

# Tipologija jezer v Sloveniji

Gorazd URBANIČ<sup>1,2</sup>, Špela REMEC-REKAR<sup>3</sup>, Gorazd KOSI<sup>4</sup>, Mateja GERM<sup>4</sup>, Mihael BRICELJ<sup>4</sup>, Samo PODGORNİK<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Inštitut za vode Republike Slovenije, Hajdrihova 28c, SI-1000 Ljubljana; E-mail: gorazd.urbanic@bf.uni-lj.si.

<sup>2</sup> Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Večna pot 111, SI-1000 Ljubljana

<sup>3</sup> Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, Vojkova 1b, 1000 Ljubljana, Slovenija; E-mail: spela.remec-rekar@gov.si

<sup>4</sup> Nacionalni inštitut za biologijo, Večna pot 111, 1000 Ljubljana, Slovenija; E-mail: gorazd.kosi@nib.si, mateja.germ@nib.si, mihael.bricelj@nib.si

<sup>5</sup> Zavod za ribištvo Slovenije, Župančičeva 9, 1000 Ljubljana, Slovenija; E-mail: samo.podgornik@zdrs.si

**Izvleček.** V skladu z Vodno direktivo smo pripravili tipologijo naravnih jezer v Sloveniji s površino >50 ha. Takšni sta Blejsko in Bohinjsko jezero. Preverili smo oba predlagana sistema za pripravo tipologije po Vodni direktivi (Direktiva 2000/60/ES) in ugotovili, da po sistemu A ne dosežemo dovolj dobre diferenciacije za opis bioloških referenčnih razmer. Izbrali smo sistem B in obveznim deskriptorjem – geografskemu položaju oz. ekoregijam, velikosti površine jezera, povprečni globini jezera, geološki podlagi in nadmorski višini – dodali še izbirni deskriptor. Deskriptor, ki smo ga izbrali, je pripadnost bioregiji (*sensu* Urbanič 2006a), ki vključuje tudi dva obvezna deskriptorja – geološko podlago in nadmorsko višino, zato ju posebej pri opisu tipov nismo navajali.

Ključne besede: tipologija, jezera, biološki elementi, Vodna direktiva, Slovenija

**Abstract. TYPOLOGY OF LAKES IN SLOVENIA** - A typology of natural lakes in Slovenia with the surface area of >50 ha was prepared according to the Water Framework Directive. Lake Bled and Lake Bohinj were taken into consideration only. Both systems proposed by the Water Framework Directive (Directive 2000/60/EC) for the preparation of the lake typology were tested. Using the system A, the satisfactory differentiation for the description of biological reference conditions could not be established. The system B was chosen based on the obligatory descriptors that include altitude, latitude, longitude, depth, geology and size. An additional descriptor, which concerns bioregional affiliation, was also chosen (*sensu* Urbanič, 2006a), which includes two obligatory descriptors, altitude and geology. These two descriptors are not specifically mentioned in the description of lake types.

Key words: typology, lakes, biological elements, Water Framework Directive, Slovenia

## Uvod

Razvrstitev voda po ekoloških značilnostih oz. tipizacija voda je eden ključnih korakov pri implementaciji Vodne direktive (Direktiva 2000/60/ES, Priloga II). Za opis tipov voda sta v Vodni direktivi predlagana dva sistema. V sistemu A so deskriptorji za opis tipov že določeni, tako kot so tudi že določene kategorije vrednosti posameznih deskriptorjev. V sistemu B pa so poleg obveznih deskriptorjev, ki so enaki kot v sistemu A, vendar nimajo določenih kategorij, navedeni še izbirni deskriptorji. Za opis tipov jezer so obvezni deskriptorji ekoregije oz. zemljepisna dolžina in širina, nadmorska višina, povprečna globina vode, velikost površine jezera in geološka podlaga (pregl. 1).

