

## UTICAJ KANALSKE MREŽE ZA ODVODNJAVANJE NA REŽIM PODZEMNIH VODA U SLIVU

Enike GREGORIĆ, Sava PETKOVIĆ, Nada LAKIĆ, Nevenka ĐUROVIĆ  
Poljoprivredni fakultet, Beograd

### REZIME

Izuzetna ugroženost područja jugoistočnog Srema suvišnim vodama uslovlila je izgradnju nekoliko velikih sistema za odvodnjavanje. U cilju utvrđivanja efikasnosti izgrađene kanalske mreže pedesetih godina dvadesetog veka započeta su istraživanja režima podzemnih voda u jugoistočnom Sremu. Već tada je konstatovano da je režim podzemnih voda u jugoistočnom Sremu veoma složen. Osim izgrađene kanalske mreže za odvodnjavanje, na karakteristike podzemnih voda utiče nekoliko prirodnih (padavine, evapotranspiracija, hidrološko-hidrauličke karakteristike reke Save koja ograničava ovo područje) i antropogenih faktora. U ovom radu su prikazani rezultati analize uticaja kanalske mreže za odvodnjavanje na režim podzemnih voda u slivnim područjima Galovica i Petrac u jugoistočnom Sremu.

**Cljučne reči:** odvodnjavanje, podzemne vode, sliv, Srem, Srbija

### 1. UVOD

Početkom dvadesetog veka područje jugoistočnog Srema postaje predmet mnogobrojnih istraživanja uglavnom vezanih za rešavanje širokog spektra problema, a posebno odvodnjavanja suvišnih voda. Da nisu izgrađeni sistemi za odvodnjavanje, na većem delu ovog područja bi praktično bila onemogućena poljoprivredna proizvodnja, kao što je to bio slučaj u prošlosti. Međutim, i pored impozantne kanalske mreže i drugih meliorativnih objekata, na ovom području i dalje ima pojave sezonskog prevlaživanja suvišnim vodama koje u proseku iznose oko 20% [7].

U jugoistočnom Sremu je postojanje i funkcionisanje kanalske mreže za odvođenje suvišnih unutrašnjih voda

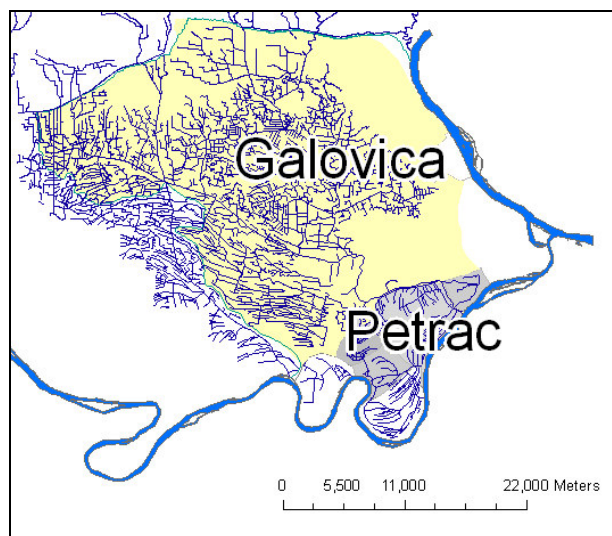
imperativ egzistiranja poljoprivredne proizvodnje, pa i šire, ukupne privrede. Proticaj vode u kanalskoj mreži predstavlja višak vode, i rezultat je poremećaja vodnog bilansa, jer su prihodi vode veći od rashoda.

