

Pliocenski vodonosniki - pomemben vir neoporečne pitne vode za ptujsko-ormoško regijo

Pliocene Aquifers - the Source of drinking Water for Ptuj and Ormož Region, Slovenia

Ljubo Žlebnik & Franc Drobne

Geološki zavod Slovenije,
Dimičeva 14, 1000 Ljubljana, Slovenija

Ključne besede: pitna voda, pliocenski vodonosniki, Ptujsko-ormoška regija
Key words: drinking water, Pliocene aquifers, Ptuj and Ormož region

Kratka vsebina

Mesto Ptuj s širšo okolico se oskrbuje s pitno vodo iz podtalnice Dravskega polja z zajetjem v Skorbi. Podtalnica se nahaja v kvartarnem dravskem produ sorazmerno plitvo pod površino (7-12,5 m) in je zaradi intenzivnega kmetijstva prekomerno onesažena z nitrati in pesticidi.

Zbrani geološki podatki ter globinske raziskave, so pokazali, da leže na vzhodnem delu Dravskega polja in zahodnem delu Ptujškega polja pod kvartarnimi dravskimi prodnimi naplavinami številne dokaj debele (10-25 m) mlajše pliocenske vodonosne prodne plasti. Med seboj so ločene z neprepustnimi glinami. Te vodonosne plasti izdanjajo v Slovenskih goricah severno in severovzhodno od Ptuja, kjer se napajajo s padavinami.

Na osnovi raziskav, ki so obsegale vrtanje, elektrokarotazne meritve, poizkusno črpanje in analize kakovosti vode, so bile v letih 1995-96 v Skorbi zajete 3-4 vodonosne pliocenske prodne plasti. Izvrtani so bili 3 vodnjaki globine 150-155 m. V vodnjakih je zgornja, oporečna podtalnica v kvartarnem produ zatesnjena z zacementiranimi jeklenimi cevmi, podtalnica v pliocenskih prodnih plasteh pa je zajeta s plastičnimi filterskimi cevmi.

Debelina zajetih pliocenskih vodonosnih plasti v vodnjakih niha od 50-57 m, izdatnost vodnjakov pa od 20-23 l/s. Skupaj dajejo vsi trije vodnjaki več od 60 l/s vode. Vodnjaki neprekinjeno obratujejo že od začetka leta 1996. Podtalna voda pa je po podatkih analiz kemično in bakteriološko neoporečna. Je brez pesticidov in z zelo nizko vsebnostjo nitratov (pod 1 mg N/l). Izmerjene koncentracije vseh zasledovanih pesticidov, tudi atrazina in desetilatrazina, ki sta stalna spremljevalca podtalnice Dravskega in Ptujškega polja, so bile manjše od detekcijske meje uporabljernih analitskih metod.

S tem je bila zagotovljena oskrba mesta Ptuja in okolice z dobro pitno vodo.

Abstract

The city of Ptuj and its larger surrounding areas are supplied with drinking water from Dravsko polje with the groundwater pumping station in Skorba. The groundwater is located in Quaternary gravel deposits of the Drava river, relatively close under the surface (7-12.5 m), and is contaminated with nitrates and pesticides

due to intensive agricultural activities in the area. These facts prompted Komunalno podjetje Ptuj to engage the Geological Survey in Ljubljana to investigate the possibilities for extracting high-quality drinking water from greater depths.

Disposable geological data and investigations of deep geological structures located numerous early Pliocene water-bearing gravel layers of considerable thickness (10-25 m), separated by impermeable clay layers, in the eastern part of Dravsko polje and western part of Ptujsko polje. These water-bearing layers crop out in Slovenske gorice, north and north-east of Ptuj, where they are recharged by precipitation.

The investigation in 1995-96 comprised exploratory drilling, electric logging, test pumping and water quality analyses and included 3-4 water-bearing Pliocene gravel layers in Skorba. Three wells of 150-155 m were drilled, in which the upper, contaminated groundwater in Quaternary gravel is sealed with cemented steel casing, and the groundwater in Pliocene gravel layers is captured with plastic filter casing.

The thickness of Pliocene water-bearing strata in the wells ranges from 50 to 57 m, and the well yield is 20-23 l/s. Together, the three wells yield more than 60 l/s of water, and have been exploited without interruption since the beginning of 1996. According to corresponding analyses, the ground water is chemically and bacteriologically unpolluted. It contains no pesticides and a very low concentration of nitrates (under 1 mg N/l). The concentrations of all pesticides monitored, including atrazine and desetilatrazine, which are constantly present in the ground water of Dravsko and Ptujsko polje, were smaller than the detection limit of applied analytical methods.

In this way, a high-quality drinking water supply was provided for Ptuj and its surroundings.

Uvod

Mesto Ptuj s širšo okolico se oskrbuje s pitno vodo iz podtalnice Dravskega polja z zajetjem v Skorbi. Podtalnica se nahaja v kvartarnem dravskemrodu, ki je na visoki terasi debel 28-30 m, na nizki pa okrog 24 m in je zelo dobro prepusten ($k = 1.10^{-2}$ do 6.10^{-3} m/s). Njena gladina je na visoki terasi v Skorbi pri srednjem vodnem stanju 12,5 m globoko, na nizki terasi pa 7 m. Vodonosna prodna plast je torej debela 15-17 m. Podtalnica se pretaka od zahoda proti vzhodu. Napaja se s pronicanjem padavin, ki padejo na polju in s ponikovanjem potokov, ki pritečejo s Pohorja. Izliva se v več studenčnic, ki izvirajo pod visoko dravsko teraso, delno pa se izliva neposredno v Dravo, oziroma v odprti odvodni kanal HE Zlatoličje ter v drenažni kanal vzdolž akumulacijskega bazena HE Formin.

Kvartarni dravski prod je na površju prekrit le z zelo tanko plastjo preperinske gline in humusa, zato je podtalnica izpostavljena neposrednemu onesnaževanju s površja. Onesnaževanje povzročajo intenzivno kmetijstvo, neurejena kanalizacija v naseljih ter nečista industrija na polju in njenem obrobju. Dodatno onesnaževanje izvira iz poniklih pohorskih potokov, v katere se izlivajo odplake iz bližnjih naselij.

