

Revitalizacija zdenca Z-6 na crpilištu Vinograd

Novosel, Patricia

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:430151>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-17**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Studij geološkog inženjerstva

REVITALIZACIJA ZDENCA Z-6 NA CRPILIŠTU
VINOGRADI

Diplomski rad

Patricia Novosel

GI 322

Zagreb, 2018.

REVITALIZACIJA ZDENCA Z – 6
NA
CRPILIŠTU VINOGRADI

PATRICIA NOVOSEL

Diplomski rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko – geološko – naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

Voda je važan prirodni resurs koji se koristi za potrebe poljoprivrede i industrije te predstavlja temeljni uvjet za život, ali i konstantan izvor opasnosti ukoliko se ne brinemo o njenoj kakvoći. U Republici Hrvatskoj se oko 90% potrebe za vodom namiruje zahvaćanjem podzemne vode stoga je važno poznavanje mehanizma obnavljanja zaliha podzemne vode koje bi mogle osigurati potrebe vodoopskrbe. U ovom diplomskom radu obrađeno je osječko vodocrpilište Vinogradi, najveće vodocrpilište u Republici Hrvatskoj u kojem se voda zahvaća iz pješćanih vodonosnika. Na crpilištu je u pogonu 18 zdenaca, generalnog smjera pružanja jugozapad-sjeveroistok, s pojedinačnom crpnom količinom od oko 40 l/s. Tijekom rada crpilišta uočeno je znatno sniženje specifične izdašnosti pa je donesena odluka o provedbi revitalizacije. Revitalizacija zdenca podrazumijeva sve postupke kojima je cilj poboljšanje hidrauličkih svojstava zdenca koja su narušena starenjem zdenca. U ovom radu obrađen je zdenac Z-6 kod kojeg se pristupilo revitalizaciji, a na temelju provedenog pokusnog crpljenja zdenca načinjena je interpretacija lokalnih parametara vodonosnika i parametara zdenca.

Ključne riječi: revitalizacija, starenje, vodocrpilište Vinogradi, zdenac Z – 6, parametri zdenca, parametri vodonosnika

Diplomski rad sadrži: 42 stranice, 6 tablica, 15 slika, 8 priloga i 17 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko – geološko – naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Voditelj: Dr. sc. Željko Duić, izvanredni profesor

Ocjenjivači: Dr. sc. Željko Duić, izvanredni profesor
Dr. sc. Jelena Parlov, izvanredni profesor
Dr. sc. Dario Perković, docent

Datum obrane: 28. rujna 2018.

WELL (Z – 6) REVITALIZATION
ON THE
WELL FIELD VINOGRADI

PATRICIA NOVOSEL

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Geology and Geological Engineering
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Abstract

Water is an important natural resource that is used for agriculture and industry and is a fundamental condition for life, but also a constant source of danger if we do not care about its quality. Approximately 90% of Croatia's water requirements are met through groundwater catchment, so it is necessary to get to know the possibilities of renewal of groundwater reserves. This thesis elaborates the data on the well field Vinogradi near Osijek, the largest well field in Croatia, where the water is extracted from the sand aquifer. The water field has 18 functioning wells whose pumping gives a standardized water quantity of around 40 l/s. During the work of the well field, a significant decrease in specific yields was noted and decisions were made on the implementation of revitalization. Revitalization of the wells implies all the actions aimed at improving the hydraulic properties of the wells that are damaged by the aging of the wells. This thesis will take a special focus on the spare well Z – 6 and on the basis of the experimental pumping, the interpretation of the local hydraulic parameters of the aquifer and the parameters of the well.

Keywords: revitalization, aging wells, well field Vinogradi, well Z – 6, well parameters, aquifer parameters

Thesis contains: 42 pages, 6 tables, 15 images, 8 enclosures and 17 references

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Željko Duić, PhD

Reviewers: Associate professor, Željko Duić, PhD
Associate professor, Jelena Parlov, PhD
Assistant professor, Dario Perković, PhD

Date of defense: September 28th, 2018

Zahvaljujem se svom mentoru, dr.sc. Željku Duiću, na utrošenom vremenu, trudu i pomoći oko izrade ovog diplomskog rada.

Hvala svim mojim prijateljima i kolegama koji su mi olakšali i uljepšali ove studentske dane te dali snage da privedem studiranje kraju.

Od srca se zahvaljujem svojim roditeljima na razumijevanju, strpljenju i podršci tijekom studija.

Sadržaj:

1. Uvod.....	1
2. Opis istraživnog područja	2
2.1. Geografski položaj istraživnog područja	2
2.2. Pregled dosadašnjih istraživanja šireg područja	4
2.3. Istraživanje crpilišta Vinogradi.....	5
2.4. Geološka građa istraživnog područja.....	7
2.5. Litološki razvitak kvartarnih naslaga osječčkog područja.....	9
2.6. Osnovne hidrogeološke značajke.....	12
3. Teorijske osnove starenja zdenca i metode revitalizacije.....	14
3.1. Glavni uzroci starenja zdenca	15
3.2. Procesi revitalizacije zdenca	16
4. Revitalizacija zdenca Z-6 na crpilištu Vinogradi.....	19
4.1. Prije provedbe revitalizacije	19
4.1.1. Lokalni parametri vodonosnika	20
4.1.2. Parametri zdenca Z-6.....	22
4.2. Poslije provedbe revitalizacije	26
4.2.1. Pokusno crpljenje nakon provedene revitalizacije	26
4.2.2. Lokalni parametri vodonosnika	27
4.2.3. Parametri zdenca Z-6.....	28
4.3. Zaključak o provedenoj revitalizaciji.....	31
5. Zaključak	33
6. Popis literature	34

Popis slika:

Slika 2.1.	Položaj zdenaca na osječkom vodocrpilištu Vinogradi	3
Slika 2.2.	Regionalni korelacijski profil kvartarnih naslaga osječke Podravine (preuzeto iz Urumović i dr., 1976)	10
Slika 2.3.	Litološki profil kvartarnih naslaga crpilišta Vinogradi (preuzeto iz Urumović i dr., 2011)	11
Slika 4.1.	Prikaz razine vode i crpne količine u zdencu Z-6 tijekom pokusnog crpljenja prije provedene revitalizacije.....	19
Slika 4.2.	Polulogaritamski dijagram sniženja u vremenu za prvu crpnu količinu pri pokusnom crpljenju zdenca Z-6 prije provedene revitalizacije.....	21
Slika 4.3.	Dijagram kolebanja razine vode i prirast sniženja pri pokusnom.....	24
	crpljenju u koracima (prije provedbe revitalizacije).....	24
Slika 4.4.	Grafička analiza ekvivalentnog specifičnog sniženja i ekvivalentne izdašnosti zdenca Z-6 prije provedene revitalizacije prema podacima iz tablice 4-1	25
Slika 4.5.	Prikaz razine vode i crpne količine u zdencu Z-6 tijekom pokusnog crpljenja nakon provedene revitalizacije	26
Slika 4.6.	Polulogaritamski dijagram sniženja u vremenu za prvu crpnu količinu pri pokusnom crpljenju zdenca Z-6 poslije provedene revitalizacije	28
Slika 4.7.	Dijagram kolebanja razine vode i prirast sniženja pri pokusnom.....	29
	crpljenju u koracima (nakon provedene revitalizacije)	29
Slika 4.8.	Grafička analiza ekvivalentnog specifičnog sniženja i ekvivalentne izdašnosti zdenca Z-6 nakon provedene revitalizacije prema podacima iz tablice 4-2.....	30
Slika 4.9.	Prikaz kretanja specifične izdašnosti (odnos crpna količina / sniženje) zdenca Z-6 tijekom kratkotrajnog crpljenja zdenca prije i poslije	31
	revitalizacije.....	31
Slika 4.10.	Prikaz specifične izdašnosti zdenca prije i poslije.....	32
	revitalizacije.....	32

Popis tablica:

Tablica 4-1	Podaci pokusnog crpljenja u koracima prije provedene revitalizacije	24
Tablica 4-2	Podaci pokusnog crpljenja u koracima nakon provedene revitalizacije	29

Popis oznaka:

Q	(m ³ /s)	količina crpljenja iz zdenca
T	(m ² /s)	transmisivnost vodonosnika
K	(m/s)	hidraulička vodljivost vodonosnika
S		koeficijent uskladištenja vodonosnika
M		debljina vodonosnika
k'	(m/s)	vertikalna hidraulička vodljivost polupropusne krovine
n		efektivna poroznost
n'		prosječna efektivna poroznost naslaga u krovini kaptiranog vodonosnika
t	(s)	vrijeme proteklo od početka crpljenja
s	(m)	sniženje u zdencu
Δs	(m)	razlika sniženja za jedan logaritamski ciklus
B	(s/m ²)	vrijednost linearnih gubitaka
C	(s ² /m ⁵)	vrijednost nelinearnih gubitaka
δs	(m)	prirast sniženja između dva susjedna koraka u crpljenju
δQ	(m ³ /s)	prirast izdašnosti između dva susjedna koraka u crpljenju
δs/δQ	(s/m ²)	ekvivalentno specifično sniženje
$\frac{Q_i^2 - Q_{i-1}^2}{\delta Q_i}$	(m ³ /s)	ekvivalentna izdašnost između dva koraka crpljenja
R _z	(m)	efektivni polumjer zdenca

1. Uvod

Voda je važan prirodni resurs koji se koristi za potrebe poljoprivrede i industrije te predstavlja temeljni uvjet za život, ali i konstantan izvor opasnosti ukoliko se ne brinemo o njenoj kakvoći.

U Republici Hrvatskoj se oko 90% potrebe za vodom namiruje zahvaćanjem podzemne vode stoga je važno poznavanje mehanizma obnavljanja zaliha podzemne vode koje bi mogle osigurati potrebe vodoopskrbe.

U ovom diplomskom radu obrađeno je osječko vodocrpilište Vinogradi, najveće vodocrpilište u Republici Hrvatskoj u kojem se voda zahvaća iz pješčanih vodonosnika. Zahvaćen je kompleks vodonosnih naslaga vrlo izražene heterogenosti i relativno niske hidrauličke vodljivosti, te se crpe količine od oko 450 l/s.

Tijekom rada crpilišta uočeno je znatno sniženje specifične izdašnosti pa je donesena odluka o provedbi revitalizacije. Revitalizacija zdenca podrazumijeva sve postupke kojima je cilj poboljšanje hidrauličkih svojstava zdenca koja su narušena starenjem zdenca.

Cilj ovog diplomskog rada je prikazati tijek i rezultate provedene revitalizacije zdenca Z-6 na crpilištu Vinogradi.

2. Opis istraživanog područja

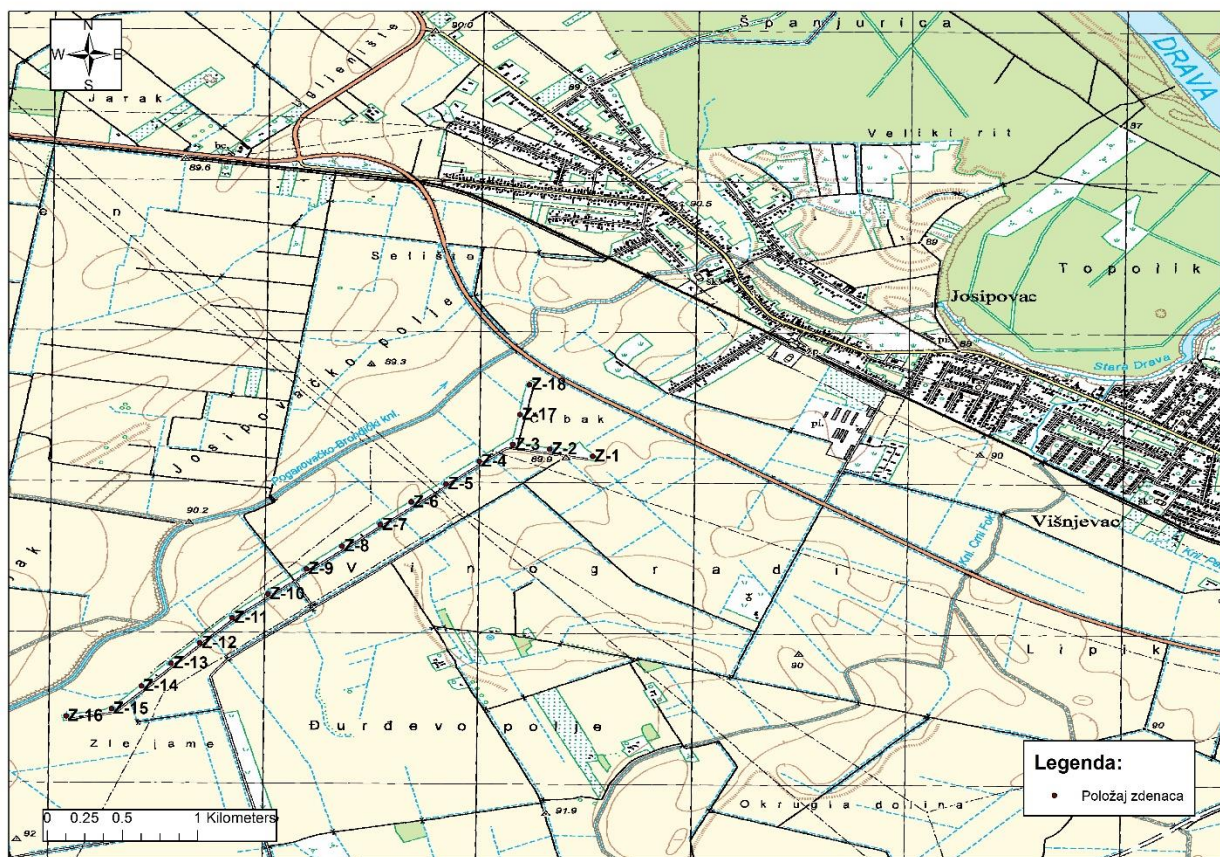
2.1. Geografski položaj istraživanog područja

Istraživano se područje nalazi u istočnom dijelu Hrvatske neposredno uz grad Osijek. U geotektonskom smislu to područje pripada istočnom dijelu dravske potoline. Riječni tok Drave igrao je presudnu ulogu u oblikovanju i konačnom izgledu cijelog prostora. To je uglavnom otvoreni ravničarski kraj izgrađen od mlađih riječnih naplavina i praporastih taložina.

