

OCENA MASNIH OBREMENITEV CERKNIŠKEGA JEZERA S HRANILI

ASSESSMENT MASS LOAD WITH NUTRIENTS IN LAKE CERKNICA

doc. dr. Darko Drev, univ. dipl. inž. kem. teh.

darko.drev@izvrs.si

IZVRS, Hajdrihova 28 c, 1000 Ljubljana

Marko Kovač, univ. dipl. inž. vki.

Diplomant UL FGG, Jamova 2, 1000 Ljubljana

izr. prof. dr. Jože Panjan, univ. dipl. inž. grad.

joze.panjan@ul-fgg.si

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

Znanstveni članek

UDK: 504.4:556.55

Povzetek | V članku so izračunane povprečne letne masne obremenitve Cerkniška jezera s hranili, kot sta dušik (N) in fosfor (P). Cerkniško jezero je presihajoče jezero. V »namočeni« polovici leta je največje slovensko jezero, ki meri okoli 26 km², doseže pa prostornino 80 km³. Prispevno področje znaša 270 km² in na njem živi 15.000 prebivalcev. Onesnaženje, ki je naravno in antropogeno, izvira iz točkovnih in razpršenih virov onesnaženja. Zato smo najprej izračunali količine masne obremenitve z N in P iz prispevnega področja jezera. Na podlagi večletnih meritev kvalitete jezerske vode in voda v pritokih jezera pa so obdelane povprečne letne masne količine hranil. Izvedena je primerjava koncentracij fosforja in dušika, izračunanih iz obremenitev prispevnih površin z izmerjenimi koncentracijami na pritokih in v jezeru.

Ugotovili smo, da največjo obremenitev za jezero predstavlja kmetijstvo, ki prispeva 66,1 % fosforja in 52,6 % dušika, obremenitev iz naselij in čistilnih naprav je 33,3 % fosforja in 43,6 % dušika, delež industrije pa je majhen in znaša okoli ca. 1 % fosforja in 3,8 % dušika.

Summary | In this paper, the average annual mass load Lake Cerknica with nutrients such as nitrogen N and phosphorus P, are calculated. Lake Cerknica is a periodic lake and in its »flooded« period can reach the surface of 26 km² and the volume of 80 km³. Its catchment area is approximately 270 km² with 15000 inhabitants. Natural and anthropogenic loading of nitrogen and phosphorus in Lake Cerknica are discussed in the paper. Nitrogen and phosphorus are basic nutrients, which increase primary production of algae in aquatic ecosystems. Most of pollution results from point and nonpoint sources – diffused pollution activities. Ten year measurements of water quality and its inflows are gathered and analysed. A comparison is made between the concentration of nitrogen and phosphorus calculated from the impact of catchment area and measurements of concentration in inflows of the lake.

The results indicate that the greatest load of the lake is caused by agriculture, which produces 66,1 % of phosphorus and 52.6 % of nitrogen, another important part of load comes from urban areas, which produce 33.3 % of phosphorus and 43.6 % of nitrogen. Industry produces the smallest part for the loading of the lake with 1 % of phosphorus and 3.8 % nitrogen.

1 • UVOD

Glavna povzročitelja slabšanja kakovosti voda sta danes predvsem intenzivno kmetijstvo in urbanizacija. V članku sta predvsem preučevani hranili dušik in fosfor kot glavna polutanta Cerkniškega jezera. Cerkniško jezero je presihajoče jezero. V »namočeni« polovici leta je največje slovensko jezero, ki meri okoli 26 km², doseže pa prostornino 80 km³. Osnovni fenomen tudi z ekološkega vidika je, da ima jezero veliko nihanje vodne gladine, vključno s presahnitvijo, in s tem tudi spreminjanje poplavljenе površine. Cerkniščica je edini površinski pritok na Cerkniškem polju. Voda priteka v jezero iz kraških izvirov, razporejenih ob robu, odteka samo podzemeljsko, skozi ponore v dnu ter jame ob robu. Ob močnem deževju se jezero napolni v nekaj dneh. Voda ostaja v njem povprečno 7 mesecev na leto, v glavnem od konca marca do junija in od oktobra do konca januarja, 5 mesecev pa je »suho«. Pri poplavih znaša maksimalni dotok 210–240 m³/s, srednji letni pretok je 16,4 m³/s, minimalni dotok pa 2 m³/s. Pretočna sposobnost ponikov in požiralnikov, ki odvajajo vodo proti Rakovemu Škocjanu in nato naprej proti Planinskemu polju, znaša maksimalno 74 m³/s, odtok proti



Slika 1 • Lega Cerkniškega jezera v Republiki Sloveniji in pogled na Cerknico (Cerkniško jezero – spletne strani)

Ljubljanskemu barju pa 16,1 m³/s (Gaberščik, 2002). Poglavitna posebnost, ki ima največji vpliv na razvoj rastlin in živali presihajočega jezera, je,

da je dno izmenoma suho in poplavljeno – mokro. Opisane in analizirane so pripadajoče prispevne površine jezera in procesi gibanja hranil v samem jezeru.



