

UDK 556.334.34.38 (497.12) = 863

Prodni zasipi pod jezerskimi sedimenti Ljubljanskega barja

The gravel fill beneath the lacustrine sediments of the Ljubljansko barje

Zvone Mencej

Geološki zavod Ljubljana, Dimičeva 14, 61000 Ljubljana

Kratka vsebina

S prelomi razsekano udorino Ljubljanskega barja so v pleistocenu in holocenu zapolnili rečni in jezerski sedimenti. Skalno osnovo sestavljata na južnem, zahodnem in osrednjem delu zgornjetriadni dolomit in jurski apnenec, na severnem in vzhodnem pa triadni in permokarbonski skrilavi glinovec in peščenjak. Kameninska osnova je na vzhodnem delu Barja globlje pogreznjena kot na zahodnem. Južno od Ljubljane je kameninska osnova v globini čez 150 m. Številne kotanje in globeli so zapolnjene z rečnimi prodno peščenimi sedimenti, ki zavzemajo okoli 75 % celotne površine Barja. Skozi prodne plasti se pretaka podtalna voda, ki je na precejšnjem delu Barja pod arteškim pritiskom. Prodne vodonosnike pod jezerskimi glinami napaja delno ponikla voda rečic, v glavnem pa kraški in razpoklinški vodonosnik. Zaradi razmeroma dobre zaščitenosti pred onesnaženjem s površine, predstavlja podtalnica prodnih vodonosnikov pod Barjem pomemben vir pitne vode.

Abstract

The subsidence area of Ljubljansko barje – the Ljubljana Swamp, drained at present, was filled during Pleistocene and Holocene by fluvial and lacustrine sediments. The basement consists in southern, western and central parts of Upper Triassic dolomite nad Jurassic limestone, and in northern and eastern parts of Triassic and Permo-Carboniferous shaly mudstone and sandstone. The bottom of the basin in the eastern part of Barje is deeper than in the western part. South of Ljubljana the rocky bottom is more than 150 meters deep. Numerous depressions are filled with fluvial gravelly and sandy sediments which form about 75 % of the entire surface of the Barje. The gravel beds are percolated by ground water which occurs in the major part of Barje under artesian pressure. The gravel aquifers below lacustrine clays are recharged in part by water of small rivers, and for the major part by the karstic aquifer. Owing to relatively good protection from pollution from the surface, the ground water of gravel aquifers in Barje represents an important source of drinking water.

Uvod

Po letu 1960 so se začele v zvezi z gradnjo avtoceste na Ljubljanskem barju obsežne geološke raziskave in sicer za temeljenje in gradnjo nekaterih večjih objektov ter zajetja pitne vode. Raziskave so poleg Geološkega zavoda Ljubljana izvedle še

druge raziskovalne organizacije, predvsem Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij in Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Uporabljene so bile predvsem geofizikalne raziskovalne metode ter vrtanja vrtin in vodnjakov z vsemi potrebnimi laboratorijskimi analizami.

Raziskave so pokazale, da so pod barjanskimi glinasto-meljnimi usedlinami ponekod precej debele plasti proda s podtalno vodo pod pritiskom. Raziskave, izvedene med leti 1974–1988 na prodnih vršajih Iške, Borovniščiце in Želimeljščice ter njihovih podaljških pod Barjem, so nakazale, da se verjetno pod precejšnjim delom Barja nahajajo vodonosniki z velikimi količinami zdrave pitne vode. V letih 1983–1988 je Geološki zavod Ljubljana (GZL) izvedel raziskovalno nalogo Raziskave podtalne vode na Ljubljanskem barju. Izvedbo naloge so omogočile Območna vodna skupnost Ljubljana–Sava, Raziskovalna skupnost Slovenije in Mestna raziskovalna skupnost ter Mestni vodovod Ljubljana. Namen naloge je bil na osnovi vseh doslej znanih, pa tudi na novo pridobljenih podatkov ugotoviti razprostranjenost prodnih vršajev rečic pod barjanskimi usedlinami, vodonosnike v prodnih zasipih, njihove osnovne hidrogeološke značilnosti in možnosti izkoriščanja podtalnice brez večjih vplivov na posodanje stisljivih krovninskih barjanskih plasti. Naloga ni bila v celoti izvedena, kot je bilo zamišljeno, predvsem zaradi pomanjkanja denarja.

Kratek pregled pred letom 1983 opravljenih hidrogeoloških raziskav

Ljubljansko barje je že od nekdaj znano kot posebnost tako zaradi težavnosti pri gradnjah kot zaradi pogostih poplav in stalne zamočvirjenosti. Gradnje na barjanskih tleh so vedno povzročale težave, zato so jih morali vseskozi skrbno pripraviti in tla predhodno raziskati. Že v letih 1850–1856 so, pred gradnjo železnice Ljubljana–Trst, izvrtali 14 vrtin med Notranjimi Goricami in Preserjem. Kasneje so izvrtali v okviru posameznih gradenj še številne naslednje vrtine, vendar skoraj vse zato, da bi ugotovili možnosti temeljenja zgradb oziroma prometnic. Pri tem niso posvetili prav nobene pozornosti prodnim vodonosnikom s podtalno vodo pod pritiskom. Šele v vrtinah BV-1 in BV-2, ki sta bili izvrtani v letih 1959–1962, da bi ugotovili globino podlage barjanskih plasti, so prvič opazili pojave arteške vode v prodnih vodonosnih plasteh pod vrhno barjansko glino (polžarico). Pri raziskavah za različne variante avtoceste Vrhnika–Ljubljana so v številnih vrtinah zadeli na arteško vodo. Zato je tedanji Cestni sklad SRS naročil pri GZL študijo hidrogeoloških razmer na Barju, s posebnim poudarkom na preučitvi vpliva arteških voda na gradnjo. V okviru te študije je bilo v letih 1967–68 izvrtanih 23 globokih strukturno-piezometrijskih vrtin z dvojnimi vgrajenimi piezometri – plitvimi piezometri v barjanski polžarici in z globinskimi v prodnem oziroma dolomitnem vodonosniku s podtalno vodo pod pritiskom. V naslednjih letih je bilo opravljenih več sistematičnih opazovanj nihanja gladin v plitvih in globokih piezometrih.

Številni podatki o pojavih arteških podzemnih voda na Barju so spodbudili nadaljnje raziskave prodnih vodonosnikov na Barju, posebej na njegovem južnem obrobju. Želeli so ugotoviti izdatnost vodonosnikov, da bi bile lahko ocenjene možnosti preskrbe z vodo s črpanjem podtalne vode iz teh vodonosnih plasti. Tako je bil v letu 1974 raziskan vrščaj Iške z dvema globokima in več plitvimi vrtinami ter s poizkusnimi črpanji za ugotovitev izdatnosti prodnih vodonosnikov. Predhodno so bile opravljene geofizikalne raziskave in pa meritve pretokov izvirov na stiku proda z barjanskimi plastmi (Ravnik, 1965). Raziskave so pokazale, podobno kot že prej

vrtni BV-1 in BV-2 pri Črni vasi in Notranjih Goricah, da so mlade, glinasto-prodne plasti na Barju debele več kot 100 m.

V letih 1976–1980 je bilo na podoben način raziskano barjansko območje severno od Borovnice, kjer je bil pod barjanskimi plastmi prav tako ugotovljen 30 do 50 m debel prodni vodonosnik s podtalno vodo pod pritiskom.

V letih 1981–83 je bilo raziskano barjansko območje ob spodnjem toku Želimeljščice. Pod barjanskimi plastmi je bil ugotovljen 15 do 20 m debel prodni vodonosnik prav tako s podtalno vodo pod pritiskom.

Kratek morfološki in geološki opis

Ljubljansko barje je močvirna ravnina, ki leži med Ljubljano, Škofljico, Igom, Podpečjo, Borovnico, Vrhniko in Drenovim gričem ter Brezovico. Obsega okrog 120 km². Večino ozemlja sestavlja zamočvirjena ravnina, iz katere se dvigajo kot otoki barjanski osamelci, med katerimi so nekoliko večji Sinja Gorica, Blatna Brezovica, Bevke in Kostanjevica, Plešivica, Vnanje Gorice in Dobčevica, poleg teh pa so še manjši osamelci pri Igu, Škofljici in Vrhniki (Pleničar, 1970).

Po barjanski ravnini teče reka Ljubljanica, ki izvira pri Vrhniki in dobiva številne pritoke tako z leve kot z desne strani. Z leve pritečejo Podlipščica pod Ligojno in Radna pri Brezovici ter številni manjši pritoki, ki se izlivajo v umetno izkopane jarke Zernico, Pekov jarek, Bevški jarek in Curnovec. Med desnimi pritoki so večji Bistra, Borovniščica, Podpeški potok (Strojarček), Iška, Iščica in Želimeljščica, vmes se izlivajo številni kraški izviri.

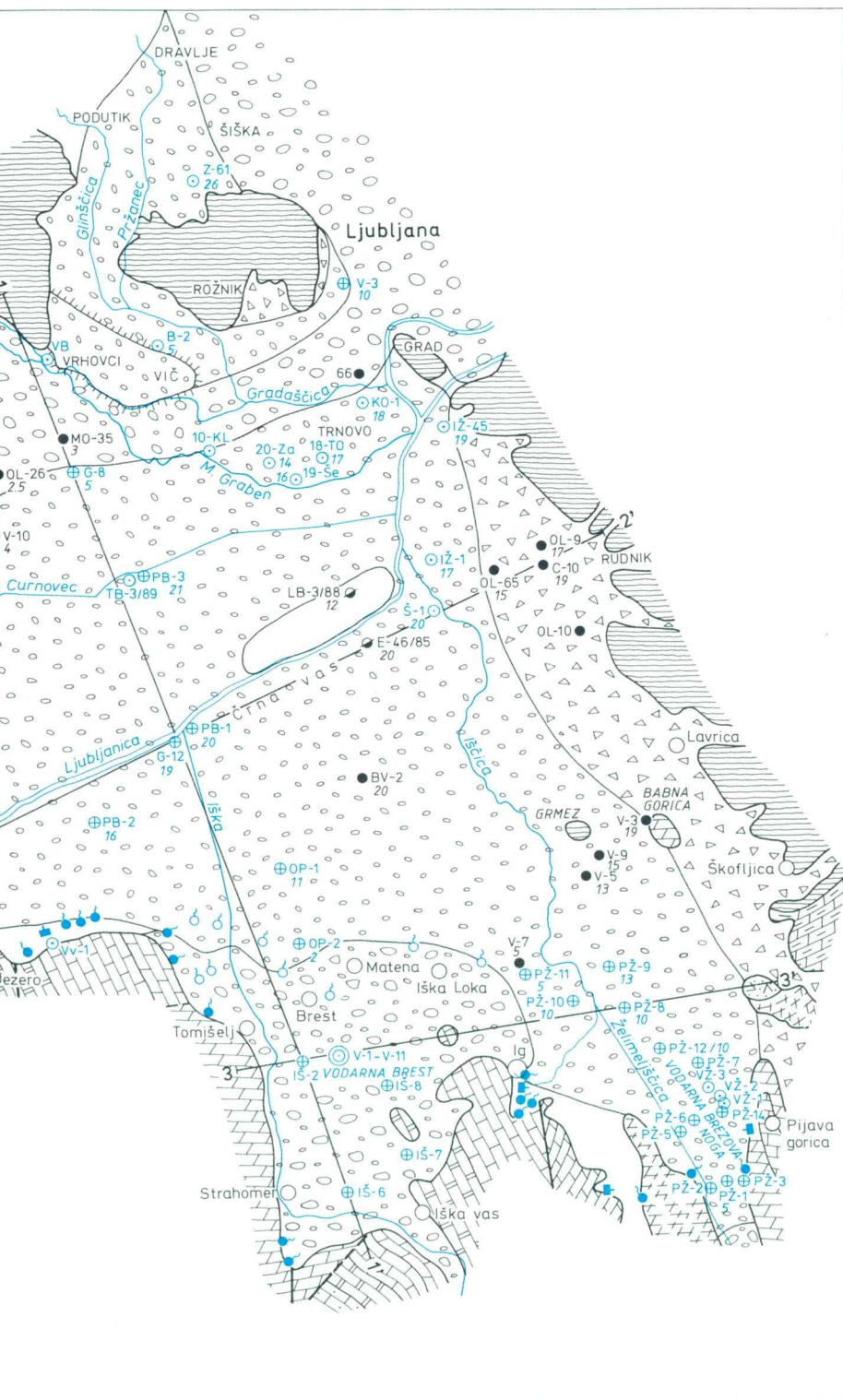
S topografske karte 1:25.000 in iz podrobnih geodetskih meritev je razvidno, da je Barje skoraj povsem ravno in nima nobenega padca v smeri toka Ljubljanice. Nasprotno, opaziti je, da se Barje v smeri njenega toka celo rahlo dviguje. Med Brezovico, Notranjimi Goricami in izlivom Iške v Ljubljanico je površina Barja povečini nad 290 m, medtem ko je zahodno od tod ležeči del Barja med Blatno Brezovico in Notranjimi Goricami povečini nižji od 290 m. Najnižji deli Barja so na koti 287,0 m.

Tudi južno od Ljubljanice je Barje nizko in popolnoma ravno. Površina je povečini nižja od 290 m. Severni del Barja, tj. severno od opuščene proge Ljubljana–Vrhnika pa se rahlo dviga in je površje povečini višje od 290 m.

Vsi ti podatki nam pojasnjujejo, zakaj je ozemlje zamočvirjeno; površinske vode ter s severa in juga pritekajoči pritoki Ljubljanice namreč nimajo skoraj nobenega padca, zato je odtok vode izredno počasen. Razen tega je zaradi neprepustnih in malo prepustnih glinastih in meljnih plasti, ki prekrivajo Barje, pronicanje vode v globino neznatno in se po deževjih voda izredno dolgo zadržuje na površini. Izcejanje meteorne vode v globino preprečuje na večjem delu Barja tudi višji piezometrični pritisk vode prodnih vodonosnikov pod barjanskimi plastmi.

Za odvajanje površinskih voda so bili na Barju izkopani številni kanali in jarki, vendar dokončna melioracija Barja še ni opravljena, ker bi bila za to potrebna velika denarna sredstva. Zamočvirjenost Barja se je ponekod zaradi pomanjkljivega vzdrževanja kanalov in jarkov celo povečala. K temu je pripomoglo tudi stalno posedanje barjanskega površja, kajti po podatkih Tancika (1965) so se v letih 1888–1965 barjanska tla posedla za en do dva metra. Le ob Ljubljani so se tla zaradi naplavljenja reke nekoliko dvignila.

Glavni vodotok na preiskanem ozemlju je Ljubljanica. Ta izvira v številnih izviri



na Vrhniki približno na koti 290,5 m. Od izvirov do vodomera pri mostu na Vrhniki ima pri srednjem vodostaju približno 3 m padca, od tod do vodomera pri bolnišnici v Ljubljani pa na dolžini okrog 26 km le 4 m padca. Razumljivo je, da je njen tok zato izredno počasen, pri večjih deževjih pa pogosto prestopi bregove. Izredno majhen padec je nastal zaradi kotanjaste oblike Barja, ki je upognjena proti sredini, ter verjetno tudi zaradi mladih tektonskih dviganj med Rožnikom, Gradom in Golovcem. Po podatkih, ki jih navaja Rakovec (1955), je dno struge Ljubljanice pri vodomeru na Vrhniki na koti 285,3 m, pri izlivu Iščice 280,7 m, medtem ko je na Špici pri odcepu Gruberjevega kanala skoraj 4 m višje: na koti 284,2 m. Od Tromostovja navzdol prične dno Ljubljanice ponovno enakomerno padati.

Barjanska kotlina je povečini zapolnjena s holocenskimi in pleistocenskimi jezerskimi, močvirskimi in rečnimi naplavinami, ki prekrivajo skalno osnovo. Ta je sestavljena (po podatkih iz vrtin) v zahodnem in južnem delu iz triadnega in jurskega dolomita ter apnenca. V severnem in vzhodnem delu, tj. vzhodno od Drenovega griča in Bevk ter pri Rudniku in Škofljici, pa sestavljajo podlago delno triadni dolomiti in apnenec, povečini pa triadni in permokarbonski skrilavi glinovci in peščenjaki. Podlaga Barja prihaja na dan tudi v barjanskih osamelcih.

