RAZPOREDITEV VODNIH MAKROFITOV V DVEH VODOTOKIH KRAŠKE REKE LJUBLJANICE, OBRH IN RAK

DISTRIBUTION OF MACROPHYTES IN TWO TRIBUTARIES OF THE KARSTIC RIVER LJUBLJANICA, OBRH AND RAK

Marija KRAVANJA[1] & Mateja GERM[2]

http://dx.doi.org/10.3986/fbg0111

IZVLEČEK

Razporeditev vodnih makrofitov v dveh vodotokih kraške reke Ljubljanice, Obrh in Rak

Reke so prostorsko in časovno heterogeni sistemi, občutljivi na spremembe zaradi antropogenih vplivov. Ti lahko odločilno spremenijo kakovost vodnega ekosistema ter rečne združbe, vključno z makrofiti, ki sodelujejo v kroženju hranil, pretoku energije in procesih sedimentacije ter nudijo življenjski prostor drugim organizmom. Prisotnost, abundanca in razporeditev makrofitov lahko zato služijo kot indikatorji stanja vodnih ekosistemov. Reke, ki (deloma) tečejo pod zemljo, so zaradi manjše samočistilne sposobnosti še posebej občutljive na (človekove) vplive iz zaledja. S pomočjo prirejene metode RCE (angl. *A Riparian, Channel, and Environmental Inventory*) smo reko Rak uvrstili v prvi oz. drugi RCE kakovostni razred, reko Obrh pa v drugi oz. tretji RCE kakovostni razred. Na podlagi RMI indeksa (angl. *River Macrophyte Index*) smo reki Rak in Obrh uvrstili v zmerno, dobro oz. zelo dobro ekološko stanje, z izjemo prvega odseka Obrha, ki smo ga uvrstili v slabo ekološko stanje. Ekomorfološka ohranjenost obeh rek ter ugodne razmere za rast makrofitov omogočajo njihovo visoko vrstno pestrost: v Obrhu smo zabeležili 36 taksonov, v Raku pa 38, pri čemer smo v slednji prvič zabeležili prisotnost vrste *Myriophyllum verticillatum* L. Skoraj tretjina vrst, prisotnih v vsaki izmed rek, je uvrščenih na Rdeči seznam ogroženih praprotnic in semenk, kar dokazuje visoko stopnjo njune ohranjenosti ter poudarja pomen ustreznega upravljanja kraških vodotokov.

Ključne besede: kras, makrofiti, Obrh, Rak, RCE metoda, RMI, Ljubljanica *s. lat.*

ABSTRACT

Distribution of macrophytes in two tributaries of the karstic River Ljubljanica, Obrh and Rak

Rivers are spatially and temporally heterogeneous systems that are susceptible to changes due to anthropogenic influences. These can significantly alter water quality and river communities, including macrophytes, which are involved in nutrient cycling, energy flow and sedimentation processes, and provide habitats for other organisms. The presence, abundance, and distribution of macrophytes can thus serve as indicators of the state of aquatic ecosystems. Rivers that flow (partially) underground are particularly susceptible to (human) impacts from the hinterland due to their lower self-purification capacity. Using a modified RCE (a Riparian, Channel, and Environmental Inventory) method, we classified the Rak River as first or second RCE quality class, and the Obrh River as second or third RCE quality class. According to the River Macrophyte Index (RMI), the ecological status of both rivers was moderate, good or very good, except for the first section of the Obrh, the status of which was assessed as poor. The ecomorphological preservation of both rivers and suitable conditions for macrophyte growth contribute to the high species diversity observed in both rivers: a total of 36 taxa were recorded in the Obrh and 38 in the Rak. In the latter, the presence of *Myriophyllum verticillatum* L. was recorded for the first time at the time of our sampling. Almost one third of the species in each of the rivers are listed on the Slovenian Red list of threatened pteridophytes and seed plants, supporting the evidence of their high naturalness and emphasizing the importance of appropriate management of karst watercourses.

Keywords: karst, macrophytes, Obrh, Rak, RCE method, RMI, Ljubljanica *s. lat.*

[1] Marija Kravanja, marija.kravanja@gozdis.si, Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija

[2] dr. Mateja Germ, mateja.germ@bf.uni-lj.si, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Večna pot 111, SI-1000 Ljubljana, Slovenija

UVOD

Slovenija velja za eno najbolj z vodnimi viri bogatih evropskih držav, saj je prepletena z obsežno mrežo tekočih voda, ki prečkajo krajino. Zaradi velike razgibanosti terena in kamninske sestave so vodotoki povečini kratki, le okoli 22 % je daljših od 25 km. Tudi v geoloških plasteh, ki prevajajo in akumulirajo podzemno vodo, je velika količina zalog, ki so v Sloveniji glavni vir pitne vode. Kakovost slovenskih voda je v evropskem vrhu, a se kljub temu pojavljajo težave v zvezi s kakovostjo tako površinskih kot tudi podzemnih voda (ARSO 2008, 2015a, 2015b). Strupene snovi, nevarne kemikalije, gnojila in sredstva za zatiranje škodljivcev ter nezaželeni, potencialno patogeni mikroorganizmi, se spirajo s cest, kmetijskih in urbanih površin, kar ogroža vodne ekosisteme in posledično negativno vpliva tudi na ljudi (ARSO 2008). Podtalnica in površinska voda namreč na kraškem ozemlju predstavljata enoten dinamičen sistem (Bonacci, Željković & Galić 2012).

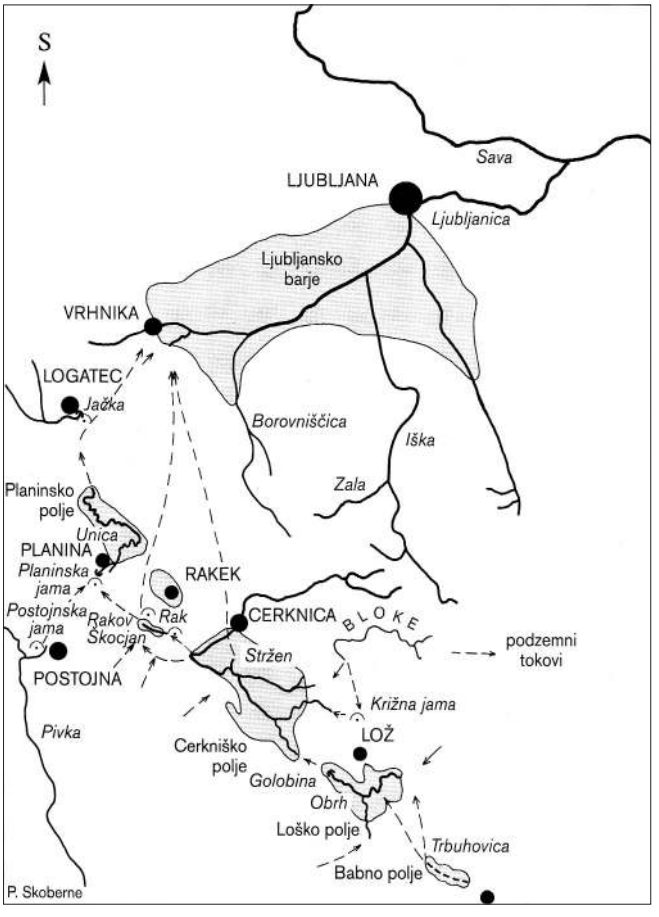
Na kraškem terenu, ki ga definira kamninska podlaga, ustrezna za razvoj značilnih geomorfoloških pojavov (v Sloveniji so to zlasti apnenci in dolomiti, ki prekrivajo približno 39 % njene površine; Gostinčar & Stepišnik 2023), je pomemben dejavnik pri razvoju rečnih sistemov predvsem lokalna topografija (Bonacci, Željković & Galić 2012). Slovenski kras sestavljajo dinarski, predalpski in alpski kras. Dinarski kras, ki ga delimo na visoki (visoke kraške planote: Banjšice, Trnovski gozd, Hrušica, Nanos, Javorniki in Snežnik) in nizki dinarski kras (kras v nižinskih predelih: Notranjsko podolje, Pivška kotlina, Kras), se v nizu kraških polj, obdanih z višjimi planotami razteza v smeri SZ – JV (Habič 1969; Zupan Hajna, Mihevc & Prelovšek 2010). Vzdolž idrijskega preloma so se v tej smeri razvila najpomembnejša kraška polja pri nas: Planinsko, Cerkniško, Loško in Babno polje (Zupan Hajna 2004). Glavne značilnost kraških polj so izrazita nihanja vodostaja (spomladanske in jesenske poplave ter poletne suše), ki so posledica velike količine padavin in odtekanja vode v obsežen podzemni drenažni sistem v karbonatnih kamninah (Gams 1994, 1998). Dolžina površinskega dela reke je odvisna od debeline in količine rečnega transporta, pretoka reke, votlikavosti kamnine in globine vodne gladine (Gams 2003). V slovenski krasoslovski terminologiji so se dolgo pojavljala vprašanja glede terminov polje in dolina. Loško polje je primer, za katerega se uporabljata oba pojma, saj ga prebivalci tega območja zgodovinsko imenujejo dolina, torej Loška dolina. To ime zasledimo v geografski literaturi, na zemljevidih, uporablja pa se tudi kot ime občine (Čad 1996).

Rečni sistemi so ves čas podvrženi spreminjanju, tako v vzorcih procesov erozije in depozicije, kot v odzivih na antropogene vplive na reke same ter njihovo zaledje (Haslam 1987). Skozi čas se spreminjajo bregovi, rečni tok, dno, kakovost voda in rečne združbe. Značilnosti rek so odvisne od lateralnih, longitudinalnih in vertikalnih vplivov ter časovne komponente (Ward 1989). Štiridimenzionalni sistem rek omogoča izmenjavo snovi, energije in organizmov (Settele s sodelavci 2014). Antropogeni vplivi (spreminjanje fizičnih lastnosti struge in obrežne vegetacije, raba tal za obrežnim pasom idr.) se odražajo v slabšanju kakovosti vode in spremembah združb vodnih organizmov (Petersen 1992, Holmes 1999). Ekološko stanje voda se ocenjuje na podlagi bioloških elementov kakovosti (fitoplankton, fitobentos in makrofiti, ribe ter bentoški nevretenčarji) in podpornih fizikalno-kemijskih in hidromorfoloških elementov. Izhodišče vrednotenja je merjenje spremenjenosti strukture in funkcije ekosistema od naravnega stanja, tj. stanja, pri katerem ni opaziti vpliva človeka, oziroma je njegov vpliv zelo majhen (ARSO 2008). Rečni organizmi so podvrženi številnim pritiskom, ki so posledica lastnosti povodja (geologije, naklona, parametrov pokrovnosti tal) ter človekovega vpliva (rabe tal v zaledju, sprememb obrežne vegetacije, strukture rečne struge ipd). Ti pritiski lahko odločilno spremenijo rečne združbe vključno z makrofiti, ki poleg sodelovanja v kroženju hranil in pretoku energije ter procesih sedimentacije nudijo zaščito in življenjski prostor številnim drugim organizmom in so tako bistvenega pomena za delovanje rečnih sistemov (Fox 1992; Sand-Jensen & Mebus 1996; Holmes 1999; Baattrup-Pedersen, Larsen & Riis 2002; Kuhar s sodelavci 2007; Kuhar, Germ & Gaberščik 2018). Vodni sistemi so nemalokrat preobremenjeni s hranilnimi snovmi. Makrofiti so jih sposobni privzemati iz vode in sedimenta ter jih vgraditi v lastno biomaso (Asaeda s sodelavci 2001). Poleg hranil lahko akumulirajo, zadržijo ali razgradijo tudi številne strupene snovi in mikroorganizme. Ko odmrejo, pa se ob njihovi razgradnji lahko te snovi sproščajo nazaj v okolje (Germ 2009), zato imajo pomembno vlogo pri uravnavanju količine hranilnih snovi v vodi. S svojimi fiziološkimi procesi pa vplivajo tudi na količino plinov v vodi. Za dihanje aerobnih organizmov v vodi je pomembna predvsem količina prostega kisika v njej. Prav tako je kisik pomemben za oksidacijske in redukcijske procese v vodi in sedimentu. Difuzija kisika in CO_2 v vodi je v primerjavi z difuzijo v zraku veliko počasnejša, vzrok za to je v večji difuzijski upornosti (Tse & Sandall, 1979). Počasnejša difuzija plinov je skupaj z

dostopnostjo svetlobe najbolj omejujoč dejavnik za uspevanje makrofitov (Maberly & Spence 1989), poleg njiju pa na njihovo prisotnost in razporeditev vplivajo še hidrološke razmere, globina vode, hitrost toka, tip substrata, kemizem vode, kompeticija, paša (ang. *grazing*) in alelopatija (Pip 1989; Germ s sodelavci 2021). Antropogene obremenitve vodnih teles lahko vplivajo na večino teh dejavnikov (Baattrup-Pedersen s sodelavci 2006). V nižinskih vodotokih širom Evrope se v zadnjih desetletjih opaža trend upadanja vrstne pestrosti makrofitov ter poenotenja njihovih združb; v številnih sistemih hitro rastoče vrste s široko ekološko valenco zaradi ugodnih razmer zlahka nadvladajo in zavirajo razvoj drugih, zahtevnejših vrst (Baattrup-Pedersen, Larsen & Riis 2003; Baattrup-Pedersen & Riis 1999).

Koncentracija kisika v vodi se neprestano spreminja; odvisna je od temperature, atmosferskega tlaka, slanosti, turbulence vodnega toka ter bioloških procesov kot sta fotosinteza in respiracija (Urbanič & Toman 2003). Ogljik je v vodi prisoten kot prosti ogljikov dioksid (CO_2), bikarbonatni ion (HCO_3^-) in karbonatni ion (CO_3^{2-}). Makrofiti lahko za fotosintezo izkoriščajo CO_2 in HCO_3^- (Madsen, Maberly & Bowes 1996). Razmerje med posameznimi oblikami je odvisno od pH, pri čemer v vodnih sistemih s karbonatno podlago prevladuje bikarbonatni ion. Raztopljen anorganski ogljik je pogosto razlog za kompeticijo v vodnih sistemih (Jones 2005). Eden najpomembnejših elementov za rast in razvoj makrofitov je fosfor, v vodi prisoten v obliki ortofosfata. V tej obliki ga lahko sprejmejo primarni proizvajalci. Največkrat je omejujoč dejavnik primarne produkcije, saj so njegove koncentracije v vodnih sistemih majhne (Wetzel 2001). Velike koncentracije fosforja v vodnih sistemih (te so mnogokrat posledica antropogenih dejavnikov) so znak onesnaženosti, ki se kaže v povečani produktivnosti alg in evtrofikacijskih procesih (Urbanič in Toman 2003). Dušik, nepogrešljiv gradnik vsake žive celice, je v vodi prisoten v obliki nitritnega (NO_2^-), nitratnega (NO_3^-) in amonijevega (NH_4^+) iona, kot vir dušika za vodne rastline sta pomembni predvsem slednji dve obliki (Wetzel 2001).

Kompeticijski potencial makrofitov je odvisen od njihove rastne dinamike, asimilacije ogljika, pridobivanja energije ter privzemanja hranil (Murphy, Rørslett & Springuel 1990), ki je v rekah spremenljivo zaradi rastne dinamike makrofitov in sezonskosti



Slika 1: Kraška reka Ljubljanica s. lat., ki združuje sedem površinskih vodotokov (Trbuhovica, Obrh, Stržen, Rak, Pivka, Unica, Ljubljanica s. str.), povezanih s podzemnimi tokovi. S sivo so označena kraška polja, s črnimi krogi pa naselja (Skoberne 2004).
Figure 1: The karstic Ljubljanica River s. lat. combining seven surface watercourses (Trbuhovica, Obrh, Stržen, Rak, Pivka, Unica, Ljubljanica s. str.), connected by groundwater flows. Karst fields are marked in grey, settlements in black circles (Skoberne 2004).

(Riis s sodelavci 2019). Zaradi svoje ključne vloge v vodnih ekosistemih so makrofiti vključeni v Evropsko okvirno vodno direktivo (ang. *EU Water Framework Directive*) kot eden izmed štirih bioloških elementov kakovosti za oceno ekološkega stanja rek in jezer (Dodkins, Rippey & Hale 2005).

Presihajoč vodni režim kraških rek zaradi velikih nihanj vodostaja izrazito vpliva na razmere v vodnem okolju. V primerjavi s stalnimi vodotoki je biota v njih podvržena ekstremnim spremembam vključno s popolnimi presušitvami. Te reke del svoje poti pretečejo pod zemljo, zaradi česar je njihova samočistilna sposobnost manjša, ranljivost na antropogene vplive pa večja (Gaberščik s sodelavci 1994). Uspevanje makrofitov, njihovo razmnoževanje in razporeditev ter struktura združb so v presihajočih rekah odvisne od trajanja poplavljenosti, globine vode in zadrževalnega časa vode (Barrat-Segretain, Henry & Bornette 1999; Riis & Hawes 2002; Capers 2003; Warwick & Brock 2003). V takih okoljih so dobro zastopane rastline z amfibijskim značajem, katerih spremembo rastne oblike ali oblike listov sprožajo okoljske spremembe, povezane z nihanjem vodne gladine kot so koncentracija CO_2, jakost in kakovost svetlobe, temperatura in osmotski stres (Fernández-Aláez C., Fernández-Aláez M. & Bécarez E. 1999; Warwick & Brock 2003; Williams s sodelavci 2003; Gaberščik s sodelavci 2003; Urbanc-Berčič s sodelavci 2005; Li s sodelavci 2019; Zelnik s sodelavci 2021).

Ljubljanica *s.lat.* je značilna kraška reka, ki si je svojo pot do izliva v Savo pri Podgradu utrla deloma po površju in deloma pod zemljo. Zaradi izmeničnega ponikanja in pojavljanja na površini je dobila tudi poimenovanje reka sedmerih imen, saj jo skupno sestavlja sedem občasnih in stalnih površinskih tokov, med seboj povezanih s podzemnimi tokovi. Glavni rečni tok oblikujejo kraški vodotoki Trbuhovica, Obrh, Stržen, Rak in Unica. Pivka predstavlja njen zahodni krak, ki se v Planinski jami združi z Rakom. Ljubljanico *s.lat.* šele od kraških izvirov pri Vrhniki naprej imenujemo Ljubljanica *s.str.* (Slika 1). Njeno kraško pot končajo neprepustne naplavine Ljubljanskega barja (Skoberne 2004; Pavšič 2008).

Namen študije je bil ugotoviti prisotnost, abundanco in razporeditev makrofitov v dveh vodotokih rečnega sistema Ljubljanice *s. lat.,* Obrh in Rak, opraviti širšo okoljsko oceno obeh rek s pomočjo prirejene metode RCE (ang. *A Riparian, Channel, and Environmental Inventory*) ter ovrednotiti ekološko stanje rek na podlagi indeksa rečnih makrofitov (ang. *River Macrophyte Index – RMI*). Z zajemanjem vzorcev vode vzdolž izbranih rek smo želeli preveriti stanje njune obremenjenosti s hranili (nitrati in ortofosfati) ter morebiten vpliv na pojavljanje makrofitov. Ugotoviti smo želeli tudi morebitne povezave med razporeditvijo makrofitskih taksonov ter izmerjenimi fizikalnimi in kemijskimi parametri vode vzdolž obeh rek.

Pred začetkom raziskovalnega dela smo si postavili delovne hipoteze:

1. Zaradi kraškega značaja preučevanih rek ter omejenega poseganja človeka vanju bo vrstna pestrost makrofitov v obeh rekah visoka.
2. V obeh kraških rekah bodo zaradi značilnega nihanja vodostaja prevladovale rastline z ambifijskim značajem ter močvirske rastline.
3. Koncentracije hranil se bodo zaradi privzema s strani makrofitov po rekah dolvodno zniževale.
4. Širša okoljska ocena po prirejeni metodi RCE se bo zaradi razlik v vplivih iz zaledja med rekama razlikovala: boljšo oceno pričakujemo za reko Rak, zaledje katerega je manj spremenjeno zaradi človekove dejavnosti.
5. Ekološko stanje glede na RMI se bo med rekama razlikovalo in spreminjalo vzdolž vsake izmed njiju.
6. Razporeditev makrofitskih taksonov vzdolž preučevanih rek je povezana s fizikalnimi in kemijskimi parametri vode.