Slika 2 • Pogled na Cerkniško jezero jeseni in poleti ((Panjan, 2004), ((Kovač, 2004))



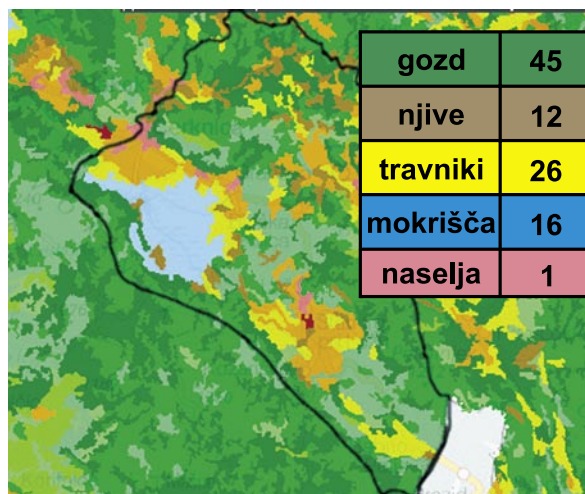
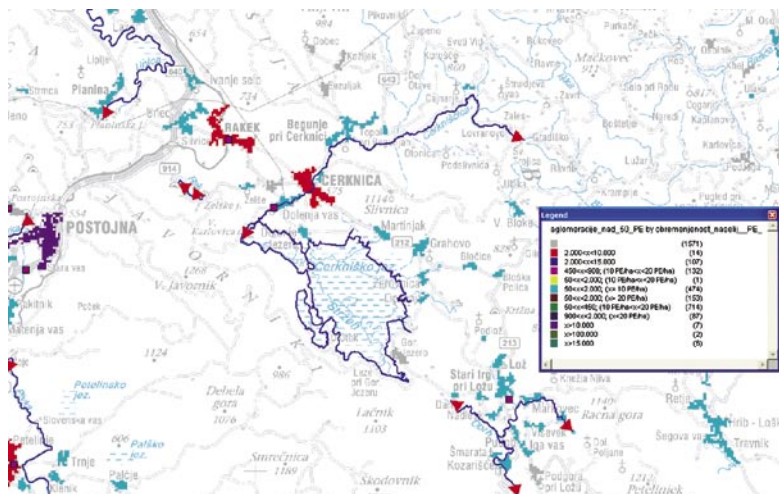
2 • MATERIALI IN METODE

Na masno obremenitev s hranili vplivajo tako naravni kot antropogeni vplivi. Pomembno

je, da ocenimo vpliv enega in drugega. Antropogeni vpliv je nekoliko lažje določljiv

in ga ocenimo na podlagi obremenitev iz urbanega dela vključno z industrijo in obrtjo ter vpliva kmetijstva ((Panjan, 2004), (Ilič, 2008)).

Naravni delež je težje določljiv, ker so meritve obremenjevanja praviloma večletne in zelo

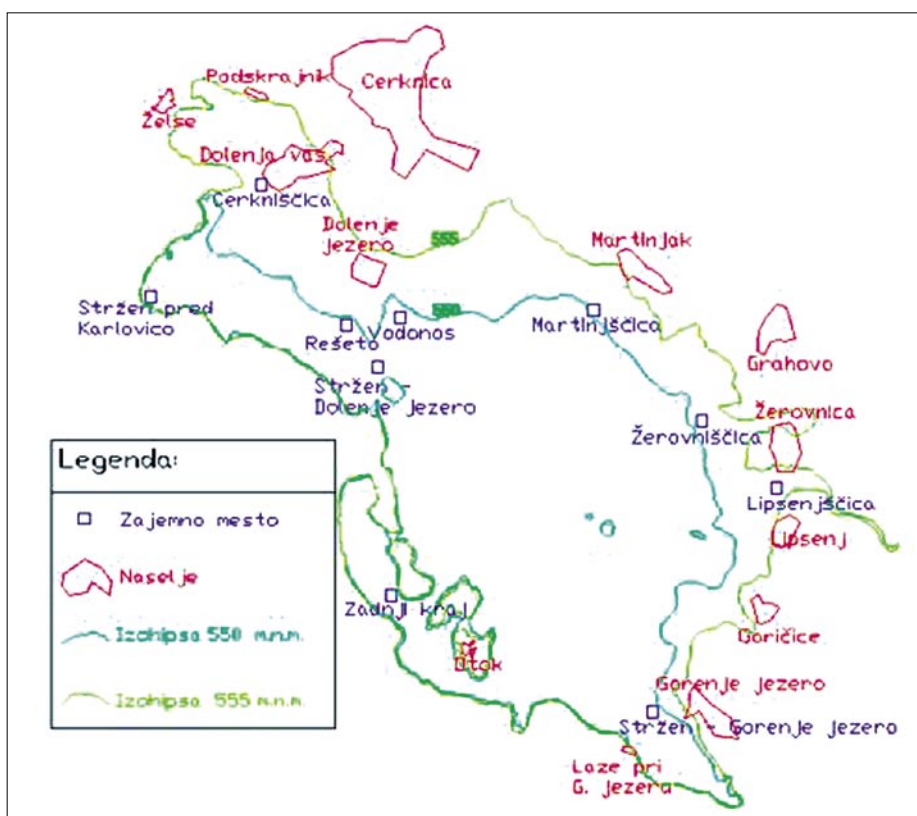


Slika 3 • Aglomeracije na širšem območju Cerknškega jezera in prikaz velikosti in vrste prispevnih površin Cerknškega jezera ((Drev, 2008), (Kovač, 2004))

