

ZAJEDNICA MAKROBESKIČMENJAKA LITORALA BORAČKOG JEZERA U PROCJENI EKOLOŠKOG STANJA

Sadbera Trožić-Borovac¹, Ena Mesić¹, Alma Imamović², Samir
Muhamedagić³

Originalni naučni rad - *Original scientific paper*

Rezime

Makrobeskičmenjaci bentosa slatkovodnih ekosistema su veoma heterogena skupina organizama, a zajednička im je karakteristika da su veći od <0,5 mm. Različita tolerantnost taksa makrobeskičmenjaka bentosa, kao i senzitivnost na faktore degradacije, omogućava njihovo pouzdano apliciranje u određivanju ekološkog stanja ekosistema jezera. Rad je baziran na analizi zajednice makrobeskičmenjaka bentosa Boračkog jezera na četiri lokaliteta (dva lokaliteta bez izraženih antropogenih djelovanja i dva lokaliteta plaža za kupanje - izmijenjeno). Uzorkovanje je za potrebe realizacije rada izvršeno u maju i julu 2020. godine. Za ocjenu ukupnog ekološkog stanja upotrebljeni su indeksi degradacije (indeks diverziteta i EPT-S) i indeksi pokazatelji organskog onečišćenja (ukupni broj taksa, saprobni indeks, BMWP i ASPT indeks). Utvrđena je visoka korelacija između vrijednosti indeksa degradacije (EPT-S i H') i prirodosti sedimenta, kao i između indeksa organskog onečišćenja (BMWP, UBT) i sedimenta. Primjenjena linearna regresijska analiza utvrdila je da stanje sedimenta se može objasniti efikasno vrijednostima indeksa diverziteta, ukupnog broja taksa, BMWP indeksom i EPT-S indeksom. Zajednica makrobeskičmenjaka bentosa litorala Boračkog jezera generalno indicira hidromorfološke promjene (HyMo), te je prihvatljiva za procjene ukupnog ekološkog stanja.

Ključne riječi: *makrozoobentos, Okvirna Direktiva o vodama, ekološki status, hidromorfološko stanje, metrike*

UVOD

Prirodna jezera kao poseban hidrogeološki fenomen predstavljaju značajna prirodna bogastva. Najveća količina slatke vode na planeti zemlji nalazi se u jezerima, te s toga su interes visokog stupnja zaštite i očuvanja. Od 1950-ih ekosistemske funkcije mnogih jezera su se postepeno degradirale. Ekološko stanje ekosistema je narušeno ozbiljno zbog efekta staklene bašte i neracionalnog, prekomjernog korištenja od strane ljudi.

¹Prirodno-matematički fakultet Univerzitet u Sarajevu

²Federalno ministarstvo poljoprivrede, vodoprivrede i šumarstva, Sarajevo

³Poljoprivredno-prehrambeni fakultet Univerziteta u Sarajevu

Correspondence: strozic@pmf.unsa.ba

Zbog toga je posebno važna procjena stanja ekosistema vode jezera (Ding i sur., 2021), u cilju uspostavljanja mjera za adekvatno upravljanje jezerima. Antropogeni pritisci, imaju negativna dejstva posebno na obalni (litoral) pojas jezera. Ove promjene se manifestuju zatrpavanjem prirodnog sedimenta, fragmentacijom staništa, nedostatkom prirodne povezanosti kopna i vode. Svi uticaji u hidromorfologiji jezera imaju direktan i veliki uticaj na životne zajednice bentosa. U naučnim studijama naznačeni su uticaji na vodozemce, makrofite i invertebrate bentosa (Urbanič i sur., 2012), kao podloga za njihovu aplikaciju u ocjeni ekološkog statusa vodenih ekosistema. Prema Okvirnoj direktivi o vodama (EC 2000), različite karakteristike zajednice trebaju biti vrednovane u biološkoj procjeni. Ove karakteristike uključuju taksonomski sastav i brojnost, odnos stepena senzitivnosti na poremećaje (tolerantne i netolerantne takse) i nivo različitosti. Dakle, višestruki atributi jezerskih zajednica moraju biti integrirani da bi se opisali i ocijenili uslovi jezera. Sama direktiva nalaže da se u procjeni ekološkog statusa stajaćica primjenjuje raznovrsnost i bogastvo invertebrata bentosa. Planovi upravljanja riječnim slivom, mjere revitalizacije, su razvijene i implementirane (Hering i sur., 2010, 2015), u većini zemalja Evrope. Željeni ishod poboljšanog ekološkog statusa („dobar“) nije postignut. Veoma mali stepen revitalizacije i poboljšanja ekološkog statusa, evropskih jezera i rijeka naveden je za period između 2009. i 2015. godine. U mnogim slučajevima se ne može očekivati brzo poboljšanje zbog velikog opterećenja nutrijentima (Søndergaard *et al.*, 2007) i spore revitalizacije bioloških zajednica. Drugo moguće objašnjenje je da se većina mjera upravljanja bavi „tradicionalnim“ pritiscima eutrofikacije i acidifikacije, dok se hidromorfološke promjene (HyMo) manje analiziraju. Kao posljedica toga, u mnogim područjima su neadekvatno uspostavljanje mjere ograničenja i zaštite vodenih ekosistema, posebno jezera.

