

ISSN 1331-7768 (Print)
ISSN 1331-7776 (Online)
UDC 63



CROATIA

**AGRICULTURAE
CONSPECTUS
SCIENTIFICUS**

**POLJOPRIVREDNA
ZNANSTVENA
SMOTRA**

VOLUMEN 64 BROJ 1 1999

<http://www.agr.hr/smotra/>

Groundwater Dynamics in Part of the Sava River Valley

Dragutin DOLANJSKI
Dragutin PETOŠIĆ
Ivo STRIČEVIĆ

SUMMARY

The main research object was to determine the dynamics of groundwater in the area Oborovo. Major hydrological indicators (precipitation, Sava water level, groundwater level in hydro-pedological and hydro-geological piezometers) were analyzed per monthly decades during a fiveyear period. Relation of the analyzed hidrological indicators was determined using the method of cross-correlation analysis. A slight increasing trend was determined for precipitation and middle water of the Sava during the trial period. Marked differences in groundwater dynamics were also recorded. The highest monthly and annual fluctuations of groundwater level were recorded in the immediate vicinity of the Sava. Going away from the river, the fluctuation got much less expressed. Direct influence of the Sava water level upon groundwater dynamics was determined within a narrow belt next to the river. The prevailing direction of the groundwater course is from the elevated peripheral parts of the Sava basin toward the Sava River. The Sava and the other surface watercourses, Zelina, Črnec and the Lonja-Strug Canal, have no considerable influence on the genesis and dynamics of groundwater in the area under study.

KEY WORDS

**precipitation, water level, groundwater level, piezometer,
hydro-amelioration, soil**

Department of Soil Amelioration
Faculty of Agriculture University of Zagreb
Svetošimunska cesta 25, 10000 Zagreb, Croatia
Received: January 13, 1999



Dinamika podzemnih voda na dijelu Srednje Posavine

Dragutin DOLANJSKI

Dragutin PETOŠIĆ

Ivo STRIČEVIĆ

SAŽETAK

Utvrditi dinamiku podzemnih voda na području Oborova bio je temeljni cilj istraživanja. Neprekidno, tijekom petogodišnjeg razdoblja po mjesečnim dekadama analizirani su temeljni hidrološki pokazatelji (oborine, vodostaji Save, razina podzemne vode u hidropedološkim i hidrogeološkim pjezometrima). Metodom kroskorelacijske analize utvrđena je povezanost analiziranih hidroloških pokazatelja. Utvrđen je trend slabog porasta oborina i srednjih voda Save tijekom istraživanog razdoblja. Utvrđene su, također, osjetne razlike u dinamici podzemnih voda. Najveća mjesečna i godišnja kolebanja razine podzemnih voda, potvrđena su u neposrednoj blizini rijeke Save. S udaljavanjem od rijeke kolebanje je znatno slabije. Izravan utjecaj vodostaja Save na dinamiku podzemnih voda utvrđen je unutar uskog pojasa u neposrednoj blizini rijeke. Dominantan smjer toka podzemnih voda je iz pravca povišenih perifernih dijelova savskog bazena prema rijeci Savi. Rijeka Sava i preostali površinski vodotoci Zelina, Čmec i Kanal Lonja Strug, ne utječu bitnije na genezu i dinamiku podzemnih voda istraživanog područja.

KLJUČNE RIJEČI

oborine, vodostaj, razina podzemne vode, pjezometar, hidromelioracije, tlo

Zavod za melioracije
Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Svetošimunska 25, 10000 Zagreb, Hrvatska
Primljeno: 13. siječnja 1999.



UVOD

Režim podzemnih voda hidromorfni tala u dolini rijeke Save bio je temeljni cilj brojnih dosadašnjih istraživanja. Najveći dio istraživanja odnosi se na dinamiku podzemne vode u bazenskom dijelu savske doline. Pušić i Škorić (1965) ukazuju da u ovom dijelu Posavine dominira kombinirano vlaženje tla, pod istovremenim utjecajem oborinskih i podzemnih voda. Isti autori na cijelom savskom bazenu potvrđuju postojanost stalnih podzemnih voda.

Razina vode rijetko se spušta više od 5 m ispod površine tla, a u ovisnosti je od rasporeda, sastava i moćnosti vodonosnih horizonata (akvifera). Kolebanja razine podzemnih voda veća su uz rijeku Savu i druge vodotoke, a manja u njihovom zaleđu (Srebrenović i sur, 1971.). Analizom utjecaja relevantnih faktora na režim podzemnih voda u području Črnc polja provedenom autokorelacijskom metodom potvrđen je slab utjecaj Save na formiranje akvifera podzemne vode (Milović, 1986). Samo u vrlo uskom pojasu, u neposrednom zaobalju potvrđena je jača stohastička povezanost između podzemne vode i vodostaja Save. U širem zaobalju, posebice u području "teških" tala vrlo male propusnosti za vodu ($< 0,16$ m/dan), akviferi

podzemne vode formiraju se isključivo pod utjecajem oborina, pri čemu je tendencija kretanja ascendentno - descendentna (Srebrenović, 1986).

Budući je danas veći dio površina u bazenskom dijelu savske doline hidromeliorirano, novija istraživanja režima podzemnih voda na ovom području posvećena su hidromelioriranim, najčešće dreniranim tlima.

U tom pogledu ističu se stacionarna istraživanja koja su obavljena na većem broju eksperimentalnih objekata širom Posavine. Rezultati ovih istraživanja objavljeni su u radovima većeg broja istraživača: Pušić i Đaković (1971.), Pušić i Vukušić (1971.), Marinić (1977.), Mađar (1982.), Tomić i Petošić (1989.), Tomić i sur. (1994.), Petošić i sur. (1993.), Petošić (1994.), Šimunić i sur. (1993.), Vidaček i sur. (1993.), Petošić i sur. (1998.) i dr.