MATERIALI IN METODE

Opis preučevanega območja

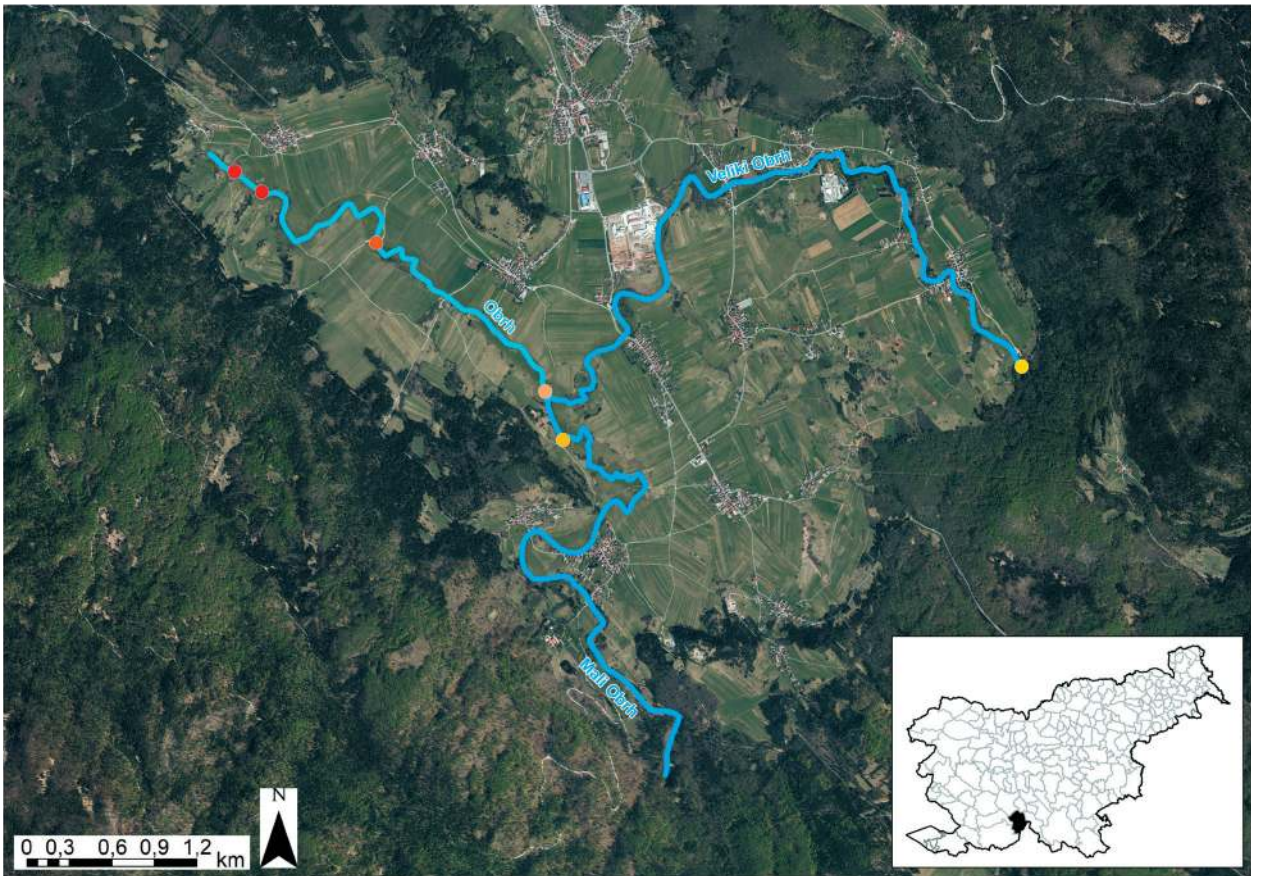
LOŠKO POLJE IN REKA OBRH

Loško polje, drugo v nizu kraških polj desnega (vzhodnega) kraka Ljubljanice *s. lat*., leži na nadmorski višini 570 – 590 m in se od ostalih polj njenega porečja razlikuje po legi, obliki in vodnih razmerah, pa tudi po gospodarski izrabi površja (Habič 1977). Z vseh strani zaprta kraška globel meri v dolžino največ 6 km in v širino do 4 km. Ima precej ravno dno, obdajajo pa jo Bloke in Racna gora na severu in vzhodu, Snežniško pogorje na jugu ter južni obronki Javornikov na vzhodu. Loško polje uvrščamo v ti. prelivna (tudi izvorno-ponorniška) polja, za katere je značilna lega kraških izvirov na eni in ponorov na drugi strani polja; nepropustne ali polpropustne kamnine na dnu tovrstnih polj povzročajo na pritočni strani dvigovanje podzemeljskih voda,

ki se nato prelijejo čez dno polja in na nasprotni strani na robnem apnencu znova poniknejo (Gams 2003). Na Loškem polju imajo pomembno hidrografsko vlogo dolomiti, ki so v smeri SZ-JV narinjeni na jurske in kredne kamnine in silijo kraške vode z vzhodnega apnenčastega obrobja, da se prelivajo na površje. Pas triasnega, slabo prepustnega dolomita se na polju razširi na 1,5 km in preprečuje odtekanje vode v podzemlje. Ta ponikne v apnencih zahodno od idrijskega preloma v skrajnem severozahodnem delu polja (Habič 1977; Gams 2003).

Veliki Obrh predstavlja skupaj z Malim Obrhom in izviri pri gradu Snežnik prvo izvirno območje Ljubljanice na območju Slovenije. Prispevno območje obsega povodje Trbuhovice na Hrvaškem, Babno polje, Retje in Racno goro ter snežniškega masiva na jugu (Hidrološki letopis Slovenije 2009). Stalni je samo izvir Veliki Obrh pri Vrhniki ob vznožju Racne gore, medtem ko Mali (Grajski) Obrh, ki izvira na skrajnem JV delu polja pri gradu Snežnik, ob nizkih vodah često presahne ter se na površju prikaže šele približno 500 m dolvodno. Mali in Veliki Obrh se združita pri vasi Pudob, od koder nadaljujeta približno 3,5 km dolgo pot pod skupnim imenom (Loški) Obrh (Slika 2; Habič 1977; Čad 1996).

Za Loško polje so značilne kraške poplave v jesenskem in pomladanskem času. Vzroki zanje so spomladansko taljenje snega, velika količina padavin ter veliko hidrografsko zaledje Loškega polja, ki obsega pogorje Snežnika, Javornike, Babno polje, Bloško planoto in Racno goro. Večji del polja je pritočni s kraškimi izviri Veliki Obrh, Mali Obrh, Loški in Viševski Brežiček idr., ki po večjem deževju na polje dovajajo velike količine vode. Manjši del polja med Nadleskom in Danami je odtočni. Na tem mestu se nahajajo požiralniki



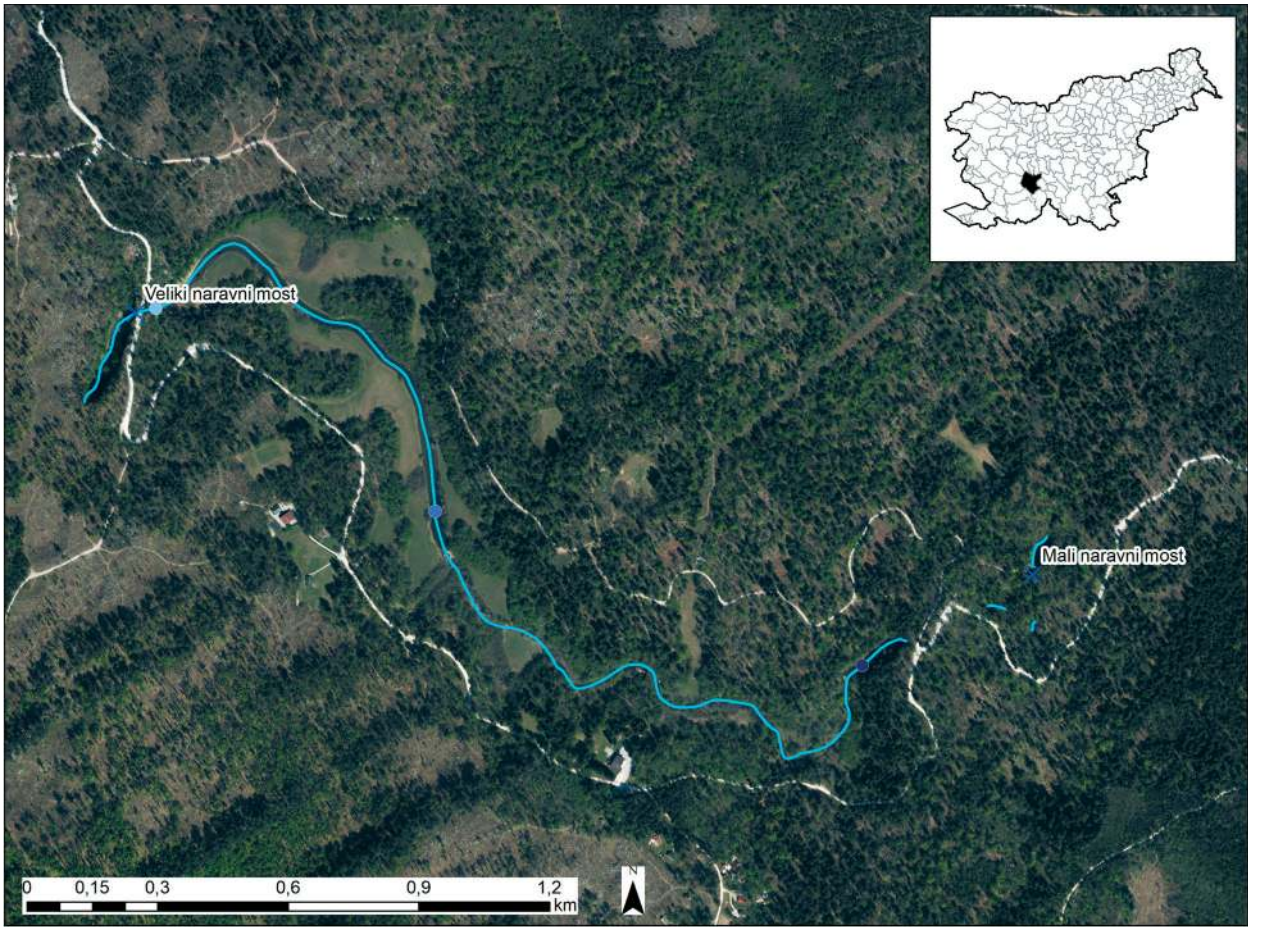
Slika 2: Preučevano območje – Loško polje z reko Obrh (temno modra), ki nastane z zlitjem Velikega in Malega Obrha (svetlo modra). Z barvnimi krogi so označene točke odvzema vzorcev vode za analizo vsebnosti nitratov in ortofosfatov. Na istih mestih smo spomladi, poleti in jeseni opravili meritve fizikalnih in kemijskih parametrov vode. Barve krogov sovpadajo s tistimi na Slikah 6 in 7.

Figure 2: Study area – Lož polje with Obrh River (dark blue), which is formed by the confluence of Veliki Obrh and Mali Obrh (light blue). The coloured circles indicate the sites from which water samples were collected for subsequent analysis of nitrate and orthophosphate content. At the same locations, measurements of physical and chemical water parameters were performed in spring, summer and autumn. The colours of the circles correspond to those in Figures 6 and 7.

in ponorna jama Golobina. Zaradi velike razlike med dotokom in odtokom ter majhnih kapacitet podzemnih kanalov voda zastaja in poplavlja polje (Habič 1978; Kržič 2015). Vode z Loškega polja se pod površjem pretočijo na Cerkniško polje.

RAKOV ŠKOCJAN IN REKA RAK

Rakov Škocjan je približno 1,5 km dolga in 200 m široka kraška kotlina v občini Cerknica. Leži v SZ delu Notranjskega podolja med Unško-Rakovškim poljem na severu, Javorniki na jugu, Cerkniškim poljem na jugovzhodu in Planinskim poljem na severozahodu (Slika 1). Celotno območje Rakovega Škocjana je zakraselo, kamnito in vrtačasto, gradijo ga apnenci spodnjekredne starosti (Pleničar 1963; Zupan Hajna, Mihevc & Prelovšek 2010; Stepišnik & Repe 2015). Kot prirodni spomenik je bilo zavarovano že leta 1949 (Ur. l. LRS 1949), danes je razglašeno za krajinski park oz. naravni spomenik kot del Notranjskega regijskega parka (Ur. l. RS 2002a). Skozenj teče v plitvem kanjonu približno dva kilometra dolga reka Rak, ki izvira iz Zelških jam (504 m n. v.) na JV delu doline, ponikne pa v Tkalca jamo (497 m n. v.) na njenem severozahodnem delu (Slika 3). Napajajo jo vode, ki poniknejo na SZ robu Cerkniškega polja, ter vode, ki pronicajo skozi kraški masiv Javornikov. Zelške jame so dolge približno 5 km; končujejo se v veliki udornici Velika Šujca,



Slika 3: Preučevano območje - Rakov Škocjan z reko Rak, označeno s svetlo modro barvo. Lokaciji Malega in Velikega naravnega mostu označujeta temno modro obarvana križca. Z modrimi krogi so označene točke odvzema vzorcev vode za analizo vsebnosti nitratov in ortofosfatov. Na istih mestih smo spomladi, poleti in jeseni opravili meritve fizikalnih in kemijskih parametrov vode. Barve krogov sovpadajo s tistimi na Slikah 6 in 7.
Figure 3: Study area - Rakov Škocjan with the Rak River (in light blue). Dark blue crosses indicate the locations of the Small and the Great Natural Bridge. The blue circles indicate the sites from which water samples were collected for subsequent analysis of nitrate and orthophosphate content. At the same locations, measurements of physical and chemical water parameters were performed in spring, summer and autumn. The colours of the circles correspond to those in Figures 6 and 7.

kjer se z druge strani konča jamski sistem Karlovica, ki je glavni odtok s Cerkniškega polja (Zupan Hajna, Mihevc & Prelovšek 2010; Stepišnik & Repe 2015). Ob nizkih vodostajih voda ponika v živoskalni strugi in presahne že na polovici doline. Zgornji del doline Raka je 200 m dolga in do 30 m široka zatrepna dolina v obliki kanjona, ki ga zapirajo od 10 do 15 m visoke strme do navpične stene. Dolvodno se dolina razširi na približno 80 m. Dno struge je živoskalno, ob strugi pa se začne pojavljati naplavna ravnica, ki sega do nadmorske višine 505 metrov. Pobočja doline zajedajo zatrepne doline občasnih pritokov. V prvih 350 m doline Raka, kjer je njegov strmec 5,7, se rečna struga spusti skoraj do nadmorske višine 502 m. Zatem se hidrografsko aktivno dno doline razširi na povprečno 200 m in je najširše v osrednjem delu ter na območju Farovke, kjer doseže širino 300 m. Struga je z obeh strani obdana z obsežno naplavno ravnico, ki sega do 515 m n. m. Strmec reke je v tem delu minimalen, saj je nadmorska višina rečne struge tik pred Velikim naravnim mostom 502 m, kar je le nekaj decimetrov pod nadmorsko višino struge ob koncu zgornjega, ožjega dela doline. Dolina se zaključi s 40 m visoko steno, skozi katero teče Rak pod Velikim naravnim mostom v Škocjansko udornico in ponikne v Tkalca jamo (Ferk & Stepišnik 2011). Od tod podzemno nadaljuje svojo pot proti Planinski jami, kjer se z reko Pivko združi v reko Unico.

METODE

V obeh rekah in smo spomladi, poleti in jeseni na petih (Obrh) oz. treh (Rak) izbranih mestih (Slika 2, Slika 3) izmerili fizikalne in kemijske parametre vode (temperaturo, pH, električno prevodnost, koncentracijo in nasičenost s kisikom) ter odvzeli vzorce vode za določanje vsebnosti nitratov in ortofosfatov. Reka Obrh je imela ob spomladanskem obisku (30. 5. 2023) visok vodostaj, ki je omogočal meritve pri zadnjem mostu čez reko pred ponorno jamo Golobina v bližini vasi Dane, medtem ko je bil v času poletnega (7., 8. in 15. 7. 2023) in jesenskega (16. 9. 2023) popisa ta del struge suh, zato smo meritve in odvzem vzorcev izvedli na mestu ponika približno 200 metrov višje (rdeči piki na Sliki 2). Meritve in odvzem vzorcev smo izvedli tudi na Malem Obrhu (pri zadnjem mostičku približno 380 m nad sotočjem, saj je bila poleti in jeseni od tega mesta navzgor njegova struga suha) ter na izviru Velikega Obrha pri vasi Vrhnika.

Na reki Obrh smo vzorce vode odvzeli na izviru Velikega Obrha pri Vrhniki, pri zadnjem mostičku čez Mali Obrh (380 m nad sotočjem z Velikim), na sotočju, pri drugem mostu čez Obrh v bližini vasi Podcerkev ter na mestu ponora v bližini vasi Dane (Slika 2). Mesta odvzema vzorcev vode za določanje vsebnosti nitratov in ortofosfatov oz. mesta izvedbe meritev fizikalnih in kemijskih parametrov na reki Rak so označena na Sliki 3: prvo je bilo na izviru Raka, drugo v njegovem srednjem delu v bližini Centra šolskih in obšolskih dejavnosti Rak ter tretje pred Velikim naravnim mostom (ponikom v Tkalca jamo).

Na Katedri za ekologijo in varstvo okolja Oddelka za biologijo BF UL smo izmerili vsebnost nitratov in ortofosfatov v vzorcih vode. En dan pred laboratorijskimi analizami smo vzorce vzeli iz zmrzovalnika. Pred začetkom meritev smo jih prefiltrirali skozi stekleni filter s porami velikosti 0,45 µm. Za določanje koncentracije ortofosfatov smo uporabili metodo z amonmolibdatom in merjenjem ekstikcije pri valovni dolžini 690 nm, za določanje koncentracije nitratov pa metodo z natrijevim salicilatom in merjenjem ekstinkcije pri valovni dolžini 430 nm (Urbanič & Toman 2003).

Na višku sezone, poleti 2023 smo opravili popis makrofitov ter ocenili stopnjo ohranjenosti obeh rek s pomočjo prirejene RCE metode (Petersen 1992). Terensko delo je potekalo 27. in 28. 6. 2023 na reki Rak ter 7., 8. in 15. 7. 2023 na reki Obrh.

Okoljsko oceno s pomočjo prirejene RCE metode smo izvedli z ocenjevanjem 12 parametrov (v originalu 16), katerih štiri opisne stopnje zajemajo gradient kakovosti za posamezen dejavnik. Upoštevali smo rabo tal za obrežnim pasom, lastnosti obrežnega pasu (sklenjenost vegetacije in tip vegetacije v oddaljenosti 0 do 10 metrov od struge) ter morfologijo struge: obliko, usedline, prisotnost zadrževalnih struktur v strugi, dno reke (tip substrata in detrit), strukturo in spodjedanje rečnega brega, pojavljanje brzic, tolmunov in meandrov. Na podlagi seštevka pridobljenih vrednosti parametrov smo posamezne odseke uvrstili v enega izmed petih RCE kakovostnih razredov, podrobneje predstavljenih v Preglednici 1. Reki smo razdelili na 16 (Obrh) oz. 19 (Rak) odsekov, v vsakem izmed njih smo izvedli meritve zgoraj omenjenih fizikalnih in kemijskih parametrov vode ter na podlagi vrstne sestave in abundance makrofitov ocenili njihovo ekološko stanje s pomočjo indeksa rečnih makrofitov (RMI; Kuhar s sodelavci 2011).

Preglednica 1: RCE kakovostni razredi.
Table 1: RCE quality classes.

Razred	Št. točk	Ocena	Barva	Priporočena dejavnost
I	227-280	odlično	modra	Biomonitoring in zaščita obstoječega stanja – referenčna lokacija
II	173-226	zelo dobro	zelena	Potrebne so spremembe na posameznih odsekih
III	119-172	dobro	rumena	Potrebne so manjše spremembe vzdolž večjega dela struge
IV	65-118	slabo	rjava	Potrebne so večje spremembe struge in blaženje učinkov iz zaledja
V	12-64	zelo slabo	rdeča	Potrebna je reorganizacija struge in blaženje učinkov iz zaledja

Abundanco makrofitov smo ocenili na podlagi petstopenjske lestvice (1 - posamična vrsta, 2 – redka vrsta, 3 - pogosta vrsta, 4 - množična vrsta, 5 – prevladujoča vrsta; Kohler 1978) v vsakem od rečnih odsekov. Reki smo razdelili na odseke (Preglednica 2, Preglednica 3), začetek novega odseka smo določili ob vsaki vidni spremembi prisotnosti, abundance, rabe tal v zaledju, struge ali obrežne vegetacije. Koordinate začetnih in končnih pregledanih odsekov smo pridobili s pomočjo GPS naprave in jih vnesli v program QGIS 3.34.0, s pomočjo katerega smo izmerili dolžine pregledanih odsekov ter izrisali karte njihove ohranjenosti. Označili smo tudi, v kakšno ekološko stanje je bil glede na RMI uvrščen posamezen odsek preučevanih rek.

Preglednica 2: Začetne koordinate in dolžine pregledanih odsekov reke Obrh.
Table 2: Starting point coordinates and lengths of the examined sections of the Obrh River.

Št. odseka	Zemljepisna širina začetne točke odseka [°N]	Zemljepisna dolžina začetne točke odseka [°E]	Dolžina odseka [m]
1	45.696980	14.468920	284
2	45.699152	14.467329	124
3	45.699821	14.466153	526
4	45.702367	14.460883	408
5	45.704649	14.456856	402
6	45.705379	14.454484	127
7	45.706328	14.453639	150
8	45.707554	14.454289	49
9	45.707944	14.454086	82
10	45.708365	14.453364	79
11	45.707947	14.452560	145
12	45.708644	14.451285	489
13	45.706268	14.446513	163
14	45.707460	14.445324	183
15	45.708878	14.445838	115
16	45.709176	14.444444	120
končna točka zadnjega odseka	45.709611	14.443694	

Preglednica 3: Začetne koordinate in dolžine pregledanih odsekov reke Rak.
Table 3: Starting point coordinates and lengths of the examined sections of the Rak River.

Št. odseka	Zemljepisna širina začetne točke odseka [°N]	Zemljepisna dolžina začetne točke odseka [°E]	Dolžina odseka [m]
1	45.7901761	14.3026885	136
2	45.7891463	14.3021765	114
3	45.7890385	14.3009926	70
4	45.7895590	14.3005240	120
5	45.7896576	14.2989843	14

6	45.7896021	14.2988747	47
7	45.7898294	14.2985160	121
8	45.7900280	14.2973200	71
9	45.7900592	14.2966009	43
10	45.7903290	14.2962090	61
11	45.7906579	14.2956037	165
12	45.7916060	14.2943420	85
13	45.7922789	14.2938080	47
14	45.7926803	14.2936994	130
15	45.7938230	14.2933909	199
16	45.7950850	14.2918080	103
17	45.7955863	14.2907543	96
18	45.7962058	14.2899332	160
končna točka zadnjega odseka	45.7954370	14.2885110	

Fizikalne in kemijske parametre vode (pH, temperaturo [°C], koncentracijo kisika [mg/L] in nasičenost s kisikom [%] ter električno prevodnost [µS/cm]) smo izmerili z multimetrom EUTECH, PCD 650. Makrofite v reki Obrh smo pregledali z brega oz. bredenjem po strugi, pri čemer smo si pomagali s teleskopsko palico s kavlji (»makrofitolovcem«). Na enak način smo pregledali tudi zgornji, plitvejši del reke Rak, v spodnjem, globljem delu pa je vzorčenje potekalo s čolna, pri čemer smo si prav tako pomagali s teleskopsko palico. Večino rastlin smo določili na terenu, nekaj težje določljivih pa smo nabrali za kasnejše določanje v laboratoriju. Vsem taksonom smo pripisali njihove rastne oblike (Janauer 2002): plavajoča neukoreninjena (ap), potopljena ukoreninjena (sa), plavajoča ukoreninjena (fl), rastlina z amfibijskim značajem (am) ali močvirska rastlina oz. helofit (he). Po petstopenjski lestvici smo ocenili abundanco posameznega taksona v posameznem odseku (Pall & Janauer 1995). Količino interpretiramo kot masni indeks (MI), ki je z dejansko biomaso (PM) povezan s funkcijo $f(x) = x^3$ (Melzer s sodelavci 1986, cit. po Pall & Janauer 1995). Za računanje kvantitativne pomembnosti taksona smo uporabili relativno rastlinsko abundanco (RPA). Za izračun RPA posameznega taksona (RPA_x) potrebujemo podatek o njegovi rastlinski masi na rečnem odseku i (PM_{xi}) ter podatek o dolžini rečnega odseka i (L_i):

$$RPA_x[\%] = \frac{\sum_{i=1}^{n} (PM_{xi} \cdot L_i) \cdot 100}{\sum_{j=1}^{k} (\sum_{i=1}^{n} (PM_{ji} \cdot L_i))}$$

Izračunali smo povprečni masni indeks taksona na vseh odsekih reke (MMT) ter povprečni masni indeks taksona na odsekih, kjer se ta pojavlja (MMO):

$$MMT = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^{n} MI_i^3 \cdot AL_i}{GL}}$$

$$MMO = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=x}^{n} MI_i^3 \cdot AL_i}{\sum_{i=x}^{n} AL_i}},$$

pri čemer MI_i predstavlja masni indeks taksona na odseku i, AL_i dolžino odseka i, v katerem je takson prisoten, ter GL celotno dolžino pregledane reke (povzeto po Pall & Janauer 1995). Deleže rek, kjer se pojavlja posamezen takson (*d*), smo prikazali s ti. »d« diagramom.

