

ARTEŠKA PODTALNICA, POSEDANJA IN POPLAVE LJUBLJANSKEGA BARJA - VPLIVA NARAVE IN ČLOVEŠTVA

ARTESIAN GROUNDWATER, SETTLEMENTS AND FLOODING OF LJUBLJANSKO BARJE - NATURE AND MAN'S IMPACTS

MARKO BREZNIK

Dr., dipl.inž.gradb., dipl.inž.geol., upok.prof.FAGG-Univerze v Ljubljani

POVZETEK

Ljubljansko Barje je tektonska udorina površine 170 km² zasuta z do 150 metrov debelimi kvartarnimi sedimenti. V zadnjih 40 letih so bile izvršene obsežne raziskave. Naravno ugrezanje kameninske osnove ocenjuje avtor na 1 do 2 mm letno in naravno posedanje sedimentov na par mm letno.

Človeški vplivi pa so:

- osuševanje, ki se je sistematično pričelo pred 250 leti in imamo sedaj nad 500 km glavnih odvodnih jarkov,
- črpanje iz arteške podtalnice ter
- dodatne obtežbe z naselji in avtocesto.

S preciznimi niveliranjem izmerjena posedanja površine Barja so sedaj 2 do 15 mm letno. Zaradi zmanjšanja poplav so strugi Ljubljanice skozi mesto že 4 krat poglobljali v zadnjih 220 letih. Na tej osnovi sklepa avtor, da imamo letna posedanja okrog 10 mm že 200 let in da se bodo nadaljevala.

Preprečiti je treba preveliko črpanje iz arteške podtalnice z ocenjenim naravnim napajanjem 150 do 200 l/s, ki bi močno znižalo piezometrično gladino ter povzročilo velika posedanja mehkega jezerskega melja - polžarice.

Poplave Barja je možno preprečiti samo z večnamenskimi akumulacijami na Notranjskem in Iški ter zadrževalnikoma na Gradaščici in Podlipščici. Posledica gradenj v znanih poplavnih področjih v južnem delu Ljubljane bo velika materialna škoda ob pričakovanih katastrofalnih poplavah, če ne bomo njihovega vpliva zmanjšali z akumulacijami.

SUMMARY

Ljubljansko Barje (Ljubljana Marsh) is a 170 square kilometres large subsidence area filled with up to 150 metres thick quaternary sediments. Many explorations were performed during last 40 years. The author estimates the natural yearly subsidence of the bedrock being 1 to 2 millimetres and the natural yearly settlement of sediments of some millimetres.

Man's impacts are:

- drainage systems, that construction started systematically 250 years ago and over 500 kilometres of main channels exist now,
- pumping of the artesian groundwater and
- surcharge with new structures and the highway.

Present settlements are 2 to 15 millimetres per year measured by the precise leveling. With the aim to reduce the floods of the Barje the riverbeds of the Ljubljanica river through the city were 4 times deepened during last 220 years. On the base of this fact the author concludes that yearly settlements of about 10 millimetres exist for already 200 years and are to be continued.

An overexploitation of the artesian groundwater with an estimated natural recharge of 150 to 200 litres per second with the consequences of lowering the piezometric surface and a large settlement of the soft lacustrine silt - "polžarica" is to be prevented.

Multipurpose reservoirs in the Notranjska region and on Iška river and retention reservoirs on Gradaščica and Podlipščica rivers are the only way to prevent flooding of the Barje. During expected catastrophic floods large material damages are expected due to new structures in known flood areas in the southern part of the Ljubljana city if their influence is not diminished by retention reservoirs.

1. GEOLOŠKA IN GEOTEHNIČNA SESTAVA TAL

Prvih 14 vrtin so na Barju izvrtali v letih 1850 do 1856 med Notranjimi Goricami in Preseerjem pred gradnjo železnice Ljubljana-Trst. V osrednjem delu barja sta bili leta 1963 izvrtani 107,18 m globoka vrtina BV 1 med Notranjimi Goricami in Podpečjo ter 116,80 m globoka vrtina BV 2 med Iško in Iščico, 1,5 km južno od Črne vasi. Pozneje so bile izvrtane še številne raziskovalne vrtine za gradnjo avtoceste ter vrtine in vodnjaki za raziskavo in izgradnjo vodarn na Borovniškem, Iškem in Želimeljškem vršaju ter arteške podtalnice Barja (Slika 1).

V vrtinah iz leta 1963 so bile izvršene še mineraloške, paleobotanične in geomehanske raziskave. Dela je finansiral Raziskovalni sklad Slovenije, vodil pa Geografski inštitut SAZU.

Geološki profil vrtine BV 1

0,00- 0,36 m humus
0,36-13,14 m polžarica z redkimi rastlinskimi ostanki
13,14-17,07 m židke do lahko gnetne glinene meljne plasti, malo apnene
17,07-18,93 m rumen do zelen različno debel pesek
18,93-49,34 m sorazmerno trde plasti gline, melja in peska, malo apnene.
Od globine 43,34 dalje se začno spet ponavljati fosilni rastlinski ostanki.
49,34-85,40 m trde do plastične plasti gline, melja in peska s posameznimi drobnimi prodniki.
Usedline so malo do precej apnene. V globinah 53,46 do 53,61 m, 56,60 do 56,64 m, 65,29 do 65,41 m, 67,70 do 67,76 m (po Pavlovcu 1966), 68,15 do 68,38 m in 68,83 do 68,85 m je šotno blato. Na začetku (pri 50 m) in na koncu (pri 82 m) tega odseka se pojavljajo tudi številni drobci fosilnih mehkužcev, posamezni dobro ohranjeni pa tudi vmes, od 67,16 do 77,50 (po Pavlovcu 1966).
85,40-92,90 m med glino, meljem in peskom posamezni debeli prodniki.
92,90-103,60 m prevladuje dolomitni slabo zaobljen prod s peskom.
103,60-103,80m rjavkasta peščena glina s prodniki (fosilna tla)
103,60-105,00m dolomitna breča
105,00-107,18m prehod iz dolomitne breče v svetlosiv drobljiv dolomit.

Geološki profil vrtine BV 2

0,00- 0,69 m humus s postopnim prehodom v polžarico
0,69-14,00 m polžarica
14,00-20,20 m različno obarvana glina z debelim (32cm) vložkom gline z večjo organsko primesjo v globini 17,14 m
20,10-33,20 m prod in pesek; prevladujejo dolomitni prodniki, manj je peščenjakovih; pri 21,35 m je vložek gline
33,20-40,77 m glina z rastlinskimi ostanki, mehkužci in temnimi pasovi z večjo organsko primesjo

40,77-45,77 m prod in pesek z rastlinskimi ostanki
45,77-71,59 m glina s 4 peščenimi vložki in zdrobljenimi ostanki mehkužcev in haracej
71,59-97,24 m menjavata se glina in rahlo vezan pesek z malo proda. Glina vsebuje ostanke polžev, školjk, haracej in drugih rastlinskih ostankov
97,24-108,00 m prod z vložki peska in gline. Pri 105 m je 0,44 m debel vložek gline poln rastlinskih ostankov
108,00-114,16m pasovita glina z rastlinskimi ostanki, z 1 prodnatim vložkom in 1 vložkom gline z mnogo organske primesi
114,16-116,80m prodnat pesek
116,80 m dolomitna podlaga Barja

Med vrtnjem je iz globine okrog 22 do 32 m brizgala voda na površje 4 m visoko (po Grimšičar, Očepek 1967).

Geotehnične lastnosti vzorcev iz vrtin so preiskali v laboratoriju Elektrosonda v Zagrebu. Povzel jih je Sovinc (1965, Sl.2).

V diagramu niso vnešene naravne vlage zemljin, ker naj bi se vzorci med transportom do Zagreba osušili. Granulometrijski sestav zgornjih močno stisljivih slojev polžarice je v sliki 3.

Mineraloške raziskave vzorcev iz vrtin BV 1 in BV 2 sta izvršila Grimšičar in Očepek (1967). V svetlo sivi polžarici je v vrtini BV 2 v globini 5,2-5,3 m 74% kalcita. V vrtini BV 1 je v zelenkasto sivi polžarici v globini 0 do 5 m 52,2% kalcita in globini 5 do 10 m 62,0% kalcita. Kot glinena minerala sta indicirana haloisit in montmorillonit. Mikroskopski pregled povprečnega vzorca polžarice do globine 5 m sestavljajo zrnca kalcita z malo dolomita, oboje srednje velikosti 0,02 mm in največje velikosti 0,15 mm, dalje apneni drobci polževih hišic, okrog 0,03 mm velika zrnca kremenca 3%, razpadli rastlinski ostanki in mikroskopsko neločljiva snov v obliki zelo drobnih lusk in kosmičev do velikosti 0,1 mm, ki predstavlja v glavnem glinaste delce. V sledovih se pojavljajo muskovit 0,1%, geothit, granat in epidot pod 0,01%. Vzorec iz globine 5 do 10 m v vrtini BV 1 ima tudi kosmičasta zrna kalcita z večjo primesjo dolomita. Kalcitna zrna so povprečno manjša kot v prejšnjem vzorcu, le nekaj tisočink milimetra, zrna kremenca 2% so večja, povprečno okrog 0,04 mm in kažejo na močnejše poplavne tokove v barjanskem jezeru. Rastlinskih ostankov je manj 2%. Mikroskopsko natančneje nedoločljiva snov (glina) se pojavlja v majhnih luskah, kosmičih in drobcih velikosti do 0,1 mm, skupaj 36%. Muskovita je malo, podobno kot v prejšnjem vzorcu okrog 0,01%. Nekoliko več kot zgoraj je zrn granata in geothita. Pojavljajo se tudi zrna glavkonita, turmalina, cirkona in amfibola, ki jih v zgornjem vzorcu ni. Za oba vzorca so določili tudi tališče, ki je za vzorec do 5 m pri 1230°C in za vzorec 5 do 10 m pri 1250°C. Oba vzorca sta bila po taljenju črna, kar dokazuje da imata znatno primes železovih, delno morda tudi manganovih

1 Prodni zasip izven barjanskih sedimentov (do 3 m pod površino), 2 Prodni zasip prekrit z barjanskimi sedimenti ali peščeno-glinastimi nanosi hudournikov z obrobja, 3 Slabo zaobljen prod peščenjakov in skrilavih glinovcev (nanos hudournikov), 4 Jezerski sedimenti, peščenoglinasti nanosi hudournikov, 5 Oolitni apnenec (zg. lias in doger), 6 Menjavanje apnenca in dolomita (sp. jura), 7 Apnenec in dolomit (sp. jura); 8 Plastoviti in pasoviti dolomit (nori in retij), 9 Tuf, peščenjak in apnenec (sp. in sr. karnij), 10 Kristalasti dolomit (sp. karnij), 11 Lapornati dolomiti, lapor, meljevec in glinovec (sp. triada), 12 Grödenski peščenjak in konglomerat (sr. perm.), 13 Skrilavi glinovec, peščenjak in konglomerat (permokarbon), 14 Prelom, 15 Domnevni prelom, 16 Nariv, 17 Terasa, 18 Barjanski izvir ("okno"), 19 Kraški izvir, 20 Termalni izvir, 21 Zajetje, 22 Vrtan vodnjak, kaptažna vrtina z globino v metrih do prve prodne plasti ali kameninske osnove, 23 Vrtina - piezometer z globino v metrih do prve plasti ali kameninske podlage, 24 Skupina vodnjakov, 25 Geoelektrična sonda z globino v metrih do prve prodne plasti ali kameninske podlage, 26 Geomehanska vrtina z globino v metrih do prve prodne plasti ali kameninske podlage, 27 Profilna črta

1 Gravel fill outside the swamp deposits (to 3 m below the surface), 2 Gravel fill covered by swamp deposits or sandy-loamy deposits of periodical streams from the borderland, 3 Poorly rounded gravel of sandstones and shaly mudstones (periodical stream deposits), 4 Lake deposits, sandy-loamy deposits of periodic streams, 5 Oolitic limestone (Up. Lias and Dogger), 6 Interbedding of limestone and dolomite (Low. Jurassic), 7 Limestone and dolomite (Low Jurassic), 8 Layered and banded dolomite (Norian and Rhaetian), 9 Tuff, sandstone, and limestone (Low. and Mid. Carnian), 10 Crystalline dolomite (Low. Carnian), 11 Marly dolomite marl, siltstone and mudstone (Mid. Triassic), 12 Gröden sandstone and conglomerate (Mid. Permian), 13 Shaly mudstone, sandstone and conglomerate (Permo-Carboniferous), 14 Fault, 15 Supposed fault, 16 Overthrust, 17 Terrace, 18 Swamp source, 19 Karstic source, 20 Thermal source, 21 Water capture, 22 Drilled well, capture borehole with depth in meters to the first gravel bed or rocky basement, 23 Borehole with depth in meters to the first gravel bed or to the rocky basement, 24 Group of wells, 25 Geoelectrical probe with depth in meters to the first gravel bed or to the rocky basement, 26 Geomechanical borehole with depth in meters to the first gravel bed or to the rocky basement, 27 Profile trace

spojin. Verjetno se je precejšen del železa odobrila v jezeru kot železov hidroksid, geotit in lepidokrokot, ter se tudi vezal v strukturno mrežo karbonatov, glin in organskih snovi.

Raziskave so pokazale, da polžarica praktično nima nobenega pomena za keramiko, opečne in podobne izdelke, pač pa bi jo zaradi velike količine drobno zrnatih karbonatov lahko uporabljali edino za apnenje kislih zemljišč. Raziskave peska iz vrtine BV 1 iz globine 17 do 92,8 m so pokazale kot glavne sestavine kremen, dolomit, drobce skrilavca in peščenjaka ter melj. Količina dolomita z globino raste od okrog 5% do 50%, nasprotno pa količina kremenca z globino pada od okrog 65 do 30%. Količini melja in glinastega melja sta več ali manj enaki okrog 20 do 30%. Glavne sestavine peščenih in prodnatih plasti vrtine BV 2 so dolomit, peščenjak in kremen. V jugozahodnem delu Barja je na področju Vrhnik in Borovnice obsežen prvi prodni sloj iz nanosov Podlipščice in Borovniščice. Ta sloj se od Paka proti Podpeči zoži na pas širine okrog 1 km. Vzhodno od črte Podpeč-Podsmreka je prvi prodni sloj pod celotno površino Barja. V vrtini BV 2 prevladujeta do globine 87 m prod in pesek iz porečij Gradaščice in Šujice od globine 87 do 116,8 m pa iz porečij Želimeljščice in Iške.

V severnem delu Barja je fosilna struga Save, ki je tekla od Dravelj okrog Rožnika in se v globeli med Rožnikom in Gradom vračala na Ljubljansko polje. Savski prod je bil ugotovljen še pri Dolgem mostu, njegova zgornja meja je v globini 10 do 15 m, spodnja meja ni ugotovljena, cenimo jo na 50 m. Na področju Viča, Rožne doline, Trnovega in

Centra je debel vršaj Gradaščice predvsem iz peska in drobnega proda. V njem je zgornji vodonosnik z gladino okrog 5 m pod površino.

Za projektiranje avtoceste preko Barja je bila izvrtana vrsta piezometričnih vrtin globine okrog 40 m, ki niso dosegle dna barjanskih naplavin. Vse vrtine v osrednjem delu Barja so pod polžarico prišle v globini od 19 do dna v globini 37 m v prod in pesek z arteško podtalnico z gladino 2 do 3 m nad površino. Vrtina G 12 v Lipah je izgrajena kot piezometer, ki ga merijo že 25 let.

