

SEDIMENTI RAZKRIVAJO DOGAJANJA V ALPSKIH JEZERIH

Anton Brancelj*, Irena Rejec Brancelj**



Povzetek

V prispevku so predstavljene nekatere značilnosti slovenskih alpskih jezer in njihovo spreminjanje zaradi okoljskih sprememb. Za ugotavljanje sprememb v jezerih in njihovih pojezerjih v obdobju zadnjih 300 do 400 let je bila narejena analiza jezerskih sedimentov. Ugotovljeno je bilo, da se je intenzivnost človekovih vplivov na slovenska alpska jezera skozi čas spreminjala in se stopnjevala. Glavne dejavnosti, ki so imele odločilno vlogo pri vplivih na vodno okolje, so bile v preteklosti planinsko pašništvo in oglarjenje, v zadnjem stoletju pa predvsem turizem in rekreacija.

Ključne besede: alpska jezera, jezerski sediment, okoljske spremembe, človekovi vplivi, upravljanje, Julijske Alpe

THE SEDIMENT DISCLOSES WHAT HAS BEEN GOING ON IN THE ALPINE LAKES

Abstract

This paper presents some characteristics of the Slovenian alpine lakes and the changes resulting from environmental changes. To determine the changes in the lakes and their catchment area over the past 300 to 400 years lake sediment was analyzed. It was found out that the intensity of human impact on the Slovenian alpine lakes has changed over time and has been escalating. The main activities that had a decisive role on the effects on the aquatic environment in the past were alpine pasturing and charcoal production. In the last century they were replaced by tourism and recreation.

Key words: alpine lakes, lake sediment, environmental changes, human impacts, management, Julian Alps

Uvod

Slovenija je z naravnimi jezeri razmeroma revna, čeprav ima zelo dobro razvežano rečno mrežo in razmeroma veliko količino padavin (Kolbezen, 1998). Število stalnih naravnih jezer je majhno, pojavljajo pa se le v severozahodni Sloveniji. Med jezeri v severozahodni Sloveniji se po legi in ekoloških značilnostih v osnovi razlikujejo alpska dolinska, kamor se uvrščata Blejsko in Bohinjsko jezero, ter alpska visokogorska, ki ležijo nad 1200 m nadmorske višine, na območju Triglavskega narodnega parka (preglednica: Seznam naravnih jezer v severozahodni Sloveniji z osnovnimi podatki, človekovimi vplivi in njihovim ekološkim stanjem; Radinja 1984a). Po ekoloških značilnosti jih lahko razdelimo na jezera

* Dr. Anton Brancelj, Nacionalni inštitut za biologijo, Ljubljana in Fakulteta za znanosti o okolju, Univerza v Novi Gorici.
anton.brancelj@nib.si

** Dr. Irena Rejec Brancelj, Geografski inštitut Antona Melika, ZRC SAZU.
irbrancelj@gmail.com

pod (sedanjo) gozdno mejo oziroma nad njo, geografsko in tudi ekološko pa se delijo na kriško in krnsko skupino jezer ter triglavska jezera v Dolini sedmerih triglavskih jezer, v okviru katerih obravnavamo tudi Jezero na Planini pri Jezeru (slika 3; Brancelj, 2002).

Slika 1: Dvojno Jezero



Naravni procesi in človekove dejavnosti neposredno in posredno vplivajo na stanje jezer (slika 4). Te se lahko odvijajo v samih jezerih, na njihovih bregovih, v njihovem pojezerju ali celo v širši okolici. Sedanje stanje jezer ni odsev samo trenutnih dejavnosti, ampak tudi vseh dogajanj v preteklosti, še zlasti pa tistih po letu 1850. Radinja (1988) ugotavlja, da so najmočnejši učinki onesnaževanja skriti pretežno v globini in zato večino dolgo časa neopazni. V začetku gre pravzaprav za prtajeno, latentno onesnaženost, ki je toliko usodnejša, ker postane očitnejša šele tedaj, ko doseže višjo stopnjo in je jezerski ekosistem že močno načet. O tem pričajo številne izkušnje, tudi iz slovenskih jezer. Kot ena od najprimernejših metod za ugotavljanje teh dogajanj v jezerih in pojezerjih se je pokazala analiza sedimentov.