Vrednost d dobimo iz razmerja med MMT in MMO; poda nam delež odsekov, na katerih je posamezen takson prisoten. Večja kot je razlika med obema masnima indeksoma, manjše je število odsekov, v katerih je določen takson prisoten. Višja vrednost MMO glede na MMT nakazuje višjo povprečno biomaso taksona v odsekih, v katerih se ta pojavlja, in kaže na njegovo neenakomerno, gručasto razporeditev. Delež odsekov, poraščenih z določenim rastlinskim taksonom, izračunamo po formuli

$$d = \frac{MMT^3}{MMO^3} \cdot$$

Preverili smo tudi, kateri izmed zabeleženih taksonov so uvrščeni na Rdeči seznam ogroženih praprotnic in semenk (Uradni list RS 2002b). Izračunali smo indeks rečnih makrofitov (RMI; Kuhar s sodelavci 2011), s pomočjo katerega smo uvrstili posamezne rečne odseke v enega od petih razredov ekološkega stanja. Osnovno podlago zemljevidov, s katerimi prikazujemo uvrstitev posameznih odsekov rek v RCE kakovostne razrede ter ekološko stanje glede na RMI, predstavlja digitalni ortofoto posnetek ESRI World Imagery (ESRI 2023).

Pred nadaljnjo statistično obdelavo smo ocene abundance makrofitov na podlagi petstopenjske lestvice (Kohler 1978) najprej kvantificirali, tj. prevedli v povprečne vrednosti Braun-Blanquetovih razredov pokrovnosti po Elongerju (2012). S korespondenčno analizo z odstranjenim trendom (DCA) smo ocenili, ali so gradienti v matriki podatkov o taksonih makrofitov linearni ali unimodalni, ter izbrali ustrezno direktno gradientno analizo za nadaljnje analize, kot predlagata Ter Braak & Verdonschot 1995; če je bila lastna vrednost (*eigenvalue*) za prvo os vsaj 0,4 in dolžina gradienta večja od treh standardnih odklonov, smo izvedli kanonično korespondenčno analizo (CCA), sicer pa redundantno analizo (RDA), s katerima smo ovrednotili povezave med izmerjenimi okoljskimi spremenljivkami ter pojavljanjem in razporeditvijo taksonov makrofitov. Rezultati CCA oz. RDA so prikazani z ordinacijskim diagramom, kjer je velikost vpliva določenega dejavnika prikazana z dolžino vektorja. Dejavnik najbolj vpliva na tiste taksone, ki se nahajajo vzdolž določenega vektorja, ki ta dejavnik ponazarja. Za izvedbo analiz smo uporabili program Canoco 4.5. Del postopka vključuje tudi metodo izbiranja (ang. *forward selection*), s katero smo glede na prispevek vsakega izmed okoljskih parametrov k varianci vrstne sestave makrofitov izbrali le tiste, za katere se je izkazalo, da imajo pomemben vpliv, oziroma so statistično značilni ($p < 0,01$).

REZULTATI

Odseki reke Rak so se med seboj precej bolj razlikovali v prisotnosti, razporeditvi in abundanci makrofitov ter obrežni vegetaciji oz. zaledju, v primerjavi z Obrhom, kar se odraža na končnem številu odsekov, na katere smo razdelili reki. Rak smo razdelili na 18 odsekov dolžine 13 do 195 metrov, Obrh pa na 16 odsekov, dolgih med 49 in 526 metrov. Fizikalni in kemijski parametri vzdolž obeh rek so se spreminjali kot posledica lastnosti struge, vplivov iz zaledja ter velike dinamike rečnih ekosistemov v prostoru in času. S pomočjo prirejene RCE metode smo reko Obrh uvrstili v drugi oz. tretji RCE kakovostni razred (Slika 16), reko Rak pa v prvi oz. drugi RCE kakovostni razred (Slika 17). Glede na indeks rečnih makrofitov (RMI) smo uvrstili odseke reke Obrh v slabo ekološko stanje (1), zmerno ekološko stanje (6), dobro ekološko stanje (4) oz. zelo dobro ekološko stanje (4) (Slika 18), odseke reke Rak pa v zelo dobro ekološko stanje (1), dobro ekološko stanje (15) oz. zmerno ekološko stanje (2) (Slika 19).

Fizikalni in kemijski parametri vode

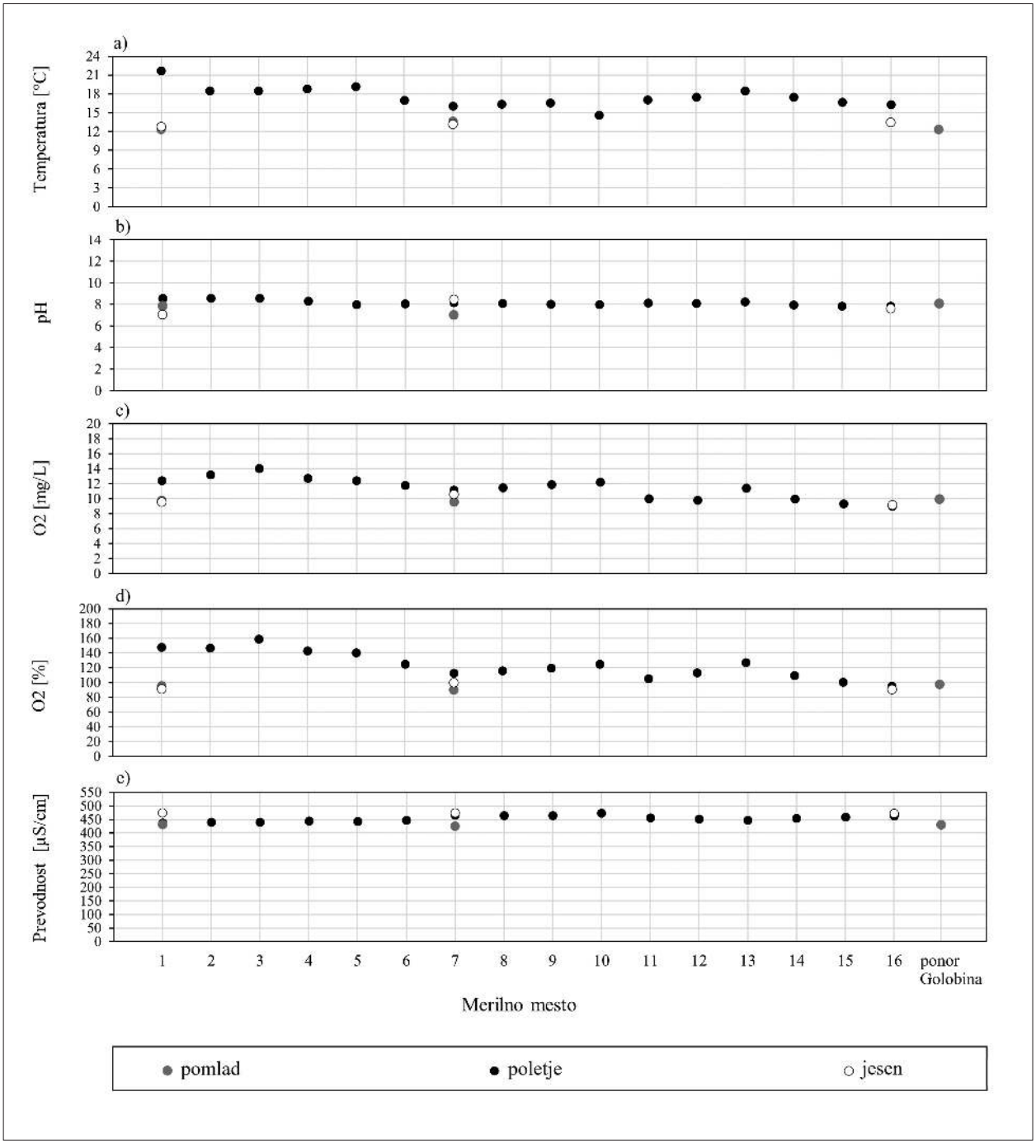
Z multimetrom smo izmerili temperaturo vode, pH, koncentracijo raztopljenega kisika in nasičenost vode s kisikom ter prevodnost vode na izbranih merilnih mestih obeh preučevanih rek (Slika 4, Slika 5).

Temperatura vode se je v reki Obrh spomladi in jeseni gibala med 12 °C in 14 °C (Slika 4a). Na izviru Velikega Obrha smo spomladi izmerili 10 °C in jeseni 12 °C, v Malem Obrhu (približno 380 m nad sotočjem z Velikim) pa 12 °C oziroma 16 °C. Poleti je izmerjena temperatura vzdolž reke Obrh lokalno precej nihala, razlika med najnižjo (14,6 °C, merilno mesto 10) in najvišjo (21,7 °C, merilno mesto 1) je znašala 7,1 °C. V reki Rak smo spomladi izmerili od 19 °C do 21 °C, jeseni od 18 °C do 21 °C, poleti pa od 16 °C do 22 °C. Ob poletnem merjenju je bila temperatura vode na prvih enajstih odsekih med 16 °C in 17 °C, do najbolj izrazitega porasta (za dobrih 5 °C) je prišlo med 11. in 13. odsekom. Dolvodno so se nato temperature gibale okoli 21,5 °C(Slika 5a).

pH se je v Obrhu spomladi gibal med 7,5 in 8,2, jeseni med 7,3 in 8,2. Poleti smo vzdolž odsekov reke izmerili pH med 7,8 (merilno mesto 15) in 8,6 (merilno mesto 3), izmed sosednjih merilnih mest sta se med seboj najbolj (za 0,3) razlikovali mesti 4 in 5 (Slika 4b). Na izviru Velikega Obrha smo spomladi izmerili pH 6,8, v Malem Obrhu pa 8,0. Jeseni smo na istih točkah izmerili pH 6,9 in 6,7. V Raku so se poleti izmerjene vrednosti vzdolž vodotoka nekoliko bolj razlikovale, izmerili smo pH od 7,2 (merilno mesto 17) do 8,4 (merilno mesto 3). Največje znižanje pH (za 0,9) smo zaznali med merilnima mestoma 12 in 13 (Slika 5b).

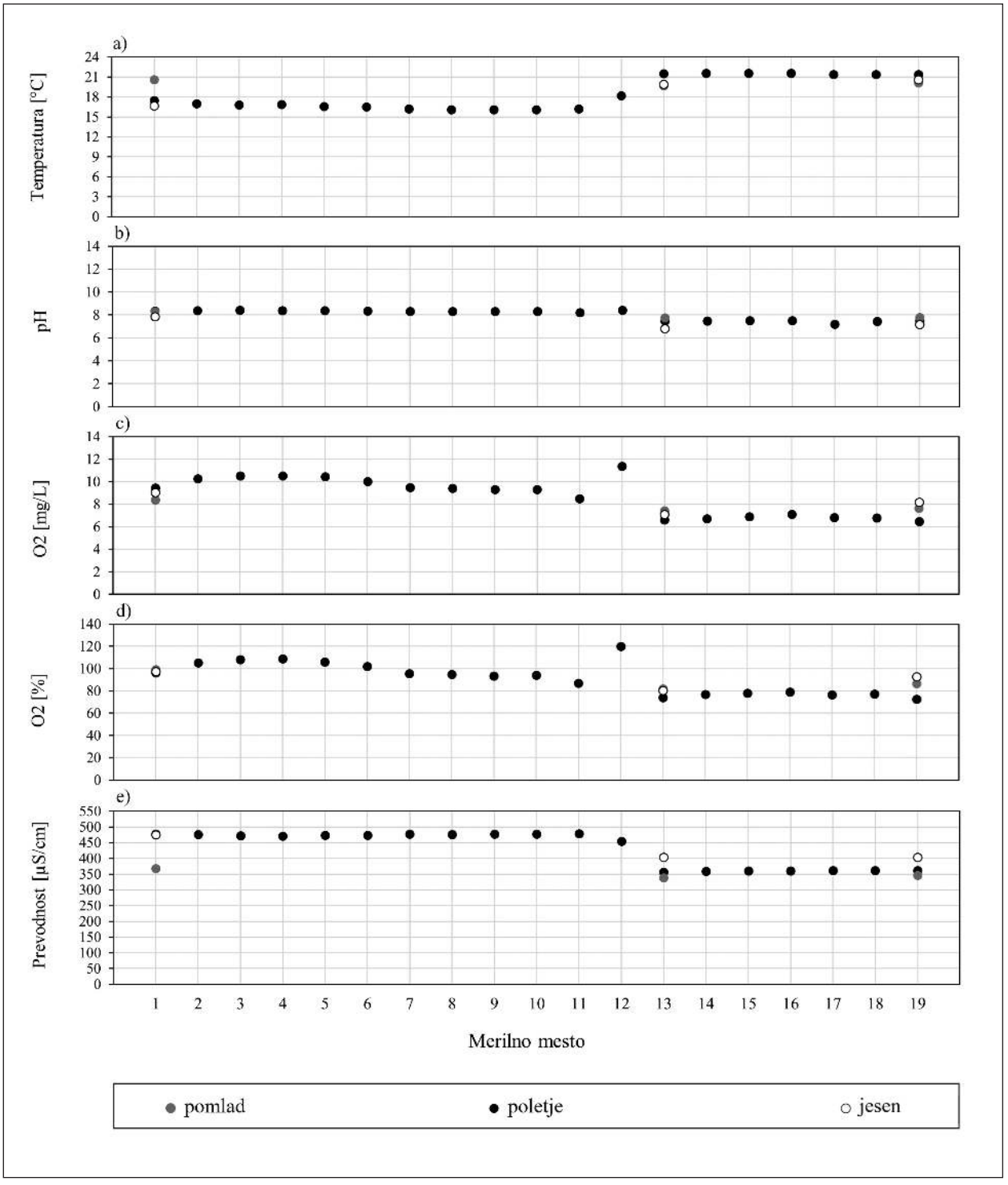
Koncentracija kisika se je spomladi v Obrhu gibala med 9,5 in 9,9 mg/L, jeseni med 12,6 in 13,8 mg/L (Slika 4c). Nasičenost vode s kisikom je bila v Obrhu spomladi 92 do 98 %, jeseni pa 89 do 100 % (Slika 4d).

Spomladi smo na izviru Velikega Obrha izmerili 10,2 mg O_2/L in 94 % nasičenost s kisikom, jeseni pa 9,5 mg /L O_2 ter 91 % nasičenost s kisikom. Na Malem Obrhu smo spomladi izmerili 10 mg O_2/L in 97 % nasičenost s kisikom. Jeseni je bila na istem merilnem mestu stoječa voda, v njej smo namerili 6 mg O_2/L in 62 % nasičenost. Poleti sta se oba parametra vzdolž odsekov reke Obrh kljub vmesnim nihanjem postopoma zniževala;



Slika 4: Fizikalni in kemijski parametri vode po posameznih odsekih reke Obrh: a) Temperatura vode [°C]; b) pH vode; c) Koncentracija raztopljenega kisika [mg/L]; d) Nasičenost vode s kisikom [%]; e) Elektroprevodnost vode [µS/cm].
Figure 4: Physical and chemical parameters of water at each section of the Obrh River: a) Temperature [°C]; b) pH; c) Concentration of dissolved oxygen [mg/L]; d) Oxygen saturation [%]; e) Electric conductivity [µS/cm].

najvišjo koncentracijo kisika (14 mg/L) smo izmerili na merilnem mestu 3, kjer je bila najvišja (159 %) tudi nasičenost vode s kisikom, najnižjo (9 mg/L) pa na zadnjem (16.) merilnem mestu, kjer je najbolj (na 95 %)

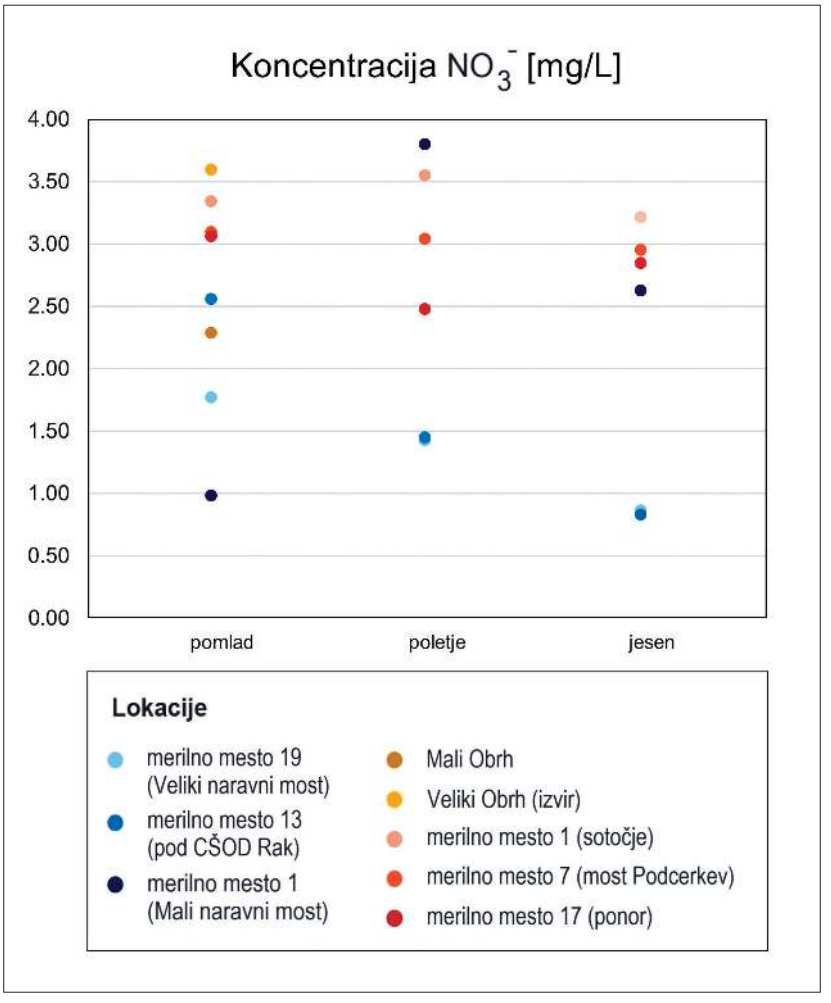


Slika 5: Fizikalni in kemijski parametri po posameznih odsekih reke Rak: a) Temperatura vode [°C]; b) pH vode; c) Koncentracija raztopljenega kisika [mg/L]; d) Nasičenost vode s kisikom [%]; e) Elektroprevodnost vode [µS/cm].
Figure 5: Physical and chemical parameters of water at each section of the Rak River: a) Temperature [°C]; b) pH; c) Concentration of dissolved oxygen [mg/L]; d) Oxygen saturation [%]; e) Electric conductivity [µS/cm].

upadla tudi nasičenost vode s kisikom (Slika 4c–d). Tudi v Raku sta poleti koncentracija in nasičenost vode s kisikom enakomerno upadali od izvirnega dela reke navzdol (Slika 5c–d). Največjo spremembo koncentracije in nasičenosti vode s kisikom smo, podobno kot pri ostalih parametrih, zaznali med izrazito izstopajočim 12. merilnim mestom, kjer sta bili vrednosti obeh parametrov najvišji vzdolž celotne reke (11,4 mg O_2/L, 120 %), in 13. merilnim mestom (6,6 mg O_2/L, 74 %), tj. na prehodu iz hitro tekočega v globlji in počasnejši del Raka. Najnižja koncentracija (6,5 mg/L) in nasičenost s kisikom (72 %) je bila na zadnjem (19.) merilnem mestu.

Tudi elektroprevodnost se je poleti v Raku najbolj izrazito znižala med 11. in 13. merilnim mestom, in sicer z 479 na 356 µS/cm, kar sta bili hkrati tudi najvišja oz. najnižja izmed poleti izmerjenih vrednosti vzdolž celotne reke (Slika 5e). Spomladi smo tako v Raku kot Obrhu v splošnem izmerili nekoliko nižjo elektroprevodnost kot poleti in jeseni, v Raku med 338 µS/cm na trinajstem in 368 µS/cm na prvem merilnem mestu, v Obrhu pa med 426 µS/cm na sedmem in 441 µS/cm na prvem merilnem mestu 1 (Slika 4e). V Malem Obrhu ter na izviru Velikega Obrha smo spomladi izmerili elektroprevodnost 413 oz. 415 µS/cm. Jesenske vrednosti so bile v obeh rekah višje, v Raku med 403 µS/cm na trinajstem in 477 µS/cm na prvem merilnem mestu, v Obrhu pa med 462 µS/cm na zadnjem (17.) in 472 µS/cm na prvem merilnem mestu. V stoječi vodi na merilnem mestu na Malem Obrhu smo jeseni izmerili prevodnost 544 µS/cm, na izviru Velikega Obrha pa 449 µS/cm.

Vzorce vode smo zajeli na izbranih mestih vzdolž obeh preučevanih rek (Slika 2, Slika 3). Koncentracija nitratov je spomladi v Obrhu znašala med 3,1 in 3,4 mg/L, medtem ko smo na izviru Velikega Obrha izmerili koncentracijo 3,6 mg/L, v Malem Obrhu pa 2,3 mg/L. Poleti je bila koncentracija nitratov v Obrhu od 3,0 do 3,6, jeseni pa od 2,9 do 3,2. V Raku je bila koncentracija nitratov v vodi spomladi od 1,0 do 2,6 mg/L, poleti od 1,4 do 3,8 mg/L, jeseni pa od 0,8 do 2,6 mg/L (Slika 6).

