

## **MONITORING I ANALIZA UČINKOVITOSTI DOVODA VODE LATERALNIM KANALOM ZA POTREBE NAVODNJAVANJA**

**INVESTITOR: Hrvatske vode**

**IZRAĐIVAČ PROJEKTA : Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, Sveučilište  
J.J. Strossmajera u Osijeku**

**NOSITELJ PROJEKTA:**

**prof.dr.sc.Lidija Tadić,dipl.ing.građ.**



**SURADNICI:**

**Doc.dr.sc. Tamara Brleković, mag.ing.aedif**

**Mr.sc. Vladimir Moser, dipl.ing. geod.**

**Dekan:**

**izv.prof.dr.sc.Damir Varevac,dipl.ing.građ.**

prosinac, 2018.

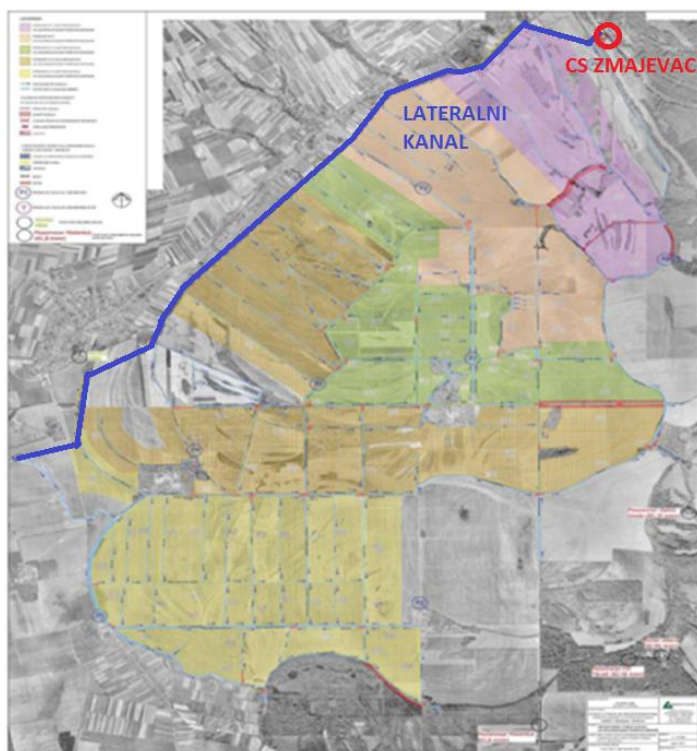
## SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b>	<b>1</b>
1.1. Opis područja	1
1.2. Ugradnja pijeometara	4
1.3. Geodetska snimanja	6
1.4. Meteorološki, hidrološki i ostali ulazni podatci	6
<b>2. MONITORING</b>	<b>8</b>
2.1. Presjek Kneževi Vinogradi (8+781,08)	8
2.2. Presjek Suza (4+488,65)	14
2.3. Presjek Zmajevac (2+291,72)	20
2.4. Utjecaj Dunava	26
<b>3. VODNA BILANCA</b>	<b>28</b>
<b>4. ANALIZA VODE I SEDIMENTA NA TEŠKE METALE</b>	<b>31</b>
<b>5. PROMJENE NIVELETE DNA LATERALNOG KANALA</b>	<b>35</b>
<b>6. NUMERIČKI MODEL</b>	<b>38</b>
6.1. Uvod	38
6.2. Konceptualni model	39
6.3. Rezultati	43
<b>7. ZAKLJUČAK</b>	<b>51</b>
<b>8. LITERATURA</b>	<b>53</b>
<b>9. PRILOZI</b>	<b>56</b>
Uzdužni profili ( stac. 0+012- stac. 8+781,08)	
Fotografije	
Suglasnost na objavljivanje dobivenih rezultata	

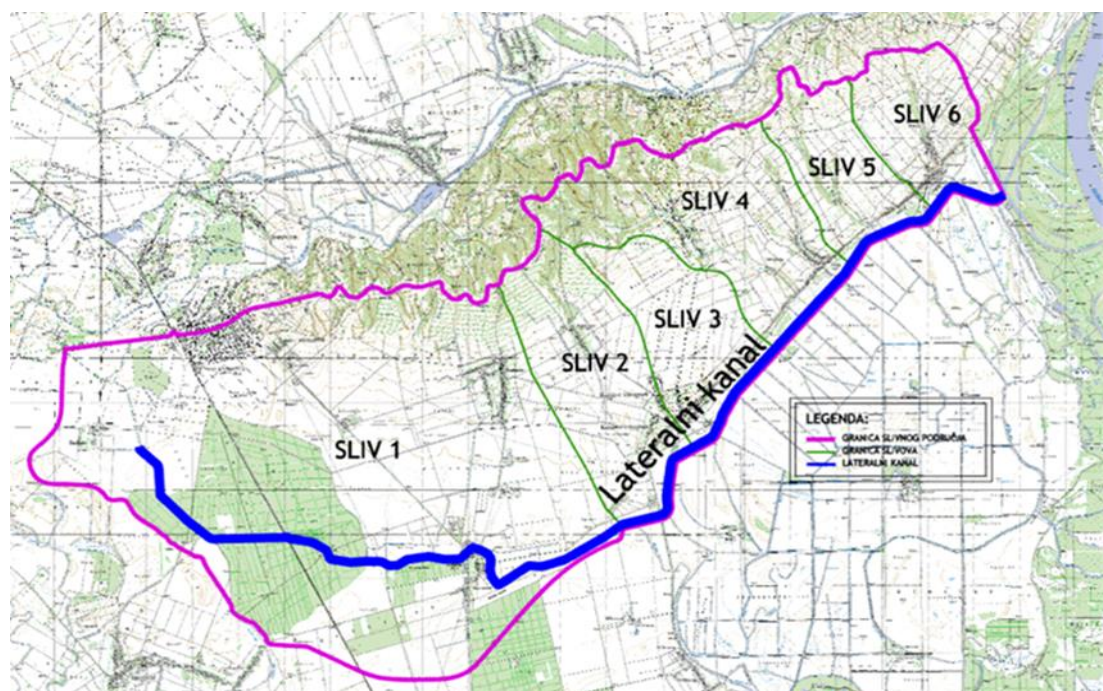
## 1. UVOD

Projekt „Monitoring i analiza učinkovitosti dovoda vode lateralnim kanalom za potrebe navodnjavanja (Evidencijski broj ugovora 22-115/17, Pozicija plana A.04.02.02) ugovoren je u srpnju 2017. godine s rokom trajanja od 18 mjeseci.

**Cilj** ovog istraživačkog projekta bio je definirati učinkovitost Lateralnog kanala Kneževi Vinogradi- Zmajevac ( dužine oko 12,3 km), glavnog dovodnog kanala za izgrađene i buduće sustave navodnjavanja u okviru SN Baranja. Cjelokupni sustav navodnjavanja SN Baranja sastoji se od 5 podsustava ukupne površine oko 5000 ha, a lateralni kanal bi trebao osigurati dovod vode za cjelokupni sustav (Slika 1.1). Pored toga, druga funkcija mu je funkcija obodnog/lateralnog kanala. Položajno je postavljen u podnožju baranjskih povišenih ( brežuljkastih) terena, te prikuplja vodu nastalu površinskim otjecanjem s povišenih terena funkcija kanala (Slika 1.2.). Na taj način prikupljena voda reducira potrebu za crpljenjem vode iz Dunava tijekom vegetacijskog razdoblja i lateralni kanal ima ulogu akumulacije, te je iz tog razloga kontrola gubitaka uslijed infiltracije vrlo važna. Da bi se uspješno zadovoljile potrebe dvonamjenskog korištenja kanala traži se redovito održavanje i dobro upravljanje kanalom. Toj potrebi doprinose i brojne građevine: CS kapaciteta 2x2500 l/s, 6 sifona, 6 ustava, 17 cijevnih propusta i jedna vodna stepenica koji su uklopljeni u postojeću mrežu melioracijskih kanala.



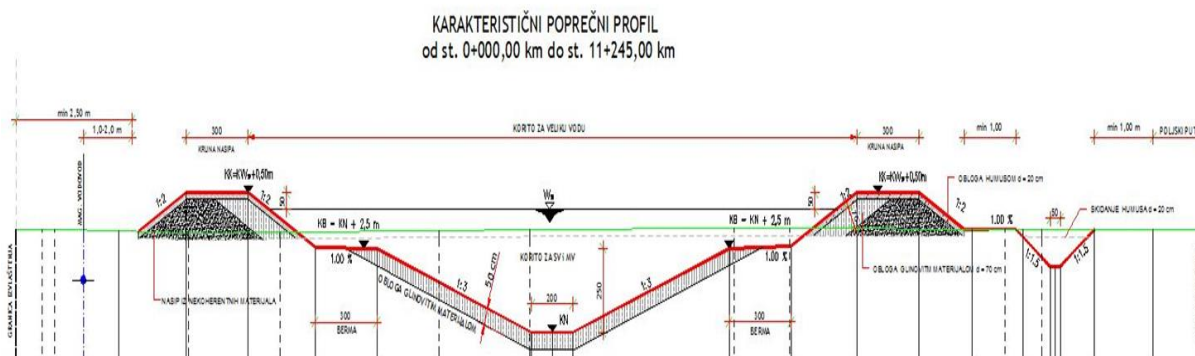
Slika 1.1 Prikaz sustava za navodnjavanje SN Baranja koji se sastoji od 5 podsustava

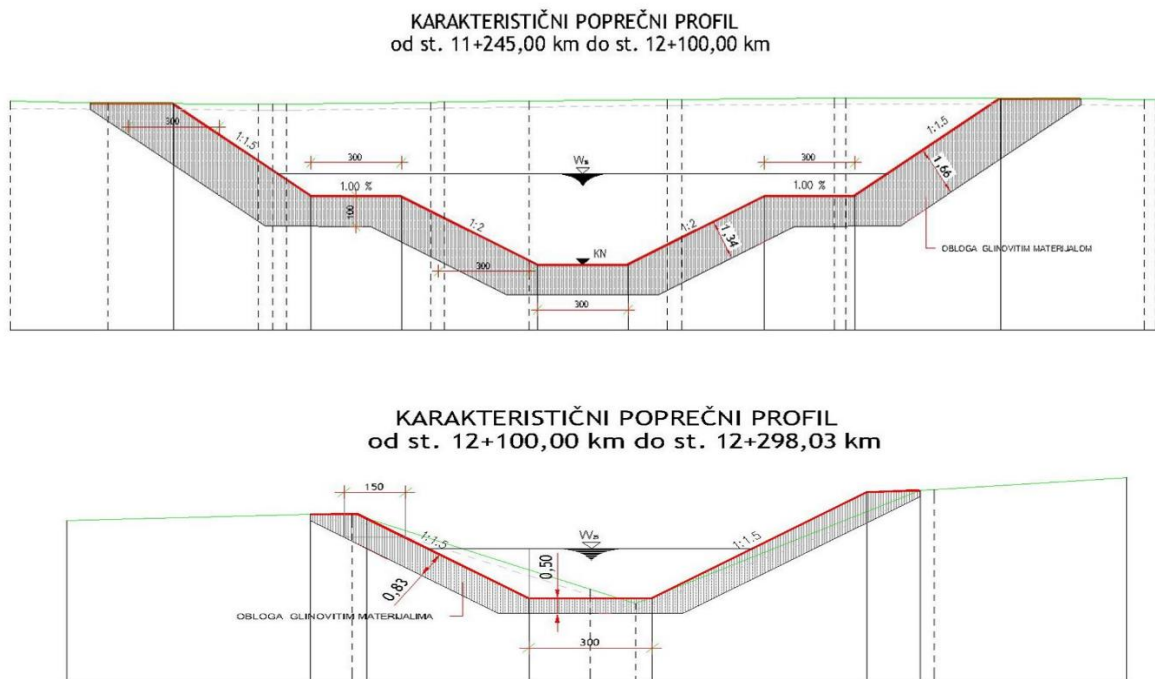


Slika 1.2. Prikaz slivnog područja lateralnog kanala s brdskim podslivovima

### 1.1. Opis područja

Prema projektu, na cjelokupnoj dužini lateralnog kanala razlikuju se 3 karakteristična poprečna presjeka. Od stacionaže 0+000 do 11+245 kanal ima dvostruki trapezni poprečni presjek i širinu dna 2,0 m. Nagib pokosa kanala je 1:3, a širina bermi 3,0 m. Nasipi su položeni obostrano, širine krune 3,0 m i nagiba pokosa 1:2. Kota krune nasipa definirana je relativno, 0,5 m iznad proračunske velike vode. Glinena obloga debljine oko 0,5 m postavljena je cijelom dužinom ove dionice. Od stacionaže 11+245 do 12+100, poprečni presjek je i dalje dvostruki trapezni, širina dna je povećana na 3,0 m, a nagibi pokosa su 1:2 i 1:1,5. Nasipa više nema, a glinena obloga je u prosjeku debljine 1,0 m. Na samom kraju kanala, od stac. 12+100 do 12+298,03 poprečni presjek kanal je jednostavni trapezni, širina dna 3,0 m, a nagibi pokosa 1:1,5. Glinena obloga je debljine oko 0,8 m (Slika 1.3).





Slika 1.3. Projektni karakteristični presjeci lateralnog kanala

Sustavi za navodnjavanje kod kojih je dovođenje vode od zahvata do korisnika potpuno ili djelomično osigurano otvorenim kanalima u svijetu je relativno često, osobito kod velikih sustava, dok u Hrvatskoj nema mnogo iskustava s ovakvim načinom dovoda vode. Osnovna karakteristika dovoda vode otvorenim kanalima su potencijalno veliki gubitci vode na infiltraciji vode kroz dno i pokose kanala, evaporaciji sa slobodne vodne površine i transpiraciji akvatičnog bilja i obrasta pokosa.

Druga skupina problema vezana je uz stabilnost, odnosno održivost projektiranog/izvedenog poprečnog presjeka kanala. Voda zahvaćena iz otvorenih vodotoka značajnije je opterećena nanosom koji se sedimentira unutar poprečnog presjeka. Stoga se mogu očekivati promjene na poprečnom presjeku i njegovo smanjenje. U kojoj mjeri će sedimentacija biti izražena ovisi o brzini strujanja, ali i o činjenici da je lateralni kanal namijenjen i odvodnji u vanvegetacijskom razdoblju. Također se mogu očekivati promjene u ponašanju glinovite obloge tijekom eksploatacije kanala zbog utjecaja atmosferilija.

Aktivnosti tijekom trajanja projekta mogu se podijeliti u 3 faze: pripremni radovi, opažanja i obrada podataka.

U 1. fazi projekta, od srpnja do studenog 2017. godine proveden je odabir lokacija na kojima će se provoditi mjerenja, preliminarna geodetska snimanja odabranih poprečnih presjeka, javna nabava mjernih uređaja i ugradnja pijezometara i njihovo konačno geodetsko pozicioniranje. Geodetske radove proveo je Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek. U ovoj fazi su ugrađeno je 6 automatskih mjerača razine podzemnih voda (divera, proizvdnje Eijkelkamp) u presjeku Suza.

U 2. fazi projekta, koja je trajala od 1. prosinca 2017. - 1. prosinca 2018. godine provodila su se terenska opažanja vodostaja u lateralnom kanalu, opažanja razine podzemnih voda u

pijezometrima postavljenim u presjecima Kneževi Vinogradi ( 5 pijezometara) i Zmajevac ( 6 pijezometara ) u relativno pravilnim vremenskim razmacima od 10 dana (  $\pm 2$  dana) . U 6 pijezometara presjeka Suza automatski mjerači razine podzemnih voda bilježili su razine svakih 6 sati ( 0.00, 6.00, 12.00 i 18.00 sati). Također su u rujnu 2018.godine ponovno provedena geodetska snimanja dna lateralnog kanala kako bi se utvrdilo postoje li i kolike su promjene nivelete dna kanala od završetka izgradnje 2015.godine do danas. Tijekom ove druge faze, dva puta su uzeti uzorci sedimenta u kanalu, površinske vode iz lateralnog kanala i podzemne vode iz jednog pijezometra – u svibnju i studenom 2018. godine. Laboratorijske analize koncentracija teških metala obavio je Zavod za javno zdravstvo Osječko-baranjske županije. Podatke o crpljenju vode i ispuštanju/upuštanju vode gravitacijskim putem kroz ustavu na CS Zmajevac redovito prikupljaju djelatnici Vodnogospodarske ispostave za mali sliv „Baranja“ i ti su podatci ustupljeni na korištenje.

U 3. fazi projekta ( prosinac 2018.- siječanj 2019. ) provedeno je matematičko modeliranje opažanih procesa primjenom modela MODFLOW, kao i obrada svih prikupljenih podataka u cilju bilanciranja voda promatranog područja i izrada završnog izvješća.

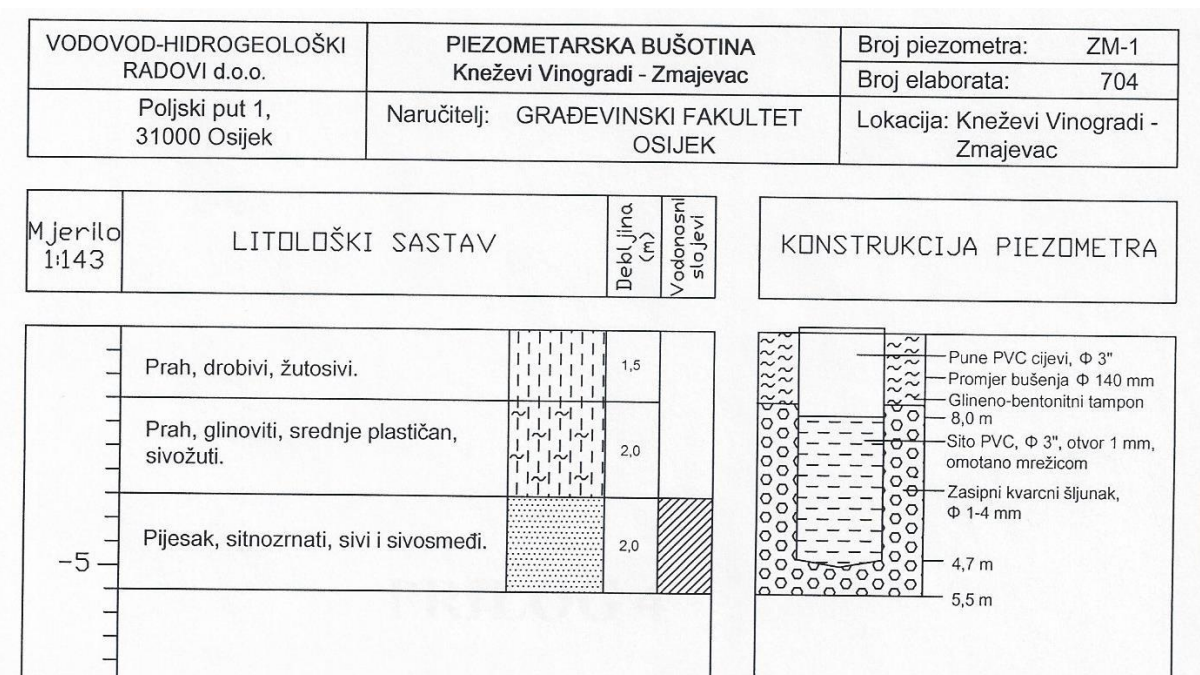
## **1.2 Ugradnja pijezometara**

U definiranim poprečnim presjecima ugrađeni su pijezometri za opažanje razine podzemne vode u zaobilju Lateralnog kanala u 3 karakteristična presjeka (Kneževi Vinogradi, Suza i Zmajevac). Projektnim zadatkom predviđeno je 18 pijezometara. Zbog blizine kuća i njihovih vrtova ( privatnog posjeda) na jednom presjeku ( Kneževi Vinogradi) izvedno je 5 pijezometara, a na ostalima po 6 pijezometra okomito na obale lateralnog kanala. Ugradnju pijezometara s njihovim ispiranjem i puštanjem u funkciju izvela je tvrtka Vodovod-Hidrogeološki radovi d.o.o. iz Osijeka tijekom listopada i studenog 2017. Dubine pijezometara su između 3,73 i 5,39 m. U svih 17 pijezometara ugrađena je pijezometarska konstrukcija  $\varnothing 3''$  (85,4-78mm), sastavljena od PVC punih cijevi na navoj i PVC sita s perforacijom od 1 mm omotanih gustom PVC mrežicom. Prstenasti prostor oko PVC konstrukcije zasut je kvarcnim pijeskom  $\varnothing 1-3$  mm, od dna bušotine do dubine 1 m, a ostatak tamponiran glinom i bentonitom. Na lokacijama KV5, SU1 i ZM1 bušenje se provodilo uz vađenje jezgrovnog materijala svakih 1m bušenja i uzimanje uzoraka.

Tablica 1. 1. Opis jezgrovnog materijala

Oznaka	Interval dubine(m)	Opis litologije
SU5	0-1	Prah(les) drobivi, suhi, sivkastosmeđi-smeđi
	2-3	Glina prašnasta, plastična žuto-smeđa do sivosmeđa
	4-5	Prah, vrlo pjeskoviti do sitnozrni pijesak, prašnasti, žutosmeđi
KV1	0-1	Prah drobivi, suhi, sivkastosmeđi-smeđi
	2-3	Prah glinoviti, srednje plastičan sivožuti do žutosivi
	4-5	Pijesak sitnozrni, prašnasti, sivi i rijeđe sivi
ZM1	0-1	Prah pjeskoviti, grubi-drobivi, s dosta pjeskovite komponente, žučkasto-sivi
	2-3	Prah glinoviti, plastični, žutosmeđi, malo sivog
	4-5	Prah glinoviti, slabo pjeskovit, srednje plastičan, tamno sivi

U tablici 1.1. su opisani karakteristični litološki profili, a grafički prikaz litološkog sastava je prikazan na slici 1.4.



Slika 1.4. Karakteristični litološki profil

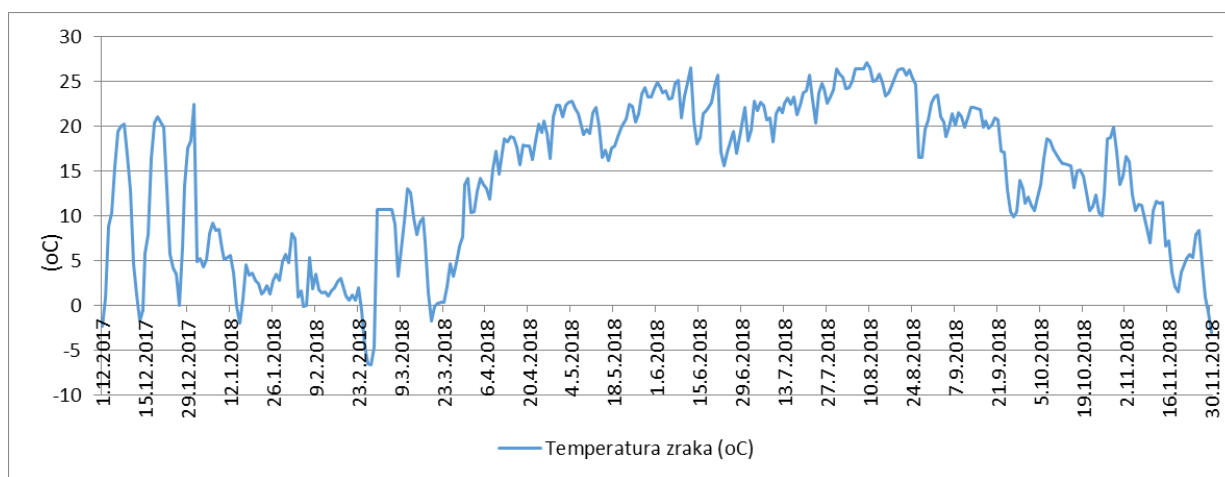
Svi navedeni podatci i prikazi preuzeti su iz „Tehničkog izvješća o izvedbi 17 piezometara duž kanala Kneževi Vinogradi-Zmajevac, Vodovod-hidrogeološki radovi d.o.o., Osijek, 2017.godina.

### 1.3. Geodetska snimanja

Preliminarno snimanje terena provedeno je u rujnu 2017. godine u sva 3 odabrana profila: K. Vinogradi ( 8+781,08), Suza (4+488,65) i Zmajevac ( 2+291,72). Nakon ugradnje pijezometara ponovljeno je snimanje i točno lociranje svakog pijezometra ( x,y,z koordinate). U listopadu 2018. provedeno je snimanje nivelete kanala na dionici od presjeka CS Zmajevac ( 0+012), do presjeka Kneževi Vinogradi 8+781,08.

### 1.4. Meteorološki, hidrološki i ostali ulazni podatci

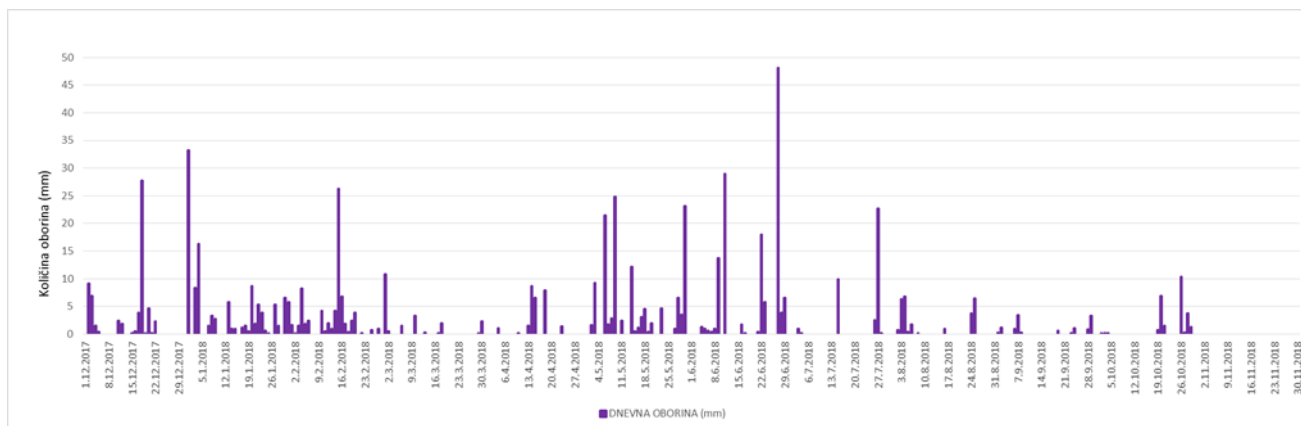
Meteorološki podatci o temperaturama zraka i količinama oborina analiziranog razdoblja opažani na meteorološkoj postaji Osijek dobiveni su od DHMZ-a. Slika 1.5. prikazuje dnevne temperature zraka.



