

PODTALNICA LJUBLJANSKEGA POLJA IN MOŽNOSTI NJENEGA POVEČANEGA IZKORIŠČANJA

Marko Breznik

S 5 slikami med tekstem in z 2 slikama v prilogi

VSEBINA

1. Uvod	165
2. Opis podtalnice Ljubljanskega polja	166
3. Pretok podtalnice	167
4. Napajanje podtalnice	169
5. Vzroki oslabitve podtalnice	170
6. Možnost povečanega izkoriščanja podtalnice	171
6.1. Zmogljivost in tehnična izvedba vodnjakov	171
6.2. Povečanje pretokov podtalnice	171
6.3. Povečanje infiltracije iz Save	173
6.4. Zmogljivost ponikovalnih objektov	175
6.5. Vpliv umetnega ponikovanja na kvaliteto vode	177
6.6. Skupno financiranje ponikovalnih objektov	178
7. Tuje izkušnje pri umetnem napajanju podtalnice	178
8. Zahvala	179
9. Povzetek	179
9.1. Sedanje stanje	179
9.2. Oslabitev podtalnice	179
9.3. Možnosti povečanega črpanja podtalnice	179
9.4. Nujni ukrepi	180

1. UVOD

Dobra pitna voda in čista hladna industrijska voda sta že redkost. Velika mesta grade za preskrbo z vodo drage akumulacijske bazene, dolge dovodne cevovode in drage čistilne naprave. Vendar morajo vodo klorirati in je zato slabša od ljubljanske, ki ni klorirana, temveč naravno prečiščena, hladna in primerno mineralizirana.

Povečana potrošnja pitne vode in rastoče potrebe industrije zahtevajo na eni strani vedno več vode, na drugi strani pa je na splošno začelo prevladovati mišljenje, da se zaradi oslabitve ljubljanske podtalnice bližamo zgornji meji njenega izkoriščanja.

Mestni vodovod je ob financiranju Mestnega sveta v zadnjih letih raziskoval Ljubljansko kotlino zaradi preskrbe mesta z vodo v bodočnosti. Po časopisnih vesteh naj bi v ta namen črpali podtalnico Sorškega polja. Stroške izgradnje novega vodovodnega sistema predvidevajo v višini nad 100 milijonov din.

Vemo, da se občinski milijoni težko zbirajo; zato želim podati nekaj svojih pogledov na možnost povečanega izkoriščanja podtalnice v sedanjih črpališčih na Ljubljanskem polju.

2. OPIS PODTALNICE LJUBLJANSKEGA POLJA

Ljubljansko polje je mlada tektonska udorina v vododržnem karbonskem skrilavcu in peščenjaku, zasuta v spodnjem delu s pleistocenskim prodom in peskom, ki sta delno cementirana, in v zgornjem delu z recentnim prodom, debelim do 10 m. Neprepustna karbonska podlaga ima obliko sklede, ki je v sredini globoka skoraj 100 m (Kleče, Bežigrad?) in ob robu ob Savi 10 do 20 metrov. Sava se pri Brodu in delno pri Tomačevem preliva prek roba sklede v podtalnico Ljubljanskega polja. Glavni tok podtalnice teče od Broda skozi Kleče, Bežigrad in Jarše proti Fužinam in Zalogu, kjer se izliva v Ljubljano. Po najnovjših podatkih sklepamo, da obstaja tudi manj izdaten tok od juga proti severu skozi globel med Ljubljanskim gradom in Rožnikom.

V vsem južnem delu Ljubljane je v globini okrog 18 m savski prod, ki ni ločen od prodnatega vršaja Gradaščice. Domnevajo tudi, da je del Save tekel okrog Rožnika in da je ta rokav v globljem delu sedaj zasut s prodom. Za dotok z južne strani govori tudi zveza savskega proda z vršajem Gradaščice, prepojenim z vodo. Piezometrična gladina spodnjega horizonta podtalnice v vodnjaku na Ferantovem vrtu v Gregorčičevi ulici, izkopanem leta 1967, kaže na gradient proti severu. S prodom zasut rokav Save bi lahko pojasnil tudi dotok z draveljske strani, kar kažejo hidroizohipse. Vsekakor pa sta ta dva dotoka količinsko manj pomembna.

V severnem, nezazidanem delu polja se podtalnica obnavlja tudi s padavinami. Gladina podtalnice je v Brodu pri Tacnu na koti 292 m; od tu pada najprej strmo in potem položno do Kleč na koto 282 m. Od Kleč do vodnjakov v Hrastju z gladino 276 m je strmec enakomeren. Za Bežigradom je gladina podtalnice 15 m pod površjem. V Mostah je v globini okrog 10 m, nekaj metrov nižje kakor Ljubljana, ki iz svoje zablatene struge praktično ne pronica v podtalnico. Dalje proti vzhodu je gladina podtalnice vedno plitveje pod površjem.

Prvi izviri podtalnice so ob Ljubljani pod Fužinskim gradom, močnejši so pri Studencu in dalje ob Ljubljani v Slapah, Vevčah in Kašlju. Pred desetletji je izvirala podtalnica še na polju vzhodno od Sneberja, sedaj pa so močni izviri še na polju vzhodno od Zaloga. Od teh izvirov tečejo potoki proti Ljubljani in se vanjo izlivajo blizu sotočja s Savo. Ob potoku, ki teče od najmočnejšega izvira, je bil znani Perležev mlin.

Zaradi velike debeline vodonosne plasti v sredini kotline in zaradi zelo ugodnega koeficienta prepustnosti ima podtalnica Ljubljanskega polja odlične lastnosti za izgradnjo globokih vodnjakov velike zmogljivosti.

3. PRETOK PODTALNICE

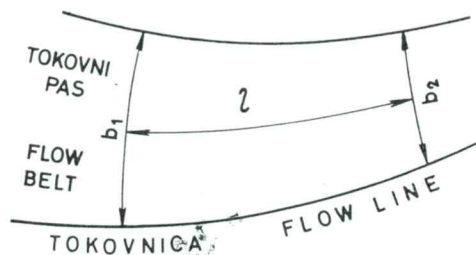
Pretok podtalnice Ljubljanskega polja še ni točneje raziskan. Izračunati ga skušamo v profilu Bežigrad—Tomačevo. Upoštevamo pretok ob nizki gladini podtalnice v dneh 6. do 8. junija 1967. Podatki o gladinah so iz Hidrografskega zemljevida Ljubljanskega polja in okolice v merilu 1 : 25 000, ki ga je izdelal Hidrometeorološki zavod SR Slovenije (priloga 1).

Pretok računamo po Dupuitovi formuli, predelani po Kamen - skem za spreminjajočo se širino tokovnega pasu (sl. 1):

$$Q = k \frac{b_1 - b_2}{\ln b_1 - \ln b_2} h \cdot i \qquad h = \frac{h_1 + h_2}{2}$$

kjer je

Q pretok, k količnik prepustnosti, b_1 in b_2 širina tokovnega pasu v profilih 1 in 2, h_1 in h_2 debelina vodonosne plasti v profilih 1 in 2, i strmec gladine v območju pasu.



Sl. 1. Tokovni pas s spreminjajočo se širino
 b_1 in b_2 širini tokovnega pasu ter l njegova dolžina

Fig. 1 Flow belt with variable width

b_1 and b_2 the widths, and l the length of the flow belt

Podatki o širini in dolžini tokovnih pasov in o padcu gladine so zbrani v tabeli 1.