Gregorić i Petković [3] su pokazali da je režim podzemnih voda u jugoistočnom Sremu veoma složen i da se nalazi pod uticajem nekoliko prirodnih faktora, tako da je za njegovo rešavanje neophodno meriti i opažati veći broj meteoroloških, klimatskih i hidroloških parametara. Međutim, pored prirodnih činilaca, na režim podzemnih voda u jugoistočnom Sremu utiču i dva vrlo značajna antropogena faktora: uspor od brane »Đerdap I« i rad reni bunara beogradskog vodovoda. Izgradnjom hidroelektrane »Đerdap I«, usled stvorenog uspora, potpuno je promenjen prirodan režim podzemnih voda na posmatranom području. Režim podzemnih voda je još više poremećen izgradnjom velikog broja reni bunara duž leve obale reke Save.

U ovom radu su prikazani rezultati analize uticaja kanalske mreže za odvodnjavanje na režim podzemnih voda u slivnom području kanala Galovica i Petrac u jugoistočnom Sremu.

### 2. OPIS PODRUČJA

Proučavano područje se sastoji od dva sliva: sliv kanala Galovica i sliv kanala Petrac (Slika 1), koji su locirani u jugoistočnom Sremu. Istočna i južna granica posmatranog područja su prirodne granice i čine ih reka Dunav sa istoka i Sava sa juga. Obe ove velike reke su aluvijalni vodotoci, sa izrazito deformabilnim koritima, ali usled različitih geomorfoloških karakteristika priobalja stepen uticaja tih reka na područje se veoma razlikuje.



Slika 1. Kanalska mreža za odvodnjavanje

Višak vode sa područja se evakuise u Savu preko crpnih stanica Galovica i Petrac. Pri niskim vodostajima reke Save, odvodnjavanje suvišnih voda se vrši gravitaciono.

### 2.1. Sistemi za odvodnjavanje

Karakteristike drenažnih sistema na proučavanom području (naziv i površina sliva, broj drenažnih kanala, dužina kanalske mreže, stepen kanalisnosti kao odnos dužine kanalske mreže po površini od jednog hektara i kapacitet pumpi) su date u Tabeli 1.

Tabela 1. Karakteristike sistema za odvodnjavanje

Naziv sliva	Površ. sliva	Broj kanala u slivu	Dužina kanalske mreže	Stepen kanalisnosti	Kapacitet pumpi
	ha	kom.	m	m/ha	m <sup>3</sup> /s
Galovica	71600	1485	1437600	20	3x8
Petrac	10247	83	122831	12	2x2,8

Drenažni sistem Galovica je ukupne površine od 72000 ha. Istočnu granicu sliva predstavlja reka Dunav, dok se duž jugoistočnog dela pruža reka Sava, koja je i recipijent za sav višak voda sa područja (Slika 1).

Sliv kanala Petrac obuhvata površinu od oko 10000 ha i pruža se uz obalu reke Save (Slika 1). Ovo područje je bivša inundacija Save, sada zaštićena nasipom.

### 2.2 Crpne stanice

Ozbiljniji radovi na odvodnjavanju područja jugoistočnog Srema vezani su za početak dvadesetog

veka, kada su počele da se grade crpne stanice za evakuisanje suvišnih voda.

Prva crpna stanica na području Srema je crpna stanica Petrac, koja datira iz 1906. 1917. godine je izgrađena crpna stanica Galovica, dok se tokom 1962. godine gradi nova crpna stanica Petrac. Izgradnjom HE Đerdap, stvoren je uspor reke Save, zbog čega je moralo doći do pojačanja kapaciteta crpne stanice. Zato je 1988. godine izvršena njena rekonstrukcija.

Sa aspekta odvodnjavanja područja veoma je interesantan način funkcionisanja ovih crpnih stanica. Imajući u vidu da je površina sliva Galovice oko sedam puta veća od površine sliva Petrac, moglo bi se očekivati da je crpna stanica Galovica najopterećenija tokom perioda odvođenja suvišnih voda sa područja. Međutim, crpna stanica Galovica se retko uključuje u rad. Razlog za ovaj paradoks leži u činjenici da su dovodni kanali crpnih stanica Galovica i Petrac međusobno povezani. Dovodni kanali Galovica i Petrac do crpnih postrojenja pružaju se paralelno, sa međusobnom osovinskom razlikom od 65 m. Spojeni su posebnim spojnim kanalom sa ustavom za upuštanje i ispuštanje 4 m<sup>3</sup>/s vode. Zbog toga crpna stanica Petrac, koja je znatno manjeg kapaciteta od crpne stanice Galovica, radi praktično tokom cele godine, dok se crpna stanica Galovica uključuje samo u periodima ekstremno visokih nivoa podzemnih voda, koji koincidiraju sa velikim vodama Save, to jest u periodu poplava.