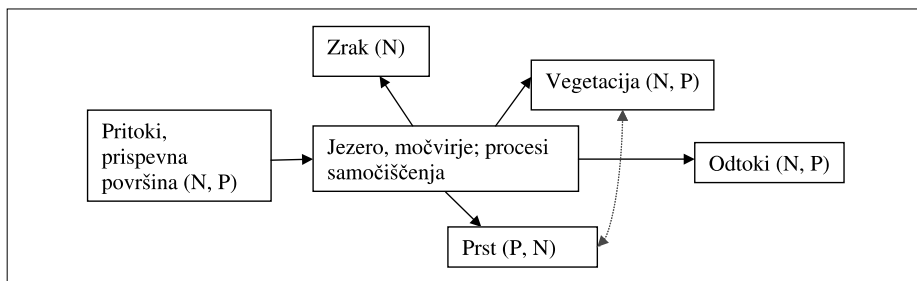
zahtevne zaradi naravnih pogojev, kot so količina padavin, erozija, ponikanja idr. Povodje cerknškega jezera je težko natančno določljivo, saj leži na dinarsko-kraškem območju s še neraziskanimi podzemnimi vodnimi povezavami. Na območju, velikem 270 km², živi približno 15.000 prebivalcev. Približno polovica prispevne površine je prekrita z gozdom, vsa občasno poplavljen polja so skoraj brez gozda.

Meritve onesnaženja Cerknškega jezera potekajo v okviru programa monitoringa kakovosti jezer pod okriljem Agencije republike Slovenije za okolje – ARSO. Meritve na jezeru in njegovih pritokih so izvedene 4- do 6-krat letno. Iz tako redkih meritev se lahko izvedejo le nekatere približne ocene. Za natančnejše določitve bi bilo treba izvajati kontinuirano merjenje. Zanesljivost se sicer poveča z večletnimi zaporednimi meritvami. Monitoring Cerknškega jezera se izvaja na lokacijah Stržen–Gorenje Jezero, Stržen–Dolenje Jezero, Karlovica, Rešeto in Zadnji kraj ter pritokih Martinščica, Žerovniščica, Lipsenjščica in Cerkniščica (slika 5). Zaradi vplivov na izvir v Malnih sta v monitoring vključeni tudi merilni mesti na Raku pod Velikim in Malim naravnim mostom.

Dušik se iz prsti izluži večinoma kot raztopljen nitrat skozi podtalje. Dušikove spojine kažejo na organsko onesnaženje vode in na čas, kdaj je to nastopilo. Tako je amonijak značilen za sveže onesnaženje, nitriti za bližnje in nitriti za že dlje časa onesnaženo vodno okolje. Glavne poti vstopa dušika v vodna telesa so komunalne in industrijske odpadne vode, izcedek iz pognojnih kmetijskih površin, greznice, živalski odpadki in izpust strojev z notranjim izgorevanjem (Valsami-Jones, 2004). Glavni

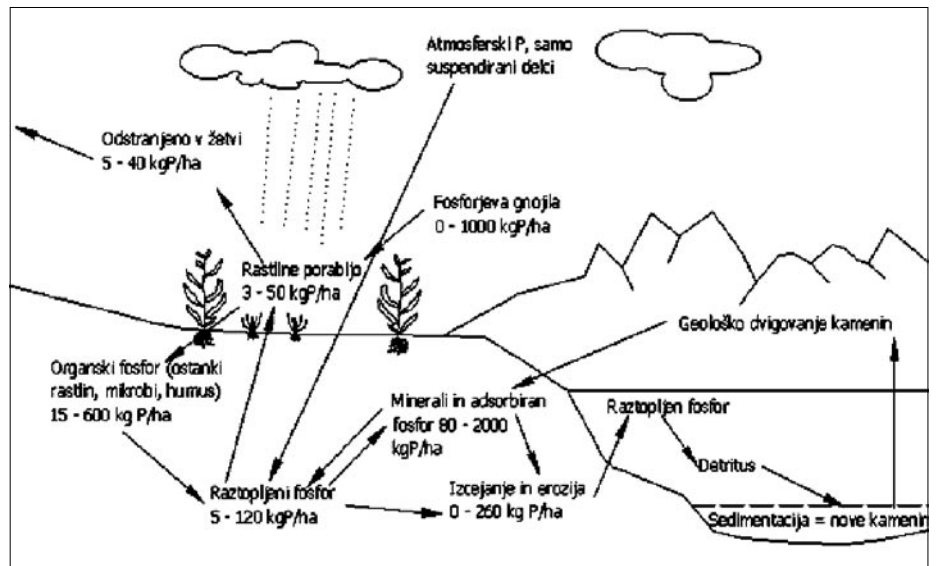


Slika 4 • Naselja na Cerknškem polju in lokacije zajemnih mest (Kovač, 2004)