Cilj ovog rada je dakle, povezati rezultate naših istraživanja s rezultatima drugih autora te donjeti zaključak o dinamici podzemnih voda na istraživanom području. Dobiveni rezultati koristiti će se pri reguliranju njihovih visokih razina u svrhu ostvarivanja uspješne poljoprivredne proizvodnje.



Slika 1. Situacija istraživanog područja
Figure 1. Situation of the area study

MATERIJAL I METODE RADA

Istraživanja su obavljena na širem području Oborova, tijekom razdoblja od 1991. do 1995. godine. Oborovo se nalazi u prostoru hidromelioracijskog sustava Črnc polja. Unutar ovog prostora nalazi se i Pokusni objekt na kojem se izvode stacionarna istraživanja (slika 1.).

Temeljna pedofizikalna i hidropedološka svojstva hidromelioriranog amfiglejnog tla određena su standardnim laboratorijskim metodama.

Kolebanja razine podzemne vode u pedosfernom dijelu mjerena su u plastičnim hidropedološkim pjezometrima od jednog, dva i tri metra dubine (, 32 mm). Mjerenje je obavljeno po mjesečnim dekadama neprekidno, tijekom petogodišnjeg razdoblja, na dvije lokacije polja, na ukupno 27 pjezometara. Posebno su obrađeni dobiveni pokazatelji na reprezentantnim hidropedološkim pjezometrima P-12 (dubina 3 m) i P-6 (dubina 1,5 m). Pjezometri su locirani na sredini između dviju drenažnih cijevi razmaka 17,65 m. Dubina drenaže iznosi oko 1,0 m. Drenaža je izvedena u obliku klasičnog sustava s upustom cijevi (sisala) u otvorene detaljne kanale.

Pored hidropedoloških pjezometara, analizirana je i dinamika razine podzemne vode na osam vrlo dubokih pjezometara hidrogeološkog tipa.

Ovi pjezometri su dubine 9 i 20 m, a locirani su u Rugvici, Oborovu, Trebovcu i Zelini Breški. Mjerenje razine vode u hidrogeološkim pjezometrima obavljano je dva puta tjedno. Mjerenja je vršio Republički hidrometeorološki zavod Hrvatske.

Detaljna analiza oborina obavljena je na temelju dobivenih podataka s meteorološke postaje u Rugvici za razdoblje od 1991. do 1995. godine.

Za analizu režima Save u istraživanom razdoblju korišteni su podaci dnevnih mjerenja na limnigrafu u Rugvici.

Temeljem numeričkih podataka formirani su osnovni i dekadni nizovi hidroloških veličina na kojima je obavljena matematičko-statistička obrada.

Stohastička povezanost između oborina i vodostaja Save u Rugvici, te rijeke i podzemnih voda unutar istraživanog područja obrađena je križnom korelacijom (kroskorelacijom) s pomacima od jedne dekade (Srebrenović, 1986.). Testiranje značajnosti provedeno je t-testom.

REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Temeljne značajke tla

Detaljnim pedološkim istraživanjima na pokusnom objektu Oborovo utvrđena je samo jedna sistematska jedinica i to amfiglej mineralni vertični, dreniran klasičnim sustavom cijevne drenaže.

Prema teksturnom sastavu oranični sloj dreniranog vertičnog amfigleja je praškasto glinasto ilovaste teksture, a podoranični praškasto glinaste teksture s 50-55% gline.

Slojevi ispod podoranice sve do dubine od 165 cm (P-1), odnosno 115 cm (P-2), su glinaste ili praškasto glinaste teksture. Dublji slojevi su teksturno lakši-ilovasti..

U svim slojevima prisutan je veći sadržaj praha. Zastupljenost sitnog i krupnog pijeska izrazito je mala.

U tablici 1 prikazana su temeljna pedofizikalna svojstva istraživanog tla. Kod svih istraživanih slojeva do dubine

Tablica 1. Osnovna pedofizikalna svojstva
Table 1. Basic pedophysical properties

Profil Profile	Dubina Depth cm	Retencijski kapacitet za Holding capacity for		Porozitet Porosity % vol.	Gustoća – Density g / cm ³		Inertna voda Unavailable water % vol.
		vodu-water % vol.	zrak-air % vol		volumna bulk	prava specific	
P - 1	0 – 25	47,9	6,7	54,6	1,14	2,51	22,6
	25 – 67	49,5	1,7	51,2	1,26	2,53	28,6
	67 - 105	42,8	7,5	50,3	1,32	2,61	27,1
P - 2	0 – 27	53,2	3,2	56,4	1,10	2,55	29,0
	27 – 68	52,4	1,8	54,2	1,18	2,52	29,7
	68 – 115	47,2	2,3	49,9	1,28	2,55	28,0

Tablica 2. Statistički parametri za dekadne oborine i razine vode (1991 – 1995)
Table 2. Statistical parameters for decade precipitation and water levels (1991-1995)

	Oborine Precipitation mm	SAVA m n. m. m a. s. l.	Pjezometar-Piezometer m n. m.-m a. s. l.					
			DSP-1	DBP-24	KP-17	DSP-7	P-12	P-6
SR-MEAN	24,20	96,00	96,10	96,30	99,50	98,20	97,50	97,70
N	162	162	144	139	162	162	162	136
STD	23,89	1,72	1,46	1,03	0,78	0,36	0,39	0,18
Cv	0,99	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
MAX	113,60	102,70	101,00	99,30	100,50	98,7	98,00	98,00
MIN	0,00	94,30	94,50	94,60	97,10	96,6	96,10	97,20