Boračko jezero zbog veličine (manje od 0,5 km) nije u skupini vodnih tijela na koje se odnose odredbe ODV-a. Zbog glečerskog porijekla, posebnog prostornog položaja i turističkog značaja (kupalište), ovo jezero se razmatra prema odredbama ODV-a. Tipologijom je determinasno kao Tip J3: Dinaridsko malo srednje plitko jezero na karbonatnoj podlozi. Kotlina u kojoj se formiralo jezero ima ljevkastu-amfiteatralni oblik. Jezero leži u donjem kraju Boračke Drage i pruža se u pravcu sjeverozapad-jugoistok. Okruženo je s jugozapada šumovitom Crnom Gorom (1343-1595 m.n.v.), sa istoka Tranjinom (1055 m.n.v), sa jugoistoka prevojem Košute (490 m.n.v), a sa sjevera ga od Boraka i Boračkog polja odvaja strmi Krstac. Okolina jezera je izgrađena od dolomita i dolomitiziranih krečnjaka te je u tom kraju razvijen kraški proces. Nadmorska visina Boračkog jezera je 402 m i na osnovu toga se svrstava u brdska jezera submediteranskih Dinarida. Na dijelovima jezera javlja se bogato razvijena vegetacija šiblja i poplavnih drvenastih biljaka, a u samom jezeru bogato razvijena sublitoralna vegetacija trske i plutajućih biljaka (lokvanj).

Cilj rada je da se na temelju istraživanja litorala Boračkog jezera na mjestima sa različitim inenzitetom antropogenog uticaja, zajednica makrobeskičmenjaka bentosa, validuje kao pouzdan indikator ekološkog stanja jezera.

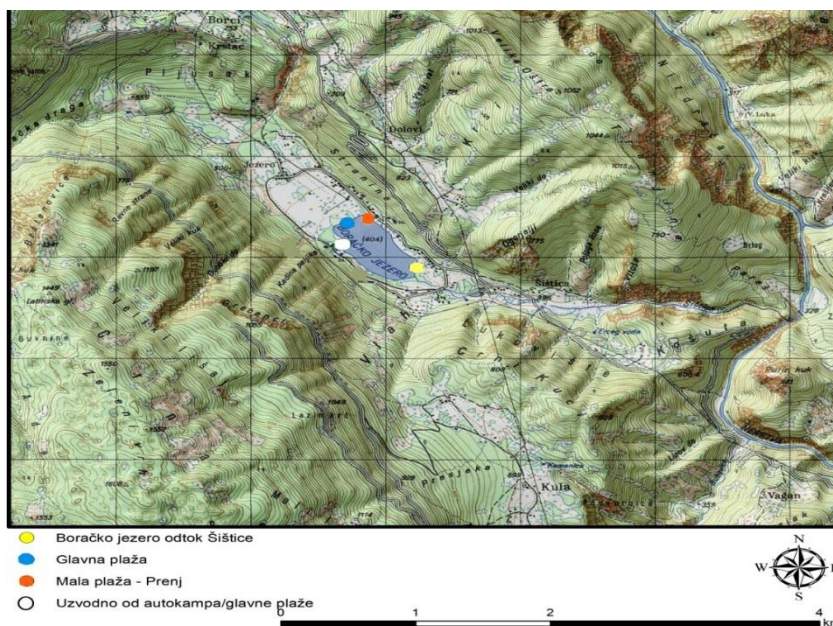
MATERIJAL I METODE RADA

Za potrebe realizacije rada izvršena su terenska istraživanja u periodu 2021. godine. Prvi izlazak realizovan je 15.05.2021. i 23.07.2021. godine. Odabir lokaliteta istraživanja je izvršen na temelju stepena hidromorfoloških promjena. Dva lokaliteta su sa izrazito izmjenjenim obalama i sedimentom (Lokalitet 3 Glavna plaža i Lokalitet 4 Mala plaža - Prenj) i dva lokaliteta (tab. 1 i sl. 2) sa prirodnim obalama i manjim antropogenim pritiskom (Lokalitet 1 Boračko jezero odtok Šišćice i Lokalitet 2 uzvodno od autokampa/glavne plaže).