Slika 5 • Osnovna shema kroženja dušika in fosforja v jezeru (Valsami-Jones, 2004)

vir fosforja so odpadne vode iz gospodinjstev ter mineralna gnojila in gnojevka na kmetijskih površinah. Prst uspešno zadržuje fosfor v sebi in ga reciklira (Wilson, 1999). Čeprav so fosfati iz urbanih in kmetijskih območij prisotni v dotokih jezera, to ne vodi vedno k višjim koncentracijam fosforja v vodi, kar je del, odstranjen v procesu obarjanja in usedanja. Vir organskih gnojil/odpadkov so živalski gnoj, ostanki rastlin ter komunalni in industrijski odpadki. V tleh potekajo številni procesi s fosforjem, ki omogočajo dostopnost fosforja rastlinam in možnost prehoda v površinske vode. Vir fosforja v tleh predstavljajo ostanki talnih mineralov gnojil (organskih in mineralnih). V prsti je najdenih več kot 200 oblik mineralov, ki vsebujejo fosfor, najpogostejša sta: apatit (kalcijev fosfat) in železov in aluminijev fosfat. Surovina za komercialna fosforjeva gnojila je apatit, ki ga obdelajo z žveplovo ali fosforno kislino in tako dosežejo boljše topnost fosforja.



Slika 6 • Kroženje fosforja v naravi (Moss, 1998)

3 • BILANCI HRANIL

Letni vnosi fosforjevih in dušikovih spojin v Cerknško jezero so izračunani na dva načina. Prvi račun upošteva podatke o rabi tal na prispevni površini, padavin, padavinske odtokne koeficiente in koeficiente za izpiranje hranil iz tal. Drugi račun pa upošteva koncentracije hranil na pritokih Cerknškega jezera in povprečni letni pretok ter koncentracij ob določenem vodostaju v jezeru.

Vnos iz urbanih površin (naselja)

Med območja, za katera lahko rečemo, da so izrazito urbana ali delno urbanizirana, spadajo naselje Cerknica, Dolenja vas, Begunje, Lož in Stari trg. Obremenitev je odvisna od: količine padavin, gostote poselitve, števila prebivalstva, koeficienta odtoka in velikosti površin naselij. Padavinske onesnažene vode iz utrjenih površin po vsebujajo za vaško naselje 0,2 mg/l ($N_{celokupni}$) in 0,1 mg/l ($P_{celokupni}$) koncentracije onesnažil, za stanovanjsko naselje z nizko gostoto prebivalstva (Cerknica in Stari trg) pa 1,2 mg/l ($N_{celokupni}$) ter 0,7 mg/l ($P_{celokupni}$) ((Panjan, 2004), (Ilič, 2008), (Drev, 2008)). Preglednica 1 prikazuje za posamezno naselje izračunane vnose dušika in fosforja, pri tem pa ni vključena padavinska voda, ki v Cerknici odteče z javno kanalizacijo na čistilno napravo.

Naselje	Vnos fosforja (kg/leto)	Vnos dušika (kg/leto)
Cerknica	84	144
Begunje	11	22
Dolenja vas	7	15
Lož	20	53
Stari trg	60	104
Skupaj	182	338

Preglednica 1 • Vnos fosforja in dušika iz urbanih (utrjenih) površin

Odpadne vode iz gospodinjstev vsebujejo (Panjan, 2004) naslednje koncentracije onesnažil: 5–20 mg/l (P_{celi}) in 15–90 mg/l (N_{celi}). Del prebivalstva v Cerknici, Dolenji vasi, Ložu in Starem trgu, ki so priključeni na javno kanalizacijo in čistilne naprave, se upošteva v podatkih o iztoku iz javnih čistilnih naprav. V preglednici 2 so prikazani vnosi dušika in fosforja iz gospodinjstev posameznih naselij brez javne kanalizacije.

Občina	Št. preb. (P)	Dušik (kg/leto)	Fosfor (kg/leto)
Cerknica	4117	19534	3007
Loška dolina	2528	16790	1845
Bloke	962	4564	703
drugo	1457	6913	1064
Skupaj	7607	47801	6619

Preglednica 2 • Vnos fosforja in dušika z odpadno vodo iz gospodinjstev

Promet

Promet ima značilnosti tako točkovnega kot razpršenega onesnaženja. Predvsem v primeru avtoceste je odvodnjavanje urejeno na način, da se voda zbira in delno prečiščena točkovno kontrolirano odteka v okolje. Ceste nižjega ranga ter železnice imajo značilnosti razpršenega onesnaženja. V urbanem in industrializiranem območju ima velik vpliv atmosfersko onesnaženje. Niso zanemarljivi tudi deleži namernega onesnaževanja z nesnago voznikov (predvsem organsko) ter blato kmetijskih strojev iz obdelovalnih površin. Najbolj obremenjene so vode ob prvem deževju po dolgotrajni suši. Padavinske vode kontrolirano spuščamo v odvodnike, delno pa jih očistimo, za velika

parkirišča se gradijo lovilci olj in maščob. Za obravnavano območje, ki nima avtocest, je onesnaženja iz prometa zanemarljivo oziroma je delno zajeto v urbanem področju naselja Cerknica pri vnosu v čistilno napravo.