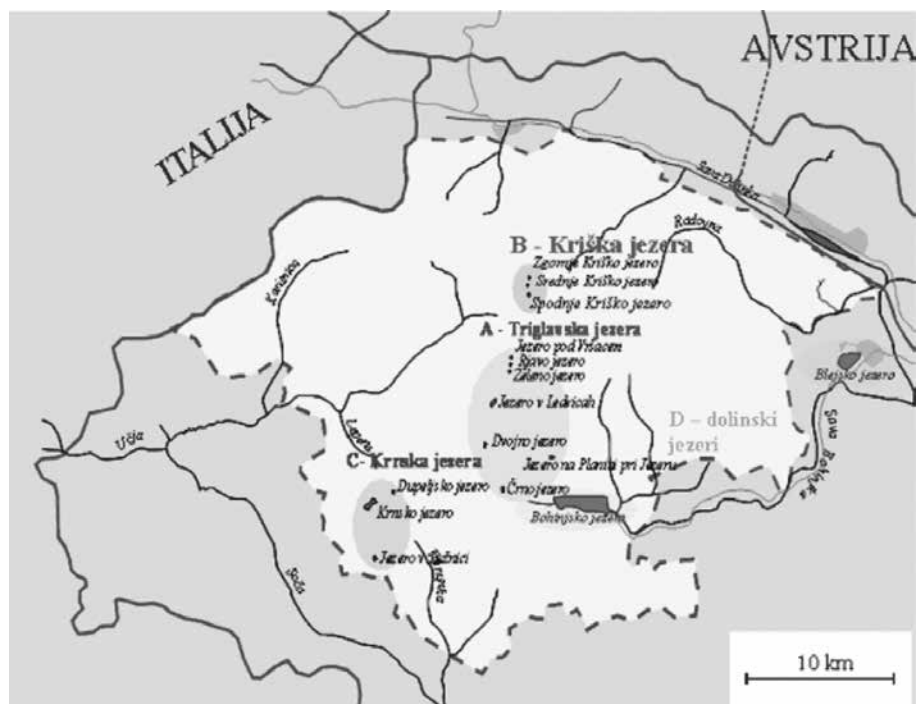
Slika 2: Spodnje Kriško jezero



Nekatere značilnosti jezer in njihov vpliv na kakovost vode

Čeprav se naša jezera med seboj razlikujejo po številnih lastnostih, kot so velikost, lega, fizikalne in kemijske lastnosti vode, rastlinstvo in živalstvo, imajo tudi nekaj skupnih potez. Vsa ležijo na apnenčasti podlagi, kar jim daje značaj kraških jezer. To se kaže v osnovnih kemijskih lastnostih vode ter prisotnosti kraških izvirov v njihovem neposrednem zaledju in tudi po ponorih, ki so prisotni na bregu več visokogorskih jezer. Skupen je tudi njihov nastanek. Vsa jezera so ledeniškega izvora, in so nastala bodisi kot posledica poglobitve jezerskih kotanj zaradi neposrednega delovanja ledenikov, kar velja zlasti za visokogorska jezera, bodisi zaradi kombinacije tektonskih pojavov in delovanja ledenika, kar velja za Bohinjsko jezero, ali pa kot posledica čelnih moren, kot je v primeru Blejskega jezera (Gams, 1962; Radinja, 1984a; Kolbezen, 1998). Za vsa naša visokogorska jezera je značilno, da se napajajo izključno s padavinsko vodo, ki se s pobočij skozi melišča razpršeno steka v njihove kotanje.