Tabela 1. GPS koordinate i nadmorska visina lokaliteta istraživanja na Boračkom jezeru

Table 1. The GPS coordinates and altitude of the research site on Boracko Lake

Lokalitet	GPS koordinate		n.v (m)
Lokalitet 1 Boračko jezero odtok Šišćice	43°33'1.35"N	18° 2'5.58"E	400
Lokalitet 2 uzvodno od auto kampa/glavne plaže	43°33'6.23"N	18° 1'44.16"E	405
Lokalitet 3 Glavna plaža	43°33'9.25"N	18° 1'44.02"E	405
Lokalitet 4 Mala plaža - Prenj	43°33'17.17"N	18° 1'51.07"E	399

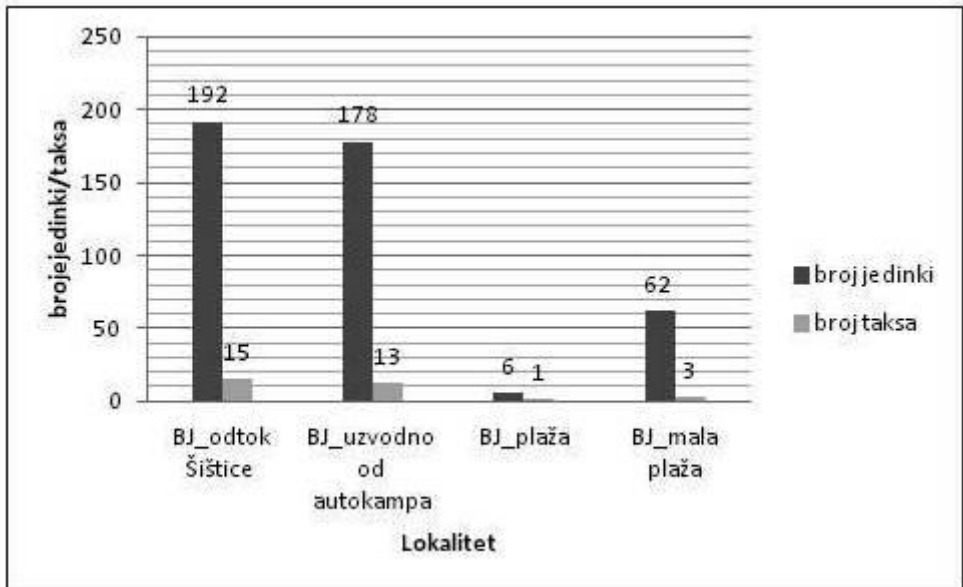


Slika 1. Položaj lokaliteta (tačke) istraživanja u litoralu Boračkog jezera, 2021.
Figure 1. Location of research sites (points) in the Boracko Lake littoral, 2021.

Dubina na istraživanim lokalitetima se kretala od 35 do 70 cm. Tip sedimenta, kao i zastupljenost mikrostaništa imali su direktan uticaj na broj poduzoraka na lokalitetima istraživanja. Kao tip sedimenta javlja se psamopelal, pelal, makrofite, mikrolital kao grupa supstrata razvijenih na dva lokaliteta (L1 i L2) i drugu grupu čini dominantno psamal (L4) i manjim procentom pelal (L4). Ovakovo grupisanje imalo je primjenu u regresiji zbog utvrđivanja stepena povezanosti raznovrsnosti organizama u sastavu makrozoobentosa i mikrostaništa. Uzorkovanje je izvršeno primjenom mreže za duboke vode, a uzorci su sakupljeni u posudu i na terenu pregledani uz upotrebu binokularne lupe i odgovarajuće ključeva za determinaciju organizama zoobentosa (Elliott i sur., 1988; Glöer, 2002; Neubert & Nesemann, 1999; Nilsen, 1996, 1997; Taglipietra & Sigovini, 2010; Waringer & Graf, 1997). Rezultati kvalitativno-kvantitativne analize uzoraka makrobeskičmenjaka aplicirani su u ocjeni ekološkog stanja, metrikama degradacije staništa i organskog zagađenja. Indeksi primjenjeni u ocjeni organskog onečišćenja su: Ukupan broj taksa (UBT), Saprobni indeks (Pantle-Buck, 1955), BMWP indeks i ASPT. Indeksi primjenjeni u procjeni degradacije staništa: Shannon-Weaver indeks diverziteta, EPT indeks i učešće hranidbenih kategorija u uzorku. Kao mjera uticaja hidromorfoloških promjena, zbog ograničenog broja varijabli, primjenjena je korelacija i linearna regresija (IBM SPSS Statistics 25). Za potrebe statističke obrade podataka korišten je excel 2010, softver IBM SPSS Statistics 25 i Primer 5.

REZULTATI RADA I DISKUSIJA

Na temelju sprovedenih istraživanja i analize kvalitativno-kvantitativnog sastava makrozoobentosa u uzorcima Boračkog jezera na četiri lokaliteta konstatovano je ukupno 432 jedinke koje su predstavnice 18 taksa. Prema rezultatima uzorci iz jula mjeseca su sa većim biodiverzitetom (17) i većim ukupnim brojem jedinki (255).



Grafikon 1. Prikaz ukupnog broja jedinki i taksa makrobeskičmenjaka bentosa litorala Boračkog jezera na lokalitetima istraživanja, 2021.