Vnos iz javnih čistilnih naprav

V javno kanalizacijo in na čistilno napravo so na tem področju priključena samo naselja Cerknica, Dolenja vas, Lož in Stari trg. Na javno kanalizacijo je v Cerknici in Dolenji vasi priključenih okrog 700 gospodinjstev, to je približno 2200 ljudi. Na celotnem obravnavanem območju je na sistem javne kanalizacije in čistilnih naprav priključenih le okrog 20 % prebivalstva. Čistilna naprava v Dolenji vasi ima kapaciteto 2500 PE, ki je danes že presežena. ČN Stari trg pa ima kapaciteto 2000 PE. Od vseh oblik dušika pa je bil merjen le amonijev dušik. Iz obeh čistilnih naprav (Panjan, 2004) pridobi jezero letno 1872 kg fosforja in 7812 kg dušika. Preglednica 3 prikazuje rezultate izračuna.

Vnos industrije

Podatkov o industrijskih odpadnih vodah skoraj ni. Večkrat so manjši obrati priključeni na javno kanalizacijo, ne da bi bila znana kvaliteta teh voda. Znani so podatki za podjetje Kovinoplastika Lož, ki ima svojo čistilno napravo, in sicer znaša celoletni vnos amonijevega dušika 4820 kg. Večja podjetja, kot so Novolit Nova vas, Martinjak Masiva, Jera mix Begunje, niso povezana z javno kanalizacijo in javnimi čistilnimi napravami. Odpadno vodo neprečiščeno spuščajo v bližnje potočke ali neposredno v podtalje. Te vode niso upoštevane v izračunih.

Vnos iz kmetijskih zemljišč

Za izračun vnosa fosforja in dušika iz kmetijskih zemljišč potrebujemo: površine določenih tipov zemljišča, srednje koncentracije padavinskih voda s kmetijskih površin, podatke o količinah padavin in koeficient odtoka ($\varphi = 0,125$). Izključno s kmetijstvom se na področju ukvarja le manjši del prebivalstva.

Uporaba agrokemikalij je verjetno nekoliko pod slovenskim povprečjem, toda škodljivi učinki na podzemne vode so zaradi prepustnih kraških tal lahko precej veliki. Preglednica 5 prikazuje deleže zemljišč po krajevnih skupnostih za različne kategorije kmetijskih zemljišč.

Iz celotnega vodozbirnega področja smo izračunali, da pridejo v Cerkniško jezero naslednje količine fosforja:

Čistilna naprava	Količina prečiščene vode (m ³ /leto)	Izmerjene koncentracije		Vnos	Vnos
		fosfor (mg/l)	dušik (mg/l)	fosforja (kg/l)	dušika (kg/l)
Dolenja vas	124 000	14	63	1 736	7 812
Stari trg	8 500	1.6	*	136	*

Preglednica 3 • Vnos fosforja in dušika iz čistilnih naprav

Vrsta pridelka	pesek	ilovica
	kg/(ha.leto)	kg/(ha.leto)
spomladanske žitarice	65	55
oljna repica	50	40
grah	75	60
krmna pesa	45	30
sladkorna pesa	40	25
krompir	45	30
travnik v kolobarju	40	25
trajni travnik	25	15

Preglednica 4 • Izcedek dušika ob standardni stopnji gnojenja (Merrington, 2002)

Občina	njive, travniki (ha)	pašniki, trstičja (ha)	gozd (ha)	nerodovitno (ha)	padavine (mm)
Loška dolina	1350	580	1000	120	1500
Bloke	2050	1000	1270	90	1580
Cerknica	2960	1710	2890	170	1600
Postojna			1010		1650
Σ	6360	3290	6170	380	

Preglednica 5 • Kmetijska zemljišča po hektarjih v različnih občinah

- njivske in travniške površine – 13.120 kg/leto,
 - pašniki – 3180 kg/leto,
 - gozdovi – 617 kg/leto.
- Skupni povprečni vnos fosforja znaša 16.917 kg/leto. Največji delež, skoraj 78 %, predstavlja vnos iz njivskih in travniških površin, pašniki prispevajo 19 %, ostalo priteče s padavinsko vodo iz gozdov (Kovač, 2004).
- Količine dušika so razporejene takole:
- njivske in travniške površine – 32.517 kg/leto,
 - pašniki – 11.024 kg/leto,
 - gozdovi – 24.063 kg/leto.
- Celotni letni vnos dušika znaša 67.604 kg. Dušik iz njiv in travnikov predstavlja 48 % celotnih količin, delež pašnikov je dobrih 16 %, gozdovi pa predstavljajo 36 %.

