

RAZGLEDI

KAKOVOSTNO STANJE RAKIŠKEGA STRŽENA PO OBNOVI CENTRALNE ČISTILNE NAPRAVE POSTOJNA

AVTORJA

dr. Gregor Kovačič

Univerza na Primorskem, Fakulteta za humanistične študije, Titov trg 5, SI – 6000 Koper, Slovenija
gregor.kovacic@fhs.upr.si

Tina Rupnik

Ulica Vilka Kledeta 6, SI – 6230 Postojna, Slovenija; tinarupnik2@gmail.com

DOI: 10.3986/GV91203

UDK: 504.5:628.3(497.471)

COBISS: 1.01

IZVLEČEK

Kakovostno stanje Rakiškega stržena po obnovi Centralne čistilne naprave Postojna

Članek obravnava kakovostno stanje Rakiškega stržena. Predstavljeni so rezultati meritev fizikalno-kemijskih parametrov na štirih merilnih mestih v obdobju oktober 2016–junij 2017 ter rezultati monitoringa iztočnih voda iz Centralne čistilne naprave Postojna, ki kažejo, da se je kakovost potoka po prenovi čistilne naprave izboljšala. To potrjuje tudi primerjava rezultatov s starejšo raziskavo, opravljeno v hidrološkem letu 2014, ki kaže na znižanje koncentracij nitrata in nitrita ter nasprotno, majhno povišanje koncentracij amonija in fosfata, kar razlagamo s slabšim učinkom redčenja v hidrološkem letu 2017, ki je bilo manj vodnato. K celotnemu obremenjevanju največ prispevajo prečiščene odpadne vode iz čistilne naprave ter neprečiščene odpadne vode iz Rakitnika.

KLJUČNE BESEDE

geografija kakovostno stanje vode, onesnaževanje, Rakiški stržen, Spodnja Pivka, Centralna čistilna naprava Postojna

ABSTRACT

Water quality of the Rakiški stržen brook after the reconstruction of the Central Wastewater Treatment Plant Postojna

The article deals with water quality of the Rakiški stržen brook. Results of the measurements of physico-chemical parameters in the period from October 2016 to June 2017 at four sampling points and the results of the monitoring of the treated wastewater effluent from the Central Wastewater Treatment Plant Postojna are presented. The results show, that the quality of the brook improved after the upgrading of the wastewater treatment plant. Comparison of the gained results with a former study, conducted in the hydrological year 2014, also confirms this finding, showing lower concentrations of nitrate and nitrite, but on contrary, slightly higher concentrations of ammonium and phosphates. The latter is most likely associated with lower dilution effect, since the hydrological year 2017 was significantly less wet. Treated wastewater effluent and untreated wastewaters from the Rakitnik village contribute the greatest part to the overall pollution burden of the brook.

KEY WORDS

geography water quality condition, pollution, Rakiški Stržen brook, Lower Pivka basin, Central Wastewater Treatment Plant Postojna

Uredništvo je prispevek prejelo 18. januarja 2019.

1 Uvod

Rakiški stržen je približno 3 km dolg in v celoti reguliran zadnji desni pritok Pivke pred njenim ponorom v Postojnsko jamo. Hidrogeografske značilnosti Rakiškega stržena ter njegovega porečja, povzete po že objavljenih virih (Habič 1989; Kogovšek 1999; Kogovšek s sodelavci 1999; Kogovšek in Petrič 2004; Petrič in Kogovšek 2005) in opravljenih lastnih meritvah, so podrobno opisane v Kovačič in Rupnik (2015). V nadaljevanju povzemamo zgolj bistvene hidrogeografske značilnosti potoka in njegovega porečja, ki so potrebne za razumevanje vsebine tega prispevka.

Rakiški stržen se napaja iz več manjših kraških izvirov. Njihovo vodozbirno zaledje, veliko približno 40 km², obsega zakrasele Javornike in Zgornjo Pivko, kar veča njegovo pokrajinsko občutljivost (Kovačič in Rupnik 2015). Največji med izviri je jama Fužina; njegov največji pretok po različnih ocenah doseže 2–2,6 m³/s (Gospodarič, Habe in Habič 1968; Petrič in Šebela 2005). Manjši del porečja Rakiškega stržena (1,75 km²) s površinskim odtokom obsega slabo prepustne flišne kamnine in kvartarne sedimente, od koder se v potok iztekajo tudi prečiščene odpadne vode iz Centralne čistilne naprave Postojna (v nadaljevanju CČN Postojna). Dolina Rakiškega stržena je široka in plitva, strmec je majhen (1,07 ‰), zato prihaja ob obilnejših padavinah do nastanka Rakiškega jezera, ki ob najvišjem vodostaju obsega 70 ha (Kovačič in Rupnik 2015). K ojezeritvi doline prispeva tudi Pivka, ki zajezi izliv Rakiškega stržena. Z lastnimi terenskimi meritvami vodostaja Rakiškega stržena v hidrološkem letu 2014, s podatki o pretokih Pivke na vodomerni postaji Prestranek ter s podatki o njenih vodostajih na vodomerni postaji Zalog smo z različnimi simulacijami ocenili, da lahko največji pretok potoka doseže 25–27 m³/s, srednji letni pretok pa 1,2–2,5 m³/s (Kovačič in Rupnik 2015). Ob nizkih vodah potok preuša oziroma v njegovih strugi tečejo zgolj iztočne vode CČN Postojna.

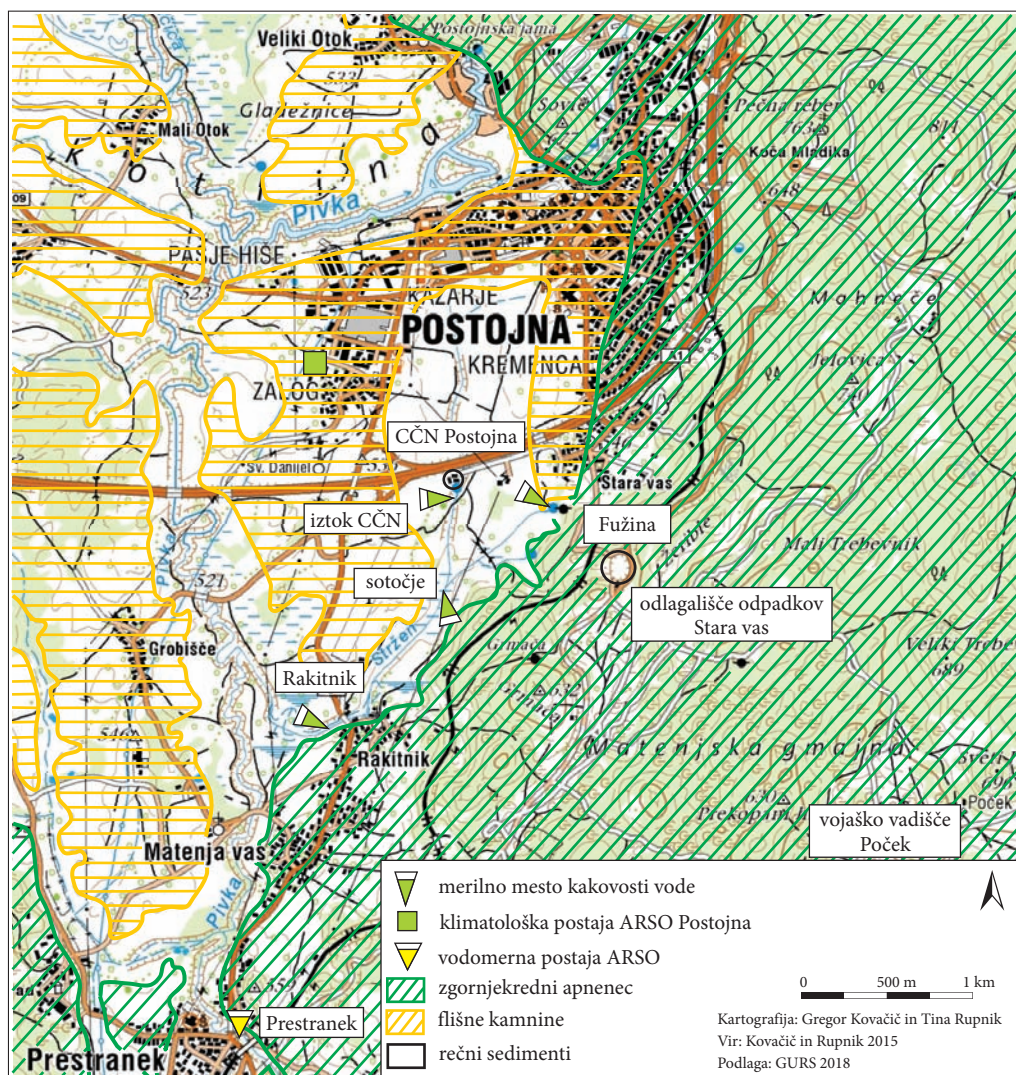
Meritve v hidrološkem letu 2014 so pokazale, da je za kakovost Rakiškega stržena veliko bolj kot občasni kraški izviri problematičen del porečja s površinskim odtokom, kamor se iztekajo prečiščene odpadne vode iz CČN Postojna. Kakovost potoka je bila slabša tudi dolvodno od Rakitnika, saj kanalizacijsko omrežje v naselju še ni bilo dograjeno (Kovačič in Rupnik 2015). Leta 2015 so CČN Postojna, zgrajeno leta 1985, temeljito posodobili in ji povečali zmogljivost. Nova naprava ima poleg običajnega mehanskega in biološkega čiščenja še tretjo in četrto stopnjo čiščenja odpadnih voda, ki zajemata še odstranjevanje fosforja, dušikovih spojin ter uničenje škodljivih mikroorganizmov z UV dezinfekcijo pred iztokom v pritok Rakiškega stržena (Centralna ... 2018). Leta 2016 so v naselju Rakitnik dogradili kanalizacijsko omrežje, vendar leta 2017 gospodinjstva še niso bila priključena.