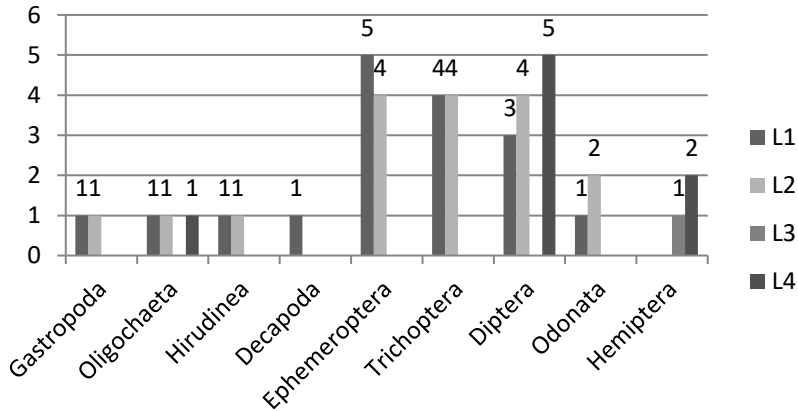
Graph 1. Overview of the total number of individuals and taxes of benthic macroinvertebrate beetles of Boračko Lake at research sites, 2021.

Distribucija organizama je različita po lokalitetima uzorkovanja (tab. 2), Lokalizacije na Boračkom jezeru (uzvodno od glavne plaže i odtok Šišćice) koje karakteriše veliki diverzitet staništa (pjesak, mulj, makrolital, fital, plutajuće makrofite) karakteriše visok biodiverzitet i bogastvo jedinki. Lokalizacije sa visokim antropogenim uticajem (alohtoni sediment - pijesak) plaže za rekreaciju (plivanje) karakteriše veoma nizak biodiverzitet ili potpuno odsustvo makrobeskičmenjaka bentosa (glavna plaža autokampa). Sastav vrsta indicira ekološke uvjete, vrsta bjelonogog raka koja je velikom brojnošću konstatovana u Boračkom jezeru, javlja se na lokalitetu odtoka Šišćice i u samoj rijeci Šišćici. Što ukazuje na održivost uslova staništa ove zaštićene vrste. Pored toga u uzorcima na lokalitetima koji se odlikuju skoro prirodnim staništima, konstatovane su i vrste iz senzitivnih redova ET skupine (Ephemeroptera i Trichoptera) sa vrstama familija Baetidae, Ephemeridae, Heptagenidae, Psychomidae i Polycentropidae. Pored njih javljaju se i larve vilinskih konjica karakteristični i indikatori staništa u Boračkom jezeru (fital). Na lokalitetima sa izraženim neprirodnim sedimentom (glavna plaža i djelomično plaža Prenj) konstatovano je potpuno odsustvo (ili veoma siromašno) makrobeskičmenjaka u bentosu. Na lokalitetu male plaže (graf. 2) koja je okružena sa očuvanom flotantnom i emerznom florom, konstatovano je prisustvo tri takse (eurivalentene).

Tabela 2. Kvalitativni sastav i distribucija makrobeskičmenjaka bentosa konstatovanih u uzorcima na četiri lokaliteta litorala Boračkog jezera, 2021. godina

Table 2. Qualitative composition and distribution of benthic macroinvertebrates found in samples at four sites of the Boračko Lake littoral, 2020

Takson	L1	L2	L3	L4
<i>Planorbis corneus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	-	-
Tubificidae d'Udekem, 1855	+	+	-	+
<i>Helpobdella stagnalis</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	-	-
<i>Austropotamobius pallipes</i> (Lereboullet, 1858)	+		-	-
<i>Centroptilum</i> sp.	+	+	-	-
<i>Caenis macrura</i> Stephens, 1835	+	+	-	-
<i>Ephemera vulgate</i> Linnaeus, 1758	+	+	-	-
<i>Ecdyonurus</i> sp.	+	+	-	-
<i>Ephemera</i> sp.	+	-	-	-
<i>Cheumatopsyche lepida</i> (Pictet, 1834)	+	-	-	-
<i>Ecnomus tenellus</i> (Rambur, 1842)	+	-	-	-
<i>Tinodes pallidulus</i> McLachlan, 1878	+	-	-	-
<i>Hydropsyche</i> sp.	+	+	-	-
<i>Hydropsyche saxonica</i> McLachlan, 1884	-	+	-	-
<i>Plectrocnemia conspersa</i> (Curtis 1834)	-	+	-	-
<i>Polycentropus exicus</i> Klapalek, 1894	-	+	-	-
Chironomidae Newman, 1834	+	+	-	+
Zygoptera Selys, 1854	+	+	-	-
Hemiptera Latreille, 1810	-	-	6	+



Grafikon 2. Učešće skupina beskičmenjaka sa brojem taksa u uzorcima bentosa na lokalitetima Boračkog jezera, 2020 godina

Graph 2. Participation of invertebrates groups with the number of taxa in benthic samples at the sites of Boračko Lake, 2020

