

Podtalnica Iškega vršaja

Marko Breznik

Hidrotehnični odsek FAGG, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Hajdrihova 28

Ljubljansko barje je udorina zasuta s pleistocenskimi in holocenskimi jezerskimi in rečnimi sedimenti. Debelina sedimentnega zaporedja presega 100 m. Kjer prihaja Iška na južni rob Ljubljanskega barja, je nasula vršaj precejšnjega obsega. Vršaj vsebuje pomembno količino podtalne vode v dveh vodonosnikih, dobro ločenih z zaglinjenim prodom in peskom. Zgornji vodonosnik je omejen na območje vršaja, medtem ko se spodnji nadaljuje precej daleč proti severu pod Barje. V Brestu je površje zgornjega vodonosnika v globini 5 m in spodnjega v globini 35 m pod površjem terena. Nova vodarna nad Brestom je projektirana tako, da bo v začetku dajala 0,200 m³/sek. Pozneje naj bi se njena zmogljivost zvišala na 0,500 m³/sek.

1. Uvod

Ljubljana je v letu 1974 porabila 1080 l/sek pitne vode, industrija pa še 300 l/sek. Vsa ta voda je bila črpana iz podtalnice Ljubljanskega polja na desnem bregu Save. Zmogljivost te podtalnice je ocenjena na okrog 1400 l/sek v sušni dobi. Pretok izvirov podtalnice v Zalogu se je v zimski suši konec februarja 1975 zmanjšal na 25 l/sek, kar dokazuje, da je bil skoraj celoten pretok podtalnice že izkoriščen s črpanjem. Ker potrošnja vode stalno narašča, je treba vsako leto povečati zmogljivost črpališč za okrog 100 l/sek. V ta namen mora iskati Ljubljana nove vodne vire zunaj območja sedanjih črpališč. V petletnem razvoju 1976—1980 Mestnega vodovoda Ljubljana je predvideno izkoriščanje podtalnice Iškega vršaja z izgradnjo črpališča Brest. V letih 1974 in 1975 so bila na tem področju izvedena obsežnejša raziskovalna dela.

2. Pregled raziskav do leta 1972

Hidrometeorološki zavod LRS je leta 1959 izdelal poročilo »Hidrološki elaborat Ljubljanice in njenih barjanskih pritokov«. Med raziskavami za izdelavo tega elaborata so bile merjene gladine v vodnjakih (tabela 1) in pretoki vodotokov na Barju. Podatki so žal nepopolni za izvire Iškega vršaja. Izdatnost

vseh izvirov vzdolž izvirnega območja Tomišelj-Brest-Matena-Iška Loka je bila ocenjena na 200 do 250 l/sek za 6. 8. 1958, kar naj bi nekako ustrezalo vodni količini Iške pri Iški vasi. Tedaj je prevladovalo mišljenje, da na ravninskem delu Barja, vključno depresijsko območje južno od Črne vasi med Farjevcem in Kozlerjevim potokom, ni podtalnice z zveznim horizontom vodne gladine temveč le podtalnica infiltrirana v zgornjih plasteh barske črnice, šote in slabega humusa. Izdatnost takšne infiltrirane podtalnice bi bila seveda minimalna.

Leta 1962 je bila južno od Črne vasi izvrtana raziskovalna vrtina BV-2. Dela je organiziral Geološki inštitut SAZU, financiral pa Sklad Borisa Kidriča. Vrtina je v globini 20 do 30 m našla v produ in pesku podtalnico z arteškim pritiskom.

Starost barjanskih sedimentov je določil s pelodnimi raziskavami vzorcev iz vrtin dr. A. Šerclj s SAZU v letih 1965, 1966 in 1975.

V okviru hidrogeoloških raziskav zahodnega dela Barja v zvezi s projektiranjem avtomobilske ceste je bila leta 1967 izvrtana vrtina G-12 v Lipah ob izlivu Iške. Tudi ta vrtina je zadela na podtalnico v produ in pesku z arteškim pritiskom. Piezometrične gladine podtalnice v tej vrtini so bile opazovane dve leti.

Projekt-Nizke zgradbe je leta 1972 izdelal projekt »Vodovod Barje. Program vodooskrbe naselij jugovzhodnega dela Ljubljanskega barja«. Delo sta financirala Skupščina mesta Ljubljane in Mestni vodovod. »Poročilo o ogledu izvirov na južnem obrobju Barja« iz tega projekta je izdelal dr. L. Žlebnič z Geološkega zavoda. Izdatnost vseh izvirov brez Bršnika je bila v marcu 1972 ocenjena na 300 do 400 l/sek.

3. Raziskovalna dela v letih 1974 in 1975

Mestni vodovod je analiziral hidrogeološke in hidrološke razmere, izdelal program raziskovalnih del in izbral najprimernejši profil za raziskave in predvideno črpališče. Tudi nadzor del, njihova obdelava in končno poročilo je delo Mestnega vodovoda. Hidrometeorološki zavod je enkrat izmeril pretok izvirov in Iške. Geofizikalne raziskave, vrtanje, črpalni poizkusi, geološki profili vrtin in merjenja pretokov so delo Geološkega zavoda. Kemično je vzorce vode analiziral Kemijski inštitut Borisa Kidriča, bakteriološko pa Zavod SRS za zdravstveno varstvo.

Pregled vzorcev iz vrtin je pokazal, da cvetni prah ni ohranjen in da pelodnih analiz zato ni bilo možno izvršiti. Rezultatov analiz naravnih izotopov vode še nismo prejeli.

4. Geološke razmere

Barje je udorina s površjem na nadmorski višini 288 do 292 m, ki je nastala s pogrezanjem v pliocenski in kvartarni dobi in je zasuta delno z rečnimi, v glavnem pa z jezerskimi sedimenti. Kameninska podlaga je bila najgloblje navrtana v vrtini BV-2 v globini 116,8 m (nadmorska višina 170,7 m). Po geofizikalnih meritvah v letu 1962 naj bi bila v severnem delu Barja podlaga od 150 do 200 m globoko. Na območju Iškega vršaja je po podatkih vrtin IŠ-1 in IŠ-2 kameninska podlaga v globini 88 oziroma 108,5 m na nadmorski višini 215 m oziroma 196,7 m. Vzdolžni profil Strahomer-Brest-Lipe (sl. 1 in 2), ki

Tabela 1 — Nadmorska višina podtalnice v opazovalnih vodnjakih v letu 1958

Table 1 — Elevation of ground water table in the observation wells in 1958

Oz. No.	Vodnjaki na Barju Well on Ljubljana Moor Kraj Location	Kota terena Elevation of the ground surface m	Kota gladine podtalnice Elevation of ground water table			
			Visoka High m	Srednja Mean m	Nizka Low m	Nihanje gladine Fluctuation m
1	Opekarska 22	290,26	290,31	289,83	289,19	1,12
18	Pol na Rakovo Jelšo	288,89	288,94	288,05	288,78	2,16
24	»Pluta«	295,28	292,57	291,44	290,88	1,69
39	Brezovica	296,39	286,28	295,82	295,08	1,20
53	Notranje gorice 118	292,83	292,54	291,24	289,31	3,23
61	Log	294,57	293,52	293,25	292,87	0,85
75	Bevke 87	290,18	290,40	289,50	289,32	2,08
30	Kozarje	302,85	301,39	300,35	298,26	3,13
44	Vnanje gorice	290,23	289,78	289,44	288,74	1,04
121	Tomišelj	289,94	290,19	289,36	287,04	3,15
141	Iška loka	292,65	290,65	289,59	289,08	1,59
127	Črna vas	288,81	288,50	288,37	288,07	0,43
149	Ižanska cesta 375	289,10	289,02	288,78	288,41	0,61
167	Babna gorica	289,42	288,46	288,13	287,75	0,71

poteka vzporedno z Iško, kaže, da se podlaga, ki je na jugu ob Iški na površju na koti 330 m, proti severu hitro spušča v globino in je v profilu Tomišelj-Stajc v vrtni IŠ-2 že na koti 196 m ter južno od Črne vasi v vrtni BV-2 na koti 170 m. Takšno grezanje je bilo možno samo ob prelomih. Glavna preloma na območju Iškega vršaja potekata med vrtno IŠ-2 ter južnim in zahodnim kraškim obrubjem Barja blizu današnje struge Iške.

Vrtni IŠ-1 in IŠ-2 (sl. 3) sta pokazali, da je ta del barske udorine zasut večidel s prodom in peskom, ki vsebujeta malo melja. Vmes je nekaj plasti rjave preperinske gline, debelih do 2 m.

Dva kilometra severneje je sestava sedimentov bistveno drugačna (sl. 2). Pod plitvim humusom in šoto leži lahkognetna siva karbonatna meljasta glina, zaradi lupinic polžev imenovana polžarica. Ta jezerska glina, ki povzroča mnogo težav pri temeljenju zgradb, sega v globino 7 do 15 m. Pod polžarico je rjava in siva srednjegnetna glina in melj. V globini 20 m do okrog 35 m sledi prod in pesek s podtalno vodo z arteškim pritiskom. Do globine 70 m je siva in rjava glina z organskimi ostanki in vložki proda. Globlje prevladujejo plasti gline in melja nad plastmi meljastega peska in proda. Nad dolomitom v globini 117 m (nadmorska višina 170 m) je 2 m proda in peska.