Crpilište Vinogradi (slika 2.1.) smješteno je na rubu asimetrične dravske terase koja je na sjevernom dijelu oštro odsječena i erodirana rijekom Dravom dok je prema jugu terasa blago nagnuta te prelazi u nizinu rijeke Karašice, Vučice i Vuke (Hlevnjak, 1988). Između slivova Karašice i Vuke široko je područje spleta kanala koji se dreniraju u Poganovačko-Kravički kanal koji je probijen od Čepinskih Martinaca do Josipovca gdje se ulijeva u staru Dravu. Na samom razvođu između Poganovačko-Kravičkoga kanala i Crnoga Foka je crpilište Vinogradi. To je ustvari niz od 18 zdenaca, generalnog pružanja jugozapad-sjeveroistok, na udaljenosti od oko 200 do 500 m od samog kanala (Duić, 2006).

Unatoč morfološkom kontinuitetu ove nizine uzvodne rijeke, Karašica i Vučica, se ne slijevaju prema nižim predjelima, porječju Vuke, nego se dijagonalno usijecaju u dravsku terasu i ulijevaju u Dravu. Prije ušća im je tok dijelom paralelan s Dravom.

Na rubovima ovog izrazito nizinskog kraja morfološki se izdvajaju kao najviša uzvišenja Bansko brdo na sjeveru, Erdutsko brdo na istoku te đakovački i vukovarski ravnjak na jugu. Ova uzvišenja prekrivena su praporima, a predstavljaju područje u kojem se istanjuju i uklinjavaju kvartarni riječni nanosi (Hlevnjak, 1988).



Slika 2.1. Položaj zdenaca na osječkom vodocrpilištu Vinogradi

2.2. Pregled dosadašnjih istraživanja šireg područja

Prva sustavna hidrogeološka istraživanja na širem području Osijeka provedena su početkom prošlog stoljeća i bila su usmjerena na pronalazak najprikladnijeg izvora osječke vodoopskrbe. Istraživanja su obuhvatila područje južno od Drave između Čepina na zapadu, Sarvaša na istoku i Tenje na jugu, a u sklopu istraživanja načinio je pedesetak bušotina dubine od 20 do 100 metara (Duić, 2006). Nakon ovih prvih istraživanja slijedi razdoblje u kojem se provode radovi na izradi zdenaca za individualne potrebe. Tek se oko 1940. godine ponovno pokreću istraživanja podzemnih voda za potrebe osječke vodoopskrbe.

Prve rezultate o regionalnim hidrogeološkim istraživanjima za cijelu sjevernu Hrvatsku objavio je Miletić (1969). U sklopu njih za istočnu Podravinu ističe da ju karakteriziraju „močvarna i povremeno plavljena tla, velika dubina, povećan broj vodonosnih slojeva i visoki pritisak u vodonosnim slojevima, te povećana dubina i relativno mali kapacitet zdenaca u odnosu na zapadne predjele“. Najvažniju ulogu u razumijevanju hidrogeoloških prilika u cijeloj istočnoj Slavoniji imala su „Regionalna hidrogeološka istraživanja porječja donje Drave i dijela Dunava“ koja su započeta 1970. godine (Urumović, 1971, Babić i dr., 1978). U sklopu tih istraživanja izveden je veći broj dubokih istraživačkih bušotina i pokusno-eksploatacijskih zdenaca, te je proširen interes za kasniju izvedbu brojnih dubokih zdenaca za potrebe vodoopskrbe.

Prva hidrogeološka istraživanja na području crpilišta Vinogradi pokrenuta su 1975. godine na temelju postojećih podataka prikupljenih tijekom ranijih istraživanja (Urumović i dr. 1976). Interpretacijom tih podataka zaključeno je da geološki razvitak naslaga, hidrogeološki parametri te uvjeti napajanja podzemnih voda omogućuju izvedbu crpilišta iz kojih se mogu crpiti značajne količine podzemne vode, što je bilo u suprotnosti s dotadašnjim načinom razmišljanja da u istočnoj Slavoniji nije moguće osvojiti dovoljne količine podzemnih voda potrebnih za vodoopskrbu.

Brojni zaključci o učinku napajanja podzemnih voda infiltracijom u uvjetima intenzivnog i dugotrajnog crpljenja podzemnih voda omogućila su temeljita opažanja razina, crpnih količina i kakvoće podzemne vode na crpilištu Vinogradi dobiveni su tijekom dugotrajnih hidrogeoloških istraživanja. Rezultati iz prvih godina eksploatacije prikazani u radovima Urumović i dr. (1996), Urumović i Hlevnjak (1998), a podaci o mjerenjima razina podzemne vode u brojnim elaboratima (Urumović i dr., 1987; Urumović i dr., 1995; Duić i dr. 2004).

2.3. Istraživanje crpilišta Vinogradi

Istraživanja su provedena u dvije etape.

U prvoj etapi istraživanja, izvršenoj 1978. godine, načinjeno je 10 istražno-piezometarskih bušotina od 60 do 200 metara dubine, a ukupna dubina bušotina iznosila je 1339 metara. Na svim bušotinama provedeno je geofizičko snimanje dok su na širem području Osijeka napravljene brojne kemijske analize vode na uzorcima iz piezometara i bunara nakon čega je uspostavljena stalna mreža opažanja razine podzemne vode. Interpretacija podataka bila je usmjerena na odabir mikrolokacije crpilišta za što je odabrana lokacija Vinogradi s pretpostavljenom maksimalnom količinom crpljenja od 720 l/s.

Druga etapa istraživanja započela je 1979. godine, a završila je krajem 1980. godine. Tijekom te etape istraživanja izvedeno je 25 geoelektričnih sondi, 13 istražno-piezometarskih bušotina, dubine od 54 do 186 metara (ukupno 2114 m) i dva bunara od 118 i 143 m. Sve istraživačke bušotine geofizički su snimljene dok su na bunarima provedena pokusna crpljenja. Na jedno bunaru se ono vršilo s kapacitetom od 52 l/s u trajanju od 10 dana, a na drugom s kapacitetom od 82 l/s u trajanju od 30 dana. Nastavljena su stalna hidrogeološka opažanja razine podzemnih voda te je napravljen prijedlog za uspostavu kontrolnog sustava za monitoring crpilišta. Utvrđeno je da maksimalna izdašnost crpilišta iznosi 720 l/s.

Hidrogeološka istraživanja nastavljena su u jesen 1982. godine istovremeno s izgradnjom eksploatacijskih bunara (Hlevnjak, 1988).

Opći podaci o zdencima:

1. Podaci o starim zdencima

Prvi zdenci na crpilištu Vinogradi izrađeni su u razdoblju od 1980. do 1986. godine, a zahvaćaju vodonosne naslage od 40 do 176 m, a ukupna debljina slojeva zahvaćenih bunarima kreće se od 56,8 do 78,7 m. Vodonosnik je izgrađen pretežno od sitno do srednjeznog pijeska dok su polupropusni međuslojevi izgrađeni od praha i gline. Zdenci su zacjevljeni cijevima promjera 400 mm do dubine oko 40 m, a ispod 40 m do dna zdenca su cijevi i sita promjera 300 mm. Ugrađivana su motana sita tip „Geotehnika”. Prstenasti prostor iza zacjevljenja zapunjen je granuliranim kvarcnim šljunkom veličine zrna 1-3 mm od dna zdenca do približno 20 m dubine, a od približno 20 m do ušća zdenca postavljen je glineni tampon (Duić, 2009).

2. Novi zdenci crpilišta Vinogradi

Od 1995. godine započelo se s izvedbom zamjenskih zdenaca. Konstrukcija novih zdenaca je promjenjena na temelju iskustava pri korištenju i revitalizaciji prvih zdenaca. Ugrađene su pune cijevi i sita ujednačenog promjera 400 mm od površine terena do dna zdenca. Ugrađivane su dvije vrste sita. Na nekim zdencima ugrađena su sita tip Johnson, izrađena od motane, trapezne, prokrom žice. Na ostalim novim zdencima ugrađena su mostićava sita tip Paparelli. Iz dobivenih rezultata o verifikaciji rada crpilišta za razdoblje 1984. do 1994. godine ustanovljeno je da optimalni trenutak provođenja revitalizacije nastupa približno u trećoj godini korištenja zdenca, a da stvarni trenutak treba odrediti stalnim praćenjem razine vode u zdencu, odnosno u onom trenutku kada počinje opadati učinkovitost zdenca.

Također su zapaženi skromni učinci provedenih revitalizacija na starim zdencima, što se pripisuje dijelom nepovoljnom konstrukcijom zdenca (redukcija promjera ugrađene konstrukcije, tip sita i sl.), a dijelom zbog neostvarenja projektiranih tehničkih uvjeta pri provedbi revitalizacija (Duić, 2009).

2.4. Geološka građa istraživanog područja

S obzirom na OGK lista Osijek (M 100 000) (Magaš, 1987) i pripadajući tumač (Magaš, 1986) geološka građa područja crpilišta Vinogradi je vrlo jednolična. U području lista Osijek razlikuju se dva međusobno odvojena kompleksa. Dublji dio građe čine stijene paleozoika, mezozoika i mlađeg tercijara dok je površina građena stijenama pleistocena i holocena.

Od najstarijih stijena granit-gnajsevi izgrađuju više od 2/3 dubinske građe lista Osijek, a paleozojske starosti su i amfibolski tinjčasti, kvarcno-tinjčasti i kloritski škriljavci. Transgresivni kompleks naslaga gornje krede predstavljaju vapnenci, pješčenjaci i lapori. Ove naslage izgrađuju slavonske planine koje se nalaze na 50 km udaljenosti od crpilišta Vinogradi (Duić, 2006). Sigurni podaci o sastavu i prostornom položaju paleozojskih i mezozojskih stijena otkriveni su u bušotinama. Izdvajaju se slijedeće naftne bušotine (Duić, 2006):

- Beničanci: kloritno-amfibolski škriljavci i aktinolitski škriljavci (dubina do –2924 m; u podinskom dijelu neogena: andezit),
- Bizovac: gnajsi i gnajs-graniti (dubine –1777 do –1982 m; u podinskom dijelu neogena: konglomerati, pješčenjaci, andezit),
- Čepinski Martinci: kloritski škriljavac (dubina –1912 m; u podinskom dijelu neogena: pješčenjaci i konglomerati),
- Donji Miholjac: kvarcni škriljavac (dubine –1084 m do –1533 m; u podinskom dijelu neogena: pješčenjaci i konglomerati),
- Darda: gnajs (dubine –957 m do –1047 m; u podinskom dijelu neogena: konglomerati i lapori),
- Osijek: gnajs i granit (dubine –1034 m do –1333 m; u podinskom dijelu neogena: lapori), a najpliće su nabušene stijene gornjokrednih vapnenaca kraj Beloga Manastira uz jugozapadni rub Banova Brda na 92 m ispod razine terena (kota oko 100 m n.m.).

Znatan dio dubinske građe je gornjotercijarne starosti. Izdvojene su naslage srednjeg miocena i gornjeg miocena. Krovinski dio kompleksa, srednjomiocenske starosti, izgrađuju sivobijeli do svijetlosmeđi vapnenci koji sadrže slojeve lapora s milimetarskim proslojcima sitnozrnog dobro vezanog pješčenjaka dok se u donjem dijelu profila javljaju kvarcne

mikrobreče. Gornji miocen građen je pjeskovitim laporima i finoslojnim do listićavim vapnencima bijele boje. Na osnovi istražnih bušenja i geofizičkih metoda utvrđeno je postojanje Croatica naslaga, tzv. „bijeli lapor“.

Iznad naslaga miocena kontinuirano slijede naslage donjopliocenske starosti. To je litološki heterogeni kompleks građen od pješčenjaka koji su ustvari ekvivalent abichi naslaga. Uz čvrsto i slabo vezane pješčenjake dolaze mekani lapor, gline i pijesci. Dok su naslage srednjeg do gornjeg pliocena karakterizira pijesak s proslojcima gline. Superpozicijski u kontinuiranom razvoju slijede naslage srednjeg do gornjeg pliocena. Bušenjem su utvrđene pretežno pješčane naslage s proslojcima glina u dubljim zonama ovog kompleksa.