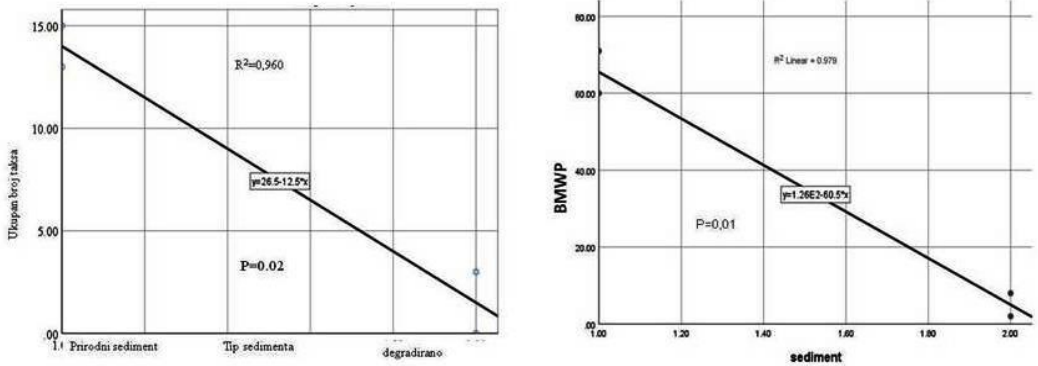
Prema načinu ishrane (Moog, 2002) konstatovane jedinke su u najvećem procentu detritivori, strugači, drobilice, filtratori (67%), a manji broj je predatora (25%) i svaštojeda (8%). Najznačajniji omnivor je svakako bjelonogi rak *Austropotamobius pallipes* koji na području Boračkog jezera egzistira već dugo vremena. U cilju utvrđivanja ekološkog stanja u Boračkom jezeru, a na temelju makrozoobentosa litorala, na dobivene podatke kvalitativno-kvantitativnog sastava uzoraka, aplicirani su indeksi relevantni za stupanj organskog onečišćenja (UBT, saprobni indeks, BMWP) i degradacije staništa (H' i EPT-S). Vrijednosti indeksa (tab. 3) ukazuju na povećanje degradiranosti i onečišćenja vode Boračkog jezera sa intenzitetom antropogenog uticaja. Saprobnni indeks ukazuje na povećanje onečišćenja na lokalitetu male plaže, a vrijednost je u granicama za umjereno zagađene vode (III kategorija). Boračko jezero na odtoku rijeke Šišnice, uslijed dotoka organske materije, povećanja broja eurivalentnih taksa makrobescičmenjaka u bentosu prema saprobnom indeksu je u kategoriji malo do znatno onečišćenih voda (II kategorija). U mjesecu julu sa nešto povećanom saprobnosti uslijed dotoka veće količine alohtone organske materije. Lokalitet sa dobro očuvanim uvjetima staništa, bez vidljivih utoka otpadnih voda (L2), sa dobro očuvanom obalnom vegetacijom, vegetacijom litorala, odlikuje najmanja saprobnost (oligo do betamezosaprobnna).

Tabela 3. Vrijednosti multimetričkih indeksa (organskog onečišćenja i degradacije staništa) za kvalitativno-kvantitativni sastav uzoraka makrobeskičmenjaka bentosa litorala Boračkog jezera na četiri istraživana lokaliteta, 2020

Table 3. Values of multimetric indices (organic pollution and habitat degradation) for the qualitative and quantitative composition of samples of macrobenthic invertebrates of the benthic littoral of Boračko Lake at four research sites, 2020

Metrika	Lokalitet							
	L1		L2		L3		L4	
	Vrijd.	Kateg.	Vrijd.	Kateg.	Vrijd.	kateg.	Vrijd.	Kateg.
SI	2	II	1,77	II	-	-	2,63	III
UBT	7	II	5,44	II	1	0	3	IV
BMWP	70	II	61	II	-	-	8	V
ASPT	6	II	5,54	II	-	-	2.66	IV
	Metrike degradacije staništa							
H'	3,23	I	3,01	I	-	-	1,46	III
EPT-S	9	II	8	II	-	-	0	V