V hidrološkem letu 2017 smo nadaljevali z raziskavo kakovostnega stanja Rakiškega stržena, saj se je po posodobitvi CČN Postojna leta 2015 ponudila priložnost za oceno izboljšanja njegovega kakovostnega stanja. Prečiščene odpadne vode iz CČN Postojna so se namreč v predhodni raziskavi izkazale kot največji onesnaževalec Rakiškega stržena (Kovačič in Rupnik 2015). Eden od ciljev prispevka je bila tudi primerjava rezultatov kakovosti vode na iztoku iz CČN Postojna pred in po njeni posodobitvi. Slednja, poleg ocene izboljšanja učinkovitosti prenovljene CČN Postojna, omogoča tudi oceno izboljšanja kakovostnega stanja preučevanega potoka ter hkrati oceno prispevka posameznih virov obremenjevanja v njegovem porečju k celokupnemu onesnaževanju vodotoka. Pridobljeni rezultati omogočajo presojo, ali je obstoječe upravljanje z vodami v porečju Rakiškega stržena zadovoljivo za zagotavljanje ustreznega kakovostnega stanja potoka.

2 Metodologija

Podatke o merjenih parametrih kakovosti vode na vtoku in iztoku iz CČN Postojna, ki jih enkrat mesečno izvaja Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano, Center za okolje in zdravje, Enota za okolje in zdravje Nova Gorica oziroma Koper, smo pridobili od upravljalca čistilne naprave, podjetja Kovod d. o. o. Na vtoku v čistilno napravo laboratorijsko določajo parametre KPK, BPK₅, celotni

dušik in celotni fosfor. Na iztoku, neposredno pred izpustom v vodotok, pa neraztopljeni snovi, KPK, BPK₅, amonijev dušik, celotni dušik in celotni fosfor. V prispevku so podatki izbranih parametrov, izmerjenih v obdobju 2002–2013 in 2016–17 (Poročilo o obratovalnem ... 2013; 2014; 2015; 2017; 2018), uporabljeni za primerjavo kakovosti iztočnih voda iz čistilne naprave ter oceno učinkovitosti čiščenja pred in po njeni temeljiti posodobitvi leta 2015. Terenske meritve so bile opravljene v obdobju 14. 10. 2016–24. 6. 2017 (meritve kisika od 31. 1. 2017 dalje) ob različnih hidroloških stanjih. Odvzetih je bilo 64 vzorcev, po 16 na vsakem merilnem mestu. Osem meritev je bilo opravljenih ob nizkem vodnem stanju, tri ob srednjem in pet ob visokem vodnem stanju. Vodno stanje ob terminih meritev smo določili na podlagi pretokov Pivke na vodomerni postaji Prestranek in vodostajev Pivke na vodomerni postaji Postojnska jama (Podatki o dnevni ... 2018; slika 4).



Slika 1: Rakiški stržen z lokacijami meritev kakovosti vode.

Prvo merilno mesto je bilo na občasnem kraškem izviru Fužina, južno od Stare vasi. Štirikrat, v času ko je bil izvir presušen, smo vzorčenje in ostale meritve opravili v obzidanem koritu s pipo (bolj stalno prisotna voda), ki leži približno 170 m severno od izvira, in je nekdaj služilo kot vodno zajetje za Staro vas. Šestkrat se je zgodilo, da tudi v koritu ni bilo vode in meritve niso bile mogoče. Drugo merilno mesto je bilo na iztoku iz CČN Postojna (slika 2), tretje pa na sotočju Rakiškega stržena s pritokom, ki poleg površinskega odtoka s flišnega območja Postojne odvaja tudi iztočne vode iz čistilne naprave. Četrto merilno mesto je bilo v strugi Rakiškega stržena, sto metrov zahodno od mostu v Rakitniku in slab kilometer pred njegovim izlivom v Pivko, s katerim smo ugotavljali vpliv odpadnih voda iz Rakitnika. Položaj merilnih mest 1, 3 in 4 je bil enak kot v raziskavi v hidrološkem letu 2014 (slika 1; Kovačič in Rupnik 2015).

Z oksimetrom (*Oxi 315i DurOx 325*) smo merili temperaturo vode, vsebnost raztopljenega kisika v vodi ter nasičenost vode s kisikom. Vzorce vode smo analizirali s pomočjo prenosnega laboratorija *Macherey-Nagel visocolor ECO Analysenkoffer*. Določali smo pH, vsebnost nitratov, nitritov, amonijevih ionov in fosfatov.

Analiza rezultatov meritev temelji na opisni in inferenčni statistiki merjenih parametrov. Poleg rezultatov osnovne opisne statistike smo izračunali tudi Pearsonove koeficiente korelacije med pari merjenih parametrov na posameznih merilnih mestih, s čimer smo ugotavljali povezanost koncentracij različnih onesnaževal. Izračunali smo tudi Pearsonove koeficiente korelacije med pari merilnih mest glede na posamezni merjeni parameter, z namenom ugotavljanja podobnosti prispevka onesnaženja iz različnih krakov Rakiškega stržena. S Spearmanovim koeficientom korelacije smo ugotavljali povezanost koncentracij onesnaževal na posameznih merilnih mestih s hidrološkimi pogoji (nizko, srednje ali visoko vodno stanje). Za analizo smo uporabili program *Microsoft Office Excel 2010*; bistvene podatke in rezultate analize smo prikazali v preglednici in grafičnih prikazih. Za merilno mesto Fužina ne podajamo rezultatov opisne statistike za parametre nitrit, amonij in fosfati, saj so bili izmerjeni premalokrat.

Kakovost potoka smo opredelili na podlagi mejnih vrednosti parametrov, določenih v Uredbi o stanju površinskih voda (2009) ter po Urbanič in Toman (2003) ter Vovk Korže in Bricelj (2004), ki podajajo mejne vrednosti parametrov v odvisnosti od vzroka onesnaženja. Izmerjene koncentracije parametrov smo primerjali tudi z mejnimi vrednostmi iz Pravilnika o pitni vodi (2004–2009), Uredbe o kakovosti površinskih



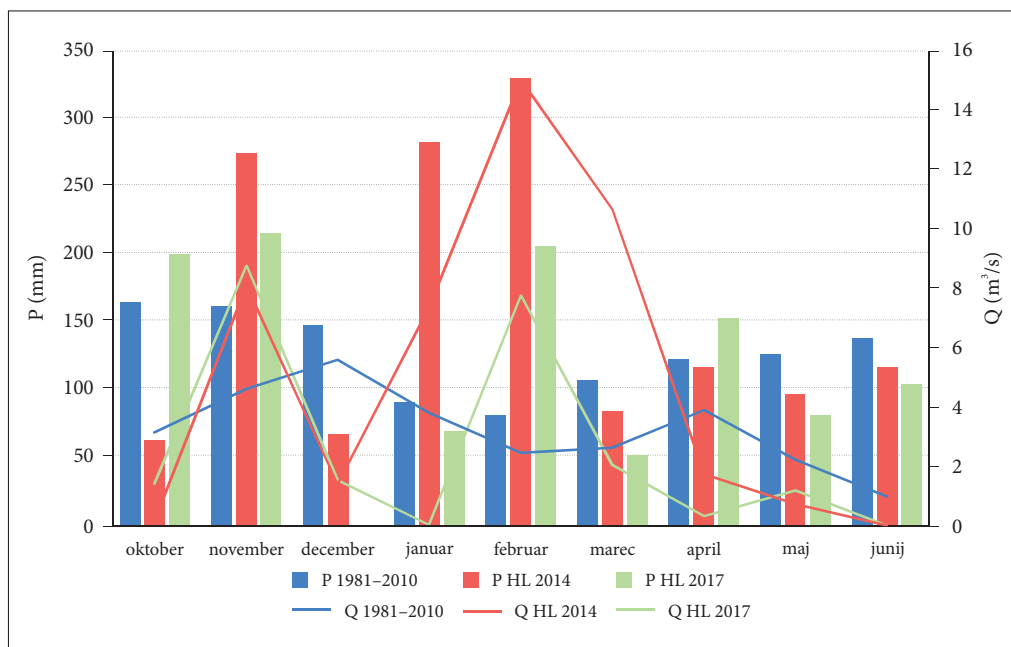
Slika 2: Merilno mesto na iztoku iz CČN Postojna.

voda za življenje sladkovodnih vrst rib (2002) in z mejnimi koncentracijami, ki so določene za opredelitev ekološkega stanja voda (Vrednotenje ... 2009). Kakovost vode na iztoku iz čistilne naprave ter učinkovitost čiščenja smo opredelili na podlagi parametrov iz Uredbe o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih snovi v vode in javno kanalizacijo (2012). Oceno vpliva dejanskih obremenjevalcev na kakovost Rakiškega stržena smo napravili s pomočjo rezultatov lastnih meritev in različnih poročil ter drugih pisnih virov.

