

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

V zbirki je izvirna različica izdajatelja.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

University
of Ljubljana
Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is a publisher's version PDF file.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Sapač, K., Zabret, K., Vidmar, A., Sečnik, M., Brilly, M. 2014. Vpliv rečne zapornice na Ambroževem trgu na temperaturne in kisikove razmere v Ljubljanici = Impact of the river gate on the Ambrož Square on the temperature and oxygen conditions in the Ljubljanica River. Acta hydrotechnica 27, 47: 85-102.

<ftp://ksh.fgg.uni-lj.si/acta/a47ks.pdf>
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5478/>

Datum arhiviranja / Archiving Date: 25-4-2016

UDK/UDC: 556.5:626.8(282)(497.4)

Prejeto/Received: 28.08.2015

Izvirni znanstveni članek – *Original scientific paper*

Sprejeto/Accepted: 04.01.2016

VPLIV REČNE ZAPORNICE NA AMBROŽEVEM TRGU NA TEMPERATURNE IN KISIKOVE RAZMERE V LJUBLJANICI

IMPACT OF THE RIVER GATE ON THE AMBROŽ SQUARE ON THE TEMPERATURE AND OXYGEN CONDITIONS IN THE LJUBLJANICA RIVER

Klaudija Sapač^{1,*}, Katarina Zabret¹, Andrej Vidmar¹, Matej Sečnik¹, Mitja Brilly¹

¹ Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza Ljubljani, Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana

Izvleček

Cilj projekta Ljubljana povezuje je izboljšati življenjske razmere ogroženih ribjih vrst v reki. Ustrezne življenjske razmere so poleg povezanosti reke odvisne tudi od fizikalnih in kemijskih lastnosti vode (npr. temperatura in kisik), katerih vrednosti spremljamo s kontinuiranimi meritvami. Analizirali smo izmerjene vrednosti temperature vode in koncentracije raztopljenega kisika na merilnih mestih nad in pod zapornico na Ambroževem trgu. Za obdobje meritev med januarjem 2013 in julijem 2014 smo izračunali povprečne mesečne vrednosti obeh parametrov, določili njuno medsebojno odvisnost in odvisnost temperature vode od temperature zraka ter preverili vpliv zapornice na Ambroževem trgu na koncentracijo raztopljenega kisika v vodi pod zapornico. Ugotovili smo, da so povprečne mesečne vrednosti koncentracije raztopljenega kisika nad zapornico večji del obravnavanega obdobja nižje od koncentracij pod zapornico. Vzrok za razliko med koncentracijami pripisujemo turbulentnemu toku, za katerega je značilno učinkovitejše raztapljanje kisika v vodi. Med temperaturo vode in koncentracijo raztopljenega kisika je visoka negativna linearna korelacija, med temperaturo zraka in temperaturo vode pa visoka pozitivna linearna korelacija. Ugotavljamo tudi, da so na obravnavanih merilnih mestih kisikove in temperaturne razmere ugodne za ciljne ribje vrste projekta. Na 17 merilnih mestih vzdolž reke Ljubljanice bomo nadaljevali s kontinuiranimi meritvami parametrov vode, s katerimi bomo pridobili večji nabor podatkov.

Ključne besede: Ljubljana povezuje, raztopljeni kisik, temperatura vode, korelacija, vodostaj.

Abstract

The aim of the project Ljubljana connects is to improve the habitat conditions of endangered fish species in the Ljubljana River. Adequate living conditions in addition to river connectivity depend, among other things, on the physical and chemical characteristics of water (e.g. temperature, concentration of dissolved oxygen), which are monitored by continuous measurements. In this paper we analysed the measured parameters from two measuring stations, above and under the river gate on the Ambrož Square in Ljubljana. We analysed the data for water temperature and dissolved oxygen concentrations. For the measurement period between January 2013 and August 2014 we calculated the average monthly values of the two analysed parameters, calculated their interdependence and dependence of water temperature and air

* Stik / Correspondence: klaudija.sapac@fgg.uni-lj.si

© Sapač K. et al.; Vsebina tega članka se sme uporabljati v skladu s pogoji [licence Creative Commons Priznanje avtorstva – Nekomercialno – Deljenje pod enakimi pogoji 4.0](#).

© Sapač K. et al.; This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution – Non Commercial – Share Alike 4.0 Licence](#).

temperature. We verified the impact of the river gate on Ambrož Square on the concentration of dissolved oxygen under the gate. We found that the average monthly values of dissolved oxygen concentration above the gate are lower than concentrations under the gate for most of the analysed period. This shows the impact of turbulent flow under the gate. High negative linear correlation was observed between water temperature and dissolved oxygen concentration, while between air temperature and water temperature the linear correlation was highly positive. We note also that in the area of the gate, oxygen and temperature conditions are favourable for life of targeted fish species. With continuous measurements of water quality parameters at 17 monitoring sites along the Ljubljana River we will be able to obtain a larger dataset.

Keywords: Ljubljana Connects, dissolved oxygen, water temperature, correlation, water level

1. Uvod

Leta 2012 je Katedra za splošno hidrotehniko UL FGG skupaj s partnerskima podjetjema Geateh d.o.o. in Purgator d.o.o. začela izvajati LIFE projekt Ljubljana povezuje. Cilja projekta sta povezati območji Natura 2000 (Ljubljansko barje in Sava-Medvode-Kresnice) in izboljšati prehodnost reke Ljubljane za ribe. Pomemben element za njuno doseganje so obnovitvena dela na vodni infrastrukturi Ljubljane. Dela so se začela z zatesnitvijo in dvigom praga v Zalogu, ki omogoča boljše življenjske razmere v višje ležeči mrtvici, prehodnost reke pa je izboljšana z obnovo ribjih stez na jezu pri Fužinskem gradu in pri zapornici na Ambroževem trgu. Ribje steze so namenjene prehajanju rib čez neprehodne ovire na vodotokih (Kolman in Mikoš, 2006). Delovanje obnovljenih ribjih stez spremljamo z izlovi in označevanjem rib po VIE metodi (Visible Implant Elastomer Tags) ter s kamerami, ki so nameščene v ribjih stezah.

Za ugodne življenjske razmere ribjih vrst v reki Ljubljani pa niso pomembne samo ponovno vzpostavljene ribje poti, temveč tudi ustrezna kakovost vode. Na 17 lokacijah vzdolž reke Ljubljane in na njenih pritokih smo namestili mersko opremo za merjenje vodostaja in temperature vode, na 3 lokacijah pa tudi merilnike koncentracije raztopljenega kisika v vodi.

Koncentracija raztopljenega kisika v vodi je glavni omejitveni dejavnik življenja aerobnih vodnih organizmov (Moore, 1942; Doudoroff in Shumway, 1970; Wetzel, 1983; Kramer, 1987; Chapman in Kimstach, 1992; Clark, 1996). V največji meri je odvisna od temperature vode (Pray

et al., 1952; Douglas, 1964) in turbulence vodnega toka (Chanson, 1995). Poleg tega vplivajo na koncentracijo raztopljenega kisika v vodi še atmosferski tlak, slanost, hitrost vodnega toka, globina vode, sedimenti v vodi, respiracija vodnih organizmov in stopnja aktivnosti procesa fotosinteze (Urbanič in Toman, 2003). Določanje koncentracije raztopljenega kisika se pogosto uporablja za ugotavljanje kakovosti vode rek (Najah et al., 2011).

Temperatura vode močno vpliva na številne fizikalne in kemijske lastnosti vode, med katere poleg koncentracije raztopljenega kisika prištevamo tudi parni tlak, površinsko napetost, gostoto, viskoznost (Stevens et al., 1975), transport in koncentracijo sedimentov (Lane et al., 1949) ter hitrost kemijskih reakcij (Brezonik, 1972). Poleg tega temperatura vode vpliva tudi na biološke lastnosti vode, kot je prisotnost oziroma odsotnost patogenih organizmov (Hendricks, 1972).

Ugodne razmere v vodi so bistvenega pomena za življenje ribjih populacij in drugih vodnih organizmov. Clark (1996) navaja, da pomanjkanje raztopljenega kisika pri ribah zavira dihanje in povzroča smrt ter ima negativen vpliv na hranjenje in embrionalni razvoj. Chapman in Kimstach (1992) opozarjata, da koncentracije raztopljenega kisika pod vrednostjo 5 mg/L negativno vplivajo na delovanje in preživetje bioloških skupnosti, koncentracije pod 2 mg/L pa lahko povzročijo smrt večine vrst rib in drugih organizmov. Golovanova in sodelavci (2012) pa menijo, da je temperatura vode eden od glavnih abiotičnih dejavnikov, ki vpliva na številne parametre življenjskih aktivnosti rib in da že manjša sprememba temperature izven optimalnih vrednosti lahko povzroči motnje

metabolizma, inaktivacijo in denaturacijo encimov ter posledično smrt organizmov.

V prispevku bomo analizirali izmerjene lastnosti vode z merilnih mest nad in pod zapornico na Ambroževem trgu ter tako (i) preverili ali sta koncentracija raztopljenega kisika v vodi in temperatura vode ustrezni za ciljne vrste rib, (ii) določili njuno medsebojno odvisnost in vpliv temperature zraka na temperaturo vode ter (iii) preverili vpliv zapornice na Ambroževem trgu na koncentracijo raztopljenega kisika v vodi pod zapornico.

2. Metode

2.1 Opis obravnavanega območja

Ljubljana, imenovana tudi reka sedmih imen, v svojem toku večkrat ponikne in ponovno privre na površje. Na Babnem polju teče kot Truhovica, na Loškem polju izvira in teče kot Obrh, na Cerkniskem polju kot Stržen, v Rakovem Škocjanu kot Rak, po Planinskem polju kot Unica in skozi Postojnsko jamo kot Pivka. Blizu Verda in Vrhniko izvira iz kraških izvirov kot Ljubljana, med katerimi so najbolj znani izviri pri Močilniku in Retovju (Gogala, 2008). Tok Ljubljanice se nadaljuje po Ljubljanskem barju proti Ljubljani in meri od izvira pri Vrhniku do izliva v Savo pri Podgradu 41 km. Na Ljubljani od Vrhniko do izliva v Savo izvajamo meritve na 17 merilnih mestih (slika 1). Na vseh 17 merilnih mestih merimo vodostaj in temperaturo vode, na treh od teh merilnih mest pa tudi koncentracijo raztopljenega kisika v vodi. Povprečni pretok pri Vrhniku znaša 23,9 m³/s, pri Mostah pa 55,6 m³/s (ARSO, 2015a).

V okviru projekta se še posebej osredotočamo na odsek reke Ljubljanice od mesta Ljubljane do izliva v reko Savo. Na tem odseku je bilo v preteklosti zgrajenih več vodnih objektov. Za potrebe tehnološke vode sta na Ljubljani zgrajena dva jezova, eden pri Fužinskem gradu za potrebe hidroelektrarne in drugi pri papirnici Vevče. Konec 18. stoletja je bil zgrajen Gruberjev kanal z namenom razbremenitve mestne Ljubljanice v času visokih voda.