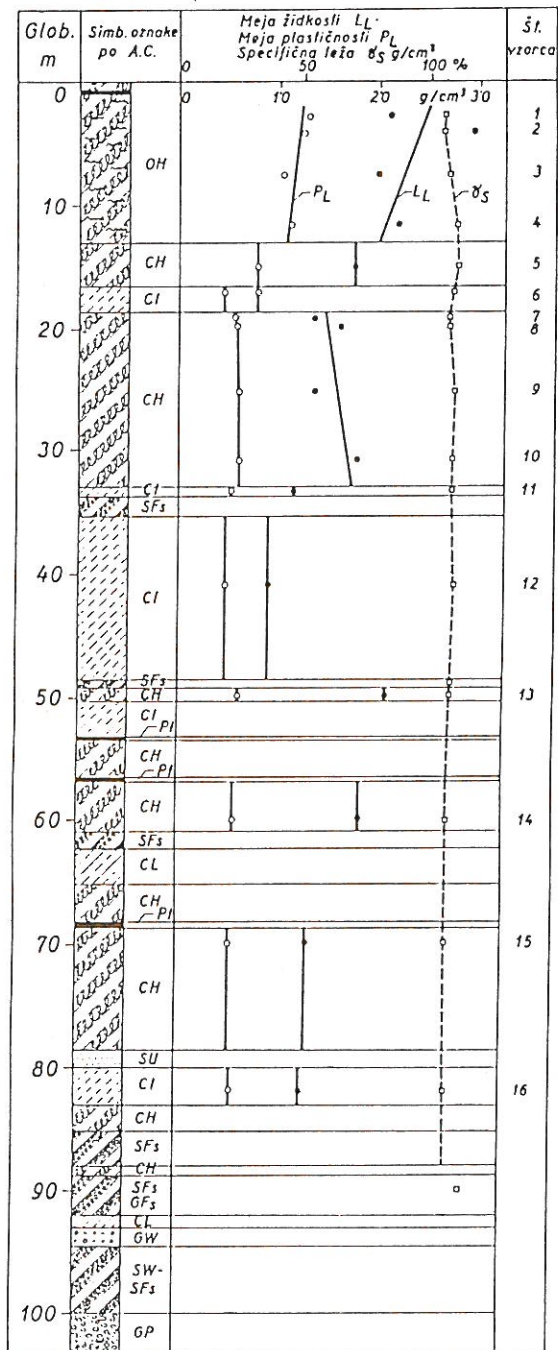
Za varianto 2 km krajše avtoceste preko Barja po trasi Verd-Blatna Brezovica-Bevke - Kostanjevica-Brezovica, ki naj bi pote-kala delno po gornjih osamelcih, delno pa na mostovih Verd-Blatna Brezovica in Blatna Brezovica-Bevke je bila predvidena izgradnja železobetonskih kolov velikega premera in velike nosilnosti temeljenih na osnovni kamenini. Vrsta sondažnih vrtin je pokazala sestav sedimentov in potrebno globino kolov od 20 do 50 m (Breznik, 1965). Situacija vrtin z globino do kameninske podlage je v sliki 1. V sliki 4 je podana globina kameninske osnove Barja. Področja gostejših izohips označujejo položaj mladih še aktivnih subvertikalnih prelomov.

2. REZULTATI HIDROGEOLOŠKIH RAZISKAV

Na južnem obrobju Barja je vrsta izvirov, ki so že dolgo zanimali ljubljanski vodovod. Severno od vasi Tomišelj-Brest-Matena-Iška Loka je 5 km dolga vrsta manjših izvirov skupne zmogljivosti 188 l/s ob suši in 730

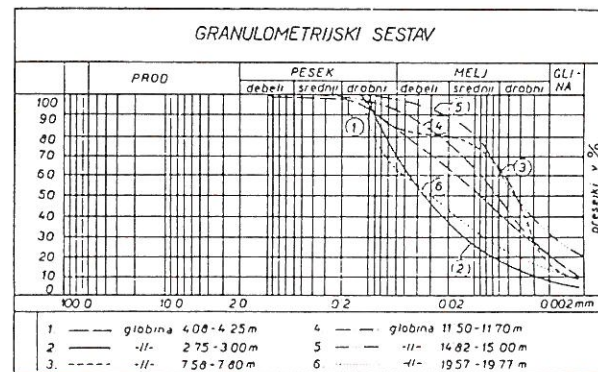
l/s v deževni dobi v letih 1974 in 1975. Istočasno smo merili ponikanje Iške od najmanjšega pretoka 370 l/s do največjega okrog 1000 l/s v gornjih letih. Ob nizkih in srednjih pretokih vsa Iška ponikne med Malo

vasjo in Tomišljem. Šele pri pretokih večjih od 1 m³/s teče Iška do Ljublanice. Pri vseh meritvah pretokov Iške in barjanskih izvirov smo ugotovili primankljaj okrog 200 l/s med pretokom ponikovanja Iške in skupnim pretokom izvirov (Breznik, 1975). Ta voda ali napaja arteški vodonosnik Barja ali ponikuje v možnih s prodom zasutih ponorih na področju Iške vasi in izvira v kraškem izviru Iščice na Igu, kar pa ni bilo raziskano. (Sl. 5 in 6) Zaradi verjetnega onesnaženja vode smo opustili možno zajetje vode posameznih izvirov, ker so vsi dolvodno vrste vasi od Tomišlja do Iške Loke. V letih 1974 in 1975



Slika 2. Osnovne geotehnične značilnosti sedimentov vrtine BV 1 med Notranjimi goricami in Podpečjo (po Sovinc, 1965)

Fig. 2. Fundamental geotechnical characteristics of the sediment from the borehole BV 1 between Notranje Gorice and Podpeč (after Sovinc, 1965)



Slika 3. Granulometrijska sestava vzorcev jeder iz različnih globlin vrtine BV 1 (po Sovinc, 1965)

Fig. 3. Particle size distribution of the core samples from various depths of the borehole BV 1 (after Sovinc, 1965)

so bile izvršene obsežne geofizikalne, hidrološke in hidrogeološke raziskave na področju Iškega vršaja za novo vodarno Brest z željeno zmogljivostjo 200 l/s. Pomen te vodarne je v tem, da je to voda iz povsem drugega vodnega vira in bi bila izvor pitne vode ob možnem velikem onesnaženju podtalnice Ljubljanskega polja. Med raziskavami smo ugotovili zgornji vodonosnik do globine 27 m (kota 272 m) in piezometrično gladino med kotama 297 in 292 m ter spodnji vodonosnik od globine 40 do 105 m (koti 259 do 194 m) in piezometrično gladino med 290 in 291 m. Iz poizkusnih vodnjakov IŠ 3 in IŠ 5 izvrtanih v zgornji vodonosnik je bilo možno črpati 8 in 15 l/s, iz poizkusnega vodnjaka IŠ 4, ki je bil 105 m globok in v zgornjih 40 m zatesnjen napram zgornjemu vodonosniku pa 30 l/s. Črpanja iz posameznega vodonosnika niso vplivala na drugi vodonosnik in njegovo piezometrično gladino, kar je bil dokaz, da sta vodonosnika ločena s tanko glinasto plastjo. Oba vodonosnika naj bi se napajala iz prenikle Iške in zgornji še iz padavin padlih na ožje področje. Na nekatere izvire sta suša in deževje le počasi vplivala. Ocenili smo, da so ti izviri iz spodnjega vodonosnika. V vsak vodonosnik smo želeli izgraditi ločene vodnjake globine od 10 do 30 m in od 40 do 100 m ter iz vsakega skupno črpati po 100 l/s, kar odgovarja pretoku barjanskih izvirov ob suši (Breznik, 1975).

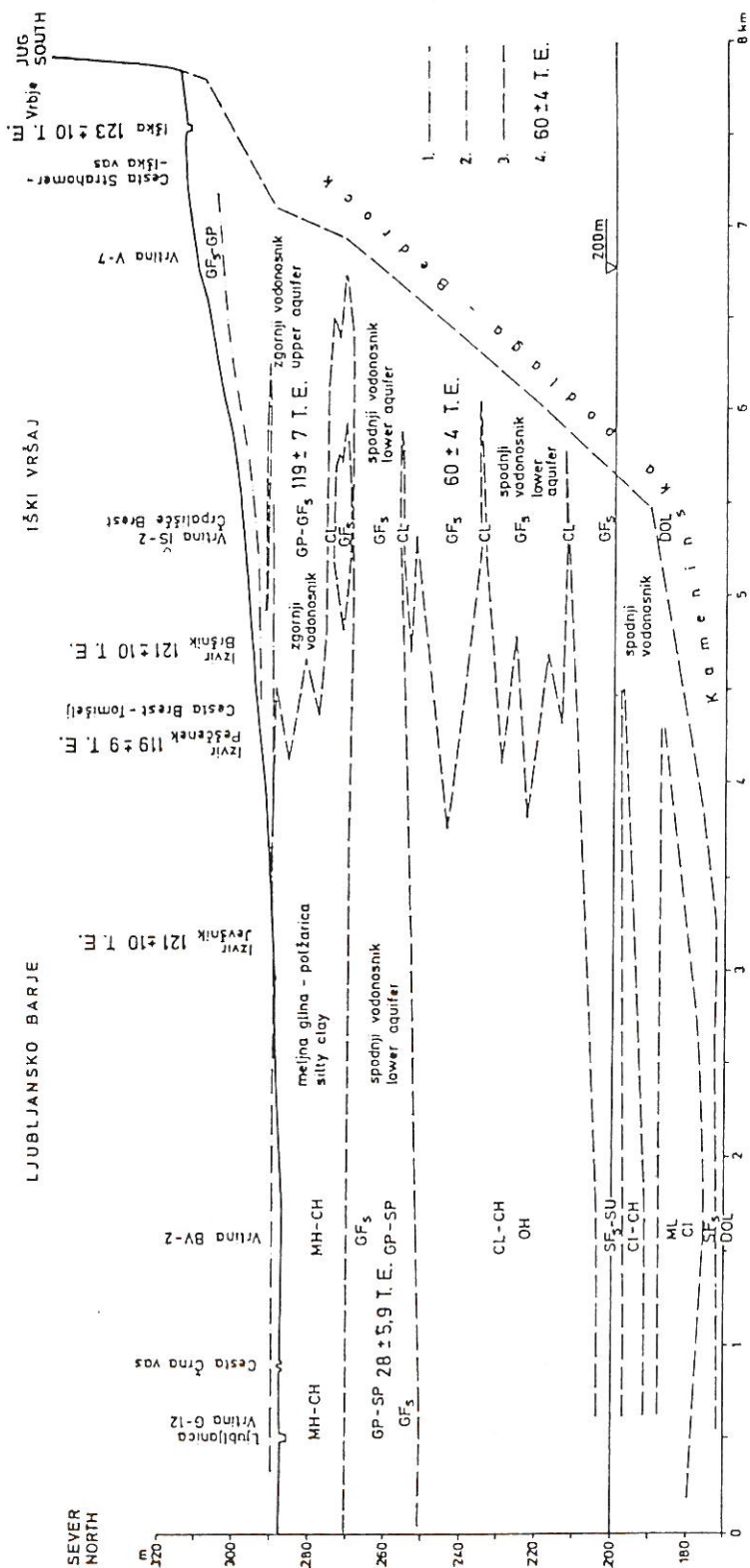
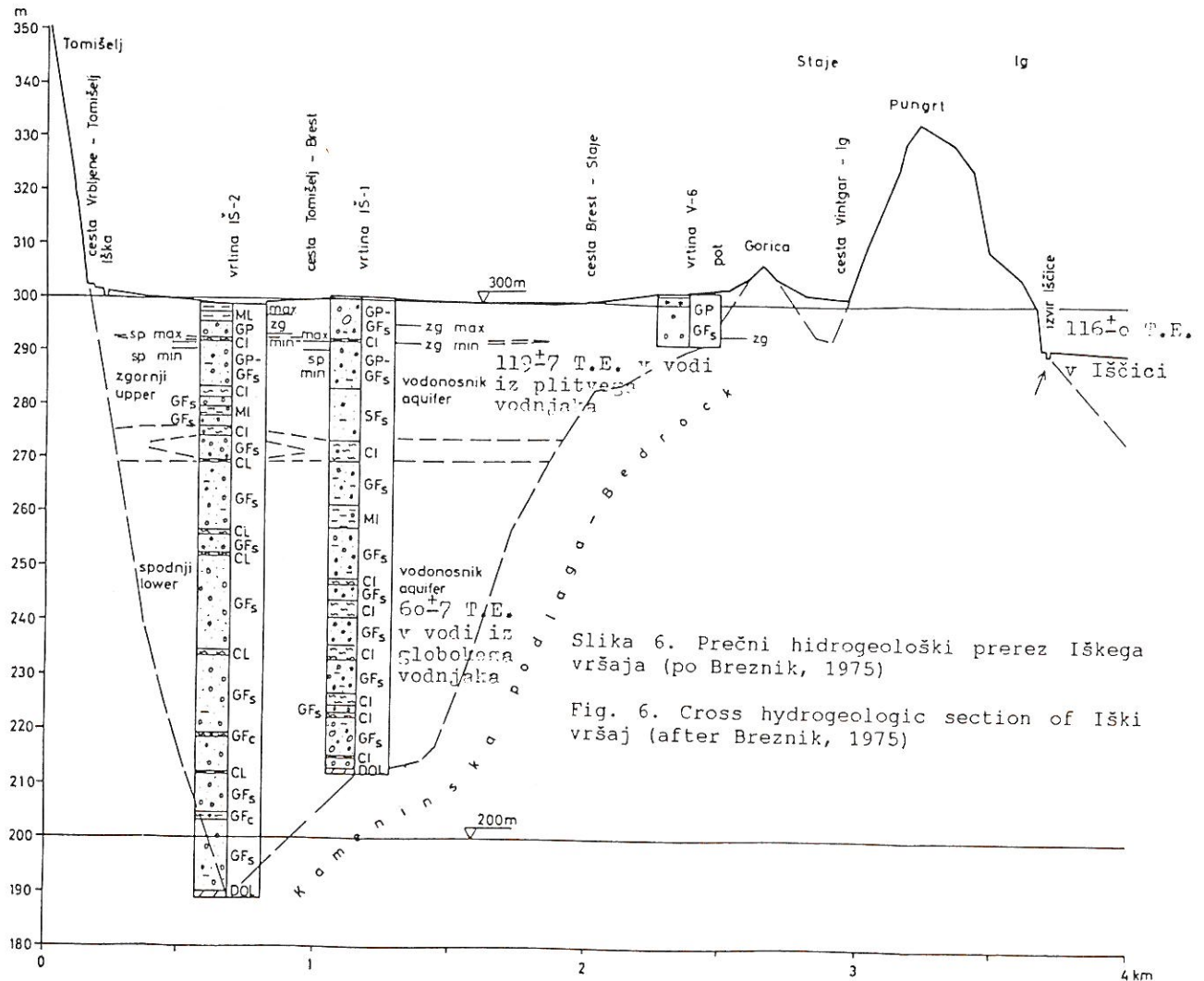