**Preglednica 1:** Opisni deskriptorji in kategorije deskriptorjev za opis tipov jezer na podlagi sistema A (Direktiva 2000/60/ES).

| <b>Deskriptorji</b>      | <b>Kategorije</b>   |
|--------------------------|---|
| <b>Ekoregije</b>         | 25 ekoregij, prikazanih na karti A v prilogi XI Direktive 2000/60/ES                                |
| <b>Nadmorska višina</b>  | gorska: > 800 m<br>srednjegorska: 200 do 800 m<br>nižinska: < 200 m                                 |
| <b>Povprečna globina</b> | <3 m<br>3 m do 15 m<br>>15 m  |
| <b>Velikost površine</b> | 0,5-1 km <sup>2</sup><br>1-10 km <sup>2</sup><br>10 do 100 km <sup>2</sup><br>> 100 km <sup>2</sup> |
| <b>Geološka podlaga</b>  | karbonatna<br>silikatna<br>organska   |

Za vrednotenje ekološkega stanja je izbran t.i. pristop tipsko značilnih referenčnih razmer (Direktiva 2000/60/EC). Tipologija mora biti pripravljena tako, da ima vsak opisani tip drugačne biološke referenčne razmere. Preverjanje ustreznosti tipologije navadno opravimo z biološkimi podatki, ki so bili pridobljeni z referenčnih mest (Wallin in sod. 2003). V primerih, ko zaradi pomanjkanja referenčnih mest ali zgodovinskih podatkov z referenčnih mest podatki niso na voljo, so številni avtorji (npr. Ferréol et al. 2005, Verdonschot in Nijboer 2004) uporabili tudi podatke z vzorčnih mest, ki dosegajo vsaj dobro ekološko stanje.

V Sloveniji imamo v kategoriji jezera le dve naravni jezera s površino, večjo od 50 ha oz. 0,5 km<sup>2</sup> (pregl. 2), to sta Blejsko in Bohinjsko jezero. Presihajoče Cerknjsko jezero so vodotoki, ki poplavlajo Cerknjsko polje. Vodotoki Cerknjskega polja s prispevno površino, večjo od 10 km<sup>2</sup>, so uvrščeni v kategorijo reke (Urbanič 2005b) različnih tipov (Urbanič 2006b).

**Preglednica 2:** Opisni deskriptorji in tip jezer v Sloveniji na podlagi sistema A Vodne direktive (Direktiva 2000/60/ES)

| <b>Ime jezera</b> | <b>Hidroekoregija (Urbanič 2005a)</b> | <b>Nadmorska višina</b> | <b>Povprečna globina</b> | <b>Geološka podlaga</b> | <b>Velikost površine</b> | <b>Povprečna globina</b> | <b>Tip</b> |
|-------------------|---------------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|------------|
| Bohinjsko jezero  | 4                                     | 200-800                 | > 15 m                   | karbonatna              | 1-10 km <sup>2</sup>     | > 15 m                   | AL1        |
| Blejsko jezero    | 4                                     | 200-800                 | > 15 m                   | karbonatna              | 1-10 km <sup>2</sup>     | > 15 m                   | AL1        |

Cilj predstavljenega dela je opis tipov jezer v Sloveniji v skladu z Vodno direktivo (Direktiva 2000/60/EC) in preveritev ustreznosti tipologije z biološkimi elementi. Predstavljena tipologija bo omogočila, da bomo s kombinacijo izbranih deskriptorjev v prihodnje lahko zanesljivo določili tipsko specifične referenčne biološke razmere, ki bodo izhodišče za vrednotenje ekološkega stanja omenjenih dveh jezer v Sloveniji.

## Metode in materiali

Določitev tipov jezer smo opravili v treh korakih. V prvem koraku smo obe jezera uvrstili v ustrezen tip glede na deskriptorje in kategorije deskriptorjev, predlagane v sistemu A. V drugem koraku smo ustreznost uporabljene tipologije preverili z biološkimi podatki. Napravili smo analize podobnosti in narisali drevesa podobnosti za vse biološke elemente, ki so v Vodni direktivi (Direktiva 2000/60/ES) predlagani za vrednotenje ekološkega stanja jezer. Napravili smo analize s podatki fitoplanktona, fitobentosa, makrofitov, bentoških nevretenčarjev in rib. Za izračun podobnosti jezer na podlagi rib smo uporabili podatke o vrstni sestavi, ki je vključevala le vrste, ki v jezero niso bile vložene. Referenčne vrste rib za obe jezera smo določili tudi s pomočjo historičnih podatkov (Franke 1892). Za izračun podobnosti smo uporabili Sørensenov indeks. Za vse druge skupine organizmov smo podobnost med združbami jezer izračunali z Bray-Curtisovim indeksom podobnosti. Uporabili smo le podatke, pridobljene

med letoma 2000 in 2006, ko je bilo trofično stanje obeh jezer oligotrofno oz. oligo-mezotrofno (pregl. 3). Za izračun podobnosti smo uporabili kvantitativne podatke. Za izris dreves podobnosti smo uporabili metodo netehtanega skupinskega povprečja. V tretjem koraku smo pripravili dokončno tipizacijo jezer po sistemu B, in sicer tako, da smo deskriptorjem sistema A dodali še izbrane deskriptorje.