### 3. METODE ISTRAŽIVANJA

Na bilans voda na području jugoistočnog Srema utiče veoma veliki broj prirodnih i antropogenih faktora. U cilju utvrđivanja uticaja kanalske mreže na bilans voda jugo-istočnog Srema bilo je najpre neophodno prikupiti podatke o topografskim, geološkim i pedološkim karakteristikama terena, padavinama, vodostajima, nivoima podzemnih voda, hidrauličkim elementima kanalske mreže, stanju njihove funkcionalnosti, radu crpnih stanica, itd. Neki od ovih parametara mogli su biti tretirani kao samostalni ili pojedinačno analizirani prostom korelacionom i regresionom analizom. Međutim, mnogi od analiziranih parametara deluju istovremeno, pa je njihov uticaj ispitivan upotrebom višestruke korelacione i regresione analize. U ovom radu su prikazani isključivo rezultati koji se odnose na uticaj kanalske mreže za odvodnjavanje na režim podzemnih voda na drenažnim sistemima Galovica i Petrac.

### 3.1 Hidrološko-hidrauličke karakteristike područja

Pod hidrološko-hidrauličkim karakteristikama područja podrazumeva se stanje podzemnih i površinskih voda. Analiza ovih karakteristika je izuzetno kompleksna, jer na režim podzemnih i površinskih voda utiču, osim prirodnih, i antropogeni faktori.

#### 3.3.1 Podzemne vode

Za potrebe ovih istraživanja sakupljeni su podaci za oko 140 pijeziometara sa područja jugoistočnog Srema. Neki od njih su locirani izvan analiziranog područja, ali su uzeti u obzir zbog graničnih uslova. Potrebno je naglasiti da je najveći broj pijeziometara u aluvijalnom području, čija osnovna funkcija je praćenje uticaja uspora Save na nivo podzemne vode, koji stvara rad hidroelektrane Đerdap. Oskudan je broj pijeziometara na centralnom delu područja, na lesnoj terasi. Na osnovu kriterijuma, da posmatrana površina bude što ravnomernije pokrivena podacima, da merenja budu po mogućnosti što pouzdanija i da se raspolaze sa što većim brojem merenja, izdvojena su 32 pijeziometra i 3 baterije pijeziometara za koje su izvršene detaljne analize.

Za sve odabrane pijeziometre urađene su odgovarajuće grafičke i analitičke analize za period osmatranja od 20 godina (1985–2005). Grafičke i analitičke analize su obuhvatale sledeće:

- na osnovu podatka o izmerenoj dubini podzemne vode u pijeziometrima i kote repera (kote nule pijeziometra) izračunate su apsolutne kote nivoa podzemne vode za svaki pijeziometar. Rezultati su predstavljeni nivogramima.
- nivogrami podzemnih voda poslužili su da se nacrtaju linije trajanja nivoa, posebno za svaki osmatrački bunar (pijeziometar). Na osnovu ovih dijagrama određeni su opseg oscilacija nivoa podzemne vode, maksimumi i minimumi nivoa i vreme trajanja podzemne vode, bliže terenu od 1 m.
- spajanjem vrednosti prosečnih nivoa podzemne vode za posmatrani vremenski interval, primenom GIS tehnologije, dobijena je situacija kretanja nivoa podzemnih voda za celo područje jugoistočnog Srema.
- na osnovu prosečnih mesečnih vrednosti nivoa podzemne vode, analizom su dobijena područja najugroženija od visokog nivoa podzemne vode.
- da bi se rezultati mogli međusobno upoređivati, a takođe i sa podacima o padavinama, evapotranspi-

raciji i proticaju kroz crpne stanice, izračunate su mesečne, godišnje i zimske srednje vrednosti nivoa podzemnih voda.