V prispevku smo se osredotočili na območje zapornic na Ambroževem trgu. Zapornice na Ambroževem trgu skupaj s tistimi na Gruberjevem kanalu služijo uravnavanju vodnih gladin, ki ima vpliv vse do Ljubljanskega barja. V času nizkih in srednjih pretokov se z delnim odprtjem zapornic uravnava dogovorjen vodostaj na območju med zapornicami na Ambroževem trgu in Gruberjevem kanalom. Ko pretok Ljubljanice doseže 120 m³/s ali več, pa morajo biti zapornice popolnoma odprte. Zapornic na Ambroževem trgu do letos ni bilo mogoče natančno regulirati, ker pogon zapornice in njena nazivna moč nista bili zasnovani za počasnejše in preciznejše premike. Dvig zapornic je tako lahko povzročil nenadno spremembo v vodnem toku in večjo kalnost vode. Problem nezmožnosti fine regulacije zapornic na Ambroževem trgu in njenih posledic na ekološke razmere Ljubljanice smo reševali v okviru projekta Ljubljana povezuje. V letu 2015 smo rekonstruirali električno in strojno opremo desne zapornice. Prenovljen pogonski sistem zapornice sedaj omogoča hod zapornice do 200 mm nad pragom z najmanjšim korakom 5 mm, kar je izrednega pomena za uravnavanje gladine vode v Ljubljani predvsem v času nizkih in srednjih pretokov.

Celotno območje toka Ljubljanice od avtoceste pri Verdu do južne ljubljanske obvoznice je določeno kot varstveno območje Natura 2000, Ljubljansko barje. V vodi in ob vodi živi 45 vrst sesalcev, med katerimi velja izpostaviti nutrije (*Myocastor coypus*) in ogrožene vidre (*Lutra lutra*).

Na območju Ljubljanice se skupaj s selivkami zadržuje 107 vrst ptic (Trilar, 1999). V vodi po podatkih Ribiškega katastra (ZZRS, 2015) najdemo 23 različnih ribjih vrst. V eni od ihtioloških raziskav znotraj projekta LIFE Ljubljana povezuje smo na območju od zapornic na Ambroževem trgu do jezua v Vevčah v enem dnevu izlovili kar 15 različnih vrst rib (Povž, 2014). Direktiva o habitatih (Direktiva 92/43/EGS, 1992) kar 8 vrst, ki jih najdemo v Ljubljani, uvršča med t. i. vrste v interesu Evropske Unije: glavač (*Cottus gobio*), pohra (*Barbus meridionalis*), pezdirk (*Rhodeus sericeus amarus*), nežica (*Cobitis taenia*), platnica (*Rutilus pigus*),

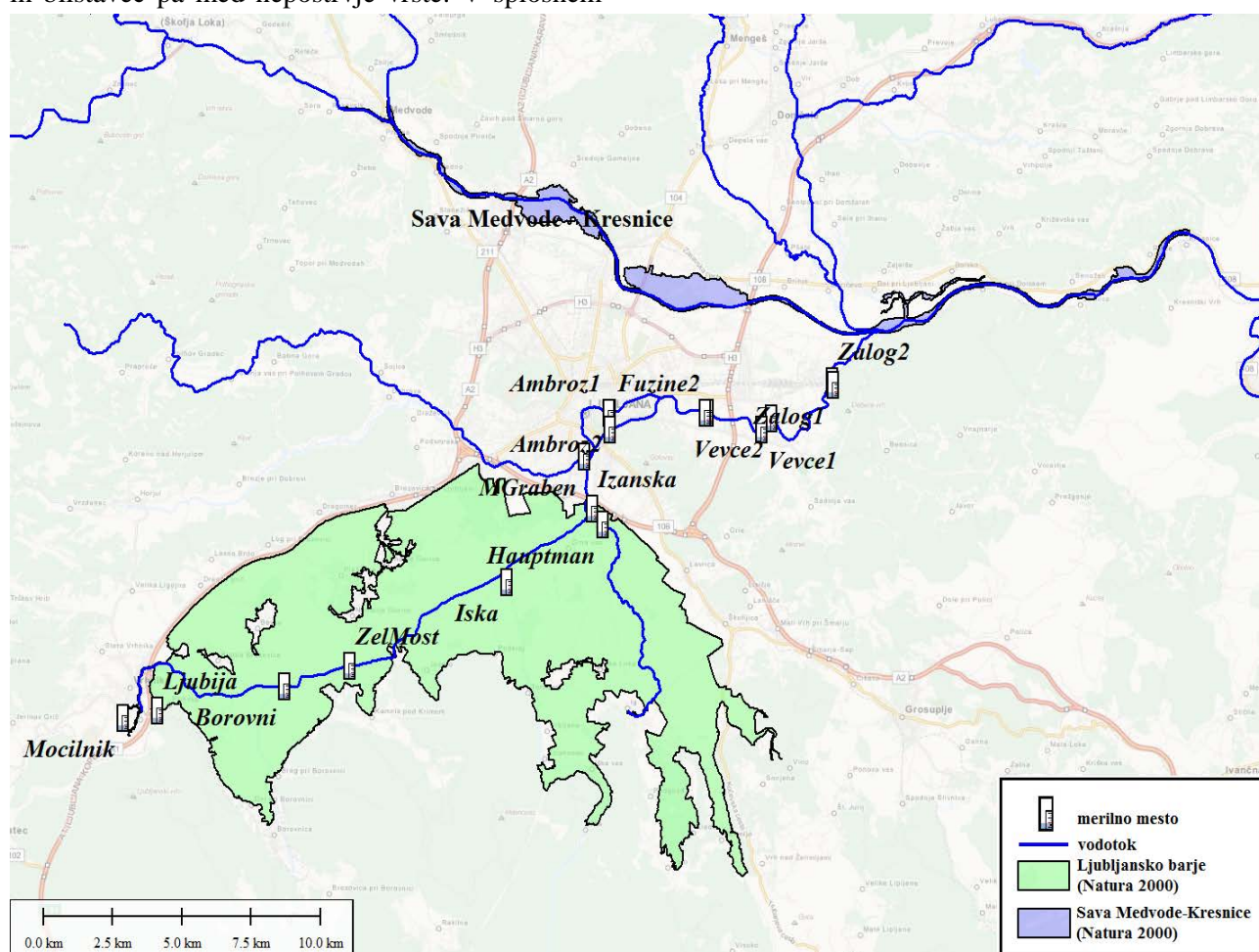
blistavec (*Leuciscus souffia*) in sulec (*Hucho hucho*). Na seznam je uvrščena tudi obloustka ukrajinski potočni piškur (*Eudontomyzon mariae*). Platnica, blistavec in sulec so ciljne vrste Natura 2000 območja na vplivnem območju projekta, saj so po Pravilniku o uvrstitvi ogroženih rastlinskih in živalskih vrst (UL RS 82/02 in UL RS 42/10) uvrščene na rdeči seznam rib in obloustk kot prizadete vrste, katerih obstanek na območju RS ni verjeten v primeru, da bodo dejavniki ogrožanja delovali še naprej.

2.2 Ustrezni pogoji za ciljne vrste rib

Ciljne vrste projekta so tri vrste rib (blistavec, platnica in sulec), ki so zaščitene vrste Nature 2000. Sulec spada med postrvje vrste rib, platnica in blistavec pa med nepostrvje vrste. V splošnem

velja, da so nepostrvje vrste rib prilagojene na razmere z nižjo vsebnostjo kisika in višjimi temperaturami kot postrvje vrste (Komatina, 2001).

Blistavec *Telestes souffia* (Risso, 1827) iz družine krapovcev (Cyprinidae), je znan po svoji visoki intoleranci do nizke vsebnosti kisika (Bless, 1996). Njegov značilen habitat predstavljajo vodotoki s srednje mirnim tokom, prodnatim dnom (Kottelat in Freyhof, 2007) in temperaturo vode 10–20 °C (Baensch in Riehl, 1991). Blistavec (slika 2) zraste v povprečju do velikosti 12–15 cm in se prehranjuje z vodnimi nevretenčarji in algami. Drsti se med marcem in majem, ko samice odložijo do 8.000 jajčec na kamenje in pesek (Mrakovčič et al., 2006; Kottelat in Freyhof, 2007).



Slika 1: 17 lokacij merilnih mest in ciljnih območij Natura 2000 projekta Ljubljana povezuje.

Figure 1: Locations of 17 measurement sites and Natura 2000 target zones of Ljubljana connects project.



Slika 2: *Blistavec, Telstes souffia* (Risso, 1827) (Froese in Pauly, 2015).

Figure 2: *Telestes souffia* (Risso, 1827) (Froese and Pauly, 2015).



Slika 3: *Platnica, Rutilus pigus* (Lacepède, 1803) (RD Metlika, 2015).

Figure 3: *Rutilus pigus*, (Lacepède, 1803) (RD Metlika, 2015).



Slika 4: *Sulec (Hucho hucho L.)* (Wikipedija, 2015).

Figure 4: *Hucho hucho L.* Source: (Wikipedija, 2015).

Platnica *Rutilus pigus* (Lacepède, 1803) živi v globljih območjih tekočih voda. O podrobnostih habitatov platnic in njihovi populacijski ekologiji je zelo malo znanega. Platnice (slika 3) se prehranjujejo z algami, nevretenčarji in odmrliimi organskimi delci (Kottelat in Freyhof, 2007). Drstijo se med marcem in majem pri temperaturah vode 10–14 °C (Zauner in Ratschan, 2005). Po Kottelat in Freyhof (2007) je platnice moč najti v vodotokih s trdoto vode 15–30 in temperaturo vode 5–20 °C. Njihova maksimalna dolžina je 45 cm, največja zabeležena masa pa je znašala 1 kg. (Kottelat in Freyhof, 2007). Platnica je uvrščena na seznam ogroženih vrst, v Sloveniji pa jo najdemo v rekah Krki, Ljubljani, spodnji Savi, Dravi in Muri. Po navedbah avtorjev Freyhof in Kottelat (2008) so platnice ogrožene zaradi prelova in gradnje jezov na vodotokih, ki ovirajo migracije do mest, primernih za drstenje.

Sulec *Hucho hucho* (Linnaeus, 1758) iz družine lososov (Salmonidae) je donavski endemit, ki v svetovnem merilu spada med večje postrvje ribje vrste (slika 4). Cristea (2007) in Geist s sodelavci (2009) med razloge za ogroženost in znatno zmanjšanje populacij sulca prištevajo pretirane antropogene vplive, kot so uničevanje življenjskega prostora, neodgovorno krčenje gozdov, onesnaževanje, krivolov in gradnjo pregradnih objektov. Ratschan (2014) kot tipični habitat sulcev navaja vodotoke s pretokom 3–150 m³/s, z naklonom 0,2–0,3 %, z nadmorsko višino 200–800 m in s povprečno temperaturo vode v najtoplejših mesecih 13–18 °C. Nekateri avtorji navajajo, da je najvišja še ugodna temperatura za sulce 15 °C, z vsebnostjo raztopljenega kisika 8–9 mg/L, ki ne sme biti manjša od 5 mg/L (Päsärin, 2007; Simonović et al., 2011). Razpon temperature za različne življenjske faze sulca se po Baensch in Riehl (1991) giblje med 6 in 18 °C.