Fig. 5. Hydrogeologic section of the Iški vršaj and the Ljubljansko Barje with the aquifers (after Breznik, 1975)

1 Piezometric surface of upper aquifer, 2 piezometric surface of lower aquifer, 3 supposed lithological boundary, 4 tritium units, G gravel, S sand, P poorly graduated, Fs silty, M silt, C clay, O organic clay, L of low plasticity, I of medium plasticity, H of high plasticity, DOL dolomite

Slika 5. Hidrogeološki prerez Iškega vršaja in Ljubljanskega Barja z vodonosniki (after Breznik, 1975)

1 piezometrična gladina zgornjega vodonosnika, 2 piezometrična gladina spodnjega vodonosnika, 3 predvidena litološka meja, 4 tritijske enote, G prod, S pesek, P slabo granuliran, Fs meljast, M melj, C glina, O organska glina, L nizke plastičnosti, I srednje plastičnosti, H visoke plastičnosti, DOL dolomit

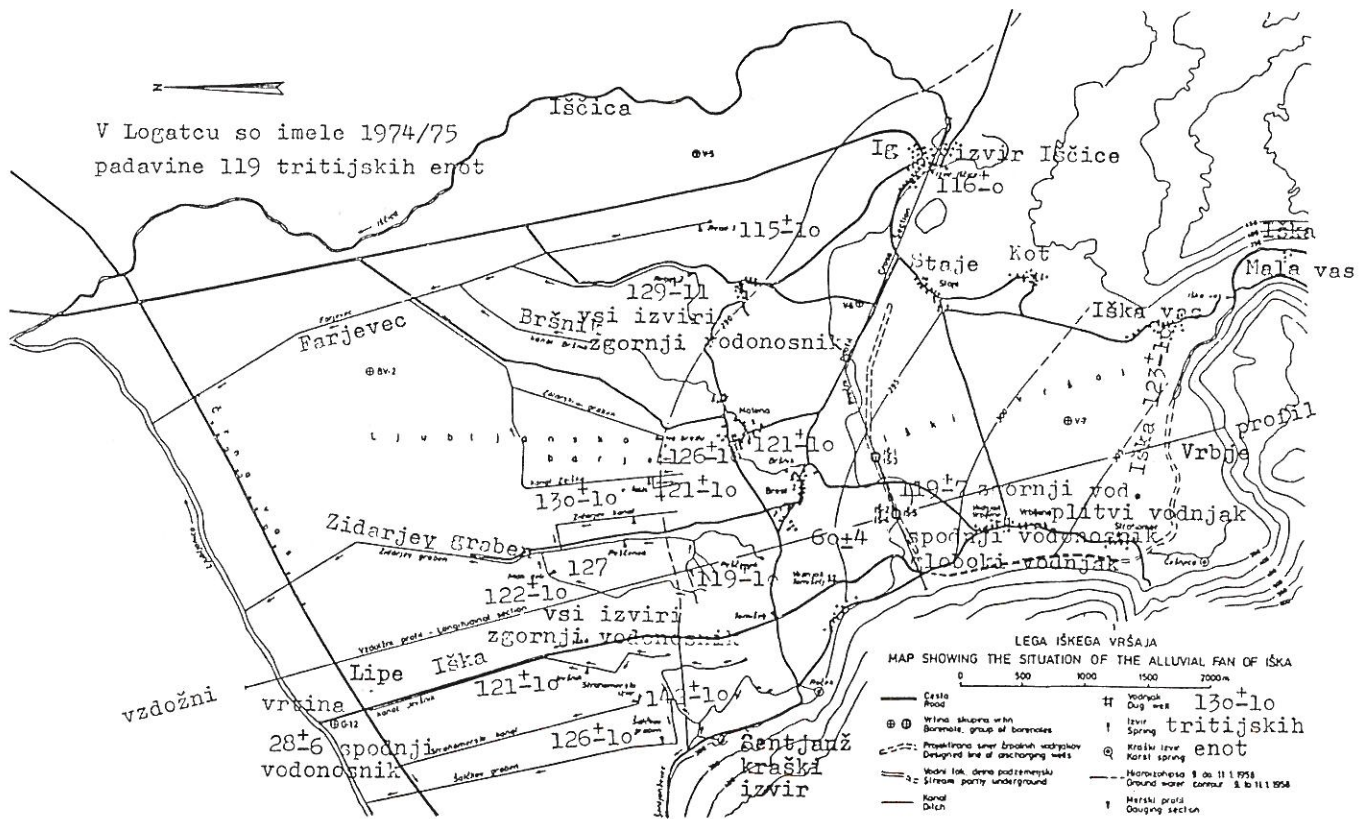


Slika 6. Prečni hidrogeološki prerez Iškega vršaja (po Breznik, 1975)
 Fig. 6. Cross hydrogeologic section of Iški vršaj (after Breznik, 1975)

Ob črpalnih poizkusih smo vzeli tudi vzorce za analize izotopov vode. Za določanje starosti podzemne vode do 50 let je najboljša metoda določitev vsebine tritija, ki je izotop vodika z masnim številom 3 in ima razpolovno dobo 12 in pol let. V naravnih razmerah je bilo v padavinah zaradi kozmičnih žarkov okrog 6 T.E. (tritijevih enot, v angleški literaturi T.U.) in v takratni podtalnici zaradi razpada od 0 do 2 T.E. Zaradi atomskih eksplozij v atmosferi se je količina tritija v atmosferi močno povečala na nad 100 T.E. leta 1961, 1200 T.E. leta 1964 in največ, nekaj tisoč T.E. leta 1966. Od takrat stalno pada, leta 1970 je bilo okrog 200 T.E. leta 1975 okrog 125 T.E., leta 1982 okrog 70 T.E. in leta 1992 samo še okrog 8 T.E. Podzemne vode, ki imajo sedaj vrednost okrog 2 T.E. so povprečno stare najmanj 30 ali celo nad 48 let. Prva atomska eksplozija je bila leta 1945. (31. 7)

Laboratorijske analize tritija so izvršili v Skopju, ker v Ljubljani še nismo imeli

takšnih aparatov. Pokazale so, da je imela voda Iške, vseh barjanskih izvirov in voda iz vodnjakov zgornji vodonosnik okrog 125 T.E., voda iz vodnjaka v spodnji vodonosnik okrog 60 T.E. in arteški izliv iz vrtine G 12 v Lipah okrog 28 T.E. Analiza teh podatkov nam pove, da je voda Iške, izvirov in zgornjega vodonosnika podobne starosti, v vodi spodnjega vodonosnika je bilo v lokaciji vodarne Brest manj kot polovica vode iz padavin "atomske dobe" in v arteški podtalnici s sredine Barja je bilo okrog četrtnina mladih padavin. Nadaljni zaključek je bil, da se voda spodnjega vodonosnika počasi obnavlja (Breznik, 1976). Na osnovi tega dejstva smo se zaradi nevarnosti posedanja Barja odločili, da bomo izgradili vodnjake samo v zgornji vodonosnik, ki ima dobro povezavo s preniklo vodo Iške. Hidrološko poročilo je predvidevalo izgradnjo 15 vodnjakov globine 29 m, s povprečno zmogljivostjo po 10 l/s in skupno 150 l/s. V drugi fazi naj bi povečali pretok Iške ob suši na 600 l/s z izgradnjo akumulacije Vrbica na Iški ali s prečrpanjem Iščiće v



Slika 7. Lega Iškega vršaja z vsebino tritija v reki, izviri in vrtinah (po Breznik, 1975, 1977)

Fig. 7. Map showing the situation of the alluvial fan of Iška river with tritium content of river, springs and boreholes water (after Breznik, 1975, 1977)

korito Iške in povečali zmogljivost vodarne Brest na 500 l/s (Breznik, 1979). Leta 1980 je bilo izvrtanih 11 vodnjakov globine 30 m in premera cevi 300 mm. Sedimenti so imeli velik odstotek meljastih delcev - okrog 20% - tako, da je bilo potrebno intenzivno čiščenje z batom, da smo dobili dobro zmogljivost. Črpalni poizkusi so bili izvršeni od 1.9.-31.12.1980. Črpali so iz vsakega vodnjaka ločeno, s potopno črpalko največje zmogljivosti 27 l/s. V 9 vodnjakih je bila zmogljivost okrog 27 l/s v enem 18,5 in v najslabšem 8,1 l/s pri depresiji 5,48 m v vodnjaku in 4,0 m v 5 m oddaljenem piezometru. V ostalih vodnjakih so bile depresije od 0,88 m do 2,12 m. Iz 11 vodnjakov so skupno črpali 269 l/s. Za te vodnjake so izračunali tudi največjo možno zmogljivost vodnjakov od 10 do 95 l/s in skupno 562 l/s (Geološki zavod, 1981).

V letu 1981 je bilo izgrajenih 11 eksploatacijskih vodnjakov. Črpalnišče Brest je bilo vključeno v redni pogon leta 1982. V poletju 1982 so padle gladine za okrog 7 m in se oktobra hitro dvignile. Spomladi 1983 so črpali 110 do 160 l/s. Ob močni poletni in

jesenski suši 1983 so gladine v vodnjakih znižale za do 10 m, skupni pretok črpanja je padel na 43 l/s, kot začasno sanacijo so vključili črpanje 25 l/s iz globokega poizkusnega vodnjaka IŠ 4, ki ima zmogljivost okrog 40 l/s. Dne 22.11.1983 je bil pretok Iške pri domu 309 l/s, skupni pretok barjanskih izvirov 95, črpanje iz zgornjega vodonosnika 43, iz spodnjega 25 l/s in pretok izvira Iščice 538 l/s. Ponovno smo predlagali povečati sušne pretoke Iške s pregrado Vrba ali prečrpavanjem Iščice in možnost povečanja črpanja skozi vse leto. Leta 1987 je bil izgrajen 100 m globok vodnjak premera 750 mm z zmogljivostjo 140 l/s v globoki vodonosnik. Globoki vodonosnik naj bi izčrpavali, zaradi zaščite Barja pred posedanjem, samo v izjemno sušnih obdobjih, ko zgornji vodonosnik zaradi premajhnega napajanja oslabi.

V obdobju med raziskavami za vodarno Brest in njeno izgradnjo so iz struge Iške med Iško vasjo in Strahomerom zaradi "regulacije struge" odpeljali nekaj deset tisoč m³ proda za gradbeni material. Za ta poseg niso vprašali ljubljanskega vodovoda za mnenje. Ponikovanje iz Iške v podtalnico se je v tem

področju zaradi hitrejšega odtoka Iške poslabšalo. V študiji o minimalnih pretokih Iške ocenjuje avtor; "... več regulacijskih posegov v koritu Iške ... Gradnje v bližnji okolici so povzročile nekontroliran odvzem voda iz korita reke in večje poglobljanje dna reke, še posebej na odseku Iška vas - Strahomer. Posledice omenjenih dejavnosti so vplivale na ponikovanje vode, ki je danes veliko manjše kot pred 20 leti. Zmanjšanje ponikovanja za približno 400 l/s, oziroma za 1/3 je verjetno vplivalo ne samo na podtalnico Iškega vršaja, temveč tudi na podtalnico Ljubljanskega barja..." (konec citata, Brilly, FAGG 1984).

Ker je črpanje iz zgornjega vodonosnika zaradi majhne in spremenljive zmogljivosti dokaj zapleteno črpa verjetno Mestni vodovod sedaj iz spodnjega vodonosnika skozi vse leto v razmerju 70 l/s iz zgornjega in 130 l/s iz spodnjega vodonosnika. V letu 1993 so izgradili še en globoki vodnjak z zmogljivostjo 100 l/s. Med črpalnim poizkusom v prvi polovici aprila 1993 so črpali iz spodnjega vodonosnika 230 l/s in iz zgornjega 70 l/s. V globokih vodnjakih je bila depresija med 4 in 7 m, v plitvih ni bila povečana. V globokem poizkusnem vodnjaku BP 2 v Lipah je bila depresija 40 cm in v globokem vodnjaku BP 3 ob Curnovcu okrog 5 cm. Ob koncu črpanja iz globokih vodnjakov v Brestu se je gladina povsod hitro dvignila, v vrtini G 12 v Lipah za 23 cm kar je bila depresija zaradi črpanja. Črpanje v Brestu je vplivalo na celoten arteški vodonosnik osrednjega dela Barja.

V Borovniškem vršaju je debelina jezerskih sedimentov 12 do 15 m in debelina prodnega zasipa okrog 50 m. Dolomitna podlaga je najgloblje poleg vodnjaka VB 5 v globini 69 m na nadmorski višini 221 m, kjer je prod odložen direktno na podlago. Zgornji prodni vodonosnik je v območju vodnjakov 12 do 15 m pod površino. Pri Borovnici je ta prod na površini kjer vanj ponikujejo padavine. Ponikovanje iz struge Borovniščice ni opazno, morda ga je malo, vsekakor pa so razmere povsem različne kakor na Iški, ki pretežni del leta vsa prenikne.

Raziskave za vodarno Borovniški vršaj so potekale od leta 1980. Zgornji vodonosnik je debel okrog 17 m. S črpalnimi poizkusi so ugotovili, da bi bilo možno črpati 50 l/s, transmisivnost je 1900 m²/dan, piezometrična gladina na koti 290,0 in 291,0 m. Zgornji vodonosnik se napaja s padavinami in iz kraškega obrobja, kjer je kraški izvir Pako, prejšnji vodni vir Borovnice. Voda kemično ni primerna zaradi prevelike vsebnosti železa. Spodnji vodonosnik je od globine 30 do 69 m. Voda je zajeta od 52 do 69 m, ocenjujejo, da je možno črpati 100 l/s, voda je primerna za pitje. Transmisivnost je 1190 m²/dan, piezometrična gladina za 0,5 m višja kakor v zgornjem vodonosniku. Voda se napaja verjetno samo iz kraškega vodonosnika na vzhodu in razpoklinskega vodonosnika v dolomitu (po Mencej, 1990).

Želimejščica je nasula obsežen vršaj, ki se pod polžarico nadaljuje proti severu in se južno od Črne vasi združi z vršajem Iške. Raziskovalna dela v dolini Želimejščice je Geološki zavod izvajal od leta 1980 dalje. V vodnjaku VŽ 3 je dolomitna podlaga v globini 68 m na nadmorski višini 224 m.

Zgornji vodonosnik je od globine 7 m (n.v. 285 m) do globine 25 m (n.v. 267 m). Zmogljivost vodnjaka VŽ 1 je 12 l/s. Napaja naj se delno iz padavin in delno kraškega vodonosnika. Voda ima preveč železa, nad 1 mg/l. Piezometrična gladina je pri srednjem stanju v višini terena na višini 292 m, ob visokem pa pol metra višje.

Spodnji vodonosnik je ločen od zgornjega z okrog 3 m debelim rdeče rjavim meljem in glino s prodniki. V vodnjaku VŽ 3 je spodnji vodonosnik od globine 41 m (n.v. 251 m) do 68 m (n.v. 224 m). Zmogljivost vodnjaka VŽ 3 30 l/s, njegova transmisivnost 640 m²/dan in piezometrična gladina na nadmorski višini 291 m. Zmogljivost vodnjaka VŽ 2 je 18 l/s. Voda je dobre kakovosti, z manj kot 0,2 mg/l železa, temperatura je 10,5 °C. Vodarna Brezova noga oskrbuje s pitno vodo Pijavo stanju v višini terena na višini 292 m, ob visokem pa pol metra višje.