Najveći dio površinske građe pripada naslagama pleistocena i holocena. To su različiti genetski tipovi fluvijativnog niza i ambijentalni diferencijati lesnih taloga. U holocenu dominiraju naplavinske sekvence Dunava i Drave koje prate različiti genetski tipovi fluvijativnog niza. Padinskom paragenetskom nizu pripadaju izdvojene deluvijalne zavjese holocena. Najveći dio naslaga ovog kompleksa pokriven je lesnim talozima pleistocena i naplavinskim talozima holocena. Kompletan stup ovih naslaga pripada terigenim klastičnim talozima koji se sastoje od pijeska, silta i gline, a vrlo rijetko i od sitnog šljunka.

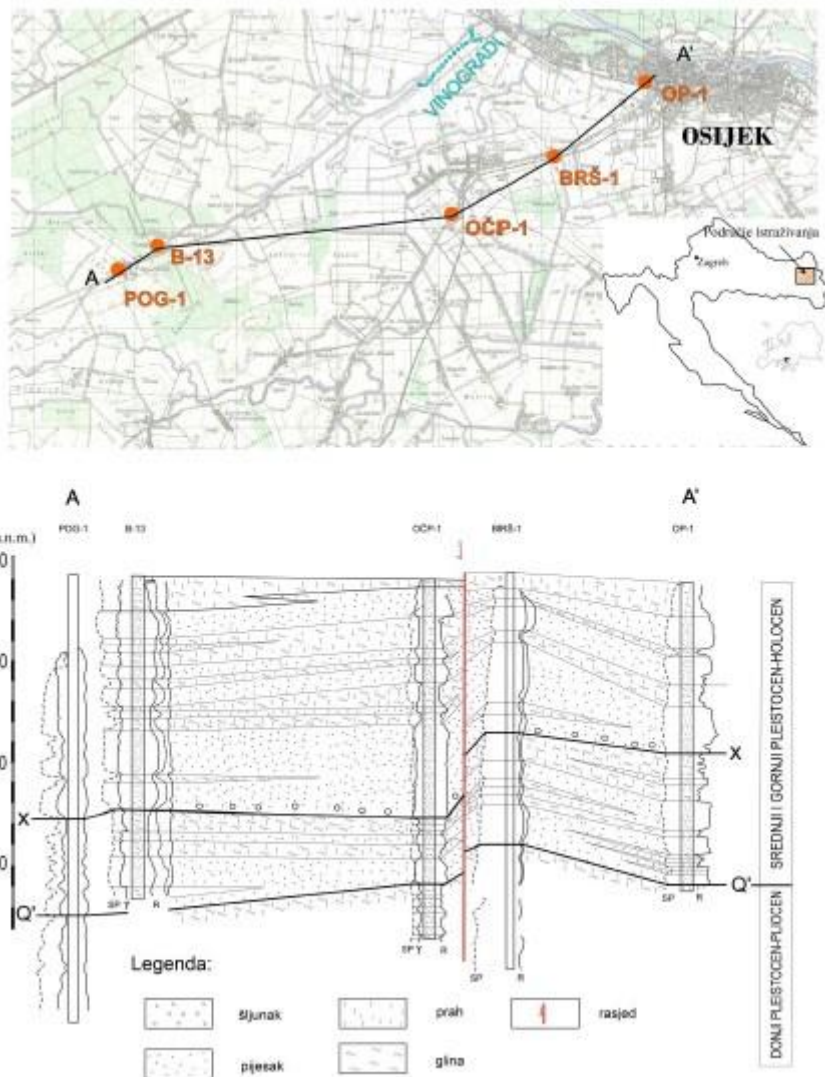
2.5. Litološki razvitak kvartarnih naslaga osječkog područja

Litološki su uglavnom zastupljeni glina, prah i pijesak koji se miješaju u svim omjerima kako lateralno tako i vertikalno. Ipak, i površinski ima sustavnih diferencijacija kako u morfološkom tako i u litostratigrafskom smislu, što s dubinom raste, a u litološkoj diferencijaciji najmlađih naslaga mogu se zamjetiti i odrazi dubokih struktura.

Na temelju podataka istraživačkog bušenja istražen je litološki razvitak kvartarnih naslaga. Plići dijelovi istraživani su istraživačkim bušotinama i vodozahvatnim zdencima u sklopu hidrogeoloških istraživanja, a dublji dijelovi u sklopu naftnogeoloških istraživanja. Analizom prikupljenih podataka o ovim bušotinama Urumović i dr. (1976) uočili su dva kontrastna dijela u inače općoj izmjeni sitno i krupno klastičnih sedimenata.

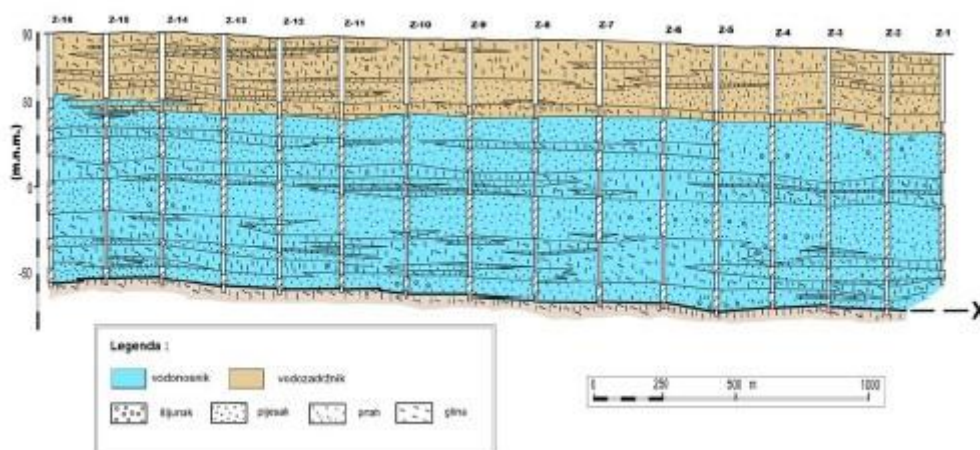
Karakteristika građe kvartarnih naslaga je izmjena slojeva gruboklastičnih i sitnoklastičnih taložina koja se pojavljuje na dvije razine mjerila. U nekim slojevima u kojima prevladava sitnozrnasti pijesak ili prah zapaža se tanka, gotovo milimetarska, izmjena slojeva praha i pijeska, ponegdje kao laminacijska i kosa slojevitost. Za deblje slojeve pijeska karakteristično je da pojedini ciklusi taloženja započinju s nešto krupnijim pijeskom u kojemu prevladavaju zrna veća od 0.2 mm, a u kasnijem taloženju javlja se sve manje prosječno zrno.

Gruboklastični materijali su pretežito predstavljeni jednoličnim pijescima sitnog do srednjeg zrna. Dominantna su zrnca kvarca s udjelom koji doseže do 85%. U sitnozrnastim pijescima značajan je udjel tinjaca. U mineralnom sastavu pijesaka također se javljaju odlomci karbonatnih stijena, feldspati, amfiboli, epidot i granati, na temelju čega se zaključuje da su izvorišne stijene dominantno bili masivi Alpa, a u podređenoj mjeri slavonskih planina. Sitnoklastični materijali sive su, sivoplave do zelenkaste boje. Predstavljeni su prahom, pjeskovitim prahom, te prašinastim do masnim glinama u kojima se često pojavljuju konkrecije kao fragmenti, oštrobridni do slabo zaobljeni, obično svjetosive do zelenkaste i bjeličaste, vapnene boje. Za razliku od slojeva praha i gline koji su vlažni, nakupine konkrecija su obično suhe, pa na elektrokarotažnim dijagramima ponekad pokazuju kontrastan otklon. U mineralnom sastavu prevladavaju zrna kvarca, a nešto su podređeni tinjčasti minerali, zatim dolaze feldspati. U pojedinim dijelovima pojavljuje se značajan sadržaj kalcita, u česticama iznad 0.06 mm, a među sitnijim udio montmorilonit doseže do 10 % (Duić, 2006).



Slika 2.2. Regionalni korelacijski profil kvartarnih naslaga osječke Podravine (preuzeto iz Urumović i dr., 1976)

Slika 2.2. prikazuje regionalni korelacijski profil kvartarnih naslaga istraživanog područja koji prema Urumović i dr. (1976) prikazuje dva kontrastna dijela u izmjeni sitno i krupno klastičnih sedimenata. Granica među njima označena je uvjetnim markerom Q'. Ispod markera Q' nalaze se naslage donjopleistocenske i pliopleistocenske starosti. Stupanj konsolidacije je veći, udjel propusnih, gruboklastičnih slojeva je smanjen, a mineralizacija vode je povišena u odnosu na gornji dio jedinice. Naslage iznad markera Q' pripadaju srednjem i gornjem pleistocenu te holocenu. Karakteristika gornjega dijela naslaga je nekonsolidiranost materijala, relativno visoki udjel propusnih gruboklastičnih slojeva i sadržaj slatkih voda.



Slika 2.3. Litološki profil kvartarnih naslaga crpilišta Vinogradi (preuzeto iz Urumović i dr., 2011)

Iznad markera Q', u naslagama, pojavljuje se još jedan kontrast u litološkom razvitku sličan onome na razini Q'. Na regionalnom korelacijskom profilu označen je markerom X (slika 2.3.). Iznad njega sljede najgrublje taložine u cijeloj regiji istočnoga dijela Dravske depresije (Urumović, 1982). Iznad ovoga markera zapažaju se pojedinačne sitne valutice šljunka. Ova pojava ukazuje da su ove naslage posljedica snažne transgresije širokih razmjera kada u Baranji dolazi do taloženja naslaga šljunka debelih do 50 m. To potvrđuje i činjenica da su jugoistočno od Osijeka na 60 m dubine, u sloju pijeska, nabušeni oblutci gnajsgranitnih stijena promjera do 120 mm. Dimenzije valutica su izuzetne za ove predjele, no pojava sitnih valutica šljunka registrirana je i na brojnim drugim bušotinama, a i elektrokarotazna korelacija potvrđuje regionalni karakter pojave koja je rezultirala s taloženjem najgrubljih taložina ovih predjela (Urumović, 1982).

2.6. Osnovne hidrogeološke značajke

Osječka Podravina je izrazito nizinski kraj, koji predstavlja najniže predjele Podravine, u kojemu se spajaju široke doline rijeka Drave i Dunava. Ova riječna nizina, u predjelu Kopačkog rita, ulazi u još šire inundacijsko područje Dunava zaostale velike prirodne akumulacije kao najniže depresije ovih predjela. Ostali predjeli nadvisuju inundacijsko područje te je na desnoj obali Drave riječna terasa izdignuta oko 5 m iznad inundacijskoga područja. Pružanjem Dravske terase zatvorene su blage depresije nizinskih rijeka, potoka i kanala, od kojih su najznačajniji Karašica s Vučicom, te Vuka.

Na napajanje podzemnih voda u vodonosnim horizontima kvartarnih naslaga presudnu ulogu imaju relativno nepropusni glinovito-prašinasti slojevi, zatim infiltracija padalina koja se odvija kroz pokrovne slojeve, te površinski tokovi. Taj iznos vode, ukoliko se ne potroši eksploatacijom, izgubit će se bilo otjecanjem ili evapotranspiracijom.

Prema ranijim analizama, iznos prosječne godišnje infiltracije padalina kreće se oko 14 do 16% visine godišnjih padalina dok je obnavljanje podzemnih voda u ovim predjelima pod dominantnim utjecajem vertikalnih faktora bilance te se u dubljim vodonosnim slojevima odvija procjeđivanjem kroz polupropusne međuslojeve iz vodonosnika s višom, prema vodonosniku s nižom piezometarskom razinom dok je pražnjenje vodonosnog sustava uvjetovano evapotranspiracijom, drenažom duž površinske hidrografske mreže i eksploatacijom. Površinski tokovi ovdje predstavljaju, naime, najnižu piezometarsku razinu i prema tome trasiraju mjesta pražnjenja podzemnih voda u prirodnim uvjetima.

Obnavljanje vodonosnika kaptiranog na crpilištu Vinogradi odvija se procjeđivanjem iz gornjeg izvornog sloja kroz polupropusni međusloj u krovini vodonosnika. Bilanca voda u izvornom sloju diktirana je prinosima od poniranja padalina i davanjem prema kaptiranom vodonosniku. Utjecaj osciliranja ovih ulaza i izlaza na kaptirani vodonosnik prigušen je promjenom zaliha podzemnih voda u izvornom sloju, a opći pad razine podzemnih voda uzrokovan intenzivnom eksploatacijom, uvjetuje reduciranje vanjskog pražnjenja podzemnih voda (evapotranspiracija i drenaža duž površinske hidrografske mreže) (preuzeto iz Duić, 2006).