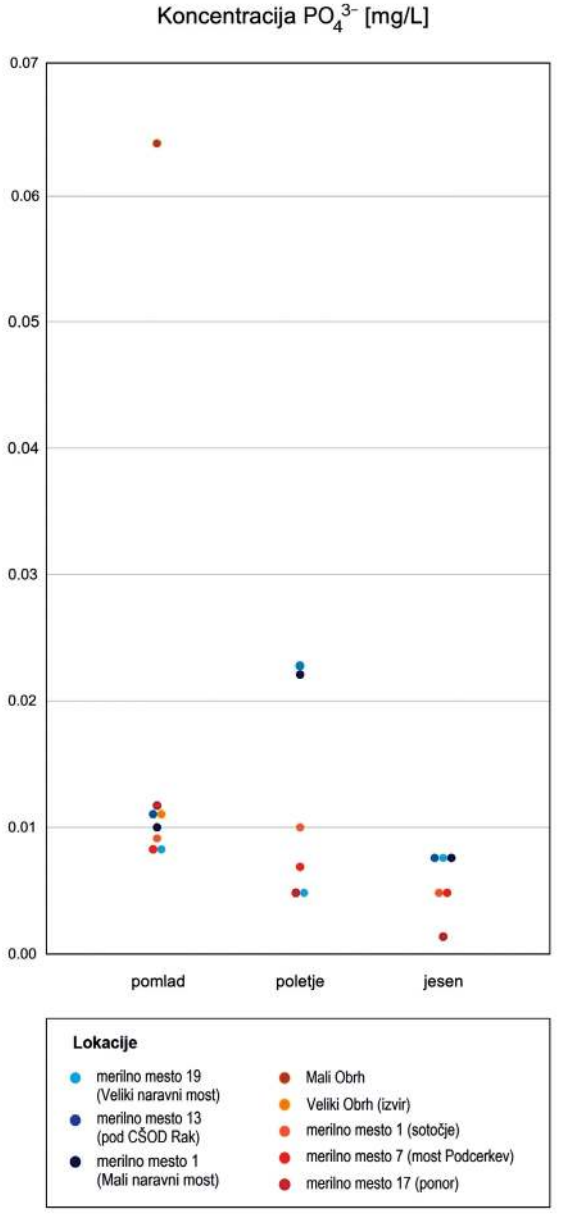


Slika 6: Koncentracije nitratov [mg/L] v vodi na izbranih merilnih mestih na rekah Obrh in Rak spomladi, poleti in jeseni 2023. Oznake vzorčnih mest sovpadajo s tistimi na Sliki 2 in Sliki 3.
Figure 6: Nitrate concentrations [mg/L] in the water at the chosen sites on the Obrh and the Rak Rivers in spring, summer, and autumn 2023. The labels of the sample sites correspond to those in Figure 2 and Figure 3.

Koncentracija ortofosfatov je spomladi v Obrhu znašala med 0,008 in 0,012 mg/L, na izviru Velikega Obrha 0,011 mg/L, v Malem Obrhu pa 0,064 mg/L. Poleti je voda iz Obrha vsebovala od 0,005 do 0,010 mg/L, jeseni pa od 0,001 do 0,005 mg/L ortofosfatnih ionov. V Raku je bila koncentracija ortofosfatov v vodi spomladi od 0,008 do 0,011 mg/L, poleti od 0,005 do 0,022 mg/L in jeseni 0,008 mg/L na vseh treh odvzemnih mestih (Slika 7).

Prisotnost, abundanca in razporeditev makrofitov

V Preglednici 4 so navedeni rastlinski taksoni, ki smo jih v letu 2023 zabeležili v rekah Obrh in Rak, njihove rastne oblike, uvrstitev v družine po Mednarodnem indeksu rastlinskih imen (IPNI 2024) ter stopnja ogroženosti glede na Rdeči seznam praprotnic in semenk (Uradni list RS, 2002b) oz. Rdeči seznam mahov (URADNI LIST RS - 82/2002, Uredbeni del).



Slika 7: Koncentracije ortofosfatov [mg/L] v vodi na izbranih merilnih mestih na rekah Obrh in Rak spomladi, poleti in jeseni 2023. Oznake vzorčnih mest sovpadajo s tistimi na Sliki 2 in Sliki 3.
Figure 7: Orthophosphate concentrations [mg/L] in the water at the chosen sites on the Obrh and the Rak River in spring, summer, and autumn 2023. The labels of the sample sites correspond to those in Figure 2 and Figure 3.

Preglednica 4: Seznam taksonov, popisanih v preučevanih rekah oz. vzorčnih mestih v letu 2023, s pripadajočimi podatki: družina, znanstveno in slovensko ime taksona ter okrajšave (Martinčič 2003; Martinčič s sodelavci 2007). Kategorije opisujejo stopnjo ogroženosti posamezne vrste glede na Rdeči seznam praprotnic in kritosemenk (Uradni list RS, 2002b) oz. Rdeči seznam mahov (Uradni list RS - 82/2002, Uredbeni del), pri čemer oznaka »V« označuje ranljive (ang. vulnerable) vrste, oznaka »E« prizadete vrste (ang. endangered), oznaka »/« pa vrste, ki niso navedene na nobenem izmed omenjenih seznamov. Oznake v četrtem stolpcu pomenijo rastne oblike rastlin: potopljena ukoreninjena (sa), plavajoča ukoreninjena (fl), rastlina z amfibijskim značajem (am), močvirska rastlina oz. helofit (he) oz. plavajoča neukoreninjena (ap).

Table 4: List of taxa inventoried in the studied rivers or sample sites in 2023, with the additional data: family, scientific and Slovenian name of the taxon and abbreviated names (Martinčič 2003; Martinčič et al. 2007). Categories describe the degree of threat of each species according to the Red List of Pteridophytes and seed plants and the Red List of Mosses (Uradni list RS - 82/2002, Uredbeni del), with »V« indicating vulnerable species, »E« indicating endangered species and »/« indicating species that are not listed on either of these lists. The designations in the fourth column refer to the plant growth forms; submerged rooted (sa), floating rooted (fl), amphibious (am), helophyte (he) or floating unrooted (ap).

Družina	Znanstveno ime	Slovensko ime	Okrajšava	Rastna oblika	Kategorija	Rak	Obrh	Mali Obrh	Veliki Obrh - izvir
Fontinalaceae	*Cinclidotus fontinaloides* (Hedw.) P. Beauv.	/	Cin fon	sa	/	1			
Fontinalaceae	*Fontinalis antipyretica* Hedw.	/	Fon ant	sa	/	1	1		
Equisetaceae	*Equisetum arvense* L.	njivska preslica	Equ arv	he	/		1		
Equisetaceae	*Equisetum palustre* L.	močvirska preslica	Equ pal	he	/	1	1		
Brachytheciaceae	*Rhynchostegium riparioides* (Hedw.) Dixon	/	Rhy rip	sa	/	1			
Alismataceae	*Alisma gramineum* Lej.	travnolistni porečnik	Ali gra	am	V	1	1		
Alismataceae	*Alisma lanceolatum* With.	suličastolistni porečnik	Ali lan	am	V	1	1	1	
Alismataceae	*Alisma plantago-aquatica* L.	trpotčasti porečnik	Ali pla	am	/	1	1	1	
Butomaceae	*Butomus umbellatus* L.	kobulasta vodoljuba	But umb	am	V	1			
Callitrichaceae	*Callitriche palustris* L.	navadni žabji las	Call pal	am	/		1		
Ranunculaceae	*Caltha palustris* L.	navadna kalužnica	Cal pal	he	/	1	1	1	1
Cyperaceae	*Carex muricata* L.	pairajev šaš	Car mur	he	/		1		
Cyperaceae	*Carex* sp.	šaš	Carex sp.	he	/	1			
Rubiaceae	*Galium palustre* L.	močvirska lakota	Gal pal	he	/	1	1		
Scrophulariaceae	*Gratiola officinalis* L.	navadna božja milost	Gra off	he	V	1			
Hippuridaceae	*Hippuris vulgaris* L.	navadna smrečica	Hip vul	am	/		1		
Iridaceae	*Iris pseudacorus* L.	vodna perunika	Iri pse	he	/	1	1		
Juncaceae	*Juncus articulatus* L.	bleščečeplodno ločje	Jun art	he	/		1		
Lemnaceae	*Lemna minor* L.	mala vodna leča	Lem min	ap	/		1		
Lamiaceae	*Lycopus europaeus* L.	navadni regelj	Lyc eur	he	/	1			
Primulaceae	*Lysimachia vulgaris* L.	navadna pijavčnica	Lys vul	he	/	1	1		
Lythraceae	*Lythrum salicaria* L.	navadna krvenka	Lyt sal	he	/	1	1	1	
Lamiaceae	*Mentha aquatica* L.	vodna meta	Men aqu	he	/	1	1	1	1
Lamiaceae	*Mentha longifolia* (L.) Huds.	dolgolistna meta	Men lon	he	/	1			
Boraginaceae	*Myosotis scorpioides* L.	močvirska spominčica	Myo sco	am	/	1	1	1	
Haloragaceae	*Myriophyllum spicatum* L.	klasasti rmanec	Myr spi	sa	V	1	1		

Haloragaceae	*Myriophyllum verticillatum* L.	vretenčasti rmanec	Myr ver	sa	V	1			
Apiaceae	*Oenanthe fistulosa* L.	navadni sovec	Oen fis	am	E		1	1	
Poaceae	*Phalaris arundinacea* L.	pisana čužka, pisanka	Pha aru	he	/	1	1		
Poaceae	*Phragmites australis* L.	navadni trst	Phr aus	he	/		1	1	
Plantaginaceae	*Plantago altissima* L.	veliki trpotec	Pla alt	he	/	1	1	1	
Polygonaceae	*Polygonum amphibium* L.	vodna dresen	Pol amp	am	V	1	1		
Potamogetonaceae	*Potamogeton crispus* L.	kodravi dristavec	Pot cri	sa	/	1	1		1
Potamogetonaceae	*Potamogeton lucens* L.	bleščeči dristavec	Pot luc	sa	V	1	1		
Potamogetonaceae	*Potamogeton natans* L.	plavajoči dristavec	Pot nat	fl	/	1			
Potamogetonaceae	*Potamogeton pectinatus* L.	češljasti dristavec	Pot pec	sa	/	1			
Potamogetonaceae	*Potamogeton perfoliatus* L.	preraslolistni dristavec	Pot per	sa	/	1	1		
Potamogetonaceae	*Potamogeton* x *zizii (P. lucens* x *gramineus)*	/	Pot ziz	sa	/	1			
Ranunculaceae	*Ranunculus circinatus* Sibth.	razkrečenolistna vodna zlatica	Ran cir	am	V		1		
Ranunculaceae	*Ranunculus flammula* L.	žgoča zlatica		he	/			1	
Ranunculaceae	*Ranunculus repens* L.	plazeča zlatica	Ran rep	he	/		1		
Ranunculaceae	*Ranunculus trichophyllus* Chaix	lasastolistna vodna zlatica	Ran tri	am	V	1	1		1
Brassicaceae	*Rorippa amphibia* Besser	prava potočarka	Ror amp	am	V	1	1		
Alismataceae	*Sagittaria sagittifolia* L.	navadna streluša	Sag sag	am	V	1			
Cyperaceae	*Schoenoplectus lacustris* (L.) Palla	jezerski biček	Sch lac	am	/	1	1		
Apiaceae	*Sium latifolium* L.	širokolistna koščica	Siu lat	am	V	1	1		
Solanaceae	*Solanum dulcamara* L.	grenkoslad.	Sol dul	he	/	1			
Typhaceae	*Sparganium emersum* Rehmann	enostavni ježek	Spa eme	am	/	1	1	1	
Typhaceae	*Sparganium erectum* agg. L.	pokončni ježek	Spa ere	am	/	1	1		1
Scrophulariaceae	*Veronica anagallis-aquatica* L.	vodni jetičnik	Ver ana	am	/	1	1		

V reki Obrh smo zabeležili 36 taksonov makrofitov, in sicer enega predstavnika mahov (Bryophyta), dva predstavnika praprotnic (Pteridophyta) ter 33 semenk (Spermatophyta), izmed katerih je devet uvrščenih na Rdeči seznam ogroženih praprotnic in semenk (Uradni list RS - 82/2002, Uredbeni del) kot ranljive vrste (oznaka »V«), ena pa kot prizadeta vrsta (oznaka »E«). Popisali smo 14 vrst močvirskih rastlin (helofitov), 16 vrst z amfibijskim značajem, pet submerznih ukoreninjenih in eno plavajočo neukoreninjeno vrsto. Izmed skupno 24 družin makrofitov sta bili najbolj zastopani družini dristavčevk (Potamogetonaceae) in porečnikovk (Alismataceae), vsaka s po tremi taksoni. Na izviru Velikega Obrha smo popisali šest taksonov makrofitov. Od skupno enajstih taksonov, popisanih na merilnem mestu na Malem Obrhu, smo izključno na tem mestu zabeležili prisotnost žgoče zlatice (*Ranunculus flammula* L.). Razporeditev taksonov vzdolž reke Obrh ter njihovo abundanco prikazuje Slika 8: najtanjša črtna oznaka predstavlja najnižjo abundanco (1), najdebelejša pa najvišjo (v našem primeru 4). Odsotnost oznake pomeni odsotnost taksona na tem odseku. Največ taksonov (25) smo zabeležili v petem odseku, najmanj (7) pa na devetem.

V reki Rak smo zabeležili 38 taksonov makrofitov, in sicer dva predstavnika mahov (Bryophyta), enega predstavnika praprotnic (Pteridophyta) ter 35 semenk (Spermatophyta), izmed katerih je dvanajst uvrščenih na Rdeči seznam ogroženih praprotnic in semenk (Uradni list RS - 82/2002, Uredbeni del) kot ranljive vrste (oznaka »V«). Popisali smo 14 vrst močvirskih rastlin (helofitov), 13 vrst z amfibijskim značajem, deset submerznih ukoreninjenih in eno plavajočo ukoreninjeno vrsto. Izmed skupno 22 družin makrofitov je bila najbolj zastopana družina dristavčevk (Potamogetonaceae) - zabeležili smo 5 vrst in enega križanca (*Potamogeton* x *zizii*; Preglednica 4). Razporeditev taksonov vzdolž reke Rak ter njihova abundanca sta prikazani na Sliki 9: najtanjša črtna oznaka predstavlja najnižjo abundanco (1), najdebelejša pa najvišjo (v našem primeru 4). Odsotnost oznake pomeni odsotnost taksona na tem odseku. Največ (18) taksonov smo popisali na 16. in 19. odseku, najmanj (4) pa na prvem odseku.

Sliki 10 in 11 ponazarjata vzorec razporeditve posameznih rastlinskih taksonov vzdolž obravnavanih rek. Čim večja je razlika med masnim indeksom taksona v odsekih, kjer se ta pojavlja (MMO), in njegovim masnim indeksom vzdolž celotne reke (MMT), tem bolj gručasta je razporeditev taksona vzdolž reke. Taksoni, pri katerih je ta razlika majhna, se vzdolž struge pojavljajo bolj enakomerno. Izmed taksonov, prisotnih v Obrhu, je imela najvišji masni indeks vzdolž celotne reke vrsta *Sparganium erectum* agg. (MMT = 2,6), ki se je dokaj enakomerno pojavljala vzdolž rečne struge. Značilno gručasto razporejene pa so bile vrste *Schoenoplectus lacustris, Myriophyllum spicatum* in *Ranunculus circinatus* (Slika 10).

Razporeditev rastlinskih taksonov vzdolž reke Rak je prikazana na Sliki 11. Gručast vzorec razporeditve smo zabeležili predvsem pri vrstah *Potamogeton lucens, Potamogeton natans* in *Sagittaria sagittifolia*, medtem ko so bili ostali taksoni bolj enakomerno razporejeni.

Dolžinski delež reke Obrh, v katerem samo zabeležili posamezen rastlinski takson, je prikazan na Sliki 12. V največjem delu pregledane struge sta uspevali vrsti *Alisma plantago-aquatica* (0,96) in *Phragmites australis* (0,93), v najmanjšem (0,03) pa *Equisetum arvense*.

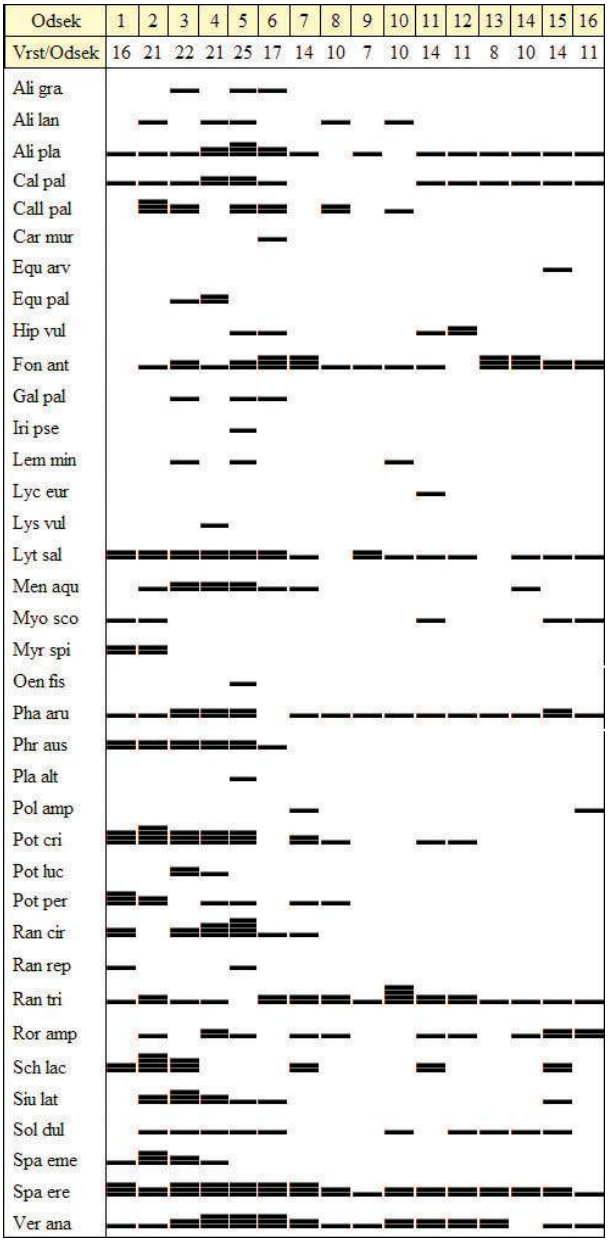
Dolžinski delež reke Rak, v katerem samo zabeležili pojavnost posameznega rastlinskega taksona, je prikazan na Sliki 13. V največjem delu pregledane struge sta uspevali vrsti *Rorippa amphibia* (0,83) in *Fontinalis antipyretica* (0,78), v najmanjšem (0,04) pa vrste *Mentha longifolia, Caltha palustris, Potamogeton pectinatus* in *Potamogeton crispus*.

Relativna abundanca vrst, prisotnih v reki Obrh, je prikazana na Sliki 14. Največjo relativno rastlinsko abundanco je imela vrsta *Sparganium erectum* agg. (14,4 %), sledile so ji vrste *Potamogeton crispus* (12,3 %), *Ranunculus circinatus* (10,2 %) in *Veronica anagallis-aquatica* (9.0 %). Najmanjšo relativno rastlinsko abundanco (< 0,5 %) so imele vrste vrste *Hippuris vulgaris, Carex muricata in Lycopus europaeus*.

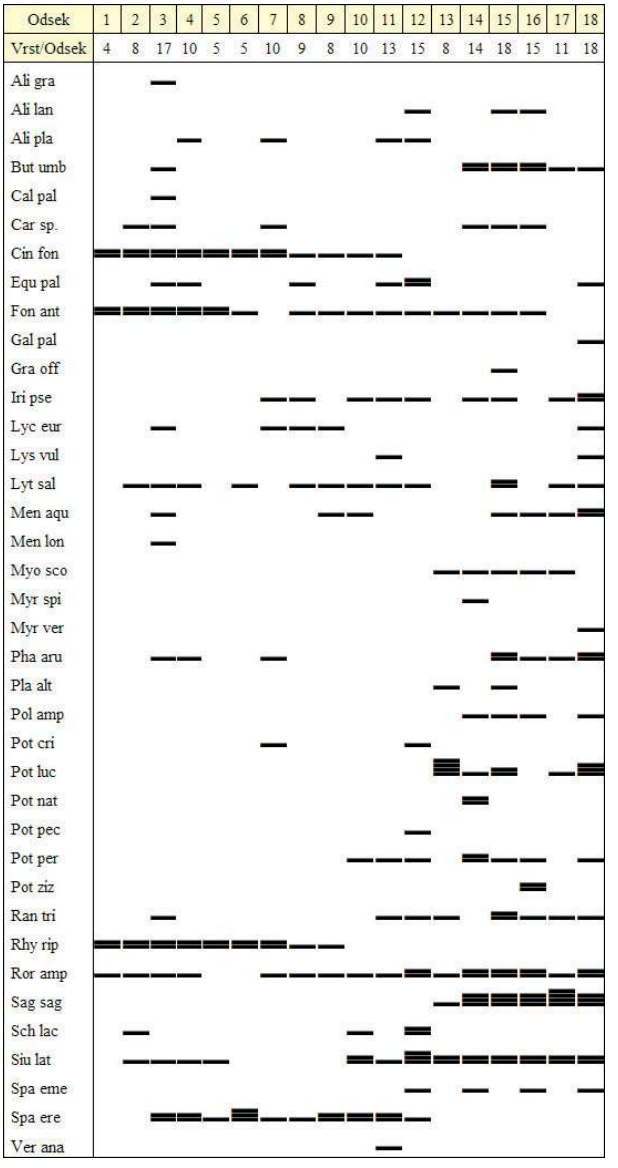
Relativno abundanco taksonov, prisotnih v reki Rak, prikazuje Slika 15. Največjo relativno rastlinsko abundanco je imela vrsta *Sagittaria sagittifolia* (22.8 %), sledili sta ji vrsti *Sium latifolium* (10,1 %) in *Potamogeton lucens* (8,9 %). Zgolj 0,1-odstotno relativno rastlinsko abundanco je imelo osem izmed zabeleženih vrst: *Galium palustre, Myriophyllum verticillatum, Myriophyllum spicatum, Potamogeton crispus, Potamogeton pectinatus, Alisma gramineum, Caltha palustris* in *Mentha longifolia*.