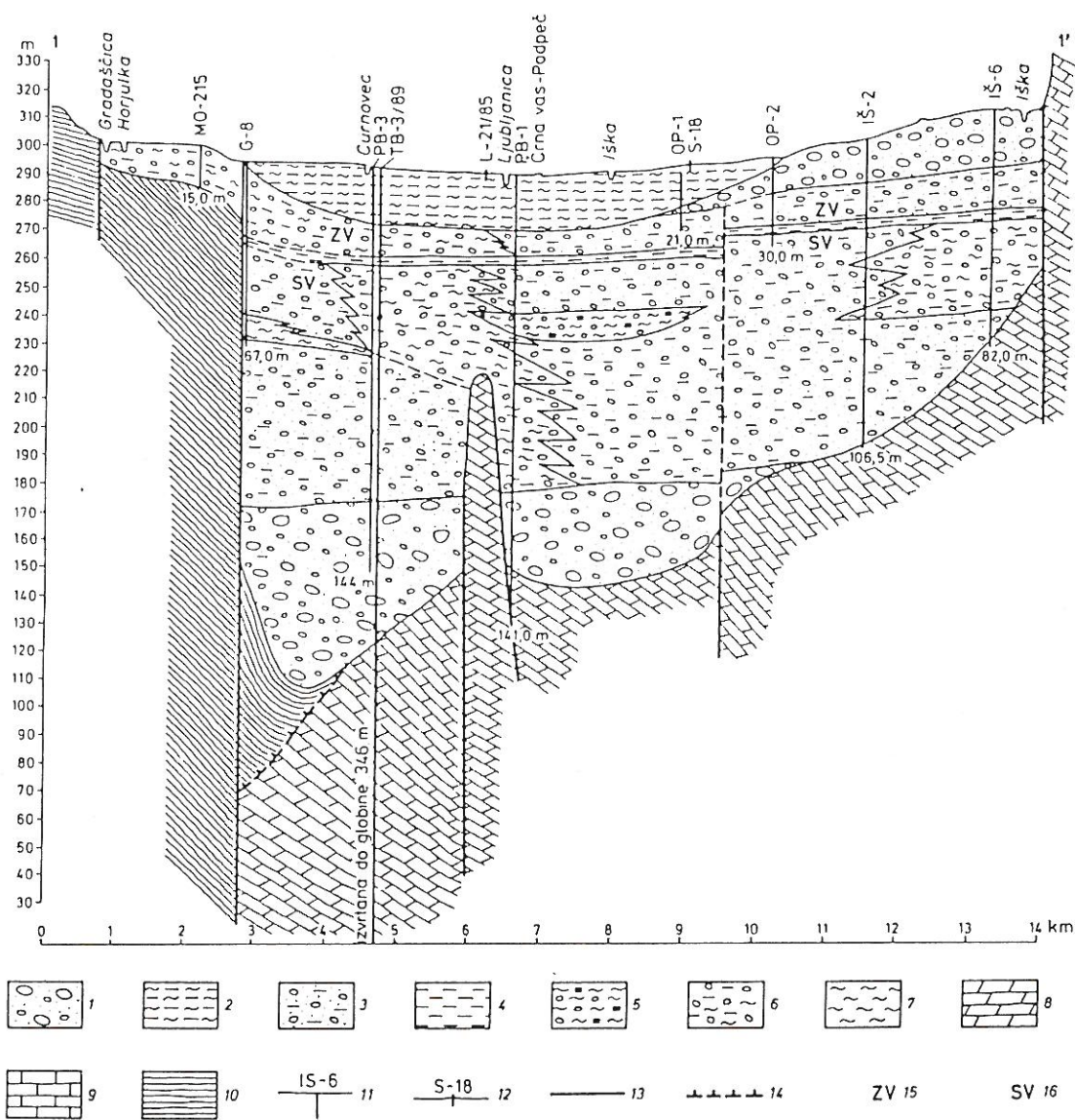
V letih 1983 do 1988 je Geološki zavod s sodelavci izvedel veliko raziskovalno nalogo "Raziskave podtalne vode na Ljubljanskem barju" s ciljem, da bi jo izkoriščali za pitno vodo. Izvrtanih je bila vrsta globokih vrtin in poizkusnih vodnjakov ter izvršene geofizikalne raziskave vzhodnega dela Barja. V okviru teh raziskav so bili izvrtani tudi globoki poizkusni vodnjaki PB 1 globine 160 m in PB 2 globine 66 m pri Lipah, T 1 v dolomitu globine 230 m pri Tomišlju, B 1 globine 268 m in TB 3 globine 370 m pri Curnovcu. Iz teh vrtin se je podtalnica izlivala ali so jo črpali. Iz BV 1 18 l/s izliva, iz PB 2 0,3 l/s izliva, iz T 1 so 7 l/s črpali pri depresiji okrog 30 m, iz B 1 70 l/s črpali, iz TB 3 50 l/s črpali iz dolomita s temperaturo vode 23,3 °C.

Velika nesprejemljiva pomanjkljivost teh raziskav je, da niso ugotavljali starosti vode z izotopskimi raziskavami, kar bi bil majhen strošek.

3. BILANCA ARTEŠKE PODTALNICE

Kot arteško ali subarteško podtalnico Barja upoštevamo starejšo podtalnico, ki je vprodnih in peščenih vodonosnikih pod polžarico, to je pod nadmorsko višino okrog 270 m (Sl. 5) in jo Breznik (1975) imenuje spodnji vodonosnik. Zgornji del arteškega vodonosnika je v okrog 20 m debelem sloju prod in peska med nadmorskima višinama 270 in 250 m, spodnji sloj pa pod koto okrog 200 m do dna naplavin. Tam kjer je osnovna kamenina dolomit in ne permokarbonski škriljavci in peščenjaki, je v dolomitu še arteški vodonosnik v razpokah.

Vodonosnik v zgornjem delu Iškega vršaja nad nadmorsko višino okrog 270 m, s plitvimi

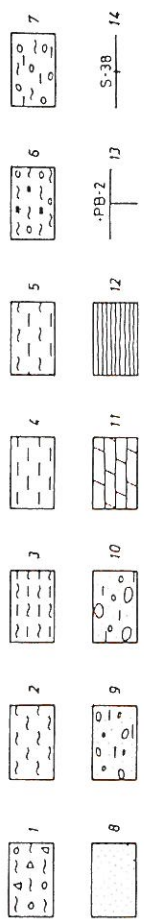
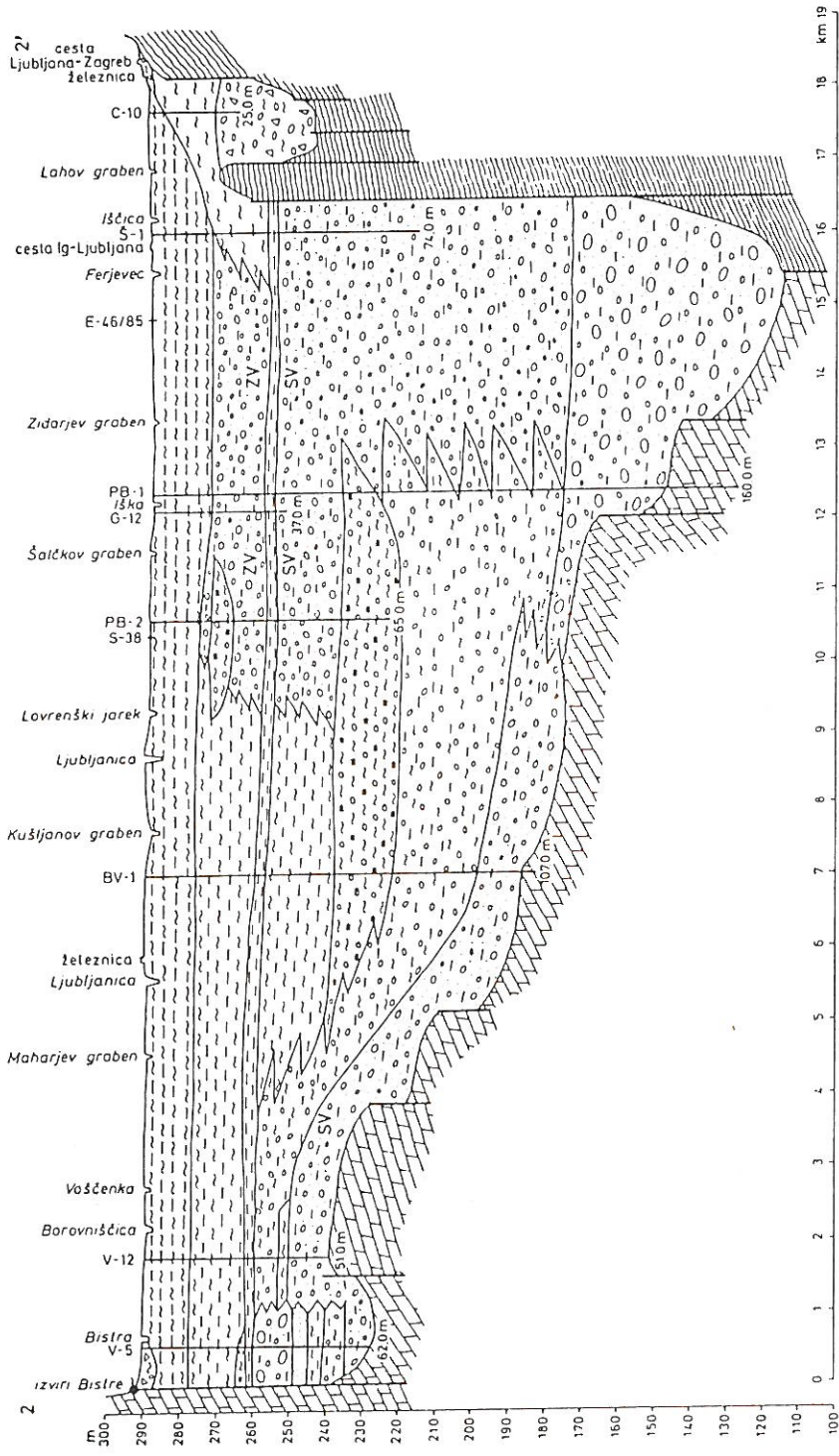


Slika 8. Profil 1-1' Iška vas - Vrhovci čez Ljubljansko Barje (po Hencelj 1990)

1 Prod s peskom in malo melja; 2 Meljna glina (polžarica); 3 Prod z meljem in peskom; 4 Rdeči melj in meljna glina (mejna plast); 5 Glina in organska glina s prodniki; 6 Prod z glino in meljem; 7 Glina; 8 Dolomit (zg. triada); 9 Apnenec in dolomit (sp. jura); 10 Peščenjak in glineni skrilavec (permokarbon); 11 Vrtina - piezometer; 12 Geoelektrična sonda (seizmična razvrstitev); 13 Prelom; 14 Nariv; 15 Zgornji vodonosnik; 16 Spodnji vodonosnik

Fig. 8 Section 1-1' Iška vas - Vrhovci across Ljubljansko Barje (after Hencelj 1990)

1 Gravel with sand and little silt; 2 Silty loam («snail clay»); 3 Gravel with silt and sand; 4 Red silt and silty loam (border layer); 5 Loam and organic loam with pebbles; 6 Gravel with loam and silt; 7 Loam; 8 Dolomite (Up. Triassic); 9 Limestone and dolomite (Low. Jurassic); 10 Sandstone and shaly mudstone (Permo-Carboniferous); 11 Borehole; 12 Geoelectrical probe (seismic disposition); 13 Fault; 14 Overthrust; 15 Upper aquifer; 16 Lower aquifer



Slika 9. Profil 2-2' Bistra-Rudnik čez osrednji del Ljubljanskega Barja (po Mencej, 1990)

1 Glina z gruščem in slabo zaobljenimi prodniki, 2 Glina, 3 Meljna glina (polžarica), 4 Rdeči melj in meljna glina (mejna plast), 5 Glina in melj, 6 Glina, organska glina in melj s prodniki, 7 Glina in melj s prodniki, 8 Pesek, 9 Prod z melkjem in peskom, 10 Prod s peskom in nekaj melja, 11 Dolomit (zg. triada), 12 Peščenjak in skrilavi glinovec (permokarbon), 13 Vrtina-piezometer, 14 Geoelektrična sonda (seizmična razvrstitev), 15 Prelom, 16 Zgornji vodonosnik, 17 Spodnji vodonosnik

Fig. 9. Section 2-2' Bistra-Rudnik across the central part of Ljubljansko Barje

1 Loam with rubble and poorly rounded pebbles, 2 Loam, 3 Silty loam (the "snail clay"), 4 Red silt and silty loam (border layer), 5 Loam and silt, 6 Loam, organic clay, and silt with pebbles, 7 Sand, 8 Gravel with silt with silt and sand, 9 Gravel with sand and some silt, 10 Dolomite (Up. Triassic), 12 Sandstone and shaly mudstone (Permo-Carboniferous), 13 Borehole, 14 Geoelectrical probe (seismic disposition), 15 Fault, 16 Upper aquifer, 17 Lower aquifer

vodnjaki v vodarni Brest in mlado vodo imenuje Breznik (1975) zgornji vodonosnik. Mencej (1990) imenuje zgornji del arteškega vodonosnika pod polžarico, pod nadmorsko višino 270 m, zgornji vodonosnik, kar ustvarja nepotrebno zmedo (sl. 8 in 9).

Vsako podtalnico, predvsem pa arteško smemo izčrpavati samo toliko kolikor se napaja. Posledica prevelikega črpanja (overexploitation) je stalno padanje piezometrične gladine z negativnimi posledicami n.pr. posedanje tal če so med usedlinami tudi stisljive (Mexico City, Osaka, Benetke in dr.), poslabšanje kvalitete zaradi povečanega depresijskega lijaka ali zaslanjenje podtalnice v obrežnih področjih. Zato posvečajo v svetu veliko pozornost bilanci podtalnice, predpišejo dovoljeno količino črpanja ter nadzorujejo črpanje in piezometrične gladine.

Spodnji, arteški vodonosnik Barja je sestavljen iz prepustnih slojev in neprepustnih leč, ki pa se v vodoravni smeri izklinjajo. Velik črpalni poizkus v vodarni Brest v aprilu 1993 je pokazal depresijski vpliv v vodnjaku PB 2 v Lipah in v vodnjaku TB 3 pri Curnovcu kar dokazuje, da je kljub komplicirani notranji sestavi, to enoten arteški vodonosnik.

Mencej (1990) je mnenja, da ni možno izdelati bilance spodnjega arteškega vodonosnika Barja. Smatramo, da je zaradi izredne važnosti možno oceniti vsaj približno bilanco arteške podtalnice.

Za leto 1975 ko še ni bilo črpanj iz globokih vodnjakov vodarn na Barju in še niso gradili južne obvoznice preko Barja imamo sledeče osnovne podatke:

- gladina arteške podtalnice je bila 2 do 3 m nad površino Barja,
- povprečni koeficient prepustnosti v navpični smeri je $3,0 \cdot 10^{-9}$ m/s (Gaberč, 1993),
- povprečna debelina polžarice je 10 m,
- v raziskovalnem vodnjaku IŠ 4 je bilo v spodnjem vodonosniku v vodarni Brest okrog 50% mlade vode in okrog 50% vode starejše od 30 let,
- v vrtini G 12 v Lipah je bilo okrog 75% vode starejše od 30 let,

- v raziskovalnem vodnjaku IŠ 2 v vodarni Brest je bila v zgornjem vodonosniku mlada voda,
- površina arteškega vodonosnika južno od Ljubljane je okrog 50 km².

