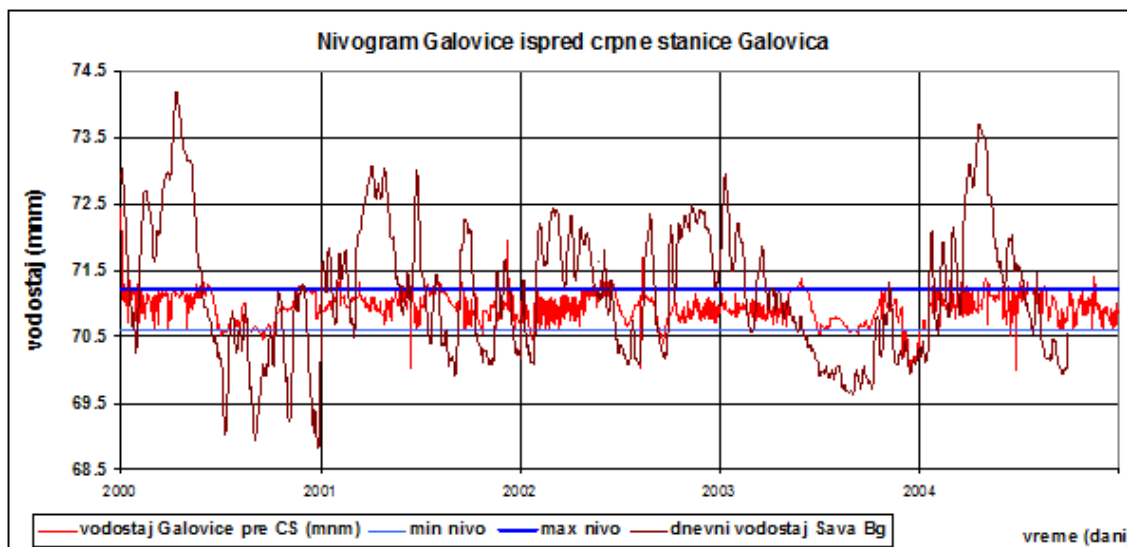
U najjednostavnijim formulama je uzimana u obzir samo srednja temperatura vazduha, zatim su postepeno uvedeni i podaci o relativnoj vlažnosti vazduha, srednjoj brzini vetra i sunčevoj radijaciji. Većina formula je razvijena i testirana u S.A.D. jer je u toj zemlji instaliran ogroman broj lizimetara, što je omogućavalo kalibraciju i verifikaciju rezultata različitih formula. Od mnoštva formula koje su do sada razvijene za proračun referentne evapotranspiracije već petnaestak godina se najviše preporučuje formula Penman-Monteith-a (*FAO-56, Allen et al. 1998.*). Neki istraživači čak smatraju da je formula Penman-Monteith-a postala standard za proračun referentne evapotranspiracije (*Walter et al. 2000.*). Formula Penman-Monteith-a ima dve bitne prednosti u odnosu na ostale formule. Najpre, formula je bazirna na bilansu energije, pa se može globalno primenjivati u čitavom svetu bez ikakvog podešavanja ključnih parametra. Osim toga primena te fomule je izuzetno dobro dokumentovana u širokom spektru softverskih rešenja, a dobijeni rezultati su provereni na veoma velikom broju različitih tipova lizimetara (*Droogers & Allen, 2001.*).

Osnovni problemi koji se javljaju pri primeni Penman-Monteith-ove metode su sledeći:

- ⇒ Zahteva se merenje većeg broja veličina (temperatura i vlažnost vazduha, sunčeva radijacija, brzina vetra). Naime, u praksi se za većinu lokacija poljoprivrednih zemljišta raspolaže samo sa podacima o temperaturi vazduha, i
- ⇒ Sam proračun je znatno složeniji u odnosu na druge empirijske formule.

Sedamdesetih i osamdesetih godina dvadesetog veka Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ je vršio obimna istraživanja i merenja evapotranspiracije na nekoliko lokacija u Srbiji. Jedan lizimetar je bio postavljen na eksperimentalnom polju u Pančevačkom ritu (slika 6.3). Osnovna karakteristika lizimetra je bila mogućnost održavanja konstantnog nivoa podzemne vode. Cilj istraživanja je bio da se uspostavi korelacija između izmerenih vrednosti referentne evapotranspiracije i nekog klimatskog parametra koji se svakodnevno meri na obližnjoj meteorološkoj stanici u Beogradu. Kao referentni klimatski parametri odabrani su srednja relativna vlažnost i temperatura vazduha. Nakon nekoliko godina istraživanja uspostavljena je zadovoljavajuća korelacija između relativne vlažnosti i temperature vazduha u Beogradu i referentne evapotranspiracije u Pančevačkom ritu.





*Slika 6.4 Upoređenje nivograma Save sa nivogramom kanala Galovica u profilu ispred crpne stanice Galovica (Gregorić, 2008.)*

#### **6.1.2.2 Neodređenosti numeričkog modeliranja dinamike podzemnih voda**

Poznavanje režima podzemnih voda, u različitim prirodnim uslovima, predstavlja osnov za izbor i primenu tehnički ispravnih i ekonomskih opravdanih rešenja u oblasti upravljanja režimom podzemnih voda. Rizik od prevlaživanja poljoprivrednog zemljišta podzemnim vodama je u manjoj ili većoj meri zastupljen na svim poljoprivrednim površinama.

Upravljanje režimom podzemnih voda na poljoprivrednim područjima je značajno i predstavlja veoma složen i kreativan posao, koji iziskuje pouzdane informacije o prirodnoj sredini i primenjenim drenažnim sistemima.

Danas se definisanje režima podzemnih voda ne može ni zamisliti bez numeričkog modeliranja dinamike podzemnih voda. U opštem slučaju, matematički model strujanja podzemnih voda je predstavljen sistemom jednačina, kojima se opisuje dato strujanje, uređenih za rešavanje nekom od numeričkih metoda na računaru, zatim graničnim i početnim uslovima, kao i parametrima oblasti strujanja (geometrija, filtracione karakteristike). Zadatak modela je da kroz seriju hidrodinamičkih proračuna simuliraju uslove režima podzemnih voda, kako u prirodnim uslovima, tako i u uslovima primene raznih tehničkih mera. Primena matematičkog modela je u ovom radu predviđena zbog njegove nezamenljive sposobnosti da relativno lako integriše i kvantifikuje pojedinačne uticaje različitih parametara na inače komplikovan sistem podzemnih voda izučavane izdani (Božić, 2010).

Pri primeni numeričkih modela za simuliranje dinamike podzemnih voda, ma kako sofisticirani oni bili, uvek postoji neki stepen neodređenosti u pogledu sposobnosti modela da verno prikažu i prognoziraju složenu dinamiku kretanja podzemnih voda. Neizvesnost izlaznih rezultata numeričkih modela može poticati od neodređenosti konceptualnih modela, ulaznih parametara i sposobnosti modela da efikasno simuliraju prirodne uslove (*Pobll et al., 2002.*). Dakle, sugeriše se da se prilikom korišćenja numeričkih modela za simulaciju kretanja podzemnih voda moraju obavezno uključiti i analize neodređenosti ulaznih parametara. Izbor ulaznih parametara za koje je neophodno izvršiti analizu neodređenosti zavisi od prirode samog problema. Za veoma kompleksan problem zagađenja i transporta zagađujućih materija u podzemnim vodama u Centralnoj Nevadi (S.A.D) bilo je neophodno analizirati neodređenost šest najvažnijih ulaznih parametara: graničnih uslova pijezometrskih kota korišćenih u numeričkom modelu, prostornih rasporeda formacije bigra, efektivne poroznosti, sorpcionog koeficijenta, koeficijenta difuzije i procesa geohemijskog oslobađanja zagađenja definisanog funkcijom (*Pobll et al., 2002.*). Neodređenost svih šest odabranih parametara prvo je analizirana korišćenjem statističkih raspodela. Zatim je korišćena standardna metoda Monte Carlo, za uzorke iz statističkih raspodela, za potpunu procenu neodređenosti parametara. I pored toga što je utvrđeno da je neodređenost ulaznih parametara velika, neodređenost granica propagacije polutanata je bila relativno mala. Naime, zbog malih brzina transporta polutanata velike neodređenosti ulaznih parametara su bile amortizovane.

### **Neizvesnost i neodređenost funkcionisanja drenažnih sistema na poljoprivrednim područjima u Srbiji u uslovima budućih klimatskih promena**

Većina drenažnih sistema u Srbiji je projektovana u skladu sa klimatskim i hidrološkim karakteristikama u dvadesetom veku. Međutim, sva dosadašnja istraživanja su pokazala da su klimatske promene u svetu, pa i u Srbiji, tokom dvadesetog i početkom dvadesetprvog veka evidentne. Generalno govoreći, na području Srbije se poslednjih godina javljaju učestale suše, ali i poplave, posebno na manjim i srednjim vodotocima. Promene u učestalosti i intenzitetu ekstremnih vremenskih pojava još je jedna od karakteristika buduće klime. Primeri ranjivosti našeg društva na ekstremne vremenske pojave iz bliske prošlosti (poplave 2014., suša 2012., toplotni talasi 2007. i 2012. godine), ukazuju na relevantnost informacije o izmenjenim klimatskim uslovima i mogućim daljim promenama, posebno



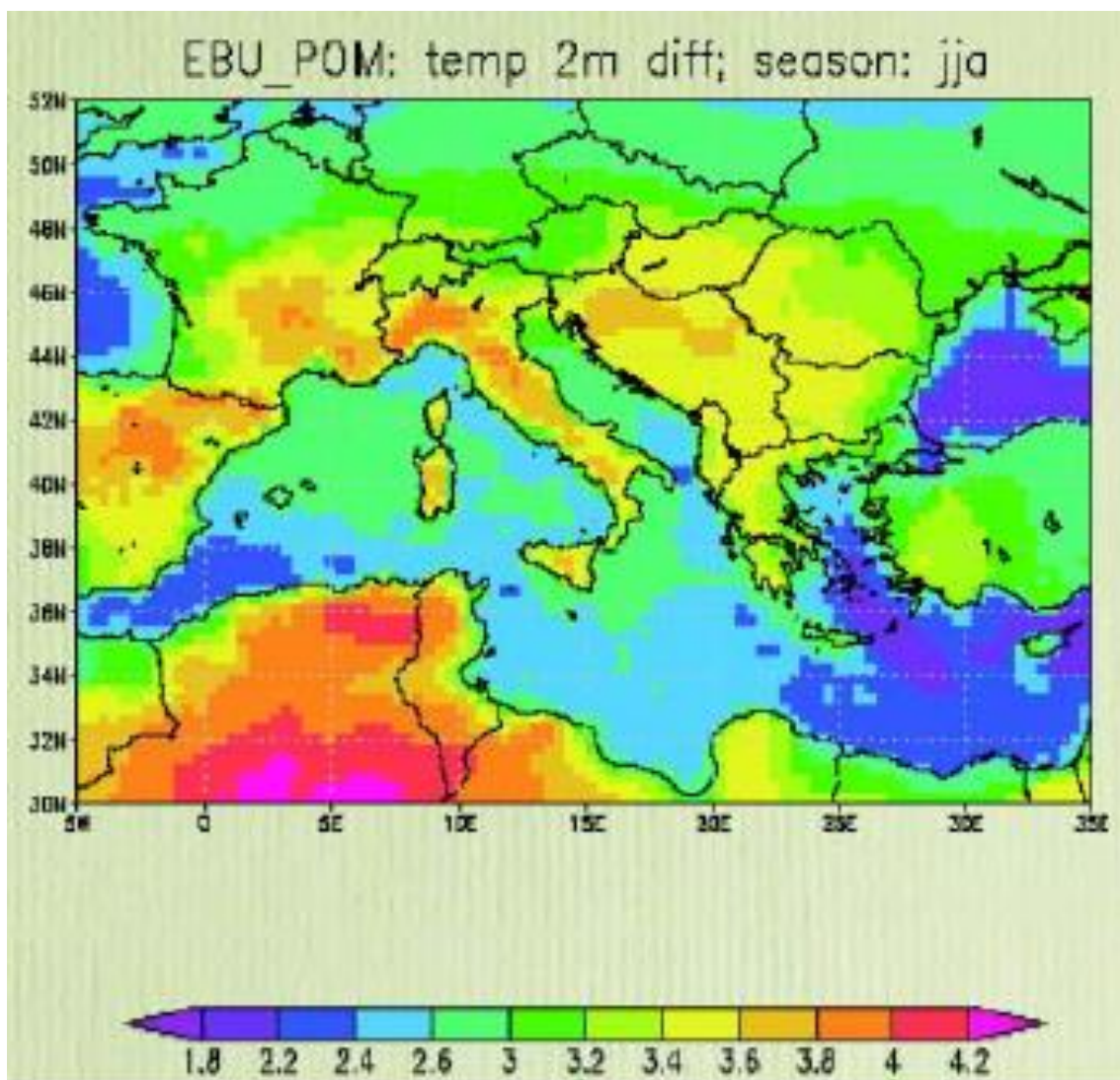
zbog pripreme strateških i planskih dokumenata, kako bi rizici od negativnih uticaja bili svedeni na minimum (*Đurđević i sar., 2015.*).

Kao i većini zemalja u svetu i u Srbiji se poslednjih godina posvećuje ogromna pažnja klimatskim promenama izazvanih ljudskim aktivnostima. Potrebno je naglasiti da se nivo istraživanja znatno podigao uključivanjem domaćih eksperata u projekte regionalnog klimatskog modeliranja, kao što je na primer projekat **SINTA: SIMulations of climate chaNge in the mediTerranean Area** (*Gualdi et al., 2008.*).

U pogledu problema odvodnjavanja poljoprivrednih površina u Srbiji jedno od ključnih pitanja je da li su postojeći sistemi dovoljni, predimenzionisani, ili je potrebno graditi nove sisteme za odvodnjavanje sa poljoprivrednih površina. U daljem tekstu biće data analiza promena temperature vazduha i padavina na funkcionisanje poljoprivrednih drenažnih sistema u uslovima klimatskih promena.

### **Promene temperature vazduha i pojava suša**

Prema rezultatima klimatskih modela povećanje srednje godišnje temperature u Evropi, na kraju dvadesetprvog veka (period 2071.-2100.) u odnosu na klimatsku normalu 1961.-1990., kretaće se u opsegu od 2 do 3 stepena (*Papović i sar., 2009.*). Ove prognoze su date prema umerenom scenariju, koji podrazumeva da će koncentracija CO<sub>2</sub> na kraju veka iznositi 700 ppm (slika 6.5). Za područje Srbije promena srednje godišnje temperature kreće se oko +2,5 stepena, pri čemu je najveća promena srednje letnje temperature koja iznosi oko +3,5 stepena. Prema scenarijima promene buduće klime dobijenih regionalnim klimatskim modelom EBU-POM do kraja veka srednja godišnja temperatura u Srbiji bi mogala da poraste i do 4 °C u odnosu na vrednosti iz sredine dvadesetog veka, dok bi u pojedinim sezonama ova anomalija mogla biti i veća (*Đurđević i sar., 2015.*).

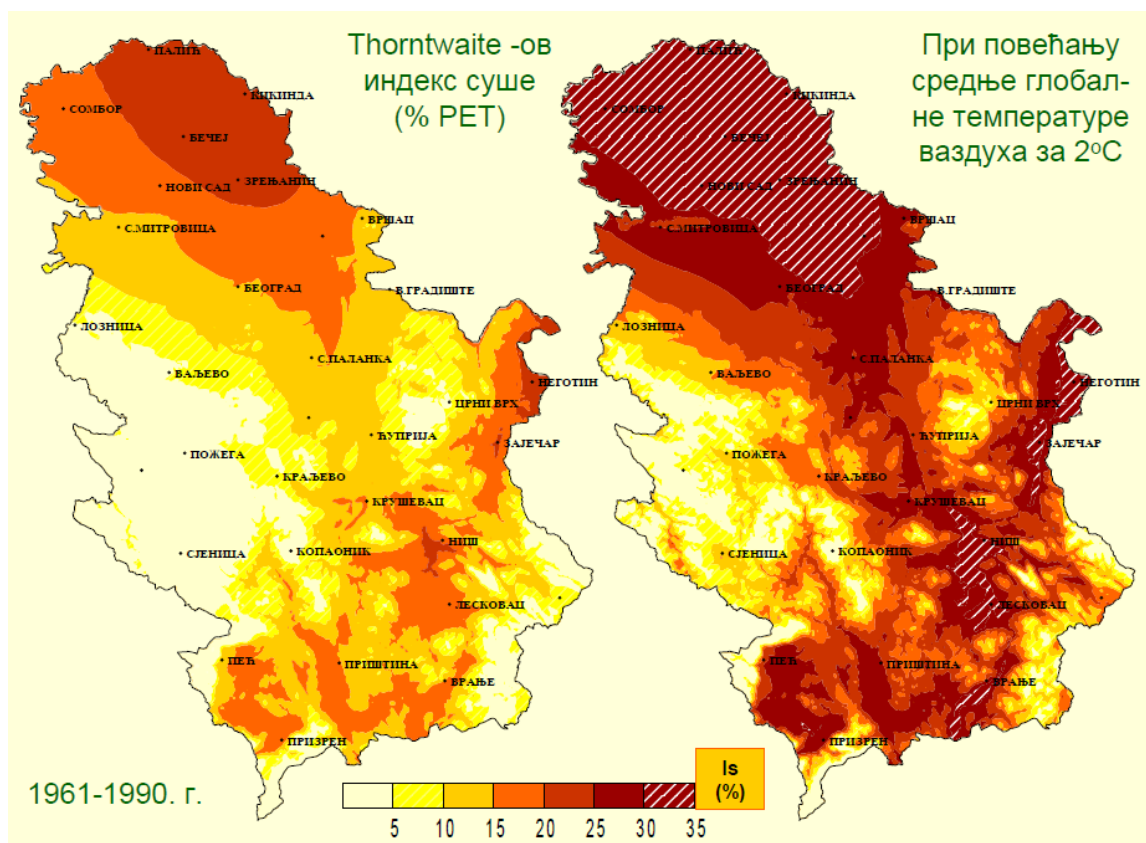


**Slika 6.5** Povećanje srednje letnje temperature vazduha u °C, u Evropi i Srbiji, za period 2071.-2100.

(Dankers & Hiederer, 2008.)

Ukoliko se dvadesetprvi vek završi sa većim koncentracijama CO<sub>2</sub>, što predviđaju neki „agresivniji“ scenariji klimatskih promena, povećanje temperature vazduha može biti dvostruko veće u odnosu na prethodno prikazane vrednosti.

Porast temperature vazduha svakako će uticati i na porast evapotranspiracije, odnosno potreba useva za vodom. Na slici 6.6 su prikazani rezultati povećanja srednje godišnje temperature vazduha od 2°C na promene potencijalne evapotranspiracije (PET) u %, izražene preko Thorntwaite-ovog indeksa suše. Uočava se da bi na teritoriji Vojvodine indeks suše mogao da se poveća od 30% do 35%.



**Slika 6.6** Promena indeksa suše pri povećanju temperature vazduha od 2°C u odnosu na period 1961.-1990.

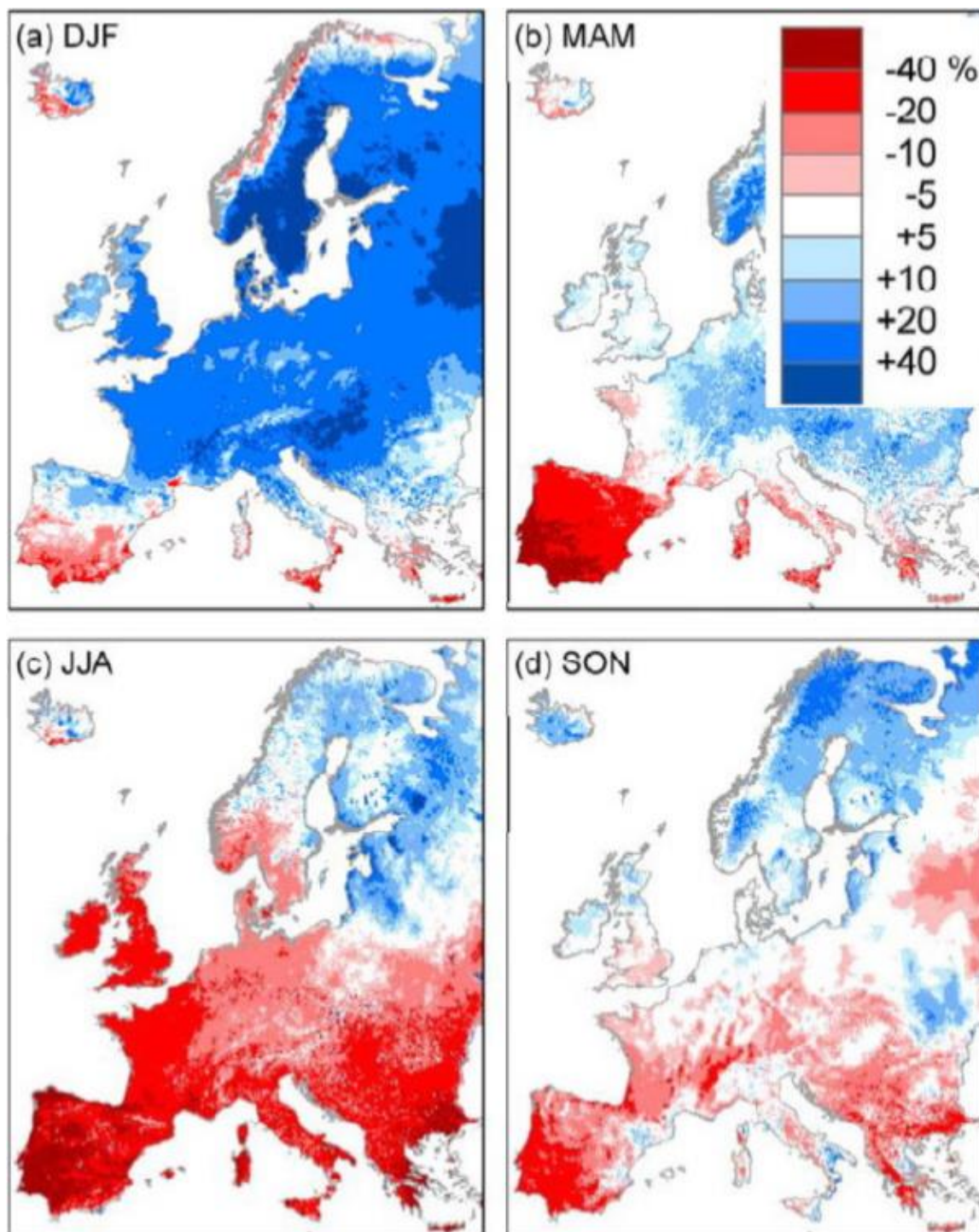
(Republički hidrometeorološki zavod Republike Srbije, Odeljenje za agrometeorologiju,  
[http://www.hidmet.gov.rs/podaci/agro/ciril/klipro\\_agrorhmzs.pdf](http://www.hidmet.gov.rs/podaci/agro/ciril/klipro_agrorhmzs.pdf))

### ⇒ Promena padavina u uslovima klimatskih promena

Potrebno je naglasiti da je progres u modeliranju klimatskih promena na evropskom nivou u mnogome olakšao dobijanje preciznijih podataka o budućim klimatskim uslovima u Srbiji. Na slici 6.7 su prikazani rezultati promene sezonskih padavina do kraja veka. Sezonske promene padavina iz integracije EBU-POM modela i ENSEMBLES projekta su najveće za letnju sezonu JJA (juni, juli, avgust). Uočava se da se na teritoriji Srbije može očekivati smanjenje letnjih padavina za oko 20%. U sezoni JJA, raspon mogućih deficita akumuliranih padavina je od -15% do -50% (Đurđević i sar., 2015.).

Jedina sezona sa pozitivnom anomalijom padavina (povećanjem padavina) u integraciji modela EBU-POM je MAM (mart, april, maj), dok je u slučaju srednje vrednosti ENSEMBLES integracija to sezona decembar-januar-februar (DJF). Pozitivne anomalije

padavina u prolećnoj i zimskoj sezoni ukazuju da će problem odvodnjavanja poljoprivrednih površina u Srbiji biti veoma prisutan i u uslovima klimatskih promena koje se očekuju u ovom veku.



*Slika 6.7 Relativna promena sezonskih padavina u Evropi do kraja dvadeset prvog veka u odnosu na prosek iz perioda 1961.-1991. (a) zima; (b) proleće; (c) leto; (d) jesen (Dankers & Hiederer, 2008.)*

## 6.2 PRIKAZ METODOLOGIJE ZA POPRAVLJANJE HIDROLOŠKE NEODREĐENOSTI MESEČNIH SUMA PADAVINA

### 6.2.1 Teorijske postavke

#### Definisanje nelinearnih korelacionih zavisnosti – standardizovanih promenljivih

Istraživanja koja se sprovode u Pančevačkom ritu zahtevaju poznavanje serija mesečnih suma padavina na pojedinim lokalitetima gde se ova vrsta meteoroloških osmatranja sistematski ne vrši. Zbog toga je neophodno da se postojeći podaci, koji se osmatraju na zvaničnim padavinskim stanicama RHMZ Srbije prostorno interpoluju na željenoj lokaciji. U tu svrhu korišćen je matematički model VNC, koji je za ove svrhe razvijen u Institutu za vodoprivredu „Jaroslav Černi“ (*Prohaska, 2006.*). Suština metode sastoji se u uspostavljanju prostornih korelacionih zavisnosti na osnovu postojećih podataka osmatranja u širem regionu i da se, zatim, korišćenjem razrađene procedure ti podaci „prenesu“ unutar razmatranog prostora na lokalitete gde se oni ne osmatraju.

Za definisanje prostornih korelacionih zavisnosti (funkcija) koristi se jedan sasvim nov metod iznalaženja višestrukih nelinearnih korelacionih zavisnosti, tzv. objektivni numerički metod iznalaženja višestrukih nelinearnih korelacionih zavisnosti, čiji je autor Aleksejev G.A. (1971). Metod se može primeniti samo u slučajevima ako su između svih mogućih parova promenljivih transformacione funkcije (krive regresije) ili monotono rastuće ili opadajuće funkcije.

Posmatra se veza između  $L$  vremenskih serija

$$X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_L, \quad (1)$$

gde su  $X_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, L$  slučajno promenljive veličine na  $j$ -toj lokaciji.

Osnovni uslov za primenu teorije G. A. Aleksejeva je da su sve zavisnosti između jednog para promenljivih  $(X_j, X_k)$  monotone funkcije, što je veoma čest slučaj u hidrološkoj praksi. Pretpostavlja se da ukupan broj članova svake serije iznosi  $N$ , tj. da se raspolaze sa sledećim sistemom vremenskih serija:

$$(X_0, X_1, \dots, X_L)_i = (X_{0,i}, X_{1,i}, \dots, X_{L,i}) \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

Postavlja se kao problem definisanje sledeće jednačine višestruke linearne regresije:

$$U_0(X_j) = \alpha_{0,1} \cdot U_1(X_1) + \alpha_{0,2} \cdot U_2(X_2) + \dots + \alpha_{0,L} \cdot U_L(X_L) \quad (3)$$

Jednačina (3) izražava vezu između traženih  $L+1$  nelinearnih monotoni funkcija:

$$U_j = U_j(X_j) \quad j = 0, 1, 2, \dots, L \quad (4)$$

Za određivanje  $L+1$  funkcije  $U_j(X_j)$ , koje bi izražavale sve moguće

$$\frac{L \cdot (L+1)}{2} \quad (5)$$

kombinacije veza između promenljivih  $X_1, X_2, \dots, X_L, X_{L+1} = X_0$  i tačnije određivanje parametara višestruke korelacije  $\alpha_{0,j}$ , koriste se standardizovane promenljive osnovnih serija  $X_j$ .

Sam postupak standardizacije promenljivih može se izvršiti neposredno preko sledeće dve transformacije:

⇒ prva transformacija sastoji se u zameni vrednosti  $X_{j,i}$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) njihovim empirijskim verovatnoćama

$$P_m = \frac{m(X_{j,i}) - a}{N + b} \approx \frac{m(X_{j,i}) - 0.25}{N + 0.5} = P_j(X_{j,i}) = P_{j,i} \quad (6)$$

tj. rangiranom promenljivom, gde je  $m = 1, 2, \dots, N_i$  redni broj veličine  $X_j$  u rastućem nizu;

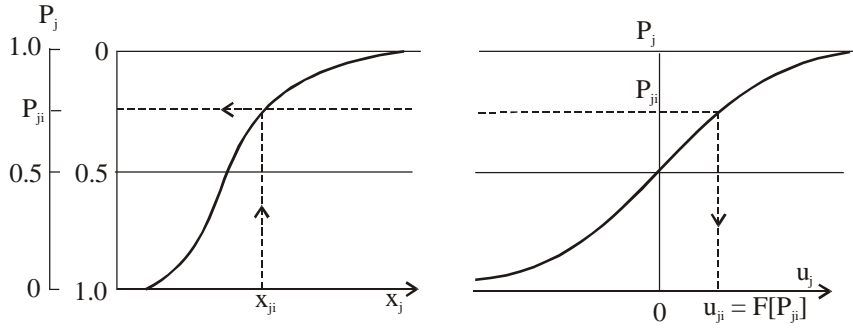
⇒ druga transformacija sastoji se u zameni rangiranih promenljivih  $P_{j,i}$  sa njihovim standardizovanim promenljivim, tj.

$$U_j = F[P_j] = U_j(X_{j,i}) \quad j = 1, 2, \dots, L \quad (7)$$

koje se određuju kao inverzne funkcije normalne integralne funkcije raspodele:

$$P_j(X_{j,i}) = P_m = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{U_m} e^{-\frac{U^2}{2}} dU \quad (8)$$

Grafička ilustracija ovih uzastopnih transformacija data je na slici 6.8.



**Slika 6.8** Šema standardizacije promenljive  $X_j$

Iz teorije nelinearne korelacije sledi da, ako su sve nezavisno promenljive  $X_j$  vezane bilo kojom krivolinijskom monotonom korelacionom zavisnošću  $(X_j, X_L)$ , onda su njihove standardizovane promenljive vezane linearnom korelacijom. Zahvaljujući tome, sve metode za rešavanje višestruke linearne korelacije mogu se automatski primeniti i na slučaj nelinearne korelacije, ako se pre toga izvrši standardizacija promenljivih.

U vezi sa ovim, problem određivanja nelinearne regresije promenljivih veličina (1) svodi se na prethodno određivanje parametara jednačine (3) nakon standardizacije promenljivih, tj:

$$X_0 = f_0[U_0] = f_0[\alpha_{0,1} \cdot U_1(X_1) + \alpha_{0,2} \cdot U_2(X_2) + \dots + \alpha_{0,L} \cdot U_L(X_L)] \quad (9)$$

Određivanje parametara  $\alpha_{0,j}$  u jednačini (3) svodi se na rešavanje sistema  $L$  linearnih jednačina, tj:

$$\begin{aligned} \alpha_{0,1} + r_{1,2} \cdot \alpha_{0,2} + r_{1,3} \cdot \alpha_{0,3} + \dots + r_{1,L} \cdot \alpha_{0,L} &= r_{0,1} \\ r_{2,1} \cdot \alpha_{0,1} + \alpha_{0,2} + r_{2,3} \cdot \alpha_{0,3} + \dots + r_{2,L} \cdot \alpha_{0,L} &= r_{0,2} \\ r_{L,1} \cdot \alpha_{0,1} + r_{L,2} \cdot \alpha_{0,2} + r_{L,3} \cdot \alpha_{0,3} + \dots + \alpha_{0,L} &= r_{0,L} \end{aligned} \quad (10)$$

Da bi se definisali koeficijenti regresije  $\alpha_{0,j}$  neophodno je prethodno odrediti empirijske koeficijente linearne (standardizovane) korelacije  $r_{U_j, U_k} = r_{j,k}$ .

Sve standardizovane promenljive  $U_j = U_j(X_j)$  imaju konstantna matematička očekivanja  $U_j$  i srednje kvadratno odstupanje  $\sigma_{U_j}$  i to:

$$U_j = 0 \quad \sigma_{U_j} = 1 \quad j = 0, 1, \dots, L \quad (11)$$

Sa ovim u vezi, proračun linearnog koeficijenta korelacije između standardizovanih promenljivih vrši se po formuli:

$$r_{j,k} = r_{U_j, U_k} = \frac{\sum_{i=1}^N U_{j,i} \cdot U_{k,i}}{\sum_{i=1}^N U_{j,i}^2} = \frac{1}{N-1} \cdot \frac{\sum_{i=1}^N U_{j,i} U_{k,i}}{\sigma_U^2(N)} \quad (12)$$

gde je:

$$\sigma_U^2 = \sigma_U^2(N) = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N U_{j,i}^2 \quad (13)$$

empirijska disperzija standardizovane promenljive, koja zavisi samo od ukupnog broja članova niza, tj. od  $N$ . Empirijska disperzija uvek je za neku veličinu manja od teorijske  $\sigma_U^2 = 1$ , koja odgovara nizu od  $N = \infty$  tj.  $\sigma_U^2(N) = 1$ .

Poznato je da običan koeficijent korelacije  $r_{j,k}$ , između promenljivih veličina  $X_j$  i  $X_k$ , izražava čvrstinu korelacione veze samo u slučaju linearne korelacije. Međutim, koeficijent korelacije standardizovanih promenljivih  $r_{U_j, U_k}$  između veličina  $U_j$  i  $U_k$  izražava vezu pri bilo kom vidu monotone krivolinijske korelacije između veličina  $X_j$  i  $X_k$ .

Po svojoj apsolutnoj veličini, on je veći od običnog koeficijenta linearne korelacije, tj:

$$\left| r_{U_j, U_k} \right| \geq r_{X_j, X_k}; \quad \frac{r_{U_j, U_k}}{r_{X_j, X_k}} \geq 1 \quad (14)$$

Određivanje najverovatnijih koeficijenata  $\alpha_{0,j}$ , u jednačinama (10) moguće je vršiti bilo kojom metodom rešavanja sistema linearnih jednačina.