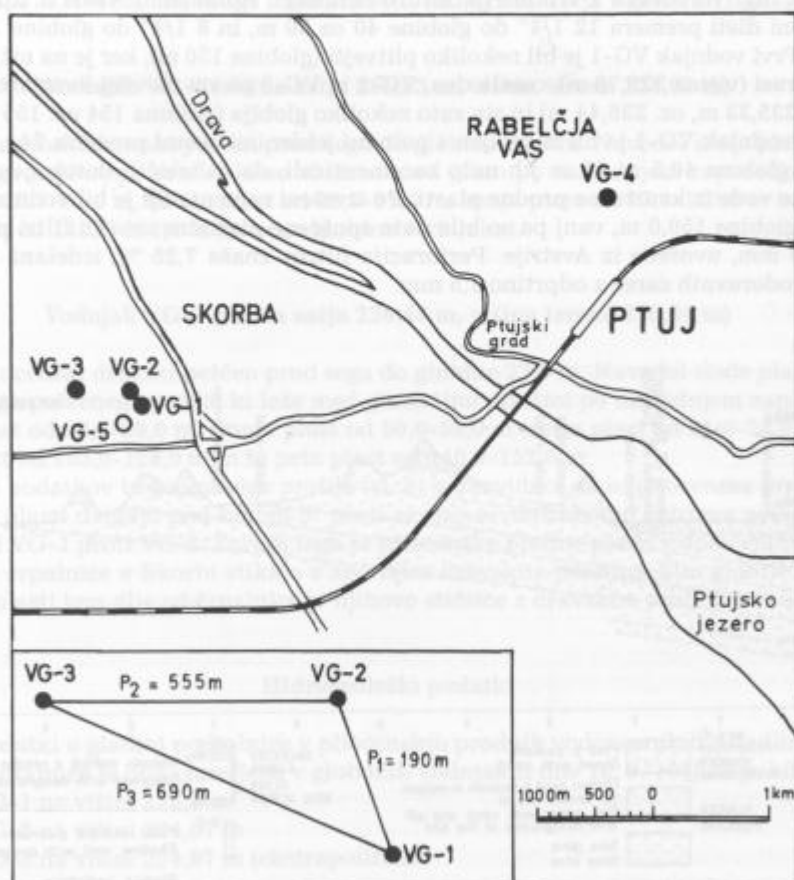
V zajetju Skorba je 7 vodnjakov globine 18,5-24,5 m. Njihova izdatnost niha od 40-70 l/s. Podatki kemičnih analiz vode iz vodnjakov kažejo dokaj visoko vsebnost NO_3 , že blizu zgornje dopustne meje ter sledove ostalih polutantov, predvsem pesticidov. Iz tega je razvidno, da kakovost pitne vode ni najboljša. Zaradi tega sta Komunalno podjetje Ptuj ter njihov svetovalec dr. Petrešin iz Univerze v Mariboru dala pobudo Geološkemu zavodu Ljubljana, da bi poiskali nove vire čistejših pitnih voda.

Podatki, ki so zbrani na Geološkem zavodu Ljubljana kažejo, da so na jugovzhodnem delu Dravskega polja, vzhodno od črte Šikole-Starše-Vurberg pod kvartarnim dravskim prodom mlajše pliocenske glinasto prodne plasti. Le-te izdanjajo v Slovenskih Goricah med Vurbergom, Ptujem in dolino Pesnice. Prodne plasti so debele 10

do 25 m in celo več ter so vložene med plasti gline. So nekoliko slabše prepustne od kvartarnega proda, vendar se razprostirajo na zelo širokem območju in zato vsebujejo velike zaloge podzemne vode. Ta ni izpostavljena neposrednemu onesnaževanju s površja in je zato primerna za vodooskrbo.

Skupna debelina skladovnice pliocenskih prodno glinastih plasti je po podatkih globokih vrtin P-1 in P-2 v Ptujskih toplicah preko 1000 m.

Prepustnost pliocenskega proda je bila preiskana s črpalnimi poskusi na območju strojnice HE Zlatoličje, kjer le-ta znaša povprečno $9,5 \cdot 10^{-6}$ m/s. Na osnovi tega smo ocenili, da bi bilo mogoče s 150 m globokim vodnjakom iz 100 m debele pliocenske vodonosne plasti črpati okrog 12 l/s vode pri znižanju gladine za 15 m. Pri tem pa bi bilo treba onemogočiti dotok neustrezne vode iz kvartarnega dravskega proda. V ta namen bi bilo treba vodnjak vsaj do globine 30 m zaceviti s polnimi cevmi in jih zacementirati.



Sl. 1. Položajna skica globokih vodnjakov v črpališču Skorba

Fig. 1 Locality map of deep wells in pumping station Skorba

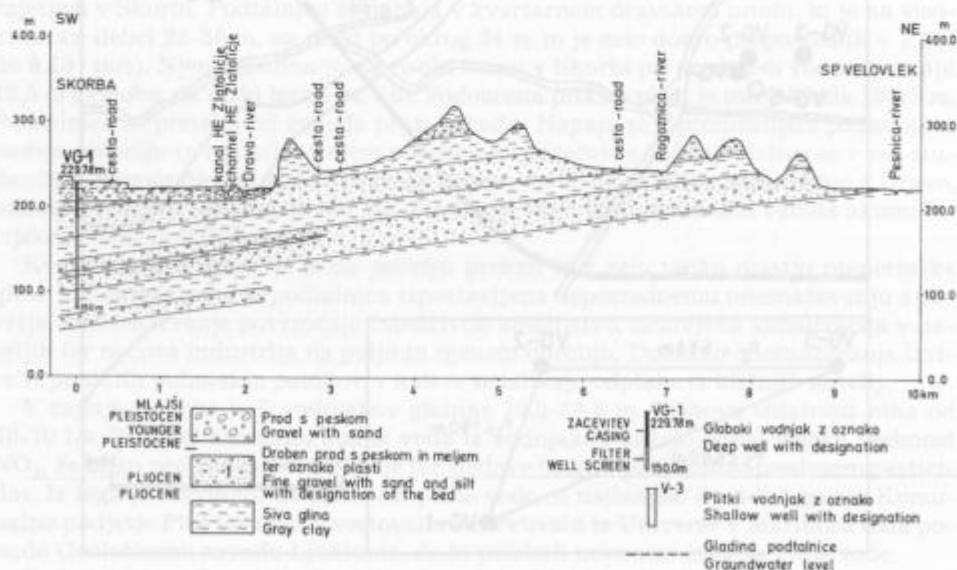
Na osnovi podatkov, ki smo jih zbrali in naše ocene izdatnosti pliocenskih prodnih plasti, so se na Komunalnem podjetju Ptuj odločili, da na območju Skorbe zajamejo vodo v pliocenskih prodnih plasteh s 3-4 vodnjaki. Njihov položaj je razviden iz priložene karte (sl. 1). V prvi fazi so bili v letih 1995-96 izdelani 3 vodnjaki, v letu 1998 pa je v načrtu še en vodnjak.