Celotne količine fosforja in dušika

Pri skupnih količinah je treba poudariti, da so podatki in s tem tudi rezultati za onesnaževanje industrije zelo pomanjkljivi. Največja obremenitev s hranili pride iz naslo-

va kmetijskih zemljišč. Vnos dušika iz kmetijskih zemljišč je skoraj 53 %, medtem ko je pri fosforju ta delež 2/3 skupnih količin. To je posledica velikega vodozbirnega območja. Velik delež fosforja in dušika prispevajo tudi gospodinjstva, ki niso priključena na javno čistilno napravo. Preglednica 6 prikazuje deleže vnosa fosforjevih in dušikovih spojin iz različnih virov in površin.

Iz preglednice 6 je razvidno, da največjo obremenitev za jezero predstavlja kmetijstvo, ki prispeva 66,1 % fosforja in 52,6 % dušika, obremenitev iz naselij in čistilnih naprav je 33,3 % fosforja in 43,6 % dušika, delež industrije pa je majhen in znaša okoli 1 % fosforja in 33,8 % dušika.

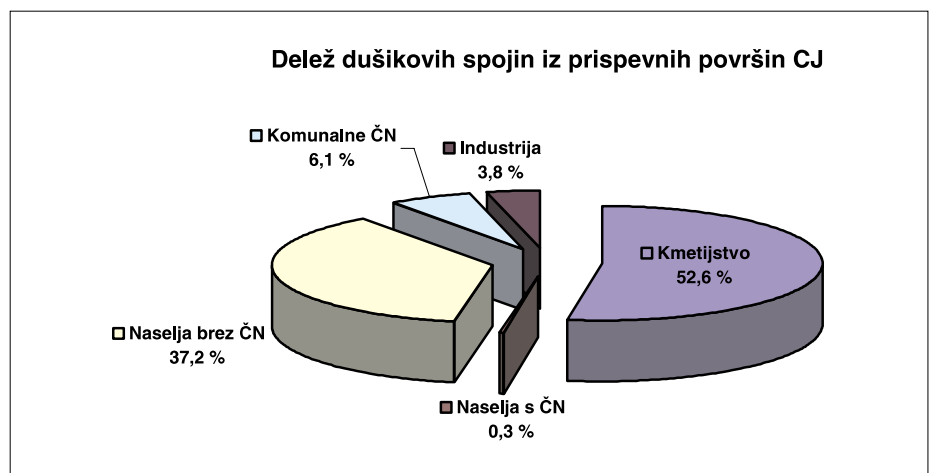
Pri masnih izračunih obremenitev na podlagi izmerjenih koncentracij in povprečnih pretokov in volumnov smo ugotovili, da meritve kažejo znatno večje onesnaženje s hranili na pritokih kot v samem jezeru. Pritoki, ki se zlivajo na Cerkniško polje, so obremenjeni z odpadno vodo iz industrijskih obratov in iz naselij. Najbolj onesnaženi pritoki so Cerkniščica, ki je poleti uvrščena v IV. kakovostni razred, Martinjščica in Žerovniščica. Najmanj onesnažena voda je v Zadnjem kraju, kjer se voda zadržuje skozi večji del leta in so pritoki iz Javornikov. Tu je voda onesnažena predvsem z nitrati. Manj obremenjena sta pritok Lipsenjščica, ki priteče z Bloške planote, ter Obrh, ki priteče z območja Loškega in Babnega polja. Ob nizkem vodostaju so vode, ki iztekajo v podzemlje, bolj onesnažene kot takrat, ko je polje poplavljen.

Za primerjavo smo izbrali merilno mesto v samem jezeru Stržen–Dolenje Jezero ter merilno postajo na pritoku Cerkniščica–Dolenja vas. Podane so povprečne letne vrednosti celokupnega fosforja ter dušikovih spojin. Izkaže se, da so vrednosti fosforja v Cerkniščici v povprečju za desetkrat večje kot v samem jezeru.

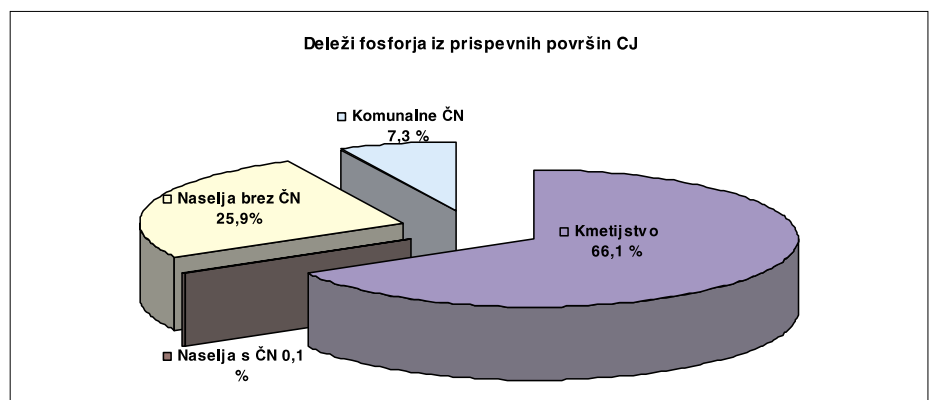
V Cerkniščico se namreč iztekajo odpadne vode iz komunalne čistilne naprave v Dolenji vasi. Prav tako so vrednosti amonijevega iona za približno 15-krat višje kot v jezeru. To se sklada s teorijo, po kateri amonijevi ioni kažejo na sveže onesnaženje, nitrati na kasnejše, nitrati pa na že dlje prisotno onesnaženje. Tako so koncentracije nitritov približno 4,5-krat višje v Cerkniščici kot v jezeru ter koncentracije nitratov 1,2-krat višje v Cerkniščici kot v jezeru. Izkazane meritve kažejo, da ima Cerkniško jezero čistilne sposobnosti ter da so vode na iztoku čistejše kot na dotoku.