V preglednici 1 so zbrani podatki o ustreznih temperaturah vode za posamezne ciljne vrste rib, kot jih navaja literatura. V preglednico smo vključili še mejne vrednosti vsebnosti raztopljenega kisika, kot jih določa Uredba o kakovosti površinskih voda za življenje sladkovodnih vrst rib (UL RS 46/02 in UL RS 41/04) za salmonidne in cipridne vrste. Blistavec

in platnica spadata med nepostrvje vrste (po Uredbi so to ciprinidne vrste), za katere velja spodnja meja še ustrezne koncentracije raztopljenega kisika 4 mg/L. Sulec pa je predstavnik postrvjih vrst (po Uredbi salmonidnih vrst), ki potrebuje minimalno 6 mg/L raztopljenega kisika v vodi. Intervali ustreznih temperaturnih območij prikazujejo splošen razpon temperature med najmanjšo in največjo vrednostjo, pri kateri je moč najti posamezno ribjo vrsto v različnih življenjskih fazah.

Preglednica 1: Optimalne povprečne vrednosti temperature vode (*T*) in mejne vrednosti vsebnosti raztopljenega kisika (*DO*) v vodi za ciljne vrste.

Table 1: Optimum average values of water temperature (*T*) and limit values of dissolved oxygen (*DO*) in water for target fish species.

Vrsta ribe	DO ¹ [mg/L]	T [°C]
Blistavec (<i>Telestes souffia</i>)	> 4	10–20
Platnica (<i>Rutilus pigus</i>)	> 4	5–20
Sulec (<i>Hucho Hucho</i>)	> 6	6–18

¹ – mejna vrednost po Uredbi o kakovosti površinskih ... (UL RS 46/02 in UL RS 41/04)

2.3 Meritve parametrov vode

Temperatura je eden od najpomembnejših fizikalnih parametrov, s katerimi lahko opišemo razmere v vodnem ekosistemu. Temperatura vpliva na stopnjo raztopljenega kisika, kemijske procese, biološke procese, porazdelitev habitatov živalskih in rastlinskih vrst v vodnem ekosistemu, gostoto vode in stratifikacijo. Glavni vir toplote celinskih voda je sonce, vendar lahko na temperaturo vode vplivajo tudi površinski odtok, podtalnica, pritoki in padavine. Toplota iz vode se z zrakom izmenjuje v procesih izhlapevanja in kondenzacije. Temperatura vode niha dnevno in sezonsko, variacije temperature pa je moč zaznati tudi vzdolž vodotokov in so odvisne od vplivnih dejavnikov.

RAMP (2015) pri tem izpostavlja tudi antropogene vplive na temperaturo vode, kot so industrijska, kmetijska in gozdarska dejavnost.

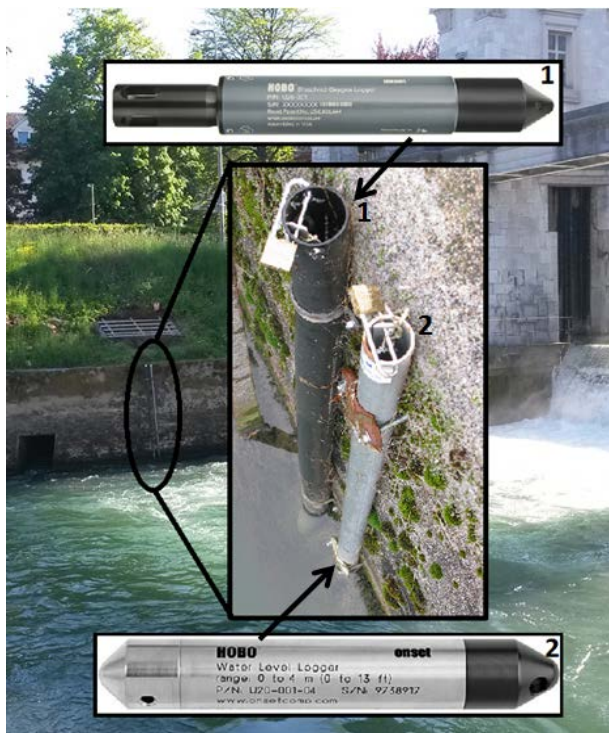
Prosti, v vodi raztopljeni kisik je esencialnega pomena za aerobne vodne organizme. Atom kisika v molekuli vode (H₂O) je vezan, zato ga organizmi ne morejo izkoriščati. Vir prostega kisika v vodi sta absorbiran kisik iz zraka in kisik kot produkt fotosinteze. Urbanič in Toman (2003) navajata, da se topnost kisika manjša z naraščanjem temperature in večja z naraščanjem turbulence vodnega toka.

Nihanja koncentracije kisika so dnevna (najmanjša zgodaj zjutraj, najvišja zvečer) in sezonska. Wetzel (2001) navaja, da je pri standardnem atmosferskem tlaku koncentracija kisika v vodi pri temperaturi vode 0 °C približno 15 mg/L, pri temperaturi vode 30 °C pa okoli 8 mg/L.

Koncentracijo raztopljenega kisika (*DO*) merimo na treh merilnih mestih na Ljubljani, in sicer nad in pod zapornico na Ambroževem trgu ter v mrtvici v Zalogu (slika 1). Merjenje izvajamo z optičnim senzorjem proizvajalca *Onset HOBO* (slika 5), ki deluje v razponu koncentracije kisika med 0 in 30 mg/L. Merilnik je pritrjen na nosilec in vstavljen v zaščitno cev, ki preprečuje poškodbe in je potopljena v vodo. Zaščitna cev na Ambroževem trgu je pritrjena na betonsko steno rečnega kanala na desnem bregu nad in pod zapornico. Natančnost merilnika je 0,2 mg/L za koncentracije do 8 mg/L in 0,5 mg/L za koncentracije med 8 in 20 mg/L (*Onset HOBO*, 2015a).

Koncentracija raztopljenega kisika v vodi se meri po metodi LDO (Luminescent Dissolved Oxygen). Za merjenje vzbujajoča LED dioda oddaja pulzirajočo modro svetlobo, ki prehaja na luminofor. Razdražene molekule luminoforja začnejo oddajati rdečo svetlobo, ki jo zazna fotodioda senzorja. Molekule O₂ zadržijo vzdražene molekule luminoforja in preprečujejo oddajanje rdeče svetlobe. Senzor nato izmeri razliko med vrnjeno rdečo svetlobo in referenčno rdečo svetlobo ter poda koncentracijo raztopljenega kisika v mg/L. Koncentracija kisika in vrnjena rdeča svetloba sta obratno sorazmerni,

višja je koncentracija kisika, manjša je količina vrnjene rdeče svetlobe (Onset HOB0, 2012). Merilnik poleg merjenja koncentracije raztopljenega kisika omogoča tudi merjenje temperature vode. Natančnost izmerjene temperature je 0,2 °C.



Slika 5: Senzor za merjenje koncentracije raztopljenega kisika (1) in senzor za merjenje vodostaja (2) na merilnem mestu Ambrožev trg, dolvodno od zapornice.

Figure 5: Probe for measuring concentration of dissolved oxygen (1) and probe for measuring water level (2) at the measuring site Ambrož Square, downstream of river gates.

Na temperaturo vode močno vplivajo vremenske razmere, od katerih je najpomembnejša temperatura zraka (Vodenik et al., 2008). Temperatura zraka v Sloveniji se značilno spreminja preko leta in preko dneva. Maksimalne dnevne vrednosti temperatura doseže zgodaj popoldne, običajno med 14. in 15. uro, najnižje vrednosti pa tik pred sončnim vzhodom. V povprečju je najtoplejši mesec v letu julij, najhladnejši pa januar, z izjemo visokogorja, kjer je temperaturni minimum dosežen februarja. Na temperaturo zraka vplivajo nadmorska višina,

relief oziroma mikrolokacija postaje, večje vodne površine in poseljenost (ARSO, 2015b).

Na desnem bregu Ljubljane, v neposredni bližini zapornice na Ambroževem trgu, merimo temperaturo zraka z enakim merilnikom kot jih uporabljamo za merjenje vodostaja (slika 5). Merilnik meri zračni tlak in temperaturo.

V primerih ko vodna gladina pade pod višino, na kateri je nameščen senzor, izmerjeni podatki niso uporabni, saj ne kažejo dejanskega stanja. Do izgube podatkov je prišlo pri merilcu nad zapornico v času visokih pretokov, ko zapornico povsem odprejo, zato vodna gladina močno upade. Če senzore v naravnih vodah namestimo prenizko, lahko zaradi vodnega toka prihaja do zamuljevanja senzorskih odprtih, zaradi katerih bi bili podatki merjenja prav tako napačni in neuporabni. Izgube podatkov pa so lahko tudi zgolj tehničnega izvora, npr. okvara senzorskih membran merilnika koncentracije raztopljenega kisika zaradi izteka življenjske dobe (v povprečju 6 mesecev) ali okvare membrane zaradi mehanskih poškodb.

Vodostaj je eden od najpomembnejših hidroloških dejavnikov vodotokov. Merimo ga z namenom določitve vodnatosti vodnih teles. Zaradi nizkega vodostaja lahko pride do toka podtalnice v vodotok, zaradi visokega vodostaja pa do bogatenja podtalnice s tokom površinske vode v podtalnico (Urbanič in Toman, 2003). Na količino vode v strugi vplivajo še padavine, površinski odtok in dotok iz višje ležečega dela vodotoka (Allan, 1995).

Vodostaj oziroma višino vode nad vodomerno koto (Mikoš et al., 2002) v strugi kontinuirano merimo s tlačno sondo proizvajalca *Onset HOB0* (slika 5), ki deluje v okolju s temperaturo med -20 in 50 °C in globino vode med 0 in 4 m (Onset HOB0, 2015b). Natančnost merilnega inštrumenta za višino vode je 0,3 cm. Natančnost za temperaturo, ki jo lahko prav tako merimo s tem inštrumentom, pa je 0,44 °C. Senzor je pritrjen na nosilec in vstavljen v kovinsko cev, ki je potopljena v vodo in ščiti senzor pred poškodbami (slika 5). Merilnik deluje tako, da meri hidrostatični tlak vodnega stolpca nad referenčnim tlačnim senzorjem. Referenčno merjenje atmosferskega tlaka je

omogočeno s kompenzirajočo kapilaro v kablu sonde. Tako se kompenzira nihanje atmosferskega tlaka (Šajn Slak in Čarman, 2013).