Podatki o vodnjakih

Tehnični podatki

Vsi trije vodnjaki, ki smo jih poimenovali VG-1, VG-2 in VG-3 je izvrtalo vrtno podjetje ing. Verbovska z vrtno garnituro Schramm Rotadrill T 450H z izplako in kotalnimi dleti premera 12 1/4" do globine 40 oz 50 m, in 8 1/4" do globine 150, oz. 155 m. Prvi vodnjak VG-1 je bil nekoliko plitvejši (globine 150 m), ker je na nižji kvartarni terasi (višina 229,78 m), ostala dva, VG-2 in VG-3 pa sta na višji kvartarni terasi (višina 235,33 m, oz. 236,44 m) in sta zato nekoliko globlja (globina 154 oz. 155 m).

Prvi vodnjak VG-1 je bil zacevljen s polnimi jeklenimi cevmi premera 244,5/229,3 mm do globine 40,5 m, ki so jih nato zacementirali, da so izločili dotok neustrezne podtalne vode iz kvartarne prodne plasti. Po izvršeni cementaciji je bil vodnjak izvrtan do globine 150,0 m, vanj pa so bile nato spuščene plastične cevi in filtri premera 165/150 mm, uvožene iz Avstrije. Perforacija filtrov znaša 7,25 %, izdelana pa je v obliki vodoravnih zarez z odprtino 1,5 mm.



Sl. 2 Pregledni geološki presek Skorba - Sp. Velovlek
Fig. 2 General geological section Skorba - Sp. Velovlek

Drugi in tretji vodnjak sta bila izdelana na povsem enak način, le da je zacevitev s polnimi jeklenimi in plastičnimi cevmi in filtri nekoliko drugačna. V vodnjak VG-2 so bile vgrajene polne jeklene cevi do globine 44,8 m, plastične cevi in filtri pa do globine 154,8 m. V vodnjaku VG-3 segajo polne jeklene cevi do globine 50,0 m, plastične cevi in filtri pa do globine 154 m.

Geološki podatki

Vodnjak VG-1 (višina ustja 229,78 m, višina terena 229,28 m)

Pleistocenski dravski peščen prod sega do globine 24,0 m. Navzdol slede plasti pliocenske gline, med katere so vložene peščeno prodne plasti. Prva pliocenska prodna plast je v globini 33,0 m 65,0 m, druga v globini 90,5-105,0 m in tretja v globini 110-128,0 m.

Vodnjak VG-2 (višina ustja 235,33 m, višina terena 234,93 m)

Pleistocenski dravski peščen prod sega do globine 29,0 m. Navzdol slede plasti pliocenskega peščenega proda, ki so vložene med glino po naslednjem zaporedju; prva plast od 39,7-51,0 m, druga plast od 88,0-91,0 m, tretja plast od 97,0-115,0 m in še četrta plast od 142,0-154,8 m (končna globine vodnjaka).

Vodnjak VG-3 (višina ustja 236,44 m, višina terena 230,04 m)

Pleistocenski dravski peščen prod sega do globine 27,0 m. Navzdol slede plasti pliocenskega peščenega proda, ki leže med glinastimi plastmi po naslednjem zaporedju; prva plast od 27,0-29,0 m, druga plast od 50,0-58,0 m tretja plast od 61,0-78,0 m, četrta plast od 105,0-124,0 m in še peta plast od 140,0-152,0 m.

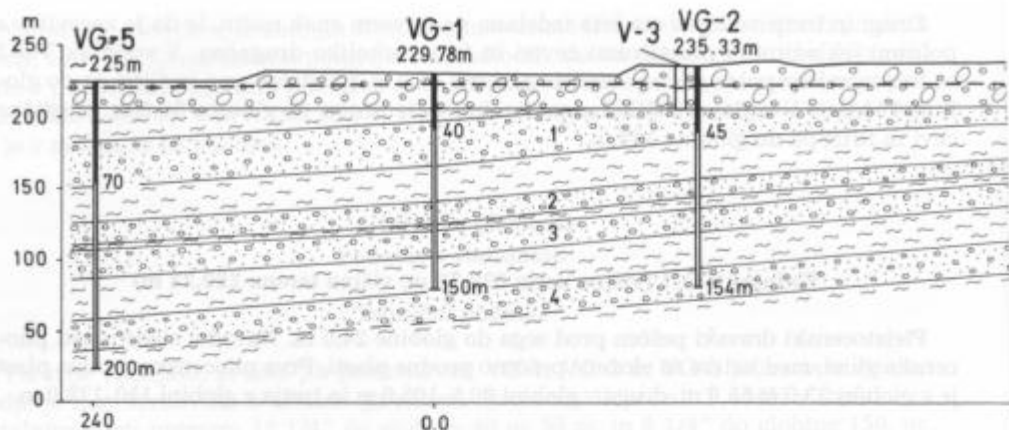
Iz teh podatkov in geološkega profila (sl. 3) je razvidno, da se pliocenske prodne in glinaste plasti dvigajo pod kotom 5° proti severo-severozahodu, oziroma približno v smeri od VG-1 proti VG-2. Zaradi tega se pliocenske prodne plasti v določeni razdalji od stare črpalnice v Skorbi stikajo z zgornjim dravskim prodom. Čim globlje leže te prodne plasti tem dlje od črpalnice je njihovo stičišče z dravskim prodom.