#### 3.2 Površinske vode

Prva sistematska hidrološka osmatranja započeta su u prvoj polovini XIX veka na Dunavu, na delu današnje teritorije Republike Srbije. Za područje jugoistočnog Srema, merodavne su hidrološke stanice: Zemun na Dunavu i Šabac i Beograd na Savi. Sa hidrološkog aspekta, interesantni su karakteristični vodostaji ovih reka, s obzirom na njihov uticaj na nivo podzemnih voda i uslove prihranjivanja i pražnjenja izdani i zato što je znatan deo priobalja izložen plavljenju.

#### 3.3 Proučavanje uzajamne veze režima podzemnih voda i količine vode evakuisane kanalskom mrežom za odvodnjavanje primenom korelacione analize

Korelacionom analizom se istražuje stepen međusobnog slaganja dve ili više pojave, koje su na slučajan način izabrane iz populacije čija su obeležja normalno raspoređena. U ovom radu rezultati korelacione analize upotrebljeni za donošenje objektivnih zaključaka u istraživanju čiji su rezultati prikazani.

Za izučavanje obrazovanja viškova vode, koje odvodi kanalska mreža, za područje jugoistočnog Srema postoje pouzdani podaci o padavinama, evapotranspiraciji, nivou podzemnih voda, vodostajima Save i radu crpnih stanica. Ako bi pretpostavili da je količina evakuisane vode u crpnim stanicama pokazatelj efikasnosti kanalske mreže za odvodnjavanje, tada bi se statističkom analizom moglo doći do zaključka koji od četiri raspoloživa parametra (padavine, evapotranspiracija, nivoi podzemnih voda, nivoi Save) ima najveći uticaj na količinu evakuisanih suvišnih voda.

Pošto su rezultati istraživanja pokazali da je rad sistema za odvodnjavanje na proučavanom području pod dominantnim uticajem režima podzemnih voda u ovom radu su prikazane samo korelacione veze između te dve pojave.

Pri analizi uticaja kanalske mreže korelacionom analizom, logično je da se kao osnovni parametar izabere proticaj glavnih kanala slivova. Nažalost, ovaj parametar se ne meri, kao što se ne beleži ni količina gravitaciono ispuštene vode u recipijent. Jedini podatak koji je redovno vođen, a indirektno ukazuje na proticaje

kanalima, jesu časovi rada na crpnim stanicama. Na osnovu časova rada, kapaciteta crpki i koeficijenta prepumpane vode, izračunate su količine evakuisane vode crpkama. Za prosečni koeficijent prepumpane vode usvojena je vrednost 0,79 na osnovu podataka iz literature [8]. Količina ispumpane vode je izražena u litrima po m<sup>2</sup> sliva, to jest pretvorena je u „mm“ za mesec dana (kod analize na mesečnom nivou), za godinu dana (kod analize za hidrološku godinu) ili za šest meseci (za analizu u vanvegetacionom periodu od 1. oktobra do 31. marta sledeće godine). Za crpne stanice Galovica i Petrac raspolagalo se podacima od 1970. do 2006. godine. Analiza je rađena u varijantama za mesečne vrednosti, za podatke na nivou hidrološke godine, i za vanvegetacioni period. Analize su urađene za slivove Galovica i Petrac zajedno, zbog postojanja spojnog kanala između ova dva kanala koji omogućava usmeravanje vode iz jednog u drugi, odnosno na crpnu stanicu Galovica ili na Petrac, u zavisnosti od količine vode potrebne za evakuisanje.