Bilanco arteške podtalnice lahko ocenimo najprej na odtočni strani. Pretok skozi polžarico v navpični smeri je po Darcy-jevi enačbi

$$Q = F \times k \times i = 50,000.000 \times 3 \cdot 10^{-9} \times 3 : 10 = 0,045 \text{ m}^3/\text{s} = 45 \text{ l/s}$$

Pretok skozi prerez zahod - vzhod skozi Črno vas lahko ocenimo s starostjo vode. V vrtini G 12 v višini Črne vasi je bilo leta 1975 okrog 75% vode starejše od 30 let in v vodnjaku IŠ 4 v Brestu odkoder se voda iz G 12 napaja okrog 50% vode starejše od 30 let. V 30 letih se je morala torej zamenjati polovica vode v arteškem vodonosniku južno od Črne vasi. Površina arteškega vodonosnika južno od Črne vasi je okrog 25 km². Debelina prepustnih prodnopeščenih slojev pod polžarico je v vodnjaku IŠ 4 v vodarni Brest 75 m, v vodnjakih VŽ 1 in VŽ 3 pod Pijavo Gorico 45 m, v vrtini BV 2 južno od Črne vasi 50 m in v vrtini PB 1 v Lipah 67 m. Računamo s sredno debelino prodnopeščenih slojev 60 m in 15% zapolnjenostjo z vodo. Prostornina vode

$$V = 25,000.000 \times 60 \times 0,15 = 225,000.000 \text{ m}^3$$

Za zamenjavo polovice gornje prostornine vode v 30 letih je bil potreben pretok

$$Q = 225,000.000 : 2 : 30 : 365 : 86.400 = 0,12 \text{ m}^3/\text{s} = 120 \text{ l/s}$$

Pretok od napajalnega področja na jugu proti odtočnemu področju na severu lahko ocenimo skozi profil v Črni vasi po Darcy-jevi enačbi. Dolžina profila v Črni vasi je okrog 7 km, debelina prodno-peščenih slojev okrog 60 m, piezometrična gladina spodnjega vodonosnika v Brestu je bila na nadmorski višini 290,35 m in v razdalji 7 km v vrtini TB 3 pri Curnovcu na nadmorski višini 287,5 m. Koeficienti prepustnosti spodnjega

vodonosnika izračunani iz črpalnih poizkusov so sledeči: vodarna Brest od $1,16 \cdot 10^{-3}$ do $4,6 \cdot 10^{-4}$ m/s (Brilly, FAGG, 1984) vodarna v Želimeljškem vršaju od $2,8 \cdot 10^{-4}$ do $5,1 \cdot 10^{-4}$ m/s (Mencej, 1990). Privzamemo srednjo vrednost $6 \cdot 10^{-4}$ m/s. Pretok skozi profil v Črni vasi

$$Q = 7.000 \times 60 \times 6 \cdot 10^{-4} \times (290, 35 - 287, 5) : 7000 = 0,10 \text{ m}^3/\text{s} = 100 \text{ l/s}$$

Med Šišenskim hribom in Gradom je savski prod z ocenjeno debelino 50 m. Več avtorjev (Breznik, 1969, Mencej, 1990) smatra, da je tukaj odtok barjanske podtalnice. Mencej (1990) je izračunal ta iztok s sledečimi podatki: širina 800 m, debelina vodonosnika 50 m, padec podtalnice med Murglami in Kongresnim trgom 5‰, koeficient prepustnosti $1 \cdot 10^{-3}$ m/s

$$Q = 800 \times 50 \times 0,005 \times 1 \cdot 10^{-3} = 0,20 \text{ m}^3/\text{s} = 200 \text{ l/s}$$

Možen iztok skozi savski prod med Rožnikom in Podutikom bi bil neznaten. Iztok arteške podtalnice preko podtalnice v zasipu Gradaščice v Ljubljano je tudi možen. Sama struga Ljubljane pa je v mestu zabetonirana.

Na dotočni strani je bila večkrat izmerjena razlika okrog 200 l/s med vodo Iške, ki je ponikovala dolvodno doma v Vintgarju in pretokom barjanskih izvirov ter okrog 100 l/s med ponikovanjem Iške dolvodno Iške vasi in barjanskimi izviri. Višek vode 100 l/s, ki ponikuje dolvodno Iške vasi skoro sigurno napaja samo arteško podtalnico Barja, višek ponikovanja dolvodno Vintgarja 200 l/s tudi napaja arteško podtalnico Barja, del pa morda odteka preko prodnega vršaja v zasute ponore in v Iščico. Arteški vodonosnik je verjetno v stiku s kraškim vodonosnikom izvirov Pako, Strojarcček, Virje, Iščica in izvirov v Želimeljški dolini. Kraški vodonosniki že sedaj delno napajajo arteško podtalnico. Ob povečanem črpanju iz subarteške in arteške podtalnice je možno povečanje napajanja iz kraških vodonosnikov.

V zadnjih 12 letih so zgradili na južnem obrobju Barja sledeča črpališča Borovniški vršaj z zmogljivostjo 100 l/s, Virje 30 l/s, Iški vršaj (Brest) 340 l/s, Želimeljški vršaj (Brezova noga) 50 l/s. Sedaj jih izkoriščajo s pod 50% zmogljivostjo. Na Barju je izgrajenih več cevnih vodnjakov s sledečimi zmogljivostmi: BV 1 (Lipe) 70 l/s, B 1 (Curnovec) 70 l/s in TB 3 (Curnovec) 60 l/s iz dolomita, ki jih ne izkoriščajo, več desetih cevnih vodnjakov v Murglah, Trnovem in Črni vasi za toplotne črpalke in verjetno več deset cevnih vodnjakov za pitno in komunalno vodo v Rakovi jelši dokler ni bilo naselje priključeno na vodovodno omrežje pred 20 leti. Na Barju je zelo enostavno priti do vode. Skozi polžarico je treba zavrtati ali zabiti cev premera 3 do 7 cm globine 15 do 20 m in čista podtalnica sama izteka. Tako se

verjetno oskrbujejo z vodo nova črna naselja južno od obvoznice in to tudi omogoča tamkajšnje naselitev. Avtor raziskav podzemne vode na Barju je predlagal izkoriščanje arteške podtalnice s 500 l/s (Mencej, 1990a) čemur smo nasprotovali (Breznik, 1990a)

Naravni pretok arteške podtalnice cenimo na 150 do 200 l/s, ki je naravno odtekala proti severu v podtalnico Ljubljanskega polja ali v Ljubljano in pronicala navzgor skozi polžarico.

Črpanje iz barjanske podtalnice se je v zadnjem desetletju v javnih vodarnah močno povečalo in verjetno že presega naravno napajanje. Povečanje napajanja je možno s pritegnitvijo vode iz kraškega vodonosnika z zmanjšanjem kraških izvirov. To se dogaja na Borovniškem vršaju in delno na Brestu, kjer je vodarna pritegnila več vode od barjanskih izvirov. Izgrajene zmogljivosti vodarn s skupno okrog 480 l/s, cevnih vodnjakov okrog 200 l/s in "črnega" črpanja okrog 50 l/s daleč presegajo napajanje arteške podtalnice. Posledica prekomernega črpanja je vedno stalno padanje piezometrične gladine. Na Barju bi bilo posebno neugodno če bi se gladina podtalnice znižala za 10 do 20 m, kar se je na svetu že mnogokrat zgodilo, in bi bila polžarica nad gladino podtalnice.

Tudi pri nas je nujno, da bo ena od državnih ustanov izdajala dovoljenja za črpanje podtalnic ter nadzorovala črpanja in nihanja gladin podtalnice ter primeno ukrepala. Sedanje razmere so povsem kaotične, vsakdo dela kar hoče. Za izgradnjo vsakega cevnega vodnjaka sta potrebni vodnogospodarsko in gradbeno dovoljenje. Tak vodnjak je možno izvrtati v dveh do treh dneh. Zato inšpekcijski nadzor na terenu ni dovolj, vsako podjetje za vrtanje mora prijaviti kje delajo njegovi stroji.

Tu je izkušnje nas učijo, da so bile posledice podobnih razmer povsod zelo neugodne: zmanjšanje črpanja v že izgrajenih črpališčih, poslabšanje kvalitete vode zaradi večjih depresijskih lijakov in posedanje tal ter zgradb zaradi konsolidacije glinasto meljastih naplavin.

4. POSEDANJE POVRŠINE LJUBLJANSKEGA BARJA

Vzroki posedanja površine Barja so naravno ugrezanje kameninske osnove Barja (sl. 4), naravna konsolidacija šote in glinasto-meljastih naplavin ter razpad šote in konsolidacija glinasto-meljastih naplavin povzročena s človeško dejavnostjo.

Ljubljansko Barje in Ljubljansko polje sta mladi udorini, ki se še sedaj ugrezata ob subvertikalnih prelomih. Dno Ljubljanskega barja naj bi se začelo ugrezati nekako ob koncu pliocena pred več kot 1 milijon leti (Melik, Rakovec). Seizmologi cenijo relativno razliko med dvigovanjem obrobne Dinarskega

krasa in ugrezanjem dna Ljubljanske kotline na 4 do 8 mm letno (Arsovski 1980). Za Ljubljansko Barje imamo na osnovi analiz cvetnega prahu določeno starost za več glinastih slojev v katerih se je pelod ohranil. V raziskovalni vrtini BV-2 iz leta 1964 je bila z analizami cvetnega prahu in deloma z analizami radioaktivnosti ogljika C¹⁴ (Šercelj 1965, 1966, 1974/75) ugotovljena sledeča starost sedimentov. Najstarejši sedimenti iz mindelskega glaciala stari nad 400.000 let so v vrtini BV 2 pri Črni vasi v globini 109 m, v vrtini BV 1 ob Kušljanovem grabnu v globini 60 m, pri Dolgem mostu v globini 14 do 16 m, v stari viški terasi v bivši opekarni Brdo v višini 20 m nad barjansko ravnico in v Zalogu na Ljubljanskem polju v globini 40 m. Te razlike kažejo na neenakomerno ugrezanje kameninske podlage. Okrog 120.000 let stari sedimenti iz riškega glaciala so v vrtini BV 2 v globini 78 m. Takrat se je pričelo dno Barja hitreje ugrezati. Najstarejši würmski sedimenti stari 80.000 do 50.000 let so v globini 44 m. Pleistocen se konča pred 10.000 leti s sedimenti poznega würma v globini 13 m. Lahkogneten karbonaten glinast melj - polžarica je sediment holocenskega "Mostičarskega jezera", ki je nastalo pred 10.000 leti in se je osušilo pred 4000 leti. Takrat je pričela prerasčati površje Barja šota, ki je bila še pred 100 leti debela 6 do 8 m (Tancig, 1965). Ker so 10.000 let stari sedimenti v globini 13 m lahko sklepamo, da je letno ugrezanje kameninske podlage in konsolidacija starejših sedimentov v tem obdobju 1,3 mm na leto. Ob gradnji ceste proti Vrhniku so leta 1948 našli pri Logu v glini nad plitvo dolomitno podlago lesene hlode, ki so bili vozišče rimske ceste v globini 2 m. Ob predpostavki, da je bila ta cesta obnovljena okrog leta 400, je povprečno ugrezanje od rimske dobe do danes 1,25 mm na leto.

V zvezi z gradnjo globokega skladišča za radioaktivne odpadke so Švicarji proučevali hitrost preteklih in bodočih tektonskih premikov kameninskih gmot in prišli do zaključka, da se njihova hitrost ne bo spremenila v naslednjih 1.000 letih.

Naravna ugrezanja kameninske podlage Barja bodo 1 do 2 mm na leto, kakor so bila v zadnjih 10.000 letih.

Velikost sedanjega naravnega posedanja sedimentov lahko le ocenimo. Starejši glinasti sloji so zaradi teže nad njimi ležečih slojev ter deset in sto tisočev let odkar so bili odloženi pretežno že konsolidirani in morajo biti zato njihovi posedki majhni. Za polžarico, ki je močno stisljiva ocenjujemo, da se zaradi navzgor precejajoče arteške podtalnice le počasi konsolidira. Skupne naravne posedke zaradi konsolidacije naplavin ocenjujemo na par milimetrov na leto. Šota je v naravnih razmerah debelila od spodaj navzgor. Še pred sto leti je bila debela 6 do 8 m. Zrasla je v

4000 letih od osušitve jezera dalje, torej z nekaj manj kakor 2 mm na leto.

Glavni vpliv človeka na Barje je osuševanje, ki se je sistematično pričelo pred 250 leti in je na njem izgrajenih sedaj nad 500 km glavnih osuševalnih kanalov. Prva posledica osuševanja je bila, da se je ustavila rast šote. Geodetsko izmerjena profila Preserje-Log in Staje pri Iški vasi-Vič posneta leta 1888 in 1958 kažeta (sl. lo), da se je površina sredine Barja posedla za 1 do 2,5 m (Tancig, 1965), za kar naj bi bil glavni vzrok razkroj šote v organsko glino gyttja. Šoto so v začetku tega stoletja in v prejšnjih stoletjih tudi uporabljali kot kurivo, kot izolacijski material v gradbeništvu in jo zažigali za pridobitev kmetijskih zemljišč.