Hidrogeološki podatki

- a) Podatki o gladini podtalnice v pliocenskih prodnih vodonosnikih. Gladina podtalnice je bila izmerjena v globokih vodnjakih dne 16. 9. 1995 in je bila
- VG-1 na višini 223,6 m
 - VG-2 na višini 224,07 m
 - VG-3 na višini 224,97 m (ekstrapolirano)

Globine do podtalnice, merjena od ustja so bile sledeče:

- VG-1 na globini 6,12 m
- VG-2 na globini 11,32 m
- VG-3 na globini 11,47 m



Sl. 3 Geološki presek preko globokih vodnjakov v vodarni Skorba
 Fig. 3 Geological section across deep wells in Skorba water supply

Opazovanja in meritve so pokazale, da je piezometrična gladina v pliocenskih prodnih vodonosnikih okrog 1 m višja od gladine v zgornjem, pleistocenskem dravskem prodnem vodonosniku. Iz tega sklepamo, da je bilo v prvotnem stanju, pred pričetkom črpanja vode iz globokih vodnjakov onemogočeno pronicanje oporečne vode iz zgornjega, pleistocenskega v spodaj ležeče pliocenske vodonosnike.

- b) Podatki poizkusnega črpanja
 V vodnjaku VG-1 je bilo izvršeno poizkusno črpanje v času od 2. 8. do 6. 8. 1995 in je trajalo skupaj 93 ur. Črpanje se je postopno povečevalo od 11,7 l/s do 20,6 l/s.

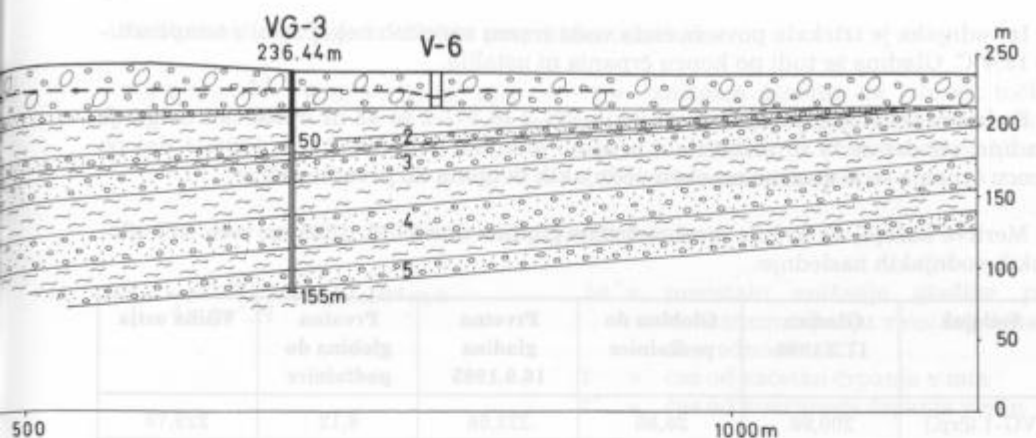
Podatki so naslednji:

Črpanje (l/s)	Čas črpanja (ure)	Znižanje gladine (m) z ozirom na začetno stanje
11,7	20 30'	11,35
16,25	20	16,58
20,6	52 30'	21,69

Iz vodnjaka je iztekala povsem čista voda (razen začetnih 10 min) s temperaturo 14°C. Gladina se je na koncu črpanja skoraj povsem ustalila.

Po končanem črpanju so 23^h merili dviganje gladine, vendar se ni dvignila do prvotne višine. Meritev dne 30. 8. 1995 pa je pokazala, da se je gladina izravnala s prvotno.

V vodnjaku VG-2 je bilo izvršeno poizkusno črpanje v času od 30. 8. do 1. 9. 1995 in je trajalo skupaj 48 ur in 30 min. Črpanje se je postopno povečevalo od 11,5 l/s do 18,6 l/s.



Podatki so naslednji:

Črpanje (l/s)	Čas črpanja (ure)	Znižanje gladine z ozirom na začetno stanje	Znižanje gladine na VG-1
11,5	12	11,33	1,36
15,8	12 30'	16,3	2,06
18,6	24	20,02	2,72

Razdalja med vodnjakoma VG-2 m in VG-1 znaša 190 m.

Iz vodnjaka je iztekala povsem čista voda (razen začetnih 10 min) s temperaturo 14,2°C. Gladina se je na koncu črpanja skoraj povsem ustalila na obeh vodnjakih.

Po končanem črpanju so 59 ur merili dviganje gladine v obeh vodnjakih, vendar se gladina še ni dvignila do prvotne višine. Šele meritev dne 16. 9. 1995 je pokazala, da se je gladina v obeh vodnjakih izravnala s prvotno.

V vodnjaku VG-3 je bilo izvršeno poizkusno črpanje v času od 17. 2. do 21. 2. 1996 in je trajalo skupaj 95 ur. Črpanje se je postopno povečevalo od 8,5 l/s do 28,4 l/s.

Podatki so naslednji:

Črpanje (l/s)	Čas črpanja (ure)	Znižanje gladine z ozirom na začetno stanje	Znižanje gladine na VG-1
8,5	15	6,85	0,18
17,9	15 30'	15,5	0,44
28,4	64 30'	26,26	1,25

Iz vodnjaka je iztekala povsem čista voda (razen začetnih nekaj min) s temperaturo 13,4°C. Gladina se tudi po koncu črpanja ni ustalila.

Po končanem črpanju so na vodnjakih VG-3 in VG-2 še 48 ur opazovali dviganje gladine, vendar se ta ni izenačila s prvotno gladino. Šele dne 27. 2. 1996, 4 dni po koncu črpanja se je gladina na obeh vodnjakih dvignila do prvotne višine.

Meritve kažejo, da so bile piezometrične gladine dne 17. 2. 1996 na vseh treh globokih vodnjakih naslednje:

Vodnjak	Gladina 17.2.1996	Globina do podtalnice	Prvotna gladina 16.9.1995	Prvotna globina do podtalnice	Višina ustja
VG-1 (črp.)	200,98	28,80	223,66	6,12	229,78
VG-2	220,07	15,26	224,07	11,32	235,33
VG-3	224,22	12,22	224,97	11,47	236,44

Razdalje med vodnjaki so naslednje: VG-1 - VG-2 190 m
VG-2 - VG-3 555 m
VG-1 - VG-3 690 m

Iz zgornjih podatkov je razvidno, da je bila piezometrična gladina na vseh treh vodnjakih nižja od prvotnega stanja zaradi črpanja na vodnjaku VG-1, ki je bil že približno 1 mesec priključen na omrežje.

c) Izračun hidrogeoloških parametrov

Za izračun koeficienta prepustnosti k smo uporabili podatke padanja gladine v vodnjaku VG-1 med črpanjem 11,5 l/s vode na vodnjaku VG-2 ter podatke dviganja gladine po končanem črpanju. Na osnovi teh podatkov smo dobili povprečno vrednost koeficienta k za vse zajete pliocenske vodonosne prodne plasti na območju med obema vodnjakoma.

