

■

**Geološko in hidrogeološko poročilo o dolini Triglavskih jezer s
predlogi reševanja odvajanja vode iz čistilne naprave Koče pri
Triglavskih jezerih**

November, 2019

Naslov naloge: Geološko in hidrogeološko poročilo o dolini Triglavskih jezer s predlogi reševanja odvajanja vode iz čistilne naprave Koče pri Triglavskih jezerih

Naročnik: JAVNI ZAVOD TRIGLAVSKI NARODNI PARK,
Ljubljanska cesta 27, 4260 Bled

Izvajalec: Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo,
Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana

Predstojnik oddelka za geologijo: izr.prof. dr. Boštjan Rožič, univ. dipl. inž. geol.

Nalogo izdelali: izr. prof. dr. Boštjan Rožič, univ. dipl. inž. geol.
doc. dr. Barbara Čenčur Curk, univ.dipl.inž. geol.

Datum: 08. 11. 2019

KAZALO

1. Uvod	4
2. Geografski opis	4
3. Geomorfologija doline	7
4. Geološka zgradba doline	9
4.1. Stratigrafija	9
4.2. Strukturna zgradba	13
5. Hidrogeologija	16
5.1. Hidrogeologija širšega območja doline Triglavskih jezer	16
5.2. Hidrogeologija ožjega območja Dvojnega jezera	21
6. Problematika iztoka odpadnih voda	25
7. Predlog rešitev in oris potrebnih del za izvedbo	27
7.1. Izdelava ponikovalne vrtine	27
7.2. Odvajanje odpadnih voda po ceveh na območje južno (dolvodno) od Dvojnega jezera	33
7.3. Izdelava povezave med izvirom Močilec in Dvojnim jezerom	35
8. Zaključki	37

1. Uvod

V okviru projekta VrH Julijcev, v katerem Triglavski narodni park s partnerji celostno obravnava problematiko Dvojnega jezera (Peto in Šesto Triglavsko jezero), je predvidena tudi optimizacija in nadgradnja obstoječe male komunalne čistilne naprave pri Koči pri Triglavskih jezerih. Za določitev potrebnih ukrepov omilitve vpliva čiščene odpadne vode iz planinske koče na stanje Dvojnega jezera so bile izdelane različne strokovne podlage. Med ostalim je bilo narejeno pričujoče poročilo o splošnih geoloških in hidrogeoloških karakteristikah celotne Doline Triglavskih jezer kot tudi značilnostih ožjega območja planinske koče in jezer. Osnovni namen poročila je predlagati primerno lokacijo iztoka iz čistilne naprave, kjer bi odpadne vode imele čim manjši vpliv na jezero. Splošno stanje jezera se z leti neprestano slabša in potencialen vzrok gre sigurno iskati tudi v odpadnih vodah, za katere je bilo dokazano, da se izpirajo v jezero. Poročilo podaja več možnih rešitev in za vsako izvedbo poda osnovni hidrogeološki namen rešitve, opis nadaljnjih del ter povdari prednosti in morebitne težave posameznega ukrepa.

2. Geografski opis

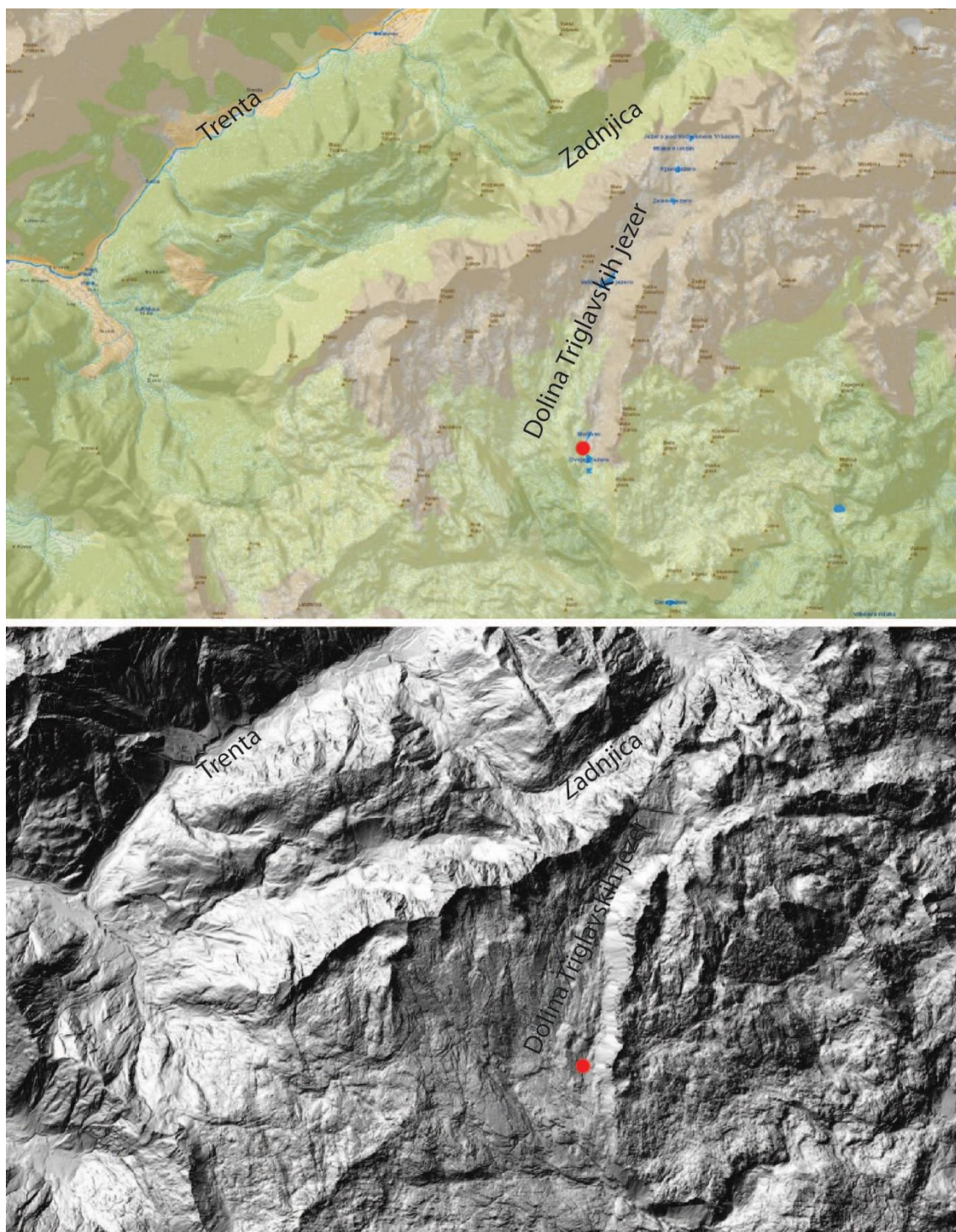
Dolina Triglavskih jezer se nahaja v osrednjem delu Julijskih Alp v severozahodni Sloveniji. Dolino omejujeta dva gorska grebena in sicer greben Špičja na zahodu oziroma severozahodu in greben Zelnaric na vzhodu (Slika 1). Oba grebena dosejata nadmorske višine preko 2300 metrov, s tem da je na prvem najvišji vrh Veliko Špičje z 2396 metri nadmorske višine, in na slednjem Velika Zelnarica z 2320 metri nadmorske višine. Na severu dolino zapira masiv Kanjavca, na katerem sta višja vrhova Poprovec (2495 m.n.v.) in pa Vodnikov Vršac (2187 m.n.v.). Preko sedla na Prehodavcih, katerega nadmorska višina je dobrih 2000 m, se dolina Triglavskih jezer na skrajnem severozahodu odpre proti globoko zarežani dolini Zadnjici. Na jugu dolina preko morfološke stopnje preide v ravan v okolici Črnega jezera in nato preko Komarče v Bohinj, na jugozahod pa se planotast svet nadaljuje do Komne.

Dolina je v zgornjem delu visoka okoli 2000 metrov nad morjem, nato pa se polagoma spušča proti jugu, kjer v okolici Dvojnega jezera dosega višine okoli 1700 metrov, nato se nadmorska dno preko morfološke stopnje zelo hitro spusti za dobrih 100 višinskih metrov. Dolžina doline znaša okoli 6 km, njegova širina pa okoli 0,5 km v zgornjem delu. Proti jugu se dolina postopoma razširi in je široka okoli 1,5km, s tem, da postane njeno severnozahodno pobočje bolj položno in je težko nedvoumno reči, kje je dejanski rob dolinskega dna.

V dolini je več manjših ojezeritev, pet v vrhnjem delu doline. Najbolj severno je Jezero pod Vodnikovim Vršcem, ki je visoko 1989 metrov nad morjem. V neposredni bližini je Mlaka v Laštah z 1994 m.n.v., ki se v poletnih mesecih praviloma v celoti izsuši. Nato imamo Rjavo jezero z 2000 m.n.v. in proti jugu še Zeleno jezero z 1987 m.n.v., ter pa majhno Jezero pod Vršaki z 2007 m.n.v.. V osrednjem delu doline se nahaja največja ojezeritev Jezero v Ledvicah z 1833 m.n.v. To jezero se imenuje tudi Veliko Črno jezero, med planinci pa je znano tudi kar kot Ledvička. V spodnjem delu doline imamo Dvojno jezero z 1678 m.n.v., za katerega je značilno, da ima dve kadunji, ki sta ob nizkih vodostajih ločeni, ob visokih pa povezani. Nekoliko severneje od Dvojnega jezera je tudi manjša, v veliki meri umetna vodna akumulacija, saj je ojezeritev nastala zaradi izgradnje manjšega jezua. Zajezerena voda prihaja iz izvira Močilec in se uporablja za potrebe bližnje koče. Omeniti moramo še Črno jezero (1296 m.n.v.), ki pa se nahaja že izven osrednjega dela doline pod prej omenjeno morfološko stopnjo.

V spodnjem delu je dolinsko dno poraščeno z iglastim gozdom, ki se začne v okolici Dvojnega jezera redčiti in prehaja postopoma proti Jezeru v Ledvicah v rušje, še višje pa je dolina z izjemo travnih zaplat neporaščena.

V dolini sta dve planinski koči in sicer Koča pri Triglavskih jezerih (1686 m.n.v) in Zasavska koča na Prehodavcih (2072m.n.v). V bližini prve je še manjša koča (1728 m.n.v.), ki se uporablja za potrebe Triglavskega narodnega parka. Iz južne strani je v dolino možno vstopiti preko poti iz smeri Komne, Črnega jezera, ali pa iz planine Ovčarije in sicer preko dveh poti. Po dnu doline poteka planinska pot med obema kočama, ena pot pa se odcepi neposredno proti Špičju. V zgornjem delu doline pa poti vodijo ali v dolino Zadnjice preko Prehodavcev, preko sedla pri Vodnikovem Vršacu na severno stran masiva Kanjavca, proti Doliču (in naprej proti Triglavu), iz tega dela doline je mogoč tudi dostop na oba obdajajoča grebena.



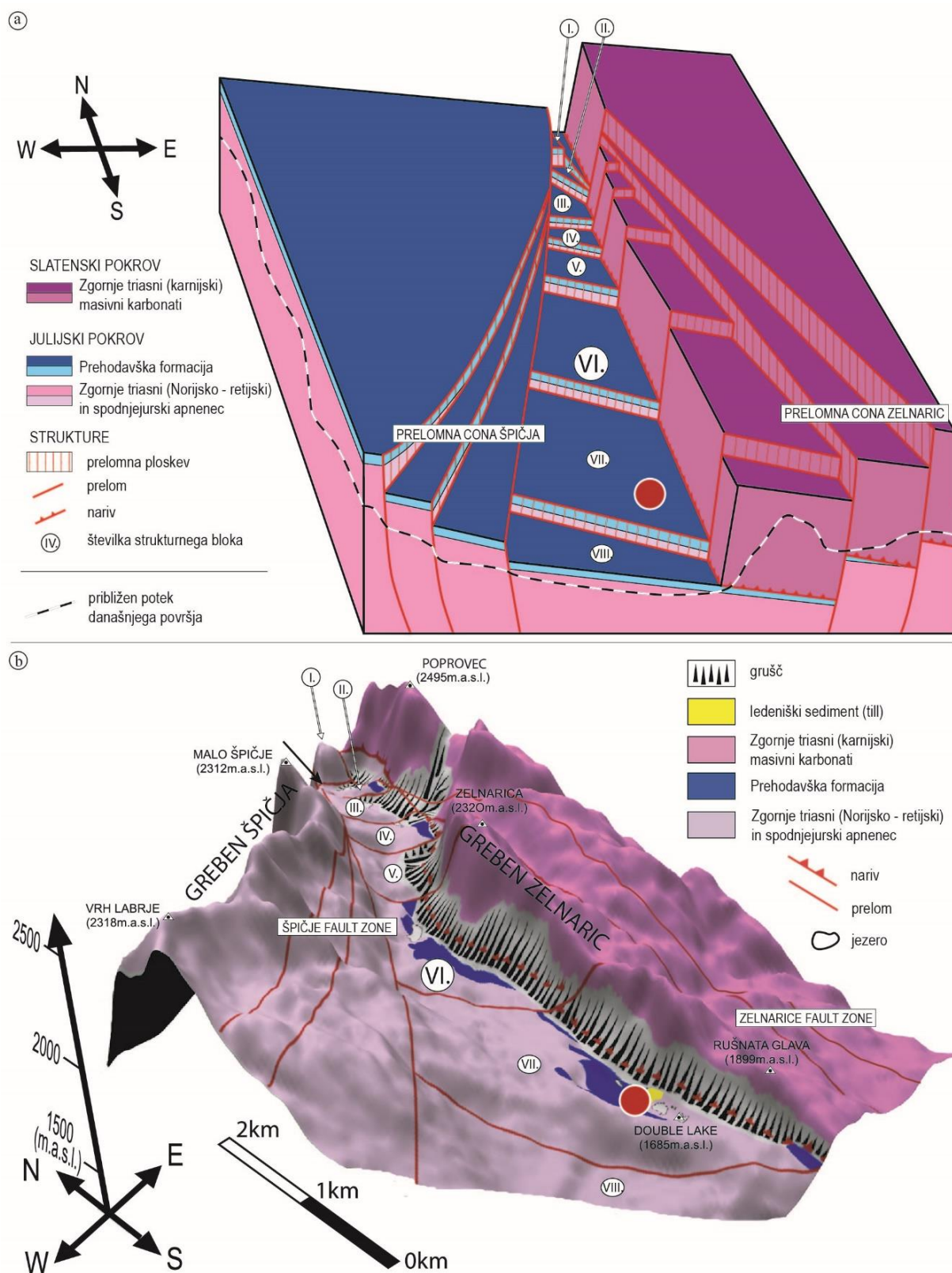
Slika 1: Zemljepisna karta (zgoraj) in digitalni model površja narejen iz lidar podatkov (spodaj) Doline Triglavskih jezer: območje Koče pri Triglavskih jezerih je označeno z rdečo piko (vir: ARSO – Atlas okolja).