U ovom radu korišćen je metod Kramera, čiji je proračun rađen po sledećem postupku:

$$\alpha_{0,j} = \frac{D_{0,j}}{D_{0,0}} \quad j = 1, 2, \dots, L \quad (15)$$

gde je:

$D_{0,0}$  – minor korelacione matrice sistema jednačina (10)

koji odgovara elementu matrice  $r_{0,0} = 1$ :



$$D_{0,0} = \begin{vmatrix} 1 & r_{1,2} & r_{1,3} & \cdot & \cdot & \cdot & r_1 \\ r_{2,1} & 1 & r_{2,3} & \cdot & \cdot & \cdot & r_2 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ r_{L,1} & r_{L,2} & r_{L,3} & \cdot & \cdot & \cdot & 1 \end{vmatrix} \quad (16)$$

$D_{0,j}$  – vrednost determinante, dobijena iz jednačine (16) zamenom

$j$  –te kolone kolonom koeficijenta  $r_{0,1}, r_{0,2}, \dots, r_{0,L}$ .

Ne ulazeći u ostale parametre i način njihovog određivanja, a oni se mogu naći u svim priručnicima, u krajnjem obliku izraz za opšti koeficijent standardizovane višestruke korelacije  $R_0$  ima sledeći vid:

$$R_0 = r_{U_0, \tilde{U}_0} = \sqrt{r_{0,1} \cdot \alpha_{0,1} + r_{0,2} \cdot \alpha_{0,2} + \dots + r_{0,L} \cdot \alpha_{0,L}} \quad (17)$$

Osim prostog određivanja koeficijenta  $R_0$ , formula (17) može da služi i za ocenu učešća  $j$  –te promenljive ( $X_j$ ) u jednačini (9). Koeficijent korelacije predstavlja običan linearni koeficijent  $r_{U_0, \tilde{U}_0}$  između standardizovanih veličina ( $U_0$ ) i njegove regresione vrednosti ( $\tilde{U}_0$ ) po jednačini (9).

Težinsko učešće svake promenljive ( $X_j$ ) određuje se po formuli:

$$\delta_j = \frac{|r_{0,j} \cdot \alpha_{0,j}|}{|r_{0,1} \cdot \alpha_{0,1}| + |r_{0,2} \cdot \alpha_{0,2}| + \dots + |r_{0,L} \cdot \alpha_{0,L}|} \quad (18)$$

čija je suma jednaka jedinici:

$$\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_L = 1. \quad (19)$$

Srednja kvadratna greška koeficijenta  $R_0$  određuje se po formuli:

$$\sigma_{R_0} = \frac{1 - R_0^2}{\sqrt{N - L}} \quad (20)$$

a njegova kvadratna veličina:

$$\sigma_{R_0^2} = 2 \cdot \frac{\sigma_{R_0}}{R_0} + \left( \frac{\sigma_{R_0}}{R_0} \right)^2 \quad (21)$$

Promenljiva  $X_j$  smatra se efektivnom ukoliko njen težinski uticaj zadovoljava sledeću jednačinu:

$$\delta(X_j) = \delta_2 > 2 \cdot \frac{\sigma_{R_0^2}}{R_0^2} \quad \text{za} \quad j = 1, 2, \dots, L \quad (22)$$

Ukoliko pak ne zadovoljava, promenljivu treba izbaciti iz datog proračuna pošto ona veoma malo utiče na zavisno promenljivu  $X_0$ .

Srednje kvadratna greška najverovatnijeg koeficijenta linearne regresije,  $\alpha_{0,j}$  može se sračunati po sledećoj formuli:

$$\sigma_{\alpha_{0,j}} = \sqrt{\frac{1-R_0^2}{N-L} \cdot \frac{\Delta_{j,j}}{D_{0,0}}} \quad j = 1, 2, \dots, L \quad (23)$$

gde je:

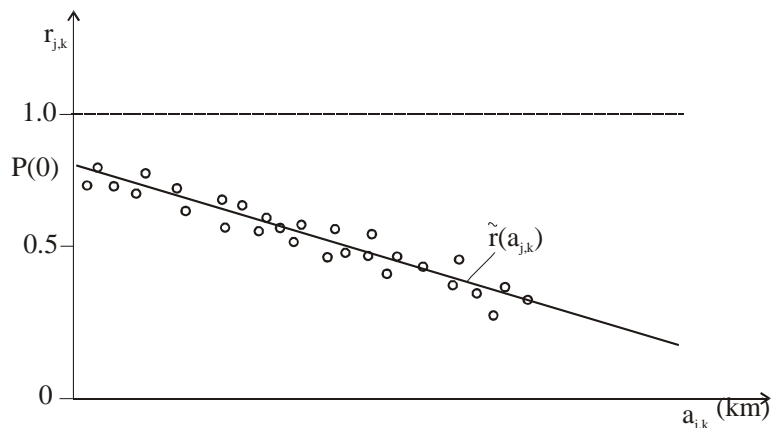
$\Delta_{j,j}$  – minor determinante  $D_{0,0}$  koja odgovara elementu  $r_{j,j} = 1$

### Definisanje prostornih korelacionih funkcija

Za definisanje prostornih korelacionih funkcija koriste se prosti koeficijenti korelacije standardizovanih promenljivih  $r_{j,k}$  za  $j \neq k$  između svih kombinacija parova razmatranih lokacija u širem regionu. Na osnovu tih koeficijenata formira se tzv. empirijska prostorna korelaciona funkcija u funkciji odgovarajućeg međusobnog rastojanja između lokacija  $a_{j,k}$ , tj.

$$\tilde{r} = \tilde{r}(a_{j,k}) \quad (23)$$

što je šematski prikazano na slici 6.9.



**Slika 6.9** Šematski prikaz empirijske prostorne korelacione funkcije

Empirijska korelaciona funkcija  $\tilde{r}(a)$  je po apsolutnim vrednostima  $|\tilde{r}(a)|$ , nešto manja od teorijske (istinite) prostorne korelacione funkcije  $r(a)$ , tj:

$$|\tilde{r}(a)| \leq |r(a)| \quad (24)$$

gde znak jednakosti ima mesto samo u slučaju nepostojanja slučajnih grešaka kod polaznih veličina  $X$ . Pri nultom rastojanju između mernih tačaka ( $a = 0$ ), odnosno pri eksploataciji, empirijska kriva  $r(a)$  seče na ordinati odsečak koji je po apsolutnoj vrednosti:

$$|\tilde{r}(0)| \leq |r(0)| = 1 \quad (25)$$

Jednačina za proračun teorijske prostorne korelacione funkcije ima sledeći oblik:

$$r(a) = \frac{\tilde{r}(a)}{r(0)} \quad (26)$$

Razlika između teorijske i empirijske prostorne korelacione funkcije je posledica postojanja slučajnih grešaka u osnovnim podacima  $X$  na primer:

$$X_{ji} = X'_{ji} + \Delta X_{ji} \quad (27)$$

gde su:

$X'_{ji}$  – stvarne (istinite) vrednosti  $i$ -tih članova niza,

$\Delta X_{ji}$  – slučajne greške  $i$ -tih članova niza.

Kao što je pokazano u literaturi (*Aleksejev, 1971.*) teorijske i empirijske korelacione funkcije vezane su sledećom relacijom:

$$\tilde{r}(a) = \frac{r(a)}{1 + \frac{\sigma_{\Delta X_j}^2}{\sigma_{X_j}^2}} = \frac{r(a)}{1 + \delta^2} \quad (28)$$

gde su:

$\sigma_{\Delta X_j}$  – srednje kvadratne greške polaznih veličina,

$\sigma_{X_j}^1$  – srednja kvadratna odstupanja istinitih veličina,

odnosno:

$$r(a) = (1 + \delta^2) \cdot \tilde{r}(a) \quad (29)$$

Za rastojanje ( $a = 0$ ) iz jednačine (28) dobijamo sledeću relaciju za proračun nulte vrednosti empirijske prostorne korelacione funkcije:

$$\tilde{r}(0) = \frac{1}{1 + \delta^2} \quad (30)$$

odnosno jednačinu za proračun relativne ocene srednjih kvadratnih greški osnovnih podataka „ $\delta$ “:

$$\delta = \frac{\sigma_{\Delta X_j}}{\sigma_{X_j}} = \sqrt{\frac{1 - \tilde{r}(0)}{\tilde{r}(0)}} \quad (31)$$

Relativna ocena greške polaznih podataka  $\eta$  iznosi:

$$\eta = \frac{\sigma_{\Delta X_j}}{\sigma_{X_j}} = \sqrt{1 - \tilde{r}(0)} \quad (32)$$

a srednja kvadratna greška ili ocena slučajne greške u odnosu na izmerenu vrednost:

$$\sigma_{\Delta X_j} = \sigma_{X_j} \cdot \sqrt{1 - \tilde{r}(0)} \quad (33)$$

Za iznalaženje koeficijenta korelacije razmotrene promenljive između neke nove lokacije unutar razmatranog regiona koristi se teorijska prostorna korelaciona funkcija  $F(a)$  –

definisana jednačinom (29), koja u suštini prikazuje linearnu zavisnost:

$$r(a) = r(0) + \beta * a \quad (34)$$

gde je :

$\beta$  – nagib linearne zavisnosti prostorne korelacione funkcije na slici 7.6.

### Prostorna interpolacija hidrometeoroloških podataka

Osnovna formula za prostornu interpolaciju hidrometeoroloških podataka po metodi VNC na nepoznatoj 0-toj lokaciji definisana je jednačinom (9). Parametri jednačine određuju se na osnovu poznatih pravolinijskih rastojanja između nepoznate nulte lokacije – „0“ i ostalih  $j = 1, 2, 3, \dots, L$  (tj.  $a_{o,1}, a_{o,2}, \dots, a_{o,L}$ ) položaja padavinskih stanica u širem regionu. Pomoću funkcija  $r = r(a_{j,k})$ , određuju se koeficijenti korelacija  $r_{o,1}, r_{o,2}, \dots, r_{o,L}$ , a zatim se, analogno prethodnom slučaju, određuje nepoznati koeficijent  $\alpha_{o,1}, \alpha_{o,2}, \dots, \alpha_{o,L}$  i uspostavlja zavisnost u vidu jednačine (9).

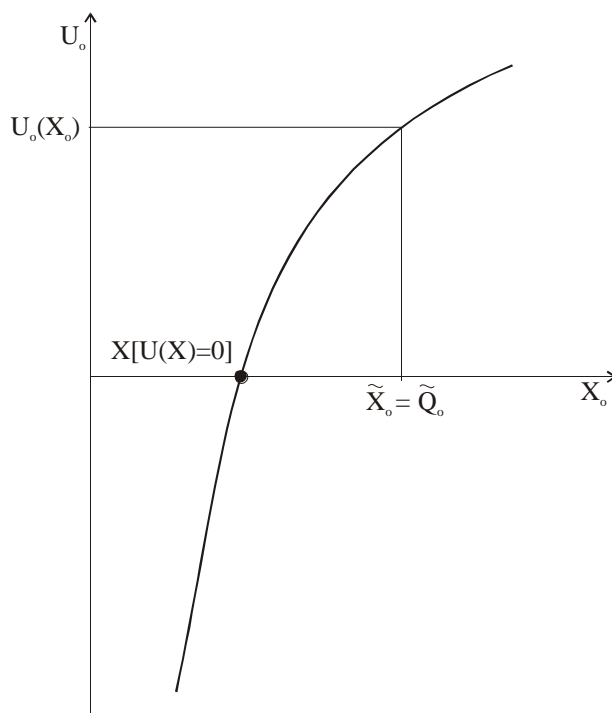
Za nepoznatu 0-tu lokaciju zavisnost između sume mesečnih padavina i odgovarajućih standardizovanih promenljivih (slika 3) definiše se u sledećem vidu:

$$(P_o = X_o) = X(U_o) = \sum_{j=1}^L \delta_{o,j}(X_j) \cdot X_j \quad (35)$$

gde je:

$\delta_{o,j}$  – težina  $X_j$  promenljive u regresionoj jednačini (9), u konkretnom slučaju  $P_j$  – mesečne sume padavina na j-toj padavinskoj stanici u širem regionu.

Proračun nepoznatih serija sume mesečnih padavina na 0-toj lokaciji radi se na sledeći način. Prvo se na osnovu poznatih veličina nezavisno promenljiva  $X_j = P_j$ , pomoću jednačina (7 i 8), sračunavaju računске vrednosti standardizovane promenljive na nultoj lokaciji. Zatim se korišćenjem ovih vrednosti i sračunatih odgovarajućih težina pojedinih stanica, u odnosu na položaj 0-te lokacije, definiše zavisnost tipa (35). Grafička interpretacija ove zavisnosti  $U = U(X_o)$  za konkretnu 0-tu lokaciju prikazana je na slici 6.10.



**Slika 6.10** Šematski prikaz zavisnosti  $U_o = U(X_o)$  (jednačina 35)

Na kraju, na osnovu poznatih vrednosti članova serija mesečnih suma padavina na  $j=1,2,3,\dots,L$ , kišomernih stanica u širem regionu, odnosno njihovih odgovarajućih vrednosti standardizovanih promenljivih  $U(P_j)$ , pomoću jednačine (35), dobijaju se računске vrednosti standardizovanih promenljivih serije mesečnih suma padavina na 0-toj lokaciji –  $U_o(P_0)$ . Odgovarajuće realne vrednosti serije suma mesečnih padavina  $P_0$  na nepoznatoj 0-toj lokaciji dobijaju se saglasno proceduri prikazanoj na slici 6.10.

### 6.3 PRIKAZ METODOLOGIJE ZA POPRAVLJANJE NEODREĐENOSTI PREPUMPANIH KOLIČINA VODE U CRPNIM STANICAMA

Crpne stanice su objekti od ključnog značaja za uređenje i upravljanje režimom podzemnih voda na poljoprivrednim područjima. Na osnovu detaljnih hidrološko-hidrauličkih analiza u projektnoj dokumentaciji za uređenje voda poljoprivrednog područja definiše se režim rada crpnih stanica, koji je u direktnoj vezi sa režimom i efektima rada drenažnih objekata (drenažni kanali, bunari, ustave, sifoni i dr.).

Zadatak crpnih stanica je da obezbede održavanje nivoa voda na projektovanim dubinama. Iz tog razloga, izgradnjom drenažnog sistema i uvođenjem u pogon započinje njegovo osmatranje, merenje i analize uticaja na režim podzemnih voda na području.

Osmatranja efekata rada drenažnih sistema ukazuju na probleme u radu pojedinih crpnih stanica, odnosno njihovu nemogućnost da u dovodnim kanalima održavaju projektom zahtevane nivoe vode, što se direktno odražava na nivoe vode u kanalskoj mreži, a time i na režim podzemnih voda na poljoprivrednom području.

Količine prepumpane vode najčešće se određuju na osnovu časova rada pumpi i njihovog nominalnog kapaciteta. Takav pristup, jasno je, sadrži svu neodređenost ulaznih parametara.

U cilju smanjenja neodređenosti količine prepumpane vode, odnosno utvrđivanja stvarnog kapaciteta neophodno je izvršiti :

- ⇒ merenja kapaciteta pojedinačnih agregata i crpnih stanica u celini, i to u celokupnom opsegu rada, prema hidrauličkim uslovima koji važe u toku merenja.

Na osnovu tako dobijenih podataka, analizom se mogu utvrditi da li ima i kolika su odstupanja u odnosu na projektovane karakteristike agregata i koje bi mere trebalo preduzeti da se efikasnost eksploatacije poveća.

Kod definisanja kapaciteta crpnih stanica, za svaki agregat potrebno je izmeriti vrednosti sledećih parametara :

- ⇒ proticaj evakuisane (drenirane) vode, za svaki agregat, odnosno odrediti zavisnost  $Q(t)$  za vreme merenja (merenja proticaja sprovoditi u celokupnom opsegu rada agregata, koji se može ostvariti u hidrološkim uslovima tokom merenja);

- ⇒ zavisnost  $Q(H)$  realizovati merenjem proticaja i pritiska na potisu svakog agregata (u cilju proširenja opsega rada, regulacionim zatvaračem podešavati različite stepene otvorenosti);
- ⇒ proticaj spregnutog rada agregata (zavisnosti  $Q(t)$  na zajedničkom cevovodu);
- ⇒ električnu snagu agregata u celokupnom opsegu rada (koji se ostvaruju u hidrološkim uslovima tokom merenja); i
- ⇒ promene nivoa vode u crpilištu  $Z(t)$  tokom merenja.

#### 6.4 ANALIZA OSETLJIVOSTI KOD DRENAŽNIH SISTEMA

Analiza osetljivosti je tehnika koja nam pokazuje koliko će se neki izlazni parametar (npr. drenažna efikasnost) promeniti zbog promene neke neizvesne ulazne komponente (poput klimatskih faktora), a da ostali parametri sistema koji se posmatra ostanu nepromenjeni. Ova tehnika služi i za preispitivanje odluka da bi se utvrdilo u kojoj meri se može tolerisati netačnost pretpostavki na kojima odluka počiva.

Primena analize osetljivosti ima nekoliko faza: definisanje kritičnih ulaznih parametara, određivanje intervala mogućeg kretanja vrednosti kritičnih parametara, određivanje verovatnih vrednosti kritičnih parametara i ocena izlaznih veličina uz primenu verovatnih vrednosti kritičnih parametara. Primenom ove analize može se videti do koje maksimalne/minimalne vrednosti može ići neka ulazna promenljiva, pa da drenažni sistem još uvek bude efikasan i prihvatljiv za realizaciju.

Cilj analize osetljivosti je i sagledavanje uticaja različitih parametara na promenu vrednosti pojedinih kriterijuma, kao i sagledavanje uticaja ovih promena na posmatrani sistem.

Nedostaci analize osetljivosti su složen računski postupak, kao i nemogućnost uticaja subjektivnog mišljenja prognozera.

Uopšteno govoreći, postoje dva glavna pristupa analizi osetljivosti: lokalni i globalni pristupi (*Saltelli et al., 1999.*). Lokalna analiza osetljivosti procenjuje kako se izlazi menjaju menjanjem jednog po jednog ulaznog parametra. Nasuprot tome, globalna analiza osetljivosti (GAO) uzima u obzir varijaciju svih parametara simultano i procenjuje njihov doprinos neizvesnosti.



Procena relativnog značaja svakog faktora pomaže da se utvrdi koji podaci moraju biti najtačnije definisani i koji podaci su već prihvatljivi ili zahtevaju samo minimalnu dodatnu korekciju. Relativna osetljivost modela zavisi i od parametara koji utiču na režim podzemnih voda, tako da nema univerzalnog seta podataka; osetljivost se može menjati tokom vremena ukoliko stresni režim nametnut sistemu evoluira (*Konikow, 2000.*). U skladu sa navedenim jasno je da analizu osetljivosti treba vršiti u toku ranih faza modeliranja.

Pri primeni numeričkih modela za simuliranje dinamike podzemnih voda, ma kako sofisticirani oni bili, uvek postoji stepen neodređenosti u pogledu sposobnosti modela da verno prikažu i prognoziraju složenu dinamiku kretanja podzemnih voda. Neizvesnost izlaznih rezultata numeričkih modela može poticati od neodređenosti konceptualnih modela, ulaznih parametara i sposobnosti modela da efikasno simuliraju prirodne uslove (*Pobb et al., 2002.*)

Izvori neodređenosti numeričkih modela kretanja podzemnih voda su:

- ⇒ Neodređenost ulaznih parametara, što podrazumeva heterogenost ulaznih podataka, greške u merenju, interpretacija rezultata lokalnih merenja i nepoznati granični uslovi;
- ⇒ Neodređenost kalibracije numeričkog modela, analiza osetljivosti je sastavni deo kalibracije modela podzemnih voda. I u ovom slučaju analiza osetljivosti podrazumeva proces u kome su parametri modela ili granični uslovi blago izmenjeni i posmatra se njihov uticaj na model (*Rumbaugh & Rumbaugh, 1998.*). Neizvesnost ulaznih parametara dovodi do nedostatka poverenja u tumačenja i predviđanja koja su zasnovana na analizi modela, osim ako može dokazati da je model razumno tačna predstava realnog sistema (*Konikow, 2000.*). Noviji pristupi nastoje da tretiraju kalibraciju modela kao statističku proceduru (*Konikow, 2000.; Rumbaugh & Rumbaugh, 1998.*).
- ⇒ Neodređenost strukture modela, najčešće je posledica nedovoljnog poznavanja geoloških i hidrogeoloških karakteristika terena;
- ⇒ Neodređenost pri ekstrapolaciji dobijenih rezultata u prostoru i vremenu;
- ⇒ Numerička neodređenost kod nelinearnih problema.

Kod drenažnih sistema, kakav je i Pančevački rit, najčešće se uzima u obzir hidrološki rizik. Međutim, za uspeh ovakvih projekata važne su i druge vrste neizvesnosti koje se često nedovoljno analiziraju. To su ekonomske, demografske, socijalne i neizvesnosti vezane za zaštitu životne sredine.

Kod ekonomskih analiza drenažnih sistema, za kompleksno uređenje režima podzemnih voda na poljoprivrednim područjima koristi i troškovi se ne mogu precizno odrediti iz više razloga:

- ⇒ biofizički doprinosi projekta (priliv vode, proizvodnja useva i sl.) su određeni u veoma širokom intervalu klimatskih sekvenci, kao što su padavine, evapotranspiracija, tokovi;
- ⇒ često postoje ograničenja kod evidencije podataka kojima se određuje verovatnoća događaja ili trend kod režima voda ili klime;
- ⇒ postoji neizvesnost kod određivanja troškova za svaku fazu projekta zbog varijabilnosti u produktivnosti i nepredvidivosti kod izgradnje i implementacije projekta;
- ⇒ porast populacije i tražnja za ovom vrstom vodoprivrednih usluga može biti signifikantno promenljiva u vremenu i ne može se pouzdano predvideti.

**Analiza osetljivosti (postupak kod neizvesnosti)** koristi se za testiranje kapaciteta dohotka od investicionog projekta, ukoliko se izmene početni uslovi. Svi projekti, pa i ovaj, trebalo bi da budu predmet senzitivne analize. Parametri na koje se najčešće testiraju projekti ove vrste su:

- ⇒ prekoračenje investicija,
- ⇒ povećanje troškova funkcionisanja, i
- ⇒ smanjenje prihoda od usluga.

Ovi parametri testiraju se pojedinačno, a poželjno je testiranje njihovog združenog uticaja - najnepovoljnija varijanta.

## **7. PRIKAZ PRIMENE METODOLOGIJE ZA POPRAVLJANJE ODABRANIH POKAZATELJA UČINKA NA ODABRANOM DRENAŽNOM SISTEMU NA PODRUČJU PANČEVAČKOG RITA**

U okviru rada je predložena metodologija za proračun i popravljavanje pokazatelja učinka drenažnih sistema, odnosno relativnih parametara koji čine odabrani pokazatelj. Metodologija je, pored tehničkih, obuhvatila i mere vezane za ekonomsko poboljšanje samih pokazatelja.

Teoretska saznanja iz metodologije za popravljavanje odabranih pokazatelja učinka drenažnih sistema su primenjena na drenažnom sistemu na području Pančevačkog rita. U radu je analizirana:

- ⇒ neodređenost suma padavina za Pančevački rit, sa predlogom za popravljavanje istih;
- ⇒ neodređenost prepumpanih količina vode na primeru crpne stanice „Borča – Nova“ i
- ⇒ osetljivost pokazatelja ekonomske efikasnosti drenažnih sistema na području Pančevačkog rita.

### **7.1 NEODREĐENOST SUMA PADAVINA ZA PANČEVAČKI RIT SA PREDLOGOM ZA POPRAVLJANJE**

Procena učinka drenažnog sistema u Pančevačkom ritu zahteva poznavanje mesečnih suma padavina, na lokalitetima gde se meteorološka osmatranja sistematski ne vrše. Zbog toga je neophodno da se podaci koji se osmatraju na zvaničnim padavinskim stanicama RHMZ Srbije prostorno interpoluju na željenoj lokaciji. U tu svrhu poslužio je matematički model VNC, razvijen u Institutu „Jaroslav Černi“ 2006. godine.

#### **7.1.1 Praktična primena VNC na području Pančevačkog rita**

Razrađena procedura modela VNC primenjena je za proračun serija mesečnih suma padavina na nepoznatoj lokaciji Beljarica (opitna deonica za odvodnjavanje, 1983.) u Pančevačkom ritu. Osnova za proračun bile su serije mesečnih suma padavina u širem regionu Pančevačkog rita i to na sledećim padavinskim stanicama: Sakule, Kovačica,

Crepaja, Pančevo, Borča, Batajnica, Stara Pazova, Besni Fok i Beograd. Period obrade je 1946.–2014. godina.

Proračun nelinearnih koeficijenata korelacije između kombinacija navedenih padavinskih stanica urađen je po modelu VNC, a rezultati proračuna su prikazani u tabeli 7.1.

**Tabela 7.1 Prikaz nelinearnih koeficijenata korelacije  $r_{j,k}$  između mesečnih suma padavina na širem prostoru Pančevačkog rita**

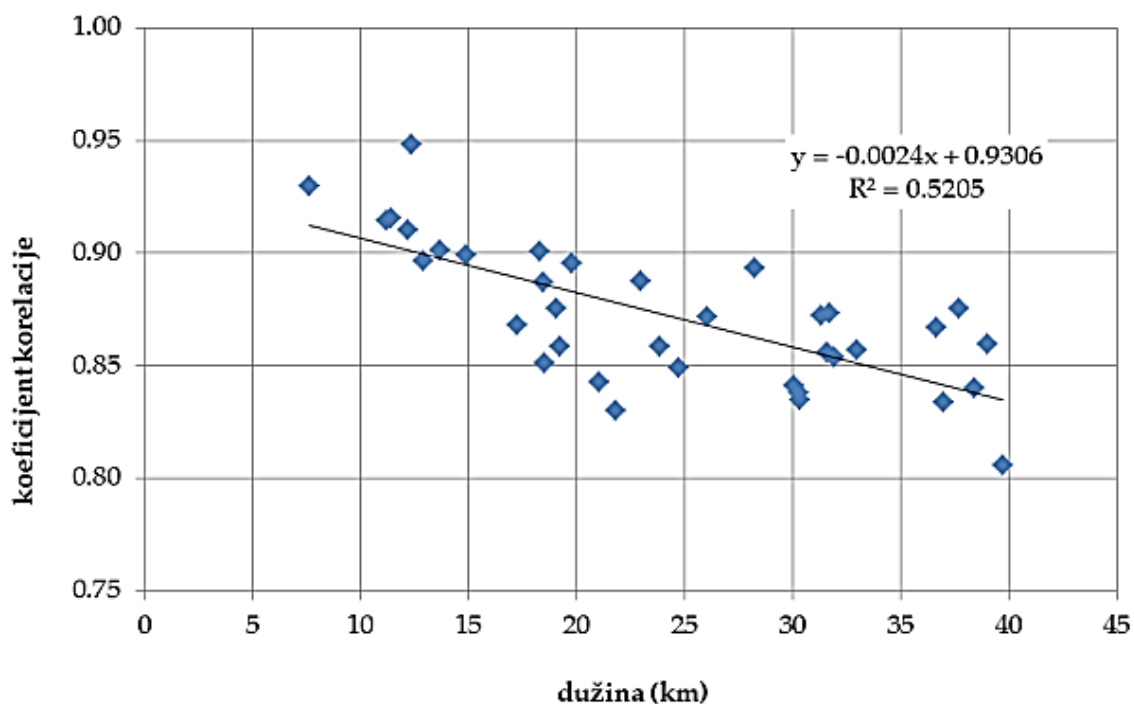
Padavinska stanica	Sakule	Kovačica	Crepaja	Pančevo	Borča	Batajnica	Stara Pazova	Besni Fok	Beograd
Sakule	1	0.948	0.895	0.857	0.856	0.854	0.841	0.843	0.859
Kovačica		1	0.915	0.872	0.872	0.867	0.840	0.859	0.875
Crepaja			1	0.899	0.888	0.873	0.834	0.859	0.893
Pančevo				1	0.868	0.835	0.806	0.830	0.887
Borča					1	0.901	0.849	0.915	0.930
Batajnica						1	0.910	0.896	0.901
Stara Pazova							1	0.851	0.838
Besni Fok								1	0.875
Beograd									1

Rezultati proračuna najverovatnijih koeficijenata linearne regresije  $\alpha_{0,j}$  zajedno sa sračunatim težinama svake slučajne promenljive  $\delta_{0,j}$  prikazani su u tabeli 7.2.

**Tabela 7.2 Prikaz najverovatnijih koeficijenata linearne regresije  $\alpha_{0,j}$  i težine svake slučajne promenljive  $\delta_{0,j}$**

Padavinska stanica	$\alpha_{0,j}$	$\delta_{0,j}$
Sakule	-0.494	0.228
Kovačica	1.067	0.542
Crepaja	0.137	0.066
Pančevo	0.066	0.030
Borča	-0.008	0.004
Batajnica	-0.041	0.019
Stara Pazova	0.184	0.083
Besni Fok	0.026	0.012
Beograd	0.036	0.016

Na osnovu sračunatih nelinearnih koeficijenata korelacije  $r_{j,k}$  i međusobnih rastojanja  $a_{j,k}$  između razmatranih padavinskih stanica formirana je prostorna korelaciona funkcija za razmatrano šire područje Pančevačkog rita i prikazana je na slici 7.1.



*Slika 7.1 Prostorna korelaciona funkcija mesečnih suma padavina na širem prostoru Pančevačkog rita*

Analitički oblik formirane prostorne korelacione funkcije glasi:

$$r_{j,k} = 0.931 - 0.0024 a_{j,k} \quad (1)$$

sa višestrukim koeficijentom korelacije:

$$R = 0.721 \quad (2)$$

što se svrstava u kategoriju značajnih korelacionih veza.

Relativna ocena srednjih kvadratnih greški osnovnih podataka serija mesečnih suma padavina „ $\delta$ “ iznosi:

$$\delta = \frac{\sigma_{\Delta x_j}}{\sigma_{x_j}} = \sqrt{\frac{1 - \tilde{r}(0)}{\tilde{r}(0)}} = \sqrt{\frac{1 - 0.931}{0.931}} = 0.268 = 27.0\% \quad (3)$$

Model VNC je iskorišćen za prostornu interpolaciju podataka o mesečnim sumama padavina sa padavinskih stanica u širem regionu Pančevačkog rita na lokaciju Beljarica, gde ne postoje podaci o osmatranjima padavina. Čvrstine korelacione veze između svih ostalih padavinskih stanica i lokacije Beljarica procenjeni su pomoću uspostavljene prostorne korelacione funkcije (3). Konkretno numeričke vrednosti date su u tabeli 7.3.

**Tabela 7.3** *Prikaz koeficijenata standardizovane korelacije između lokaliteta Beljarice i svih ostalih padavinskih stanica u regionu Pančevačkog rita –  $r_{0,j}$*

<i>Padavinska stanica</i>	$r_{0,j}$
<i>Sakule</i>	<i>0.863</i>
<i>Kovačica</i>	<i>0.858</i>
<i>Crepaja</i>	<i>0.874</i>
<i>Pančevo</i>	<i>0.878</i>
<i>Borča</i>	<i>0.915</i>
<i>Batajnica</i>	<i>0.910</i>
<i>Stara Pazova</i>	<i>0.886</i>
<i>Besni Fok</i>	<i>0.914</i>
<i>Beograd</i>	<i>0.899</i>

Rezultati proračuna serija mesečnih i godišnjih suma padavina na lokalitetu Beljarice prikazani su u Aneksu 1, a rezime u tabeli 7.4. U tabeli su prikazani i statistički parametri za mesec april i godišnjih suma padavina.

**Tabela 7.4** *Prikaz proračunatih aprilskih i godišnjih suma padavina sa statističkim parametrima*

		<i>Sre</i>	<i>S</i>	<i>Cv</i>	<i>Cs</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
<b>GODIŠNJA SUMA</b>	Beograd	687,4	130,1	0,2	0,2	367,7	1.051,2
	Beljarica	593,6	113,1	0,2	0,4	343,0	864,2
<b>MESEC APRIL</b>	Beograd	56,4	24,5	0,4	1,2	19,3	157,9
	Beljarica	49,4	20,7	0,4	0,6	13,2	106,2

Rezultati analize neodređenosti suma mesečnih padavina ukazuju da je prosečna suma godišnjih padavina na meteorološkoj stanici Beograd za 16% veća u odnosu na npr.

područje oglednog polja „Beljarica“, dok je prosečna suma padavina u Beogradu u aprilu za 14% veća u odnosu na isto područje.

Uključujući rezultate modela VNC za područje Pančevačkog rita, lokalitet Beljarica (Aneks 1), u verifikovani model režima podzemnih voda poljoprivrednog područja Rita, dobijeno je da je srednja vrednost sumarnih količina prepumpanih voda, za period od 1987. do 2014. godine od 1,40 m<sup>3</sup>/s.

Na osnovu ovih saznanja, možemo konstatovati da su u hidrodinamičkim proračunima strujanja podzemnih voda u Pančevačkom ritu, korišćeni podaci o padavinama koji su preceñjeni.

## **7.2 NEODREĐENOST PREPUMPANIH KOLIČINA VODE SA PREDLOGOM ZA POPRAVLJANJE NA PRIMERU CS „BORČA-NOVA“**

Količine prepumpane vode, kod većine drenažnih sistema u Srbiji, određuju se na osnovu časova rada pumpi i njihovog nominalnog kapaciteta. Određujući količine na taj način, ne uzimajući u obzir visinsku razliku nivoa u crpnim basenima i u recipijentima, jasna je neodređenost ključnog pokazatelja učinka drenažnih sistema. Neodređenost količina prepumpane vode može se smanjiti samo detaljnim i kontinualnim merenjem hidrauličkih karakteristika pumpi u crpnim stanicama, za različite nivoe vode u recipijentima.

Za merenje proticaja koriste se ultrazvučni merači proticaja, za merenje pritiska manometri, za merenje električne snage vatmetri, a za promene nivoa vode u crpilištu, ukoliko ne postoji ugrađena oprema, limnigrafi.