**Preglednica 3:** Trofično stanje Blejskega in Bohinjskega jezera na podlagi kriterijev OECD - povprečne letne vsebnosti skupnega fosforja, anorganskega dušika in klorofila *a*, ter povprečne in minimalne prosojnosti v letih 2000-2005.

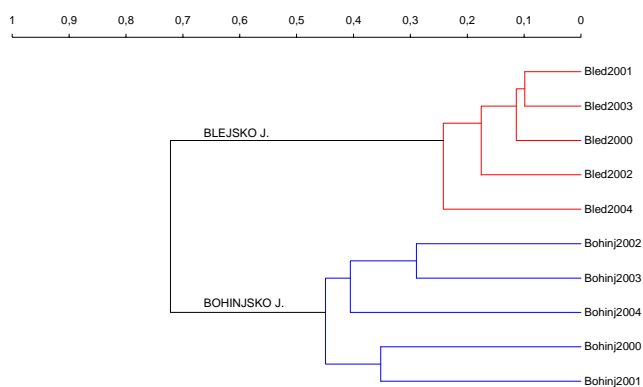
| Parameter            | povprečna vsebnost fosforja | povprečna vsebnost anorg. dušika | povprečna prosojnost | minimalna prosojnost | klorofil a povp.    | klorofil a maks.    |
|----------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| Trofičnost           | [ $\mu\text{g P/l}$ ]       | [ $\mu\text{g N/l}$ ]            | [m]                  | [m]                  | [ $\mu\text{g/l}$ ] | [ $\mu\text{g/l}$ ] |
| <b>u-oligotrofno</b> | <b>&lt; 4</b>               | <b>&lt; 200</b>                  | <b>&gt; 12</b>       | <b>&gt; 6</b>        | <b>&lt; 1</b>       | <b>&lt; 2,5</b>     |
| <b>oligotrofno</b>   | <b>&lt; 10</b>              | <b>200 - 400</b>                 | <b>&gt; 6</b>        | <b>&gt; 3</b>        | <b>&lt; 2,5</b>     | <b>&lt; 8</b>       |
| <b>mezotrofno</b>    | <b>10 - 35</b>              | <b>300 - 650</b>                 | <b>6 - 3</b>         | <b>3 - 1,5</b>       | <b>2,5 - 8</b>      | <b>8 - 25</b>       |
| <b>evtrofno</b>      | <b>35 - 100</b>             | <b>500 - 1500</b>                | <b>3 - 1,5</b>       | <b>1,5 - 0,7</b>     | <b>8 - 25</b>       | <b>25 - 75</b>      |
| <b>hiperevtrofno</b> | <b>&gt; 100</b>             | <b>&gt; 1500</b>                 | <b>&lt; 1,5</b>      | <b>&lt; 0,7</b>      | <b>&gt; 25</b>      | <b>&gt; 75</b>      |
| Blejsko jezero       |                             |                                  |                      |                      |                     |                     |
| 2000                 | 14,3                        | 280                              | 5,3                  | 2,0                  | 7,2                 | 25,7                |
| 2001                 | 14,3                        | 263                              | 6,5                  | 2,6                  | 7,2                 | 24,5                |
| 2002                 | 12,6                        | 247                              | 7,9                  | 5,0                  | 4,7                 | 19,3                |
| 2003                 | 12,7                        | 252                              | 6,7                  | 3,5                  | 6,2                 | 23,4                |
| 2004                 | 13,0                        | 273                              | 5,9                  | 2,7                  | 5,6                 | 22,3                |
| 2005                 | 11,7                        | 296                              | 7,2                  | 4,5                  | 3,5                 | 12,3                |
| Bohinjsko jezero     |                             |                                  |                      |                      |                     |                     |
| 2000                 | 3,3                         | 468                              | 9,1                  | 4,9                  | 1,6                 | 3,1                 |
| 2001                 | 4,9                         | 380                              | 10,4                 | 7,3                  | 1,4                 | 2,8                 |
| 2002                 | 3,5                         | 450                              | 9,8                  | 6,4                  | 1,4                 | 3,3                 |
| 2003                 | 4,0                         | 423                              | 9,6                  | 7,0                  | 1,3                 | 4,5                 |
| 2004                 | 4,7                         | 469                              | 8,7                  | 4,5                  | 1,2                 | 3,2                 |
| 2005                 | 5,1                         | 446                              | 9,7                  | 5,9                  | 1,0                 | 4,1                 |