3. Geomorfologija doline

Geomorfologijo doline Triglavskih jezer sta oblikovala predvsem dva geološka procesa in sicer tektonske deformacije in nato poledenitve (Šmuc in Rožič, 2009; Hrvatini et al., 2015). Dolina je nastala zaradi tektonskih premikov v sistemu divergentnih zmičnih prelomov, v kateremu praviloma pride do ekstenzijskih razmer (razpiranja). En tovrsten prelom poteka na zahodnem oziroma severozahodnem delu doline, drugi pa vzhodno od grebena Zelnaric in se v dolino spusti pri Jezeru pod Vršaki (Slika 2). Smer obeh prelomov je približno v smeri sever-jug, s tem da se zahodni odklanja proti smeri severovzhod – jugozahod in s tem tvori klin. Sama dolina je nastala zaradi pogrezanja kamninskih blokov med tema glavnima prelomoma, torej bi lahko govorili o tektonski udornini (strukturna zgradba je natančneje razložena v poglavju 4.2).

Pri tem se današnje dolinsko dno ni pogreznilo enotno, ampak je prišlo do segmentacije kamninskih mas med glavnima prelomoma. Tako med njima sledimo niz prečnih, oziroma veznih prelomov, ki potekajo v smeri vzhod – zahod do severozahod – jugovzhod (slednji predvsem v spodnjem delu doline). Značaj teh prelomov je normalen in ob njih so praviloma spuščeni južni bloki. Izjemo predstavlja le prelom na južni strani Jezera v Ledvicah, ob katerem je pogreznjen severni blok. Vsi ti prečni prelomi so zelo lepo izraženi tudi geomorfološko. Vidimo jih kot manjše stopnje, ki se vsake toliko pojavijo prečno na glavno smer doline in tvorijo tipično stopničasto dno doline. Najlepše so te prelomne stopnje vidne v vrhnjem delu doline med Jezerom v Ledvicah in Rjavim jezerom, prepoznati pa jih je možno tudi v spodnjemu delu doline (Šmuc in Rožič, 2009).

Potem, ko je bila dolina že oblikovana zaradi opisane tektonske zgradbe, je sledila druga faza, kjer je prišlo do preoblikovanja zaradi ledeniške dejavnosti (Slika 2b). Osnovni rezultat delovanja potujočega ledu je vsekakor rahlo zabrisanje, oziroma zaobljenje ostre tektonske geomorfologije. Tako je videti sledi ledeniške abrazije na izpostavljenih kamninskih golicah, predvsem na zgornji strani prelomnih stopenj. Poleg tega pa prepoznamo tudi ostale ledeniške geomorfološke oblike. V zgornjem delu doline med Vodnikovim Vršcem in Poprovcem je lepo oblikovana krnica, del ledenika pa je gotovo prihajal iz smeri Triglava. V dolini nademo tudi nekaj ledeniških sedimentov in sicer lokalno po celotnem dnu doline. Večje nakopičenje tillov (ledeniških sedimentov) dobimo na jugovzhodnem bregu Jezera v Ledvicah in pa v bližini Dvojnega jezera (Šmuc in Rožič, 2009), kjer je lepo prepoznaven greben stranske morene, ki poteka vzdolž vzhodnega roba doline. Po umiku ledenikov je nastal zelo lep predpasnik pobočnih gruščev vzdolž grebena Zelnaric. Na nekaj mestih je v dolini prišlo tudi do kamninskih podorov. Površine karbonatnih golic kažejo tudi izrazito zakrasevanje, kar je tipično za celoten svet naših Alp, saj jih sestavljajo predvsem karbonatne kamnine (Kunaver, 2004; Herlec, 2009).



Slika 2: Tektonski nastanek Doline Triglavskih jezer (Koča pri Triglavskih jezerih je označena z rdečo piko): a) shematski model, ki prikazuje pogrezanje segmentov znotraj divergentnega sistema zmičnih prelomov, b) geološka karta projicirana na digitalni model reliefa: razvidno je, da površje dodatno preoblikovano z ledeniškimi procesi (prirejeno iz Šmuc in Rožič, 2009).

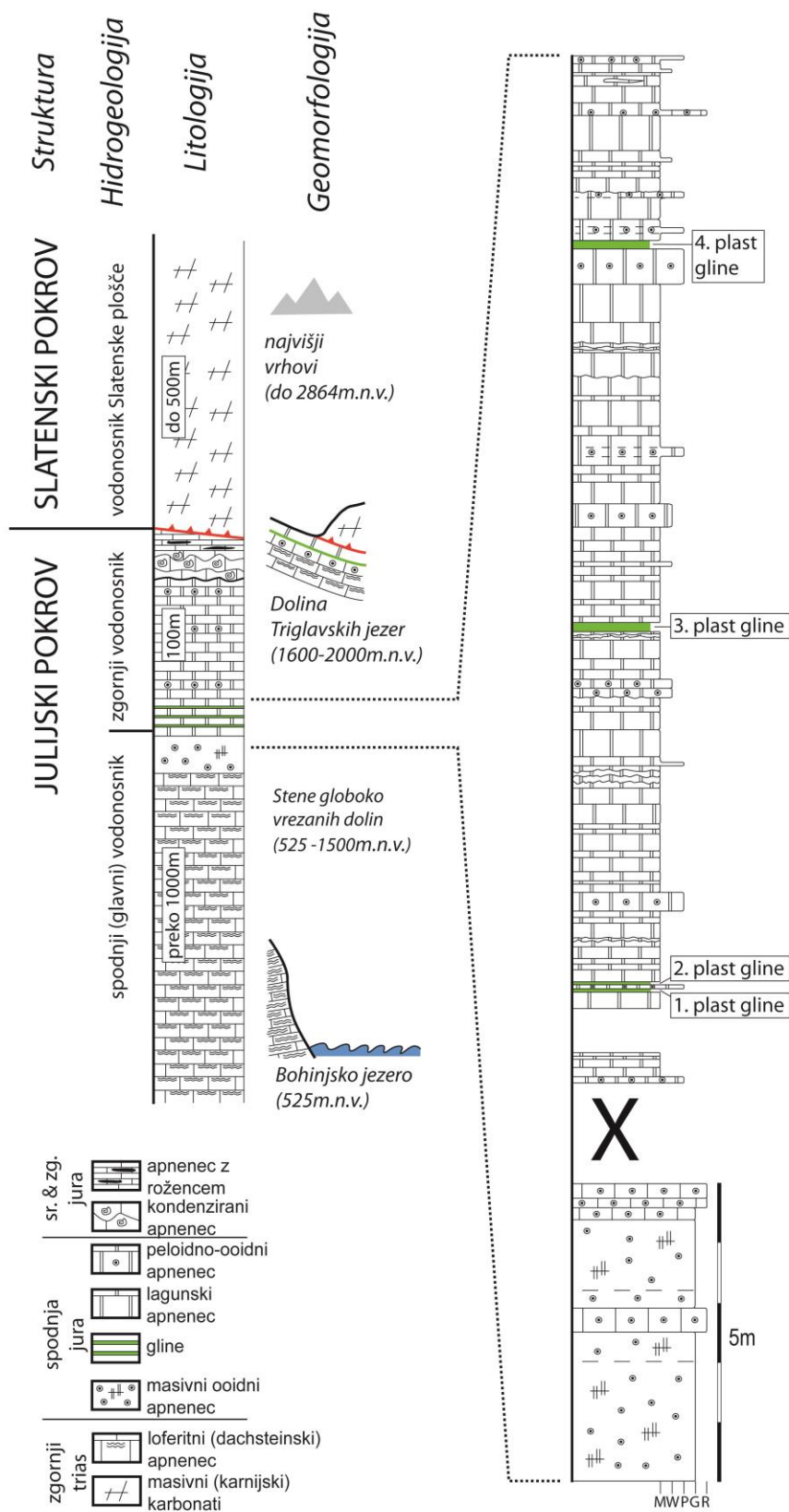
4. Geološka zgradba doline

4.1. Stratigrafija

Kamnine, ki jih dobimo v dolini Triglavskih jezer, so zgornjetriasne in jurske starosti (Slika 3). Paleogeografsko v celoti pripadajo Julijski karbonatni platformi, oziroma Julijskemu pragu. Najstarejše kamnine sledimo vzdolž vzhodnega roba doline, kjer gradijo greben Zelnaric in masiv Kanjavca (Slika 4a). Danes tovrstne kamnine tvorijo najvišje vrhove Julijskih Alp, kar je posledica strukturne zgradbe (glej podpoglavje 4.2). Gre za zgornjetriasne, najverjetneje karnijske masivne karbonate in sicer tako apnenice kot tudi dolomite (Buser, 1986; Jurkovšek, 1987). Prehodi med kamninama niso vezani na stratifikacijo in so prostorsko nepredvidljivi.

Celoten greben Špičja in tudi del dolinskega dna tvori zgornjetriasni, natančneje norijsko - retijski dachsteinski apnenec (Slika 4b). Ta je na ožjem območju le v loferskem razvoju, torej gre za srednje do debeloplastnate apnenice, bioklastičnega in stromatolitnega tipa, ponekod se pojavljajo tudi tanjše plasti s črnimi prodniki (black-pebbles). Stromatolitne plasti so pogosto dolomitne, s tem da gre za zgodnjediagenetske dolomite, v katerih je lepo ohranjena prvotna tekstura (Ogorelec in Buser, 1996).

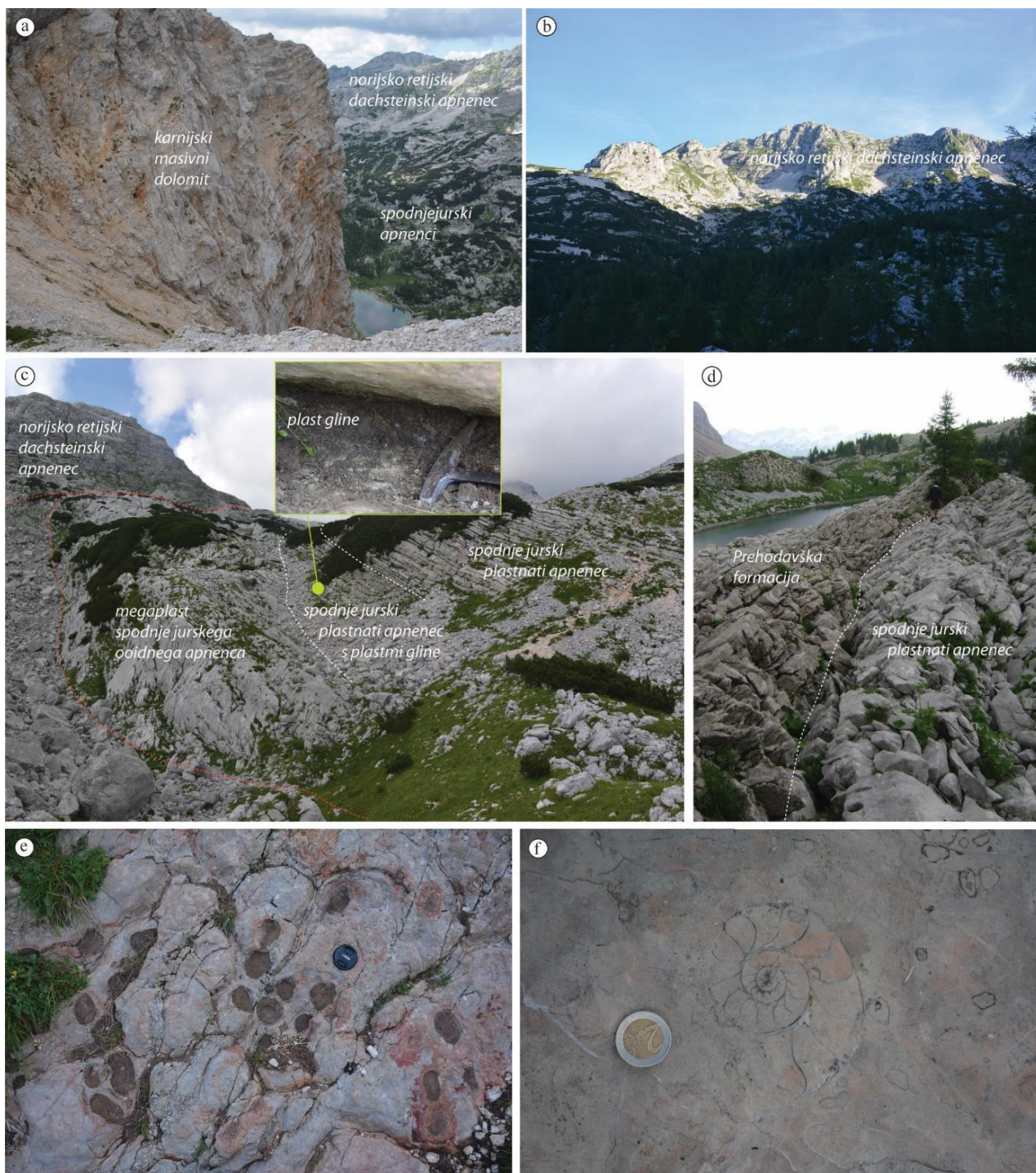
Jursko zaporedje se začne z izredno debelo plastjo (megaplast) ooidnega apnenca, katero je možno slediti na širšem območju Julijskih Alp (Slika 4c) (Jurkovšek, 1987). Debelina plasti je nekaj deset metrov in pogosto tvori previsne stene (recimo na Batognici ali na severnih ostenjih Kanjavca). V dolini Triglavskih jezer jo sledimo predvsem po zahodnem delu dolinskega dna. Zaradi intenzivnega zakrsevanja so za njih značilne globoke vertikalne škraplje. Preostanek spodnje jurskih skladov so tanko do srednje, redko debeloplastnati apneneci. Gre večinoma za mikritne in stromatolitne, ter redkeje bioklastične in peloidno-ooidne apnenice (Buser, 1986; Jurkovšek, 1987; Šmuc, 2005). Celotna debelina teh apnenic znaša 90 metrov. V spodnjem delu plastnatih spodnjejurskih apnenic se pojavlja več plasti zelenih glin (Slika 4c). Debeline teh plasti so do 20 cm in so različne sestave, med glinenimi minerali prevladuje illit, nekatere plasti pa vsebujejo tudi precej kalcita, zato bi lahko govorili o laporju. V izdankih nad Jezerom v Ledvicah so bile zabeležene 4 take plasti, vendar bi lahko bila še kakšna plast več tik nad oolitno megaplastjo (Rožič et al., v tisku). Ker so podobne plasti opazili tudi na severnem ostenju Kanjavca in še drugje po Julijskih Alpah (Herlec et al., 2009), lahko sklepamo da so kot zvezen horizont razširjene na širšem območju.