Slika 1.5. Dnevne temperature zraka ( 1.prosinca 2017.-1.prosinca 2018.)

Maksimalna dnevna temperatura zraka zabilježena je 9.kolovoza 2018.godina i iznosila je 27 °C, a minimalna -6,6 °C zabilježena je 27.veljače 2018.godine.

Dnevne količine oborina kretale su se od 0 do maksimalne količine od 48,1mm pale 28.srpnja 2018.(Slika 1.6). U promatranom razdoblju palo je ukupno 674,6mm oborine.

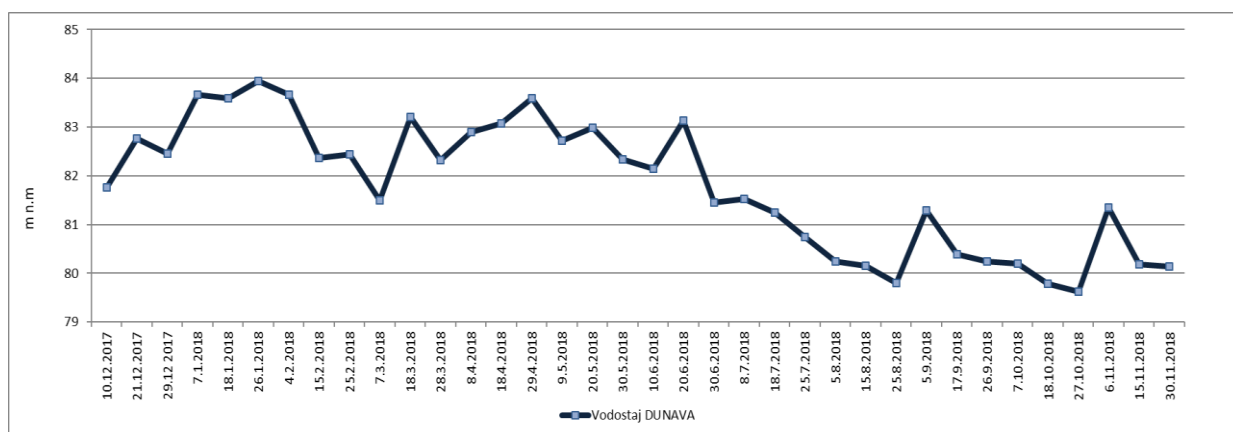


Slika 1.6. Količina dnevnih oborina ( 1.prosinca 2017-1.prosinca 2018)



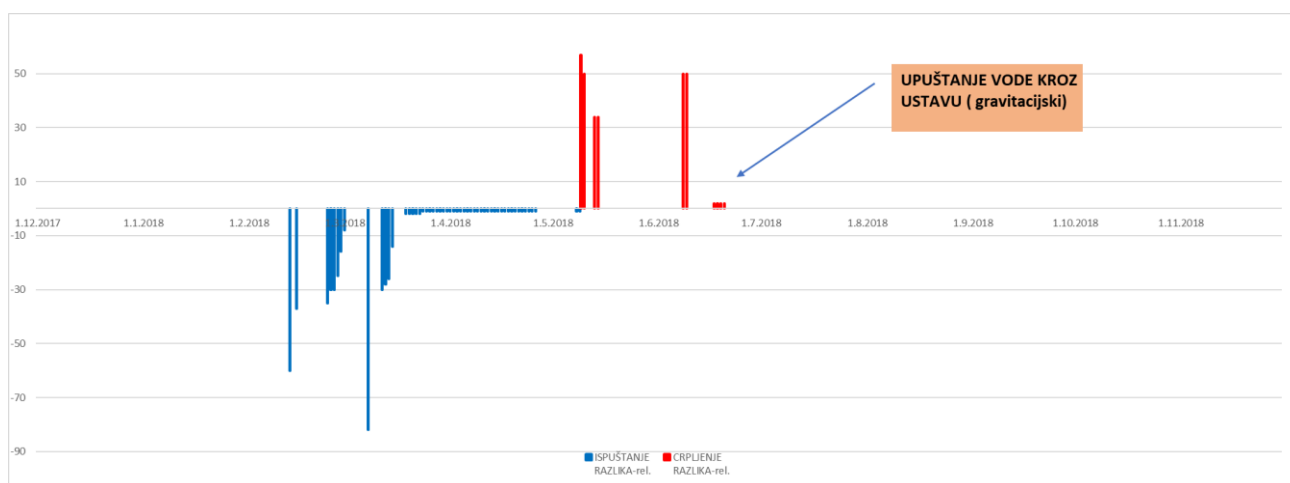
Za hidrološku analizu područja i upravljanje vodnim režimom lateralnog kanala ( ispuštanja i upuštanja vode ovisno o odnosima vodostaja u Dunavu i u kanalu ) presudan je hidrološki režim Dunava. Odabrani poprečni presjeci nalaze se na udaljenosti od cca 10 km ( Kneževi Vinogradi ) do 1,5 km (Zmajevac) od inundacije Dunava, te vodostaji Dunava imaju izuzetan utjecaj i na režim podzemnih voda.

U nastavku se daju dnevni podatci o vodostaju Dunava –postaja Bezdán. ( Slika 1.7.)



Slika 1.7. Dnevni vodostaji Dunava

U skupinu ostalih ulaznih podataka mogu se ubrojiti i podatci o ispuštanju vode iz lateralnog kanala i crpljenju vode iz Dunava ( odnosno njegovog rukavca Dunavca) u lateralni kanal. Razdoblja gravitacijskog ispuštanja vode iz kanala dogodila su se dominantno tijekom tijekom veljače i ožujka, a u vrlo kratkom razdoblju od nekoliko sati u travnju i srpnju. Slika 1.8. prikazuje raspored ispuštanja iz kanala ( plava boja) i crpljenja vode u lateralni kanal iz Dunavca mehaničkim putem s izuzetkom jednog slučaja ( između 17.i 20.lipnja kada se zbog povoljnih odnosa vodostaja voda iz Dunavca mogla gravitacijskim putem upustiti u lateralni kanal.



Slika 1.8. Raspored ispuštanja i upuštanja vode u lateralni kanal

## 2.MONITORING

Kako je predviđeno projektnim zadatkom tijekom 12 mjeseci provedeno je opažanje vodostaja u lateralnom kanalu u 3 definirana presjeka i ugrađenim piježometrima.

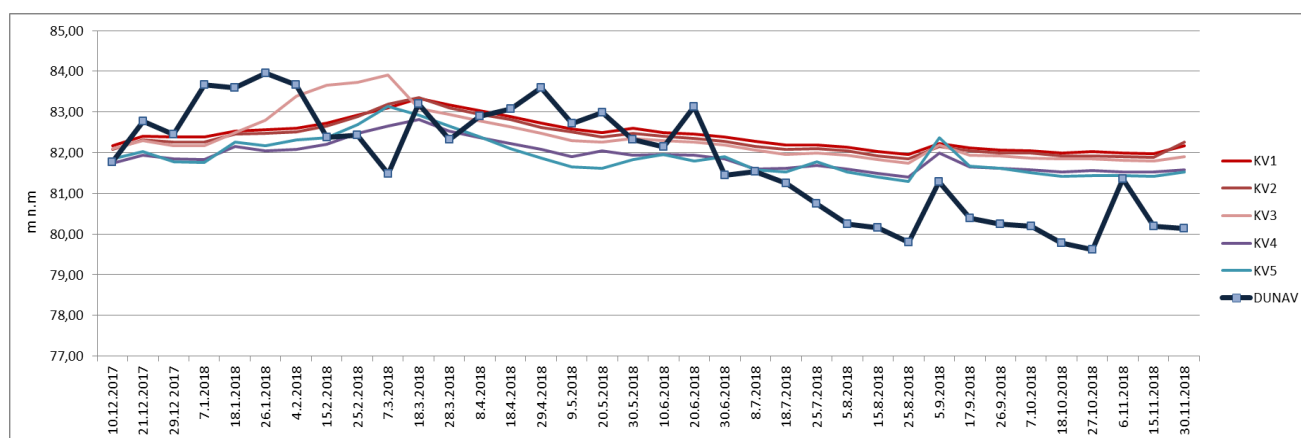
### 2.1.Presjek Kneževi Vinogradi (8+781,08)

Najuzvodniji presjek nalazi se na stacionaži 8+781,08 uz pločasti propust. Okomito na lijevu obalu, na povišenom terenu nalaze se 3 piježometra (KV1, KV2, KV3), a okomito na desnu obalu, na nizinskom dijelu terena, nalaze se piježometri s oznakom KV4 i KV5. Mjerenja se vršena ručnim dubinomjerom (Eijkelkamp) u intervalima od 10 dana ( $\pm 2$  dana), i provedeno je ukupno 36 opažanja (Slika 2.1). Sredinom rujna, piježometar KV3 je oštećen tijekom košnje.



Slika 2.1. Situacija presjeka Kneževi Vinogradi

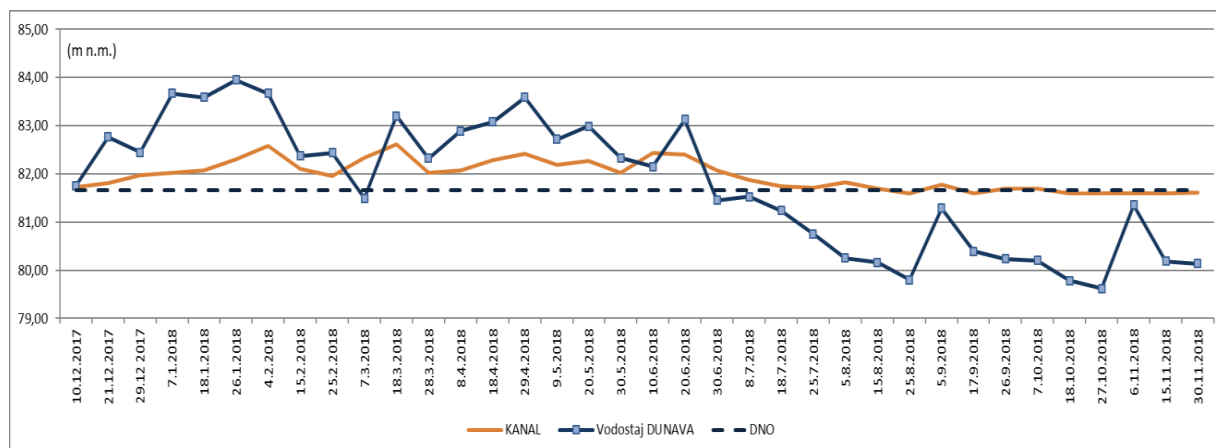
Vremenski hod podzemnih voda od 1.prosinca 2017. do 1.prosinca 2018. godine prikazan je na slici 2.2.



Slika 2.2.Vremenski hod razina podzemnih voda i Dunava

U pijezometrima razina vode opada od brdskog prema nizinskom dijelu. U zimskom i proljetnom razdoblju, od prosinca 2017. do druge polovice ožujka 2018.godine razina podzemnih voda je rasla, a nakon toga kontinuirano opada s iznimkom početka rujna kada je došlo do relativno naglog porasta vodostaja Dunava što se reflektiralo i na razinu podzemnih voda u pijezometrima KV4 i KV5 koji se nalaze u nizinskom zaobalju lateralnog kanala.

Vremenski hod vodostaja u lateralnom kanalu ( Slika 2.3.) u odnosu na kotu dna kanala pokazuje da je tijekom velječe i ožujka bilo ispuštanje vode iz kanala, u svibnju i lipnju upuštanje vode (crpljenje iz Dunavca), a od početka kolovoza, pa do kraja studenog kanal je bio gotovo prazan.

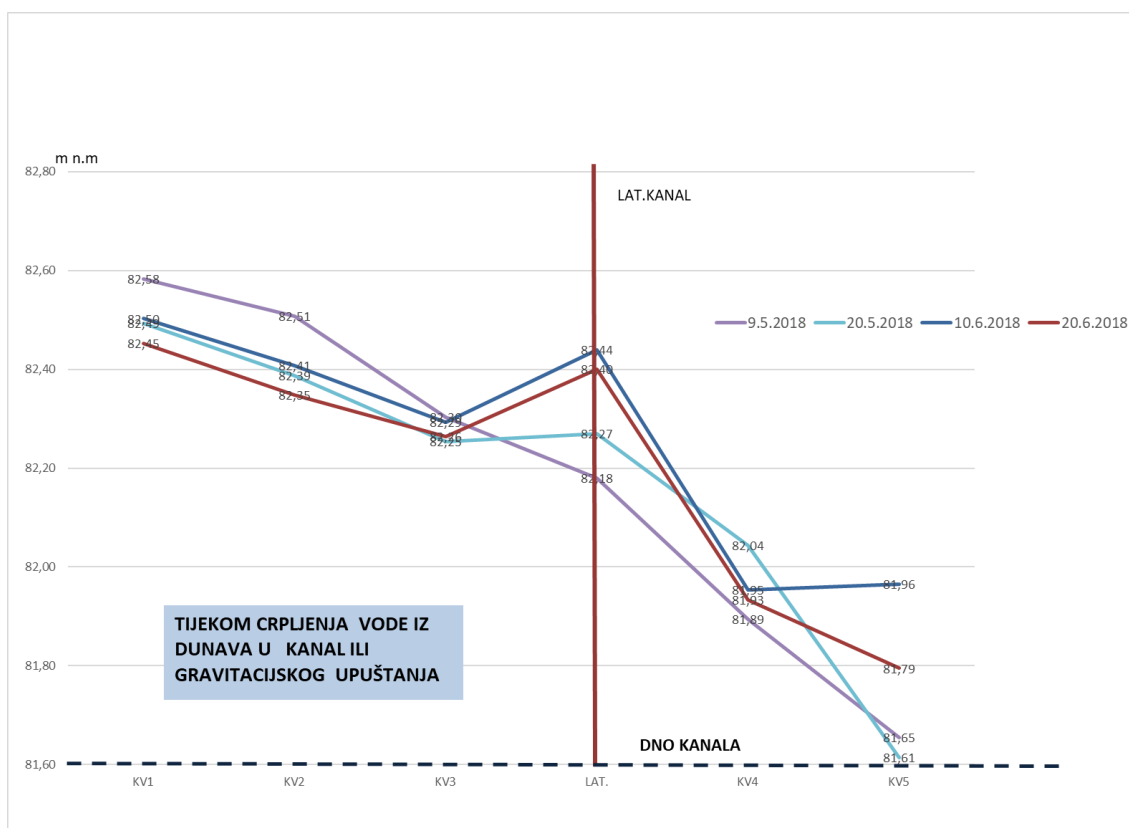


Slika 2.3. Vremenski hod vodostaja u lateralnom kanalu ( presjek K. Vinogradi)

Za isto to razdoblje analizirano je kretanje podzemnih voda u odnosu na lateralni kanal.

Prikaz svih 36 opažanih nizova podataka za svaki od pijezometara bio bi dosta nepregledan, te su stoga prikazi podijeljeni u 4 skupine:

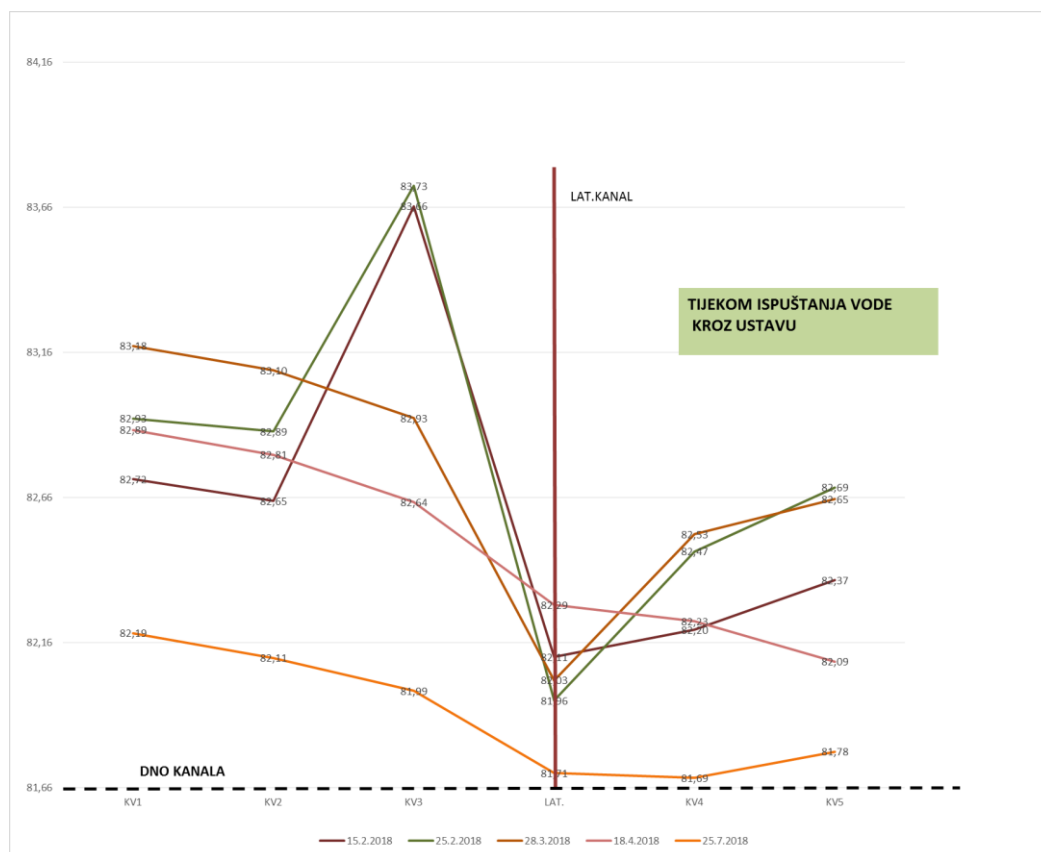
- Odnos razina podzemnih voda u lijevom i desnom zaobalju prema vodostajima u kanalu tijekom faze crpljenja vode iz Dunavca u kanal ( Slika 2.4.)
- Odnos razina podzemnih voda u lijevom i desnom zaobalju prema vodostajima u kanalu tijekom gravitacijskom ispuštanja vode iz kanala u Dunavac (Slika 2.5.)
- Odnos razina podzemnih voda u lijevom i desnom zaobalju prema vodostajima u kanalu tijekom vegetacijskog razdoblja (Slika 2.6.)
- Odnos razina podzemnih voda u lijevom i desnom zaobalju prema vodostajima u kanalu tijekom izvan vegetacijskog razdoblja (Slika 2.7.)



Slika 2.4. Razine podzemnih voda u zaobilju u odnosu na vodostaj u lateralnom kanalu tijekom crpljenja vode

Tijekom analiziranog razdoblja 4 puta se voda upuštala u lateralni kanal ( slika 2.4). I to početkom svibnja i početkom lipnja, znači u vrlo osjetljivoj fazi vegetacijskog razdoblja kada je korisnicima sustava za navodnjavanje voda bila potrebna i trebala je biti dostupna. Krajem lipnja ( 20. lipnja ) zbog višeg vodostaja Dunava bilo je moguće gravitacijski upustiti vodu u lateralni kanal. Na slici 2.4. su prikazane te 4 karakteristične situacije na kojima se uočava povišenje vodostaja u kanalu u odnosu na podzemne vode zaobilja. Crpljenje je trajalo 8-10 sati dok se vodostaj u kanalu nije povisio na +500 cm ( relativni vodostaji u odnosu na vodomjer CS Zmajevac ).

Druga karakteristična situacija odnosi se na razdoblja ispuštanja vode iz lateralnog kanal tijekom razdoblja kada on obavlja funkciju pravog lateralnog kanala kojim se voda prikupljena površinskim otjecanjem s brdskog područja odvodi s melioracijskog područja. Zbog povoljnih odnosa vodostaja Dunava i lateralnog kanal u analiziranom razdoblju bilo je moguće gravitacijsko ispuštanja vode otvaranjem ustave uz CS Zmajevac. Voda iz kanala ispuštala se dominantno tijekom veljače i ožujka i manje u travnju i svibnju ( slika 1.8. i slika 2.5.).

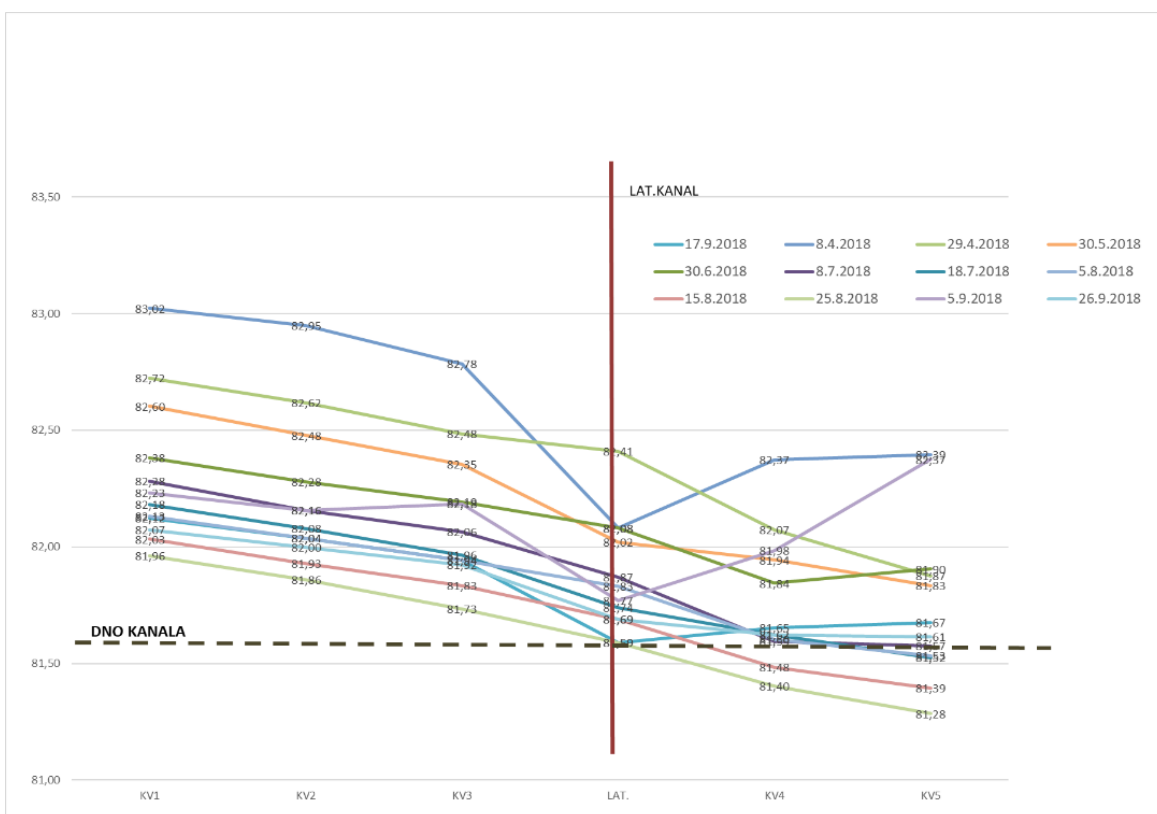


Slika 2.5. Razine podzemnih voda u zaobalju u odnosu na vodostaj u lateralnom kanalu tijekom ispuštanja vode

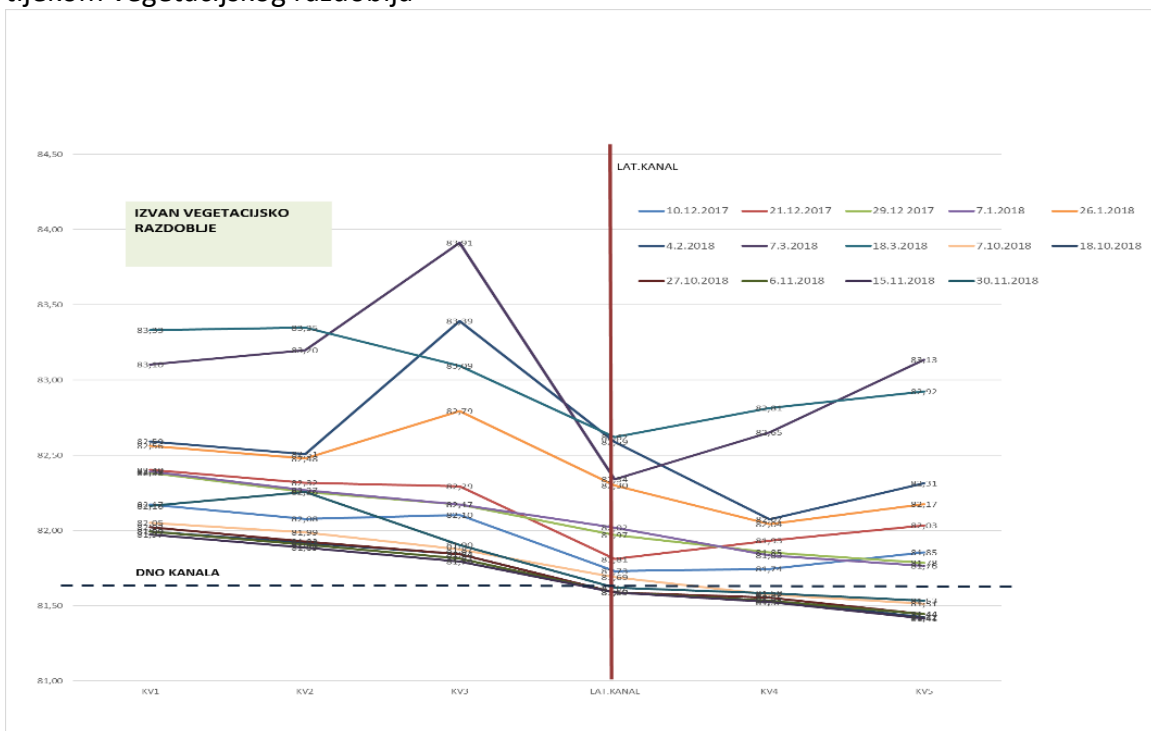
Suprotno prethodnom slučaju, zbog nestacionarnih uvjeta izazvanih ispuštanjem vode vodostaj u kanalu se puno brže spuštao, nego što se mogla uspostaviti komunikacija sa podzemnim vodama zaobalja, u ovom slučaju efluentni tok.

Slike 2.6. i 2.7. pokazuju stanja i odnose vodostaja u lateralnom kanalu u vegetacijskom razdoblju (travanj-rujan) i izvanvegetacijskom razdoblju (listopad-ožujak), bez kratkotrajnih epizoda umjetnog dovođenja ili odvođenja vode, kad je lateralni kanal imao odlike akumulacije, bez pojave tečenja.