Za primerjavo hidroloških razmer v obravnavanem obdobju hidrološkega leta 2017 z referenčnim obdobjem 1981–2010 in enakim obdobjem v hidrološkem letu 2014 predhodne raziskave (Kovačič in Rupnik 2015), smo uporabili podatke o povprečnih mesečnih višinah padavin na klimatološki postaji Postojna ter podatke o pretoku Pivke na vodomerni postaji Prestranek. Podatke smo pridobili na Agenciji Republike Slovenije za okolje (Podatki o povprečnih ... 2018; Podatki o dnevni ... 2018).

3 Rezultati

Preučevano obdobje hidrološkega leta 2017 je bilo v primerjavi z referenčnim obdobjem 1981–2010 za približno 5 % manj namočeno (slika 3). V primerjavi z dolgoletnim povprečjem so bili bolj namočeni oktober (+22 %), november (+33 %), februar (+155 %) in april (+25 %), manj pa december (brez padavin), januar (–23 %), marec (–51 %), maj (–36 %) in junij (–24 %). Povprečni pretok Pivke (Prestranek) je bil v preučevanem obdobju hidrološkega leta 2017 za približno 22 % manjši od dolgoletnega povprečja 1981–2010 (3,25 m³/s); novembra (8,77 m³/s) je bil povprečni pretok presežen za 91 % ter februarja (7,75 m³/s) za 217 %, medtem ko so bili povprečni pretoki preostalih mesecev pod dolgoletnim povprečjem, še posebej januar (0,01 m³/s) in maj (Pivka ni tekla). Vodne razmere v preučevanem obdobju hidrološkega leta 2014 pa so bile povsem drugačne (slika 3), saj je v primerjavi z obdobjem



Slika 3: Primerjava padavin (P) na klimatološki postaji Postojna in pretokov (Q) Pivke na vodomerni postaji Prestranek med hidrološkimi leti 2017 in 2014 ter z referenčnim obdobjem 1981–2010 (Podatki o povprečnih ... 2018; Podatki o dnevni ... 2018).

1981–2010 padlo za približno 25 % več padavin in za 54 % je bil večji tudi pretok Pivke (5,02 m³/s). Povprečni pretok obravnavanega obdobja hidrološkega leta 2017 je dosegel zgolj 51 % enake vrednosti hidrološkega leta 2014, indeks padavin med hidrološkima letoma 2017 in 2014 pa je 76. Ker je redčenje zelo pomemben dejavnik zmanjševanja koncentracij onesnažil v vodi, je treba pri interpretaciji rezultatov merjenih parametrov kakovosti vode Rakiškega stržena v hidrološkem letu 2017 ter pri primerjavi s hidrološkim letom 2014, upoštevati različne vodne razmere v obravnavanih obdobjih.

3.1 Fizikalno-kemijski parametri

Slika 4 prikazuje rezultate lastnih meritev, preglednica 1 pa rezultate osnovne opisne statistike merjenih fizikalno-kemijskih parametrov na merilnih mestih na Rakiškem strženu.

Skladno s pričakovanji je temperatura najmanj nihala na merilnem mestu Fužina, zgolj za 0,7 °C, vendar podatek temelji zgolj na petih izvedenih meritvah. Najvišja povprečna temperatura je bila izmerjena na iztoku CČN Postojna in sicer 12,54 °C, absolutno najvišja na sotočju (24,2 °C) ter absolutna najnižja v Rakitniku (2 °C). V primerjavi s hidrološkim letom 2014 so bile temperature vode v hidrološkem letu 2017 za 1,26 °C (12,5 %) višje (Kovačič in Rupnik 2015). Vrednosti pH so se gibale med 7 in 8, kar kaže na bazičnost vod; razlike med merilnimi mesti so zanemarljive. Srednjo pozitivno povezanost kažejo vrednosti pH med merilnima mestoma iztok CČN Postojna in Rakitnik ($r = 0,53$). Pri vrednostih pH je izjema sotočje, kjer je bila ob sušnem stanju 24. 6. 2017 izmerjena vrednost 5; z večkratno meritvi so izključili možnost napake meritve, razlog za takšno vrednost pa ostaja nepojasnen.

Vsebnost raztopljenega kisika v vodi je pomemben pokazatelj onesnaženosti vodnega okolja, saj se porablja pri razgradnji organskih snovi (Urbanič in Toman 2003). Koncentracije raztopljenega kisika na Rakiškem strženu so bile pri večini merjenj in večini merilnih mest nizke ter kažejo na obremenjenost z organskimi snovmi. Višje koncentracije kisika smo izmerili ob višjem vodnem stanju in nižjih temperaturah. Med merilnimi mesti iztok iz CČN Postojna, Rakitnik in sotočje obstaja visoka pozitivna povezanost med izmerjenimi koncentracijami raztopljenega kisika v vodi ($r = 0,73-0,86$), medtem ko izvir Fužina s preostalimi mesti izkazuje nizko do srednje pozitivno povezanost. Odvisnost količine raztopljenega kisika v vodi od temperature dokazujejo korelacijski koeficienti med omenjenima spremenljivkama, ki kažejo na merilnih mestih visoko negativno povezanost ($r = -0,77$ do $-0,85$). Pričakovano je bila najvišja povprečna koncentracija kisika izmerjena na Fužini (10,7 mg/l) in je bila za približno 13 % višja kot v hidrološkem letu 2014 (Kovačič in Rupnik 2015), ter najnižja na iztoku CČN Postojna (6,33 mg/l). Zanimivo je, da je bila absolutno najnižja koncentracija kisika izmerjena na sotočju (2 mg/l) in ne na iztoku CČN Postojna, kjer bi to najbolj pričakovali. Čeprav smo v hidrološkem letu 2017, v primerjavi s hidrološkim letom 2014, izmerili za približno 6 % nižjo povprečno koncentracijo kisika v Rakiškem strženu (7,48 mg/l), pa koncentracije nižje od kritične meje 2 mg/l, ki že povzročajo pogine rib in drugih organizmov (Urbanič in Toman 2003), nismo izmerili, medtem ko so bile v predhodni raziskavi (Kovačič in Rupnik 2015) izmerjene večkrat. Tudi koncentracije kisika, manjše od 5 mg O₂/l, ki jo Urbanič in Toman (2003) navajata kot minimum za preživetje številnih vrst odraslih organizmov v vodi, smo izmerili zgolj ob nizkem vodnem stanju konec maja in junija 2017 na merilnih mestih sotočje, iztok CČN Postojna in Rakitnik. Nekoliko nižja povprečna skupna koncentracija kisika v vodi leta 2017 je gotovo povezana z vključitvijo dodatnih meritev na iztoku CČN Postojna, saj so bile koncentracije kisika na ostalih merilnih mestih med obdobjema primerljive. Povprečna nasičenost s kisikom na merilnih mestih se je, z izjemo Fužine (96,6 %), gibala med 60,9 (iztok CČN Postojna) in 67,2 % (Rakitnik), kar bi Rakiški stržen uvrstilo v drugi kakovostni razred za pitno vodo (Pravilnik ... 2004–2009). Meritve vsebnosti kisika in nasičenosti s kisikom dokazujejo obremenjevanje Rakiškega stržena z izpusti iz CČN Postojna in odpadnimi vodami iz Rakitnika.

Količina nitratov v neonesnaženih vodah sezonsko niha, vendar običajno ne presega 1 mg/l; koncentracije do 10 mg/l so povezane s spiranjem iz gnojnih kmetijskih zemljišč, koncentracije nad 25 mg/l pa kažejo na komunalno ali industrijsko onesnaženje (Urbanič in Toman 2003; Vovk Korže in Bricelj

2004). Dovoljena koncentracija nitratov v pitni vodi je 50 mg/l, priporočena za vodo najboljšega kakovostnega razreda pa 10 mg/l (Pravilnik ... 2004–2009). Dovoljena koncentracija nitratov za pitno vodo v hidrološkem letu 2017 v Rakiškem strženu ni bila presežena (v hidrološkem letu 2014 z izmerjenimi 70 mg/l enkrat; Kovačič in Rupnik 2015). Največja koncentracija (15 mg/l) je bila ob nizkem vodnem stanju izmerjena 19. 1. 2017 na sotočju in iztoku CČN Postojna. Povprečna koncentracija nitratov v Rakiškem strženu je bila v hidrološkem letu 2017 6,3 mg/l, kar pomeni, da se je preučevani potok glede na mejno vrednost nitratov v površinskih vodotokih uvrstil v 1. skupino nitratnih tipov rek (sem sodi tudi Pivka s pritoki), sicer za las, pa vendar, se je uvrstil tudi med vodotoke z dobrim ekološkim stanjem (Vrednotenje ... 2009); mejna vrednost je 6,5 mg/l. V primerjavi s hidrološkim letom 2014 so se povprečne izmerjene vrednosti nitratov v vodi Rakiškega stržena znižale za 33 % (z 9,3 na 6,3 mg/l), največ na sotočju (56 %, s 14,3 na 6,3 mg/l), medtem ko smo na Fužini v primerjavi s hidrološkim letom 2014 v povprečju izmerili 38 % višje koncentracije (5,7 mg/l). Podobne koncentracije nitratov so bile izmerjene v okviru rednega monitoringa podzemnih voda za odlagališče nenevarnih odpadkov Stara vas – Postojna v letu 2017 (6,41 in 4,23 mg/l) (Poročilo o monitoringu ... 2018). Pričakovano so bile najvišje povprečne koncentracije nitratov v hidrološkem letu 2017 izmerjene na iztoku CČN Postojna (7,4 mg/l). Med merilnimi mesti iztok CČN Postojna, sotočje in Rakitnik obstaja zmerna do visoka pozitivna povezanost med izmerjenimi koncentracijami nitratov v vodi ($r = 0,65-0,86$), ki zanesljivo kaže na vpliv z nitrati obremenjenega iztoka iz čistilne naprave na koncentracije, izmerjene na dolvodnih merilnih mestih. Fužina, zanimivo, kaže visoko pozitivno povezanost z iztokom CČN Postojna ($r = 0,84$), s preostalima merilnima mestoma pa srednjo pozitivno povezanost. Koncentracije nitratov na posameznih merilnih mestih ne kažejo statistično značilne povezanosti s hidrološkimi razmerami v terminih meritev.