### **7.2.1 Tehničke karakteristike odabrane crpne stanice „Borča-Nova“**

U ovom radu, za utvrđivanje kapaciteta crpne stanice u Pančevačkom ritu, odabrana je crpna stanica „Borča-Nova“. Merenja je realizovao Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Zavod za hidrauliku, 2006. godine. U crpnoj stanici se nalaze 2 vertikalne propelerne pumpe, nominalnog proticaja od 1.5 m<sup>3</sup>/s, snage 200 kW i 730 obrt/min. Crpna stanica je projektovana za automatski rad, koji je diktiran nivoima u crpilištu. Uključenje i isključenje se obavlja preko mernih sondi.

Dimenzije crpilišta u osnovi su 13 m x 1.5 m.

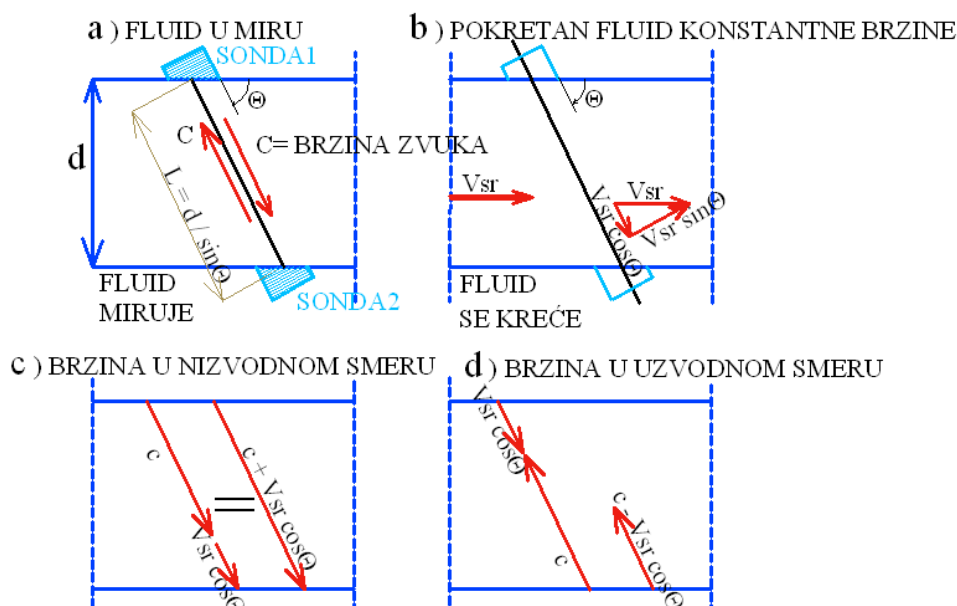
Svaka pumpa ima svoj nezavisan dovod vode. Na svakom polju se nalazi po jedna rešetka sa automatskom čistilicom. Čišćenje rešetki se vrši automatski kada razlika nivoa ispred i iza rešetke dostigne 20 cm. Svetli razmak između štapova rešetke je 50 mm.

Za režim rada crpne stanice predviđen je radni maksimum na koti 68,60 m.n.m., a radni minimum na koti 69,00 m.n.m. Da bi se obezbedilo ravnomerno opterećenje obe crpke, projektovano je ciklično uključivanje agregata. Agregati su snabdeveni meračem časova rada. Takođe, na crpnoj stanici postoje dva potisna cevovoda prečnika F800, koja se spajaju u jedan zajednički cevovod F1200. Na potisnim cevovodima pumpi su povratna klapna i tablasti zatvarač 1.

### 7.2.2 Sprovedena merenja proticaja, na zajedničkom cevovodu, ultrazvučnom metodom

Principi rada

Srednja brzina fluida  $V_{SR}$  duž jedne linije postiže se merenjem vremena prostiranja zvuka od jedne do druge sonde. Rad pretvarača se bazira na vektorskom sabiranju brzine zvuka  $c$  i brzine fluida  $V_{SR}$ .



Slika 7.2 Brzine prostiranja ultrazvuka u mirnom i pokretnom fluidu



Srednja brzina zavisi od brzine zvuka u fluidu ( $c$ ), pri čemu brzina zvuka ( $c$ ) zavisi od temperature fluida, pritiska, gustine i koncentracije mehurića vazduha.

Da bi se izbegla zavisnost merene brzine  $V_{SR}$  od brzine zvuka, koristi se sistem koji meri *razliku* brzina ( $c$ ) između uzvodnog i nizvodnog smera ultrazvuka.

Dve identične ultrazvučne sonde montirane su na suprotnim stranama cevi, naizmenično emituju i primaju signal. Prateća elektronika se koristi za merenje razlike vremena putovanja u ta dva pravca i njihovog proizvoda. Na osnovu tih podataka dobija se signal proporcionalan sa protokom vode u cevovodu.

$$\frac{t_u - t_n}{t_u t_n} = \frac{2 \sin \theta \cos \theta}{d} V_{SR} \Rightarrow V_{SR} = \frac{t_u - t_n}{t_u t_n} \times \frac{d}{2 \sin \theta \cos \theta} \quad (4)$$

Iz dobijenog izraza za srednju brzinu fluida vidi se da merena brzina zavisi samo od merenja vremena i pređenog puta.

Pošto je protok  $Q = V_{SR} A$  (sa ovako pretpostavljenim rasporedom brzina) dobija se:

$$Q = \frac{d^3 \pi}{8} \times \frac{t_u - t_n}{t_u t_n} \times \frac{d}{2 \sin \theta \cos \theta} \quad (5)$$

Gornji izrazi važe za slučaj da je između sonde fluid tekao konstantnom brzinom.

Za cevi, međutim, to nije slučaj jer se brzina u poprečnom preseku menja u zavisnosti od režima tečenja i hrapavosti zida cevi. Za realan raspored brzina u cevi odgovarajući izrazi za vremena putovanja su:

$$t_n = \int_0^l \frac{d\xi}{c + u(\xi) \cos \theta} \quad \text{i} \quad t_u = \int_0^l \frac{d\xi}{c - u(\xi) \cos \theta} \quad (6)$$

U skladu sa tim, za ostvareni raspored brzina, u izrazu za proticaj  $Q$  vrši se korekcija, sa koeficijentom  $C_u$ , kojim se uzimaju u obzir gore pobrojani uticaji. Stvarni proticaj je:

$$Q = C_u \frac{d^3 \pi}{8 \sin \theta \cos \theta} \frac{t_u - t_n}{t_u t_n} \quad (7)$$

### ⇒ Hidraulički uslovi merenja

Osnovna pretpostavka za tačno merenje meračem je da se duž cevi ostvari uniformno tečenje, bilo da je turbulentno ili laminarno. Pretpostavka je da je izmereni profil brzina reprezentativan za ceo poprečni presek, jer su svi rasporedi brzina po profilima i duž cevi uniformni.

Da bi se obezbedila pretpostavka o uniformnosti rasporeda brzina na profilu sonde se moraju postaviti dovoljno daleko od bilo kog izvora poremećaja, tako da on nema efekta na sonde. Minimalna udaljenost sonde od uzvodnog poremećaja treba da iznosi 20 D, a od nizvodnog 10 D. Ove vrednosti omogućuju tačno merenje.

### 7.2.3 Rezultati merenja

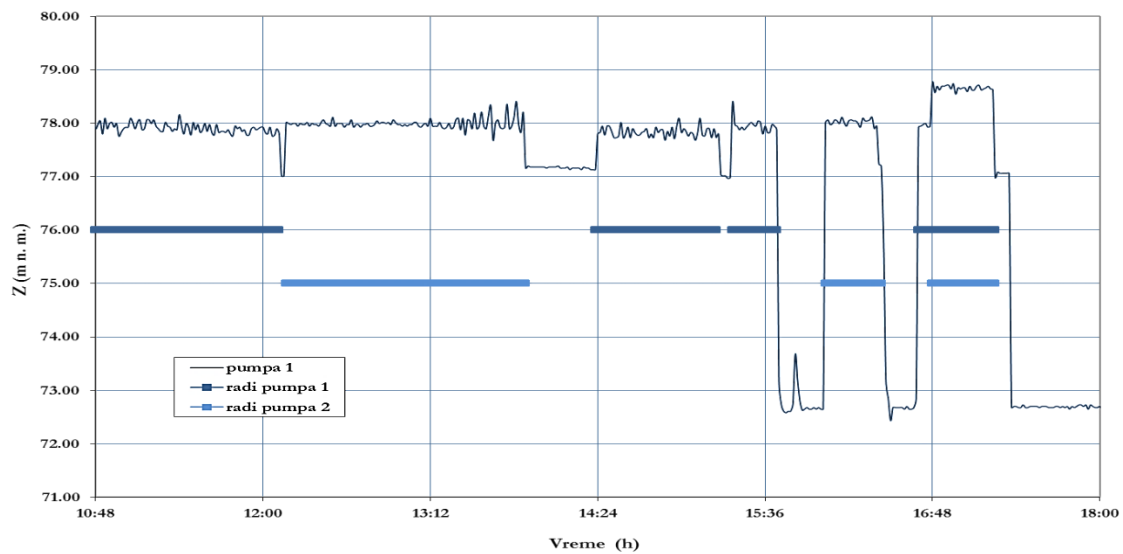
Rezultati merenja su prikazani na :

Slika 7.3 Dijagram promene pijezometarske kote na potisu pumpe 1, na mernom mestu MM 6, sandom za merenje pritiska. Interval beleženja podataka je 1min.

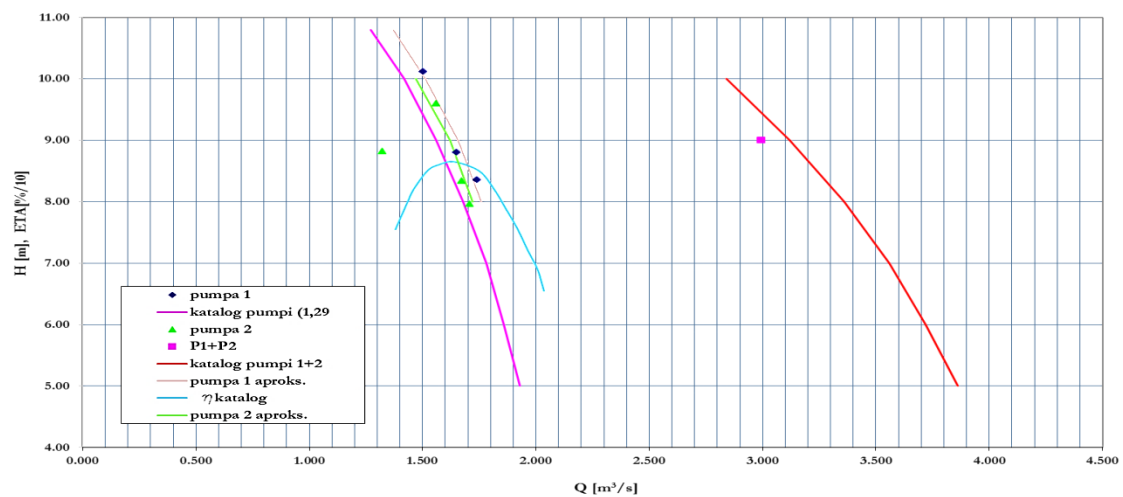
Slika 7.4 Q-H dijagram pumpe 1, pumpe 2 i spregnutog rada obe pumpe. Na dijagramu je predstavljena aproksimativna karakteristika pumpe 1 i pumpe 2, na osnovu izmerenih vrednosti. Izmerene karakteristike obe pumpe su slične. Izmerena je vrednost  $i$  pri spregnutom radu obe pumpe. Izmerena tačka na pumpi 2 koja znatno odstupa od aproksimativne Q-H krive pumpe 2 je snimljena u trenutku kada je režim rada pumpe bio nepovoljan.

Slika 7.5 Dijagram promene proticaja  $Q$  (t) za svaku pumpu ponaosob kao i zajednički rad obe pumpe:

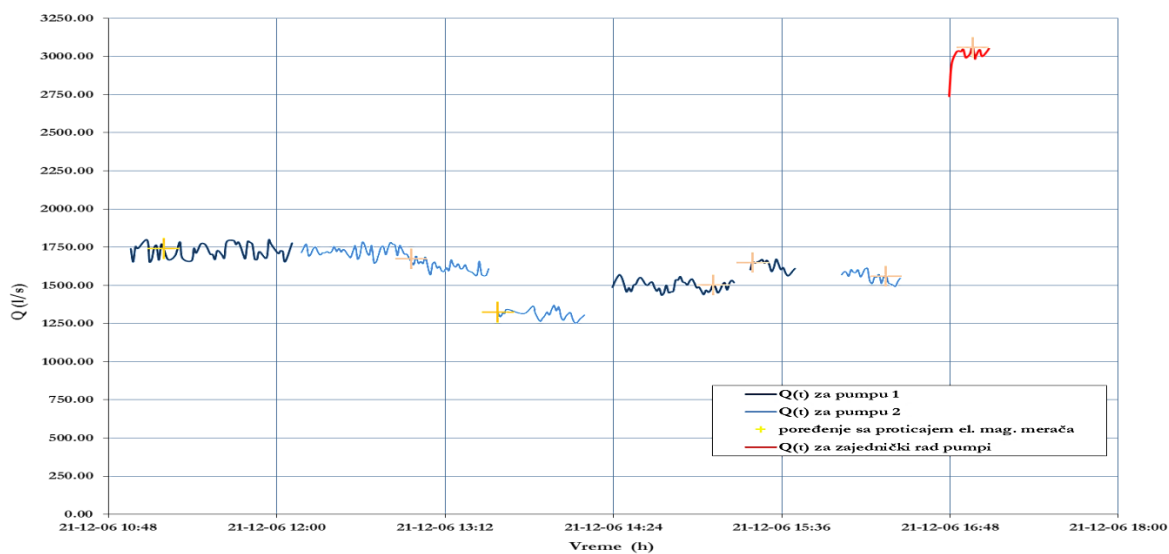
- ⇒ vrednost proticaja na pumpi 1, pri hidrološkim uslovima koji su bili prilikom merenja, uz menjanje lokalnog gubitka na rešetci, je oscilovala od minimalnog proticaja 1436 l/s do maksimalnog proticaja 1796 l/s;
- ⇒ vrednost proticaja na pumpi 2, pri hidrološkim uslovima koji su bili prilikom merenja, uz menjanje otpora na rešetci, je oscilovala od minimalnog proticaja 1253 l/s do maksimalnog proticaja 1782 l/s i
- ⇒ proticaj zabeležen pri spregnutom radu obe pumpe iznosi 3085 l/s.



Slika 7.3 Dijagram promene pijezirometerske kote na potesu pumpe 1



Slika 7.4 Q-H dijagram pumpe 1 i pumpe 2

Slika 7.5 Crpna stanica „Borča nova“ – dijagram  $Q(t)$  za pumpe 1 i 2

#### 7.2.4 Zaključci

Na osnovu terenskih merenja na odabranoj crpnoj stanici „Borča – Nova“ može se zaključiti sledeće.

- ⇒ Jasná je neodređenost kada se količina prepumpane vode određuje na osnovu časova rada pumpi. Za pumpu br.1 proticaj u toku merenja varira oko 24%, dok za pumpu br.2 varijacija proticaja dostiže 35%.
- ⇒ Vibracije pumpi su posledica nepovoljne strujne slike na usisima pumpi i svakako je potrebno redovno čišćenje rešetki kako bi se izbegao nepovoljan režim rada pumpi.
- ⇒ Potrebno je ugraditi elektomagnetni merač sa kontinualnim beleženjem podataka, na zajednički potisni cevovod obe pumpe . Svi potrebni tehnički i hidraulički uslovi za ugradnju ovakvog uređaja postoje. Prilikom ugradnje ovakvog merača proticaja potrebno je proveriti njegovu tačnost, odnosno kalibrisati drugim mernim uređajem kao redundantnim merilom.
- ⇒ Dakle, količine prepumpane vode crpnih stanica ne mogu se pouzdano odrediti bez ugradnje merača na potisnim cevovodima pumpi.

### 7.3 REZULTATI PRIMENE ANALIZE OSETLJIVOSTI POKAZATELJA EKONOMSKE EFIKASNOSTI DRENAŽNIH SISTEMA NA PODRUČJU PANČEVAČKOG RITA

Razvoj područja Pančevačkog rita zavisi i od načina regulisanja režima voda. Opravdanost ovakvih poduhvata moguće je proceniti na osnovu investicija potrebnih za realizaciju, kao i troškova funkcionisanja tako izgrađenog drenažnog sistema.

Istraživanja u ovom slučaju su veoma kompleksna jer objedinjuju tehničke, tehnološke i ekonomske pokazatelje razvoja i upravljanja sistemom.

**Investiciona analiza** obuhvata u ovom slučaju sve troškove na uređenju voda kao i troškove uređenja zemljišta (poljoprivrednog i građevinskog).

Prema predloženom tehničkom rešenju radi se o kompleksnom uređenju poljoprivrednog područja. Investiciona ulaganja u ovom slučaju odnosila bi se na izgradnju ili rekonstrukciju većeg broja objekata i radova koje treba realizovati kao što su (*Potkonjak, Božić, Nikolić, 2006.*):

- ⇒ crpne stanice;
- ⇒ ustave;
- ⇒ rekonstrukcija kanala (spuštanje dna);
- ⇒ razdvajanje slivnih površina;
- ⇒ iskop drenažnih linija;
- ⇒ izrada drenažnih zavesa;
- ⇒ komasacija zemljišta;
- ⇒ horizontalna cevna drenaža.

Planirane aktivnosti se mogu izvoditi po fazama, odnosno različitim scenarijima (Sc0, Sc1, Sc2, Sc3, Sc4, Sc5), pri čemu i redosled primene može biti različit, a vreme trajanja realizacije zavisilo bi od dinamike i načina obezbeđenja finansijskih sredstava.

Planirani iznos investicija po fazama dat je u tabelama 7.5 i 7.6, u kojima se nalaze i ostali ulazni podaci neophodni za investicionu analizu (Božić M. *et al.*, 2014.).

**Tabela 7.5 Pregled ugroženih površina po fazama (Sc0-Sc5) [ha]**

			Sc0	Sc1	Sc2	Sc3	Sc4	Sc5
<b>R1</b>	Ukupno ugrožene površine (< 1 m)	izlaz iz modela	8.260,00	5.310,00	3.320,00	4.030,00	1.900,00	0,00
<b>R2</b>	Ugrožena PGZ (0-2 m)	izlaz iz modela	1.610,00	1.390,00	1.130,00	1.250,00	912,00	0,00
<b>R3</b>	Ugrožena PGZ (0-1 m)	izlaz iz modela	777,00	634,00	488,00	76,00	3,00	0,00
<b>R4</b>	Odbranjena PGZ	R2Sc0-R2Sci	-	211,00	474,00	352,00	692,00	1.610,00
<b>R5</b>	Ukupno ugrožene površine (< 1 m), bez PGZ	R1Sci-R3Sci	7.480,00	4.670,00	2.840,00	3.950,00	1.890,00	0,00
<b>R6</b>	Odbranjena PPZ	(R5Sc0-R5Sci)*K	-	2.260,00	3.740,00	2.840,00	4.500,00	6.020,00
<b>R7</b>	Ukupno odbranjeno	R4Sci+R6Sci	-	2.470,00	4.210,00	3.190,00	5.190,00	7.620,00

PGZ – površina građevinskog zemljišta

PPZ – površina poljoprivrednog zemljišta

Sc0 – postojeće stanje

Sci – rešenje (scenario) upravljanja (Sc0-Sc5)

K – koeficijent koji pokazuje odnos poljoprivrednih površina prema ukupnim površinama područja, umanjene za površinu naselja:

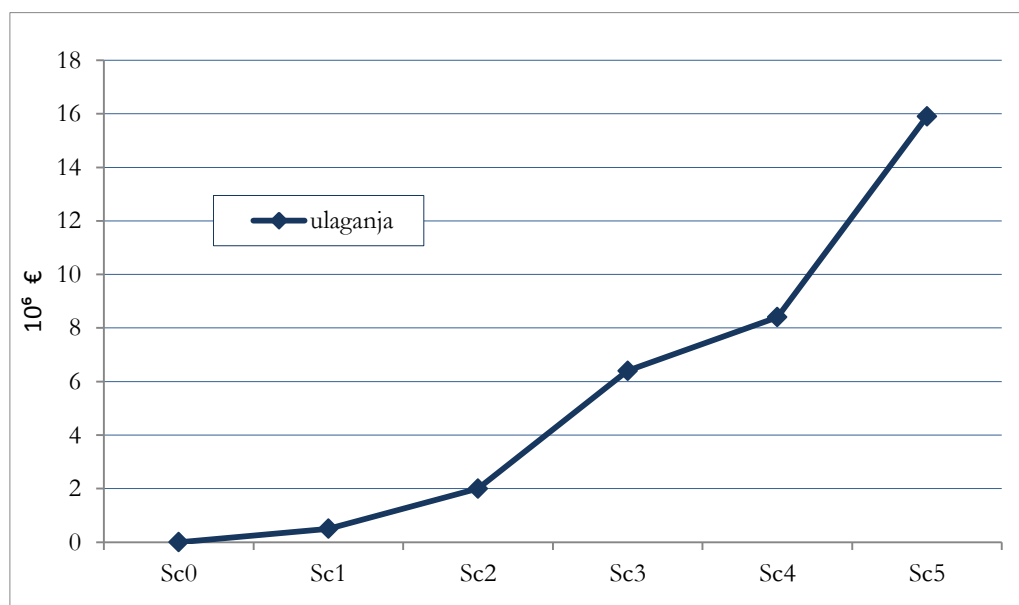
$$K = 25.051 / (33.538 - 2.339) \approx 0.8$$

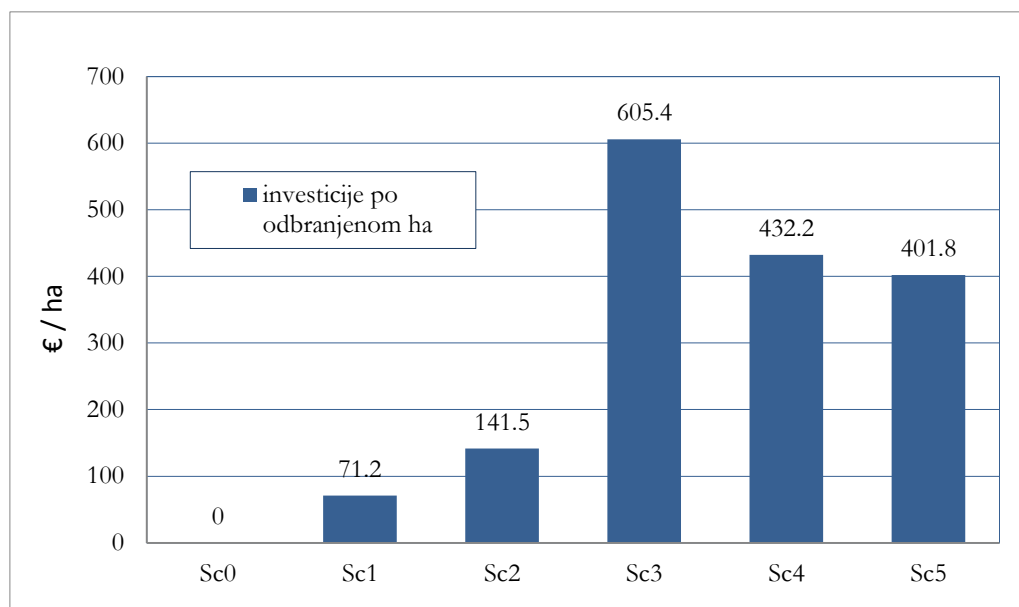
**Tabela 7.6** *Investiciona analiza*

	Sc0	Sc1	Sc2	Sc3	Sc4	Sc5
Ulaganja [10 <sup>6</sup> €]	-	0,50	2,00	6,40	8,40	15,90
Ukupno ugrožene površine (<1 m, ver. 10%) [10 <sup>3</sup> ha]	8,26	5,31	3,32	4,03	1,90	0,00
Ukupno ugrožena PGZ (<2 m, ver. 10%) [10 <sup>3</sup> ha]	1,61	1,39	1,13	1,25	0,91	0,00
Odbranjena PGZ: R4x20 (ver. 10%) [10 <sup>3</sup> ha]	0,00	4,22	9,49	7,04	13,80	32,10
Ugrožena PPZ: R5 (<1 m, ver. 10%) [10 <sup>3</sup> ha]	7,48	4,67	2,84	3,95	1,89	0,00
Odbranjena PPZ: R5Sc0-R5Sci (ver. 10%) [10 <sup>3</sup> ha]	0,00	2,81	4,65	3,53	5,59	7,48
Ukupno odbranjeno [10 <sup>3</sup> ha]	0,00	7,03	14,10	10,60	19,40	39,60
Jedinična investicija [€/ha]	-	71,20	141,50	605,40	432,20	401,80

Kao što se može zapaziti najniža jedinična investiciona ulaganja (€/ha) su za Sc1.

Na slici 7.6 prikazana je dinamika realizacije ovog projekta, a na slici 7.7 jedinične investicije po odbranjenom ha.

**Slika 7.6** *Dinamika realizacija investicija*



**Slika 7.7** Investicije po odbranenom ha (€/ha)

**Troškovi funkcionisanja pojedinih objekata i radova** - odnosi se na fazu eksploatacije drenažnog sistema (Potkonjak, Škorić, 2002.). Najvažniji su sledeći :

- ⇒ amortizacija;
- ⇒ troškovi energije (prepumpavanje);
- ⇒ troškovi održavanja;
- ⇒ troškovi upravljanja.

Amortizacija je značajan trošak, u zavisnosti od veličine branjene površine, broja (gustine) i tehničkih karakteristika kanalske mreže, kapaciteta i karakteristika crpnih stanica. Ista je u korelaciji sa stepenom tehničke opremljenosti i automatizacijom rada sistema. Kod obračuna amortizacije koriste se propisane zakonske stope koje se množe sa predračunskom vrednošću objekata i radova, što predstavlja godišnji iznos amortizacije. U ovom slučaju ne preporučuje se metod funkcionalne amortizacije (po učinku), zbog toga što je svrha izgradnje ovih sistema odbrana od suvišnih voda, a stepen suvišnosti je teško merljiv.

Stope amortizacije za karakteristične objekte ovog sistema su :

- ⇒ pumpe za dovodnjavanje – 8% godišnje
- ⇒ oprema za drenažu – 7% « «
- ⇒ građevinski deo crpnih stanica – 1,5 %
- ⇒ kanalska mreža (zemljana) – 1,5 %
- ⇒ vertikalna cevna drenaža – 10 % .

Obaveza izdvajanja amortizacije nastaje prve godine po završetku izgradnje pojedinih faza kompleksnog uređenja. Osnovicu za amortizaciju predstavlja predračunska vrednost objekata i opreme, uvećana za iznos prethodnih, pripremnih i nepredviđenih radova i osnivačka ulaganja. Troškovi amortizacije obračunavaju se u skladu sa Zakonom o amortizaciji (Sl. list 17/97.).

Obračun amortizacije po ovom Zakonu ne mora se izvršiti ako objekti služe za odbranu od poplava i odvodnjavanje sa više od 50 % instalisanih kapaciteta.

Troškovi održavanja objekata na drenažnom sistemu obuhvataju izvršenje više poslova kao što su:

- ⇒ košenje kosina i bankina kanala jedan do dva puta godišnje,
- ⇒ košenje dna kanala i uklanjanje rastinja,
- ⇒ izmuljenje, odnosno tehničko čišćenje kanala sa razastiranjem iskopanog materijala u proseku svake četvrte godine,
- ⇒ održavanje horizontalne cevne drenaže (ispiranje drenskih cevi i podrivanje zemljišta - svake četvrte godine),
- ⇒ održavanje crpnih stanica (građevinskog dela, hidromehaničke opreme, elektroopreme i dr.).

Izvršenje svih ovih poslova je u okvirima redovnog održavanja melioracionog sistema na osnovu kojih se određuje visina naknade za odvodnjavanje poljoprivrednog, šumskog i građevinskog zemljišta (*Potkonjak et al., 2007.*). Najveće učešće u troškovima redovnog održavanja kanala ima košenje kosina i dna kanala (oko 45%) a izmuljenje dna kanala učestvuje sa oko 40% u ukupnim troškovima.

U ovom slučaju svi ovi troškovi iskazani su preko troškova izmuljenja kanalske mreže koji su procenjeni na 2 €/m<sup>3</sup>, isto kod svih varijanti. Prema normativima izmuljuje se 150.000 m<sup>3</sup> što iznosi 300.000 €/godišnje.

Troškovi energije predstavljaju troškove utrošene energije za prepumpavanje i u zavisnosti su od :

- ⇒ prosečne godišnje zapremine (m<sup>3</sup>),
- ⇒ prosečne visine dizanja (m), i
- ⇒ stepena korisnog dejstva ( $\eta$ ).



Potrebna godišnja energija (kWh) je izračunata na osnovu formule :

$$Q_E = \frac{9,81 \cdot Q \cdot H}{\eta \cdot 3600} \quad (\text{kWh}) \quad (8)$$

a potom godišnji troškovi prepumpavanja kao proizvod potrebne godišnje energije i cene energije :

$$TE = Q_E \times c_E \quad (\text{€/godišnje}) \quad (9)$$

Jedinična cena električne energije (€/kWh) je promenljiva u toku sezone i zavisi od: odobrene snage, više i niže dnevne tarife za aktivnu energiju, reaktivne energije, prekomerne reaktivne energije i prekomerne snage. Ovim stavkama za distribuciju energije se dodaju i troškovi za: isporučenu električnu energiju, naknadu za podsticaj povlašćenih proizvođača električne energije, akcizu i porez na dodatu vrednost.

U ovom radu, za proračune je korišćeno da je cena 0,10 €/kWh utrošene energije.

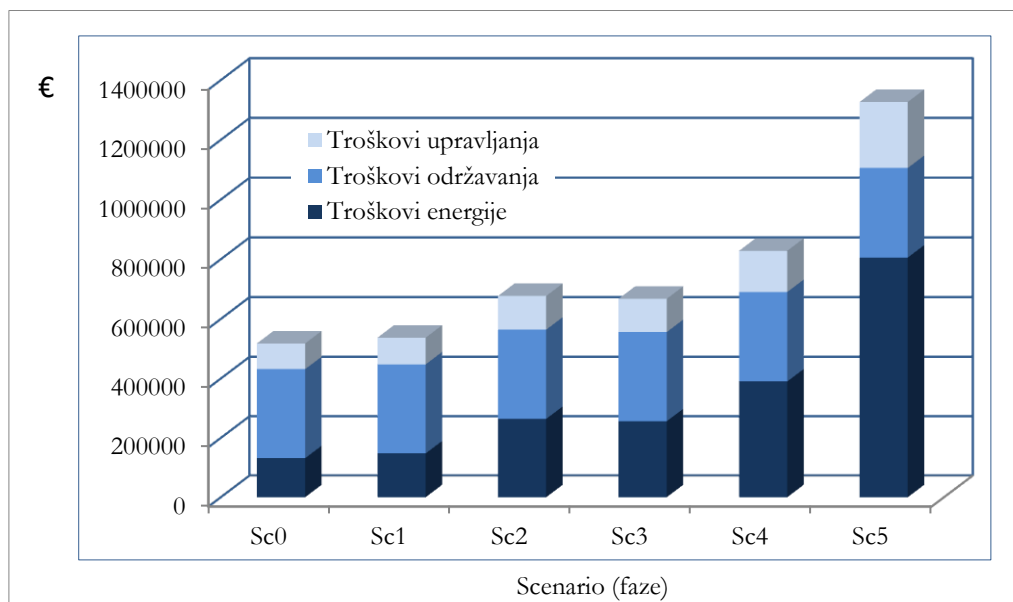
Troškovi upravljanja pojedinim objektima i sistemom u celini, kao indirektni trošak, predstavljaju ustvari troškove radne snage (i ostale prateće troškove) zaposlenih na upravljanju. U ovom slučaju ovi troškovi su obračunati na 20 % od iznosa troškova energije i troškova održavanja.

Na osnovu prethodnih elementnih troškova sastavljen je približan predračun godišnjih troškova funkcionisanja, koji su podeljeni sa odbranjenom površinom, ha (poljoprivredno + građevinsko zemljište). Bitno je napomenuti da je koeficijent za građevinsko zemljište računat za 20 puta veći od poljoprivrednog. U tabeli 7.7, prikazani su ovi troškovi po pojedinim scenarijima odnosno fazama.

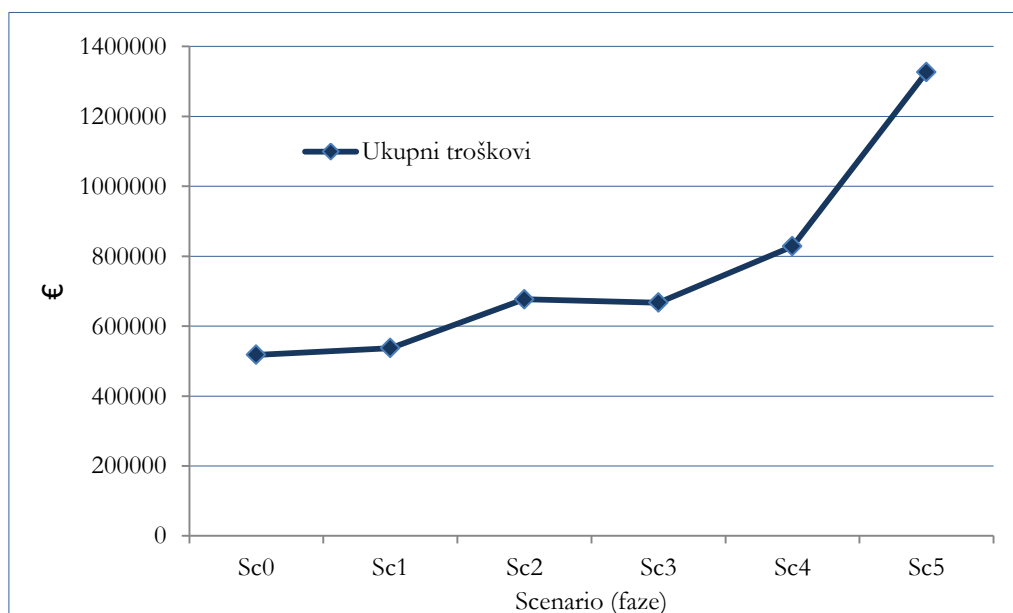
**Tabela 7.7 Troškovi funkcionisanja po scenarijima (fazama)**

Red. broj	Parametri	Scenario (faza)					
		Sc0	Sc1	Sc2	Sc3	Sc4	Sc5
1	Amortizacija (€)	0	0	0	0	0	0
2	Troškovi energije (€)	131.589,00	147.747,00	264.136,00	256.009,00	390.217,00	805.646,00
3	Troškovi održavanja (€)	300.000,00	300.000,00	300.000,00	300.000,00	300.000,00	300.000,00
4	Troškovi upravljanja (€)	86.318,00	89.549,00	112.827,00	111.202,00	138.043,00	221.129,00
5	Ukupni troškovi (€)	517.907,00	537.296,00	676.963,00	667.211,00	828.260,00	1.326.775,00
6	Površina koja se brani (ha)	0	7.030,00	14.100,00	10.600,00	19.400,00	39.600,00
7	Troškovi po odbranjenom ha (€/ha)		76,43	48,00	62,95	42,69	33,50

Kao što se može zapaziti iz date tabele, troškovi po odbranjenoj jedinici površine su varirali od 33,50 do 76,45 €/ha, a najniži troškovi postižu se kada je sistem završen u celini. Na slikama 7.8, 7.9 i 7.10 prikazano je ponašanje ovih troškova po različitim scenarijima upravljanja, odnosno po fazama.