Slika 2.6 prikazuje odnos razina podzemnih voda u lijevom i desnom zaobalju prema vodostajima u kanalu tijekom vegetacijskog razdoblja. Najviši vodostaj bio je krajem travnja i otada kontinuirano opada, dok je krajem srpnja, pred kraj analiziranog razdoblja gotovo presušio ili je bilo samo nekoliko centimetara vode. Lijevo zaobalje ima puno višu razinu podzemne voda nego desno (nizinsko) zaobalje. Komunikacija kanala i podzemnih voda postoji, ali se uočava utjecaj obloge.



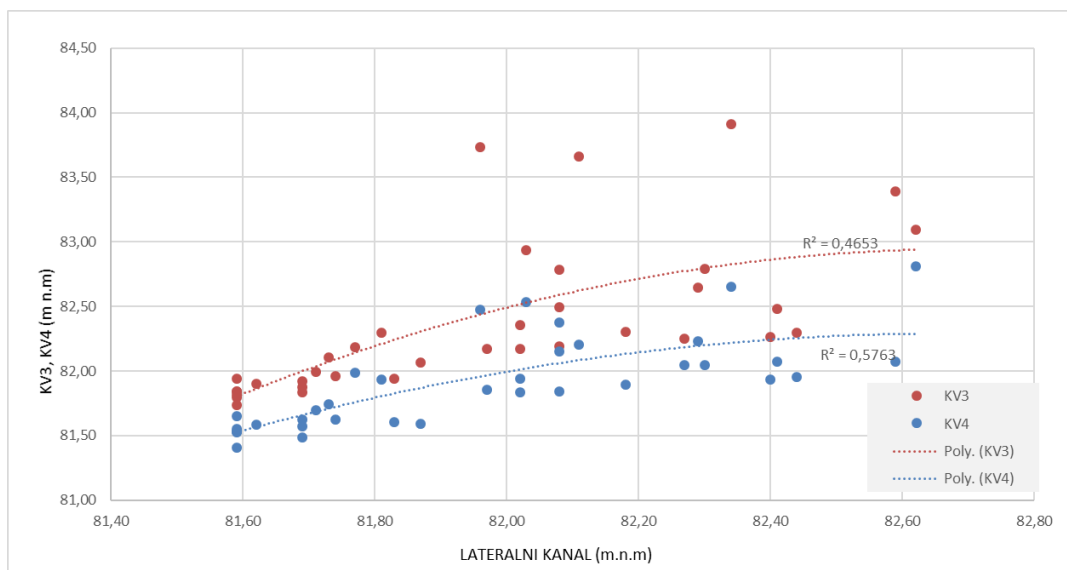
Slika 2.6. Razine podzemnih voda u lijevom i desnom zaobalju prema vodostajima u kanalu tijekom vegetacijskog razdoblja



Slika 2.7. Razine podzemnih voda u lijevom i desnom zaobalju prema vodostajima u kanalu tijekom izvanvegetacijskog razdoblja

Slika 2.7. prikazuje odnos razina podzemnih voda u lijevom i desnom zaobalju prema vodostajima u kanalu tijekom izvanvegetacijskog razdoblja. Zbog relativno sušne jeseni 2018.godine, razine podzemnih voda su vrlo niske i praktično niže od dna kanala.

Koliko je učinkovit dovod vode lateralnim kanalom može se definirati korelacijom vodostaja u kanalu i pijezometrima u lijevom i desnom zaobalju. Što je koeficijent korelacije ili determinacije manji to su vodostaji neovisniji. Ako otpora ne bi uopće bilo, u vrlo poroznom šljunkovitom ili pjeskovitom tlu, koeficijenti korelacije bi bilo vrlo bliski jedinici i retardacija u promjeni vodostaja u pijezometrima bila bi neznatna. U ovom slučaju retardacija svakako mora postojati zbog glinovite obloge ( Slika 2.8).

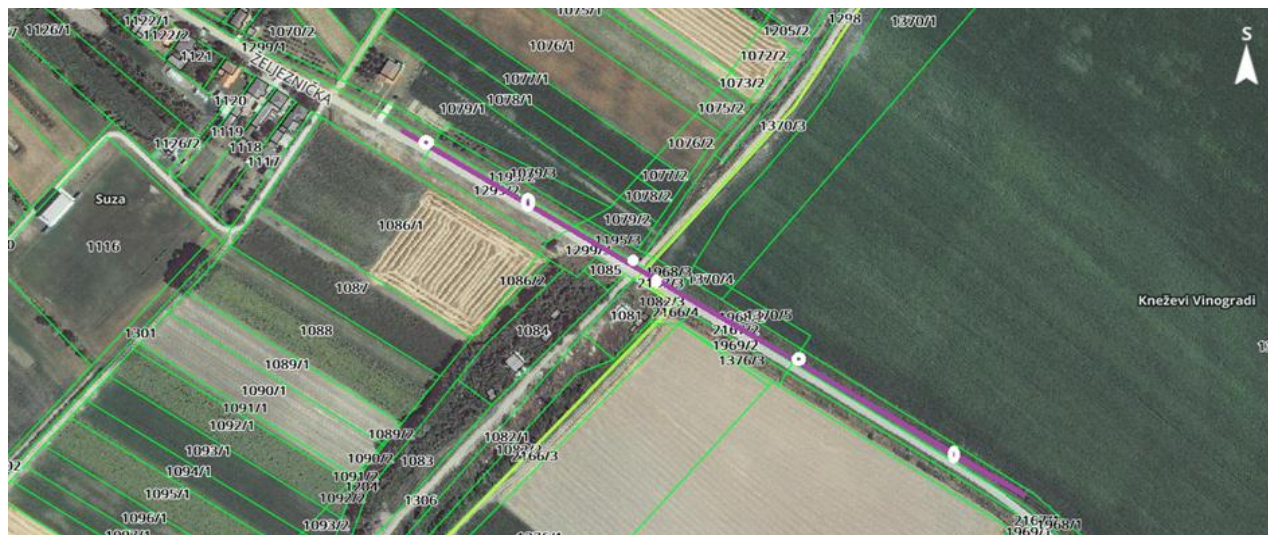


Slika 2.8. Korelacija vodostaja u lateralnom kanalu i susjednim pijezometrima KV3 i KV4

Na slici 2.8. prikazan je taj odnos na presjeku Kneževi Vinogradi. Uzevši u obzir sve mjerene podatke, koeficijenti determinacije su  $R^2=0,465$  i  $R^2= 0, 576$ . Ovako relativno velika razlika u koeficijentima determinacije pripisuje se utjecaju sanirane deponije koja se nalazi u neposrednoj blizini kanal i poremećaju koji je ona izazvala. Ako se uzmu u obzir samo podatci opažani u vremenu kada u lateralnom kanalu nije bilo nikakvog tečenje tada su vrijednosti još i veće  $R^2=0,673$  i  $R^2= 0, 694$  i više nema tako izrazite razlike kod usporedbe s lijevim ili desnim susjednim pijezometrom kao u prvom slučaju.

## 2.2.Presjek Suza (4+488,65)

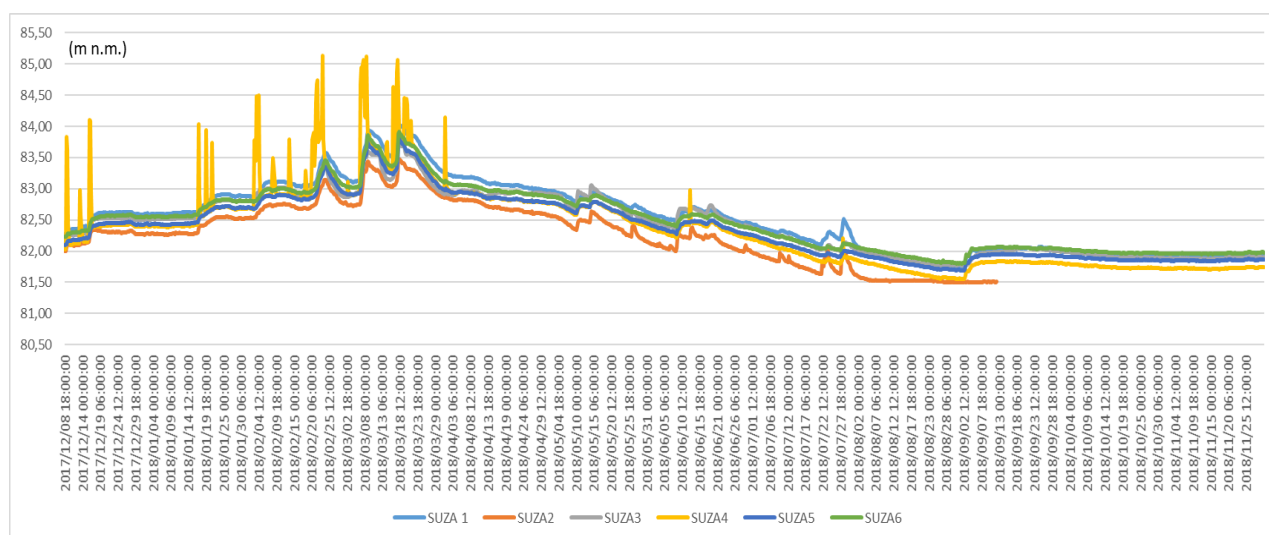
Na analiziranoj dionici lateralnog kanala, srednji presjek Suza nalazi se na stacionaži 4+488,65, uz pločasti propust ( Slika 2.9) . Automatska Mjerenja razine podzemnih voda su provedena automatskim meračima tzv. diverima, (Eijkelkamp) u intervalima od 6 sati (0.00, 6.00, 12.00 i 18.00). Pijezometar SU2 je tijekom održavanja oštećen, te je diver izvađen 17.rujna.



Slika 2.9.Situacija presjeka Suza

Okomito na lijevu obalu, na povišenom terenu nalaze se 3 pijezometra ( SU1, SU2, SU3), a okomito na desnu obalu, na nizinskom dijelu terena, nalaze se pijezometri s oznakom SU4, SU5 i SU6.

Vremenski hod podzemnih voda od 1.prosinca 2017. do 1.prosinca 2018. godine prikazan je na slici 2.10.



Slika 2.10.Vremenski hod razina podzemnih voda

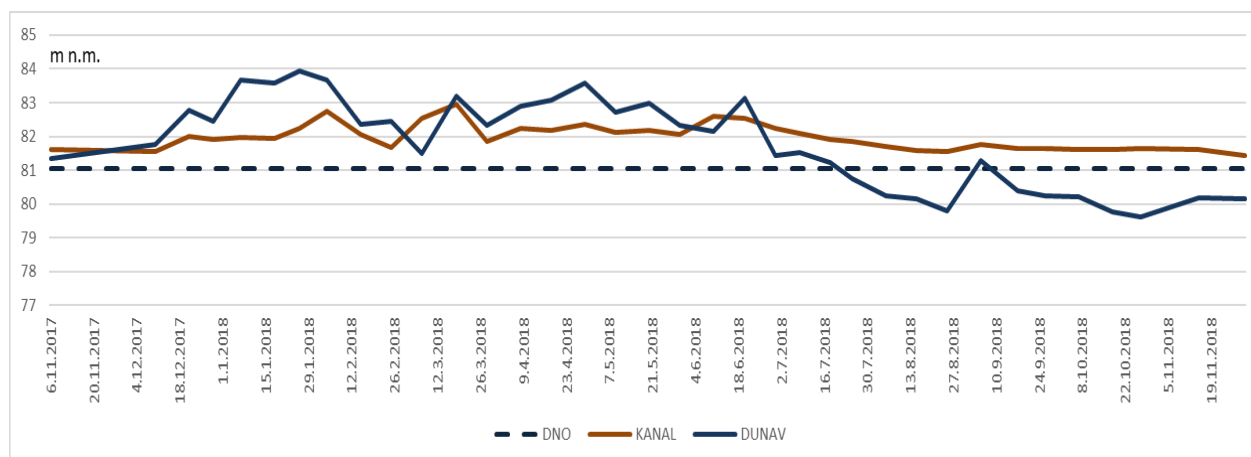
U odnosu na ručno mjerene podatke dobivene opažanjima u puno većim vremenskim intervalima krivulja kretanja podzemne vode puno je finija, ali kvalitativno je njezin oblik isti.



To znači da se razina podzemne vode konstantno povećavala do sredine ožujka, a potom uglavnom kontinuirano opada do zime 2018. godine, pri tome amplituda iznosi 2,3m.

Na mjerачu postavljenom u pijezometru SU4 došlo je povremeno do poremećaja u radu u prvoj polovici godine što je izazvalo nerealne pikove.

Vremenski hod vodostaja u lateralnom kanalu ( Slika 2.11.) u odnosu na kotu dna kanala pokazuje da je tijekom velječe i ožujka bilo ispuštanje vode iz kanala, u svibnju i lipnju upuštanje vode (crpljenje iz Dunavca), a od početka kolovoza, pa do kraja studenog u kanalu je 30-35 cm vode u kanalu što nije pojava u susjednim presjecima, te se zaključuje da postoji pregrada u kanalu nastala erozijom obale koja onemogućuje tečenje.

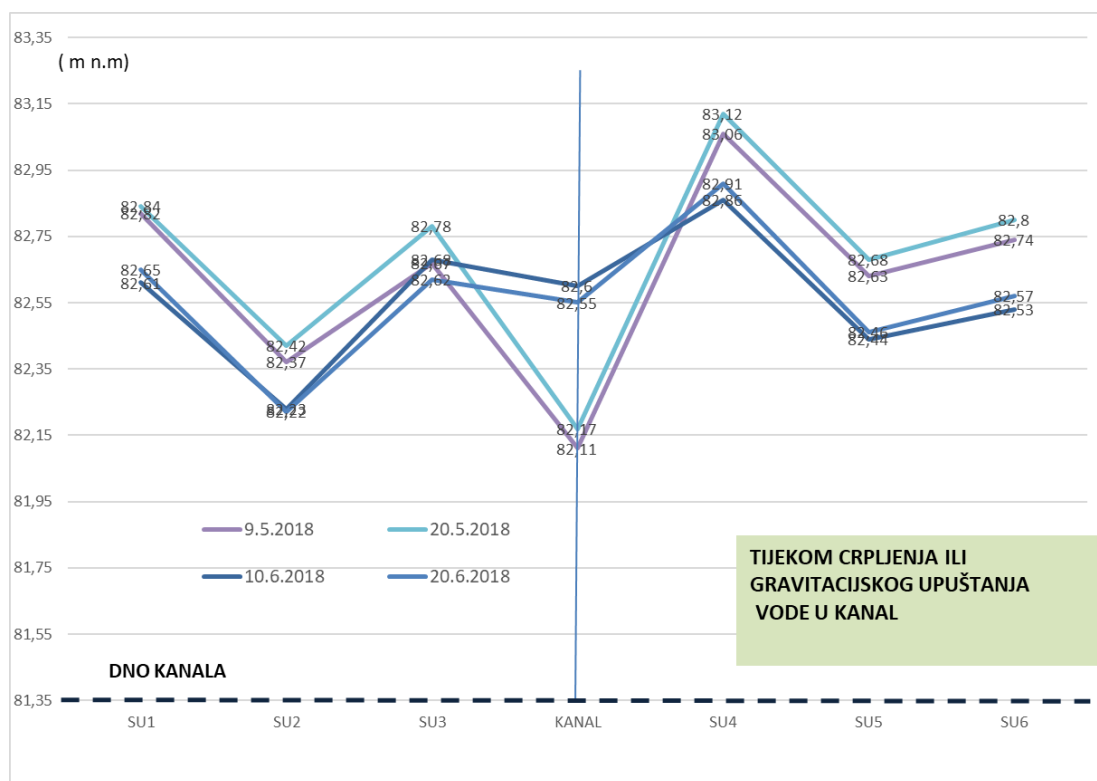


Slika 2.11. Vremenski hod vodostaja u lateralnom kanalu ( presjek Suza)

Za isto to razdoblje analizirano je kretanje podzemnih voda u odnosu na lateralni kanal.

Prikaz svih 36 opažanih nizova podataka za svaki od pijezometara bio bi dosta nepregledan, te su stoga prikazi podijeljeni u 4 skupine:

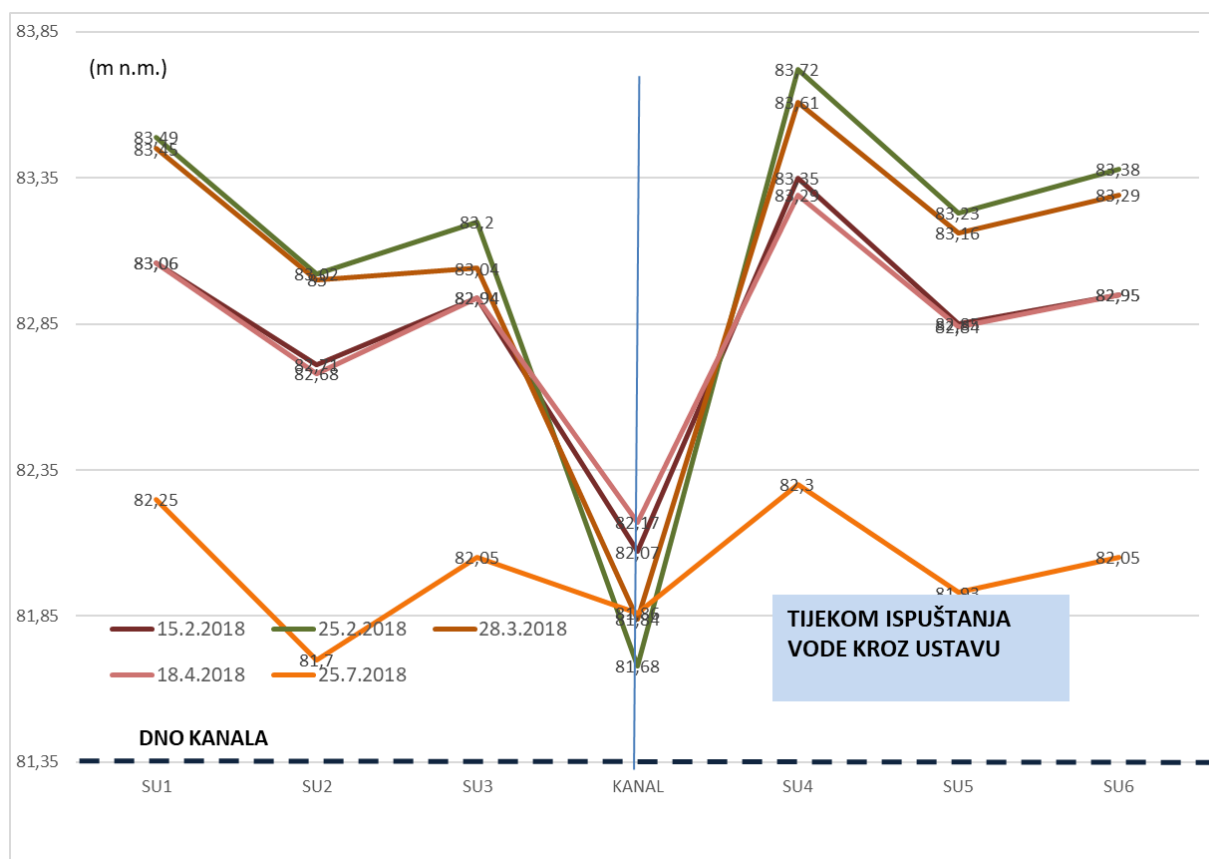
- Odnos razina podzemnih voda u lijevom i desnom zaobalju prema vodostajima u kanalu tijekom faze crpljenja vode iz Dunavca u kanal ( Slika 2.12.)
- Odnos razina podzemnih voda u lijevom i desnom zaobalju prema vodostajima u kanalu tijekom gravitacijskom ispuštanja vode iz kanala u Dunavac (Slika 2.13.)
- Odnos razina podzemnih voda u lijevom i desnom zaobalju prema vodostajima u kanalu tijekom vegetacijskog razdoblja (Slika 2.14.)
- Odnos razina podzemnih voda u lijevom i desnom zaobalju prema vodostajima u kanalu tijekom izvan vegetacijskog razdoblja (Slika 2.15.)



Slika 2.12. Razine podzemnih voda u zaobalju u odnosu na vodostaj u lateralnom kanalu tijekom crpljenja vode

Tijekom analiziranog razdoblja 4 puta se voda upuštala u lateralni kanal ( slika 2.12) i to početkom svibnja i početkom lipnja, znači u vrlo osjetljivoj fazi vegetacijskog razdoblja kada je korisnicima sustava za navodnjavanje voda bila potrebna i trebala je biti dostupna. Krajem lipnja ( 20. lipnja ) zbog višeg vodostaja Dunava bilo je moguće gravitacijski upustiti vodu u lateralni kanal. Na slici 2.12. su prikazane te 4 karakteristične situacije na kojima se uočava povišenje vodostaja u kanalu u odnosu na podzemne vode zaobalja. Crpljenje je trajalo 8-10 sati dok se vodostaj u kanalu nije povisio na +500 cm ( relativni vodostaji u odnosu na vodomjer CS Zmajevac ).

Druga karakteristična situacija odnosi se na razdoblja ispuštanja vode iz lateralnog kanal tijekom razdoblja kada on obavlja funkciju pravog lateralnog kanala kojim se voda prikupljena površinskim otjecanjem s brdskog područja odvodi s melioracijskog područja. Zbog povoljnih odnosa vodostaja Dunava i lateralnog kanal u analiziranom razdoblju bilo je moguće gravitacijsko ispuštanja vode otvaranjem ustave uz CS Zmajevac. Voda iz kanala ispuštala se dominantno tijekom veljače i ožujka i manje u travnju i svibnju ( slika 1.8. i slika 2.13.).

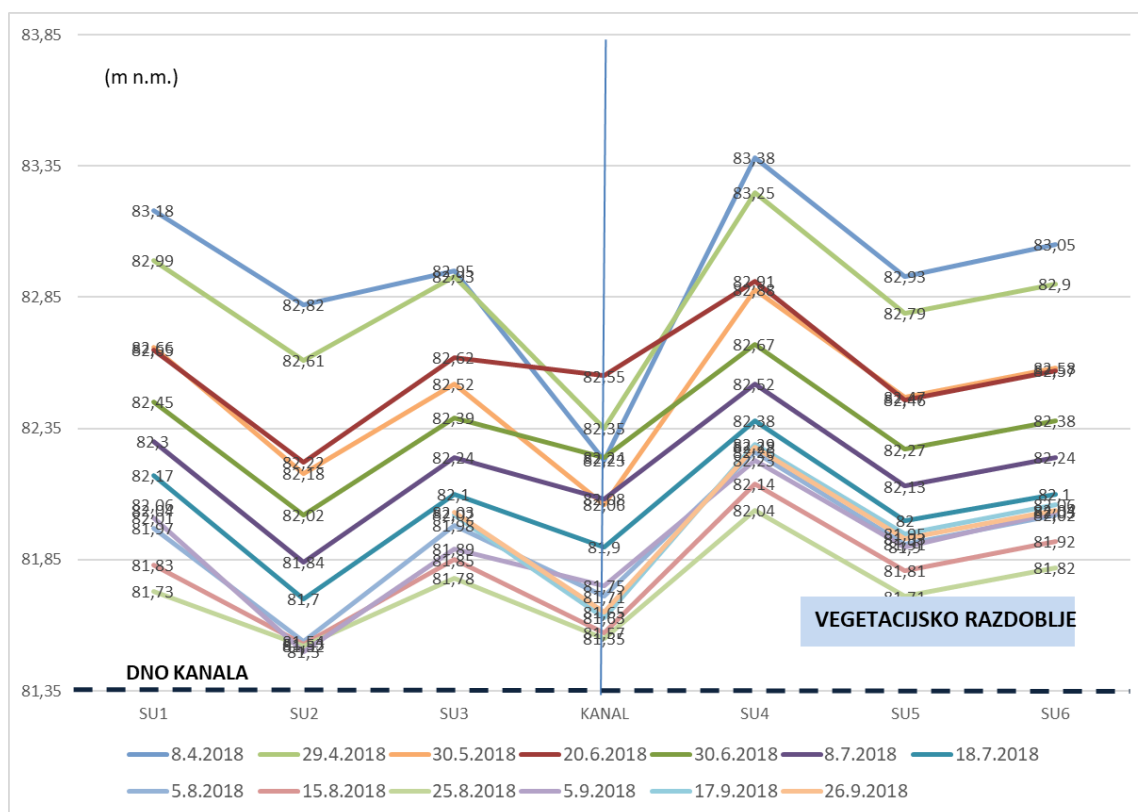


Slika 2.13. Razine podzemnih voda u zaobalju u odnosu na vodostaj u lateralnom kanalu tijekom ispuštanja vode

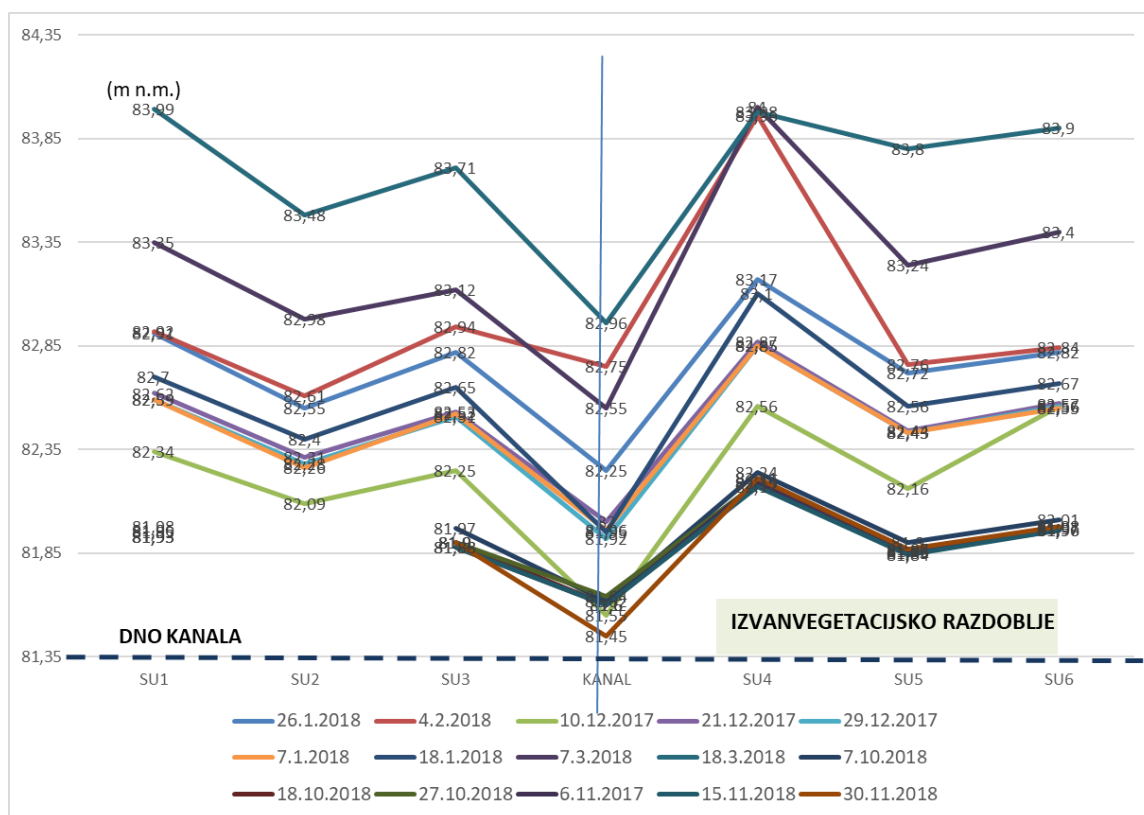
Suprotno prethodnom slučaju, zbog nestacionarnih uvjeta izazvanih ispuštanjem vode vodostaj u kanalu se puno brže spuštao, nego što se mogla uspostaviti komunikacija sa podzemnim vodama zaobalja, u ovom slučaju efluentni tok.