Vrijednosti hidrogeoloških parametara na crpilištu proučavani su u više navrata pomoću brojnih analitičkih i numeričkih metoda. Koristeći ranije i najnovije analize može se reći da crpilište karakteriziraju sljedeće prosječne vrijednosti parametara (Duić, 2006):

$M = 60 - 80 \text{ m}$	- debljina vodonosnika,
$K = 12 - 19 \text{ m/dan}$	- hidraulička vodljivost vodonosnika,
$k' = (1,5-5) \cdot 10^{-3} \text{ m/dan}$	- vertikalna hidraulička vodljivost polupropusne krovine,
$S = 0,5-2 \cdot 10^{-3}$	- koeficijent uskladištenja vodonosnika,
$n = 0,20$	- efektivna poroznost pijeska,
$n' = 0,33 - 0,16$	- prosječna efektivna poroznost naslaga u krovini kaptiranog vodonosnika.

3. Teorijske osnove starenja zdenca i metode revitalizacije

Revitalizacija zdenaca provodi se s ciljem smanjenja redukcije specifičnog sniženja, odnosno s ciljem smanjenja otpora na situ i njegovom okolišu, kada ti otpori uzrokuju pretjeranu redukciju specifičnog sniženja (Duić, 2002). Glavna zadaća provođenja revitalizacije je vraćanje specifičnog kapaciteta zdenca.

Starenje zdenca podrazumijeva značajan pad specifične izdašnosti zdenca tijekom njegovog rada, a definirano je pogoršanjem karakteristika zdenca, kako hidrauličkih tako i tehničkih, tijekom crpljenja, a obuhvaća sve procese u kojima dolazi do pojave korozije ili začepljenja pora filtera (Driscoll, 1986).

Ukoliko dođe do pojave začepljenja pora filtra količina crpljene vode se postepeno mijenja, odnosno smanjuje, čime se povećava količina potrošnje električne energije što vuče za posljedicu i povećanja troškova crpljenja (Driscoll, 1986). Konačan rezultat revitalizacije je zadovoljavajući ukoliko osim povećanja učinkovitosti zdenca ne dođe do pretjeranog povećanja troškova crpljenja.

Usporedba troška rehabilitacije i troška zamjene postojećeg zdenca novim zdencem pokazuje da revitalizacija iznosi 10 do 20 % cijene izvedbe zamjenskog zdenca (Australian Drilling Industri Training Committee, 1996). S obzirom na taj podatak možemo zaključiti da je revitalizacija ekonomski isplativija iako nema 100%-tni učinak jer se njenim izvođenjem može spriječiti gubitak zdenca te produžiti njegov životni vijek. Međutim to vrijedi samo ukoliko se postupak revitalizacije provede u pravom trenutku, a ustanovljeni optimalni trenutak za provođenje revitalizacije približno je u trećoj godini korištenja zdenca, dok se stvarni trenutak treba odrediti stalnim praćenjem razine vode u zdencu, odnosno u onom trenutku kada počinje opadati učinkovitost zdenca (Duić, 2002).

3.1. Glavni uzroci starenja zdenca

Postoje brojni uzroci starenja zdenca na koje utječu karakteristike vodonosnika iz kojeg zdenac crpi vodu, konstrukcija samog zdenca, kvaliteta podzemne vode, pa čak i rad samog zdenca.

Neki od glavnih problema su (Australian Drilling Industri Training Committee , 1996; Driscoll, 1986):

1. Prvi problem je porast sniženja u zdencu. Do sniženja u zdencu može doći zbog vanjskih utjecaja kao što su regionalni pad razine podzemne vode ili eksploatacija drugih zdenca koji se nalaze u blizini. Uzrok smanjenja razine crpljene vode može biti i smanjenje hidrauličke učinkovitosti zdenca što je posljedica začepljenja pora filtra ili inkrustacija koje se stvaraju na filtru.
2. Drugi najčešći problem je smanjenje kapaciteta zdenca. Specifični kapacitet zdenca može se smanjiti zbog stvaranja inkrustacija, korozije ili biofilma na filtru zdenca. Drugi uzrok smanjenja kapaciteta zdenca je začepljenje zdenca sitnim česticama, najčešće pijeska i praha. One se pokreću radom crpke i svojim kretanjem zatvaraju pore filtra.
3. Treći problem koji se javlja je postupak pjeskarenja zdenca. On se često javlja zbog loše provedenog postupka osvajanja zdenca ili stvaranjem korozije na filtru što može prouzročiti povećanje vertikalne brzine toka, a time i povećanje otvora pora na filtru čime se omogućuje prolaz sve većim česticama u zdenac.
4. Biološka i kemijska inkrustacija jedan su od glavnih uzroka starenja zdenca. Oni se javljaju zbog loše kvalitete podzemne vode u kojima se nalaze povišene razine Ca i Mg karbonata, sulfatnih soli te željeznih oksida, te dovode do smanjenja specifičnog kapaciteta i efikasnosti zdenca. Dok brzina taloženja ovisi o vrsti otopljenih minerala u vodi, ali i o konstrukciji filtra.
5. Peti razlog je stanje same crpke. Greške prilikom projektiranja i izvedbe zdenca dovode do velikih šteta na crpkama. Određeni dijelovi crpke, kao što su rotor ili kućište, osjetljivi su na koroziju i pjeskarenje te mogu prilično smanjiti efikasnost crpke.

3.2. Procesi revitalizacije zdenca

Procesi revitalizacije se provode s ciljem poboljšanja hidraulički značajki zdenca, a obuhvaća tri glavna koraka (Driscoll, 1986):

- uklanjanje inkrustata i čestica koje začepljuju filter i taložnik,
- uklanjanje tih inkrustata i čestica iz zdenca,
- monitoring i nadgledanje provođenja postupka revitalizacije te mjerenje rezultata.

Procesi revitalizacije započinju s obradom podataka o kvaliteti vode, geološkim uvjetima, količini crpljenja, specifičnim kapacitetom zdenca, a koriste se i podaci s ostalih okolnih zdenaca na promatranom području. Potreba za revitalizacijom ovisi o načinu izvedbe zdenca i programu održavanja, a temelje se na individualnim karakteristikama zdenca i crpke. Postupak revitalizacije se mora uskladiti tako da odgovara problemu tretiranog zdenca i samoj konstrukciji zdenca. Treba voditi računa i da zdenac i/ili crpka ne propadnu do mjere kada je revitalizacija jako teška ili gotovo nemoguća. Optimalni trenutak provođenja revitalizacije nastupa približno u trećoj godini korištenja zdenca, dok stvarni trenutak treba odrediti stalnim praćenjem razine vode u zdencu, odnosno u onom trenutku kada počinje opadati učinkovitost zdenca. Najkasniji trenutak kada treba pristupiti revitalizaciji je kada se specifični kapacitet zdenca smanji za 25%. Naknadno odgađanje pristupanja postupku revitalizacije znatno povećava troškove i smanjuje efikasnost postupka.

Čak kada tretman revitalizacije pokazuje da je specifični kapacitet zdenca 100% od početnog, sav materijal je nemoguće ukloniti.

Revitalizacija se može podijeliti na tri koraka:

- pripremni radovi
- prva faza revitalizacije
- druga faza revitalizacije

1.Pripremni radovi

Prije početka revitalizacije provodi se kratkotrajno testiranje zdenaca crpkom koja je već ugrađena u zdence. Rezultati testiranja koriste se za određivanje trenutne specifične izdašnosti zdenaca, te radi kasnije provjere učinkovitosti revitalizacije.

Zdenac se zatim snima potopljenom kamerom radi određivanja stanja konstrukcije i određivanja eventualnog taloga u zdencu. Iz snimke se mogu uočiti eventualna oštećenja konstrukcije, naslage željeznog hidroksida, količina taloga u taložniku zdenca i sl.

Tijek provođenja radova je pod stalnim nadzorom, a podaci se bilježe u dnevnik.

Po završetku snimanja u zdenac se prvo spušta dvostruka čelična četka dužine 2 m s air-liftom, radi mehaničkog čišćenja konstrukcije zdenca struganjem naslaga na cijevima i sitima kako bi se omogućio što bolji učinak utisnutih radnih fluida. Četka se podiže i spušta uz istovremeno air-litiranje odnosno izbacivanje sastruganih naslaga, te se na kraju očisti taložnik.

Sami postupak revitalizacije provedi se u dvije faze kako je to uobičajeno u praksi te prema literaturnim navodima (Australian Drilling Industri Training Committee, 1996).

2.Prva faza revitalizacije

Cilj prve faze je uklanjanje oštećenja koja su nastala stvaranjem organskih taloga (biomase). U ovom se postupku, kao radni fluid, u zdenac se utiskuje jako oksidacijsko sredstvo, natrijev hipoklorit (NaOCl), stabiliziran natrijevim hidroksidom (NaOH). Ovim se treba potaknuti oksidacijski proces “otapanja” koji otklanja oštećenja od želatinozne biomase.

U zdenac se kroz “jetting” utisne radni fluid “bios” (natrijev hipoklorid NaOCl + natrijev hidroksid NaOH + voda) uz istovremeno lagano rotiranje i postupno podizanje alata do vrha sita svake pojedine sekcije. Po završetku utiskivanja radnog fluida provodi se “agitacija” “bućkanjem” klipom, odnosno, koristi se sektorska brtva. Zatim se zdenac ostavi mirovati, tj. “bios” stoji u zdencu nekoliko sati, a potom se pristupa osvajanju sa sektorskom brtvom od najvišeg sita prema najnižem situ (Duić, 2009).

3.Druga faza revitalizacije

Cilj druge faze je otklanjanje glinovito siltoznih čestica navučenih u neposrednu okolinu zdenca, koje blokiraju efektivni porni prostor i time smanjuju propusnost vodonosnika. U drugoj fazi primjenjuje se mješavina vode i Na-kiselog pirofosfata, koja razara kristalnu rešetku minerala gline, što omogućuje njezino iznošenje tijekom čišćenja. U zdenac se kroz “jetting” utiskuje radni fluid (pirofosfat - Na kiseli, Sodium Acid Pyrophosphate SAPP), a po završetku utiskivanja radnog fluida ponovo se provodi “agitacija” korištenjem sektorske brtva. Nakon što zdenac ostane mirovati 24 sata pristupa se osvajanju sa sektorskom brtvom od najvišeg sita prema najnižem situ.

Na kraju se u zdenac spušta otvoreni airtlift radi čišćenja taloga, te crpka radi dodatnog osvajanja. Po završetku izvođenja radova provodi se ponovo kratkotrajno testiranje, radi ocjene učinaka revitalizacije, te ponovno snimanje zdenac kamerom (Duić, 2009).

Za vrijeme životnog vijeka zdenca potrebno je provoditi monitoring (Driscoll, 1986):

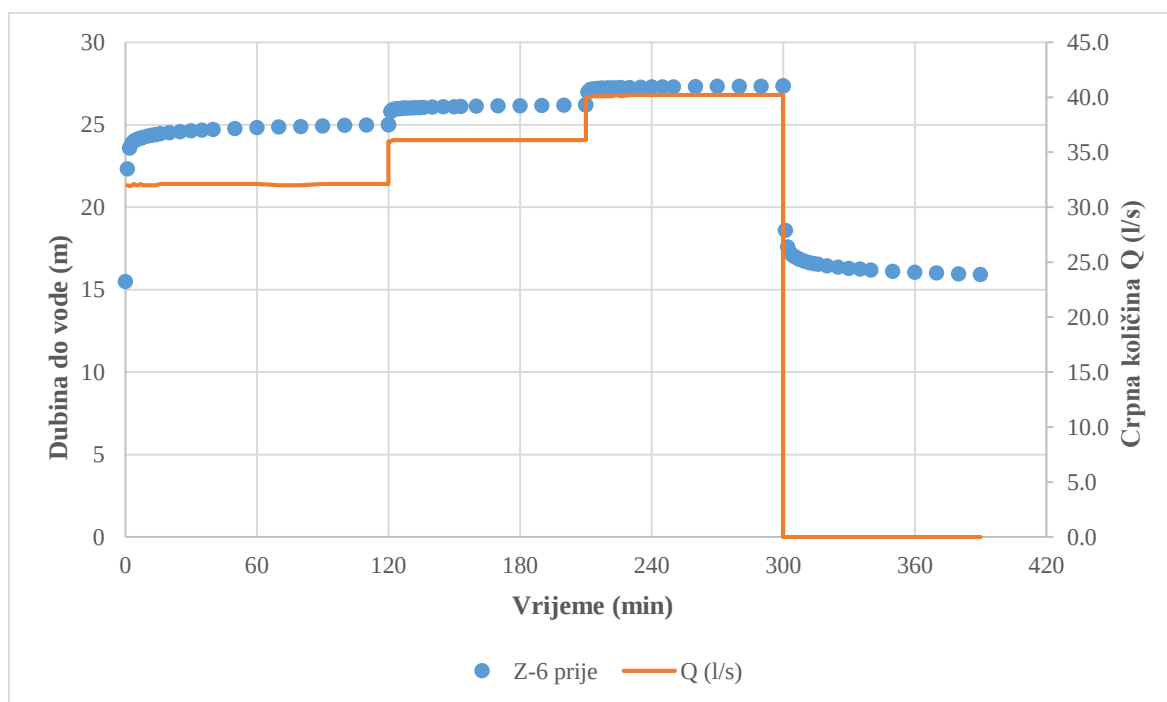
1. mjerenje količine crpljenja,
2. mjerenje razine vode u zdencu,
3. mjerenje količine pijeska u vodi,
4. povjera učinkovitosti zdenca,
5. provjera specifičnog kapaciteta zdenca,
6. kontrola sniženja razine vode uzrokovano djelovanjem okolnih zdenaca.