Slika 3: Slovenska alpska jezera



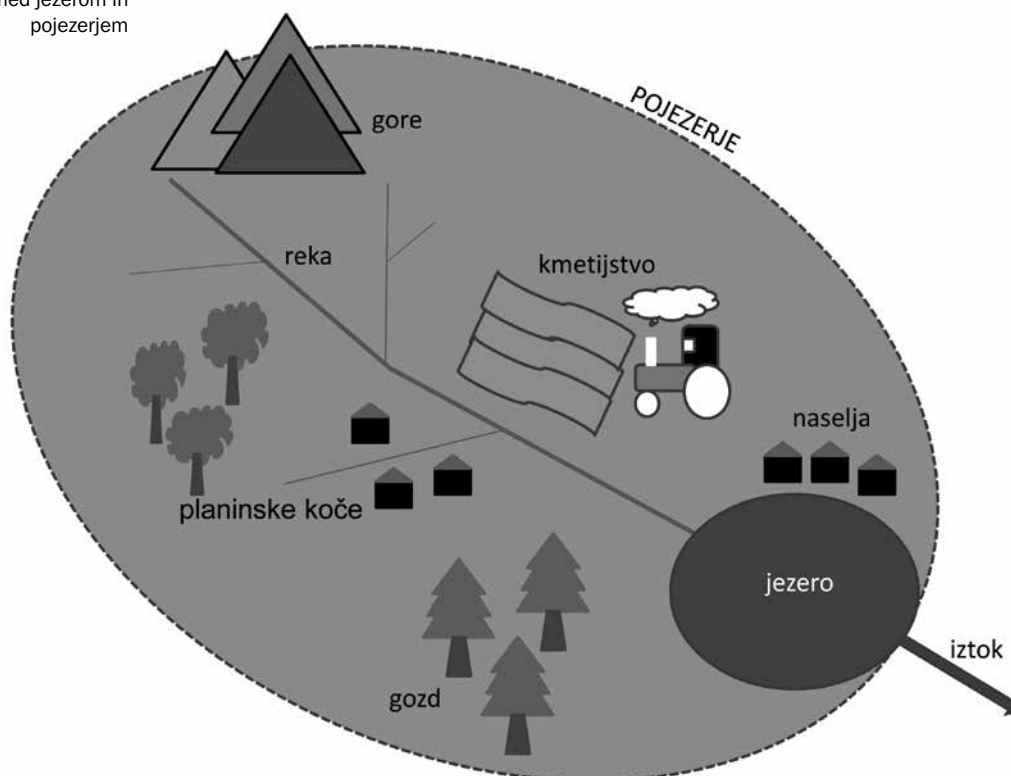
Vsa visokogorska jezera so revna s hranili, zato se v njih pojavlja le majhno število rastlinskih in živalskih vrst. Edinstvenost slovenskih jezer pa je zaznana tudi na evropski ravni, saj predstavljajo habitat trdih oligo-mezotrofnih voda z združbami parožnic (*Chara sp.*), ki je v Evropi sicer omejen na nižinske predele in se v visokogorju pojavlja le izjemoma. To je razumljivo, saj leži večina evropskih visokogorskih jezer na metamorfni ali magmatski podlagi z mehko vodo in malo raztopljenimi mineralnimi snovmi. Zato je pomen teh habitatov in slovenskih visokogorskih jezer še toliko večji. Obstaja pa tudi pomembna razlika v dogajanjih v jezerih na obeh geoloških podlagah. Raziskave so pokazale, da so jezera na kristalinski oziroma granitni podlagi zaradi onesnaževanja s kislim dežjem podvržena zakisovanju, na apnenčasti podlagi pa povečanemu vnosu hranil (Brancelj in sod., 2000).

Obe slovenski alpski dolinski jezera se napajata prek stalnih ali občasnih izvirov nad gladino jezera (v primeru Bohinjskega jezera sta to Savica in Govic) ali pa manjših izvirov in potočkov (v primeru Blejskega jezera sta