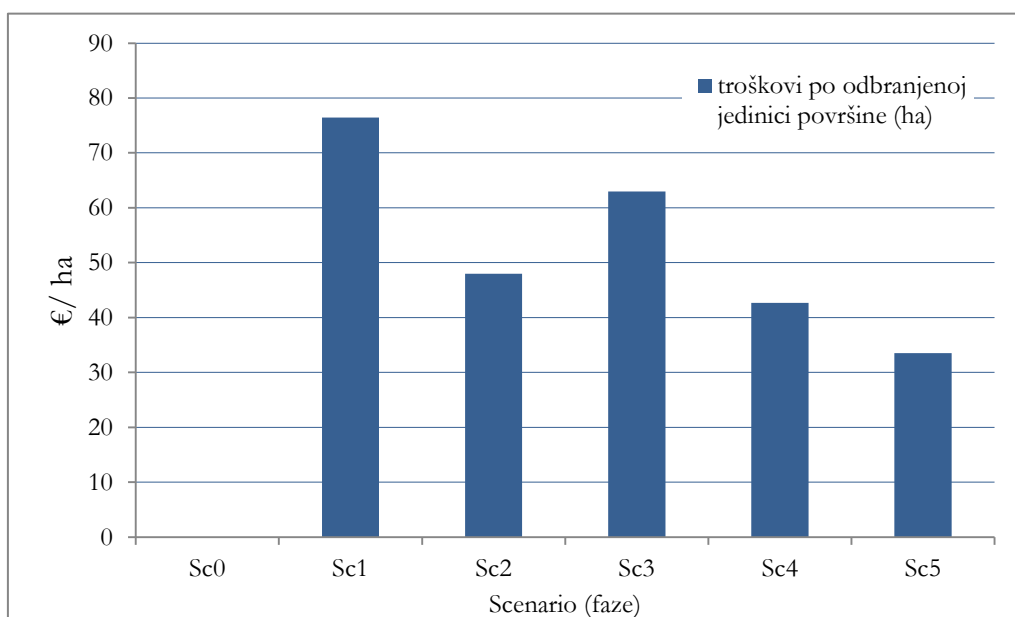
**Slika 7.8** *Struktura troškova funkcionisanja*



**Slika 7.9** *Ukupni troškovi funkcionisanja po scenarijima (fazama) upravljanja*

Ovi troškovi se pokrivaju iz naknade za odvodnjavanje građevinskog i poljoprivrednog zemljišta koju plaćaju korisnici sistema.

Upoređujući dobijenu vrednost (za konačno i kompleksno uređenje režima voda na području Pančevačkog rita) od 33,50 €/ha može se konstatovati da naknadu za odvodnjavanje građevinskog zemljišta treba povećati za oko 3,75 puta, a naknadu za odvodnjavanje poljoprivrednog zemljišta treba povećati za oko 4,5 puta u odnosu na sadašnje iznose.



*Slika 7.10 Jedinični troškovi funkcionisanja po odbranjenoj površini*

### Očekivani ekonomski efekti - statički pokazatelji efikasnosti

Ekonomski efekti kompleksnog uređenja poljoprivrednog područja Pančevačkog rita u ovom slučaju predstavljaju i ekonomske štete koje se izgradnjom sistema otklanjaju. Stepen tačnosti kod izračunavanja ovih efekata je dosta nizak ali predstavlja neku osnovu za utvrđivanje odnosa u raspodeli troškova funkcionisanja.

$$E = \sum_i G_i \quad (i = 1,2,3,\dots,n)$$

gde je :

$E$  – bruto efekat pojedinih korisnika,

$G_i$  – efekat zaštite pojedinih korisnika.

Bruto – efekat umanjuje se za iznos troškova te se dolazi do neto efekta.

$$E_i' = E_i - TF_{zo}$$

gde je :

$E_i$  – neto-efekat pojedinih korisnika,

$TF_{zo}$  – troškovi funkcionisanja zajedničkih objekata.

Utvrđivanje ekonomskih koristi odnosno eliminisanje štete na zemljištima koja treba odvodnjavati vrši se poređenjem dobiti na odvodnjavanom i neodvodnjavanom zemljištu, tj. :

$$\Delta UP = UP_2 - UP_1 = \sum f' p' k' - \sum f p k$$

$$\Delta UT = UT_2 - UT_1$$

$$\Delta D = D_2 - D_1$$

gde je :

$UP_2$  – ukupan prihod sa poljoprivrednog zemljišta posle odvodnjavanja,

$UP_1$  – ukupan prihod sa poljoprivrednog zemljišta pre odvodnjavanja,

$f$  – površina koja se melioriše (ha),

$p$  – prinos po jedinici površine (t/ha),

$k$  – prodajna cena za jedinicu proizvodnje (€/t),

$UT_2$  – troškovi proizvodnje sa poljoprivrednog zemljišta nakon uvođenja drenažnog sistema, uključujući i troškove funkcionisanja (€),

$UT_1$  – troškovi proizvodnje sa poljoprivrednog zemljišta pre drenažnog poduhvata (€),

$D_2$  – dobit sa poljoprivrednog zemljišta nakon uvođenja drenažnog sistema (€),

$D_1$  – dobit sa poljoprivrednog zemljišta pre drenažnog poduhvata (€).

Proračun ovih parametara rešava se metodom diferencijalne kalkulacije.

Efekti odvodnjavanja u drugim delatnostima, van poljoprivrede, mogu se odrediti sa više ili manje tačnosti. U nekim slučajevima odvodnjavanje je uslov egzistencije ili uslov održavanja zdravlja stanovništva, odnosno naselja ili uslov održavanja saobraćaja. Izgradnja sistema za odvodnjavanje može biti uslov otvaranja novih privrednih aktivnosti (trgovina, ugostiteljstvo, turizam i sl.). Sve ove aktivnosti koje su u neposrednoj vezi s odvodnjavanjem moraju pojedinačno iskazati svoje  $\Delta UP$ . Na osnovu dobijenih vrednosti može se odrediti pripadajući deo troškova funkcionisanja (Madžarević M., 2002.).

U ovom radu, u cilju pojednostavljenja proračuna efekata drenažnih sistema, pretpostavili smo da je na ovom poljoprivrednom zemljištu zasejana poljoprivredna kultura – kukuruz, te je obračun efekata izvršen korišćenjem diferencijalne kalkulacije (Potkonjak S., Škorić M., 2000.).

Prema prethodno postavljenoj metodologiji za obračun efekata očekivana čista godišnja dobit po jedinici površine poljoprivrednog zemljišta za reprezentativnu godinu istraživanja iznosi 43 €/ha. Očekivana ukupna čista godišnja dobit po fazama dobijena je množenjem čiste jedinične godišnje dobiti (€/ha) sa brojem odbranih hektara.

Za proračune u radu su uzeti prinosi kukuruza posle primene projekta od 6 t/ha zrna i 2 t/ha kukuruzovine, a prosečni prinosi kukuruza pre projekta iznosili su 4,4 t/ha i 1,8 t/ha kukuruzovine.

**Tabela 7.8 Proračun efekata primenom diferencijalne kalkulacije**

<i>parametri</i>	<i>jed. mere</i>	<i>vrednost</i>
P1	t/ha	6,00
P2	t/ha	4,40
UP1	€	726,00
UP2	€	990,00
UT1	€	472,00
UT2	€	693,00
D1	€	254,00
D2	€	297,00
k	€/t	165,00
$\Delta UP$	€	264,00
$\Delta UT$	€	221,00
$\Delta D$	€	43,00
f	ha	39.600,00
$\sum \Delta D$	€	1.702.800,00

Međutim ovo je procena efekata posmatrana sa društvenog aspekta kompleksnog uređenja Pančevačkog rita. Treba imati u vidu da nakon kompletiranja drenažnog sistema, sistem treba da funkcioniše kao tehničko-ekonomska celina i u tom smislu da obezbeđuje prihode (naplatom usluga od korisnika koji su vlasnici poljoprivrednog, šumskog i građevinskog zemljišta).

Zbog toga treba planirati ukupan prihod, u ovom slučaju samo za stanje „posle“ izgradnje kompletnog sistema uređenja voda. Realizacija istog je u vidu naplate naknada za odvodnjavanje građevinskog i poljoprivrednog zemljišta, kao i naknade za odvođenje atmosferskih voda. Naknadu plaćaju domaćinstva, poljoprivredna gazdinstva, preduzeća (privatna i državna), ustanove i drugi koji pripadaju području Pančevačkog rita.

Godišnji iznos ukupnog prihoda može se u ovom slučaju projektovati na sledeći iznos:

$$UP = PGZ \times N_{OGZ} + PPZ \times N_{OPZ} + PGZ \times N_{OAV} \quad (€)$$

Godišnji iznos dobiti iznosi u ovom slučaju:

$$D = UP - UT \quad (€)$$

gde su:

PGZ – površina pod građevinskim zemljištem (ha),

PPZ – površina pod poljoprivrednim zemljištem (ha),

$N_{OGZ}$  – planirani iznos godišnje naknade za odvodnjavanje građevinskog zemljišta, (€/ha),

$N_{OPZ}$  – planirani iznos godišnje naknade za odvodnjavanje poljoprivrednog zemljišta, (€/ha),

$N_{OAV}$  – planirani iznos godišnje naknade za odvođenje atmosferskih voda, (€/ha ili €/m<sup>3</sup>),

D – očekivana dobit u uslovima funkcionisanja sistema (€)

UT – ukupni troškovi funkcionisanja kompletnog sistema (€)

U tabeli je data ukupno odbranjena površina (ha), po fazama realizacije sistema. Zadržan je isti odnos naknada za odvodnjavanje građevinskog i poljoprivrednog zemljišta, koji iznosi **20 : 1**.

Površina sistema sa koeficijentom sračunata je upravo prema tom odnosu, kako bi se dobila osnovica za obračun prihoda i troškova.

Godišnji iznosi prikupljenih naknada treba da pokriju ukupne troškove funkcionisanja sistema, uz obezbeđenje minimalne akumulativnosti.

### **Očekivani ekonomski efekti - dinamički pokazatelji efikasnosti**

Kao što je konstatovano u metodološkom delu, efekti koji se mogu očekivati od ovakvih sistema su dugoročni. Zbog toga je proračun dinamičkih pokazatelja efikasnosti NSW (neto sadašnja vrednost projekta) i ISP (interna stopu prihoda) neizostavan. Prikaz proračuna za NSW i ISP dat je u Aneksu 2.

Ulazni podaci u ovom slučaju su bili: ukupna investiciona ulaganja (€), godišnja neto primanja (€) i diskontna stopa (%). Ukupna NSW za period eksploatacije sistema od 30 godina i diskontnu stopu od 6% iznosila bi 6.832.339,00 €. Pošto je  $NSW > 0$  to znači da je realizacija ovog projekta po ovom pokazatelju opravdana. Interna stopa prihoda za iste ulazne podatke iznosi 10,04%, što je više u odnosu na baznu diskontnu stopu za ovu vrstu projekata (6%).

Na kraju je urađena analiza rizika i neizvesnosti ulaganja za popravljjanje ekonomskih pokazatelja učinka drenažnog sistema Pančevačkog rita. Izvršeno je testiranje osetljivosti ovog projekta na povećanje investicija od 20% u odnosu na predračunsku vrednost kao i smanjenje neto primanja od projekta, 20% godišnje u odnosu na projektovanu vrednost.

Dobijeni podaci pokazuju da će u slučaju povećanja investicija za 20%, interna stopa prinosa opasti sa 10,04% na 7,95%. Ukoliko bi došlo do smanjenja neto primanja od projekta za 20% godišnje, interna stopa prinosa bi opala sa 10,04% na 7,54%. To znači da je projekat u ovom slučaju osetljiviji na smanjenje neto primanja.

## 8. ZAKLJUČCI

Upravljanje vodama u svetu dobija sve više na značaju zbog porasta potrošnje i nepovoljnih trendova zagađivanja. U sklopu tih aktivnosti, upravljanje režimom podzemnih voda ima veoma izražen ekonomski i socijalni značaj. Proteklih decenija, u zemljama sa tradicijom u izgradnji drenaže, ulažu se značajni naponi kako u procene učinka, tako i u dalja investiranja u drenažne sisteme. Takav trend zahteva sve više osmatranja i merenja na drenažnim poljima, odnosno više informacija. Procena učinka rada hidromelioracionih sistema je poslednjih godina uobičajena u analizi rada irgacionih sistema, prvenstveno zbog sve većih deficita vode za navodnjavanje u većini aridnih područja u svetu. Razvoju metodologije za procenu učinka drenažnih sistema posvećuje se značajnija pažnja tek poslednjih par decenija. U ovoj disertaciji dat je prilog razvoju metoda za procenu učinka drenažnih sistema za upravljanje režimom podzemnih voda na poljoprivrednim područjima.

Osnovni cilj disertacije je definisanje pokazatelja efikasnosti drenažnih sistema za upravljanje režimom podzemnih voda na poljoprivrednim zemljištima. Korišćenjem savremenih tehnika trebalo je kvantifikovati uticaj pojedinih parametara, kao i njihov međusobni odnos, u oceni učinka drenažnih sistema. Najzad, završni cilj disertacije je da se definiše metodologija za procenu i popravljavanje pokazatelja učinka drenažnih sistema za upravljanje režimom podzemnih voda na poljoprivrednim područjima, čime bi se obezbedila osnova za izradu novih planova, strategija i propisa za razvoj drenažnih sistema.

Programi procene učinka i istraživanja i razvoja su komplementarni (korisno ih je započeti u isto vreme). Potrebno je naglasiti da programe procene učinka ne treba ograničavati samo na merenje pokazatelja učinka već i na obezbeđenje što više podataka o činiocima koji objašnjavaju učinak. Procene učinka se sprovode kada je potrebna rekonstrukcija ili se planiraju novi drenažni projekti. Ovi programi često za cilj imaju unapređenje projekta, prakse izgradnje ili održavanja. Stoga je važno da se, uporedo sa procenom efikasnosti drenaže, sprovode istraživanja radi utvrđivanja činilaca koji su presudni za efikasnost. Utvrđivanje činilaca koji objašnjavaju drenažni učinak, generalno, zahtevaju posebna istraživanja na nivou polja.



Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije realizovana su primenom naučnih metoda i postupaka primerenih području i cilju rada:

- ⇒ za hidrološke analize metode matematičke statistike, uključujući korelacione analize i prilagođavanja empirijskih podataka teorijskim raspodelama;
- ⇒ za definisanje upravljanja režimom podzemnih voda determinističke metode, kroz matematičku simulaciju strujanja podzemnih voda na istraživanom poljoprivrednom području.

Takođe, disertacijom su obuhvaćene analize rezultata terenskih i laboratorijskih istražnih radova, uz upotrebu standardnih metoda i široko rasprostranjenih programskih paketa.

S obzirom da često u proceni učinka postoje nedovoljno istražene relacije između prirodnog okruženja i drenažnog sistema, predmet istraživanja u disertaciji su relevantni pokazatelji za procenu učinka, popravljane njihove neodređenosti i primena tako dobijenih saznanja na izgrađenom i osmotrivom drenažnom sistemu na području Pančevačkog rita. Režim podzemnih voda na ovom izuzetno složenom drenažnom sistemu, koga čine sedam podslivova, zavisi od prirodnih i antropogenih faktora. Ovo područje smešteno je severno od Beograda, površine od oko 32.200 ha, zaštićeno je od poplava visokim nasipima duž Dunava i Tamiša. Režim voda Dunava je promenjen izgradnjom brane „Đerdap I“: vodostaji su značajno izmenjeni, a većim delom godine su iznad kota terena branjenog područja. Pored toga, neplanskom i nekontrolisanom izgradnjom u urbanim celinama, usled pregrađivanja postojeće kanalske mreže, usporeno je oticanje površinskih voda prema crpnim stanicama. Sve navedene pojave negativno se odražavaju na život stanovništva i razvoj čitavog područja. Kao primarni problem se ističe nepovoljan režim podzemnih voda, čiji su nivoi previsoki i tako nepovoljno utiču na poljoprivrednu proizvodnju ovog područja sa velikim proizvodnim potencijalima.

U prvom delu doktorske disertacije su analizirane hidrološko-hidrauličke karakteristike poljoprivrednog područja Pančevačkog rita. Konstatovano je da za različite vodostaje reke Dunav, kao graničnog uslova, postoji indirektna zavisnost količina prepumpanih voda i ugroženih površina, što utiče na troškove pumpanja. Polazeći od rezultata merenja i osmatranja na terenu, izvršeni su hidrodinamički proračuni kretanja podzemnih voda, čiji rezultati su omogućili sagledavanje efikasnosti rada drenažnih sistema u Pančevačkom ritu. Utvrđeno je da je za postojeće stanje izgrađenosti vodoprivredne infrastrukture i zadate konturne uslove, u zavisnosti od načina upravljanja, moguće značajno smanjiti obim

ugroženih površina. Najzad, pokazano je da strožiji zahtevi u pogledu zaleganja nivoa podzemnih voda povećavaju potrebna ulaganja i veće eksploatacione troškove. Na osnovu detaljnih analiza konstatovano je da kompleksna zaštita Pančevačkog rita zahteva najmanja ulaganja po jedinici odbranjene površine. Na osnovu toga je zaključeno da bi za uređenje Pančevačkog rita trebalo svakako tražiti načina da se obezbedi ukupan kapital za kompleksno uređenje, pošto bi takva ulaganja dala najbolje efekte. Takođe, zaključeno je i da su troškovi funkcionisanja sistema za uređenje režima podzemnih voda u Ritu, koji se pokrivaju iz naknada za odvodnjavanje, najmanji u uslovima kompleksnog uređenja. Analiza rizika (prekoračenjem investicija, povećanjem troškova funkcionisanja i smanjenjem prihoda) ukazuje da je upravljanje režimom podzemnih voda u Ritu napregnuto i da je projekat osetljiviji na smanjenje neto primanja. Prikazana metodologija multidisciplinarnih istraživanja, primenjenih na područje Pančevačkog rita, pokazuje svu složenost uređenja režima podzemnih voda. Rezultate istraživanja iz ovog rada moguće je primeniti za procenu učinka i na drugim sistemima, pri čemu treba uzeti u obzir sve specifičnosti i obeležja Rita. Pristup koji je primenjen u istraživanju vodi ka boljem i sistematičnijem načinu upravljanja režimom podzemnih voda na područjima koja imaju neuređen vodni režim. Takođe, ovaj pristup može da se koristi da bi se sprovele studije izvodljivosti, kao i dobili tačniji projektni parametri za uređenje režima podzemnih voda na poljoprivrednim područjima.

U drugom delu disertacije su detaljno analizirane procene učinka rada drenažnih sistema, uključujući i sagledavanje neodređenosti, kao i definicije rizika i pouzdanosti odabranih pokazatelja. Neodređenost je karakteristika koja nije deterministička i koja je izvan rigidne kontrole. Konstatovano je da u oblasti procene učinka drenažnih sistema neodređenosti mogu biti hidrološke, hidrauličke, strukturne i ekonomske. Jasno je da nisu mogli biti analizirani svi mnogobrojni pokazatelji učinka drenažnog sistema u Pančevačkom ritu. Sa hidrološkog aspekta odabrana je analiza padavina, sa hidrauličkog analiza količina prepumpane vode, dok su sa ekonomskog aspekta izvršene analize osetljivosti u cilju definisanja promena dohotka od investicionog projekta pri izmeni početnih uslova (prekoračenje investicija, povećanje troškova funkcionisanja i smanjenje prihoda od usluga).

Sa aspekta poljoprivrede padavine, pored temperature vazduha, predstavljaju najznačajniji klimatski parametar, pa neodređenost u pogledu procene veličine padavina može imati značajan uticaj u analizama potreba za odvodnjavanjem. Na osnovu rezultata primene

modela VNC, dobijena je prostorna korelaciona funkcija, sa koeficijentima standardizovane korelacije između mernih padavinskih stanica i lokacija u Pančevačkom ritu (Beljarica). Suština metode sastoji se u tome da se na osnovu postojećih podataka osmatranja u širem regionu, korišćenjem razrađenih procedura i korelacionih zavisnosti, izvrši interpolacija unutar razmatranog prostora, na lokalitete gde se oni ne osmatraju.

Rezultati analize neodređenosti suma mesečnih padavina ukazuju na to da je prosečna suma godišnjih padavina na meteorološkoj stanici Beograd za 16% veća u odnosu na područje „Beljarica“, dok je prosečna suma padavina u Beogradu u aprilu za 14% veća u odnosu na isto područje. Na osnovu ovih saznanja, možemo konstatovati da su u hidrodinamičkim proračunima strujanja podzemnih voda u Pančevačkom ritu korišćeni podaci o padavinama koji su preceñeni.

Količine prepumpane vode, kao ključni pokazatelj učinka drenažnih sistema, najčešće se određuju na osnovu časova rada pumpi i njihovog nominalnog kapaciteta. Takav način određivanja, ne uzimajući u obzir visinsku razliku nivoa u crpnim basenima i u recipijentima, sigurno uključuje neodređenost.

Smanjenje neodređenosti, odnosno utvrđivanje stvarne količine prepumpane vode moguće je utvrditi merenjem kapaciteta pojedinačnih agregata i crpne stanice u celini, i to u celokupnom opsegu rada, prema hidrauličkim uslovima koji važe u toku merenja. Na osnovu tako dobijenih podataka, analizom se mogu utvrditi da li ima i kolika su odstupanja u odnosu na projektovane karakteristike agregata i koje bi mere trebalo preduzeti da se efikasnost eksploatacije poveća.

Merenjem količina prepumpane vode, na crpnoj stanici „Borča – Nova“ (dve pumpe nominalnog proticaja od 1500 l/s, snage 200 kw), uočava se da količine prepumpane vode za pumpu 1 variraju oko 15%, za pumpu 2 oko 40%. Vrednost proticaja na pumpi 1, pri hidrološkim uslovima koji su bili prilikom merenja, uz menjanje lokalnog gubitka na rešetci, je oscilovala od minimalnog proticaja 1436 l/s do maksimalnog proticaja 1796 l/s. Vrednost proticaja na pumpi 2, pri hidrološkim uslovima koji su bili prilikom merenja uz menjanje otpora na rešetci je oscilovala od minimalnog proticaja 1253 l/s do maksimalnog proticaja 1782 l/s.

Dakle, određivanje količine prepumpane vode na osnovu časova rada pumpi i njihovog nominalnog kapaciteta uključuje značajnu neodređenost. Količine prepumpane vode crpnih

stanica ne mogu se pouzdano odrediti bez ugradnje merača na potisnim cevovodima pumpi.

U daljim istraživanjima trebalo bi izvršiti analizu neodređenosti nekih drugih ulaznih parametara numeričkih modela (infiltracije, evapotranspiracije, dotoka vode iz dubljih slojeva itd.), kao i neodređenost samog numeričkog modeliranja dinamike podzemnih voda (heterogenost ulaznih podataka, greške u merenju, interpretacija rezultata lokalnih merenja, nepoznati granični uslovi itd.).

Analizirajući dobijenu vrednost za konačno i kompleksno uređenje režima voda na području Pančevačkog rita konstatovano je da naknadu za odvodnjavanje građevinskog zemljišta treba povećati za oko 3,75 puta, a naknadu za odvodnjavanje poljoprivrednog zemljišta za oko 4,5 puta u odnosu na sadašnje iznose, da bi upravljanje drenažnim sistemom u Pančevačkom ritu bilo održivo.

Analiza osetljivosti je veoma pogodna za ispitivanje rizika i neizvesnosti ekonomskih pokazatelja projekata drenažnih sistema. Izvršeno je testiranje osetljivosti ovog projekta na povećanje investicija od 20% u odnosu na predračunsku vrednost, kao i smanjenje neto primanja od projekta za 20% godišnje u odnosu na projektovanu vrednost. Dobijeni podaci pokazuju da, u slučaju povećanja investicija za 20%, interna stopa prinosa će opasti sa 10,04% na 7,95%. Ukoliko bi došlo do smanjenja neto primanja od projekta za 20% godišnje, interna stopa prinosa bi opala sa 10,04% na 7,54%. To znači da je projekat u ovom slučaju osetljiviji na smanjenje neto primanja.

Metodologija za procenu i popravljavanje pokazatelja učinka drenažnih sistema za upravljanje režimom podzemnih voda na poljoprivrednim područjima, prikazana u ovom radu, predstavlja doprinos u procesu izrade novih planova, strategija i propisa za razvoj drenažnih sistema. Takođe, ona doprinosi poboljšanom upravljanju vodnim resursima na različitim nivoima odlučivanja.

## 9. LITERATURA

1. Abbott M.B. et al.: Structure of a Physically - Based Distributed Modelling System, 1986.
2. Allen R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith: Crop Evapotranspiration - Guidelines for Computing Crop Water Requirements - FAO Irrigation and Drainage Paper 56, 1998.
3. Benchmarking of Irrigation and Drainage Projects, INTERNATIONAL COMMISSION ON IRRIGATION AND DRAINAGE, New Delhi, India, September 2004.
4. Boreli M.: Bilans podzemnih voda, Beograd, 1966.
5. Boreli M., Vuković M.: Doprinosi razvoju hidraulike podzemnih voda, Saopštenje Instituta za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd, 1967.
6. Bos M.G. (1994): Suggested Indicators for Assessing Irrigation and Drainage Performance in Egypt. Report to the Drainage Panel. Wageningen, The Netherlands, ILRI: 28.
7. Bos M.G., D.H. Murray-Rust, et al. (1994): “Methodologies for Assessing Performance of Irrigation and Drainage Management”, Irrigation and Drainage Systems 7(4): 231-261.
8. Bos M.G., S. Abdel - Dayem, et al. (1994): Assessing Performance of Irrigation and Drainage Performance: Examples from Egypt. 8th IWARA World Congress on Water Resources, Cairo, Egypt.
9. Bos M.G. (1996): Performance Indicators for Irrigation and Drainage, Workshop on the Evaluation of the Performance of Subsurface Drainage Systems, 16th ICID Congress, Cairo, Egypt, ICID-Cemagref.
10. Božić M., et al.: „Assessment of Groundwater Management Using Modflow and Benefit-Cost Analysis“, Irrigation and Drainage, 2014.
11. Božić M.: Upravljanje režimom podzemnih voda na poljoprivrednim područjima, Magistarski rad, Beograd, 2010.
12. Celia M.A. et al.: A General Masscon Servative Numerical Solution for the Unsaturated Flow Equation, 1990.
13. Dankers R., Hiederer R.: “Extreme Temperatures and Precipitation in Europe: Analysis of a High-Resolution Climate Change Scenario”, JRC Scientific and Techniical Report, EC, 2008., pp. 44
14. Dieleman, P. J. and B. D. Trafford (1976): Drain Testing, FAO Irrigation and Drainage Paper 28. Rome, Italy, Food and Agriculture Organisation of the United Nations: 10-20.
15. Direktive Evropske Unije o vodama – prevod, Beograd, 2005.

16. Đurđević V., Vuković A. and Vujadinović Mandić M., 2015., SCENARIJI KLIMATSKIH PROMENA ZA TERITORIJU SRBIJE – MOGUĆE POSLEDICE I OPCIJE PRILAGOĐAVANJA, Planska i normativna zaštita prostora i životne sredine, 16.-18. april 2015., Subotica, Srbija, pp. 29-35, ISBN 978-86-6283-023-4
17. Droogers P. and Allen, G.R., Estimating Reference Evapotranspiration under Inaccurate Data Conditions, 2001, Irrigation and Drainage Systems 16: 33–45, 2002.
18. Đorđević B.: Vodoprivredni sistemi, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1990.
19. Eggelsmann R.: Drananleitung Werlag, „Wasser und boden“, Hamburg, 1973.
20. FAO water report 25. Groundwater management: The Search for Practical Approaches, 2003.
21. Filipović-Korunović Branka: Proučavanje optimalnih dubina podzemne vode i elemenata vodnog bilansa kod različitih zemljišta za različite kulture, Jaroslav Černi, Beograd, 1980.
22. Gregorić, E.: Uticaj kanalske mreže na bilans voda jugoistočnog Srema, Doktorska disertacija, 2008.
23. GROUNDWATER MODELING, Michigan Department of Environmental Quality Remediation and Redevelopment Division, February 2014
24. Groundwater Monitoring, Chichester, U.K.: J. Wiley, 2009.
25. Gualdi S., Rajković B., Đurđević V., Castellari S., Scoccimarro E., A. Na and Dacic M.; **"Simulations of Climate Change in the Mediterranean Area"**, FINAL SCIENTIFIC REPORT, 2008., <http://www.earthprints.org/handle/2122/4675>.
26. Guidance for Ground Water Monitoring Plan Design, Florida Department of Environmental Protection Bureau of Water Facilities Regulation, 2008
27. Guidance on the use of Sustainable Drainage Systems (SUDS) and an Overview of the Adoption Policy, [www.anglianwater.co.uk](http://www.anglianwater.co.uk)
28. Guidelines for Surface and Drainage Water Quality Monitoring in Agriculture Dominated Areas, Arvo Iital and Sirkka Tattari, THE FINNISH ENVIRONMENT 6 | 2012
29. Hajdin G.: Osnovi hidrotehnike, Beograd, 1985.
30. Hector Malano and Martin Burton: GUIDELINES FOR BENCHMARKING PERFORMANCE IN THE IRRIGATION AND DRAINAGE SECTOR, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2001
31. Hoffman G.J. 1990. Leaching Fraction and Root Zone Salinity Control. In K.K. Tanji (ed). Agricultural Salinity Assessment and Management. ASCE Manuals and Reports on Engineering No. 71 pg 237-261. New York, N.Y. Lahlou, O. and Hamdi (1989). Problématique du drainage dans le Gharb. Kenitra, ORMVAG: 1-13.

32. Ihrig D.: Methode und Ergebnisse der Grundwasser for sehung in Ungaru, 1962.
33. Janne Hukkinen: Bayesian Analysis of Agricultural Drainage Problems in California's San Joaquin Valley, *Journal of Environmental Management*, Volume 37, Issue 3, March 1993, Pages 183-200
34. Jeffrey S. Strock, Peter J.A. Kleinman, Kevin W. King, and Jorge A. Delgado: Drainage Water Management for Water Quality Protection, *Journal of soil and water conservation*, Nov/Dec 2010—Vol. 65, No. 6
35. Kristen L. Blann; James L. Anderson; Gary R. Sands; Bruce Vondracek: Effects of Agricultural Drainage on Aquatic Ecosystems: A Review, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 39: 11, 909 — 1001, 2009
36. Lesch S.M., J. Herrero, and J.D. Rhoades. 1998. Monitoring for Temporal Changes in Soil Salinity Using Electromagnetic Induction Techniques, *Soil Science Society America Journal*, 62(1): 232-242.
37. Maas E.V. and G.J. Hoffman. 1977. Crop Salt Tolerance - Current Assessment, *Irrigation and Drainage Divison, ASCE*. 103, pg 115-134.
38. Madžarević M. i dr.: *Ekonomski efekti izgradnje drenažnih sistema*, Novi Sad, 2002.
39. Malano H., Burton, M. (2001). *Guidelines for Benchmarking Performance in the Irrigation and Drainage Sector*, Rome, FAO-IPTRID.
40. Matthias Willmann, Wolfgang Kinzelbach & Fritz Stauffer, *Uncertainty in the Modelling of Flow and Transport*, Institute of Environmental Engineering, ETH Zürich, 2015
41. Mayer A. S., C. T. Kelley and C. T. Miller. 2002. Optimal Design for Problems Involving Flow and Transport Phenomena in Saturated Subsurface Systems. *Adv. Water Resources*, no. 25(8–12): 1233–1256.
42. Mays W. L., and Tung, Y.-K. (1992). *Hydrosystems Engineering and Management*, McGraw-Hill, New York.
43. Mitrović P.: *Dreniranje u cilju melioracije i sanacije terena*, Beograd, 1998.
44. Oosterbaan R.J. and Ritzema H.P.: *Agricultural Drainage Criteria*, Wageningen, 1994.
45. Oosterbaan, R. J. (1994). *Agricultural Drainage Criteria. Drainage Principles and Applications*, ILRI Publication 16. H. P. Ritzema. Wageningen, The Netherlands, ILRI: 635-690.
46. Park C.H.: *Fundamentals of Engineering Economics*, 2004.
47. Petković S.: *Problematika nanosa u kanalskoj mreži Hidrosistema DTD*, Beograd, 2002.
48. Pinder G.F. and Celia M.A.: *Subsurface Hydrology*, Wiley, 2006.