Prelomi, ki so bili ugotovljeni na obrobju Barja, se nadaljujejo tudi pod mlajšimi barjanskimi naplavinami. Iz severnega obrobja se nadaljuje preko Bevk, Kostanjevice, Plešivice in Dobčence nariv permokarbonskih skrilavcev, ki pripadajo Škofje-loško-Polhograjski tektonski enoti, na dolomit Krimskega hribovja. Z južnega obrobja Barja se nadaljujejo proti Ljubljani Dobropoljski, Orteški in Želimeljski prelom, proti Brdu poteka Mišjedolski prelom, proti Ligojni pa Borovniški prelom.

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, peščeno-glinasti 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 dolomit, 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 prodne 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

Geoelektrične preiskave ter vrtine, izvrtane v okviru raziskav za avtocesto (Vidic et al., 1979) ter pri raziskavah na borovniškem in iškem vršaju ter vršaju Želimeljščice, so nam dale dokaj točne podatke o globini skalne osnove.

Naplavine, ki zapolnjujejo kotlino, sestoje po podatkih vrtanja in kartiranja na površini delno iz šote, šotnega blata in jezerskega melja (polžarice), delno pa iz rjave peščene gline in peščenega melja, ki sta se odlagala v času občasnih poplav. Večji del barjanske površine sestavljata šota in polžarica. Poplavni peščeno-glinasti sedimenti prekrivajo zahodni del Barja med Verdom, Vrhniko, Ligojno, Drenovim gričem in Brezovico vse do osamelcev Kostanjevica, Plešivica in Vnanje Gorice ter vzhodno obrobje Barja od Rakovnika do Škofljice. Na severnem in vzhodnem obrobju barjanske kotline so nastali ob prehodu hudourniških pritokov Ljubljanice s hribovja v ravnino precej obsežni vršaji, sestavljeni iz peščene gline, glinastega melja z gruščem oziroma slabo zaobljenih prodnikov peščenjaka in skrilavega glinovca (razen vrščaj Gradaščice, ki ga sestavljajo poleg prodnikov peščenjaka in skrilavega glinovca še prodniki karbonatnih kamenin).

Na južnem obrobju Barja so nastali ob prehodu Borovniščice, Iške in Želimeljščice iz ozkih dolin na Barje obsežni prodni vršaji, ki tonejo daleč proti severu pod barjanske plasti (sl. 1).

Pod vrhnjimi šotnimi, meljnimi in glinastimi plastmi leže na vzhodnem delu Barja lahko gnetne jezerske gline in glinasti melji ter trdnejše peščene gline, ki so se usedale ob občasnih poplavah Barja. Med te plasti so vložene močvirske organske gline in šota, pa tudi pesek in prod peščenjakov. Podatki iz vrtin kažejo, da leže na osrednjem in vzhodnem delu Barja jezerske glinaste plasti ponekod neposredno na kraški glini, pod katero sta dolomit ali apnenec. Na že omenjenem podaljšku borovniškega vršaja ter med Gradaščico, Iško in Želimeljščico pa leži prod neposredno na podlagi dolomita oziroma skrilavega glinovca in peščenjaka (sl. 2).

Hidrogeološke značilnosti ozemlja

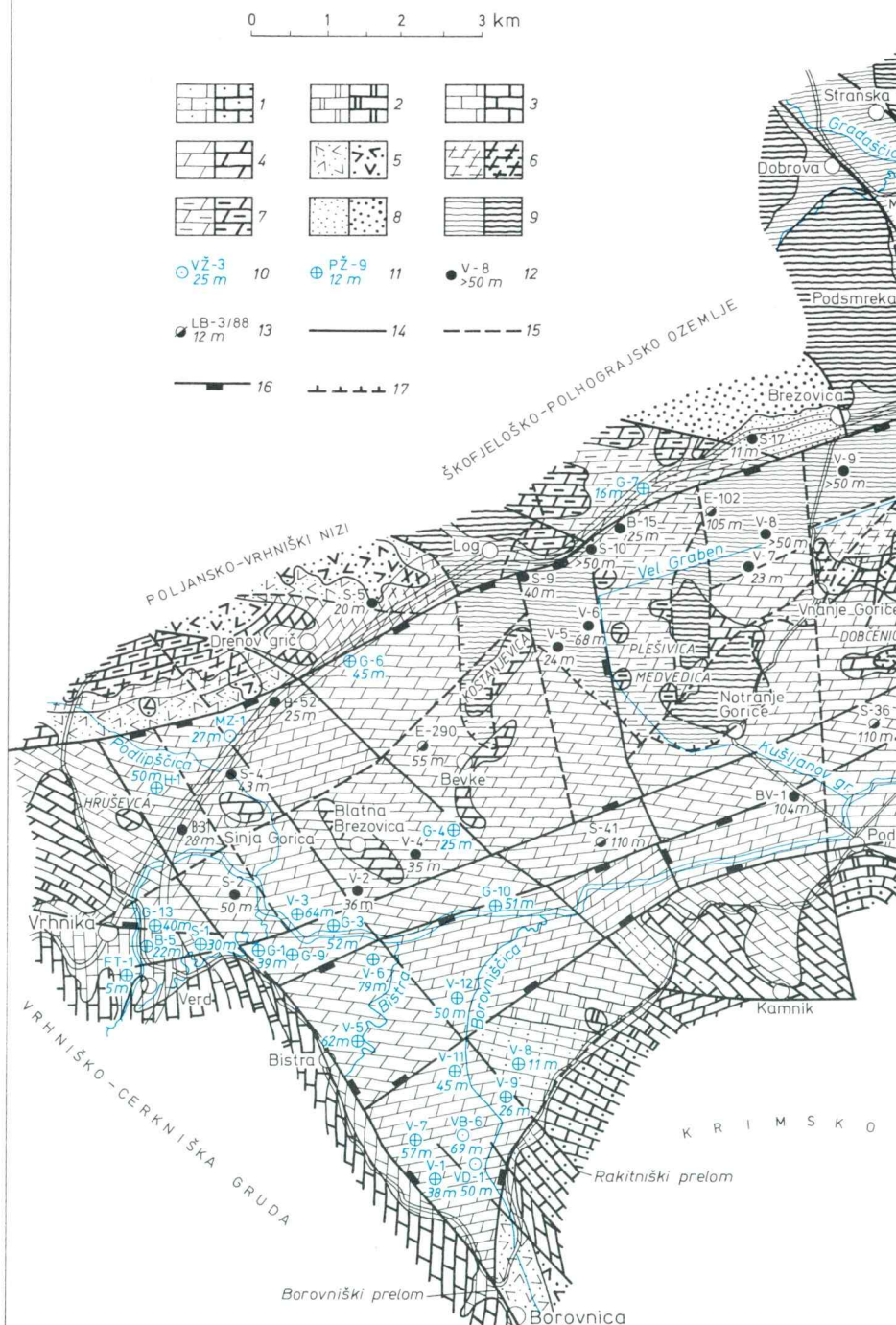
Padavinsko zaledje

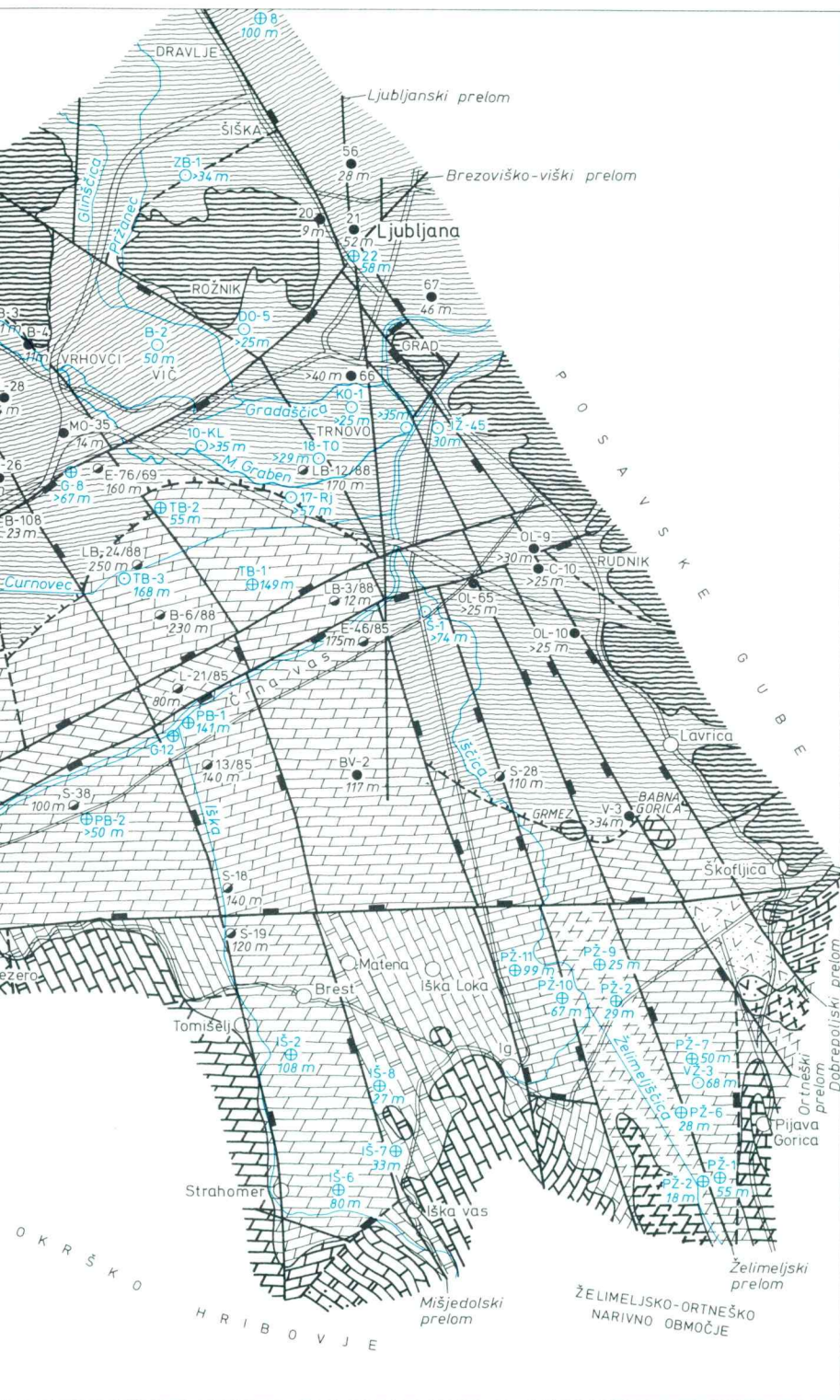
Barjanska kotlina pripada povodju Ljubljanice. Na severu poteka razvodnica proti Gradaščici le en do dva kilometra od roba Barja po grebenih Debelega in Loškega hriba ter Kremenika. Proti zahodu in jugu razvodnica ni povsem zanesljivo znana, ker poteka po močno zakraselem ozemlju. Padavinsko zaledje močnih kraških izvirov pri Vrhniku (Primčev studenec, Hribske vode, Močilnik, Retovje, Ljubija in Bistra) ter izvirov na vznožju Krimskega hribovja, sega do povirja Hotenjke, Logaščice, Pivke, Cerkniškega jezera in Rakitniške planote. Celotno padavinsko zaledje kraških izvirov na zahodnem in južnem obrobju Barja obsega okrog 1300 km² ozemlja. S tega ozemlja odtoka v omenjene izvire (po približnih podatkih) ob visokih vodah največ 200 m³/sek, ob nizkih pa okrog 4,4 m³/sek vode.

Na severnem obrobju Barja (brez Gradaščice) je zaradi sorazmerno majhnega padavinskega zaledja dotok površinske vode in podtalne vode (v izvirih) veliko manjši. Pri visokem stanju vode doteka s tega območja skupaj okrog 50 m³/sek, pri nizkem pa okrog 0,2 m³/sek vode. Na vzhodnem obrobju Barja poteka meja padavinskega zaledja sorazmerno blizu barjanskega roba po grebenih Golovca, Orel, Lanišča in po grebenih nad Pijavo Gorico. Padavinsko zaledje je majhno, zato tudi dotok ni posebno velik (Žlebnik, 1969).

Sl. 2. Karta predkvartarne podlage Ljubljanskega barja

Fig. 2. Map of the Pre-Quaternary Basement of the Ljubljansko barje





Sorazmerno veliki povodnji in velika pretoka imata Iška in Želimeljščica, ki tečeta v Ljubljano prek jugovzhodnega dela Barja. Iška ima pretok 0,17–2 m³/sek, Želimeljščica 0,15–2 m³/sek. Želimeljščica se izliva v kraški vodotok Iščico, ki ima pretok pred sotočjem z Želimeljščico od 0,5–1,5 m³/sek.

Prodni zasipi rečic in potokov

Prodni zasip Podlipščice

Na zahodnem robu priteče na Barje Podlipščica, ki se pri osamelcu Sinja Gorica izliva v Ljubljano.

Na osnovi podatkov iz vrtin, ki so bile izvrtane v okviru raziskav za avtocesto, in raziskovalnih vrtin, izdelanih v okviru hidrogeoloških raziskav podtalnice borovniškega vršaja, je razmeroma natančno ugotovljena stara struga Podlipščice oziroma njen prodni zasip, ki ga je nasula v pleistocenu in holocenu. Podlipščica je v pleistocenu tekla iz Podlipske doline mimo Vrhnike, med osamelcema Sinja Gorica in Hraševica proti Bistri in se je vzhodno od Bistre združila s staro strugo Borovniščice (v vrtinah V-7, V-4 in V-12 se prepletata prod Borovniščice in Podlipščice).

Severna meja prodnega zasipa poteka po severnem robu Podlipske doline mimo Sinje Gorice do sotočja Ljubljane in Ljubije, nato okoli 2 km ob Ljubljani in se 500 m vzhodno od sotočja Bistre in Ljubljane združi s severno mejo vršaja Borovniščice. Južna meja poteka od Podlipske doline po jugozahodnem obrobju Barja do okoli 1000 m jugovzhodno od Bistre (vrtina V-7), kjer pride pod barjanskimi usedlinami v stik z vršajem Borovniščice.

V Podlipski dolini je prodni zasip prekrit z do 2 m debelo plastjo meljne glin, med Sinjo Gorico in Vrhniko pa z okoli 10 m debelim pokrovom barjanskih usedlin. Debelina glinastega pokrova je na območju, kjer se Ljubija izliva v Ljubljano, že okoli 20 m in vzhodno od Bistre, kjer pride v stik z zasipom Borovniščice, okoli 36 m (vrtina V-6).

Med Vrhniko in Sinjo Gorico je kameninska podlaga, ki jo sestavlja dolomit

1 Oolitni apnenec (zg. lias in dogger); 2 Menjavanje apnenca in dolomita (sp. jura); 3 Apnenec in dolomit (sp. jura); 4 Plastoviti in pasoviti dolomit (nori in retij); 5 Tuf, peščenjak in apnenec (sp. in sr. karnij); 6 Kristalasti dolomit (sp. karnij); 7 Lapornati dolomit, lapor, meljevec in glinovec (sp. triada); 8 Grödenski peščenjak in konglomerat (sr. perm); 9 Skrilavi glinovec, peščenjak in konglomerat (permokarbon); 10 Vodnjak, kaptažna vrtina z označeno globino do kameninske podlage; 11 Vrtina – piezometer z označeno globino do kameninske podlage; 12 Geomehanska vrtina, raziskovalna vrtina z označeno globino do kameninske podlage; 13 Geoelektrična sonda z označeno globino do kameninske podlage; 14 Prelom; 15

Domnevni prelom; 16 Relativno spuščeni blok; 17 Nariv

S tankimi šrafurami je prikazana kameninsko-starostna podlaga Barja

1 Oolitic limestone (Up. Lias and Dogger); 2 Interbedding of limestone and dolomite (Low. Jurassic); 3 Limestone and dolomite (Low. Jurassic); 4 Layered and banded dolomite (Norian and Rhaetian); 5 Tuff, sandstone and limestone (Low. and Mid. Carnian); 6 Crystalline dolomite (Low. Carnian); 7 Marly dolomite, marl, siltstone and mudstone (Low. Triassic); 8 Gröden sandstone and conglomerate (Mid. Permian); 9 Shaly mudstone, sandstone and conglomerate (Permo-Carboniferous); 10 Well, capture borehole with marked depth to the rocky basement; 11 Borehole with marked depth to the rock basement; 12 Geomechanical borehole, research borehole with marked depth to the rocky basement; 13 Geoelectrical probe with marked depth to the rocky basement; 14 Fault; 15 Supposed fault; 16 Relatively depressed block; 17 Overthrust;

In thin hatching, the lithology and stratigraphy of the Barje basement are shown

v globini med 20 in 40 m (nadm. višina 270 do 250 m). Vrtina V-6, izvrtana severno od Bistre, je zadela podlago (dolomit) v globini 79 m (nadm. višina 211 m) in vrtina V-5, izvrtana pri Bistri, v globini 61,60 m (nadm. višina 228 m).