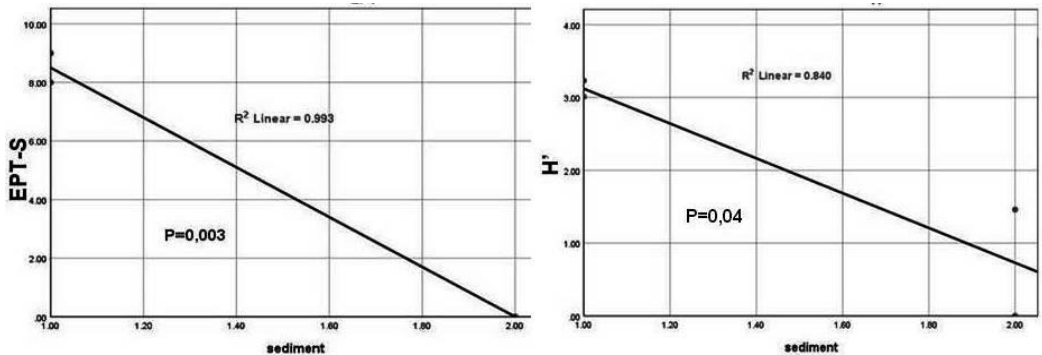
Generalno se može zaključiti da primjenjeni indeks ukazuje na značajnu degradaciju vode Boračkog jezera u litoralnom dijelu, uslijed hidromorfoloških promjena i velikog antropogenog pritiska. Prema Nacrtu plana upravljanja vodnim područjem Jadranskog mora u FBiH za 2022-2027 (www.jadran.ba) vrijednosti fizičko-hemijskih faktora indiciraju vodu II kvaliteta uslijed stalno visokih vrijednosti HPK (>5 mg/l). Hemijska potrošnja kisika je mjera kapaciteta vode da troši kisik tokom razgradnje organske materije i oksidacije neorganskih hemijskih supstanci kao što su amonijak i nitrit. Pored fizičko-hemijskih parametara u ocjeni ekološkog stanja Boračkog jezera određen je saprobni indeks za fitoplankton. Vrijednosti ovog parametara u posljednjih 10 godina variraju od 1,6 do 1,9 što u konačnici ukazuje na II kategoriju ili „dobar“ ekološki status. Dobiveni podaci ne ukazuju na objektivne izvore onečišćenja. Primjenjene metrike na sastav makrobeskičmenjaka litorala Boračkog jezera (iako ograničen broj podataka) objektivno mogu poslužiti kao indikator ekološkog stanja ovog jezera. Utvrđena je visoko korelacija između tipa sedimenta i indeksa BMWP indeksa ($r=0,965$), UBT ($r=0,935$), H' ($r=0,735$) i EPT-S ($r=0,925$). Primjenom linearne regresijske analize (graf. 3) utvrđeno je da promjene sedimenta (zastupljenost mikrostaništa) mogu uspješno indicirati i objasniti vrijednosti ukupnog broja taksa ($R^2=0,960$; $p=0,02$) i vrijednosti BMWP indeksa ($R^2=0,979$; $p=0,01$). Globalno se može zaključiti da stanje sedimenta ima direktan uticaj na biotički integritet zajednice makrobeskičmenjaka u litoralu jezera.



Grafikon 3. Regresijaka analiza i korelacijska povezanost bioloških parametara (UBT i BMWP) i tipa sedimenta

Graph 3. Regression analysis and correlation between biological parameters (UBT and BMWP) and sediment type

Rezultati analize linearne regresije (graf. 4) pokazali su da bi se promjene sedimenta mogle efikasno i značajno objasniti promjenama u diverzitetu makrobeskičmenjaka litorala jezera ($R^2=0,979$; $p=0,04$), a takođe i promjenama u vrijednosti EPT-S ili smanjenju brojnosti jedinki redova Ephemeroptera, Plecoptera i Trichoptera ($R^2=0,993$; $p=0,01$), koje su u većini u grupi netolerantnih jedinki na promjene u staništu.



Grafikon 4. Regresijaka analiza bioloških parametara (EPT-S i H') i tipa sedimenta
Graph 4. Regression analysis of biological parameters (EPT-S and H') and sediment type

Uključivanjem podataka makrobeskičmenjaka litorala, na određenim tačkama, Boračkog jezera ukazalo bi i na izvore degradacije, a u krajnjem i rezultiralo mjerama koje bi ograničile procese degradacije (hidromorfologija). Metode za procjenu eutrofikacije su dobro razvijeni za fitoplankton (Carvalho i sur., 2013; Phillips i sur., 2013), makrofite (Penning i sur., 2008; Poikane i sur., 2018), litoralne dijatomeje (Kelly i sur., 2014; Poikane i sur., 2016b), ribe (Rask i sur., 2010) i