Starost sedimentov na Barju je bila določena v vrtni BV-2 z analizami cvetnega prahu in deloma z analizami radioaktivnosti ogljika C¹⁴ (Šercelj, 1966). Najstarejši sedimenti stari 400 000 let iz mindelskega glaciacala so v globini 109 m. V mindelsko-riškem interglaciacalu je bilo Barje ravnina s plitvim močvirjem ali barjem in kameninskim dnom plitvo pod površjem. Sedimenti iz tega obdobja so v vrtni BV-2 v globini 96 do 94 m. Okrog 100 000 let stari sedimenti iz riškega glaciacala so v globini 78 m. Takrat se je pričelo dno Barja hitreje pogrczati. Najstarejši würmski sedimenti (50 000 do 80 000 let) so v glo-

Tabela 2 — Pretoki izvirov Iškega vršaja, kraških izvirov in Iške
 Table 2 — Discharge of springs of Iški Vršaj, of Karstic Springs and of Iška River

	Pretok* — Discharge* m ³ /sec				Faktor povečanja pretoka	Faktor povečanja pretoka
	23. 4. 1974	13. 6. 1974	1. 3. 1975	31. 7.—1. 8. 1975	Ratio of Increase of Discharge 13. 6. 74 : 23. 4. 74	Ratio of Increase of Discharge 31. 7.—1. 8. 75 : 1. 3. 75
Izviri zgornjega vodonosnika						
Springs of the Upper Aquifer						
Sačkov kanal	0,013	0,080	0,014	0,030	6,1	2,1
Peščenek	0,064	0,240	0,041	0,145	3,8	3,5
Zidarjev kanal	0,023		0,017	0,035		2,1
Na mčji		0,020		0,010		
Mali deli		0,060		0,055		
Na brodu	0,018	0,040	0,090	0,020	2,2	2,2
Bršnik	0,017	0,150	0,000	0,055	8,8	∞
Retje II	0,018	0,070	0,023	0,040	3,9	1,7
Skupaj — Total	0,153	0,880	0,104	0,390	4,3	3,8
Izviri spodnjega vodonosnika						
Springs of the Lower Aquifer						
Strahomerski kanal	0,014	0,010	0,010	0,010	0,7	1,0
Jevšnik	0,061	0,080	0,031	0,055	1,3	1,8
V Talih	0,021	0,030	0,011	0,020	1,4	1,8
Retje I	0,031	0,050	0,032	0,050	1,6	1,6
Skupaj — Total	0,127	0,170	0,084	0,135	1,3	1,6
Skupno izviri Iškega vršaja	0,280	0,830	0,188	0,525	3,0	2,8
Total Springs of Iški Vršaj						

Kraški izviri
Karstic Springs

Pri bajerju			0,000	
Češljenca			0,005	0,010
Sentjanž			0,005—0,010	0,030
Koček			0,000	
Skupaj — Total			0,005—0,015	0,040

Iška

— v Vintgarju	0,592			
— v Iški vasi	0,548	~ 1,00	0,370**	0,580
— pri mostu				
Brest—Tomželj	0,000		0,000	0,000

* Pretoki dne 23. 4. 1974 so bili merjeni po dvomesečni suši in dne 1. 3. 1975 po štirimesečni zimski suši ter ocenjeni dne 13. 6. 1974 po deževnem maju in dne 31. 7. do 1. 8. 1975 teden dni po daljšem deževju.

** Ocenjen povprečni pretok. Pretok se je tekom dneva spreminjal zaradi zmrzali.

* Discharges were measured on 23. 4. 1974 after a two months drought and on 1. 3. 1975 after a four months winter drought. They were estimated on 13. 6. 1974 after a rainy May and on 31. 7. to 1. 8. 1975 a week after a rainy period.

** Estimated mean discharge. During the day the discharge varied due to the frost.

bini 44 m. Pleistocen se konča s sedimenti poznega Würma v globini 13 m. Lahkognetna karbonatna meljna glina — polžarica je sediment holocenskega »Mostiščarskega jezera«, ki je nastalo pred 10 000 leti in se je osušilo pred 4 000 leti. Takrat je prišla preraščati površje Barja šota, ki je bila še pred 100 leti debela 6 do 8 m.

Določitev starosti proda in peska Iškega vršaja s pelodnimi analizami ni bila možna, ker se cvetni prah v njem ni ohranil. Ker je globina dolomitne podlage v vrtini IS-2 ista kakor v vrtini BV-2, lahko predpostavimo, da se je dno Barja v tem delu dokaj enakomerno pogrezalo. Zato lahko ocenimo starost sedimentov v Iškem vršaju po podatkih o vrtini BV-2. Zgornja plast proda je delno ekvivalent polžarice, delno pa je od nje še mlajša, ker ponekod prekriva tudi šoto.

5. Hidrogeološke razmere

Geološka sestava vpliva seveda odločilno na hidrogeološke razmere. Piezometrične višine v raziskovalnih vrtinah IS-1 do IS-5 in črpalni poskusi v vrtinah IS-3 do IS-5 so povsem jasno pokazali, da sta v profilu Tomišelj—Staje dva ločena vodonosnika. Do globine okrog 27 m pod površjem (nadm. višina 272 m) je zgornji vodonosnik s piezometrično gladino na nadmorski višini 297 do 292 m. V globini 40 do 105 m (nadmorska višina 260 do 191 m) sledi spodnji vodonosnik, sestavljen iz več med seboj povsem ali delno ločenih vodonosnih plasti. Piezometrična gladina spodnjega vodonosnika na nadmorski višini 291 do 290 m dokazuje, da je ta vodonosnik zaprt.

Zgornji vodonosnik se napaja iz padavin in Iške, ki v času nizkih voda ponikne med Iško vasjo in Strahomerom (tabla 1). Ob visokih vodah ponikuje Iška med Iško vasjo in Tomišljem in teče še dalje proti severu v Ljubljano. Zgornji vodonosnik se proti Barju izklini ob nepropustni polžarici in izvira v izvirih Šalčkov kanal, Peščenek, Zidarjev kanal, Na meji, Mali deli, Na Brodu, Bršnik in Retje II.

Spodnji vodonosnik se napaja iz prenikle Iške ali iz zgornjega vodonosnika. Nižja piezometrična gladina ob večji prepustnosti kaže, da je napajanje omejeno, kar si razlagamo s tem, da se vlečejo neprepustne glinaste plasti pod ponorno območje Iške in omejujejo napajanje. Predvidevamo, da iz spodnjega vodonosnika prihajajo izviri Strahomerski kanal, Jevšnik, Na talih in Retje I.

Spodnji vodonosnik se nadaljuje še daleč proti severu do Ljubljane in pod njo. Ta zvezni vodni horizont pod velikim delom Barja do sedaj ni bil znan. Verjetno del voda spodnjega vodonosnika, ki ima na območju Črne vasi piezometrično gladino nad površjem (vrtina G-12), pronica skozi polžarico, ki leži nad njim, in izhlapeva v depresijskem območju južno od Črne vasi. Spodnji vodonosnik Iškega vršaja je verjetno v zvezi z vodonosnikom vršaja ob Gradaščici. V tem primeru bi bil pod velikim delom Barja velik zvezni vodonosnik.

Debela plast proda in peska pod polžarico kaže na daljše kopno obdobje med zasipavanjem Barja.

Zgornji vodonosnik hitro reagira na povečanje pretoka Iške in je občutljiv za sušo v času nizkih voda Iške. Izvir Bršnik hitro naraste in ob suši usahne. Pretok spodnjega vodonosnika je bolj enakomeren. Razmerje pretokov v deževnem in sušnem obdobju kaže, kateri izviri odvodnjavajo zgornji oziroma spodnji vodonosnik (tabela 2).

Tabela 3 — Rezultat črpalnih poskusov v vrtilinah IS-3, IS-4 in IS-5
 Table 3 — Results of pumping test with boreholes IS-3, IS-4 and IS-5

Črpalni vodnjak Pumping well	Datum Date	Pretok Discharge m ³ /sec	Ura črpanja Hours of pumping	Depresija na koncu črpanja (v metrih) Drawdown at the end of the pumping (in metres)						
				IS-1-pl	IS-1-gl	IS-2-pl	IS-2-gl	IS-3	IS-4	IS-5
Zgornji vodonosnik — Upper aquifer										
IS-5	19. 2. 75	0,004	2,5	0,03	0,00	0,26	0,00	—	0,00	0,57
IS-5	20.—22. 2. 75	0,012	48,2	0,03	0,07	1,14	0,08	—	0,005	3,05
IS-3	3. 3. 75	0,005	5,5	0,17	0,00	0,00	0,00	0,37	—	—
IS-3	4.— 5. 3. 75	0,013	24,0	0,63	0,00	0,02	0,00	1,42	—	—
IS-3	5. 3. 75	0,019	2,5	—	—	—	—	1,77	—	—
Spodnji vodonosnik — Lower aquifer										
IS-4	24. 2. 75	0,012	5,3	0,00	0,06	0,00	0,15	—	0,24	0,00
IS-4	25. 2. 75	0,030	5,0	0,04	0,20	0,00	0,40	—	0,68	0,00
IS-4	26. 2.— 1. 3. 75	0,042	72,0	0,06	0,57	0,04	0,91	—	1,38	—

Ob robu Iškega vršaja so kraški izviri Češljenca, Roček, Sentjanž in Isčica, ki se napajajo iz zakraselega območja Krina in Mokreca, ter verjetno nimajo pomembne zveze z vodonosnikoma Iškega vršaja.