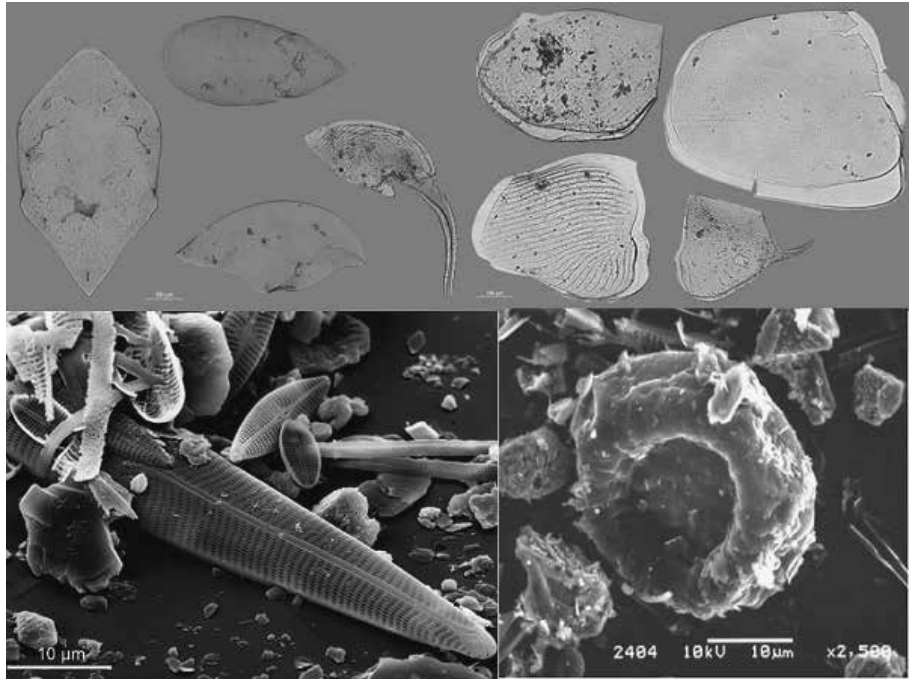
največja pritoka Mišca in Solznik). V Blejsko jezero je speljan še umetni dovod vode iz Radovne. Ta je bil zgrajen leta 1972 za zagotavljanje boljše ekološkega stanja jezera. Obe jezera imata sicer dobro oblikovan površinski odtok (obe Jezernici), Blejsko jezero pa še dodaten odtok za odvajanje vode iz slojev tik nad dnom (Vrhovšek in sod., 1981). Razmerje med pritokom in odtokom iz jezer kratkoročno vpliva na nihanje vodne gladine, dolgoročno pa tudi na kakovost vode. V Bohinjskem jezeru se voda v povprečju v celoti zamenja vsakih 107 dni oziroma okoli 3-krat letno. Pri Blejskem jezeru se to naravno zgodi komaj enkrat v treh letih (Kolbezen, 1998), po uvedenih ukrepih za zdravljenje jezera, z dotokom Radovne in odtokom preko natege, pa praviloma enkrat letno. Za visokogorska jezera podatkov o pretokih in zadrževalnih časih vode v jezerih ni, obstajajo le posamični rezultati sledilnih poizkusov (Urbanc, Brancelj, 2002).

Sedimenti visokogorskih jezer pa imajo dobro ohranjene zapise o jezerski in pojezerski zgodovini in vplivih. Njihov prirast se giblje od 0.1 do 2 mm na leto, ki ga lahko povečan vnos hranil in potresi pospešita (Brancelj s sodelavci, 2012). V sedimentu najdemo ostanke različnih onesnaževal, katerih glavni vir je onesnaževanje na dolge razdalje. Največje koncentracije onesnaževal v sedimentu imajo jezera iz severozahodnega dela Julijskih Alp, proti vzhodu se skladno z upadanjem količine padavin njihova količina zmanjšuje. Med zapise človekovih vplivov v sedimentih lahko uvrščamo prisotnost: obstojnih organskih onesnaževal (POPs), ostankov avtomobilskih in industrijskih goriv (SCP = kroglasti ogljikovi delci), radioaktivnega izotopa cezija (^{137}Cs) kot posledico jedrskih poizkusov ali jedrskih nesreč, ter vnos tujerodnih vrst komunalno onesnaženje. Vsak od teh vplivov pušča v sedimentih enkratne zapise, ki se jih z ustreznimi metodami lahko določi.

Slika 4: Razmerje med jezerom in pojezerjem



Slika 5: Značilni ostanki v sedimentih: vodne bolhe (zgoraj) in kremenaste alge (spodaj). (foto: M. Šiško)



Raziskave so pokazale, da so zlasti Kriška jezera močnejše obremenjena z obstojnimi organskimi onesnaževali in kroglastimi ogljikovimi delci, kar je posledica prevladujočih zračnih tokov iz severozahoda in zahoda, ki prinašajo izpuste iz industrijskih in poseljenih območij. Prav tako so zaradi neobičajnih vremenskih razmer jezera v Sloveniji v času černobilske nesreče dobila močno povišane koncentracije radioaktivnih izotopov (^{137}Cs) (Muri, Brancelj, 2002; Muri in sod., 2002). Vnosi tujerodnih vrst, predvsem rib, so povzročili spremembe v vrstni sestavi zooplanktona, zlasti v visokogorskih jezerih, kar je jasno razvidno iz analiz ostankov vodnih bolh iz sedimenta iz Jezera na Planini pri Jezeru (Brancelj in sod., 2000). Vsa visokogorska jezera v Julijskih Alpah so bila do leta 1927 brez rib. Na primerih Krnskega jezera, Jezera na Planini pri Jezeru, Dvojnega jezera, Črnega jezera ter Dupeljskega jezera, kjer so bile ribe naseljene, je prišlo do poslabšanja ekološkega stanja jezer, kar se najočitneje odraža v povečani motnosti vode, spremenjeni barvi jezerske vode in zaplatah alg ob bregovih.