Nitriti se v vodi naravno čistijo le z redčenjem, saj jih rastline ne porabljajo (Urbanič in Toman 2003). V vodi se pojavljajo zaradi podobnih vzrokov kot nitrati, njihova mejna koncentracija za pitno vodo je 0,5 mg/l oziroma 0,1 mg/l po pripravi za distribucijo (Pravilnik ... 2004–2009). Za ribe v vodi je priporočena koncentracija, manjša od 0,03 mg/l (Uredba o kakovosti ... 2002). Ta je bila, če izvzamemo Fužino, kjer smo samo enkrat v času visokih voda po daljšem sušnem obdobju (učinek izpiranja) izmerili vsebnost nitrita v koncentraciji 0,02 mg/l, presežena v 98 % vzorcih. Povprečna koncentracija nitritov v Rakiškem strženu je bila v hidrološkem letu 2017 0,10 mg/l, kar pomeni približno 10 % zmanjšanje obremenjenosti v primerjavi s hidrološkim letom 2014 (Kovačič in Rupnik 2015). Povprečne koncentracije nitritov so se v primerjavi s hidrološkim letom 2014 najbolj zmanjšale na sotočju (za 47 %, z 0,19 na 0,10 mg/l), v Rakitniku pa za tretjino (z 0,12 na 0,08 mg/l). Pričakovano je bila najvišja povprečna koncentracija nitritov v hidrološkem letu 2017 izmerjena na iztoku CČN Postojna (0,16 mg/l). V Rakitniku smo trikrat izmerili višje koncentracije nitritov kot na sotočju, kar kaže na sveže izpuste neprečiščenih voda iz naselja. Med merilnim mestom iztok CČN Postojna ter merilnima mestoma sotočje in Rakitnik je bila ugotovljena zgolj neznatna do nizka pozitivna povezanost med izmerjenimi koncentracijami nitritov v vodi ($r = 0,20$ in $0,32$) ter srednja pozitivna povezanost med merilnima mestoma Rakitnik in sotočje ($r = 0,49$). Najvišja koncentracija nitrita (0,30 mg/l) je bila ob nizkem vodnem stanju izmerjena na iztoku CČN Postojna, hkrati z najvišjo izmerjeno koncentracijo nitrata 19. 1. 2017. Tudi koncentracije nitritov na posameznih merilnih mestih ne kažejo statistično značilne povezanosti s hidrološkimi razmerami v terminih meritev.

Amonij v vodi je posledica komunalnega, kmetijskega ali industrijskega onesnaženja in je tudi pokazatelj svežega organskega oziroma fekalnega onesnaženja (Nacionalni ... 2018). Mejna vrednost za pitno vodo je 0,5 mg/l (Pravilnik ... 2004–2009), za ribe v vodi je priporočena koncentracija do 0,2 mg/l, mejna pa je 1 mg/l (Uredba o kakovosti ... 2002). V hidrološkem letu 2017 smo v primerjavi s starejšo raziskavo (Kovačič in Rupnik 2015) izmerili približno 85 % višje povprečne koncentracije amonija v Rakiškem strženu, kar je v največji meri posledica vključitve dodatnega merilnega mesta na iztoku iz CČN Postojna ter dejstva, da je bilo hidrološko leto 2017 v primerjavi s hidrološkim letom 2014 manj vodnato in je bil učinek redčenja zato manjši. Na iztoku CČN Postojna je bila, pričakovano, izmerjena najvišja

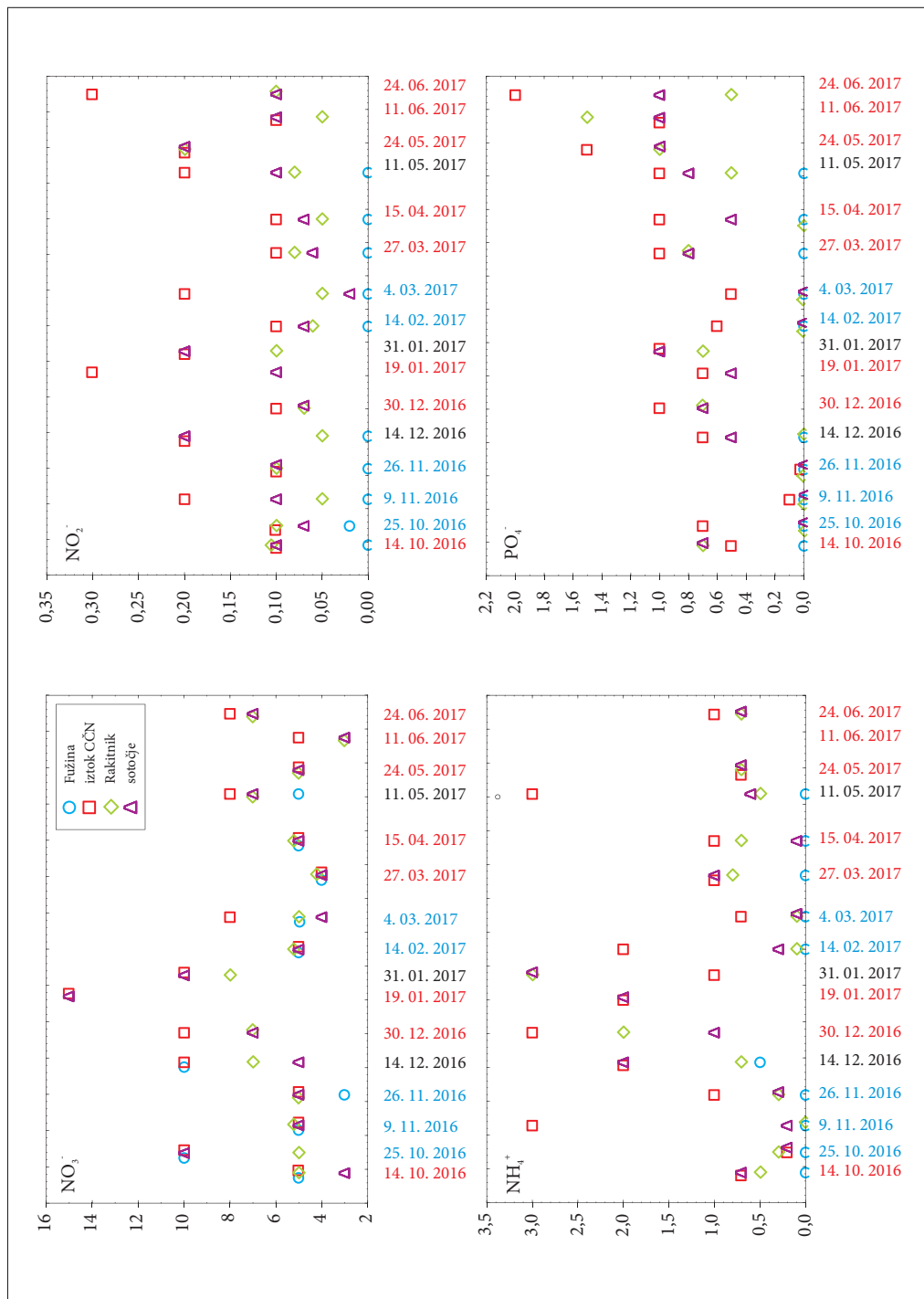
povprečna koncentracija amonija, 1,49 mg/l. Povprečne koncentracije amonija so se v primerjavi s hidrološkim letom 2014 najbolj zvišale na sotočju (za 37 %, z 0,63 na 0,86 mg/l), v Rakitniku pa za 5 % (z 0,70 na 0,74 mg/l). Na izvru Fužina amonija nismo izmerili, se pa občasno v majhnih koncentracijah pojavlja, kar kažejo meritve leta 2014 in 2018 (0,06–0,44 mg/l) (Poročilo o monitoringu ... 2014; 2018). Najvišja koncentracija amonija v hidrološkem letu 2017 je bila 3 mg/l; trikrat je bila izmerjena na iztoku CČN Postojna ter enkrat v istem terminu v Rakitniku in na sotočju. Zanimivo je, da so bile omenjene koncentracije izmerjene tako ob nizkem, srednjem kot visokem vodnem stanju (slika 4). V Rakitniku smo, enako kot pri nitritu, trikrat izmerili višje koncentracije amonija kot na sotočju, kar kaže na sveže izpuste neprečiščenih voda iz naselja. Pearsonov koeficient korelacije med izmerjenimi koncentracijami amonija med merilnima mestoma sotočje in Rakitnik kaže na visoko pozitivno povezanost ($r = 0,81$), medtem ko koncentracije amonija na iztoku CČN Postojna z merilnima mestoma dolvodno ne kažejo statistične povezanosti. Sklepamo, da lahko na onesnaženje v Rakitniku poleg iztočnih voda CČN Postojna vplivajo tudi drugi izpusti. Izmerjene koncentracije amonija v Rakitniku kažejo s hidrološkimi razmerami v terminih meritev visoko negativno statistično značilno povezanost ($r_s = -0,75$), kar kaže na učinek redčenja.