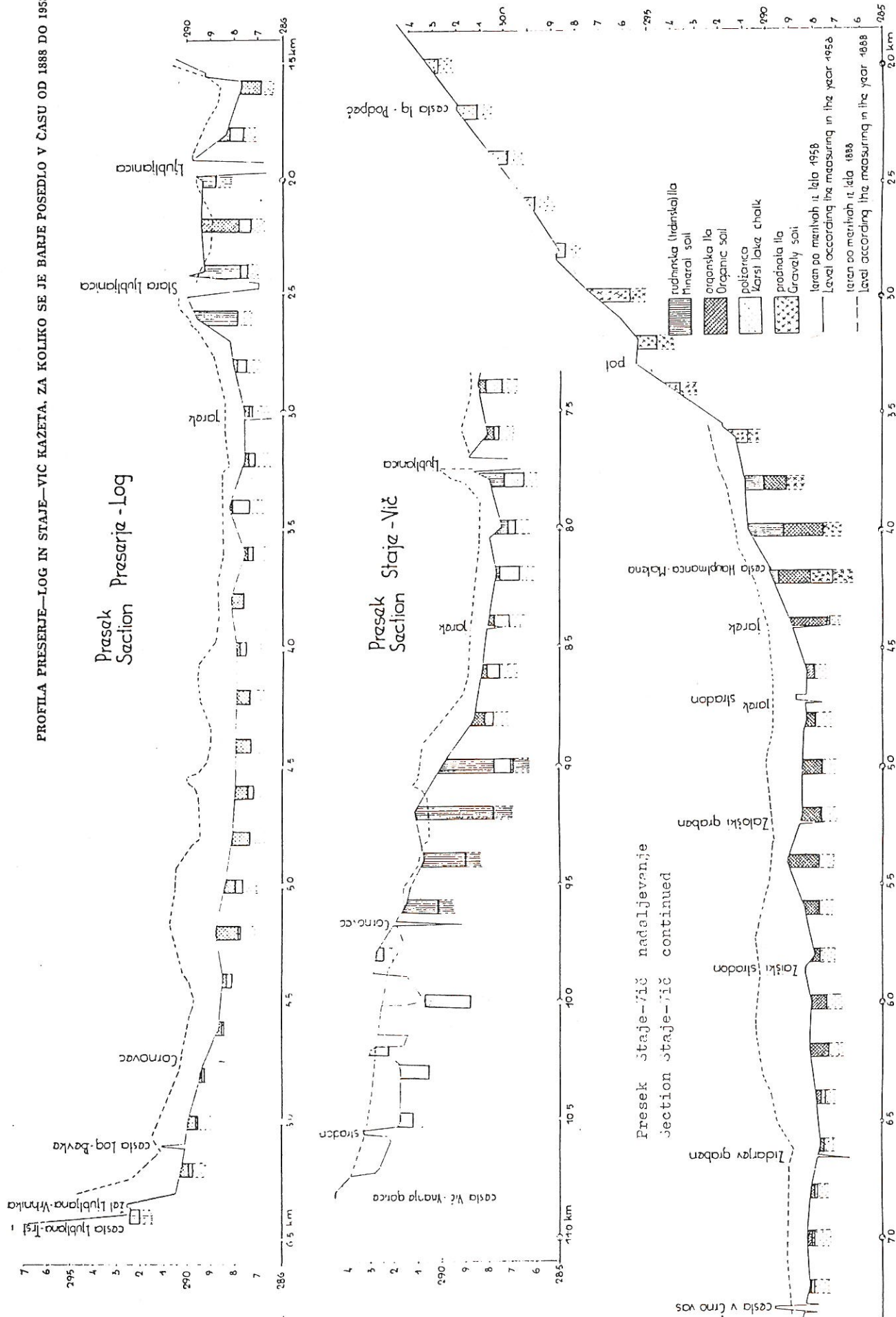
Leta 1964 je bila piezometrična gladina v raziskovalni vrtini BV 2 1,5 km južno od Črne vasi na nadmorski višini okrog 291,5 m, vendar ta vrtina sedaj ne obstaja. Poleti leta 1993 je bila v vodnjaku PB 2 blizu Ljubljanice v Lipah na nadmorski višini 289,0 m. V vrtini G 12 v Lipah je bila visoka piezometrična gladina merjena od betonske glave vrtine dne 20.3.1969 na nadmorski višini 291,03 m in nizka dne 11.8.1968 na 290,14 m. V letu 1993 je bila visoka dne 2. 2. na koti 289,49 m in nizka dne 5.8.1993 na 288,92 m. Padec gladine za 1,54 oziroma na 1,22 m moramo povečati še za okrog 0,15 m, kolikor se je tam znižala površina Barja in s tem izhodiščna nadmorska višina betonske glave vrtine.

Drugi vzrok posedanja tal zaradi osuševanja je konsolidacija vrhnjega sloja polžarice in njeno posedanje zaradi znižanja piezometrične gladine arteške podtalnice, ki se je znižala v 20 letih za okrog 2 m. Vzrok znižanja te gladine je osuševanje Barja z drenažnimi kanali in v zadnjem času tudi črpanje.

Posedanje površine sistematično merijo v raziskovalni nalogi "Izmera nivelmanske mreže 1. reda Ljubljanskega Barja", 1963-1992, FAGG, Katedra za geodezijo. Na obrobju Barja so po daljših meritvah izbrali 4 fundamentalne reperje: FR 3 na Hradetzkega cesti, FR 5 v Vnanjih Goricah, FR 6 pri vasi Jezero pri Podpeči in FR 7 na Škofljici. V letih 1963 do 1974 so merili posedke predvsem v vzhodnem delu Barje, leta 1988 zgostili mrežo v vzhodnem delu in vzpostavili novo mrežo še v zahodnem delu Barja. Skupno so sedaj merili višine 440 reperjev s preciznim niveliranjem. Rezultati teh raziskav, ki so zanesljive, so podani v slikah 11 in 12 s skupnimi posedki za obdobje 1963 do 1992 in v sliki 13 s posedki v mm na leto za obdobje 1989-1992.

Posedki so presenetljivo veliki od 2 do 15 mm na leto ter do 310 mm v 27 letih. Analiza slik 11 in 12 pove, da so posedanja največja z okrog 5 mm na leto vzdolž znanih tektonskih jarkov Bistra-Rudnik in Ig-Ljubljana. V

PROFILA PRESERJE—LOG IN STAJE—VIČ KAZETA, ZA KOLIKO SE JE BARJE POSEDEL V ČASU OD 1888 DO 1958



Slika 10. Posedanje površine Ljubljanskega Barja med leti 1888 in 1958 v profilih Preserje-Log in Staje-Vič (po Tancig, 1965)

Fig. 10. Settlement of the surface of the Ljubljansko Barje between the years 1888 and 1958 in sections Preserje-Log and Staje-Vič (after Tancig, 1965)

območju teh jarkov je ugrezanje kameninske podlage že staro in veliko ter je zato tukaj tudi največja debelina sedimentov, ki se konsolidirajo in posedajo. Znotraj teh jarkov so še štiri manjša področja z največjim posedanjem in sicer med Bistro in Borovniščico, na področju Črne vasi, Rakove Jelše in Ilovice, kjer dosežejo letna posedanja 15 mm.

5 .OCENA BODOČIH POSEDANJ

V sliki 14 je podan časovni razvoj posedanj v Črni vasi iz katerega vidimo, da so posedki enakomerni zadnjih 22 let s tendenco povečanja v zadnjih 3 letih. Verjetno so bili tako veliki posedki že zadnjih 200 let kar naj bi nakazovalo dejstvo, da so po izgradnji Gruberjevega prekopa leta 1782 zaradi poplav na Barju strugi skozi mesto še trikrat poglobljali. Leta 1825 so izkopali povsem novo strugo Ljubljanice med mostom pri porodnišnici in Selom v Mostah ter staro strugo do gradu na Kodeljevem zasuli, leta 1840 so staro strugo Ljubljanice od Kodeljevega do Sela, ki je postala podaljšan Gruberjev kanal izravnali in poglobili, leta 1933 so poglobili strugo Ljubljanice od Špice do Cukrarne in okrog leta 1960 izdelali načrte za 2 metersko poglobitev konglomerata, praga v strugi Ljubljanice v Mostah gorvodno Novih Fužin, kar pa niso izgradili.

Poleg naravnega ugrezanja kameninske podlage in naravne konsolidacije sedimentov je večji del posedanja zelo verjetno vpliv znižanja piezometrične gladine arteške podtalnice zaradi osuševanja in črpanja ter dodatne obremenitve v Črni vasi, Rakovi jelši in Iloviči, kjer so največja posedanja z gradnjami. Področje med Bistro in Borovniščico, kjer so tudi zelo veliki posedki ni pozidano in je možen vpliv ali črpanje v 10 let starem črpališču Borovniški vršaj ali hitrejše ugrezanje kameninske podlage. Ljubljanica poplavlja v tem območju že pri pretokih nad 100 m³/s.

Časovni diagram posedanja (slika 14) ne kaže nikakršne umiritve ampak nakazuje enako posedanje, reda velikosti 1 cm na leto, še vnaprej. V študiji "Hidrološke raziskave na Iškem vršaju za potrebe izgradnje II. faze vodarne Brest in raziskava podtalne vode Ljubljanskem Barju - Analiza posedkov" 1985, (FAGG, Katedra za mehaniko tal z laboratorijem, Pušlar, Vidmar) so za 2 metrsko znižanje piezometrične gladine do površine terena izračunani celotni usedki barjanskih usedlin na osnovi raziskav zemljin iz raziskovalne vrtine PB 1 v Lipah na 0,246 m in za znižanje gladine za 2,3 m to je 0,3 m pod površino na 0,372 m. Ta konsolidacija naj bi se s 25% izvršila v 3 letih, s 50% v 22 letih in z 80% v 105 letih.

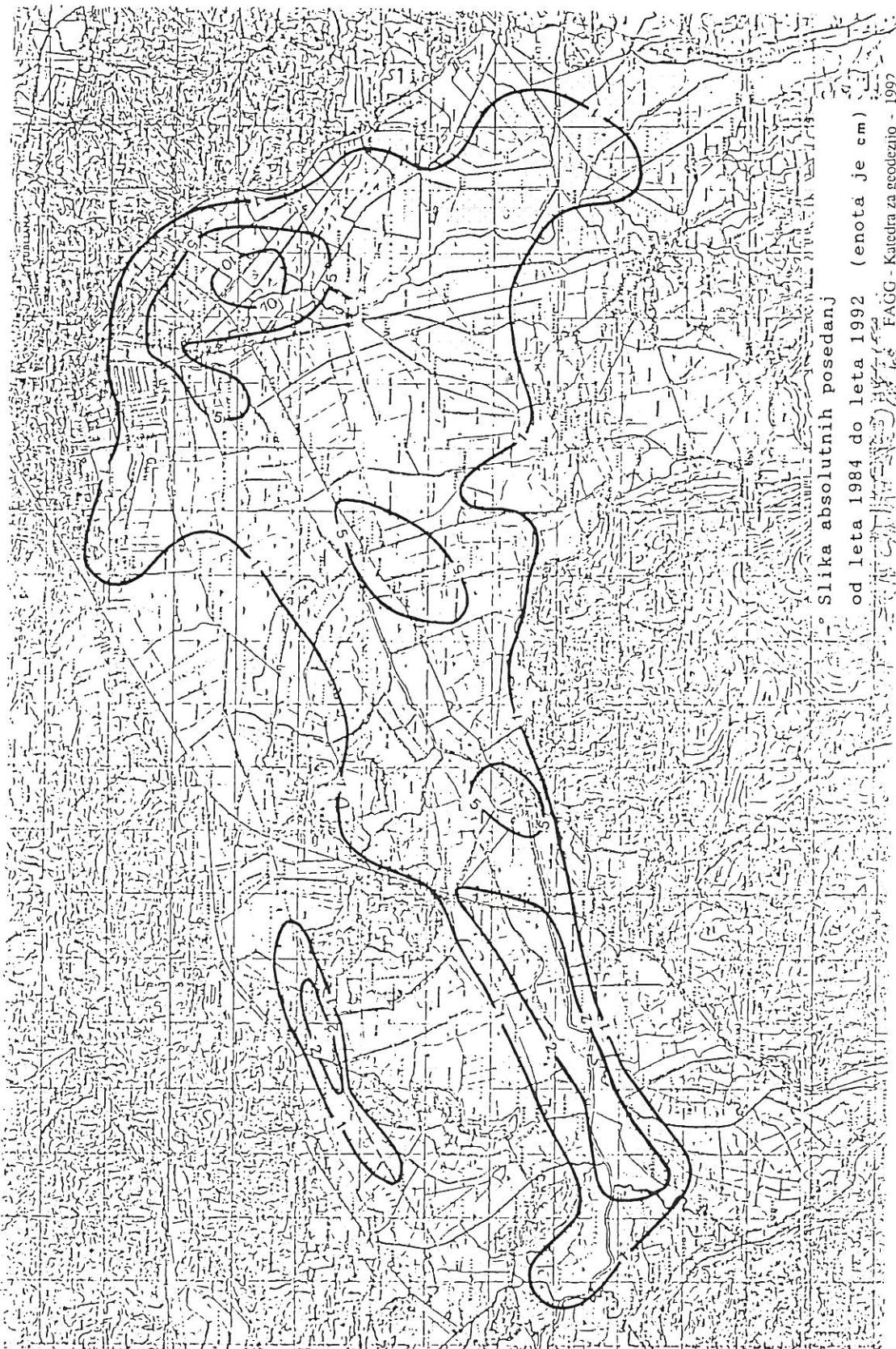
Izračunani letni posedki so istega reda velikosti kot sedaj geodetsko izmerjeni, Ker pa se za izmerjene posedke od leta 1971 do 1992 velikost ni pomembno spremenila lahko sklepamo, da so bili podobni posedki tudi pred letom 1971 (sl. 14).

Vsi vodonosniki posebno pa še zaprti - arteški in subarteški, so občutljivi na bilanco voda. Če pretok izvirov in črpanja preseže pretok napajanja začeta prosta ali piezometrična gladina padati. V podtalnici Ljubljanskega polja se zniža v času suše, ko je črpanje večje od napajanja, gladina podtalnice za okrog 3 m, vendar se v času deževja, ko presega napajanje črpanje zopet dvigne na prvotno raven. V zaprtih vodonosnikih je padanje gladine hitrejše, ker imajo glinasti zaporni sloji zelo majhno efektivno poroznost in majhno akumulacijo vode.

Naravno napajanje arteške podtalnice Ljubljanskega Barja smo ocenili na 150 do 200 l/s. Že izgrajena črpališča in drugi cevni vodnjaki imajo zmogljivost okrog 700 l/s in jo sedaj izkoriščajo z manj kot 50%. Kolikšen del svojega črpanja odvezemajo izvirov na obrobju Barja in kolikšen napajanju arteške podtalnice je možno le delno ugotoviti, n.pr. izviri severno od vodarne Brest so se močno zmanjšali.

Tisti del črpanja, ki sedaj odvzema vodo barjanskim izvirov ne odvzema vode napajanju arteške podtalnice in zato ne pospešuje padanja piezometrične gladine. V kolikor bo popolno izkoriščanje zmogljivosti črpališč povečalo dotok iz kraškega vodonosnika in zmanjšalo pretok kraških izvirov obrobja Barja (Bistra, Pako, Strojarcček, Virje, Iščica in manjši) se napajanje arteške podtalnice za toliko ne bi zmanjšalo, ne bi bilo dodatnih negativnih posledic na bilanco in na piezometrične gladine arteške podtalnice. Vendar dvomimo v tolikšno povečanje napajanja. Znižanje piezometrične gladine za okrog 2 m v zadnjih 25 letih pa dokazuje že sedaj slabšanje razmer. Če možnega prevelikega črpanja ne bomo opazovali in preprečili nam se lahko zniža piezometrična gladina tudi za 20 m, kar se je v svetu že mnogokrat zgodilo. V tem primeru bi bili polžarica in barjanska glina nad gladino podtalnice. Polžarica ima v svoji prostornini 3/4 vode in je sestavljena z okrog 60% iz apnenih zrn. Med glinastimi minerali prevladujeta haloisit in montmorillonit. Polžarica mora imeti strukturo podobno satju, da lahko zadrži toliko vode. Ocenjujemo, da bi ta struktura razpadla če bi se strujanje navzgor ustavilo zaradi padca piezometrične gladine. Jezerska kreda v kateri tudi prevladujejo zrnca apnenca in ima podoben mineraloški sestav kakor polžarica je drugod dobro konsolidirana. Ob verjetnem razpadu satjaste strukture polžarice bi se njena prostornina močno zmanjšala, kar bi povzročilo posedanje površine Barja velikosti par metrov. To se ne sme zgoditi in piezometrična gladina arteške podtalnice ne sme pasti pod površino terena.