Tablica 3. Statistički parametri srednjih mjesečnih oborina za m.p. Rugvica (1991 – 1995)**Table 3.** Statistical parameters of mean monthly precipitation at Rugvica (1991-1995)

	Mjeseci-Months (mm)											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
SR-MEAN	33,65	40,60	57,27	60,85	54,20	84,94	72,40	83,98	81,28	98,90	97,76	76,06
N	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5
STD	28,26	32,94	28,43	26,09	36,86	35,21	42,29	50,85	44,51	55,52	51,22	42,84
Cv	0,84	0,81	0,50	0,43	0,68	0,41	0,58	0,61	0,55	0,56	0,52	0,56
MAX	72,40	85,90	97,90	95,40	106,00	124,00	139,90	152,10	143,40	150,50	161,50	125,70
MIN	10,40	7,30	32,00	37,20	19,4	36,00	32,00	8,60	43,20	7,00	35,20	15,00

Tablica 4. Statistički parametri srednjih mjesečnih vodostaja rijeke Save v.p. Rugvica (1991 – 1995)**Table 4.** Statistical parameters of mean monthly water levels of the Sava River at Rugvica (1991 – 1995)

	Mjeseci-Months (m n. m. – m a. s. I)											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
SR-MEAN	96,52	95,60	96,09	96,38	95,38	95,58	94,96	94,76	95,67	96,74	97,56	97,19
N	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5
STD	1,74	0,94	1,72	0,88	0,48	0,76	0,36	0,32	1,42	1,56	1,95	1,93
Cv	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02
MAX	98,60	96,89	98,54	97,25	95,77	96,21	95,49	95,13	98,13	99,00	99,78	99,65
MIN	94,93	94,64	94,61	95,50	94,68	94,57	94,49	94,3	94,62	95,03	94,95	94,98

100 cm sadržaj ukupnih pora varira unutar raspona karakterističnog za porozna tla, tj. od 50-56 % vol. Retencijski kapacitet je velik (47-53% vol.%). Kapacitet tla za zrak izrazito je mali u oraničnom horizontu 3,2-6,7 % vol., kao i u podoraničnom 1,7 - 1,8 % vol.

Značajke savskog režima

Rijeka Sava je glavni vodotok istraživanog područja. Pokusni objekt Oborovo udaljen je svega 1,5 km od rijeke Save. Poznato je da Sava kao dominantna tekućica ima kontinentalni pluviometrički režim, s jakom sezonskom varijabilnošću vodostaja i protjecanja (Srebrenović, 1986.). Varijabilnost protoka između malih i velikih voda na ovom području kreće se intervalno unutar od 50 - 3.300 m³/s. Kako se općenito vodni režimi odlikuju svojom stohastičkom prirodom, držimo značajnom u ovom radu analizirati, povezanost oborina s vodostajem Save tijekom istraživanog razdoblja.

Dinamika srednjih mjesečnih vodostaja Save, u obliku statističkih parametara, tijekom istraživanog razdoblja (1991. - 1995.), prikazana je u tablici 4.

Iz priložene tablice 4, a što je slikovito prikazano na grafikonu 1, uočava se pojava primarnog maksimuma vodostaja u mjesecu studenom. Sekundarni maksimum pojavljuje se u proljeće tijekom mjeseca travnja. Uočavamo također, i dva minimuma. Primarni minimum javlja se ljeti tijekom kolovoza, a sekundarni zimi, u veljači.

Variranje srednjih mjesečnih vodostaja tijekom godine kreće se u rasponu od 94,76 m do 97,56 m (2,80 m).

Variranje unutar mjesečnih vrijednosti kreće se od 0 do 2 %. Najveći raspon vodostaja između mjesečne maksimalne i minimalne izmjerene vrijednosti javlja se u studenom i iznosi 4,83 m.

Analizirajući srednje vode Save na ovom području (Rugvice) u razdoblju od 1991. do 1995. godine potvrđen je trend laganog porasta gore navedenih vodostaja.

$$y = 0,0015 x + 95,923$$

U tablici 3 u obliku statističkih parametara prikazan je i godišnji hod prosječnih mjesečnih oborina. Iz priložene tablice uočava se pojava minimuma u zimi, tijekom mjeseca siječnja (33,65 mm). Maksimum oborina javlja se u listopadu (98,90 mm), odnosno studenom (97,76 mm). Srednja godišnja količina oborina u istraživanom razdoblju iznosila je oko 842 mm. Najveća variranja unutar mjesečnih vrijednosti od 143 mm pojavila su se tijekom mjeseci kolovoza i listopada. Najmanja variranja od 58 do 66 mm potvrđena su tijekom ožujka, odnosno travnja.

Dobivena jednadžba $y = 0,0491 x + 20,18$ ukazuje na trend laganog porasta oborina tijekom istraživanog razdoblja.

Povezanost oborina i vodostaja Save na istraživanom području potvrđena je kroskorelacijskim koeficijentom od $r = 0,405$, pri pragu značajnosti $LSD = 0,001$ (tablica 6).

Dinamika podzemnih voda

Kvartar je najzastupljenije geološko doba na području Gornje Posavine. Značajna uloga za dolinu Save i njene pritoke u tom pogledu pripada aluviju (holocenu), koji je na ovom području zastupljen šljunkom, pijeskom, ilovinama i glinama. Ove aluvijalne naslage pokrivaju stare jezerske sedimente (Kovačević, i sur. 1972).