beskičmenjaka bentosa (Jyväsjärvi i sur., 2012; Poikane i sur., 2016a). U nekim zemljama došlo je do značajnog napretka, uslijed zaključivanja o velikom uticaju hidromorfoloških pritisaka na ekologiju jezera (Mastrantuono i sur., 2015). Razvijene su metode za procijenu ovih efekata (Urbanič, 2014), ali je njihova primjena ograničena (Poikane i sur., 2020). Većina zemalja razvila je nove indekse osjetljivosti kao što su Fauna Index (Miler i sur., 2013b), LIM (Littoral Fauna Index) (Urbanič, 2014), srednja ocjena tolerancije (Gabriels i sur., 2010), i (LMM) metrika makrobeskičmenjaka za zakiseljavanja jezera (McFarland i sur., 2010). Razvijeno je trinaest metoda procjene zasnovanih na bentoskim beskičmenjacima i interkalibrirano širom Evrope, pokrivajući različite geografske zone i vrste vodnih tijela (Belgija, Estonija, Finska, Nemačka, Litvanija, Holandija, Norveška, Slovenija, Švedska i Ujedinjeno Kraljevstvo). Pokazalo se da metode procjene bentoskih beskičmenjaka na adekvatan način rješavaju nekoliko pritisaka i kombinacije pritisaka, tj. acidifikacija (3 metode), eutrofikacija (3), hidromorfološke izmjene (2) i njihove kombinacije (5). Varijabilnost (taksonomski sastav, brojnost) litoralnih zajednica makrobeskičmenjaka bentosa zavisi od prostorne heterogenosti. Radom se pokušalo ukazati da jezera u Bosni i Hercegovini, a posebno Boračko jezero, zahtijevaju veoma složene pristupe u istraživanju. Višestruki uticaji (plaže, unos sedimenta iz drugih vodenih ekosistema, izgradnja eko naselja, kampova, vikendica, bez smjernica, planovo i analiza) na ovo jezero iz dana u dan uništavaju dio po dio obala. Unos sedimenta sa sobom nosi i živi svijet, koji može biti patagogen, invazivan, zarazan ili smrtno za autohtone vrste, a i u krajnjem za čovjeka kao korisnika vode Boračkog jezera (rekreacija).

ZAKLJUČAK

Beskičmenjaci bentosa litorala su pouzdani indikatori hidromorfologije jezera. Na temelju zajednice ovih organizama moguće je objektivno procijeniti ekologiju jezera i identificirati snagu antropogenog pritiska. Primjenjeni indeksi obuhvataju bogatstvo grupa, raznovrsnost, indikatore diverziteta, udio osjetljivih i tolerantnih vrsta, što je najobjektivnije u odslikavanju stvarnog stanja vodnog ekosistema. Da bi se utvrdili hidromorfološki pritisci na Boračko jezero, kao i njihovi efekti, neophodno je realizovati nekoliko aktivnosti: a) razviti metode biološke procjene utemeljene na specifičnoj reakciji na hidromorfološke pritiske; (b) razviti hidromorfološke metode procjene uz primjenu bioške metode i (c) uključiti mjerenje varijabli potrebnih za biološke procjene u rutinskim programima praćenja jezera.

LITERATURA

- Carvalho, L., Poikane, S., Lyche Solheim, A., Phillips, G., Borics, G., Catalan, J. i sur. (2013): Strength and uncertainty of phytoplankton metrics for assessing eutrophication impacts in lakes. *Hydrobiologia* 704, 127–140.
- Ding, Y., Sun, S., Feng, J., Cui, P., Zhang, D. (2021): An Assessment of Lake Ecology on the Basis of the Macrobenthos Multi-Metric Index (MMI) in 11 Lakes in the Western Region of Jilin, China. *Water* 13, 235.
- EC. (2000): Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy. – EU Water Framework Directive (WFD) – Brussels, pp. 1–72.
- Elliott, J. M., Humpesch, U. H., Macan, T. T. (1988): Larvae of the British Ephemeroptera, a key with ecological notes. Scientific Publication of the Freshwater Biological Association, 49, 145 pp.
- Engbolm, E. (1996): Ephemeroptera, Mayflies. In: A.N. Nilsson (ed.). *Aquatic Insects of North Europe - A taxonomic Handbook. Part 1. Apollo Book. Stenstrup, pp: 1-53.*
- Glöer, P. (2002): Süßwassergastropoden Nord- und Mitteleuropas : Mollusca I : Bestimmungsschlüssel, Lebensweise, Verbreitung. Hackenheim : ConchBooks, Geramn, 325 pp
- Hering, D., Borja, A., Carstensen, J., Carvalho, L., Elliott, M., Feld, CK. i sur. (2010): The European Water Framework Directive at the age of 10: a critical review of the achievements with recommendations for the future. *Sci Total Environ.* 1;408(19):4007
- Hering, D., Carvalho, L., Argillier, C., Beklioglu, M., Borja, A., Cardoso, AC. i sur. (2015): Managing aquatic ecosystems and water resources under multiple stress--an introduction to the MARS project. *.Sci Total Environ.* 15;503-504:10-21.
- Jyväsjärvi, J., Aroviita, J. & Hämäläinen, H. (2012): Performance of profundal macroinvertebrates assessment in boreal lakes depends on lake depth. – *Fundam. Appl. Limnol.* 180: 91–100.
- Nesemann, H. & Neubert, E. (1999): Süßwasserfauna von Mitteleuropa, Bd. 06/2: Annelida: Clitellata: Branchiobdellida, Acanthobdellea, Hirudinea (German Edition) 1st Edition. Spektrum Akademischer Verlag; 1st edition. German, 178 pp
- Nilsson, A. (1996): *Aquatic Insects of North Europe (Volume 1).* Apollo Books. Stenstrup Denmark, 440 pp.
- Nilsson, A. (1997): *Aquatic Insects of North Europe – Odonata i Diptera (Volume 2).* Apollo Books. Stenstrup Denmark, 274 pp.
- Karr, J.R. & Dudley, D.R. (1981): Ecological perspective on water quality goals. *Environmental Management*, 5:55-68.