6. Hidravlične karakteristike črpalnih vrtin in vodonosnikov

Rezultati črpalnih poizkusov so podani v tabeli 3. Sovisnice med pretokom in depresijo (sl. 4) kažejo naslednje eksploatacijske zmogljivosti črpalnih vrtin

IŠ-3	8 l/sek
IŠ-5	15 l/sek
IŠ-4	30 l/sek

Vrtini IŠ-3 in IŠ-5 v zgornjem vodonosniku sta globoki po 28 m in imata filtrski del cevi med 4,6 oziroma 8,0 m in 22 metri. Vrtina IŠ-4 v spodnjem vodonosniku je globoka 104,3 m s filtrskimi cevmi med 30,3 m in 99,3 metra. Vrtina je zatesnjena od površja do globine 30 m.

Prevodnost vodonosnikov je bila računana po Jacobovi grafični rešitvi Theisove enačbe za nestabilizirano depresijo. Rezultati računa prevodnosti $*T*$ in efektivne poroznosti $*S*$ so podani v tabeli 4. Povprečne vrednosti prevodnosti in efektivne poroznosti, izračunane iz prvega dela sovisnice med časom in depresijo ter zadnjega dela sovisnice med t/t' in zaostalo depresijo iz bližnjih piezometriških vrtin so:

IŠ-3	$T = 1,78 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sek} = 1540 \text{ m}^2/\text{dan}$ $S = 0,0087$
IŠ-5	$T = 2,50 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sek} = 2160 \text{ m}^2/\text{dan}$ $S = 0,000013$
IŠ-4	$T = 6,56 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sek} = 5680 \text{ m}^2/\text{dan}$ $S = 0,00022$

7. Zmogljivost podtalnice Iškega vršaja

Zmogljivost podtalnice lahko ocenimo na tri načine, iz pretoka izvirov, iz količine Iške, ki ponikne, ter računsko iz padca piezometrične gladine in prevodnosti T , ki je bila ugotovljena s črpalnimi poizkusi.

7.1. Pretok izvirov

Skupen pretok izvirov (tabela 2) je bil ocenjen dne 6. 8. 1958 na 0,20 do 0,25 m^3/sek in marca 1972 na 0,3 do 0,4 m^3/sek . Na koncu zimskih suš v letih 1974 in 1975 so bili pretoki izmerjeni. Dne 23. 4. 1974 je bil skupen pretok izvirov 0,280 m^3/sek ; po oceni odpade od tega na spodnji vodonosnik 0,127 m^3/sek . Dne 1. 3. 1975 je bil skupen pretok 0,188 m^3/sek . Dne 12. 3. 1975 je znašal skupen pretok 0,203 m^3/sek , od tega pretok spodnjega vodonosnika 0,104 m^3/s . V deževni dobi se pretok močno poveča in je bil 13. 6. 1974 ocenjen na 0,83 m^3/sek , od tega pretok spodnjega vodonosnika 0,170 m^3/sek ter 31. 7. do 1. 8. 1975 0,525 m^3/sek , od tega pretok spodnjega vodonosnika 0,135 m^3/sek . Pretok izvirov spodnjega vodonosnika se spreminja od 0,084 m^3/sek v suši do 0,170 m^3/sek v deževju in znaša ob suši 45 % ter ob deževju le 20 % skupnega pretoka. Pretok izvirov zgornjega vodonosnika se spreminja od 0,104 m^3/sek v suši do 0,680 m^3/sek v deževju.

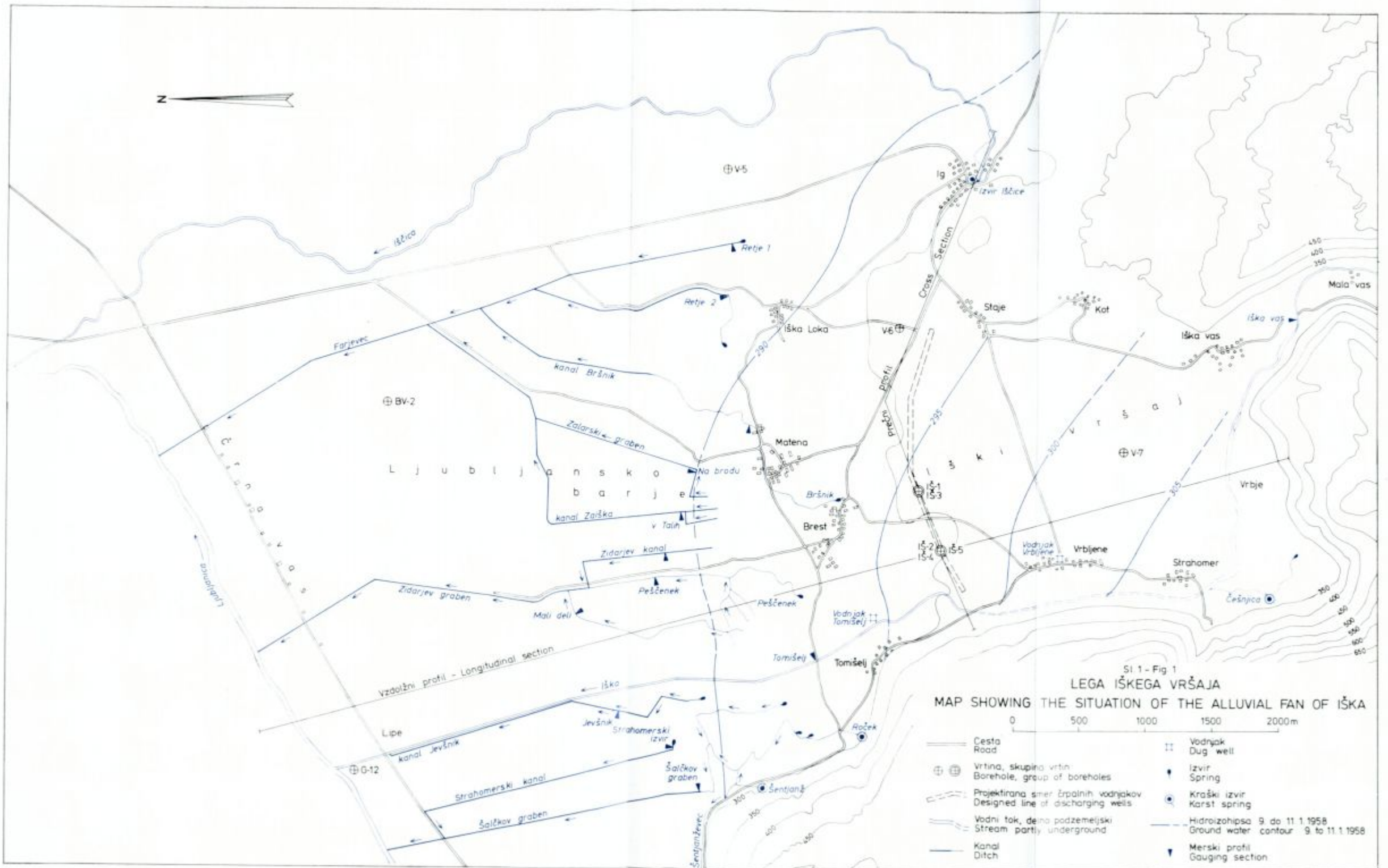


Tabela 4. Rezultati računa prevodnosti in poroznosti

Table 4. Results of calculation of transmissivity and storage coefficient

Črpalni vodnjak Pumped well	Računska metoda Calculation method	Kraj opazovanja depresije Drawdown observation point	Pretok Discharge (l./sec)	Prevodnost Transmissivity (m ² /sec)	Poroznost Storage coefficient
	Zgornji vodnosnik — Upper aquifer				
IS-3	JACOB: čas — depresija Time — drawdown	IS-1-pl	5,15	$1,85 \cdot 10^{-2}$	0,00084
IS-3		IS-1-pl	13,1—12,8	$1,71 \cdot 10^{-2}$	0,00056
IS-3		IS-2-pl	12,9	$8,9 \cdot 10^{-3}$	0,00017
IS-5		IS-5	11,9	$1,15 \cdot 10^{-2}$	
IS-5		IS-2-pl	11,9	$1,81 \cdot 10^{-2}$	
IS-5	JACOB: zaostala depresija Residual drawdown	IS-2-pl	12,0	$3,38 \cdot 10^{-2}$	0,0000013
IS-5	JACOB: čas — depresija Time — drawdown	IS-1-pl	11,9	$2,09 \cdot 10^{-4}$	0,032
IS-5	Thiemova metoda Thiem's method	IS-5, IS-2-pl	4,0	$7,4 \cdot 10^{-3}$	
IS-5	Thiem's method	IS-5, IS-2-pl	12,0	$3,7 \cdot 10^{-3}$	
	Spodnji vodnosnik — Lower aquifer				
IS-4	JACOB: čas — depresija Time — drawdown	IS-2-gl	12,3	$5,35 \cdot 10^{-2}$	0,00005
IS-4		IS-2-gl	29,8	$7,5 \cdot 10^{-2}$	0,000006
IS-4		IS-2-gl	42,2	$6,33 \cdot 10^{-2}$	0,00059
IS-4		IS-1-gl	42,2	$1,04 \cdot 10^{-1}$	0,0000008
IS-4	JACOB: zaostala depresija Residual drawdown	IS-2-gl	42,6	$7,1 \cdot 10^{-2}$	

7.2. Račun pretoka

Račun pretokov je lahko samo orientacijski, ker imamo na razpolago le malo podatkov, in sicer meritve prepustnosti v dveh črpalnih vrtinah v zgornjem vodonosniku, meritve prepustnosti v eni črpalni vrtini v spodnjem vodonosniku, padec gladine za zgornji vodonosnik, cenitev padca gladine za spodnji vodonosnik (tabela 5) in cenitev širine vodonosnikov v profilu Tomišelj-Staje.