Vodonosni horizonti ravničarskog područja uz Savu prekriveni su debelim kvartarnim pokrivačem fluvijalnih

Tablica 5. Statistički parametri srednjih mjesečnih razina podzemne vode (1991 – 1995)
Table 5. Statistical parameters of mean monthly groundwater levels (1991 – 1995)

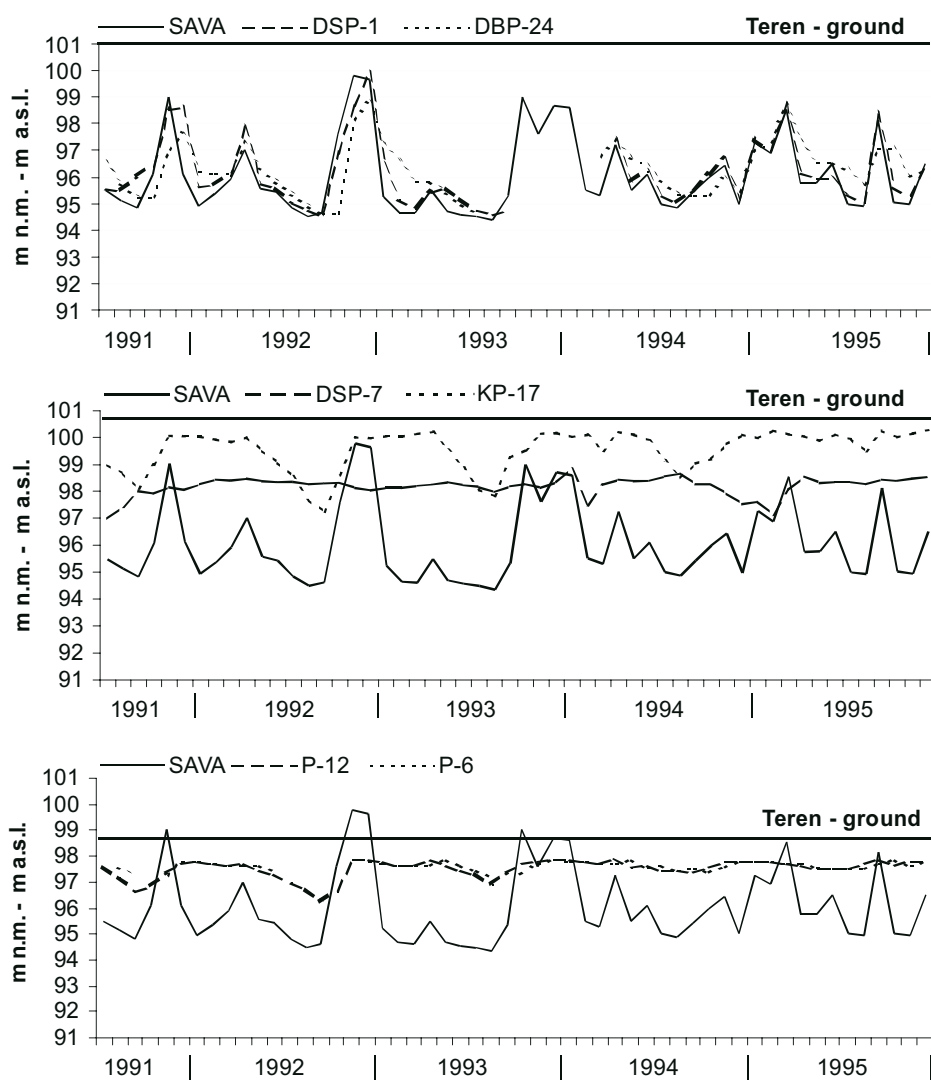
	Mjeseci-Months (m n. m. – m a. s. l)											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Pjezometar-Piezometer DSP – 1 (Rugvica)												
SR-MEAN	99,51	95,97	95,56	96,74	95,78	95,74	95,23	94,98	95,67	96,27	97,32	97,55
N	3	3	3	4	4	4	5	5	5	4	4	4
STD	0,92	0,94	1,99	1,12	0,16	0,46	0,31	0,35	1,57	0,52	1,62	2,13
Cv	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,02	0,02
MAX	97,45	97,02	98,73	97,87	95,97	96,21	95,60	95,50	98,41	96,87	98,69	99,94
MIN	95,61	95,20	94,81	95,45	95,58	95,16	94,80	94,58	94,58	95,64	95,30	95,19
Pjezometar-Piezometer DBP – 24 (Oborovo)												
SR-MEAN	96,80	96,69	96,86	96,97	96,29	95,96	95,77	95,44	95,58	95,58	96,79	97,05
N	3	3	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4
STD	0,51	0,59	1,31	0,77	0,57	0,72	0,73	0,38	1,06	1,06	1,01	1,48
Cv	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02
MAX	97,22	97,32	98,73	97,37	96,73	96,55	96,53	95,80	97,11	97,11	98,14	98,82
MIN	96,23	96,15	95,81	95,82	95,46	95,00	94,72	94,94	94,65	94,65	95,99	95,47
Pjezometar-Piezometer KP – 17 (Trebovec)												
SR-MEAN	100,02	100,08	99,90	100,12	99,76	99,49	98,93	98,43	98,78	99,27	100,03	100,12
N	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5
STD	0,03	0,14	0,30	0,11	0,28	0,61	0,71	0,73	1,15	0,53	0,16	0,12
Cv	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
MAX	100,05	100,26	100,14	100,21	100,11	100,12	99,94	99,50	100,24	100,01	100,15	100,29
MIN	99,98	99,92	99,51	100,01	99,51	98,88	98,05	97,67	97,24	98,60	99,76	99,98
Pjezometar-Piezometer DSP – 7 (Z. Breška)												
SR-MEAN	97,96	97,79	98,23	98,43	98,36	98,33	98,08	98,12	98,24	98,24	98,36	98,10
N	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5
STD	0,29	0,60	0,14	0,13	0,04	0,07	0,63	0,46	0,16	0,18	0,35	0,38
Cv	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MAX	98,26	98,44	98,41	98,55	98,39	98,40	98,55	98,66	98,44	98,40	98,93	98,54
MIN	97,61	97,13	98,07	98,25	98,31	98,23	96,98	97,42	98,01	97,92	98,12	97,53
Pjezometar-Piezometer P - 12												
SR-MEAN	97,80	97,74	97,69	97,80	97,57	97,50	97,39	97,21	97,10	97,30	97,74	97,81
N	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5
STD	0,03	0,06	0,03	0,13	0,11	0,13	0,23	0,40	0,66	0,52	0,19	0,06
Cv	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
MAX	97,85	97,80	97,71	97,92	97,68	97,65	97,62	97,73	97,89	97,74	97,87	97,87
MIN	97,78	97,67	97,65	97,65	97,45	97,33	97,02	96,73	96,23	96,63	97,41	97,73
Pjezometar-Piezometer P - 6												
SR-MEAN	97,79	97,73	97,69	97,69	97,77	97,55	97,54	97,42	97,49	97,53	97,57	97,81
N	4	4	4	4	4	4	3	5	3	3	4	5
STD	0,03	0,06	0,02	0,02	0,142	0,10	0,10	0,14	0,27	0,31	0,19	0,03
Cv	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MAX	97,82	97,79	97,71	97,71	97,90	97,65	97,65	97,57	97,73	97,89	97,73	97,85
MIN	97,76	97,65	97,66	97,66	97,61	97,44	97,46	97,24	97,20	97,32	97,29	97,78