	FOSFOR (kg/leto)	delež (%)	DUŠIK (kg/leto)	delež (%)
vnos s kmetijskih zemljišč	16.917	66,1	67.604	52,6
vnos iz urbanih površin s ČN	182	0,1	338	0,3
vnos iz gospodinjstev brez ČN	6619	25,9	47.801	37,2
vnos iz čistilne naprave	1872	7,3	7812	6,1
vnos iz industrije	*	*	4820	3,8
	25.590	100	123.555	100

Preglednica 6 • Vnos fosforja in dušika v kg/leto iz različnih virov in površin



Slika 8 • Deleži dušika s prispevnih površin Cerkniškega jezera



Slika 7 • Deleži fosforja s prispevnih površin Cerkniškega jezera

V vseh pritokih je opazna večja obremenitev predvsem v poletnem času pri nizkem vodostaju. Glede na to, da imajo vsi pritoki višjo vsebnost fosforja, kot je značilno za jezero, lahko smatramo, da je Cerkniško jezero ponor za fosfor. Verjetno se večji del usede ali pa vgradi v biomaso. Tudi za dušikove spojine velja, da so koncentracije amonijevega iona

višje na pritokih kot v jezeru, za nitrate pa je to manj izrazito.

Drugi način izračuna daje ca. 10–40 % večje masne količine, vendar primerljive vrednosti glede na prvi način izračuna.

Dušikove snovi se večinoma odstranijo s pomočjo mikroorganizmov in gredo v atmosfero, preostali del pa se vgradi v rastline in se

kot organski dušik usede na dno. Fosfor, ki se usede na dno v partikulirani obliki, se povečini odstrani iz vodnega telesa z obarjanjem z magnezijevimi, železovimi in kalcijevimi ioni. Preostali del se vgradi v rastline.

Znane so izračunane letne količine fosforja in dušika. Poznamo koncentracije dušikovih in fosforjevih spojin v jezerski vodi ter pritokih. S pomočjo volumna jezera ter povprečnega nihanja jezerske gladine lahko izračunamo, kakšne naj bi bile koncentracije fosforjevih in dušikovih spojin v jezerski vodi glede na izračunane letne količine fosforja in dušika. Povprečni srednji vodostaj med letoma 1989 in 1999 znaša 548,1 m n.m., na tej višini jezerske gladine je volumen 10.793.447 m³. Koncentracije hranil v jezerski vodi glede na letni vnos v prispevni površini znašajo: fosfor 2,4 mg/l, za dušik pa 11,4 mg/l. Tako dobimo:

- povprečno letno količino fosforja: 25.590 kg
- povprečno letno količino dušika: 123.555 kg

Tako izračunane koncentracije so za totalni fosfor kar 60-krat višje od meritev koncentracij v samem jezeru, ki znašajo v povprečju okoli 0,04 mg/l P_{tot} na merilni postaji Stržen–Dolenje Jezero. Prav tako so izračunane koncentracije za totalni dušik 14-krat višje od meritev koncentracij v jezeru, ki znašajo okoli 0,8 mg/l P_{tot} (preglednica 9).

Razlogi, da so koncentracije izračunane iz letne obremenitve s fosforjem in dušikom nekajkrat večje od izmerjenih v jezeru, so po naši oceni naslednji:

- Čas zadrževanja vode v jezeru ni eno leto, torej se hranilne snovi sproti izplaknejo in se ne nahajajo hkrati v jezeru.
- Velika samočistilna sposobnost jezera. Torej denitrifikacija dušika, vgradnja fosforja v rastlinje in sedimentacija zmanjšujejo koncentracije hranil. Samočistilno sposobnost jezera bomo obravnavali v posebnem drugem članku.
- Dušik in fosfor se ne izcejata enakomerno, temveč sorazmerno z intenzivnostjo padavin. Merodajne meritve bi tako morale upoštevati tudi maksimalne vrednosti po padavinah.