Slika 3: Strukturno - stratigrafski profil Doline Triglavskih jezer z označenimi hidrogeološkimi in geomorfološkimi značilnostmi ter natančnim profilom spodnjekjurskih apnencev, ki vsebujejo plasti gline (poslovenjeno iz Rožič et al., v tisku).

Do sedaj opisane kamnine v celoti pripadajo kamninam Julijske karbonatne platforme. Ta začne proti koncu spodnje jure razpadati in se pogrezati (Buser, 1989; Šmuc, 2005). Iz konca spodnje jure in začetka srednje jure na območju osrednjih Julijskih Alp nimamo kamnin, zato ni povsem jasno ali je platforma okopnela, ali pa je prišlo do pogrezanja in podvodne erozije (Šmuc, 2005). Do ponovne sedimentacije pride v sredini srednje jure (najverjetnje v bajocijski stopnji), ko se začnejo odlagati apnenci tipa ammonitico rosso, torej rdečkaste, redkeje sive gomoljaste apnenice, ki vsebujejo amonite (Slike 4d-f). Znani so pod imenom Prehodavška formacija (Šmuc, 2005; Šmuc in Rožič, 2010). Ti razvoji so kondenzirani, saj se je s počasno sedimentacijo do konca jure odložilo le 10 metrov debelo zaporedje. Sedimentacija je bila večkrat prekinjena na kar nakazujejo tudi železo-manganovi gomolji, ki se pojavljajo v določenih plasteh. Apnenci tipa ammonitico rosso so tipična kamnina jurskih podmorskih planot, kar je po pogreznitvi postala tudi Julijska karbonatna platforma. To podmorsko planoto, ki zajema centralni del nekdanje Julijske karbonatne platforme, imenujemo Julijski prag (Buser, 1989, 1996). Konec jure (v zgornjem tithoniju) se začne na Julijskem pragu odlagati plastnat, bel mikritni apnenec tipa biancone, ki lahko vsebuje roženčeve gomolje. V dolini Triglavskih jezer izdanja le sporadično (Šmuc, 2005, 2015) in je hkrati tudi najmlajša kamnina, ki jo dobimo na tem delu Julijskih Alp.

V dolini dobimo tudi kvartarne sedimente (Slika 5) (Šmuc, 2015). Nekaj je pleistocenskih ledeniških sedimentov, in sicer opazujemo tille (ponekod mogoče sprijete v tillit) talnih moren, zahodno od Dvojnega jezera pa je viden greben stranske morene. Med holocenskimi sedimenti močno prevladujejo pobočni sedimenti in sicer predvsem grušči ob vznožju strmih sten grebena Zelnaric. Ponekod se pojavljajo nakopičenja podornega materiala, pogosto v obliki velikih kamninskih blokov. Na dnu jezerskih kotanj pa dobimo majhne količine jezerskih sedimentov.



Slika 4: Fotografije mezozojskih litostratigrafskih enot: a) karnijski masivni dolomit tvori greben Zelnaric, b) greben Špičja je sestavljen iz plastnatega dachsteinskega apnenca, c) dno doline tvorijo večinoma jurske platformne kamnine, v katerih je več plasti gline, d) stik med plastnatimi platformskimi apnenci in apnenci tipa ammonitico rosso Prehodavske formacije, ki so nastajali na podmorski planoti, e) manganovi gomolji v Prehodavški formaciji, f) Prehodavska formacija vsebuje številne amonite.



Slika 5: Fotografije kvartarnih stratigrafskih enot: a) največ kvartarnih kamnin dobimo vzdolž vzhodnega roba doline in sicer prevladujejo pobočni grušč in ledeniški sediment (till), b) mestoma se pojavljajo polja z velikimi podornimi bloki, d,e) vzorčevanje jezerskih sedimentov z gravitacijskim jedrnikom.

4.2. Strukturna zgradba

Julijske alpe geostrukturno uvrščamo v Južne Alpe, ki so nastale ob miocenskem narivanju, usmerjenem predvsem proti jugu (Schmid et al., 2008). Dolino Triglavskih jezer označuje dvojje tektonskih procesov. Poleg narivanja dobimo še neotektonsko vzmično dejavnost (Slika 2).

Na območju doline tako dobimo kamnine, ki pripadajo dvem narivnim enotam. Karnijski karbonati pripadajo Slatenski plošči (Placer, 1998, 2008), imenovani tudi Slatenski pokrov ali Slatenska tektonska krpa. Ta enota verjetno predstavlja najvišjo pokrovno enoto slovenskega dela Južnih Alp. Starost narivanja je nekoliko vprašljiva in bi lahko šlo tudi za star nariv iz časa Dinarskega

narivanja, saj naš del Južnih Alp kaže znake starejših, predmiocenskih narivanj (Placer in Čar, 1998; Placer, 2008, Goričan et al., 2018). Kamnine Slatenske plošče dobimo po celotnem vzhodnem delu doline, saj tvorijo greben Zelnaric in masiv Kanjavca, kot tudi ostale najvišje vrhove osrednjih Julijskih Alp (Slika 6a). Narivna ploskev je v dolini v celoti prekrita z zveznim predpasnikom pobočnega grušča. Glede na podatke na širšem območju poteka nad biancone apnencem ali pa preko spodnjekrednega fliša. Slednji v ožjem delu doline sicer ne izdaja, a njegov drobir najdemo ob narivni plošči na nekaterih drugih lokacijah. Preostanek opisanih kamninskih enot (od dachsteinskega do biancone apnenca) pripada strukturno nižjemu Julijskemu pokrovu, ki je osrednja narivna enota naših Južnih Alp (Placer, 1998, 2008). V dolini Triglavskih jezer kamnine te enote dobimo v dnu doline in naprej na zahodu, torej tudi na celotnemu grebenu Špičja. Vpad plasti je proti vzhodu in jugovzhodu in je blag (običajno med 20 do 30 stopinj).

Neotektonska aktivnost, ki je vplivala neposredno na nastanek doline, označuje zmična dejavnost. Imamo dve prelomni coni. Na vzhodni strani doline imamo prelomno cono Zelnaric (Slika 2), ki poteka od sedla pri Vodnikovem Vršacu v dolino in nato naprej proti jugu po vzhodni strani grebena Zelnaric (Slika 6b). V tem delu se tudi razcep v dve prelomni ploskvi. Druga prelomna cona Špičja poteka med dnom doline in grebenom Špičja. V dolino vstopi zahodno od Vodnikovega Vršaca preko sedla Prehodavci in se nato v dolini razcepi v tri manjše prelomne ploskve. Prelomna ploskev, ki je najbližja dolinskemu dnu, v veliki meri ohranja smer sever – jug, ostali dve pa se intenzivneje odklonita v smeri proti jugozahodu (Šmuc, 2005; Šmuc in Rožič, 2009). Zaradi divergence med obema prelomnima conama se je med njima razvil lokalni ekstenzijski klin in je prišlo do pogrezanja območja med prelomoma in s tem tudi nastanka same doline. Med notranjima prelomnima ploskvama obeh prelomnih con imamo vezne normalne prelome, ob katerih je prišlo do segmentacije tektonskega bloka med conama (Slika 6c). Ti prelomi so vmesno kamninsko maso razsekali na manjše bloke, ki so se različno pogrezali. Praviloma so se bolj pogrezali južni tektonski bloki (Šmuc in Rožič, 2009). Pomembnejšo izjemo predstavlja le blok pod Jezerom v Ledvicah, ki se je pogreznil tako glede na severni kot tudi glede na južni tektonski blok (Rožič et al., v tisku).



Slika 6: Fotografije strukturnih elementov: a) nariv Slatenske plošče poteka ob vzhodnemu robu doline in je v celoti pokrit s pobočnimi gruščmi, b) močni zmični prelomi imajo široke prelomne cone – na sliki prelom Zelnaric, c) normalni prelomi so praviloma morfološko lepo izraženi – na sliki eden od takšnih prelomov severno od Jezera v Ledvicah.

5. Hidrogeologija

5.1. Hidrogeologija širšega območja doline Triglavskih jezer

Dolina Triglavskih jezer ima več manjših jezer, ki so večinoma nastala na slabo prepustnih ledeniških sedimentih. Napajajo se izključno s padavinami (dežjem in taljenjem snega). Jezero v Ledvicah je izjema, saj v njega na severnem delu podvodno priteka podzemna voda. Na južnem delu pa je lociran ponor, ob katerem voda izteka iz jezera (Slika 7a). V dolini je še izvir Močilec (na nekaterih kartah označen tudi kot Močivec) in sicer pri Dvojnem jezeru, nekoliko severneje od koče (Slika 7b, c). Voda je umetno zajezena v manjšo akumulacijo, ponika pa v močvirnatem območju v bližini koče (Brancelj, 2004, 2015).

Spomladi 1999 je bil izveden sledilni poizkus, s katerim je bila dokazana neposredna povezava med ponorom Jezera v Ledvicah in izvirom Močilec ter deloma z izvirom Savice (Brancelj in Urbanc, 2000; Urbanc in Brancelj, 2000). Sledilo je bilo zaznано tudi v Dvojnem jezeru, vendar je kljub izredno majhni razdalji do Močilca potrebovalo kar tri dni, da je doseglo maksimalno vrednost, katera pa je bila precej manjša kot v bližnjem Močilcu. Zaradi tega avtorja ugotavljata, da je hidravlična povezava med bolj oddaljenim Jezerom v Ledvicah in izvirom Močilec neposredna, medtem ko je povezava Močilca z bližnjim Dvojnim Jezerom posredna (Urbanc in Brancelj, 1999, 2002; Brancelj in Urbanc, 2000). V Črnem jezeru sledila niso zaznali. Pojavnost sledila v Dvojnem jezeru je odvisna tudi od lokacije vzorčevanja, ki pa ni podana.

V letu 2000 se je izvedel še sledilni poskus z injiciranjem v ponor Močilca nad Kočo pri Triglavskih jezerih (Urbanc in Brancelj 2002). Sledilo se je pojavilo še isti dan v vzhodnem delu jezera na globini dveh metrov.