jezersko - močvarnih i eolskih naslaga. Dubina do podzemne vode vrlo je različita u malim razmacima, jer pored izmjene litološkog sastava, na to utječe i topografija terena (Šrebrenović, i sur. 1971.).

Stratigrafska građa soluma na području objekta Oborovo, do dubine 350 cm, je heterogena. (Vidaček, i sur. 1993.). U površinskom sloju do 50 cm dubine prevladava praškasto - glinasto - ilovasta komponenta. Praškasta glina dominantna je na dubini od 50-150 cm. Dublji solum znatno je lakše teksturne građe. Na dubini od 150 - 300 cm tlo je izgrađeno od praškasto-pjeskovitih frakcija. Ispod 300 cm dubine formirani su izdašniji vodonosni horizonti, koji su izgrađeni od pjeskovitih i pjeskovito - praškastih sedimenata.

Na temelju litološkog opisa Instituta za geološka istraživanja Zagreb (1981) vrlo dubokih hidrogeoloških pjezometara u Oborovu, Rugvici i Z. Breški (DBP-24, i DPS -1 i DSP-7) može se zaključiti slijedeće:

- uski pojas uz Savu, 500-800 m širine na dubini 0-2,0 m izgrađen je od humusno-glinaste komponente; prah i pijesak dominiraju na dubini od oko 2-4 m; od 4,5 do 8,0 m dubine utvrđena je dominantnost pjeska i praha; šljunak se pojavljuje znatno dublje, obično na dubini od 18-30 m,
- udaljeno lijevo zaobalje Save, područje Trebovca i Z. Obreške (5-6 km od Save) izgrađeno je u površinskom dijelu do 5,0 m dubine od praškasto - glinasto



Grafikon 1. Nivogram rijeke Save i pjezometara DSP-1, DBP-24, DSP-7, KP-17, P-12 i P-6
Graph 1. Water levels of the Sava River and piezometers DSP-1, DBP-24, DSP-7, KP-17, PP-12 and P-6

Tablica 6. Ovisnost između varijabli X i Y izražena kroskorelacijskim koeficijentom uz pomak k
 Table 6. Interdependence of variables X and Y expressed by the cross-correlation coefficient with shift k

Parovi vremenskih serija Pairs of time series		Kroskorelacijski koeficijent Cross-correlation coefficient	Pomak-Shift k
X	Y		
Oborine Precipitation	SAVA	0,405 ^{xxx}	0
	DSP - 1	0,112	0
	P - 5	0,167	0
	P - 6	0,152	0
	P - 12	0,149	0
SAVA	DSP - 1	0,887 ^{xxx}	0
	KP - 17	0,152	-4
	DSP - 7	0,134	-4
	DBP - 24	0,752 ^{xxx}	-1
	P - 5	0,125	-1
	P - 6	0,368 ^{xxx}	-1
	P - 12	0,383 ^{xxx}	-1
P - 12	KP - 17	0,760 ^{xxx}	-1
	DSP - 7	0,516 ^{xxx}	-4
	DSP - 24	0,503 ^{xxx}	-2
	P - 5	0,326	0
	P - 6	0,823 ^{xxx}	0

LSD=0,001^{xxx}

+ x → y - x ← y



- ilovaste i/ili praškasto - glinaste komponente; ispod 5,0 m dubine mogu se susresti proslojci treseta, pri čemu i dalje glinasta komponenta ostaje dominantna.

Dinamika podzemne vode na istraživanom području slikovito je prikazana u grafikonu 1.

Temeljne značajke kolebanja podzemne vode na sredini između drenažnih cijevi prikazane su nivogramom pjezometara P-12 i P-6.

Mjereno od srednje apsolutne kote terena (98,63 m.n.m.) razina podzemne vode je tijekom petogodišnjeg razdoblja kolebala u rasponu od 98,03 m.n.m. do 96,21 m.n.m., odnosno 0,60 m do 2,42 m ispod površine tla (Petošić i sur. 1998.).

Minimalne vrijednosti utvrđene su tijekom mjeseca rujna, a maksimalne u prosincu i siječnju.