Promjenom bilo kojeg od navedenih značajki potrebno je detaljnije analizirati podatke kako bi mogli utvrditi uzroke tih promjena i poduzeti preventivne mjere ili pristupiti postupku planiranja revitalizacije.

4. Revitalizacija zdenca Z-6 na crpilištu Vinogradi

4.1. Prije provedbe revitalizacije

Pokusno crpljenje prije revitalizacije započelo je 9.03.2018. godine, u 8 sati i 30 minuta. Ukupno trajanje pokusnog crpljenja bilo je 7 i pol sati. Prilikom pokusnog crpljenja korištena je prethodno ugrađena crpka maksimalne izdašnosti od 40 l/s. Crpljenje je provedeno u 3 koraka u trajanju od oko sat i pol vremena s crpnim količinama od $Q_1 = 32,1$ l/s, $Q_2 = 36,1$ l/s, $Q_3 = 40,2$ l/s i na kraju se pratio povrat vode u zdenču od $Q_4 = 0$ l/s. Podaci opažanog crpljenja nalaze se u prilogu dok su promjena crpne količine i razina podzemne vode prikazan na slici 4.1.



Slika 4.1. Prikaz razine vode i crpne količine u zdenču Z-6 tijekom pokusnog crpljenja prije provedene revitalizacije

4.1.1. Lokalni parametri vodonosnika

Provedbom pokusnog crpljenja prikupljeni su podaci za određivanje parametara vodonosnika u neposrednoj blizini zdenca te je crpna količina iz prvog koraka korištena je za određivanje transmisivnosti vodonosnika. U prvom koraku crpna količina je iznosila $Q_1 = 32,1$ l/s. Sniženje razine vode u zdencu Z-6 prikazano je u ovisnosti o vremenu na slici 4.2. u polulogaritamskom mjerilu. Iz dijagrama sniženja u vremenu očitane su vrijednosti potrebne za izračun.

Za izračun transmisivnosti koristimo Cooper – Jacobovu polulogaritamsku nestacionarnu metodu:

$$T = \frac{0,183Q}{\Delta s} \quad (4-1)$$

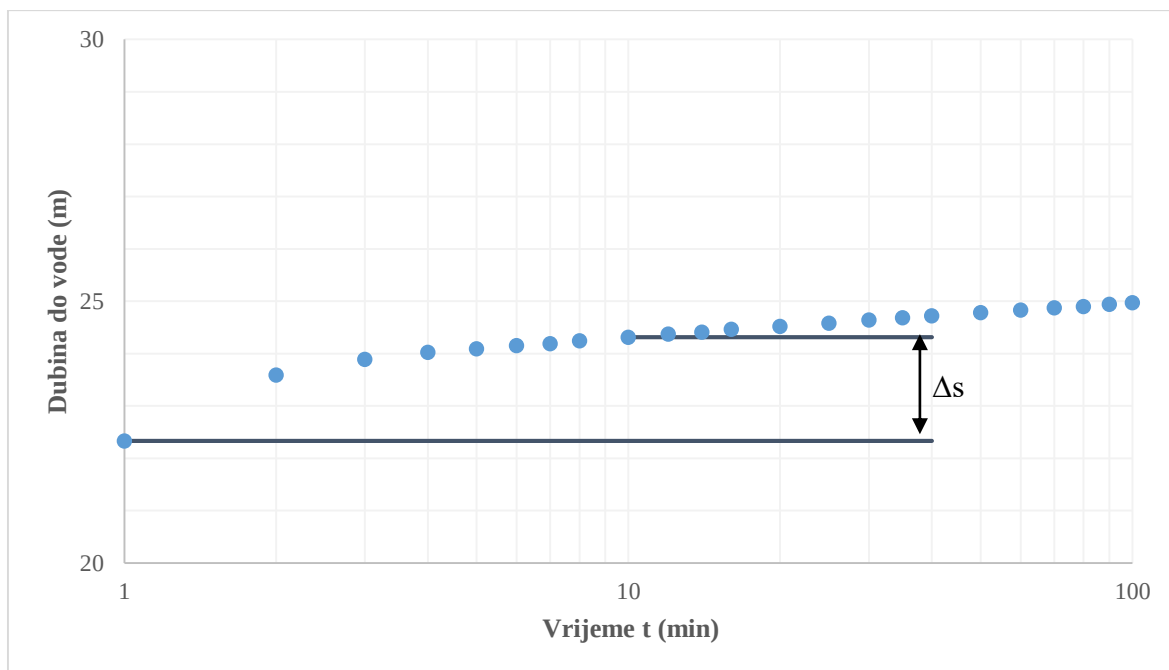
Za izračun hidrauličke vodljivosti koristimo:

$$K = \frac{T}{d} \quad (4-2)$$

gdje je:

$Q = 32,1$ l/s -izdašnost zdenca u vremenu kroz koje se koriste podaci za određivanja sniženja,

$d = 50$ m -ukupna debljina vodonosnika.



Slika 4.2. Polulogaritamski dijagram sniženja u vremenu za prvu crpnu količinu pri pokusnom crpljenju zdenca Z-6 prije provedene revitalizacije

Vrijednosti izračunatih lokalnih parametara vodonosnika prije provedene revitalizacije su:

$$T = 256,35 \text{ m}^3/\text{dan}$$

-transmisivnost,

$$K = 5,127 \text{ m/dan}$$

-hidraulička vodljivost,

$$S = 0,5 \cdot 10^{-3}$$

-koeficijent uskladištenja (usvojen iz ranijh istraživanja).

4.1.2. Parametri zdenca Z-6

Prikupljeni podaci pokusnim crpljenjem služe kako za određivanje parametara vodonosnika tako i za određivanje hidrauličkih parametara zdenca. Ukupni postupak crpljenja s tri različite crpne količine i opažanjem povratka razine vode nakon prekida crpljenja koristi se za identifikaciju linearnih i nelinearnih gubitaka u zdencu. Ukupno sniženje u zdencu sastoji se od sniženja uzrokovanih laminarnim tokom vode kroz sloj prema zdencu (gubitak u sloju - linearni gubitak) i od sniženja uzrokovane turbulentnim tokom koji se događa u neposrednoj blizini zdenca, na otvorima filtra i u samom zdencu (gubitak u zdencu – nelinearni gubitak).

Ukupno sniženje u zdencu dobiva se rješavanjem kvadratne jednadžbe (Jacob, 1949):

$$s = s_l + s_n = BQ + CQ^2 \quad (4-3)$$

gdje su:

s = ukupno sniženje u zdencu (m),

s_l = linearni gubitak (m),

s_n = nelinearni gubitak (m),

Q = crpna količina (l/m/s),

B = vrijednost linearnih gubitaka (s/m^2),

C = vrijednost nelinearnih gubitaka (s^2/m^5).

Za interpretaciju gubitaka u zdencu korištena je relacija, koja se može postaviti za slučaj crpljenja u koracima, pri kojoj je za svaki korak „i“ crpljenja:

$$s_i = BQ_i + CQ_i^2 \quad (4-4)$$

pa se razlika između svaka dva uzastopna koraka u pokusnom crpljenju može preurediti na:

$$\frac{\delta s_i}{\delta Q_i} = B + C \frac{Q_i^2 - Q_{i-1}^2}{\delta Q_i} \quad (4-5)$$

gdje su:

$\delta s_i = s_i - s_{i-1}$ -prirast sniženja između dva susjedna koraka u crpljenju,

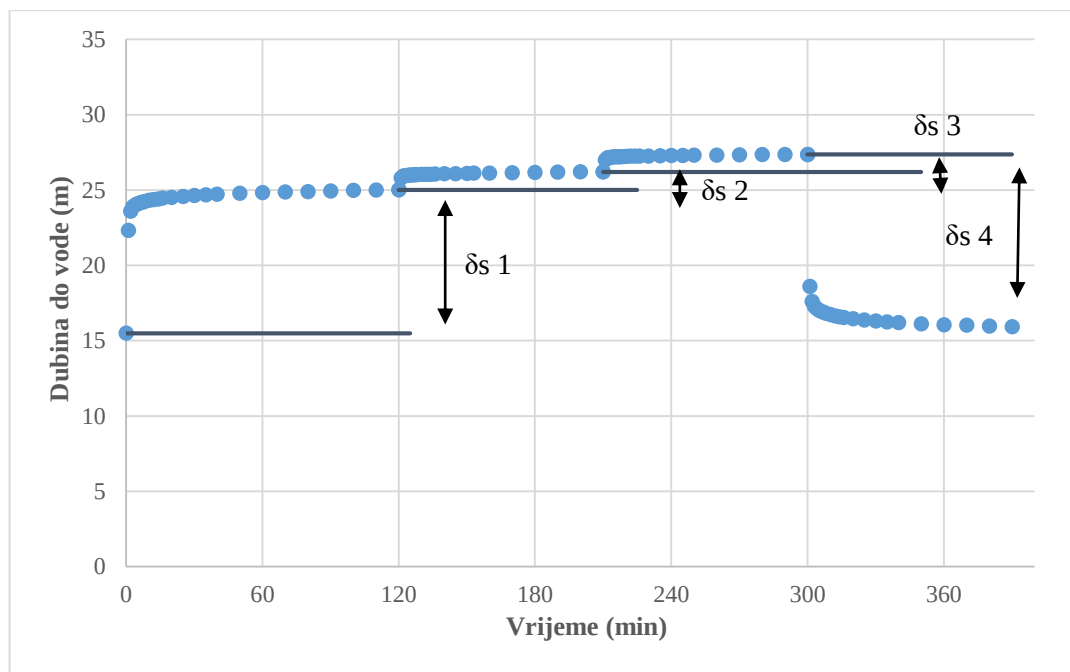
$\delta Q_i = Q_i - Q_{i-1}$ -razlika izdašnosti između dva susjedna koraka u crpljenju,

$\frac{\delta s_i}{\delta Q_i}$ -ekvivalentno specifično sniženje,

$\frac{Q_i^2 - Q_{i-1}^2}{\delta Q_i}$ -ekvivalentna izdašnost pojedinih koraka u pokusnom crpljenju.

Posljednja jednačba (4-5) predstavlja linearizirani oblik osnovne jednačbe preuređene u oblik koji ne predstavlja vezu između sniženja i stvarne crpne količine, nego između “ekvivalentnog specifičnog sniženja” i “ekvivalentne izdašnosti”, kojom je potenciran utjecajnog prirasta crpnih količina pri kojima je snažniji utjecaj nelinearnih gubitaka. Prirast sniženja razine vode u crpljenom zdencu, koje nastaje kroz 120 minuta nakon svake promjene crpne količine, polazeći od nulte količine, nalaze se u tablici 4-1 i na temelju njihovih vrijednosti izračunati su iznosi ekvivalentnog specifičnog sniženja i ekvivalentne izdašnosti.

Polazni podaci o kolebanju razine vode u crpljenom zdencu, koje nastaje pri svakom koraku prikazani su na slici 4.3.

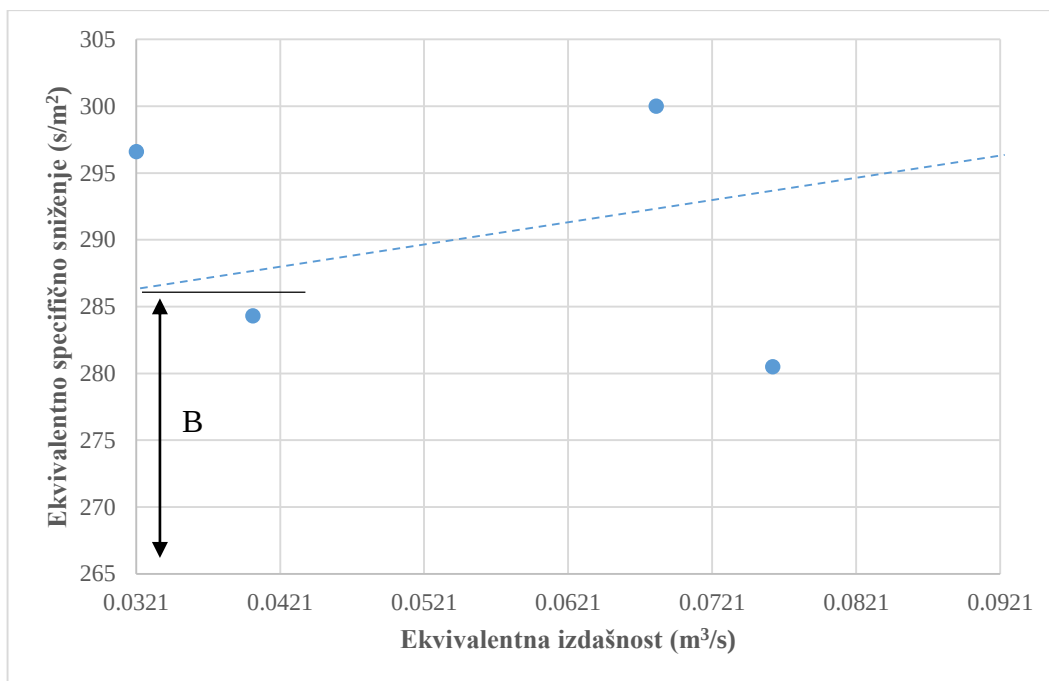


Slika 4.3. Dijagram kolebanja razine vode i prirast sniženja pri pokusnom crpljenju u koracima (prije provedbe revitalizacije)

Tablica 4-1 Podaci pokusnog crpljenja u koracima prije provedene revitalizacije

Korak	Crpna količina	Porast crpne količine	Prirast sniženja	Ekvivalentna izdašnost	Ekvivalentno specifično sniženje
(i)	$Q \text{ (m}^3/\text{s)}$	$\delta Q \text{ (m}^3/\text{s)}$	$\delta s \text{ (m)}$	$\frac{Q_i^2 - Q_{i-1}^2}{\delta Q_i} \text{ (m}^3/\text{s)}$	$\frac{\delta s}{\delta Q} \text{ (s/m}^2)$
0	0				
1	0,0321	0,0321	9,52	0,0321	296,06
2	0,0361	0,0040	1,20	0,0682	300,00
3	0,0402	0,0041	1,15	0,0763	280,05
4	0	0,0402	11,43	0,0402	284,03

Vrijednost pojedinih ekvivalentnih specifičnih sniženja i pripadne ekvivalentne izdašnosti zdenca (tablica 4-1) uneseni su na dijagram na slici 4.4. čine pravac koji presijeca ordinatu kod vrijednosti $B = 286 \text{ s/m}^2$ (za $t = 60 \text{ min}$), dok nagib pravca predstavlja vrijednost nelinearnih gubitaka, $C = 150 \text{ s}^2/\text{m}^5$.