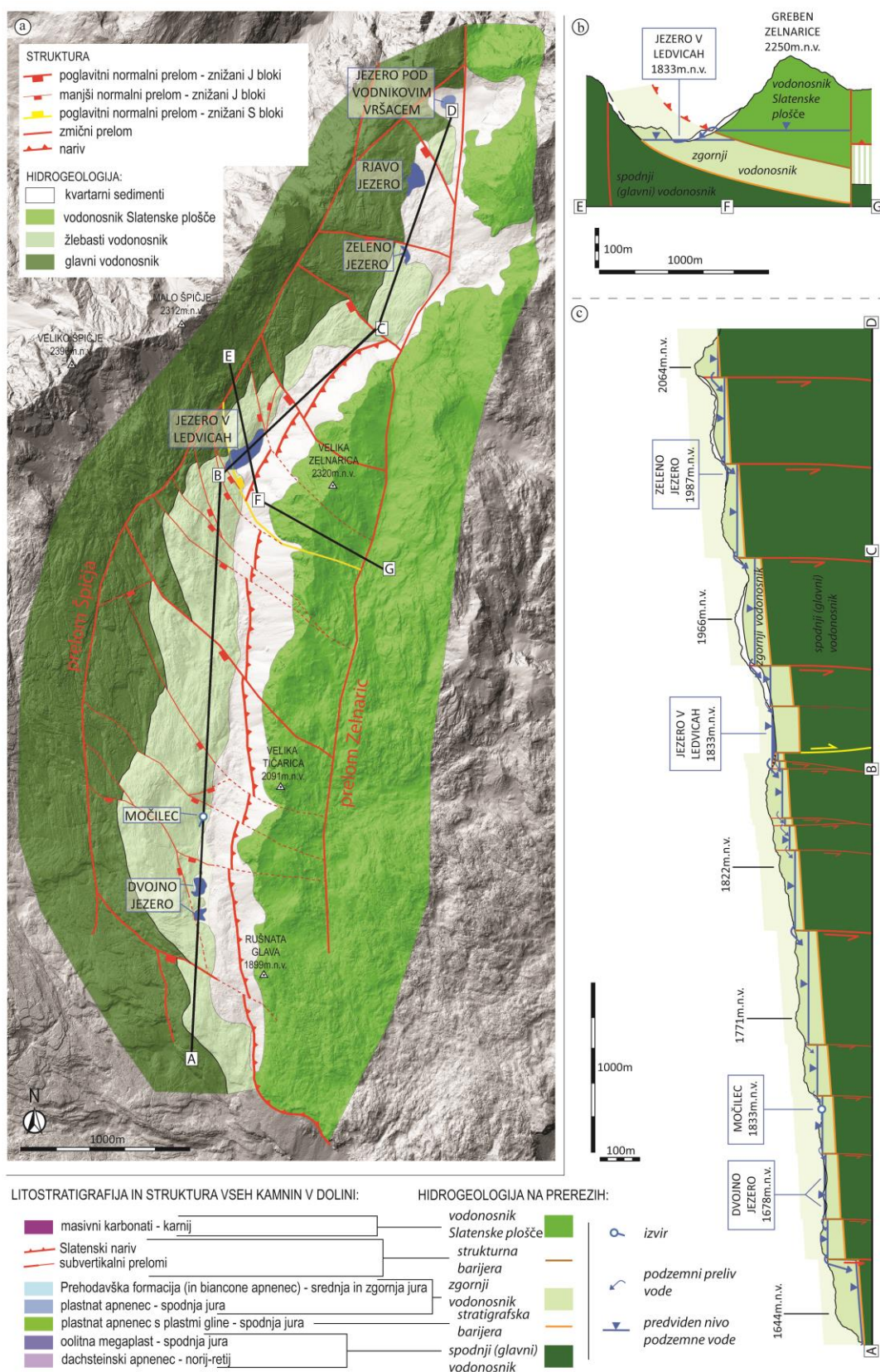
Na podlagi teh podatkov in pa detailnih geoloških raziskav neposredne okolice Jezera v Ledvicah je bil predlagan hidrogeološki model, ki razloži opisana hidrološka in hidrogeološka dejstva (Rožič et al., v tisku) in ga povzemamo v naslednjih odstavkih (Sliki 8 in 9).



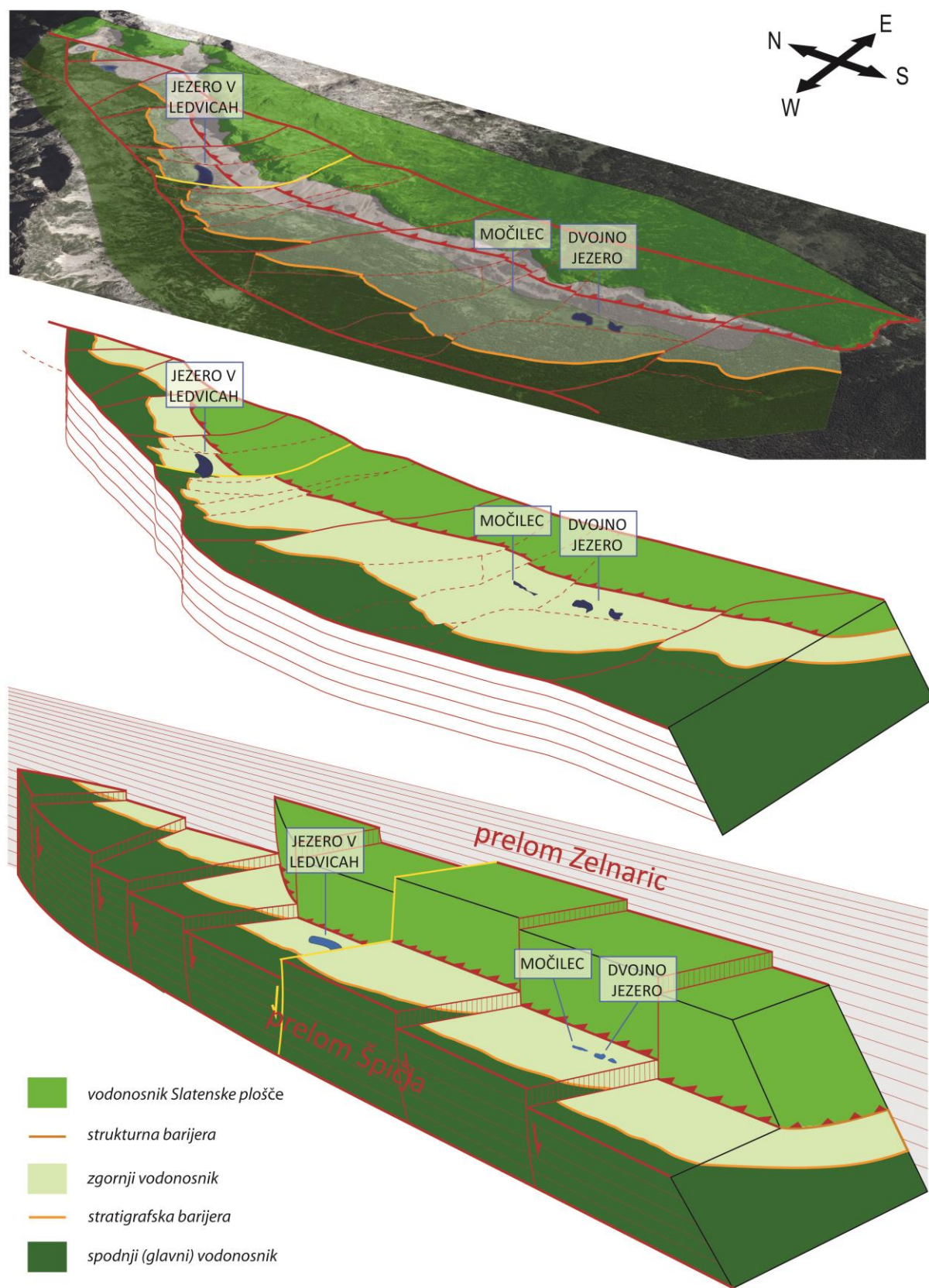
Slika 7: Fotografije hidroloških in hidrogeoloških elementov: a) Jezero v Ledvicah ima podvodni vtok vode na severnem delu in ponor na južnem delu jezera, b) izvir Močilec in Dvojno jezero; izvir Močilec se obnaša podobno kot Jezero v Ledvicah, le da je akumulacija vode umetna, c) izvir Močilec, d) Dvojno Jezero ima ponor, ki je aktiven v času visokih voda, napaja pa se le občasno in v majhnih količinah iz Močilca preko močvirnega sveta pri koči – vode se pretakajo plitvo pod površjem po ledeniškem sedimentu.

Pod dolino Triglavskih jezer obstaja plitev kraško-razpoklinski vodonosnik z visečo podzemno vodo, katerega oblika spominja na žleb. Pogojen je z geološko zgradbo doline. Kamnine, v katerih je izoblikovan, so spodnjejurski plastnati apnenci in srednje ter zgornjejurski apnenci tipov ammonitico rosso in biancone. Spodnjo bariero tega vodonosnika predstavljajo glinene plasti, ki se pojavljajo v spodnjemu delu te skladovnice (Slika 3). Te plasti izdanjajo ob zahodnem robu dolinskega dna. Ker vpadajo generalno proti vzhodu, tvorijo bariero praktično pod celotnim dolinskim dnom (Slika 8b). Proti vzhodu ta vodonosnik zapira subvertikalni prelom Zelnaric. Ta prelom lahko opredelimo kot zaporni prelom (Šuštaršič et al., 2001; Šuštaršič, 2006; Čar, 2018). Ker gre za močan prelom in hkrati Slatensko ploščo tukaj sestavljajo predvsem dolomiti, prelom Zelnaric verjetno predstavlja bariero podzemni vodi. Na ta način dobimo vodonosnik, ki je po vertikali ločen od preostale debele skladovnice zakraselih apnencev Julijskih Alp s stratigrafsko hidrogeološko bariero, na vzhodu pa je lateralno prekinjen s strukturno hidrogeološko bariero. Ker se tako slemenitev plasti kot tudi prelom Zelnaric raztezata v smeri sever jug, torej vzporedno z dolino, ima ta vodonosnik obliko žleba, ki se nahaja neposredno pod dolinskim dnom, pod grebenom Zelnaric pa je deloma pokrit s kamninami Slatenske plošče (Slika 8 in 9).

Nadalje obliko vodonosnika definira tektonska zgradba med prelomnima conama Špičja in Zelnaric, kjer je kamninsko telo razsekano s prečnimi prelomi, ki so stopničasto spuščeni proti jugu (Slika 2, 8 in 9). Tako lahko sklepamo, da je vodonosnik vzdolž doline razdeljen na segmente, kjer se podzemna voda iz višjega segmenta preliva v nižjega in tako teče iz zgornjega dela doline proti spodnjemu delu. Izjemo predstavlja le segment pod Jezerom v Ledvicah. Ta tektonski blok je namreč spuščen tako glede na severni, kot tudi glede na južni tektonski blok in tako tvori nekakšno udornino v celotnem žlebu. Podzemna voda zastaja v tem segmentu in najverjetneje celo izdanja v obliki jezera. Na to kaže podvodni vtok v jezero na severnem delu in iztok na južnem delu jezera, kjer se voda vrne v ponovno zgornji vodonosnik. Na dan izvira še enkrat in sicer v Močilcu, blizu Koče pri Triglavskih jezerih, kjer pa hitro ponikne nazaj v vodonosnik. Najverjetneje na morfološki stopnji južno od Dvojnega jezera, kjer se jurske plasti (in s tem vodonosnik) izklinjajo, se voda prelije v spodnji veliki vodonosnik, v kateremu se zbirajo vode iz širšega območja. Te potem dokončno pridejo na dan v izviru Savice (Trišič et al., 1997; Brenčič in Vreča, 2016). Preliv je v celoti podzemen, oziroma skrit s pobočnimi grušči.

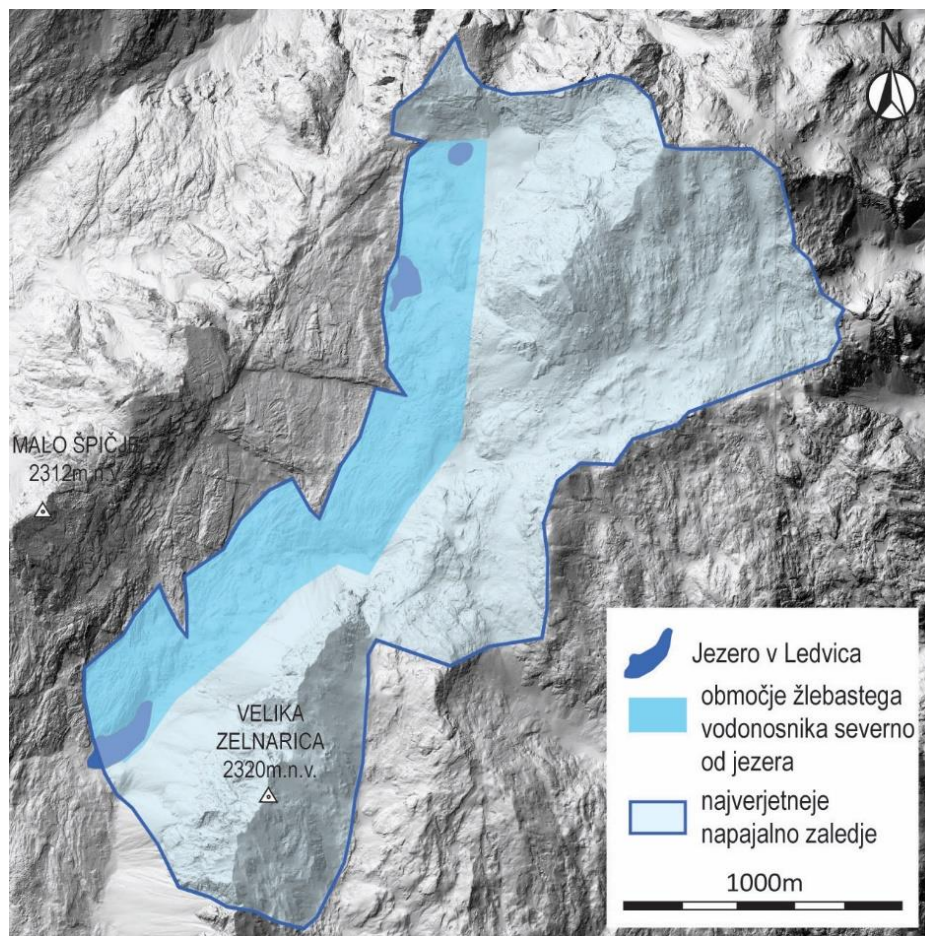


Slika 8: Hidrogeologija Doline Triglavskih jezer: a) hidrogeološka karta z označenimi strukturnimi elementi, b) prečni prerez zgornjega vodonosnika, c) vzdolžni presek z vidnimi segmenti zgornjega vodonosnika (poslovenjeno iz Rožič et al., v tisku).