Vrednosti, izmerjene s tem merilnikom, so služile za kontrolo pri analizi parametrov kakovosti vode. Tudi ta merilnik meri temperaturo, vendar z manjšo natančnostjo, zato smo v analizo podatkov vključili temperaturne podatke izmerjene z merilnikom za koncentracijo raztopljenega kisika. Podatke o temperaturi vode, izmerjene z merilnikom vodostaja, smo uporabili za kontrolo oziroma takrat, ko podatek o temperaturi vode z merilnika za merjenje koncentracije raztopljenega kisika ni bil uporaben. Poleg tega pa so nam podatki o vodostaju služili za določanje obdobj, ko je bil merilnik koncentracije kisika na suhem in zato izmerjene vrednosti niso bile relevantne.

Rezultati kontinuiranih meritev temperature zraka in vode ter koncentracije raztopljenega kisika po mesecih so predstavljeni grafično z okvirji z ročaji, ki imajo pet značilnih točk (Košmelj, 2001). Razdeljeni so na kvartile. Črta na sredini okvirja predstavlja srednjo vrednost vzorca, spodnja in zgornja stranica okvirja pa označuje 25 oziroma 75 percentilov. Z ročajem (črto) sta nato označeni še minimalna in maksimalna vrednost vzorca (Brilly in Šraj, 2005).

3. Rezultati in diskusija

V analizo smo vključili podatke o koncentracijah kisika in temperature vode nad in pod zapornico na Ambroževem trgu ter podatke o temperaturi zraka, ki jo merimo v neposredni bližini zapornice na Ambroževem trgu. Meritve izvajamo kontinuirano od januarja 2013, senzorji pa beležijo izmerjene podatke na vsakih 10 minut. Analizirali smo vrednosti med januarjem 2013 in julijem 2014. Iz analize smo izločili tiste vrednosti, ki niso kazale dejanskega stanja zaradi prenizkega vodostaja. Zaradi padca vodne gladine pod višino, na kateri je nameščen senzor, so senzorji na suhem in ne merijo lastnosti vode. Do večjih padcev vodne gladine je prišlo poleti leta 2013, ko so bile dnevne temperature visoke in količina padavin majhna (sliki 6 in 7). Merilniki (nad in pod zapornico) so lahko na suhem tudi v času izravnavevanja gladinskih stanj po spremembi položaja zapornice.

Iz analize smo izključili tudi nereprezentativne podatke, ki so bili izmerjeni v obdobju okvarjenih membran merilnika koncentracije raztopljenega kisika. Daljše obdobje izpada podatkov koncentracije raztopljenega kisika je bilo med 10. avgustom 2013 in 20. oktobrom 2013 na obeh merilnikih.

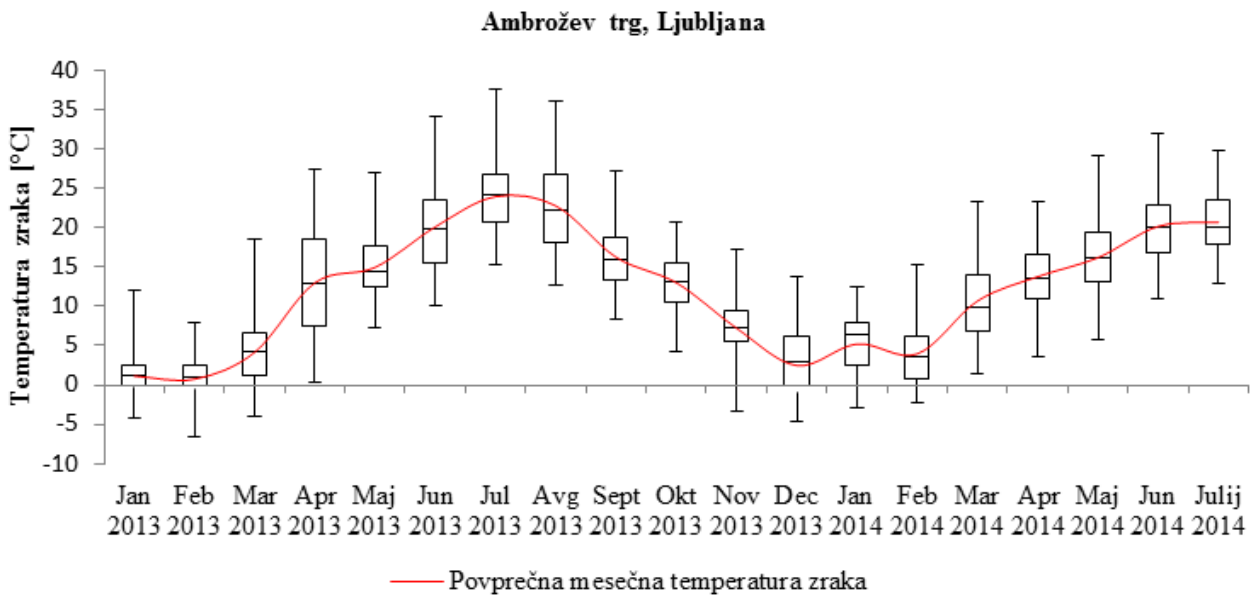
3.1 Temperatura zraka

Temperaturo zraka merimo kontinuirano z 10 minutnim časovnim korakom v bližini Ambroževega trga od začetka januarja 2013. Povprečne mesečne temperature zraka obravnavanega obdobja od januarja 2013 do julija 2014 variirajo med 0,7 °C v zimskem času in 20,7 °C v poletnem času (slika 6). Najvišja temperatura v obravnavanem obdobju (37,6 °C) je bila izmerjena 29. 7. 2013, najnižja pa 11. 2. 2013 (-6,6 °C).

3.2 Pretok

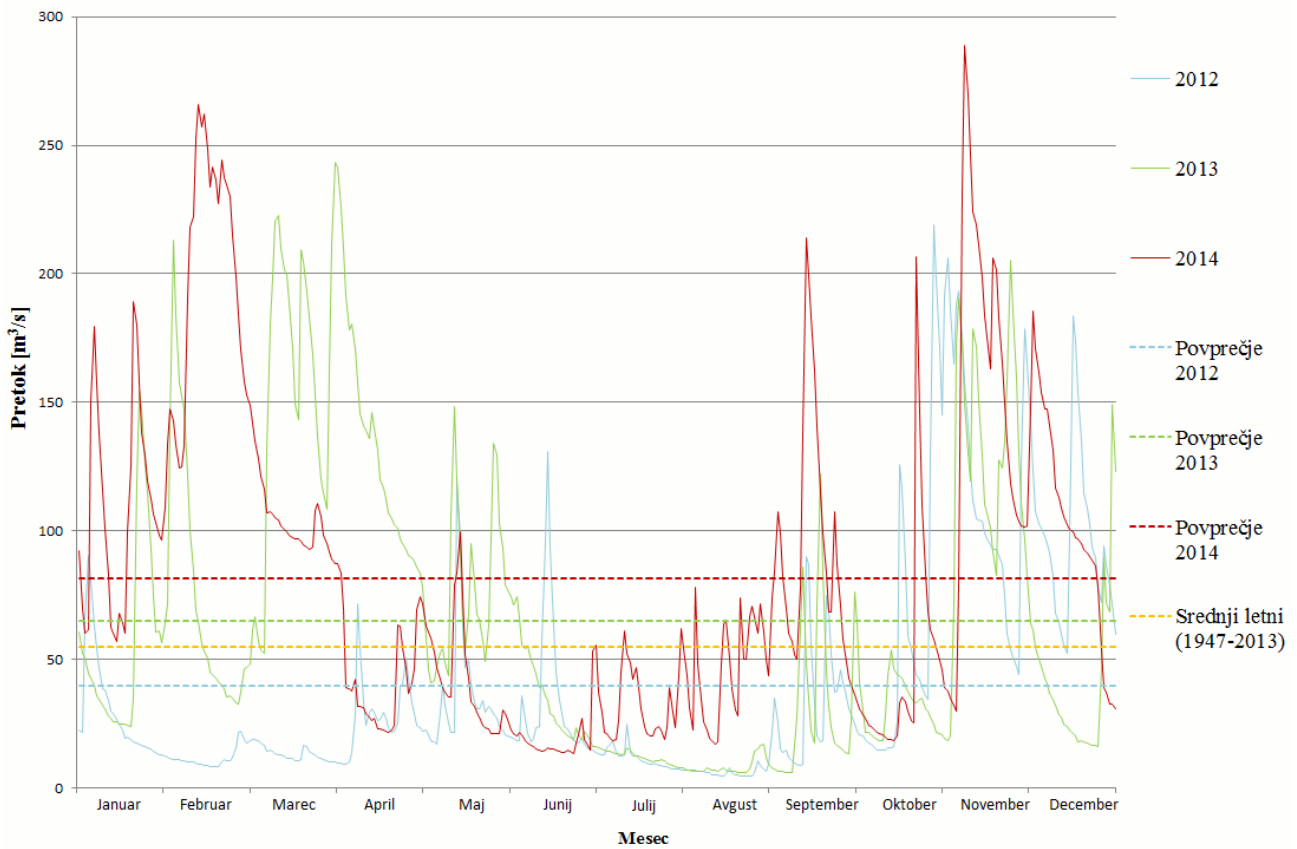
Podatek o pretoku je ključnega pomena za upravljanje zapornice na Ambroževem trgu. Z zapornicami na jezovih na Ambroževem trgu in Gruberjevem kanalu se vzdržuje zajezen nivo gladine Ljubljane v delu mesta gorvodno od Poljan in na Barju. Pri malih in srednjih pretokih so zapornice delno odprte, da se vzdržuje dogovorjen vodostaj med jezovoma. Ko pretok preseže vrednost 120 m³/s, pa morajo biti zapornice popolnoma dvignjene, da je omogočen prosti in nezajezen pretok vode po strugi. Posledično se gladina vode gorvodno od zapornice po odprtju zapornic zniža.

Ker pretoki v času izvajanja projekta vplivajo tudi na monitoring temperature in raztopljenega kisika v vodi, smo poleg izmerjenih podatkov o vodostaju analizirali tudi pretoke Ljubljane, izmerjene na vodomerni postaji Moste I (ARSO, 2015c). Dnevne vrednosti pretokov iz vodomerne postaje Moste I, ki se nahaja na lokaciji med zapornico na Ambroževem trgu in jezo pri Fužinskem gradu, tik za izlivom Gruberjevega kanala v Ljubljani, so nam posredovali iz Agencije RS za okolje (ARSO), ki meritve tudi izvaja.



Slika 6: Povprečna izmerjena mesečna temperatura zraka januar 2013–julij 2014.

Figure 6: The average monthly air temperature measured from January 2013 to July 2014.



Slika 7: Hidrogram reke Ljubljance na vodomerni postaji Moste I (ARSO, 2015c).

Figure 7: Hydrograph of Ljubljana River at gauging station Moste I (ARSO, 2015c).