Slike 2.14. i 2.15. pokazuju stanja i odnose vodostaja u lateralnom kanalu u vegetacijskom razdoblju (travanj-rujan) i izvanvegetacijskom razdoblju (listopad-ožujak), bez kratkotrajnih epizoda umjetnog dovođenja ili odvođenja vode, kad je lateralni kanal imao odlike akumulacije, bez pojave tečenja.

Slika 2.14. prikazuje odnos razina podzemnih voda u lijevom i desnom zaobalju prema vodostajima u kanalu tijekom vegetacijskog razdoblja. Najviši vodostaj bio je krajem travnja i otada kontinuirano opada, dok je krajem srpnja, pred kraj analiziranog razdoblja gotovo presušio ili je bilo samo nekoliko centimetara vode. Lijevo zaobalje ima puno višu razinu podzemne voda nego desno (nizinsko) zaobalje. Komunikacija kanala i podzemnih voda postoji, ali se uočava utjecaj obloge.



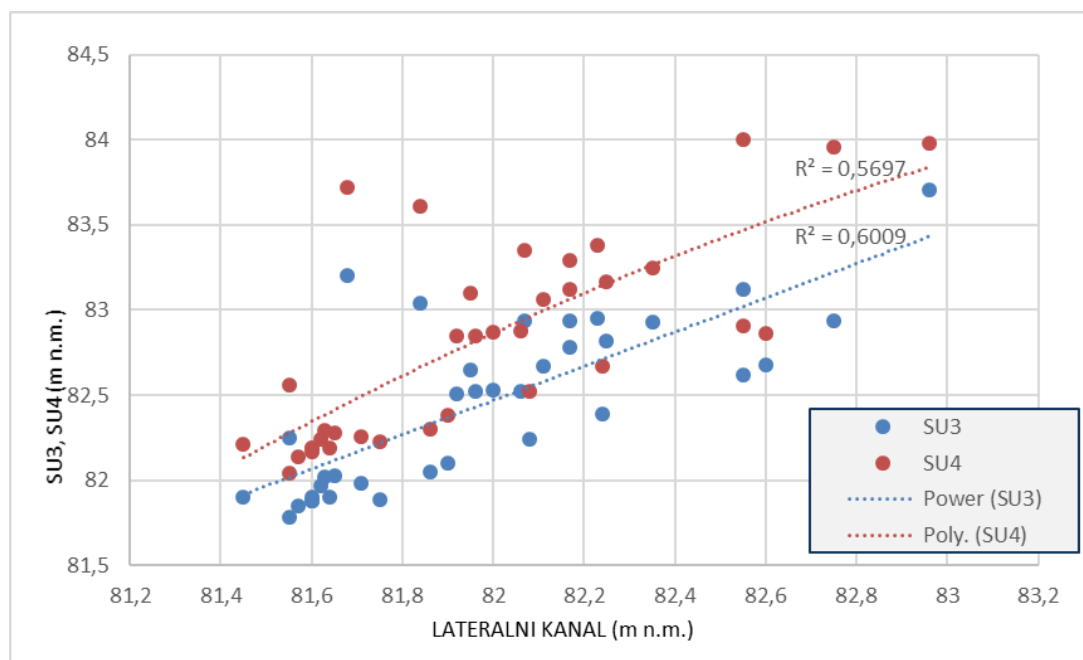
Slika 2.14. Razine podzemnih voda u lijevom i desnom zaobalju prema vodostajima u kanalu tijekom vegetacijskog razdoblja



Slika 2.15. Razine podzemnih voda u lijevom i desnom zaobalju prema vodostajima u kanalu tijekom izvanvegetacijskog razdoblja

Slika 2.15. prikazuje odnos razina podzemnih voda u lijevom i desnom zaobalju prema vodostajima u kanalu tijekom izvanvegetacijskog razdoblja.

Koliko je učinkovit dovod vode lateralnim kanalom može se definirati korelacijom vodostaja u kanalu i pijezometrima u lijevom i desnom zaobalju. Što je koeficijent korelacije ili determinacije manji to su vodostaji neovisniji. Ako otpora ne bi uopće bilo, u vrlo poroznom šljunkovitom ili pjeskovitom tlu, koeficijenti korelacije bi bilo vrlo bliski jedinici i retardacija u promjeni vodostaja u pijezometrima bila bi neznatna. U ovom slučaju retardacija svakako mora postojati zbog glinovite obloge ( Slika 2.16).



Slika 2.16. Korelacija vodostaja u lateralnom kanalu i susjednim pijezometrima SU3 i SU4

Na slici 2.16. prikazan je taj odnos na presjeku Suza. Uzevši u obzir sve mjerene podatke, koeficijenti determinacije su u oba slučaja gotovo identični:  $R^2=0,57$  i  $R^2= 0,60$ . Ako se uzmu u obzir samo podatci opažani u vremenu kada u lateralnom kanalu nije bilo nikakvog tečenje tada su vrijednosti u oba slučaja još i veće i iznose  $R^2= 0,84$ .

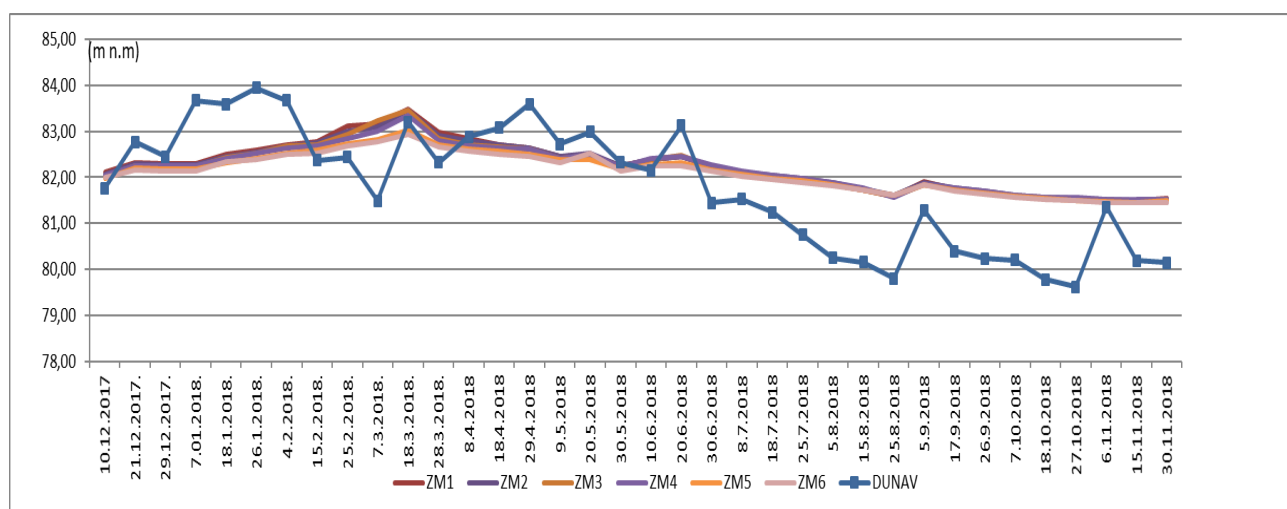
### 2.3.Presjek Zmajevac (2+291,72)

Najnižvodniji presjek nalazi se na stacionaži 2+291,72 uz pločasti propust. Okomito na lijevu obalu, na povišenom terenu nalaze se 3 pijezometra ( ZM1, ZM2, ZM3), a okomito na desnu obalu, na nizinskom dijelu terena, nalaze se pijezometri s oznakom ZM4, ZM5 i ZM6 (Slika 2.17.). Mjerenja se vršena ručnim dubinomjerom (Eijkelkamp) u intervalima od 10 dana ( $\pm 2$  dana), i provedeno je ukupno 36 opažanja.

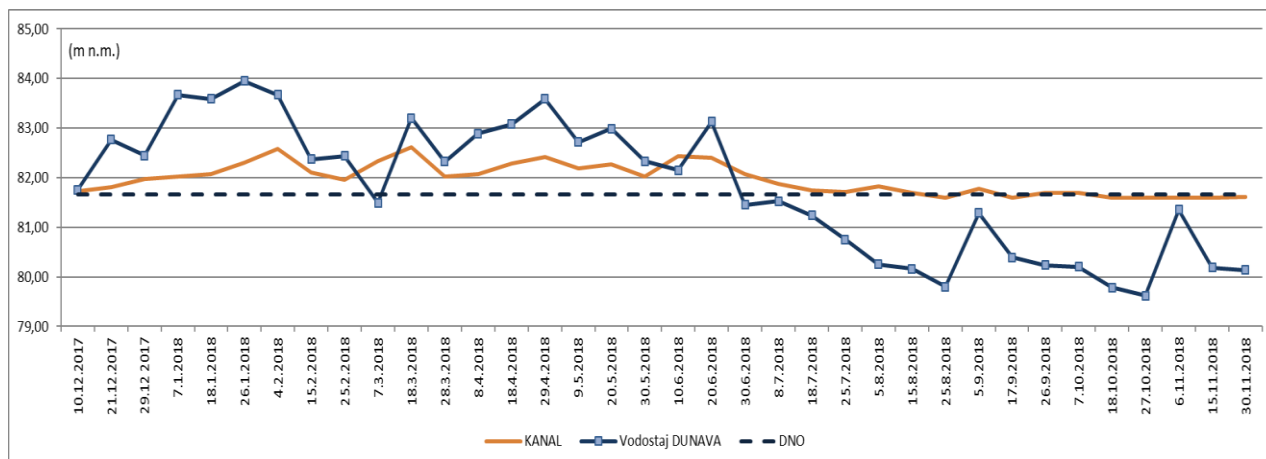


Slika 2.17. Situacija presjeka Zmajevac

Vremenski hod podzemnih voda od 1.prosinca 2017. do 1.prosinca 2018. godine prikazan je na slici 2.18.



Slika 2.18.Vremenski hod razina podzemnih voda i Dunava



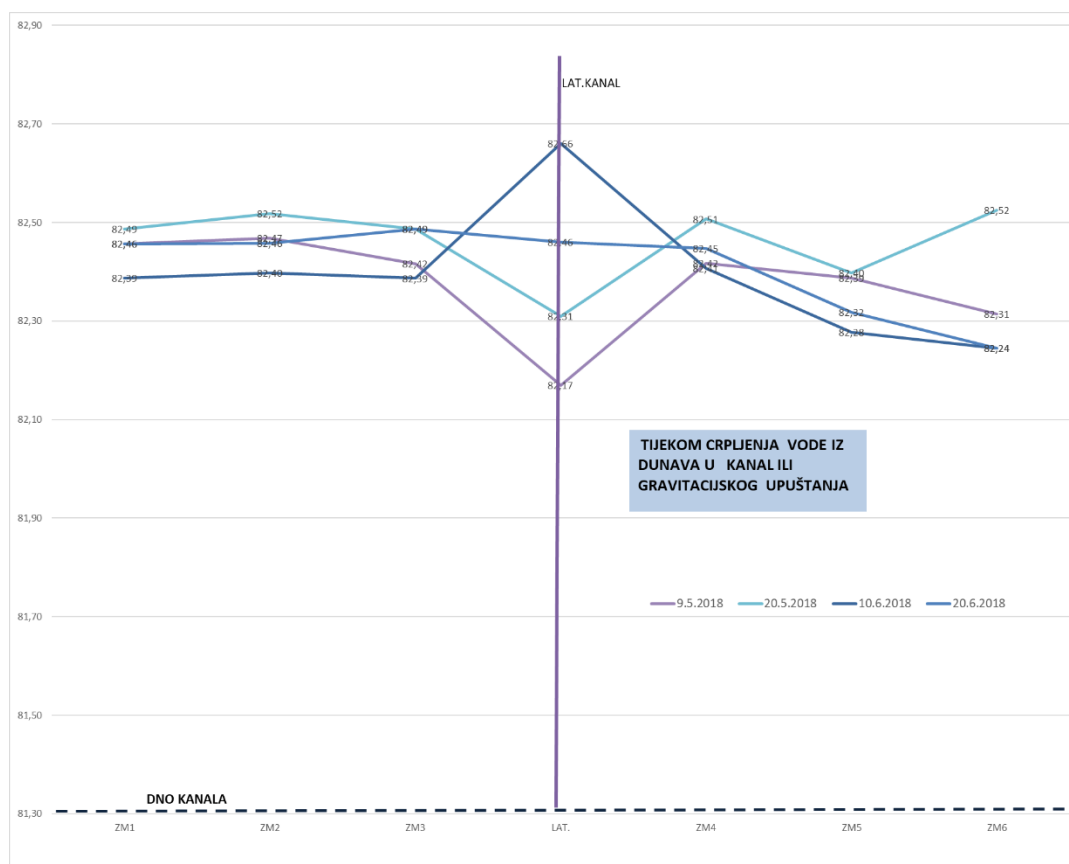
Slika 2.19. Vremenski hod vodostaja u lateralnom kanalu ( presjek Zmajevac)

Slično kao i u presjeku K. Vinogradi u pijezometrima razina vode opada od brdskog prema nizinskom dijelu. U zimskom i proljetnom razdoblju, od prosinca 2017. do druge polovice ožujka 2018.godine razina podzemnih voda je rasla, a nakon toga kontinuirano opada s iznimkom početka rujna kada je došlo do relativno naglog porasta vodostaja Dunava što se reflektiralo i na razinu podzemnih voda u pijezometrima ZM4, ZM5 i ZM6 koji se nalaze u nizinskom zaobalju lateralnog kanala.

Za isto to razdoblje analizirano je kretanje podzemnih voda u odnosu na lateralni kanal.

Prikaz svih 36 opažanih nizova podataka za svaki od pijezometara bio bi dosta nepregledan, te su stoga oni podijeljeni u 4 skupine:

- Odnos razina podzemnih voda u lijevom i desnom zaobalju prema vodostajima u kanalu tijekom faze crpljenja vode iz Dunavca u kanal ( Slika 2.20.)
- Odnos razina podzemnih voda u lijevom i desnom zaobalju prema vodostajima u kanalu tijekom gravitacijskom ispuštanja vode iz kanala u Dunavac (Slika 2.21.)
- Odnos razina podzemnih voda u lijevom i desnom zaobalju prema vodostajima u kanalu tijekom vegetacijskog razdoblja (Slika 2.22.)
- Odnos razina podzemnih voda u lijevom i desnom zaobalju prema vodostajima u kanalu tijekom izvan vegetacijskog razdoblja (Slika 2.23.)

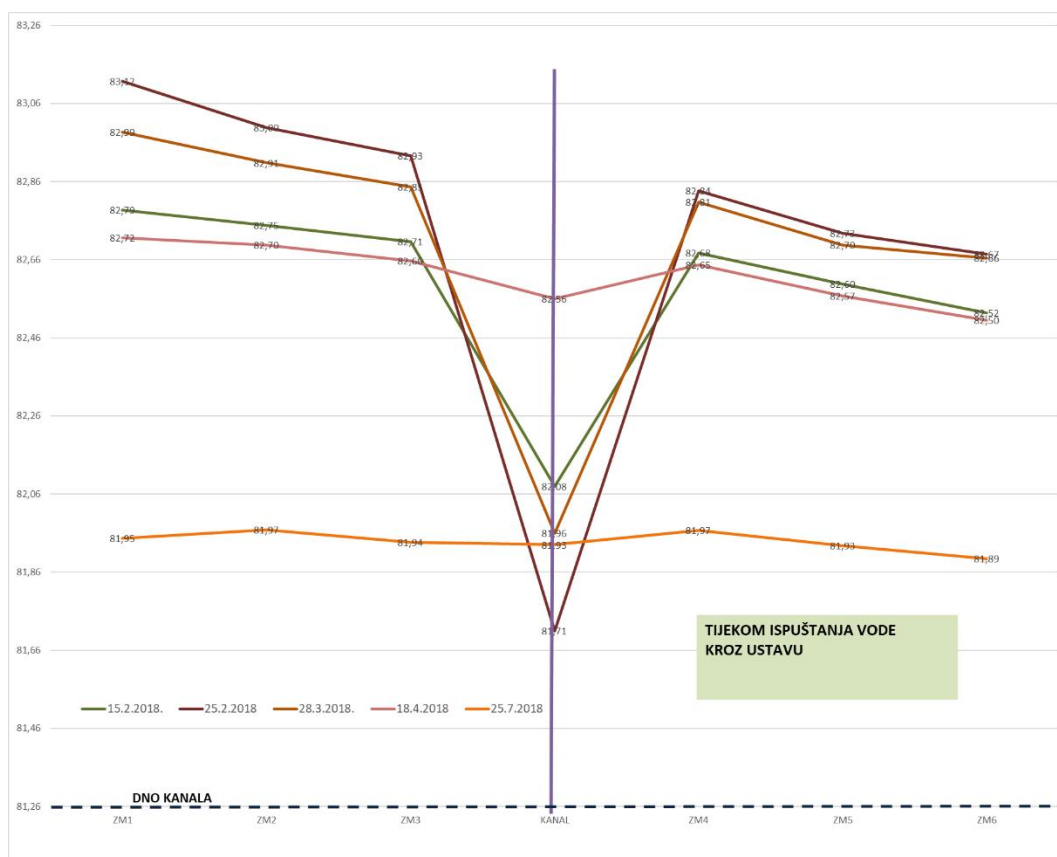


Slika 2.20 Razine podzemnih voda u zaobalju u odnosu na vodostaj u lateralnom kanalu tijekom crpljenja vode

Tijekom analiziranog razdoblja 4 puta se voda upuštala u lateralni kanal crpljenjem (slika 2.20). I to početkom svibnja i početkom lipnja, znači u vrlo osjetljivoj fazi vegetacijskog razdoblja kada je korisnicima sustava za navodnjavanje voda bila potrebna i trebala je biti dostupna. Krajem lipnja (20. lipnja) zbog višeg vodostaja Dunava bilo je moguće gravitacijski upustiti vodu u lateralni kanal. Na slici 2.20 su prikazane te 4 karakteristične situacije na kojima se uočava povišenje vodostaja u odnosu na podzemne vode zaobalja. Crpljenje je trajalo 8-10 sati dok se vodostaj u kanalu nije povisio na +500 cm (relativni vodostaji u odnosu na vodomjer CS Zmajevac).

Druga karakteristična situacija odnosi se na razdoblja ispuštanja vode iz lateralnog kanala tijekom razdoblja kada on obavlja funkciju pravog lateralnog kanala kojim se voda prikupljena površinskim otjecanjem s brdskog područja odvodi s melioracijskog područja. Zbog povoljnih odnosa vodostaja Dunava i lateralnog kanala u analiziranom razdoblju bilo je moguće gravitacijski ispuštati vodu otvaranjem ustave uz CS Zmajevac. Voda iz kanala ispuštala se dominantno tijekom veljače i ožujka i manje u travnju i svibnju (slika 1.8, slika 2.21).



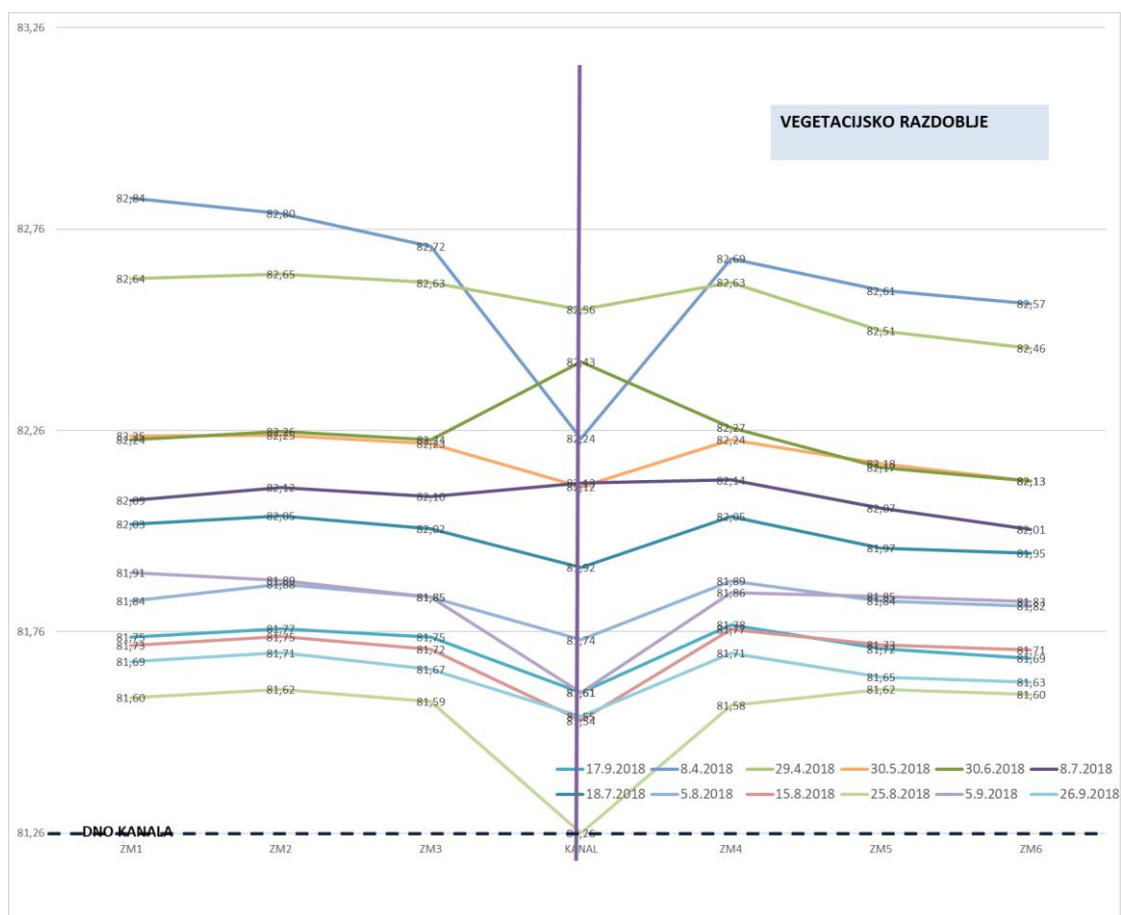


Slika 2.21 Razine podzemnih voda u zaobalju u odnosu na vodostaj u lateralnom kanalu tijekom ispuštanja vode

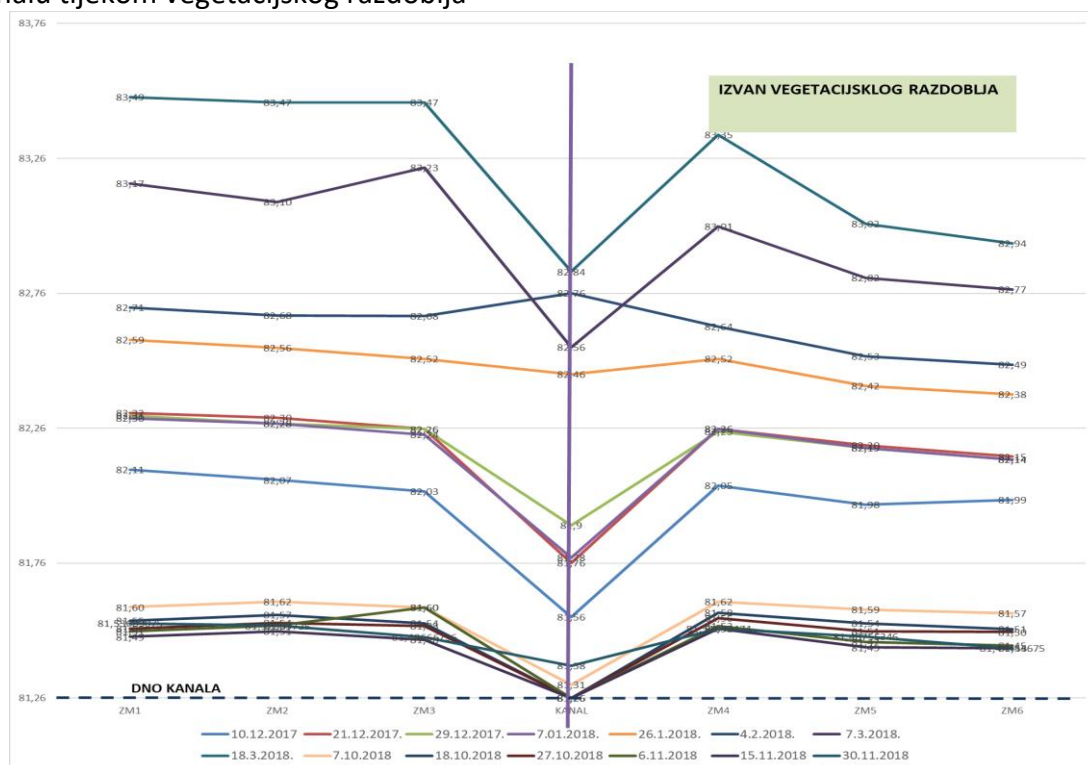
Suprotno prethodnom slučaju, zbog nestacionarnih uvjeta izazvanih ispuštanjem vode vodostaj u kanalu se puno brže spuštao, nego što se mogla uspostaviti komunikacija sa podzemnim vodama zaobalja, u ovom slučaju efluentni tok.