Uvrstitev rečnih odsekov v RCE kakovostne razrede po prirejeni RCE metodi ter ekološko stanje glede na indeks rečnih makrofitov (RMI)

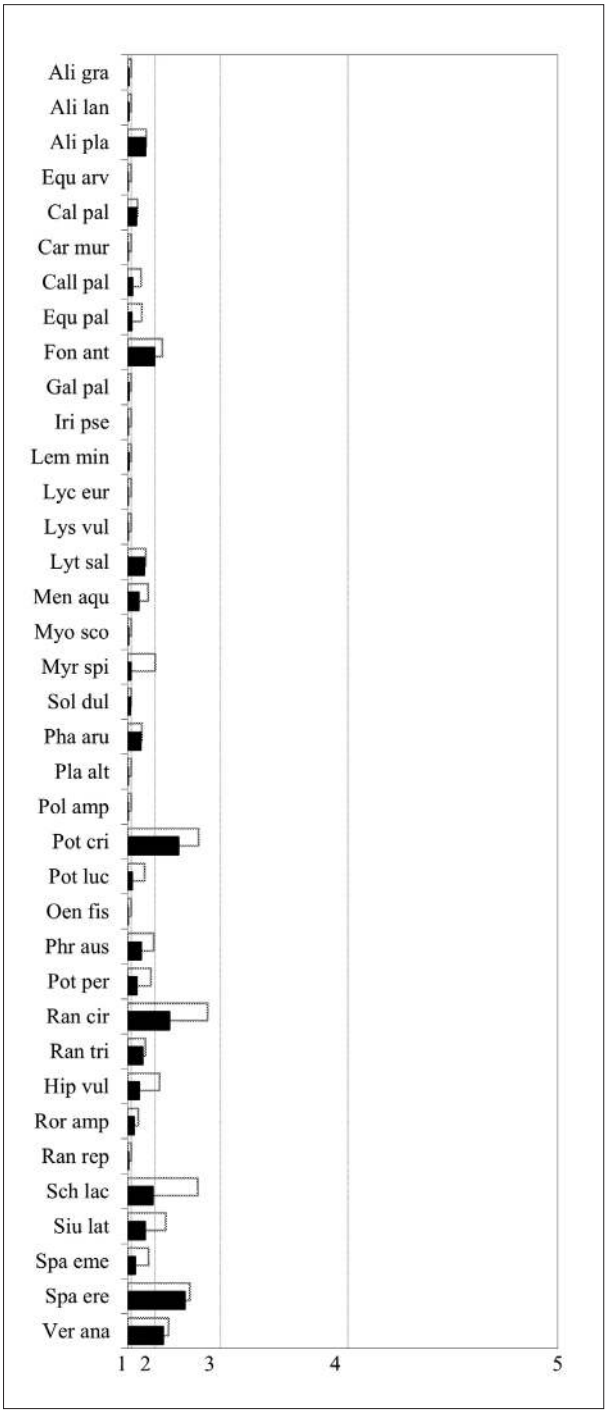
Enajst odsekov reke Obrh se je glede na prirejeno RCE metodo (Petersen 1992) uvrstilo v tretji, pet pa v drugi RCE kakovostni razred (Preglednica 1, Slika 16), kar nakazuje dobro oz. zelo dobro ohranjenost reke.



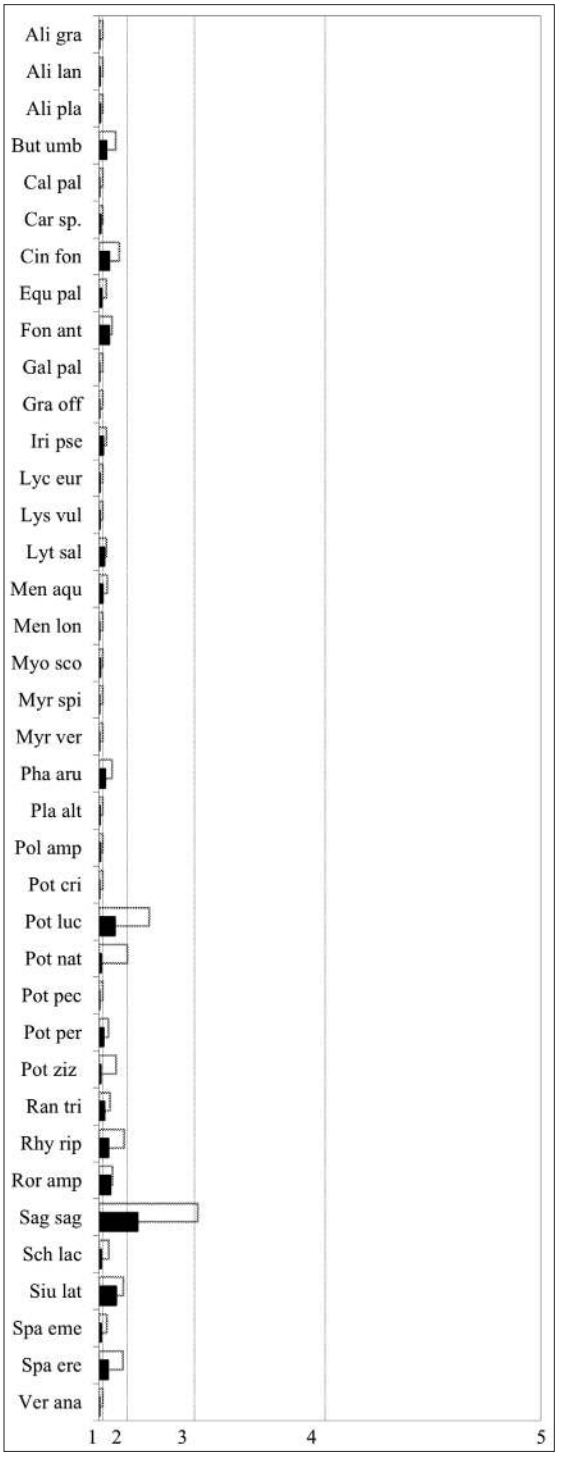
Slika 8: Razporeditev in abundanca makrofitov po posameznih odsekih reke Obrh. Abundanca je bila ocenjena s petstopenjsko lestvico, kjer 1 pomeni najnižjo, 5 pa najvišjo abundanco.
Figure 8: Distribution and abundance of macrophytes along the sections of the Obrh River. Abundance was estimated using a five-level scale where 1 represents the lowest and 5 represents the highest abundance.



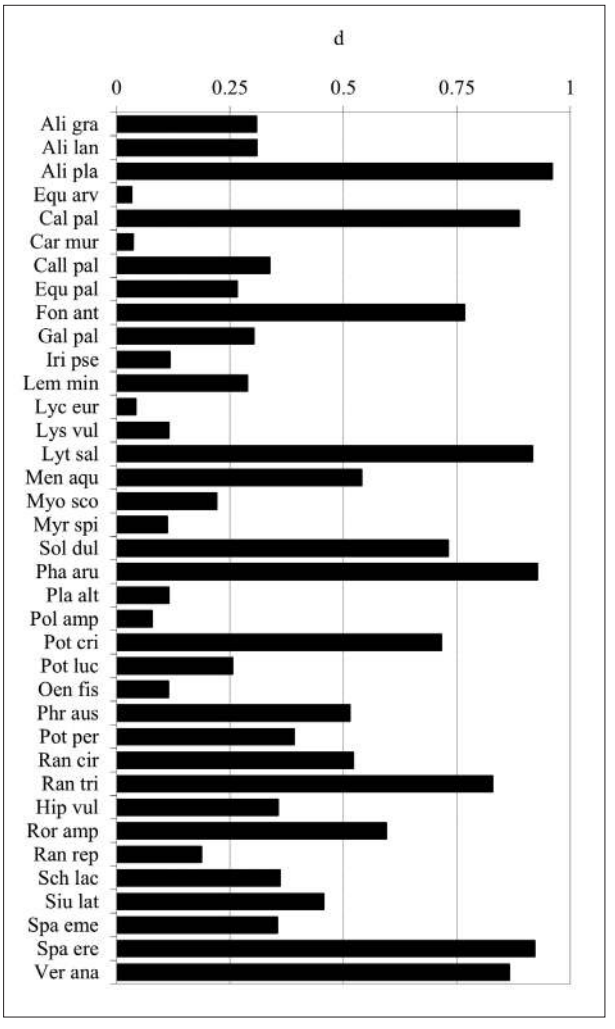
Slika 9: Razporeditev in abundanca makrofitov po odsekih reke Rak. Abundanca je bila ocenjena s petstopenjsko lestvico, kjer 1 pomeni najnižjo, 5 pa najvišjo abundanco.
Figure 9: Distribution and abundance of macrophytes along the sections of the Rak River. Abundance was estimated using a five-level scale where 1 represents the lowest and 5 the highest abundance.



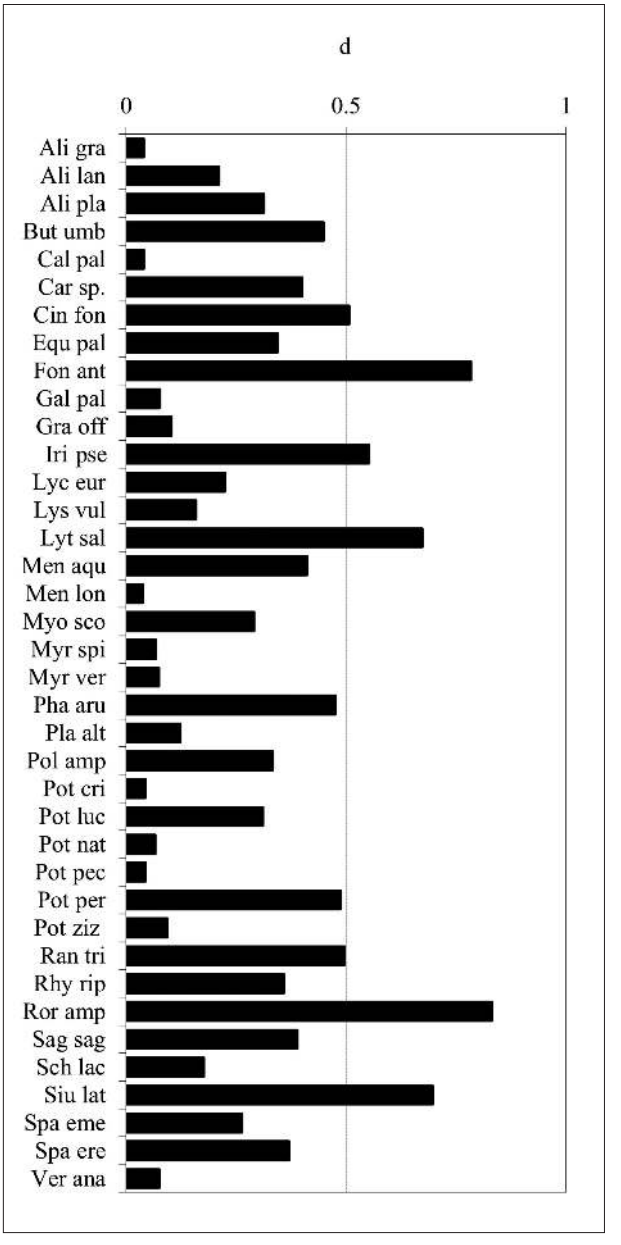
Slika 10: Povprečni masni indeks posameznega taksona v reki Obrh. Črni stolpci ponazarjajo povprečni masni indeks taksona v celotni reki (MMT), beli pa povprečni masni indeks taksona v odsekih, kjer je ta prisoten (MMO).
Figure 10: Mean mass index of each taxon found in the Obrh River. The black bars indicate the mean mass indices of taxa in the entire river (MMT), while the white bars indicate the mean mass indices of each taxon in the sections where it is present (MMO).



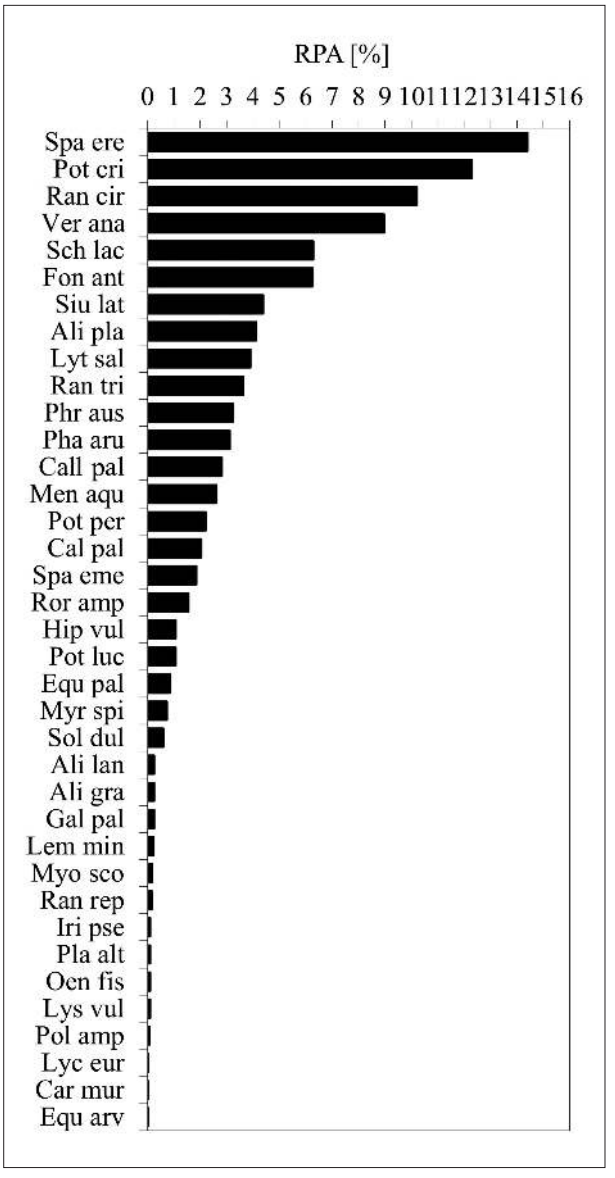
Slika 11: Povprečni masni indeks posameznega taksona v reki Rak. Črni stolpci ponazarjajo povprečni masni indeks taksona v celotni reki (MMT), beli stolpci pa povprečni masni indeks v odsekih, kjer je posamezen takson prisoten (MMO).
Figure 11: Mean mass index of each taxon in the Rak River. Black bars indicate the mean mass index of a taxon in the whole river (MMT), whereas the white bars indicate the mean mass index of a taxon in the sections where it is present (MMO).



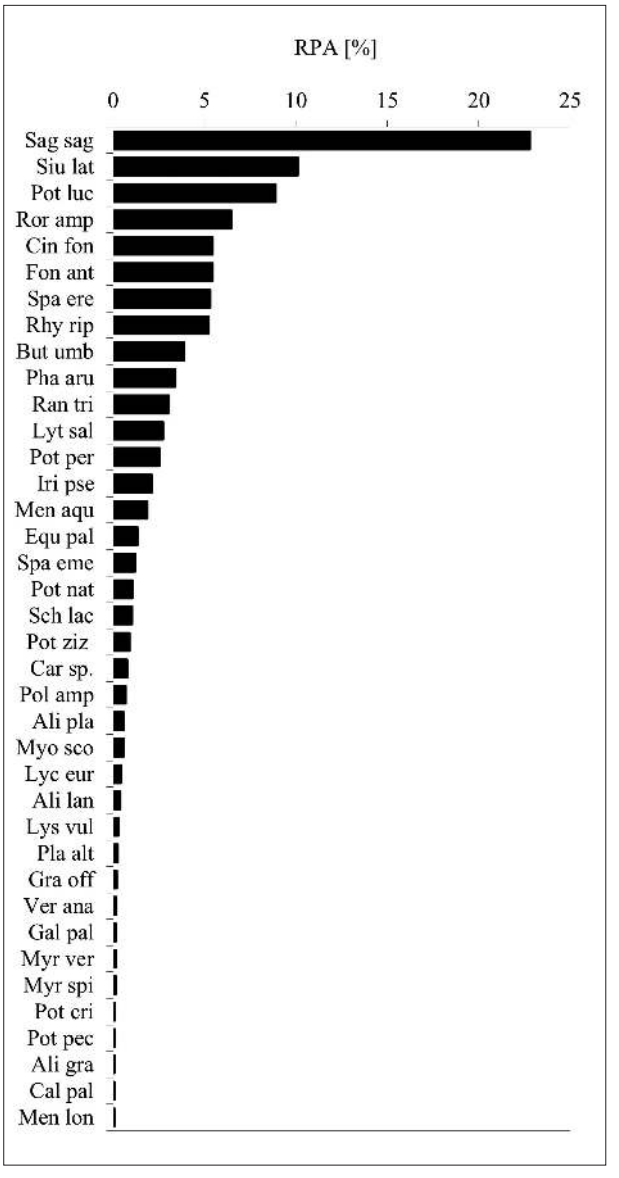
Slika 12: Uspevanje rastlinskih taksonov v reki Obrh. Vrednost 1 pomeni pojavljanje taksona vzdolž celotne reke.
Figure 12: Occurrence of plant taxa in the Obrh River. A value of 1 indicates that a taxon occurred along the entire river.



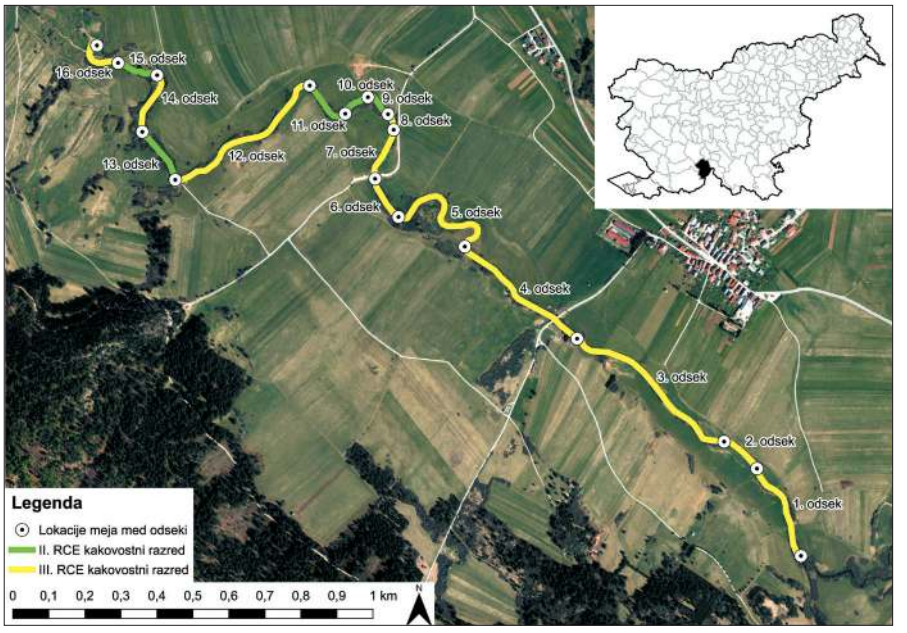
Slika 13: Uspevanje rastlinskih taksonov v reki Rak. Vrednost 1 pomeni uspevanje taksona vzdolž celotne reke.
Figure 13: Occurrence of plant taxa in the Rak River. A value of 1 indicates that a taxon occurred along the entire river.



Slika 14: Relativna rastlinska abundanca (RPA) posameznega taksona v reki Obrh, tj. razmerje abundance posameznega taksona (ocenjene po lestvici od 1 do 5) glede na celokupno pojavljanje vseh taksonov v reki.
Figure 14: Relative plant abundance (RPA) of each taxon in the Obrh River, i.e. the ratio between the abundance of each taxon (rated on a scale from 1 to 5) and the total occurrence of all taxa in the river.

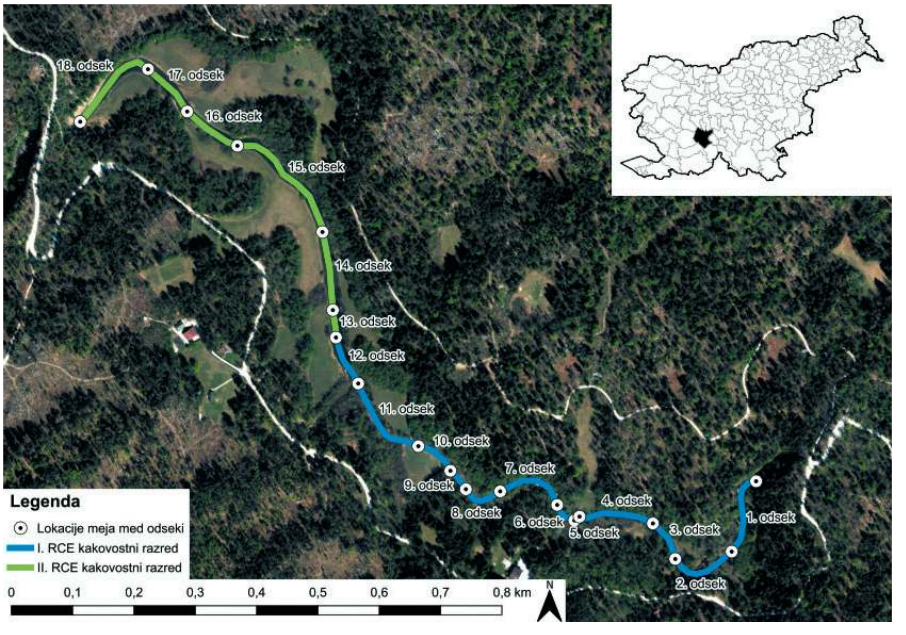


Slika 15: Relativna rastlinska abundanca (RPA) posameznega taksona v reki Rak, tj. razmerje abundance posameznega taksona (ocenjene po lestvici od 1 do 5) glede na celokupno pojavljanje vseh taksonov v reki.
Figure 15: Relative plant abundance (RPA) of each taxon in the Rak River, i.e. the ratio between the abundance of each taxon (rated on a scale from 1 to 5) and the total occurrence of all taxa in the river.