Največja debelina prodnega zasipa Podlipščice je severno od Bistre okoli 43 m (vrtina V-6). Prodni zasip Podlipščice je za vodo slabo prepusten. Prodniki so drobni, prevladujejo karbonatni, veliko pa jih je tudi iz peščenjaka. Prodni zasip je pomešan z veliko rjavega in sivega melja in peska. Vmes so plasti gline. Podtalnica je pod arteškim pritiskom. V vodi je precej raztopljenega železa. Za oskrbo s pitno vodo je vodonosnik v vršaju Podlipščice manj pomemben.

Prodni zasip Borovniščice

Mimo Borovnice priteče z juga na Barje Borovniščica, ki se približno 4 km severno od Borovnice izliva v Ljubljanico. Še okoli 500 m severno od Borovnice je viden prodni zasip Borovniščice na površini, potem pa sorazmerno strmo tone pod barjanske glinaste plasti. Z raziskovalnimi vrtinami, ki so bile izvrtane v okviru raziskovalne naloge Hidrogeološke raziskave podtalnice vršaja Borovniščice, je ugotovljeno, da poteka zahodna meja prodnega zasipa od Borovnice mimo Dola, vzhodno od Bistre, nato proti severu mimo posestva Ljubljanskih mlekar, južno od vrtine G-10 in verjetno južno od Notranjih Goric (južno od vrtine BV-1) še 2 km proti vzhodu, kjer se združi s prodnim zasipom Iške. Vzhodna meja poteka od Borovnice po Borovniščici mimo Brega proti severu, zahodno od vrtine V-8, nato pa se obrne proti severovzhodu v smeri proti Podpeči in se okoli 1,5 km vzhodno od Podpeči verjetno združi z vršajem Iške (Mencej, 1988).

Na območju vodnjakov, ki oskrbujejo s pitno vodo vodovoda Vrhnike in Borovnice, je debelina jezerskih sedimentov na vrhu 12 do 15 m. Debelina prodnega zasipa pod njimi je okrog 50 m. Z vrtino BV-1, severno od Podpeči, je prevrtan prod pomešan z glino (verjetno starejši prod Borovniščice) od globine 49 m (nadm. višina 241 m) do 100 m (nadm. višina 190 m). Od 100 m do 105 m imamo v vrtini slabo zaobljen prod, ki ga je nanesla voda z dolomitnega osamelca Notranje Gorice (Pavlovac, 1959).

Na območju vodnjakov severno od Borovnice je najgloblje navrtana kameninska dolomitna podlaga v vrtini V-13 (poleg vodnjaka VB-5) v globini 69 m (nadm. višina 221 m). Prodni zasip je odložen neposredno na podlago. Z vrtino BV-1 je navrtana podlaga (dolomit) v globini 103 m (nadm. višina 187 m) (Grimšičar & Očepek, 1967).

Prodni zasip Iške

Iška je na južnem delu Ljubljanskega barja nasula vršaj velikega obsega. Ta je viden na površini med Iško vasjo–Strahomerjem–Tomišljem–Brestom–Iško Loko in Igom. Severno od črte Podkraj–Brest–Iška Loka–cesta Ig–Ljubljana tone prodni zasip daleč proti severu pod jezerske gline. Najdalj na severu je prodni zasip Iške zanesljivo ugotovljen v vrtini PB-1, v Črni vasi pri sotočju Iške in Ljubljanice. Vrtina je zadela kameninsko osnovo (dolomit) v globini 141 m (nadm. v. 147 m). Vodnjak TB-3 ob Curnovcu, okoli 2 km južno od Dolgega mostu je prevrtal prodni zasip Gradaščice (karbonatni prodniki in prodniki peščenjaka in skrilovega glinovca) od globine 20 do 40 m. Sledi 8 m debela glinasta plast in pod njo, do globine 76 m, prod Gradaščice pomešan s savskim prodom. Od 76 do 168 m (nadm. v. 125 m) je prevrtan verjetno samo prod Iške.

Sl. 3. Morfološka karta podlage Ljubljanskega barja

Fig. 3. Morphological map of the basement
of the Ljubljansko barje

0 1 2 3 km

- Globel v podlagi
Hollow in the basement

+ Greben v podlagi
Ridge in the basement

—200— Izohipse podlage Ljubljanskega barja z nadmorsko višino v metrih
—220— Contour lines of the basement with elevations above the sea level in meters





Med obema vrtinama ob dveh vzporednih prelomih, ki potekata v smeri jugozahod-severovzhod vzdolž Ljubljane, je podlaga (podatki geofizikalnih raziskav) močno dvignjena. Na zahodu je zanesljivo ugotovljen prodni zasip Iške z vrtino PB-2 pri domačiji Kozler (ob cesti Črna vas-Podpeč) in sicer od globine 15,5 m (nadm. višina 273 m) do globine najmanj 50 m (nadm. višina 238,50 m). Vrtina ni izvrtana do podlage. Prodni zasip Iške, pomešan s prodnim zasipom Želimeljščice, je ugotovljen v vrtini Š-1, ki je izvrtana na križišču cest Črna vas-Ig-Ljubljana in sega od globine 20 m (nadm. višina 269 m) do najmanj 74 m pod površino (nadm. višina 215 m). Tudi vrtina Š-1 je ostala v prodnem zasipu. Vzhodo od Iga je z vrtinami, izvrtanimi v okviru raziskovalne naloge Hidrogeološke raziskave pitne vode v nanosu Želimeljščice (Mencej, 1983, 1985) razmeroma natančno omejen mlajši prodni zasip Iške. Z vrtino PŽ-12 je prevrtan mlajši prodni zasip Iške (zgornji vodonosnik) v globini od 12,5 m (nadm. višina 278,5 m) do 12,90 m (nadm. višina 278 m). Severovzhodno od Iga oziroma v bližini osamelca Grmez je vrtina V-9 prevrtala mlajši prod Iške v globini od 15 m (nadm. višine 275 m) do 16,5 m (nadm. višina 273,50 m).

Pri vrtini OP-2, 300 m severno od Bresta, so jezerski sedimenti debeli 2 m, pri vrtini OP-1 okoli km severneje pa že 11 m. Ob Ljubljani v Črni vasi sega debelina jezerskih usedlin 20 m globoko (nadm. višina 268 m). V vrtini Š-1, na križišču cest Ig-Ljubljana in Črna vas-Podpeč, je debelina jezerskih sedimentov tudi okoli 20 m. Na območju vzdolž Curnovca je debelina jezerskih sedimentov med 15 m in 20 m.

Prodni zasip Želimeljščice

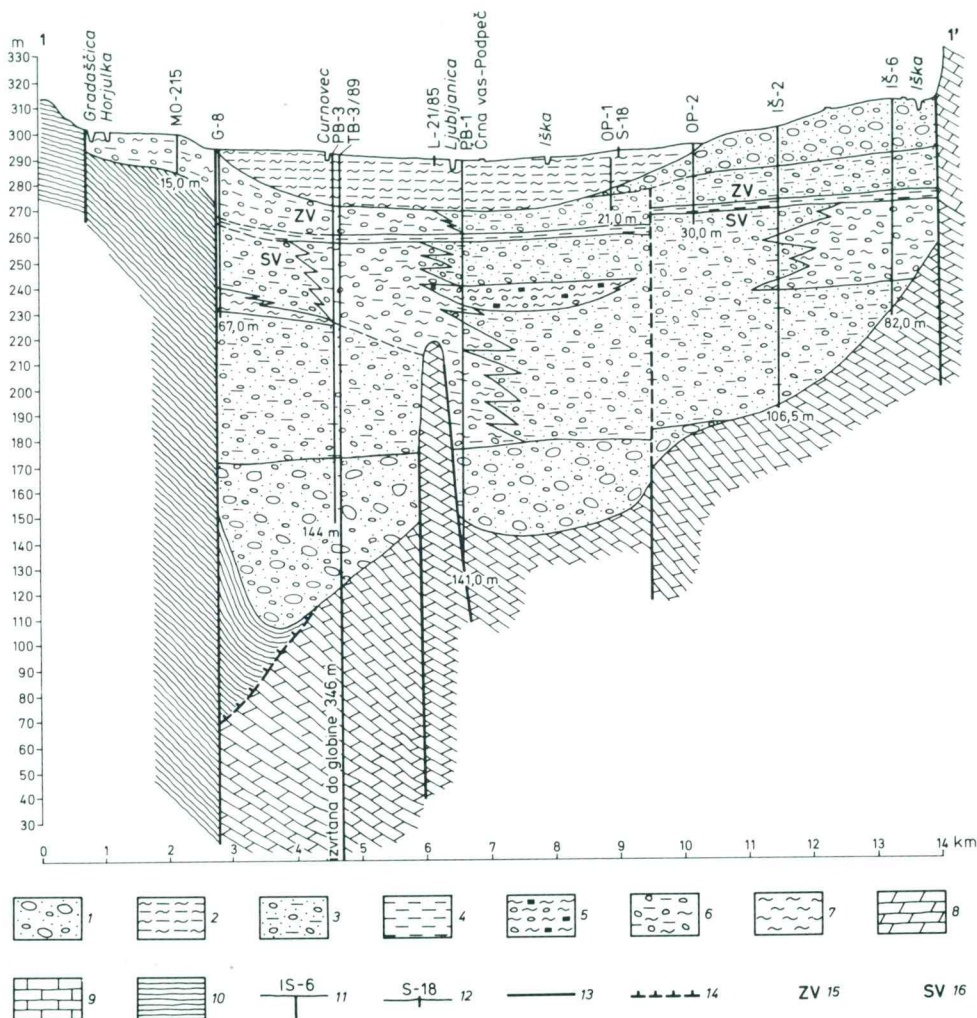
Želimeljščica priteče na Barje na skrajnem jugovzhodnem robu. Tudi Želimeljščica je nasula v pleistocenu in holocenu obsežen vršaj še daleč na Barje proti severu (Mencej, 1981).

Z vrtino PŽ-1, ki je izvrtana sredi doline jugozahodno od Pijave Gorice, je ugotovljeno, da se pod 5 m debelimi barjanskimi glinami prične prodni zasip, ki sega do globine 56 m (nadm. višina 239 m). Vrtine, ki so izvrtane prečno na dolino, v črti Kremenica-Pijava Gorica, so razmeroma natančno dokazale staro strugo Želimeljščice, ki poteka vzhodno od Želimeljskega preloma, ob katerem se je podlaga spustila za okrog 30 m. Na območju raziskovalne vrtine PŽ-15 in vodnjaka VŽ-3 je kameninska podlaga v globini 68 m. (nadm. višina 224 m).

Z vrtino PŽ-8 je prevrtan prodni zasip Želimeljščice pod mlajšim prodnim zasipom Iške, to je od globine 13 m (nadm. višina 261 m). Kameninska podlaga je dolomit. Predvidevamo, da poteka vzhodna meja vršaja Želimeljščice vzhodno od vodnjakov VŽ-1 in VŽ-3 (Ortneški prelom) zahodno od Gumniškega vrha mimo osamelca Babna Gorica in naprej proti severu. Zahodna meja poteka mimo Kremenice, vzhodno od vrtine PŽ-10 in naprej proti severu, kjer se severozahodno od Grmeza verjetno združi z vršajem Iške (sl. 3).

Prodni zasip Gradaščice

Gradaščica je nanese vršaj na severovzhodnem delu Barja. Meja med vršajem Gradaščice, ki je viden na površini, in barjanskimi sedimenti, poteka od Gorjanca vzporedno z avtocesto do Dolgega mostu (Drobne & Tovornik, 1961). Od tod dalje poteka meja mimo »smetišča«, kjer se obrne proti severovzhodu, in mimo igrišča na Viču. Tu se obrne proti severu, prečka progo, kjer se obrne in usmeri južno od Viške terase v dolino Gradaščice. Vzhodno od doline Gradaščice leži prodni zasip Gradaščice na prodnem zasipu Save. Južneje od tod pa nastopa prod Gradaščice



Sl. 4. Prečni profil 1-1' čez vzhodni del Ljubljanskega barja

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. 4. Transversal profile 1-1' across the eastern part of Ljubljansko barje

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

v več plasteh; vmes so poplavno-zaježitveni in jezerski sedimenti. Tako je vrtina G-8, izvrtana ob cesti Ljubljana–Vrhnika, do globine 34 m prevrtala te plasti in nato pod 2–3 m debelo plastjo melja še savski prod, pomešan s prodom Gradaščiце. Vodnjak TB-3 ob Curnovcu je prevrtal prod Gradaščiце od 18 do 40 m in prod Gradaščiце pomešan s savskim prodom od 48 do 76 m. Prodniki peščenjaka v jedru vrtine PB-1 v Črni vasi kažejo na to, da je Gradaščiца naplavljalna prod proti jugu še najmanj do Ljubljanice (sl. 4).

V dolini Gradaščiце, to je severno od ceste Ljubljana–Vrhnika, sega prodni zasip le do globine okrog 14 m. Kameninsko podlago sestavljajo permokarbonski skrilavi glinovci in peščenjaki.

Prodni zasip Save južno od Ljubljane

Iz vseh rezultatov raziskav na severovzhodnem delu Barja lahko predvidevamo, da savski prod zapolnjuje globel, ki poteka na vzhodu zahodno od Galjevice do sotočja Ljubljanice in Iščiце, na jugu še južno od Curnovca (mimo Rakove jelše), na zahodu skoraj do Vnanjih Goric ter na severu do ceste Vrhnika–Ljubljana. Vzhodno od Malega grabna je Sava odložila svoj prod med Rožnikom in Podutikom (dolina Glinščiце) ter Rožnikom in Gradom. Na tem delu je savski zasip najvišje ohranjen na staropleistocenski Viški terasi in Draveljskem brdu (Grad & Ferjančič, 1976). Razen geomehanskih plitvih vrtin so v dolini Glinščiце pri Brdu izvrtane 3 kaptažne vrtine. Iz podatkov vrtin (B_1 , B_2 in B_3) je razvidno, da sega mlajši zasip potokov iz obrobja v vrtini B-2 do globine 11,8 m, pod njim je savski prod do globine 50 m (Žlebnik, 1983). Podlago sestavljajo za vodo neprepustni permokarbonski skrilavi glinovci. Pri Dravljah je savski prod na površini in sega do globine okoli 10 m, kjer so neprepustne plasti melja in gline (nanos hudournikov), nato pa pod njimi ponovno savski prod. Samo savski prod je ugotovljen z vrtinami vzhodno od Celovške ceste (Žlebnik, 1969).

Mlajši nanos potokov z obrobja, to je iz območja, ki ga sestavljajo permokarbonski peščenjaki in skrilavni glinovci, prekriva savski prod po vsej dolini Glinščiце do Draveljske gmajne ter okrog Rožnika severno od Tržaške ceste do Gradu, Tivolija in do Pivovarne Union. Na območju vzhodno od črte Tivoli–Grad se plasti stanjšajo in preidejo v prod Ljubljanskega polja. Debele so te plasti največ okrog 17 m. Povsod v mlajšem nanosu zasledimo visečo podtalnico, ki se v glavnem napaja iz ponikle vode hudournikov in padavin. Viseča podtalnica odteka tako pri Dravljah, kot med Rožnikom in Gradom v prodni zasip Ljubljanskega polja. Zaradi zablatenosti struge Ljubljanice je manj verjetno, da bi zgornjo podtalnico odvajala Ljubljanica. Čeprav ne gre za pretakanje večjih količin vode v prodni vodonosnik Ljubljanskega polja, bo potrebno preprečiti onesnaževanje z vodo viseče podtalnice, posebno še v Kosezah in Podutiku, kjer lahko onesnažena podtalnica vpliva na kvaliteto vode v vodarni Kleče.

Po podatkih Verbovska (ustno sporočilo) so številne vrtine za toplotne črpalke v Murglah in Trnovem zadele savski prod 18 do 30 m pod površino. Po prevrtanju neprepustnih peščeno glinastih sedimentov se je raven vode dvignila na 6–8 m pod površino.

Vrtina TB-2 (južno od Plutala) je prevrtala savski prod od 20 do 50 m. Vrtina TB-1 (južno od Curnovca) pa od 20–149 m (Verbovska, ustno sporočilo). Z vrtino G-8 ob cesti Ljubljana–Vrhnika, je savski prod pomešan s prodom Gradaščiце prevrtan od 34 do 56 m. Z vodnjakom TB-3 ob Curnovcu pa je savski prod, pomešan s prodom Gradaščiće, prevrtan od 48 do 76 m.