Zgornji vodonosnik

$$T_{1\dot{S}-2} = 1,78 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sek}$$

$$T_{1\dot{S}-5} = 2,50 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sek}$$

Padec gladine med vodnjakom Vrbljene in vrtino IŠ-2-pl je bil 9. 3. 1975 6,55 m.

$$i = \frac{6,55}{890} = 7,3 \text{ ‰}$$

Širina vodonosnika je ocenjena na $B = 1800$ m. Pretok je bil

$$Q_{z\dot{g}} = B \cdot T \cdot i = 1800 \cdot \frac{1,78 + 2,50}{2} \cdot 10^{-2} \cdot 7,3 \cdot 10^{-3} = 0,28 \text{ m}^3/\text{sek}$$

Spodnji vodonosnik

$$T_{1\dot{S}-4} = 6,56 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sek}$$

Padec gladine med IŠ-2-gl in ocenjeno gladino izvira Jevšnik 289,0 m je

$$i = \frac{290,36 - 289,0}{2770} = \frac{1,36}{2770} = 0,49 \text{ ‰}$$

Ocenjena širina spodnjega vodonosnika je 1500 m in pretok

$$Q_{z\dot{p}} = 1500 \cdot 6,56 \cdot 10^{-2} \cdot 0,49 \cdot 10^{-3} = 0,048 \text{ m}^3/\text{sek}$$

Po izračunanem pretoku sklepamo na manjšo zmogljivost spodnjega vodonosnika kakor je bilo pričakovati po pretoku izvirov, ki odvodnjavajo spodnji vodonosnik.

7.3. Prenikanje Iške

Količino prenikanja Iške lahko izračunamo iz razlike pretokov nad prenikalnim območjem in nizvodno od njega. Visoke vode Iške so merili v Vintgarju in Lipah ob Ljubljani v dneih 11. do 13. 2. 1957.

$$Q = 2,090 - 0,733 = 1,357 \text{ m}^3/\text{sek}$$

Takrat Iška se ni bila regulirana in je v spodnjem toku poplavljala. Ker je bil pretok v Lipah verjetno zmanjšan zaradi retenzije, je za ta čas izračunano prenikanje preveliko. V letih 1956 do 1959 pa je bila Iška merjena samo v Vintgarju.

Ob visokih vodah 13. VI. 1974 in 25. VII. 1975 je bila količina prenikanja med mostom v Iški vasi in mostom na cesti Brest—Tomišelj ocenjena na 1 m³/sek. Ob nizkih in srednjih vodah Iške pa je bilo možno količino prenikanja izmeriti, ker takrat Iška v Vintgarju in Iški vasi še teče, pri mostu na cesti Brest—Tomišelj pa je struga že suha. Količina prenikanja je bila odvisna od pretoka Iške in je znašala največ 0,58 m³/sek dne 31. VII. do 1. VIII. 1975, najmanj pa 0,376 in 0,388 m³/sek dne 13. II. 1975 oziroma 12. III. 1975.

Tabela 5. Piezometrične gladine, merjene na področju Iškega vršaja

Table 5. Piezometric surfaces measured in the area of Iški Vršaj

Kraj Location	Doba Period	Datum Date	Piezometrična gladina Piezometric surface			Vodonosnik Aquifer
			Visoka High Nadm. višina Elevation	Datum Date	Nizka Low Nadm. višina Elevation	
V 7 Vrtina — Borehole	19. 10. 73	19. 10. 73	305			Zgornji Upper
Vrbljene Vodnjak — Well	9.—11. 1. 58					Zgornji
IS-2-pl Vrtina — Borehole	23. 12. 74—3. 3. 75	9.—11. 1. 58	302,31	3. 3. 75	299,86	Upper
IS-2-gl Vrtina — Borehole	5. 11. 74—3. 3. 75	5. 11. 74	297,31	3. 3. 75	293,31	Zgornji Upper
IS-1-pl Vrtina — Borehole	11. 11. 74—3. 3. 75	11. 11. 74	291,16	3. 3. 75	290,36	Spodnji Lower
IS-1-gl Vrtina — Borehole	11. 11. 74—3. 3. 75	11. 11. 74	295,69	3. 3. 75	292,13	Zgornji Upper
V-6 Vrtina — Borehole	25. 10. 74—3. 3. 75	25. 10. 74	291,60	3. 3. 75	290,35	Spodnji Lower
Bršnik Vrtina — Borehole	18. 10. 73	18. 10. 73	294,38			Zgornji Upper
Izvir — Spring	23. 12. 74—3. 3. 75	23. 12. 74	291,70	3. 3. 75	290,89	Zgornji Upper
Tomšelj Vodnjak — Well	23. 12. 74	23. 12. 74	294			Zgornji Upper
BN-2 Vrtina — Borehole	20. 6. 62	20. 6. 62	291,5			Spodnji Lower
G-12 Lipe Vrtina — Borehole	20. 1. 68—21. 1. 70	20. 3. 69	291,03	11. 8. 68	290,14	Spodnji Lower
Tomšelj Vodnjak — Well	1958		290,19		287,04	
Iška Loka Vodnjak — Well	1958		290,65		289,06	
Ižanska cesta 375 Vodnjak — Well	1958		289,02		288,41	
Črna vas Vodnjak — Well	1958		288,50		288,07	

Pregled pretokov kaže tabela 6. Pretok Iške in prenikanje Iške sta verjetno še za 8% večja od pretokov v Iški vasi, podanih v tabeli 6. Meritev 23. IV. 1974 je namreč pokazala, da ima Iška pri domu v Vintgarju za 8% večji pretok kakor pri mostu v Iški vasi. Iška penika v manjši količini že nad mostom v Iški vasi.

7. 4. Deficit pretoka

Po analizi prenikanja Iške in pretoka izvirov je pretok izvirov premajhen za 0,2 m³/sek. Ta deficit je bil manjši dne 31. VII. in 1. VIII. 1975, ker je visoki val Iške takrat že odtekel, visoki val podtalnice pa je še napajal izvire. V ta deficit ne moremo dvomiti, ker so bile količine Iške in izvirov istočasno izmerjene. Del podtalnice, ki ustreza razliki v pretoku, teče ali v kraški izvir Iščice ali proti sredini Barja. V kanjonu Iške, ki sestoji večidel iz dolomita, ni vidnih ponorov. Iška prične prenikati v prodnati vršaj pri Mali vasi. Del voda Iške morda teče v izvir Iščice; tudi ta voda bi morala najprej prenikniti v prod in kot podtalnica napajati zasute ponore, ki bi imeli zvezo s kraškim izvirom Iščice. Hidroizohipse z dne 9. do 11. I. 1958 kažejo na možnost, da odteka del podtalnice v smeri kraškega zaledja izvira Iščice.

7. 5. Minimalni pretok

Minimalni pretok izvirov je važen zaradi dimenzioniranja zmogljivosti črpalnic. Konec močne zimske suše je bil 1. III. 1975 izmerjen pretok izvirov 0,188 m³/sek in 12. III. 1975 0,203 m³/sek; pri tem je bil pretok Iške ocenjen dne 1. III. 1975 na 0,370 m³/sek, dne 12. III. 1975 pa so izmerili 0,388 m³/sek. Pretok izvirov je neposredno odvisen od pretoka Iške. Ker nimamo drugih direktnih meritev pretoka izvirov, ga skušamo oceniti s primerjavo z režimom Iške. V Iškem Vintgarju je bila od 1955 do 1962 vodomerna postaja z rodnimi meritvami stanja vode in pretokov. Površina povodja do vodomera je 58,9 km². Podatki o minimalnih, srednjih in maksimalnih vodah Iške so zbrani v tabeli 7. Postaja v Iškem Vintgarju je bila ob povodnji porušena. Na novi postaji v Iški vasi so v letih 1969 do 1975 merili gladino vode, pretočne krivulje profila pa ne.

Nizka voda Iške, ki se pojavi vsako drugo leto, ima pretok okrog 0,400 m³/sek. V letu 1962 je bil najmanjši pretok 0,200 m³/sek. Dne 16. X. 1921 je bil izmerjen pretok 0,266 m³/sek. Daleč najmanjši pretoki v letih 1955 do 1962 in 1974 do 1975 so bili ob jesenski suši v oktobru 1962 (tabela 7). Trajanje pretokov v sušnem obdobju je podano v tabeli 8. Pretoki, ki so manjši kot v dvoletni suši, so v 10-letnem obdobju trajali samo 14 dni. V tem času pretoka izvirov podtalnice Iškega vršaja niso opazovali, moral pa je biti manjši od pretoka v marcu 1975.