Uporabili smo enačbi Jacoba in Theisa, ki sta osnovani na podatkih o padanju gladine v opazovalnem vodnjaku in enačbo Theisa, v katero smo vnesli podatke o dviganju gladine po končanem črpanju.

Po Jacobovi enačbi je koeficient prepustnosti k enak:

$$T = \frac{2,3 \cdot Q}{4\pi\Delta s}$$

$$k = \frac{2,3 \cdot Q}{4\pi \cdot \Delta s \cdot H} = 1,02 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

$T = k \cdot H$ = koeficient prevodnosti

H = skupna debelina zajetih vodonosnih plasti (50,2 m)

Q = količina črpane vode (0,0115 m³/s)

Δs = znižanje gladine v opazovalnem vodnjaku VG-1 v eni log dekadi časa črpanja

Po Theisovi enačbi je koeficient prepustnosti k enak:

$$T = k.H = \frac{Q}{4\pi.s} \cdot W(u) = 2,98 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} \quad s = \text{znižanje gladine na izbrani točki Theisove krivulje; } W(u) = \text{vrednost, ki se odčita iz Theisove krivulje za izbrano znižanje } s$$

Po Theisovi enačbi znaša koeficient prepustnosti k :

$$k = \frac{2,3 \cdot Q}{4\pi.\Delta s''.H} = 3,94 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} \quad \Delta s'' = \text{preostalo znižanje gladine po končanem črpanju v eni log dekadni vrednosti } t/t''$$

t = čas od začetka črpanja v min

t'' = čas od končanega črpanja v min

Iz zgornjih računov je razvidno, da niha vrednost koeficienta prepustnosti k od $1,02 \cdot 10^{-5}$ do $3,96 \cdot 10^{-5}$ m/s. Srednja vrednost koeficienta k je $2,48 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Ponovno smo računali vrednost koeficienta prepustnosti k iz podatkov poizkusnega črpanja na vodnjaku VG-3. Pri tem smo upoštevali podatke padanja gladine na bližnjem, 555 m oddaljenem vodnjaku VG-2. Uporabili smo tudi podatke o dviganju gladine na tem vodnjaku po končanem črpanju. V že preje navedeno enačbo Jacoba smo vnesli za H vrednost 56 m in za $Q = 0,0085$ m³/s.

$$k = \frac{2,3 \cdot Q}{4\pi.\Delta s.H} = 6,19 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

Po Theisovi enačbi znaša vrednost koeficienta k :

$$k = \frac{Q}{4\pi.s.H} \cdot W(u) = 6,08 \cdot 10^{-5} \text{ m/s} \quad W(u) = \text{vrednost, ki se odčita iz diagrama}$$

Izračunane vrednosti koeficienta prepustnosti močno nihajo od $1,02 \cdot 10^{-5}$ do $6,19 \cdot 10^{-5}$ m/s. Sredina vseh vrednosti k na območju vseh treh globokih vodnjakov znaša $4,2 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Najzanesljivejši je podatek dobljen po Theisovi metodi pri črpalnem poizkusu na vodnjaku VG-2 in znaša $2,98 \cdot 10^{-5}$ m/s. To vrednost smo privzeli za vse nadaljne račune.

- d) Ocena maksimalne izdatnosti vseh treh vodnjakov in njihovega medsebojnega vpliva.

Največja možna izdatnost vodnjakov je odvisna od največje dopustne vstopne hitrosti podtalne vode v vodnjake in medsebojnega prekrivanja njihovih depresijskih lijakov. Če je največja dopustna vstopna hitrost prekoračena, začne v vodnjake vdirati pesek iz vodonosnih plasti. Največjo teoretično dopustno vstopno hitrost izračunamo po empirični Sichardtovi enačbi:

$$v_{\max} = \frac{\sqrt{k}}{15} = 3,64 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

Za območje med vodnjaki VG-1, VG-2 in VG-3 smo privzeli vrednost $k = 2,98 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Odvisnost maksimalne izdatnosti vodnjaka od največje dopustne vstopne v vodnjak je izražena z enostavno enačbo, ki velja za vodonosnik pod tlakom

$$Q_{\max} = 2\pi r \cdot H \cdot v_{\max} \quad r = \text{polmer vodnjaka (0,082 m)}$$

Največje teoretične zmogljivosti vodnjakov so naslednje:

Vodnjak	v_{\max} (m/s)	Debelina zajetih vodonosnih plasti H (m)	Q_{\max} (m ³ /s)
VG-1	$3,64 \cdot 10^{-4}$	57,0	0,0108 = 10,8 l/s
VG-2	$3,64 \cdot 10^{-4}$	50,2	0,0094 = 9,4 l/s
VG-3	$3,64 \cdot 10^{-4}$	56,0	0,01096 = 10,96 l/s

Praktična izkušnja po več kot enoletnem črpanju na globokih vodnjakih kaže, da za pliocenske vodonosnike ti teoretični računi niso primerni. Iz vodnjakov namreč črpajo od 22,5–24,5 l/s vode pri znižanju gladine za 23–25 m. Vstopne hitrosti znašajo od $8,7 \cdot 10^{-4}$ do $8,35 \cdot 10^{-4}$ m/s kar več kot dvakrat presega največjo teoretično dopustno vstopno hitrost. Črpana voda pa je kljub temu čista in brez vsebnosti peska. Vzrok temu je iskati v zbitosti in sprjetosti vodonosnih pliocenskih prodno-peščenih plasti.

Na vodnjakih so sesalni koši črpalk potopljeni na različne globine; na VG-1 v globino 35,4 m na VG-2 v globino 43 m in na VG-3 v globino 44,4 m. Tak položaj črpalk dopušča največjo možno znižanje gladin pri črpanju za 28 m, tj. na višino 195,5–196,5 m. To pomeni na nizki terasi (VG-1) na globino 33,8 m, na visoki terasi (VG-2, VG-3) pa na globino 39,5–40,5 in pod površino terena.