PODATKI O TOKOVNIH PASOVIH
DATA ON THE FLOW BELTS

Tabela 1

Table 1

	Tokovni pas Flow belt	Širina m Width in meters		Dolžina m Length in meters	Strmec Hydraulic gradient i
		b_1	b_2		
1	Železniška Stadion postaja	1160	980	890	0,00225
2	Stadion-kota 290	2600	660	1860	0,00108
3	Kota 290-Tomačevo	970	900	1070	0,00187

Globino vodonosne plasti poznamo v naslednjih krajih:
 Kleče: vodnjak 8 101,5 m, vodnjak 15 do podlage 96,0 m.
 Vodnjak *Delo* do globine 60 m prod in konglomerat; ni dosegel podlage.
 Vodnjak *Navje* do globine 60 m prod in konglomerat; ni dosegel podlage.
 Vodnjak Pivovarne *Union* do globine 55 m prod, melj in konglomerat; ni dosegel podlage.
 Vrtina na Trgu revolucije do globine 40 m melj, prod in konglomerat; ni dosegla podlage.
 Vodnjak na Ferantovem vrtu spodnja vodonosna plast od 15 m do dna vodnjaka v globini 18 m droben prod; ni dosegel podlage.
 Vodnjak RTV v Čufarjevi ulici, do globine 44 m prod in konglomerat. Karbonska podlaga v globini 44 m.
 Vodnjak na Hrvatskem trgu; karbonska podlaga v globini 46 m.
 Vrtina v Domžalski ulici (kota 287,8 m); karbonska podlaga v globini 48,8 metra.
 Tomačevo — geotehnični profil, debelina vodonosnega proda je približno 15 m.
 V našem profilu od železniške postaje do Tomačevega je podtalnica v globini od 20 do 10 m. Debelino vodonosne plasti h v posameznih pasovih pa cenimo takole:

1. pas 40 m po vodnjakih *Delo*, *Navje*,
2. pas 60 m po vodnjakih v Klečah,
3. pas 20 m po geotehničnem profilu.

Količnik prepustnosti k je bil v zadnjih letih ugotovljen v več globokih vodnjakih. Podatki so zbrani v tabeli 2.

KOEFICIENTI PREPUSTNOSTI k
 COEFFICIENTS OF PERMEABILITY k

Tabela 2

Table 2

Vodnjak Well	Globina m Depth in meters	Leto Year	k m ³ /sek
Pivovarna <i>Union</i>	55	1964	$1,98 \cdot 10^{-4}$ — $2,28 \cdot 10^{-4}$
<i>Navje</i>	60	1963	$0,74 \cdot 10^{-2}$ — $1,24 \cdot 10^{-2}$
RTV, Čufarjeva ulica	44	1967	$1,80 \cdot 10^{-3}$ — $2,46 \cdot 10^{-3}$
<i>Delo</i> , Likozarjeva ulica	60	1968	$3,10 \cdot 10^{-3}$ — $3,42 \cdot 10^{-3}$

Količnika prepustnosti, ugotovljenega v vodnjaku *Union*, ne moremo upoštevati za osrednji del Ljubljanskega polja, ker leži ta vodnjak zelo blizu Šišenskega hriba. V vodnjaku je več glinastih plasti, kar dokazuje, da je bilo to območje v času zasipanja Ljubljanskega polja odmaknjeno od glavnega toka Save in je deloma zasuto s preperinskimi glinami z bližnjega hriba. Tudi vodnjak RTV leži že zunaj glavnega toka podtalnice. V vodnjaku *Navje* je prepustnost zelo dobra, verjetno pa je sestava tal le lokalno tako ugodna; zato tudi teh podatkov ne moremo upoštevati za celotno Ljubljansko polje.

Povprečni količnik prepustnosti za srednji del Ljubljanskega polja cenimo na

$$k = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m/sek}$$

Račun pretoka je podan v tabeli 3.

PRETOK PODTALNICE V PROFILU BEŽIGRAD—TOMAČEVO
DISCHARGE IN THE SECTION BEŽIGRAD—TOMAČEVO

Tabela 3

Table 3

Pas Belt	$\frac{b_1 - b_2}{\ln b_1 - \ln b_2}$ m	k m/sek	Debelina plasti Bed thickness m	Strmec Hydraulic Gradient i	Q l/sek
1	1129	$3 \cdot 10^{-3}$	40	0,00225	305
2	1397	$3 \cdot 10^{-3}$	60	0,00108	270
3	934	$3 \cdot 10^{-3}$	20	0,00187	105

Skupni pretok v profilu Bežigrad—Tomačevo je bil junija 1967 680 l/sek

Zahodno od tega profila pa je bila potrošnja naslednja:

Vodarna Šentvid (podatki za december 1966) 50 l/sek

Vodarna Kleče (podatki za december 1966) 600 l/sek

Pivovarna Union (ocenjeno) 40 l/sek

Skupno 690 l/sek

Pretok podtalnice Ljubljanskega polja do profila Bežigrad je bil torej $680 + 690 =$ **1370 l/sek**

Minimalni pretok lahko izračunamo tudi kot vsoto celotnega črpanja in izvirov v sušni dobi.

V izrazito sušni jeseni leta 1967 sva z dr. Žlebnikom kartirala izvire podtalnice Ljubljanskega polja med Fužinami in Zalogom. Dne 26. 10. 1967 je bil skupni pretok izvirov okrog 400 l/sek, od tega pretok pri Perleževem mlinu okrog 200 l/sek.

Potrošnja podtalnice v Ljubljani je bila približno naslednja:

Vodarna Šentvid (podatki za december 1966) 50 l/sek

Vodarna Kleče (podatki za december 1966) 600 l/sek

Vodarna Hrastje (podatki za december 1966) 145 l/sek

Pivovarna Union 40 l/sek

Tovarna kleja 70 l/sek

Kemična tovarna 50 l/sek

Razni manjši potrošniki 45 l/sek

Skupna potrošnja 1000 l/sek

Izviri 400 l/sek

Skupen pretok ob suši **1400 l/sek**

Rezultata obeh računov sta si podobna. Ob deževju, predvsem pa ob visokih vodah Save, se pretok podtalnice poveča.

4. NAPAJANJE PODTALNICE

Hidroizohipse kažejo, da je glavno napajalno območje podtalnice mlada prodna teras pri Brodu, drugo, sedaj že manj aktivno, pa med Malo vasjo pri Ježici in Tomačevim.

Ni še ugotovljeno, kolikšno je napajanje iz smeri Dravelj in od juga skozi globel med Gradom in Rožnikom. Ta dva dotoka sta manjša.

V severnem nezazidanem območju Ljubljanskega polja se podtalnica obnavlja tudi s padavinami v količini nekaj sto litrov na sekundo.

Prva analiza karte hidroizohips kaže, da teče podtalnica vzporedno s Savo, da se napaja pri Brodu in deloma pri Tomačevem ter se izliva v Ljubljano med Fužinami in Zalogom.

Poglobljena analiza pa pokaže dve važni podrobnosti: prvič, da je depresijski vpliv velikega črpališča Kleče majhen, in drugič, da ima podtalnica isto gladino kakor Sava. Hidroizohipse podtalnice so odvisne od gladine Save. Po teh ugotovitvah sklepamo naslednje:

— Glavno infiltracijsko območje je sedaj pri Brodu.

— Gladino podtalnice le delno določa razmerje med dotokom in odvzemom, v glavnem pa gladina Save in njen strmec.

— Da lahko Sava vzdržuje tako gladino podtalnice, mora obstajati poleg »vzdolžnega napajanja« podtalnice pri Brodu in toka vzdolž Save na 14 km dolgem odseku Brod—Zalog tudi »prečno napajanje« iz Save neposredno v podtalnico, ker širina Ljubljanskega polja ni večja od 3 km.

S takim prečnim napajanjem si lahko razložimo majhen depresijski vpliv črpališča Kleče. Gradient hidroizohips kaže, da se napaja tok k črpališču Hrustje iz Save med Tomačevim in Jaršami.