Slika 9: Hidrogeološki model Doline Triglavskih jezer s hidrogeološko karto vpeto v 3D prostor s podlago (vir: Google Earth) (zgoraj), brez podlage (sredina) in v shematskem prikazu (spodaj) (poslovenjeno iz Rožič et al., v tisku).

S pomočjo pretoka v Jezeru v Ledvicah, ki sta ga izračunala Urbanc in Brancelj (1999) in na podlagi izračunov vodne z upoštevanjem taljneja snega, je bilo izračunano, da je zaledje zgornjega vodonosnika večje kot pa njegova površina (Slika 10). Sklepamo, da del vode priteka podzemno v vodonosnik iz kamnin Slatenske plošče in sicer tako iz območja grebena Zelnaric, kot tudi iz smeri Kanjavca (Rožič et al., v tisku). Pobočja Špičja so zelo zakrasela, z globokimi vertikalnimi škrapljami, zato predvaja neposredna infiltracija v podpovršje.

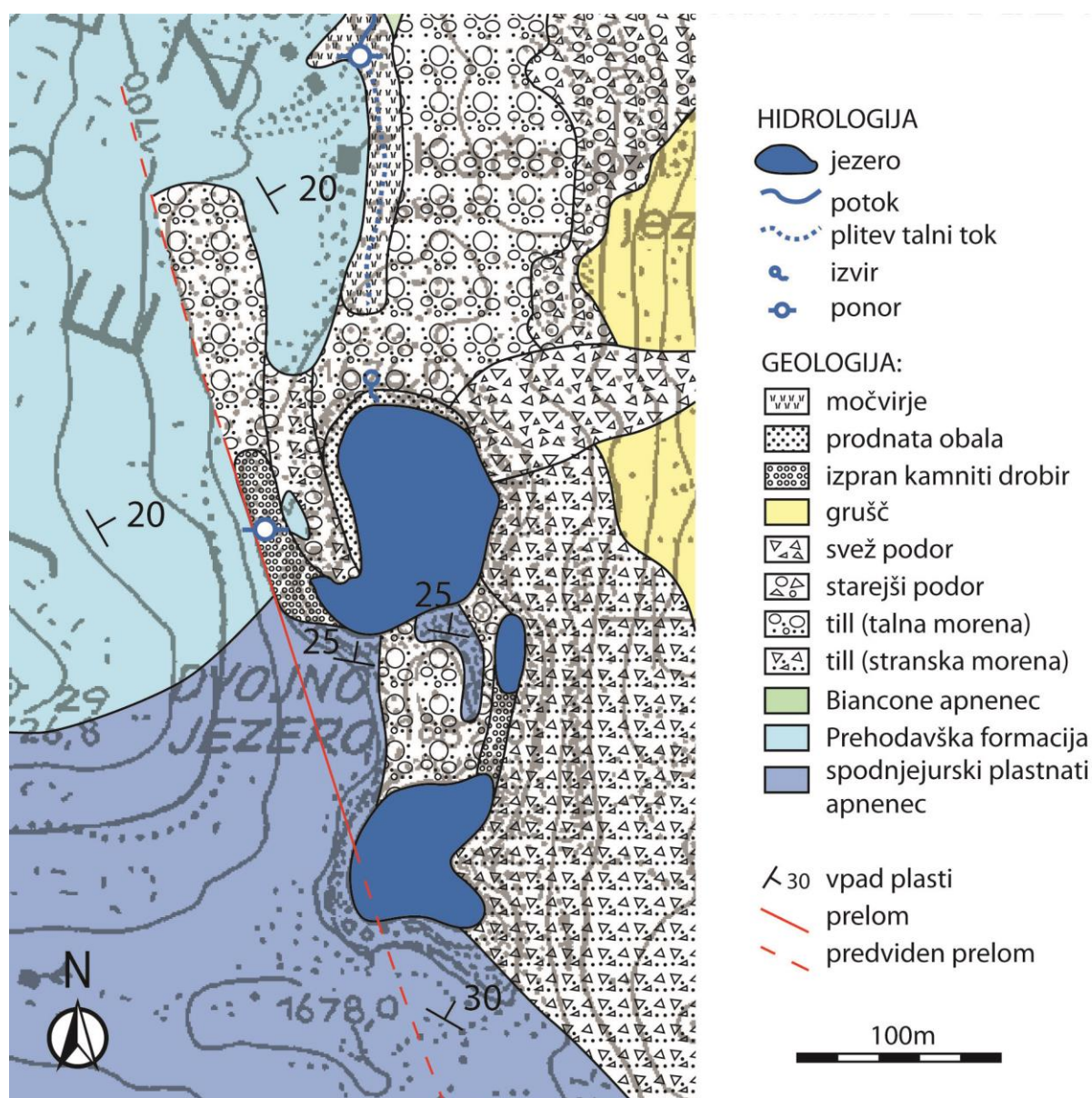


Slika 10: Površina zgornjega vodonosnika severno od Jezera v Ledvicah in napajalno zaledje predvideno na podlagi izračunov vodne bilance (poslovenjeno iz Rožič et al., v tisku).

5.2. Hidrogeologija ožjega območja Dvojnega jezera

Dvojno jezero je, za razliko od Jezera v Ledvicah, klasično ledeniško jezero. Nastalo je v kadunji, jezersko dno pa gradijo zelo slabo prepustni ledeniški sedimenti. Slednji so lahko sicer zelo tanki, a dovolj debeli, da jezero ob normalnem vodostaju nima neposredne povezave s podzemno vodo

zgornjega vodonosnika pod njim. Ob visokih vodah (npr. v času taljenja snega) se Dvojno jezero poveča in razlije tudi v morfološko zajedo na severozahodu kadunje, kjer pride v neposreden stik z rapokanimi apnenci. Tukaj presežek voda ponikne skozi ponor v zgornji vodonosnik (Slika 11).



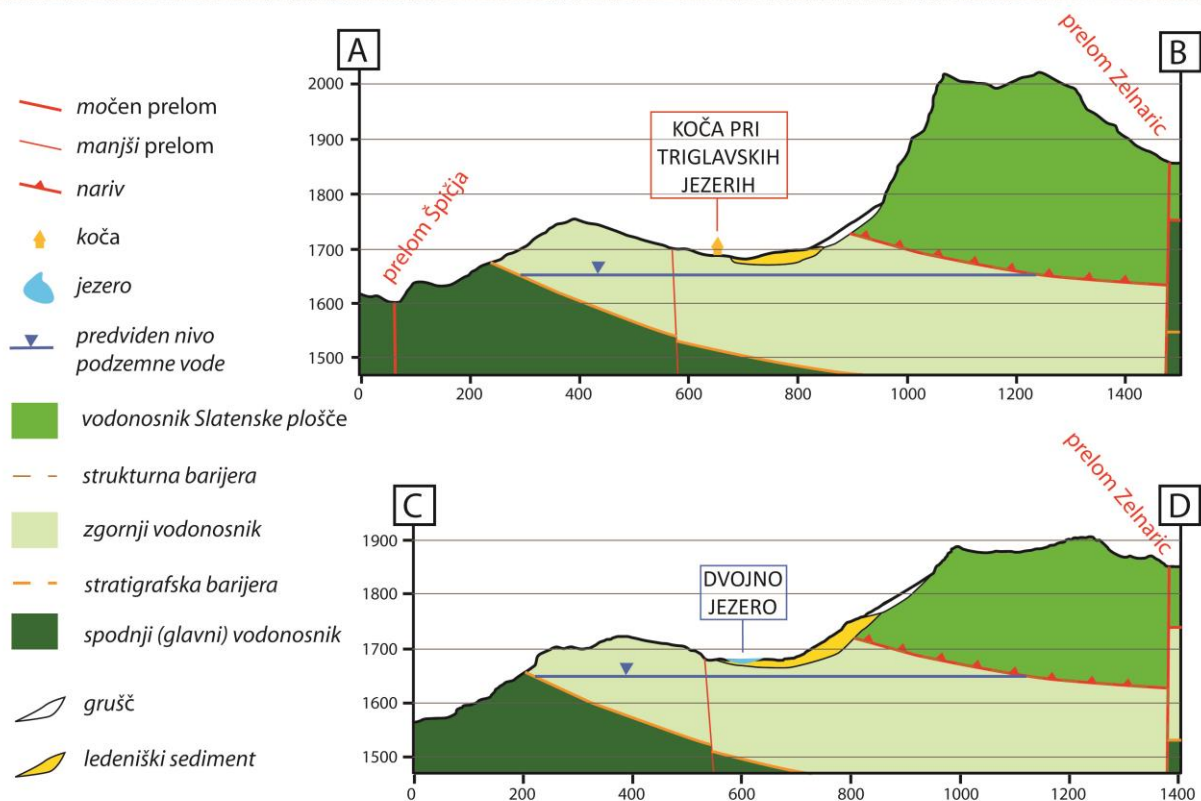
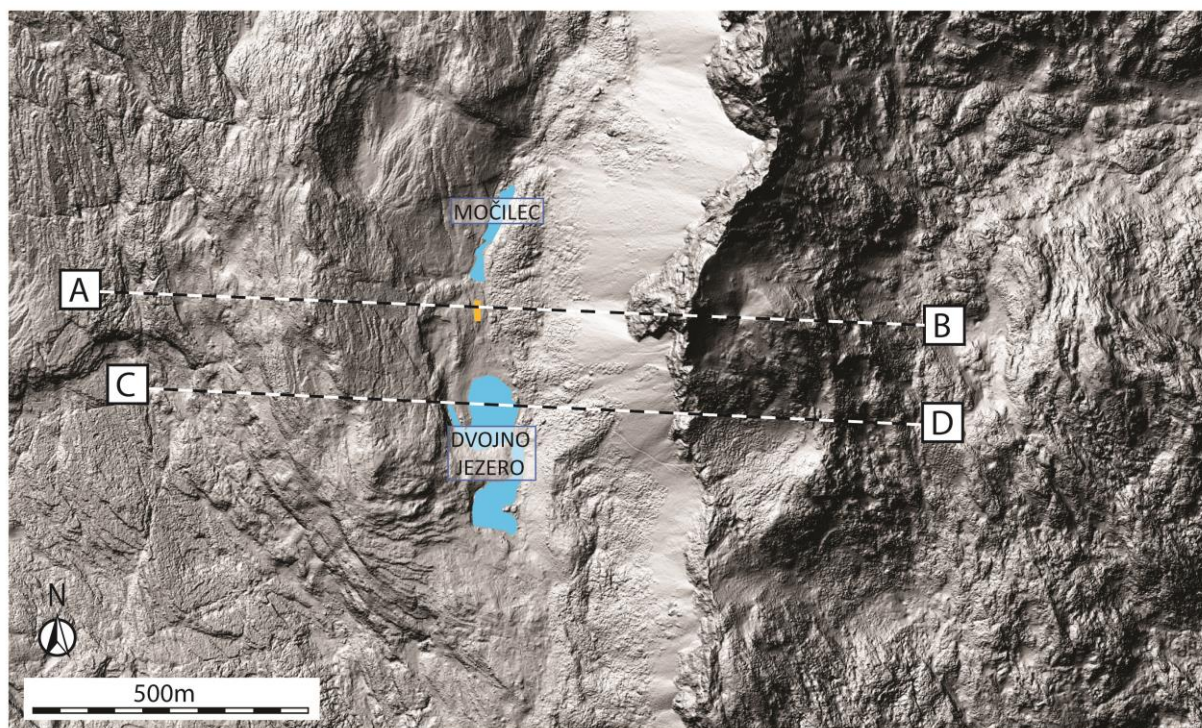
Slika 11: Detailna geološka karta okolice Dvojnega jezera.

V neoposredni bližini, približno 350 metrov severneje od Dvojnega jezera, je izvir Močilec. Sledilni poiskus (Urbanc in Brancelj, 2000; Brancelj in Urbanc, 2000) je pokazal, da je ta izvir neposredno povezan z Jezerom v Ledvicah (pojav največje koncentracije po ca. šestih dneh) in je tako del kraškega sistema zgornjega vodonosnika. Voda iz izvira teče površinsko po zamočvirjenem delu zaradi slabo prepustnih ledeniških sedimentov, ki se tukaj začnejo pojavljati (Slika 11). Po slabih dvestotih metrih, nekoliko severneje od planinske koče, voda ponikne nazaj v vodonosnik. Glavnina vode ponikne predvidoma vzdolž zahodnega dela zamočvirjenega sveta, kjer prihajajo v neporeden

stik z apnenci Prehodavške formacije. Predvidevamo, da le majhnen del vode Močilca teče naprej po površini tilla proti Dvojnemu jezeru (Slika 7d). Ta tok je majhen, v sušni dobi pa verjetno zanemarljiv ali pa ga sploh ni. To se je pokazalo tudi v času sledilnega poizkusa leta 1999 (Urbanc in Brancelj, 2000; Brancelj in Urbanc, 2000), ki je bil izveden v času visokih voda (dež in taljenje snega). Največja koncentracija sledila se je v Dvojnemu jezeru pojavila tri dni kasneje kot v izviru Močivec. Relativno dolg čas potovanja je verjetno zaradi razlivanja po močvirnatem delu, pa tudi zaradi zaježitve izvira in odvzema vode za kočo. Dodatni sledilni poskus junija leta 2000 z injiciranjem v ponor Močilca pa je dokazal neposredno povezavo z Dvojnim jezerom (Brancelj in Urbanc, 2002).