Slika 4.4. Grafička analiza ekvivalentnog specifičnog sniženja i ekvivalentne izdašnosti zdenca Z-6 prije provedene revitalizacije prema podacima iz tablice 4-1

Vrijednost linearnih gubitaka nakon $t_i=120$ minuta crpljenja iznosi $B=278 \text{ s/m}^2$ te predstavljaju razvoj depresije u vodonosniku do efektivnog polumjera izvedenog zdenca i preko veličine efektivnog polumjera zdenca izražavaju kvalitetu njegove izvedbe.

Metoda određivanja efektivnog polumjera zdenca se zasniva na tome da linearni gubici predstavljaju specifično sniženje na mjestu zamišljenog efektivnog polumjera zdenca, R_z , nakon $t_i=120$ minuta crpljenja.

Efektivni polumjer računamo kao:

$$R_z = \sqrt{\frac{2,25Tt_i}{S \cdot \text{EXP}[4\pi BT]}} \quad (4-6)$$

gdje su:

$$T = 2,967 \cdot 10^{-3} \text{ (m}^2/\text{s)}$$

- transmisivnost vodonosnika,

$$T_i = 60 \text{ min}$$

- vrijeme za koje vrijedi parametar B,

$$B = 278 \text{ s/m}^2$$

- linearni gubici zdenca za $t_i = 60 \text{ min}$,

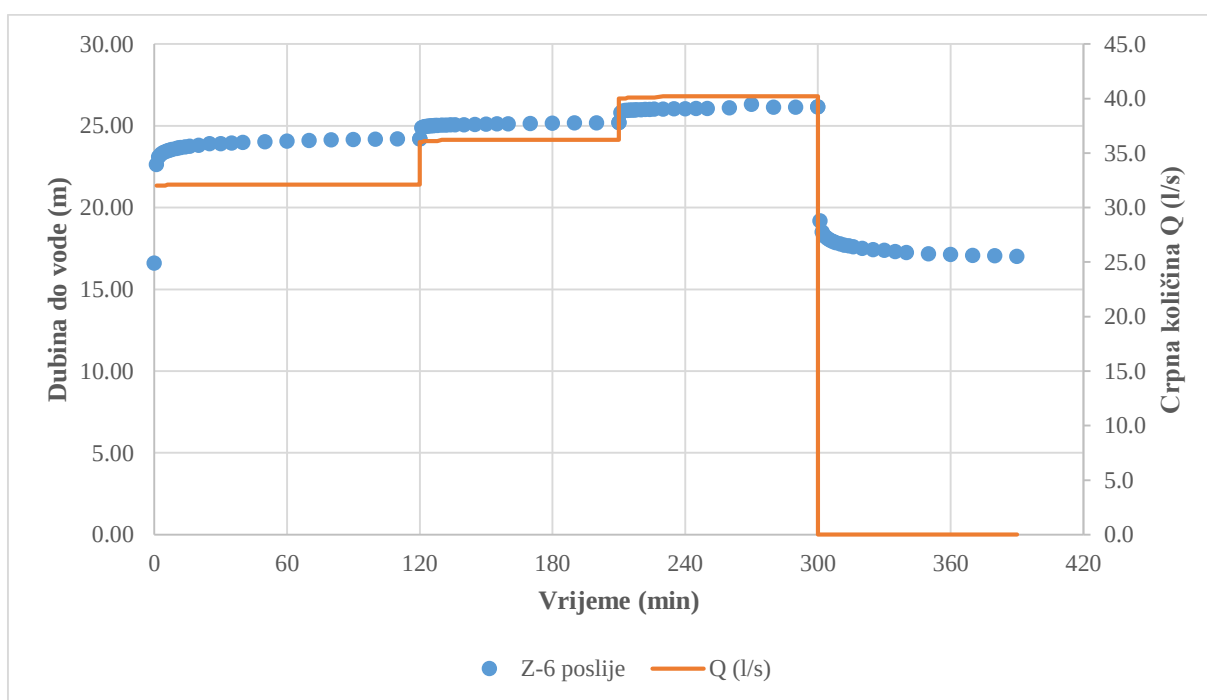
$$S = 0,5 \cdot 2 \cdot 10^{-3}$$

- koeficijent uskladištenja (usvojen iz ranijih istraživanja).

4.2. Poslije provedbe revitalizacije

4.2.1. Pokusno crpljenje nakon provedene revitalizacije

Pokusno crpljenje nakon provedene revitalizacije započelo je 18.04.2018. godine, u 9 sati i 30 minuta. Ukupno trajanje pokusnog crpljenja bilo je 6 i pol sati. Prilikom pokusnog crpljenja korištena je prethodno ugrađena crpka maksimalne izdašnosti od 40 l/s. Crpljenje je provedeno u 3 koraka s crpnim količinama od $Q_1 = 32,1$ l/s, $Q_2 = 36,2$ l/s, $Q_3 = 40,2$ l/s i na kraju se pratio povrat vode u zdencu od $Q_4 = 0$ l/s. Podaci opažanog crpljenja nalaze se u prilogu dok je promjena crpne količine i razina podzemne vode prikazan na slici 4.5.



Slika 4.5. Prikaz razine vode i crpne količine u zdencu Z-6 tijekom pokusnog crpljenja nakon provedene revitalizacije

4.2.2. Lokalni parametri vodonosnika

U prvom koraku crpna količina je iznosila $Q_1 = 32,1$ l/s. Sniženje razine vode u zdenču Z-6 nakon provedene revitalizacije prikazano je u ovisnosti o vremenu na slici 4.6. u polulogaritamskom mjerilu. Iz dijagrama sniženja u vremenu očitane su vrijednosti potrebne za račun.

Za izračun transmisivnosti koristimo Cooper – Jacobovu polulogaritamsku nestacionarnu metodu:

$$T = \frac{0,183Q}{\Delta s} \quad (4-7)$$

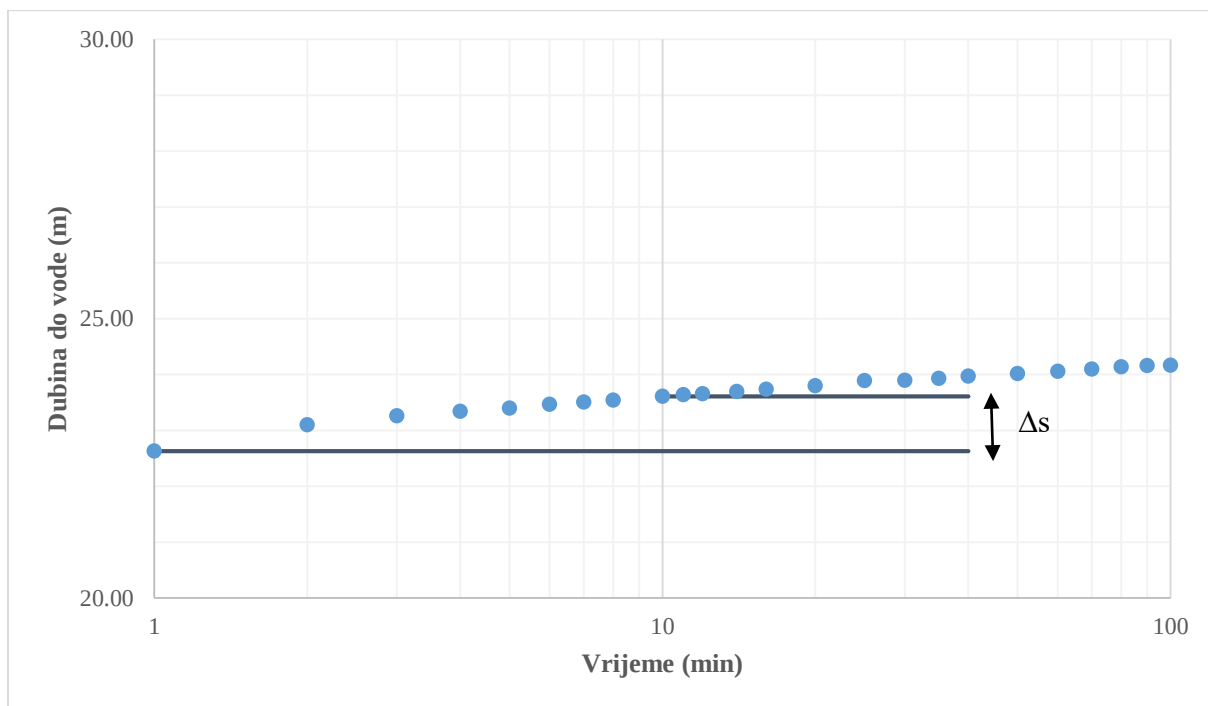
Za izračun hidrauličke vodljivosti koristimo:

$$K = \frac{T}{d} \quad (4-8)$$

gdje je:

$Q = 32,1$ l/s -izdašnost zdenca u vremenu kroz koje se koriste podaci za određivanja sniženja,

$d = 50$ m -ukupna debljina vodonosnika.



Slika 4.6. Polulogaritamski dijagram sniženja u vremenu za prvu crpnu količinu pri pokusnom crpljenju zdenca Z-6 poslije provedene revitalizacije

Vrijednosti izračunatih lokalnih parametara vodonosnika nakon provedene revitalizacije su:

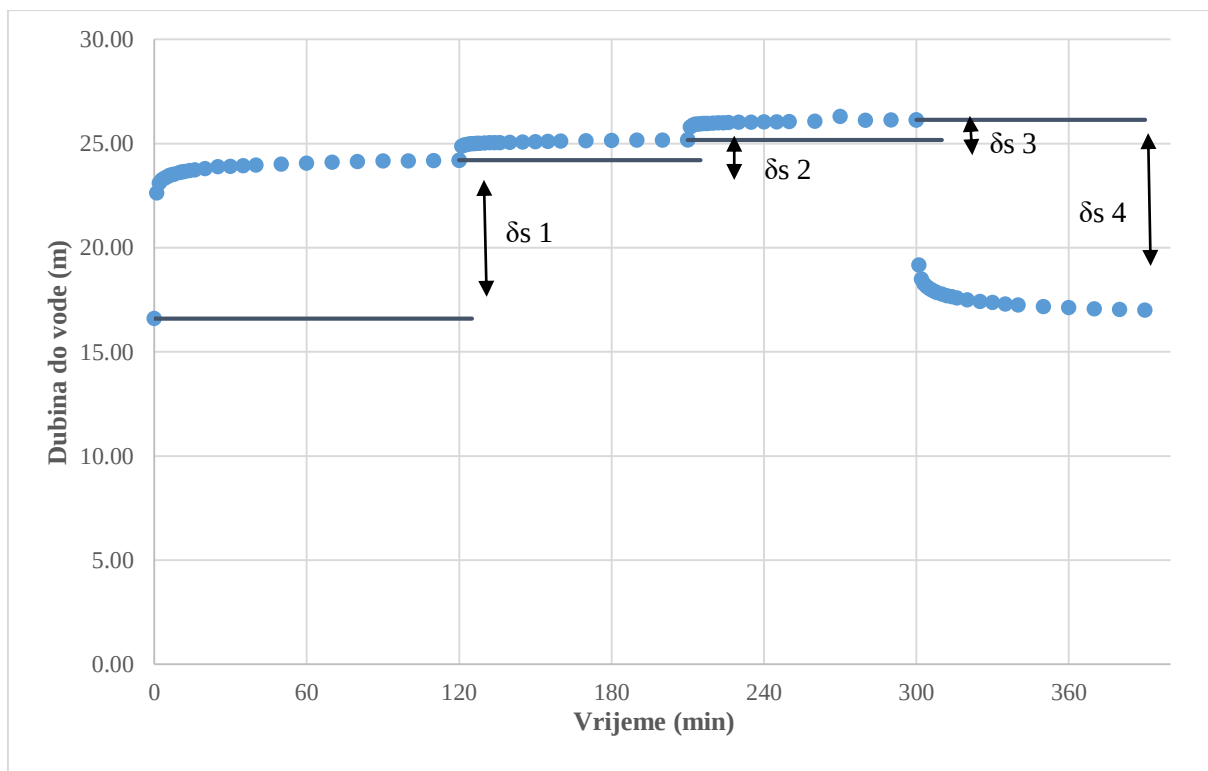
$T = 517,54 \text{ m}^3/\text{dan}$	-transmisivnost,
$K = 10,35 \text{ m/dan}$	-hidraulička vodljivost,
$S = 0,5 \cdot 10^{-3}$	-koeficijent uskladištenja (usvojen iz ranijh istraživanja).