Postavlja se vprašanje, zakaj prečno napajanje ni vidno na karti hidroizohips. Prečno se podtalnica napaja v impulzih, ob visokih vodah Save. S piezometričnimi profili, postavljenimi prečno na tok Save, in z vsakodnevnim opazovanjem gladin bi ga gotovo opazili. Karta hidroizohips, ki jo objavljamo, je bila izmerjena v sušni dobi, ko je bilo prečno napajanje majhno. V sušni jeseni 1967 je bil dne 10. 10. 1967 po kratkotrajni visoki vodi Save pretok pri Perleževem mlinu 900 l/sek, dne 26. 10. 1967 pa samo še 200 l/sek. Ker je izmerjena hitrost toka podtalnice v vzdolžni smeri okrog 10 m na dan, se je lahko pretok v izviru tako hitro zmanjšal samo zaradi tega, ker je gladina Save hitro padla in se je prečno napajanje ustavilo. Sava je oddaljena od izvirov, ki napajajo potok pri Perleževem mlinu, le okrog 1 km.

Indirektno opazimo vpliv prečnega napajanja pri primerjavi kart hidroizohips za visoko in nizko gladino podtalnice. Pri visoki gladini se dvigne podtalnica za okrog 1 m. Pri počasnem toku podtalnice v vzdolžni smeri se gladina ne bi mogla dvigniti na celotnem Ljubljanskem polju, če bi se napajala podtalnica v glavnem le pri Brodu.

5. VZROKI OSLABITVE PODTALNICE

Mestni vodovod kot glavni potrošnik opaža v zadnjih letih usihanje podtalnice in občasno opozarja občane na štednjo z vodo »zaradi nizke gladine v vodnjakih«.

Glavni vzrok za usihanje podtalnice ni povečana potrošnja, ampak sprememba na Savi. V zadnjih 15 do 20 letih je Sava poglobila svojo strugo za nekaj metrov in s tem neposredno znižala gladino podtalnice ter zmanjšala možnost napajanja predvsem v prečni smeri. Nad črnuškim mostom je izkopala Sava svojo strugo že do neprepustne karbonske podlage; zato se tam podtalnica ne napaja več. Pred 20 leti so bile kopalcem znane »skalce« 1 km nad mostom na levem bregu; edino tam je prišla karbonska podlaga na površje, drugod je bila struga Save v produ.

Vzroki poglobitve struge Save so povsem jasni. Zaradi izgradnje hidroelektrarne v Medvodah se sedaj ustavi savski prod v Zbiljskem jezeru, erozijska moč Save pod jezom pa se je povečala. Ker elektrarna izkorišča akumulacijo, sunkoviti pretoki vode povečujejo erozijo. Regulacija Save je dalje preprečila meandriranje struge, s tem pa povečala strmec in erozijsko moč reke.

Neugodno vplivajo na napajanje podtalnice tudi regulacijska dela, predvsem zapiranje stranskih rokavov, ker se s tem zmanjšajo površine, ki so poplavljene; od njihove velikosti pa je odvisna množina ponikanja.

Neugoden vpliv regulacijskih ukrepov na Savi naj osvetli naslednji podatek. Po regulaciji Save pred prvo svetovno vojno je padla gladina vode v vodnjakih črpališča Kleče za 7 m. Ko pa je bila ob poplavi leta 1912 regulacija porušena, se je gladina dvignila za 5 m.

6. MOŽNOSTI POVEČANEGA IZKORIŠČANJA PODTALNICE

6.1. Zmogljivosti in tehnična izvedba vodnjakov

Prvi globoki vodnjaki v središču Ljubljane, *Navje*, *RTV* in *Delo* so pokazali zelo ugodno prepustnost zemljine. Pri depresiji 5 m je zmogljivost vsakega vodnjaka okrog 300 l/sek.

Pri vodnjaku *Delo* smo uspešno uporabili kombinirano metodo izkopa. Do gladine podtalnice v globini 19 m smo ga kopali ročno in betonirali v prstanih. Globlje pa je bil vodnjak do dna v globini 60 m izkopan z grabežem s strojem Benoto v 4 dneh. S tem načinom izkopa smo se izognili težavam pri prebijanju konglomerata v globini približno 8 m do 18 m, ki nastopa v večjem delu Ljubljanskega polja. Ker je imela obložna cev v gornjem delu vodnjaka večji premer, jo je bilo mogoče postaviti zelo natančno navpično. V gornjem, betoniranem delu vodnjaka ni bilo zemeljskega pritiska na obložno cev, tako da sta bili sili, potrebni za vrtenje cevi in izvlačenje obložne cevi po izkopu, mnogo manjši kakor pri enako globokem normalnem vodnjaku Benoto. S tem se je zmogljivost stroja povečala in smo brez težav dosegli globino 60 m. Manipulacija z obložno cevjo namreč omejuje globino kopanja s strojem Benoto.

Možno je torej izkopati vodnjake, globoke 60 m in še več, ki bi imeli veliko zmogljivost.

6.2. Povečanje pretokov podtalnice

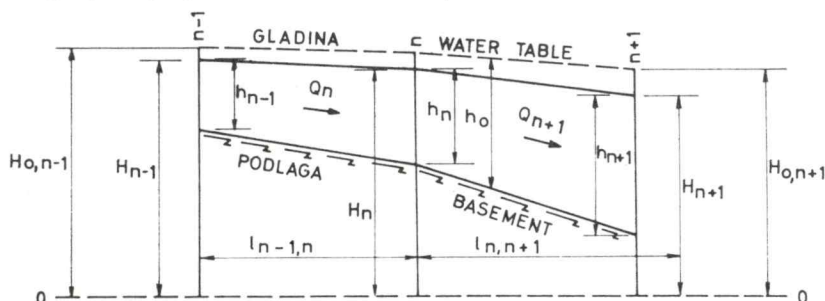
Strmec gladine podtalnice nad črpališčem Kleče je pri sedanjem črpanju 600 l/sek okrog 2 ‰. Debelina vodonosne plasti se povečuje od 10 m v Brodu na 80 m v Klečah.

S povečanim strmecem bi bilo možno povečati dotok podtalnice in podvojiti ali potrojiti črpanje v Klečah. Strmec bi lahko povečali ali s povečano depresijo v vodnjakih v Klečah ali s povišano gladino podtalnice ob Savi, kar obravnavamo v naslednjem poglavju.

Ob severnem robu mestnega središča je nastalo novo veliko črpališče industrijske vode. Ob predpostavki, da bo večji del dotoka iz smeri Broda

porabilo črpališče Kleče, bomo računali, ali je možen dotok iz smeri Mala vas—Tomačevo, kjer naj bi se podtalnica napajala iz Save.

Dotok bomo računali za izbran tokovni pas po splošni enačbi neenakomernega gibanja po Kamenskem (sl. 2).



Sl. 2. Shema za uporabo enačb (2) in (3) po Kamenskem

Fig. 2. Calculation scheme for the application of equations (2) and (3) after Kamenski

$$Q = k \frac{b_{n-1} - b_n}{\ln b_{n-1} - \ln b_n} \cdot \frac{2}{h_{n-1} + h_n} \cdot \frac{H_{n-1} - H_n}{l_{n-1, n}} \text{ in} \quad (2)$$

$$\Delta H = H_{n-1} - H_n = \frac{2 Q (\ln b_{n-1} - \ln b_n) l_{n-1, n}}{k (b_{n-1} - b_n) (h_{n-1} + h_n)} \quad (3)$$

kjer je

Q pretok (Discharge), k količnik prepustnosti (Coefficient of permeability), b širina pasu (Width of the flow belt), h_n debelina vodonosne plasti z upoštevanjem bodoče depresije (Thickness of the water bearing bed considering the future depression), h_0 sedanja debelina vodonosne plasti (Actual thickness of the water bearing bed), H_n kota gladine z upoštevanjem bodoče depresije (Water table level considering the future depression), $H_{0, n}$ sedanje kote gladine (Actual water table levels), l dolžina odseka (Length of the section).

Od Save proti mestu se debelina vodonosne plasti spreminja, zato bomo računali po odsekih.

Podatki za posamezne odseke tokovnega pasu so dani v tabeli 4.