Iz navedenega lahko zaključimo, da je Dvojno jezero večinoma neodvisno od glavnega toka podzemne vode v zgornjem vodonosniku (Slika 12). Z njimi se poveže le ob visokih vodah, ko se preko požiralnika višek vode pretoči v notranjost.

Tukaj naj povdarimo, da pomembno, a neodgovorjeno vprašanje predstavlja nivo podzemne vode v zgornjem vodonosniku pod Dvojnim jezerom. Ta segment vodonosnika je zadnji ali mogoče predzadnji v celotnem nizu segmentov. Glede na to, da v okolici jezera izdajajo predvsem apnenci Prehodavške formacije, je zgornji vodonosnik na tem delu precej globok (upoštevajoč vpad plasti je do oolitne megaplasti okoli 100 metrov). Takoj južno od Dvojnega jezera je tudi izrazita morfološka stopnja, na kateri se izklinjajo (Slika 8 c, zadnji segment na jugu) spodnjejurske plasti. Posledično bi bil nivo podzemne vode lahko precej globok. Vendar pa plasti v tem segmentu deloma povijejo in vpadajo celo proti severu (predvsem južno od Dvojnega jezera). Poleg tega je segment razsekan še z nekaj manjšimi prelomi. Posledično bi takšna geološka zgradba lahko tvorila zaporo vodonosnika proti jugu in vzdrževala relativno visok nivo podzemne vode v tem segmentu. V prid slednjega govori dejstvo, da nivo jezera precej naraste v času visokih voda in potem relativno počasi upade. To je lahko posledica dveh stvari. Prva je slaba prepustnost ponorja in v tem primeru presežek vode potrebuje veliko časa, da se pretoči v vodonosnik. Če pa ponor dobro komunicira z vodonosnikom, pa lahko sklepamo, da je površina jezera dejansko tudi nivo podzemne vode. Torej je v drugem primeru nivo podzemne vode v tem segmentu vodonosnika visok. V času nizkih voda verjetno nekoliko upade, vendar se nahaja še vedno relativno plitvo pod površjem.



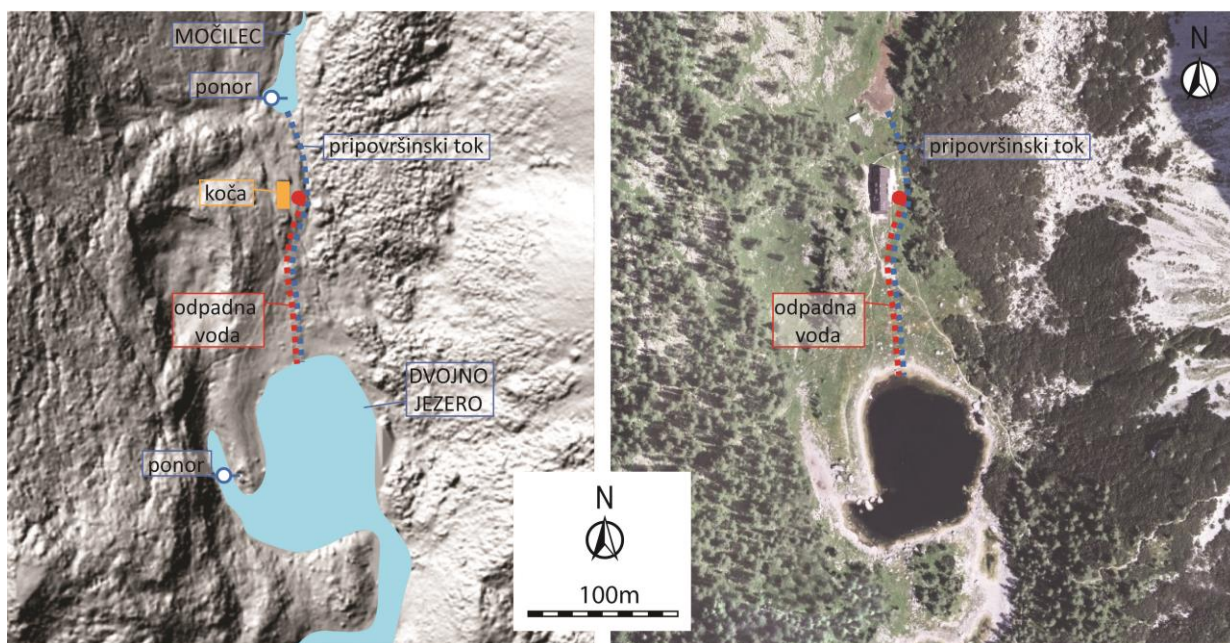
Slika 12: Prečna hidrogeološka prereza čez zgornji vodonosnik in sicer preko območja pri koči in preko Dvojnega (petega) jezera – nivo podzemne vode je hipotetičen, njegovo dejansko stanje pa ključno za reševanje ponikanja odpadne vode preko plitve vrtine.

6. Problematika iztoka odpadnih voda

Koča pri Triglavskih jezerih je postavljena na skalno ploščo iz apnencev Prehodavške formacije (Slika 12). Čistilna naprava je na spodnji, to je vzhodni strani koč, kjer imamo še vedno izdanke tega apnenca. Končni iztok odpadne vode pa je speljan v močvirnat svet (Slika 11), ki se začne pod majhno (cca 1m) stopnjo pod človeško narejenim platojem (verjetno ima v podlagi kamninske izdanke).

Že dejstvo, da je ta predel zamočvirjen, priča o tem, da tukaj na površini izdanja ledeniški sediment (till), ki je zelo slabo prepusten. Od tukaj se till razsteza naprej po manjši gobeli do Dvojnega jezera, kjer tvori večji del jezerskega dna. Hkrati na tem območju relief vpada pod blagim kotom proti jezeru. Tako se vode iz močvirnatnega predela stekajo v Dvojno jezero, kar je bilo dokazano tudi s sledilnim poskusom (Mlakar et al., 2018).

Večina vode na to območje priteka iz izvira Močilca. Povdariti je potrebno, da večji del izvirske vode zagotovo ponikne že prej na območju glavnega ponora, ki se nahaja približno 50 metrov severno od koč (Slika 12 in 13). Manjši del vode pa se površinsko in pripovršinsko počasi pretaka po vrhnjem sloju ledeniškega sedimenta proti Dvojnemu jezeru. Ta pretok je verjetno povečan ob najvišjih vodah (v času taljenja snega), ko ponor ne uspe sprejeti povečanih količin vode Močilca, medtem ko je v sušnih obdobjih zanemarljiv (Slika 13).



Slika 13: Odpadne vode čistilne naprave Koče pri Triglavskih jezerih zaradi zelo slabo prepustnih ledeniških sedimentov na mestu iztoka ne ponikajo, ampak s pripovršinskim tokom pronikajo proti Dvojnemu jezeru (vir lidar-DMR in ortofoto podlage: ARSO – Atlas okolja).

Odpadne vode iz čistilne naprave iztekajo v močvirnat svet (ponikanje v ledeniški sediment je omejeno), kjer se deloma razredčijo z obstoječim pripovršinskim tokom in nato z njim nadaljujejo pot do Dvojnega jezera. Ker je odtok iz tega jezera majhen, sklepamo, da se jezero počasi, a vztrajno onesnažuje z odpadnimi vodami iz čistilne naprave. Trenutno stanje torej ni primerno in ga je vsekakor potrebno spremeniti.

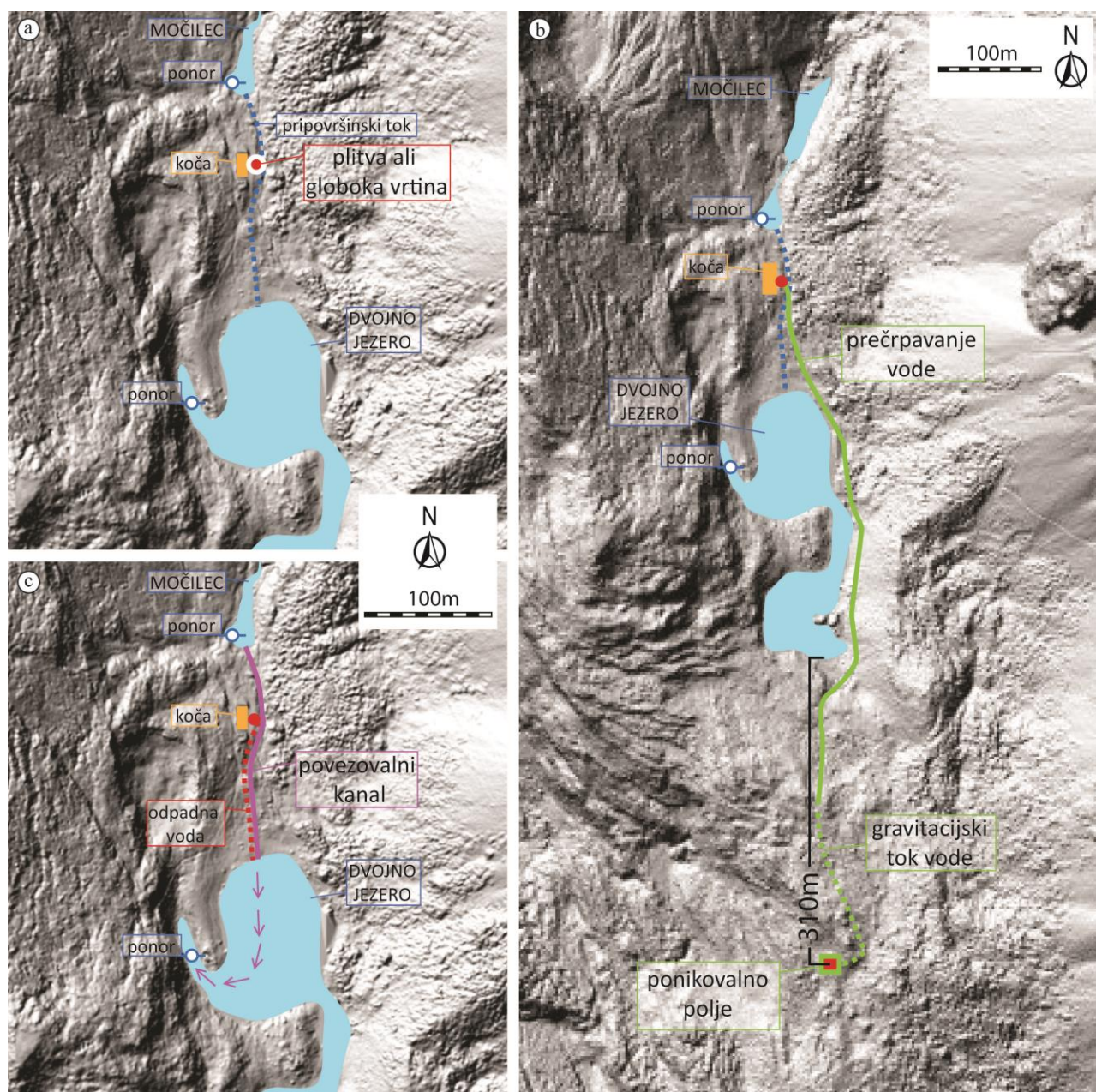
7. Predlog rešitev in oris potrebnih del za izvedbo

Trenutna rešitev odvajanja odpadnih voda ni dobra, saj zagotovo neugodno vpliva na kvaliteto vode v Dvojnem jezeru. Za trajnostno rešitev je potrebno najti celovito rešitev. Na osnovi do sedaj opisanih hidroloških, geoloških in hidrogeoloških značilnosti doline Triglavskih jezer predlagamo tri, oziroma štiri možne rešitve. Pri vsaki rešitvi podajamo hidrogeološki namen izvedbe, osnovni opis del, prednosti take izvedbe in težave, na katere bi lahko naleteli ob izvedbi.

7.1. Izdelava ponikovalne vrtine

7.1.1 Plitva vrtina

V neposredni okolici sedanje ponikovalnice odpadne vode čistilne naprave se izdelava plitva ponikalna vrtina, kjer globina vrtine ne presega 30 metrov (Slika 14a). Vrtino se izdelava v neposredni bližini današnjega iztoka iz čistilne naprave. Mikrolokacijo vrtine je najbolje določiti neposredno na terenu, saj je z vrtino potrebno doseči kamninsko podlago. Bolj zanesljiva izvedba je zagotovo na območju platoja pod kočo, tako skoraj zagotovo vemo, da bo vrtina v celoti izdelana v kamninsko podlago. Vrtino je možno izdelati tudi na območju trenutne ponikovalnice čistilne naprave, torej v močvirnatemu delu (Slika 11). Pri tem mora vrtina prodreti preko ledeniških sedimentov v kamninsko podlago, v katero bi nato ponikali odpadno vodo.



Slika 14: Predlog možnih rešitev za odvajanje odpadne vode: a) na mestu iztoka iz čistilne naprave se izdelava plitva ali, v kolikor ima podzemna voda preplitev nivo, globoka ponikovalna vrtina, b) s prečrpavanjem se odpadna voda odpelje po ceveh (najbolje vkopanih po trasi obstoječe planinske poti) južneje od Dvojnega jezera, c) izdelava povezovalni kanal med Močilcem in dvojnim jezerom in s tem se poveča pretočnost vode v jezeru (vir lidar-DMR podlage: ARSO – Atlas okolja).