Dakle, kolebanje razine tijekom cijelog razdoblja kretalo se unutar raspona od 1,82 m. Koeficijent varijacije srednjih mjesečnih vrijednosti razine podzemne vode kretao se od 0 do 1 %.

Najveća kolebanja unutar mjeseca pojavljivala su se u rujnu, a iznosila su oko 1,66 m. Minimalna mjesečna kolebanja od 5 do 6 cm potvrđena su u siječnju i ožujku.

Temeljem srednjih mjesečnih vrijednosti uočava se lagano opadanje razine idući od mjeseca siječnja prema ožujku. Slijedi lagani porast od ožujka prema travnju. Osjetnije opadanje razine potvrđeno je u razdoblju od travnja do rujna. U posljednjem kvartaru godine, od rujna do prosinca, razina podzemne vode je u porastu. Posebice značajan porast razine vode potvrđen je od listopada prema studenom.

Izraženije varijacije razine podzemne vode utvrđene su tijekom 1992. godine, a znatno slabije tijekom razdoblja od 1993. do 1995. godine.

Međusobnom usporedbom nivograma pjezometara P - 12 i P - 6, uočava se velika sličnost u dinamici podzemnih voda tijekom cijelog istraživanog razdoblja.

Dinamika srednjih mjesečnih vrijednosti razine podzemne vode dubljih, vodom izdašnjih slojeva (akvifera), na području istraživanja, slikovito je prikazana u nivogramima, vrlo dubokih hidrogeoloških pjezometara (DSP-1 Rugvica, DBP-24 - Oborovo, DSP-7 Zelina Breška i KP - 17 Trebovec).

Iz priloženog nivograma pjezometara DSP-1 u Rugvici (grafikon 1.) uočava se pojava maksimuma razine podzemne vode u prosincu s 99,94 m n.m. Pojava minimuma od 94,58 m n.m. utvrđena je u kolovozu odnosno rujnu.

Dakle, maksimalno kolebanje srednjih mjesečnih razina podzemne vode tijekom istraživanog razdoblja (1991. - 1995. god.), kretalo se unutar vrijednosti od 5,36 m.

U usporedbi s površinom terena razina je kolebala u intervalu od minimalnih 1,05 pa do maksimalnih 6,45m ispod površine.

Kolebanje razine unutar vrijednosti sredine kretao se je u rasponu od 94,98 m n.m. do 97,55 m n.m., odnosno

od 3,44 m do 6,01 m ispod površine terena. Koeficijent varijacije kretao se je od 0 do 2%.

Maksimalna kolebanja razine, unutar mjesečnog razdoblja pojavljuju se u mjesecima, prosincu (4,75 m), ožujku (3,92 m) i rujnu (3,83). Minimalno kolebanje javlja se u srpnju i iznosi oko 0,80 m.

Iz prikazanog nivograma uočava se lagano opadanje razine na početku godine (siječanj, veljača). Od veljače do travnja, bilježimo lagani porast. Slijedi osjetnije opadanje razine do kolovoza, a potom izraženiji porast do konca godine.

Vrlo slična dinamika podzemne vode utvrđena je na pjezometru DBP-24 u Oborovu. Kolebanje razine unutar mjesečnih vrijednosti sredine kretalo se je od 95,44 do 97,05 m n.m., odnosno od 3,94 m do 5,55 m ispod površine terena. Koeficijent varijacije kretao se je u rasponu od 0 do 2%.

Variranja razine unutar maksimalnih i minimalnih vrijednosti kretala su se u rasponu od 98,82 m n.m. u prosincu do 94,65 m n.m. u rujnu i/ili listopadu.

Usporedimo li ekstremna kolebanja razine s površinom terena, vidimo da se ona javljaju unutar raspona od 2,17 m do 6,34 m. Utvrđeno je također, maksimalno kolebanje unutar mjesečnog razdoblja od 3,35 m u prosincu, kao i minimalno od 0,86 m u kolovozu, odnosno 0,99 m u siječnju.

Lagano opadanje početkom godine, porast od veljače do travnja, potom izraženije opadanje do kolovoza, i ponovni porast do konca godine, temeljne su značajke godišnjeg "hoda" razine podzemne vode.

Dinamika podzemne vode na perifernom bazenskom dijelu, koji je udaljen oko 5 do 6 km od rijeke Save, osjetno se mijenja (nivogrami pjezometara, DSP-7 i KP-17).

Na području Zeline Breške, pjezometar DSP-7, utvrđeno je variranje razine vode unutar mjesečnih vrijednosti sredine od 98,43 m n.m. u travnju, pa do 97,79 m n.m. u veljači. Dakle, vrlo malo kolebanje od 0,64 m, a javlja se unutar raspona od 0,99 m do 1,63 m u odnosu na površinu terena. Koeficijent varijacije od 0 do 1%, potvrđuje pojavu slabog variranja razine vode, na ovom dijelu područja.

Ekstremna kolebanja razine, također, se javljaju unutar užeg raspona od 1,95 (m). Maksimalna vrijednost od 98,93 m n.m. (0,5 m ispod površine terena) pojavljuje se u studenom, a minimalna od 96,98 m n.m. (oko 2,4 m ispod terena) u srpnju.

Ekstremna kolebanja razine vode unutar mjesečnog razdoblja su znatno manja. Maksimalne vrijednosti od 1,57 m javljaju se u srpnju, a minimalne od svega 8 cm u svibnju.

Godišnji hod razine vode u prvoj polovici godine ima određenih sličnosti s pjezometrima u neposrednoj blizini Save (DSP - 1 i DBP - 24), uz razliku da je opadanje odnosno porast razine znatno slabije naglašeno. Druga razlika uočava se u tromjesečnom razdoblju srpanj -

kolovoz - rujna, kada razina vode praktički stagnira. Uz lagani porast razine od rujna do studenog, primjetno je i njeno slabo opadanje prema prosincu.