Koncentracije fosfatov v neonesnaženih vodah običajno ne presegajo 0,1 mg/l; v vodi se pojavijo zaradi uporabe umetnih gnojil (do 0,25 mg/l), višje koncentracije pa povzročajo izpusti komunalnih in industrijskih odplak (Urbanič in Toman 2003). Mejna koncentracija za pitno vodo je 0,5 mg/l in priporočena koncentracija za življenje rib pod 0,4 mg/l (Pravilnik ... 2004–2009; Uredba o kakovosti ... 2002). Na izvru Fužina fosfatov nismo izmerili, se pa v majhnih koncentracijah občasno pojavljajo, kar kažejo meritve monitoringa podzemnih voda za odlagališče nenevarnih odpadkov leta 2017 (0,07 mg/l) (Poročilo o monitoringu ... 2018). Fosfatov pogosto nismo izmerili niti na sotočju, niti v Rakitniku in enkrat celo na iztoku CČN Postojna. Večina fosfatov prihaja v Rakiški stržen s prečiščeno vodo iz CČN Postojna. Na očiten vpliv vsebnosti fosfatov v iztoku iz CČN Postojna na merilnih mestih dolvodno, kažejo Pearsonovi koeficienti korelacije med omenjenimi merilnimi mesti, ki kažejo srednje do visoke pozitivne povezanosti ($r = 0,50–0,83$). V hidrološkem letu 2017 smo v primerjavi s starejšo raziskavo (Kovačič in Rupnik 2015) izmerili približno 88 % višje povprečne koncentracije fosfatov v Rakiškem strženu; predvidevamo, da iz enakih razlogov kot pri primerjavi koncentracij amonija med preučevanimi hidrološkima letoma. Povprečne koncentracije fosfatov so se v primerjavi s hidrološkim letom 2014 za 30 % zvišale tako na sotočju (z 0,41 na 0,53 mg/l) kot v Rakitniku (z 0,33 na 0,43 mg/l). Najvišja povprečna (0,83 mg/l) ter absolutno najvišja izmerjena koncentracija fosfatov (2 mg/l) je bila izmerjena na iztoku CČN Postojna, slednja v času izrazito nizkih voda. Tudi pri fosfatih smo enkrat v Rakitniku izmerili višjo koncentracijo kot na sotočju. Na vlogo redčenja pri zmanjševanju koncentracije fosfatov v preučevanem vodotoku kažejo zmerne do visoke negativne statistične povezanosti ($r_s = -0,67$ do $-0,75$) med merilnimi mesti iztok CČN Postojna, sotočje in Rakitnik s hidrološkimi razmerami v terminih meritev.

3.2 Monitoring iztočnih voda CČN Postojna

Povprečne letne vrednosti merjenih parametrov na iztoku iz CČN Postojna v obdobju 2002–2017 prikazuje slika 5 (Poročilo o obratovalnem ... 2013; 2014; 2015; 2017; 2018). Podatki kažejo, da sta bili povprečni letni koncentraciji celotnega fosforja in celotnega dušika na iztoku iz CČN Postojna preseženi v celotnem obdobju pred prenovo čistilne naprave. Po prenovi se je povprečna letna koncentracija prvega znižala s 3,04 na 1,22 mg/l oziroma za 60 %, mejna koncentracija po Uredbi o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih snovi v vode in javno kanalizacijo (2012) je 2 mg/l, ter drugega s 23,76 na 6,41 mg/l oziroma za 73 % (mejna koncentracija je 15 mg/l). V letih 2016 in 2017 je bila samo junija

Slika 4: Koncentracije kemijskih parametrov (v mg/l) na merilnih mestih na Rakiškem strženu v obdobju 14. 10. 2016–24. 6. 2017. Rdeče obarvani datumi označujejo nizko, črni srednje in modri visoko vodno stanje. ►



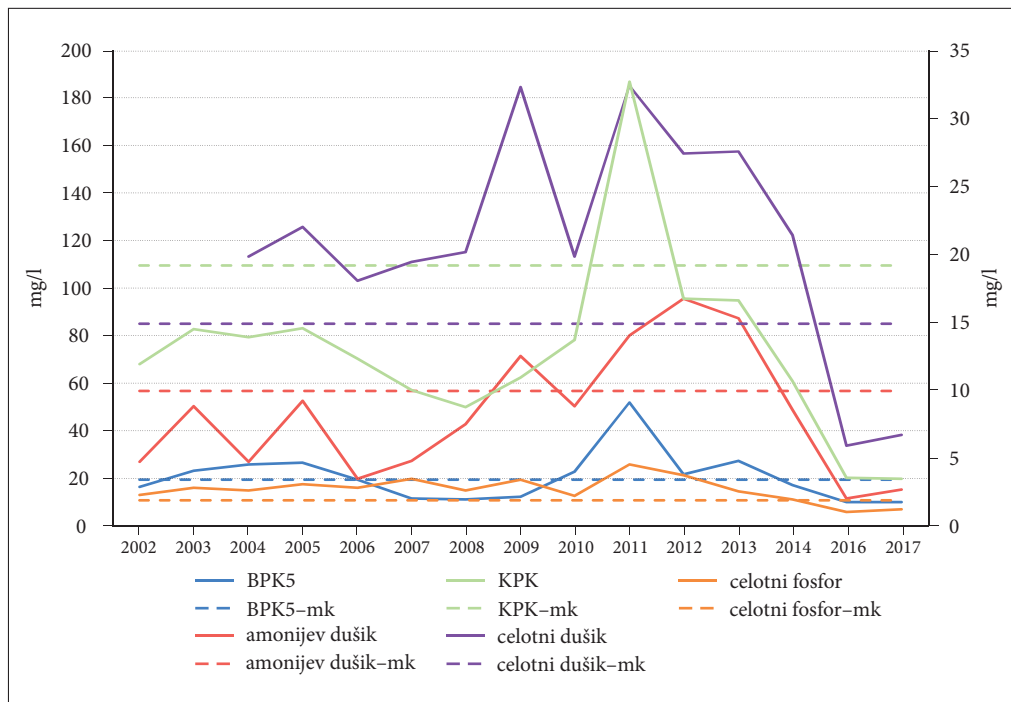
Preglednica 1: Parametri opisne statistike merjenih fizikalno-kemijskih parametrov na merilnih mestih na Rakiškem strženu v obdobju 14. 10. 2016–24. 6. 2017. Razloga oznak: AS – aritmetična sredina, min/max – najmanjša/največja vrednost, SO – standardni odklon, KV – koeficient variacije, NP – ni podatka. Zeleno obarvane vrednosti pri aritmetični sredini pomenijo povečanje, rdeče pa zmanjšanje v primerjavi z hidrološkim letom 2014 (Kovačič in Rupnik 2015).

merilno mesto	parameter (merjeni)		T vode (°C)	O ₂ (mg/l)	O ₂ ⁻ nasičenost (%)	pH	NH ₄ ⁺ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	PO ₄ ⁻ (mg/l)
	AS	min/max								
Fužina	AS									
	min	8,86	10,66	96,60	7,55	NP	NP	NP	5,70	NP
	max	8,50	8,50	75,00	7,00	NP	NP	NP	3,00	NP
	SO	9,20	12,60	117,00	8,00	NP	NP	NP	10,00	NP
	KV	0,30	1,72	16,91	0,27	NP	NP	NP	2,24	NP
sotočje	AS	0,03	0,16	0,18	0,04	NP	NP	NP	0,39	NP
	min	11,50	7,01	64,89	7,33	0,86	0,10	0,10	6,25	0,53
	max	4,70	2,00	22,00	5,00	0,10	0,02	0,02	3,00	0,00
	SO	24,20	11,10	101,00	8,00	3,00	0,20	0,20	15,00	1,00
	KV	6,06	2,90	22,26	0,65	0,82	0,05	0,05	3,03	0,39
iztok GČN	AS	0,53	0,41	0,34	0,09	0,95	0,49	0,49	0,48	0,74
	min	12,54	6,33	60,89	7,53	1,49	0,16	0,16	7,38	0,83
	max	5,50	3,60	43,00	7,50	0,20	0,10	0,10	4,00	0,00
	SO	23,00	8,20	76,00	8,00	3,00	0,30	0,30	15,00	2,00
	KV	5,40	1,70	12,31	0,12	0,91	0,07	0,07	2,93	0,47
Rakitnik	AS	0,43	0,27	0,20	0,02	0,61	0,43	0,43	0,40	0,57
	min	11,52	7,31	67,22	7,60	0,74	0,08	0,08	5,53	0,43
	max	2,00	3,80	35,00	7,50	0,00	0,05	0,05	3,00	0,00
	SO	23,70	12,50	101,00	8,00	3,00	0,20	0,20	8,00	1,50
	KV	6,92	2,60	18,21	0,20	0,78	0,04	0,04	1,31	0,46
skupaj	AS	0,60	0,36	0,27	0,03	1,05	0,46	0,46	0,24	1,07
	min	11,39	7,48	69,38	7,50	0,85	0,10	0,10	6,28	0,49
	max	2,00	2,00	22,00	5,00	0,00	0,00	0,00	3,00	0,00
	SO	24,20	12,60	117,00	8,00	3,00	0,30	0,30	15,00	2,00
	KV	5,78	2,75	21,51	0,39	0,90	0,07	0,07	2,62	0,49