4.2.3. Parametri zdenca Z-6

Ukupno sniženje u zdencu, kao i prije provedene revitalizacije, dobiva se rješavanjem kvadratne jednačbe (Jacob, 1949):

$$s = s_l + s_n = BQ + CQ^2 \quad (4-9)$$

Polazni podaci o kolebanju razine vode u crpljenom zdencu, koje nastaje pri svakom koraku prikazani su na slici 4.7.

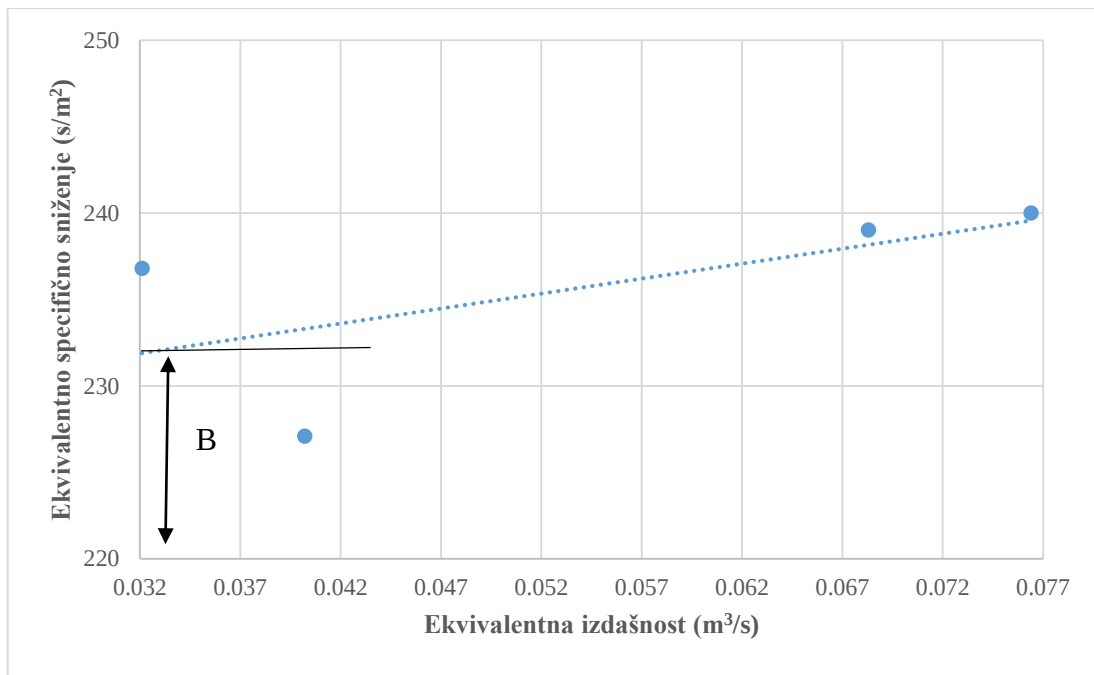


Slika 4.7. Dijagram kolebanja razine vode i prirast sniženja pri pokusnom crpljenju u koracima (nakon provedene revitalizacije)

Tablica 4-2 Podaci pokusnog crpljenja u koracima nakon provedene revitalizacije

Korak	Crpna količina	Porast crpne količine	Prirast sniženja	Ekvivalentna izdašnost	Ekvivalentno specifično sniženje
(i)	$Q \text{ (m}^3/\text{s)}$	$\delta Q \text{ (m}^3/\text{s)}$	$\delta s \text{ (m)}$	$\frac{Q_i^2 - Q_{i-1}^2}{\delta Q_i} \text{ (m}^3/\text{s)}$	$\frac{\delta s}{\delta Q} \text{ (s/m}^2)$
0	0				
1	0,0321	0,0321	7,60	0,0321	236,08
2	0,0362	0,0041	0,98	0,0683	239,02
3	0,0402	0,0040	0,96	0,0764	240,00
4	0	0,0402	9,13	0,0402	227,01

Vrijednost pojedinih ekvivalentnih specifičnih sniženja i pripadne ekvivalentne izdašnosti zdenca (tablica 4-2) uneseni su na dijagram (na slici 4.8.) čine pravac koji presijeca ordinatu kod vrijednosti $B = 231,7 \text{ s/m}^2$ (za $t = 60 \text{ min}$), dok nagib pravca predstavlja vrijednost nelinearnih gubitaka, $C = 173,33 \text{ s}^2/\text{m}^5$.



Slika 4.8. Grafička analiza ekvivalentnog specifičnog sniženja i ekvivalentne izdašnosti zdenca Z-6 nakon provedene revitalizacije prema podacima iz tablice 4-2

Efektivni polumjer zdenca R_z nakon provedene revitalizacije računamo kao:

$$R_z = \sqrt{\frac{2,25 T t_i}{S \cdot \text{EXP} [4\pi B T]}} \quad (4-10)$$

gdje su:

$$T = 5,99 \cdot 10^{-3} (m^2/s)$$

- transmisivnost vodonosnika,

$$T_i = 60 \text{ min}$$

- vrijeme za koje vrijedi parametar B,

$$B = 231,7 s/m^2$$

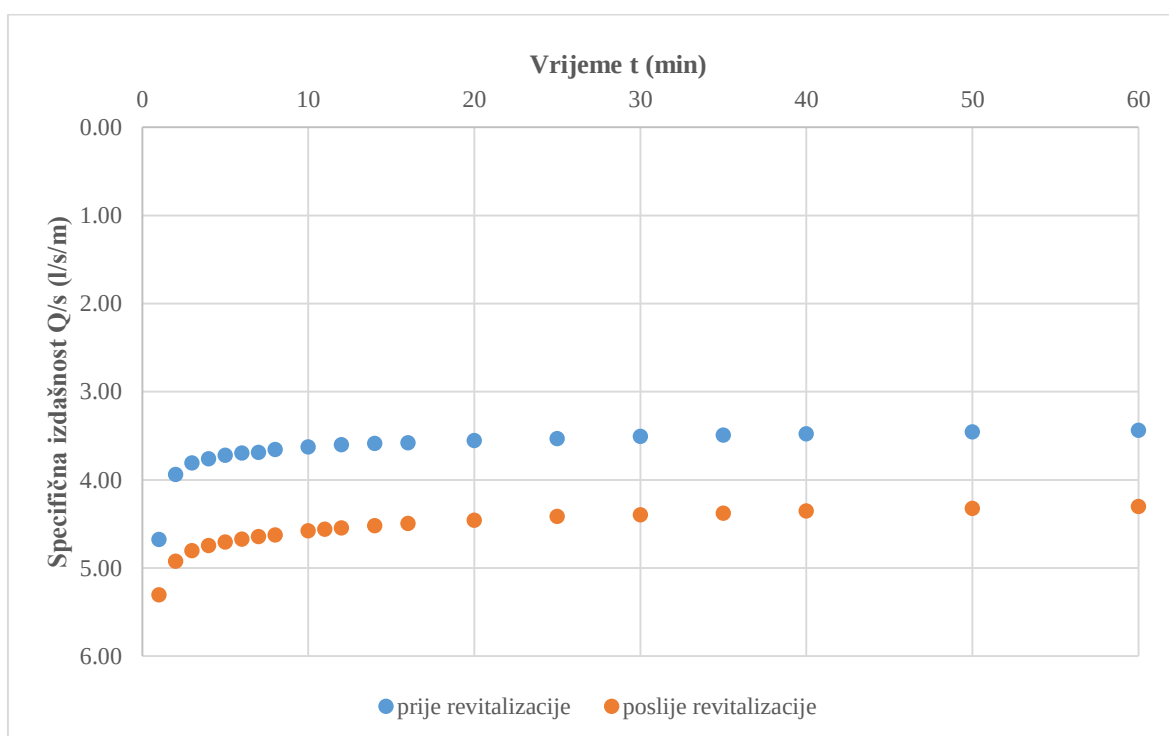
- linearni gubici zdenca za $t_i = 60 \text{ min}$,

$$S = 0,5 \cdot 10^{-3}$$

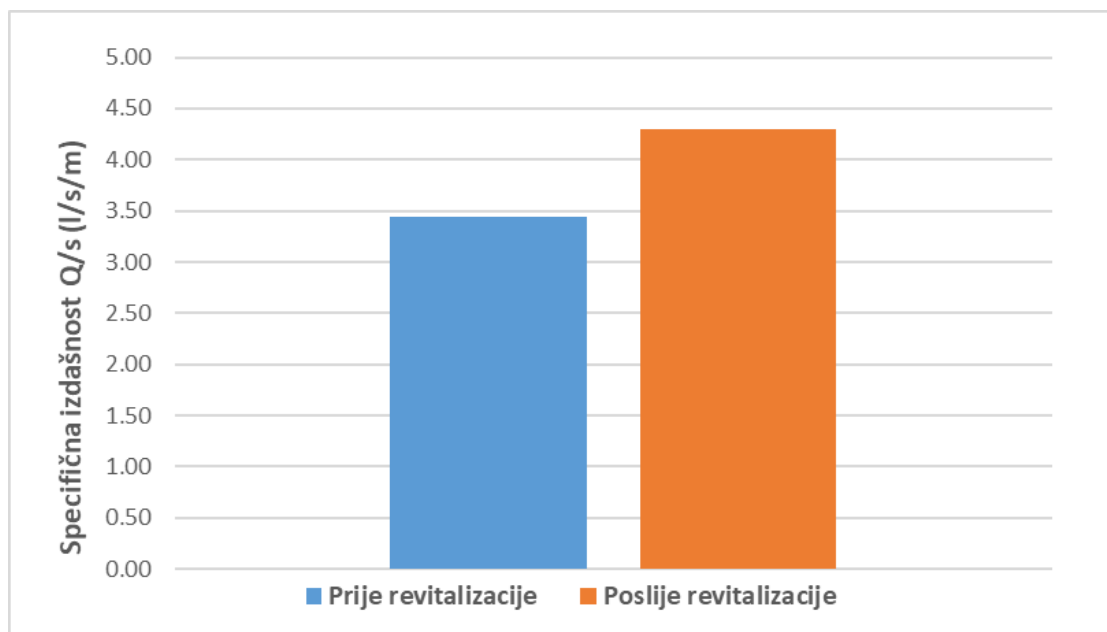
- koeficijent uskladištenja (usvojen iz ranijih istraživanja).

4.3. Zaključak o provedenoj revitalizaciji

Nakon provedbe revitalizacije provodi se analiza dobivenih podataka. Interpretacijom i analizom podataka prikupljenih o radu zdenca Z-6 zapažen je postupni pad specifične izdašnosti u odnosu na inicijalnu izdašnost. U zdenču je provedeno kratkotrajno testiranje radi određivanja specifične izdašnosti prije početka revitalizacije, odnosno po provedenoj revitalizaciji za ocjenu konačnih učinaka revitalizacije.



Slika 4.9. Prikaz kretanja specifične izdašnosti (odnos crpna količina / sniženje) zdenca Z-6 tijekom kratkotrajnog crpljenja zdenca prije i poslije revitalizacije



Slika 4.10. Prikaz specifične izdašnosti zdenca prije i poslije revitalizacije

Specifična izdašnost zdenca prije revitalizacije iznosila je 3,44 l/s/m, a po provedenoj revitalizaciji 4,30 l/s/m. Obradom svih podataka prikupljenih tijekom revitalizacije došlo se do zaključka da je učinak revitalizacije prilično zadovoljavajući, ali ipak ne i potpun. Specifična izdašnost zdenca povećala u odnosu na izdašnost prije revitalizacije oko 1,3 puta.

Ovi rezultati ukazuju na opravdanost provođenja revitalizacije uz uvjet da se provode u pravom trenutku. Ustanovljeno je da optimalni trenutak za provođenje revitalizacije približno u trećoj godini korištenja zdenca, a da stvarni trenutak treba odrediti stalnim praćenjem razine vode u zdencu, odnosno u onom trenutku kada počinje opadati učinkovitost zdenca (Duić, 2002).

Po revitalizaciji je smanjeno sniženje u zdencu, što ima za posljedicu uštedu energije. Provođenjem ovakvih revitalizacija se ipak produžava vijek trajanja zdenac jer se usporava degradacija njegove kvalitete, no učinak same revitalizacije snažno ovisi o pravovremenosti intervencije i uporabi primjerene tehničke opreme za provedbu revitalizacije.

5. Zaključak

U okviru ovog diplomskog rada obrađeni su procesi revitalizacije te hidrogeološki uvjeti na osječkom crpilištu Vinogradi.