8. Kvaliteta podtalnice

Vsi analizirani vzorci vode so kemično primerni za pitje. V 6 vzorcih je voda bakteriološko primerna kot pitna voda zaprtega tipa, 3 vzorci pa so neprimerni zaradi 500, 4800 in 30 000 aerobnih bakterij. Koliformnih bakterij in bakterij vrste Eijkman, Proteus sp. in Streptococcus faecalis niso našli. Temperatura vode 11 °C je zelo ugodna, trdota vode pa je od 10,8°n do 17,6°n. Vzorci vode so bili vzeti v sušnem obdobju, ko je gibanje podtalnice počasno. Pričakovati moramo, da bo voda v času poplav slabša. Vasi v gornjem delu Iškega vršaja: Mala vas, naselje vikendov, Iška vas, Kot, Strahomer in Vrbljenc nimajo kanalizacije in

Tabela 6. Pretok Iške, prenikanja Iške in izvirov Iškega vršaja

Table 6. Discharge of Iška river, of infiltration of Iška river and of springs of Iški vršaj

Čas Time	Pretok Discharge			vseh izvi- rov of all springs	Opomba Remark
	Iške of Iška river	penikanja Iške — of infiltration of Iška river	računan na profil Tomi- šelj—Staje calculated for section Tomi- šelj—Staje		
23. 4. 1974	0,548	0,548		0,280	merjen measured
13. 6. 1974	1	1		0,730	ocenjen estimated
13. 2. 1975	0,376	0,376			merjen measured
1. 3. 1975	0,37	0,37	0,328	0,188	merjen measured
12. 3. 1975	0,388	0,388		0,203	merjen measured
25. 7. 1975	2	1			ocenjen estimated
31. 7. 1. 8. 1975	0,58	0,58		0,525	ocenjen estimated

Tabela 7. Pretok Iške 1955—1962

Table 7. Discharge of Iška 1955—1962

Leto Year	Pretoki Iške (m ³ /sec) Discharge of Iška		
	nizki low	srednji mean	visoki high
1955	0,56	2,00	15,00
1956	0,42	1,84	23,60
1957	0,38	1,57	39,10
1958	0,40	1,99	28,80
1959	0,46	2,17	33,00
1960	0,52	2,11	63,30
1961	0,64	1,78	114,00
1962	0,20	2,35	27,70

odpadne vode ponikujejo. Majhne količine nitratov in nitritov, najdene v vzorcih vode, izvirajo iz odpadnih voda.

Podtalnica Iškega vršaja ima ugodno temperaturo, kemično sestavo in okus; treba pa jo bo klorirati. Pogoji za gradnjo črpalnišča Brest je, da se izvede kanalizacija v vaseh nad črpalniščem. Iški Vintgar in Iški vršaj pa bo treba razglasiti za zaščitno območje črpalnišča Brest. Stopnja zaščite bo odvisna od oddaljenosti od črpalnišča.

Tabela 8. Trajanje nizkih pretokov Iške v sušni dobi v oktobru 1962
 Table 8. Duration of low discharges of Iška in dry period of October 1962

Pretok (m ³ /sek) Discharge	0,20	0,24	0,28	0,38	0,53	0,99	1,21
Trajanje (dni) Duration (days)	6	6	2	7	3	2	1

9. Eksploatacijska zmogljivost podtalnice in izgradnja črpališč

V prvi fazi izgradnje želimo zajeti podtalnico, ki izvira sedaj na stiku Iškega vršaja z Barjem med izvirov Retje I pri Iški Loki in Strahomerskim kanalom pri Tomišlju. Profil Brest je izbran na kraju, kjer se Iški vršaj zoži med vznožjem Krima in osamelcem Gorica na širino 2,2 km. Vsa podtalnica v naplavinah mora teči skozi ta profil; zato je bo možno zajeti z manjšim številom vodnjakov kakor v izvirnem območju, ki je 4 km široko in oddaljeno 1 do 2 km.

Zmogljivost črpališča Brest bo v prvi fazi 0,2 m³/sek, kar ustreza pretoku izvirov v času dvoletne suše. V času desetletne suše, ko bi bil pretok izvirov manjši, bi bilo verjetno možno izkoriščati podzemsko akumulacijo in črpati še vedno 0,2 m³/sek. Kolikor pa to ne bi bilo možno, bi morali potrošnjo omejevati. Podzemeljska akumulacija zgornjega vodonosnika ni velika, akumulacija spodnjega vodonosnika pa je minimalna.

Drugo fazo izgradnje bo možno projektirati 1 do 2 leti po začetku obratovanja črpališča 1. faze. Z eksploatacijskim črpanjem in nekaterimi dodatnimi raziskavami bo treba razjasniti nekatere, sedaj še nejasne, hidrogeološke lastnosti vodonosnikov in vpliv črpanja na Barje. Zanima nas predvsem razlika med pretokom ponikle Iške in pretokom izvirov v kotlini okrog 0,2 m³/sek. Kolikor se del podtalnice zgublja proti izvirov Iščice, bi ga mogli presteči z vodnjaki na območju vasi Kot. Če pa teče del proti depresiji južno od Črne vasi, bi ga zajeli v črpališču Brest. Najprej pa bo treba ugotoviti posledice povečanega črpanja na ekološke razmere na Barju.

V tretji fazi izgradnje bi umetno povečali prenikanje Iške v času suše in s tem bi se povečalo črpanje v črpališču Brest. V strugi Iške prenikne do 0,6 m³/sek v času ko je Iška pri Tomišlju suha. Sposobnost prenikanja se poveča na okrog 1 m³/sek ob visokih vodah, ko odteka del Iške od Tomišlja proti Ljubljani. V suši je pretok Iške 0,35 do 0,40 m³/sek in ob največji suši nad 0,2 m³/sek. Če bi Iški v tem času umetno povečali pretok pri Iški vasi na okrog 0,6 m³/sek, bi vsa ta voda preniknila in zmogljivost črpališč bi se povečala.

Nizke vode Iške bi lahko povečali z akumulacijo v zgornjem toku Iške ali dovodom vode iz drugih porečij. Pod sotočjem Iške in Zale bi bilo možno zgraditi dolinsko pregrado Vrčica. Iz kraškega izvira Iščice bi lahko vodo prečrpavali v Iško, težnostno pa bi bilo možno pretočiti Bloščico in zgornji del Cerkniščice.

Skupno zmogljivost črpališč vseh treh faz cenimo na 0,5 m³/sek.

10. Črpališče Brest

Črpališče Brest bo zajelo tisti del podtalnice, ki sedaj izvira na severnem robu vršaja. Projektiranje in obratovanje črpališča bo dokaj komplicirano, ker gre za

dva vodonosnika z različno piezometrično gladino; poleg tega se iz spodnjega vodonosnika ne bo smelo črpati tistega dela podtalnice, ki teče proti sredini Barja in vzdržuje tam visok piezometrični nivo podtalnice. Za vsak vodonosnik bo treba izvrtati ločene vodnjake, tako da bo možno med obratovanjem regulirati količino črpanja iz posameznega vodonosnika. Cerimo, da napaja v času suše zgornji vodonosnik izvire z $0,110 \text{ m}^3/\text{sek}$ in spodnji z $0,090 \text{ m}^3/\text{sek}$ (tabela 2).

Vodnjaki bodo razporejeni v vrsti na dolžini 2,1 km od zavoja Iške nad Tomišljem do osamleca Gorica (sl. 1). Vodnjaki zgornjega vodonosnika bodo 28 m globoki in bodo imeli s filtri opremljen del cevi v globini 8 do 24 m. Eksploatacijska zmogljivost posameznega vodnjaka bo $0,010$ do $0,015 \text{ m}^3/\text{sek}$ (sl. 4). Razdalja med vodnjaki mora biti majhna, da bo možno zajeti ves tok podtalnice. V začetni fazi bo razdalja med vodnjaki 200 m, v končni pa 100 m. Raziskovalni vodnjak IS-5 bo vključen med črpalne vodnjake, na novo pa bi gradili proti vzhodu še 7 vodnjakov na razdalji po 200 m.

Spodnji vodonosnik sega od globine 30 m do dna naplavin v globini 110 do 80 m. Vodnjaki spodnjega vodonosnika bodo globoki 80 m, s filtri opremljen del cevi pa bo v globini 35 do 75 m. Do globine 35 m bodo vodnjaki zunaj zatesnjeni. Eksploatacijska zmogljivost posameznega vodnjaka bo okrog $0,030 \text{ m}^3/\text{sek}$. Med črpalne vodnjake bo vključen raziskovalni vodnjak IS-4, zgrajena bosta še 2 nova vodnjaka na razdalji 500 m proti vzhodu.

Zmogljivost posameznih vodnjakov se bo seveda razlikovala od ocenjene, tudi neproduktiven vodnjak ne bi bil presenečenje. Karakteristike vodnjakov in eksploatacijskih črpalk bo treba ugotoviti s polzkusnim črpanjem.

11. Vpliv črpanja podtalnice na ekološke razmere na Barju

Globoki vodonosnik se razteza pod velikim delom Barja in se verjetno napaja iz Iške. Iz njega bi v začetku črpali samo tisti del pretoka, ki napaja izvire na robu Barja, pozneje pa bi črpanje povečali.

Piezometrična gladina spodnjega vodonosnika, ki je na nadmorski višini 290,1 do 291,5 m (vrtini G-12 in BV-2), je nad površjem terena 288 do 290 m na velikem delu Barja. Kako bo vplivalo znižanje piezometrične gladine pri povečanem črpanju na ekološke razmere na Barju?

Pričakovati je naslednje negativne vplive črpanja:

- tla se bodo močneje posedala, ker se bo konsolidirala polžarica zaradi večje teže zemljin po zmanjšanem vzgonu;
- na brežinah kanalov bo nastala nevarnost plazov zaradi večje teže zemljin;
- trohnele bodo glave lesenih kolov v temeljih mnogih hiš;
- povečalo se bo razpadanje šote.

Ugodno pa bo vplivalo črpanje na osuševanje kmetijskih zemljišč.

Pri ocenjevanju vpliva bodočega črpališča pa moramo vedeti, da je ekološko ravnotežje na Barju že sedaj porušeno in da vsi navedeni pozitivni in negativni vplivi delujejo že sedaj.