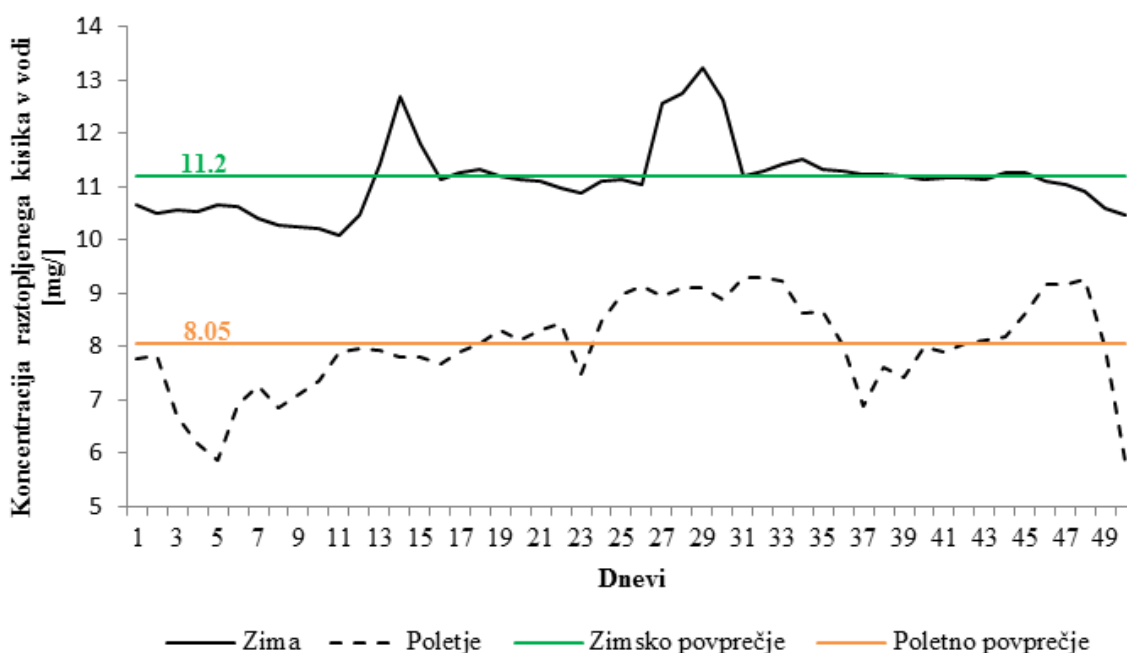
Leti 2013 in 2014 je zaznamovalo veliko padavin in visoki pretoki. Slednji je bil tekom skoraj celega leta 2013 (slika 7, zelena linija) in 2014 (slika 7, rdeča linija) višji kot leta 2012 (slika 7, svetlo modra linija). Opazimo lahko velike razlike v pretokih v obravnavanem obdobju, še posebej velja izpostaviti februar in marec leta 2014, ko je bila voda veliko višja kot v preteklih letih (razlika med najvišjima pretokoma februarja leta 2012 in 2014 je $250 \text{ m}^3/\text{s}$, kar je več kot je znašal najvišji pretok v celem letu 2012). Povprečni pretok v letu 2013 je bil za $25 \text{ m}^3/\text{s}$ višji od povprečnega pretoka leta 2012 in za $10 \text{ m}^3/\text{s}$ višji od dolgoročnega povprečja (1947–2013). Razlike so še večje v letu 2014, saj je bil povprečni letni pretok leta 2014 za $50 \text{ m}^3/\text{s}$ višji od povprečnega v letu 2012 in za $26 \text{ m}^3/\text{s}$ višji od dolgoročnega povprečja.

3.3 Koncentracija raztopljenega kisika v vodi

Koncentracije raztopljenega kisika v vodi se spreminjajo tako dnevno kot letno. Za prikaz razlik med povprečnimi dnevnimi koncentracijami raztopljenega kisika v vodi v različnih letnih časih, ki so bile izmerjene na merilnih mestih na Ambroževem trgu nad in pod zapornico, smo izbrali 50-dnevno obdobje v zimskem času od 10.

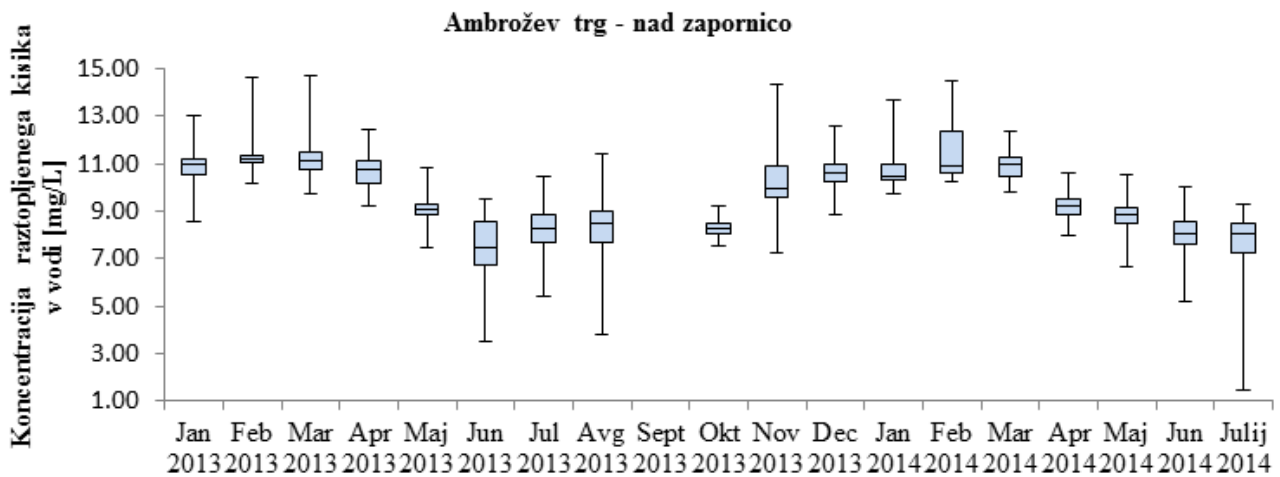
1. 2013 do 28. 2. 2013 in poletnem času od 22. 6. 2013 do 10. 8. 2013 (slika 8). Povprečne dnevne zimske vrednosti koncentracij raztopljenega kisika se gibljejo med $10,1 \text{ mg/L}$ in $13,2 \text{ mg/L}$, povprečne dnevne poletne vrednosti koncentracij raztopljenega kisika pa med $5,8 \text{ mg/L}$ in $9,3 \text{ mg/L}$. Razlika med povprečno vrednostjo koncentracije raztopljenega kisika v 50-dnevem zimskem obdobju in med povprečno vrednostjo koncentracije raztopljenega kisika v poletnem 50-dnevem obdobju je $3,15 \text{ mg/L}$. V poletnem obravnavanem obdobju smo opazili večja nihanja koncentracije raztopljenega kisika okrog povprečne vrednosti. V zimskem času razlika med najnižjo in najvišjo izmerjeno vrednostjo v enem dnevu ni presegala 1 mg/L . Večja nihanja v poletnem času lahko pripišemo toplejši vodi, zaradi katere je metabolizem živih bitij pospešen in se posledično porablja več kisika, hkrati pa je v poletnem obdobju dan daljši, zaradi česar je produkcija kisika v procesu fotosinteze večja.

Kljub relativno veliki razliki med izmerjenimi vrednostmi v poletnem in zimskem obdobju, so bile kisikove razmere tudi v poletnem obdobju ustrezne za življenje ciljnih vrst rib (preglednica 1).



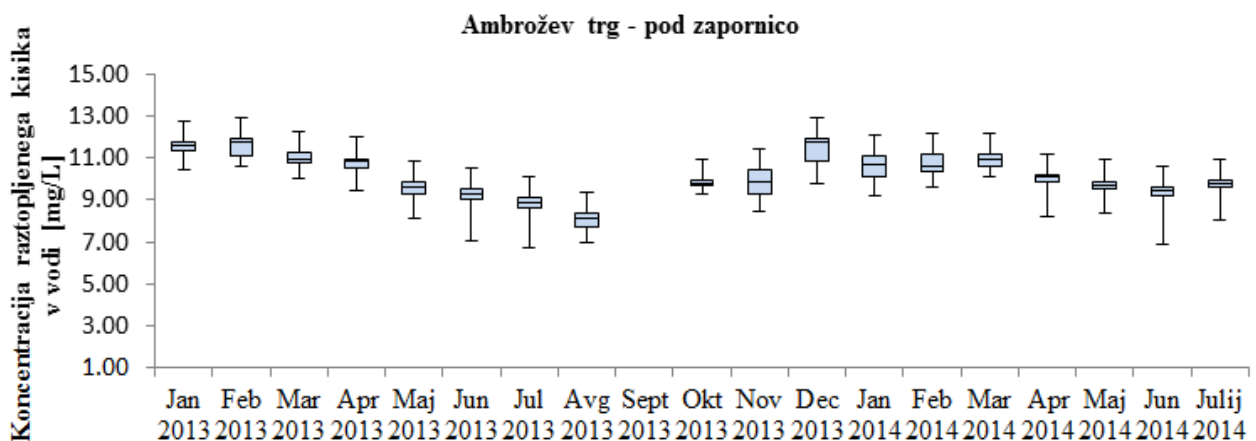
Slika 8: Povprečne dnevne koncentracije raztopljenega kisika za 50-dnevno obdobje v zimskem in poletnem času.

Figure 8: Average daily concentration of dissolved oxygen for the 50-day period in the winter and summer.



Slika 9: Povprečne mesečne koncentracije raztopljenega kisika v vodi nad zapornico na Ambroževem trgu.

Figure 9: Average monthly concentrations of dissolved oxygen in the water above the river gate on the Ambrož Square.



Slika 10: Povprečne mesečne koncentracije raztopljenega kisika v vodi pod zapornico na Ambroževem trgu.

Figure 10: Average monthly concentrations of dissolved oxygen in the water under the river gate on the Ambrož Square.

Sliki 9 in 10 prikazujeta povprečne mesečne vrednosti koncentracije kisika na Ambroževem trgu nad in pod zapornico za obdobje od januarja leta 2013 do julija leta 2014. Del podatkov od srede avgusta 2013 do srede oktobra 2013 je izgubljen zaradi napake pri meritvah. Primerjava povprečnih mesečnih vrednosti (slika 11) kaže na vpliv zapornice. Zapornica je bila v času nizkih in srednjih pretokov zaprta, kar pomeni, da se ustvari preliv, preko katerega pada voda, ki je tako pod zapornico (dolvodno) bolj obogatena z

raztopljenim kisikom. Izrazito je to vidno v sušnih (poletnih mesecih), ko je povprečna koncentracija raztopljenega kisika v vodi pod zapornico višja od povprečne mesečne koncentracije kisika nad zapornico (slika 8). Nad zapornico so opazna večja nihanja okrog srednje vrednosti kot pod zapornico. Razlog pripisujemo spuščeni zapornici v času nizkih in srednjih pretokov, ki ustvari preliv in pod zapornico povzroči turbulentni tok ter zračne mehurčke, ki povečajo stično površino med vodo in zrakom. Slednje je vzrok za višje in bolj stabilne

koncentracije raztopljenega kisika na spodnji strani zapornice.