49. Plamenac N.: Effects of Subsurface Drainage on Heavy Hydromorphic Soil in the Nelindvor Area, Amsterdam, 1988.
50. Plamenac N. i dr.: Calculation and Prediction of the Salt Regime of Lowland Soils under Influence of Groundwater Salinitation, Texas, 1976.
51. Pohll Greg; Pohlmann, Karl; Hassan, Ahmed; Chapman, Jenny; Mihevc, Todd: Assessing Groundwater Model Uncertainty for the Central Nevada Test Area <https://www.osti.gov/servlets/purl/795454-UHIXMJ/native>
52. Pokrić V.: Hidrotehničke melioracije, Novi Sad, 2008.
53. Popović T., Đurđević V., Živković M., Jović B., Jovanović M., PROMENA KLIME U SRBIJI OČEKIVANI UTICAJI, [www.sepa.gov.rs](http://www.sepa.gov.rs)
54. Potkonjak S. i dr.: Praćenje i ocena efekata odvodnjavanja, Novi Sad, 2000.
55. Potkonjak S. i dr.: New Technologies of Land Reclamation in the Conditions of Sustainable Agricultural Development, Nitra, 2002.
56. Potkonjak S., Božić M., Nikolić G. (2006): Ekonomski aspekti uređenja voda u uslovima održivog razvoja, Letopis naučnih radova, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, str. 21-27
57. Potkonjak S., Škorić M. (2007): Finansiranje sistema za odvodnjavanje sa posebnim osvrtom na drenažu, Agroekonomika, broj 36, str. 180-186, Novi Sad
58. Potkonjak S., Škorić M., Zoranović T. (2005): Uloga melioracionih sistema u multifunkcionalnom razvoju poljoprivrede, Tematski zbornik sa međunarodnog naučnog skupa „Multifunkcionalna poljoprivrede i ruralni razvoj“, Beograd, strana 268-276
59. Prohaska S.: Hidrologija II deo, Beograd, 2006.
60. Rhoades J.D., Chanduvi, F. and Lesch, S (1999) Soil Salinity Assessment Methods and Interpretation of Electrical Conductivity Measurements, FAO Irrigation and Drainage Paper no. 57. Rome.
61. Scheumann W and C. Freisem: The Role of Drainage for Sustainable Agriculture, Journal of Applied Irrigation Science, Vol. 37. No 1 /2002, pp. 33 – 61, 2002
62. Smedema L. K. and W. F. Vlotman, Eds. (1996). Workshop on Performance Assessment of Drainage Systems. Cairo, Egypt, Drainage Research Institute (DRI) and Egyptian Public Authority for Drainage Projects (EPADP).
63. Smedema L.K., Vlotman, W.F. and Rycroft, D.W. 2004. Modern Land Drainage. Planning, Design and Management of Agricultural Drainage Systems. A.A. Balkema Publishers, Leiden, The Netherlands, 446 pp.



64. Soil conservation service U.S. Department of Agriculture: Drainage and Agricultural Land
65. Soro A.: Dinamika podzemnih voda kroz rešene probleme, Beograd, 1984.
66. Soro A. i dr.: Mesto i uloga matematičkih modela u koncipiranju izvorišta podzemnih voda, Beograd, 1997.
67. Stanić Miloš: Razvoj matematičkog modela strujanja vode u nezasićenim sredinama i njegova primena u navodnjavanju i odvodnjavanju, Magistarska teza, Građevinski fakultet, Beograd, 1993.
68. Stanisavljević S.: Podzemne vode na priobalnom delu Pančevačkog rita, Diplomski rad, Beograd, 1966.
69. Stricevic R., Petkovic S., Đurovic N.: Change of the Climatic Characteristics of the Belgrade Region and its Influences on the Both Grass Water Shortage and Excess Water. *Zemljište i biljka*, Vol. 54, No. 1, 31-38, 2005.
70. Surface Water Management Plan Technical Guidance, 2010, [www.defra.gov.uk](http://www.defra.gov.uk)
71. T. Rana, S. Khan and M. Rahimi: Spatio-temporal Optimisation of Agricultural Drainage Using Groundwater Models and Genetic Algorithms: an example from the Murray Irrigation Area, Australia, *Hydrogeology Journal* 01/2008; 16(6):1145-1157.
72. Taffs K.H. (2001). The role of surface water drainage in environmental change: a case example of the Upper South East of South Australia, a historical review. *Australian Geographical Studies*, 39(3): 279-301
73. Tanji K., & Kielen, N. : Agricultural Drainage Water Management in Arid and Semi-arid Areas, FAO Irrigation and Drainage Paper 61 (Annex sections), Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2002
74. The Interim Code of Practice for SUDS: National SUDS Working Group– CIRIA at [www.ciria.org/SUDS](http://www.ciria.org/SUDS)
75. The SUDS Manual 2007 CIRIA 697 (including the handbook for the construction of SUDS: CIRIA C698
76. Ubell K.: Medjusobni odnos rečnih i podzemnih voda duž Dunava, 1964
77. Vincent B., et al. 2002.: Performance Assessment and Potential Indicators for Drainage Systems; Draft Publication ICID Working Group on Drainage. [http://www.icid.Org/w\\_body.html#22](http://www.icid.Org/w_body.html#22), then go to DRAINLINE.

78. Vincent B., Vlotman W.F., Zimmer D., Hornbuckle J.W.: Performance Assessment and Potential Indicators for Drainage Systems, CSIRO Land and Water Science, Report 62/07, September 2007.
79. Vladimir Mirlas: Applying MODFLOW Model for Drainage Problem Solution: A Case Study from Jahir Irrigated Fields, Israel, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 135, No. 3, June 1, 2009.
80. Vladislavljević Ž.: O vodoprivredi, Građevinski fakultet, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd, 1969.
81. Vlotman W. F. and Bhutta M. N, (2002.): Case Study Fourth Drainage Project, Pakistan
82. Vlotman W. F., Jansen H. J., Snellen, W. B. (2002): Controlled Drainage; An Additional Paradigm for Integrated Water Management (in press), 7th Netherlands ICID meeting, April 2002, Nijmegen, The Netherlands.
83. Vodoprivredna osnova Pančevačkog rita, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd, 1986.
84. Vodoprivredna osnova Republike Srbije, Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd, 2001.
85. Vojinović Z. et al.: Flood Risk and Social Justice from Quantitative to Qualitative Flood Risk Assessment and Mitigation, IWA Publishing, 2012.
86. Vuković M.: Prilog izučavanju režima podzemne vode u uslovima dvoslojevite porozne sredine, Saopštenje Instituta za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd, 1967.
87. Walter I.A., Allen R.G., Elliott R., Meham B., Jensen M.E., Itenfisu D., Howell T.A., Snyder R., Brown P., Echings S., Spofford T., Hattendorf M., Cuenca R.H., Wright J.L. & Martin D. 2000. *ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation*, p. 209–215.
88. The World Bank: Integrated Solutions to Drainage in Land and Water Management, Washington, 2004.
89. Yan J.J. and Smith K.R.: Simulation of Integrated Surface Water and Ground Water Systems, 1994.
90. Шкинникс Ц. Н.: Гидрологическое действие дренажа, Гидрометеоиздат, Ленинград, 1981.

## ANEKS 1

## MESEČNE I GODIŠNJE SUME PADAVINA (mm)

T-1/1

## P. S. Sakule

GODINA	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	MIN	MAX	SUM
1946	39.0	52.2	20.0	12.3	41.0	46.1	0.0	32.0	3.0	76.0	93.8	68.0	0.0	93.8	483.4
1947	52.0	44.0	52.0	14.0	19.9	77.6	40.0	14.0	5.0	25.2	39.0	86.0	5.0	86.0	468.7
1948	33.6	37.6	28.0	86.1	49.4	60.0	70.0	42.4	28.0	18.0	40.0	7.2	7.2	86.1	500.3
1949	31.6	11.3	66.0	15.4	96.0	99.5	78.8	44.0	51.7	9.5	95.0	56.7	9.5	99.5	655.5
1950	37.0	25.9	18.0	28.0	20.0	55.0	82.0	18.0	26.0	74.6	89.0	64.5	18.0	89.0	538.0
1951	20.3	51.7	40.0	59.0	34.3	89.0	100.0	47.0	13.0	9.5	30.5	24.0	9.5	100.0	518.3
1952	44.0	42.0	40.0	19.5	49.9	52.0	2.7	14.0	73.0	62.9	120.0	116.5	2.7	120.0	636.5
1953	34.3	60.7	13.0	18.0	70.0	135.5	60.0	62.9	28.0	7.4	19.5	45.0	7.4	135.5	554.3
1954	54.0	59.0	44.0	44.0	102.3	118.0	42.0	94.0	35.0	70.0	57.0	42.0	35.0	118.0	761.3
1955	31.0	92.0	64.0	66.0	29.0	47.0	116.0	75.0	70.0	55.0	53.0	86.0	29.0	116.0	784.0
1956	60.0	75.0	51.0	22.0	73.0	156.0	22.0	22.0	6.0	28.0	45.0	94.0	6.0	156.0	654.0
1957	17.0	44.0	8.0	39.0	155.0	49.0	52.0	56.0	43.0	30.0	12.0	40.0	8.0	155.0	545.0
1958	54.0	30.0	88.0	90.0	23.0	75.0	18.0	44.0	8.0	67.0	52.0	49.0	8.0	90.0	598.0
1959	60.0	5.0	42.0	40.0	75.0	59.0	52.0	107.0	20.0	4.0	67.0	60.0	4.0	107.0	591.0
1960	69.0	40.0	24.0	37.0	54.0	30.0	74.0	34.0	69.0	60.0	96.0	85.0	24.0	96.0	672.0
1961	3.0	28.0	6.0	76.0	132.0	26.0	71.0	19.0	0.0	10.0	52.0	90.0	0.0	132.0	513.0
1962	28.0	67.0	107.0	86.0	7.0	62.0	54.0	0.0	42.0	12.0	81.0	41.0	0.0	107.0	587.0
1963	120.0	37.0	44.0	39.0	40.0	32.0	52.0	31.0	73.0	6.0	37.0	93.0	6.0	120.0	604.0
1964	2.0	23.0	44.0	44.0	44.0	71.0	34.0	36.0	63.0	64.0	55.0	61.0	2.0	71.0	541.0
1965	50.0	52.0	18.0	44.0	60.0	138.0	44.0	72.0	51.0	0.0	65.0	75.0	0.0	138.0	669.0
1966	102.0	18.0	22.0	39.0	58.0	69.0	100.0	30.0	18.0	17.0	36.0	79.0	17.0	102.0	588.0
1967	30.0	14.0	42.0	52.0	47.0	63.0	49.0	4.0	86.0	10.0	32.0	88.0	4.0	88.0	517.0
1968	95.0	32.0	18.0	14.0	52.0	99.0	65.0	91.0	46.0	11.0	54.0	45.0	11.0	99.0	622.0
1969	21.0	120.0	31.0	31.0	30.0	124.0	100.0	35.0	16.0	4.0	44.0	158.0	4.0	158.0	714.0
1970	36.0	102.0	44.0	58.0	78.0	103.0	78.0	49.0	23.0	53.0	43.0	27.0	23.0	103.0	694.0
1971	48.0	17.0	60.0	23.0	40.0	96.0	54.0	25.0	64.0	31.0	44.0	7.0	7.0	96.0	509.0
1972	9.0	20.0	0.0	48.0	24.0	40.0	148.0	150.0	45.0	114.0	63.0	0.0	0.0	150.0	661.0
1973	13.0	26.0	24.0	66.0	40.0	126.0	17.0	41.0	17.0	54.0	34.0	28.0	13.0	126.0	486.0
1974	23.0	14.0	26.0	29.0	95.0	93.0	46.0	58.0	68.0	167.0	34.0	72.0	14.0	167.0	725.0
1975	13.0	8.0	14.0	44.0	87.0	82.0	155.0	189.0	46.0	32.0	39.0	5.0	5.0	189.0	714.0
1976	70.0	8.0	39.0	55.0	22.0	107.0	40.0	60.0	100.0	24.0	48.0	22.0	8.0	107.0	595.0
1977	23.0	89.0	45.0	94.0	32.0	26.0	42.0	98.0	79.0	17.0	73.0	64.0	17.0	98.0	682.0
1978	21.0	97.0	37.0	32.0	87.0	127.0	17.0	40.0	74.0	7.0	6.0	43.0	6.0	127.0	588.0
1979	82.0	41.0	41.0	53.0	59.0	98.0	82.0	115.0	12.0	68.0	47.0	52.0	12.0	115.0	750.0
1980	40.0	32.0	53.0	55.0	95.0	80.0	20.0	31.0	52.0	65.0	80.0	67.0	20.0	95.0	670.0
1981	30.0	16.0	105.0	58.0	49.0	106.0	20.0	25.0	69.0	73.0	60.0	76.0	16.0	106.0	687.0
1982	32.0	20.0	57.0	40.0	44.0	93.0	64.0	93.0	20.0	62.0	25.0	89.0	20.0	93.0	639.0
1983	33.0	20.0	15.0	24.0	38.0	107.0	59.0	8.0	73.0	28.0	26.0	30.0	8.0	107.0	461.0
1984	67.0	37.0	32.0	24.0	75.0	68.0	52.0	21.0	52.0	12.0	52.0	18.0	12.0	75.0	510.0
1985	50.4	64.8	54.2	42.3	45.7	100.5	25.3	116.6	4.6	13.0	94.5	20.4	4.6	116.6	632.3
1986	51.8	86.3	52.2	59.9	56.5	80.3	101.9	60.6	2.8	39.1	3.8	24.1	2.8	101.9	619.3
1987	93.3	5.8	58.8	58.3	171.4	51.5	78.5	19.7	29.5	12.4	100.7	35.6	5.8	171.4	715.5
1988	46.2	53.3	76.0	54.3	22.9	88.8	21.4	22.2	49.9	12.4	22.6	26.9	12.4	88.8	496.9
1989	4.5	14.8	29.6	71.6	38.9	136.9	10.2	56.9	32.1	39.5	78.9	20.4	4.5	136.9	534.3
1990	2.7	42.6	25.9	41.1	21.2	72.9	26.9	12.8	63.4	33.9	34.9	85.2	2.7	85.2	463.5
1991	11.3	12.2	53.4	35.4	66.2	44.3	147.0	44.3	26.9	79.1	54.2	19.5	11.3	147.0	593.8
1992	13.1	31.4	15.1	54.8	19.1	96.9	42.9	0.0	29.7	67.1	60.1	35.2	0.0	96.9	465.5
1993	22.8	30.9	67.9	33.7	28.9	44.7	41.7	42.9	46.7	20.2	59.8	72.5	20.2	72.5	512.6
1994	36.9	28.7	27.3	55.6	49.8	114.3	56.2	58.3	39.5	39.4	23.5	39.0	23.5	114.3	568.3
1995	68.0	38.3	41.5	65.4	71.6	80.9	59.3	61.1	77.1	3.8	53.9	81.4	3.8	81.4	702.4
1996	38.9	50.9	40.6	44.9	96.4	41.9	25.6	48.8	88.9	28.4	66.6	83.9	25.6	96.4	656.0
1997	22.9	43.2	17.6	67.4	42.2	48.3	98.3	95.2	31.3	94.1	31.9	69.2	17.6	98.3	661.6
1998	61.0	7.3	20.1	32.2	56.5	45.3	35.4	40.3	78.1	70.5	47.3	22.0	7.3	78.1	515.9
1999	42.3	46.9	19.2	69.8	56.4	97.8	154.7	12.5	75.9	43.6	55.4	99.5	12.5	154.7	774.0
2000	24.7	21.5	34.2	40.4	23.8	12.1	34.6	10.3	80.2	13.0	19.9	38.5	10.3	80.2	353.2
2001	42.8	26.2	52.2	101.7	58.2	137.7	28.6	49.7	144.5	8.5	51.2	23.7	8.5	144.5	725.0
2002	17.1	13.4	15.8	31.5	18.8	43.8	17.4	53.4	50.7	64.5	49.2	50.2	13.4	64.5	425.8
2003	53.8	18.2	12.6	19.4	41.1	19.7	76.8	6.1	60.8	93.6	27.9	27.5	6.1	93.6	457.7
2004	82.4	39.3	24.3	52.7	62.0	95.6	66.0	77.6	43.3	37.4	97.3	46.1	24.3	97.3	724.0
2005	11.6	61.4	40.2	54.4	40.0	64.7	58.1	94.7	37.3	17.5	30.9	59.2	11.6	94.7	569.9
2006	47.6	44.2	68.5	62.9	42.2	86.6	21.8	85.4	38.2	28.2	30.2	48.7	21.8	86.6	604.5
2007	43.1	48.8	80.7	6.1	63.5	87.1	19.8	59.3	67.8	83.5	97.1	33.6	6.1	97.1	690.6
2008	40.9	12.3	64.1	34.0	52.0	40.2	46.1	41.4	57.3	20.2	43.8	63.4	12.3	64.1	515.6
2009	47.8	68.2	54.8	8.8	33.8	103.1	64.5	40.8	6.4	80.1	51.6	92.2	6.4	103.1	652.2
2010	82.6	90.2	42.2	40.3	69.5	130.6	39.0	46.6	44.1	42.6	41.2	52.4	39.0	130.6	721.4
2011	42.6	48.3	27.1	17.7	56.0	38.6	0.0	17.4	42.5	34.9	7.6	42.7	0.0	56.0	375.5
2012	69.9	52.6	4.1	56.2	95.8	19.0	37.6	6.9	29.8	41.0	27.3	47.7	4.1	95.8	487.9
2013	61.8	46.5	78.5	22.3	84.5	43.5	4.8	40.7	50.8	44.6	38.2	12.0	4.8	84.5	528.1
2014	24.1	21.2	43.0	68.3	166.7	51.9	154.5	53.9	94.5	52.3	12.4	55.7	12.4	166.7	798.7
2015	42.8	45.2	98.1	29.7	65.3	37.2	13.0	43.2	82.0	58.6	53.5	5.9	5.9	98.1	574.7
SRE	41.9	40.3	40.9	45.0	57.8	76.3	55.4	49.2	46.8	40.8	50.1	52.7	10.6	108.8	597.2
s	25.0	25.6	23.8	21.5	33.5	34.5	38.1	35.5	28.3	31.3	25.3	30.3	8.5	28.3	101.6
Cv	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5	0.7	0.7	0.6	0.8	0.5	0.6	0.8	0.3	0.2
Cs	0.8	1.0	0.8	0.4	1.5	0.2	1.0	1.4	0.5	1.2	0.6	0.6	1.2	0.8	-0.1
MIN	2.0	5.0	0.0	6.1	7.0	12.1	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	0.0	0.0	56.0	353.2
MAX	120.0	120.0	107.0	101.7	171.4	156.0	155.0	189.0	144.5	167.0	120.0	158.0	39.0	189.0	798.7

## MESEČNE I GODIŠNJE SUME PADAVINA (mm)

T-1/2

P. S. Kovačica

GODINA	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	MIN	MAX	SUM
1946	37.0	52.0	20.0	14.4	39.0	45.6	1.5	31.1	2.5	70.3	86.9	66.0	1.5	86.9	466.3
1947	51.0	41.0	50.0	16.0	19.2	73.0	38.0	16.0	5.3	26.0	37.0	81.0	5.3	81.0	453.5
1948	32.4	36.0	27.6	81.0	48.0	59.0	67.0	40.4	27.6	18.5	38.0	8.0	8.0	81.0	483.5
1949	30.0	11.5	64.0	17.0	93.0	100.8	74.0	43.0	49.2	10.0	92.2	56.0	10.0	100.8	640.7
1950	35.4	26.0	18.0	27.1	19.7	55.0	78.1	18.0	27.0	69.0	84.0	62.0	18.0	84.0	519.3
1951	20.6	49.2	37.1	58.0	33.0	84.0	103.0	46.0	15.0	10.0	29.0	24.0	10.0	103.0	508.9
1952	43.0	40.0	37.1	19.0	48.0	51.0	1.9	16.0	68.0	61.0	120.0	118.0	1.9	120.0	623.0
1953	33.0	60.0	15.0	18.0	67.0	136.2	59.0	61.0	27.1	8.0	19.0	43.6	8.0	136.2	546.9
1954	54.0	58.0	43.0	42.0	107.4	114.4	35.4	89.7	26.0	67.0	51.0	40.0	26.0	114.4	727.9
1955	36.4	88.1	55.0	64.6	40.0	54.0	146.2	86.0	69.0	64.0	62.0	81.0	36.4	146.2	846.3
1956	59.0	89.0	54.0	30.0	58.0	139.0	34.0	19.0	8.0	31.0	60.0	80.0	8.0	139.0	661.0
1957	15.0	53.0	4.0	32.0	168.0	60.0	68.0	20.0	39.0	24.0	12.0	40.0	4.0	168.0	535.0
1958	62.0	41.0	75.5	84.0	32.0	55.0	16.0	31.0	8.0	61.0	67.0	46.0	8.0	84.0	578.5
1959	66.0	10.0	34.0	33.0	80.0	55.0	63.0	66.0	26.0	4.0	68.0	45.0	4.0	80.0	550.0
1960	67.0	41.0	23.0	34.0	48.0	65.0	69.0	42.0	41.0	59.0	58.0	76.0	23.0	76.0	623.0
1961	10.0	25.0	3.0	58.0	149.0	16.0	29.0	20.0	1.0	2.0	38.0	86.0	1.0	149.0	437.0
1962	19.0	67.0	110.0	64.0	6.0	50.0	29.0	22.0	28.0	5.0	54.0	48.0	5.0	110.0	502.0
1963	116.0	40.0	18.0	46.0	45.0	58.0	59.0	40.0	60.0	16.0	28.0	90.0	16.0	116.0	616.0
1964	4.0	37.0	54.0	46.0	39.0	22.0	40.0	22.0	77.0	74.0	61.0	63.0	4.0	77.0	539.0
1965	51.0	58.0	19.0	64.0	37.0	148.0	37.0	45.0	26.0	0.0	67.0	74.0	0.0	148.0	626.0
1966	100.0	19.0	23.0	21.0	67.0	61.0	70.0	33.0	15.0	24.0	42.0	82.0	15.0	100.0	557.0
1967	30.0	12.0	48.0	52.0	33.0	118.0	61.0	17.0	54.0	18.0	34.0	81.0	12.0	118.0	558.0
1968	93.0	30.0	20.0	15.0	51.0	37.0	86.0	99.0	39.0	10.0	66.0	39.0	10.0	99.0	585.0
1969	25.0	120.0	26.0	40.0	34.0	148.0	76.0	55.0	21.0	2.0	40.0	178.0	2.0	178.0	765.0
1970	35.0	114.0	29.0	73.0	120.0	102.0	79.0	57.0	28.0	61.0	38.0	28.0	28.0	120.0	764.0
1971	35.0	19.0	59.0	36.0	36.0	68.0	55.0	28.0	67.0	18.0	47.0	7.0	7.0	68.0	475.0
1972	8.0	22.0	0.0	53.0	29.0	27.0	144.0	147.0	38.0	107.0	67.0	0.0	0.0	147.0	642.0
1973	7.0	30.0	26.0	87.0	46.0	103.0	17.0	24.0	21.0	48.0	41.0	28.0	7.0	103.0	478.0
1974	27.0	17.0	34.0	34.0	109.0	97.0	47.0	39.0	111.0	191.0	33.0	84.0	17.0	191.0	823.0
1975	15.0	8.0	22.0	38.0	107.0	142.0	156.0	132.0	27.0	37.0	51.0	9.0	8.0	156.0	744.0
1976	75.0	7.0	42.0	69.0	24.0	80.0	31.0	57.0	82.0	19.0	47.0	22.0	7.0	82.0	555.0
1977	27.0	101.0	49.0	105.0	64.0	55.0	56.0	86.0	68.0	13.0	81.0	70.0	13.0	105.0	775.0
1978	18.0	131.0	43.0	26.0	78.0	131.0	19.0	30.0	86.0	4.0	10.0	44.0	4.0	131.0	620.0
1979	85.0	42.0	35.0	62.0	56.0	93.0	85.0	69.0	8.0	64.0	34.0	40.0	8.0	93.0	673.0
1980	53.0	46.0	56.0	51.0	115.0	93.0	46.0	30.0	27.0	66.0	77.0	53.0	27.0	115.0	713.0
1981	36.0	18.0	91.0	57.0	51.0	110.0	37.0	43.0	92.0	66.0	62.0	70.0	18.0	110.0	733.0
1982	30.0	14.0	55.0	51.0	8.0	88.0	67.0	105.0	20.0	48.0	22.0	82.0	8.0	105.0	590.0
1983	28.0	15.0	16.0	27.0	61.0	103.0	54.0	9.0	69.0	33.0	26.0	27.0	9.0	103.0	468.0
1984	62.0	54.0	27.0	24.0	65.0	65.0	52.0	41.0	65.0	18.0	48.0	22.0	18.0	65.0	543.0
1985	52.2	53.4	43.6	38.6	38.9	86.4	20.6	114.4	1.8	14.4	71.5	24.3	1.8	114.4	560.1
1986	57.4	66.2	43.4	55.2	43.2	77.8	118.8	29.2	1.7	28.5	4.0	24.0	1.7	118.8	549.4
1987	103.1	4.0	55.0	65.0	181.1	62.3	66.0	27.0	31.3	10.0	81.9	28.0	4.0	181.1	714.7
1988	43.5	58.3	64.7	46.1	40.4	70.4	20.3	23.5	58.6	10.6	22.5	25.2	10.6	70.4	484.1
1989	6.2	12.0	37.1	73.8	59.0	134.0	28.4	81.8	39.2	45.3	42.5	18.2	6.2	134.0	577.5
1990	4.1	42.8	29.3	44.6	27.4	82.1	27.8	17.8	59.1	21.6	29.3	77.6	4.1	82.1	463.5
1991	11.8	16.7	67.3	36.7	67.7	50.9	117.5	64.1	49.3	60.6	49.6	19.6	11.8	117.5	611.8
1992	14.9	31.1	16.2	55.9	19.4	99.4	41.9	0.2	28.5	66.1	60.7	34.6	0.2	99.4	468.9
1993	23.2	30.3	66.7	33.6	27.8	44.3	40.0	41.8	46.3	20.1	60.4	69.4	20.1	69.4	503.8
1994	35.7	27.6	26.8	56.5	49.4	118.3	57.0	58.7	37.5	37.5	24.5	37.2	24.5	118.3	566.6
1995	66.8	36.8	39.8	64.9	68.7	79.8	59.8	61.8	74.2	3.6	55.0	80.3	3.6	80.3	691.6
1996	37.2	50.4	38.6	44.5	98.4	40.3	26.3	48.3	84.9	27.4	65.8	82.1	26.3	98.4	644.3
1997	23.5	42.3	18.3	66.3	40.7	47.9	101.9	95.6	31.0	91.7	32.1	67.4	18.3	101.9	658.8
1998	61.7	7.6	20.0	32.5	57.3	44.9	34.7	38.2	75.5	68.1	46.9	22.2	7.6	75.5	509.5
1999	40.9	46.5	19.5	67.7	57.2	101.3	153.6	13.2	72.9	42.9	56.4	104.0	13.2	153.6	776.2
2000	26.0	21.5	33.9	38.4	24.9	12.1	34.2	10.3	78.8	14.6	19.9	36.9	10.3	78.8	351.3
2001	41.7	26.4	51.9	108.8	58.6	144.0	27.5	49.3	146.7	8.6	50.7	24.8	8.6	146.7	739.0
2002	17.6	15.1	16.6	31.4	19.2	43.3	18.1	54.2	50.2	64.3	48.7	49.8	15.1	64.3	428.5
2003	54.8	18.9	13.6	19.6	39.3	19.8	73.9	6.4	61.6	90.0	27.0	26.9	6.4	90.0	451.8
2004	81.2	37.4	25.6	52.8	62.5	96.5	65.3	74.8	42.5	36.1	100.3	45.7	25.6	100.3	720.7
2005	11.2	62.0	38.2	55.5	37.9	64.4	58.5	93.8	36.0	18.2	30.1	59.7	11.2	93.8	565.7
2006	47.2	43.8	67.1	63.1	40.7	83.7	21.8	83.0	36.7	27.2	28.9	48.2	21.8	83.7	591.5
2007	42.1	48.4	79.1	6.2	63.9	83.9	19.4	60.3	66.2	81.0	100.5	32.4	6.2	100.5	683.5
2008	39.2	12.4	64.3	32.8	51.7	38.3	45.7	39.7	58.5	19.9	43.1	63.8	12.4	64.3	509.4
2009	47.5	66.4	56.2	8.9	32.6	111.1	64.5	39.0	6.7	78.7	51.0	89.7	6.7	111.1	652.3
2010	80.4	87.3	40.7	38.4	67.0	138.2	37.4	46.3	43.6	41.2	39.5	52.6	37.4	138.2	712.5
2011	41.3	48.0	26.9	17.7	57.3	37.0	0.0	17.6	41.2	33.6	8.1	41.4	0.0	57.3	370.2
2012	67.2	53.0	3.8	57.5	98.0	18.7	36.2	7.3	28.8	39.2	27.0	47.4	3.8	98.0	484.1
2013	62.5	46.1	76.8	22.4	81.7	42.7	4.2	38.9	50.2	44.1	36.7	11.8	4.2	81.7	518.2
2014	24.6	21.0	41.9	66.4	179.3	51.5	151.5	55.3	93.7	52.3	13.0	57.1	13.0	179.3	807.7
2015	41.6	44.7	102.1	28.7	64.9	35.8	14.3	42.3	79.9	59.7	54.8	5.7	5.7	102.1	574.6
SRE	42.0	41.7	39.8	45.7	59.8	76.0	55.3	47.3	45.5	39.8	48.3	51.4	10.8	108.5	592.7
s	25.1	27.3	23.0	22.0	37.2	36.1	37.3	30.7	28.8	32.0	23.6	30.6	8.6	31.4	112.6
Cv	0.6	0.7	0.6	0.5	0.6	0.5	0.7	0.6	0.6	0.8	0.5	0.6	0.8	0.3	0.2
Cs	0.8	1.2	0.8	0.5	1.6	0.4	1.1	1.1	0.7	1.7	0.6	1.1	1.1	0.7	0.3
MIN	4.0	4.0	0.0	6.2	6.0	12.1	0.0	0.2	1.0	0.0	4.0	0.0	0.0	57.3	351.3
MAX	116.0	131.0	110.0	108.8	181.1	148.0	156.0	147.0	146.7	191.0	120.0	178.0	37.4	191.0	846.3