Slike 2.22. i 2.23. pokazuju stanja i odnose vodostaja u lateralnom kanalu u vegetacijskom razdoblju (travanj-rujan) i izvanvegetacijskom razdoblju (listopad-ožujak), bez kratkotrajnih epizoda umjetnog dovođenja ili odvođenja vode, kad je lateralni kanal imao odlike akumulacije, bez pojave tečenja.

Slika 2.22. prikazuje odnos razina podzemnih voda u lijevom i desnom zaobalju prema vodostajima u kanalu tijekom vegetacijskog razdoblja. Najviši vodostaj bio je krajem travnja i otada kontinuirano opada, dok je krajem srpnja, pred kraj analiziranog razdoblja gotovo presušio ili je bilo samo nekoliko centimetara vode. Lijevo zaobalje ima puno višu razinu podzemne voda nego desno (nizinsko) zaobalje. Komunikacija kanala i podzemnih voda postoji, ali se uočava utjecaj obloge.

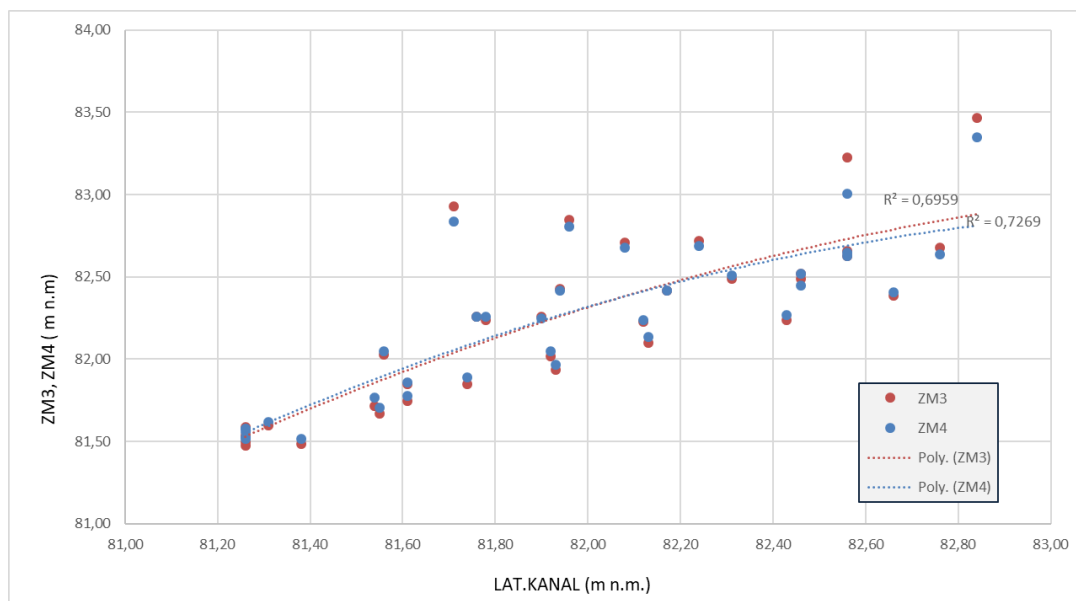


Slika 2.22. Razine podzemnih voda u lijevom i desnom zaobalju prema vodostajima u kanalu tijekom vegetacijskog razdoblja



Slika 2.23. Razine podzemnih voda u lijevom i desnom zaobalju prema vodostajima u kanalu tijekom izvanvegetacijskog razdoblja

Slika 2.23. prikazuje odnos razina podzemnih voda u lijevom i desnom zaobalju prema vodostajima u kanalu tijekom izvanvegetacijskog razdoblja. Tijekom jeseni 2018. godine kanal je bio gotovo prazan, a razine podzemnih voda u zaobalju bile su za oko 50 cm više, pri čemu nije uočljiva komunikacija između zaobalja i kanala.



Slika 2.24. Korelacija vodostaja u lateralnom kanalu i susjednim pijeziometrima ZM3 i ZM4

Koliko je učinkovit dovod vode lateralnim kanalom može se definirati korelacijom vodostaja u kanalu i pijeziometrima u lijevom i desnom zaobalju. Što je koeficijent korelacije ili determinacije manji to su vodostaji neovisniji. Ako otpora ne bi uopće bilo, u vrlo poroznom šljunkovitom ili pjeskovitom tlu, koeficijenti korelacije bi bilo vrlo bliski jedinici i retardacija u promjeni vodostaja u pijeziometrima bila bi neznatna. U ovom slučaju retardacija svakako mora postojati zbog glinovite obloge.

Na slici 2.24. prikazan je taj odnos na presjeku Zmajevac. Uzevši u obzir sve mjerene podatke, koeficijenti determinacije su u oba slučaja vrlo slični  $R^2=0,696$  i  $R^2=0,727$ .

## 2.4. Utjecaj Dunava

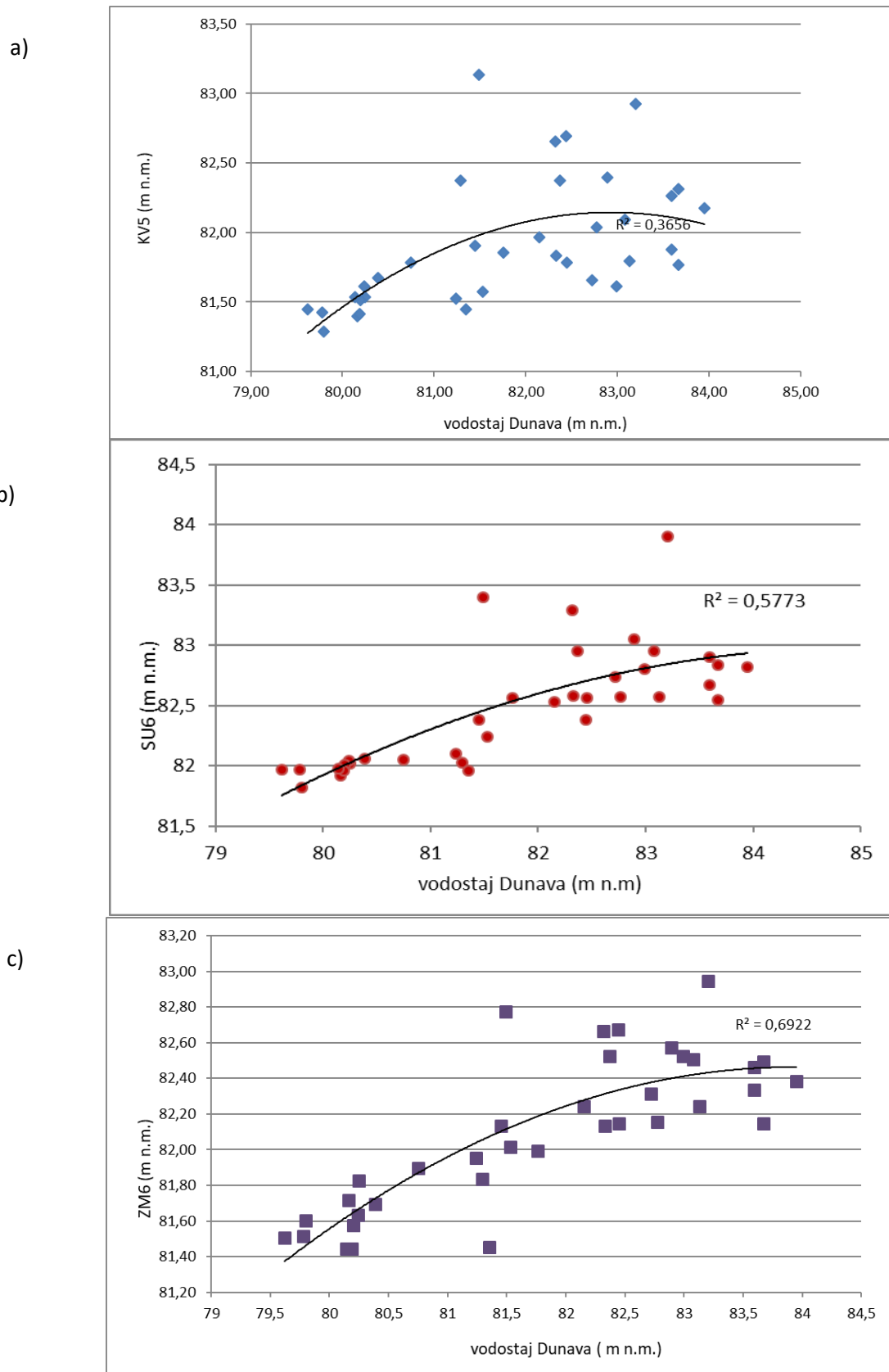
Lateralni kanal položen je na kontaktu brdskog i nizinskog dijela sliva kako bi mogao zadovoljiti dvojaku funkciju- prikupiti površinsko otjecanje s brdskog dijela sliva i omogućiti dovod vode za navodnjavanje nizinskog dijela sliva. Odabrani karakteristični presjeci, Kneževi Vinogradi, Suza, Zmajevac imaju različite udaljenosti od rijeke Dunav, odnosno njegove inundacije ( Slika 2.25.). Kreću se od 10 - 2 km što ima utjecaj na dominaciju Dunava u odnosu na podzemne vode nizinskog dijela promatranog područja koje obuhvaća sustav SN Baranja koji je u razvoju.



Slika 2.25. Udaljenost analiziranih presjeka od Dunava

Drugim riječima, tijekom analiziranog razdoblja uočeno je da tijekom trajanja niskih vodostaja Dunava on drenira desno, nizinsko zaobalje lateralnog kanala, a tijekom većih vodostaja ga prihranjuje. To je normalni hidrološki proces koji je to intenzivniji što se radi o lakšim tlima, ali je značajan jer utječe na potrebu za vodom tijekom navodnjavanja. Kako se povišeni vodostaji Dunava uglavnom javljaju u razdoblju od svibnja-lipnja to znači da u tom razdoblju kada je potreba za vodom biljaka relativno velika, možemo očekivati manju potrebu za navodnjavanjem, odnosno umjetnim dovodenjem vode jer je vode u tlu još relativno dovoljno.

Utjecaj Dunava na razine podzemnih voda je to veći što mu se područje nalazi bliže, a to je prikazano na slikama 2.26. a), 2.26. b) i 2.26.c). Pri tome je za svaki presjek odabran pijezometar koji je najbliži Dunavu, odnosno najudaljeniji od obale kanala ( KV5, SU6 i ZM6).



Slika 2.26. Korelacije vodostaja Dunava i pijezometara najbližih Dunavu u presjeku K.Vinogradi a), Suza b) i Zmajevac c)

Koeficijenti determinacije sukcesivno rastu, od 0,365 u presjeku Kneževi Vinogradi, preko 0,577 u presjeku Suza do 0,692 u presjeku Zmajevac kako se smanjuje udaljenost pijezometra od Dunava. Zbog relativno propusnog zemljišta, mješavine praha, gline i pijeska, gdje je na pojedinom dijelovima zastupljenost pijeska dosta velika zbog čega je i bilo potrebno izvoditi oblogu kanal ovakav odnos nije iznenađujući.

### 3. VODNA BILANCA

Okvirna vodna bilanca proračunata je temeljem opažanih podataka ( površinsko otjecanje  $Q$  i infiltracija/perkolacija,  $I$  ), meteoroloških podataka ( dnevne količine oborina  $P$ , i dnevne temperature zraka), podataka o upuštanju/ispuštanju vode u lateralni kanal  $\pm C$ , i proračunatih vrijednosti potencijalne evapotranspiracije,  $ET_o$ . Rezultat jednadžbe vodne bilance je vlažnost u tlu  $\Delta W$ , kao rezultat infiltracije vode u tlo, dok se mjerenjima promjene razine podzemnih voda u pijezometrima određuje vrijednost perkolacije,

što se može zapisati standardnom jednadžbom vodne bilance.

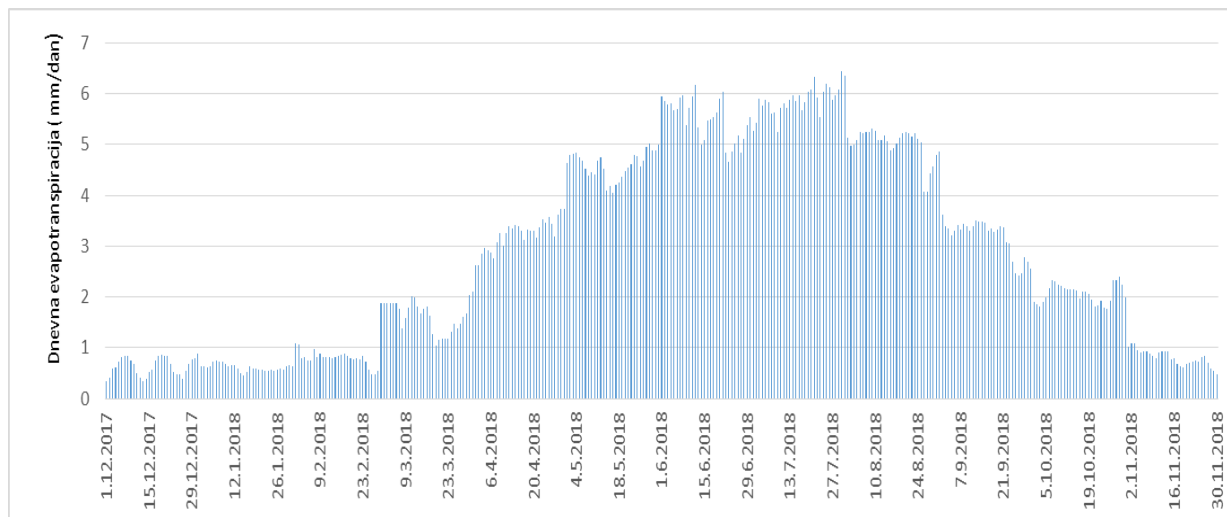
$$P - Q \pm C - ET - I = \Delta W \quad (\text{mm}) \quad (1)$$

Kao referentni presjek odabran je presjek Zmajevac, opet zbog blizine CS Zmajevac. Na slikama iz prethodnog poglavlja, Slika 1.6 i Slika 1.8., prikazane su vrijednosti dnevnih oborina, i količine ispuštanja/upuštanja vode iz Dunavca. Na slici 2.18 prikazan je vremenski hod razina podzemne vode u pijezometrima presjeka Zmajevac. Proračunski interval je 10 dana, razdoblje u kojem su vršena opažanja.

Za dalju analizu bilance voda proračunata je potencijalna evapotranspiracija prema metodi Hargreavesa prema sljedećem izrazu:

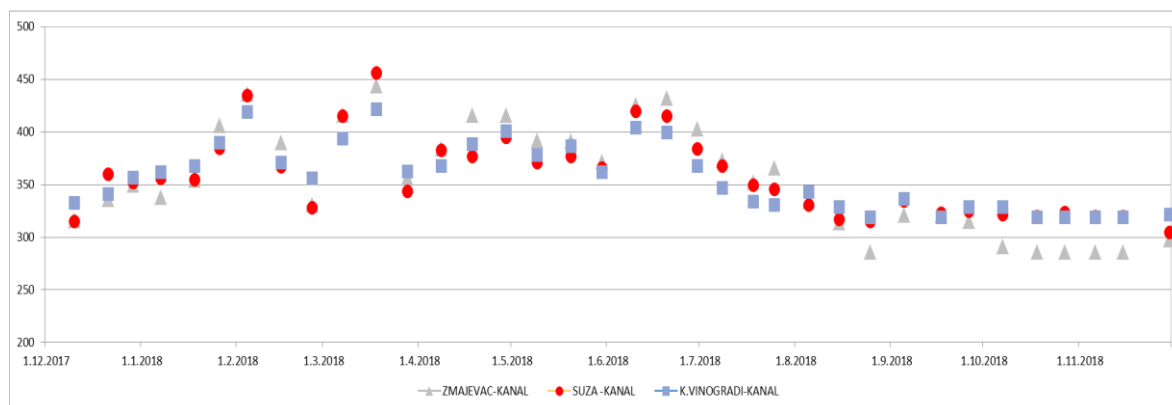
$$ET_o = 0.0135 R_s (T + 17.8) \quad (\text{mm/dan}) \quad (2)$$

gdje je:  $T$  = dnevna temperatura zraka u  $^{\circ}\text{C}$ , a  $R_s$  Sunčeva radijacija na površini zemlje ( . Jednadžba za izračun potencijalne evapotranspiracije je relativno jednostavna, a njezina primjenjivost za ovo područje Europe potvrđena je u više objavljenih radova. Na slici 3.1. prikazane su proračunate vrijednosti dnevne potencijalne evapotranspiracije.



Slika 3.1. Dnevne vrijednosri potencijalne evapotranspiracije

Relativni vodostaji u lateralnom kanalu ( prema vodomjeru na CS Zmajevac) za sva 3 presjeka prikazani su na slici 3.2., gdje se vrlo jasno vide razdoblja najintenzivnijih ispuštanja vode kroz ustavu ( veljača i ožujak), kao i crpljenja u svibnju i lipnju što je prikazano na slici 1.8.

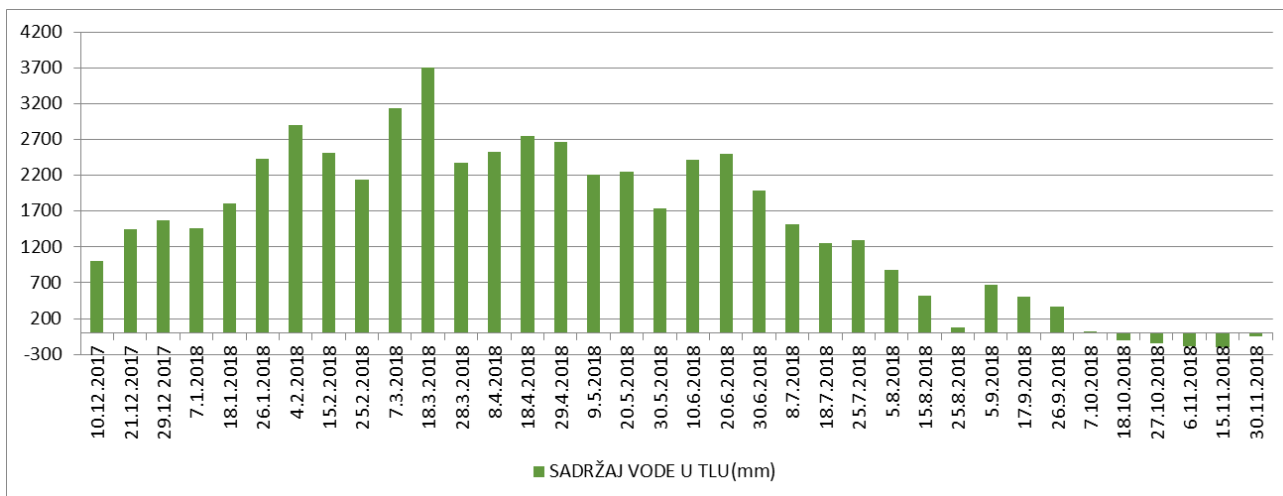


Slika 3.2. Relativni vodostaji u lateralnom kanalu u sva 3 karakteristična presjeka

Uspoređujući vodostaje u presjecima Kneževi Vinogradi, Suza i Zmajevac uočava se također nekonzistentnost u vodostajima, radi se o razlikama u maksimalno 10 cm, što je posljedica nestacionarnosti strujanja tijekom crpljenja, ali i promjena na niveleti koje su se stvorile zadržavanjem sedimenta i erozijom obale na pojedinim dionicama.

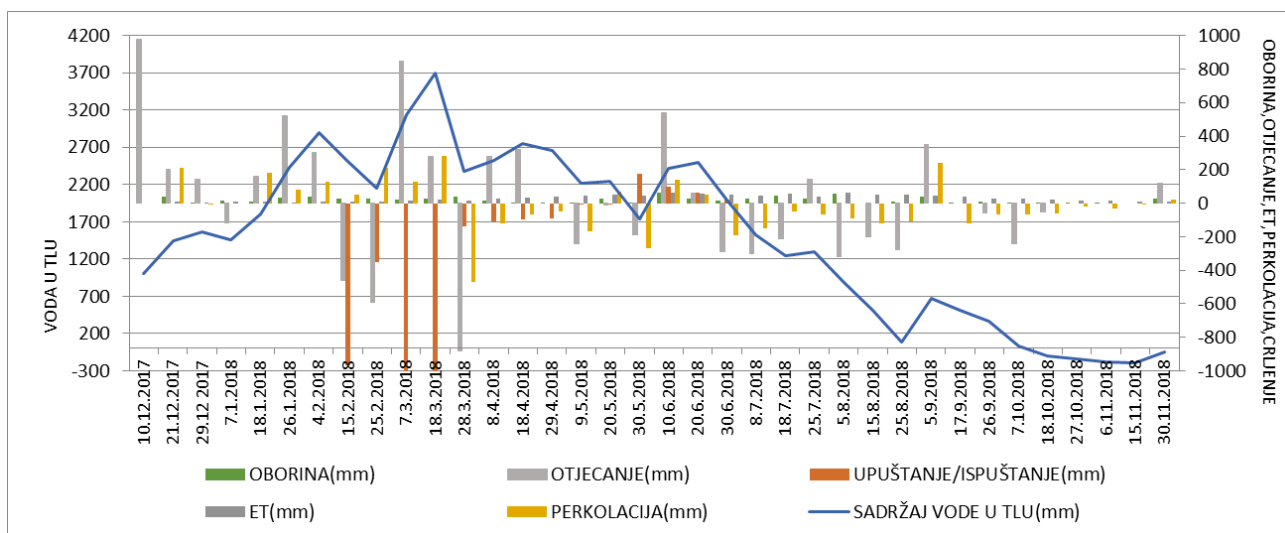
Rezultat bilanciranja je vlažnost tla, odnosno voda akumulirana u tlu, što je prikazano na slici 3.3. Kako je razdoblje bilanciranja započeto tijekom zime 2017., (1.prosinca), pretpostavljena je relativno velika saturiranost zemljišta vodom. Prema pedološkim karakteristikama, tla s

dominacijom praha, pijeska i gline početno stanje vlažnosti od 100 cm je uobičajeno za početno stanje vlažnosti.



Slika 3.3. Promjena sadržaja vode u tlu tijekom analiziranog razdoblja

Izvan vegetacijsko razdoblje 2017/2018.godine bilo je relativno bogato vodom bilo od snijega bilo od oborina i to sve do kraja ožujka (slika 1.6). To je rezultiralo visokim sadržajem vlage u tlu na početku vegetacijskog razdoblja. Nedostatak vode za potrebe biljaka i potreba za navodnjavanjem nije se osjećala sve do svibnja-lipnja kada je voda iz Dunavca upuštena u lateralni kanal, dijelom i zbog visokog vodostaja Dunava. Izrazitije karakteristike sušnog razdoblja pojavile su se tek od kolovoza, i s kratkim kišnim razdobljima, takvo bezoborinsko vrijeme zadržalo se do kraja studenog što je rezultiralo nedostatkom vode u tlu (slika 3.4).



Slika 3.4. Sve komponente vodne bilance

Prikazana vodna bilanca vrlo je okvirni prikaz promjena osnovnih hidroloških varijabli tijekom vremena, ali ocjenjujemo da daje dosta realnu sliku kretanja vode u analiziranoj godini koja je



bila dosta specifična u pogledu potreba za vodom za navodnjavanje. Detaljniji prikaz je u poglavlju 6.

#### 4. ANALIZA VODE I SEDIMENTA NA TEŠKE METALE

Jedan od istraživačkih zadataka bio je i analiza kakvoće površinske vode iz lateralnog kanala, podzemne vode zahvaćene iz pijezometra i uzorka sedimenta na teške metale ( živa, bakar, kadmij, olovo , krom i nikal). Uzorkovanje je provedeno 2x, u svibnju i studenom 2018.godine i svi uzorci uzeti su na presjeku Zmajevac.

U Hrvatskoj ne postoji pravilnik ili standard prema kojem bi se određivala onečišćenost sedimenta u kanalima, ali takvi standardi postoje u nekim drugim zemljama u Europi i izvan nje. Ovaj problem ima dvojaki karakter – problem definiranja statusa sedimenta s obzirom na stupanj onečišćenosti i problem kategorizacije sedimenta u cilju određivanja mogućnosti njegovog odlaganja. Najbliži dokument koji se bavi problemom onečišćenja sedimenta je Prijedloga graničnih vrijednosti za određene opasne tvari u sedimentu kopnenih površinskih voda ( Institut Ruđer Bošković, 2017.) koji se više odnosi na prirodne vodotoke i Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja ( NN 39/2013, 9/2014) donešen u cilju zaštite poljoprivrednog zemljišta i indirektno se dotiče problema odlaganja izvađenog sedimenta iz kanala tijekom redovitog održavanja. U sklopu istraživanja su uzeta dva uzorka sedimenta i analizirana je koncentracija teških metala, koja je potom komparirana s graničnim vrijednostima definiranim različitim pravilnicima prikazanim u tablici 4.1.

Tablica 4.1. Granične vrijednosti koncentracije teških metala u sedimentima prema kriterijima raznih zemalja

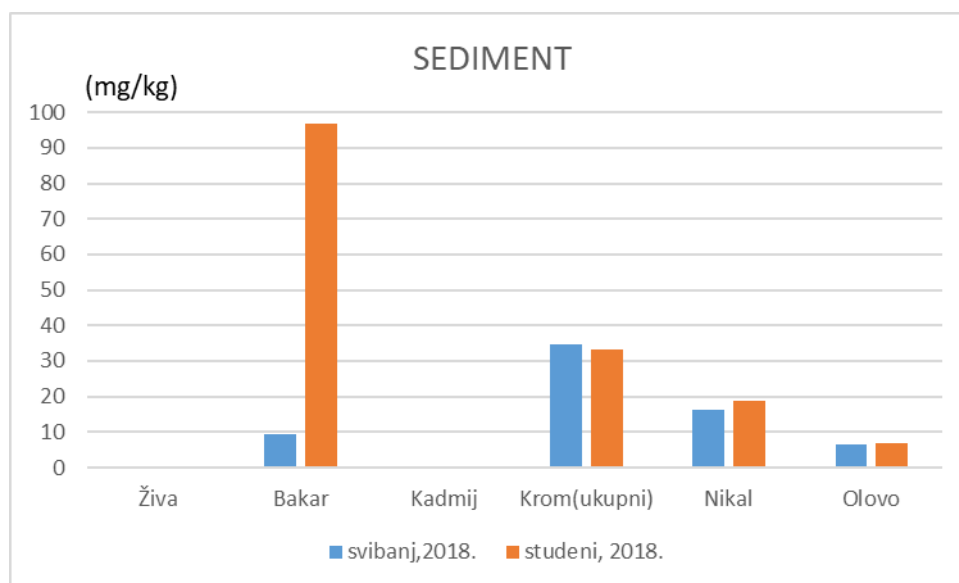
Teški metal	Prijedlog HR gr. vrijednosti	Kriteriji za kvalitetu sedimenta drugih zemalja – granične vrijednosti ( mg kg <sup>-1</sup> )				
		1.	2.	3.	4.	5.
Živa	0,25	0,5-1	-	-	-	0,3
Bakar	28	60-90	197	36	35,7	36
Kadmij	0,6	0,5-1	3,53	0,8	0,6	0,8
Krom	57	40-80	90	100	37,3	100
Nikal	47	30-50	36	35	-	35
Olovo	31	50-100	91,3	85	35	85
Cink	90	60-150	315	140	123	-

U nastavku su navedeni kriteriji obuhvaćeni tablicom 4.1.