Pod zapornico koncentracija kisika ni nikoli padla pod 6 mg/L (slika 10), medtem ko so bile na merilnem mestu nad zapornico izmerjene tudi vrednosti, nižje od mejnih (slika 9). Obdobja tako nizkih vrednosti so bila kratka, zato razmere za ribe niso bile nevarne. Kljub temu pa je to pomembna informacija o tem, da do neugodnih razmer v Ljubljani lahko pride. Na merilnem mestu nad zapornico so bile izmerjene tudi maksimalne koncentracije raztopljenega kisika v obravnavanem obdobju. 8. februarja 2013 in 25. marca 2013 je koncentracija raztopljenega kisika v vodi znašala 14,7 mg/L. Takrat je bila nad zapornico izmerjena tudi najnižja temperatura vode (-1,5 °C).

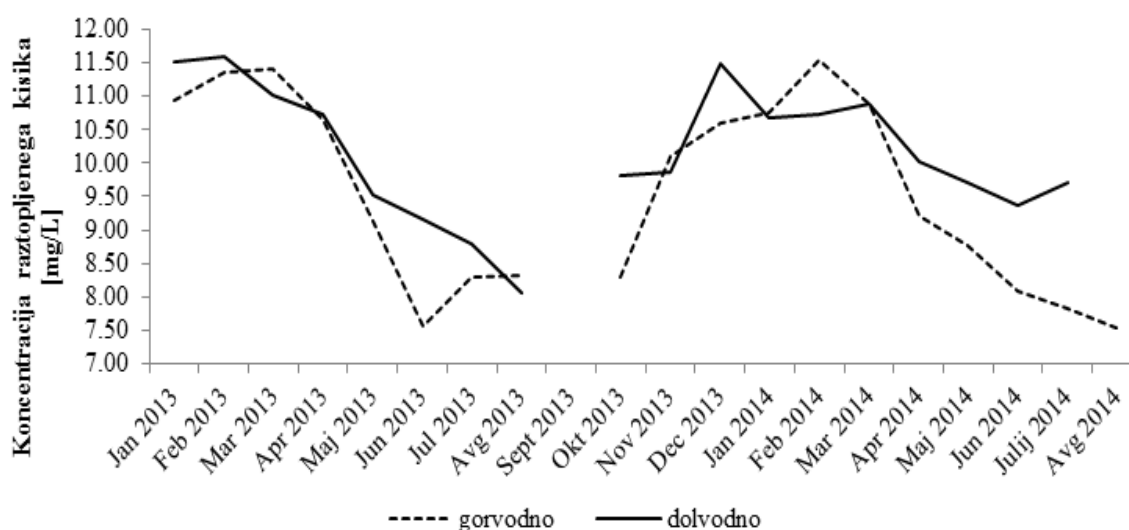
Na projektu se osredotočamo predvsem na sulca, ki spada med najbolj ogrožene ribje vrste in katerega habitati so med bolj raziskanimi. Po navedbah iz literature so kisikove razmere v Ljubljani nad in pod zapornico večinoma ugodne za populacijo sulca.

3.4 Temperatura vode

Temperatura vode je pomemben dejavnik, ki vpliva na koncentracijo raztopljenega kisika v vodi. Tudi povprečne mesečne temperature vode

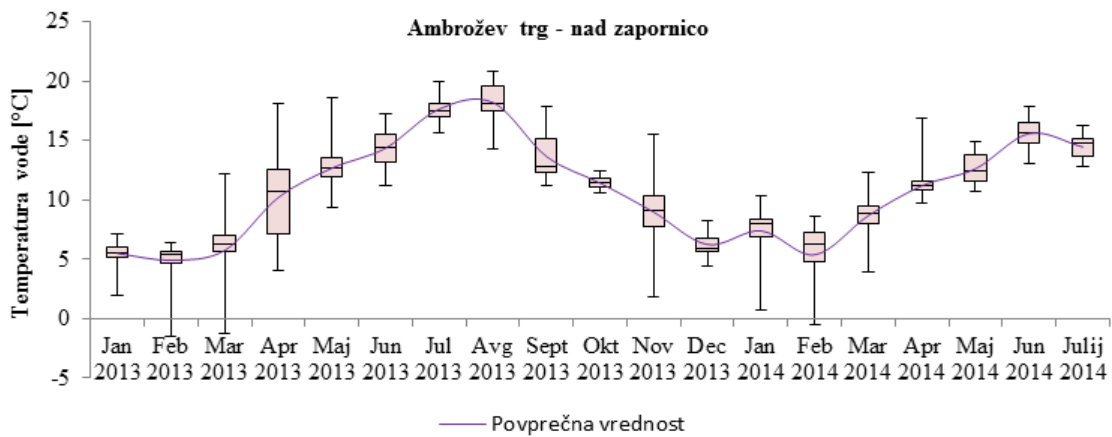
smo merili na mestih nad in pod zapornico na Ambroževem trgu v obdobju od januarja 2013 do julija 2014 (slika 12, slika 13).

Povprečne mesečne vrednosti temperature vode gorvodno in dolvodno od zapornice (sliki 12 in 13) večji del leta sovpadajo, razlike se pojavijo le pri ekstremnih izmerjenih vrednostih. V poletnih mesecih so bile na merilnem mestu pod zapornico izmerjene ekstremne vrednosti temperature vode (32,3 °C), ki pa so veliko višje od tistih, izmerjenih na merilnem mestu nad zapornico (20,8 °C). Razlog za to lahko pripišemo nizkemu vodostaju pod zapornico, zaradi katerega je bil merilnik morda na suhem in ni meril temperature vode. Podobno ugotavljamo tudi za minimalne vrednosti temperature vode, ki so bile izmerjene na merilnem mestu nad zapornico. Izmerjena temperatura vode je bila nekajkrat celo nižja od 0 °C, vendar je temperatura pod lediščem trajala le nekaj ur, zaradi česar v vodi ni prišlo do zmrzovanja. Najnižje temperature vode smo v obravnavanem obdobju zabeležili meseca februarja (-1,5 °C) in marca (-1,2 °C) leta 2013 ter februarja leta 2014 (-0,5 °C). Izmerjena vrednost temperature vode ob istem času je bila na merilnem mestu pod zapornico višja. Razlog pripisujemo nižjemu vodostaju nad zapornico, zaradi česar imajo temperaturne razmere ozračja večji vpliv na temperaturo vode.



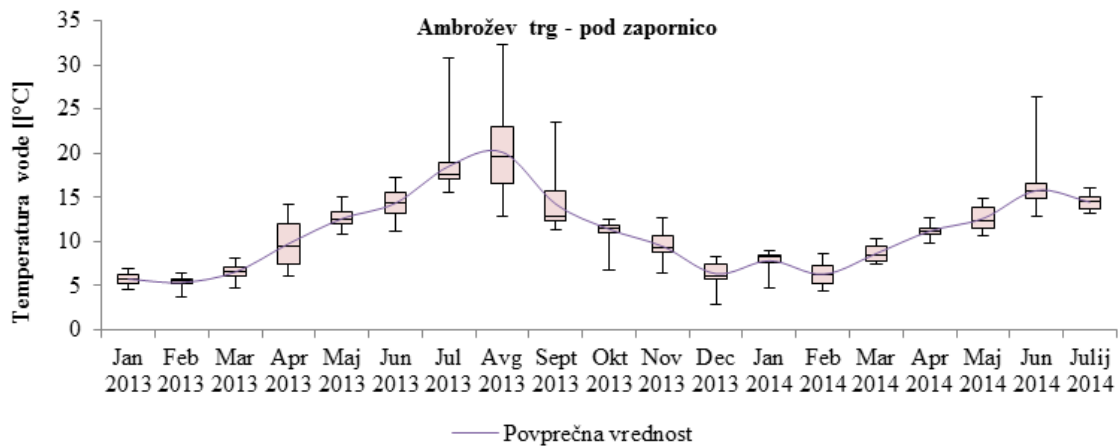
Slika 11: Primerjava povprečnih mesečnih koncentracij raztopljenega kisika v vodi nad in pod zapornico na Ambroževem trgu.

Figure 11: A comparison of the average monthly concentrations of dissolved oxygen in the water above and under the river gate on the Ambrož Square.



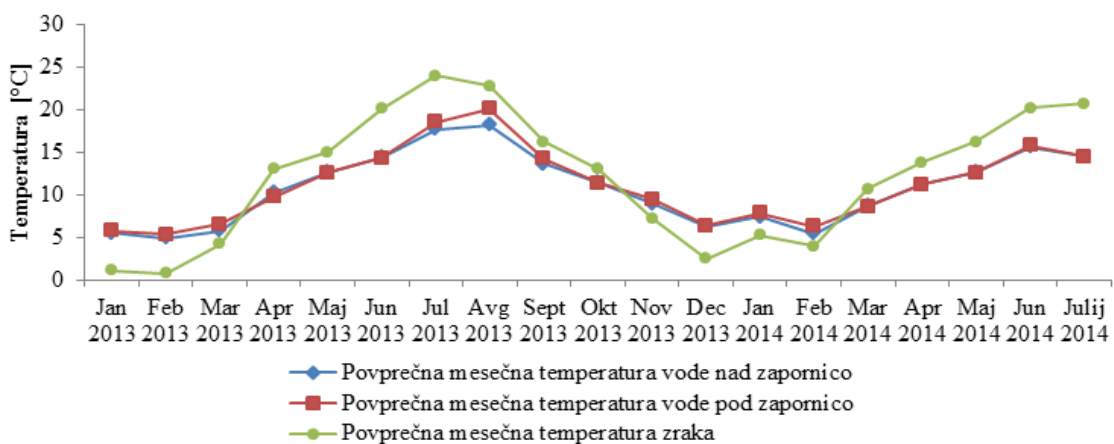
Slika 12: Povprečna mesečna temperatura vode gorvodno od zapornice na Ambroževem trgu.

Figure 12: The average monthly temperature of the water above the river gate at the Ambrož Square.



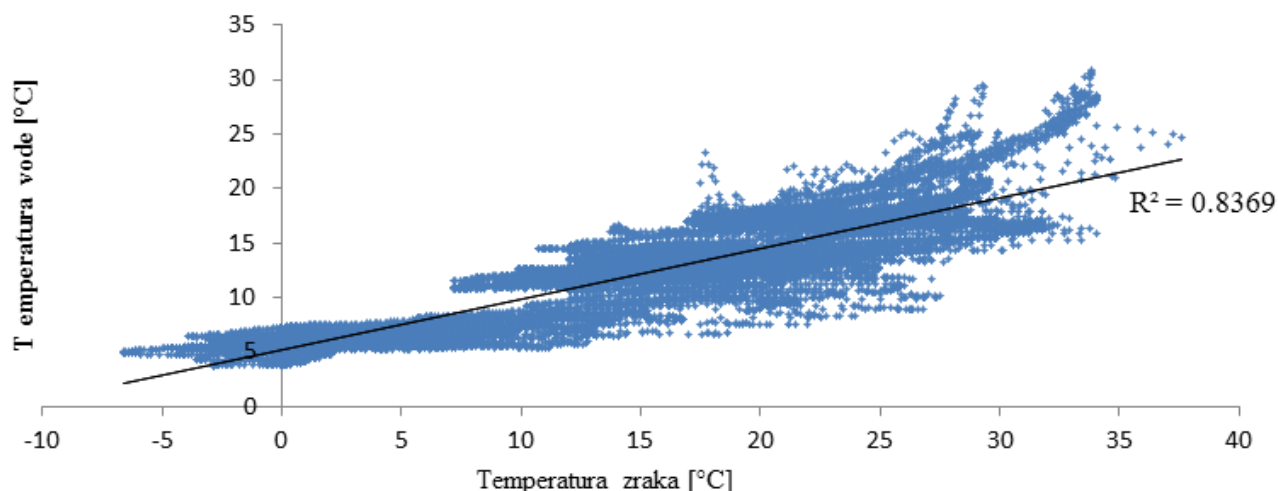
Slika 13: Srednja mesečna temperature vode dolvodno od zapornice na Ambroževem trgu.