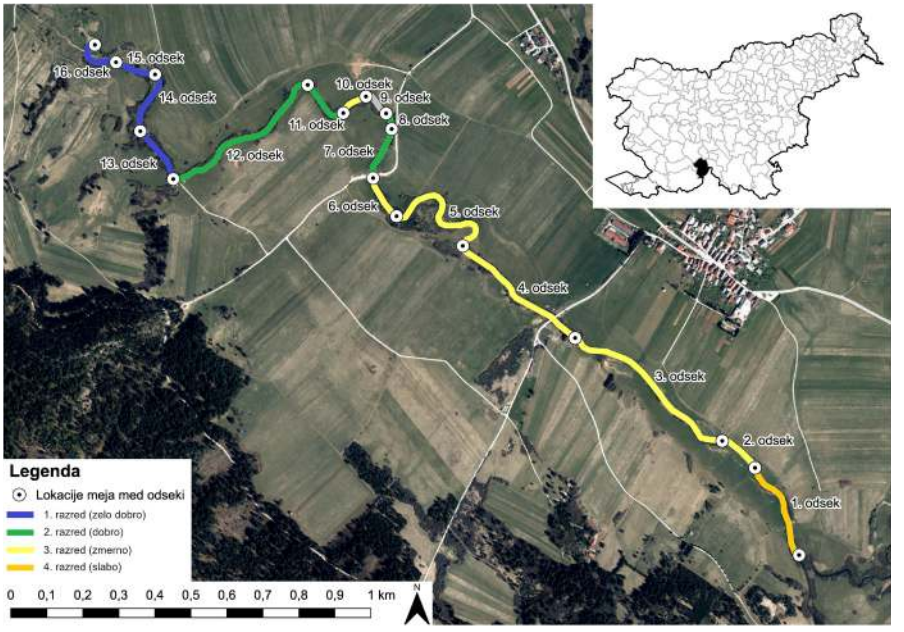
Slika 16: Uvrstitev posameznih odsekov reke Obrh v RCE kakovostne razrede. Vir podlage: ESRI 2023.
Figure 16: Classification of the sections of the Obrh River into RCE quality classes. Layer source: ESRI 2023.

Zgornjih dvanajst odsekov reke Rak smo s pomočjo prirejene RCE metode (Petersen 1992) uvrstili v prvi, ostalih šest pa v drugi RCE kakovostni razred (Preglednica 1, Slika 17), kar kaže na zelo dobro oz. odlično stopnjo ohranjenosti reke.



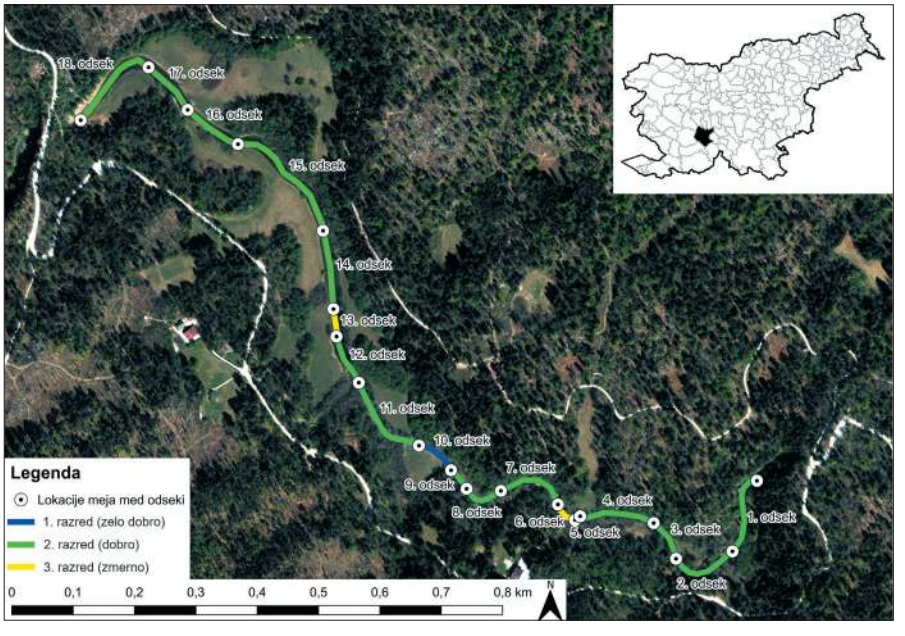
Slika 17: Uvrstitev posameznih odsekov reke Rak v RCE kakovostne razrede. Vir podlage: ESRI 2023.
Figure 17: Classification of the sections of the Rak River into RCE quality classes. Layer source: ESRI 2023.

Glede na indeks rečnih makrofitov (RMI; KUHAR s sodelavci 2011) smo odseke reke Obrh uvrstili v slabo, zmerno, dobro oz. zelo dobro ekološko stanje (Slika 18). Prvi odsek reke smo uvrstili v slabo ekološko stanje, odseke št. 2, 3, 4, 5, 6 in 10 v zmerno ekološko stanje, odseke št. 7, 8, 11 in 12 v dobro ekološko stanje, zadnje tri odseke pa v zelo dobro ekološko stanje.



Slika 18: Ekološko stanje odsekov reke Obrh glede na indeks rečnih makrofitov (RMI; KUHAR s sodelavci 2011): zelo dobro (modra), dobro (zelena), zmerno (rumena), slabo (oranžna). Vir podlage: ESRI 2023.
Figure 18: Ecological status of the sections of the Obrh River according to the river macrophyte index (RMI; KUHAR et al. 2011): high (blue), good (green), moderate (yellow), poor (orange). Layer source: ESRI 2023.

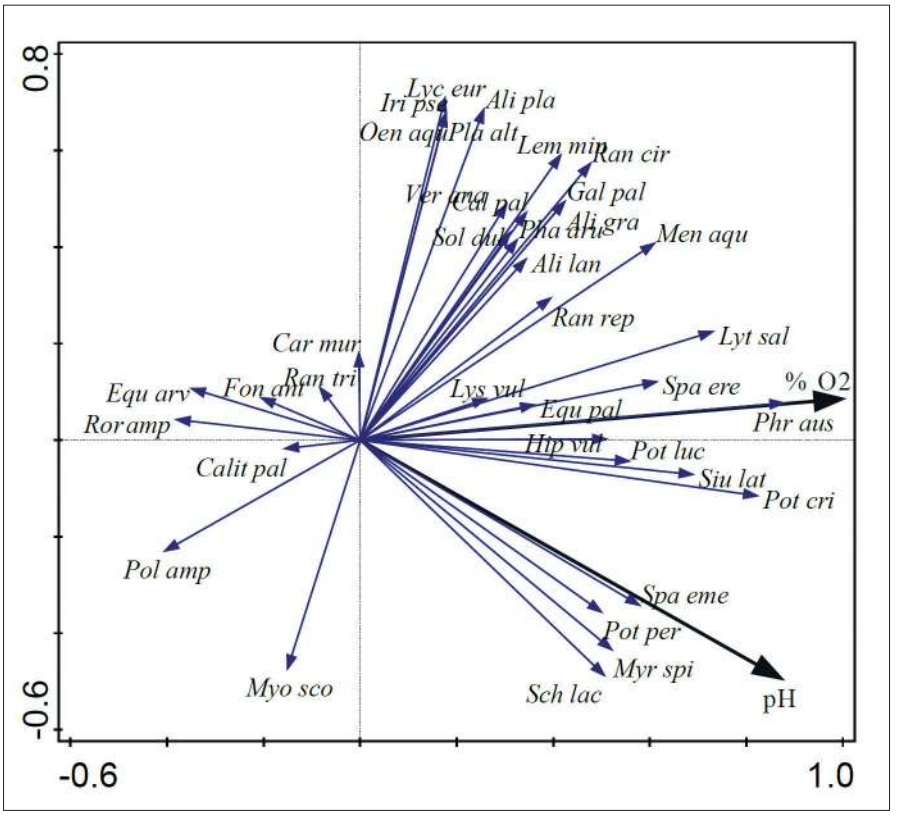
Odseke reke Rak smo glede na indeks rečnih makrofitov (RMI; KUHAR s sodelavci 2011) uvrstili v zelo dobro ekološko stanje (deseti odsek), zmerno ekološko stanje (šesti in trinajsti odsek) oz. dobro ekološko stanje (preostalih 15 odsekov; Slika 19).



Slika 19: Ekološko stanje odsekov reke Rak glede na indeks rečnih makrofitov (RMI; KUHAR s sodelavci 2011): zelo dobro (modra), dobro (zelena), zmerno (rumena). Vir podlage: ESRI 2023.
Figure 19: Ecological status of the sections of the Rak River according to the river macrophyte index (RMI; KUHAR et al. 2011): high (blue), good (green), moderate (yellow). Layer source: ESRI 2023.

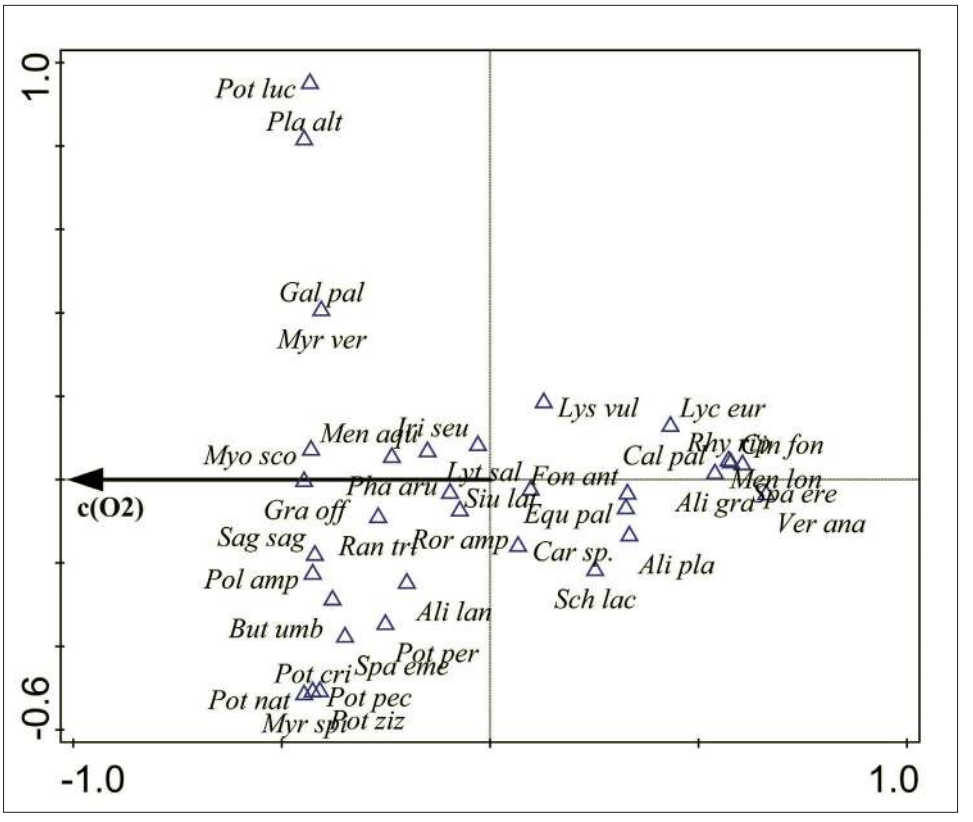
Povezava med makrofiti in okoljskimi parametri

S kanonično korespondenčno analizo (CCA) smo ugotavljali statistično pomembnost okoljskih spremenljivk za združbe makrofitov v obeh preučevanih rekah. Vključili smo število RCE točk (Preglednica 1), pH, električno prevodnost, koncentracijo in nasičenost vode s kisikom, temperaturo vode ter dolžino posameznega odseka reke (Slika 4, Slika 5, Preglednica 2, Preglednica 3). V primeru reke Obrh sta po metodi izbiranja (ang. *forward selection*) samo dva izmed omenjenih parametrov korelirala z združbami makrofitov in pojasnila velik delež variance v njihovi sestavi: nasičenost vode s kisikom in pH. Najvišjo lastno vrednost (ang. *eigenvalue*) in najmočnejšo smer gradienta je imela prva os, s katero smo pojasnili 28,97 % variance taksonov, medtem ko smo z drugo pojasnili 12,42 % variance taksonov (tj. z obema skupaj 41,39 %). Vse osi skupno so pojasnile 71,33 % variance taksonov. S prvo osjo smo statistično pojasnili 69,99 %, z drugo pa 30,01 % variance relacije takson – okolje. Ordinacijski diagram RDA z izbranima dejavnikoma okolja ter makrofitskimi taksoni je prikazan na Sliki 20; jakost povezav je prikazana z dolžinami vektorjev.



Slika 20: Ordinacijski diagram RDA izbranih okoljskih dejavnikov (nasičenost s kisikom, pH) ter z njimi povezanih makrofitskih taksonov, prisotnih v reki Obrh.
Figure 20: RDA ordination of the selected environmental factors (oxygen saturation, pH) and associated macrophyte taxa present in the Obrh River.

V primeru reke Rak je izmed vključenih okoljskih parametrov po metodi izbiranja (ang. *forward selection*) samo koncentracija kisika v vodi statistično značilno korelirala ($p < 0,01$) z združbami makrofitov in pojasnila velik delež variance v njihovi sestavi. S prvo osjo, katere lastna vrednost je znašala 0,6278, smo pojasnili 25,27 %, z drugo pa 15,45 % variance taksonov (z obema skupaj 40,72 %). Vse osi skupno so pojasnile 62,24 % variance taksonov. Varianco relacije takson – okolje je v celoti (100 %) pojasnila prva os. Ordinacijski diagram CCA z makrofitskimi taksoni in vektorjem koncentracije kisika prikazuje Slika 21.



Slika 21: CCA ordinacijski diagram koncentracije v vodi raztopljenega kisika ter z njo povezanih makrofitskih taksonov, prisotnih v reki Rak.
Figure 21: CCA ordination of dissolved oxygen concentration and associated macrophyte taxa present in the Rak River.

RAZPRAVA

Vzdolž reke Rak smo ob popisu zaznali večjo raznolikost glede prisotnosti, razporeditve in abundance makrofitov, obrežne vegetacije ter zaledja v primerjavi z reko Obrh. Tudi število makrofitskih taksonov je bilo v Raku, ki je sicer skoraj za polovico krajši od Obrha, višje. Izmed 38 taksonov, prisotnih v tej reki, jih je skoraj tretjina (12) uvrščenih na Rdeči seznam ogroženih praprotnic in semenk kot ranljive vrste, tj. vrste, ki poseljujejo na človekove vplive zelo občutljive habitate, zaradi česar se je njihova številčnost v večjem delu areala že zmanjšala oz. zmanjšuje. V Obrhu smo zabeležili 36 vrst makrofitov, izmed katerih je na Rdeči seznam uvrščenih deset, od tega devet kot ranljive, ena (*Oenanthe fistulosa*) pa kot prizadeta vrsta, tj. vrsta, katere številčnost se je zmanjšala na kritično stopnjo oz. njena številčnost zelo hitro upada v večjem delu areala (Uradni list RS - 82/2002, Uredbeni del). Glede na fizične in fizikalne in kemijske lastnosti preučevanih rek visok delež vrst (slaba tretjina), ki so na Rdeči seznam uvrščene kot ranljive, ni presenetljiv, saj številne vrste v tej kategoriji ogroženosti uspevajo v vodotokih, ki tečejo po naravni oz. polnaravni krajini z relativno širokim in neprekinjenim obrežnim pasom, zmernim vodnim tokom ter sedimentom, sestavljenim iz peska in mulja ter organskih delcev različnih velikosti (Kuhar s sodelavci 2009).

Skupno število makrofitskih taksonov, prisotnih v Raku (38), je primerljivo s popisi iz preteklih let (Gojznikar s sodelavci 2019; Lampret s sodelavci 2020; Kopitar s sodelavci 2022; Jaklič s sodelavci 2023) ter skoraj za petino višje kot v letu 2004 (Glišič 2007), medtem ko je bilo v Obrhu prisotnih devet vrst več kot leta 2004 (36) (Glišič 2007). Uspevanje in razporeditev makrofitov je odvisno od kombinacije številnih dejavnikov, kot so hitrost vodnega toka, tip substrata, svetlobne razmere, temperatura, vsebnost hranil, su-

spendiranih delcev, nihanje vodne gladine in kompeticija (Fox 1992). Število vrst, ki smo jih zabeležili v obeh rekah, je bilo 26, kar predstavlja velik delež vrst, prisotnih v posamezni reki (68 % za Rak, 72 % za Obrh). Razporeditev in abundanca makrofitov se je med preučevanima rekama precej razlikovala: v reki Obrh so po številu prisotnih vrst prednjačili zgornji odseki, saj se je skoraj polovica izmed vseh v njem popisanih vrst pojavljala izključno v (enem ali več) začetnih odsekih. Obenem pa so imele tudi nekatere vrste, ki so sicer uspevale tudi v spodnji polovici reke, v njenih zgornjih odsekih največjo abundanco (Slika 8). Temu je verjetno botrovala kombinacija dejavnikov: široka, osončena struga, zmerna hitrost vodnega toka, droben substrat, ki omogoča ukoreninjanje, ter najvišja vsebnost hranil v vodi (Slika 6, Slika 7). Slednja lahko makrofiti črpajo skozi celotno površino, kar jim omogoča tanka kutikula ter žlezne diferenciacije povrhnjice na listih podvodnih rastlin, imenovane hidropote, ki služijo absorpciji ionov iz vode (Strasburger s sodelavci 1982). Da je voda reke Obrh obogatena s hranili, sicer potrjuje prisotnost makrofitskih taksonov, značilnih za obremenjene vode (npr. *M. spicatum, P. crispus, P. lucens, S. lacustris, S. erectum*), kot tudi prisotnost nitastih zelenih alg, ki so rastle vzdolž celotne reke, najbolj obilno v devetem odseku, kjer zaradi gostega prepleta zadrževalnih struktur v strugi voda zastaja. V času popisa smo sicer na tem odseku izmerili 120-odstotno nasičenost vode s kisikom, ker pa so bile v vodi prisotne poginule ribe in raki, sklepamo, da zaradi nizke turbulentnosti ter visoke stopnje dekompozicije, na tem mestu občasno prihaja do anoksij. V Raku so bile nitaste zelene alge prisotne samo v 13. odseku. Pestrost makrofitskih taksonov je bila višja v spodnjem delu reke, poleg tega je bila tudi abundanca nekaterih sicer v Raku splošno razširjenih taksonov prav v spodnjih odsekih največja (Slika 9). V zgornjem delu Raka je namreč vodni tok hiter, substrat pa neugoden za ukoreninjanje rastlin, saj ga večinoma sestavljajo kamenje in večje skale, medtem ko se v spodnjem delu reke hitrost toka zaradi razširitve struge zmanjša, substrat pa je drobnejši, kar olajšuje ukoreninjanje. V spodnjem delu reke so bili tako bolje zastopani ukoreninjeni makrofiti, ki so med vsemi rastnimi oblikami najbolj občutljivi na visoke hitrosti vodnega toka, saj jih lahko ta mehansko poškoduje ali zasuje s sedimentom. Nasprotno pa vodni tok zmerne hitrosti pozitivno vpliva na njihovo uspevanje, saj povečuje razpoložljivost ogljikovega dioksida in hranil (Madsen s sodelavci 2001). Poleg tega so bile v spodnjem delu Raka za uspevanje makrofitov ugodnejše tudi svetlobne razmere, saj je v tem delu zasenčenost struge omejena zgolj na dele ob bregovih, medtem ko je povirni del obdan z gozdom in struga zasenčena. Razlike v hitrosti vodnega toka, širini in zasenčenosti struge so se jasno odražale tudi v poletni temperaturi vode ter z njo povezano vsebnostjo kisika. Po prvih enajstih odsekih je temperatura narasla za približno 5 °C, dolvodno izmerjene vrednosti so se nato vse do zadnjega merilnega mesta gibale okoli 21,5 °C (Slika 5a). V skladu s spremembo temperature je na istem odseku prišlo do največjega upada koncentracije in nasičenosti vode s kisikom (Slika 5c–d). Slednja sicer nista odvisna zgolj od temperature, pač pa nanju vplivajo tudi hitrost vodnega toka, turbulenca ter biogeni vnos, tj. vnos zaradi fotosinteze. Kisik, ki nastaja v procesu fotosinteze, lahko v primeru obilne razrasti makrofitov predvsem poleti povzroči hipersaturacijo (Giller & Malmqvist 1998), saj zaradi ugodnih svetlobnih razmer stopnja fotosinteze preseže stopnjo respiracije, zaradi česar nasičenost vode s kisikom preseže 100 %. Omenjeni dejavniki so razlog, da vzorca koncentracij in nasičenosti vode s kisikom vzdolž preučevanih rek ne sledita popolnoma vzorcu temperatur vode. Spomladanske in jesenske meritve v Raku v veliki meri odražajo negativno povezavo med temperaturo vode in vsebnostjo kisika v njej (Slika 5), medtem ko smo v Obrhu jeseni in spomladi ob najnižjih temperaturah izmerili tudi najnižje koncentracije in nasičenosti vode s kisikom (Slika 4). K temu so verjetno v največji meri doprinesli intenzivni procesi razgradnje odmrle organske mase ob hkratni odsotnosti oz. nizki stopnji fotosinteze vodnih rastlin. Ob spomladanskem merjenju namreč te še niso bile optimalno razvite, poleg tega so tako spomladi kot jeseni svetlobne razmere v reki slabše kot poleti. Pričakovano smo v obeh rekah izmerili visoke vrednosti prevodnosti (Slika 4e, Slika 5e), saj gre za reki ponikalnici, ki na površje pritečeta že obogateni s hranili. Zaledje preučevanih in predhodnih vodotokov v nizu Ljubljanice namreč predstavljajo naseljena polnaravna območja – z okoliških kmetijskih površin se lahko s padavinsko vodo v reke spirajo gnojila, ki so poleg karbonatnih ionov, katerih izvor je matična podlaga, verjetno ključni razlog za visoke izmerjene vrednosti prevodnosti. Najnižje vrednosti prevodnosti na posameznih lokacijah smo izmerili spomladi, najvišje pa jeseni (oz. v primeru Raka pri Malem naravnem mostu poleti), kar je prav tako v skladu s pričakovanji, saj primarni producenti spomladi intenzivno privzemajo hranila, potrebna za rast in razvoj asimilacijskih in drugih tkiv, jeseni pa v rečnem ekosistemu prevlada dekompozicija odmrle biomase, pri čemer se hranila sproščajo v vodo. Poletne vrednosti prevodnosti so se v reki Rak pričakovano zniževale od izvira dolvodno. V spodnjem, širšem in počasnejšem delu reke, kjer makrofiti bolje uspevajo, je bil privzem hra-