PODATKI O TOKOVNEM PASU OD SAVE PROTI SREDIŠČU MESTA
DATA ON THE FLOW BELT FROM SAVA RIVER TOWARDS THE CITY

Tabela 4

Table 4

Odsek Section	Razdalja od Save Distance from Sava		Širina pasu Belt width		Dolžina odseka Section length	Debelina plasti Bed thickness		Kota gladine Water table level
	L_{n-1} m	L_n m	b_{n-1} m	b_n m		$h_{0, n-1}$ m	$h_{0, n}$ m	
1	0	400	2000	1950	400	15	20	281
2	400	1000	1950	1850	600	20	40	
3	1000	2000	1850	1500	1000	40	60	
4	2000	3000	1500	750	1000	60	40	280

Kakšna mora biti depresija v novih vodnjakih, da bo podtalnica ob povečani potrošnji vode tekla iz Male vasi in Tomačevega proti središču mesta, lahko izračunamo iz padca gladine, potrebnega za izbrane pretoke. Za posamezne odseke izračunamo po enačbi (3) potreben padec gladine $H_{n-1} - H_n$ za izbran pretok Q . Vsota padcev vseh odsekov je depresija v središču mesta.

Po računu smo dobili za pretok

$$Q = 200 \text{ l/sek}$$

depresijo

$$\Delta H = \sum H_{n-1} - H_n = 3,5 \text{ m}$$

in za

$$Q = 500 \text{ l/sek}$$

$$\Delta H = 9,4 \text{ m}$$

Vidimo torej, da je tudi v tej smeri možno aktivirati pretoke podtalnice.

Seveda ne bosta dotoka h Klečam in proti centru mesta med seboj neodvisna, ampak se bosta dopolnjevala. Proti centru bo lahko še vedno dotekala podtalnica iz smeri Broda in Kleč, obratno pa bo lahko črpališče Kleče pritegnilo vodo iz smeri Male vasi pri Ježici. Pretoki podtalnice bodo odvisni od intenzivnosti črpanja v enem ali drugem črpališču in od množine infiltracije Save pri Brodu ali pri Mali vasi.

Pretok podtalnice je pri črpališču Hrastje večji od črpanja in se črpanje lahko še poveča.

Verjetne smeri pretoka podtalnice v bodočnosti so nakazane v prilogi 2. Zaradi velike debeline vodonosne plasti v osrednjem delu Ljubljanskega polja in zelo ugodnega količnika prepustnosti je možno povečati in preusmeriti pretoke podtalnice s povečano depresijo v vodnjakih.

6.3. Povečanje infiltracije iz Save

Sedanji pretok podtalnice, ki je v sušni dobi okrog 1400 l/sek, se obnavlja deloma s padavinami (okrog 200 l/sek), v manjši meri z dotokom iz juga in v glavnem z infiltracijo iz Save.

Pri zaželenem povečanju izkoriščanja podtalnice se mora povečati tudi napajanje, ker bi bilo sicer povečano črpanje samo kratkotrajno in bi mu sledil padec gladine na celotnem Ljubljanskem polju.

Napajanje iz padavin se bo zaradi širjenja mesta samo še zmanjševalo. Tudi z južne strani se dotok ne more povečati. Napajanje je možno povečati samo iz Save.

Ali se bo ob predvidenem povečanju črpanja in znižanja gladine podtalnice v Klečah in v centru mesta povečala tudi naravna infiltracija iz Save? Na to vprašanje moramo odgovoriti negativno. Infiltracija bi se samo neznatno povečala.

Infiltracija iz reke ali njenega rokava je odvisna od površine, ki je pod vodo, od prepustnosti dna, od prepustnosti plasti pod dnom in od gradienta med gladino reke in gladino podtalnice.

S povečano depresijo v črpališčih se bo gradient med reko in podtalnico le neznatno povečal. Ker so črpališča oddaljena več kilometrov

od reke, se bo depresijska krivulja, ki je približno parabola, le malo razlikovala od sedanje ob reki.

Na druge glavne činitelje, ki vplivajo na infiltracijo, predvsem na površino pod vodo in na prepustnost dna reke, povečana depresija ne bo vplivala.

Neprepustna karbonska podlaga ni globoko pod dnom struge. Poglobljena struga Save jo je nad črnuškim mostom že dosegla, drugod pa se je zmanjšala debelina plasti med dnom struge in neprepustno podlago; zato je odtok v podtalnico otežkočen. Poglobitev struge in njena regulacija sta zmanjšala površine pod vodo. V zaprtih stranskih rokavih se je na dno usedel drobnejši material in močno zmanjšal njegovo prepustnost. Ob prejšnjem, naravnem stanju struge so vsakoletne poplave »počistile« dno stranskih rokavov, poleg tega pa so stalno nastajali novi rokavi.

Pogoji infiltracije so se poslabšali in zato se je zmogljivost podtalnice zmanjšala.

S kakšnimi tehničnimi ukrepi bi mogli povečati infiltracijo iz Save?

Najprej na ta način, da bi dvignili gladino Save na prejšnje stanje. Takšen ukrep je bil uspešen v letih po prvi svetovni vojni. Gladina podtalnice v Klečah se je znižala, ker je Sava poglobila svojo strugo, verjetno zaradi izgradnje jezua za papirnico v Medvodah. Na Savi so zgradili prag nad izlivom Gameljščice.

Podrobnejši študij bi pokazal, ali bi bilo dviganje gladine Save tudi danes najboljša rešitev. Neugodno pri tem je, da so bila v novo regulacijo poglobljene struge vložena velika sredstva. Nadalje je sedaj manj ogrožena industrija v Črnučah, zgrajena na poplavnem območju, kjer je bil potreben zaščitni nasip.

Zaradi teh razlogov bi bila verjetno najboljša rešitev izgradnja posebnih objektov za infiltracijo Save v podtalnico. To so lahko ponikovalni jarki, bazeni, jame ali vodnjaki.

Ponikovalni kanal je izkopen v prepustno zemljino in ima neobloženo dno. Voda pronica skozi prepustno dno v podtalnico. Enako funkcijo imata ponikovalni bazen ali jezero, različna je samo oblika. Pri teh ponikovalnih izkopih obstaja nevarnost, da se zmanjša prepustnost zaradi zablatenja dna. Ponikovalne jame so zalite samo takrat, kadar ponikujemo vodo. Njihova prednost je lažje čiščenje dna v suhem.

Ponikovalni vodnjaki so podobni črpalnim vodnjakom, razlika je le v tem, da imajo prepustne stene tudi nad gladino podtalnice. Tudi vodnjaki se lahko zamašijo, zato moramo vanje dovajati prečiščeno vodo in jih občasno s črpanjem regenerirati.

Prvo območje, kjer bi bilo treba umetno napajati podtalnico, je med Brodom pri Tacnu in zavojem Save nasproti izliva Gameljščice.

Hidroizohipse med Brodom in Klečami so zelo strme (6 ‰) do oddaljenosti 1 km od Save. Verjetno teče podtalnica v tanki plasti, kakor po drči, po neprepustni karbonski podlagi. Prepustni prod nad gladino podtalnice bi omogočil znatno večji pretok, ki pa je odvisen od infiltracije iz Save.

Ponikovanje na tem območju bi koristilo predvsem črpališču Kleče. Možnosti za izgradnjo ponikovalnih naprav je več. Blizu Save bi lahko

stare rokave preuredili v ponikovalne bazene ali jezera. Nekoliko bolj oddaljen bi bil ponikovalni jarek. V razdalji približno 1 km od Save pa bi uredili ponikovalne jame ali ponikovalne vodnjake. Vodo bi črpali iz Save ali odvezemali iz kanala tacenske elektrarne. Potrebni bi bili peskolovi za čiščenje vode. Ponikovanje ne bi bilo potrebno ob visokih vodah, ko je že naravna infiltracija velika. Zato bi zadostovali manjši peskolovi; tudi nevarnost zablatenja bi se zmanjšala.

Drugo območje za umetno napajanje je med Malo vasjo in Tomačevim; vplivalo bi delno na črpališče Kleče, predvsem pa na črpališča v središču Ljubljane. Med Malo vasjo in Tomačevim bi zgradili blizu Save bazene ali jezera, ki so že bili predvideni v rekreacijskem centru Ježica. Bolj oddaljeni od reke bi bili ponikovalni vodnjaki.