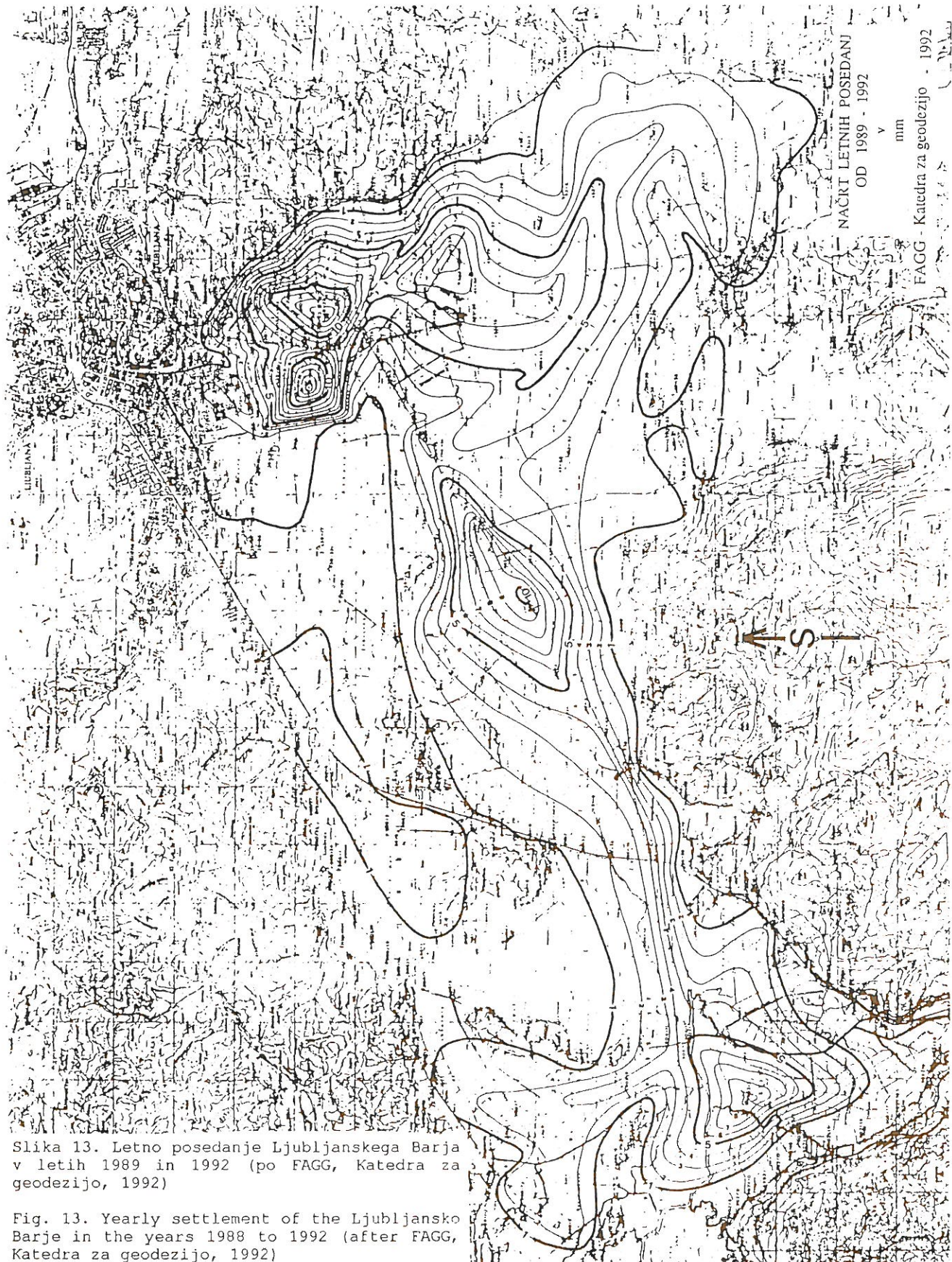
Gladino arteške podtalnice je možno vzdrževati s tem, da ne poglobljamo drenažnih kanalov, da ima Ljubljanica primerno gladino in da pretok dreniranja in črpanja ne preseže



Slika absolutnih poseданj
 od leta 1984 do leta 1992 (enota je cm)
 FAGG - Katedra za geodezijo - 1992

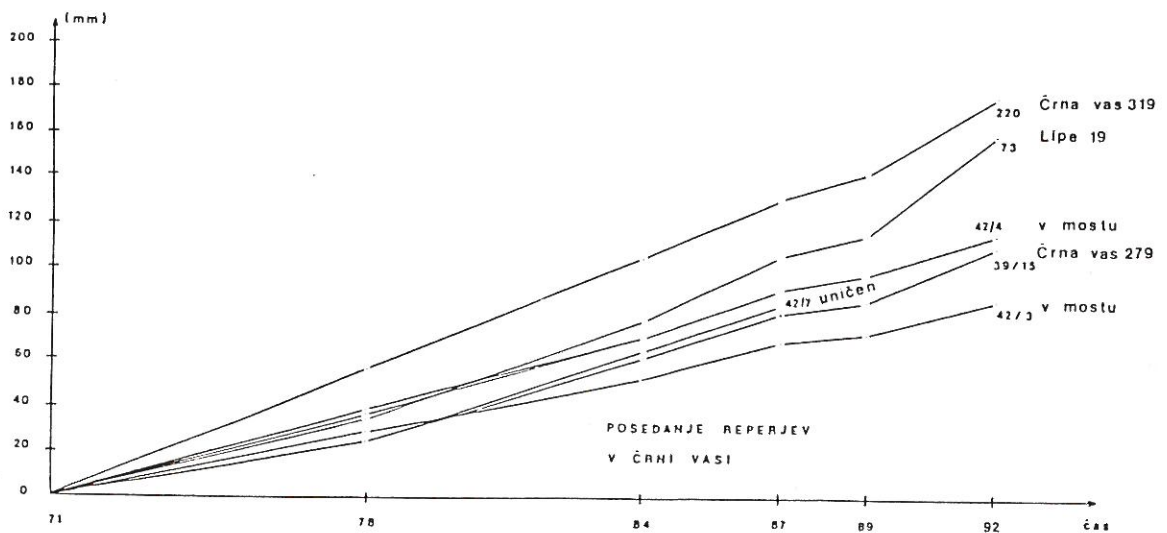
Slika 12. Posedanje Ljubljanskega Barja med leti 1984 in 1992 (po FAGG, Katedra za geodezijo, 1992)

Fig. 12. Settlement of tje Ljubljansko Barje between years of 1984 and 1992 (after FAGG, Katedra za geodezijo, 1992)



Slika 13. Letno posedanje Ljubljanskega Barja v letih 1989 in 1992 (po FAGG, Katedra za geodezijo, 1992)

Fig. 13. Yearly settlement of the Ljubljansko Barje in the years 1988 to 1992 (after FAGG, Katedra za geodezijo, 1992)



Slika 14. Posedanje v letih 1971 do 1992 in situacija višinskih reperjev v Črni vasi na Ljubljanskem Barju (po FAGG, Katedra za geodezijo, 1992)

Fig. 14. Settlement between the years 1971 and 1992 and situated of the elevation marks in the Črna vas on the Ljubljansko Barje (after FAGG, Katedra za geodezijo, 1992)

napajanja arteške podtalnice. Drenažni trakovi in peščeni koli, ki so bili vgrajeni do globine 13 ali 20 m na avtocesti Vrhnika - Ljubljana in na južni ljubljanski obvoznici imajo svoje dno v bližini prvega sloja arteške podtalnice. Verjetno tudi oni delno drenirajo arteško podtalnico.

6. POPLAVE LJUBLJANSKEGA BARJA

Ob sedanjem in pričakovanem posedanju površine Barja je treba spregovoriti še o poplavah in gradnjah na poplavnih področjih (sl. 15). Ob poplavi Gradaščice leta 1926 je bil poplavljen Vič do Tobačne tovarne. Pri viški cerkvi je bila voda globoka 1,5 m in je bila še po drugi svetovni vojni na transformatorju ob osnovni šoli tabla z oznako te gladine. Ob poplavi 1933 leta je bilo poplavljeno vse Barje z južnimi predmestji Ljubljane. V Črni vasi so bile hiše nad 1 m globoko v vodi (sl. 16). Po drugi vojni smo v teh poplavnih področjih izgradili stanovanjske in industrijske soseske v vrednosti več sto milijonov mark (viška industrijska cona, Murgle, Kolezija, del Mirja in Trnovega, Rakova jelša, Ilovica, Galjevica, ob Ižanski cesti, itd.). Ob veliki poplavi Savinje v novembru 1990 je bila skoro vsa škoda na stanovanjskih in industrijskih zgradbah izgrajenih v znanih poplavnih področjih.

Poplave na Ljubljanskem Barju so posledica večjega dotoka kakor odtoka. Pregledni grobi podatki so naslednji. Na Barje lahko doteka ob katastrofalnih padavinah 700 m³/s in sicer dajo izviri kraške Ljubljanice 120 m³/s, Podlipščica 50, Iška 150, Gradaščica 300 in ostali 50 m³/s. Ker lahko odteka skozi ljubljanski prag, ki se napram Barju še dviguje, samo 300 do 400 m³/s se preostala voda razlije po Barju.

Poleg premajhne zmogljivosti iztoka Ljubljanice skozi Ljubljano povzroča poplave še neenakomerno posedanje Barja. V zadnjih letih so se povečale vsakoletne poplave na področju Vrhnika-Preserje in je njihova površina večja kakor v sl. 16. Vzrok sta ali hitro posedanje tega področja (sl. 13) ali delno zasutje struge Ljubljanice s plazovi obrežja ob velikem znižanju gladine Ljubljanice pri podiranju stare zatvornice na Špici, ki verjetno ni sanirano (Brznik, 1985). Ljubljana poplavlja ta del Barja že pri pretokih nad 100 m³/s. Poplave je možno tukaj preprečiti samo z večnamenskimi akumulacijami na Notranjskem in z zadrževalnikom na Podlipščici. Glavni vzrok poplave južnega dela Ljubljane in vzhodnega dela Barja je bil katastrofalni dotok Gradaščice leta 1926. Poplave tega dela Barja je možno preprečiti samo s suhim zadrževalnikom na Gradaščici in z večnamensko akumulacijo na Iški v profilu Vrbica.

7. POVZETEK IN PRIPOROČILA

V zadnjih 40 letih so bile izvršene obsežne, geološke, geotehnične, hidrogeološke, pedološke in geodetske raziskave na Barju. Na obrobju Barja so bila izgrajena 4 črpališča in v sredini več globokih cevnih vodnjakov s skupno zmogljivostjo okrog 700 l/s, ki pa jo sedaj izkoriščajo z manj kot 50 %. Dotok naravnega napajanja arteške podtalnice smo ocenili na osnovi analiz starosti vode z izotopi in klasičnimi metodami strujanja podzemnih voda na 150 do 200 l/s. Naravni iztok je strujanje navzgor skozi polžarico z okrog 50 l/s, iztok v podtalnico Ljubljanskega polja okrog 100 l/s in možno dreniranje z Ljubljano gorvodno Špice.

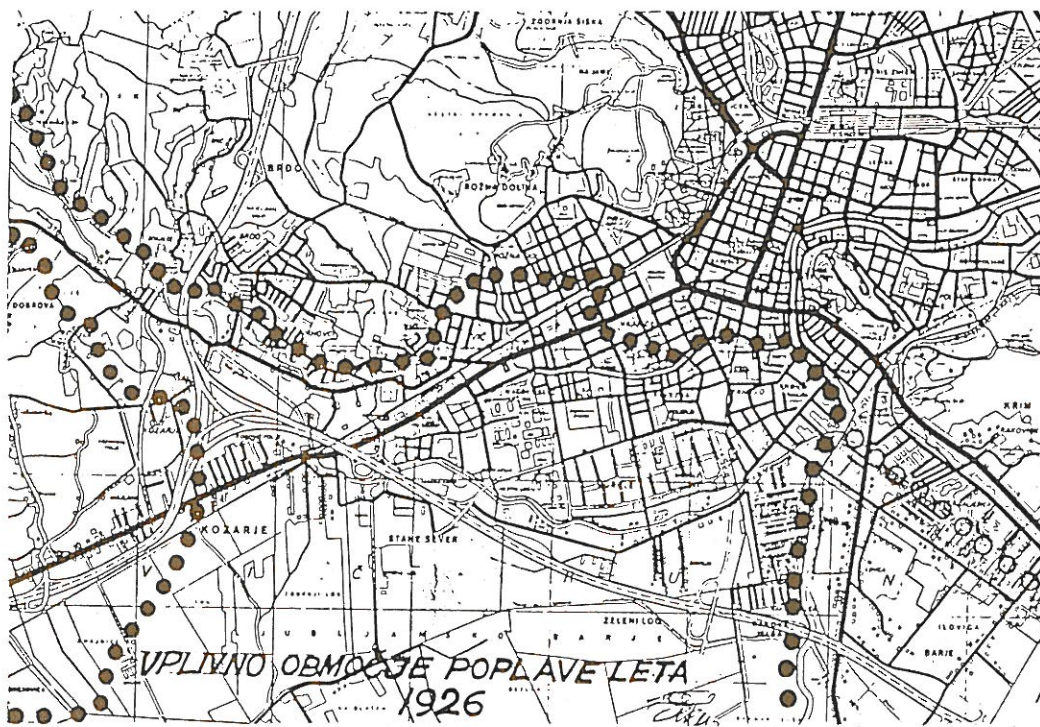
Vpliv človeka na posedanje je izkop drenažnih jarkov in s tem skrajšanje poti strujanja skozi polžarico, možno dreniranje podtalnice z drenažnimi sistemi za konsolidacijo polžarice in barjanske gline pod njo za avtocesto Vrhnika-Rudnik, v zadnjem desetletju predvsem izgradnja cevnih vodnjakov, črpanje za pitno vodo in toplotne črpalke, nekoristni iztoki iz nepravilno zatesnjenih cevnih vodnjakov ter obremenitve s stavbami in avtocesto.

Zmogljivost okrog 700 l/s izgrajenih cevnih vodnjakov verjetno daleč presega napajanje podtalnice. Tolikšno črpanje bi povzročilo padanje piezometrične gladine in veliko novo posedanje tal.

V svetu je običaj, da pretok črpanja iz podtalnic dovoli in nadzira državna ustanova. Ne poznamo vodnogospodarskih dovoljenj za nova javna črpališča, novi cevni vodnjaki za toplotne črpalke in za pitno vodo črnih zgradb pa so verjetno vsi izgrajeni na črno. Največja vodarna Brest ni bila načrtovana in izgrajena za stalno črpanje iz spodnjega vodonosnika, kar se sedaj verjetno dogaja. Iz spodnjega subarteškega vodonosnika, ki je povezan z arteškim vodonosnikom Barja, naj bi črpali samo v zelo sušnih mesecih. Predvideno povečanje vodarne naj bi izvršili s povečanjem sušnega pretoka Iške z akumulacijo Vrbica in z okrog 100 m globokim cevnim vodnjakom na področju vasi Kot s katerim naj bi poskušali zajeti del dotoka k kraškemu izviru Iščica (Breznik, 1975), ki verjetno odvodnjava del področja Krma.

Naravnega ugrezanja kameninske podlage Barja in naravnega posedanja zaradi konsolidacije sedimentov, debelih do 150 m, ne moremo preprečiti, ocenjujemo ga skupno na do 5 mm na leto.