Za osnovo računa največje zmogljivosti vodnjakov ob upoštevanju njihovega medsebojnega vpliva smo privzeli kot največje dopustno znižanje gladin pri črpanju 28 m, tj. na višino 195,5–196,5 m. Uporabili smo dve enačbi, ki pa ne dajeta povsem točnih rezultatov, ker se naravni pogoji nekoliko razlikujejo od pogojev, ki so zahtevani v enačbah. Prva enačba velja za krožno vsestransko napajanje vodonosnih plasti pod tlakom. Razdalja do območja napajanja je enaka vplivnemu polmeru vodnjakov R. V našem primeru parameter R ni znan, privzeli smo razdaljo 1300 m, tj. razdalja na kateri se osrednja zajeta plast pliocenskega proda severno od črpališča stika z zgornjim, dravskim pleistocenskim prodom (slika 3).

Enačba je enaka:

$$s = \frac{1}{2\pi k \cdot H} \cdot \sum_{i=1}^{n} Q_i \cdot \ln \frac{R_i}{\rho_i}$$

R_i = vplivni polmer
vodnjakov (1300 m)

ρ_i = razdalja med
vodnjaki

s = znižanje gladine v
vodnjakih

Za vodnjak VG-1 ima enačba naslednjo obliko:

Podobno smo izračunali znižanje tudi za vodnjaka VG-2 (znižanje 27,15 m) in VG-

$$s_1 = \frac{1}{2\pi k \cdot H} \cdot (Q \cdot \ln \frac{R}{r_1} + Q \ln \frac{R}{\rho_1} + Q \ln \frac{R}{\rho_3}) = 24,83 \text{ m}$$

3 (znižanje 23,21 m).

Rezultate smo dobili s približevanjem, tako, da smo v enačbo vstavili različne vrednosti za Q , dokler ni bilo znižanje $s < 28$ m na vseh vodnjakih. Na koncu smo za vodnjaka VG-1 m, VG-3 privzeli vrednosti $Q = 22$ l/s in za vodnjak VG-2 vrednost $Q = 20$ l/s.

Pri črpanju 22 l/s vode na vodnjakih VG-1 in VG-3 ter 20 l/s na VG-2 se približamo mejnemu znižanju gladine 28 m le v vodnjaku VG-2, medtem ko je znižanje na ostalih dveh vodnjakih znatno manjše.

Druga enačba, ki smo jo uporabili, velja za vodonosnik pod tlakom velike razsežnosti, vendar brez napajanja. V našem primeru se pliocenski vodonosniki napajajo, zato daje enačba večja znižanja gladin, kot pa so v resnici. V enačbi smo privzeli, da iz vseh vodnjakov črpamo po 20 l/s, skupaj torej 60 l/s vode.

Enačba ima naslednjo obliko:

S = koeficient elastične izdatnosti

$$s = \frac{Q_{\text{sum}}}{4\pi k \cdot H} \cdot \alpha \cdot [E_i \cdot \frac{r^2}{4 \cdot k \cdot H} \cdot t + \sum_{i=1}^n E_i \cdot (-\frac{\rho_i^2}{4 \cdot k \cdot H} \cdot t)]$$

r = polmer vodnjakov (0,082 m)

ρ_i = razdalja med vodnjaki

t = čas od pričetka črpanja v
vodnjakih (sek)

Q_{sum} = skupna količina črpanja

H = povprečna debelina vodono-
snika (53 m)

$$\alpha = \frac{Q}{Q_{\text{sum}}} = 0,33$$

E_i = eksponencialna funkcija; vrednosti se odčitajo v tabeli
(Spravočnoe rukovodstvo gidrogeologa, 1979)

V enačbi je najpomembnejši parameter S (storage), ki smo ga posebej računali iz podatkov poizkusnih črpanj na VG-2 (VG-1 je služil kot opazovalni vodnjak) in na VG-3 po Jacobovi enačbi:

$$S = \frac{2,25 \cdot k \cdot H \cdot t_0}{r^2}$$

t_0 - presek premice preko točk znižanja z absciso, na katero je nanešen čas v log merilu

Dobili smo dve različni vrednosti in sicer $S = 1,298 \cdot 10^{-3}$ in $S = 2,32 \cdot 10^{-4}$ in jih upoštevali v računu. Znižanje smo računali za 1 leto in 5 let obratovanja vodnjakov.

V vodnjaku VG-1 smo dobili za 1 leto obratovanja (31.536000 sek) pri vrednosti $S = 1,298 \cdot 10^{-3}$ sledeče znižanje gladine:

$$s_1 = \frac{Q_{sum}}{4\pi \cdot k \cdot H} \cdot \alpha \cdot \left[E_i\left(-\frac{r^2}{4k \cdot H \cdot S} \cdot t\right) + E_i\left(-\frac{\rho_1^2}{4 \cdot k \cdot H \cdot S} \cdot t\right) + E_i\left(-\frac{\rho_2^2}{4 \cdot k \cdot H \cdot S} \cdot t\right) \right] = 24,11 \text{ m}$$

V vodnjaku VG-2 smo dobili po zgornji enačbi (vstavili smo le ustrezni medsebojni razdalji ρ) $s_2 = 24,52$ m in v vodnjaku VG-3 $s = 21,95$ m.

Pri vrednosti $S = 2,32 \cdot 10^{-4}$ smo dobili po 1 letu obratovanja sledeča znižanja gladin.

$$s_1 = 27,37 \text{ m}$$

$$s_2 = 27,67 \text{ m}$$

$$s_3 = 25,21 \text{ m}$$

Po petih letih črpanja in vrednosti $S = 1,298 \cdot 10^{-3}$ smo dobili sledeče vrednosti:

$$s_1 = 27,16$$

$$s_2 = 27,56$$

$$s_3 = 24,90$$

Pri vrednosti $S = 2,32 \cdot 10^{-4}$ so znižanja po petih letih naslednja

$$s_1 = 30,42$$

$$s_2 = 30,89$$

$$s_3 = 28,33$$

Računi v katerih upoštevamo parameter S in trajanje črpanja (vendar brez upoštevanja napajanja vodonosnih plasti) dajo veliko večja znižanja, kot računi z upoštevanjem stalnega vplivnega polmera vodnjakov in vsestranskega krožnega napajanja vodonosnih plasti. V našem primeru se vodonosne plasti vsaj delno napajajo, zato so rezultati, ki smo jih dobili po prvi enačbi bližje resničnemu stanju. Na žalost nimamo točnejših podatkov gladin in količin črpanja med obratovanjem vodnjakov, zato ne moremo oceniti zanesljivosti naših računov. Vsekakor pa po skopih podatkih meritev sklepamo, da znižanje na nobenem od vodnjakov ne presega 28 m pri črpanju okrog 20 l/s po vodnjaku.