nil znatno višji kot v zgornjih odsekih. Voda na izviru je imela v času vzorčenja pričakovano višjo prevodnost v primerjavi z nadaljnjimi odseki, saj je vodostaj Cerkniškega jezera v tem času upadal, zato je na prehodu iz podzemlja pri Malem naravnem mostu vsebovala največjo količino hranil, kar smo potrdili z meritvami nitratnih in ortofosfatnih ionov v njej (Slika 5e, Slika 6, Slika 7). Količina nitratov se je dolvodno znižala, podoben vzorec smo zaznali ob jesenskem vzorčenju, medtem ko je bila vsebnost nitratov spomladi najmanjša na izviru, največja pa na trinajstem odseku, od koder se je dolvodno zopet znižala (Slika 6). Enako je bilo spomladi s koncentracijo ortofosfatov (Slika 7); oboje je lahko posledica intenzivne razgradnje večjih količin organske mase, katere izvor ni le reka sama, temveč tudi okoliški terestrični ekosistemi (npr. gozd, ki obdaja gornji tok Raka, jeseni v strugo prispeva s hranili bogat listni opad), obenem pa ne gre izključiti možnosti, da del hranil v vodi predstavljajo tudi antropogeni viri, npr. odplake iz bližnjih objektov, ki lahko zaradi neustrezne kanalizacijske ureditve deloma pronicajo v podtalnico, ki je z reko neposredno povezana znotraj enotnega vodnega kroga. Enako velja za izvir Velikega Obrha ter Mali Obrh pred sotočjem, kjer smo spomladi izmerili (daleč) največjo koncentracijo nitratov (Slika 6) oz. ortofosfatov (Slika 7). Poleg odplak iz okoliških naselij, v katerih deluje tudi več industrijskih obratov (predvsem lesno-predelovalnih) ter ribogojnica, predstavlja njihov potencialni izvor zgodnje gnojenje kmetijskih površin v prispevnem območju. Količina gnojil lahko zaradi neusklajenosti s fenološko stopnjo tarčnih rastlin hitro preseže njihove potrebe po hranilih, presežek pa se spere v podzemno vodo in z njo povezane vodotoke. Od začetka reke Obrh (tj. sotočja Velikega in Malega Obrha) dolvodno so se sicer koncentracije nitratov tako spomladi kot poleti in jeseni zmanjševale vse do ponora, v največji meri poleti, ko so bile vodne rastline optimalno razvite in najbolj fotosintezno aktivne. Podobno je bilo s privzemom ortofosfata, katerega koncentracija se je od prvega do zadnjega vzorčnega mesta najbolj zmanjšala poleti. Tudi jeseni se je po toku navzdol koncentracija ortofosfata v vodi zmanjšala; v tem času smo sicer izmerili sploh najnižje koncentracije ortofosfatov v Obrhu. Spomladi se je koncentracija ortofosfatov v vodi med prvim in sedmim odsekom nekoliko znižala, od tega mesta pa do ponora, najverjetneje zaradi že omenjenega spiranja gnojil z okoliških kmetijskih površin, znova nekoliko narasla (Slika 7). Ob naštetih človekovih vplivih pa ne gre zanemariti tudi vpliva presihajočega značaja kraških rek na izmenjavo snovi med rečnimi sedimenti in vodo in na stopnjo mineralizacije (Boulton s sodelavci 2014), kar se odraža v dostopnosti hranil v vodi (Nilsen & Orcutt 1996). Zaradi intenzivne mineralizacije je delež organske snovi v sedimentih presihajočih vodnih teles sicer navadno manjši, vsebnost hranil pa posledično nižja (Brink s sodelavci 1995), kar med drugim lahko vpliva tudi na vrstno sestavo makrofitov (Zelnik s sodelavci 2021). Slednja je zelo odvisna tudi od pH vode in z njim povezanih dejavnikov (Lacoul & Freedman 2006; Ljevanaić-Mašić s sodelavci 2020). V nekaterih študijah so pokazali statistično značilno nižjo vrstno pestrost makrofitov v odsekih rek, kjer pH vode presega vrednost 8,4 (Svitok s sodelavci 2016; Germ s sodelavci 2021). Razlog za to gre iskati v fizioloških značilnostih makrofitov – nekatere vrste vodnih rastlin lahko kot vir ogljika namreč uporabljajo izključno ogljikov dioksid, ki pa ga je v rekah, v katerih pH dosega oz. presega to vrednost, malo (Svitok s sodelavci 2016); v tem pH območju prevladujejo predvsem bikarbonatni ioni (Rosso & Fernández Cirelli 2013). Ker preučevani reki tečeta po karbonatni podlagi, ki blaži intenzivna nihanja pH vode, ki bi se sicer pojavljala kot posledica intenzivne fotosinteze podnevi ter prevlade respiracije ponoči, majhne razlike v pH med odseki obeh rek niso presenetljive. V Obrhu smo, verjetno zaradi omenjenih razlogov, spomladi in jeseni na istih mestih večinoma izmerili malo nižji pH kot poleti, enako velja za jesenske meritve v Raku. Vzdolž prve reke so se ob poletnem vzorčenju sicer vrednosti pH gibale okoli 8, od rahlo bazičnih v zgornjih odsekih do rahlo kislih na zadnjih treh odsekih pred ponorom. Slednje bi lahko bilo posledica nižjega razmerja med fotosintezo in respiracijo v primerjavi z zgornjimi odseki, v katerih je bila tako pestrost kot abundanca makrofitov višja (Slika 4b, Slika 8). Razpon poleti izmerjenih pH vrednosti vzdolž reke Rak je bil nekoliko širši; v prvih dvanajstih odsekih je bila voda rahlo bazična, med merilnima mestoma 12 in 13 je prišlo do upada pH na vrednost 7,5, okoli katere so se nato gibale tudi vrednosti, izmerjene na nadaljnjih šestih odsekih. Vzrok nižjega pH v spodnjih odsekih bi lahko bili višja stopnja dekompozicije ter manjša abundanca mahov, ki je bila veliko večja v zgornjem delu reke, kar je povezano z višjimi vrednostmi pH vode; medtem ko so višje vodne rastline razvile sposobnost izkoriščanja različnih virov ogljika iz vode (predvsem HCO_3^-), lahko namreč mahovi iz nje privzemajo zgolj ogljikov dioksid, s čimer višajo njen pH. Jeseni izmerjene vrednosti pH so bile pričakovano nižje kot poleti, saj se je razmerje med fotosintezo in respiracijo v tem času že prevešalo v prid slednje. Zanimivo je, da so bile spomladi izmerjene vrednosti pH v Raku primerljive s poletnimi, na 13. in 19. merilnem mestu celo višje. Zelo verjetno je do teh odstopanj prišlo zaradi razlik v

času izvajanja meritev: spomladi smo na reki Rak vzorčili v popoldanskih urah ob sončnem vremenu, medtem ko so bili spodnji odseki poleti vzorčeni dopoldne ob zmerno oblačnem vremenu, zaradi česar je bilo razmerje med stopnjo fotosinteze in respiracije tedaj morda nekoliko nižje, kar se je odrazilo v nižjih vrednostih pH.

Struga reke Obrh je, tako kot struga Raka, precej razgibana. Vzdolž nje sicer nikjer nismo zaznali tako izrazitih sprememb glede fizikalnih in kemijskih parametrov kot v primeru Raka med 11. in 13. odsekom, a so se rečni odseki prav tako med seboj razlikovali glede širine in globine struge, njene zastrtosti z obrežno vegetacijo, zaledja, substrata in hitrosti vodnega toka. Med makrofiti so prevladovale rastline z amfibijskim značajem ter močvirske rastline (Preglednica 4), torej rastline, najbolje prilagojene na spremembe vodnih razmer na rastišču zaradi nihanj vodostaja, ki so značilna za kraške vodotoke in katerim priča smo bili tudi tekom izvedbe terenskega dela za pričujočo študijo. Največ vrst (25) smo v Obrhu zabeležili v petem odseku, ki je izstopal tudi po fizičnih značilnostih struge: reka v tem delu oblikuje dva ostra okljuka, vodni tok je upočasnjen, saj so v strugi prisotna stara debla in druge zadrževalne strukture, za katerimi se odlagajo usedline in katerih izvor je obrežni pas, ki ga sestavljata sklenjena sestoja dreves in grmov, predvsem vrb. Medtem ko Obrh večinoma obdajajo obdelovalne površine (travniki in pašniki), ki ponekod prehajajo neposredno v strugo, povečini pa jih od nje ločuje ozek obrežni pas pionirskih dreves in grmov, je travnik na levem bregu petega odseka ločen od struge s približno sto metrov širokim pasom obrežnega gozda (Slika 16, Slika 18). Samo na tem odseku smo v Obrhu zaznali prisotnost edine izmed popisanih vrst, ki je na Rdeči seznam ogroženih praprotnic in semenk uvrščena kot prizadeta, tj. navadni sovec (*Oenanthe fistulosa*; Slika 8, Preglednica 4; URADNI LIST RS - 82/2002, Uredbeni del). Vrsta je bila sicer prisotna tudi na vzorčnem mestu Mali Obrh (Slika 2, Preglednica 4).

S pomočjo prirejene RCE metode smo večino (11) odsekov reke Obrh uvrstili v tretji RCE kakovostni razred, pet odsekov v spodnjem toku reke (devetega, desetega, enajstega, trinajstega in petnajstega) pa v drugi RCE kakovostni razred, kar nakazuje dobro oz. zelo dobro stanje ohranjenosti rečnega ekosistema. K boljši oceni omenjenih odsekov je v največji meri pripomogla struktura (utrjenost) rečnega brega, oblika struge (razmerje med širino in globino, pojavljanje meandrov, tolmunov in brzic), prisotnost zadrževalnih struktur, tip sedimenta ter širina in sklenjenost pasu obrežne vegetacije (Slika 16). Večjo raznolikost smo dobili pri ocenah ekološkega stanja glede na indeks rečnih makrofitov (RMI); prvi odsek smo uvrstili v slabo ekološko stanje, po toku navzdol se je nato (z izjemo desetega odseka) ekološko stanje odsekov izboljševalo. Za-



Slika 22: Loško polje z reko Obrh. Struga je v večjem delu obdana z obrežnim pasom pionirskih grmov in dreves, od bližnjih vasi jo ločujejo košeni travniki in pašniki, slednji ponekod segajo čisto do struge. Foto: M. Kravanja
Figure 22: The Lož polje with the Obrh River. The riverbed is largely surrounded by a riparian zone of pioneer shrubs and trees, separated from the nearby villages by meadows and pastures, some of which extend to the riverbed. Photo: M. Kravanja

dnje tri odseke smo uvrstili v zelo dobro ekološko stanje, odseke št. 7, 8, 11 in 12 v dobro ekološko stanje, preostale (z izjemo devetega) pa v zmerno ekološko stanje (Slika 18). Indeks RMI temelji na uvrstitvi makrofitskih taksonov v pet ekoloških skupin, ki odražajo trofičnost vode ter stanje (delež naravnih območij) v zaledju rek, kjer uspevajo. Iz računa so izvzete vrste s široko ekološko valenco (Kuhar s sodelavci 2011), kar je razlog, da ekološkega stanja devetega odseka reke Obrh s pomočjo tega indeksa nismo mogli oceniti, saj nobeden izmed v njem zabeleženih taksonov (Slika 8) nima indikatorske vrednosti. Iz Slike 8 lahko razberemo, da je bilo v začetnih odsekih Obrha število vrst, ki najbolje uspevajo v vodah z zmerno do visoko vsebnostjo hranil, kot tudi njihova abundanca, najvišja v zgornjih odsekih reke. Vrste *Alisma gramineum, Alisma plantago-aquatica, Callitriche palustris, Lythrum salicaria, Mentha aquatica, Myosotis scorpioides, Oenanthe fistulosa, Potamogeton perfoliatus, Plantago altissima Phalaris arundinacea, Ranunculus circinatus, Ranunculus trichophyllus, Sium latifolium, Veronica anagallis-aquatica* so značilne za habitate, zmerno bogate do bogate s hranili. Izmed indikatorjev evtrofnih voda, tj. vrst, ki jim ustrezajo vode z visoko vsebnostjo hranil, pa smo zabeležili vrste *Myriophyllum spicatum, Potamogeton crispus, Potamogeton lucens, Ranunculus circinatus, Schoenoplectus lacustris, Sparganium emersum* in *Sparganium erectum* agg. (Haslam 1987; Preston 1995; Šraj-Kržič s sodelavci 2007). Njihovo uspevanje ter visoka abundanca v gornjih odsekih Obrha je glede na naše rezultate tesno povezana z vplivi iz zaledja, lastnostmi struge ter bregov, kot tudi z abiotskimi parametri vode. Pri vrstah *M. spicatum, S. emersum, S. lacustris* in *P. perfoliatus*, smo ugotovili močno pozitivno korelacijo s pH vrednostjo vode (Slika 20), ki je bila v začetnih odsekih, kjer so bile te vrste najbolje zastopane, rahlo bazična. Za mahovno vrsto *Fontinalis antipyretica* je bila povezava pričakovano negativna ter precej šibkejša, podobno smo opazili za praprotnico *Equisetum arvense* ter cvetnici *Roripa amphibia* in *Ranunculus trichophyllus*. Z razporeditvijo ostalih vrst, prisotnih v Obrhu, pa je bila najbolj povezana stopnja nasičenosti vode s kisikom (Slika 20). Izmed makrofitov, značilnih za neobremenjene vode, gre omeniti vrste *Caltha palustris, Galium palustre* in *Polygonum amphibium*. Izmed vrst s široko ekološko valenco (in posledično nizko indikatorsko vrednostjo) pa so vzdolž Obrha relativno enakomerno uspevale vrste *Fontinalis antipyretica, Phalaris arundinacea, Phragmites australis* in *Solanum dulcamara*.

Zgornjih dvanajst odsekov reke Rak se je po prirejeni metodi RCE (Petersen 1992) uvrstilo v prvi, ostalih šest pa v drugi RCE kakovostni razred (Preglednica 1, Slika 17), kar kaže na zelo dobro oz. odlično stopnjo ohranjenosti reke. Boljša ocena zgornjih odsekov je bila predvsem na račun ekomorfoloških dejavnikov – rabe tal za obrežnim pasom, širine obrežnega pasu (od roba reke do kmetijskih površin), sklenjenosti vegetacije v obrežnem pasu ter količine detrita. Odseke reke Rak smo glede na indeks rečnih makrofitov (RMI; Kuhar s sodelavci 2011) uvrstili v zelo dobro, dobro oz. zmerno ekološko stanje (Slika 19). Samo v trinajstem odseku smo zabeležili vrsto *Potamogeton pectinatus*, na onesnaženje najbolj tolerantno vrsto tega rodu (Preston 1995), ki je bil sicer v Raku izmed vseh rodov najbolje zastopan, in sicer s skupno petimi vrstami (*P. crispus, P. lucens, P. natans, P. pectinatus* in *P. perfoliatus*) in enim križancem, *Potamogeton* x *zizii*. Gre za križanca med vrstama *P. gramineus* in *P. lucens*, za katerega je znano da, tako kot v našem primeru, pogosto uspeva v odsotnosti ene ali celo obeh starševskih vrst (Preston 1995). Druga vrsta, *P. gramineus,* v Raku zadnjih 14 let ni bila popisana, se pa občasno pojavlja v Cerkniškem jezeru (Gojznikar s sodelavci 2019 po Gaberščik 2019, osebna komunikacija). *Potamogeton* x *zizii* uspeva v mezotrofnih jezerih in rekah, na območju Slovenije pa velja Rak za eno izmed dveh njegovih znanih nahajališč; v preteklosti je bil opažen tudi v reki Obrh (Germ, Kuhar in Gaberščik 2016), kjer pa ga v letu 2023 nismo zabeležili. V preteklih študijah je bil sicer v reki Rak poleg *P.* x *zizii* (Gojznikar s sodelavci 2019; Lampret s sodelavci 2020; Kopitar s sodelavci 2022; Jaklič s sodelavci 2023) zabeležen tudi *P.* x *salicifoius* (Šraj-Kržič s sodelavci 2006; Glišič 2007), vendar križanca nikoli nista bila prisotna hkrati. Med makrofiti, ki so uspevali v skoraj vseh (15 od 18) odsekih Raka, sta bili vrsti *Rorippa amphibia* ter vodni mah *Fontinalis antipyretica* (Slika 9). Slednji je z največjo abundanco uspeval v zgornjem delu reke, kjer je za večino pravih vodnih rastlin vodni tok prehiter za ukoreninjanje. Vrsta *F. antipyretica* pa je nanj prilagojena, saj je njegova bazalna celica spremenjena v rizoidalno, ki se zavrta v podlago in na ta način omogoča uspevanje v hitro tekočih vodotokih (Germ 2013). Poleg že omenjene vrste *Potamogeton pectinatus* je bilo v Raku prisotnih še več vrst, ki so pokazatelji visoke vsebnosti hranil v vodi: *Myriophyllum spicatum, Potamogeton crispus, Potamogeton lucens, Potamogeton perfoliatus, Schoenoplectus lacustris, Sagittaria sagittifolia, Sparganium erectum* agg. in *Sparganium emersum*. Glede na izsledke študije Germ s sodelavci (2021) naj bi v reki Ljubljanici *s. str.* vrsta *Sparganium emersum* prevladovala v zasenčenih predelih, v našem primeru pa smo jo tako v Obrhu kot Raku zabeležili na manj zastrtih odsekih (Slika 8, Slika 9). Uspevala je v združbah skupaj z različnimi makrofitskimi taksoni, kar potrjuje iz-

sledke o njeni visoki fenotipski plastičnosti ter nizki stopnji kompeticije in specifičinosti glede habitatnih zahtev (Cook & Nicholls 1986; Germ s sodelavci 2021). V zgornjem delu Raka, na odsekih od 3 do 12, je bila prisotna tudi vrsta *S. erectum* agg.; omenjeni pripadnici rodu se med seboj razlikujeta v habitatnih zahtevah – vrsto *S. emersum* običajno najdemo v globljih vodah kot vrsto *S. erectum* agg. (Newman 2005), kar sovpada z razporeditvijo v reki Rak.

Iz rezultatov CCA analize (Slika 21) lahko sklepamo, da merjeni fizikalni in kemijski parametri nimajo odločilnega vpliva na razporeditev in abundanco makrofitov v Raku. Večina taksonov je odražala zgolj korelacijo s koncentracijo v vodi raztopljenega kisika, kar je glede na visoko stopnjo biogenega prezračevanja v času popisa pričakovano.

Visoka vrstna pestrost in abundanca makrofitov v obeh preučevanih rekah sta odraz ustreznih razmer za njihovo rast (substrat, svetlobne razmere, hranila), pa tudi njune relativno dobre ohranjenosti ter obdanosti njunih strug s povečini sklenjenim pasom obrežne vegetacije, ki blaži vplive iz zaledja. Ti so bolj obsežni v primeru Obrha, medtem ko je Rak obdan s travniki in gozdovi (Slika 23), kar se odraža na boljši oceni ohranjenosti rečnega ekosistema. Kraški značaj z značilnimi nihanji vodostaja povečuje heterogenost habitatov v rekah ter povzroča pogoste poplave, ki omejujejo človekove posege v prispevnem območju rek.



Slika 23: Popis spodnjega dela reke Rak. Strugo obdajajo košeni travniki in gozd. Foto: M. Holcar
Figure 23: Inventory of the lower reaches of the Rak River. The riverbed is surrounded by mown meadows and forests. Photo: M. Holcar

ZAKLJUČKI

Odseki reke Obrh so se glede na prirejeno RCE metodo (Petersen 1992) uvrstili v drugi oz. tretji RCE kakovostni razred, odseki reke Rak pa v prvi oz. drugi. Odseke prve smo glede na indeks RMI (Kuhar s sodelavci 2011) uvrstili v zelo dobro, dobro, zmerno oz. slabo ekološko stanje, dolvodno se je ocena ekološkega stanja odsekov praviloma zviševala. Odseke Raka smo uvrstili v zelo dobro, dobro oz. zmerno ekološko stanje. Z ozirom na presihajočo naravo kraških rek smo skladno s pričakovanji popisali največ rastlin z amfibijskim značajem (44 % v Obrhu, 34 % v Raku) ter helofitov (39 % v Obrhu, 37 % v Raku), pravih vodnih rastlin, ki na presihanje niso prilagojene, pa 17 % v Obrhu in 29 % v Raku. V reki Obrh smo popisali 36 taksonov makrofitov, kar je za tretjino več kot leta 2004 (Glišič 2007), v reki Rak pa 38 taksonov, pri čemer smo v njem prvič zabeležili prisotnost vrste *Myriophyllum verticillatum* L. To dodatno potrjuje izsledke o dobrem ekološkem stanju preučevanih rečnih ekosistemov. Poleg tega je več kot četrtina vrst, prisotnih v vsaki izmed rek, uvrščenih na Rdeči seznam ogroženih praprotnic in semenk, kar izkazuje visoko stopnjo njune ohranjenosti ter pomen ustreznega upravljanja tovrstnih habitatov.

SUMMARY

The ecological status of waters is assessed based on biological quality elements (phytoplankton, phytobenthos and macrophytes, fish and benthic invertebrates) and supporting physical, chemical and hydromorphological elements (ARSO 2008). River organisms are subject to many pressures resulting from catchment characteristics (geology, slope, land cover parameters) and human influence (land use in the hinterland, changes in riparian vegetation, etc.). These pressures can alter river communities, including macrophytes, which participate in nutrient cycling, energy flow and sedimentation processes, as well as provide protection and habitat for many other organisms and are thus essential for the functioning of river systems (FOX 1992; SAND-JENSEN & MEBUS 1996; HOLMES 1999; BAATTRUP-PEDERSEN, LARSEN & RIIS 2002; KUHAR et al. 2007; KUHAR, GERM & GABERŠČIK 2018). As they absorb large quantities of dissolved nutrients (nitrogen and phosphorus compounds) and produce oxygen, which allows the water to aerate and therefore enable faster decomposition, they can serve as important water and sediment quality indicators (Haslam 1987; Carbiener et al. 1990).

A dense network of watercourses intersects Slovenia, but due to the rugged terrain and rock composition, most of them are relatively short or run part of their course underground, which reduces their self-cleaning capacity. The karstic geomorphological phenomena include poljes (flat-floored depressions within karst limestone), which are either flooded or dry throughout the year, depending on the amount of rainfall and the flow of water into the extensive underground drainage system. During summer droughts, karstic rivers, which define karst poljes with their fluctuating water levels, can (partially) dry up as well. The organisms living in such rivers must therefore be well adapted to the changing water regime. Therefore, it is not surprising that the two surveyed watercourses of the Ljubljanica River *s. lat.*, Obrh and Rak, were found to be dominated by amphibious plants and helophytes. In addition to macrophyte diversity, our study included investigations of species distribution and abundance, and analyses of their correlation with the measured physical and chemical water parameters. The ecological status of each river section was assessed using RMI (River Macrophyte Index), while ecomorphological parameters of the river ecosystems were assessed according to the modified RCE method (A Riparian, Channel, and Environmental Inventory).