## Rezultati

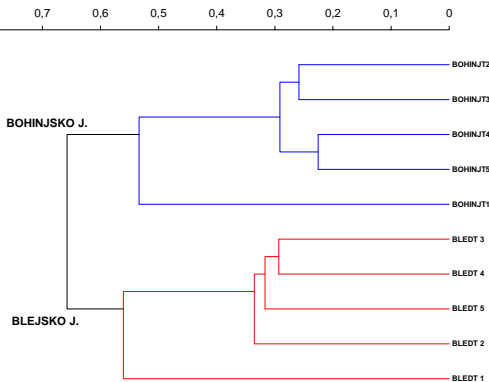
S tipizacijo po sistemu A smo obe jezери uvrstili v isti tip (pregl. 2). Tako Bohinjsko kot Blejsko jezero sta globoki jezeri (>15 m) na nadmorski višini med 200 in 800 m s površino med 1 in 10 km<sup>2</sup> in s karbonatno podlago.

Z analizami podobnosti na podlagi različnih združb organizmov smo ugotovili, da sta jezeri v povprečju različni. Variabilnost vzorcev fitoplanktona enega jezera je bila manjša kot variabilnost med jezeroma. Povprečna različnost med jezeroma je več kot 0,7 (sl. 1). Podobne

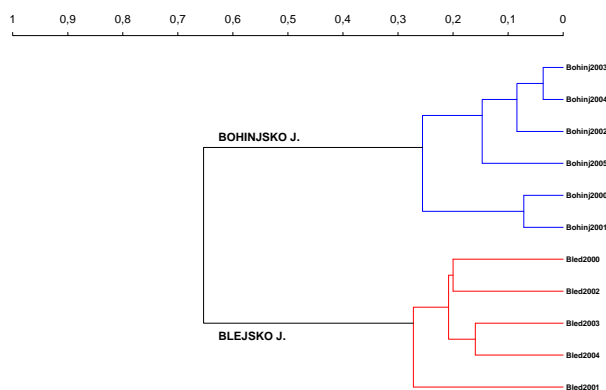
rezultate smo dobili tudi na podlagi združb fitobentosa, kjer je povprečna različnost nekoliko manjša (sl. 2) in je podobna povprečni različnosti, kot smo jo ugotovili na podlagi makrofitov (sl. 3). V obeh primerih znaša nekoliko manj kot 0,7. Najvišjo povprečno različnost med jezeroma smo ugotovili na podlagi podatkov o bentoških nevretenčarjih (sl. 4). Vrednost je presegala 0,7, vendar je bila tudi različnost med vzorci posameznega jezera v nekaterih primerih dokaj visoka. Vzrok dokaj visoke različnosti med vzorci bentoških nevretenčarjev, nabranih v istem jezeru, je v stopnji taksonomske determinacije, ki je bila pri nekaterih skupinah le stopnja poddružine (nekateri dvokrilci in maloščetinci) in v vzorčenju na različnih podlagah. Dokaj visoko različnost med jezeroma smo ugotovili tudi na podlagi primerjave združb rib, saj imata obe jezera le nekaj več kot 50% istih avtohtonih ribjih vrst (sl. 5).



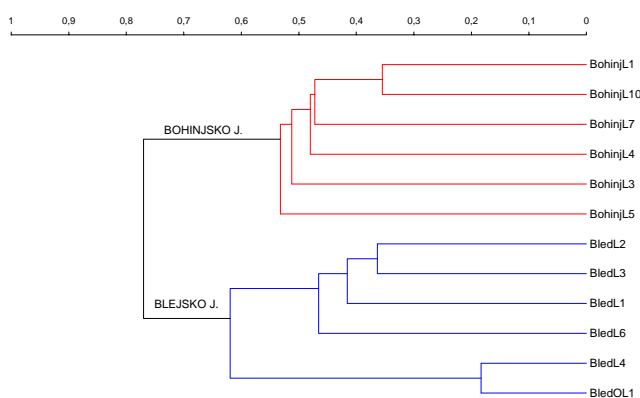
**Slika 1:** Drevo podobnosti na podlagi fitoplanktona iz Blejskega in Bohinjskega jezera.