#### 4. REZULTATI I DISKUSIJA

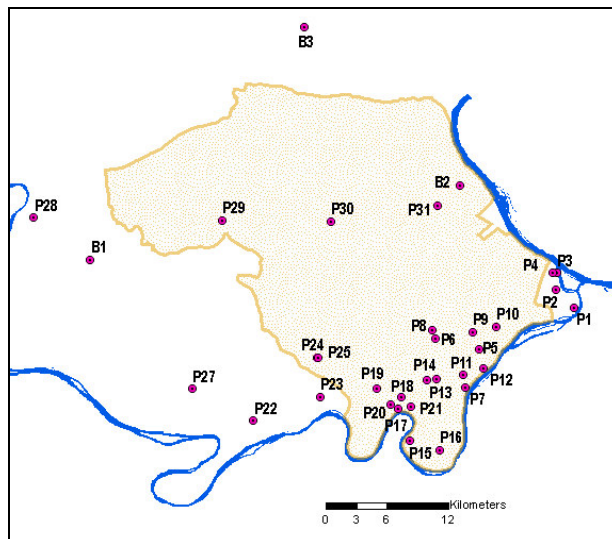
##### 4.1 Karakteristike podzemnih voda

Za sve pijezometre (Slika 4), za koje se raspolagalo pouzdanim rezultatima merenja nivoa podzemnih voda u dužem vremenskom periodu, izvršena je odgovarajuća grafička i analitička analiza. Zbog velikog broja analiziranih pijezometara u ovom radu su prikazani samo karakteristični rezultati. Svi prikazani rezultati analiza odnose se na period osmatranja od 20 godina (1985 - 2005).

Iz grafičkih i tabelarnih prikaza oscilacija podzemnih voda na području jugo-istočnog Srema se može dobiti opšti uvid u stanje podzemnih voda, ali se ne mogu direktno dobiti podaci o karakterističnim pravcima kretanja podzemnih voda. Da bi se dobio uvid u dominantne pravce kretanja podzemnih voda bilo je potrebno izvršiti dodatne analize. U okviru tih analiza izrađene su karte hidroizohipsi, to jest linija jednakih nivoa podzemnih voda. Spajanjem vrednosti prosečnih nivoa podzemne vode za posmatrani vremenski interval, za analizirane pijezometre, primenom GIS tehnologije, dobijena je karta hidroizohipsi srednjih nivoa podzemnih voda za celo područje jugoistočnog Srema. Ta karta je prikazana na Slici 5.

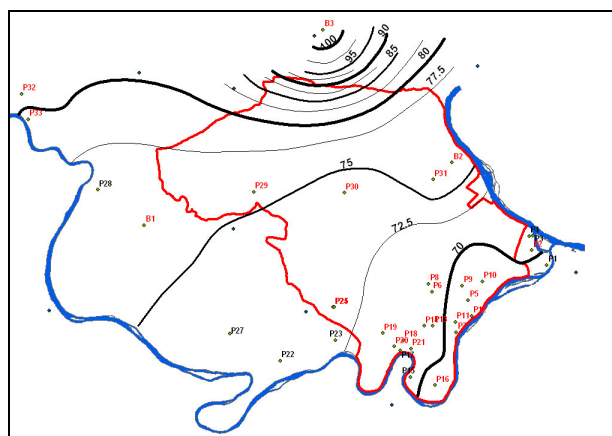
Može se uočiti jasna tendencija kretanja podzemnih voda u pravcu jugoistoka, tj. u pravcu prema glavnim

recipijentima ovog područja, Savi i Dunavu. Hidraulički gradijent iznosi, na krajnjem severnom delu područja oko 0,25% dok na centralnom i južnom delu je manji od 0,05%.



Slika 4. Položaj analiziranih pijezometara

Pijezometarski nivo, na analiziranom području, pri srednjim vrednostima vodostaja podzemne vode ide od kote 90 do kote 67,2 mnm. Hidroizohipsa 90 se pruža na severnoj granici a 68 uz donji tok Save.