## MESEČNE I GODIŠNJE SUME PADAVINA (mm)

T-1/3

## P. S. Crepaja

GODINA	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	MIN	MAX	SUM
1946	28.0	68.0	22.0	36.0	61.0	32.0	5.0	12.0	5.0	77.0	87.0	62.0	5.0	87.0	495.0
1947	72.0	49.0	36.0	35.0	48.0	40.0	43.0	50.0	3.0	20.0	25.0	41.0	3.0	72.0	462.0
1948	36.0	42.0	41.0	59.0	33.0	124.0	29.0	37.0	35.0	48.0	44.0	4.0	4.0	124.0	532.0
1949	35.0	3.0	73.0	22.0	115.0	165.0	71.0	40.0	12.0	5.0	84.0	68.0	3.0	165.0	693.0
1950	18.0	29.0	18.0	33.0	25.0	15.0	50.0	14.0	21.0	67.0	116.0	43.0	14.0	116.0	449.0
1951	20.0	50.0	35.0	49.0	54.0	123.0	124.0	25.0	7.0	4.0	45.0	20.0	4.0	124.0	556.0
1952	56.0	53.0	20.0	15.0	57.0	85.0	5.0	9.0	44.0	108.0	116.0	78.0	5.0	116.0	646.0
1953	33.0	64.0	8.0	26.0	75.0	130.0	51.0	96.0	6.0	19.0	9.0	34.0	6.0	130.0	551.0
1954	50.0	30.0	28.0	59.0	90.0	151.0	33.0	90.0	32.0	74.0	73.0	51.0	28.0	151.0	761.0
1955	31.0	89.0	64.0	63.0	37.0	87.0	170.0	84.0	85.0	66.0	59.0	58.0	31.0	170.0	893.0
1956	69.0	66.0	51.0	34.0	76.0	147.0	22.0	19.0	8.0	33.0	38.0	79.0	8.0	147.0	642.0
1957	8.0	37.0	2.0	29.0	207.0	26.0	115.0	7.0	56.0	25.0	22.0	37.0	2.0	207.0	571.0
1958	50.0	27.0	93.0	82.0	26.0	63.0	4.0	22.0	9.0	55.0	68.0	49.0	4.0	93.0	548.0
1959	70.0	9.0	23.0	43.0	124.0	121.0	69.0	98.0	40.0	0.0	61.0	51.0	0.0	124.0	709.0
1960	52.0	24.0	30.0	36.0	36.0	43.0	68.0	41.0	34.0	68.0	77.0	69.0	24.0	77.0	578.0
1961	9.0	22.0	6.0	62.0	169.0	71.0	26.0	15.0	0.0	0.0	38.0	95.0	0.0	169.0	513.0
1962	24.0	77.0	85.0	59.0	7.0	32.0	50.0	5.0	36.0	12.0	58.0	43.0	5.0	85.0	488.0
1963	118.0	48.0	31.0	50.0	42.0	41.0	93.0	21.0	72.0	21.0	35.0	85.0	21.0	118.0	657.0
1964	13.0	41.0	64.0	43.0	48.0	48.0	73.0	24.0	68.0	75.0	74.0	67.0	13.0	75.0	638.0
1965	55.0	62.0	25.0	52.0	36.0	116.0	34.0	36.0	42.0	0.0	60.0	83.0	0.0	116.0	601.0
1966	109.0	21.0	26.0	41.0	62.0	66.0	91.0	33.0	18.0	34.0	42.0	84.0	18.0	109.0	627.0
1967	30.0	13.0	51.0	63.0	44.0	94.0	76.0	10.0	58.0	18.0	30.0	109.0	10.0	109.0	596.0
1968	90.0	27.0	30.0	15.0	39.0	25.0	74.0	88.0	26.0	12.0	62.0	54.0	12.0	90.0	542.0
1969	20.0	116.0	28.0	34.0	32.0	193.0	74.0	47.0	28.0	3.0	33.0	181.0	3.0	193.0	789.0
1970	40.0	106.0	42.0	66.0	125.0	85.0	121.0	61.0	16.0	71.0	48.0	25.0	16.0	125.0	806.0
1971	45.0	23.0	71.0	40.0	29.0	68.0	62.0	30.0	66.0	19.0	46.0	8.0	8.0	71.0	507.0
1972	8.0	23.0	1.0	75.0	31.0	33.0	228.0	106.0	60.0	115.0	72.0	0.0	0.0	228.0	752.0
1973	9.0	31.0	30.0	102.0	49.0	86.0	24.0	35.0	37.0	41.0	39.0	27.0	9.0	102.0	510.0
1974	18.0	21.0	23.0	42.0	89.0	176.0	48.0	46.0	136.0	197.0	40.0	75.0	18.0	197.0	911.0
1975	14.0	10.0	38.0	42.0	101.0	116.0	146.0	167.0	29.0	29.0	52.0	3.0	3.0	167.0	747.0
1976	78.0	5.0	31.0	37.0	28.0	94.0	49.0	54.0	80.0	21.0	49.0	15.0	5.0	94.0	541.0
1977	29.0	92.0	52.0	90.0	47.0	42.0	42.0	87.0	62.0	12.0	76.0	75.0	12.0	92.0	706.0
1978	22.0	129.0	51.0	42.0	105.0	157.0	20.0	29.0	89.0	12.0	10.0	48.0	10.0	157.0	714.0
1979	73.0	37.0	38.0	73.0	55.0	87.0	58.0	37.0	11.0	49.0	28.0	48.0	11.0	87.0	594.0
1980	35.0	42.0	53.0	45.0	125.0	65.0	61.0	26.0	21.0	73.0	84.0	44.0	21.0	125.0	674.0
1981	30.0	15.0	102.0	64.0	27.0	183.0	19.0	42.0	75.0	87.0	74.0	67.0	15.0	183.0	785.0
1982	21.0	14.0	63.0	41.0	39.0	87.0	80.0	78.0	13.0	73.0	16.0	77.0	13.0	87.0	602.0
1983	26.0	11.0	15.0	37.0	50.0	83.0	38.0	8.0	60.0	11.0	26.0	35.0	8.0	83.0	400.0
1984	64.0	38.0	23.0	31.0	89.0	42.0	68.0	33.0	56.0	12.0	53.0	10.0	10.0	89.0	519.0
1985	21.0	50.0	46.0	58.0	40.0	85.0	12.0	110.0	4.0	14.0	67.0	29.0	4.0	110.0	536.0
1986	63.0	56.0	49.0	59.0	49.0	48.0	62.0	18.0	0.0	36.0	1.0	207.0	0.0	207.0	648.0
1987	89.0	4.0	54.0	59.0	165.0	67.0	70.0	20.0	7.0	17.0	75.0	40.0	4.0	165.0	667.0
1988	34.0	57.0	66.0	52.0	25.0	110.0	22.0	18.0	64.0	15.0	23.0	31.0	15.0	110.0	517.0
1989	4.0	10.0	31.0	82.0	34.0	188.0	17.0	72.0	36.0	54.0	52.0	20.0	4.0	188.0	600.0
1990	4.0	44.0	32.0	61.0	9.0	77.0	43.0	19.0	45.0	51.0	33.0	92.0	4.0	92.0	510.0
1991	10.0	12.0	67.0	39.0	78.0	41.0	123.0	27.0	43.0	71.0	20.0	10.0	10.0	123.0	602.0
1992	10.0	31.2	12.1	56.1	17.8	109.3	41.8	0.0	28.6	70.8	63.4	33.8	0.0	109.3	475.0
1993	21.7	30.4	71.5	33.2	27.4	43.8	39.8	41.7	46.2	19.0	63.0	75.2	19.0	75.2	512.9
1994	34.5	27.1	25.9	57.1	48.9	130.3	57.9	60.5	36.3	36.3	22.7	36.0	22.7	130.3	573.7
1995	71.6	35.5	39.5	69.0	74.5	84.5	62.1	64.8	79.5	3.0	54.7	85.0	3.0	85.0	723.8
1996	36.0	49.6	37.7	44.1	108.3	40.3	24.9	48.3	89.8	26.8	70.3	87.0	24.9	108.3	663.1
1997	21.9	42.1	14.7	71.1	40.9	48.1	112.5	105.1	31.1	99.0	32.0	72.5	14.7	112.5	690.8
1998	64.7	4.9	18.9	32.3	58.4	44.6	33.9	37.0	80.8	73.5	46.9	20.9	4.9	80.8	516.8
1999	41.1	46.5	18.0	73.0	58.2	111.4	196.5	9.0	77.9	42.5	56.9	115.5	9.0	196.5	846.4
2000	24.2	20.3	33.4	37.3	23.1	8.6	33.6	7.6	83.8	9.8	18.7	35.7	7.6	83.8	336.1
2001	41.6	25.3	51.1	119.4	60.4	175.8	27.0	48.9	182.6	6.3	49.8	23.0	6.3	182.6	811.1
2002	13.6	10.4	12.5	31.4	17.3	42.8	14.3	53.5	49.5	68.1	48.5	49.2	10.4	68.1	411.1
2003	54.4	16.3	9.2	18.2	38.7	18.5	79.1	4.1	64.5	95.5	26.3	26.1	4.1	95.5	451.0
2004	86.0	36.2	23.8	52.0	65.7	106.4	69.7	80.1	42.2	34.9	110.4	45.4	23.8	110.4	752.8
2005	8.3	65.1	37.0	55.5	36.8	68.3	60.2	102.6	34.8	14.6	30.3	62.0	8.3	102.6	575.4
2006	47.2	43.2	72.0	66.6	40.8	88.5	20.6	87.8	35.5	26.6	29.3	48.2	20.6	88.5	606.3
2007	51.2	48.2	100.5	4.0	67.4	89.9	17.1	60.6	100.1	86.8	91.3	30.5	4.0	100.5	747.6
2008	38.2	8.8	68.0	32.1	50.9	36.9	45.7	39.2	59.9	18.0	42.8	67.2	8.8	68.0	507.7
2009	70.6	91.0	49.7	7.3	47.5	87.0	60.8	38.7	0.5	84.2	81.4	120.3	0.5	120.3	739.0
2010	83.0	117.8	49.6	45.0	110.3	155.1	94.4	85.2	61.5	50.9	47.9	69.5	45.0	155.1	970.2
2011	43.1	34.0	24.8	11.0	91.5	74.5	85.1	15.4	51.7	32.9	0.8	53.7	0.8	91.5	518.5
2012	73.4	76.6	2.7	93.3	73.7	13.7	44.2	16.3	20.3	58.3	23.4	67.3	2.7	93.3	563.2
2013	63.9	46.2	86.5	37.4	121.9	56.8	19.1	22.2	68.5	54.8	43.7	5.2	5.2	121.9	626.2
2014	36.5	12.6	48.9	83.9	199.4	30.5	159.5	83.9	101.6	51.3	4.0	50.3	4.0	199.4	862.4
2015	48.6	39.5	76.7	12.3	61.7	28.7	1.2	43.8	101.4	78.1	53.1	5.1	1.2	101.4	550.2
SRE	41.7	40.8	40.7	48.9	63.9	82.2	60.9	45.7	46.9	43.8	50.0	54.7	9.6	121.9	620.2
s	26.3	28.8	24.2	22.6	42.3	47.5	45.3	33.5	34.2	35.4	25.8	37.0	8.7	40.7	129.7
Cv	0.6	0.7	0.6	0.5	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.5	0.7	0.9	0.3	0.2
Cs	0.7	1.1	0.6	0.5	1.5	0.6	1.5	1.0	1.1	1.4	0.4	1.6	1.5	0.8	0.5
MIN	4.0	3.0	1.0	4.0	7.0	8.6	1.2	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	68.0	336.1
MAX	118.0	129.0	102.0	119.4	207.0	193.0	228.0	167.0	182.6	197.0	116.0	207.0	45.0	228.0	970.2

## MESEČNE I GODIŠNJE SUME PADAVINA (mm)

T-1/4

P. S. Pančevo

GODINA	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	MIN	MAX	SUM
1946	18.9	53.6	22.8	33.5	62.7	88.4	5.1	17.5	7.0	79.9	93.1	43.0	5.1	93.1	525.5
1947	57.7	37.1	38.1	32.2	50.1	46.8	71.9	46.8	3.0	13.6	26.6	52.4	3.0	71.9	476.3
1948	35.8	44.0	39.5	66.0	60.5	105.4	42.7	9.2	5.1	27.1	25.3	4.6	4.6	105.4	465.2
1949	77.5	5.1	94.9	12.1	162.7	132.3	53.3	48.7	26.1	6.6	84.1	63.2	5.1	162.7	766.6
1950	21.3	26.5	39.1	28.1	34.4	34.6	49.7	13.5	28.9	64.4	97.6	56.8	13.5	97.6	494.9
1951	26.2	45.4	56.2	75.8	51.9	70.7	128.2	31.7	13.4	2.1	50.2	20.9	2.1	128.2	572.7
1952	45.8	39.6	29.2	31.3	63.0	97.2	21.4	21.4	58.0	86.3	127.4	102.9	21.4	127.4	723.5
1953	35.5	74.8	14.3	34.5	91.5	146.9	34.4	72.0	11.2	20.9	17.0	39.1	11.2	146.9	592.1
1954	70.9	29.0	41.6	62.7	135.0	160.3	74.9	108.1	80.9	82.5	71.4	67.6	29.0	160.3	984.9
1955	35.5	111.6	50.1	54.5	46.5	60.5	152.6	96.0	81.7	70.3	58.7	59.2	35.5	152.6	877.2
1956	50.8	40.7	54.3	40.8	105.9	151.8	30.2	24.9	4.5	37.6	36.4	84.2	4.5	151.8	662.1
1957	12.0	32.6	1.4	34.0	164.1	55.3	79.0	18.4	22.7	40.0	22.7	38.9	1.4	164.1	521.1
1958	55.1	25.5	80.8	105.0	19.8	73.4	30.5	19.7	12.7	65.2	70.7	51.2	12.7	105.0	609.6
1959	78.2	17.4	35.1	47.1	75.5	61.7	40.3	86.2	33.5	8.0	71.9	39.7	8.0	86.2	594.6
1960	54.8	26.7	22.8	32.3	49.0	41.5	89.0	52.7	34.2	43.8	75.1	79.6	22.8	89.0	601.5
1961	11.5	23.0	9.2	73.2	179.5	121.0	27.4	11.2	6.2	1.2	44.1	90.8	1.2	179.5	598.3
1962	25.8	54.3	91.3	65.9	11.6	62.5	28.0	5.9	27.8	7.0	60.0	41.0	5.9	91.3	481.1
1963	101.1	44.6	25.8	62.1	40.8	25.4	103.8	16.3	53.9	15.4	45.6	71.0	15.4	103.8	605.8
1964	3.7	28.9	63.9	40.7	51.7	33.9	52.8	14.1	89.2	70.1	61.4	65.4	3.7	89.2	575.8
1965	49.1	62.4	28.8	44.8	47.3	147.6	54.6	28.2	54.4	0.0	59.9	77.5	0.0	147.6	654.6
1966	79.1	20.7	24.2	30.7	68.8	72.8	52.9	30.2	23.4	37.8	45.5	94.8	20.7	94.8	580.9
1967	26.8	12.6	50.2	42.0	67.0	117.9	51.4	14.4	60.9	19.8	36.2	104.1	12.6	117.9	603.3
1968	81.2	18.6	27.6	14.4	44.2	46.7	84.4	109.7	58.0	10.3	74.5	54.3	10.3	109.7	623.9
1969	23.9	90.9	23.0	34.9	26.4	195.0	67.6	27.8	45.5	5.3	50.6	146.4	5.3	195.0	737.3
1970	33.5	102.0	50.1	73.1	98.6	116.4	66.4	77.3	21.7	66.4	56.1	22.4	21.7	116.4	784.0
1971	35.1	29.9	51.1	43.2	55.7	134.7	10.2	65.0	60.1	10.3	40.3	10.0	10.0	134.7	545.6
1972	12.2	12.2	2.2	94.2	83.2	17.5	111.0	49.4	43.7	102.5	46.9	0.3	0.3	111.0	575.3
1973	12.4	30.1	23.5	77.3	55.7	72.1	30.7	74.6	40.5	31.1	38.0	27.4	12.4	77.3	513.4
1974	18.0	20.9	24.7	41.9	79.4	111.0	31.7	58.7	93.3	164.4	67.5	69.0	18.0	164.4	780.5
1975	19.1	6.0	37.3	34.2	110.4	85.5	107.1	259.7	18.5	31.5	35.6	2.6	2.6	259.7	747.5
1976	42.4	7.6	17.0	54.8	23.6	74.6	36.8	59.4	47.3	22.4	53.8	23.7	7.6	74.6	463.4
1977	28.3	65.6	58.1	89.6	38.6	34.6	92.5	65.9	64.0	10.7	64.4	72.9	10.7	92.5	685.2
1978	12.9	100.1	49.9	39.2	109.5	127.0	51.5	15.3	83.7	18.5	10.8	35.0	10.8	127.0	653.4
1979	61.6	32.1	26.6	63.0	75.5	106.5	74.3	56.4	18.5	45.1	32.4	58.4	18.5	106.5	650.4
1980	58.8	37.7	60.9	49.6	131.5	0.0	106.1	44.9	0.0	62.4	89.8	63.1	0.0	131.5	704.8
1981	45.6	21.8	128.8	67.0	56.2	164.9	23.9	61.7	62.7	79.1	82.1	86.3	21.8	164.9	880.1
1982	30.6	14.8	69.5	43.3	25.0	53.3	131.0	60.6	19.4	70.2	23.1	53.5	14.8	131.0	594.3
1983	33.7	17.5	18.7	31.5	87.7	92.5	36.0	19.5	74.0	24.3	32.7	35.1	17.5	92.5	503.2
1984	77.0	58.8	35.6	43.5	106.5	64.5	64.0	28.0	49.5	20.6	49.5	10.2	10.2	106.5	607.7
1985	50.0	60.3	48.0	58.0	44.4	103.5	13.6	149.0	11.5	19.0	84.8	24.5	11.5	149.0	666.6
1986	69.7	65.6	46.5	62.0	89.0	60.0	71.1	20.8	1.7	42.7	4.2	26.5	1.7	89.0	559.8
1987	103.0	3.4	67.7	61.1	171.5	84.3	14.5	27.5	11.5	10.2	85.5	68.2	3.4	171.5	708.4
1988	51.2	47.8	82.6	45.5	12.9	56.0	20.1	23.8	72.6	28.3	28.4	33.7	12.9	82.6	502.9
1989	5.4	10.2	41.4	80.6	72.5	170.1	10.8	62.6	58.7	44.1	62.9	17.8	5.4	170.1	637.1
1990	2.2	49.3	34.1	59.0	19.2	94.3	46.0	22.5	33.1	51.4	37.0	76.3	2.2	94.3	524.4
1991	12.2	15.1	77.1	45.7	84.3	55.3	135.5	65.3	36.0	71.2	58.0	27.6	12.2	135.5	683.3
1992	9.5	29.7	10.9	60.9	15.0	121.9	44.3	0.0	27.3	74.8	66.6	33.6	0.0	121.9	494.5
1993	20.1	28.5	75.3	32.4	26.1	47.0	41.6	44.3	49.6	16.8	66.3	81.4	16.8	81.4	529.4
1994	34.5	25.6	24.1	61.6	52.3	154.8	62.1	63.9	37.1	37.1	21.1	36.8	21.1	154.8	611.0
1995	75.4	35.7	41.2	73.0	80.3	93.0	65.5	68.7	87.6	0.5	60.0	93.3	0.5	93.3	774.2
1996	36.8	53.7	39.2	47.3	121.6	42.3	23.0	51.0	103.6	25.5	74.6	96.2	23.0	121.6	714.8
1997	20.4	45.0	12.6	74.9	43.0	50.5	124.2	118.0	29.6	111.3	30.7	77.1	12.6	124.2	737.3
1998	68.4	3.9	16.6	30.9	62.4	47.6	33.7	38.8	88.7	78.8	50.0	19.1	3.9	88.7	538.9
1999	43.2	49.7	15.1	77.5	62.2	123.5	227.7	8.2	85.7	45.6	61.6	127.8	8.2	227.7	927.8
2000	22.5	18.6	32.7	39.0	21.4	7.6	33.2	5.8	92.1	9.4	16.2	36.0	5.8	92.1	334.5
2001	44.2	23.4	55.6	132.9	63.8	180.3	25.6	52.2	189.0	5.0	54.1	21.4	5.0	189.0	847.5
2002	12.2	10.1	11.4	30.1	14.5	45.9	12.3	58.8	53.6	72.2	51.4	52.9	10.1	72.2	425.4
2003	59.8	14.0	9.2	15.2	40.7	16.2	87.4	2.8	68.3	111.0	24.6	24.3	2.8	111.0	473.5
2004	94.4	37.1	21.9	56.8	69.8	120.6	73.7	88.4	45.4	34.9	122.6	49.2	21.9	122.6	814.8
2005	6.9	68.9	38.8	60.4	38.1	72.4	63.6	117.5	34.7	12.6	28.5	65.5	6.9	117.5	607.9
2006	50.1	46.8	75.7	70.9	42.9	101.5	18.8	99.6	35.7	25.2	27.8	51.0	18.8	101.5	646.0
2007	45.1	51.3	85.6	5.1	67.7	91.3	18.5	63.6	71.9	88.0	108.7	33.1	5.1	108.7	729.8
2008	41.1	10.8	68.3	33.4	54.5	39.7	48.8	42.0	61.6	19.1	46.2	67.5	10.8	68.3	533.1
2009	50.4	72.3	59.3	8.5	33.3	122.9	68.7	40.9	5.2	85.1	53.6	99.1	5.2	122.9	699.2
2010	87.2	95.8	43.5	39.9	73.4	153.8	37.8	49.3	46.7	44.1	41.7	55.4	37.8	153.8	768.7
2011	44.2	50.9	26.6	15.5	60.4	37.1	0.0	15.2	44.1	34.1	6.7	44.3	0.0	60.4	379.2
2012	73.8	55.9	3.2	60.6	105.9	17.4	35.8	5.6	29.0	41.2	26.7	50.4	3.2	105.9	505.5
2013	66.1	49.1	83.0	21.7	88.8	45.8	3.9	40.6	52.9	47.2	36.5	10.5	3.9	88.8	546.3
2014	23.6	20.6	44.9	72.4	216.4	54.2	177.9	58.4	102.5	55.2	11.0	60.2	11.0	216.4	897.2
2015	44.6	47.9	110.6	29.0	69.5	35.5	11.8	45.3	86.6	62.9	58.0	4.9	4.9	110.6	606.5
SRE	42.4	38.9	43.2	50.1	69.5	83.6	57.9	49.6	47.0	42.6	51.9	52.6	10.3	123.0	629.2
s	25.3	25.0	26.8	23.4	42.3	46.2	43.2	40.8	33.0	32.8	26.3	30.5	8.4	39.6	132.0
Cv	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.7	0.8	0.5	0.6	0.8	0.3	0.2
Cs	0.5	0.9	0.8	0.7	1.3	0.4	1.5	2.3	1.2	1.0	0.6	0.5	1.1	1.1	0.5
MIN	2.2	3.4	1.4	5.1	11.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	0.3	0.0	60.4	334.5
MAX	103.0	111.6	128.8	132.9	216.4	195.0	227.7	259.7	189.0	164.4	127.4	146.4	37.8	259.7	984.9

## MESEČNE I GODIŠNJE SUME PADAVINA (mm)

T-1/5

P. S. Borča

GODINA	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	MIN	MAX	SUM
1946	34.2	72.5	28.9	27.7	67.0	85.2	8.0	19.4	5.2	91.1	105.9	59.4	5.2	105.9	604.5
1947	71.8	45.3	49.6	26.7	64.8	47.3	69.3	46.0	2.1	18.3	24.2	57.6	2.1	71.8	523.0
1948	39.7	49.2	33.1	63.6	39.9	142.2	29.1	34.4	64.0	48.1	58.4	9.4	9.4	142.2	611.1
1949	56.0	7.4	92.5	26.7	149.6	122.4	78.3	63.4	19.5	10.4	77.1	67.0	7.4	149.6	770.3
1950	24.0	28.0	21.2	28.7	48.3	30.3	57.1	26.4	25.5	63.9	99.5	54.5	21.2	99.5	507.4
1951	26.9	44.7	50.6	76.6	37.3	85.7	129.9	26.1	80.5	12.7	56.3	24.4	12.7	129.9	651.7
1952	47.7	37.3	26.2	21.9	79.2	140.4	6.4	14.1	62.8	86.8	102.7	106.8	6.4	140.4	732.3
1953	35.2	79.2	13.6	35.3	85.7	220.3	76.7	66.7	10.3	18.3	8.2	35.9	8.2	220.3	685.4
1954	59.6	33.5	41.6	68.7	119.9	151.6	30.5	77.7	56.7	74.0	73.6	61.3	30.5	151.6	848.7
1955	31.4	113.4	62.7	59.0	50.5	47.1	105.5	97.9	89.9	78.6	56.2	56.0	31.4	113.4	848.2
1956	63.1	70.2	64.1	40.4	56.3	160.3	25.7	20.8	5.5	35.0	46.3	70.9	5.5	160.3	658.6
1957	13.1	28.2	6.0	32.3	129.3	32.8	117.1	21.8	61.3	37.2	11.3	45.4	6.0	129.3	535.8
1958	55.8	32.9	90.1	93.8	7.1	65.0	10.4	32.6	6.7	60.0	58.2	53.8	6.7	93.8	566.4
1959	61.9	16.6	29.2	50.0	75.5	111.7	34.4	74.9	32.5	4.1	75.7	41.3	4.1	111.7	607.8
1960	60.5	31.5	17.1	39.3	58.7	55.5	60.1	54.9	36.8	51.7	64.6	76.7	17.1	76.7	607.4
1961	12.4	22.0	11.0	51.6	112.9	23.7	28.4	28.0	5.2	1.8	36.7	87.6	1.8	112.9	421.3
1962	42.3	73.5	102.1	63.0	16.9	46.3	36.8	3.7	31.6	4.4	54.2	45.0	3.7	102.1	519.8
1963	116.5	43.8	33.1	45.1	18.7	25.4	80.4	12.5	44.6	6.2	29.9	70.6	6.2	116.5	526.8
1964	3.0	28.7	62.0	44.1	40.8	57.7	59.3	17.7	68.1	56.1	62.1	71.2	3.0	71.2	570.8
1965	49.6	58.0	21.1	72.2	45.9	95.3	36.0	38.3	39.0	0.0	64.6	72.8	0.0	95.3	592.8
1966	92.5	21.4	33.9	29.0	61.1	61.4	97.7	29.9	17.4	34.1	46.5	83.0	17.4	97.7	607.9
1967	31.9	12.2	55.4	46.1	77.2	100.4	57.7	0.8	65.5	13.8	34.3	111.6	0.8	111.6	606.9
1968	112.0	19.1	24.9	11.6	27.0	28.7	81.7	87.9	40.1	12.8	71.1	68.0	11.6	112.0	584.9
1969	26.9	89.0	26.2	31.8	34.7	178.1	84.7	49.1	53.3	4.2	46.1	186.1	4.2	186.1	810.2
1970	50.9	108.5	48.1	66.4	101.4	145.1	125.1	25.6	9.8	67.9	57.1	20.8	9.8	145.1	826.7
1971	52.4	31.4	80.2	26.2	80.8	79.3	81.1	49.7	90.1	11.1	44.6	11.2	11.1	90.1	638.1
1972	9.6	20.6	2.5	67.7	44.6	16.0	173.2	93.3	47.8	134.2	72.5	0.9	0.9	173.2	682.9
1973	12.8	30.0	26.7	96.4	46.6	103.6	20.4	54.8	41.4	27.4	60.1	31.7	12.8	103.6	551.9
1974	32.1	31.8	17.4	50.4	83.1	110.0	39.5	42.0	126.9	189.6	58.3	81.0	17.4	189.6	862.1
1975	25.0	9.2	36.5	37.0	143.6	108.6	145.3	186.2	30.9	45.4	52.9	4.2	4.2	186.2	824.8
1976	93.7	8.9	28.3	64.5	36.5	83.1	27.0	56.4	58.2	18.3	50.1	15.9	8.9	93.7	540.9
1977	35.2	93.0	50.2	94.3	30.0	46.7	63.5	88.9	69.7	10.7	66.3	71.9	10.7	94.3	720.4
1978	23.0	122.5	49.3	31.4	109.0	162.4	26.4	39.8	85.3	12.4	11.1	66.0	11.1	162.4	738.6
1979	100.9	35.1	31.3	78.9	77.2	79.4	57.9	55.1	23.0	50.2	39.5	51.8	23.0	100.9	680.3
1980	49.0	38.7	57.2	82.8	107.1	79.4	68.5	46.5	30.8	80.7	77.2	68.5	30.8	107.1	786.4
1981	35.5	19.1	119.3	61.0	46.7	110.1	15.1	66.1	77.2	76.1	72.9	68.9	15.1	119.3	768.0
1982	31.7	13.7	62.0	51.1	8.0	95.8	103.4	66.3	15.5	75.2	20.8	78.0	8.0	103.4	621.5
1983	32.3	17.5	17.3	31.4	54.2	116.2	39.3	7.7	62.8	35.3	35.5	39.1	7.7	116.2	488.6
1984	72.4	59.4	28.6	29.4	94.7	51.2	71.7	61.7	53.9	14.6	55.4	16.0	14.6	94.7	609.0
1985	55.7	60.5	53.5	57.5	36.8	148.9	15.2	132.7	11.2	10.2	98.8	28.4	10.2	148.9	709.4
1986	73.5	69.3	50.8	72.7	83.1	86.6	88.6	8.5	3.3	39.1	5.1	23.0	3.3	88.6	603.6
1987	97.9	3.0	65.0	58.7	186.7	99.6	40.2	31.6	6.2	12.3	93.5	53.0	3.0	186.7	747.7
1988	42.9	51.3	78.3	49.0	19.8	77.3	14.4	30.4	69.5	25.7	33.3	35.2	14.4	78.3	527.1
1989	7.0	6.7	42.2	74.2	66.1	112.9	11.2	45.8	35.4	36.3	64.4	18.9	6.7	112.9	521.1
1990	4.2	41.9	20.9	54.9	10.5	93.5	37.2	13.3	32.4	42.7	37.5	82.2	4.2	93.5	471.2
1991	15.5	16.7	79.1	41.3	67.6	43.5	121.5	37.2	48.5	76.2	58.2	27.9	15.5	121.5	633.2
1992	8.4	25.2	10.7	61.4	16.9	159.5	86.2	9.8	24.5	85.8	63.9	39.0	8.4	159.5	591.3
1993	23.4	37.3	73.7	39.3	15.1	39.6	64.4	43.7	43.3	15.0	60.1	107.1	15.0	107.1	562.0
1994	42.0	27.6	31.7	65.1	43.7	194.2	45.0	58.6	27.9	40.8	30.0	34.7	27.6	194.2	641.3
1995	85.4	37.9	44.5	73.5	78.3	78.8	31.4	73.0	96.9	0.2	52.5	73.9	0.2	96.9	726.3
1996	47.5	57.1	37.5	48.4	105.8	55.0	33.7	37.1	120.8	38.6	80.8	108.3	33.7	120.8	770.6
1997	38.7	50.8	13.2	81.5	45.2	42.1	90.5	119.7	27.0	119.7	36.0	73.0	13.2	119.7	737.4
1998	72.0	3.7	21.2	36.7	57.5	88.9	39.8	76.3	92.4	97.7	49.9	28.1	3.7	97.7	664.2
1999	62.6	68.0	28.2	74.9	59.7	86.4	235.9	19.1	79.6	51.2	75.2	117.8	19.1	235.9	958.6
2000	25.3	29.5	29.0	39.7	29.5	17.0	27.4	6.2	64.9	14.5	19.5	40.0	6.2	64.9	342.5
2001	22.3	24.3	29.1	37.2	25.1	120.6	15.1	36.1	176.3	20.1	52.8	32.2	15.1	176.3	591.2
2002	12.5	12.4	12.5	46.2	21.6	68.2	48.3	93.5	47.2	83.2	36.5	53.9	12.4	93.5	536.0
2003	57.5	21.0	9.8	19.8	39.5	29.2	98.4	7.7	62.5	106.9	24.9	30.0	7.7	106.9	507.2
2004	88.4	31.2	17.1	67.1	59.2	99.5	81.6	83.3	44.0	32.4	135.0	46.6	17.1	135.0	785.4
2005	41.4	71.3	31.7	53.8	41.5	83.5	75.1	127.1	48.5	21.8	20.7	68.7	20.7	127.1	685.1
2006	73.9	12.0	77.5	1.8	41.7	3.2	16.8	54.9	18.7	64.1	29.0	50.5	1.8	77.5	444.1
2007	45.6	52.6	88.6	4.9	70.9	94.8	17.7	66.1	75.5	91.1	113.0	33.2	4.9	113.0	754.1
2008	41.0	10.0	71.6	33.5	56.2	39.6	49.6	42.1	63.5	18.5	46.8	70.8	10.0	71.6	543.2
2009	54.8	63.9	53.9	5.2	40.3	95.3	70.7	82.5	8.9	91.8	61.4	120.3	5.2	120.3	749.0
2010	94.1	98.2	49.5	36.2	81.1	120.2	31.8	39.3	69.6	47.5	50.1	63.3	31.8	120.2	780.9
2011	43.6	57.4	27.9	15.1	120.6	23.0	77.8	17.9	34.1	31.7	4.2	47.5	4.2	120.6	500.8
2012	66.7	75.1	0.9	73.2	81.2	15.0	37.5	2.9	21.7	45.2	28.5	69.8	0.9	81.2	517.7
2013	68.9	50.6	97.3	23.1	103.0	48.5	12.9	17.9	41.7	47.0	32.9	7.0	7.0	103.0	550.8
2014	36.6	12.1	44.8	76.6	193.0	38.7	143.9	50.3	97.5	58.8	6.9	50.8	6.9	193.0	810.0
2015	42.9	49.1	89.7	40.0	97.3	28.1	6.3	64.1	104.5	71.6	49.1	3.8	3.8	104.5	646.5
SRE	47.4	41.8	43.3	48.8	65.2	83.3	60.4	48.8	49.2	45.9	52.7	55.4	10.6	122.2	642.1
s	26.9	27.9	26.9	22.3	39.6	47.2	43.6	34.7	33.7	36.4	26.8	32.6	8.4	37.3	121.8
Cv	0.6	0.7	0.6	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.5	0.6	0.8	0.3	0.2
Cs	0.6	0.9	0.7	0.1	1.1	0.6	1.4	1.3	1.0	1.2	0.5	1.0	1.2	1.0	0.2
MIN	3.0	3.0	0.9	1.8	7.1	3.2	6.3	0.8	2.1	0.0	4.2	0.9	0.0	64.9	342.5
MAX	116.5	122.5	119.3	96.4	193.0	220.3	235.9	186.2	176.3	189.6	135.0	186.1	33.7	235.9	958.6