V tridesetih letih je bila poglobljena struga Ljubljanice skozi mesto, da bi preprečili poplave na Barju, ki so bile katastrofalne leta 1933. Vpliv regulacije Ljubljanice je bil viden šele v petdesetih letih, ko so zgradili zapornico pri stari cukrarni, podrli pomožno zapornico na Špici in znižali gladino Ljubljanice za

okrog 1 m. Povečana teža površinskih plasti je povzročila na bregovih Ljubljaniče več plazov v polžarici. Znižanje gladine Ljubljaniče je omogočilo poglobitev jarkov na Barju in s tem dodatno osuševanje.

Sota je pokrila lahkognetno polžarico 6 do 8 m na debelo. Sota ima večjo nosilnost kakor polžarica in omogoča uporabo kmetijske mehanizacije. Na njej se razvijajo rodovitna organska tla. Sota ne raste več in se njena debelina hitro tanjša zaradi izkopavanja in porabe šote za kurivo, izolacijski material in gnojilo. Sota tudi razpada zaradi osuševanja. V letih 1888 in 1958 sta bila pedološko preiskana in nivelirana profila Preserje—Log in Staje—Vič. V tem času se je znižalo površje terena med Črno vasjo in Mateno za 1 do 3 metre. V depresijskem območju južno od Črne vasi je šota debela samo še 0,5 do 1,0 m. Glavni vzrok razkrojavanja šote naj bi bilo znižanje vodne gladine Ljubljaniče (R. T a n c i k, 1965). Na drugi strani pa za zboljšanje kmetijske proizvodnje predlagajo kot glavni ukrep osuševanje in znižanje gladine podtalne vode (R. T a n c i k, 1965).

V prvi fazi izgradnje črpališča Brest bi črpali samo tisti del podtalnice, ki izvira na robu Barja. V sušni dobi se bodo posušili vsi izviri na robu Barja. Ob srednjih in visokih vodah pa bi izviri še nadalje tekli. Kanal Bršnik, ki teče skozi Brest in Mateno, je delno odvodnik odpadnih voda. Ob suši pa usahne Bršnik že sedaj. Drugi izviri so na polju okrog 1 km od vasi in nimajo določene hidrotehnične funkcije. Njihovi odvodni kanali, globoki 1 do 2 m, so vkopani v polžarico. Vode ne uporabljajo za namakanje.

Obratovanje črpališča bo moralo biti v prvi fazi tako urejeno, da se bo piezometrična gladina podtalnice spodnjega vodonosnika minimalno znižala. Da bi to dosegli, bo treba za vsak vodonosnik zgraditi ločen sistem vodnjakov.

Z raziskavami in opazovanjem razmer med črpanjem 1. faze bo treba ugotoviti, kako bi znižanje piezometričnega pritiska vplivalo na Barje. Druga faza projekta bo izvedljiva le v primeru ugodnih rezultatov teh ekoloških raziskav.

12. Program raziskovalnih del

Dosedanja raziskovalna dela so toliko razjasnila hidrogeološke razmere, da je možno oceniti izdatnost črpališča Brest in način zajetja podtalnice. Zaradi kompliciranih hidrogeoloških razmer pa je še mnogo odprtih problemov, ki jih bo možno rešiti delno z raziskavami, delno pa šele z opazovanji po pričetku obratovanja črpališča Brest. Potrebne raziskave so naslednje.

12.1. Izvrtati je treba 3 piezometrične vrtnice z dvojnimi piezometrom na območju Bresta in Matene ter med Tomišljem in Lipami. Opazovanje teh vrtnic mora trajati vsaj eno leto pred pričetkom obratovanja črpališča Brest. Dve leti je treba dvakrat mesečno izmeriti piezometrično gladino v vseh vrtnicah ter nekaterih vodnjakih in izvirih. V času ene ali dveh poplav bo treba meriti gladino vsak dan.

12.2. Ob različnih vodnih stanjih, predvsem pa ob nizkih vodah, je treba meriti pretok Iške v Iški vasi in Tomišlju ter istočasno tudi izvire. Z meritvijo Strahomerskega in Šalčkovega kanala, Jevšnika, Zidarjevega grabna in Farjevca so upoštevani vsi izviri.

12.3. Pomembno bi bilo raziskati, ali del ponikle Iškine vode v resnici teče v izvire Iščice. V ta namen je treba izbrati ustrezno sledilo in ga dodati vodi pred ponikanjem.

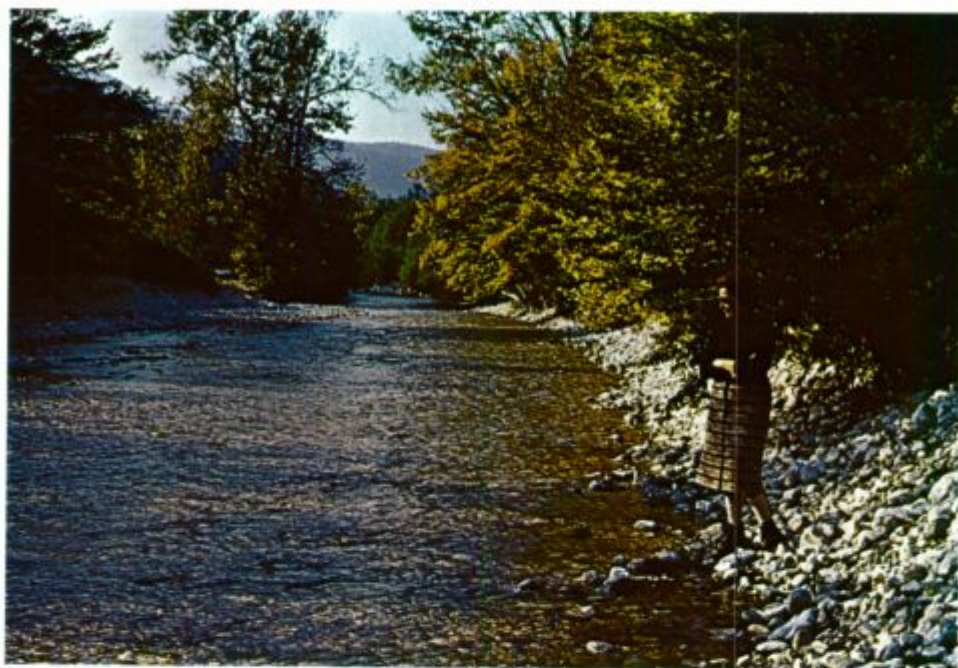
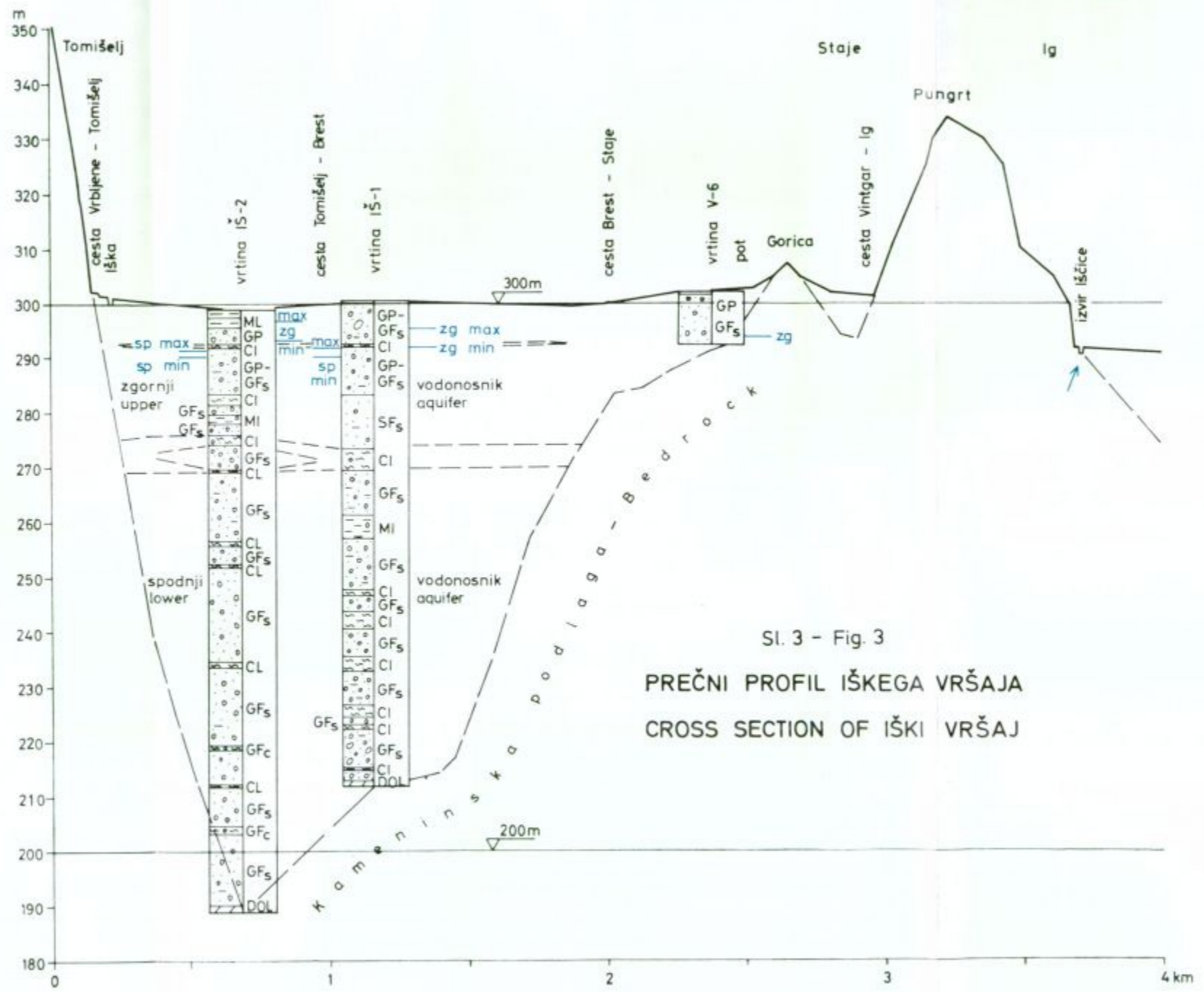