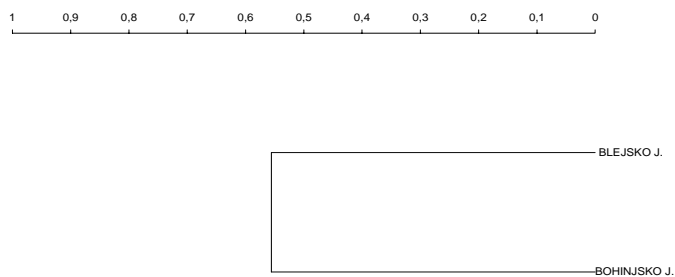
**Slika 2:** Drevo podobnosti na podlagi fitobentosa iz Blejskega in Bohinjskega jezera.



**Slika 3:** Drevo podobnosti na podlagi makrofitov iz Blejskega in Bohinjskega jezera.



**Slika 4:** Drevo podobnosti na podlagi bentoških nevretenčarjev iz Blejskega in Bohinjskega jezera.



**Slika 5:** Drevo podobnosti na podlagi rib iz Blejskega in Bohinjskega jezera.

Na podlagi ugotovljenih razlik med združbami organizmov obeh jezer smo ugotovili, da tipizacija po sistemu A ne zadošča za razlikovanje obeh naravnih jezer. Za opis tipov jezer smo poleg obveznih deskriptorjev sistema A (pregl. 1) izbrali še izbirne deskriptorje. Izbrani izbirni deskriptor je pripadnost bioregiji (sensu Urbanič 2006a). Ker sta nadmorska višina in geološka podlaga upoštevani že pri določitvi bioregij (Urbanič 2006a), jih pri opisu tipov nismo ponovno navajali (pregl. 4).

**Preglednica 4:** Tipi jezer v Sloveniji po sistemu B Vodne direktive (Direktiva 2000/60/ES), z dodanimi izbirnimi deskriptorji.

| Ime jezera       | Hidroekoregija (Urbanič 2005a) | Bioregija (Urbanič 2006a)              | Povp. globina | Velikost površine    | Tip                       | Tip-koda             |
|------------------|--------------------------------|--|---------------|----------------------|---------------------------|----------------------|
| Bohinjsko jezero | Alpe                           | Karbonatne Alpe donavskega porečja     | > 15 m        | 1-10 km <sup>2</sup> | Globoka alpska jezera     | J_SI_4_KB-D_>15_1-10 |
| Blejsko jezero   | Alpe                           | Predalpska hribovja donavskega porečja | > 15 m        | 1-10 km <sup>2</sup> | Globoka predalpska jezera | J_SI_4_PA-D_>15_1-10 |

## Razprava

Z analizami podobnosti združb organizmov Blejskega in Bohinjskega jezera smo ugotovili, da je tipizacija jezer v Sloveniji po sistemu A (*sensu* Direktiva 2000/60/EC) neprimerna za doseg dovolj dobrega ločevanja za opis tipsko specifičnih bioloških referenčnih razmer. Z vsemi biološkimi elementi smo ugotovili, da se jezera na podlagi združbe organizmov razlikujeta. Nasprotno sta obe jezera za primerjalno vrednotenje metodologij vrednotenja ekološkega stanja na podlagi fitoplanktona in makrofitov z drugimi državami območja Alp uvrščeni v isti interkalibracijski tip t.i. globokih alpskih jezer z oznako L-AL3 (Evropska komisija 2005). Glede na dejstvo, da imata obe jezera verjetno isto referenčno (naravno) trofično stanje, bi na podlagi vsaj fitoplanktona lahko ugotovili večjo podobnost med jezeroma in ju tako morda uvrstili v isti tip. Tudi bentoški nevretenčarji se odzivajo na trofične spremembe v jezerih (Czachorowski 1993), kar bi lahko pomenilo, da je nizka podobnost med obema jezeroma rezultat antropogene povzročitve razlik v produktivnosti jezera. Ne glede na to smo s primerjavo referenčnih združb rib obeh jezer ugotovili, da moramo jezera uvrstiti v dva različna tipa, saj je podobnost med jezeroma dokaj nizka. V vsakem primeru je ena izmed osnovnih razlik med jezeroma v samem geografskem položaju jezer, saj Bohinjsko jezero leži v alpskem vplivnem območju, Blejsko jezero pa v predalpskem. Z upoštevanjem bioregij (*sensu* Urbanič

2006a) kot deskriptorja za opis tipov smo razliko v ekoloških značilnostih vplivnega območja tudi upoštevali. Potrditev razlike v vplivnem območju se kaže tudi v povprečni letni temperaturi vode jezera, ki je bila v obdobju 1998-2003 v Bohinjskem jezeru z 10,5 °C za več kot 3 °C nižja kot v Blejskem jezeru (13,8 °C). Temperatura vode pa je eden ključnih dejavnikov, ki vplivajo na vodne organizme (e.g. Wiederholm 1971). Le ta pa gotovo vpliva tudi na referenčne razmere.