in avgusta 2017 ter to za manj kot 10 % presežena mejna koncentracija fosforja (2,2 in 2,16 mg/l), vse ostale meritve vseh parametrov pa so bile skladne z Uredbo o emisiji snovi in toplote ... (2012). Na letni ravni je bila v obdobju 2002–2017, z izjemo 2007–2009 in 2014, na iztoku iz CČN Postojna pri parametru BPK₅ vedno presežena mejna koncentracija 20 mg/l. Po prenovi čistilne naprave se je povprečna letna koncentracija na iztoku znižala za 53 % (s 22,67 na 10,69 mg/l). KPK je parameter, ki je bil v obdobju 2002–2017 na letni ravni presežen zgolj leta 2011 (mejna vrednost je 110 mg/l). Po prenovi čistilne naprave se je povprečna letna koncentracija KPK znižala z 82,82 na 20,54 mg/l oziroma za 75 %. Povprečne letne koncentracije amonijevega dušika na iztoku iz CČN Postojna so se zelo povečale v letih pred začetkom prenove čistilne naprave ter v letih 2009, 2011–2013 presegle mejno koncentracijo 10 mg/l. Po prenovi se je povprečna letna koncentracija amonijevega dušika znižala z 9,25 na 2,46 mg/l oziroma za 73 %.

Če ne upoštevamo KPK, ugotovimo, da je v letih 2012–2014, pred začetkom prenove CČN Postojna, kar dve tretjini vzorcev preostalih parametrov na iztoku presežalo dovoljene mejne koncentracije po Uredbi o emisiji snovi in toplote ... (2012). Po prenovi v letih 2016 in 2017 pa so bile vse izmerjene vrednosti parametrov na iztoku iz CČN Postojna pod dovoljenimi mejnimi vrednostmi, z izjemo že omenjenih dveh meritev celotnega fosforja poleti 2017. Leta 2017 so bile nekatere izmerjene vrednosti BPK₅ in amonijevega dušika na iztoku celo pod mejo zaznavnosti, kar kaže, da se je učinkovitost čiščenja CČN Postojna po njeni prenovi bistveno izboljšala.

Primerjava učinkovitosti čiščenja z merjenimi parametri na vtoku in iztoku iz čistilne naprave pred in po obnovi CČN Postojna, je narejena na podlagi podatkov za obdobje 2012–2014 ter 2016–2017.



Slika 5: Povprečne letne vrednosti merjenih parametrov na iztoku iz CČN Postojna v obdobju 2002–2017 v mg/l s prikazanimi dovoljenimi koncentracijami (črtkano) po Uredbi o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih snovi v vode in javno kanalizacijo (2012). BPK₅ ter KPK sta prikazani na levi, ostali parametri pa na desni y osi (Poročilo o obratovanem ... 2013; 2014; 2015; 2017; 2018).

Učinkovitost čiščenja, ki jo izkazuje BPK₅, se je izboljšala za 7 odstotnih točk (z 90 na 97 %), KPK izkazuje izboljšanje učinkovitosti za 16 odstotnih točk (z 81 na 97 %), celotni fosfor za 35 odstotnih točk (s 53 na 88 %) ter celotni dušik za 49 odstotnih točk (s 37 na 86 %). Ker se koncentracija amonijevega dušika na vtoku v čistilno napravo ne meri, ne moremo neposredno ugotoviti razlik v izboljšanju učinkovitosti razgradnje omenjenega onesnažila pred in po prenovi CCN Postojna. Se je pa povprečna letna koncentracija omenjenega parametra na iztoku, po prenovi čistilne naprave (povprečje za leti 2016 in 2017), v primerjavi s povprečjem za obdobje 2012–2014 znižala kar za 82 % (s 13,6 na 2,46 mg/l).

4 Razprava in sklep

Porečje Rakiškega stržena obsega poleg površinsko skromnega površinskega dela tudi območje zakra-selih zahodnih Javornikov (Kogovšek 1999; Kogovšek s sodelavci 1999) in Zgornje Pivke (Habič 1989), ki so hidrološko povezani z izvirov Fužina. Z vidika kakovosti Rakiškega stržena je treba zato razmišljati o potencialnih onesnaževalcih (neprečiščene odpadne vode iz naselij, vojaško vadišče, odlagališče nenevarnih odpadkov, promet in drugi) z dokaj velikega območja. Toda meritve, opravljene v izbranim obdobju hidrološkega leta 2017, tako kot predhodne v hidrološkem letu 2014 (Kovačič in Rupnik 2015), večjega obremenjevanja iz naštetih potencialnih virov onesnaženja na izvirov Fužina niso pokazale. V obeh preučevanih obdobjih, z izjemo nitratov, smo nitrite izmerili dvakrat, amonij enkrat, fosfatov pa nismo izmerili. Manjši vplivi izcednih voda odlagališča (organski halogeni, amonij, nitrati in sulfati, težke kovine), ki leži zgolj 450 m od izvira Fužina in kjer se letno odloži do 7500 m³ odpadkov (Poročilo o monitoringu ... 2018), in pa vojaške dejavnosti na Osrednjem vadišču Slovenske vojske Postojna na Počku (na primer težke kovine, eksplozivna sredstva, nafta, olja) so bili dokazani ob nekaterih predhodnih raziskavah (Kogovšek 1996; Petrič in Šebela 2005) ter v okviru rednega monitoringa podzemnih voda za odlagališče nenevarnih odpadkov Stara vas – Postojna (Poročilo o monitoringu ... 2014; 2018). Z gotovostjo trdimo, da urejen sistem zbiranja izcednih vod na odlagališču, ki se odvajajo na CCN Postojna, ter izcednih vod, ki niso v stiku z odpadki in so speljane v ponikalnico zunaj odlagališča (Poročilo o monitoringu ... 2018), zelo pripomore k boljši kakovosti izvira Fužina in ostalih občasnih izvirov v njegovi bližini. Rezultati te raziskave so pokazali, da se kakovostno stanje izvira Fužina med hidrološkima letoma 2017 in 2014 ni bistveno spremenilo in glede na merjene parametre kaže zadovoljivo podobo.

Že raziskava, opravljena v hidrološkem letu 2014 (Kovačič in Rupnik 2015), enake pa so tudi ugotovitve te raziskave, je pokazala, da je za kakovostno stanje Rakiškega stržena bolj problematičen nekraški del njegovega porečja. Glavni onesnaževalec Rakiškega stržena v tem delu je nedvomno CCN Postojna, saj se njene prečiščene odpadne vode iztekajo neposredno v potok, kar je zlasti problematično ob nizkem vodnem stanju, ko iztok predstavlja praktično edino vodo Rakiškega stržena. Iztok iz CCN Postojna, ki je 20–60 l/s, v povprečju pa okrog 40 l/s, regulirajo glede na pretok Rakiškega stržena; običajno je pretok potoka manjši v poletnih mesecih in takrat vodo na napravi zadržujejo (Poročilo o obratovalnem ... 2018).

Čistilna naprava je bila izgrajena leta 1985 ter temeljito prenovljena leta 2015, ko so ji zmogljivost povečali s 15.000 na 21.000 PE ter ji poleg običajnega mehanskega in biološkega čiščenja uredili še učinkovito odstranjevanje fosforja in nitratov ter uničevanje škodljivih mikroorganizmov z UV dezinfekcijo pred iztokom (Centralna ... 2018). Na čistilno napravo sta priključeni zgolj naselji Postojna in Stara vas. Kanalizacijsko omrežje je dograjeno tudi v Rakitniku, vendar v času meritev gospodinjstva še niso bila priključena. Od večjih onesnaževalcev so na CCN Postojna priključeni po prečiščenju klavniške odpadne vode (Postojnske mesnine d. o. o.), odpadne vode Zdravstvenega doma Postojna ter Bolnišnice za ženske bolezni in porodništvo Postojna ter deponijske odpadne vode iz odlagališča nenevarnih odpadkov Stara vas – Postojna. Industrijske odpadne vode predstavljajo približno 1 % vse očiščene vode. Na CCN Postojna je priključenih 8623 objektov, letno se na njej dodatno čisti 3200 m³ grezničnih odplak, skupaj pa se letno prečisti približno 1.223.000 m³ vode (Poročilo o obratovalnem ... 2018).