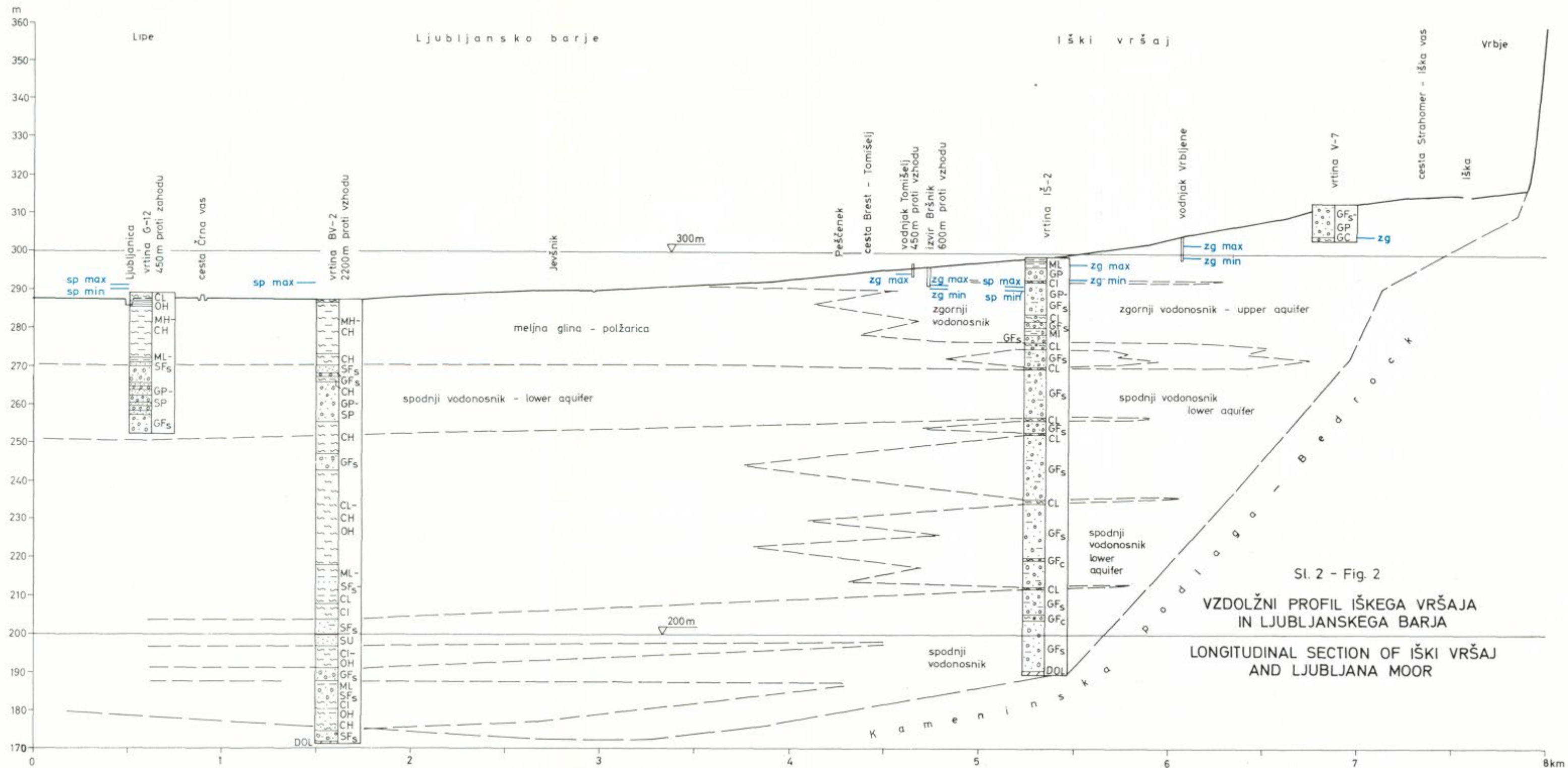
Tabla 1. Na dva kilometra dolgi poti od Male vasi (zgornja slika) do Vrbja (spodnja slika) se je 10. oktobra 1975 zmanjšal pretok Iške od $0,4 \text{ m}^3/\text{sek}$ na $0,01 \text{ m}^3/\text{sek}$

Plate 1. On October 10, 1975 the discharge of Iška River decreased from $0,4$ to $0,01 \text{ m}^3/\text{sec}$ along the 2 kilometres long way between Mala Vas (upper figure) and Vrbje (lower figure)





Sl. 3 - Fig. 3
 PREČNI PROFIL IŠKEGA VRŠAJA
 CROSS SECTION OF IŠKI VRŠAJ



Kolikor bi bilo po izotopih možno razlikovati vodo zgornjega in spodnjega vodonosnika, bi analizirali vodo teh izvirov, da bi ugotovili, katere izvire hrani posamezni vodonosnik. Morda bi na to vprašanje odgovorile tudi določitve trdote vode v izviri.

12.4. Strokovnjaki za hidrotehniko, mehaniko tal, kmetijstvo, gozdarstvo in varstvo okolja naj bi skušali odgovoriti na vprašanje, kako bi vplivalo na Barje znižanje piezometrične gladine spodnjega vodonosnika za 2, 5, 10 ali več metrov. Kolikor bi smeli znižati gladino, bi mogli črpališče bolj približati Ljubljani in pojačati njegovo zmogljivost.

12.5. Trdota vode zgornjega in spodnjega vodonosnika je različna. Ugotoviti bi bilo treba, kakšne bodo posledice, če bi mešali vodo Iškega vršaja in Ljubljanskega polja v enotnem vodovodnem omrežju Ljubljane.

13. Sklep

Po raziskavah v letih 1974 in 1975 smo določili lokacijo črpališča Brest, kjer je možno v prvi fazi zajeti z 8 plitvimi in 3 globokimi vodnjaki 0,200 m³/sek podtalnica. Zmogljivost plitvih vodnjakov bo 0,010 do 0,015 m³/sek, globina 28 m in medsebojna oddaljenost 200 m. Zmogljivost globokih vodnjakov pa bo 0,030 m³/sek, globina 80 m in medsebojna oddaljenost 500 m. Fizikalne lastnosti vode so ugodne. Voda je bakteriološko v glavnem primerna, vendar jo bo treba klorirati ter kanalizirati vasi nad črpališčem in določiti zaščitno območje vodovoda.

V drugi in tretji fazi izgradnje bi zmogljivost črpališč povečali največ do 0,500 m³/sek. V ta namen bi v tretji fazi podtalnico pojačali z umetnim povečanjem pretoka Iške ob suši. To bi dosegli z akumulacijo v zgornjem toku Iške, ali pa bi prečrpavali Iščico, oziroma pretočili Bloščico in zgornji del Cerknjišnice v Iško.

Ekološko ravnotežje na Barju je zaradi posedanja tal in razkrajanja šote že porušeno. Eksploatacija podtalnice Iškega vršaja mora biti tako urejena, da znižanje piezometrične gladine spodnjega vodonosnika, ki se razteza pod velikim delom Barja, ne bo pospešilo posedanja površja Barja in razkrajanja šote.

Pojasnila k sl. 2 in 3 Explanations of figs. 2 and 3

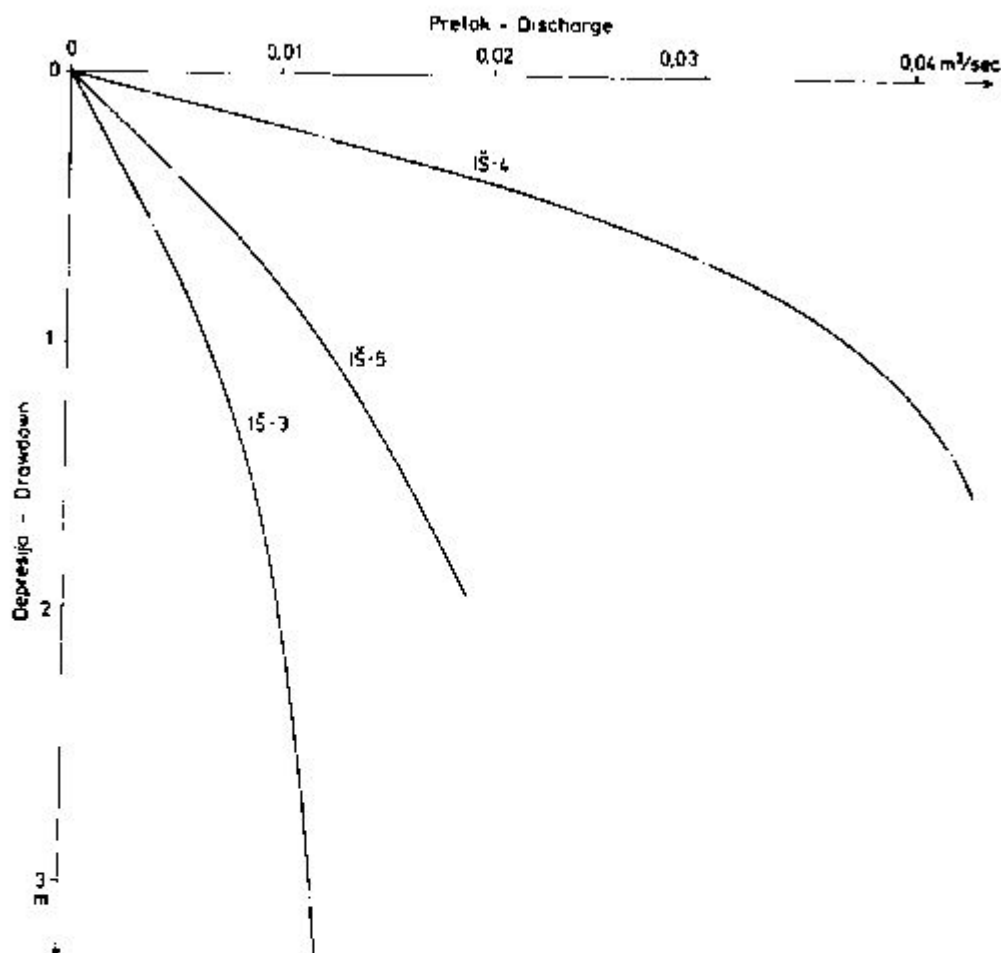
ZG Piezometrična gladina zgornjega vodonosnika
Piezometric surface of the upper aquifer