Danes je med jezeri le še nekaj takih, ki jih človekova dejavnost ne obremenjuje in imajo zato še vedno oznako »dobro ekološko stanje« (preglednica 1). Mednje spadajo le še najbolj oddaljena jezera (Zgornje Kriško jezero, Jezero v Lužnici, Jezero pod Vršacem) ali jezera s specifično hidrologijo (Rjavo jezero, Zeleno jezero, Jezero v Ledvicah), kjer hitra izmenjava vode ob razmeroma majhnem turističnem pritisku še vedno ohranja dobro stanje. Med nižinskimi jezeri lahko v to kategorijo pogojno štejemo tudi Bohinjsko jezero, čeprav se pritisk turizma povečuje, ogroža pa ga tudi naseljevanje tujerodnih vrst vodnih živali, zlasti rib.

Spreminjanje jezerskega ekosistema zaradi vnosa tujerodnih vrst živali je bilo najbolje spremljano na primeru vnosa rib v Dvojno jezero (Brancelj, 1999). V preteklosti pa je bilo podobno ugotovljeno tudi za Jezero na Planini pri Jezeru (Brancelj in sod., 2000), vendar je bil tam pomemben tudi vpliv obiskovalcev. V obeh primerih je vnos rib v jezero, kjer prej niso bile prisotne, povzročil naglo in znatno poslabšanje ekološkega stanja. Druga pomembna vrsta obremenitev so planinske kočice in pri dolinskih jezerih

hoteli in z njimi povezan turistični obisk. V teh primerih je problematično zlasti odvajanje neprečiščenih odpadnih vod v jezera ali pojezerja, kar se odraža v povečani rasti alg in obvodnih rastlin.

Planšarstvo v sedanjem času in obsegu nima bistvenega vpliva na stanje visokogorskih jezer. Večji je bil njegov vpliv v preteklosti. Izpostavljeno je bilo zlasti Jezero na Planini pri Jezeru, kjer so bile spremembe vezane predvsem na gozdarsko dejavnost in pridobivanje oglja, kar se je odražalo v povečani eroziji zaradi izsekavanja in povečani sedimentaciji na jezerskem dnu. Obenem je prišlo tudi do povečanega vnosa hranil v jezero, kot posledice večjega števila govedi v okolici planine (Brancelj in sod., 2000; Rejec Brancelj, Smrekar, 2002).

Preglednica: Seznam naravnih alpskih jezer z osnovnimi podatki, oblikami človekovih vplivov in njihovim ekološkim stanjem
(x – vpliv je majhen, xx – vpliv je znaten; xxx – vpliv je kritičen;
A – stanje je zelo dobro;
B – stanje je spremenjeno;
C – stanje je slabo / kritično

jezero	nmv* (m)	nglo (m)	Pov (ha)	pon	tujev	nast	obis	plan	pozi	ekos
Jezero pod Vršacem	1993	7	0,6	DA						A
Rjavo jezero	2002	10	1,3	NE						A
Zeleno jezero	1983	3	0,6	NE			X			A
Jezero v Ledvici	1830	15	2,2	DA			X			A
Dvojno (5.) jezero	1669	11	1,0	DA	XXX	X	XX			C
Dvojno (6.) jezero	1669	9	0,7	NE	XXX	X	XX			C
Črno jezero	1325	9	0,9	NE	XX		XXX			B-C
Jezero na Planini pri Jezeru	1430	11	1,6	DA	XXX	XX	XX			C
Krnsko jezero	1382	18	4,5	DA	XX		XX	X		B
Dupeljsko jezero	1340	4	0,3	NE	X	X		X		B
Jezero v Lužnici	1800	10	0,5	NE			X	X		A
Zgornje kriško jezero	2150	9	0,7	DA						A
Srednje kriško jezero	1950	9	0,3	DA		X		X		A
Spodnje kriško jezero	1880	9	0,9	DA			X	X		A
Bohinjsko jezero	526	45	328	NE	X		XX			B
Blejsko jezero	475	30	147	NE	XXX	XXX	XXX		XXX	C