1. Izrada prijedloga graničnih vrijednosti za određene opasne tvari u sedimentu kopnenih površinskih voda ( Institut Ruđer Bošković, 2017)

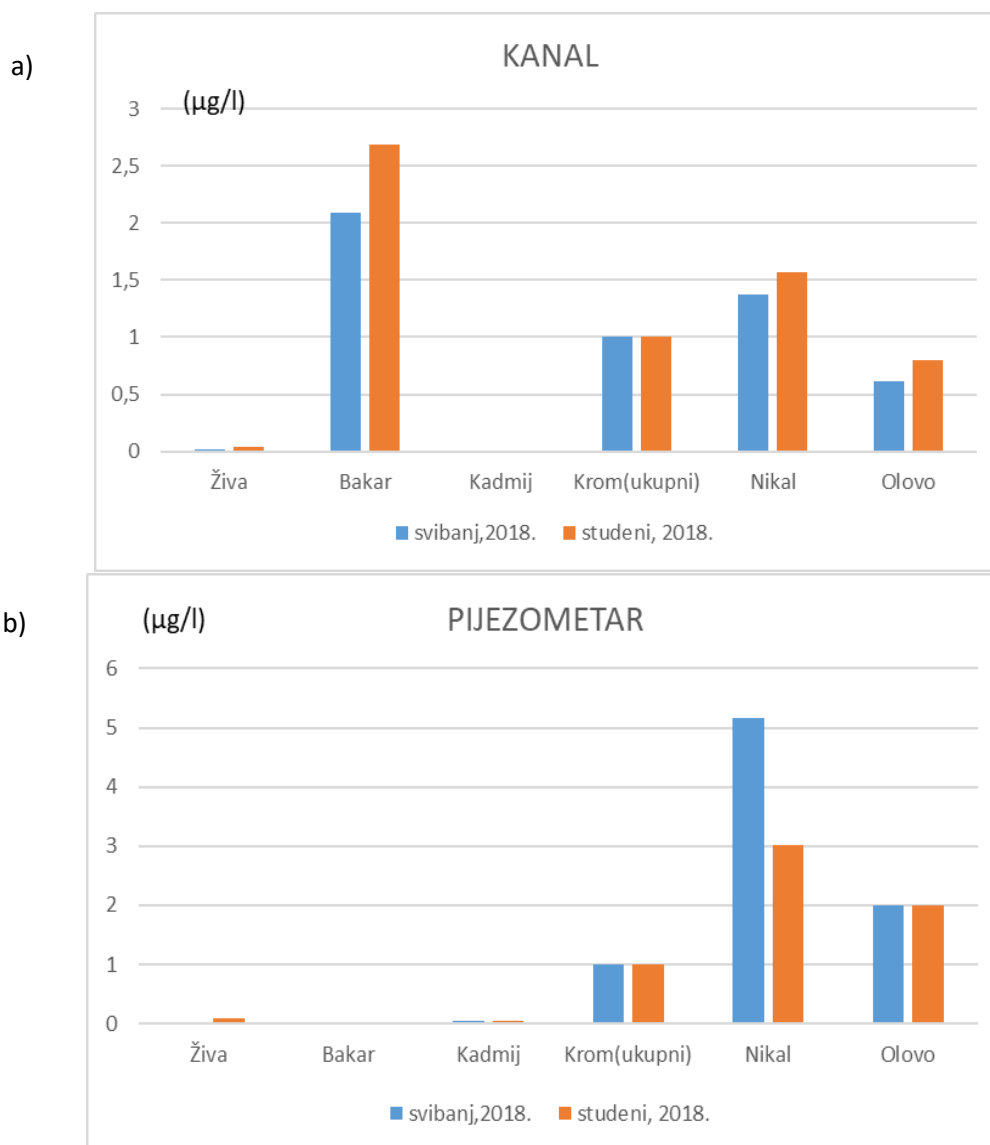
2. Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja ( NN 39/2013, 9/2014) – podatci o graničnim vrijednostima su dani prema karakteristikama tla ( pjeskovito, praškasto-ilovasto i glinasto tlo). U tablici su vrijednosti za praškasto-ilovasto tlo
3. US EPA, 2001- razina mogućeg efekta ( PEL- probable effect level)
4. Nizozemski sustav klasifikacije maksimalno dopuštenih koncentracija metala-ciljana vrijednost
5. Kanadski propisi- teorijski moguća vrijednost utjecaja
6. Uredba o graničnim vrijednostima zagađujućih materijala u površinskim i podzemnim vodama i sedimentu i rokovima za njihovo postizanje Republike Srbije – ciljne vrijednosti

Uzorci sedimenta uzeti su u svibnju i studenom 2018.godine i koncentracije teških metala prikazani su na slici 4.1. U odnosu na prethodno navedene kriterije jedino koncentracije bakra prelaze dozvoljene vrijednosti. Pri tome treba uzeti u obzir činjenicu da je izgradnja kanala završena 2015.godine i da se akumulacija onečišćenja odvijala tijekom samo 3 godine. Usporedbom onečišćenja teškim metalima u svibnju i studenom nema odstupanja, osim kod koncentracije bakra koja je 10x veća u studenom nego u svibnju 2018.godine.



Slika 4.1. Koncentracija teških metala u sedimentu lateralnog kanala

Također su analizirane koncentracije teških metala u uzorku površinske vode zahvaćene iz lateralnog kanala i podzemnoj vodi zahvaćenoj iz pijezometra ( Slika 4.2a i 4.2.b ).

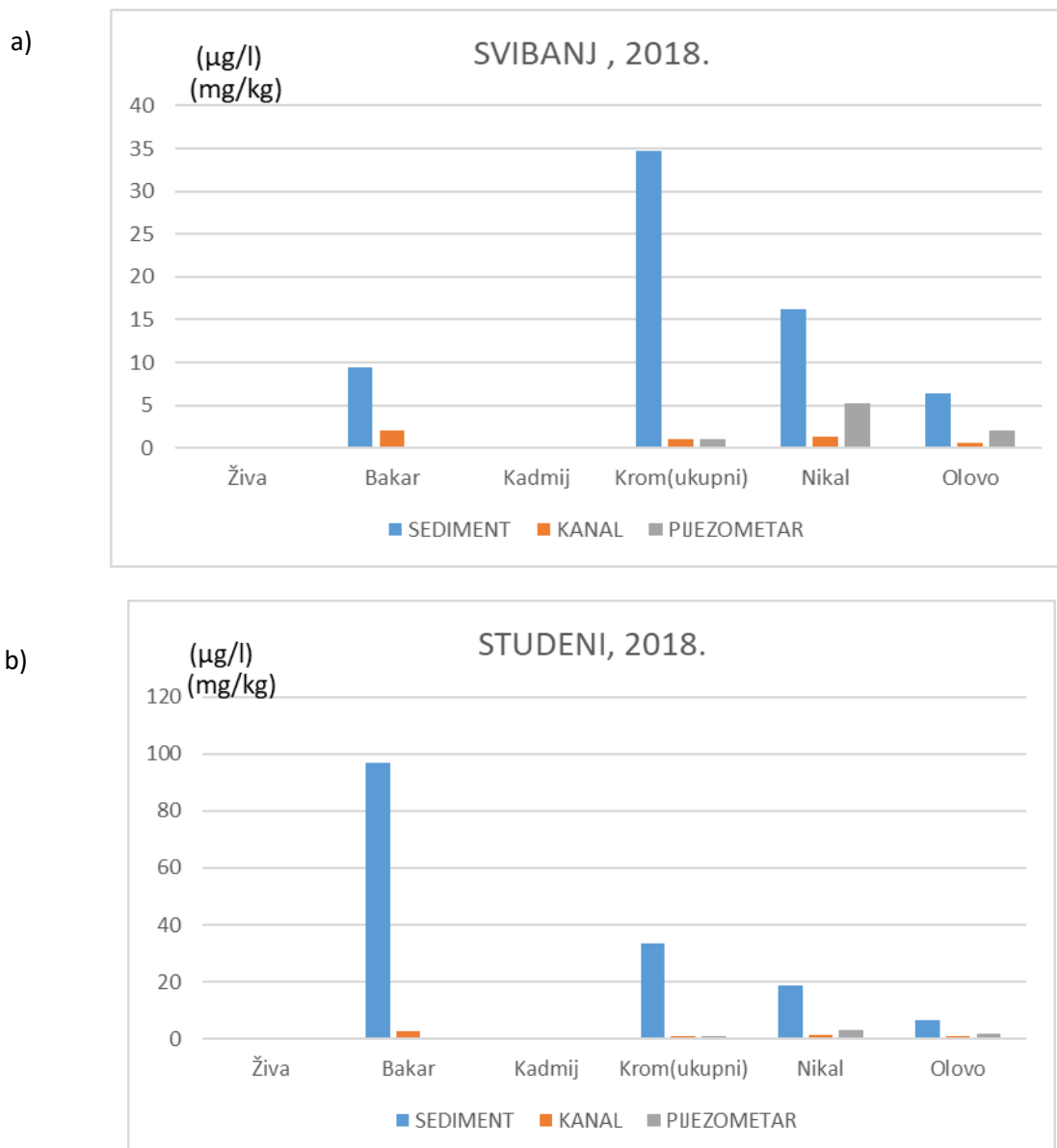


Slika 4.2. Koncentracije teških metala u površinskoj vodi lateralnog kanala a) i površinskoj vodi pijezometra b)

Dobivene vrijednosti onečišćenosti površinskih voda, Slika 4.2 a), uspoređene su s vrijednostima određenim Uredbom o standardu kakvoće voda ( NN 73/2013) i to vrijednostima dozvoljenih koncentracija teških metala u kopnenim vodama koje obuhvaćaju rijeke, jezera i s njima povezana umjetna ili znatno promijenjena vodna tijela. Prema toj uredbi određene su maksimalne godišnje koncentracije ( MGK) kadmija (  $\leq 0,45 \mu\text{g/l}$ ), olova ( n/p) žive (  $0,07 \mu\text{g/l}$ ) i nikla (n/p) i nijedan od tih teških metala u lateralnom kanalu ne prelazi dozvoljenu vrijednost.

Onečišćenje podzemnih voda teškim metalima, Slika 4.2. b), također pokazuje neznatnu onečišćenost s obzirom MDK teških metala u podzemnim vodama.

Slika 4.3 prikazuje odnos koncentracija teških metala u sedimentu, površinskim i podzemnim vodama.



Slika 4.3. Onečišćenost sedimenta, površinske vode lateralnog kanala i podzemne vode u svibnju 2018.a) i studenom 2018. b)

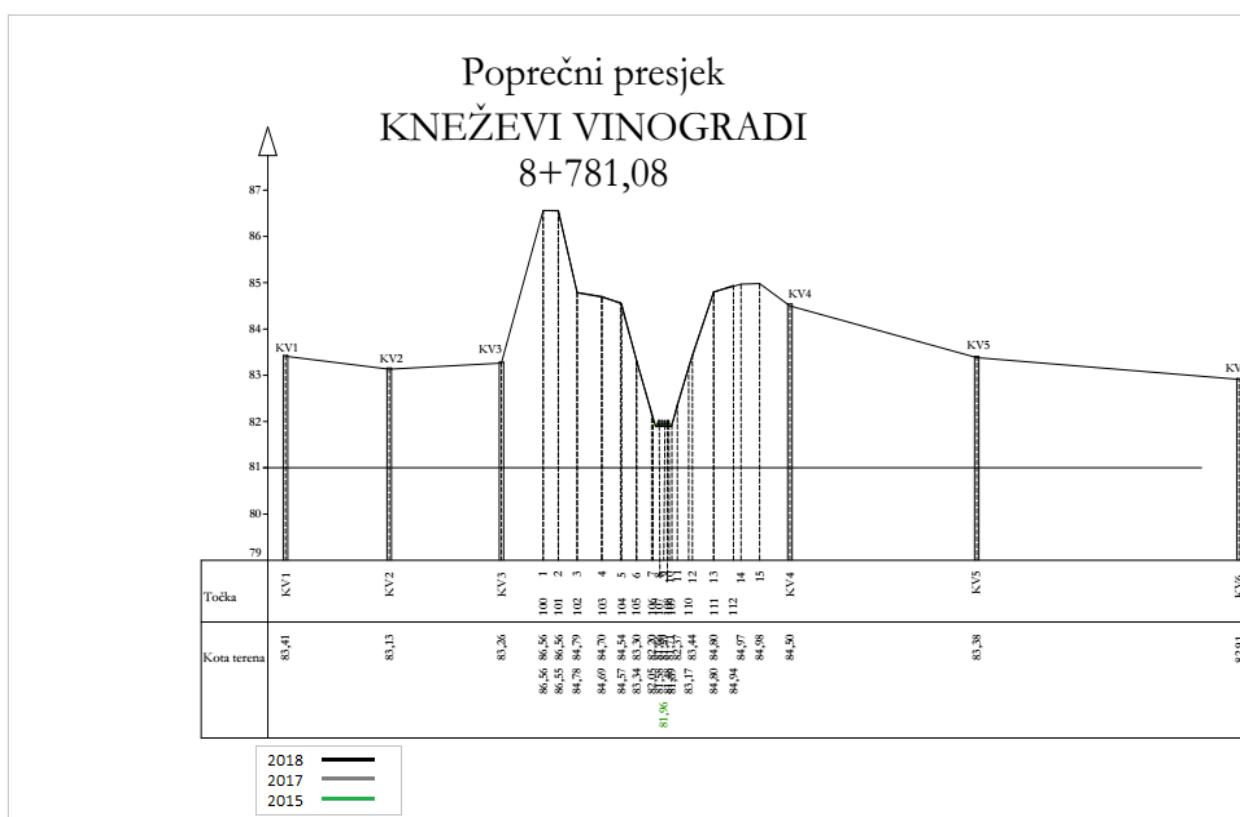
Usporedba onečišćenosti sedimenta, površinske vode lateralnog kanala i podzemne vode zahvaćene iz pijezometra u svibnju i studenom 2018. godine ima za cilj pokazati utjecaj površinskog otjecanja na stupanj onečišćenja. Prema dobivenim rezultatima nema razlike između onečišćenja kadmijem, kromom, bakrom, niklom i živom uzorkovanim nakon zimskog i proljetnog razdoblja s većom količinom oborina koja izaziva površinsko otjecanje i onečišćenja opažanog u jesen, nakon relativno sušnog razdoblja. Razlika je jedino kod koncentracije bakra koja je u studenom bila oko 10x veća. Stoga ima osnova za ponavljanje uzorkovanja.

## 5. PROMJENE NIVELETE DNA LATERALNOG KANALA

U prvoj fazi provedbe projekta provedeno je preliminarno snimanje poprečnih presjeka, K. Vinogradi ( stac.8+781,08), Suza (stac.4+488,65) i Zmajevac ( stac.2+291,72) u rujnu 2017. godine. Snimanje je ponovno ponovljeno u studenom 2018. godine. Tako dobiveni poprečni profili preklopljeni su s poprečnim profilima izvedenog stanja (2015). U 2018. godini je osim poprečnih profila snimljeno i dno lateralnog kanala od CS Zmajevac ( stac. 0+012) do presjeka uz most Kneževi Vinogradi ( stac.8+781,08). Novosnimljeno dno preklopljeno je ponovo s uzdužnim profilom izvedenog stanja lateralnog kanala.

Ovim snimanjima evidentirane su promjene na niveleti koje su se dogodile tijekom 3 godine eksploatacije kanala i to dominantno povišenja dna koje je nastalo erozijom pokos i ispiranjem čestica tla površinskim otjecanjem ( vodnom erozijom). Manji je dio čini doprinos taloženja suspendiranog sedimenta Dunava jer su razdoblja crpljenja vode iz Dunava bila vrlo kratka. Kako je većim dijelom godine ustava na lateralnom kanalu bila zatvorena, i cijeli kanal je imao karakteristiku akumulacije proces taloženja erodiranog materijala bio neminovan.

Na slikama 5.1., 5.2. i 5.3. prikazani su karakteristični presjeci gdje su naznačene nivelete dna 2015., 2017., i 2018.godine. Pri tome razlike između kota dna 2017. i 2018.gotovo da i nema razlike.



Slika 5.1. Poprečni presjek Kneževi Vinogradi s naznačenim promjenama na dnu kanala





## 6. NUMERIČKI MODEL

### 6.1. Uvod

Trodimenzionalni model strujanja podzemne vode i pronosa nitrata rađen je u računalnom programu GMS 10.2 (Groundwater Modeling System). Model strujanja podzemne vode rađen je pomoću programskog paketa MODFLOW koji je integriran u GMS. MODFLOW (engl. MODular three-dimensional finite difference groundwater FLOW model), razvijen 1980-tih godina unutar organizacije United States Geological Survey (USGS), je najčešće korišten računalni program za trodimenzionalni prikaz strujanja podzemnih voda u višeslojnim sredinama uz različite rubne uvjete. Jednadžba na kojoj se bazira trodimenzionalno strujanje podzemnih voda kroz porozni materijal:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

gdje je:

$K_{xx}$ -hidraulička vodljivost (koeficijent filtracije) u pravcu x osi [m/s];

$K_{yy}$ -hidraulička vodljivost (koeficijent filtracije) u pravcu y osi [m/s];

$K_{zz}$ -hidraulička vodljivost (koeficijent filtracije) u pravcu z osi [m/s];

h- piezometarski novo podzemne vode [m];

$S_s$ -koeficijent specifične izdašnosti [ $m^{-1}$ ];

W- protok po jedinici volumena vodonosnika u jediničnom vremenu [m/s].

Jednadžba (1) opisuje strujanje vode kroz heterogen i izotropan medij pod uvjetom da su hidrauličke vodljivosti paralelne s glavnim osima koordinatnog sustava. Kako su analitička rješenja jednadžbe moguća samo u jednostavnim sustavima, primjenjuju se različite metode kako bi se dobila približna rješenja. Najčešće primjenjivana metoda za rješavanje takvih složenijih sustava je metoda konačnih elemenata u kojoj se kontinuirani sustav predstavljen jednadžbom (4.25) zamjenjuje s konačnim setom diskretnih točaka u prostoru i vremenu, a parcijalne derivacije s izrazima određenim iz razlika u piezometarskoj visini u pojedinim točkama.

Prvi korak u procesu modeliranja je stvaranje konceptualnog modela koji sadrži opis fizikalnih, kemijskih i bioloških procesa promatranog sustava. U idućem koraku se konceptualni model prevodi u odgovarajuće matematičke izraze koji, zajedno s rubnim uvjetima vezanima za konceptualni model, čine matematički model.

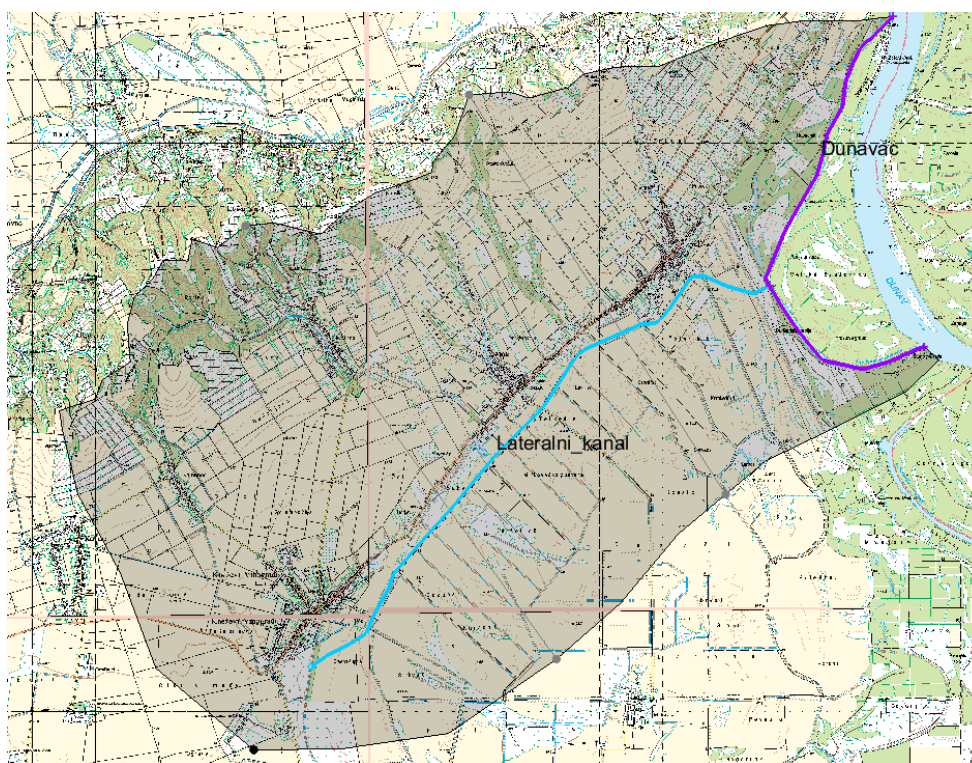
U ovom slučaju je prvo rađen konceptualni model čiji se ulazni podatci vežu uz datum 18. ožujka 2018. kada su zabilježene maksimalne razine podzemne vode. Nakon simulacije, rađena je kalibracija. Na takvom kalibriranom modelu provodena je i parametarska analiza kako bi se utvrdilo koji parametri imaju najveći utjecaj na strujanje podzemnih voda. Posljedna faza



je izrada modela za minimalne razine podzemnih voda izmjerene na dan 27. listopada 2018. koji sadrži, osim ulaznih podataka koji odgovaraju stanju za taj datum, i parametre dobivene kalibracijom prvog modela kao što su koeficijenti filtracije tla.

## 6.2. Konceptualni model

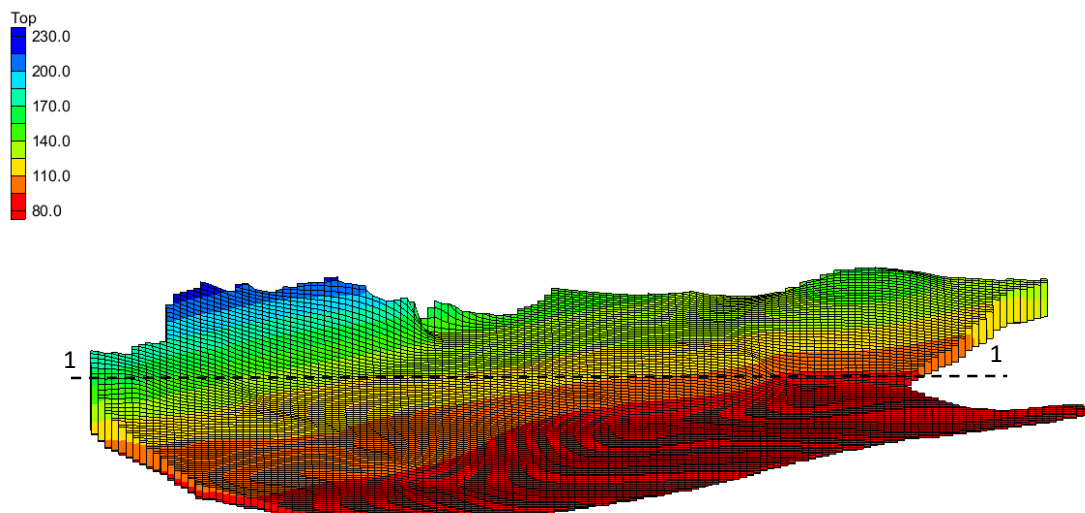
Konceptualni model predstavlja prvi korak modeliranja, a obuhvaća sve procese i podatke vezane uz analizirano područje. Konceptualnim modelom je obuhvaćen lateralni kanal, kao i njegovo okolno područje. Sjeverna granica modela se podudara sa vododjelnicom slivnog područja samog kanala koja je prikazana na slici 1.2, dok je s južne strane modela obuhvaćen i dio poljoprivrednog područja koji bi se trebao u budućoj fazi razvoja sustava SN Baranja navodnjavati vodom iz kanala. Istočna granica modela je Dunavac koji ujedno predstavlja i rubni uvjet modela, dok je na ostalim granicama uvjet da nema tečenja.



Slika 6.1. Granice i elementi konceptualnog modela

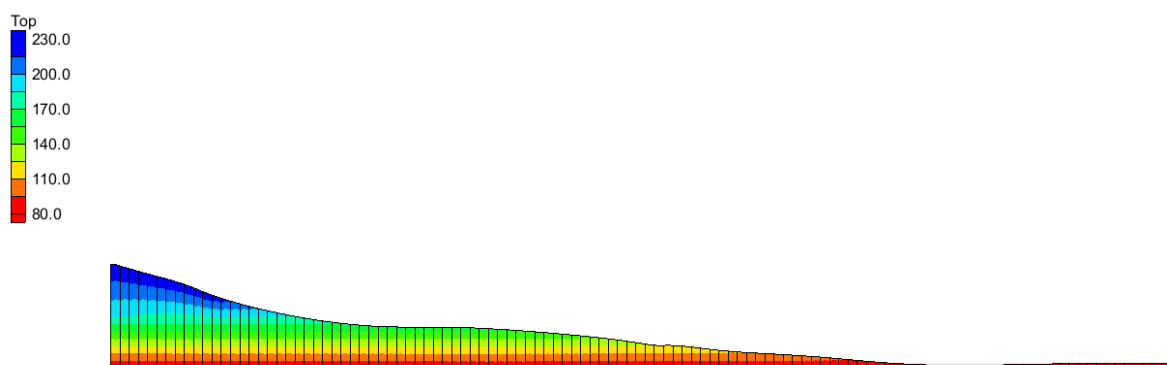
Vodostaji Dunavca, kote dna i bankine kanala, infiltracija, evapotranspiracija, slojevi tla i njihove karakteristike se definiraju u ovoj fazi modeliranja.