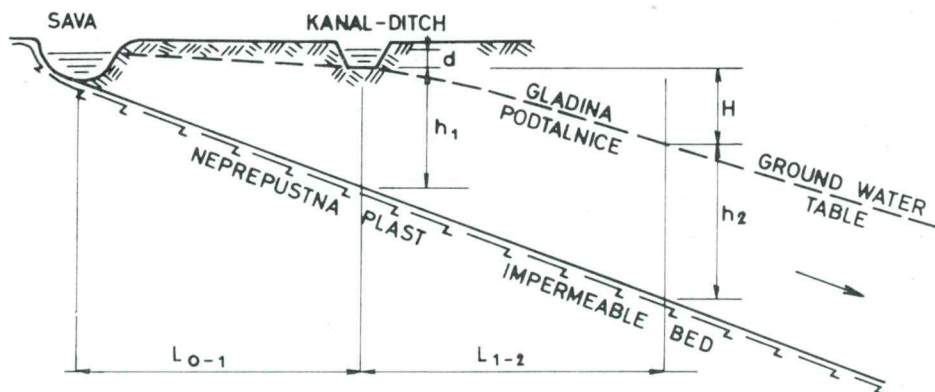
6.4. Zmogljivost ponikovalnih objektov

V nadaljnjem podajamo račun zmogljivosti posameznih ponikovalnih objektov. Primeri so prilagojeni za območje pri Brodu, vendar so vse mere kakor tudi količnik prepustnosti ocenjeni.

Ponikovalni kanal

Kanal je oddaljen od Save 500 m, dno kanala je v višini gladine podtalnice.

$h_1 = 10$ m	debelina vodonosne plasti
$h_2 = 15$ m	debelina vodonosne plasti
$d = 2$ m	višina vode v kanalu
$H = 2,5$ m	padec gladine podtalnice
$L_{0-1} = L_{1-2} = 500$ m	dolžina odseka
$k = 3 \cdot 10^{-3}$ m/sek	količnik prepustnosti



Sl. 3 Napajanje iz kanala
Fig. 3. Recharge from ditch

Za račun uporabimo Dupuitovo enačbo (Bogomolov, Silin-Bekčurin, 1959).

$$q = k \frac{(h_1 + d) + h_2}{2} \cdot \frac{H + d}{L_{1-2}} \quad (4)$$

$$q = 3 \cdot 10^{-3} \frac{(10 + 2) + 15}{2} \cdot \frac{2,5 + 2}{500} = 3,65 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sek}$$

q — pronicanje na 1 m dolžine kanala

Pronicanje za 2000 m dolg kanal

$$Q = 2000 \cdot 3,65 \cdot 10^{-4} = 0,73 \text{ m}^3/\text{sek}$$

Ponikovalna jama

Oddaljenost od Save okrog 1000 m. Dno jame je 4 m nad gladino podtalnice.

$H_o = 1 \text{ m}$ višina vode v jami

$T = 5 \text{ m}$ razlika med gladino v jami in gladino podtalnice

$B = 10 \text{ m}$ širina jame.

Pronicanje računamo po Vernikovu (Silin-Bekčurin, 1965)

$$q = k (B + H_o C_2) \quad (5)$$

q = pronicanje na 1 m dolžine jame

$k = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m/sek}$ količnik prepustnosti

$$\frac{B}{H_o} = 10 \quad \frac{T}{H_o} = 5$$

$C_2 = 3,7$ iz grafikona po Silin-Bekčurin (1965)

$$q = 3 \cdot 10^{-3} (10 + 1,3,7) = 4,1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{sek}.$$

Za 25 m dolgo jamo

$$Q = 1,02 \text{ m}^3/\text{sek}$$

Učinek je izredno ugoden.