Analizom nivograma pjezometara KP - 17 u Trebovcu i DSP - 7 u Z. Breški, uočljiva je velika sličnost u dinamici podzemne vode tijekom istraživanog razdoblja

Utjecaj režima Save na dinamiku podzemnih voda

Poznavajući režim dviju hidroloških veličina, rijeke Save te podzemnih voda, postavlja se pitanje stupnja povezanosti ovih varijabli u vremenskom nizu. Pokazalo se da je kroskorelacijska analiza (Srebrešević, 1986.) veoma upotrebljiva metoda za tumačenje povezanosti ovih veličina, što su također potvrdili Milović, (1986), Romić, (1991.), Dolanjski, (1994.).

U melioracijskom području Črnc polja rijeka Sava kao i drugi otvoreni vodotoci (Zelina, Lonja) ne utječu na prihranjivanje podzemlja, već je obrnuto. Ukoliko se to i događa trajanje je jako kratko, svega oko 15 dana godišnje, kod izuzetno velikih voda. Razine vode u istraživanim bunarima obično su više za 2 do 3 m od razine u rijeci Savi, time je utvrđeno efluentno djelovanje podzemlja na rijeku Savu (Milović, 1986.).

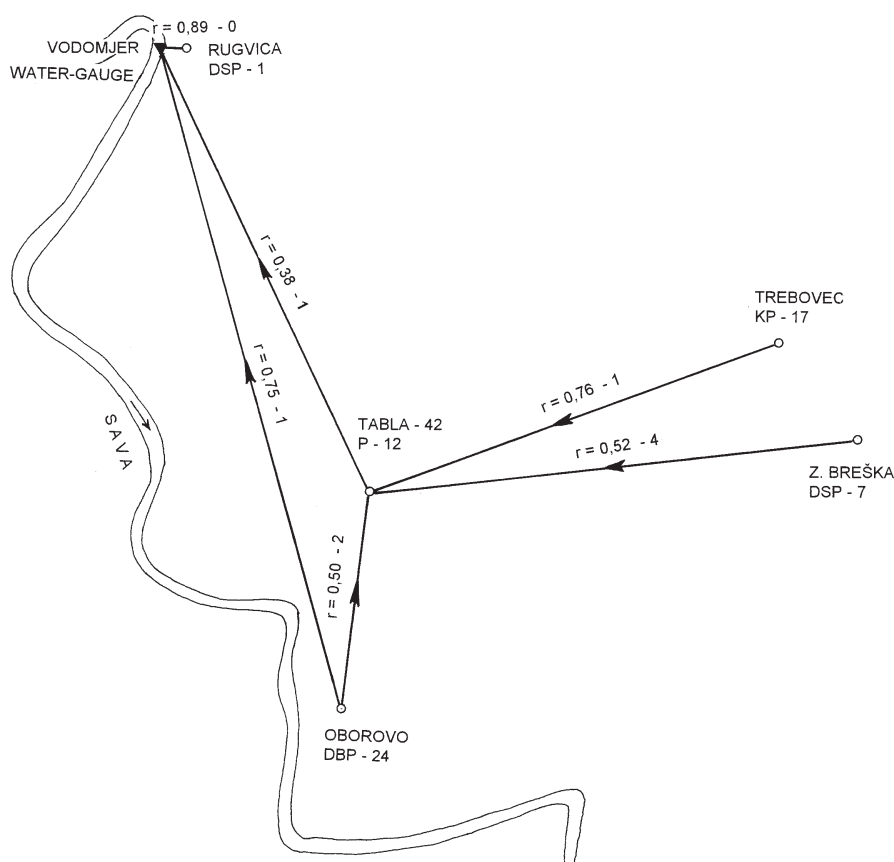
U sklopu naših istraživanja ovisnost između režima Save i dinamike podzemne vode prikazana je u tablici 6. i slici 2.

Uočavamo da vrijednost kroskorelacijskog koeficijenta varira u rasponu od $0,368 < r < 0,887$. Svi koeficijenti statistički su opravdani pri pragu značajnosti $LSD = 0,001$, što ukazuje na postojanost korelacije između analiziranih varijabli (osim za pjezometre KP-17, DSP-7 i P-5). Analizom dobivenih kroskorelacijskih koeficijenata pomaka "k", može se ustvrditi da Sava ima izravan utjecaj na podzemne vode istraživanog područja do 200 m udaljenosti od rijeke ($k = 0$). Zakašnjeni utjecaj od jedne dekade osjeća se na udaljenosti od 500 m, pri čemu je smjer tečenja na ovom dijelu isključivo prema rijeci.

Slab utjecaj Save s istim vremenom kašnjenja i smjerom tečenja podzemne vode, osjeća se maksimalno do 1500 m udaljenosti od rijeke.

Iz tablice 6 i slike 2, uočava se, također, međusobna povezanost dinamike (razine) podzemnih voda unutar ispitivanih pjezometara. Vrijednosti kroskorelacijskog koeficijenta variraju u rasponu od $0,50 < r < 0,89$. Svi koeficijenti statistički su opravdani pri pragu značajnosti $LSD = 0,001$, što ukazuje na postojanost korelacije između analiziranih varijabli, unutar pomaka od nule do četiri dekade.