The field work was carried out from May to September 2023. In the summer survey (from late June to mid-July), the rivers were divided into several sections based on their distinctiveness. In every section (measuring between 49 and 526 m in length in Obrh and from 13 to 195 m in Rak) the physical and chemical water parameters (temperature, pH, dissolved oxygen concentration, oxygen saturation, conductivity) were measured, and macrophyte presence, distribution, and abundance were investigated. Water samples were taken from three sections of each river for subsequent laboratory analyses of nitrate and orthophosphate content.

We concluded that both rivers are dynamic systems, transforming vividly through time and space. The measurements of the physical and chemical parameters of the water revealed a more distinctive pattern in the Rak River than in the Obrh River. The latter was characterized by relatively stable conductivity and pH values during the summer survey, while tempera-

ture, oxygen concentration and oxygen saturation gradually decreased along its way towards a sinkhole in NW part of Loško polje. In the Rak River, a substantial increase in temperature and consequential decrease in oxygen concentration and saturation occurred between sections 11 and 13, where the riverbed widens and deepens, causing the water flow to slow down. Combined with greater insolation, this results in Rak River becoming more suitable for macrophyte growth from here downstream, which is why a greater diversity and abundance of water vegetation was observed in the lower part of the river. A higher nutrient uptake by plants was reflected in lower conductivity. In contrast, a higher macrophyte diversity was observed in the upper half of the Obrh river, where the meanders are less sharp than further downstream and the riverbed is wider and less shaded by riparian vegetation. The total number of macrophyte taxa present in the Rak River was 38, which is six more than in 2004, and comparable to the inventories conducted in previous years (2019, 2020, 2021 and 2022). In the Obrh River we recorded nine more species than in a survey carried out 19 years ago (36). The number of taxa recorded in both rivers was 26, representing a high proportion of the species present in each river (68% for the Rak, 72% for the Obrh). The highest relative plant abundance was observed for *Sparganium erectum* agg. in the Obrh River and *Sagittaria sagittifolia* in the Rak River. The former occurred evenly along the whole Obrh River, while the distribution of the latter in the Rak River was more clustered. In the present study, *Myriophyllum verticillatum* L. was recorded for the first time in the Rak River. Although several indicators of (meso)eutrophic waters were present in both rivers, we also recorded the occurrence of numerous protected plants – almost one third of the taxa found in each river are classified as vulnerable on the Slovenian Red list of threatened pteridophytes and seed plants, and one (*Oenanthe fistulosa*, found in the Obrh River) as endangered, which increases the importance of conservation and management of these karst rivers.

The RCE and RMI classification patterns are largely congruent for both rivers, with the exception of the 6th section of the Rak River, which was classified into the 1st RCE quality class (»excellent«), while its ecological status according to the RMI was assessed as moderate. Using the modified RCE method, we classified most (11) sections of the Obrh River as 3rd RCE quality class, and five sections as 2nd RCE quality class, indicating a good or very good condition of the river ecosystem. In the Rak River, the ecosystem preservation level was even higher (very good or excellent), as the upper twelve sections were classified as 1st RCE quality class, and the remaining six as 2nd class. According to the River Macrophyte Index (RMI; KUHAR et al. 2011), the ecological status of the first section of the Obrh River was classified as poor, while the following sections were classified as moderate, good and very good ecological status. The area surrounding the Obrh River is mainly characterised by meadows and pastures, some of which directly reach the riverbed, while the majority are separated from it by a narrow riparian zone of pioneer trees and shrubs. In addition to agricultural land, a potential source of sewage is the nearby villages, in which a few industrial plants also operate. The Rak River, on the other hand, flows through a semi-natural landscape of forests and cultivated meadows.

The high level of ecosystem conservation and macrophyte diversity, as well as the high proportion of Red Listed plant species, indicate that the two karst rivers studied exhibit a high degree of naturalness, highlighting the importance of appropriate management of such ecosystems.

ZAHVALA

Za pomoč pri izvedbi terenskega oz. laboratorijskega dela se zahvaljujemo Lanu Gladu, Gei Anić, Lauri Štampar, Aleksandru Trajbariču in Mateju Holcarju, za pomoč pri statistični obdelavi rezultatov pa Niku Ojdaniču. Raziskava je bila financirana v okviru Raziskovalnega programa P1-0212 (Biologija rastlin), programa Mladi raziskovalec (Marija Kravanja, ARIS št.: 58170), ki poteka v okviru programske skupine P4-0107 (Gozdna biologija, ekologija in tehnologija) Javne agencije za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost RS ter Commission of the European Communities preko projekta LifeWatch in infrastrukturnega projekta eLTER.

LITERATURA

ARSO. 2008. Kakovost voda v Sloveniji. Agencija RS za okolje: 9 str.

ARSO. 2015a. Ocena stanja površinskih voda za Slovenijo v obdobju 2009–2014 - karte. Agencija RS za okolje: 16 str.

ARSO. 2015b. Ocena stanja podzemnih voda za Slovenijo v obdobju 2009–2014 – karte. Agencija RS za okolje: 5 str.

Asaeda T., Trung V. K., Manatunge J., Van Bon T., 2001: Modelling macrophyte – nutrient – phytoplankton interactions in shallow eutrophic lakes and the evaluation of environmental impacts. Ecological Engineering, 16: 341–357. https://doi.org/10.1016/S0925-8574(00)00120-8

Baattrup-Pedersen A., Riis T., 1999: Macrophyte diversity and composition in relation to substratum characteristics in regulated and unregulated Danish streams. Freshwater Biology 42: 375–385. https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1999.444487.x

Baattrup-Pedersen A.; Larsen S.E.; Riis T., 2002: Long-term effects of stream management on plant communities in two Danish lowland streams. Hydrobiologia 481: 33–45. https://doi.org/10.1023/A:1021296519187

Baattrup-Pedersen A., Larsen S.E., Riis T., 2003: Composition and richness of macrophyte communities in small Danish streams - influence of environmental factors and weed cutting. Hydrobiologia 495: 171–179. https://doi.org/10.1023/A:1025442017837

Baattrup-Pedersen A., Szoszkiewicz K., Nijboer R., O'hare M., Ferreira T., 2006: Macrophyte communities in unimpacted European streams: Variability in assemblage patterns, abundance and diversity. Hydrobiologia 566(1): 179–196. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5493-8_13

Barrat-Segretain M.H., Henry C.P., Bornette G., 1999: Regeneration and colonization of aquatic plant fragments in relation to the disturbance frequency of their habitats. Archiv für Hydrobiologie 145: 111–127.

Bonacci, O., Željković, I., Galić, A., 2012: Karst Rivers' Particularity: an Example From Dinaric Karst (Croatia/Bosnia and Herzegovina). Environmental Earth Sciences 70: 963–974. https://doi.org/10.1007/s12665-012-2187-9

Boulton A. J., Brock M. A., Robson B. J., Ryder D. S., Chambers J. M., Davis J. A., 2014: Australian Freshwater Ecology: Processes and Management. 2. izd. Hoboken, Wiley-Blackwell: 386 str.

Brink F. V. D., Van Der Velde G., Bosman W., Coops H., 1995: Effects of substrate parameters on growth responses of eight helophyte species in relation to flooding. Aquatic Botany 50: 79–97.

Capers R.S., 2003: Six years of submerged plant community dynamics in a freshwater tidal wetland. Freshwater Biology 48: 1640–1651. https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2003.01115.x

Carbiener, R., Trémolières, M., Mercier, J.L., Ortscheit, A., 1990: Aquatic macrophyte communities as bioindicators of eutrophication in calcareous oligosaprobe stream waters (Upper Rhine plain, Alsace). Vegetatio, 86(1): 71–88. https://doi.org/10.1007/BF00045135

Cook C. D., Nicholls M. S., 1986: A monographic study of the genus *Sparganium* (Sparganiaceae). Part 1. Subgenus Xanthosparganium Holmberg. Botanica Helvetica 96: 213–267.

Čad, G., 1996. Regionalna geografija Loške doline. Diplomsko delo. Ljubljana, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo: 121 str.

Dodkins I., Rippey B., Hale P., 2005: An application of canonical correspondence analysis for developing ecological quality assessment metrics for river macrophytes. Freshwater Biology 50: 891–904.

Elonger A.I. 2012: Alternative ways to use and evaluate Kohler's ordinal scale to assess aquatic macrophyte abundance. Ecological Indicators 20(2012): 238–243. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.02.023

ESRI. World Imagery, 2023: https://www.arcgis.com/home/item.html?id=10df2279f9684e4a9f6a7f08febac2a9 (5. 12. 2023)

Fernández-Aláez C., Fernández-Aláez M., Bécarez E., 1999: Influence of water level fluctuation on the structure and composition of the macrophyte vegetation in two small temporary lakes in the northwest of Spain. Hydrobiologia 415: 155–162. https://doi.org/10.1023/A:1003807905710

Fox, A.M., 1992: Macrophytes. V: The River Handbook. Hydrological and ecological principles. Volume one. Calow P., Peets G.E. (ur.). Oxford, Blackwell Science: 216–233.

Gaberščik A., Kosi G., Krušnik C., Urbanc-Berčič O., Bricelj M., 1994: Kvaliteta vode v Cerkniškem jezeru in njegovih pritokih/ Water quality in Cerknica Lake and its tributaries. Acta Carsologica 23: 266–283.

Gaberščik A., Urbanc-Berčič O., Kržič N., Kosi G., Brancelj A., 2003: The intermittent Lake Cerknica: vari-

ous faces of the same ecosystem. Lakes Reservoirs: Res Manage 8:159–168. https://doi.org/10.1111/j.1440-1770.2003.00228.x

Gams I., 1994: Types of the poljes in Slovenia, their inundations and land use. Acta Carsologica 23: 285–302.

Gams I.,1998: Kras/karst. V: Gams I., Vrišer I. (ur.). Geografija Slovenije/ Geography of Slovenia. Ljubljana, Slovenska matica: 501 str.

Gams, I., 2003: Kras v Sloveniji v prostoru in času. Postojna, Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU

Germ M. 2009. Makrofiti ali vodne rastline. Svet ptic, 15, 3: 20–21

Germ M. 2013. Biologija vodnih rastlin: učbenik. Ljubljana, samozaložba: 69 str.

Germ M., Janež V., Gaberščik A., Zelnik I., 2021: Diversity of macrophytes and environmental assessment of the Ljubljanica river (Slovenia). Diversity 13, 278. https://doi.org/10.3390/d13060278

Giller P.S., Malmqvist B., 1998: The biology of streams and rivers. Biology of habitats. Oxford, Oxford University Press: 296 str.

Glišič, I., 2007: Okoljska ocena in makrofiti rek Unice, Obrha in Raka. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo.

Gojznikar J., Fon Mervič L., Kepec M., Kraševec R., Plaznik D., Germ M., 2019: Razporeditev in pogostost makrofitov v kraški reki Rak. Hladnikia 44: 53–65.

Gostinčar, P., Stepišnik, U., 2023: Extent and spatial distribution of karst in Slovenia. Acta geographica Slovenica, 63(1): 111–129. https://doi.org/10.3986/AGS.11679

Habič, P., 1977. Nekaj geografskih značilnosti Loške doline. V: Notranjski listi I. Stari trg pri Ložu, Epid-paralele: 11–15.

Habič, P., 1969: Hidrografska rajonizacija krasa v Sloveniji. Krš Jugoslavije (Zagreb) 6: 79–91.

Haslam, S.M., 1987: River Plants of Western Europe. The macrophytic vegetation of watercourses of the European Economic Community. Cambridge, New York, New Rochelle, Melbourne, Sydney, Cambridge University Press: 512 str.

Hidrološki letopis Slovenije, 2009. Izviri. Ljubljana, Agencija RS za okolje in prostor: 4 str.

Holmes N.T.H., 1999: British river macrophytes perceptions and uses in the 20th century. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 9: 535–539.

IPNI, 2024: International Plant Names Index. The Royal Botanic Gardens. Kew, Harvard University Herbaria & Libraries and Australian National Herbarium (20. 2. 2024).

Janauer G., 2002: MIDCC. Multifunctional Integrated Study Danube Corrdior and Catchment. Guidance on the Assessment of Aquatic Macrophytes in the River Danube, in Water Bodies of the Fluvial Corridor, and in its Tributaries: 8 str.

Jones J. I., 2005: The metabolic cost of bicarbonate use in the submerged plant *Elodea nuttallii*. Aquatic Botany 83: 71–81. https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2005.05.002

Kopitar D., Kravanja M., Trajbarič A., Germ M., 2022: Razporeditev makrofitov v kraški reki Rak in ocena stanja vodnega ekosistema. Folia biologica et geologica 63(1): 123–142. https://doi.org/10.3986/fbg0095

Jaklič A., Konc K., Knez D., Klančičar J., Germ M., 2023: Visoka vrstna pestrost makrofitov v kraškem vodotoku Rak. Hladnikia 51:15–37.

Kuhar U., Gregorc T., Renčelj M., Šraj-Kržič N., Gaberščik A., 2007: Distribution of macrophytes and condition of the physical environment of streams flowing through agricultural landscape in north-eastern Slovenia. Limnologica 37: 146–154. https://doi.org/10.1016/j.limno.2006.11.003

Kuhar U., Kržič N., Germ M., Gaberščik A., 2009: Habitat characteristics of threatened macrophyte species in the watercourses of Slovenia. Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie 30(5): 754–756.

Kuhar U., Germ M., Gaberščik A., Urbanič G., 2011: Development of a River Macrophyte Index (RMI) for assessing river ecological status. Limnologica 3(41): 235–243. https://doi.org/10.1016/j.limno.2010.11.001

Kuhar U., Germ M., Gaberščik A., 2018: Macrophytes of watercourses in the Slovenian Danube Basin. V: Macrophytes of the River Danube Basin. Janauer G.A., Gaberščik A., Květ J., Germ M., Exler N. (ur.). Praga, Academia: 234–251.

Lacoul P., Freedman B., 2006: Environmental influences on aquatic plants in freshwater ecosystems. Environmental Reviews 14: 89–136. https://doi.org/10.1139/a06-001

Lampret Ž., Tertinek Ž., Vodopivec L., Gabor M., Aljančič G., Germ M., 2020: Kaj pravijo makrofiti na reki Rak? Proteus 83(1): 6–14.

Li G., Hu S., Hou H., Kimur, S., 2019: Heterophylly: Phenotypic Plasticity of Leaf Shape in Aquatic and Amphibious Plants. Plants 8(10), 420. https://doi.org/10.3390/plants8100420

Ljevnaić-Mašić B., Džigurski D., Nikolić L., Brdar-Jokanović M., Čabilovski R., Ciric V., Petrović A., 2020: Assessment of the habitat conditions of a rare and endangered inland saline wetland community with *Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla dominance in Southeastern Europe: The effects of physical–chemical water and soil properties. Wetlands Ecology and Management 28: 421–438. https://doi.org/10.1007/s11273-020-09721-4

Maberly S. C., Spence D. H. N., 1989: Photosynthesis and photorespiration in freshwater organisms: amphibious plants. Aquatic Botany 34: 267–286. https://doi.org/10.1016/0304-3770(89)90059-4

Madsen J. D.,, Chambers P. A., James, W. F., Koch, E. W., Westlake, D. F., 2001: The interaction between water movement, sediment dynamics and submersed macrophytes. Hydrobiologia 444: 71–84. https://doi.org/10.1023/A:1017520800568

Madsen T. V., Maberly S. C., Bowes G., 1996: Photosynthetic acclimation of submersed angiosperms on CO_2 and HCO_3^-. Aquatic Botany 53: 15–30. https://doi.org/10.1016/0304-3770(95)01009-2

Murphy K.J.; Rørslett B.; Springuel I., 1990: Strategy analysis of submerged lake macrophyte communities: An international example. Aquatic Botany 36: 303–323. https://doi.org/10.1016/0304-3770(90)90048-P

Nilsen E. T., Orcutt D. M., 1996: Water limitation. V: The Physiology of Plants under Stress: Abiotic Factors. New York, John Wiley and Sons: 322–361.

Pall K., Janauer G., 1995.: Die Makrophytenvegetation von Flußstauen am Beispiel der Donau zwischen Flußkm 2552,0 und 2511,8 in der Bundesrepublik Deutschland. Large Rivers 9(2): 91-109.

Pavšič, J, 2008: Ljubljansko barje: Neživi svet, rastlinstvo, živalstvo, zgodovina in naravovarstvo. Ljubljana, Društvo Slovenska matica: 214 str.

Petersen R.C., 1992: The RCE: a Riparian, channel, and environmental inventory for small streams in the agricultural landscape. Freshwater Biology 27: 295–306. https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1992.tb00541.x

Pleničar M., 1963: Guidebook of sheet Postojna, Basic geological map of Yugoslavia 1:100.000. Beograd, Federal Geological Survey of Beograd.

PIP E., 1989: Water temperature and freshwater macrophyte distribution. Aquatic Botany 34(4): 367-373. https://doi.org/10.1016/0304-3770(89)90079-X

Preston C.D., 1995: Pondweeds of Great Britain and Ireland. London, Botanical Society of the British Isles: 352 str.

Riis T., Hawes I., 2002: Relationships between water level fluctuations and vegetation diversity in shallow water of New Zeland lakes. Aquatic Botany 74 (2): 133–148. https://doi.org/10.1016/S0304-3770(02)00074-8

Riis T., Tank J.L., Reisinger A.J., Aubenau A., Roche K.R., Levi P.S., Baattrup-Pedersen A., Alnoee A.B., Bolster D., 2020: Riverine macrophytes control seasonal nutrient uptake via both physical and biological pathways. Freshwater Biology 65 (2): 178–192. https://doi.org/10.1111/fwb.13412

Rosso J. J., Fernández Cirelli A., 2013: Effects of land use on environmental conditions and macrophytes in prairie lotic ecosystems. Limnologica 43 (1): 18–26. https://doi.org/10.1016/j.limno.2012.06.001

Sand-Jensen K., Mebus J.R., 1996: Fine-scale patterns of water velocity within macrophyte patches in streams. Oikos,76 (1): 169–180. https://doi.org/10.2307/3545759

Settele J., Scholes R., Betts R.A., Bunn S., Leadley P., Nepstad D., Overpeck J.T., Angel Taboada M., Adrian R., Allen C. s sod., 2014: Terrestrial and inland water systems. V: Climate Change: Impacts, Adaptation, and Vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Cambridge University Press: 1–32.

Skoberne P. 2004. Ljubljanica od izvira do izliva. Ljubljana, Mladinska knjiga: 104 str.

Stepišnik U., Repe B., 2015: Identifikacija vročih točk geodiverzitete na primeru krajinskega parka Rakov Škocjan. Dela 44: 45–62. https://doi.org/10.4312/dela.44.45-62

Strasburger E., Noll H., Schimper A. F. W., 1982: Učbenik botanike za visoke škole. Morfologija i fiziologija. 31. izd. Zagreb, Školska knjiga Zagreb, 127 str.

Svitok M., Hrivnák R., Kochjarová J., Oťaheľová H., Paľove-Balang P., 2016: Environmental thresholds and predictors of macro- phytespecies richness in aquatic habitats in central Europe. Folia Geobotanica 51: 227–238. https://doi.org/10.1007/s12224-015-9211-2

Šraj-Kržič, N., Germ, M., Urbanc-Berčič, O., Kuhar, U., Janauer, G.A., Gaberščik, A., 2007: The quality of the aquatic environment and macrophytes of karstic watercourses. Plant Ecology 192(1): 107–118. https://doi.org/10.1007/s11258-006-9230-4

Ter Braak C.J.F., Verdonschot, P.F.M., 1995: Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. Aquatic Sciences 57: 255–289. https://doi.org/10.1007/BF00877430

Tse F. C., Sandall O. C., 1979: Diffusion coefficients for oxygen and carbon dioxide in water at 25 °C by unsteady state desorption from a quiescent liquid. Chemical Engineering Communications, 3: 147–153. https://doi.org/10.1080/00986447908935860

Ur. l. LRS, 1949: Odločba o zavarovanju okolice Rakove kotline pri Rakeku na Notranjskem. Uradni list Ljudske republike Slovenije 27/49.

Ur. l. RS, 2002a: Odlok o Notranjskem regijskem parku. Uradni list Republike Slovenije 75/2002: 8330.

Ur. l. RS, 2002b: Pravilnik o uvrstitvi ogroženih rastlinskih in živalskih vrst v rdeči seznam. Uradni list Republike Slovenije 82/02.

Urbanc-Berčič O., Kržič N., Rudolf M., Gaberščik A., Germ M. 2005. The effect of water level fluctuation on macrophyte occurrence and abundance in the intermittent Lake Cerknica. V: Natural and constructed wetlands: nutrients, metals and management. Vymazal J. (ur.). Leiden, Backhuys Publishers: 312–320.

Urbanič G., Toman M. J., 2003: Varstvo celinskih voda. Ljubljana, Študentska založba: 94 str.

Ward J.V., 1898: The Four-Dimensional Nature of Lotic Ecosystems. Journal of the North American Benthological Society 8: 2–8.

Warwick N.W.M., Brock M.A., 2003: Plant reproduction in temporary wetlands: the effects of seasonal timing, depth, and duration of flooding. Aquatic Botany 77:153–167.

Warwick N.W.M., Brock M.A., 2003: Plant reproduction in temporary wetlands: the effects of seasonal timing, depth, and duration of flooding. Aquatic Botany 77 (2): 153–167. https://doi.org/10.1016/S0304-3770(03)00102-5

Wetzel R., 2001: Lymnology: Lake and river ecology. 3. izdaja. New York, Academic Press: 1006 str.

Williams P., Whitfield M., Biggs J., Bray S., Fox G., Nicolet P., Sear D., 2003: Comparative biodiversity of rivers, streams, ditches and ponds in an agricultural landscape in Southern England. Biological Conservation 115 (2): 329–341. https://doi.org/10.1016/S0006-3207(03)00153-8

Zelnik I., Kuhar U., Holcar M., Germ M., Gaberščik A., 2021: Distribution of vascular plant communities in Slovenian watercourses. Water 13, 1071. https://doi.org/10.3390/w13081071

Zupan Hajna N., 2004: Karst in Slovenia. V: Orožen Adamič, M. (ur.). Slovenia: a geographical overview. Ljubljana, Založba ZRC: 39–44.

Zupan Hajna N., Mihevc A., Prelovšek M., 2010: Case Studies from the Dinaric Karst of Slovenia. V: Introduction to the Dinaric Karst. Hajna, N., Mihevc, A., Prelovšek, M. (ur.). Postojna, Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU: 49–71.