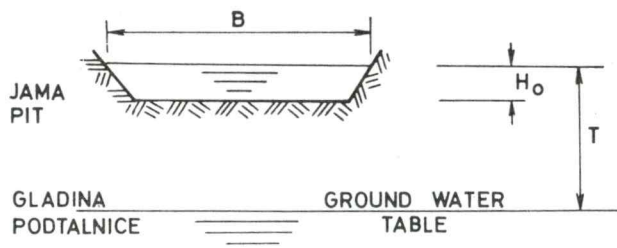
Za količnik prepustnosti

$$k = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m/sek}$$

kar ustreza srednjezrnatemu pesku na dnu jame, bi bilo pronicanje

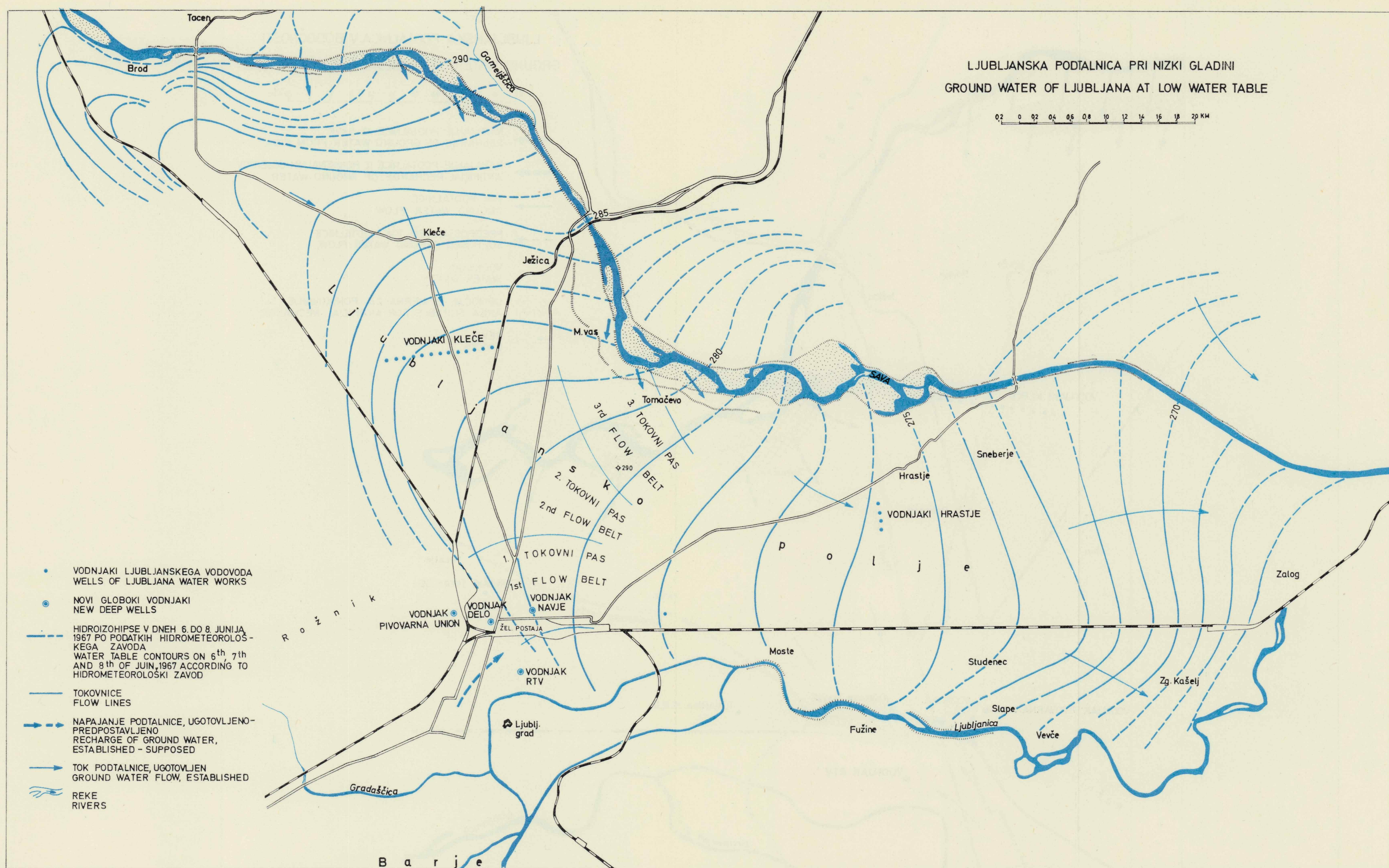
$$Q = 0,034 \text{ m}^3/\text{sek}$$

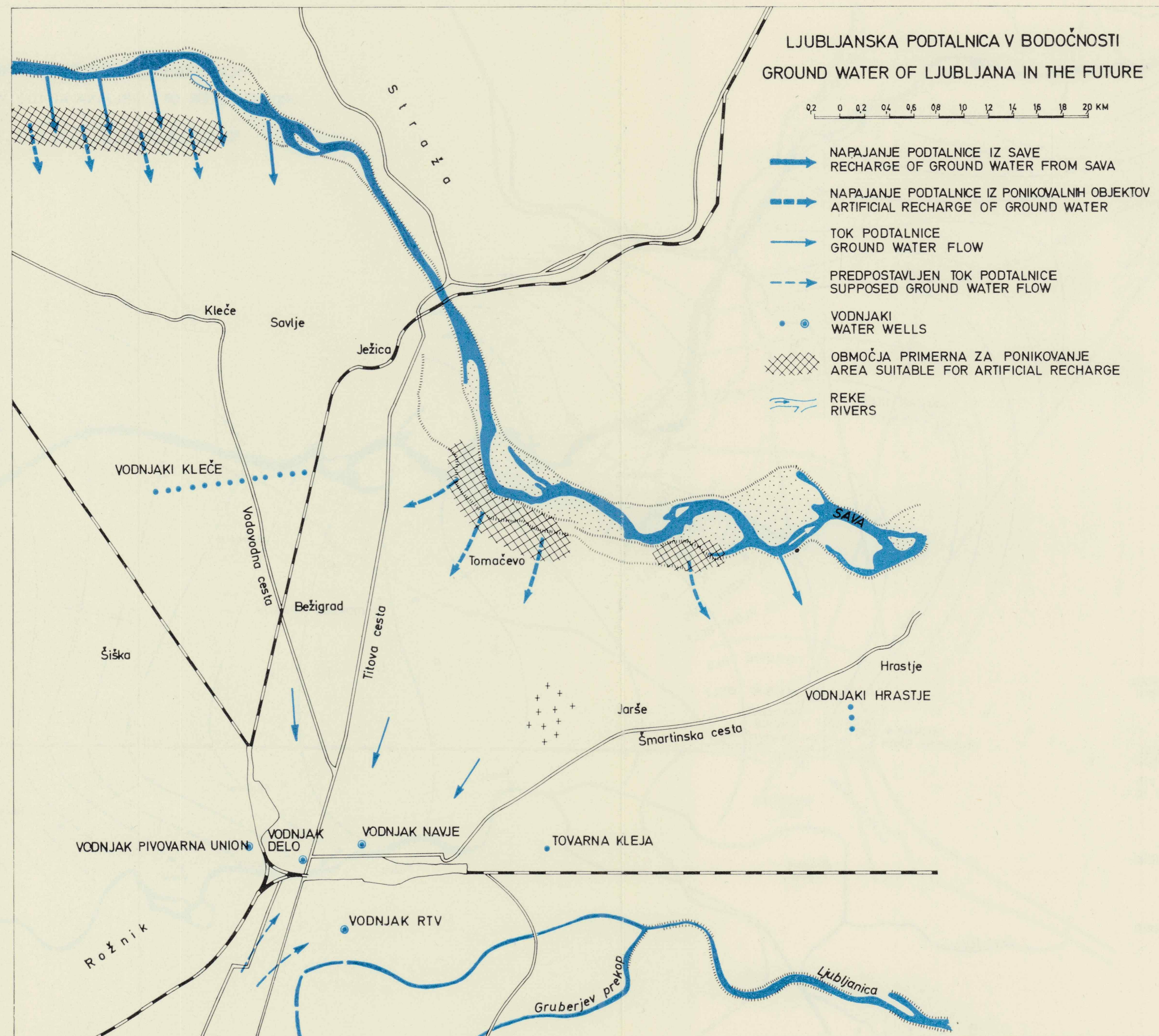
Znatna razlika sposobnosti pronicanja kaže na velik vpliv sestave dna jame in opozarja, da je vpliv zablatenja precejšnji.



Sl. 4 Napajanje iz jame

Fig. 4 Recharge from pit





Ponikovalni vodnjak

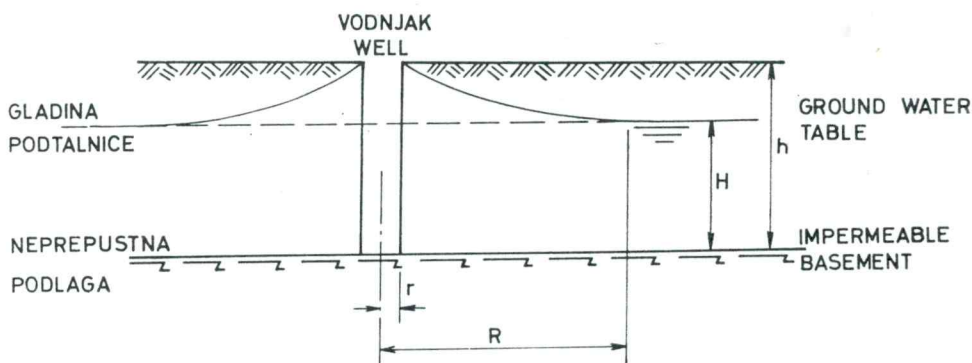
Oddaljenost od Save 1000 m, podtalnica v globini 5 m, neprepustna podlaga v globini 15 m

$h = 15$ m debelina vodonosne plasti ob vodnjaku
 $H = 10$ m debelina vodonosne plasti v razdalji R od vodnjaka
 $r = 0,38$ m polmer vodnjaka
 $R = 300$ m vplivni radij vodnjaka (ocenjeno)
 $k = 3 \cdot 10^{-3}$ m/sek količnik prepustnosti za prod

$$Q = \frac{\pi k (h^2 - H^2)}{\ln R - \ln r} \quad (6)$$

$$Q = \frac{\pi \cdot 3 \cdot 10^{-3} (15^2 - 10^2)}{\ln 300 - \ln 0,38} = 0,18 \text{ m}^3/\text{sek}$$

$$\text{za } R = 500 \text{ m je } Q = 0,16 \text{ m}^3/\text{sek}$$



Sl. 5 Pronicanje iz vodnjaka

Fig. 5 Seepage from the recharge well

Učinki ponikovanja so za vse objekte zelo ugodni, kadar računamo s količnikom prepustnosti proda, in zadovoljivi, če računamo s prepustnostjo peska. Močno bi se pa zmanjšali, če bi bilo dno prekrito z meljem. Zato moramo vodo pred ponikovanjem čistiti in večkrat odstraniti blato z dna in s sten objektov.

6.5. Vpliv umetnega ponikovanja na kvaliteto vode

Glavni faktor, ki vpliva na biološko čiščenje podtalnice, je njeno dolgotrajno zadrževanje v podzemlju. V Amsterdamu npr. zahtevajo, da ostane ponikla voda pod zemljo vsaj dva meseca.

Predlagana lokacija za umetno ponikovanje pri Brodu je le 0,5 do 1,0 km bliže kakor Sava in še vedno 2,0 do 2,5 km daleč od črpališča Kleče. Pri sedanji hitrosti okrog 10 m na dan preteče podtalnica v dveh

mesecih 600 m. Četudi bo zaradi povečanega padca tekla v bodočnosti hitreje, je zaradi velike razdalje med ponikovalnico in črpališčem ne bo težko zadržati toliko časa v podzemlju, da se bo biološko očistila.