Savski prod je tudi blizu površine v pasu med Malim grabnom na jugu in železniško progo na severu. Na zahodu sega do prodnega zasipa Gradašče na Viču. Vzhodno od ožine Grad–Rožnik preide v savski prod Ljubljanskega polja.

Peščeno-prodni zasipi potokov z obrobja

Hudourniki in potoki, predvsem z obrobja, ki ga sestavljajo permokarbonski peščenjaki in skrilavi glinovci, so na severnem in vzhodnem delu Barja v globeli in kotanje nanašali slabo zaobljen prod peščenjakov in skrilavih glinovcev. Med Brezovico (Gorjanc) in Drenovim gričem, so pod vrhnjimi glinastimi plastmi prevrtali večje število peščeno-meljastih plasti s prodniki peščenjakov in skrilavih glinovcev. Te plasti se menjavajo s plastmi melja in gline, v njih pa ni zvezne podtalnice.

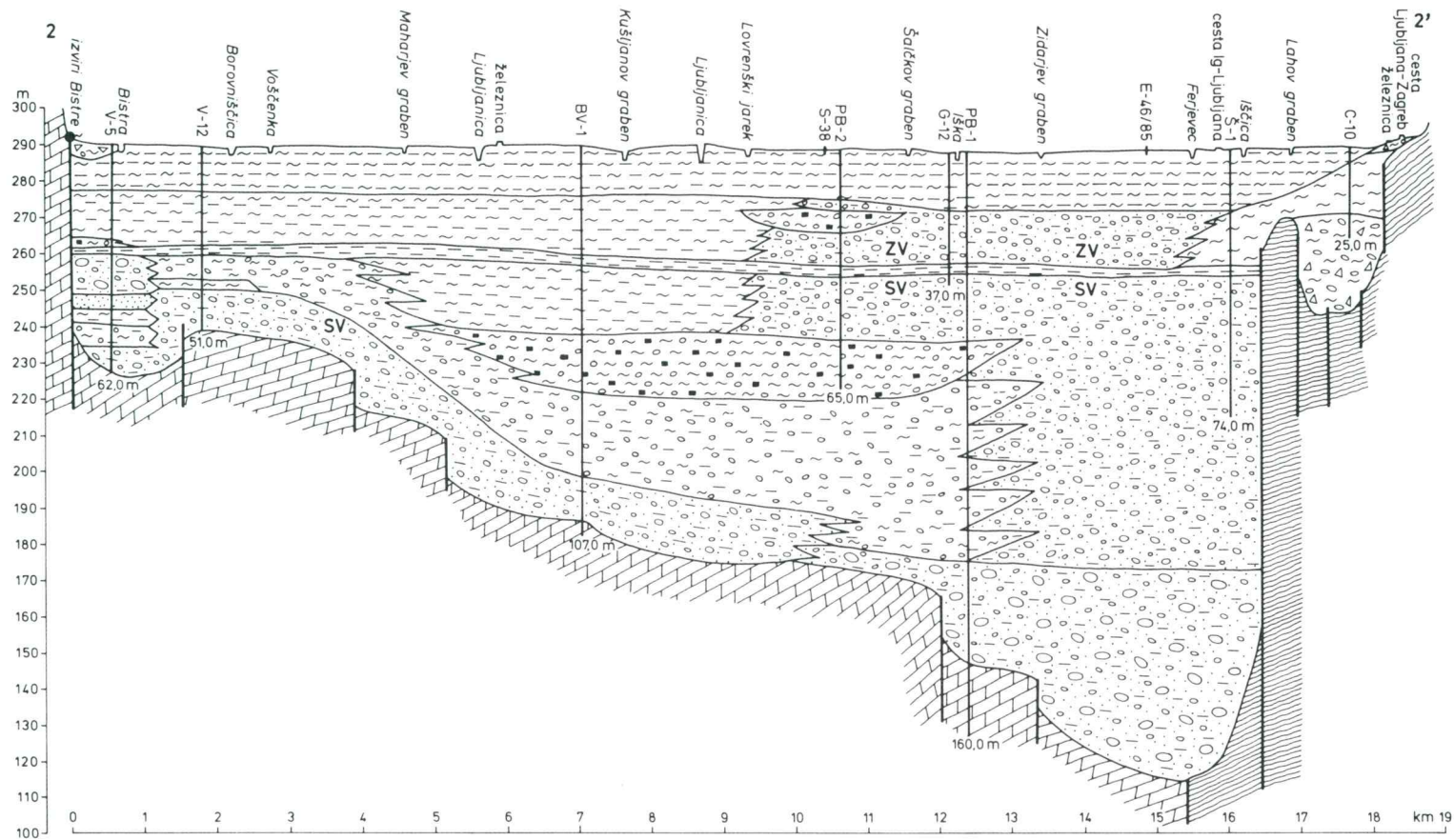
Na skrajnem vzhodnem delu Barja je v globeli med Gruberjevim kanalom in Lavrico najprej naplavljeni peščeno-prodni material (prodniki peščenjaka in skrilavega glinovca), nad njim pa odložena okrog 18m debela plast jezerskih sedimentov. Tudi med Lavrico, Škofljico, osamelcem Babniški hrib in Gumniškim hribom je pod jezerskimi usedlinami nanos, ki ga sestavlja prod permokarbonskih peščenjakov in skrilavih glinovcev. Na zahodu pride ta nanos verjetno ponekod v stik s prodom Iške, Želimeljšče in Save (sl. 5).

Tektonika, globina in sestava kameninske podlage Barja

Z vrtinami in geofizikalnimi raziskavami je dokazano, da je skalna podlaga Barja valovita in razrezana v številne kotanje in globeli. Pogrezanje je povzročilo intenzivno naplavljanje proda in drugih rečnih sedimentov. Največ prodnih naplavin so prinašali pritoki iz Krimsko-Mokrškega hribovja in iz Polhograjskih hribov. Ljubljana kot kraška reka ni prinašala proda, prav tako ne njeni kraški pritoki na zahodnem delu Barja.

Zanesljivo je ugotovljeno, da je vzhodni del Barja globlje pogreznjen kot zahodni (sl. 6). Tukaj je z vrtinami, ki so bile izvrtane do kameninske podlage, in z geofizikalnimi raziskavami razmeroma natančno ugotovljen potek dinarsko (NW-SE) usmerjenih prelomov, ki se z obrobja nadaljujejo pod Barjem proti severozahodu. Prav tako je razmeroma natančno ugotovljen potek mediteransko usmerjenih (NE-SW) prelomov, ob katerih se je barjanska kotlina ločila na jugu od Krimsko-Mokrškega hribovja, Želimeljsko–Ortneškega naravnega ozemlja in ozemlja severovzhodne Dolenjske ter na severu od Škofjeloško-Polhograjskega ozemlja in Poljansko-Vrhnjskih nizov.

Vzhodni del barjanske kotline loči od južnega dela Posavskih gub **Dobropoljski prelom** (Buser, 1969), ki poteka v dinarski smeri mimo Škofljice, ob zahodnem vzhodju Golovca in mimo Gradu ter vzhodno od Šišenskega hriba med Celovško cesto in železniško progo Ljubljana–Kranj naprej proti Šentvidu. Vrtine, ki so bile izvrtane v okviru raziskav za južno obvoznico, so pokazale, da je kameninska podlaga zahodno od preloma v globini okrog 40m in jo sestavljata peščenjak in skrilavi glinovec permokarbonske starosti. Vrtina (IŽ-45), izvrtana ob Ižanski cesti pri botaničnem vrtu, je zadela podlago v globini 30m. Podlago sestavlja temno siv skrilavi glinovec. Vrtine med Celovško cesto in Šišenskim hribom so navrtale podlago iz permokarbonskega skrilavega glinovca in peščenjaka v globini 9m do 20m, vzhodno od Celovške ceste pa v globini čez 30m. Med železniško progo in vodarno Kleče je vrtina (št. 8) zadela podlago, ki jo sestavlja permokarbonski peščenjak, v globini 100m.



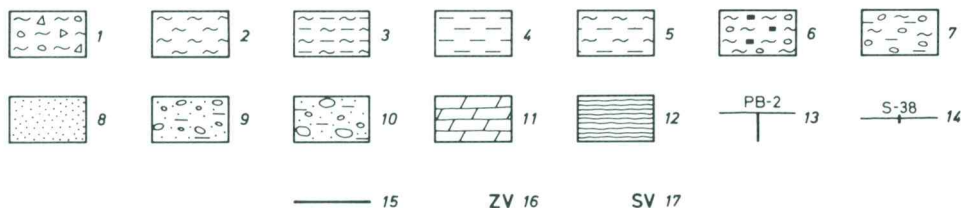
Sl. 5. Vzdolžni profil 2-2' čez južni del Ljubljanskega barja

Fig. 5. Longitudinal profile 2-2' over the southern part of Ljubljansko barje

Med **Ortneškim prelomom**, ki poteka v dinarski smeri mimo Gumnišča in ob zahodnem robu osamelca Babna Gorica proti Ljubljani (Premru, 1983), in **Želimeljskim prelomom**, ki poteka po zahodnem robu doline Želimeljščice mimo vzhodnega vznožja Grmeza proti Ljubljani, je tektonski jarek, kjer je v pleistocenu odlagala svoj prod Želimeljščica. Vrtina PŽ-1, izvrtana že v ožjem delu doline (Rogovila), je navrtala podlago, ki jo sestavlja zgornjetriadni dolomit v globini 55 m. Pri vodarni Brezova noga je vrtina PŽ-15 (poleg vodnjaka VŽ-3) zadela dolomitno podlago v globini 68 m (nadm. v. 225 m). Vrtina V-3 pri Babni Gorici do globine 34 m še ni zadela podlage. Med Grmezom in Babno Gorico poteka narivni kontakt, kjer sta permokarbonski peščenjak in skrilavi glinovec narinjena na zgornjetriadni dolomit. Severno od tu sestavljajo podlago permokarbonski skladi.

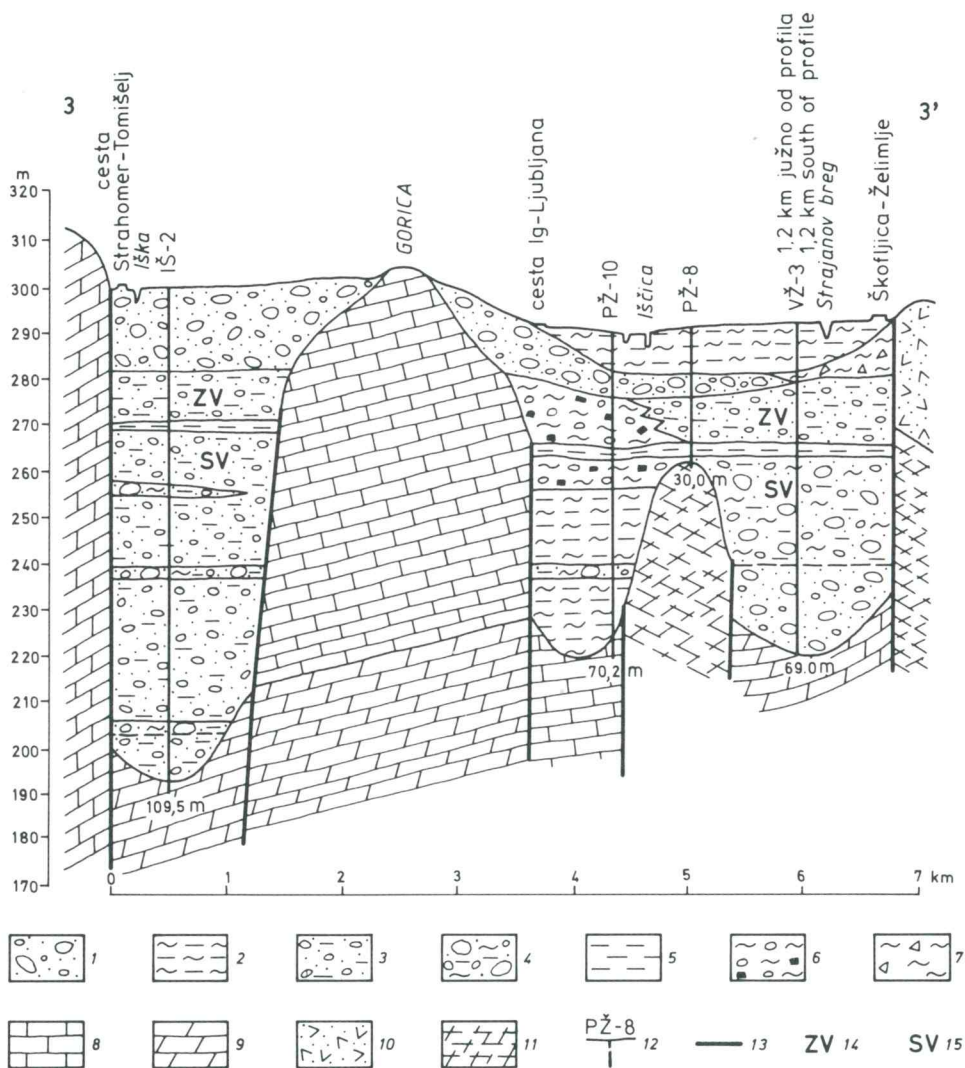
Zahodno od Želimeljskega preloma je vrtina PŽ-6 vzhodno od Kremenice zadela podlago (dolomit) v globini 28 m, okoli 700 m severneje je z vrtino PŽ-9 navrtana podlaga (dolomit) v globini 25 m in južno od Grmeza z vrtino V-9 pa prav tako dolomit v globini 18 m. Severno od Grmeza sestavljata podlago permokarbonski skrilavi glinovec in peščenjak (Premru, 1983).

Med vzporednima prelomoma, ki potekata mimo Kremenice oziroma Iga v smeri proti severozahodu, se je podlaga, ki jo sestavlja apnenec, pogreznila skoraj do globine 100 m. Vrtina PŽ-11, ki je izvrtana severno od Iga ob cesti Ig-Ljubljana, je zadela podlago (apnenec) v globini 99,3 m (nadm. v. 190 m). Okoli kilometer jugovzhodno je vrtina PŽ-10 zadela podlago (apnenec) v globini 67 m (nadm. v. 223 m). Približno 800 m severno od vrtine PŽ-11, kjer poteka prelom v mediteranski smeri (Škofljica-Bistra), se kameninska podlaga, ki jo verjetno sestavlja dolomit, spusti še globlje. Kje natančno poteka narivni kontakt permokarbonskih skladov na dolomit, nam ni znano. Vrtina Š-1, ki je izvrtana na križišču Ižanske ceste in ceste Podpeč-Črna vas do globine 74 m, ni zadela podlage. Z vrtinama PŽ-11 in PŽ-10 so prevrtani v glavnem glinasti sedimenti, ki so jih nanašali Iščica in kraški izviri v dolini Drage. Verjetno sta dvignjena bloka na obeh straneh preprečevala, da bi Iščica in Želimeljščica zasipali južni del te globeli s prodom (sl. 6).



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 meljem 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

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 loam and silt with pebbles; 7 Loam and silt with pebbles; 8 Sand; 9 Gravel with silt and sand; 10 Gravel with sand and some silt; 11 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



Sl. 6. Prečni profil 3-3' čez vršaja Iške in Želimeljščice

1 Prod s peskom in malo melja; 2 Meljna glina (polžarica); 3 Prod z meljem in peskom; 4 Prod z glino, meljem in peskom; 5 Rdeči melj in meljna glina (mejna plast); 6 Glinasti prod in prod z organsko glino; 7 Grušč, slabo zaobljen prod nekarbonatnih kamenin in glina; 8 Apnenec in dolomit (jura); 9 Dolomit (zg. triada); 10 Apnenec, tuf in peščenjak (zg. triada); 11 Kristalasti dolomit (sp. karnij); 12 Vrtina – piezometer; 13 Prelom; 14 Zgornji vodonosnik; 15 Spodnji vodonosnik

Fig. 6. Transversal profile 3-3' across the fans of Iška and Želimeljščice

1 Gravel with sand and little silt; 2 Silty loam (the "snail clay"); 3 Gravel with silt and sand; 4 Gravel with loam, silt and sand; 5 Red silt and silty loam (the border layer); 6 Loamy gravel and gravel with organic loam; 7 Rubble, poorly rounded gravel of non-carbonate rocks and loam; 8 Limestone and dolomite (Jurassic); 9 Dolomite (Up. Triassic); 10 Limestone, tuff and sandstone (Up. Triassic); 11 Crystalline dolomite (Low. Carnian); 12 Borehole; 13 Fault; 14 Upper aquifer; 15 Lower aquifer

Vzhodno od **Mišjedolskega preloma**, ki poteka mimo Iške vasi, Matene, Črne vasi, Dolgega mostu in Vrhovcev, je kameninska podlaga južno od mediteransko usmerjenega preloma, ki poteka mimo Škofljice, Matene, Podgore in Podpeči proti Bistri, že v globini med 20 in 30 m. Z vrtino IŠ-8, ki je izvrtana zahodno od Staj, je navrtana podlaga (apnenec) v globini 28 m, vrtina IŠ-7, severno od Iške vasi pa je zadela podlago v globini 33 m. Severno od Matene se podlaga nenadoma spusti in je pri vrtini BV-2 v globini 117 m, na območju med cesto v Črni vasi in Ljublanico pa že čez 160 m (po podatkih geofizikalnih raziskav) – (Tomšič, 1986).