Prognoza znižanj gladin po izdelavi predvidenega dodatnega vodnjaka VG-5

Na komunalnem podjetju Ptuj načrtujejo izdelavo še enega vodnjaka približno 270 m zahodno od vodnjaka VG-1. Vodnjak naj bi bil globok 200 m, zajeli pa bi iste vodonosne

plasti kot v ostalih vodnjakih. Znižanje smo računali le po prvi enačbi, ki daje podatke, bližje resničnemu stanju:

$$s = \frac{1}{2\pi \cdot k \cdot H} \sum_{i=1}^{in} Q_i \cdot \ln \frac{R_i}{\rho_i}$$

Za vodnjaka VG-1 in VG-2 smo privzeli nekoliko nižje črpanje, 18 l/s za VG-3 m VG-4 pa 20 l/s. Dobili smo naslednja znižanja:

$$\begin{aligned} s_1 &= 23,7 \text{ m} \\ s_2 &= 26,7 \text{ m} \\ s_3 &= 22,16 \text{ m} \\ s_4 &= 25,37 \text{ m} \end{aligned}$$

Vidimo, da se le v vodnjaku VG-2 znižanje približa največjemu dopustnemu 28 m. Iz tega sklepamo da bo z dodatnim vodnjakom VG-4 mogoče skupno količino črpanja iz zdajšnjih 60 l/s povečati vsaj na 72 l/s.

e) Napajanje in obnavljanje pliocenskih prodnih vodonosnikov

Opazovanja in meritve v septembru 1995, ko je bila piezometrična gladina pliocenskih vodonosnikov še v prvotnem stanju, so pokazala, da je le-ta na območju Skorbe okrog 1 m višja od gladine v zgornjem dravskem pleistocenskem prodnem vodonosniku. Pred pričetkom črpanja je bilo torej onemogočeno pronicanje oporečne zgornje podtalnice v pliocenske vodonosnike. Na to kažejo tudi kemične analize vode iz pliocenskih vodonosnikov, ki se močno razlikuje od vode iz zgornjega, pleistocenskega vodonosnika. Vsebnost nitratov je neznatna, pod 0,5 mg/kg, medtem ko se vsebnost nitratov v zgornjem vodonosniku približuje zgornji meji (dovoljeni).

Na osnovi podatkov geološke karte ter podatkov iz globokega vodnjaka VG-4 v Novi vasi nad Ptujem sklepamo, da se pliocenski prodni vodonosniki napajajo s pronicanjem padavin v gričevju med Orešjem in Pacinjem ter v vmesnih dolinah Grajene in Rogoznice (sl. 2). Na to kažejo podatki iz globokega vodnjaka VG-4, kjer je bila prvotna piezometrična gladina na višini 230,0 m, tj. 6-7 m višje kot v Skorbi. Iz tega sklepamo, da je tok podtalne vode usmerjen od gričevja Slovenskih Goric proti ravnini Dravskega polja.

S črpanjem vode iz globokih vodnjakov v Skorbi se bo piezometrična gladina na ožjem območju črpališča močno znižala. Zaradi tega bo začela pronicati oporečna podtalnica iz zgornjega vodonosnika v spodnje pliocenske vodonosnike na mestih, kjer se le-ti v neposrednem stiku. Območje, kjer se vodonosniki stikajo in kjer se bo piezometrična gladina znižala za več kot 1 m sega približno 1 km daleč od vodnjakov v smeri proti severo-severozahodu.

Iz Dupuitove depresijske krivulje, ki jo bo povzročilo skupno delovanje vseh globokih vodnjakov namreč izhaja, da bo znižanje piezometrične gladine v pliocenskih vodonosnikih 1 km severo-severozahodne od VG-2 že manjše od 1 m. S tem pa bo od tod naprej onemogočeno pronicanje oporečne vode iz zgornje podtalnice navzdol v pliocenske vodonosnike.

Iz hidrogeološkega profila (sl. 3) je razvidno, da se na ožjem območju črpališča v Skorbi (VG-1, VG-2) prva pliocenska vodonosna prodna plast neposredno stika z zgornjim dravskim prodnim vodonosnikom. Globlje ležeče pliocenske prodne vodonosne plasti so od dravskega prodnega vodonosnika ločene z neprepustnimi glinastimi plastmi. Na ožjem območju črpališča se bo piezometrična gladina v pliocenskih vodonosnikih močno znižala zaradi črpanja, zato bo oporečna voda iz zgornjega vodonosnika pronicala v prvo, najplitveje ležečo pliocensko vodonosno plast. Pronicanje bo močnejše, v kolikor je stik dobro prepusten, sicer pa ne bo izrazitejše.

V vodnjakih VG-1 in VG-2 je poleg prve pliocenske vodonosne plasti zajetih še več globlje ležečih plasti, ki so navzgor ločene z neprepustno glino, ki onemogoča pronicanje polutantov vanje. V vodnjakih VG-1 in VG-2 predstavlja prva zajeta pliocenska vodonosna plast manj kot polovica (od 12-40 %) vseh zajetih plasti, zato se bodo polutanti močno razredčili.

V vodnjaku VG-3, kot tudi v predvidenem vodnjaku VG-5 so pliocenske vodonosne prodne plasti ločene od zgornjega dravskega vodonosnika z neprepustno glino, zato ne bo možno neposredno onesnaženje z oporečno vodo od zgoraj.

Te pliocenske vodonosne prodne plasti se stikajo z zgornjim dravskim prodnim vodonosnikom dlje kot 1 km od črpališča, kjer je piezometrična gladina že nekoliko višja od gladine zgornje podtalnice in zato ne bo možen vdor oporečne vode vanje.

f) Kakovost podtalne vode v pliocenskih vodonosnikih

Izvedene preiskave fizikalno kemijskih in bioloških parametrov kažejo, da je kakovost vode zelo dobra. Voda je brez pesticidov in z zelo nizko vsebnostjo nitratov (pod 1 mg N/kg). Tudi vsebnost ostalih kemičnih substanc je v okviru normativov Pravilnika o higieni neoporečnosti pitne vode iz l. 1987 (Ur. l. SFRJ št. 33/87 in 13/91), oziroma po smerničnih vrednostih Evropske skupnosti (80/778/EGW, 95/C 121/03). Omeniti moramo, da je koncentracija vseh zasledovanih pesticidov, tudi atrazina in desetil-atrazina, ki jih zasledimo povsod v podtalnici Dravskega polja, manjša od detekcijske meje uporabljenih analiziranih metod.