Zato lahko upravičeno pričakujemo, da se kvaliteta podtalnice zaradi umetnega ponikovanja ne bo poslabšala.

6.6. Skupno financiranje ponikovalnih objektov

Opozoriti želimo še na možnost financiranja ponikovalnih objektov. Ljubljana že ima v načrtu gradnjo rekreacijskega centra z jezerom pri Mali vasi. Takšna umetna jezera ali bazene, ki bi bili istočasno ponikovalnice, bi bilo možno zgraditi tudi na območju Broda.

Drugo važno dejstvo pa so velike zaloge proda ob Savi. Za izgradnjo južne avtomobilске ceste bodo potrebne velike količine proda za tampon. Južno od Ljubljane gramoza praktično ni, pa tudi v Ljubljanski kotlini ga že primanjkuje. Ob Savi so na območju, ki je zaščiteno zaradi črpališča Kleče, velike zaloge proda. Če bi uporabili za izkop gradbene stroje s pogonom na elektriko in izvedli tudi druge ukrepe proti onesnaženju podtalnice, bi bil tudi na teh območjih možen izkop proda. Izkop bi bilo treba organizirati tako, da bi opuščene gramoznice uporabili pozneje kot ponikovalne bazene ali jame. Na ta način izgrajujejo ponikovalne jame npr. v Kaliforniji.

7. TUJE IZKUŠNJE PRI UMETNEM NAPAJanJU PODTALNICE

Zaradi vedno večjega črpanja in premajhnega naravnega napajanja so pričeli drugod v svetu podtalnice umetno napajati v širokem obsegu.

Ponikovalne jame uporabljajo pri Los Angelesu. Vodonosen prod je debel okrog 100 m in ima zelo ugoden količnik prepustnosti. Reke, ki tečejo iz gorovja in imajo deloma uravnan pretok zaradi akumulacijskih bazenov, imajo le malo finih sedimentov. Kljub temu bi se jame kmalu zablatile, če ne bi zapirali dotokov takrat, ko voda ni dovolj čista. V sušni dobi dna jam preorjejo, da bi ostala prepustna.

Na območju črpališča Zandvoort mesta Amsterdama ponikujejo od leta 1957 okrog 70 milijonov m³ vode letno. Do ponikovalnih jarkov dovajajo vodo po 53 km dolgem cevovodu iz reke Ren. Črpalni jarki so le 200 m oddaljeni. Smatrajo, da mora ostati voda pod zemljo vsaj 2 meseca, da bi se dovolj prečistila.

V Ukrajinski S. S. R. podtalnice umetno napajajo na mnogih krajih. Sedaj raziskujejo v velikem obsegu, kako racionalno izkoriščati podzemelske vode, kako jih zaščititi in umetno napajati.

Odvodni kanal hidroelektrarne Donzère-Mondragon v Franciji je znižal gladino podtalnice in povzročil škodo na površini 12 km². Na obeh straneh kanala, dolgega okrog 6 km, ponikujejo sedaj 8,5 m³/sek neprečiščene vode reke Rhône. Njena voda ima 50 mg/l suspendiranih snovi. Ponikovanje v jamah ni dalo dobrih rezultatov, ker so se kmalu zablatile. Sedaj ponikujejo skoraj izključno samo v vrtanih vodnjakih premera 0,56 m, ki

požirajo povprečno 80 l/sek. Vode ne čistijo in računajo, da se vsak vodnjak zamaši v 8 letih. Letni stroški ponikanja, računajoč vrtanje novih vodnjakov, so 400.000 NF.

Tudi izgradnja hidroelektrarn kanalskega tipa na spodnjem toku reke Durance v Franciji je povzročila zmanjšanje infiltracije iz reke v podtalnico. Izvedli so ustrezne poskuse in pripravljajo umetno napajanje podtalnice iz vrtin premera 10 cm. Vodo bodo očistili v peskolovih. Ponikovati nameravajo 1 do 2 m³/sek; to je toliko, kolikor je bila ob visokih vodah infiltracija iz reke v podtalnico pred izgradnjo elektrarn.

Poleg čistega napajanja podtalnice se v zadnjem času vedno bolj uvajajo tako imenovane podzemeljske akumulacije. V deževni dobi vodo v vrtanih vodnjakih ponikujejo in jo v sušni dobi iz njih črpajo.

V Izraelu so npr. pred leti ponikovali letno nad 100 milijonov m³ vode v nad 100 vodnjakih. Posamezni vodnjaki so lahko stalno požirali nad 0,5 m³/sek. Iz istih vodnjakov, ki so premera blizu 1 m, so v sušni dobi črpali. Podzemeljska akumulacija je v zakraselih apnencih in dolomitih, ki so proti morju zaprti z nepropustnimi plastmi.

8. ZAHVALA

Zahvaljujem se Hidrometeorološkemu zavodu SRS Ljubljana za karto hidroizohips Ljubljanskega polja in dr. Ljubu Žlebniku, geologu Geološkega zavoda Ljubljana, za nekatere hidrogeološke podatke.

9. POVZETEK

9.1. Sedanje stanje

Ljubljana se oskrbuje s pitno in industrijsko vodo iz črpalnih vodnjakov, ki so blizu mesta ali v njem. Sedanji minimalni pretok podtalnice je okrog 1,4 m³/sek. Potrošnja vode se že bliža pretoku, zato moramo misliti na nove vodne vire.

9.2. Oslabitev podtalnice

Pretok podtalnice se je v zadnjih dveh desetletjih močno zmanjšal. Glavni vzrok oslabitve podtalnice je znižanje korita Save za več metrov, kar je posledica povečane erozijske moči Save v tem delu struge zaradi odlaganja proda v akumulacijskem bazenu Medvode in zaradi povečane padca regulirane struge. Nadaljnji vzrok je zapiranje in osušitev stranskih rokavov pri regulaciji, ker so se zmanjšale površine pod vodo in pronicanje v podtalnico.

9.3. Možnosti povečanega črpanja podtalnice

Novi vodnjaki *Navje*, *Delo* in *RTV* so dokazali, da je možna izgradnja vodnjakov z zelo veliko zmogljivostjo. Z računom smo dokazali, da s povečano depresijo v vodnjakih lahko podvojimo pretoke podtalnice in da jih lahko preusmerimo v zaželeno smer.

Ozko grlo za povečanje izkoriščanja podtalnice je infiltracija iz Save. Infiltracijo bi bilo treba umetno povečati. To bi najlažje dosegli z umetnim ponikovanjem v ponikovalnih jarkih, bazenih, jamah ali vodnjakih. Najprimernejše območje za umetno ponikovanje je pri Brodu in drugo pri Tomačevem. Pri izgradnji nekaterih ponikovalnih objektov bi bilo možno doseči sodelovanje drugih interesentov. Ponikovalni bazeni bi lahko bili del rekreacijskih centrov, opuščene gramoznice pa ponikovalne jame ali bazeni.

Upravičeno lahko pričakujemo, da se kvaliteta podtalnice zaradi umetnega ponikovanja ne bo poslabšala.

9.4. Nujni ukrepi

Takoj je treba preprečiti nadaljnje poglabljanje struge Save in njeno regulacijo izvajati tako, da se infiltracija v podtalnico ne bo zmanjšala; sicer se bo zmogljivost podtalnice še nadalje slabšala. Pričeti je treba odločno borbo proti onesnaženju Save.

GROUND WATER OF THE LJUBLJANA POLJE AND POSSIBILITIES OF INCREASING ITS EXPLOITATION

Marko Breznik

With 5 textfigures and 2 plates

1. INTRODUCTION

The town Ljubljana is supplied by water of excellent quality from the ground water in the Ljubljana Polje. The main pumping station is at a distance of 3 km from the centre of the town. As during the dry season the water level in the wells falls considerably, restrictive measures in water consumption are already necessary. The municipal government has therefore arranged for extensive exploratory studies for future water supplies. The erection of a new pumping station in the Sorško Polje, 18 km distant, has been proposed. This paper indicates a possibility of increasing the yield of the existing wells in the Ljubljansko Polje ground water.