Prije samog unosa podataka, napravljen je 3D model terena analiziranog područja (slika 6.2.). Visina terena se kreće od 82 m.n.m. na južnom dijelu dok na sjevernom prelazi i 200 m.n.m.



Slika 6.2. 3D model terena

U sklopu modela definirani su i slojevi tla na temelju Tehničkog izvješća o izvedbi 17 piezometara duž kanala Kneževi Vinogradi-Zmajevac. Tako su na analiziranom području izdvojena dva sloja: prvi, praškasto-glinoviti je na dubini 0-3 m, a drugi koji se sastoji od praha i pijeska 3-5 m. Slojevi su prikazani na slici 6.3.



Slika 6.3. Presjek 1-1

Obzirom na opis litologije koji je dan u uvodnom poglavlju, a prikazan je u tablici 1.1., formirane su za svaki sloj zone oko Suze, Kneževih Vinograda i Zmajevca s nešto drugačijem koeficijentom filtracije (tablica 6.1.)

Tablica 6.1. Koeficijenti filtracije (m/dan) po slojevima tla

Lokacija	1. sloj	2. sloj
Kneževi Vinogradi	0,008	0,43
Suza	0,0086	1,73
Zmajevac	0,0086	4,32

U model je unešena i provodljivost dna kanala u vrijednosti od 200 (m<sup>2</sup>/dan)/m, a izračunata je preko izraza:

$$C = \frac{k}{t}lw \quad (1)$$

gdje je:

C-provodljivost po jedinici duljine [(m<sup>2</sup>/d)/m];

k-hidraulička vodljivost [m/dan];

l-duljina toka [m];

w-širina vodnog lica [m];

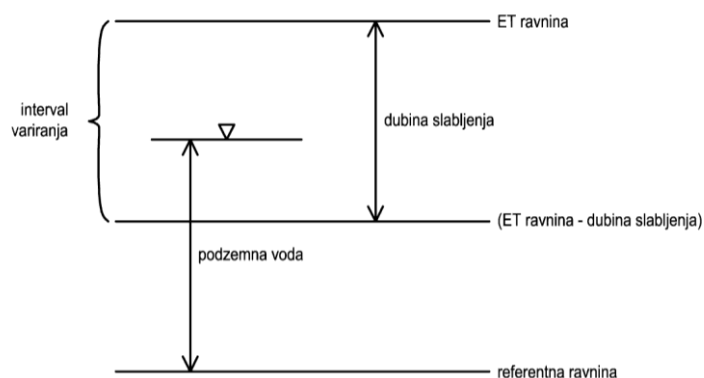
t-debljina dna vodotoka [m].

Kako su rađena dva modela, jedan za maksimalno stanje, odnosno najviše izmjerene razine podzemnih voda koje odgovaraju datumu 18. ožujka 2018., a drugi za minimalne razine podzemnih voda izmjerene na datum 27. listopada 2018. u tablici u nastavku su sukladno tome prikazani i ulazni podatci.

Tablica 6.2. Ulazni podatci za model

Parametar	Maximalne razine (18.3.2018.)	Minimalne razine (27.10.2018.)
Vodostaj- kanal (m.n.m.)	KV:82,62 SU:82,96 ZM:82,84	KV:81,59 SU:81,64 ZM:81,26
Vodostaj- Dunav (m.n.m.)	83,2	79,62
Evapotranspiracija (m/dan)	1,26	2,32
Infiltracija (m/dan)	0,007	0,0056

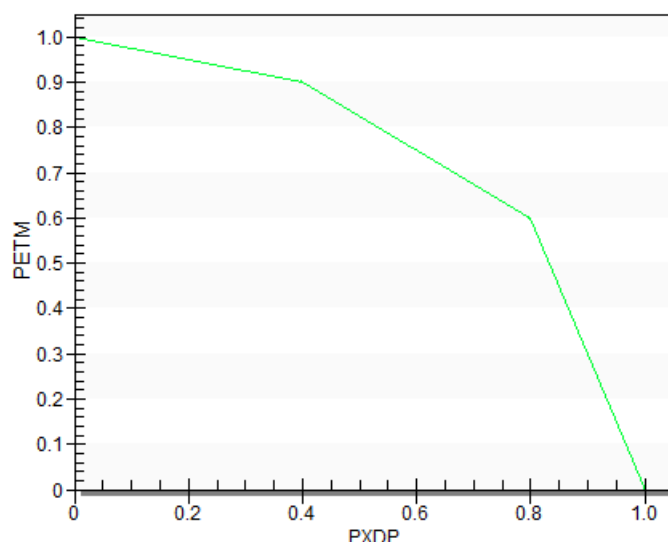
Evapotranspiracija se, osim iznosom u m/dan navedenim u tablici 6.2., definira pomoću još dva parametra, a to su ravnina evapotranspiracije (engl. *surface elevation*) i dubina slabljenja (engl. *extinction depth*). Njihova značenja i međusobna povezanost prikazani su na slici 6.4.



Slika 6.4. Konceptualne razine korištene za simulaciju evapotranspiracije

Ravnina evapotranspiracije je parametar koji ovisi o geometriji modela, dok vrijednost dubine slabljenja ovisi o vrsti tla i pokrova. Obzirom na analizirano područje, odnosno travnati pokrov i praškasto tlo, dubina slabljenja je prema literaturi definirana u iznosu od 530 cm.

Evapotranspiracija se odvija u maksimalnom iznosu kada je razina podzemne vode na ili iznad ravnine evapotranspiracije. Ako razina vode padne ispod dubine slabljenja, evapotranspiracija je 0. Između te dvije točke, evapotranspiracija može varirati linearno ili nelinearno. Prema literaturi, nelinearno ponašanje bolje opisuje ponašanje evapotranspiracije u realnim uvjetima pa je definirano u modelu nelinearnim segmentnim krivuljama. Početak i kraj segmenata definirani su udjelom (od 0 do 1) dubine slabljenja (PXDT koordinata) i udjelom evapotranspiracije (PETM koordinata). Dubina slabljenja iznosi 0 u ravnini evapotranspiracije, a na dnu intervala 1, dok je veličina evapotranspiracije 1 u ravnini, a na dnu intervala 0. Izgled krivulje korištene u modelu prikazan je na slici 6.5.



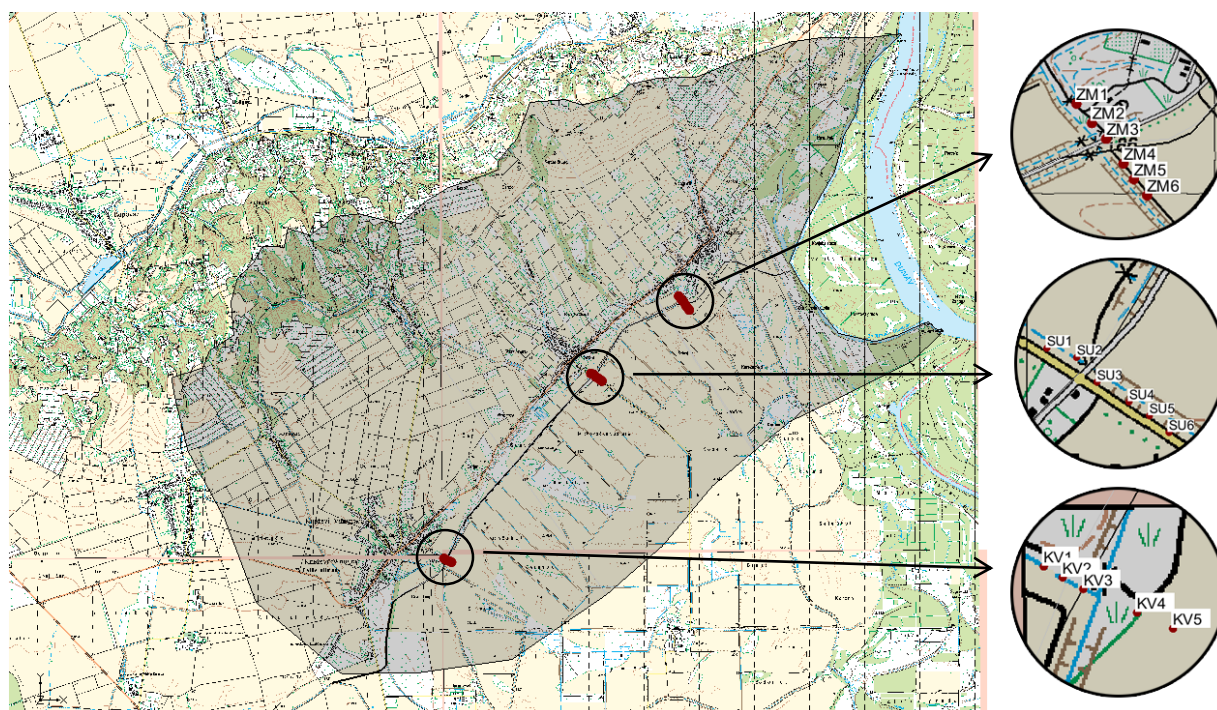
Slika 6.5. Nelinearna segmentna krivulja korištena u modelu

Na razini konceptualnog modela definirane su i lokacije piezometara i razine podzemne vode korištene za kalibraciju modela. To su piezometri izvedeni uz bankine kanala na tri lokacije:

Kneževi Vinogradi, Zmajevac i Suza. Na svakoj lokaciji je izvedeno 6 piezometara, po 3 sa svake strane. Na njima se redovno vršila mjerenja razine podzemne vode tijekom trajanja provedbe projekta, a za kalibraciju modela su korištene maksimalne izmjerene vrijednosti koje odgovaraju datumu 18.3.2018., a prikazane su u tablici 6.3. Lokacije piezometara su prikazane na slici 6.6.

Tablica 6.3. Razine podzemnih voda korištene za kalibraciju modela

Piezometri	Razine podzemne vode (m.n.m.) izmjerene 18.3.2018.					
	1	2	3	4	5	6
KV	83,33	83,35	83,09	82,81	82,92	-
SU	83,91	83,47	82,87	83,87	83,78	83,89
ZM	83,49	83,47	83,47	83,35	83,02	82,94



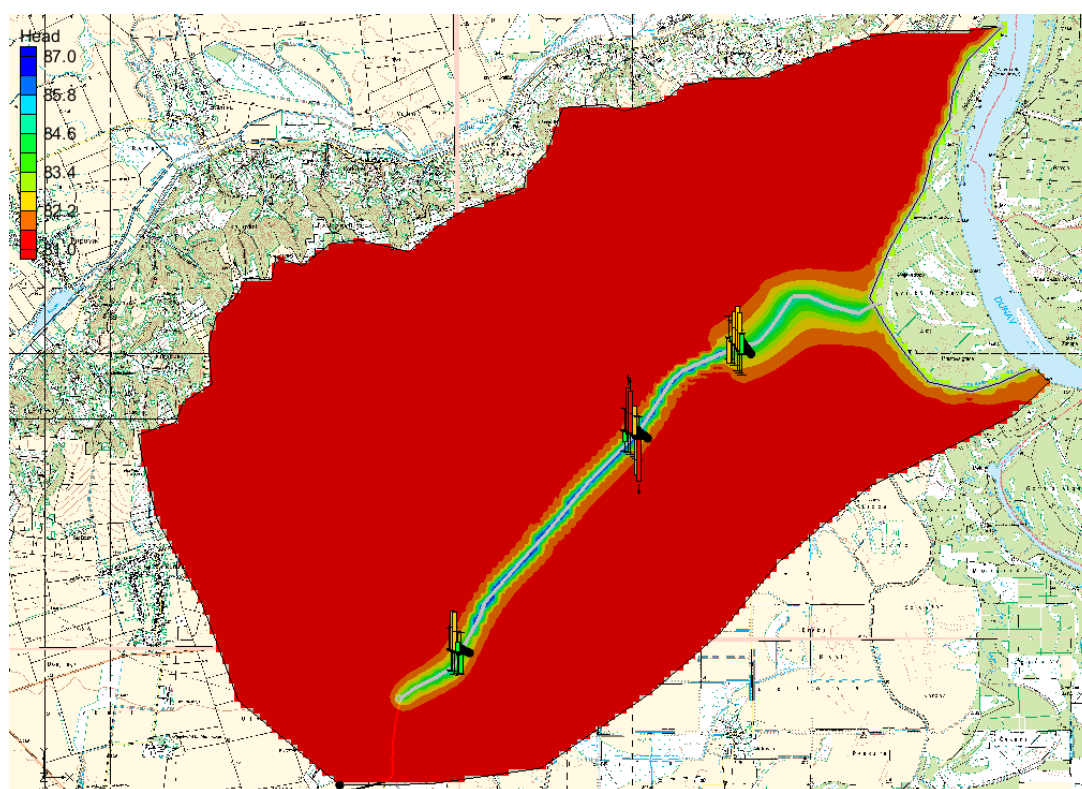
Slika 6.6. Položaj piezometara korištenih za kalibraciju modela

### 6.3. Rezultati

Simulacija strujanja podzemnih voda rađena je Newtonovom metodom proračuna (engl. *Newton solver*). Iako programski paket MODFLOW u okruženju GMS-a nudi nekoliko različitih metoda proračuna, zbog složenosti i veličine promatranog područja, odabrana je Newtonova kako bi model što lakše konvergirao. Namijenjena je rješavanju nelinearnih problema koji uključuju isušivanje i ponovno vlaženje (engl. *drying and rewetting*) unutar nesaturiranog sloja. Korištenjem ove metode proračuna generira se nesimetrična matrica, dok je preko

drugih metoda moguće samo generiranje simetrične matrice. Koristi se zajedno s Upstream-Weighting (UPW) paketom koji služi za proračun provodljivosti između ćelija mreže modela. Za razliku od drugih paketa koji koriste diskretan pristup rješavanju problema isušivanja i ponovnog vlaženja ćelija, UPW paket koristi kontinuiranu funkciju kolebanja razina podzemnih voda.

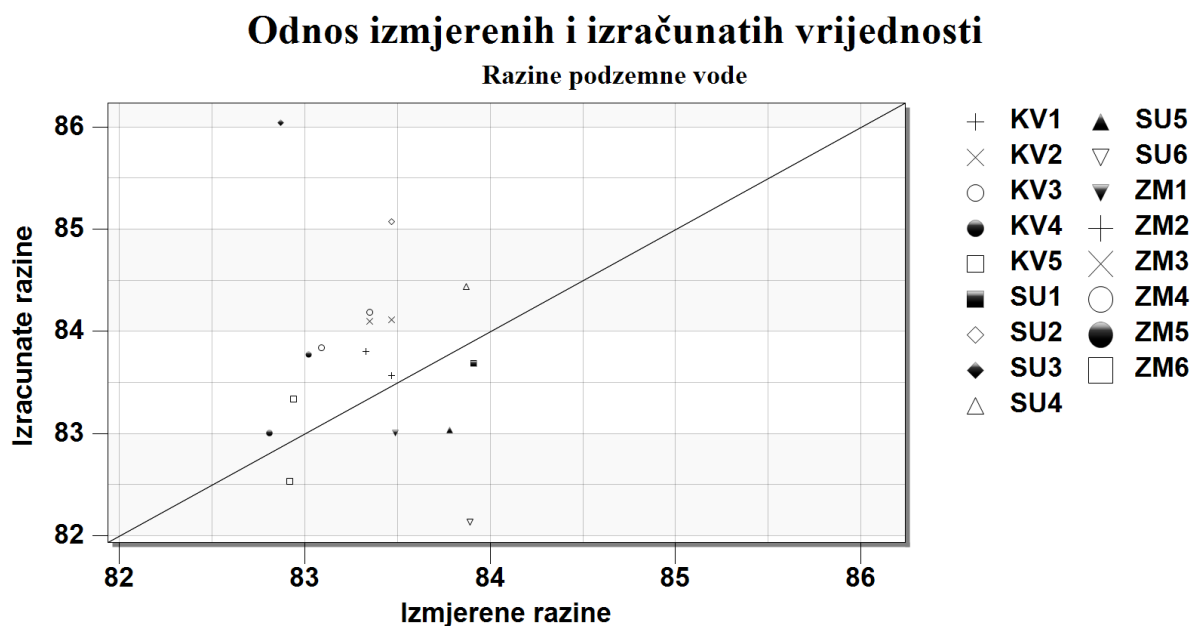
Nakon provedene simulacije za maksimalne izmjerene razine, rađena je kalibracija za koju su korišteni pijezometri ranije opisani. Kalibracija je rađena metodom pokušaja i pogrešaka sve dok se nisu dobile zadovoljavajuće vrijednosti razine podzemnih voda na 17 navedenih lokacija. Kako bi se dobilo što točnije poklapanje, varirani su sljedeći parametri: hidraulička vodljivost slojeva tla, provodljivost dna kanala, infiltracija, veličina evapotranspiracije te ravnina evapotranspiracije. Parametri su odabrani obzirom na kritičnost i sigurnost u njihovu točnu vrijednost. Točnost postignuta kalibracijom, odnosno poklapanje izmjerenih i izračunatih vrijednosti razina podzemne vode prikazana je na slici 6.7.



Slika 6.7. Razine podzemne vode dobivene modelom nakon kalibracije

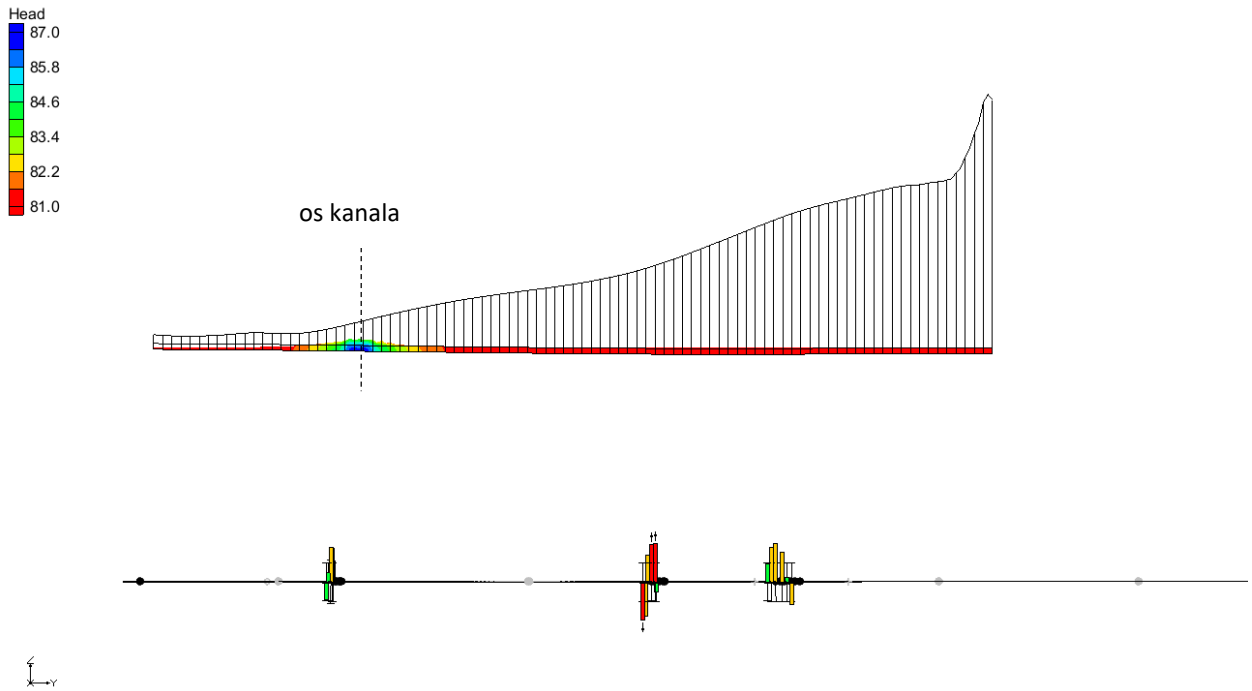
Jako dobra podudarnost obzirom na izmjerene i modelom dobivene razine podzemnih voda dobivena je na svim pijezometrima kod Kneževih Vinograda i Zmajevca, dok je na 3 pijezometra kod Suze odstupanje veće što je i prikazano crvenom bojom kalibracijskih oznaka na slici 6.7. Dopušteno odstupanje određeno kao 95% interval pouzdanosti što je i postignuto na 14 pijezometara (zelene i žute kalibracijske oznake na slici 6.7.). Na slici 6.8. je prikazan odnos izračunatih i izmjerenih vrijednosti. Oznake pijezometara kod kojih je postignuta dobra podudarnost između izmjerenih i izračunatih vrijednosti se nalaze u neposrednoj blizini

dijagonale, a što je odstupanje veće, to je veća i udaljenost oznake od dijagonale. Ovdje je to slučaj sa pijezometrima kod Suze.

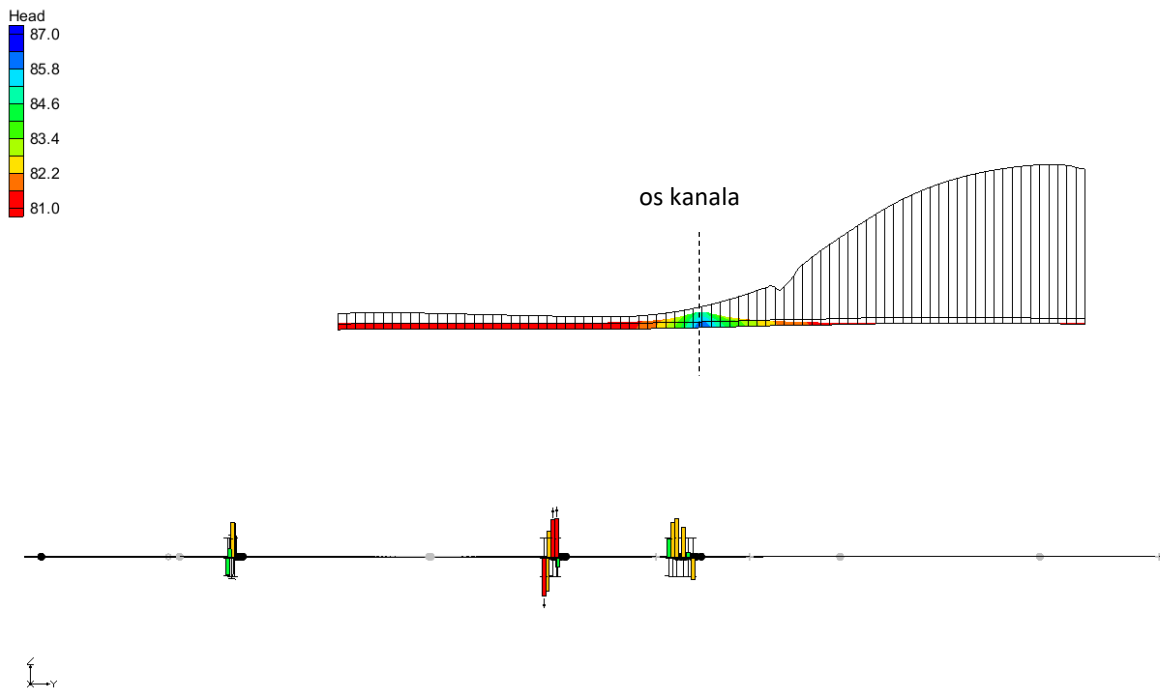


Slika 6.8. Odnos izračunatih i izmjerenih vrijednosti razina podzemnih voda na piezometrima

Rezultati modela pokazuju da su u neposrednoj blizini kanala razine podzemnih voda više u odnosu na okolni teren. Ovakvi rezultati ukazuju na to da kanal zapravo prihranjuje okolne podzemne vode. Na slici 6.7. najniže razine su označene crvenom bojom, a najviše plavom. Najveća zona utjecaja kanala na podzemne vode je u blizini ušća kanala u Dunavac, dok je na ostatku dionice utjecaj samo na uskom području uz sam kanal. Kako je kalibracijom postignuta dobra podudarnost kod Kneževih Vinograda i Zmajevca, u nastavku će se prikazati rezultati simulacije stacionarnog strujanja preko poprečnih presjeka kod tih lokacija.



Slika 6.9. Razine podzemne vode – poprečni presjek kod Kneževih Vinograda u smjeru sjever-jug



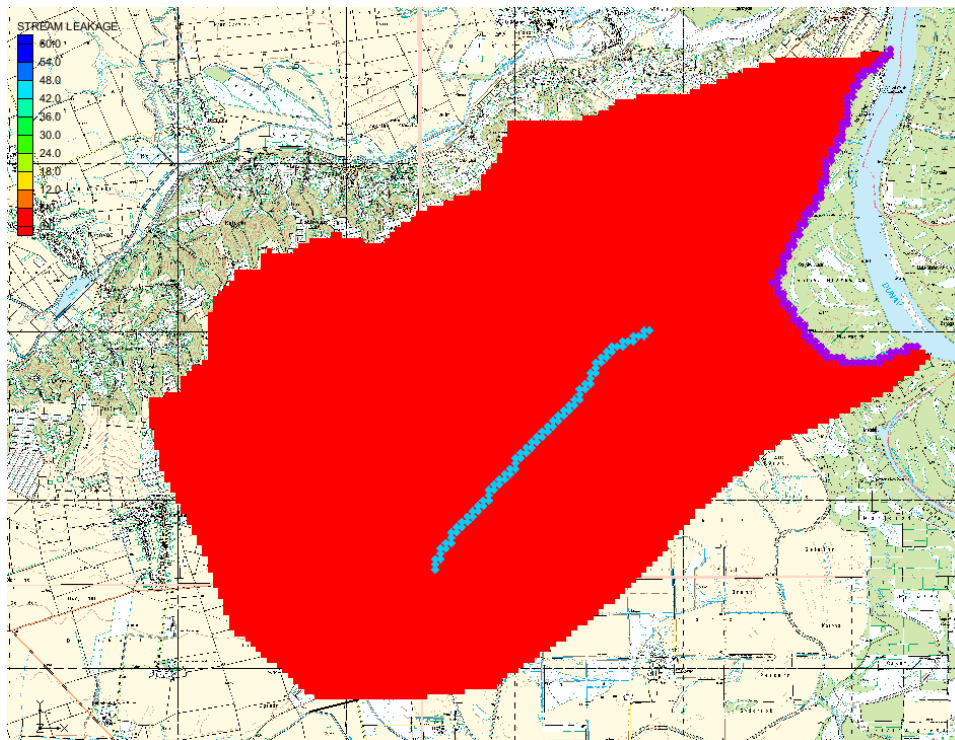
Slika 6.10. Razine podzemne vode – poprečni presjek kod Zmajevca u smjeru sjever-jug

Obzirom da su modelom obuhvaćena samo gornja dva sloja tla čija je dubina oko kanala samo 5 metara, na poprečnim presjecima je teško uočljiva podzemna voda, upravo zbog te male treće dimenzije modela. No oba poprečna presjeka se vide povišene razine podzemne vode



oko samog kanala. Na tom dijelu se kreću oko 84 m.n.m., dok su u okolnom području niže, između 80 i 81 m.n.m.