Figure 13: The average monthly temperature of the water under the river gate on the Ambrož Square.



Slika 14: Primerjava trendov povprečne temperature zraka in povprečne temperature vode, izmerjene na merilnem mestu nad in pod zapornico na Ambroževem trgu.

Figure 14: Comparison of trends in average air temperature and average water temperature at the measuring sites above and under the river gate on the Ambrož Square.



Slika 15: Prikaz korelacije med temperaturo vode in temperaturo zraka.

Figure 15: The correlation between water temperature and air temperature.

3.5 Odvisnost med temperaturo vode in temperaturo zraka

Temperatura vode se spreminja počasneje kot temperatura zraka, ker ima voda večjo toplotno kapaciteto. Trenda temperature zraka in temperature vode si sledita skozi celotno obravnavano obdobje (slika 14). Koeficient determinacije med temperaturo vode in temperaturo zraka $R^2 = 0,84$, Pearsonov koeficient korelacije med temperaturo vode in temperaturo zraka pa je 0,91 in kaže na visoko povezanost spremenljivk (slika 15).

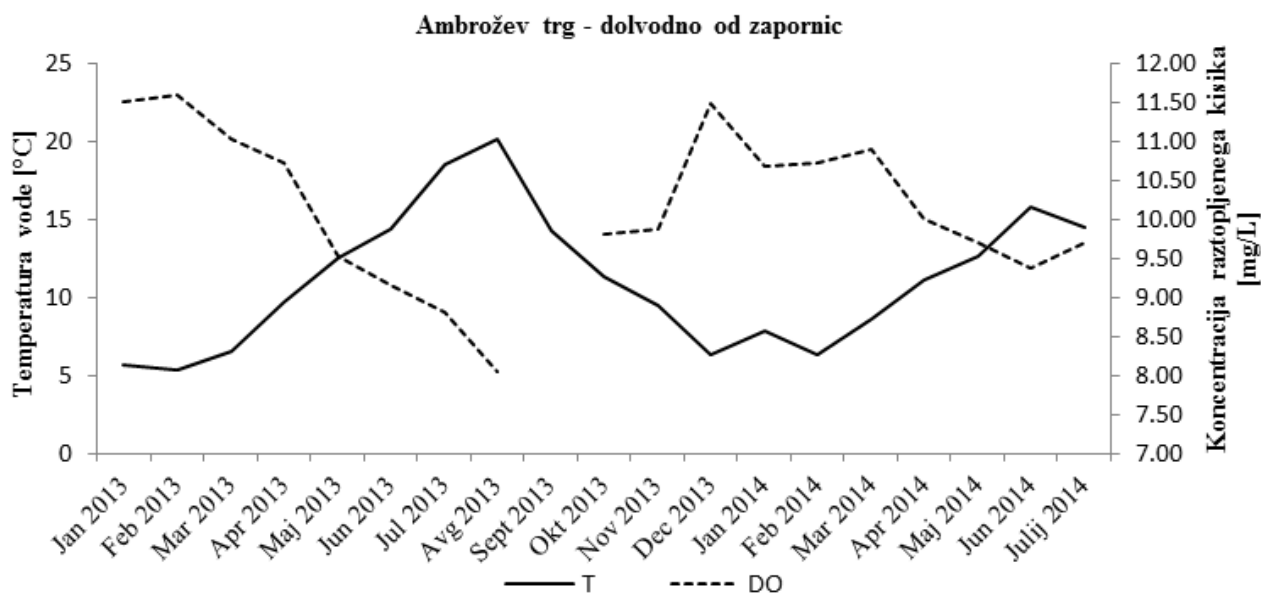
Temperatura vode doseže najvišje vrednosti v poletnih mesecih, najnižje pa v zimskih mesecih, za katere je značilno, da povprečna temperatura vode preseže povprečno temperaturo zraka. Leta 2013 je bila povprečna mesečna temperatura vode v Ljubljani višja od povprečne temperature zraka januarja, februarja, marca, novembra in decembra ter januarja in februarja leta 2014 (slika 14). V obravnavanem obdobju so bile najvišje povprečne temperature vode izmerjene julija 2013 (23,3 °C), najnižje pa v začetku leta 2013 (5,7 °C). Pri najvišjih povprečnih temperaturah vode je treba

upoštevati tudi dejstvo, da je vzorec merjenih podatkov manjši, saj merilnik zaradi prenizkih pretokov ni bil potopljen v vodo.

3.6 Odvisnost med temperaturo vode in koncentracijo raztopljenega kisika v vodi

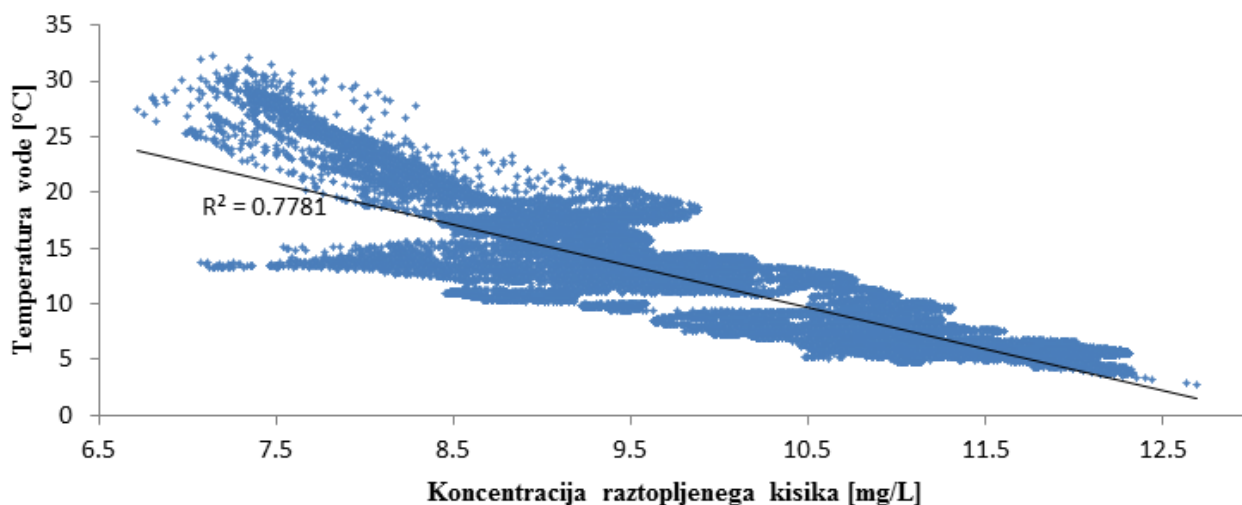
Koncentracija raztopljenega kisika v vodi in temperatura vode sta linearno odvisni. Koeficient determinacije med spremenljivkama $R^2 = 0,778$. Pearsonov koeficient korelacije $r = -0,88$ kaže na negativno linearno korelacijo kar pomeni, da so ob višjih temperaturah vode koncentracije raztopljenega kisika v vodi nižje in obratno, pri nizkih temperaturah vode so koncentracije raztopljenega kisika višje (slika 16). Povzamemo lahko, da je pri temperaturi vode 15 °C koncentracija kisika približno 9 mg/L in pri 10 °C približno 10,5 mg/L (slika 17).

Najvišje povprečne koncentracije so bile izmerjene v zimskih mesecih (11,5 mg/L), najnižje pa poleti (8,1 mg/L), z upoštevanjem predpostavke, da so bile vrednosti v obdobju od julija do oktobra 2013 lahko še nižje (ni podatkov zaradi napak pri meritvah).



Slika 16: Časovna spremenljivost povprečnih mesečnih temperatur in koncentracij raztopljenega kisika na merilnem mestu pri Ambroževem trgu, dolvodno od zapornice.

Figure 16: Temporal variability of average monthly temperature and dissolved oxygen concentration at the measuring site Ambrož Square, downstream of the river gates.



Slika 17: Prikaz korelacije med temperaturo vode in koncentracijo raztopljenega kisika.

Figure 17: The correlation between water temperature and concentration of dissolved oxygen.

4. Zaključek

V sklopu projekta LIFE Ljubljana povezuje spremljamo vodostaj in temperaturo vode na 17 merilnih mestih vzdolž reke Ljubljane, na treh postajah pa tudi koncentracijo raztopljenega kisika v vodi. Tudi vrednosti teh parametrov določajo, ali so razmere v vodi ugodne za življenje ribjih populacij in drugih vodnih organizmov.

Analiza podatkov, izmerjenih med januarjem 2013 in julijem 2014, kaže, da je povprečna mesečna koncentracija kisika v vodi pod zapornico večji del obravnavanega obdobja višja od koncentracije kisika nad zapornico. Največje razlike v koncentracijah se pojavljajo v sušnih, poletnih mesecih, ko je pretok vode najnižji in je zapornica na Ambroževem trgu zaprta ter je ustvarjen preliv, preko katerega pada voda in zaradi katerega pride

dolvodno od zapornice do bogatenja vode s kisikom (Chanson, 1995). Bogatenje vode s kisikom v poletnih mesecih je še posebej pomembno, saj je poleti zaradi visokih temperatur voda po navadi manj nasičena s kisikom. Tekom izvajanja meritev smo opazili, da se na območju dolvodno od zapornice ribe pogosto zadržujejo, razlogov za to je lahko več. Tok vode čez zapornico povzroča penjenje vode, kar privablja ribe v bližino zapornice, ki je hkrati ovira za nemoteno gibanje rib v gorvodno smer. Da bi preprečili tako obnašanje rib, smo v letu 2015 v notranjost ribje steze namestili cev, ki na vhodu v ribjo stezo povzroča atrakcijski tok, zaradi katerega pričakujemo, da bodo ribe lažje zaznale vhod v ribjo stezo. Razlog lahko pripišemo tudi višjim koncentracijam kisika v vodi na območju zapornic zaradi turbulentnega toka. Z dodatnimi meritvami koncentracije raztopljenega kisika v vodi na lokacijah drugje vzdolž reke Ljubljane bomo z večjo gotovostjo opredelili glavne dejavnike, ki povzročajo pogosto zadrževanje rib na območju zapornic.