## Summary

With intention to determine the type specific reference biological conditions for natural lakes in Slovenia, Lake Bled and Lake Bohinj were tested according to the A and B systems of the Water Framework Directive (Directive 2000/60/EC). The result of determination, using system A, showed that both lakes fall into the same type. The suitability of type determination of both lakes with system A was checked by using biological data. Analyses of similarity of different biological elements (phytoplankton, phytobenthos, macrophytes, benthic invertebrates and fish fauna) indicate that the lakes differ between each other. The greatest dissimilarity was found in their benthic invertebrate communities (0.78), followed by phytoplankton (0.72), phytobenthos and macrophytes (0.7) and fish fauna (0.5). However, especially in cases of water plants and benthic invertebrates, the observed differences were also due to the differences in trophic states of the lakes. On the other hand, reference fish communities were used for comparison, by which substantial differences between the two lakes were confirmed. Having in mind the mentioned differences in the lakes' communities, the differentiation of lakes due to system A do not draw a distinction between the two lakes. To the obligatory descriptors of the system A, the optional Bioregion descriptor was added. Due to this additional descriptor (*sensu* Urbanič 2006a), Lake Bohinj is classified as a Deep Alpine lake and Lake Bled as a Deep pre-Alpine lake. Apart from differences in biological communities, the lakes differ in their geographical position, reflected in mean annual temperature of the water (10.5 °C for Lake Bohinj and 13.8 °C for Lake Bled). The difference of annual temperature affects water communities and consequently reference conditions.

## Zahvala

Zahvaljujemo se recenzentu za njegove komentarje na prejšnjo verzijo besedila.



## Viri

- Czachorowski S. (1993): Vertical distribution of caddis larvae in various types of lake littoral. *Braueria* 20: 7-9.
- Direktiva 2000/60/ES Evropskega parlamenta in sveta Evrope, Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy, 23. oktober 2002. Bruselj, 72 str.
- European Commission (2005): Commission decision of 17 August 2005 on the establishment of a register of sites to form the intercalibration network in accordance with Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council.
- Ferreol M., Dohet A., Cauchie H.-M., Hoffman L. (2005): A top-down approach for the development of a stream typology based on abiotic variables. *Hydrobiologia* 551: 193-208.
- Franke J. (1892): Die Gewässer in Krain und ihre nutzbare Fauna, Ljubljana.
- Urbanič G. (2005a): Hidroekologija Slovenije. V: Urbanič G. (ur.), Ekološko stanje za reke in jezera. Poročilo o delu v letu 2005. Inštitut za vode Republike Slovenije, Ljubljana, str. 6-10.
- Urbanič G. (2005b): Abiotska tipizacija vodotokov. V: Urbanič G. (ur.), Ekološko stanje za reke in jezera. Poročilo o delu v letu 2005. Inštitut za vode Republike Slovenije, Ljubljana, str. 15-18.
- Urbanič G. (2006a): Dopolnitve v razmejitvi hidroekologij in bioregije celinskih voda Slovenije. V: Urbanič, G. (2006), Dodelava tipizacije za reke in jezera. Poročilo o delu v letu 2006. Inštitut za vode RS, Ljubljana, str. 12-18.
- Urbanič G. (2006b): Opis tipov rek v Sloveniji. V: Urbanič, G. (2006), Dodelava tipizacije za reke in jezera. Poročilo o delu v letu 2006. Inštitut za vode RS, Ljubljana, str. 19-24.
- Verdonschot P.F.M., Nijboer R.C. (2004): Testing the European stream typology of the Water Framework Directive for Macroinvertebrates. *Hydrobiologia* 516: 35-54.
- Wallin M., Wiederholm T., Johnson K.R. (2003): Guidance on establishing reference conditions and ecological status class boundaries for inland surface waters, version 7.0. CIS Working Group 2.3 – REFCOND, 93 str.
- Wiederholm T. (1971): Bottom fauna and cooling water discharge in a basin of Lake Maelan. *Rep. Inst. Freshwat. Res. Drottningholm* 51: 197-214.