Med mediteransko usmerjenima prelomoma, ki potekata ob Ljublanici v smeri proti Vrhniki, je po podatkih geofizikalnih raziskav (Živanović & Ravnik, 1978) dvignjen dolomitni blok do okrog 20 m pod površino (vzhodno od dolomitnega bloka je Ljublanica preusmerila tok proti severu).

Severno od dvignjenega dolomitnega bloka se podlaga hitro spušča in doseže pri vrtini TB-1 globino 149 m (nadm. višina 148 m) in na območju Mestnega loga globino okrog 170 m. Tu sestavljajo podlago permokarbonske plasti, ki so v bližini Rakove jelše narinjene na dolomit Krmsko-Mokriškega hribovja.

Severno od Tržaške ceste oziroma železniške proge je podlaga dvignjena. Vrtina B-2 pri opekarni na Brdu je zadela podlago (permokarbonski skrilavi glinovec in peščenjak) v globini 50 m. Med Murgdami, Trnovim in centrom Ljubljane žal ni bilo izvrtane vrtine, ki bi zadela kameninsko podlago. Številne vrtine so bile globoke med 30 in 57 m. Tudi globina permokarbonske podlage v ožini med Gradom in Šišenskim hribom nam ni znana, predvidevamo pa, da je v globini prek 50 m.

Prelom, ki poteka mimo Strahomerja, Tomišlja, sotočja Iške in Ljublanice, Gorjanca (Brezovice) in naprej po zahodnem delu doline Gradaščice, loči vzhodni bolj ugreznjeni del Barja od zahodnega. Med tem prelomom in Mišjedolskim prelomom je med Brestom in Iško vasio podlaga močno spuščena (sl. 2, 5). Z vrtino IŠ-6, ki je bila izvrtana vzhodno od Strahomerja, je navrtana podlaga v globini 80 m. Sestavlja jo zgornjetriadni dolomit. Na območju vodarne Brest je vrtina IŠ-2 (zahodni del vodarne) zadela podlago v globini 108,5 m (nadm. v. 196 m), vrtina IŠ-1 (vzhodni del vodarne) pa v globini 87,60 m (nadm. v. 213 m). V obeh vrtinah sestavlja podlago dolomit.

Severno od Bresta je podlaga še globlje pod površino. Z vrtino PB-1, izvrtano pri sotočju Iške in Ljublanice, je navrtana podlaga (dolomit) v globini 141 m (nadm. v. 147 m). Po podatkih geofizikalnih raziskav se ob že omenjenih vzporednih prelomih severno od Ljublanice podlaga dvigne in je približno 80 m pod površino. Od tod se proti severu kameninska podlaga zelo hitro spušča in je na območju vodnjaka TB-3 ob Curnovcu v globini 168 m (nadm. višina 125 m). Glede na to, da je temperatura vode črpane iz vodnjaka TB-3 23,3 °C, predvidevamo, da je vodnjak blizu naravnega kontakta permokarbonskih plasti nad dolomitom Krmsko-Mokriškega hribovja iz katerega priteka termalna voda v prodni zasip.

Vrtina G-8, izvrtana med železniško progo in cesto Ljubljana–Vrhnika južno od Kozarij, do globine 67 m ni zadela podlage. Iz rezultatov geofizikalnih raziskav je razvidno, da je podlaga v globini približno 170 m. Vrtine severno od ceste Ljubljana–Vrhnika v dolini Gradaščice (severno od Brezoviško-Viškega preloma) so zadele podlago (permokarbonski skrilavi glinovec in peščenjak) v globini 11–14 m.

Del barjanske kotline zahodno od preloma, ki poteka mimo Strahomerja, Tomišlja in Gorjanca proti Dobrovi, je znatno manj raziskan. Z vrtinami, ki so bile izvrtane za avtocesto Ljubljana–Vrhnika, in z geofizikalnimi raziskavami za isti namen je bilo ugotovljeno, da so med osamelci in Brezoviško-Viškim prelomom večje

in manjše globeli in kotanje (Ravnik, 1979). Tako so med Sinjo Gorico in Blatno Brezovico ter Bevkami, Kostanjevico in Drenovim gričem ugotovljene plitveje globeli, kjer je globina do kameninske podlage 20–50 m. Dno globeli sestavlja povečini dolomit, ki je prepusten in vodonosen, kot so pokazale vrtine pri Drenovem griču in ob cesti med Blatno Brezovico in Bevkami. Manjša, toda zelo globoka (90 m) kotanja je bila ugotovljena z geofizikalnimi preiskavami med zapuščeno železniško progo pri vasi Log in Kostanjevici (Ravnik, 1979). Dno kotanje sestavljajo neprepustni permokarbonski skrilavi glinovci in peščenjaki.

Obsežna podolgovata in globoko zarezana globel (80 do 90 m) se razprostira vzdolž Bevskega jarka med osamelci Bevke in Kostanjevici ter osamelci Bluše in Medvednico. Globel se proti jugu razširi in poglobi. Dno globeli sestavljajo na jugu delno prepustni dolomit, na severu pa neprepustni permokarbonski skrilavi glinovci in peščenjaki. Na tem območju se nadaljuje s severnega obrobja preko Bevk, Kostanjevice, Plešivice in Dobčence nariv permokarbonskih skrilavih glincev in peščenjakov, ki pripadajo Škofjeloško-Polhograjski tektonski enoti, na dolomit Krimskega hribovja. Vrtina V-5 ob poti Log–Bevke (vzhodno od Kostanjevice) je prevrtala v globini od 24 m do 30 m permokarbonski skrilavi glinovec s plastmi peščenjaka, pod njim pa zgornjetriadni dolomit (Žlebnik, 1969).

Izredno globoka podolgovata globel je bila ugotovljena z geoelektričnimi preiskavami severno od osamelcev Plešivica in Vnanje Gorice ter južno od ceste Ljubljana–Vrhnika (sl. 3). Globel se nadaljuje proti Ljubljani v že obravnavano globel. Najgloblji njeni deli leže 100 do 150 m globoko pod površino. Plitvejša, do 70 m globoka kotanja, je med Plešivico in Vnanjimi Goricami. Dno obeh globeli sestavljata neprepustni permokarbonski glinasti skrilavi glinovec in peščenjak, delno pa polprepustni dolomit. Na tako sestavo skalne osnove sklepamo iz geološke in tektonske zgradbe obeh osamelcev.

Na zahodu sega barjanska kotlina do **Borovniškega preloma**, ki poteka po zahodnem robu doline Borovnišice mimo Bistre, Podgore, Vrhnike in vzhodno od Hruševce proti Ligojni. Prelom loči Borovniško–Cerkniško grudo od Krmsko–Mokrškega hribovja. Vzporedno z Borovniškim prelomom poteka mimo Paka, posestva Ljubljanskih mlekarn, ob vzhodnem robu osamelca Sinja Gorica proti Ligojni **Rakitniški prelom** (Buser, 1965). Med obema prelomoma izvrtane vrtine so pokazale, da je kameninska podlaga, ki jo sestavlja dolomit, razkosana na več spuščjenih in dvignjenih blokov (sl. 2).

Vrtine med Hruševco in Sinjo Gorico so zadele podlago, ki jo sestavlja dolomit, v globini 25 (G-2) in 32 m (H-1). Južno od Sinje Gorice je podlaga močno ugreznjena in leži v globini okrog 60 m. Z vrtino G-3 je ugotovljena podlaga v globini 52 m (nadm. v. 238 m), z vrtino G-1 v bližini Borovniškega preloma pa v globini 30,5 m (nadm. v. 260 m). Jugovzhodno se podlaga ob prelomu z mediteransko smerjo, ki poteka vzdolž Ljubljani v smeri proti Rudniku, spusti še globlje. Z vrtino V-6 severno od Bistre, je ugotovljena podlaga v globini 79 m (nadm. v. 211 m). Vrtina V-5 pri Bistri je zadela podlago (dolomit) v globini 61,60 m (nadm. v. 228 m). Borovniščica je nasula svoj prod v globel med Borovnico in Bistro (sl. 3). Na tem območju je najgloblje dosegla podlago (dolomit) vrtina V-13 (izvrtana poleg vodnjaka VB-6), in sicer v globini 69 m (nadm. v. 221 m). Vzhodno od Rakitniškega preloma med Pakom in Goričico je kameninska podlaga, ki jo sestavlja apnenec le malo pod površino. Vrtina V-8, izvrtana 700 m severno od Paka, je zadela podlago (apnenec) 11 m pod površino. Relativno dvignjen blok apnenca omejuje severno od vrtine V-8 mediteransko usmerjeni prelom, ki poteka mimo Škofljice, Podpeči v smeri proti Bistri. Med tem prelomom in prelomom,

ki poteka večji del vzporedno z Ljubljanico (stara struga) so se tla močneje ugreznila. Od Bistre proti Črni vasi se stopničasto spuščajo dolomitni bloki do najglobljega dela, to je do vzhodnega dela Barja (sl. 5). Tako je z vrtino V-12, severno od vodarne Borovniški vršaj, navrtana podlaga (dolomit) v globini 50 m in z vrtino BV-1 pri Podpeči v globini 103 m (nadm. v. 185 m). Vrtina PB-2 pri domačiji Kozler do globine 50 m ni zadela podlage, medtem ko je vrtina PB-1 zadela podlago v globini 141 m (nadm. v. 147 m).

Na severozahodnem delu Barja so potoki z obrobja zasuli kotanje in globeli z glinenim nanosom. Zaradi naravne pregrade, ki so jo sestavljali osamelci, se je verjetno odtok Podlipščice (Tunjice) in Ljubljanice preusmeril proti jugovzhodu, kjer se jima je pridružila še Borovniščica. Od tu je voda odtekala med južnim obrobjem Barja in južno od osamelcev proti severovzhodu (sl. 1).

Podtalnica prodnih vodonosnikov

Podtalnica borovniškega vršaja

Zgornji prodni vodonosnik vršaja Borovniščice se prične v območju vodnjakov 12–15 m pod površino. Okrog 1,5 km jugovzhodno, to je pri Borovnici, kjer ni več barjanskih usedlin, je prod zgornjega vodonosnika na površini. Tu je možno napajanje zgornjega vodonosnika z vodo Borovniščice in s padavinami. Na območju vodnjakov VD-1 in VD-5 je zgornji vodonosnik debel okrog 17 m. Piezometrična gladina zgornjega vodonosnika je na koti 290 do 291 m in rahlo pada ($i = 1\%$) v smeri proti severu. Zgornji prodni vodonosnik je na vzhodu v stiku z izdatnim vodonosnikom v dolomitu in apnencu. Med poskusnim črpanjem je ugotovljeno, da se podtalnica zgornjega prodnega vodonosnika obnavlja z vodo iz dolomita in apnenca na vzhodnem delu vršaja. Gladina vode v vrtini V-8, ki je zajela vodo v apnencu, je med črpanjem nihala podobno kot v vrtinah, ki so zajele vodo v prodnem vodonosniku. Zahodni del Borovniškega vršaja pride v stik z glino in močno zaglinjenim prodom Podlipščice tako, da s tega območja ne dobi večjih količin vode. Spodnji in zgornji vodonosnik loči med seboj 1,50 m do 3 m debela plast rdeče rjavega melja, tako da je mogoče napajanje zgornjega vodonosnika z vodo spodnjega vodonosnika le, če je ta plast kje prekinjena. Podtalnica zgornjega vodonosnika se zaradi višjega piezometričnega tlaka preceja skozi polžarico v šoto, iz nje pa v številne melioracijske jarke. Reakcija na padavine je sorazmerno hitra, kar kaže na tesno povezavo prodnega vodonosnika s podzemno vodo v skrasedem obrobju. Glede na to, da odteka le malo vode zgornjega vodonosnika, se voda v vodonosniku le počasi menja. Poleg tega prihaja do mešanja s huminskimi kislinami, ki odvzemajo vodi kisik, tako da pride do raztapljanja železa v glinasto-meljastih plasteh, ki vsebujejo precejšnjo količino železa.

Na osnovi rezultatov črpalnih poizkusov v vodnjakih VD-1 in VD-2 so izračunane osnovne hidravlične značilnosti zgornjega vodonosnika:

koeficient prevodnosti	$T = 2,2 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sek} = 1900 \text{ m}^2/\text{dan}$
koeficient elastične izdatnosti	$S = 0,000052$
koeficient prepustnosti	$k = 5,79 \times 10^{-4} \text{ m/sek}$

Z dosedanjimi raziskavami ni bilo mogoče določiti bilance podtalnice v zgornjem prodnem vodonosniku. S črpalnim poizkusom pa je ugotovljeno, da je mogoče iz zgornjega vodonosnika črpati najmanj 50 l/sek vode. Bilanca zgornjega vodonosnika

je odvisna predvsem od velikosti in prepustnosti kontaktne površine med prodnim in kraškim vodonosnikom.

Voda zgornjega vodonosnika je bakteriološko neoporečna, kemično pa ni primerna zaradi prevelike vsebnosti železa. Temperatura vode je na območju vodnjaka VD-2 11 °C, pri vodnjaku VD-1 pa 12 °C.

Spodnji vodonosnik vršaja Borovnišče sega na območju vodnjakov od približno 30 do 69 m globoko. Zgornji del spodnjega vodonosnika (do globine 52 m) je slabo prepusten. Z vodnjaki je voda zajeta v globini od 52 do 69 m. Prodni zasip s prodniki, debelimi do 30 cm, leži neposredno na kameninski osnovi, ki jo sestavlja dolomit. Piezometrična gladina spodnjega vodonosnika je na koti 290,5 do 291,5 m (višje od piezometrične gladine zgornjega vodonosnika) in pada proti severu. Spodnji vodonosnik se napaja verjetno samo z vodo kraškega vodonosnika na vzhodu in razpoklinskega vodonosnika v dolomitu, ki sestavlja kameninsko podlago.

Osnovne hidravlične lastnosti spodnjega vodonosnika so:

$$T = 1,38 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sek} = 1192 \text{ m}^2/\text{dan}$$

$$S = 0,000156$$

$$k = 1,14 \times 10^{-3} \text{ m/sek}$$

S črpanjem iz dveh vodnjakov izkoriščajo pri stabilizirani depresiji 7,5 oziroma 10,5 m (ob suši) 70 l/sek pitne vode za vodovodna sistema Vrhnike in Borovnice. Razlika med minimalno in maksimalno gladino vode med črpanjem je 1,5 m.

Tudi bilanca podtalnice spodnjega vodonosnika je odvisna predvsem od prepustnosti in površine kontakta prodnega in kraškega oziroma razpoklinskega vodonosnika. Glede na to, da je kontaktna površina spodnjega vodonosnika s kraškim vodonosnikom znatno večja od zgornjega, je spodnji vodonosnik izdatnejši od zgornjega. Izdatnost spodnjega vodonosnika je nad 100 l/sek, kar je pokazalo istočasno črpanje pri stabilizirani depresiji iz vodnjakov VB-3 (20 l/sek), VB-5 (45 l/sek) in VB-6 (35 l/sek).

Zaradi bližine nevarnih onesnaževalcev (Fenolit, železniška postaja) so predvsem **kakovost podtalnice** večkrat raziskovali. Izdelanih je bilo več kot 100 bakterioloških analiz, ki so vse dale neoporečne rezultate. Še več je bilo izdelanih kemičnih analiz (12 širokih analiz). Vse so pokazale, da voda povsem ustreza predpisom za pitno vodo. Količina železa v vodi ni presegla 0,2 mg/l. Temperatura vode je bila 12 °C.

Podtalnica Iškega vršaja

V letih 1974 do 1976 so bila južno od vasi Tomišelj–Brest–Matena–Iška Loka opravljena obsežna raziskovalna dela, da bi zajeli vodo za ljubljanski vodovod. Rezultati so bili objavljeni v poročilu Hidrogeološke raziskave za vodarno Brest v podtalnici Iškega vršaja (Breznik, 1975a) in v članku Podtalnica Iškega vršaja (Breznik, 1975b).