## MESEČNE I GODIŠNJE SUME PADAVINA (mm)

T-1/6

## P. S. Batajnica

GODINA	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	MIN	MAX	SUM
1946	66.2	72.4	22.1	23.5	63.4	74.5	7.1	27.8	4.0	89.5	106.1	59.7	4.0	106.1	616.3
1947	58.2	35.9	53.7	21.6	62.9	54.5	54.0	45.5	2.9	24.2	13.7	58.9	2.9	62.9	486.0
1948	41.4	45.8	29.2	55.2	28.5	107.1	24.3	34.7	57.8	49.6	55.8	14.9	14.9	107.1	544.3
1949	62.1	10.5	91.8	27.2	97.1	107.0	55.1	58.5	21.8	16.7	72.2	65.7	10.5	107.0	685.7
1950	33.4	28.1	18.9	39.7	53.6	22.2	61.8	25.6	25.0	61.7	99.5	49.6	18.9	99.5	519.1
1951	30.3	48.0	47.0	66.7	38.7	77.5	101.3	29.7	53.3	18.6	50.9	24.1	18.6	101.3	586.1
1952	39.6	26.8	21.5	24.2	55.5	115.3	4.4	13.3	55.1	89.8	122.6	109.2	4.4	122.6	677.3
1953	24.5	79.4	11.1	21.2	70.1	143.2	92.7	65.4	14.7	16.5	10.4	44.5	10.4	143.2	593.7
1954	60.2	33.3	36.6	64.8	94.4	130.5	27.4	34.6	66.1	72.9	67.3	64.1	27.4	130.5	752.2
1955	27.7	101.6	62.8	56.3	48.0	36.5	34.1	81.8	92.9	73.2	67.9	74.7	27.7	101.6	757.5
1956	63.2	62.2	55.0	44.5	70.9	234.0	17.7	32.6	8.3	44.3	25.7	75.9	8.3	234.0	734.3
1957	15.3	32.0	12.6	47.4	149.6	42.0	125.1	14.1	53.6	34.7	21.8	32.0	12.6	149.6	580.2
1958	53.3	19.4	72.8	85.1	6.8	55.7	35.7	32.9	8.8	65.2	54.7	56.7	6.8	85.1	547.1
1959	48.3	12.9	25.3	34.4	84.9	80.9	70.2	66.8	29.6	9.9	40.2	35.5	9.9	84.9	538.9
1960	61.5	28.8	19.7	36.5	44.9	39.2	76.8	59.7	29.2	39.9	64.3	65.7	19.7	76.8	566.2
1961	6.9	20.9	8.5	30.4	127.1	46.5	37.7	15.8	3.1	0.8	37.5	81.5	0.8	127.1	416.7
1962	44.4	52.1	99.8	50.7	16.9	57.1	35.2	27.7	17.0	1.4	51.3	61.5	1.4	99.8	515.1
1963	113.4	48.3	37.8	45.8	58.0	77.1	33.3	28.7	71.0	29.0	37.2	90.1	28.7	113.4	669.7
1964	2.9	34.8	74.7	48.6	53.8	49.2	62.4	51.7	69.5	80.4	85.6	90.0	2.9	90.0	703.6
1965	64.2	76.8	30.5	63.1	40.7	100.0	34.8	37.0	36.8	0.0	98.1	95.5	0.0	100.0	677.5
1966	114.2	25.6	40.7	19.8	71.9	102.0	121.2	41.9	19.1	33.4	58.6	114.3	19.1	121.2	762.7
1967	38.9	19.0	70.8	55.1	69.3	115.3	73.7	5.3	73.3	13.9	29.3	95.1	5.3	115.3	659.0
1968	78.1	26.4	18.1	11.9	43.0	37.4	102.4	151.3	43.4	13.2	79.4	70.2	11.9	151.3	674.8
1969	25.6	89.2	21.2	29.8	27.4	162.3	82.8	31.0	22.0	3.2	44.3	170.6	3.2	170.6	709.4
1970	46.1	91.6	55.9	58.5	95.4	97.3	114.7	39.7	8.4	62.0	45.5	20.1	8.4	114.7	735.2
1971	50.7	21.6	66.1	29.4	56.1	69.1	71.5	23.8	84.2	14.6	43.8	13.3	13.3	84.2	544.2
1972	13.5	15.3	2.3	68.8	54.8	31.9	190.7	129.7	60.6	109.5	69.4	0.6	0.6	190.7	747.1
1973	10.2	24.8	21.6	78.1	33.2	109.0	16.7	55.9	33.4	29.8	53.1	24.7	10.2	109.0	490.5
1974	19.2	22.0	20.3	51.3	93.8	90.7	37.4	34.6	88.0	174.1	44.9	76.2	19.2	174.1	752.5
1975	20.8	8.6	17.5	39.0	97.1	83.4	140.0	135.3	57.7	37.4	39.1	3.4	3.4	140.0	679.3
1976	81.7	6.2	31.4	50.6	24.7	85.6	22.2	55.1	70.1	17.0	43.9	18.4	6.2	85.6	506.9
1977	35.2	109.5	52.5	73.4	30.5	154.7	62.3	109.4	78.4	10.9	69.6	68.8	10.9	154.7	855.2
1978	21.7	116.5	40.6	42.2	82.5	167.1	25.0	13.1	81.6	13.5	9.0	45.2	9.0	167.1	658.0
1979	63.9	36.2	26.0	44.8	62.9	68.5	81.4	60.9	25.9	49.5	34.6	52.2	25.9	81.4	606.8
1980	42.5	42.5	48.2	38.3	127.5	89.4	45.7	47.5	29.3	81.4	77.8	53.2	29.3	127.5	723.3
1981	35.4	17.8	115.4	54.4	36.0	116.9	10.5	35.6	80.4	79.4	65.3	60.9	10.5	116.9	708.0
1982	31.9	13.3	58.8	45.8	14.5	77.8	87.5	93.4	7.3	66.7	25.5	88.6	7.3	93.4	611.1
1983	29.6	15.7	15.3	29.8	52.8	118.8	77.4	8.8	71.2	32.7	33.9	29.2	8.8	118.8	515.2
1984	68.5	29.1	24.2	27.7	62.5	54.8	62.0	17.2	44.8	17.9	58.5	10.5	10.5	68.5	477.7
1985	44.1	39.7	52.1	60.6	30.0	112.3	22.5	148.4	9.3	13.6	83.8	26.9	9.3	148.4	643.3
1986	63.1	51.9	48.3	82.5	52.0	64.1	77.1	20.2	4.8	42.5	6.3	21.6	4.8	82.5	534.4
1987	93.2	2.4	63.0	57.5	180.2	44.1	108.9	52.1	6.7	9.6	78.4	41.9	2.4	180.2	738.0
1988	43.4	72.7	67.4	69.6	16.4	70.3	13.9	30.0	57.8	13.6	28.5	30.4	13.6	72.7	514.0
1989	7.2	14.9	37.8	77.9	74.9	161.3	13.8	54.0	28.0	41.7	62.6	20.7	7.2	161.3	594.8
1990	4.5	39.8	9.7	55.6	14.3	97.8	34.7	9.5	44.0	52.6	44.6	77.9	4.5	97.8	485.0
1991	17.7	18.1	93.4	39.1	94.1	64.6	131.0	22.1	24.7	83.3	86.4	25.3	17.7	131.0	699.8
1992	5.4	22.1	5.8	46.9	11.2	67.9	25.0	25.2	24.1	114.7	64.0	53.0	5.4	114.7	465.3
1993	14.1	17.1	61.7	32.1	19.8	48.6	30.5	46.4	46.2	10.4	65.3	100.4	10.4	100.4	492.6
1994	56.0	24.9	31.8	56.9	55.2	177.9	33.0	40.6	18.4	46.2	25.2	27.3	18.4	177.9	593.4
1995	95.6	28.9	45.2	70.2	84.1	99.5	32.1	59.6	82.9	0.0	44.5	60.9	0.0	99.5	703.5
1996	40.0	53.9	35.4	43.4	85.6	51.5	32.9	63.6	92.1	34.9	77.3	101.2	32.9	101.2	711.8
1997	42.1	45.4	15.7	77.0	42.7	37.2	94.3	105.5	24.7	95.7	35.8	82.0	15.7	105.5	698.1
1998	84.7	0.4	21.1	27.5	62.6	59.8	34.9	36.9	101.2	102.0	56.2	34.2	0.4	102.0	621.5
1999	63.2	65.7	13.1	44.7	70.5	124.3	215.1	45.6	76.6	34.1	88.0	140.2	13.1	215.1	981.1
2000	24.8	46.5	23.8	32.2	22.4	16.4	20.6	5.0	55.0	15.7	20.8	40.1	5.0	55.0	323.3
2001	24.5	20.2	28.9	42.6	27.5	135.8	30.0	122.4	171.5	18.2	53.9	26.4	18.2	171.5	701.9
2002	10.4	9.8	12.6	45.2	33.0	57.2	38.1	80.2	40.0	78.4	37.4	52.4	9.8	80.2	494.7
2003	43.1	16.9	7.0	17.4	43.8	15.9	89.1	18.6	61.4	92.5	30.3	24.0	7.0	92.5	460.0
2004	85.6	37.1	12.4	63.5	42.9	58.5	58.7	55.1	44.0	28.7	164.9	44.3	12.4	164.9	695.7
2005	40.4	44.8	18.4	52.1	32.1	68.6	50.7	82.2	38.1	15.5	13.9	42.2	13.9	82.2	499.0
2006	37.8	24.5	91.5	54.1	26.0	50.2	42.5	114.2	12.5	30.3	14.1	50.9	12.5	114.2	548.6
2007	28.9	58.4	86.0	6.2	66.7	91.9	18.1	77.7	85.4	88.6	102.3	33.6	6.2	102.3	743.8
2008	40.0	11.1	67.4	32.4	53.5	38.7	47.0	41.0	60.3	18.6	44.5	66.5	11.1	67.4	521.1
2009	52.6	51.2	60.1	6.1	47.6	99.7	68.0	60.2	4.0	82.9	62.4	115.8	4.0	115.8	710.6
2010	98.6	81.6	44.3	38.3	125.6	165.1	41.4	58.5	74.6	33.4	48.7	65.0	33.4	165.1	875.1
2011	41.5	56.5	25.0	11.4	79.7	35.0	76.1	16.4	32.3	27.6	0.6	43.0	0.6	79.7	445.1
2012	71.1	138.2	2.6	78.7	74.4	18.7	10.2	0.9	18.7	52.5	31.9	72.0	0.9	138.2	569.9
2013	69.9	54.1	74.9	31.1	120.2	92.5	29.5	10.4	45.5	45.5	30.0	3.5	3.5	120.2	607.1
2014	37.9	12.5	50.7	70.0	240.6	36.4	159.2	51.3	114.1	58.3	9.3	62.6	9.3	240.6	902.9
2015	51.7	54.6	95.8	22.1	102.0	42.5	5.4	47.8	75.1	65.8	50.7	4.3	4.3	102.0	617.8
SRE	45.4	40.2	41.2	45.4	63.3	82.7	58.6	49.6	46.8	44.7	52.4	55.1	10.7	120.1	625.4
s	26.2	28.8	27.2	19.3	40.5	44.1	43.5	35.0	32.4	34.3	29.6	33.6	8.3	39.5	121.7
Cv	0.6	0.7	0.7	0.4	0.6	0.5	0.7	0.7	0.7	0.8	0.6	0.6	0.8	0.3	0.2
Cs	0.6	1.2	0.7	0.1	1.7	0.9	1.4	1.2	0.9	1.1	0.9	0.8	1.0	1.0	0.3
MIN	2.9	0.4	2.3	6.1	6.8	15.9	4.4	0.9	2.9	0.0	0.6	0.6	0.0	55.0	323.3
MAX	114.2	138.2	115.4	85.1	240.6	234.0	215.1	151.3	171.5	174.1	164.9	170.6	33.4	240.6	981.1

## MESEČNE I GODIŠNJE SUME PADAVINA (mm)

T-1/7

## P. S. Stara Pazova

GODINA	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	MIN	MAX	SUM
1946	49.9	58.5	19.8	21.4	58.3	75.3	8.1	30.1	4.9	77.5	103.8	56.3	4.9	103.8	563.9
1947	52.8	34.2	50.7	19.7	66.7	64.6	53.0	43.7	3.4	19.0	12.1	49.8	3.4	66.7	469.7
1948	42.0	41.0	30.3	51.6	30.0	82.1	27.0	37.6	44.7	47.2	51.8	21.3	21.3	82.1	506.6
1949	57.2	16.0	78.5	31.7	89.5	89.8	52.3	49.5	27.1	20.9	66.0	58.6	16.0	89.8	637.1
1950	34.0	31.3	19.7	43.5	43.4	22.6	60.8	23.9	25.9	66.5	97.1	61.9	19.7	97.1	530.6
1951	28.0	54.3	45.9	60.3	41.0	70.4	79.2	34.2	33.6	21.7	43.8	23.9	21.7	79.2	536.3
1952	35.0	21.5	21.8	21.6	52.2	93.3	5.6	13.8	61.8	80.5	118.5	104.7	5.6	118.5	630.3
1953	22.6	65.6	13.5	19.9	60.6	103.4	81.9	58.2	15.7	13.9	12.0	38.8	12.0	103.4	506.1
1954	47.3	33.0	38.4	63.7	83.8	161.3	24.2	58.1	60.5	75.2	51.8	50.6	24.2	161.3	747.9
1955	22.6	93.3	57.5	60.6	38.5	36.9	70.8	99.5	87.3	85.8	70.7	58.3	22.6	99.5	781.8
1956	64.6	65.1	60.2	35.5	101.9	165.9	30.5	23.0	5.6	31.3	26.1	75.7	5.6	165.9	685.4
1957	18.8	28.6	8.6	34.3	150.2	27.6	83.7	23.1	46.6	32.7	23.8	36.4	8.6	150.2	514.4
1958	59.2	32.1	91.4	94.7	5.7	62.9	25.7	32.1	9.7	67.0	53.1	64.5	5.7	94.7	598.1
1959	51.3	12.5	29.6	28.3	92.1	61.1	66.3	74.7	28.1	10.9	63.6	50.3	10.9	92.1	568.8
1960	68.3	35.6	17.7	37.6	63.2	43.3	77.5	41.7	43.3	38.3	58.8	65.3	17.7	77.5	590.6
1961	10.1	19.7	6.8	44.6	114.6	47.4	38.3	13.2	1.1	0.5	45.3	76.5	0.5	114.6	418.1
1962	39.7	59.4	99.4	53.5	11.4	52.1	45.8	17.9	20.4	0.9	43.5	48.3	0.9	99.4	492.3
1963	101.7	45.1	25.8	38.4	48.1	43.4	29.9	27.3	56.8	13.3	30.1	85.8	13.3	101.7	545.7
1964	4.7	31.3	65.3	45.5	57.4	46.9	72.5	29.0	62.4	80.1	67.2	73.3	4.7	80.1	635.6
1965	54.8	72.1	22.2	41.9	49.7	80.2	29.5	35.7	40.1	0.0	97.4	88.0	0.0	97.4	611.6
1966	100.7	18.3	31.2	24.8	62.7	74.0	109.2	33.0	18.4	32.5	52.8	89.1	18.3	109.2	646.7
1967	37.9	18.6	58.2	55.4	59.9	103.4	75.5	11.6	80.9	10.8	32.7	91.5	10.8	103.4	636.4
1968	75.3	26.3	17.2	9.5	37.0	65.0	86.6	109.5	40.1	14.6	66.1	59.9	9.5	109.5	607.1
1969	25.3	91.4	21.6	28.3	27.7	157.6	75.2	36.0	29.0	2.9	52.0	169.8	2.9	169.8	716.8
1970	45.0	100.5	52.7	58.2	78.3	118.5	104.8	38.8	25.1	60.4	41.7	24.8	24.8	118.5	748.8
1971	51.2	22.7	58.0	28.6	58.4	60.2	40.6	20.1	61.9	18.0	44.7	13.7	13.7	61.9	478.1
1972	13.5	15.7	2.2	56.6	49.6	33.1	162.8	143.6	49.3	121.6	71.6	0.7	0.7	162.8	720.3
1973	7.8	23.0	22.3	81.0	33.2	110.1	28.3	76.9	29.1	43.9	49.8	29.1	7.8	110.1	534.5
1974	19.3	23.1	19.1	45.7	79.4	80.5	45.7	40.2	68.3	164.5	41.2	69.0	19.1	164.5	696.0
1975	18.2	7.6	16.1	44.8	93.7	72.8	124.7	118.2	69.5	36.6	35.1	4.9	4.9	124.7	642.2
1976	72.2	8.5	34.3	48.1	28.9	89.9	27.3	57.8	68.8	26.5	44.4	22.0	8.5	89.9	528.7
1977	37.9	103.0	49.3	71.1	33.8	91.2	56.8	118.2	83.4	13.6	75.2	72.1	13.6	118.2	805.6
1978	24.0	119.3	35.8	46.1	85.8	143.4	23.6	18.5	81.2	9.3	9.6	50.3	9.3	143.4	646.9
1979	74.5	38.4	31.4	49.2	56.9	97.7	78.1	91.8	19.6	56.8	44.0	62.5	19.6	97.7	700.9
1980	38.2	42.2	59.1	40.7	99.3	85.4	39.4	50.0	30.3	63.1	76.7	55.7	30.3	99.3	680.1
1981	34.3	22.8	107.3	55.1	36.6	127.7	19.0	38.4	77.4	79.7	66.4	70.7	19.0	127.7	735.4
1982	29.9	14.4	58.0	49.6	23.7	78.0	105.1	80.0	22.4	71.7	23.8	79.4	14.4	105.1	636.0
1983	29.5	19.5	19.7	26.7	45.5	129.6	61.9	10.7	76.5	27.4	31.0	28.3	10.7	129.6	506.3
1984	71.8	45.1	26.3	35.0	70.5	50.5	60.5	24.2	49.2	23.8	53.7	12.6	12.6	71.8	523.2
1985	42.2	46.9	58.8	58.3	33.1	97.8	30.9	119.4	7.6	14.0	87.3	30.9	7.6	119.4	627.2
1986	58.7	61.4	48.8	73.2	35.1	72.5	79.1	27.9	3.7	41.9	5.4	20.1	3.7	79.1	527.8
1987	100.2	3.2	55.6	56.7	165.1	47.3	100.3	34.7	20.8	12.2	108.0	37.4	3.2	165.1	741.5
1988	41.7	62.4	79.4	69.1	15.7	71.6	22.8	27.1	48.6	12.7	27.9	29.6	12.7	79.4	508.6
1989	5.5	13.7	37.6	83.0	84.0	130.3	15.9	70.0	29.3	40.3	53.9	20.4	5.5	130.3	583.9
1990	3.3	45.4	13.9	52.2	15.1	81.8	39.3	9.1	48.6	46.3	43.3	68.2	3.3	81.8	466.5
1991	15.0	21.0	74.0	47.0	80.0	86.0	116.0	32.0	9.0	85.0	83.0	16.0	9.0	116.0	664.0
1992	8.4	21.5	4.8	37.3	16.5	67.8	20.1	6.2	22.2	105.1	54.2	43.2	4.8	105.1	407.3
1993	18.2	14.4	52.8	41.1	26.1	49.1	34.4	62.5	41.1	19.5	52.2	81.3	14.4	81.3	492.7
1994	43.0	28.5	31.5	53.1	59.3	147.6	58.6	75.7	22.2	46.7	38.9	39.0	22.2	147.6	644.1
1995	77.3	31.6	49.7	58.2	91.7	95.3	37.5	79.2	93.0	0.0	35.6	75.3	0.0	95.3	724.4
1996	42.8	51.9	35.7	36.6	72.9	59.0	14.2	65.4	123.9	30.5	75.1	105.4	14.2	123.9	713.4
1997	21.8	38.9	11.9	69.9	39.5	61.1	75.7	140.9	26.8	104.3	35.7	70.7	11.9	140.9	697.2
1998	67.8	1.3	19.1	32.8	50.1	61.1	33.4	66.5	93.4	84.2	38.2	20.8	1.3	93.4	568.7
1999	54.3	48.1	15.4	54.5	64.6	112.2	171.0	31.5	71.9	51.7	106.7	122.6	15.4	171.0	904.5
2000	29.2	24.0	30.2	35.9	11.5	12.8	14.7	2.0	47.8	18.5	14.3	40.7	2.0	47.8	281.6
2001	43.3	27.5	62.5	116.5	75.6	125.4	27.8	38.4	178.5	0.7	61.3	24.1	0.7	178.5	781.6
2002	10.6	11.1	22.6	31.9	28.5	32.6	46.9	111.1	31.7	72.8	39.4	48.2	10.6	111.1	487.4
2003	26.3	9.3	5.4	3.7	17.0	26.3	18.4	8.4	41.6	48.0	6.7	19.5	3.7	48.0	230.6
2004	81.5	40.5	5.6	61.6	20.5	8.6	27.0	12.9	43.9	24.1	210.0	41.9	5.6	210.0	578.1
2005	35.3	17.7	5.6	50.3	19.2	43.2	15.4	23.0	16.3	2.3	9.5	8.1	2.3	50.3	245.9
2006	12.8	5.1	11.4	58.3	26.3	14.9	0.9	8.2	2.4	1.1	0.4	42.2	0.4	58.3	184.0
2007	41.8	47.5	78.7	4.9	31.7	81.9	3.4	8.5	67.2	80.1	98.1	31.1	3.4	98.1	575.0
2008	38.6	11.3	63.2	31.4	50.0	88.2	66.0	39.2	67.8	10.0	49.0	54.9	10.0	88.2	569.6
2009	66.7	67.7	42.2	2.6	51.7	97.0	53.7	50.4	8.0	64.5	49.5	88.1	2.6	97.0	642.0
2010	69.8	85.6	27.1	42.0	69.1	100.5	40.5	45.3	67.1	43.9	50.6	61.1	27.1	100.5	702.6
2011	32.8	48.0	22.0	13.4	58.7	71.9	60.6	15.5	31.0	28.3	0.9	40.1	0.9	71.9	423.2
2012	46.2	64.3	2.0	67.3	70.2	25.2	40.4	1.7	25.4	77.2	28.6	56.2	1.7	77.2	504.7
2013	62.9	51.1	86.2	27.2	150.0	56.4	8.4	9.4	55.4	56.7	32.3	4.0	4.0	150.0	600.0
2014	29.2	13.7	44.9	53.2	191.2	39.3	141.0	69.6	79.0	50.9	8.8	49.4	8.8	191.2	770.2
2015	46.0	48.3	59.8	29.4	78.1	24.2	8.2	82.4	87.3	59.0	52.5	5.4	5.4	87.3	580.6
SRE	42.1	38.2	38.3	45.1	58.8	75.5	53.0	46.5	45.3	42.8	51.5	51.3	9.8	109.8	588.4
s	23.7	26.0	25.2	20.7	36.5	36.9	37.2	34.8	31.8	33.5	33.4	30.7	7.6	35.2	134.4
Cv	0.6	0.7	0.7	0.5	0.6	0.5	0.7	0.7	0.7	0.8	0.6	0.6	0.8	0.3	0.2
Cs	0.5	1.1	0.7	0.5	1.4	0.5	1.1	1.0	1.3	1.0	1.7	0.9	0.7	0.7	-0.7
MIN	3.3	1.3	2.0	2.6	5.7	8.6	0.9	1.7	1.1	0.0	0.4	0.7	0.0	47.8	184.0
MAX	101.7	119.3	107.3	116.5	191.2	165.9	171.0	143.6	178.5	164.5	210.0	169.8	30.3	210.0	904.5

## MESEČNE I GODIŠNJE SUME PADAVINA (mm)

T-1/8

## P. S. Besni Fok

GODINA	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	MIN	MAX	SUM
1946	26.0	59.0	10.0	14.0	37.4	91.9	55.0	56.0	2.7	50.9	87.0	36.0	2.7	91.9	525.9
1947	28.0	8.0	46.0	23.0	31.0	11.0	15.0	65.0	0.0	3.0	5.0	65.0	0.0	65.0	300.0
1948	31.0	40.0	50.0	28.0	23.0	144.0	38.0	36.0	63.0	28.0	41.0	14.0	14.0	144.0	536.0
1949	59.0	6.0	87.0	25.0	65.0	116.0	35.0	68.0	20.0	9.0	81.0	86.1	6.0	116.0	657.1
1950	25.0	13.0	14.0	48.0	47.0	24.0	33.0	15.0	21.0	63.0	83.0	62.0	13.0	83.0	448.0
1951	28.0	43.0	29.0	51.0	21.0	92.0	210.0	29.0	46.0	20.0	38.0	22.0	20.0	210.0	629.0
1952	37.0	21.0	22.0	19.0	90.0	85.0	4.0	14.0	70.0	81.0	108.0	100.0	4.0	108.0	651.0
1953	19.0	53.0	12.0	12.0	58.0	113.0	27.0	68.0	10.0	18.0	10.0	22.0	10.0	113.0	422.0
1954	55.0	30.0	40.0	70.0	106.0	122.0	38.0	92.0	49.0	91.0	72.0	57.0	30.0	122.0	822.0
1955	23.0	96.0	60.0	29.0	30.0	53.0	80.0	64.0	61.0	65.0	47.0	56.0	23.0	96.0	664.0
1956	48.0	41.0	46.0	23.0	50.0	230.0	34.0	30.0	10.0	41.0	22.0	72.0	10.0	230.0	647.0
1957	15.0	29.0	12.0	45.0	123.2	40.0	113.0	14.0	48.0	32.5	21.0	29.0	12.0	123.2	521.7
1958	51.0	19.0	70.0	89.0	18.0	87.0	14.0	14.0	10.0	64.0	50.0	43.0	10.0	89.0	529.0
1959	50.0	7.0	27.0	37.0	93.0	87.0	30.0	49.0	30.0	4.0	65.0	36.0	4.0	93.0	515.0
1960	57.0	34.0	22.0	34.0	37.0	64.0	64.0	26.0	38.0	50.0	65.0	75.0	22.0	75.0	566.0
1961	8.0	15.0	5.0	46.0	142.0	47.0	25.0	22.0	1.0	0.0	30.0	72.0	0.0	142.0	413.0
1962	41.0	59.0	89.0	56.0	3.0	44.0	38.0	45.0	22.0	2.0	40.0	46.0	2.0	89.0	485.0
1963	106.0	56.0	33.0	40.0	40.0	41.0	35.0	19.0	60.0	9.0	31.0	77.0	9.0	106.0	547.0
1964	4.0	45.0	54.0	44.0	48.0	60.0	41.0	19.0	71.0	80.0	77.0	76.0	4.0	80.0	619.0
1965	56.0	66.0	21.0	63.0	53.0	96.0	32.0	36.0	26.0	0.0	68.0	79.0	0.0	96.0	596.0
1966	89.0	17.0	27.0	23.0	72.0	56.0	70.0	31.0	15.0	20.0	46.0	85.0	15.0	89.0	551.0
1967	31.0	15.0	61.0	46.0	57.0	86.0	113.0	6.0	95.0	12.0	32.0	92.0	6.0	113.0	646.0
1968	65.0	26.0	11.0	6.0	28.0	36.0	116.0	114.0	38.0	10.0	65.0	56.0	6.0	116.0	571.0
1969	20.0	99.0	20.0	30.0	47.0	116.0	81.0	29.0	30.0	3.0	46.0	154.0	3.0	154.0	675.0
1970	43.0	98.0	48.0	57.0	75.0	58.0	92.0	29.0	9.0	59.0	41.0	22.0	9.0	98.0	631.0
1971	42.0	18.0	58.0	24.0	58.0	89.0	63.0	26.0	84.0	16.0	35.0	8.0	8.0	89.0	521.0
1972	8.0	16.0	1.0	59.0	23.0	19.0	119.0	96.0	62.0	116.0	67.0	0.0	0.0	119.0	586.0
1973	5.0	21.0	23.0	81.0	36.0	62.0	24.0	68.0	22.0	25.0	51.0	20.0	5.0	81.0	438.0
1974	25.0	22.0	22.0	48.0	75.0	98.0	62.0	42.0	84.0	181.0	48.0	76.0	22.0	181.0	783.0
1975	14.0	15.0	18.0	43.0	92.0	105.0	155.0	128.0	36.0	41.0	37.0	4.0	4.0	155.0	688.0
1976	59.0	10.0	37.0	39.0	32.0	114.0	21.0	34.0	75.0	22.0	44.0	17.0	10.0	114.0	504.0
1977	20.0	72.0	47.0	88.0	37.0	106.0	49.0	66.0	73.0	9.0	64.0	65.0	9.0	106.0	696.0
1978	19.0	111.0	36.0	35.0	88.0	125.0	28.0	15.0	75.0	11.0	9.0	46.0	9.0	125.0	598.0
1979	75.0	40.0	25.0	60.0	50.0	94.0	101.0	60.0	10.0	60.0	43.0	48.0	10.0	101.0	666.0
1980	47.0	33.0	56.0	64.0	92.0	71.0	49.0	38.0	25.0	72.0	74.0	55.0	25.0	92.0	676.0
1981	33.0	18.0	106.0	61.0	40.0	85.0	35.0	37.0	113.0	74.0	62.0	65.0	18.0	113.0	729.0
1982	31.0	13.0	65.0	48.0	19.0	78.0	106.0	96.0	12.0	63.0	22.0	81.0	12.0	106.0	634.0
1983	28.0	17.0	15.0	22.0	31.0	81.0	45.0	12.0	57.0	21.0	29.0	29.0	12.0	81.0	387.0
1984	67.0	45.0	30.0	19.0	88.0	43.0	88.0	24.0	48.0	14.0	63.0	12.0	12.0	88.0	541.0
1985	47.0	48.0	74.0	48.0	34.0	107.5	24.0	116.0	4.0	10.0	90.8	26.0	4.0	116.0	629.3
1986	63.0	65.0	56.0	62.0	33.0	64.0	92.0	36.5	6.8	40.0	6.0	18.0	6.0	92.0	542.3
1987	93.4	3.4	59.0	59.0	142.5	48.0	48.0	30.0	10.0	14.0	98.0	55.0	3.4	142.5	660.3
1988	42.0	48.0	71.0	61.8	15.5	63.0	27.5	22.0	40.0	12.0	27.5	22.0	12.0	71.0	452.3
1989	4.0	10.0	38.0	65.0	61.8	106.0	26.0	66.0	44.1	36.5	46.0	15.0	4.0	106.0	518.4
1990	4.0	46.0	17.0	58.0	15.0	77.0	29.0	10.0	49.0	40.0	48.0	58.0	4.0	77.0	451.0
1991	15.0	20.0	72.0	46.0	77.0	86.1	108.2	31.0	10.0	84.0	81.0	15.5	10.0	108.2	645.8
1992	9.6	21.8	11.6	55.0	16.2	115.7	76.9	10.5	21.6	76.6	57.8	35.4	9.6	115.7	508.8
1993	21.4	34.4	64.3	35.8	15.4	36.4	58.4	40.1	39.8	15.3	53.5	91.4	15.3	91.4	506.1
1994	38.9	23.5	28.9	59.3	40.0	153.0	40.9	51.7	23.7	37.7	27.1	31.4	23.5	153.0	556.3
1995	75.7	34.9	40.5	64.2	67.5	68.6	28.1	64.1	86.3	0.0	46.4	64.4	0.0	86.3	640.6
1996	43.1	49.0	34.7	43.8	90.4	47.5	30.7	33.9	100.9	35.1	71.7	91.9	30.7	100.9	672.8
1997	35.2	45.6	14.7	72.5	41.2	39.2	81.4	99.1	23.1	98.6	32.7	64.1	14.7	99.1	647.4
1998	63.3	4.1	20.6	33.4	49.8	79.5	36.8	64.9	82.0	86.5	44.8	24.0	4.1	86.5	589.7
1999	56.3	60.9	24.1	64.5	53.2	77.2	210.3	18.8	70.7	46.0	64.6	97.7	18.8	210.3	844.5
2000	21.9	26.6	25.6	36.5	26.5	16.5	23.4	7.3	59.0	15.2	19.3	37.2	7.3	59.0	315.0
2001	21.2	21.5	25.8	34.0	21.8	100.1	15.4	32.9	120.5	19.7	46.5	29.5	15.4	120.5	488.9
2002	14.2	13.8	14.1	42.0	20.9	61.2	43.6	83.4	43.0	74.2	33.1	46.9	13.8	83.4	490.5
2003	49.7	20.4	10.3	19.5	36.0	26.1	87.4	9.1	56.1	91.1	21.7	27.0	9.1	91.1	454.4
2004	78.9	27.9	16.7	60.5	52.4	87.8	72.7	74.4	40.3	29.8	110.4	42.5	16.7	110.4	694.3
2005	38.2	62.9	28.8	46.8	38.4	74.6	64.6	106.1	43.9	21.0	20.0	61.6	20.0	106.1	606.8
2006	64.4	13.4	66.8	2.4	38.7	4.0	16.0	47.3	18.3	58.2	25.4	45.3	2.4	66.8	400.1
2007	40.5	46.6	80.1	5.2	63.2	85.7	17.4	59.6	65.4	82.8	95.8	29.6	5.2	95.8	671.9
2008	37.1	10.5	63.5	29.8	48.5	36.1	44.5	37.8	57.6	18.0	41.6	63.1	10.5	63.5	488.2
2009	46.2	66.0	53.5	8.8	29.7	106.6	63.7	37.0	5.6	79.5	48.0	90.3	5.6	106.6	634.9
2010	81.8	88.5	38.9	36.3	67.7	117.8	34.6	45.1	42.2	39.6	37.6	49.2	34.6	117.8	679.1
2011	39.6	46.4	23.6	14.6	55.7	34.0	0.0	14.5	39.5	30.6	7.5	39.7	0.0	55.7	345.9
2012	68.2	49.5	3.8	56.0	93.4	16.1	32.8	6.3	26.3	37.2	23.8	46.1	3.8	93.4	459.6
2013	61.8	44.9	77.6	20.2	83.7	41.2	4.0	36.8	47.6	42.7	33.5	10.3	4.0	83.7	504.3
2014	21.3	19.4	40.3	66.2	210.1	48.4	151.8	51.6	92.0	49.0	10.6	55.2	10.6	210.1	815.9
2015	40.0	43.4	97.3	26.2	64.1	32.4	11.6	40.7	81.2	58.9	50.9	4.9	4.9	97.3	551.5
SRE	40.4	36.6	39.3	42.6	55.1	74.7	56.9	44.5	43.9	41.7	47.7	49.3	10.2	108.7	572.6
s	23.3	24.9	24.7	20.1	35.3	38.5	43.7	29.3	29.4	33.6	25.0	29.1	7.8	35.4	114.7
Cv	0.6	0.7	0.6	0.5	0.6	0.5	0.8	0.7	0.7	0.8	0.5	0.6	0.8	0.3	0.2
Cs	0.5	1.0	0.7	0.1	1.7	0.9	1.6	1.0	0.5	1.3	0.5	0.7	1.0	1.6	0.0
MIN	4.0	3.4	1.0	2.4	3.0	4.0	0.0	6.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	55.7	300.0
MAX	106.0	111.0	106.0	89.0	210.1	230.0	210.3	128.0	120.5	181.0	110.4	154.0	34.6	230.0	844.5