- Kelly, M., Urbanic, G., Acs, E., Bertrin, V., Burgess, A., Denys, L., Gottschalk, S. i sur. (2014): Comparing aspirations: intercalibration of ecological status concepts across European lakes using littoral diatoms. *Hydrobiologia* 734, 125–141.
- McFarland, B., Carse, F., Sandin, L. (2010): Littoral macroinvertebrates as indicators of lake acidification within the UK. *Aquat. Conserv.* 20, 105–116
- Moog, O. (2002): Fauna Aquatica Austriaca, Edition 2002. -Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Vienna.
- Penning, W.E., Dudley, B., Mjelde, M., Hellsten, S., Hanganu, J., Kolada, A. (2008): Aquatic macrophyte community indices to define the ecological status of European lakes. *Aquat. Ecol.* 42(2):253–264
- Phillips, G., Lyche-Solheim, A., Skjelbred, B., Mischke, U., Drakare, S., Free, G. A (2013): Phytoplankton trophic index to assess the status of lakes for the Water Framework Directive. *Hydrobiologia.* 704(1):75–95
- Poikane, S., Zohary, T. & Cantonati, M. (2020): Assessing the ecological effects of hydromorphological pressures on European lakes, *Inland Waters*, 10:2, 241-255
- Poikane, S., Portielje, R., Denys, L., Elferts, D., Kelly, M, Kolada A. et al. (2018): Macrophyte assessment in European lakes: diverse approaches but convergent views of “good” ecological status. *Ecol Ind.* 94:185–197.
- Poikane, S., Johnson, RK., Sandin, L., Schartau, AK., Solimini, AG., Urbanič, G. i sur. (2016a): Benthic macroinvertebrates in lake ecological assessment: a review of methods, intercalibration and practical recommendations. *Sci Total Environ.* 543:123–134.
- Poikane, S., Kelly, M., Cantonati, M. (2016b): Benthic algal assessment of ecological status in European lakes and rivers: challenges and opportunities. *Sci Total Environ.* 568:603–613.
- Rask, M., Olin, M., Ruuhijärvi, J. (2010): Fish-based assessment of ecological status of Finnish lakes loaded by diffuse nutrient pollution from agriculture. *Fish Manag Ecol.* 17(2):126–133.
- Solimini, A.G., Sandin, L. (2012): The importance of spatial variation of benthic invertebrates for the ecological assessment of European lakes. *Fund. Appl. Limnol.* 180, 85-89.
- Søndergaard, M., Jeppesen, E., Laudirsen, T. L., Skov, C., Van Nes, E. H., Roijackers, R., Lammens, E., Portielje, R. (2007): Lake restoration: successes, failures and long-term effects. *Journal of Applied Ecology* 44, 6: 1095-1105
- Tagliapietra, D., Sigovini, M. (2010): Benthic fauna: collection and identification of macrobenthic invertebrates. *Terre et Environnement*, 88: 253-261.
- Wallace, I. D., Wallace, B. B., Philipson, G. N. (1990): A key to the case-bearing caddis larvae of Britain and Ireland. *Freshwater Biological Association, Ambleside, Scientific Publication No. 51*, 1-237.
- Waringer, J., Graf, W. (1997): Atlas der österreichischen köcherfliegenlarven: unter Einschluss der angrenzenden Gebiete. Wien: Facultas Universitätsverlag.

MACROINVERTEBRATE COMMUNITY OF THE BORAČKO LAKE LITTORAL IN THE ASSESSMENT OF ECOLOGICAL STATUS

Summary

The benthic invertebrates of freshwater ecosystems are a very heterogeneous group of organisms, and their common characteristic is that they are larger than <0.5 mm. Diverse tolerance of benthic invertebrate taxa, as well as sensitivity to degradation factors, provide their reliable application in determining the ecological status of a lake ecosystem. This paper is based on the analysis of the benthic invertebrates community of Boračko Lake at four research sites (two of them without significant anthropogenic effects and the other two at the bathing sites (beaches) – modified waterbody). For the purposes of this paper, the samples were taken during May and July 2020. Degradation indices (Diversity Index and EPT-S) and Organic Pollution Indicators (Total Taxes, Saprobic Index, BMWP and ASPT Index) were used to assess the ecological status. A high correlation was found between the values of the degradation index (EPT-S and H') and sediment, as well as between the index of organic pollution (BMWP, UBT) and sediment. The sediment condition can be efficiently analyzed by the values of diversity index, a total number of taxes, BMWP index and EPT-S index applying linear regression analysis. Benthic invertebrates community of the Boračko Lake littoral indicates hydro-morphological changes (HyMo) and therefore it can bus used to assess the ecological status.

Key works: macroinvertebrates, Water Framework Directive, ecological state, hydromorphological conditions, metrics