V prvi fazi raziskav je bilo izvrtanih 5 raziskovalnih vrtin (IŠ-1-5). V vrtinah IŠ-3 in IŠ-5 so bili opravljeni črpalni poizkusi. Vrtine IŠ-1, IŠ-2 in IŠ-4 so bile izvrtane do dolomitne kameninske podlage. Leta 1980 je bilo v sedanjem profilu vodarne Brest izvrtanih 11 vrtin z vgrajenimi piezometri (PV-1-11) in 11 vodnjakov (V-1-11) v medsebojni razdalji 100 m.

Z raziskavami je ugotovljeno, da sta v profilu vodarne Brest dva vodonosnika, ki sta med seboj ločena z 10 m debelo plastjo glinastih neprepustnih plasti (sl. 6). V globini 30–31 m je prevrtana plast rdeče rjave meljne glin, podobne kot na vršaju

Borovnišči in Želimeljščice. Zgornji vodonosnik sega do globine 27 m pod površjem (nadm. v. 272 m). Piezometrična gladina zgornjega vodonosnika je na nadmorski višini 297 do 292 m.

Vodnjaki so zajeli le vodo zgornjega vodonosnika. Po mnenju Breznika (1984) bi črpanje vode, ki teče v profilu vodarne skozi spodnji vodonosnik, povzročilo posedanje tal na Barju. Voda spodnjega vodonosnika napaja namreč arteški vodonosnik Ljubljanskega barja. Jeseni 1980. leta je bilo ugotovljeno, da je zmogljivost vodnjakov nad 33 l/sek. V septembru 1983 izvedeni poizkus pa je pokazal, da je zmogljivost vodnjakov V-5 in V-8, za katera je bila izračunana največja zmogljivost 42 in 91 l/sek, le okrog 10 l/sek. Breznik (1984) je zato sklepal, da je za zmogljivost vodnjakov zelo pomemben holocenski prod, kjer se formira občasni površinski vodonosnik. Ko se namreč gladina vode zniža in holocenski prod ni potopljen, se zmogljivost vodnjakov zmanjša na 8–12 l/sek. Holocenski prod ima okoli 10 do 100-krat večji koeficient prepustnosti od pleistocenskega.

Leta 1984 sta bili izvrtani vrtini IŠ-7 in IŠ-8 jugovzhodno od vodarne Brest. Pokazali sta, da je podlaga, ki jo sestavlja apnenec v vrtini IŠ-8, 27 m pod površino (nadm. v. 282 m), v vrtini IŠ-7 pa 33 m pod površino (nadm. v. 280 m). Do globine okoli 10 m je dobro prepusten prod, pod njim pa je zaglinjen slabo prepusten prod, odložen na apnencu. Iz tega je mogoče sklepati, da je zgornji vodonosnik na vzhodni strani vodarne Brest za vodo zelo slabo prepusten. Te ugotovitve nam potrjujejo tudi manjše izdatnosti izvirov vzhodno od prelomne cone, oziroma severovzhodno od vodarne Brest (Retje 1, Retje 2, Bršnik, Na Brodu v Talih), ki ob suši skoraj presuše, pa tudi majhne zmogljivosti vodnjakov V-10 in V-11 na skrajnem vzhodnem delu vodarne Brest.

Vrtine, izvrtane v okviru hidrogeoloških raziskav prodnega zasipa Želimeljščice, so pokazale, da sega prodni zasip Iške (zgornji vodonosnik) še precej daleč proti vzhodu, kjer prekriva pleistocenski prodni zasip Želimeljščice (sl. 6). Z vrtino PŽ-12 ob Domavščici je prevrtan prodni zasip Iške (zg. vodonosnik) v globini od 9,4 m (nadm. v. 280,50 m) do 13,6 m (nadm. v. 276,3 m).

Zgornji prodni vodonosnik Iške je prevrtan še z vrtinami PŽ-11 (ob cesti Ljubljana-Ig), PŽ-10, PŽ-8 in PŽ-9, ki so izvrtane okoli km vzhodno od ceste Ljubljana-Ig (sl. 6). Tudi vrtina V-9 južno od osamelca Grmez je prevrtala zgornji vodonosnik od 15 (nadm. v. 275 m) do 16,5 m (nadm. v. 273,50 m).

Vrtina OP-2, ki je bila izvrtana okoli 300 m severno od ceste Brest-Tomišelj (že na območju barjanskih tal), je prevrtala zgornji vodonosnik od globine 1,5 do 17 m (nadm. v. 290,5 do 275 m). Okrog 1,5 km severneje izvrtana vrtina OP-1 pa je prevrtala zgornji prodni vodonosnik Iške od 10,8 do 21 m (nadm. v. 279 oziroma 268 m). Precej zanesljivo je mogoče sklepati, da je tudi z vrtino PB-1, izvrtano v Črni vasi pri sotočju Iške in Ljubljanice, prevrtan zgornji vodonosnik Iškega prodnega vršaja, in sicer v globini od 20 (nadm. v. 268 m) do 31 m (nadm. v. 258 m), prav tako pa tudi z vrtino PB-2 pri domačiji Kozler, kjer je prod zgornjega vodonosnika prevrtan od globine 15,5 (nadm. v. 273 m) do 32 m (nadm. v. 256 m).

Piezometrična gladina zgornjega vodonosnika je v vrtini PB-2 na nadmorski višini 289 do 291 m. Predvidevamo, da je tudi z vrtino BV-2, izvrtano južno od Črne vasi, prevrtan zgornji prodni vodonosnik Iške od globine 20,20 (nadm. v. 268,4 m) do 33,20 m (nadm. v. 255,4 m). To kaže tudi piezometrična gladina vode, ki je bila po prevrtanju te plasti na nadmorski višini približno 292 m. Z vodnjakom TB-3 ob Curnovcu ni prevrtan zgornji prodni vodonosnik Iške.

Po podatkih iz II. dela poročila Zmogljivost črpališča Brest v sušni dobi (Brez-

nik, 1984) je ob suši l. 1983 poniknilo na odseku od mostu pri Iški vasi do Strahomerja (1,3 km) približno 241 l/sek vode iz Iške. Iz vodnjakov so takrat črpali 56 l/sek, pretočne količine barjanskih izvirov so bile 95 l/sek. Kje je bilo preostalih ok. 90 l/sek ponikle vode Iške, si različno razlagajo.

V primeru, da je glinasto meljasta plast, ki loči oba vodonosnika slabo prepustna ali celo ni (to potrjujejo vrtine IŠ-6 v profilu vodarne, PB-1 PB-2 in BV-2), potem se pretaka vsa ponikla voda Iške (tudi voda, ki jo prispevajo padavine) v profilu čez vodarno in zahodno od nje. Manjši del vode v sušnem obdobju črpajo z vodnjaki, večji del pa odteka v barjanske izvire in precejšen del še naprej proti severu. Vzhodno od vodarne se lahko pretakajo zelo majhne količine vode, ker je na tem delu ob prelomu kameninska podlaga dvignjena, prodni zasip pa močno zaglinjen (vrtini IŠ-7 in IŠ-8). To potrjujejo tudi manjše zmogljivosti vodnjakov V-10 in V-11, ki sta na skrajnem vzhodnem delu vodarne, ter manjše izdatnosti izvirov severovzhodno od vodarne Brest. Manj verjetno je, da bi se okrog 90 l/sek oziroma še več vode (ni upoštevana infiltrirana voda padavin) pretakalo mimo vodarne v dolomitu na zahodnem obrobju. (Vrtina T-1 izvrtana v podaljšku vodarne, na levem bregu Iške, je prevrtala vodonosne razpoke v globini 170 m).

Zmogljivost podtalnice zgornjega prodnega vodonosnika Iške je mogoče določiti približno na osnovi količin ponikle Iške (na odseku od Iške vasi do Strahomerja) in z infiltracijo padavin na območju, kjer je prodni zasip vršaja Iške na površini. Niso nam znane le količine podzemne vode, ki pritekajo v zgornji prodni vodonosnik iz obrobja, tj. predvsem vodonosnika v dolomitu, ki pride v stik s prodnim vodonosnikom.

Iz rezultatov opravljenih meritev pretokov Iške v Iški vasi in Strahomerju oziroma Tomišlju je mogoče oceniti, da v povprečju ponikne v prodni vodonosnik okrog 350 l/sek vode Iške. Približno 1333 mm/leto padavin (Črna vas), ki pade na okrog 9 km² površine, prispeva pri evapotranspiraciji 700 mm (ugotovljeno za Ljubljansko polje), okrog 180 l/sek vode. Če odštejemo od skupnih 530 l/sek ponikle vode povprečno izdatnost barjanskih izvirov, tj. okrog 300 l/sek, sklepamo, da povprečno odteka pod jezerske naplavine proti severu še okrog 230 l/sek podtalne vode.

Velik del te vode se zaradi višjega pritiska preceja navzgor v polžarico in šoto ter se odteka v številne melioracijske jarke (verjetno tudi v 8 do 10 m globoko strugo Ljubljanice). Del precejajoče vode tudi izhlapi, posebno poleti.

Glede na rezultat črpalnih poizkusov so določene hidravlične karakteristike zgornjega vodonosnika (Breznik, 1975 b):

$$\begin{aligned} \text{V vrtini IŠ-3} \quad T &= 1540 \text{ m}^2/\text{dan} \\ S &= 0,0007 \\ k &= 1 \times 10^{-3} - 1,1 \times 10^{-4} \text{ m/sek} \end{aligned}$$

Do slabše kakovosti vode zgornjega vodonosnika prihaja predvsem zaradi neurejene kanalizacije v naseljih, ki leže na zbirnem zaledju. Z dokončno ureditvijo kanalizacije in z zmanjšanjem gnojenja površin se bo kakovost vode izboljšala. Kemično voda ustreza zahtevam za pitno vodo.

Spodnji prodni vodonosnik Iškega vršaja se prične na območju vodarne Brest v globini 40 m (nadm. v. 260 m) in sega do kameninske podlage v globini približno 105 m (nadm. v. 191 m). Piezometrična gladina spodnjega vodonosnika je v profilu vodarne na nadmorski višini 290 do 191 m. Podlago sestavlja triadni dolomit (sl. 6).

Spodnji vodonosnik sega daleč proti severu, verjetno do Brezoviško-Viškega preloma (sl. 4). V vrtini PB-1 je bil prevrtan prodni zasip Iške do globine 141 m

(nadm. v. 147m). Vrtina PB-2 pri Kozlarju je prevrtala iški prod do globine 50m (nadm. v. 238,50m) in ni dosegla kameninske podlage. Z vrtino BV-2 je prevrtan spodnji prodni vodonosnik Iške (prepleta se s prodnim zasipom Želimeljščice) od globine 40,77 (nadm. v. 248m) do 116,80m (nadm. v. 172m). Vrtina Š-1 na križišču Ižanske ceste in ceste Črna vas–Podpeč je ostala vrodu še v globini 74m. Z vodnjakom TB-3, ki je izvrtan ob Curnovcu južno od Dolgega mosta je prevrtan spodnji vodonosnik Iške od 76m do 168m (nadm. višina 125m). Nad njim je vodonosnik, ki sestavlja prod Gradaščice in Save. Vodonosnika sta med seboj le slabo ločena. Voda spodnjega vodonosnika Iške (verjetno je več med seboj slabo ločenih vodonosnikov) je z vrtino PB-1 zajeta na odsekih od 24,59 do 59m in od 101,5 do 143,3m, samoizliv na koti terena je 18l/sek. Piezometrična gladina vode je približno na nadmorski višini 289 do 290m. V vrtini PB-2 je piezometrična gladina podtalnice spodnjega vodonosnika na nadmorski višini približno 290,50m. Piezometrična gladina podtalnice je v vodnjaku TB-3 na nadmorski višini okrog 287,5m in v vrtinah TB-1 in TB-2 na nadmorski višini 287,70m oziroma 288,70m. V vodnjaku in obeh vrtinah je zajeta voda v dolomitu. Predvidevamo, da se piezometrične gladine podtalnice vrodu in dolomitu bistveno ne razlikujejo.

Zmogljivosti spodnjega vodonosnika z do sedaj razpoložljivimi podatki ni mogoče določiti. K bilanci spodnjega vodonosnika Iškega vršaja največ prispeva vodonosnik v karbonatnih kameninah, ki obdaja prodni vodonosnik na jugu, vzhodu, zahodu in v podlagi. Lego spodnjega prodnega vodonosnika Iškega vršaja lahko primerjamo z lego spodnjega vodonosnika Borovniškega vršaja, kjer smo ugotovili zelo dobro napajanje prodnega vodonosnika z vodo kraškega vodonosnika (primerjamo lahko izvir Pako z izvirom Iščice). Nadaljnje raziskave bodo pokazale ali in kolikšen del ponikle vode Iške napaja spodnji vodonosnik.

Spodnji prodni vodonosnik Želimeljščice, ki pride v stik s spodnjim prodnim vodonosnikom Iške pri Črni vasi, verjetno ne prispeva pomembnih količin vode k bilanci spodnjega vodonosnika Iškega vršaja. Podtalnica Iškega vršaja odteka v smeri proti Ljubljani in se severno od Ljubljanice združi s podtalnico v prodnem zasipu Gradiščice in Save. Iz piezometričnih gladin vode je mogoče sklepati, da precejšen del vode s tega območja odteka skozi ožino med Rožnikom in Gradom v prodni vodonosnik Ljubljanskega polja in skozi ožino med Rožnikom, Podutikom mimo Dravelj prav tako v vodonosnik Ljubljanskega polja.

Hidravlične karakteristike spodnjega vodonosnika so pri vodarni Brest v vrtini IŠ-4 (Breznik, 1975b):

$$T = 5680 \text{ m}^2/\text{dan}$$

$$S = 0,00022$$

$$k = 1,1 \times 10^{-3} \text{ m/sek}$$

Kakovost podtalnice spodnjega vodonosnika Iškega vršaja pri vodarni Brest kemično in bakteriološko ustreza predpisom za varstvo pitnih voda. Voda iz vrtine PB-2 in PB-3 pa vsebuje prevelike količine raztopljenega železa (nad 1mg/l). Z obema vrtinama je zajeta voda zgornjega in dela spodnjega vodonosnika. Vzorec vode, odvzet med črpanjem iz vodnjaka TB-3, kjer je zajeta voda v globini 245 do 346m, je imel samo 0,1mg/l raztopljenega železa.

Podtalnica Želimeljškega vršaja

Z vrtinami je razmeroma podrobno preiskan vršaj Želimeljščice med Brezovogo (zahodno od Pijave Gorice) in zaselkom Rogovila.

Z vrtinami sta v vršaju Želimeljščice ugotovljena tudi dva med seboj dobro ločena vodonosnika. Loči ju približno tri metre debela plast rdeče rjavega melja in gline s prodniki (melj je podobne sestave kot v mejni plasti obeh vodonosnikov v vršaju Borovniščice in v vrtinah na vršaju Iške).

Zgornji vodonosnik je na območju vodnjaka VŽ-3 (tu so bile opravljene podrobne raziskave in zajeta voda za vodovod Pijave Gorice in Drage) od 7 (nadm. v. 285 m) do 25 m (nadm. v. 267 m) pod površino. Zgornji del zgornjega vodonosnika do 15,50 m sestavlja bolj prepusten prod dolomita in apnenca s sivim peskom (holocen), spodnji del do globine 25 m pa prod karbonatnih kamenin in prodniki peščenjaka s sivim in sivo rjavim meljem. Te plasti so manj prepustne.

Piezometrična gladina podtalnice zgornjega vodonosnika je pri srednjem stanju vode na koti terena (292 m), pri visokem stanju vode pa na nadmorski višini 292,5 m. Zmogljivost vodnjaka VŽ-1, ki je zajel vodo zgornjega vodonosnika, je 12 l/sek. Zgornji vodonosnik vršaja Želimeljščice se obnavlja delno z infiltracijo padavin južno od zaselka Rogovila (tu vodonosnik izdanja), v glavnem pa z vodo kraškega vodonosnika, s katerim pride v stik na vzhodu in zahodu.

Kakovost podtalnice zgornjega vodonosnika so ugotavljali z jemanjem vzorcev iz vodnjaka VŽ-1 in piezometričnih vrtin, ki so zajele vodo zgornjega vodonosnika. Voda je bakteriološko neoporečna, ima pa prevelike količine raztopljenega železa (nad 1 mg/l).