Vodocrpilište Vinogradi je najveće vodocrpilište u Republici Hrvatskoj u kojemu se voda zahvaća iz pješćanih vodonosnika. Na crpilištu je u pogonu 18 zdenaca, generalnog smjera pružanja jugozapad-sjeveroistok, s pojedinačnom crpnom količinom od oko 40 l/s dok linija zdenaca slijedi kanal na udaljenosti oko 200 do 500 m od korita. Samo crpilište nalazi se na razvođu između Poganovačko-Kravičkoga kanala i Crnoga Foka.

Tijekom rada crpilišta uočen je postupni pad specifične izdašnosti u odnosu na inicijalnu izdašnost zdenca zbog čega je donesena odluka o provedbi postupka revitalizacije.

U ovom radu obrađen je zdenac Z-6 kod kojeg se pristupilo revitalizaciji, a na temelju provedenog pokusnog crpljenja zdenca načinjena je interpretacija lokalnih parametara vodonosnika i parametara zdenca. Provođenjem revitalizacije zdenaca vraća se izgubljeni specifični kapacitet (izdašnost) zdenca, a osim što se mogu crpiti početne količine vode, koristi se i manja količina energije potrebna za crpljenje što cijeli proces čini ekonomski isplativijim.

Dobiveni rezultati ukazuju na opravdanost provođenja revitalizacije uz uvjet da se provode u pravom trenutku. Ustanovljeni optimalni trenutak za provođenje revitalizacije je približno u trećoj godini korištenja zdenca, dok se stvarni trenutak treba odrediti stalnim praćenjem razine vode u zdencu, odnosno u onom trenutku kada počinje opadati učinkovitost zdenca.

Provođenjem ovakvih revitalizacija se ipak produljuje vijek trajanja zdenac jer se usporava degradacija njegove kakvoće, no učinak same revitalizacije snažno ovisi o pravovremenosti intervencije i uporabi primjerene tehničke opreme za provedbu revitalizacije.

6. Popis literature

AUSTRALIAN DRILING INDUSTRI TRAINING COMMITTEE (1996): Drilling: the manual of methods, applications and management. Lewis Publishers, Boca Raton, london, New York, Washington D.C, str. 471-478.

BABIĆ, Ž., ČAKARUN, I., SOKAČ, A i MRAZ, V. (1978): O geologiji kvartarnih naslaga područja rijeke Drave. – Geol. vjesnik, 30/1, 43 – 61, Zagreb.

DRISCOLL, F.G. (1986): Groundwater and wells. Johnson Division, St. Paul, Minnesota.

DUIĆ, Ž., URUMOVIĆ, K., HLEVNJAK, B. (2004): Verifikacija zaliha podzemnih voda crpilišta Vinogradi u istočnoj Slavoniji. Knjiga 1. Fond stručnih dokumenata Vodovoda-Osijek.

DUIĆ, Ž. (2006): Obnovljivost zaliha podzemnih voda heterogenog vodonosnog kompleksa na primjeru osječkog crpilišta Vinogradi. Doktorska disertacija, Rudarsko – geološko - naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, str. 1-18.

DUIĆ, Ž. (2009): Revitalizacija zdenca na crpilištu Vinogradi u Osijeku. Vijesti Hrvatskoga geološkog društva, 46/2, 2-8, Zagreb.

HLEVNJAK, B. (1988): Hidrogeološki uvjeti pri radu osječkog crpilišta Vinogradi. Diplomski rad, Rudarsko – geološko – naftni fakultet, Sveučilišta u Zagrebu, str. 3-13.

JACOB, C.E. (1949): Engineering Hydraulics. Proceesdings of Fourth Hydraulics Conference Iowa Institute of Hydraulic Research, June 12 – 15, 1949.

MAGAŠ, N. (1987): Osnovna geološka karta 1:100 000, list Osijek L 34-86. Geološki zavod Zagreb, 1981-1987. Savezni geološki zavod, Beograd.

MAGAŠ, N.(1987): Osnovna geološka karta 1:100 000, Tumač za list Osijek L 34-86. Geološki zavod Zagreb, 1986. Savezni geološki zavod, Beograd.

MILETIĆ, P. (1969): Hidrogeološke karakteristike sjeverne Hrvatske. Geol. vjesnik, 22, 511 – 524, Zagreb.

URUMOVIĆ, K., HERNITZ, Z., ŠIMON, J. i VELIĆ, J. (1976): O propusnom mediju kvartarnih te gornjo i srednjo – pliocenskih naslaga sjeverne Hrvatske. IV jug. sim. o hidrogeol. i inž. geol., 2,395 – 410, Skoplje.

URUMOVIĆ, K. (1982): Hidrogeološke značajke istočnog dijela dravske potoline. Doktorska disertacija.

URUMOVIĆ, K., HLEVNJAK, B., GOLD, H., KVATERNIK, R. (1987): Proširenje crpilišta Vinogradi. Hidrogeološka studija. Fond stručnih dokumenata Vodovoda-Osijek.

URUMOVIĆ, K., HLEVNJAK, B. i GOLD, H. (1996): Replenishment of groundwater from precipitation in the Osijek area (Croatia). XVIIIth Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. Proceedings, A45-A50, Graz.

URUMOVIĆ, K., HLEVNJAK, B. (1998): The development of basin multilayer aquifer. XIXth conference of Danube countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management. Proceedings, 519-528, Osijek.

URUMOVIĆ, K., HLEVNJAK, B., DUIĆ, Ž. (2002): Vodoopskrbni sustav Osijeka crpilište Vinogradi. Revitalizacija zdenca Z-11. Rudarsko - geološko - naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

PRILOZI

VODOVOD-HIDROGEOLOŠKI RADOVI d.o.o.					OPAŽANJE POKUSNOG CRPLJENJA				
Faza: STEP TEST, 1. korak, prije revitalizacije					Mjesto: OSIJEK			Koordinate zdenca:	
Crpka: PLEUGER 45 kW					Izvorište: VINOGRADI			x=	
Q _{max} = 40 l/s					Lokacija: Z-6/1			y=	
								z=	
Datum	Sat i minute	Vrijeme proteklo od početka crpljenja t (min)	ZDENAC: Z-6/1			SONDA :		OPASKE:	
			Izdašnost Q ₁ (l/s)	Dubina do vode (m)	Sniženje (m)	Stupac vode		Temp. zraka: 2 – 7 °C	
Visina (m)	Razlika (m)	Temp. vode: °C							
09.03.2018.	8:30	0	Zadano:	15,49	0,00	29,16	0,00	Vodomjer: 236957 m ³	
		1	32,0	22,33	6,84	22,22	6,94		
		2	31,9	23,59	8,10	21,20	7,96		
		3	32,0	23,89	8,40	20,88	8,28		
		4	32,1	24,02	8,53	20,79	8,37		
		5	32,0	24,09	8,60	20,71	8,45		
		6	32,0	24,15	8,66	20,65	8,51		
		7	32,1	24,19	8,70	20,61	8,55		
		8	32,0	24,24	8,75	20,57	8,59		
		10	32,0	24,31	8,82	20,50	8,66		
		12	32,0	24,37	8,88	20,44	8,72		
		14	32,0	24,41	8,92	20,40	8,76		
		16	32,1	24,46	8,97	20,37	8,79		
		20	32,1	24,52	9,03	20,29	8,87		
		25	32,1	24,58	9,09	20,23	8,93		
	9:00	30	32,1	24,64	9,15	20,18	8,98		
		35	32,1	24,68	9,19	20,13	9,03		
		40	32,1	24,72	9,23	20,10	9,06		
		50	32,1	24,78	9,29	2,004	9,12		
	9:30	60	32,1	24,83	9,34	20,00	9,16		
		70	32,0	24,875	9,385	19,95	9,21		
		80	32,0	24,90	9,41	19,91	9,25		
	10:00	90	32,1	24,94	9,55	19,88	9,28		
		100	32,1	24,97	9,58	19,86	9,30		
		110	32,1	24,99	9,60	19,84	9,32		
	10:30	120	32,1	25,01	9,62	19,86	9,34		
Napomena: Mjerna točka od vrha mjerne cjevčice na „glavi“ na + 0,40 m.								Prilog br. 2/1	

[illegible]

[illegible]

VODOVOD-HIDROGEOLOŠKI RADOVI d.o.o.					OPAŽANJE POKUSNOG CRPLJENJA			
Faza: Povrat, prije revitalizacije					Mjesto: OSIJEK		Koordinate zdenca:	
Crpka: PLEUGER 45 kW					Izvorište: VINOGRADI		x=	
Q _{max} = 40 l/s					Lokacija: Z-6/1		y=	
							z=	
Datum	Sat i minute	Vrijeme proteklo od početka crpljenja t (min)	ZDENAC: Z-6/1			SONDA :		OPASKE:
			Izdašnost Q ₀ (l/s)	Dubina do vode (m)	Sniženje (m)	Stupac vode		Temp. zraka: 14 – 15 °C
						Visina (m)	Razlika (m)	Temp. vode: °C
09.03.2018.	13:30	0	0.00	27.36	11.87	17.51	11.65	
		1	0.00	18.60	3.11	25.99	3.17	
		2	0.00	17.60	2.11	27.08	2.08	
		3	0.00	17.29	1.80	27.39	1.77	
		4	0.00	17.13	1.64	27.54	1.62	
		5	0.00	17.03	1.54	27.65	1.51	
		6	0.00	16.95	1.46	27.72	1.44	
		7	0.00	16.88	1.39	27.82	1.36	
		8	0.00	16.82	1.33	27.85	1.31	
		10	0.00	16.73	1.24	27.95	1.21	
		12	0.00	16.65	1.16	28.01	1.15	
		14	0.00	16.59	1.10	28.07	1.09	
		16	0.00	16.54	1.05	28.12	1.04	
		20	0.00	16.45	0.96	28.21	0.95	
		25	0.00	16.37	0.88	28.30	0.86	
	14:00	30	0.00	16.30	0.81	28.36	0.82	
		35	0.00	16.25	0.76	28.42	0.76	
		40	0.00	16.20	0.71	28.46	0.70	
		50	0.00	16.12	0.63	28.53	0.63	
	14:30	60	0.00	16.06	0.57	28.60	0.56	
		70	0.00	16.02	0.53	28.64	0.52	
		80	0.00	15.97	0.48	28.67	0.49	
	15:00	90	0.00	15.93	0.44	28.72	0.44	

[illegible]

OPAŽANJE POKUSNOG CRPLJENJA

Faza: STEP TEST, 1. korak, nakon revitalizacije

Mjesto: OSIJEK
Izvorište: VINOGRADI
Lokacija: Z-6/1

Koordinate zdenca:
x=
y=
z=

Crpka: PLEUGER 45 kW
Q_{max} = 40 l/s

[illegible]

Napomena: Mjerna točka od vrha mjerne cjevčice na „glavi“ na + 0,40 m.

Prilog br. 2/1

VODOVOD-HIDROGEOLOŠKI RADOVI d.o.o.					OPAŽANJE POKUSNOG CRPLJENJA				
Faza: STEP TEST, 2. korak, nakon revitalizacije					Mjesto: OSIJEK			Koordinate zdenca:	
Crpka: PLEUGER 45 kW					Izvorište: VINOGRADI			x=	
Q _{max} = 40 l/s					Lokacija: Z-6/1			y=	
								z=	
Datum	Sat i minute	Vrijeme proteklo od početka crpljenja t (min)	ZDENAC: Z-6/1			SONDA :		OPASKE:	
			Izdašnost Q ₂ (l/s)	Dubina do vode (m)	Sniženje (m)	Stupac vode		Temp. zraka: 19 °C	
Visina (m)	Razlika (m)	Temp. vode: °C							
18.04.2018.	11:30	0	Zadano:	24.20	7.60	20.05	7.35		
		1	36.0	24.87	8.27	19.39	8.01		
		2	36.1	24.93	8.33	19.33	8.07		
		3	36.1	24.95	8.35	19.31	8.09		
		4	36.1-36.2	24.98	8.38	19.29	8.11		
		5	36.1-36.2	24.99	8.39	19.28	8.12		
		6	36.1-36.2	25.00	8.40	19.27	8.13		
		7	36.1-36.2	25.01	8.41	19.27	8.13		
		8	36.1-36.2	25.02	8.42	19.26	8.14		
		10	±36.2	25.025	8.425	19.26	8.14		
		12	36.1-36.2	25.04	8.44	19.25	8.15		
		14	36.1-36.2	25.045	8.445	19.23	8.17		
		16	36.1-36.2	25.05	8.45	19.22	8.18		
		20	36.1-36.2	25.06	8.46	19.21	8.19		
		25	36.1-36.2	25.075	8.465	19.20	8.20		
	12:00	30	36.1-36.2	25.09	8.49	19.18	8.22		
		35	36.1-36.2	25.11	8.51	19.17	8.23		
		40	36.1-36.2	25.115	8.515	19.16	8.24		
		50	36.1-36.2	25.13	8.53	19.14	8.26		
	12:30	60	36.1-36.2	25.15	8.55	19.12	8.28		
		70	36.1-36.2	25.16	8.56	19.11	8.29		
		80	36.1-36.2	25.17	8.57	19.10	8.30		
	13:30	90	36.1-36.2	25.18	8.58	19.09	8.31		

[illegible]