SP Piezometrična gladina spodnjega vodonosnika
Piezometric surface of the lower aquifer

MAX najvišja
the highest

MIN najnižja
the lowest

G prod, S pesek, P slabo granuliran, F_s meljast, F_c glinast, M melj, C glina, O organska glina, L nizke plastičnosti, I srednje plastičnosti, H visoke plastičnosti, DOL dolomit
G gravel, S sand, P poorly graduated, F_s silty, F_c clayey, M silt, C clay, O organic clay, L of low plasticity, I of medium plasticity, H of high plasticity, DOL dolomite



Sl. 4. Diagram kaže sovisnice med pretokom in depresijo vrtin IS-3, IS-4 in IS-5
 Fig. 4. Diagram showing the relation between the discharge and drawdown of the IS-3, IS-4, and IS-5 drilled water wells

The Groundwater of the Alluvial Fan of Iška River

Marko Breznik

Hidrotehnični odsek FAGG, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Hajdrihova 28

The Ljubljana Moor is a subsidence basin filled with Pleistocene and Holocene deposits of lacustrine and fluvial origin. The thickness of the sediments sequence exceeds 100 meters. A large alluvial fan has been deposited along the southern border of the Ljubljana Moor where Iška River issues from a narrow mountain valley. It contains economically significant quantities of groundwater conducted by two aquifers well

separated by clayey gravel and sand. The areal extent of the upper aquifer is limited to the Alluvial Fan while the confined lower aquifer continues rather far to the north below the Moor. At Brest the top of the upper aquifer lies at the depth of 5 metres and that of the lower one at 35 metres below ground surface. The yield of the new pumping station at Brest is designed to be 0,200 cubic meter per second in the first stage of the construction. Later it should be increased to 0,500 cubic meter per second.

The regional Quaternary aquifer of Ljubljana polje furnishes nearly all the municipal and industrial water used in the capital of the SR Slovenia. Annual use of water in Ljubljana in 1974 was about 1,380 cubic meter per second. Increased demands for water have stimulated the hydrogeologic investigations of the Alluvial Fan of Iška River (Iški vršaj) situated in the southern border of Ljubljana Moor.

The Moor is a subsidence basin formed mainly in Quaternary age. In its central part the sequence of gravel, sand, gray lacustrine silty clay, organic clay and peat is underlain by the Triassic dolomite in a depth exceeding 100 metres. In the same depth there occurs the dolomite bedrock in the section Tomišelj—Staje of the Iška Alluvial Fan. The Quaternary sediments of this section consist mainly of silty gravel and sand intercalated with some brown silty clay. The gray lacustrine silty clay being the common deposit of the central part of the Moor, could not be found in the Alluvia. Fan. The age of the Quaternary deposits of the Moor determined by the pollen analysis ranges from the Mindel glacial stage to Holocene i.e. from 400 000 year to 100 years. In the Alluvial Fan of Iška, however, no pollen grains could be found, but the same thickness of the sediments in both areas suggests contemporaneous origin.

The new pumping station is to be designed in the area of Tomišelj—Staje, where two aquifers well separated by clayey sand and gravel occur. The top of the upper aquifer lies 295 meters above sea level, the elevation of the ground surface thus being 300 meters. The piezometric surface varies from 295 to 291 meters. The upper aquifer consists mainly of dolomitic gravel and sand and is 20 meters thick. Two exploration wells each of 26 meters depth yield 0,008 to 0,015 cubic meter per second. The upper aquifer thins out at the contact with the lacustrine clay on the southern border of the Moor. The springs occurring 1 km to the north of the villages Matena—Brest—Iška Loka (Plate 1) derive mainly their supplies from the upper aquifer. Their discharge is 0,110 cubic meter/sec during dry period. The lower aquifer continues, however, far from the alluvial fan to the north. The thickness of the aquifer is 50 to 70 metres in the area of the alluvial fan and about 12 metres in the Moor. The top of the aquifer lies at an elevation of about 265 m. The piezometric surface varies from 292 to 290 metres. Two boreholes G-12 and BV-2 near Črna vas sunk to the lower aquifer are overflowing. The lower aquifer is fed by the upper aquifer, by the Iška River and in the Moor probably also by the Gradaščica River. The yield of the 109,5 m deep well IS-4 penetrating the lower aquifer is 0,030 cubic meter/sec and the transmissivity $T = 5680$ square meters/day. The upper 30 metres of the well are sealed against the upper aquifer. The discharge of the springs of the lower aquifer is 0,090 cubic meter/sec during dry period. The main spring Jevšnik is situated 2 km to the north of Tomišelj Village.

Both aquifers are fed by Iška River having the mean discharge of 1,950 cubic meter/sec, low discharge of 2 years being 0,400 and low discharge of 10 years 0,200 cubic meter/sec. The infiltration rate of Iška River between Iška vas and Tomišelj is up to 1 cubic meter/sec.

In the first stage 0.200 cubic meter/sec should be pumped from both aquifers penetrated by 8 wells each of 28 m depth and 3 wells each of 80 meters at Brest. The piezometric surface of the lower aquifer should not be lowered below the Moor surface and the pumping must therefore suit the condition. The pumping capacity should be increased to 0,500 cubic meter/sec in the second and third stages of construction. In the third stage of construction the low discharge of Iška River has to be increased to 0,600 cubic meter/sec in order to increase the yield of groundwater. Low water of Iška River could be enriched by means of an accumulation basin on the Iška River, by pumping of Iščica River, or by deviation of Bloščica and Cerkniščica Rivers into the Iška River.

The ecologic equilibrium of the Ljubljana Moor is already destroyed due to the land subsidence and the decomposition of peat. The thickness of peat was 6—8 metres 100 years ago. The surface of Moor subsided for 1—3 metres between Crna vas and Matena in the period from 1888 to 1958. The main reason for the decomposition of peat is the lowering of the water table of the Ljubljanica River. Environmental impact due to the proposed groundwater development has to be evaluated carefully and some regulations are to be established in order to prevent new damaging processes.

Possible damaging influence of the lowering of the piezometric surface of the lower aquifer below the Moor surface are:

- increased land subsidence due to the consolidation of soft silty clay,
- sliding of ditch slopes,
- timber piles will deteriorate rapidly if subjected to dry conditions,
- increase in decomposition of peat.

Literatura

References

Breznik, M. 1969, Podtalnica Ljubljanskega polja in možnosti njenega povečane izkoriščanja. Ground Water of the Ljubljana Polje and Possibilities of Increasing Its Exploitation. *Geologija* 12, Ljubljana.

Buser, S. 1965, Geološka zgradba južnega dela Ljubljanskega barja in njegovca obrobja. Geological Structure of the Ljubljana Moor with Special Regard to Its Southern Borderland. *Geologija* 8, Ljubljana.

Grimšičar, A. in Očepek, V. 1967, Vrtini BV-1 in BV-2 na Ljubljanskem barju. Exploratory Boreholes BV-1 and BV-2 in the Ljubljana Moor. *Geologija* 10, Ljubljana.

Ravnik, D. 1965, Geoelektrične raziskave na Ljubljanskem barju. Geoelectric Exploration of the Ljubljana Moor. *Geologija* 8, Ljubljana.

Sovinc, I. 1965, Nekaj osnovnih geotehničnih značilnosti sedimentov iz vrtine BV-1 med Notranjimi goricami in Podpečjo na Ljubljanskem barju. Some Geotechnical Properties of Sediments from Borehole BV-1 on Ljubljana Moor. *Geologija* 8, Ljubljana.

Šercelj, A. 1965, Paleobotanične raziskave in zgodovina Ljubljanskega barja. Paleobotanical Examinations and the Development of Ljubljana Moor. *Geologija* 8, Ljubljana.

Šercelj, A. 1966, Pelodne analize pleistocenskih in holocenskih sedimentov Ljubljanskega barja. Pollenanalytische Untersuchungen der pleistozänen und holozänen Ablagerungen von Ljubljansko Barje. *Razprave SAZU* 1X/9, Ljubljana.

Šercelj, A. 1975, Palinološke raziskave na Ljubljanskem Barju. *Proteus* 37/9-10, Ljubljana.

Tancik, R. 1965, Pedološke značilnosti Ljubljanskega barja. Pedological Features of the Ljubljana Moor. *Geologija* 8, Ljubljana.