* Pomen okrajšav: nmv=nadmorska višina, nglo=največja globina, pov=površina, pon=ponor, tujev=tujerodne vrste, nast=nastanitvene zmogljivosti, obis=obisk planincev ali turistov, plan=planšarstvo, pozi=pozidava, ekos=ekološko stanje; vir podatkov: Gams, 1962 (nadmorska višina, globina, površina); Brancelj, 2002 (ponor, tujerodne vrste); nastanitev, obisk, pozidava, ekološko stanje – Brancelj, Rejec Brancelj – osebno;

Sklep Intenzivnost človekovih vplivov na slovenska alpska jezera se je spreminjala in skozi stoletja stopnjevala. Tri glavne dejavnosti so imele odločilno vlogo pri vplivih na vodno okolje. V preteklosti sta bili to planinsko pašništvo in oglarjenje s fužinarstvom, v zadnjem stoletju pa zlasti turizem in rekreacija ter še zlasti naseljevanje rib. Zapisi v sedimentih nam pomagajo pri razlagi okoljskih sprememb v posameznih jezerih in pojezerjih.

Analize sedimentov so pokazale, da so vsa jezera zelo dinamični ekosistemi, ki so tesno povezani s svojim bližnjim in daljnim zaledjem, in na vplive okolja različno intenzivno reagirajo. Hitrost priraščanja sedimentov je močno odvisna od ekološkega stanja jezera, naravnih pogojev in vplivov človeka. Nekatera jezera so obremenjena zaradi vnašanja tujerodnih vrst živali, med katerimi je bilo najboljše dokumentirano spreminjanje jezerskega ekosistema na primeru vnosa rib v Dvojno jezero. V preteklosti pa je bilo to ugotovljeno tudi za Jezero na Planini pri Jezeru. V obeh primerih je vnos rib v jezera, kjer prej le-te niso bile prisotne, povzročil naglo in znatno poslabšanje ekološkega stanja jezer. Pri dolinskih alpskih jezerih je problem zlasti odvajanje neprečiščenih odpadnih vod v jezero, kar označujemo kot povečan vnos hranil. To se odraža v povečani rasti alg, zlasti modrozelenih cepljivk, in obvodnih rastlin. Posledično prihaja do pomanjkanja kisika v spodnjih plasteh jezera in s tem do znatnih sprememb jezerskega ekosistema. Skoraj pol stoletja stari izboljševalni ukrepi na Blejskem jezeru z dovodom sveže vode iz Radovne in z odvodom onesnažene globinske vode opozarjajo na to, kako težavno je ponovno vzpostavljanje dobrega ekološkega stanja jezer (Rejec, 1988).

Ključna spoznanja glede izboljšanja kakovosti vode je za Blejsko jezero zapisal že Radinja (1988), med njimi so naslednja. Razmeroma zaprti sistemi jezer so občutljivejši od odprtih pokrajinskih sistemov. Izboljševanje onesnaženega okolja je zamudnejše in predvsem dražje od preprečevanja poslabšanja stanja. Popravljalni ukrepi terjajo dobro organizirano raziskovanje, projektiranje in izvajanje, zasnovano na sodelovanju različnih strok in deležnikov ter temelječe na širšem družbenem soglasju. Tako pri visokogorskih kot dolinskih alpskih jezerih gre za prelaganje krajevne onesnaženosti drugam: na Savo Bohinjko. Večdesetletno neuspešno zdravljenje majhnega alpskega Blejskega jezera je lahko dokaz, da je preprečevanje onesnaženja veliko bolj učinkovito kot zdravljenje porušenega ekosistema.