Vpliv temperature vode na koncentracijo raztopljenega kisika v vodi (Stevens et al., 1975) smo potrdili z izračunano negativno korelacijo med parametroma. Maksimalne koncentracije kisika smo tako izmerili v zimskih mesecih, ko je bila temperatura vode najnižja in najnižje vrednosti koncentracije kisika v poletnih mesecih, ko je bila temperatura vode najvišja.

Z analizo ugotavljamo, da so na območju obravnavanih merilnih mest temperaturne in kisikove razmere ugodne za ciljne ribje populacije. S kontinuiranim merjenjem teh parametrov tudi v prihodnosti bomo s podatki lahko izvedli kompleksnejše statistične analize, hkrati pa bomo imeli za vsak trenutek meritev podatke o kakovosti vode v reki Ljubljani, ki je ključnega pomena za preživetje različnih vodnih in obvodnih organizmov. Prihodnje kontinuirane meritve bodo pripomogle tudi k identifikaciji tako sezonskih kot hidroloških obdobj, ko so kisikove razmere lahko neugodne za določene vrste rib, pripomogle bodo pa tudi k optimizaciji delovanja in raziskavam vpliva prenovljenega pogonskega sistema zapornice na razmere v Ljubljani.

Viri

- Allan, J. D. (1995). *Stream Ecology*. London, Chapman & Hall, 388 p.
- ARSO. (2015a). Arhiv hidroloških podatkov površinskih voda. http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php (Pridobljeno 1. 8. 2015).
- ARSO. (2015b). Državna meteorološka služba. <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/maps/description/temperature/> (Pridobljeno 21. 5. 2015)
- ARSO. (2015c). Podatki o pretokih 2012–2014. Mira Kobold, osebna komunikacija, januar 2015.
- Baensch, H.A., Riehl, R. (1991). *Aquarien atlas*. Bd. 3. Melle: Mergus, Verlag für Natur-und Heimtierkunde, Germany. 1104 p.
- Bless, R. (1996). On the spawning behaviour and the ecology of early life stages of the soufie (*Leuciscus souffia* RISSO, 1826). *Fisch ökologie* 10, 1–10.
- Brezonik, P. L. (1972). Chemical kinetics and dynamics in natural water systems. In: Ciaccio, L.L. (Ed.), *Water and Water Pollution Handbook*. Vol. 3. Marcel Dekker, New York, 831–913.
- Brilly, M., Šraj, M. (2005). *Osnove hidrologije*. Univerzitetni učbenik. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, 309 p.
- Chanson, H. (1995). Predicting Oxygen Content Downstream of Weirs, Spillways and Waterways. *Proc. Instn Civ. Engrs Wat. Marit. & Energy, UK*, Vol. 112, Mar., 20–30
- Chapman, D., Kimstach, V. (1992). The Selection of Water Quality Variable In: *Water Quality Assessments*(Chapman, D. Ed.) Chapman and Hall Ltd., London, 51–119
- Clark, J.R. (1996). *Coastal zone management handbook*. London: Lewis Publishers
- Cristea, I. (2007). Managementul fondurilor piscicole din apele de munte. Ed. Silvică pg. 113–122 București. (in Romanian).
- 92/43/EGS (1992). Direktiva o ohranjanju naravnih habitatov ter prostoživečih živalskih in rastlinskih vrst.
- Doudoroff, P., Shumway D.L. (1970). *Dissolved oxygen requirements of freshwater fish*. FAO Technical Paper 86. Food Agricultural Organization of the United Nations, Rome, Italy.

- Douglas, E. (1964). Solubilities of oxygen, argon, and nitrogen in distilled water. *Journal of Physical Chemistry* **68**(1), 169–174.
- Freyhof, J. Kottelat, M. (2008). *Rutilus pigus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2008. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T1978.5A9014031.en> (Pridobljeno 4. 11. 2015.).
- Froese, R., Pauly, D. (2015). FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, (Pridobljeno 20. 7. 2015).
- Geist, J., Kolahsa, M., Gum, B., Kuehn, R. (2009). The importance of genetic cluster recognition for the conservation of migratory fish species: the example of the endangered European huchen *Hucho hucho* (L.). *J. Fish Biol.* **75**, 1063–1078.
- Gogala, A. (2008). *Narava Slovenije*. Ljubljansko barje in Iška. Ljubljana, Prirodoslovni muzej: 67 p.
- Golovanova, I. L., Kuz'mina, V.V., Golovanov, V. K. (2002). Action of High Temperatures on Digestive Hydrolases of the Goldfish *Carassius carassius* L., *Vopr. Ikhtiol.* **42**(1), 121–128.
- Hendricks, C.W. (1972). Enteric bacterial growth rates in river waters, *Appl. Microbiol.* **24**, 168–174.
- Kolman, G., Mikoš, M. (2006). Tipi ribjih prehodov in pregled razmer v Sloveniji. *Acta hydrotechnica* **24**(41), 1–26.
- Komatina, D. (2001). Basics of the natural river engineering. In: Marchetti, M. (ed.), Rivas, V. (ed.): Geomorphology and environmental impact assessment. A. A. Balkema, Lisse, 235 p.
- Košmelj, K. (2001). *Uporabna statistika*. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Ljubljana, 249 p.
- Kottelat, M., Freyhof, J. (2007). *Handbook of European freshwater fishes*. Publications Kottelat, Cornol and Freyhof, Berlin. 646 p.
- Kramer, D. L. (1987). Dissolved oxygen and fish behavior. *Environmental Biology of Fishes* **18**, 81–92.
- Lane, E. W., Carlson, E. J., Hanson, O. S. (1949). Low temperature increases sediment transportation in Colorado River. *Civ. Engin.* **19**, 45–46.
- Mikoš, M., Kranjc, A., Matičič, B., Müller, J., Rakovec, J., Roš, M., Brilly, M. (2002). Hidrološko izrazje = Terminology in hydrology. *Acta hydrotechnica* **20**(32), 3–324.
- Mrakovčić, M.; Brigić, A.; Buj, I.; Čaleta, M.; Mustafić, P.; Zanella, D. (2006). *Crvena knjiga slatkodvodnih riba Hrvatske*, Ministarstvo kulture, Zagreb, 253 p.
- Moore, W.G. (1942). Field studies on the oxygen requirements of certain freshwater fishes. *Ecology* **23**(3), 19–329.
- Najah, A., El-Shafie, A., Karim, O. A., Jaafar, O. (2011). Integrated versus isolated scenario for prediction dissolved oxygen at progression of water quality monitoring stations, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **15**, 2693–2708.
- Onset HOBO. (2012). Metodologija merjenja koncentracije raztopljenega kisika z merilnikom Onset HOBO. http://www.onsetcomp.com/files/manual_pdfs/DO-technology-background.pdf (Pridobljeno 15. 5. 2015).
- Onset HOBO. (2015a). Specifikacije merilnika koncentracije raztopljenega kisika. <http://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u26-001> (Pridobljeno 16. 5. 2015).
- Onset HOBO. (2015b). Specifikacije merilnika vodostaja <http://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u20-001-04> (Pridobljeno 15. 5. 2015).
- Päsärin, B. (2007). *Salmonicultură practică*. Ed. Alfa 69–71.
- Povž, M. (2014). Preliminarno poročilo o izlovu rib v Ljubljani, z dne 21. 10. 2014. <http://ksh.fgg.uni-lj.si/ljubljanaconnects/Data/Annex6.pdf> (Pridobljeno 4. 11. 2015).
- Pray, H. A., Schweickert, C. E., Minnich, B. H. (1952). Solubility of hydrogen, nitrogen and helium in water at elevated temperatures. *Ind. Eng. Chem.* **44**, 1146–1152.
- Ratschan, C. (2014). Aspekte zur Gefährdung und zum Schutz des Huchens in Österreich. Den 33.
- RAMP Regional Aquatics Monitoring Program. (2015). <http://www.ramp-alberta.org/river/water+sediment+quality/chemical/temperature+and+dissolved+oxygen.aspx> (Pridobljeno 5. 5. 2015).
- RD Metlika. (2015). <http://www.rdmetlika.si/index.php?show=ribe> (Pridobljeno 5. 5. 2015).
- Simonović, P., Nikolić, V., Tošić, A., Marić, S. (2011). Length-weight relationship in adult huchen *Hucho hucho* (L. 1758) from Drina River, Serbia, *Biologia, Bratislava*, **66**, 156–159.

- Stevens, H. H., Ficke, J. F., Smoot, G. F. (1975). Water temperature, influential factors, field measurement and data presentation. In: US Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, Book 1, Chapter D1.
- Šajn Slak, A., Čarman, S. (2013). Hidrometrična oprema za spremljanje ekološko sprejemljivega pretoka. V: 24. Mišičev vodarski dan, Maribor, 4. december 2013. Maribor, Zbornik referatov: Vodnogospodarski biro Maribor: 327–331
- Trilar, T. (1999). Ljubljansko barje (zvočni posnetek): skrivnostni svet živalskega oglašanja. Ljubljana, Prirodoslovni muzej Slovenije.
- UL RS 82/02 (2002). Pravilnik o uvrstitvi ogroženih rastlinskih in živalskih vrst na rdeči seznam.
- UL RS 46/02 (2002). Uredba o kakovosti površinskih voda za življenje sladkovodnih vrst rib
- UL RS 41/04 (2004). Uredba o kakovosti površinskih voda za življenje sladkovodnih vrst rib.
- UL RS 42/10 (2010). Pravilnik o uvrstitvi ogroženih rastlinskih in živalskih vrst na rdeči seznam.
- Urbanič G., Toman, M.J. (2003). *Varstvo celinskih voda*. Ljubljana, Študentska založba, Skripta: 94 p.
- Vodenik, B., Robič, M., Kobold, M. (2008). Vpliv podnebnih sprememb na temperaturo površinskih voda. V: 19. Mišičev vodarski dan, Maribor, 8. december 2008. Maribor, Zbornik referatov: Vodnogospodarski biro Maribor: 32–41.
- Wetzel, R. G. (1983). Periphyton of Freshwater Ecosystems. Proceedings of the First International Workshop on Periphyton of Freshwater Ecosystems. Developments in Hydrobiology, Vol. 17. B. V. Junk Publishers, The Hague. 356 p.
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and river ecosystems*. Academic Press. 1006 p.
- Wikipedija. (2015). Sulec. <https://sl.wikipedia.org/wiki/Sulec>.
- Zauner, G., Ratschan, C. (2005). Neunaugen und Fische. In: Ellmauer, T. (Hrsg.) (2005): Entwicklung von Kriterien, Indikatoren und Schwellenwerten zur Beurteilung des Erhaltungszustandes der Natura 2000-Schutzgüter. Band 2: Arten des Anhangs II der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie. Im Auftrag der neun österreichischen Bundesländer, des Bundesministerium f. Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und der Umweltbundesamt GmbH. 322–426.
- Zavod za ribištvo Slovenije (ZZRS) (2015). Javni dostop do baze Ribiškega katastra. https://webapl.mkgp.gov.si/apex/f?p=136:LOGIN_DES:KTOP:3162502070012 (Pridobljeno 4. 11. 2015).