Na slici 6.11. prikazano je procjeđivanje iz kanala u vodonosnik. Ono je izraženije na srednjoj dionici kanala i iznosi oko 40 m<sup>3</sup>/dan.



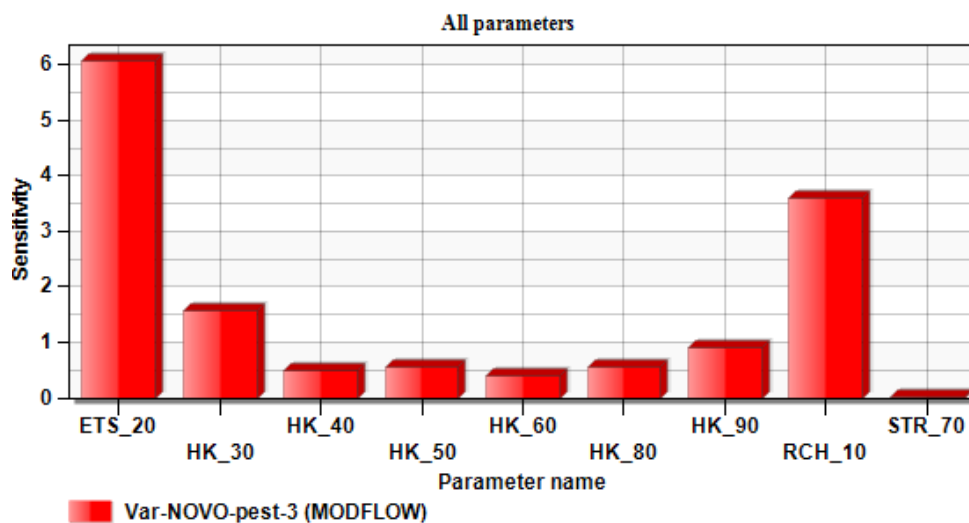
Slika 6.11. Procjeđivanje iz kanala (m<sup>3</sup>/dan)

Vrlo važan dio modeliranja predstavlja parametarska analiza. Ona daje uvid u veličinu utjecaja pojedinog ulaznog parametara na konačan rezultat. Za stacionarni model strujanja podzemnih voda rađena je automatska parametarska analiza pomoću paketa PEST koji je sastavni dio MODFLOW programa. Ovaj paket radi pomoću inverznog modela koji predstavlja alat za automatiziranje procesa procjene parametara. Rezultat PEST analize je osjetljivost svakog parametra. Za svaki odabrani parametar definiran je interval kao i njegova optimalna vrijednost, a sam program mu pridodaje oznaku koja se ne može mijenjati. U tablici 6.4. dan je popis korištenih parametara.

Tablica 6.4. Vrijednosti za parametarsku analizu

Parametar	Oznaka u modelu	Optimalna vrijednost	Minimalna vrijednost	Maksimalna vrijednost
Infiltracija [m/dan]	RCH_10	0,00056	1,0e-010	100,0
Veličina evapotranspiracije [m/dan]	ETS_20	0,00126	1,0e-010	100
Hidraulička vodljivost 1. sloja-KV [m/dan]	HK_30	0,008	0,0001	30
Hidraulička vodljivost 1. sloja-SU [m/dan]	HK_80	0,0086	0,0001	30
Hidraulička vodljivost 1. sloja-ZM [m/dan]	HK_90	0,008	0,0001	30
Hidraulička vodljivost 2. sloja-KV [m/dan]	HK_40	0,43	0,001	30
Hidraulička vodljivost 2. sloja-SU [m/dan]	HK_50	1,73	0,001	30
Hidraulička vodljivost 2. sloja-ZM [m/dan]	HK_60	4,32	0,001	30
Provodljivost dna lateralnog kanala [m/dan]	STR_70	200	1	1000,0

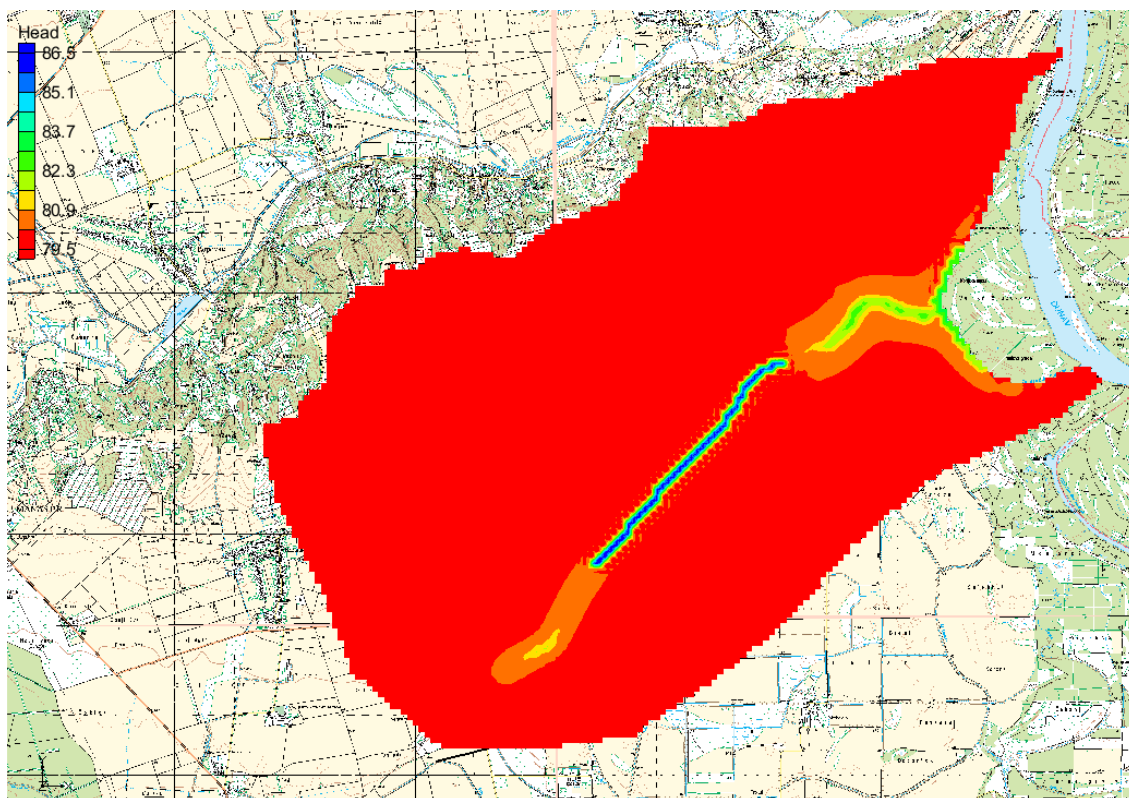
Rezultati provedene parametarske analize nalaze se na slici 6.12. pokazuju da najveći utjecaj, odnosno najveću osjetljivost, na režim strujanja podzemnih voda ima infiltracija, odnosno količina procjeđenih oborina. Veliki utjecaj imaju i hidraulička vodljivost slojeva, kao i provodljivost dna vodotoka na području sliva. Najmanji utjecaj od analiziranih parametara imaju evapotranspiracija, provodljivost dna kanala i provodljivost dna akumulacije.



Slika 6.12. Rezultati parametarske analize

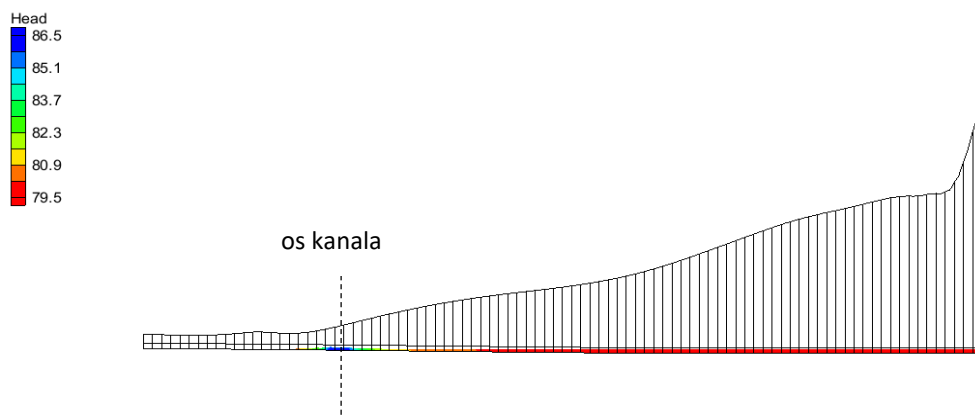
Rezultati parametarske analize pokazuju da najveći utjecaj na rezultate ima evapotranspiracija i infiltracija, odnosno količina procjeđenih oborina, zatim hidraulička provodljivost slojeva, a najmanji provodljivost dna kanala.

Nakon kalibracije i parametarske analize, izrađen je model koji obuhvaća minimalne opažene razine podzemne vode, vodostaja u kanalu i u Dunavcu na datum 27. listopada 2018. Rezultati ovakvog modela su pokazali znatno niže razine podzemnih voda nego kod prvog modela, posebice na mjestima gdje je postignuta dobra kalibracija, a to je kod Kneževih Vinograda i Zmajevca. Zona utjecaja kanala je opet najveća na dionici između ušća i Zmajevca (slika 6.13).

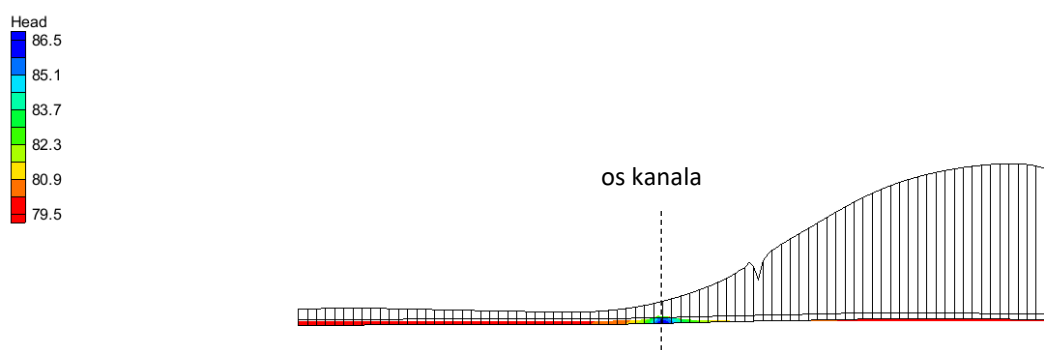


Slika 6.13. Rezultati simulacije minimalnih razina

Kao i kod prvog modela, tako će se i ovdje prikazati rezultati preko poprečnih presjeka kod Kneževih Vinograda i Zmajevca.



Slika 6.14. Razine podzemne vode za minimalno stanje – poprečni presjek kod Kneževih Vinograda u smjeru sjever-jug



Slika 6.15. Razine podzemne vode za minimalno stanje – poprečni presjek kod Zmajevca u smjeru sjever-jug

I iz poprečnih profila su vidljive niže razine podzemnih voda nego u prvom modelu.

Numerički model koji je obuhvatio lateralni kanal i njegovo okolno područje je pokazao dobro podudaranje s vrijednostima izmjerenim na terenu na području Kneževih Vinograda i Zmajevca, dok je najveće odstupanje u predjelu oko Suze, na srednjoj dionici kanala. Rezultati modela su pokazali da kanal prihranjuje podzemlje, što je osobito izraženo u uvjetima visokih vodostaja. Najveća zona utjecaja kanala na podzemne vode je u blizini ušća kanala u Dunavac, dok je na ostatku dionice utjecaj samo na uskom području uz sam kanal. Nakon kalibracija modela, rađena je i parametarska analiza koja je pokazala da na same razine podzemnih voda najviše utječu evapotranspiracija i infiltracija, odnosno dio oborina koje se procjeđuju u tlo.

## 7. ZAKLJUČAK

Projekt „Monitoring i analiza učinkovitosti dovoda vode lateralnim kanalom za potrebe navodnjavanja (Evidencijski broj ugovora 22-115/17, Pozicija plana A.04.02.02) ugovoren je u srpnju 2017. godine s rokom trajanja od 18 mjeseci.

Cilj ovog istraživačkog projekta bio je definirati učinkovitost Lateralnog kanala Kneževi Vinogradi- Zmajevac, glavnog dovodnog kanala za izgrađene i buduće sustave navodnjavanja u okviru SN Baranja. Cjelokupni sustav navodnjavanja SN Baranja sastoji se od 5 podsustava ukupne površine oko 5000 ha, a lateralni kanal bi trebao osigurati dovod vode za cjelokupni sustav. Pored toga, druga funkcija mu je funkcija obodnog/lateralnog kanala. Položajno je postavljen u podnožju baranjskih povišenih (brežuljkastih) terena, te prikuplja vodu nastalu površinskim otjecanjem s povišenih terena i na taj način reducira potrebu za crpljenjem. Prema projektu, na cjelokupnoj dužini lateralnog kanala razlikuju se 3 karakteristična poprečna presjeka koja se osim po obliku i veličini poprečnog presjeka, razlikuju i prema debljini glinene obloge.

Pored podataka dobivenih monitoringom koji je proveden tijekom 12 mjeseci (vodostaji u lateralnom kanalu i razine podzemnih voda u lijevom i desnom zaobalju kanala) raspolagalo se i dnevnim meteorološkim podacima (temperatura zraka, oborine), hidrološkim podacima (vodostaji Dunava), podacima o upuštanju/ispuštanju vode na CS Zmajevac bili gravitacijskim, bilo mehaničkim putem i podacima o izvedenom stanju lateralnog kanala iz 2015. godine.

U hidrološkom smislu, razdoblje trajanja projekta, od 1. prosinca 2017. do 1. prosinca 2018. godine nije bilo osobito sušno. Količina oborina od 675 mm može se smatrati prosječnom, ali je njezin raspored bio relativno dobar. Izrazitije sušno razdoblje nastupilo je tek potkraj ljeta i u jesen kada potrebe za vodom nisu bile više velike. Stoga je potreba za navodnjavanjem bila relativno mala i to je imalo utjecaja na rezultate koji su prezentirani.

Zaključci se mogu sumirati na sljedeći način:

1. Tijekom opažanog razdoblja 2017/2018 godina kanal je obavljao obje funkcije koje su predviđene projektom.
2. Monitoring vodostaja u kanalu i razina podzemnih voda u pijezometrima okomito na os kanala koji je proveden tijekom 12 mjeseci pokazao je djelomičnu učinkovitost glinene obloge, odnosno slabu komunikaciju površinske i podzemne vode. Na cijeloj dionici je prema projektu debljina obloge 0,5m.
3. Numerički model koji je obuhvatio lateralni kanal i njegovo okolno područje je pokazao dobro podudaranje s vrijednostima izmjerenim na terenu na području Kneževih Vinograda i Zmajevca, dok je najveće odstupanje u predjelu oko Suze, na srednjoj dionici kanala. Rezultati modela su pokazali da kanal prihranjuje podzemlje, što je osobito izraženo u uvjetima visokih vodostaja. Najveća zona utjecaja kanala na podzemne vode je u blizini ušća kanala u Dunavac, dok je na ostatku dionice utjecaj samo na uskom području uz sam kanal

4. Na kretanje podzemnih vode u nizinskom zaobalju lateralnog kanala izrazito veliki utjecaj ima Dunav i njegovo kretanje vodostaja što je pokazano korelacijom podzemnih voda i vodostaja Dunava. S obzirom na glacijalni režim Dunava, učinak povišenih vodostaja tijekom vegetacijskog razdoblja je u svakom slučaju pozitivan s aspekta potrebe za vodom za navodnjavanje, odnosno vodnu bilancu .
5. Onečišćenost na teške metale površinske vode iz lateralnog kanala, podzemne vode iz pijezometra i sedimenta iz kanala ispitana je dva puta. Površinske i podzemne vode imale su stupanj onečišćenosti na teške metale izuzetno mali. Koncentracije teških metala u sedimentu su značajno veće, ali jedino kod bakra prelaze granične vrijednosti različitih inozemnih kriterija i to samo kod jednog uzorkovanja ( studeni 2018). Stoga će se uzorkovanje ponoviti na proljeće. Kako je lateralni kanal u funkciji samo 3 godine, onečišćenost sedimenta trebalo bi pratiti zbog procesa akumulacije teških metala u sedimentu tijekom vremena.
6. Tijekom trogodišnjeg funkcioniranja kanala došlo je do taloženja sedimenta na dno i to dosta neujednačeno. Izrazitije na mjestima ušća kanala i bujičnih vodotoka. Na pojedinim dionicama je geometrija poprečnog presjeka značajnije narušena i potrebno je redovito tehničko održavanje.
7. Razdoblje od 12 mjeseci nije dostatno za čvršće i šire zaključke, tim više što nije bilo dužih razdoblja navodnjavanja. Stoga se preporuča provedba monitoringa i dalje.
8. Nastavak monitoringa preporuča se i zbog činjenice da tijekom vremena učinak obloge kanala postaje sve manji ( zbog djelovanja atmosferilija, isušivanja gline i pojave pukotina, učinka životinja).
9. U monitoring su uključeni i studenti završne godine hidrotehničkog smjera Građevinskog i arhitektonskog fakulteta Osijek, što je još jedan pozitivan učinak projekta

## 8.LITERATURA

- Amić, A., Tadić, L. (2018): Analysis of Basic Physical-Chemical Parameters, Nutrients and Heavy Metals Content in Surface Water of Small Catchment Area of Karašica and Vučica Rivers in Croatia. // *Environments*. 5
- Avila-Perez, P., Balcazar, M., Zarazua-Ortega, G., Barcelo-Quintal, I., Diaz-Delgado, C. (1999) Heavy metal concentrations in water and bottom sediments of a Mexican reservoir, *The Science of the Total Environment* 234, 185-196.
- Banta, E.R. (2000), *Modflow-2000, The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model—Documentation Of Packages For Simulating Evapotranspiration With A Segmented Function (Ets1) And Drains With Return Flow (Drt1)*, U.S. Geological Survey Open-File Report 00-466.
- Bellucci, L. G.; Frignani, M.; Paolucci, D.; Ravanelli, M. (2002) Distribution of heavy metals in sediments of the Venice Lagoon: the role of the industrial area, *Sci Total Environ*. 2002 Aug 5;295(1-3):35-49.
- Bordas, J.M., (2005), *Modeling groundwater flow and contaminant transport in fractured aquifers*, PhD Thesis, Air Force Institute of Technology, Ohio.
- Dalmacija, B., Rončević S., (2013): *Kvalitet površinskih voda i sedimenta – procjena i upravljanje rizikom*, Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine.
- Carlson, C., Dalla Valle, M., Marcomini, A. (2004) Regression models to predict soil-water heavy metal partition coefficients in risk assessment studies, *Environmental Pollution*, 127 (1), 109-115.
- El Zehairy, A., (2014), *Assessment of lake-groundwater interactions Turawa case, Poland*, MSc Thesis, Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation of University of Twente, Poland.
- Ferrero A., Lisa L., Parena S., Sudiro L. (2002): *Runoff and soil erosion from tilled and controlled grass-covered vineyards in a hillside catchment*, 9th Conference of the European Network of Experimental and Representative Basins (ERB) Demänovská dolina (Slovakia), 25 – 28 September 2002, 105-111
- Frančičković-Bilinski, S., Mlakar, M., Bilinski, H., (2017) *Izrada prijedloga graničnih vrijednosti za određene opasne tvari u sedimentu kopnenih površinskih voda, (elaborat); Zahtjev za pristup informacijama, Hrvatske vode*

- Gjetvaj G., Lončar, G., Malus, D., Ocvirk, E., (2011), Primjeri međuočjecaja površinskih i podzemnih voda, *Građevinar*, 63 (11), pp. 941-951.
- Harbaugh, A.W., Banta, E.R., Hill, M.C., McDonald M.G., (2000), *Modflow-2000, The U.S. Geological Survey modular ground-water-User guide to modularization concepts and the ground-water flow process*, Open file Report 00-92, USGS, Reston, Virginia.
- Harbaugh, W.A., (2005), *Derivation of the finite-difference equation*, U.S. Geological Survey Techniques and Methods, Ch. 2.
- Hargreaves G.H., Z.A. Samani, Z.A.(1982): Estimation of potential evapotranspiration, *Journal of Irrigation and Drainage Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers* 108, pp. 223-230.
- Kelderman P, Drossaert, W.M.E. Zhang Min, Galione,L.S. Okonkwo,L.C.,Clarisse, I.A. (2000) Pollution assessment of the canal sediments in the city of Delft (the Netherlands), *Water Research* 34 (3), pp 936–944.
- Maggi I., Maraga F., Ottone C. (2002):Erosive rains related to in-channel sediment delivery in a small Alpine basin (North-Western Italy). 9th Conference of the European Network of Experimental and Representative Basins (ERB) Demänovská dolina (Slovakia), 25 – 28 September 2002 ,91-99
- Mehl, S. & Hill, M.C., (2010), Grid-size dependence of Cauchy boundary conditions used to simulate stream-aquifer interactions, *Advances in Water Resources*, 33, pp. 430-442. doi.10.1016/j.advwaters.2010.01008.
- Niswonger, R.G., Panday, S., Ibaraki, M., (2011), MODFLOW-NWT, A Newton Formulation for MODFLOW-2005, Chapter 37 of Section A, *Groundwater Book 6, Modeling Techniques*, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.
- Pandey, J. & Singh, R. (2017), Heavy metals in sediments of Ganga River: up- and downstream urban influences, *Appl Water Sci* (2017) 7: 1669. <https://doi.org/10.1007/s13201-015-0334-7>
- Shah, N., Nachabe, M., Ross, M., (2007), Extinction Depth and Evapotranspiration from Ground Water under Selected Land Covers, *Ground Water*, 45 (3), pp. 329-338.
- Savić, R., Pantelić, S., Belić, A., Belić, S., i dr., (2005.) Monitoring kvalitata vode i sedimenta manjih vodotoka u Vojvodini – primjer vodotoka Tatrarnica <http://doisrpska.nub.rs/index.php/agroznanje/article/viewFile/2293/2202>
- Tadić, L., Dadić, T., Leko-Kos, M (2016):Variability of Hydrological Parameters and Water Balance Components in Small Catchment in Croatia. // *Advances in Meteorology*. ;



Trajković, S. (2007)"Hargreaves versus Penman-Monteith under Humid Conditions, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, vol. 133, no.1, pp.38-42.

Tehničko izvješće o izvedbi 17 piezometara duž kanala Kneževi Vinogradi-Zmajevac, Vodovod-hidrogeološki radovi d.o.o., Osijek, 2017.godina.

Izvedbeni građevinski projekt Lateralnog kanala Kneževi Vinogradi-Zmajevac , Institut IGH d.d. 2014.

Plan upravljanja vodnim područjima za razdoblja 2016-2021.; Hrvatske vode

Uredba o standardu kakvoće voda,( NN 73/13, 151/14, 78/15 i 61/16)









## Fotografije



Košnja lateralnog kanala ( svibanj, 2018)



Oštećeni pijezometar KV3 ( rujan 2018)



Oštećeni pijezometar SU2 ( rujn, 2018)



Presjek Kneževi Vinogradi ( 15. kolovoza 2018.)



Presjek Zmajevac ( studeni 2018)



## Lidija Tadić

**From:** Danko Biondić <Danko.Biondic@voda.hr>  
**Sent:** 11. siječnja 2019. 10:17  
**To:** ltadic@gfos.hr  
**Cc:** ured\_direktora; Marina Barbačić; Kristina Žižman  
**Subject:** ZAHTEJ ZA PRISTUP INFORMACIJAMA - LIDIJA TADIĆ - GRAĐEVINSKI I ARHITEKTONSKI FAKULTET OSIJEK - SUGLASNOST ZA KORIŠTENJE PODATAKA ZA POTREBE PISANJA ZNANSTVENOG RADA  
**Attachments:** Zahtjev.pdf  
**Importance:** High

Poštovani,

Na temelju Vašeg cijenjenog Zahtjeva za pristup informacijama, odgovaramo Vam da smo suglasni da koristite podatke dobivene tijekom provedbe projekta „Monitoring i analiza učinkovitosti dovoda vode lateralnim kanalom za potrebe navodnjavanja“ za potrebe pisanja znanstvenog rada.

S poštovanjem,

Hrvatske vode

Službenik za informiranje  
dr.sc. Danko Biondić

----- Pravne napomene -----

Ova elektronička poruka i njeni prilozi mogu sadržavati povlaštene informacije i/ili povjerljive informacije. Molimo Vas da poruku ne čitate ako niste njen naznačeni primatelj. Ako ste ovu poruku primili greškom, molimo Vas da o tome obavijestite pošiljatelja i da izvornu poruku i njene priložnice uništite bez čitanja ili bilo kakvog pohranjivanja. Svaka neovlaštena upotreba, distribucija, reprodukcija ili priopćavanje ove poruke zabranjena je. HRVATSKE VODE ne preuzimaju odgovornost za sadržaj ove poruke, odnosno za posljedice radnji koje bi proizašle iz prosljeđenih informacija, a niti stajališta izražena u ovoj poruci ne odražavaju nužno službena stajališta HRVATSKIH VODA. S obzirom na nepostojanje potpune sigurnosti e-mail komunikacije, HRVATSKE VODE ne preuzimaju odgovornost za eventualnu štetu nastalu uslijed zaraženosti e-mail poruke virusom ili drugim štetnim programom, neovlaštene interferencije, pogrešne ili zakašnjele dostave poruke uslijed tehničkih problema. HRVATSKE VODE zadržavaju pravo nadziranja i pohranjivanja e-mail poruka koje se šalju iz HRVATSKIH VODA ili u njih pristupiti.

----- Disclaimer -----

This e-mail message and its attachments may contain privileged and/or confidential information. Please do not read the message if you are not its designated recipient. If you have received this message by mistake, please inform its sender and destroy the original message and its attachments without reading or storing of any kind. Any unauthorized use, distribution, reproduction or publication of this message is forbidden. HRVATSKE VODE is neither responsible for the contents of this message, nor for the consequences arising from actions based on the forwarded information, nor do opinions contained within this message necessarily reflect the official opinions of HRVATSKE VODE. Considering the lack of complete security of e-mail communication, HRVATSKE VODE is not responsible for the potential damage created due to infection of an e-mail message with a virus or other malicious program, unauthorized interference, erroneous or delayed delivery of the message due to technical problems. HRVATSKE VODE reserves the right to supervise and store both incoming and outgoing e-mail messages.