Mikrobiološke preiskave so pokazale, da niso prisotne bakterije fekalnega izvora, prisotne pa so v nekoliko povečanem številu aerobne mezofilne bakterije, ki jih pripisujemo posledicam vrtnih del. Novejših podatkov analiz na žalost nismo imeli na razpolago.

Varovanje podtalne vode v pliocenskih prodnih vodonosnikih

Podtalna voda je v globokih vodnjakih v Skorbi zajeta v pliocenskih prodnih vodonosnikih v globini 40-155 m. Ti so zavarovani pred onesnaženjem s površja, oziroma iz zgornje oporečne podtalnice z več plastmi neprepustne gline. Izjema je vodnjak VG-2, v manjši meri vodnjak VG-1, kjer je prva zajeta vodonosna plast v neposrednem stiku z zgornjo podtalnico. Vendar predstavlja ta plast le 12 % vseh zajetih pliocenskih plasti v tem vodnjaku. Vse ostale zajete pliocenske vodonosne plasti se stikajo z zgornjo podtalnico od 400 do preko 1000 m daleč od vodnjakov v smeri proti severu.

Podtalna voda je v pliocenskih prodnih vodonosnikih pod tlakom (je subarteška). V naravnem stanju je njihova piezometrična gladina približno 1 m višja od gladine zgornje podtalnice. Zajete prodne plasti se nahajajo v globini 40-155 m, piezometrična gladina pa je v naravnem stanju v globini 6-11 m v odvisnosti od višine terena. Vdiranje zgornje oporečne podtalnice je možno le v prvo zajeto pliocensko prodno plast na vodnjakih VG-1 in VG-2. Tod je piezometrična gladina pliocenskih vodonosnikov zaradi črpanja znižana pod gladino zgornje podtalnice. Vendar predstavlja prva pliocenska prodna plast le približno 12 % vseh zajetih pliocenskih plasti, tako da je vpliv oporečne vode iz zgornje podtalnice na kakovost vode zelo majhen. Ostale, globlje ležeče zajete pliocenske vodonosne plasti se stikajo v zgornjo podtalnico že na obrobju depresijskih lijakov, ki so nastali zaradi črpanja v vodnjakih. Tod pa je znižanje piezometrične gladine zelo majhno, tako da je le-ta še vedno višja od gladine zgornje podtalnice, s tem pa je onemogočeno njeno vdiranje v pliocenske vodonosne plasti.

Vsi vodnjaki se nahajajo v ograjenem prostoru obstoječega črpaljšča, ki zajema prvo in drugo varstveno cono, zato za globoke vodnjake ni treba sprejeti posebnih varstvenih ukrepov. Arteški in subarteški vodnjaki se običajno varujejo le z združeno prvo in drugo varstveno cono, ki mora obsegati krožno površino s polmerom najmanj 10 m. Tej zahtevi pa je v našem primeru zadoščeno.

Tretja varstvena cona z blagim režimom varovanja za subarteške vodnjake povečini ni potrebna. Pliocenski prodni vodonosniki, razen najviše ležečega, se stikajo z zgornjo podtalnico, oziroma pridejo na površje v gričevju nad Ptujem povečini več kot 1 km daleč od vodnjakov. Zaradi velike oddaljenosti in počasnega pretakanja podtalne vode skozi pliocenske prodne plasti bi se morebitno kemično onesnaženje na teh območjih pojavilo v vodnjakih po 50 in več letih v zelo razredčeni obliki. Morebitno bakteriološko onesnaženje pa zaradi velike samočistilne sposobnosti pliocenskih prodnih plasti sploh ne bi doseglo vodnjakov.

Kljub temu bi bilo treba v bodoče postopno zmanjšati onesnaževanje zgornje podtalnice na Dravskem polju s pesticidi in nitrati, s čemer bi zmanjšali vpliv na kakovost vode v globokih vodnjakih.

V gričevju severno od Ptuja ter dolinah Grajene in Rogoznice vse do Zg. Grajene in Zg. Velovleka bi morali preprečiti gradnjo nečiste industrije, ki bi lahko vplivala na kakovost vode v pliocenskih vodonosnih prodnih plasteh, ki tod izdajajo na površini. Te plasti so sicer na površini zaščitene pred neposrednim onesnaževanjem povečini z več metrov debelo glinasto preperinsko plastjo tako da bi bilo onesnaženje možno le z neposrednim ponikovanjem odplak v pliocenski prod. Za sedaj tod večino goric prekriva gozd, v dolinah pa ni razvito intenzivno kmetijstvo, tako da je onesnaževanje s površja malenkostno. S tem pa je za sedaj zagotovljena dobra kakovost vode v pliocenskih prodnih vodonosnih plasteh.

Literatura

- Kruseman, G.P. & Deridder, N.A. 1970: Analysis and Evaluation of pumping test Data. - Wageningen.
- Maksimov, V.M. 1979: Spravočnoe rukovodstvo gidrogeologa, Nedra Leningrad.
- Osvald, L. 1996: Preiskava podtalne vode iz vrtine Skorba (GV-3) in Nova vas (GV-4) pri Ptuj, Institut za varstvo okolja, ZZV Maribor p.o.
- Vuković, M. & Sora, 1984: Dinamika podzemnih voda. J. Černi, Beograd.
- Žlebnič, L. 1966: Hidrogeološke razmere na območju strojnice elektrarne Srednja Drava 1. stopnja. Geologija 9, 489-503 Ljubljana.
- Žlebnič, L., Hötzel, M. & Drobne, F. 1996: Poročilo o izvedbi globokega vodnjaka VG-4 pri vodohramu v Novi vasi nad Ptujem. - Arhiv GZL, Ljubljana.
- Žlebnič, L., Hötzel, M. & Drobne, F. 1996: Poročilo o izvedbi globokega vodnjaka VG-3 in medsebojnem vplivu vseh treh globokih vodnjakov (VG-3, VG-2, VG-1) v črpališču Skorba, Arhiv GZL, Ljubljana.