Rezultati lastnih meritev v hidrološkem letu 2017 so pokazali, da so se koncentracije onesnažil v Rakiškem strženu v primerjavi s predhodnim obdobjem (Kovačič in Rupnik 2015) občutno znižale, kar kaže na manjše obremenjevanje s komunalnimi odplakami. To povežemo z večjo učinkovitostjo čiščenja odpadnih voda na prenovljeni CČN Postojna. Primerjava povprečnih letnih koncentracij merjenih parametrov na iztoku iz CČN Postojna pred in po obnovi naprave kaže na občutno zmanjšanje koncentracij vseh merjenih parametrov; vse vrednosti so pod dovoljenimi mejnimi koncentracijami iz Uredbe o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih snovi v vode in javno kanalizacijo (2012), kar bistveno prispeva k večji kakovosti Rakiškega stržena. Na CČN Postojna se je tudi zelo povečala učinkovitost čiščenja vode med vtokom in iztokom iz čistilne naprave, ki pri BPK₅ in KPK dosega 97 %, pri celotnem fosforju 88 % in celotnem dušiku 86 % (Poročilo o obratovalnem ... 2013; 2014; 2015; 2017; 2018).

V času raziskave gospodinjstva v Rakitniku še niso bila priključena na kanalizacijsko omrežje, zato med pomembnejše onesnaževalce Rakiškega stržena prištevamo tudi neprečiščene odpadne vode iz omenjenega naselja. V zaledju merilnega mesta v Rakitniku je po naših ocenah približno 50 gospodinjstev v Rakitniku, gotovo pa tudi nekaj hiš iz sosednje Matenje vasi. Do nedavnega je imelo nekaj hiš v severovzhodnem delu Rakitnika odtok odpadnih voda speljan v kanal za meteorno vodo, ki se zaključí v strugi preučevanega potoka. V Rakitniku so tri kmetijska gospodarstva z odprtimi gnojišči, v bližini pa je tudi športno letališče s pripadajočimi objekti in restavracijo. Zato ni presenetljivo, da smo v Rakitniku kar trikrat izmerili višje koncentracije nitritov kot na sotočju Rakiškega stržena z iztokom iz CČN Postojna, kar kaže na sveže izpuste neprečiščenih voda iz naselja, dvakrat to velja tudi za amonij. To dokazuje, da CČN Postojna ni vedno edini obremenjevalec z omenjenimi onesnažili.

V splošnem korelacijski koeficienti večine parametrov med merilnimi mesti kažejo na podobno odzivanje ob podobnih pogojih; na višje koncentracije ob nižjih in na nižje ob višjih vodnih stanjih, ko se pozna učinek redčenja. Zanimive so nižje vrednosti korelacijskih koeficientov pri koncentracijah nitritov med merilnimi mesti v primerjavi z nitrati. Sklepamo, da gre za različen vpliv ozadja na vsebnost omenjenih onesnažil v Rakiškem strženu, ki je v primeru nitratov, v primerjavi z nitriti, med merilnimi mesti bolj podoben oziroma enoten. Raziskava je odkrila tudi razliko med izmerjenimi koncentracijami amonija in fosfatov na eni ter nitrati in nitriti na drugi strani glede na rezultate meritev predhodne raziskave (Kovačič in Rupnik 2015), kjer so se koncentracije prvih dveh v primerjavi s predhodno raziskavo občutno znižale, drugih dveh pa nekoliko povišale. To bi lahko pojasnili z drugačnim odzivom onesnažil na redčenje, ki je bilo v času te raziskave v primerjavi s predhodno občutno manjše, saj je bilo hidrološko leto 2017 manj vodnato.

Kakovostno stanje Rakiškega stržena se je izboljšalo, vendar so povprečne koncentracije onesnažil, izmerjene v hidrološkem letu 2017, skoraj na vseh merilnih mestih, z izjemo Fužine, presegle priporočene ali mejne koncentracije za življenje rib v vodi (Uredba o kakovosti ... 2002). To velja za vse merjene parametre, razen za nitrate. Povprečne koncentracije fosfatov na iztoku CČN Postojna, sotočju in v Rakitniku so tudi presegle mejne koncentracija za pitno vodo (Pravilnik ... 2004–2009). Tudi povprečna koncentracija celotnega fosforja v prečiščeni vodi na iztoku iz čistilne naprave še vedno kaže preseganje mejnih koncentracij za pitno vodo in življenje rib v vodi.

Sklenemo lahko, da iztočne vode iz prenovljene CČN Postojna sedaj predstavljajo za Rakiški stržen veliko manjše obremenjevanje kot nekoč, da pa ostajajo poleg neprečiščenih odpadnih voda iz Rakitnika glavni krivec za nekoliko slabše kakovostno stanje potoka, zlasti ob nizkih vodnih stanjih, ko učinek redčenja skoraj izostane. Ne smemo pa zanemariti možnosti onesnaževanja Rakiškega stržena tudi iz drugih, še neomenjenih virov, kot je na primer kmetijstvo s prekomernim gnojenjem. V delu porečja s površinskim odtokom je nekaj gojenih travnikov in tudi njiv. Potencialno nevarnost predstavljata železniški in cestni promet v porečju. S priključitvijo gospodinjstev iz Rakitnika na kanalizacijsko omrežje, prvi priključki so bili opravljeni leta 2018, lahko pričakujemo nadaljnje izboljšanje kakovostnega stanja Rakiškega stržena.

Zahvala: Avtorja se zahvaljujeta podjetju Kovod Postojna d. o. o., upravljavcu CČN Postojna, ter podjetju Publicus d. o. o., upravljavcu odlagališča nenevarnih odpadkov Stara vas, za vse posredovane podatke. Raziskava je bila delno podprta s projektom J6-8266 Okoljske spremembe in kraški vodni viri: vplivi, ranljivost in prilagoditve rabe prostora, financiranega s strani Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije.

5 Viri in literatura

- Centralna čistilna naprava Postojna, 2018. Medmrežje: <https://www.kovodpostojna.si/odpadne-vode/cistilne-naprave/cistilne-naprave/ccn-postojna/> (22. 12. 2018).
- Gospodarič, R., Habe, F., Habič, P. 1968: Vodni viri za oskrbo Postojne. Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU. Postojna.
- Habič, P. 1989: Kraška bifurkacija na jadransko črnomořem razvodju. Acta carsologica 18.
- Kogovšek, J. 1996: Kako smetišča ogrožajo kakovost kraške vode. Annales 6-9.
- Kogovšek, J. 1999: Nova spoznanja o podzemnem pretakanju vode v severnem delu Javornikov (visoki kras). Acta carsologica 28-1.
- Kogovšek, J., Knez, M., Mihevc, A., Petrič, M., Slabe, T., Šebela, S. 1999: Military training area in Kras (Slovenia). Environmental Geology 38-1. DOI: <https://doi.org/10.1007/s002540050402>
- Kogovšek, J., Petrič, M. 2004: Advantages of longer-term tracing – three case studies from Slovenia. Environmental Geology 47-1. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00254-004-1135-8>
- Kovačič, G., Rupnik, T. 2015: Rakiški stržen: hidrogeografske značilnosti in ocena kakovostnega stanja. Geografski vestnik 87-1. DOI: <https://doi.org/10.3986/GV87103>
- Nacionalni inštitut za javno zdravje. O posameznih parametrih Pravilnika o pitni vodi na kratko. Ljubljana, 2018. Medmrežje: <http://www.nijz.si/sl/o-posameznih-parametrih-na-kratko> (30. 12. 2018).
- Petrič, M., Kogovšek, J. 2005: Hidrogeološke značilnosti območja presihajočih Pivških jezer. Acta carsologica 34-3. DOI: <https://doi.org/10.3986/ac.v34i3.255>
- Petrič, M., Šebela, S. 2005: Hydrogeological research as a basis for the preparation of the plan of monitoring groundwater contamination: A case study of the Stara vas landfill near Postojna (SW Slovenia). Acta carsologica 34-2. DOI: <https://doi.org/10.3986/ac.v34i2.273>
- Podatki o dnevni in srednji mesečni pretoki Pivke na vodomerni postaji Prestranek ter vodostajih Pivke na vodomerni postaji Postojnska jama v obdobju 1981–2010 in 2013–2017. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana, 2018.
- Podatki o povprečnih mesečnih padavinah v obdobju 1981–2010 in 2013–2017 na klimatološki postaji Postojna. Agencija Republike Slovenije za okolje. Ljubljana, 2018.
- Poročilo o monitoringu podzemnih voda za odlagališče nenevarnih odpadkov Stara vas – Postojna za leto 2013. ERICo Velenje, Inštitut za ekološke raziskave d. o. o. Velenje, 2014.
- Poročilo o monitoringu podzemnih voda za odlagališče nenevarnih odpadkov Stara vas – Postojna za leto 2017. EUROFINS ERICo d. o. o. Velenje, 2018.
- Poročilo o obratovalnem monitoringu za komunalno čistilno napravo CČN Postojna za obdobje 2002–2012. Zavod za zdravstveno varstvo Nova Gorica, Laboratorij za sanitarno kemijo. Nova Gorica, 2013.
- Poročilo o obratovalnem monitoringu za komunalno čistilno napravo CČN Postojna za leto 2013. Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano, Center za okolje in hrano, Oddelek za okolje in zdravje Nova Gorica. Nova Gorica, 2014.
- Poročilo o obratovalnem monitoringu za komunalno čistilno napravo CČN Postojna za leto 2014. Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano, Center za okolje in hrano, Oddelek za okolje in zdravje Nova Gorica. Nova Gorica, 2015.
- Poročilo o obratovalnem monitoringu za komunalno čistilno napravo CČN Postojna za leto 2016. Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano, Center za okolje in hrano, Oddelek za okolje in zdravje Koper. Koper, 2017.