V severozahodnem delu Barja, ki je izven glavnih tektonskih jarkov Bistra-Rudnik in Ig-Ljubljana, so ugrezanja kameninske podlage bistveno manjša (slika 4) zato je tudi debelina sedimentov in njihovo ter skupno posedanje manjše (sliki 11 in 12). Ocenjujemo ga na 1 do 2 mm letno.



Slika 15 . Vplivno področje poplave Gradaščice leta 1926 (po Stanič, 1989)

Fig.15 . Flood area of Gradaščica river in the year 1926 (after Stanič, 1989)

Največja potencialna nevarnost grozi Barju zaradi povečanega črpanja iz arteškega ali subarteškega vodonosnika. Možen padec piezometrične gladine za 10 ali 20 m, kar bi bila nujna posledica prevelikega črpanja in dreniranja, bi povzročil par metrska posedanja površine Barja zaradi razpada strukture polžarice, ki ima 3/4 prostornine vode. Z nujno vzpostavitev režima in opazovanja izkoriščanja podzemnih voda je treba prekomerno črpanje in globoko dreniranje preprečiti. Globoki peščeni koli, zgrajeni za konsolidacijo polžarice in barjanske gline, zelo verjetno drenirajo tudi arteško podtalnico in zato niso sprejemljivi.

Posedanja večjih območij povzročajo nove soseske (Rakova jelša, Ilovica, Črna vas, itd.) zaradi dodatne obremenitve in so sedaj tamkaj skupna letna posedanja od 10 do 15 mm na leto (slika 13). Presoditi je treba ali je tamkaj zgostitev gradnje še smotrna. Vsekakor pa je treba preprečiti nadaljno izgradnjo, verjetno črnih sosesk, ki že rastejo južno od južne obvoznice.

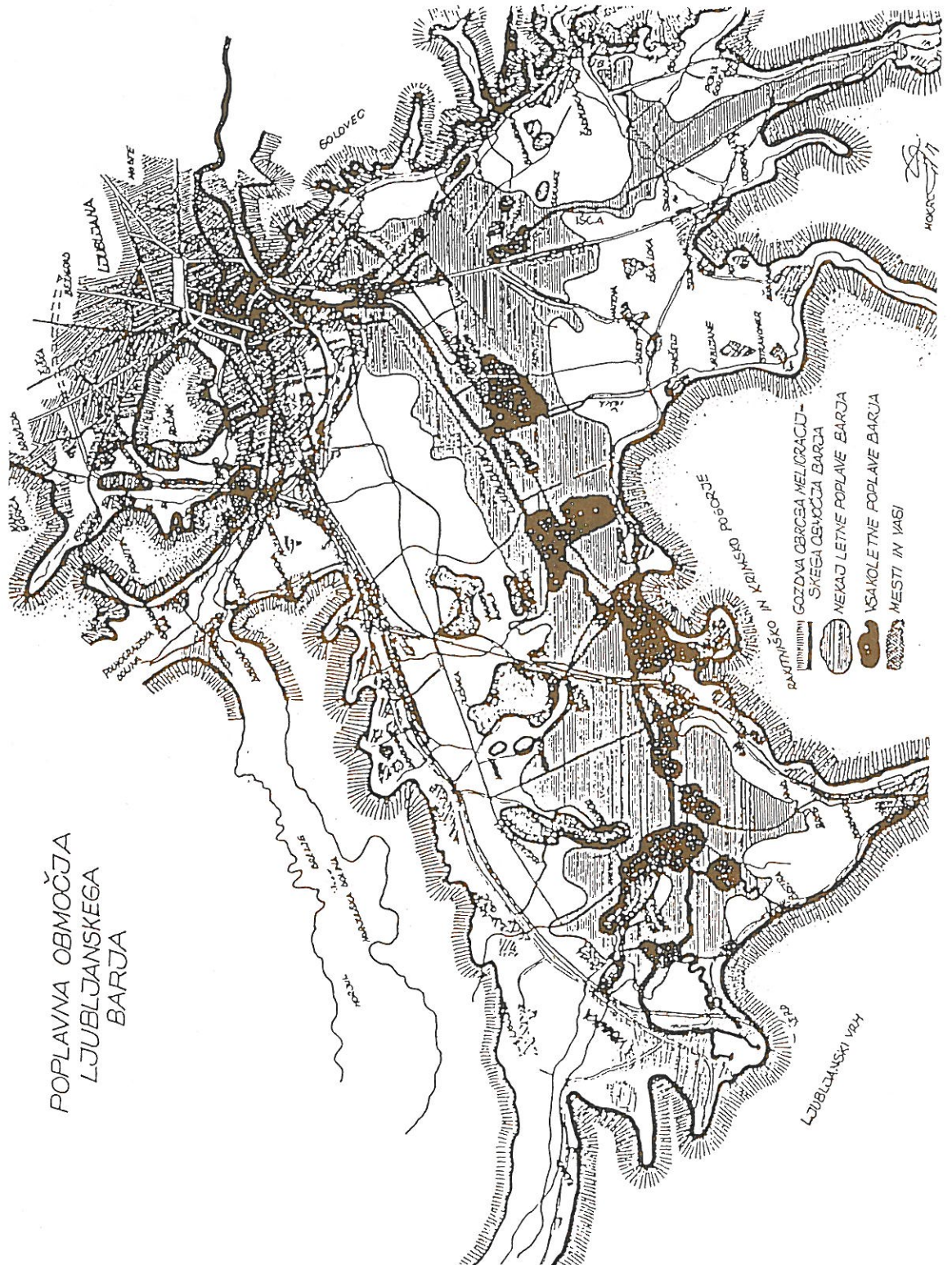
Zmanjšanje večjih poplav Barja s poglobitvijo ljubljanskega praga ni sprejemljivo, ker prenesemo s tem povečano poplavo dolvodno. Po načelih sodobne hidrotehnike je treba visoke vode zadržati tam kjer so nastale, kar je možno samo z akumulacijami. Zaradi preprečenja velike bodoče škode je možno izgraditi večnamenske akumulacije na

Notranjskem in Vrbico na Iški ter suha zadrževalnika na Gradaščici in na Podlipščici.

LITERATURA

Objavljena dela

- Breznik, M. (1962) Akumulacija na Cerkniškem in Planinskem polju. *Geologija*, Ljubljana 119-149
- Breznik, M. (1969) Podtalnica Ljubljanskega polja in možnosti njenega povečanega izkoriščanja. *Geologija*, Ljubljana 165-184
- Breznik, M. (1975) Podtalnica Iškega vršaja. *Geologija*, Ljubljana 289-309
- Breznik, M. (1976) Metodologija zaščite podzemne pitne vode ter določitve varstvenih območij in pasov. *Zasnova uporabe prostora*. Zavod za družbeno planiranje, Ljubljana 111-176
- Breznik, M. (1976) Rezultati analiz izotopov v podtalnici Iškega vršaja. *Papers 3rd Int. Symp. of Underground Water Trasing*, SAZU, Ljubljana, 1977, 233-237
- Breznik, M. (1977) Analiza izotopov vode - pomoč pri določanju trajne zmogljivosti vodnjakov in zaščiti vodonosnikov. *3. posv. hidrotehnikov Slov.*, Ljubljana 139-147



POPLAVNA OBMOČJA
LJUBLJANSKEGA
BARJA

Slika 16 . Poplavna območja Ljubljanskega Barja (po Stanič, 1984)
1 gozdna in ravninska meja Barja, 2 nekaj letne poplave, 3 vsakoletne poplave, 4 naselja

Fig.16 . Flood areas of the Ljubljansko Barje (after Stanič, 1984)
1 Forest and plain limits of the Barje, 2 some years floods, 3 every year floods, 4 settlements

- Breznik, M. (1982) Prispevek k diskusiji o problematiki Barja, SO Ljubljana Vič, Ljubljana 33-34
- Breznik, M. (1983) Večnamenska akumulacija Cerkniško jezero. Gradb.vestnik. Ljubljana, 3-15
- Breznik, M. (1985) Opasnost izgradnje industrije u krasu. Naučna konf. voda i krš, Zbor. radova Akad. za nauku BiH, Mostar 291-292
- Breznik, M. (1985) Perspektiva in problematika podzemnih voda. Univerza, Acta hydrotechnica, Ljubljana
- Breznik, M. (1988) Analiza odlokov o zaščiti Ljubljanskih virov pitne vode. Ljub. ekol.dnevi "88" Zbor.del, Ljubljana 16 str.
- Breznik, M. (1988) Hidrogeološke in hidrološke osnove za zaščito podtalnice Ljubljanskega polja. Naše okolje, Ljubljana 21-25
- Breznik, M. (1990) Ogroženost podtalnice. Ujma, Ljubljana 111-116
- Breznik, M. (1993) Exploitation of Underground Water Reservoirs in Karst. Iransko-Unesco sim. Water Resources in Karst with Special Emphasis in Arid and Semi Arid Zones, Shiraz 13 str.
- Buser, S. (1965) Geološka zgradba južnega dela Ljubljanskega Barja in njegovega obrobja. Geologija, Ljubljana 34-57
- Habič, P. (1976) Geomorphologic and Hydrographic Characteristics. Underground Water Tracing. Investigations in Slovenia 1972-1975. SAZU, Ljubljana 12-27
- Gaberc, A. (1993) Vertikalna in horizontalna vodopustnost barjanskih zemljin. Raz. prvega posv. Slov. geotehnikov 1 knj., Bled 9-14
- Grimišičar, A. Ocepek, V. (1967) Vrtini BV-1 in BV-2 na Ljubljanskem Barju. Geologija, Ljubljana 279-303
- Korošec, B. (1991) Ljubljana skozi stoletja. Mesto na načrtih, projektih in v stvarnosti. Mladinska knjiga, Ljubljana 240 str.
- Mencej, Z. (1981) Aluvialni vršaj Želimejščice. Geologija, Ljubljana 169-171
- Mencej, Z. (1990) Prodni zasipi pod jezerskimi sedimenti Ljubljanskega Barja. Geologija, Ljubljana 517-533
- Ravnik, D. (1965) Geoelektrične raziskave Ljubljanskega Barja. Geologija, Ljubljana 80-91
- Sovinc, I. (1965) Nekaj osnovnih geotehničnih značilnosti sedimentov iz vrtine BV-1 med notranjimi Goricami in Podpečjo na Ljubljanskem Barju. Geologija, Ljubljana 28-33
- Stanič, C. (1984) Poplavna območja Ljubljanskega Barja 1:25.000. Naša komuna 5.6.1984, Ljubljana
- Stanič, C. (1989) Vplivno območje poplave leta 1926. Naša komuna 12.9.1989, Ljubljana
- Šercelj, A. (1965) Paleobotanične raziskave in zgodovina Ljubljanskega Barja. Geologija, Ljubljana 5-27
- Šercelj, A. (1966) Pelodne analize pleistocenskih in holocenskih sedimentov Ljubljanskega Barja. SAZU, Razprave IX/9, IV. razred Ljubljana 431-472
- Šercelj, A. (1974/1975) Palinološke raziskave na Ljubljanskem Barju. Proteus 8-10, Ljubljana 1975 428-433
- Tancig, R. (1965) Pedološke značilnosti Ljubljanskega Barja. Geologija, Ljubljana 58-79
- Žibrik, K., Lewicki, F., Pičinin, A. (1976) Hydrologic Investigations. Underground Water Tracing. Investigations in Slovenia 1971-1975. SAZU, Ljubljana 43-55

Neobjavljena poročila

- Skrajšano hidrološko poročilo za vodarno Brest. (1979) FAGG (Breznik) Ljubljana, 2 str., v arhivu Vodovod-Kanalizacija
- Poročilo o izvedbi vodnjakov in črpalnih poizkusov na črpališču Brest pri Igu. (1981) Geološki zavod (Bizjan, Kokol, Otorepec) Ljubljana, str. 41, pril. 159, v arhivu Vodovod-Kanalizacija
- Raziskava možnosti bogatenja podtalnice Iškega vršaja - leto 1982. (1982) FAGG (Breznik, Steinman) str. 12, pril. 37, v arhivu Zveza vodnih skupnosti
- Raziskava možnosti bogatenja podtalnice Iškega vršaja II. faza. (1984) FAGG (Brilly, Gorišek) Ljubljana, 13 str., 23 pril., v arhivu Zveza vodnih skupnosti
- Hidrološki elaborat minimalnih pretokov Iške. (1984) FAGG (Brilly, Gorišek) Ljubljana 37 str., v arhivu Zveza vodnih skupnosti
- Zmogljivost črpališča Brest v sušni dobi, 2 del. (1984) FAGG (Breznik) Ljubljana 57 str., v arhivu Vodovod-Kanalizacija
- II. faza raziskave podtalne vode na Ljubljanskem Barju. Matematični model podtalnice Ljubljanskega Barja. (1985) FAGG (Brilly, Gorišek) Ljubljana 16 str., 1 pril., v arhivu Zveza vodnih skupnosti
- Matematični model vodonosnika Ljubljanskega Barja III. faza. Priprava podatkov-analiza poizkusnih črpanj. (1985) FAGG (Brilly, Gorišek) Ljubljana, 10 str. 5 pril., v arhivu Zveza vodnih skupnosti
- Hidrološke raziskave na Iškem vršaju za potrebe izgradnje II. faze vodarne Brest in raziskava podtalne vode na Ljubljanskem Barju. II. faza.
- Analiza posedkov (1985) FAGG (Pušlar, Vidmar) Ljubljana 34 str., 22 pril., v arhivu Zveza vodnih skupnosti
- Letno poročilo. Raziskave podtalne vode na Ljubljanskem Barju. III. faza. (1985) Geološki zavod (Žlebnik, Mencej, Klun, Ravnik) Ljubljana, 10 str., 50 pril., v arhivu Zveza vodnih skupnosti
- Mencej, Z. (1990a) Diskusija na okrogli mizi o zaščiti in varovanju Barja 5.4.1990 v glazbeni šoli Vič, Ljubljana, tonski zapis v arhivu MK ZSMS-Liberalna stranka
- Breznik, M. (1990a) Diskusija na okrogli mizi o zaščiti in varovanju Barja 5.4.1990 v glazbeni šoli Vič, Ljubljana, tonski zapis v arhivu MK ZSMS-Liberalna stranka

Izmera nivelmanske mreže I. reda Ljubljanskega Barja (1992) FAGG (Katedra za geodezijo, Vodopivec, Kogoj, Breznikar, Koler, Pajer) Ljubljana, v arhivu Ministrstvo za varstvo okolja

Breznik, M. (1993) Bodočnost Ljubljanskega vodovoda. 97 str., 340 pril., v arhivu Vodovod-kanalizacija

Meritve pretokov na Ljubljanskem Barju dne 10.2.1993, 22.3.1993, 6.5.1993 in 19.7.1993. (1993) FAGG (Umek, Steinman) Ljubljana 9 str., v arhivu Vodovod-kanalizacija

Izotopske raziskave na južnem delu Ljubljanskega Barja. I. delno poročilo. (1993) Institut Jožef Stefan (Pezdič) 4 str., v arhivu Vodovod-kanalizacija

Kontrolne meritve na opazovanih vrtinah. Piezometer G-12 Lipe 1986-1993. (1993) Vodovod-kanalizacija Ljubljana 8 str., v njihovem arhivu

AVTORSKE PRAVICE

Uporaba izsledkov te študije za praktične potrebe, kot so n.pr. določitev dovoljene količine črpanja, posledice zgodovine posedanja itd., je pravica avtorja.