Analizom dobivenih pokazatelja potvrđen je dominantan smjer tečenja podzemne vode, na istraživanom području, iz pravca povišenih rubnih dijelova savskog



Slika 2. Zavisnost između razine vode u Savi i podzemnih voda izražena kroskorelacijskim koeficijentom
Fig.2. Interdependence of the water level of the river Sava and groundwater expressed by correlation coefficient

bazena (Ježevo, Trebevec, Z. Breška), prema pjezometru P - 12 (pokusni objekt, tabla T-42), odnosno prema rijeci Savi.

ZAKLJUČCI

Na temelju provedenih hidroloških i hidropedoloških istraživanja, te analiza i tumačenja dobivenih rezultata, možemo zaključiti:

- Analizom oborinskog i savskog režima utvrđen je trend slabog porasta oborina i srednjih voda rijeke Save.
- Godišnje kolebanje razine podzemne vode najveće je u neposrednoj blizini rijeke Save i kreće se u rasponu od 1,0 do 6,50 m ispod površine terena. S udaljavanjem od rijeke kolebanje se smanjuje, te se na rubnom bazenskom, povišenom dijelu, kreće u rasponu od 0,6 do 2,4 m ispod površine.
- Metodom kroskorelativne analize potvrđen je izravan utjecaj vodostaja Save na dinamiku podzemnih voda, samo u njenoj neposrednoj blizini, na udaljenosti 200m od rijeke. Slab utjecaj Save na dinamiku podzemnih voda osjeća se s zakašnjenjem od jedne dekade do maksimalne udaljenosti od 1500 m od rijeke.
- Istom analizom je potvrđeno da na istraživanom području dominira smjer tečenja podzemne vode iz pravca povišenijih dijelova savskog bazena (Ježevo - Trebevec - Z. Breška) prema rijeci Savi.
- Rijeka Sava kao i preostali površinski vodotoci (Zelina, Črnc i Odteretni kanal Lonja - Strug) ne utječu bitnije na genezu i dinamiku podzemnih voda istraživanog područja.

LITERATURA

Dolanjski, D. (1994.): Efekti uređenja poljoprivrednih prostora na podravskom gospodarstvu Koprivnica, Magistarski rad, Zagreb.

Kovačević, P. i sur. (1972): Tla Gornje Posavine, Zagreb.

Mađar, S. (1982): Utjecaj Klimatsko - edafskih faktora na stanje voda i režim vlažnosti poljoprivrednih površina u slivnom području rijeke Vuke. Doktorska disertacija, Zagreb.

Marinčić, I. (1977): Utjecaj drenaže na vodno - zračne promjene u teškim tlima pilot farme "Rugvica" kraj Zagreba. Doktorska disertacija, Zagreb.

Milović, B. (1986): Analiza podzemnih voda Črnc polja. Građevinar 38 (86) 12.: 473-479.

Petošić, D., Vidaček, Ž., Dolanjski, D., Husnjak S., Sraka, M., (1993): Stanje i kontrola cijevne drenaže na pokusnom objektu Oborovo u Posavini. Poljoprivredne aktualnosti 29 (3-4): 261-275.

Petošić, D. (1994): Funkcionalnost sustava detaljne odvodnje u Posavini. Poljoprivredna znanstvena smotra Vol.59 (94) 1, 41-58.

Petošić, D. Dolanjski, D., Husnjak, S. (1998): Funkcionalnost cijevne drenaže na pokusnom objektu Oborovo u Posavini. Poljoprivredna znanstvena smotra Vol. 63. No. 4. (98) : 353-360

Pušić, B., Škorić, A., (1965): Prilog poznavanju hidrogenizacije, klasifikacije i odvodnje tala doline Save. Zemljište i biljka, Vol. 14. No. 3,: 271-288.

Pušić, B., Đaković, B., (1971): Pokusna stanica za odvodnju "Jasinje" - program rada i preliminarni rezultati, Savjetovanje o Posavini, Zagreb.

Pušić, B., Vukušić, S. (1971): Učinak cijevne drenaže na odvodnju teških gley tala eksperimentalnog objekta Rugvica - Ježevo, Savjetovanje o Posavini, Zagreb.

Romić, D., (1991): Dinamika podzemnih voda u prekodravlju i njeno djelovanje na prihranjivanje agrološkog profila u uvjetima izmjenjenog režima voda Drave. Poljoprivredno znanstvena smotra, Vol. 56. Br. 3-4 (91): 381-400.

Srebrenović, D., Pilar, M., Budišić, F., Selanec, Z., Braun, M., Brundić, D., (1971): Vodoprivredna problematika Savske doline, Zagreb.: 1-41.

Srebrenović, D. (1986): Primjenjena hidrologija. Tehnička knjiga, Zagreb.

Šimunić, I., Tomić, F., Petošić, D., Stričević, I., Rus, B., (1994): Utjecaj različitih razmaka cijevne drenaže s dodatnim agrotehničkim mjerama na reguliranje vodnog režima hidromelioriranog pseudoglej-glenog tla. Zbornik radova, Bizovačke Toplice (94): 329-411.

Tomić, F., Petošić, D., (1989): Dosadašnja iskustva i potrebe daljnjeg uređenja zemljišta u Posavini. Zbornik radova, Savjetovanje "Rijeka Sava zaštita i korištenje voda": 121-132, Zagreb.

Tomić, F., Šimunić, I., Petošić, D. (1994): Djelotvornost različitih sustava detaljne odvodnje cijevnom drenažom na teškom pseudoglej - glejnom tlu srednje Posavine. Agronomski glasnik, 1-2.: 159-175.

Vidaček, Ž., Husnjak, S., Petošić, D., Dolanjski, D., Sraka, M. (1993): Svojstva dreniranog vertičnog amfigleja na pokusnom objektu Oborovo u Posavini. Poljoprivredne aktualnosti 29., (3-4), 277-289.

— Izvješće Instituta za geološka istraživanja Zagreb (1981)