Spodnji vodonosnik je na območju vodnjaka VŽ-3 od 41 (nadm. v. 251 m) do 68 m (nadm. v. 224 m) pod površino. Prepustnejši je prod spodnjega dela, ki je odložen neposredno na kameninsko podlago (dolomit). Piezometrična gladina vode spodnjega vodonosnika je na območju piezometričnih vrtin PŽ-1, PŽ-2 in PŽ-3 na nadmorski višini približno 294 m, na območju vodnjaka VŽ-3 pa na nadmorski višini 291 m (padec gladine med obema lokacijama je 3 ‰). Zmogljivost vodnjaka VŽ-2 je 18 l/sek, vodnjaka VŽ-3 pa 30 l/sek.

Zmogljivost spodnjega vodonosnika bo težko določiti. Vodonosnik sprejema vodo verjetno izključno iz kraškega vodonosnika. Zmogljivost podtalnice spodnjega vodonosnika je odvisna predvsem od prepustnosti kontaktne površine obeh vodonosnikov. Podtalnica spodnjega vodonosnika odteka proti severu, kjer se verjetno južno od Črne vasi združi s podtalnico Iškega vršaja.

Osnovne hidravlične karakteristike spodnjega vodonosnika so ugotovljene s črpanjem vode iz vodnjaka VŽ-3:

$$T = 7,4 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sek} = 640 \text{ m}^2/\text{dan}$$

$$S = 0,00013$$

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

Kemične in bakteriološke analize vode iz spodnjega vodonosnika so pokazale, da je voda dobre kakovosti. Vsebnost železa v vodi je pod 0,2 mg/l. Temperatura vode je 10,5 °C.

Podtalnica v zasipu Gradaščice

Prodni zasip Gradaščice je natančneje raziskan na prodni ravnici ob Gradaščici severno od Šujice. Pod 2–3 m debelo plastjo gline, meljne gline in peska je prod karbonatnih kamenin pomešan s prodniki peščenjaka in skrilavega glinovca. Kameninska podlaga, ki jo sestavljata permokarbonski peščenjak in skrilavi glinovec, je v globini 9 do 11 m. Gladina podtalne vode je približno dva metra pod površino in je odvisna od gladine vode Gradaščice. Podtalnica prodnega vodonosnika se obnavlja

z infiltracijo vode Gradašče in padavin. Zmogljivost podtalnice je odvisna predvsem od prepustnosti kontaktnega dela med strugo Gradašče in vodonosnikom. Na območju, kjer smo opravili raziskave, je ugotovljeno, da je kontaktni del dobro prepusten. Iz vodnjaka Š-I, ki je bil izdelan približno 200 m od Gradašče, so črpali 60 l/sek podtalne vode z znižanjem 2 m. Zmogljivost vodnjaka pa tudi podtalnice je še večja. S pravilno izbiro lokacij bi lahko v prodnem vodonosniku Gradašče zajeli pomembne količine podtalnice. Osnovne hidravlične karakteristike vodonosnika v prodnem zasipu Gradašče so izračunane iz rezultatov črpalnega poizkusa na vodnjaku Š-I:

$$T = 1,3 \times 10^{-1} \text{ m}^2/\text{sek} = 11192 \text{ m}^2/\text{dan}$$

$$S = 0,00048$$

$$k = 4,8 \times 10^{-4} \text{ m/sek}$$

Večkrat odvzeti vzorci vode so pokazali, da kemični sestav vode zadovoljuje predpise za varstvo pitnih voda. Bakteriološko je voda občasno neprimerna za pitje. Z zaščito na porečju Gradašče in z zmanjšanjem intenzivnega gnojenja na območju vodnjaka bi lahko dobili vodo dobre kakovosti.

Podtalnica v prodnem zasipu Save južno od Ljubljane

Vrtine izvrtane v Murglah in Trnovem (Verbovšek – ustno sporočilo), so po prevrtanju jezerskih usedlin zadele na podtalno vodo, ki se je dvignila na okrog 8 m pod površino (nadm. v. okrog 285 m). Hidravlični padec podtalnice med vrtino PB-1 (v Črni vasi) in vrtinami v Murglah je okrog 1 ‰. Podtalnica spodnjega vodonosnika Iške odteka v smeri proti Ljubljani in se južno od Ljubljane (Murgle, Mestni log) verjetno združi s podtalnico v savskemrodu. Manj verjetno je, da bi na tem območju še imeli dva med seboj dobro ločena vodonosnika (v iskemrodu spodaj in savskemrodu zgoraj). Od Murgel proti trgu Osvobodilne fronte se hidravlični padec podtalnice poveča in je okrog 5 ‰. Če za oceno pretoka vode med Gradom in Rožnikom vzamemo gradient 5 ‰ in razmeroma slabo prepustnost savskega roda $1 \times 10^{-3} \text{ m/sek}$ (savski rod je južno od Ljubljane slabše prepusten zaradi večjega deleža peščeno glinastih in meljastih primesi) ter presek vodonosnika 40000 m^2 (širina 800, debelina 50 m), potem dobimo:

$$Q = F \cdot k \cdot i = 40000 \times 1 \times 10^{-3} \times 0,005 = 0,200 \text{ m}^3/\text{sek}$$

Glede na to, da se gradient v centru Ljubljane (Trg Osvobodilne fronte) poveča na 7,5 ‰, sklepamo, da se skoz ožino med Rožnikom in Gradom preceja še več vode.

Manj podatkov imamo za izračun pretoka podtalnice skozi savski rod med Rožnikom in Podutikom v prodni vodonosnik Ljubljanskega polja. Glede na slabšo prepustnost (vrtina B-2 pri Brdu) in manjšo debelino ter širino vodonosnika, je pretok verjetno znatno manjši od pretoka med Rožnikom in Gradom.

Sklepi in predlogi za nadaljnje raziskave

Hidrogeološke raziskave, ki so bile opravljene v zadnjih petih letih predvsem na območjih vršajev rečic, so dale nove podatke o prodnih zasipih, njihovi razprostranjenosti, debelini, prepustnosti, podtalnici v prodnih vodonosnikih in o debelini barjanskih plasti. Dale so tudi precej novih podatkov o predkvartarni podlagi in

tektoniki. Žal pa je nejasen in še ne dovolj raziskan vpliv črpanja podtalne vode iz prodnih vodonosnikov na posedanje stisljivih krovinskih barjanskih plasti, s tem pa na poslabšanje ekoloških razmer na Barju. Neraziskana je zmogljivost podtalnice posamezni vodonosnikov v prodnih vršajih in njihovo obnavljanje. Kakovost vode je znana le na nekaj ožjih območjih. Niso raziskane vse možnosti onesnaženja podtalnice s površine skozi krovne barjanske glinaste plasti. Potrebne bodo detaljne raziskave prodnega zasipa južno od Ljubljane, kjer bi lahko zajeli pomembne količine vode za oskrbo v izrednih razmerah.

Raziskave, opravljene v okviru raziskovalne naloge Raziskave podtalne vode na Ljubljanskem barju, so potrdile domnevo nekaterih raziskovalcev, da se pod večjim delom Barja nahaja prod, ki so ga v pleistocenu in holocenu nanesele rečice in potoki v globeli in kotanje, nastale ob številnih prelomih. Starejši prelomi (zgornji pliocen) imajo smer severozahod-jugovzhod in so z vrtnami in geofizikalnimi raziskavami razmeroma natančno določeni v kameninski podlagi Barja. To so predvsem Dobrepoljski, Ortniški, Želimeljski, Mišjedolski, Rakitniški in Borovniški prelom. V spodnjem pleistocenu so nastali prelomi v smeri jugozahod-severovzhod, kot so Brezoviško-Viški prelom, ki sega od Ljubljane do Vrhnike; prelom, ki poteka mimo Rudnika, severno od Ljubljane v smeri proti Verdu; prelom, ki poteka severno od Ljubljane vzporedno z Ljubljano do njenih izvirov in prelom, ki poteka od Škofljice proti Bistri, ob katerem je severni del (med vrtnama OP-2 in PB-1) nižji za okoli 40 m. Najmlajši prelomi so še danes aktivni in potekajo v smeri sever-jug. Pomembnejši je Ljubljanski prelom, ki poteka zahodno od Gradu proti Iški Loki oziroma Vodicam.

Pod vzhodnim delom Barja zavzemata Iški in Želimeljski prodni vršaj okoli 50 km² ter prod Gradašnice in Save približno 15 km². Pod zahodnim delom Barja pa sta Borovniščica in Podlipščica s prodom zasuli okrog 18 km². Potoki in hudourniki z obrobja, ki ga sestavljajo predvsem permokarbonski peščenjaki in skrilavi glinovci, so na severnem in skrajnem vzhodnem delu Barja pod jezerskimi sedimenti nasuli s peščeno-prodnimi plastmi okrog 15 km² ozemlja. Predkvartarno podlago prodnega zasipa sestavljajo na severnem delu Barja neprepustne permokarbonske plasti peščenjaka in skrilavega glinovca, ki so narinjene na dolomit Krimskega hribovja. (Vrtina V-5 pri Kostanjevici je od globine 24 m do 30 m prevrtala permokarbonske plasti, pod njimi pa zgornjetriadni dolomit). Na južnem in zahodnem delu Barja je v podlagi poleg dolomita še apnenec. Narivni kontakt je ob prelomih, ki potekajo v smeri NW-SE, premaknjen ponekod tudi za več kot 0,5 km.

V prodnem zasipu Borovniščice, Iške in Želimeljščice sta ugotovljena dva med seboj ločena vodonosnika. Loči ju mejna plast, ki jo v vršaju Borovniščice in Želimeljščice sestavlja plast rdeče rjavega melja, debelega od 1,5 m do 3 m, v vršaju Iške pa zaglinjen prod, debel okrog 10 m (vmes je tudi plast rdeče rjavega melja, debelega okrog 1 m). Spodnji vodonosnik sestavlja več prodnih vodonosnih plasti, med katerimi so slabo prepustne plasti, ki vodonosne plasti delno ločijo med seboj.

Zgornji vodonosniki vršajev Borovniščice, Iške in Želimeljščice segajo na območju vodarn do globine približno 30 m. Podtalnica v vodonosnikih Borovniškega in Želimeljskega vršaja se napaja z vodo iz vodonosnikov v karbonatnih kameninah na obrobju in le malo z infiltracijo padavin. Zgornji vodonosnik vršaja Iške se napaja okrog 60 % z vodo ponikle Iške, 40 % pa prispevajo padavine s prodnega vršaja. Zgornji vodonosniki vršajev Iške, Želimeljščice in Borovniščice segajo pod Barje daleč proti severu. Večji del ponikle vode Iške odteka na zahodnem delu mimo vodarne in med vodnjaki, ki so zajeli vodo zgornjega vodonosnika, proti severu. Del te vode odvajajo barjanski izviri, del pa odteka še naprej proti Ljubljanskemu polju.

Piezometrična gladina vode zgornjega vodonosnika je v profilu vodarne Brest na nadmorski višini 292 do 297 m, na območju vrtine BV-2 na nadmorski višini 292 m in na območju vrtine PB-2 289 m do 291 m.

Piezometrična gladina podtalnice zgornjega vodonosnika je v vodnjakih na vršaju Borovniščiце na nadmorski višini 290 do 291 m. Piezometrična gladina podtalnice zgornjega vodonosnika v vodnjaku VŽ-3, na vršaju Želimeljščice, je na nadmorski višini 292–292,5 m.

Po podatkih kemičnih analiz je voda podtalnice zgornjega vodonosnika Iške primerna za pitje, medtem ko je voda zgornjih vodonosnikov vršaja Borovniščiце in Želimeljščice neprimerna zaradi prevelike vsebnosti železa. Voda zgornjih vodonosnikov v vršaju Borovniščiće in Želimeljščice je bakteriološko neoporečna, medtem, ko je voda podtalnice zgornjega vodonosnika Iške občasno oporečna.

Na vršaju Borovniščiće loči spodnji in zgornji vodonosnik predvsem okoli 1,5 do 3 m debela plast rdečega melja, ki navzdol prehaja v rdečo rjavo glino. Podobna plast je ugotovljena v vrtinah na vršaju Želimeljščice in v vrtinah IŠ-3, PB-2 in PB-1 na vršaju Iščice. V vodnjakih vseh treh vodarn je ta plast približno povsod na nadmorski višini okrog 270 m, medtem ko je v vrtinah PB-2 in PB-1 na nadmorski višini okrog 260 m. Glede na to je mogoče sklepati, da gre za eolski sediment verjetno nanesen v zadnji würmski poledenitvi iz kraškega območja na jugu. Mogoče je tudi sklepati (glede na približno enako nadmorsko višino meljne plasti), da neotektonski premiki (po würmu) niso bistveno vplivali na premike tal južno od preloma, ki poteka mimo Škofljice in Podpeči v smeri proti Bistri.

Spodnji vodonosnik vršaja Borovniščiće in Želimeljščice sestavlja dobro prepusten prod le v spodnjem delu (na raziskanem delu je ta plast debela okrog 15 m) in je odložen neposredno na podlago iz dolomita, ki predstavlja vodonosnik z arteško vodo. Na območju vršaja Iške so te prodne plasti spodnjega vodonosnika odložene severno od vodarne Brest (med vrtino OP-2 in Brezoviško-Viškim prelomom). Spodnji vodonosnik je zagotovo ugotovljen v vrtini PB-1 v Črni vasi in v vodnjaku TB-3 ob Curnovcu, verjetno pa sega do Brezoviško-Viškega preloma. Južno od Črne vasi se spodnji vodonosnik vršaja Iške združi s spodnjim vodonosnikom vršaja Želimeljščice. Med vrtinama PB-2 in BV-1 pa se verjetno (to je potrebno še dokazati) združi s spodnjim prodnim vodonosnikom vršaja Borovniščiće. Podtalna voda tako združenega spodnjega vodonosnika odteka v smeri proti Ljubljani (gradient 1‰). Piezometrična gladina vode spodnjega vodonosnika je v vodarni Brest na nadmorski višini 291 do 292 m, v vrtini PB-1 na nadmorski višini 289,0 do 290,5 m in v Murglah približno na nadmorski višini 283 m. Razlika med minimalno in maksimalno piezometrično gladino vode je približno 1,5 m.

Spodnji vodonosnik se napaja z vodo vodonosnika iz karbonatnih kamenin. Ni ugotovljeno, če se spodnji vodonosnik Iškega vršaja napaja tudi z vodo ponikle Iške. »Združeni« vodonosnik južno od Ljubljane napaja tudi podtalnica prodnega zasipa Gradaščiće.

Iz vodnjakov na vršaju Borovniščiće, ki so zajeli vodo spodnjega vodonosnika, črpajo 70 l/sek podtalnice. Iz vodnjakov, ki sta zajela vodo spodnjega vodonosnika na Iškem vršaju, črpajo 100 l/sek in iz vodnjaka v spodnjem vodonosniku Želimeljščice zaenkrat le 20 l/sek.

Po podatkih kemičnih in bakterioloških analiz je voda spodnjega vodonosnika povsod primerna za pitje.

Na vršaju Borovniščiće črpajo vodo spodnjega vodonosnika že pet let in do sedaj še niso opazili posedanja tal zaradi črpanja (izvajajo geodetske meritve). Prodni

vodonosnik zasipa Gradaščice severno od ceste Dolgi most–Gorjanc je debel med 10 do 12m. Z vrtino G-8 je ugotovljeno, da sega mlajši prodni zasip Gradaščice do globine 34m. Prodni zasip Gradaščice in vodonosnik v njem je pomemben predvsem severno od Dobrove in Šujice. Na tem območju napaja podtalnico v prodnem vodonosniku Gradaščica. Struga Gradaščice ni zablatena tako, da lahko precejšnje količine vode pritekajo iz struge v vodonosnik. To je ugotovljeno s črpalnim poizkusom v vodnjaku Š-1 severno od Dobrove, kjer je bilo pri stabiliziranih gladinah črpanih približno 60l/sek podtalne vode. Koliko podtalnice v zasipu Gradaščice odteka v prodni vodonosnik južno od Ljubljane, ni izračunano, ker nista znana koeficient prepustnosti in gradient med Kozarji in cesto Ljubljana–Vrhnika.

Gladina vode je severno od Šujice približno 2m, v vrtini G-8 pa 3m pod površino. Voda iz vodnjaka Š-1 je kemično primerna, bakteriološko pa je občasno oporečna.

Najmanj so znane hidrogeološke razmere v vodonosniku južno od Ljubljane, kjer se prepletajo prodi Iške, Gradaščice in Save. Debelina zasipa je čez 150m. Verjetno je tu več vodonosnih plasti, ki so med seboj delno ločene s slabše prepustnimi plastmi gline in melja. Piezometrična gladina podtalnice je v vrtini TB-3 približno na nadmorski višini 287m in v Murglah na nadmorski višini 283m. Podtalnica s tega območja odteka v prodni vodonosnik Ljubljanskega polja skoz ožini med Gradom in Rožnikom ter Rožnikom in Podutikom.