- Poročilo o obratovalnem monitoringu za komunalno čistilno napravo CČN Postojna za leto 2017. Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano, Center za okolje in hrano, Oddelek za okolje in zdravje Koper. Koper, 2018.
- Pravilnik o pitni vodi. Uradni list Republike Slovenije 19/2004, 35/2004, 26/2006, 92/2006, 25/2009. Ljubljana.
- Urbanič, G., Toman, M. J. 2003: Varstvo celinskih voda. Ljubljana.
- Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih snovi v vode in javno kanalizacijo. Uradni list Republike Slovenije 64/2012, 64/2014, 98/2015. Ljubljana.
- Uredba o kakovosti površinskih voda za življenje sladkovodnih vrst rib. Uradni list Republike Slovenije 46/2002, 41/2004. Ljubljana.
- Uredba o stanju površinskih voda. Uradni list Republike Slovenije 14/2009. Ljubljana.
- Vovk Korže, A., Bricelj, M. 2004: Vodni svet Slovenije. Priročnik za interdisciplinarno proučevanje voda. Ljubljana.
- Vrednotenje ekološkega stanja površinskih voda s splošnimi fizikalno-kemijskimi elementi. Ministrstvo za okolje in prostor. Ljubljana, 2009.

6 Summary: Water quality of the Rakiški stržen brook after the reconstruction of the Central Wastewater Treatment Plant Postojna

(translated by Primož Kovačič)

The Rakiški stržen brook is the last right-bank tributary of the Pivka river before its ponor into the Postojna Cave. The brook, which is completely regulated and around 3 km long, is recharged by several intermittent karst springs; their catchment area covers an area of 40 km² and encompasses the Javorniki karst plateau and the karstified upper part of the Pivka river basin, which increases the intrinsic vulnerability of the brook. The most abundant spring is the Fužina cave; its maximum discharge has been estimated at 2.0–2.6 m³/s. The surface part of the Rakiški stržen basin is much smaller (1.75 km²) and developed on very low-permeable flysch rocks and Quaternary deposits. From this part of the basin, treated wastewater effluent from the Central Wastewater Treatment Plant Postojna flows into the brook. The valley of the Rakiški stržen is wide and flat, and the stream gradient is small (1.07‰), which causes the emergence of the Rakiško jezero lake with an area of 70 ha at the highest water level (Kovačič and Rupnik 2015). The Pivka river often blocks the inflow of the Rakiški stržen at the confluence, which also contributes to the formation of the lake. On the basis of our own field measurements of the Rakiški stržen water levels in the hydrological year 2014, and the available discharge data of the Pivka at the Prestranek water-gauging station and the water level data of the Pivka at the Zalog water-gauging station, we estimated the maximum discharge of the brook at 25–27 m³/s and the mean discharge at 1.2–2.5 m³/s (Kovačič and Rupnik 2015). During low waters, the brook either dries out or only the above-mentioned treated wastewater effluent runs in its riverbed.

Measurements conducted in the hydrological year 2014 revealed that the surface part of the Rakiški stržen basin is much more problematical in terms of water quality than the intermittent karst springs of the brook. In addition, the quality of the brook was lower downstream from the Rakitnik village (hereinafter: Rakitnik) as the sewage system had not yet been completely constructed at that time (Kovačič and Rupnik 2015). In 2015, the Central Wastewater Treatment Plant Postojna, constructed in 1985, was thoroughly upgraded and its capacity was increased. Besides common mechanical and biological treatment, the new plant also provides advanced tertiary and quaternary wastewater treatment involving phosphorus and nitrogen absorption, and the destruction of toxic microorganisms using UV disinfection before the outflow to the tributary of the Rakiški stržen (Centralna ... 2018). In 2016, the sewage system was completed in Rakitnik, but the households had not yet been connected to it at the time of our research.

In the hydrological year 2017, we continued with the research on the water quality condition of the Rakiški stržen, since the upgrading of the wastewater treatment plant brought a great opportunity for the assessment of any improvement in the quality of the brook. In previous research, treated wastewaters from the plant had undoubtedly proved the greatest burden for the studied brook (Kovačič and Rupnik 2015). One of the objectives of this study was also to compare the results of water quality measurements at the outlet from the wastewater treatment plant before and after its upgrading, thereby assessing the efficiency of the upgraded plant. Furthermore, this comparison enables the assessment of improvement in the quality of the brook as well as the assessment of the contribution of different sources of pollution in the Rakiški stržen basin to its overall pollution burden. The obtained results enable to assess whether the present management of waters in the Rakiški stržen basin is adequate to ensure its appropriate water quality.

Data on measured water quality parameters at the inflow and outflow of the wastewater treatment plant was provided by its operator, *Kovod d. o. o.* At the inflow of the plant, chemical and biochemical oxygen demand, total nitrogen and total phosphorous are monitored, while at the outflow ammonium concentrations are additionally monitored. Field measurements were carried out under different hydrological conditions in the period from mid-October 2016 to end-June 2017. 64 samples, 16 at each of the four sampling points were collected. Eight samples were taken during low waters, three at mean water condition and five at high waters. The first sampling point was located at the intermittent Fužina karst spring, the second one at the treated wastewater effluent (Figure 2), the third one at the confluence of the Rakiški stržen and the outflow of the wastewater treatment plant, and the fourth one in the Rakiški stržen, 100 m downstream from Rakitnik. The location of sampling points 1, 3 and 4 was the same as in the study conducted in the hydrological year 2014 (Figure 1; Kovačič and Rupnik 2015). The fieldwork comprised *in situ* measurements of water temperature and dissolved oxygen concentration, and the sampling of water at the sampling points for subsequent simple chemical analysis (pH, concentration of nitrate, nitrites, ammonium and phosphates) carried out using portable water analysis test kits. Furthermore, the values of Pearson's correlation coefficient between different pairs of the above-mentioned water quality parameters at individual sampling points and between pairs of individual measured parameters at different sampling points were calculated. In addition, the values of Spearman's rank correlation coefficient between the above-mentioned water quality parameters at individual sampling points and estimated hydrological condition at sampling times were calculated. The quality of the Rakiški stržen brook was assessed based on different threshold concentrations used to define water quality and cited in different sources. Meteorological and hydrological data obtained from the Slovenian Environment Agency was used for the comparison of hydrological conditions in the hydrological years 2017 and 2014, as well as with the reference period 1981–2010.

The results of the measurements performed in the hydrological year 2017 showed that the concentrations of measured pollutants in the Rakiški stržen brook had significantly decreased in comparison with the hydrological year 2014, indicating a lower impact of the wastewater burden. This improvement can be explained with the greater efficiency of wastewater treatment at the upgraded wastewater treatment plant, reaching 97% for chemical and biochemical oxygen demand, 88% for total phosphorous and 86% for total nitrogen.

At the time of our research, the households in Rakitnik had not yet been connected to the sewage system, therefore untreated wastewaters from this settlement are also considered a significant burden for the studied brook. According to our estimates, the catchment area of the Rakitnik sampling point includes around 50 households in Rakitnik and certainly also some households in the nearby Matenja vas village. Until recently, several houses in the north-eastern part of Rakitnik had their outflow of untreated wastewaters connected to the rainwater drainage system, ending at the bank of the Rakiški stržen. In Rakitnik, there are three farms with open manure heaps and there is also a sports airfield with corresponding infrastructure and a restaurant in the vicinity of the brook. Therefore, it was not surprising that the concentrations of nitrite and the concentrations of ammonium that we measured at the Rakitnik

sampling point on three and two occasions respectively were higher than those recorded at the sampling point located at the confluence. This proves the existence of fresh pollution from wastewaters in Rakitnik.

The quality of the Rakiški stržen has slightly improved. However, at almost all sampling points (excluding the Fužina spring) the mean concentrations of measured pollutants (excluding nitrates) recorded in the hydrological year 2017 exceeded the recommended or maximum threshold concentrations for supporting fish life in water. The mean concentrations of phosphates at the outflow of the wastewater treatment plant, at the confluence and in Rakitnik exceeded the maximum threshold concentration for drinking water. In addition, the mean concentration of total phosphorous in waste treatment effluent from the wastewater treatment plant currently still exceeds threshold concentrations for drinking water and supporting fish life in water.

From the above we can conclude that today waste treatment effluent from the Central Wastewater Treatment Plant Postojna presents a significantly lower burden for the Rakiški stržen than in the past. Nevertheless, the effluent, along with untreated wastewaters from Rakitnik, remains significant source of pollution and the main cause of the lower quality of the studied brook. However, we must not ignore other potential sources of pollution, such as farming with inadequate fertilising, military activities in the catchment area, and railway and road traffic in the basin of the brook. However, we can expect further improvement in the quality of the Rakiški stržen after the connection of the households in Rakitnik to the central sewage system (first connections were implemented in 2018).