2. DESCRIPTION OF THE GROUND WATER OF THE LJUBLJANA POLJE

The Ljubljansko Polje is a younger fault basin, filled by Pleistocene and Holocene sediments. The water bearing sands and gravels are in the middle of the basin of a thickness up to 80 m, and along the Sava River of 10—20 m. The coefficient of permeability is favourable, about 10^{-2} to 10^{-3} metres per second.

Plate 1 shows the contours of the ground water table during the dry season. The recharge area from the Sava River is located near Brod. The ground water moves parallel to the Sava River, and flows into the Ljubljana River between Fužine and Zalog. In the northern uninhabited area the ground water is recharged by meteoric water. A smaller recharge from the south is probable as well. Due to the considerable thickness of the water bearing layer in the middle of the basin and the favourable coefficient of permeability, conditions for sinking deep wells of high capacity exist there.

3. Calculation of Ground Water Flow Discharge

The flow of the ground water in the Ljubljansko Polje has not yet been exactly determined. In the tables 1, 2, and 3 the discharge Q has been calculated for three flow belts in the section Bežigrad-Tomačevo, according to Dupuit's equation as modified by Kamenski

$$Q = k \frac{b_1 - b_2}{\ln b_1 - \ln b_2} \cdot \frac{h_1 + h_2}{2} \cdot i$$

where k is the coefficient of permeability, b_1 and b_2 the widths of the water flow belt in sections 1 and 2, h_1 and h_2 the heights of the water table above the impervious base, the thicknesses of the water bearing layer, and i its hydraulic gradient.

Measured data as well as the calculations are shown in Tables 1, 2, and 3. The actual flow in June 1967 amounted to about 1370 litres per second. Repeated measurements during the dry season in October 1967 resulted in similar values, i. e. 1000 litres per sec. by pumping from the wells, and 400 litres per sec. at the springs near Zalog.

4. NATURAL RECHARGE OF THE GROUND WATER

During the dry season the main recharge area lies near Brod. As during this period the ground water flows along the Sava River, it is named "recharge in longitudinal direction". The large pumping stations in Kleče have not important effect on the depth of the ground water table, and the contour lines of equal depth depend on the level of the Sava River, there must exist a recharge in transverse direction as well. This "recharge in transverse direction" is most active during high levels of the Sava.

The recharge from meteoric water is considerable. The recharge from southern areas is probably negligible.

5. REASONS FOR DECREASED CAPACITY OF THE GROUND WATER

The Municipal Water Works are intermittently forced to reduce the rate of pumping due to low water level in their wells. The ground water shortage is due to changes in the Sava. The river has in the last 20 years

eroded and deepened its bottom for a few metres. Its erosional force is increasing due to the construction of the artificial lake of Medvode power plant as well as due to the regulation and protection of its banks. During the regulation, many secondary channels of the river were closed, and in this way the area of infiltration has been reduced.

Before the regulation during floods the river cleaned the bottom of its secondary channels, and opened new channels. The regulation of the river before the First World War had a similar negative influence. After the regulation the head of the water wells dropped for 7 metres, and after the flood of 1912 destroyed the regulation works, the head of the wells increased for 5 metres.

6. POSSIBILITIES OF INCREASING THE EXPLOITATION OF THE GROUND WATER

6.1. Capacity and Construction of Deep Wells

The new wells *Navje*, *Delo* and *RTV* in the centre of the town are of high capacities, about 300 litres per second each. The well *Delo* was dug to the depth of 20 metres manually, due to conglomerate lenses, and to 60 metres very fast by a Benoto rig. Therefore the construction of deep wells of high capacities is possible.

6.2. Increase of the Ground Water Flow

By increasing the drawdown in existing wells, the flow rate could be considerably increased.

The necessary drawdown has been calculated for a supposed ground water flow from Tomačevo near the Sava River to the town centre, where an important pumping station for industrial water has been planned.

According to the Kamenski equation (see fig. 2) the necessary drawdown is

$$\Delta H = H_{n-1} - H_n = \frac{2 Q (\ln b_{n-1} - \ln b_n) \cdot l_{n-1, n}}{k (b_{n-1} - b_n) (h_{n-1} + h_n)}$$

where ΔH is drawdown, H_n the futur water table level, Q the assumed discharge, b_n the width of the flow belt, h_n the thickness of the aquifer, k the permeability coefficient, and l the length of the section. Thus for discharges of $Q = 200$ and 500 litres per second, the drawdowns of 3,5 and 9,4 metres respectively would be necessary.

6.3. Increase of Recharge from the Sava River

For an increase in output a higher recharge from the Sava is necessary. The direct recharge from meteoric water and from the southern area cannot be increased. Due to increased drawdown in the wells the infiltration would be only slightly higher. The infiltration could be increased

by raising the level of the Sava, which is not feasible. The best solution seems to be artificial recharge of the ground water.

The main area for artificial recharge lies in the east of Brod (Plate 2). At a distance of about 500 metres and along the Sava recharge basins could be built, and recharge pits or wells at a distance of 1 km. The recharge works in this area would serve directly the pumping station Kleče.

The second recharge area lies between Mala Vas and Tomačevo. Along the Sava recharge basins and lakes, and farther away recharge wells should be built. This recharge works would serve above all the wells in the centre of the town.

6.4. Capacity of the Artificial Recharge Structures

The calculated capacities of artificial recharge for a ditch, pit, and well are shown. The importance of the purification of the water and of the constructional works themselves is indicated.

6.5. Influence of Artificial Recharge on the Quality of Water

Natural purification of biologically polluted water will depend mostly on the period of time of its underground flow. In the artificial recharge works of Amsterdam, the water has to stay underground for at least 2 months. In the areas as proposed for Ljubljana, distances between recharge areas and wells are so large, that the water will stay for a sufficient period of time underground. Therefore it is expected, that the artificial recharge will not cause a deterioration in quality of the water.

6.6. Joint Investment for the Establishment of Artificial Recharge Structures

The artificial recharge basins and lakes could be used partly for recreation purposes. In reserved areas, the excavation of sand and gravel should be allowed according to preconceived plans, and the resulting gravel pits would be later used as recharge basins.

7. EXPERIENCE OF OTHER COUNTRIES IN ARTIFICIAL RECHARGE

Short descriptions are given of recharge pits in Los Angeles, of recharge canals in Zandvoort near Amsterdam, of works in the SSR Ukraina, of recharge wells in the area of the hydro-electric power plants Donzère-Mondragon and on the river Durance. The principles of management and use of underground storage basins in Israel are shown.

8. ACKNOWLEDGEMENTS

The author's sincere thanks go to the Hydrometeorological Institute of Slovenia for the kind permission to use the contour map of the ground water table, as well as to Dr. L. Žlebnik for some of the hydrogeological data.

9. CONCLUSION

9.1. Present Situation

Water is supplied to the town of Ljubljana from deep wells in the vicinity of the town. The existing minimum ground water discharge amounts to about 1,4 cubic metres per second, and the consumption amounts already to 1 cu. m. per second. A new pumping station has been planned in the Sorško Polje, about 18 km distant. The author suggests and discusses the possibility of increasing the yield of the existing wells.

9.2. Decreased Capacity of the Ground Water

The ground water discharge has decreased during the last 20 years, the Sava River having eroded and lowered its bottom for a few metres. The main source of recharge of ground water is the Sava River. Its regulation has closed many secondary channels and reduced the infiltration area.

9.3 Possibilities of Increasing the Ground Water Exploitation

It is feasible to build wells of high capacity, to increase the yield and to change the direction of the ground water flow. However, it would be necessary to recharge the ground water artificially. Natural conditions for artificial recharge are favourable. Two such areas are indicated. It is expected that artificial recharge will not cause deterioration in water quality.

9.4. Urgent Measures to Be Taken

Measures should be taken immediately to prevent further erosion and deepening of the river bed. Further regulations of the river banks must not reduce the infiltration area. Measures against ground water pollution of the river should be taken.