Nimamo še dovolj podatkov za natančnejši izračun pretokov podtalnice skoz obe ožini v prodni zasip Ljubljanskega polja. Ocenjujemo, da je ta pretok čez 200l/sek.

Podtalnica v prodnem zasipu potokov in hudournikov z obrobja je za oskrbo z vodo nepomembna. Podtalnica ni zvezna, prepustnost prodnega zasipa je zelo majhna. Prodni zasipi potokov in hudournikov z obrobja pa so pomembni predvsem za gradnjo oziroma temeljenje na Barju.

Območja na Barju, pod katerimi ni vodonosnikov z arteško vodo ali pa so ti v veliki globini, so verjetno bolj izpostavljena izsuševanju zgornjih plasti in s tem večjim posedanjem. Večja posedanja so tudi tam, kjer imamo še ohranjene plasti šote, to je predvsem v bližni melioracijskih jarkov, kjer zaradi izsuševanja preperi in se posede.

Črpanje vode iz vodnjakov vodarne Brest, ki so zajeli vodo zgornjega vodonosnika, bi verjetno imelo prej bolj neugodne ekološke posledice na Barje kot črpanje vode iz spodnjega vodonosnika. Zgornji vodonosnik leži neposredno pod barjanskimi krovniimi plastmi od barjanskih izvirov proti severu vsaj do Ljubljanice in še daleč proti vzhodu in zahodu. Ni nam znano, da bi dosedanje črpanje vodarne Brest imelo škodljive posledice na ekološke razmere na Barju.

Nadaljnje raziskave bodo morale ugotoviti kolikšna količina črpanja vode iz vodonosnikov pod Barjem ne bo ekološko škodljiva oziroma kako izkoristiti naravni filter pod Barjem, kjer lahko prečistimo velike količine podzemne vode, ki priteka iz kraških vodonosnikov v prodni zasip pod Barjem.

The gravel fill beneath the lacustrine sediments of the Ljubljansko barje

Conclusions and recommendations for future work

The Ljubljansko barje (the Ljubljana Swamp) is a former swampy region which has been largely drained in the last couple of centuries. Hydrological investigations performed in the last five years, especially in areas of alluvial fans of small rivers which flow into it, furnished new data on the gravel deposits, their extension, thickness, groundwater permeability in gravel aquifers, and on thickness of the swamp deposits. Numerous are also new data on the Pre-Quaternary basement and on the tectonics. Unclear and not sufficiently known remains, however, the influence of withdrawals of groundwater from gravel aquifers on sinking of compressible overlying swamp beds, and, in consequence, on the deterioration of ecological situation on the Barje. The amount of ground water of individual aquifers in gravel fans and its restoring capacity are not sufficiently known. Water quality is known only in a few sites. Major possibilities of pollution of ground water from the surface, through the overlying loam beds, were not investigated. Needed will be detailed investigations of gravel deposits south of Ljubljana where important amounts of water for supply in extraordinary conditions could be obtained.

Results of investigations which were carried out in the frame of the research project Investigations of Ground Water on the Ljubljansko Barje furnished support to the hypothesis of several earlier authors that the major part of the swamp is underlain by gravel which was deposited during Pleistocene and Holocene by numerous small rivers and creeks into hollows and depressions which were formed along numerous faults. Older (Upper Pliocene) faults trend northwest-southeast, and they were quite accurately established in the rock basement by boreholes and geophysics. These are above all the Dobropolje, Ortnek, Želimlje, Mišjedol, Rakitna and Borovnica faults. During the Lower Pleistocene originated faults of southwest-northeast directions, as the Brezovica-Vič fault from Ljubljana to Vrhnika; the fault which passes next to Rudnik and north of the Ljubljana River towards Verd; fault which passes north of the Ljubljana River and parallel to it towards its sources, and the fault which passes from Škofljica towards Bistra, and along which the north flank (between the boreholes OP-2 and PB-1) is depressed for about 40 meters. The youngest faults trending north-south are still active. One of the most important ones is the Ljubljana fault which trends from Iška Loka to west of the Ljubljana Castle and farther towards Vodice.

Below the eastern part of Barje the Iška and Želimlje gravel fans cover about 50 km², and the gravel of Gradaščica and Sava about 15 km². Below the western part of Barje the Borovniščica and Podlipščica creeks filled with gravel about 18 km². Creeks and periodic streams from the borderland which consists predominantly of Permo-Carboniferous sandstones and shaly mudstones, filled with fans of sand and gravel deposits below the lacustrine deposits around 15 km² of territory in the north and extreme east part of Barje. The Pre-Quaternary basement of the gravel fill consists in the northern part of Barje of impermeable Permo-Carboniferous beds of sandstone and shaly mudstone which were overthrust on the dolomite of the Krim highlands. The borehole V-5 near Kostanjevica was drilled from 24 to 30 m through Permo-Carboniferous beds, and below that thorough Upper Triassic dolomite. In the south and west parts of Barje there occurs in the basement next to dolomite also limestone. The thrust contact was displaced in places for more than 0,5 km along faults which trend NW-SE.

In the gravel deposits of the Borovniščica, Iška and Želimeljščica rivers two well separated aquifers were established. They are delimited by a border bed which consists in the Borovniščica and Želimeljščica fan of red brown silt from 1.5 to 3 m thick, and in the Iška fan of loamy gravel which is about 10 m thick (containing also of about 1 meter thick layer of red brown silt). The lower aquifer consists of several gravel water bearing beds which are separated by poorly permeable beds.

The upper aquifers of Borovniščica, Iška and Želimeljščica fans reach in the areas of supply wells to approximately 30 m depth. The ground water in aquifers of the Borovniščica and Želimeljščica fans is recharged with water from aquifers in carbonate rocks on the borders of Barje, and only insignificantly in a direct way by infiltration of precipitation. The upper aquifer of the Iška fan is recharged to about 60 % with water of the underground Iška flow, while the remaining 40 % are supplied by precipitation on the gravel fan. The upper aquifers of Iška, Želimeljščica and Borovniščica fans reach below Barje far northwards. The major part of the sinking waters of Iška flows in the western part by the water supply station and between the wells which captured water of the upper aquifer farther northwards. A part of this water is discharged in the Barje springs, and a part flows farther towards the Ljubljansko polje (Field).

The piezometric level of water of the upper aquifer is in the traverse of the Brest water station at 292 to 297 m above the sea level, in the area of the borehole BV-2 at 292 m, and in the area of the borehole PB-2 at 289 to 291 m above the sea level.

The piezometric level of the ground water of the upper aquifer is in wells of the Borovniščica fan at 290 to 291 m above the sea level. The piezometric level of the ground water of the upper aquifer in well VŽ-3 in the Želimeljščica fan occurs at 292 to 292.5 m above the sea level.

According to chemical analyses the water from the ground water of the upper aquifer of Iška is appropriate for drinking, whereas water from the upper aquifers from the Borovniščica and Želimeljščica is not appropriate owing to excessive amounts of iron. Water from the upper aquifers in Borovniščica and Želimeljščica fans is bacteriologically irreproachable, while water from the upper aquifer of Iška is periodically not.

In the Borovniščica fan the lower and the upper aquifers are separated by a 1.5 m thick layer of red silt which passes downwards into red brown loam. A similar layer was found in the Želimeljščica fan and in boreholes IŠ-3, PB-2 and PB-1 in the Iščica fan. In wells of all three water supply stations this layer occurs approximately at 270 m above the sea level, whereas in the boreholes PB-2 and PB-1 it is situated at about 260 m above the sea level. On the ground of these data it seems probable that layer is of eolic origin, most probably deposited during the last Würm glaciation from the karstic source area in the south. It can be also concluded (on the basis of about equal altitude of the silty layer) that the Post-Würm neotectonical movements did not essentially influence the territory south of the fault which passes from near Škofljica and Podpeč to Bistra.

The lower aquifer of the Borovniščica and Želimeljščica fans consists of highly permeable gravel only in its lower part. In the investigated terrain this bed is about 15 m thick. The gravel was deposited directly on dolomitic basement which represents an aquifer with artesian water. In the area of the Iška fan these gravel beds of the lower aquifer were deposited north of the Brest water supply station (between the borehole OP-2 and the Brezovica-Vič fault). The lower aquifer was established with certainty in borehole PB-1 in Črna vas, and in the well TB-3 at Curnovec, it probably

extends up to Brezovica-Vič fault. South of the Črna vas the lower aquifer of the Iška fan unites with the lower aquifer of the Želimejščica fan. Between boreholes PB-2 and PB-1 it possibly joins (which remains to be proved) with the lower gravel aquifer of the Borovniščica fan. The ground water of so unified aquifer then flows farther in the direction of Ljubljana (gradient of about 1%). The piezometric table of the lower aquifer in the water supply station of Brest is at 291 to 292 m above the sea level, in borehole PB-1 at 289 to 290.5 m, and in Murgle at about 283 m above the sea level. The difference between the minimum and maximum piezometric tables of water is about 1.5 m.

The lower aquifer is recharged with water from the aquifer in carbonate rocks. It was not found whether the lower aquifer of the Iška fan was being recharged also with waters of the sinking river Iška. The "united" aquifer south of Ljubljana is recharged also by ground water in the gravel deposits of the Gradaščica river.

From the wells in the Borovniščica fan which are supplied by water from the lower aquifer, about 70 l/s of water is being withdrawn. From the wells which reach to the lower aquifer in the Iška fan about 100 l/s and from the well in the lower aquifer of the Želimejščica fan at present only 20 l/s are being withdrawn.

According to results of chemical and bacteriological analyses the waters of the lower aquifer are entirely adequate for drinking.

On the Borovniščica fan the water from the lower aquifer has been withdrawn for six years already, but no subsidence of the soil due to pumping has been observed by geodetic measurements. The gravel fill of the Gradaščica north of the road Dolgi most bridge-Gorjanc tavern is 10 to 12 m thick. The well TB-3 established the depth of the younger gravel fill of the Gradaščica at 40 m. The gravel deposit of Gradaščica and the aquifer in it are important especially north of villages of Dobrova and Šujica. In this area, the ground water in the gravel aquifer is recharged by the Gradaščica River. The riverbed of the Gradaščica is not muddy, so that considerable amounts of water can flow from the riverbed into the aquifer. This was proved with a pumping experiment in the well Š-1 north of Dobrova, where at steady water levels about 60 l/s of ground water was pumped. The amount of ground water flow from the Gradaščica gravel fill into the gravel aquifer south of Ljubljana was not estimated, because the permeability coefficient and gradient between the Kozarje village and the Ljubljana-Vrhnika highway were not known.

The water table north of the Šujica village is about 2 m, and in the borehole G-8 around 3 m below the surface. Water from the well Š-1 is chemically appropriate, but it is periodically bacteriologically inappropriate.

The hydrogeological situation in the aquifer south of Ljubljana where the gravels of Iška, Gradaščica and Sava intermingle, is the least known. The thickness of the gravel fill exceeds 150 meters. In it probably occur several aquifer beds which are separated by layers of loam, silty loam and silt of lower permeability. The piezometric table of ground water in borehole TB-3 is approximately at 287 m above the sea level, and in Murgle at 283 m. The ground water from this area flows to the gravel aquifer of the Ljubljansko polje Field through the narrows between the Ljubljana Castle Hill and the Rožnik Hill, and between Rožnik and the Podutik village.

There are no sufficient data for a reliable estimation of the discharge of ground water through both narrows to the gravel fill of the Ljubljansko polje. A rough estimate would be more than 200 l/s.

Ground water in the gravel fill of creeks and periodical streams of the Ljubljansko barje borderland is unimportant for the water supply. The ground water is not

continuous, and the permeability of the gravel fill is very low. The gravel deposits of creeks and periodic streams from the borderland, however, are important especially for construction resp. foundation in the Barje region.

The areas of the Moor which are not underlain by aquifers with artesian water, or where these occur in greater depths, are possibly more subjected to drying of upper beds, and by this to subsidence. Considerable subsidence occurs also in the areas of preserved peat layers, especially in the vicinity of a melioration ditches where dried peat weathers.

Withdrawals of water from wells of the water supply station Brest which captured water of the upper aquifer have possibly more unfavorable ecological consequences for the Moor than pumping the water from the lower aquifer. The upper aquifer lies directly below the upper swamp beds in the area of the Barje springs northwards at least to the Ljubljana river, and still farther towards the east and the west. It has not been known that the withdrawing of water in the water station Brest had any harmful consequences for the ecological situation of the Barje.

Further investigations should establish an estimate of the admissible amount of withdrawals from the aquifers below Barje which would cause no ecological harm, and to suggest ways of using the natural gravel filter below Ljubljansko barje in which large amounts of ground water could be cleaned that arrives from karstic aquifers.

Literatura

- Breznik, M. 1975 a, Hidrogeološke raziskave za vodarno Brest v podtalnici Iškega vršaja. Tipkano poročilo. Arhiv Geol. zavod, Ljubljana.
- Breznik, M. 1975 b, Podtalnica Iškega vršaja. Geologija 18, 289-309, Ljubljana.
- Breznik, M. 1984, Zmogljivost črpališča Brest v sušni dobi, II. del. Tipkano poročilo.
- Buser, S. 1965, Geološka zgradba južnega dela Ljubljanskega barja in njegovega obrobja. Geologija 8, 34-54, Ljubljana.
- Buser, S. 1969, Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000. Tolmač lista Ribnica, 60 p., Zvezni geol. zavod, Beograd.
- Drobne, F. & Tovornik, S. 1961, Obvestilo o raziskavah geoloških pogojev za gradnje na območju Ljubljane. Geologija 7, 269-275, Ljubljana.
- Grad, K. & Ferjančič, L. 1976, Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000. Tolmač za list Kranj. Zvezni geol. zavod, Beograd.
- Grimšičar, A. & Ocepek, V. 1967, Vrtini BV-1 in BV-2 na Ljubljanskem barju. Geologija 10, 279-303, Ljubljana.
- Mencej, Z. 1988, Aluvialni vršaj Želimeljščice. Geologija 24/1, 169-171, Ljubljana.
- Mencej, Z. & Žlebnik, L. 1983, Raziskave podtalne vode na Ljubljanskem barju I. faza, Letno poročilo. Tipkano poročilo. Arhiv Geol. zavod, Ljubljana.
- Mencej, Z. & Žlebnik, L. 1985, Raziskave podtalne vode na Ljubljanskem barju III. faza, Letno poročilo. Tipkano poročilo. Arhiv Geol. zavod, Ljubljana.
- Pavlovec, R. 1959, Poročilo o rezultatih vrtin med Notranjimi goricami in Podpečjo na Ljubljanskem barju. Tipkano poročilo. Arhiv SAZU, Ljubljana.
- Pleničar, M. 1970, Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000. Tolmač za list Postojna, 66 p., Zvezni geol. zavod, Beograd.
- Premru, U. 1983, Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000. Tolmač za list Ljubljana, 75 p. Zvezni geol. zavod, Beograd.
- Rakovec, I. 1955, Zgodovina Ljubljane 1. Geologija in arheologija, 11-207, Ljubljana.
- Ravnik, D. 1965, Geoelektrične raziskave na Ljubljanskem barju. Geologija 8, 80-89, Ljubljana.
- Ravnik, D. 1979, Električno sondiranje vzdolž trase avtoceste prek Ljubljanskega barja. Geologija 18, 325-337, Ljubljana.
- Tancik, R. 1965, Pedološke značilnosti Ljubljanskega barja, Geologija 8, 58-78, Ljubljana.
- Tomšič, B. 1986, Geološke raziskave na Ljubljanskem barju. Tipkano poročilo. Arhiv Geol. zavod, Ljubljana.
- Vidic, F., Andrič, Z. & Mervič, I. 1979, Geotehnično poročilo o pogojih izvedbe južne obvoznice od Viča do Debelega hriba za glavni projekt 52. Tipkano poročilo. Arhiv Geol. zavod, Ljubljana.
- Živanović, M. & Ravnik, D. 1988, Študija geološke strukture na Ljubljanskem polju in Barju s posebnim ozirom na geotermalno energijo, II. faza. Tipkano poročilo. Arhiv Geol. zavod, Ljubljana.
- Žlebnik, L. 1969, Poročilo o hidrogeoloških razmerah v zahodnem in osrednjem delu Ljubljanskega barja. Tipkano poročilo. Arhiv Geol. zavod, Ljubljana.
- Žlebnik, L. 1983, Poročilo o rezultatih raziskav v opuščeni opekarni na Brodu. Tipkano poročilo. Arhiv Geol. zavod, Ljubljana.