Dobro stanje jezer, torej dobro kemijsko in ekološko stanje, pa je tudi ključni cilj upravljanja z jezeri, ki je v ospredju evropske in nacionalne zakonodaje. Ta je v zadnjem desetletju postavila v ospredje celovit pristop pri obravnavi jezer, vse z namenom zagotavljanja ustrezne kakovosti vode za pitje in kopanje oziroma vodne športe. Medtem ko so evropska gorska in visokogorska jezera marsikje vir pitne vode, so slovenska visokogorska jezera širše zaledje vodnih virov za pitno vodo. Dolinska jezera pa so pomembna turistično rekreacijska območja, kot kopalna območja ter območja za vodne športe pa so še posebej občutljiva za mikrobiološko onesnaževanje.

Dosedanje izkušnje kažejo, da lahko določene negativne posledice človekovih dejavnosti v gorskem svetu omilimo, saj jih preprečiti ne moremo. Pri tem pa je zlasti pomembno poznavanje njihovih raznovrstnih vplivov

in ozaveščanje prebivalcev ter obiskovalcev o pomenu in občutljivosti teh vodnih ekosistemov. K temu lahko pripomore tudi ustrezna umestitev te problematike v poučevanje geografije na osnovnošolski in srednješolski stopnji.

Literatura

1. Brancelj, A., 1999: The extinction of *Arctodiaptomus alpinus* (Copepoda) following the introduction of charr into a small alpine lake Dvojno Jezero (NW Slovenia). *Aquatic Ecology*, 33: 335–361.
2. Brancelj, A., Šiško M., Rejec Brancelj I., Jeran Z., Jačimovič, R., 2000: Jezero na Planini pri Jezeru (NW Slovenia), Effects of land use and fish stocking on mountain lake – evidence from the sediment. *Periodicum biologorum*, 102: 259–268.
3. Brancelj, A., Žibrat, U., Mezek, T., Rejec Brancelj, I., Dumont, H., 2012: Consecutive earthquakes temporarily restructured the zooplankton community in an Alpine Lake. *Annales de Limnologie*, 48: 113–123.
4. Gams, I., 1962: Visokogorska jezera v Sloveniji. *Geografski zbornik*, 7: 195–262.
5. Kolbezen, M., 1998: Hidrografija. V Gams I. (ur.): *Geografija Slovenije*. Slovenska matica, 139–173.
6. Medmrežje: S Protkom raziskujem okolje Slovenije. <http://www.protko.si/>, 6. 10. 2013.
7. Muri, G., Brancelj, A., 2002: Fizikalne in kemijske lastnosti jezerske vode in ledeni pokrov. V Brancelj A. (ur.): *Visokogorska jezera v vzhodnem delu Julijskih Alp*. Nacionalni inštitut za biologijo in Založba ZRC SAZU; pp. 91–109.
8. Muri, G., Jeran, Z., Jačimovič, R., Urbanc-Berčič, O., 2002: Fizikalne lastnosti sedimentov in onesnaževalci v sedimentih. V Brancelj A. (ur.): *Visokogorska jezera v vzhodnem delu Julijskih Alp*. Nacionalni inštitut za biologijo in Založba ZRC SAZU; pp. 159–177.
9. Radinja, D., 1984a: Alpine lakes in Yugoslavia. *Geographica Iugoslavica*, 5: 37–47.
10. Radinja, D., 1988: Širša degradacijska problematika Blejskega jezera. *Geographica Slovenica*, 19: 99–134.
11. Rejec, I., 1988: Vpliv pojezerja na onesnaženost Blejskega jezera. *Geographica Slovenica*, 19; pp. 135–161.
12. Rejec Brancelj, I., Smrekar, A., 2002: Človekovi vplivi na območju Triglavskega narodnega parka. V Brancelj A. (ur.): *Visokogorska jezera v vzhodnem delu Julijskih Alp*. Nacionalni inštitut za biologijo in Založba ZRC SAZU; pp. 219–236.
13. Urbanc, J., Brancelj, A., 2002: Hidrološke povezave med nekaterimi jezeri v dolini Triglavskih jezer. V Brancelj A. (ur.): *Visokogorska jezera v vzhodnem delu Julijskih Alp*. Nacionalni inštitut za biologijo in Založba ZRC SAZU; pp. 77–90.
14. Vrhovšek, D., Kosi, G., Zupan, M., 1981: Ocena stanja Blejskega jezera v obdobju od septembra 1979 do decembra 1980 na podlagi fitoplanktona in fizikalno-kemičnih parametrov. *Biološki vestnik*, 29(2): 157–180.