Namen:

S ponikanjem odpadne vode v vrtino bi le te spravili pod nivo jezera, torej bi jih ponikali v kamninsko podlago (nezasičeno cono zgornjega vodonosnika). Ker slednjo tvorijo zakraseli

apnenci, bi bilo ponikanje predvidoma uspešno. Na ta način bi prekinili neposredno odtekanje odpadnih voda po ledeniških sedimentih v jezero. Ključno vprašanje pri tovrstni rešitvi predstavlja nivo podzemne vode v zgornjem vodonosniku (glej 5. poglavje). V primeru dovolj globokega nivoja podzemne vode bi odpadne vode ponikali v nezasičeno cono. Le te bi se s pronicanjem nato razredčile v podzemni vodi zgornjega vodonosnika. Ker območje pod Dvojnim jezerom predstavlja enega najbolj južnih s tem najnižjih segmentov zgornjega vodonosnika, njegova podzemna voda kmalu zapusti ta vodonosnik, se pretoči v glavni vodonosnik, kjer se dodatno razreči s podzemnimi vodami, ki se nato zbirajo v izviru Savice. Tako razredčene odpadne vode bi predstavljale praktično ničel vpliv na okolje.

Globina podzemne vode in nihanje nivoja podzemne vode v zgornjem vodonosniku ni znana in je ne moremo določiti na podlagi razpoložljivih podatkov. Zaradi tega obstaja možnost, da je nivo podzemne vode v tem vodonosniku v času visokih voda plitvo pod površjem, kar bi odkrili šele pri izdelavi vrtine in opazovanjem nivojev podzemne vode v daljšem časovnem obdobju, da se zajame obdobja nizkih in visokih voda. V primeru, da je podzemna voda v obdobju visokih voda blizu površja, ne bi zadostili zahtevam 4. odstavka 21. člena (pogoji za odvajanje) Uredbe o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo (Uradni list RS, št. 64/12, 64/14 in 98/15) za primer posrednega odvajanja očiščene odpadne vode v podzemno vodo, ker se mora med dnom objekta za ponikanje in najvišjo gladino podzemne vode nahajati plast neomočenih sedimentov ali kamnin debeline najmanj 1 m. V tem primeru bi morala vrtina prevrtati zgornji vodonosnik in bi bila zato mnogo globlja (poglavje 7.1.2).

Poleg tega se mora zagotoviti pogoju, da se odpadna voda iz male komunalne čistilne naprave ponika v razdalji večji od 300 m od obale naravnega jezera (2. odstavek 12. člena Uredbe).

Zadostitev tega pogoja predstavlja osnovno oviro pri izvedbi te rešitve vrtine in bi ga bilo verjetno zavoljo čim manjšega posega v ta občutljiv naravni prostor potrebno zaobiti.

Potrebna dela:

- Za izdelavo vrtine je potrebno v visokogorje pripeljati vrtalno garnituro in ostalo opremo potrebno za njeno izdelavo
- Izdelava načrta vrtine, organizacije gradbišča ter izvedbe vrtanja, pridobitev dovoljenj

- Izdelava vrtine s primerno vrtalno garnituro
- Izvedba nalivalnega poskusa z namenom ugotavljanja ponikalnih sposobnosti vrtine.
- V kolikor bi naleteli na nivo podzemne vode, je potrebno spremljati njegovo spreminjanje v daljšem časovnem obdobju, da se zajame obdobje nizkih in visokih voda ter ugotovi povezanost podzemne vode in jezera.
- V vsakem primeru, tudi če ne dosežemo nivoja podzemne vode, je smiselno izvesti tudi sledilni poskus z injiciranjem v ponikovalno vrtino in spremljanjem sledila v Dvojnem jezeru.

Prednost tovrstne izvedbe:

- Tovrstna rešitev predstavlja najmanjši možni poseg v okolje.
- Izvedba plitvega vrtanja v stabilno kamnino (v konkretnem primeru apnenec) je relativno nezahtevna.
- Že s plitvo vrtino prebijemo 10 metrov debelo Prehodavško formacijo, ki izdanja v neposredni okolici koče in pridemo v spodnjejurske plastnate apnenice. Glede na terenska opazovanja so slednji v neposredni bližini stika zelo zakraseli, zato je pričakovati veliko prepustnost kamnin na tem delu vrtine.
- V kolikor je nivo podzemne vode v tem segmentu zgornjega vodonosnika dovolj globok, bi odpadne vode ponikali v nezasičeno cono.
- Plitve vrtine (10 do 30 m) so manj zahteven objekt po GZ (enostavno gradbeno dovoljenje).

Pomankljivosti te izvedbe:

- Lokacija ponikovalne vrtine ob koči ni oddaljena 300 m od oboda Dvojnega jezera. Lokacija, ki je od jezera oddaljena 300 m je gorvodno od izvira Močilec in je zato neprimerna. Zaradi ozke doline vrtina ne more biti na vzhodu ali zahodu. Lokacija vrtine tudi na jugu pa je nesmiselna, saj je potem boljša rešitev odvajanja odpadne vode iz čistilne naprave po ceveh (poglavje 7.2).

- Apnenec je glede prepustnosti nepredvidljiva kamnina. Kljub temu, da so običajno dobro prepustni, pa lahko vsebujejo zelo slabo prepustne dele.
- V primeru, da se vrta v zamočvirjenem delu, ne gre zanemariti možnosti, da je ledeniški sediment (till) lahko debel in ga zgolj s plitvo vrtino ne bi prevrtali. V bližini kamninskih izdankov je ta težava zelo verjetno neznatna, saj je debelina tilla tukaj običajno majhna.
- Glavni problem predstavlja morebiten visok nivo podzemne vode v tem segmentu zgornjega vodonosnika, zato je možno, da bomo že na majhni globini naleteli na podzemno vodo. V najslabšem primeru je nivo podzemne vode zelo blizu nivoja Dvojnega jezera in ob visokih vodah oba sistema mogoče celo neposredno komunicirata. V takem primeru ponikanje ne bi bilo možno, saj moramo zagotoviti vsaj 1 meter nezasičene cone (4. odstavek 21. člena (pogoji za odvajanje) Uredbe o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo (Uradni list RS, št. 64/12, 64/14 in 98/15)).

7.1.2 Izdelava globoke vrtine

Lokacija in izvedba vrtine je podobna kot pri plitvi vrtini (Slika 14a), zato bomo poudarili le poglobitve razlike. Ta rešitev se izvede v primeru, če se izkaže, da je nivo podzemne vode v segmentu zgornjega vodonosnika preplitev. V tej rešitvi povečamo globino vrtanja, s tem da je primerna globina ocenjena na globino med 100 in 150 metri.

Namen:

Z globoko vrtino prevrtamo zgornji vodonosnik in odpadne vode ponikamo v spodnji glavni vodonosnik. Pri tem moramo v zgornjem delu vrtino zaceviti s polnimi cevmi in s tem onemogočiti komunikacijo s podzemnimi vodami zgornjega vodonosnika.

Potrebna dela:

- Izdelava projektne dokumentacije zavrtino (zahteven objekt), pridobitev gradbenega dovoljenja
- Izvedba vrtanja je ista kot pri plitvi vrtini, najverjetneje lahko vrtino izvrtamo z isto vrtalno garnituro, saj se litologija z globino praktično ne spreminja.

- Potrebna je neprestana geološka spremljava vrtanja, saj je potrebno ugotoviti, kdaj (na kateri globini) so prevrtane vse glinene plasti (najboljša izvedba bi bila vrtanje na jedro). Do te globine je potrebno vrtino nato zatesniti (zaceviti s polnimi cevmi). Z vrtino je potrebno nadaljevati še nadaljnjih nekaj deset metrov.
- po zacevitvi in dokončani izdelavi vrtine je potrebno izvesti nalivalni poskus, priporočljivo pa tudi sledilni poskus (spremljava tudi v izviru Savice).

Prednost tovrstne izvedbe:

- Poseg v okolje je majhen, a nekoliko večji kot pri plitvi vrtini (sama izvedba je malenkost zahtevnejša, zato je potrebna večja sanacija delovišča).
- V kolikor odpadno vodo ponikamo v spodnji vodonosnik, je možnost povezave z Dvojnim jezerom nemogoča.
- Ker je debelina nezasičene cone spodnjega vodonosnika zelo velika (več 100 metrov), je vpliv odpadne vode zaradi disperzije in geokemijskih procesov v nezasičeni coni praktično nič.

Pomankljivosti te izvedbe:

- Lokacija ponikovalne vrtine ob koči ni oddaljena 300 m od oboda Dvojnega jezera. Vendar tudi tukaj poudarjamo, da gre za globoko vrtino in ponikovanje v spodnji vodonosnik, ki nima povezave z Dvojnim jezerom, zato jezero ni ogroženo in taka oddaljenost ni potrebna.
- Izvedba vrtanja je nekoliko zahtevnejša in seveda dražja kot pri plitvi vrtini.
- Potrebna je izdelava projektne dokumentacije za globoko vrtino (zahteven objekt).
- Osrednji potencialni problem predstavlja nepredvidljiva prepustnost apnencev spodnjega vodonosnika. Tik pod stikom obeh vodonosnikov (torej pod horizontom z glinami) zasledimo namreč masivno oolitno megaplast. Ta na površju sicer intenzivno zakraseva, njena zakraselost v notranjosti, še posebej pod vodno bariero, pa je vprašljiva. V kolikor je prepustnost slaba, bo potrebno globino vrtine povečati.

7.2. Odvajanje odpadnih voda po ceveh na območje južno (dolvodno) od Dvojnega jezera

Odpadne vode se preko zaprtega sistema s cevmi odvaja južno od jezera, kjer se nato ustvari pokrito ponikovalno polje (Slika 14b). Potek trase je po obstoječi planinski poti na jug, ki v celoti poteka po ledeniškem sedimentu. Mikrolokacija ponikovalnega polja se določi neposredno na terenu, s tem, da mora biti nadmorska višina nižja, kot je gladina jezera. Poleg tega mora biti iztok oddaljen več kot 300 metrov od obale jezera (2. odstavek 12. člena Uredbe o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo (Uradni list RS, št. 64/12, 64/14 in 98/15)), čeprav je predvidena lokacija ponikovalnega polja dolvodno od jezera.

Namen:

Na ta način se odpadne vode spelje mimo jezera na območje, ki je dolvodno, topografsko nižje in hkrati na zadostni razdalji od Dvojnega jezera. Vode se ponikajo v nezasičeno cono zgornjega vodonosnika, katerega debelina nezasičene cone je na tem območju zagotovo večja in zadostimo 4. odstavku 21. člena (pogoji za odvajanje) Uredbe (najmanj 1 meter debela nezasičena cona).

Potrebna dela:

- Izdelava načrta izvedba in pridobitev dovoljenj
- Za izvedbo del je v visokogorje potrebno pripeljati primerno mehanizacijo za izkop in material za izdelavo celotnega sistema.
- Ker je na planinski poti cevi manjša vzpetina (celotna višinska razlika je manj kot 10 metrov) je potrebno izdelati zaprt sistem z črpalko za prečrpavanje vode in zbiralnik za odpadne vode. Odpadno vodo je potrebno prečrpati do najvišjega dela. Preostanek poti se voda lahko pretaka s prostim padcem.
- Potrebno je izdelati ponikovalno polje.

Prednost tovrstne izvedbe:

- S tovrstno izvedbo v celoti zadostimo vsem zahtevam Uredbe o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo (Uradni list RS, št. 64/12, 64/14 in 98/15): oddaljenost več kot 300 m od obale naravnega jezera (2. odstavek 12. člena) in ponikanje v nezasičeno cono debeline vsaj 1 m (4. odstavek 21. člena).
- Izvedba del po trasi obstoječe planinske poti predstavlja dokaj majhen poseg v okolje. Po vkopanju cevi se lahko okolje vrne praktično v isto stanje, kot je bilo pred samo izvedbo. Na nekaterih delih se obstoječa planinska pot verjetno lahko celo izboljša.
- Ponikanje na območju nižje (južneje) od jezera onemogoči komunikacijo odpadne in jezerske vode. Ta del je lociran dolvodno tudi glede na tok podzemne vode, saj ta teče od severa proti jugu. Če naredimo ponikalno polje južno od Dvojnega jezera, je možnost komunikacije z jezerom zelo majhna.
- Glede na terensko opazovanje večji del te poti in s tem trase vkopa cevi poteka po ledeniškem sedimentu. Ker je le ta zdrobljen in v veliki meri drobnnozrnat, bi moralo vkopavanje cevi potekati dokaj enostavno.

Pomankljivosti te izvedbe:

- Poseg v naravo je neizbežen. Kot smo omenili, se ga da s primerno izvedbo minimalizirati, vendar pa je potrebno vpostaviti načrt dolgoročnega vzdrževanja (v gorskem svetu je erozija še posebej intenzivna in ob nezadostnem vzdrževanju lahko pride do razkritja cevitve).
- Težavo pri polaganju cevi lahko predstavljajo veliki kamninski bloki (podorni bloki ali eratični bloki), preko katerih pelje planinska pot. Težave se rešujejo na terenu.
- Za odvajanje vode je potrebno izdelati sistem s prečrpavanjem, ki zahteva dodatno energijo, potrebno za delovanje črpalke.
- Izvedba cevitve in kvaliteta materialov mora biti zanesljiva, saj sistem ne sme puščati, še posebej ne v bližini jezera.

- Sistem cevitve mora biti zasnovan premišljeno, tako da lahko omogoča odprave napak ali defektov (recimo zamašitve cevi).