## MESEČNE I GODIŠNJE SUME PADAVINA (mm)

T-1/9

## P. S. Beograd

GODINA	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	MIN	MAX	SUM
1946	65.1	46.6	32.9	29.8	81.2	70.4	9.0	17.9	2.6	97.2	113.6	71.5	2.6	113.6	637.8
1947	74.5	54.2	52.6	30.2	68.4	61.3	55.4	47.6	1.0	20.9	30.0	73.1	1.0	74.5	569.2
1948	32.6	52.6	33.2	70.5	41.9	168.3	29.5	41.3	77.1	55.7	67.1	6.8	6.8	168.3	676.6
1949	52.1	5.4	97.2	28.7	165.4	130.4	90.2	64.5	14.6	7.9	77.9	70.9	5.4	165.4	805.2
1950	19.2	27.5	18.1	25.0	49.2	28.5	52.6	27.3	25.0	64.1	102.5	54.2	18.1	102.5	493.2
1951	27.2	43.3	52.2	80.6	37.3	92.4	145.4	24.3	106.7	13.1	69.7	25.0	13.1	145.4	717.2
1952	47.4	45.1	28.6	20.9	88.3	163.3	4.6	12.6	66.5	90.6	88.9	90.0	4.6	163.3	746.8
1953	38.0	81.2	13.6	30.6	78.2	200.3	91.5	87.0	11.5	21.8	6.9	36.6	6.9	200.3	697.2
1954	64.6	29.7	44.6	63.9	167.1	129.7	37.5	94.9	63.4	81.9	88.7	60.1	29.7	167.1	926.1
1955	36.3	99.5	65.6	63.0	59.8	50.8	107.2	127.3	68.9	74.9	53.3	54.2	36.3	127.3	860.8
1956	61.4	55.9	65.2	38.3	81.6	186.0	46.5	25.9	7.6	41.4	40.4	85.7	7.6	186.0	735.9
1957	20.6	31.5	6.1	35.6	140.2	87.4	106.7	18.5	64.7	36.9	18.8	35.9	6.1	140.2	602.9
1958	52.3	28.0	91.1	97.9	14.7	66.8	18.5	24.7	16.3	61.8	59.1	53.9	14.7	97.9	585.1
1959	67.6	21.9	25.5	51.8	77.7	124.1	33.3	41.1	39.1	5.0	74.6	37.4	5.0	124.1	599.1
1960	40.4	25.2	16.2	36.7	52.6	47.5	89.1	49.7	41.5	37.1	69.2	80.3	16.2	89.1	585.5
1961	12.2	21.3	10.2	62.6	143.1	16.7	43.1	16.7	9.7	1.9	38.9	88.4	1.9	143.1	464.8
1962	49.9	92.6	111.1	63.6	12.8	33.5	42.0	12.3	32.8	6.3	61.5	52.9	6.3	111.1	571.3
1963	111.7	43.1	40.2	44.1	33.6	38.5	47.3	23.3	45.1	7.5	32.0	72.2	7.5	111.7	538.6
1964	4.2	39.1	60.8	65.9	58.5	67.1	64.0	17.5	112.5	81.0	69.5	72.1	4.2	112.5	712.2
1965	55.8	79.0	24.7	58.2	49.8	130.3	39.8	24.2	51.4	0.0	74.6	79.0	0.0	130.3	666.8
1966	101.1	27.7	38.8	37.7	75.1	76.5	103.1	28.9	30.0	34.3	46.4	91.6	27.7	103.1	691.2
1967	35.5	12.7	60.5	61.0	117.0	79.8	52.8	5.2	134.9	20.6	32.6	109.2	5.2	134.9	721.8
1968	112.2	28.9	31.5	19.3	42.2	54.1	82.2	94.2	55.4	10.7	82.2	66.2	10.7	112.2	679.1
1969	27.3	90.0	29.4	34.3	23.2	171.8	125.5	44.1	27.0	3.5	47.0	178.9	3.5	178.9	802.0
1970	46.8	96.8	75.8	64.5	102.8	88.3	133.2	42.0	7.2	66.9	62.4	22.6	7.2	133.2	809.3
1971	45.4	37.2	75.1	61.8	91.7	98.6	86.3	53.7	72.2	13.0	49.6	10.1	10.1	98.6	694.7
1972	13.7	22.1	1.8	85.4	57.2	15.4	170.4	108.5	58.2	121.5	66.2	0.8	0.8	170.4	721.2
1973	15.1	31.5	30.8	92.2	48.5	87.2	30.5	50.4	51.9	32.2	48.5	29.0	15.1	92.2	547.8
1974	26.5	23.5	21.5	46.0	80.3	175.0	41.4	59.1	98.8	184.9	63.0	90.2	21.5	184.9	910.2
1975	25.6	8.9	38.6	41.4	131.6	105.2	131.5	136.4	22.2	52.9	48.6	6.0	6.0	136.4	748.9
1976	6.0	103.7	12.3	34.1	67.2	45.1	90.7	27.4	56.9	84.0	14.2	56.4	21.8	103.7	598.0
1977	44.1	106.6	61.4	86.5	33.4	49.9	82.6	83.8	72.5	13.6	77.0	80.2	13.6	106.6	791.6
1978	25.1	127.7	53.1	31.8	125.4	168.4	53.4	13.3	109.6	18.1	15.0	57.0	13.3	168.4	797.9
1979	92.6	39.9	38.7	63.3	65.1	91.4	56.4	80.0	14.3	47.6	41.9	56.6	14.3	92.6	687.8
1980	63.4	45.7	67.2	88.1	126.4	73.2	91.0	67.7	32.3	82.4	88.8	82.1	32.3	126.4	908.3
1981	48.7	22.2	144.7	62.2	47.2	114.4	21.0	72.8	79.0	72.3	90.6	75.8	21.0	144.7	850.9
1982	43.7	14.7	75.3	57.7	8.7	85.8	124.7	73.4	29.8	81.9	19.0	79.4	8.7	124.7	694.1
1983	32.2	16.4	18.9	37.6	63.0	121.8	35.1	13.3	71.4	31.3	31.3	39.5	13.3	121.8	511.8
1984	59.3	78.4	31.4	39.2	88.0	44.3	85.5	36.9	55.4	12.5	59.9	12.8	12.5	88.0	603.6
1985	53.9	46.7	41.5	65.7	40.8	126.0	15.4	168.1	12.7	13.6	80.9	22.0	12.7	168.1	687.3
1986	73.1	62.6	49.4	72.0	126.6	90.4	72.5	10.2	3.2	39.9	6.8	20.8	3.2	126.6	627.5
1987	106.8	3.1	72.0	59.2	169.0	113.4	67.4	43.1	10.6	18.0	100.5	60.0	3.1	169.0	823.1
1988	41.3	50.9	94.4	45.7	19.1	73.6	15.7	25.7	73.2	25.8	30.5	34.1	15.7	94.4	530.0
1989	4.6	9.5	37.4	93.7	74.2	141.7	12.7	67.2	52.9	48.6	71.6	22.4	4.6	141.7	636.5
1990	5.0	41.1	15.2	56.1	19.9	89.2	36.9	16.5	32.4	53.0	35.4	90.5	5.0	90.5	491.2
1991	20.2	11.2	83.7	51.3	94.9	86.3	143.9	32.8	25.8	84.2	62.7	31.7	11.2	143.9	728.7
1992	7.6	33.8	6.9	59.5	19.3	180.0	43.9	24.3	28.2	90.5	61.7	34.7	6.9	180.0	590.4
1993	21.9	31.8	77.1	26.7	12.8	50.4	56.9	24.5	51.5	18.8	77.8	88.9	12.8	88.9	539.1
1994	40.4	23.0	27.7	64.6	41.4	212.2	46.1	90.5	29.5	37.9	25.9	34.4	23.0	212.2	673.6
1995	82.2	45.9	43.9	61.0	83.6	64.7	33.7	69.2	92.6	0.3	57.0	67.1	0.3	92.6	701.2
1996	42.6	62.2	41.2	52.3	108.0	57.1	35.5	66.6	107.7	37.1	77.4	100.8	35.5	108.0	788.5
1997	31.7	49.2	11.4	88.1	51.6	31.7	126.1	108.4	30.4	106.7	30.8	80.6	11.4	126.1	746.7
1998	70.6	2.3	19.3	30.7	55.2	63.4	32.2	45.4	92.6	89.6	52.2	31.0	2.3	92.6	584.5
1999	51.1	63.3	16.9	73.2	60.9	142.4	262.5	12.9	85.4	56.2	73.2	153.2	12.9	262.5	1051.2
2000	27.3	28.3	30.3	41.9	34.5	19.1	29.3	7.8	70.7	16.6	20.7	41.2	7.8	70.7	367.7
2001	35.3	27.2	65.6	157.9	47.0	186.0	19.7	56.7	179.3	16.7	63.4	33.9	16.7	186.0	888.7
2002	15.1	14.0	14.8	53.7	20.9	79.6	60.7	106.8	51.9	88.3	35.8	52.8	14.0	106.8	594.4
2003	62.9	26.5	11.4	23.1	39.5	33.4	111.8	6.4	57.6	115.2	23.4	36.7	6.4	115.2	547.9
2004	93.5	29.4	18.9	71.7	63.3	113.8	94.6	89.3	45.0	32.9	129.5	50.3	18.9	129.5	832.2
2005	52.2	84.2	33.9	54.7	47.4	95.1	91.4	144.3	54.1	28.6	23.5	78.8	23.5	144.3	788.2
2006	43.2	59.1	104.4	97.0	42.3	137.8	23.3	120.6	24.3	20.9	24.5	51.9	20.9	137.8	749.3
2007	49.3	56.0	99.6	3.8	79.0	107.2	17.5	72.5	84.1	103.6	131.5	34.5	3.8	131.5	838.6
2008	44.6	8.3	79.7	34.9	60.6	43.3	53.0	45.6	68.5	18.4	51.0	79.0	8.3	79.7	586.9
2009	55.1	85.2	64.9	6.1	34.7	151.0	80.0	44.5	3.9	98.9	59.5	120.6	3.9	151.0	804.4
2010	102.6	112.8	47.2	43.7	86.4	181.7	41.4	53.5	51.8	47.7	45.2	61.4	41.4	181.7	875.4
2011	47.8	55.6	27.9	14.1	66.8	41.1	0.0	14.0	47.7	36.0	5.0	48.0	0.0	66.8	404.0
2012	87.2	61.5	2.4	66.9	127.9	16.0	39.0	4.5	30.7	44.9	28.1	55.1	2.4	127.9	564.2
2013	76.9	53.4	95.4	21.3	104.4	50.1	2.9	44.3	58.7	52.0	40.0	7.9	2.9	104.4	607.3
2014	24.1	19.9	48.7	85.3	280.4	60.3	250.6	63.5	126.0	61.2	8.8	66.3	8.8	280.4	1095.1
2015	48.6	52.4	132.9	30.7	80.7	38.6	10.6	49.5	101.4	71.8	63.4	3.8	3.8	132.9	684.4
SRE	47.4	45.3	47.3	53.6	72.7	93.1	66.8	51.7	53.2	48.1	54.6	57.7	11.4	133.4	691.3
s	27.0	29.2	32.0	25.8	46.5	51.1	51.4	37.2	35.9	36.4	28.5	33.4	9.3	41.0	140.6
Cv	0.6	0.6	0.7	0.5	0.6	0.5	0.8	0.7	0.7	0.8	0.5	0.6	0.8	0.3	0.2
Cs	0.6	0.8	0.9	0.9	1.6	0.5	1.6	1.0	0.9	1.0	0.4	0.9	1.3	1.1	0.3
MIN	4.2	2.3	1.8	3.8	8.7	15.4	0.0	4.5	1.0	0.0	5.0	0.8	0.0	66.8	367.7
MAX	112.2	127.7	144.7	157.9	280.4	212.2	262.5	168.1	179.3	184.9	131.5	178.9	41.4	280.4	1095.1

## MESEČNE I GODIŠNJE SUME PADAVINA (mm)

T-2

## P. S. Beljarica

GODINA	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	MIN	MAX	SUM
1946	39.1	52.0	20.9	19.7	45.1	52.9	4.6	29.7	4.0	71.9	90.3	59.0	4.0	90.3	489.2
1947	51.8	39.4	45.3	20.4	31.9	60.7	41.9	27.8	4.8	21.0	29.0	67.1	4.8	67.1	441.2
1948	35.2	39.8	33.5	66.7	43.5	73.8	52.8	39.0	31.5	26.2	41.0	11.0	11.0	73.8	494.1
1949	41.2	10.7	68.8	20.3	95.1	98.0	65.2	45.5	39.1	12.2	84.8	57.2	10.7	98.0	638.0
1950	31.2	26.3	19.7	31.9	26.4	41.9	63.6	18.6	27.7	68.3	89.6	57.8	18.6	89.6	502.9
1951	23.0	47.7	40.1	56.8	39.1	84.9	99.4	40.9	20.3	12.1	39.2	23.0	12.1	99.4	526.6
1952	43.2	39.6	31.7	20.5	52.9	64.5	4.6	16.1	65.0	68.6	108.6	99.5	4.6	108.6	614.8
1953	31.7	60.0	14.9	19.9	67.7	116.0	55.1	64.0	20.6	12.9	17.2	41.2	12.9	116.0	521.2
1954	52.7	44.4	42.1	49.4	99.1	110.4	34.3	88.3	32.2	71.9	52.3	45.3	32.2	110.4	722.5
1955	38.7	93.5	49.6	59.1	49.1	57.2	134.2	96.9	75.6	73.0	66.3	67.6	38.7	134.2	860.8
1956	56.2	83.9	55.2	40.0	58.8	116.8	43.0	19.7	10.0	38.2	55.6	71.7	10.0	116.8	649.1
1957	13.2	49.6	3.8	30.8	155.9	59.2	94.8	5.5	40.2	23.5	17.6	41.1	3.8	155.9	535.4
1958	63.3	43.8	74.1	87.7	31.6	48.1	15.5	20.6	10.4	56.9	78.2	47.6	10.4	87.7	577.9
1959	68.6	17.3	28.4	32.8	90.0	58.4	64.7	44.5	33.7	6.1	71.5	39.2	6.1	90.0	555.2
1960	62.8	40.7	21.6	35.1	43.9	88.6	74.1	48.7	26.2	52.0	42.0	69.9	21.6	88.6	605.7
1961	19.3	21.1	3.7	46.4	154.8	21.5	12.5	19.9	2.3	0.0	31.3	86.5	0.0	154.8	419.4
1962	19.8	68.2	96.5	51.5	6.1	41.6	20.6	47.0	21.4	3.4	39.8	52.7	3.4	96.5	468.8
1963	98.9	46.0	8.2	52.9	51.0	67.1	60.6	40.9	51.1	21.6	28.2	87.2	8.2	98.9	613.8
1964	7.8	45.4	62.1	47.9	42.4	9.4	53.1	16.2	88.8	86.6	66.2	65.1	7.8	88.8	591.0
1965	52.5	64.7	21.6	69.5	27.1	132.5	33.0	26.4	19.1	0.0	72.3	78.9	0.0	132.5	597.4
1966	90.5	20.4	26.1	18.1	75.1	57.2	59.8	36.5	14.9	34.7	51.1	89.6	14.9	90.5	574.0
1967	33.7	12.3	55.1	52.3	36.1	154.7	73.4	27.8	46.0	22.0	37.1	85.6	12.3	154.7	636.0
1968	87.8	28.8	23.3	13.2	45.1	13.5	99.3	99.9	38.2	11.4	75.7	41.7	11.4	99.9	577.8
1969	26.8	101.8	21.5	43.5	37.2	155.0	61.9	60.8	30.4	2.8	41.3	156.3	2.8	156.3	739.2
1970	39.3	101.3	30.2	81.9	140.8	91.9	88.0	59.0	29.0	65.8	40.1	29.1	29.0	140.8	796.5
1971	30.1	22.7	55.7	45.0	41.2	60.7	47.1	35.0	67.9	10.3	48.0	8.0	8.0	67.9	471.7
1972	8.9	21.7	0.0	61.9	41.9	20.7	133.4	113.3	39.8	97.9	69.0	0.0	0.0	133.4	608.5
1973	5.2	33.3	26.3	99.5	51.8	82.1	20.9	28.0	31.6	41.4	48.1	29.4	5.2	99.5	497.5
1974	27.0	19.9	35.9	41.9	98.6	100.2	46.6	32.2	132.2	180.1	40.4	89.4	19.9	180.1	844.4
1975	16.5	7.9	31.7	37.9	113.0	153.7	149.1	89.4	20.4	40.6	55.4	11.3	7.9	153.7	727.0
1976	74.5	6.8	42.8	71.9	28.0	65.8	28.6	52.2	65.7	17.8	47.0	21.9	6.8	74.5	522.9
1977	32.6	98.0	52.7	98.3	78.7	82.6	68.8	78.3	66.5	11.1	83.3	80.7	11.1	98.3	831.5
1978	16.6	137.2	50.7	27.3	81.6	117.3	26.8	20.7	95.5	5.6	14.2	46.1	5.6	137.2	639.6
1979	85.0	43.0	31.2	65.3	53.2	92.4	86.2	50.1	7.9	54.8	27.3	40.4	7.9	92.4	637.0
1980	60.2	53.9	57.4	46.7	119.9	79.5	75.8	38.8	11.9	66.3	78.3	45.0	11.9	119.9	733.8
1981	41.3	20.0	88.7	55.5	47.1	106.9	43.1	58.6	98.5	66.5	66.8	70.9	20.0	106.9	764.0
1982	30.6	10.1	54.6	57.8	1.8	82.2	87.6	97.6	21.2	46.8	20.4	75.1	1.8	97.6	586.0
1983	27.1	12.1	16.7	30.9	78.1	94.6	45.1	12.5	69.6	32.5	26.6	27.8	12.1	94.6	473.6
1984	60.2	65.6	25.0	28.2	66.8	56.3	57.4	50.9	68.6	21.3	48.1	20.7	20.7	68.6	569.1
1985	48.4	43.7	42.2	43.4	35.7	81.3	19.5	103.9	2.7	14.5	64.7	28.3	2.7	103.9	528.0
1986	62.5	54.7	41.8	54.0	41.5	69.8	98.5	13.0	1.8	29.1	5.3	29.8	1.8	98.5	501.8
1987	103.1	3.8	52.5	65.9	158.6	70.6	56.6	34.9	26.4	10.3	73.8	33.4	3.8	158.6	689.9
1988	42.7	57.6	63.4	44.1	43.3	64.7	21.5	23.5	62.7	12.8	24.7	25.9	12.8	64.7	486.8
1989	7.0	10.1	42.7	81.1	81.0	120.4	40.9	95.9	45.6	51.9	30.1	17.3	7.0	120.4	624.0
1990	7.2	45.0	30.8	52.8	27.8	92.2	35.7	19.4	50.2	24.2	32.4	71.9	7.2	92.2	489.7
1991	13.4	19.6	85.0	41.9	79.1	62.6	97.8	66.0	52.0	55.2	53.2	20.8	13.4	97.8	646.6
1992	12.3	31.2	12.8	52.4	20.1	96.1	40.9	3.8	28.6	72.9	58.0	37.2	3.8	96.1	466.3
1993	22.1	29.8	66.1	35.8	26.7	44.8	42.4	43.6	45.5	20.7	59.3	75.8	20.7	75.8	512.4
1994	38.4	27.8	26.6	54.9	50.5	122.1	54.8	63.0	36.7	40.1	26.9	39.6	26.6	122.1	581.4
1995	69.0	38.8	42.0	62.9	75.8	81.1	53.4	64.4	80.9	2.2	52.3	80.1	2.2	81.1	702.9
1996	40.2	51.7	39.8	43.7	94.3	43.9	24.3	52.1	94.3	28.8	67.3	90.8	24.3	94.3	671.1
1997	22.7	43.2	17.5	68.6	42.4	48.3	95.9	97.9	31.8	95.1	34.1	70.2	17.5	97.9	667.8
1998	61.9	5.8	20.4	33.7	54.0	48.3	35.8	42.8	80.8	74.7	44.6	22.1	5.8	80.8	524.9
1999	43.3	47.3	20.0	68.8	56.2	99.5	158.1	14.0	74.0	45.7	62.3	103.1	14.0	158.1	792.2
2000	27.0	21.5	34.1	39.8	22.8	12.6	31.5	8.6	72.2	13.7	20.0	39.3	8.6	72.2	343.2
2001	42.8	26.2	53.0	107.5	59.6	135.8	26.9	45.5	151.4	6.8	52.5	25.3	6.8	151.4	733.3
2002	15.8	14.0	17.3	35.0	20.7	44.3	23.5	63.4	47.0	66.6	45.8	49.6	14.0	66.6	443.1
2003	50.0	18.1	11.7	18.2	37.2	22.0	65.0	6.3	56.7	86.5	21.5	25.2	6.3	86.5	418.4
2004	85.5	39.4	20.8	53.2	54.7	78.2	60.6	64.1	43.5	34.8	106.8	44.5	20.8	106.8	686.2
2005	16.6	55.0	31.9	53.2	36.1	62.5	52.3	85.5	34.5	16.2	27.7	50.9	16.2	85.5	522.3
2006	41.9	39.6	59.6	63.5	40.5	71.7	16.8	68.1	28.2	20.5	20.8	47.4	16.8	71.7	518.6
2007	43.9	48.9	82.2	5.7	57.8	86.9	16.7	50.1	68.8	84.6	96.6	32.9	5.7	96.6	675.3
2008	40.8	12.4	64.5	33.5	51.6	44.1	48.8	41.0	59.2	18.7	45.1	62.0	12.4	64.5	521.5
2009	52.3	70.0	53.0	7.7	38.0	102.5	62.6	40.4	6.0	76.9	52.2	94.1	6.0	102.5	655.6
2010	78.8	93.7	40.8	40.9	70.4	122.4	42.9	50.0	46.9	43.5	42.2	53.1	40.8	122.4	725.5
2011	42.3	45.9	25.4	16.0	56.0	45.1	0.0	16.4	42.8	33.8	6.9	42.8	0.0	56.0	373.3
2012	65.6	56.5	2.9	59.9	95.1	19.7	40.4	6.8	28.8	45.9	25.3	50.0	2.9	95.1	496.9
2013	63.0	46.9	80.9	24.1	93.8	45.0	5.8	35.7	52.7	47.1	39.3	10.6	5.8	93.8	544.9
2014	39.6	37.1	57.9	80.0	191.1	71.8	154.7	59.8	94.4	51.9	11.6	54.5	11.6	191.1	904.5
2015	43.4	44.3	94.4	28.7	64.6	34.2	11.5	48.4	84.2	60.4	53.6	6.0	6.0	94.4	573.7
SRE	42.7	41.9	40.0	47.2	61.8	74.5	55.2	46.1	45.9	40.6	48.5	51.0	11.1	105.2	595.4
s	23.5	26.5	23.0	22.0	37.1	34.7	36.0	27.4	30.7	31.5	23.7	28.5	8.7	29.7	119.8
Cv	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5	0.7	0.6	0.7	0.8	0.5	0.6	0.8	0.3	0.2
Cs	0.6	1.1	0.5	0.5	1.4	0.3	1.0	0.6	1.0	1.4	0.5	0.8	1.4	0.9	0.5
MIN	5.2	3.8	0.0	5.7	1.8	9.4	0.0	3.8	1.8	0.0	5.3	0.0	0.0	56.0	343.2
MAX	103.1	137.2	96.5	107.5	191.1	155.0	158.1	113.3	151.4	180.1	108.6	156.3	40.8	191.1	904.5

## ANEX 2

**Tabela 1. Proračun neto sadašnje vrednosti (NSW), €**

Godine	Investicije	Neto-primanja	Sadašnja vrednost neto-primanja	Diskontni faktor
				6%
1	15900000	0	-15000000	0.943396226
2	0	1702800	1515485.938	0.88999644
3	0	1702800	1429703.715	0.839619283
4	0	1702800	1348777.09	0.792093663
5		1702800	1272431.217	0.747258173
6	0	1702800	1200406.808	0.70496054
7	0	1702800	1132459.253	0.665057114
8	0	1702800	1068357.786	0.627412371
9	0	1702800	1007884.704	0.591898464
10	0	1702800	950834.6261	0.558394777
11	0	1702800	897013.7982	0.526787525
12	0	1702800	846239.4323	0.496969364
13	0	1702800	798339.0871	0.468839022
14	0	1702800	753150.0821	0.442300964
15	0	1702800	710518.9454	0.417265061
16		1702800	670300.8919	0.393646284
17	0	1702800	632359.332	0.371364419
18	0	1702800	596565.4075	0.350343791
19	0	1702800	562797.5543	0.33051301
20	0	1702800	530941.0889	0.311804727
21	0	1702800	500887.8198	0.294155403
22	0	1702800	472535.679	0.277505097
23	0	1702800	445788.3764	0.261797261
24	0	1702800	420555.0721	0.246978548
25	0	1702800	396750.068	0.232998631
26	0	1702800	374292.517	0.219810029
27	0	1702800	353106.1481	0.207367952
28	0	1702800	333119.0077	0.195630143
29	0	1702800	314263.2148	0.184556739
30	0	1702800	296474.7309	0.174110131
<b>NSW</b>			<b>6,832,339.39</b>	

**Tabela 2. Proračun interne stope rentabilnosti (ISR), %**

Godine	Investicije	Neto-primanja	Sadašnja vrednost neto-primanja	Sadašnja vrednost neto-primanja	Diskontna stopa (i)	
					10%	11%
1	15900000	0	-1.4E+07	-1.4E+07	0.909091	0.900901
2	0	1702800	1407273	1382031	0.826446	0.811622
3	0	1702800	1279339	1245073	0.751315	0.731191
4	0	1702800	1163035	1121687	0.683013	0.658731
5	0	1702800	1057305	1010529	0.620921	0.593451
6	0	1702800	961186.2	910386.4	0.564474	0.534641
7	0	1702800	873805.6	820167.9	0.513158	0.481658
8	0	1702800	794368.8	738890	0.466507	0.433926
9	0	1702800	722153.4	665666.7	0.424098	0.390925
10	0	1702800	656503.1	599699.7	0.385543	0.352184
11	0	1702800	596821	540270	0.350494	0.317283
12	0	1702800	542564.6	486729.8	0.318631	0.285841
13	0	1702800	493240.5	438495.3	0.289664	0.257514
14	0	1702800	448400.5	395040.8	0.263331	0.231995
15	0	1702800	407636.8	355892.6	0.239392	0.209004
16	0	1702800	370578.9	320624	0.217629	0.188292
17	0	1702800	336889.9	288850.4	0.197845	0.169633
18	0	1702800	306263.5	260225.6	0.179859	0.152822
19	0	1702800	278421.4	234437.5	0.163508	0.137678
20	0	1702800	253110.4	211204.9	0.148644	0.124034
21	0	1702800	230100.3	190274.7	0.135131	0.111742
22	0	1702800	209182.1	171418.7	0.122846	0.100669
23	0	1702800	190165.6	154431.2	0.111678	0.090693
24	0	1702800	172877.8	139127.2	0.101526	0.081705
25	0	1702800	157161.6	125339.9	0.092296	0.073608
26	0	1702800	142874.2	112918.8	0.083905	0.066314
27	0	1702800	129885.6	101728.6	0.076278	0.059742
28	0	1702800	118077.9	91647.42	0.069343	0.053822
29	0	1702800	107343.5	82565.24	0.063039	0.048488
30	0	1702800	97585	74383.1	0.057309	0.043683
<b>SV</b>			49604.5	-1054588		
<b>ISR=</b>	10.04					



**Tabela 3. Senzitivna analiza - povećanje ulaganja za 20%**

Godine	Investicije	Neto-primanja	Sadašnja vrednost neto-primanja	Sadašnja vrednost neto-primanja	Diskontna stopa (i)	
					7%	8%
1	19080000	0	-17831775.7	-17666666.67	0.934579439	0.925925926
2	0	1702800	1487291.467	1459876.543	0.873438728	0.85733882
3	0	1702800	1389992.025	1351737.54	0.816297877	0.793832241
4	0	1702800	1299057.967	1251608.833	0.762895212	0.735029853
5		1702800	1214072.866	1158897.068	0.712986179	0.680583197
6	0	1702800	1134647.539	1073052.841	0.666342224	0.630169627
7	0	1702800	1060418.26	993567.4451	0.622749742	0.583490395
8	0	1702800	991045.1033	919969.8565	0.582009105	0.540268885
9	0	1702800	926210.3769	851823.9412	0.543933743	0.500248967
10	0	1702800	865617.1746	788725.8715	0.508349292	0.463193488
11	0	1702800	808988.0137	730301.7329	0.475092796	0.428882859
12	0	1702800	756063.5642	676205.3082	0.444011959	0.397113759
13	0	1702800	706601.4619	626116.0261	0.414964448	0.367697925
14	0	1702800	660375.198	579737.0612	0.387817241	0.340461041
15	0	1702800	617173.0822	536793.5752	0.36244602	0.315241705
16	0	1702800	576797.2731	497031.0882	0.338734598	0.291890468
17	0	1702800	539062.8721	460213.9705	0.31657439	0.270268951
18	0	1702800	503797.0767	426124.0468	0.295863916	0.250249029
19	0	1702800	470838.3895	394559.3026	0.276508333	0.231712064
20	0	1702800	440035.878	365332.6876	0.258419003	0.214548207
21	0	1702800	411248.4841	338271.007	0.241513087	0.198655748
22	0	1702800	384344.3777	313213.8954	0.225713165	0.183940507
23	0	1702800	359200.353	290012.8661	0.210946883	0.170315284
24	0	1702800	335701.2644	268530.4316	0.19714662	0.157699337
25	0	1702800	313739.4995	248639.2885	0.184249178	0.146017905
26	0	1702800	293214.4855	230221.5634	0.172195493	0.135201764
27	0	1702800	274032.2294	213168.1143	0.160930367	0.125186818
28	0	1702800	256104.8873	197377.8836	0.150402212	0.115913721
29	0	1702800	239350.362	182757.2996	0.140562815	0.107327519
30	0	1702800	223691.9271	169219.7219	0.131367117	0.099377333
<b>SV</b>			1706937.757	-73579.85666		
<b>ISR=</b>	7.95					

**Tabela 4. Senzitivna analiza - smanjenje primanja za 20%**

Godine	Investicije	Neto-primanja	Sadašnja vrednost neto-primanja	Sadašnja vrednost neto-primanja	Diskontna stopa (i)	
					7%	8%
1	15900000	0	-14859813.08	-14722222.22	0.934579	0.925926
2	0	1362240	1189833.173	1167901.235	0.873439	0.857339
3	0	1362240	1111993.62	1081390.032	0.816298	0.793832
4	0	1362240	1039246.374	1001287.067	0.762895	0.73503
5	0	1362240	971258.2931	927117.6543	0.712986	0.680583
6	0	1362240	907718.031	858442.2725	0.666342	0.63017
7	0	1362240	848334.6084	794853.956	0.62275	0.58349
8	0	1362240	792836.0826	735975.8852	0.582009	0.540269
9	0	1362240	740968.3015	681459.153	0.543934	0.500249
10	0	1362240	692493.7397	630980.6972	0.508349	0.463193
11	0	1362240	647190.411	584241.3863	0.475093	0.428883
12	0	1362240	604850.8514	540964.2466	0.444012	0.397114
13	0	1362240	565281.1695	500892.8209	0.414964	0.367698
14	0	1362240	528300.1584	463789.649	0.387817	0.340461
15	0	1362240	493738.4658	429434.8602	0.362446	0.315242
16	0	1362240	461437.8185	397624.8705	0.338735	0.29189
17	0	1362240	431250.2977	368171.1764	0.316574	0.270269
18	0	1362240	403037.6614	340899.2374	0.295864	0.250249
19	0	1362240	376670.7116	315647.4421	0.276508	0.231712
20	0	1362240	352028.7024	292266.1501	0.258419	0.214548
21	0	1362240	328998.7873	270616.8056	0.241513	0.198656
22	0	1362240	307475.5021	250571.1163	0.225713	0.183941
23	0	1362240	287360.2824	232010.2929	0.210947	0.170315
24	0	1362240	268561.0116	214824.3453	0.197147	0.157699
25	0	1362240	250991.5996	198911.4308	0.184249	0.146018
26	0	1362240	234571.5884	184177.2507	0.172195	0.135202
27	0	1362240	219225.7836	170534.4914	0.16093	0.125187
28	0	1362240	204883.9099	157902.3069	0.150402	0.115914
29	0	1362240	191480.2896	146205.8397	0.140563	0.107328
30	0	1362240	178953.5417	135375.7775	0.131367	0.099377
<b>SV</b>			771157.6824	-647752.7742		
<b>ISR=</b>	7.543486					

### Biografija autora

Mile Božić je završio studije na Građevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu (Hidrotehnički smer) 1981. godine, a 2010. godine odbranio magistarsku tezu „Upravljanje režimom podzemnih voda na poljoprivrednim područjima“ na istom fakultetu.

Nakon završenih studija zaposlio se u Institutu za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, gde i danas radi. U periodu od 1981. – 1994. godine radio je kao istraživač, viši istraživač i vodeći istraživač, pretežno u oblasti odvodnjavanja, navodnjavanja, vodnih resursa i zaštite životne sredine. Kao istraživač, projektant, supervizor ili konsultant radio je na svim važnijim studijama i projektima, koji se tiču izgradnje i upravljanja hidromelioracionim sistemima u Srbiji. Takođe, bio je rukovodilac izrade brojnih studija i dokumenata planiranja i upravljanja održivim razvojem vodnih resursa i životne sredine.

Od 1994. godine radi na mestu Direktora Zavoda za hidrotehničke melioracije.

Kao autor ili koautor, objavio je više od 60 naučnih i stručnih radova u međunarodnim i domaćim stručnim časopisima i skupovima. Predsednik je Srpskog društva za odvodnjavanje i navodnjavanje (SDON) i član Inženjerske komore Srbije (licenca odgovornog projektanta hidrotehničkih objekata i instalacija vodovoda i kanalizacije br. 314 373803 i licenca za odgovornog izvođača radova hidrotehničkih objekata i instalacija vodovoda i kanalizacije br. 414 323403).

Oblast ekspertize: projektovanje sistema za odvodnjavanje i navodnjavanje, upravljanje, monitoring i procene efikasnosti rada hidromelioracionih sistema, planiranje i uređenje voda, zemljišta i sedimenata u cilju održivosti vodnih resursa i zaštite životne sredine.



**Prilog 2.****Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije  
doktorskog rada**Ime i prezime autora Mile Božić

Broj indeksa \_\_\_\_\_

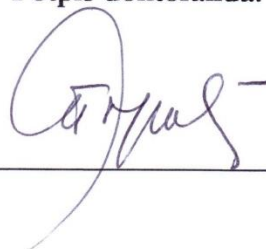
Studijski program \_\_\_\_\_

Naslov rada Procene učinka i pokazatelji efikasnosti drenažnih sistema za  
upravljanje režimom podzemnih voda na poljoprivrednim područjimaMentor prof. dr Marko IvetićPotpisani Mile Božić

Izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji koju sam predao/la za objavljivanje na portalu **Digitalnog repozitorijuma Univerziteta u Beogradu**.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci vezani za dobijanje akademskog zvanja doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada.

Ovi lični podaci mogu se objaviti na mrežnim stranicama digitalne biblioteke, u elektronskom katalogu i u publikacijama Univerziteta u Beogradu.

U Beogradu, 31.05.2016**Potpis doktoranda:**  
\_\_\_\_\_

**Prilog 3.****Izjava o korišćenju**

Ovlašćujem Univerzitetsku biblioteku „Svetozar Marković“ da u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom:

**Procene učinka i pokazatelji efikasnosti drenažnih sistema za upravljanje režimom  
podzemnih voda na poljoprivrednim područjima**

koja je moje autorsko delo.

Disertaciju sa svim priložima predao sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalni repozitorijum Univerziteta u Beogradu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučio/la.

1. Autorstvo
2. Autorstvo - nekomercijalno
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerade
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima
5. Autorstvo – bez prerade
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima

(Molimo da zaokružite samo jednu od šest ponuđenih licenci, kratak opis licenci dat je na poleđini lista).

U Beogradu, 31.05.2016

**Potpis doktoranda:**



1. Autorstvo - Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence, čak i u komercijalne svrhe. Ovo je najslobodnija od svih licenci.
2. Autorstvo – nekomercijalno. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
3. Autorstvo - nekomercijalno – bez prerade. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela. U odnosu na sve ostale licence, ovom licencom se ograničava najveći obim prava korišćenja dela.
4. Autorstvo - nekomercijalno – deliti pod istim uslovima. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada.
5. Autorstvo – bez prerade. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
6. Autorstvo - deliti pod istim uslovima. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada. Slična je softverskim licencama, odnosno licencama otvorenog koda.