Slika 5. Karta hidroizohipsi srednjih nivoa podzemnih voda

Tom pravcu kretanja nivoa podzemnih voda prilagođen je uglavnom smer odvodnjavanja u kanalima I i II reda koji služe i za odvodnjavanje i za navodnjavanje. Kako su sa aspekta prevlaživanja zemljišta najvažniji visoki

nivoi podzemnih voda, najpre je približno izrađena karta hidroizobata za maksimalne nivoe podzemnih voda u posmatranom periodu. Najveću opasnost od izlivanja podzemnih voda na području jugoistočnog Srema imaju centralni delovi lesne terase i niski delovi aluvijalne ravni uz Savu koji se nalaze unutar hidroizobate 1 m. Ove linije uglavnom se poklapaju sa izohipsama terena, što se moglo i očekivati. Naime, poznato je da su prvenstveno niži delovi područja ugroženi podzemnim vodama.

#### 4.2. Uzajamni uticaj režima podzemnih voda i rada sistema za odvodnjavanje

Rezultati istraživanja obrazovanja viškova vode, koje odvodi kanalska mreža, za područje jugoistočnog Srema pokazali su da je rad sistema za odvodnjavanje na proučavanom području pod dominantnim uticajem režima podzemnih voda.

Rezultati korelacione analize količina evakuisane vode kanalskom mrežom za odvodnjavanje i nivoa podzemnih voda, očitanih u ispitivanim piježometrima pokazuju da se najjača veza ostvaruje u piježometrima P29 i P17.

Vrednosti koeficijenta proste korelacije i njihovi nivoi značajnosti, za spomenute piježometre, prikazani su u Tabeli 2. Tabela obuhvata rezultate analize za mesečne podatke, za podatke u vanvegetacionom periodu (od 1. oktobra do 31. marta sledeće godine) i za hidrološku godinu. Sa aspekta prevlađivanja terena na području jugoistočnog Srema posebno je značajan vanvegetacioni period, kada su padavine velike, a potrebe useva za vodom veoma male. Zbog toga je ispitana veza između srednjeg vodostaja podzemne vode u vanvegetacionom periodu i sume ispumpane vode crpnom stanicom Galovica i Petrac, u hidrološkoj godini. Rezultat te analize je takođe u Tabeli 2.

Tabela 2. Rezultati korelacione analize količina evakuisane vode i nivoa podzemnih voda za crpne stanice Galovica i Petrac zajedno

Vremenski period	Piježometar	Koeficijent proste korelacije r	Nivo značajnosti p
mesec	P29	0,694	<0,001
hidrološka godina	P29	0,709	<0,001
hidrološka godina	P17	0,788	<0,001
hidrološka godina	P29 vanvegetacioni period	0,69	<0,001
vanvegetacioni period	P29	0,597	<0,001
vanvegetacioni period	P17	0,616	0.004

Može se uočiti da postoji statistički vrlo jaka korelaciona veza između količina evakuisane vode i nivoa podzemnih voda.

Dobijena veza daje mogućnost, da se na osnovu regresione jednačine grubo predvidi količina ispumpane vode crpnim stanicama za hidrološku godinu, na osnovu srednjeg nivoa podzemne vode u vanvegetacionom periodu.

#### 5. ZAKLJUČCI

Proučavanje karakteristika bilansa voda za područje jugoistočnog Srema je veoma važno, jer je područje uglavnom poljoprivrednog karaktera i prekomerno vlažne,

odnosno sušne godine, dovode do ugrožavanja privrede celog područja. U tom smislu je uticaj kanalske mreže za odvodnjavanje viška vode od suštinskog značaja za funkcionisanje i opstanak intenzivne poljoprivredne proizvodnje na ovom velikom području.