7.3. Izdelava povezave med izvirom Močilca in Dvojnim jezerom

Ta možnost predvideva, da obstoječe odvajanje odpadne vode ostane tako kot je in se izdelava povezava med vodo izvira Močilca in Dvojnim jezerom (Slika 14c). Pri tem se izdelava kanal (lahko tudi pokrit), po katerem se vode Močilca v večji meri kot sedaj pretočijo v Dvojno jezero. Naravne razmere so namreč take, da večji del vode Močilca ponikne nazaj v zgornji vodonosnik in le manjši delež se pretoči v Dvojno jezero. Začetek kanala mora biti zasnovan torej na območju pred trenutnim ponorom vode Močilca. V tem primeru bi morali najprej meriti izdatnost izvira Močilec ter ob upoštevanju odvzemov vode za potrebe koče izračunati, ali je na razpolago dovolj vode.

Ta rešitev je najslabša, a jo vseeno omenjamo in podajamo osnovne iztočnice.

Namen:

Na ta način voda Dvojnega jezera dobi stalen dotok sveže vode in s tem pride do intenzivnejšega premešanja jezerske vode. Pritečena voda iz območja jezera odteka nazaj v zgornji vodonosnik v aktivnem ponoru na severozahodni strani jezera. Pomembno je, da hkrati onemogočimo neposredno pretakanje odpadnih voda v povezovalni kanal. Obstoječe močvirje, v katerega se trenutno iztekajo, namreč pospešuje njihovo razgradnjo.

Potrebna dela:

- Izdelava načrta izvedbe, meritve izdatnosti izvira in izračun vodne bilance, pridobitev dovoljenj.
- Za izvedbo del je v visokogorje potrebno pripeljati mehanizacijo in material za izdelavo povezovalnega kanala.

Prednost tovrstne izvedbe:

- Odpadne vode se razrečijo v tekoči vodi.

- V primeru ugodnega odziva jezerske vode Dvojno jezero pridobi podobne lastnosti, kot ga ima trenutno Jezero v Ledvicah, saj postane aktivni del podzemnih voda zgornjega vodonosnika.

Pomankljivosti te izvedbe:

- Poseg v okolje je pri takšni rešitvi neprimerljivo večji kot pri ostalih.

- Izdatnost izvira Močilnik ni znana, zato je treba preveriti količine vode in ali so dovolj velike, da obogochijo zadostno razredčenje Dvojnega jezera

- Učinkovitost posega je vprašljiva, saj je v večjemu delu poletja Dvojno jezero razdeljeno na dve manjši jezera. V takih razmerah bi svežih voda bilo deležno le peto jezero, saj je obstoječi ponor lociran na njegovem območju.

- Odpadne vode čistilne naprave bi se še vedno vsaj delno pritakale v jezero.

- Vzpostavili bi povezavo med Dvojn timerom in Močilnikom, kar bi lahko negativno vplivalo na slednjega predvsem s stališča biologije teh občutljivih ekosistemov (možen gorvoden pobeg rib ob njihovem neuspešnem izlovu, itd).

8. Zaključki

Pod dnom Doline Triglavskih jezer je obširnejši kompleksen kraško razpoklinski vodonosnik. V zgornjem delu (zgornji vodonosnik) je plitvejši in od spodnjega vodonosnika ločen z večimi tankimi plastmi gline. Po zgornjem vodonosniku, ki je žlebaste oblike, se podzemne vode pretakajo iz zgornjega dela doline proti njenemu dnu, kjer se nato pretočijo v spodnji debel kraško razpoklinski vodonosnik, ki se izteka v izviru Savica. Jezera, ki se pojavljajo v dolini Triglavskih jezer, so z zgornjim vodonosnikom nepovezana, saj so nastala nad slabo prepustnimi ledeniški sedimenti. Izjemo predstavlja le Jezero v Ledvicah in izvir Močilec za katera je bila s sledilnim poskusom dokazan podzemna povezava. Tako kot ostala jezera, tudi Dvojno jezero predvidoma nima neposredne povezave z vodami zgornjega vodonosnika, saj ga označujejo stagnantne vode. Le ob večjih deževjih in taljenju snega se del vode iz izvira Močilec pretoči preko ledeniškega sedimenta v Dvojno jezero. Presežek vode nato preko ponora na severozahodni strani jezera poniknejo nazaj v zgornji vodonosnik.

Problem odpadnih voda iz čistilne naprave je, da se odvajajo v tanek nanos slabo prepustnih ledeniških sedimentov, po katerih potem odtečejo v jezero. Ker je odtok iz tega jezera v večjemu delu sezone zelo majhen, se odpadne vode najverjetneje koncentrirajo v jezeru.

Zasnova večine predlaganih rešitev je, da odpadne vode odvedemo pod nivo ledeniških sedimentov, torej v kraško-razpoklinski zgornji vodonosnik (Tabela 1). To lahko naredimo s plitvo ponikovalno vrtino, ki mora biti izdelana v trdno kamnino (prevrtati je potrebno ledeniške sedimente). V kolikor se pokaže, da je nivo podzemne vode v zgornjem vodonosniku previsok, se izdelata globoka vrtina skozi zgornji vodonosnik in plasti gline v spodnji vodonosnik in vode odvajamo nato v njega. Zgornji del vrtine, ki poteka skozi zgornji vodonosnik se primerno zatesni. Tretja rešitev predvideva prečrpavanje vode po zaprtem cevnom sistemu na območje južno (dolvodno in topografsko nižje) od Dvojno jezera, kjer se izdelata pokrito ponikovalno polje. Zadnja, verjetno najbolj rizična rešitev, pa predvideva razredčenje odpadne vode in sicer z izgradnjo povezovalnega kanala med izvirom Močilec in Dvojnim jezerom, kar poveča pretočnost jezerske vode.

Tabela 1: Variante odvajanja odpadne vode iz čistilne naprave

	PLITVA VRTINA	GLOBOKA VRTINA	PONIKANJE JUŽNO OD JEZERA	POVEZAVA MOČIVEC-JEZERO
PREDNOSTI	- majhen poseg v okolje - plitva vrtina (10 do 30 m) - nezahteven objekt, enostavno gradbeno dovoljenje	- majhen poseg v okolje - ni povezave z jezerom	- hkratna ureditev planinske poti - lokacija >300 m od jezera - ponikanje v debelo nezasičeno cono - ni povezave z jezerom	- razredčenje vode v Dvojnem jezeru
POMANJKLJIVOSTI	- lokacija vrtine je manj kot 300 m oddaljena od jezera; 300 m je že gorovodno od izvira Močilnik - ni znan nivo podzemne vode in obstaja možnost, da je blizu površja (možna povezava z jezerom in ponikanje ni možno)	- lokacija vrtine je manj kot 300 m oddaljena od jezera; 300 m je že gorovodno od izvira Močilnik - vrtina globoka 100 - 150 m - potrebna projektna dokumentacija in gradbeno dovoljenje	- poseg v naravo (izkop cevovoda in ponikovalnega polja)	- poseg v naravo - ni znana izdatnost izvira in ni zagotovo, ali je dovolj velika - možen vpliv na ekosistem jezera
OCENA PRIMERNOSTI (1-najbolj ... 4-najmanj primerna varianta)	3	2	1	4

Literatura

- Brancelj, A. 2004: High Mountain Lakes in the Alps.- In: Trilar, T. Cogala, A. & Jeršak, M. (eds.) *Nature of Slovenia, The Alps*. pp. 63-67.
- Brancelj, A. 2015: Vode in življenje v njih.- In: Zorn, M. et al.(eds.) *Dolina Triglavskih jezer*. (Geografija Slovenije, ISSN 1580-1594, 32), Založba ZRC, pp. 49-58, Ljubljana.
- Brancelj, A. & Urbanc, J. 2000: Karst groundwater connections in the Valley of the seven Triglav lakes.- *Acta Carsologica*, 29, 47–54.
- Brenčič, M. & Vreča, P. 2016: Hydrogeological and isotope mapping of the karstic River Savica in NW Slovenia.- *Environmental Earth Sciences*, 75, 651. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-016-5479-7>
- Buser, S. 1987: *Tolmač k Osnovni geološki karti SFRJ. 1:100.000, lista Tolmin in Videm*.- Zvezni geološki Zavod, pp.103, Beograd.
- Buser, S. 1989: Developement of the Dinaric and the Julian Carbonate Platforms and of the intermediate Slovenian Basin (NW Yugoslavia).- *Memorie della Societa` Geologica Italiana*, 40, 313–320.
- Buser, S. 1996: Geology of western Slovenia and its paleogeographic evolution. In: Drobne, K., Goričan, Š. & Kotnik, B. (Eds): *The role of impact processes in the geological and biological evolution of planet Earth*. Internat. workshop, ZRC SAZU, Ljubljana, 111-123.
- Čar, J. 2018: Geostructural mapping of karstified limestones.- *Geologija*, 61/2, 133-162. <http://dx.doi.org/10.5474/geologija.2018.010>
- Goričan Š., Žibret L., Košir, A., Kukoč, D. & Horvat, A. 2018: Stratigraphic correlation and structural position of Lower Cretaceous flysch-type deposits in the eastern Southern Alps (NW Slovenia).- *International Journal of Earth Sciences*, 107/8, 2933-2953.
- Herlec, U. 2009: Nov genetski tip žlebičev ob visokogorskih jezerih, nastal zaradi pospešenega zakrasevanja s kondenzacijsko vodo.- *Geološki zbornik*, 20, 40-41.
- Herlec, U., Celarc, B., Mišič, M. 2009: Pomen identifikacije piroklastitov za korelacijo jurskih plasti Julijskih Alp in Slovenskega jarka.- *Geološki zbornik*, 20, 48-51.

- Hrvatin, M., Zorn, M., Ferk, M., Komac, B. & Erhartič, B 2015: Relief. In: Zorn, M. et al.(eds.) *Dolina Triglavskih jezer*. (Geografija Slovenije, ISSN 1580-1594, 32), Založba ZRC, pp. 37-47.
- Jurkovšek, B. 1987: *Tolmač k Osnovni geološki karti SFRJ. 1:100.000, lista Beljak in Ponteba*.- Zvezni geološki zavod, pp. 58, Beograd.
- Kunaver, J. 2004: High Mountain Karst in the Slovenian Alps.- In: Trilar, T. Cogala, A. & Jeršak, M. (eds.) *Nature of Slovenia, The Alps*. pp. 30-34.
- Mlakar, B., Hočevár, J., Janež, J. 2018: Hidrogeološko poročilo o izvedbi sledilnega poskusa med ponikovalnico čistilne naprave Koče pri Triglavskih jezerih in Dvojnim jezerom. Geologija d.o.o., 12 str.
- Ogorelec, B. & Buser, S. 1996: Dachstein limestone from Krn in Julian Alps (Slovenia) = Razvoj dachsteinskega apnenca na Krnu v Julijskih Alpah.- *Geologija*, 39, 133-157.
- Placer, L. 1999: Contribution to the macrotectonic subdivision of the border region between Southern Alps and External Dinarides.- *Geologija*, 41, 223–255.
- Placer, L. 2008: Principles of the tectonic subdivision of Slovenia.- *Geologija*, 51, 205–217.
- Placer, L. 2016: Geotektonski položaj Slovenije.- In: Novak, M., Rman, N. (eds): *Geološki atlas Slovenije*. Geološki zavod Slovenije, pp. 14-15, Ljubljana.
- Placer, L. & Čar, J. 1998: Structure of Mt. Blegoš between the Inner and the Outer Dinarides. *Geologija* 40, 305-323.
- Rožič, B., Popit, T., Žvab Rožič, P., Gale, L., Verbovšek, T., Dolenec, M. & Vidmar, I (v tisku): Origin of the Jezero V Ledvicah Lake; a Depression in a Gutter-Shaped Karstic Aquifer (Julian Alps, NW Slovenia).- *Acta Carsologica*.
- Schmid, S. M., Bernoulli, D., Fügenschuh, B., Maßenco, L., Schefer, S., Schuster, R., Tischler, M. & Ustaszewski, K. 2008: The Alpine-Carpathian-Dinaride-orogenic system: correlation and evolution of tectonic units. *Swiss J. Geosci. (Eclogae Geol. Helv.)*, 101, 139—183.
- Šmuc, A. 2005: *Jurassic and Cretaceous stratigraphy and sedimentary evolution of the Julian Alps, NW Slovenia*.- Založba ZRC/ZRC Publishing, pp. 98, Ljubljana.
- Šmuc, A. & Rožič, B. 2009: Tectonic geomorphology of the Triglav Lakes Valley (easternmost Southern Alps, NW Slovenia).- *Geomorphology* 103-4, 597-604.

Šmuc, A. & Rožič, B. 2010: The Jurassic Prehodavci Formation of the Julian Alps: Easternmost outcrops of Rosso Ammonitico in the Southern Alps (NW Slovenia).- Swiss Journal of Geosciences, 103, 241–255.

Šušteršič, F., 2006: Relationships between deflector faults, collapse dolines and collector channel formation: some examples from Slovenia.- International Journal of Speleology, 35, 1–12.

Šušteršič, F., Čar, J. & Šebela, S. 2001: Zbirni kanali in zaporni prelomi – Collector channels and deflector faults (In Slovene, English Summary).- Naše jame, 43, 8–22.

Trišič, N., Bat, M., Polajnar, J. & Pristov, J. 1997: Water balance investigations in the Bohinj region.- In: Kranjc, A. (ed), *Tracer Hydrology*. pp. 295–298.

Urbanc, J. & Brancelj, A. 1999: Tracing experiment in lake Jezero v Ledvici, valley Triglavska jezera.- Geologija, 42, 207–214.

Urbanc, J. & Brancelj, A. 2002: Hydrological connections between some lakes in the Triglav lakes valley.- In: Brancelj, A. (ed.). *High-mountain lakes in the Eastern part of the Julian Alps*. Ljubljana: ZRC, ZRC SAZU: = ZRC Publishing: National institute of Biology, pp. 77-90.