Na bilans voda na području jugoistočnog Srema utiče veoma veliki broj prirodnih i antropogenih faktora. U ovom radu su prikazani isključivo rezultati koji se odnose na uzajamni uticaj kanalske mreže za odvodnjavanje i režima podzemnih voda. Naime, na osnovu opsežnih istraživanja uticaja nekih prirodnih faktora (suma padavina, suma potencijalne evapotranspiracije, srednji vodostaj Save i srednji nivo podzemne vode) na količine evakuisane vode, konstatovano je da je funkcionisanje

sistema za odvodnjavanje pod dominantnim uticajem nivoa podzemnih voda.

Tendencija kretanja podzemnih voda na području jugoistočnog Srema je u pravcu jugoistoka, to jest prema glavnim recipijentima ovog područja, Savi i Dunavu. Hidraulički gradijent iznosi, na krajnjem severnom delu područja, oko 0,25% dok je na centralnom i južnom delu manji i iznosi oko 0,05%.

Rezultati korelacione analize ukazuju na statistički veoma jaku vezu između količina evakuisane vode na crpnim stanicama i nivoa podzemnih voda.

#### LITERATURA

- [1] Babić Mladenović M. (2005): *Utica j akumulacija na režim nanosa aluvijalnih vodotoka – primer đerdapske akumulacije*; Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd
- [2] Gregorić E. (2008): *Utica j kanalske mreže na bilans voda jugoistočnog Srema*, Doktorska disertacija, Poljoprivredni fakultet, Beograd
- [3] Gregorić E, Petković S. (2007): *The influence of natural and anthropogenic factors on groundwater*

*regime in the area of Donje polje in souteastern Srem*; Voda i Sanitarna tehnika, XXXVII (6) 39-50, Beograd

- [4] Gregorić E, Đurović N, Rudić D. (2009): *Some characteristics of groundwater in southeast Srem*, Journal of Agricultural Sciences Vol. 54 No.1 Pages 32-43
- [5] Josipović J. (1984): *Istraženost podzemnih voda u Vojvodini*; Vode Vojvodine br. 12, str. 305-314, Novi Sad
- [6] Rašula G, Vuković M, Stošić V. (1998): *Hidrodinamičke analize režima podzemnih voda "prve izdani" u Sremu sa aspekta navodnjavanja*; Vodoprivreda, br 173-174
- [7] Rudić D. (1979): *Suvišne unutrašnje vode područja istočnog Srema*; Doktorska disertacija, Poljoprivredni fakultet, Beograd
- [8] *Studija uticaja uspora HE Đerdap (sa režimom 68/63 i 69.5/63) na sistem Donje polje*, Beograd , Institut Jaroslav Černi (1971)
- [9] Inst. za vodoprivredu Jaroslav Černi (1996): *Noveliranje generalnog rešenja sistema za snabdevanje vodom Srema*, Knjiga 1-5, Beograd 1996

## THE INFLUENCE OF DRAINAGE CANAL NETWORK ON GROUNDWATER REGIME IN THE CATCHMENT

by

Enike GREGORIĆ, Sava PETKOVIĆ, Nada LAKIĆ, Nevenka ĐUROVIĆ  
Faculty of Agriculture, Belgrade

#### Summary

Since the area of the southeastern Srem was extremely endangered by excess water, several drainage water systems had to be built. In order to define the efficiency of the drainage systems constructed in the fifties of the twentieth century, field investigations of the groundwater regime in southeastern Srem were initiated. The very first results have indicated that the groundwater regime in southeastern Srem is very complex. Apart from the influence of the constructed drainage systems, the regime of groundwater depends

upon several natural (precipitation, evapotranspiration, hydraulic and hydrological) characteristics of the Sava river, which represent the boundary of investigated area and anthropogenic factors. This paper present the results of analyses of the influence of drainage canal network on groundwater regimes in the catchments of Galovica and Petrac, in southeastern Srem.

Key words: drainage, groundwater, catchment, Srem, Serbia

Redigovano 16.11.2009.