Izkaže se tudi, da so izračunane koncentracije fosforja glede na dušik višje od dejanskih izmerjenih. To je lahko posledica pomanjkljivega zajema podatkov ali pa povečane retenzije fosforja v flih.

leto	P-tot	NH ₄	NO ₂	NO ₃	Vsota N-spojnin
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1993	0,07	0,12	0,02	2,85	2,99
1994	0,02	0,22	0,03	1,9	2,15
1995	0,039	0,18	0,02	1,4	1,6
1996	0,019	0,07	0,01	1,8	1,88
1997	0,008	0,4	0,05	2,4	2,85
1999	0,02	0,01	0,01	1,8	1,82
2000	0,06	0,05	0,02	2,2	2,27
2001	0,04	0,05	0,01	2,4	2,46
2002	0,06	0,09	0,016	1,6	1,706
Povprečje	0,037	0,132	0,021	2,039	2,192

Preglednica 7 • Stržen–Dolenje Jezero

leto	P-tot	NH ₄	NO ₂	NO ₃	vsota N-spojnin
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1993	0,41	2,32	0,1	2,76	5,18
1994	0,284	6,05	0,09	2,5	8,64
1995	0,081	0,63	0,05	2,4	3,08
1996	0,13	0,96	0,1	2,1	3,16
1997	0,139	3,0	0,13	2,5	5,63
1998		7,16	0,07	2,4	9,63
1999	0,52	0,48	0,05	2,8	3,33
2000	1,09	1,95	0,11	3	5,06
2001	0,34	0,77	0,12	2,2	3,09
2002	0,58	0,96	0,1	2,3	3,36
Povprečje	0,397	2,428	0,092	2,496	5,016

Preglednica 8 • Cerknjišča–Dolenja vas

Vodostaj (m.n.m.)	546	547	548	549	550	551	552
Volumen jezera (m ³)	3943857	6830887	9717918	20473214	38195458	41501588	83606359
Fosfor							
Izrač. koncentracije (mg/l)	6,49	3,75	2,63	1,25	0,67	0,62	0,31
Konc. P _{tot} v jezeru (mg/l)	0,04						
Večkratnik*	162,2	93,7	65,8	31,2	16,7	15,4	7,7
Dušik							
Izrač. koncentracije (mg/l)	31,33	18,09	12,71	6,03	3,23	2,98	1,48
Konc. N _{tot} v jezeru (mg/l)	0,8						
Večkratnik*	39,2	22,6	15,9	7,5	4,0	3,7	1,8

Preglednica 9 • Primerjava koncentracij totalnega fosforja, izmerjenih v vodotokih, in izračunanih koncentracij glede na vodostaj jezera

$$* \text{ Večkratnik} = \frac{\text{izrač. koncentracije}}{\text{izmerjene koncentracije}}$$

4 • SKLEP

Primer Cerkniškega jezera je zahteven za raziskave, predvsem zaradi kraškega presihajočega značaja, ki onemogoča natančno določanje prispevne površine, dotoka in odтока. Kakovost površinskih voda in njihova eutrofikacija sta odvisni predvsem od stanja prispevne površine in dejavnosti, ki potekajo na njej. Nadzorovanje in upravljanje s prispevnimi površinami pa zahteva medobčinsko in regionalno sodelovanje. Glavni dejavniki, ki določajo vpliv prispevne površine na kakovost voda, so kmetijstvo, gozdarstvo, industrija, komunalna infrastruktura, klima, geologija, poselitev in promet. Pri tem bi radi poudarili, da so najvidnejši in najbolj raziskani učinki hranil dušikovih in fosforjevih spojin na vodni ekosistem – eutrofikacija,

endar vplivajo na ekosistem tudi druge manj raziskane snovi, kot so težke kovine in agrokemikalije.

Značilnost Cerkniškega jezera in pritokov je sezonsko spreminjanje njihove kakovosti in eutrofnosti. Na te spremembe pa v veliki meri vplivajo naslednji dejavniki: vodostaj (količina vode), vnos snovi iz zaledja in primarna produkcija (prisotnost organizmov). Nekateri pritoki so ob nizkem vodostaju zelo onesnaženi. V vodi so ugotovljene visoke koncentracije skupnega fosforja in dušika, predvsem v površinskih pritokih. V Cerkniščici povprečne koncentracije celotnega fosforja presegajo vrednost 0,3 mg/l, medtem ko so koncentracije celotnega dušika več kot desetkrat večje. Stanje je nekoliko boljše na

samem jezeru in v kraških podzemnih pritokih. Pri analizah izstopajo vode iz Zadnjega kraja, kjer je onesnaženje najmanjše, saj vode pritekajo s področja Javornikov.

Največje obremenitve prispeva razpršeno onesnaženje. Pri obremenitvah s fosforjem kmetijske površine prispevajo 66 % celotnega onesnaženja in nekoliko manj pri dušiku (53 % celotnega onesnaženja). Razpršena poselitev z neurejenim odvajanjem odpadnih voda prispeva 26 % oziroma 37 % celotne obremenitve s fosforjem oziroma dušikom. Obremenitve iz točkovnih virov, torej čistilnih naprav in industrije, predstavljajo manjši delež celotnega onesnaženja (skupaj največ 10 %). Znatno del industrije še vedno izpušča odpadne vode nekontrolirano v vodotoke brez predhodnega čiščenja.

Glede na izračune smo ugotovili, da v in skozi Cerkniško jezero letno potuje ca. 300–600 t dušika in ca. 40–80 t fosforja.

5 • LITERATURA

Cerkniško jezero – spletne strani.

Drev, D., Slane, M., Panjan, J., Die Untersuchung über die ländlichen Badegewässer und entsprechenden Massnahmen zu deren Verbesserung in Slowenien, Wasser-wirtschaft 98, 12/2008.

Gaberščik, A., Jezero, ki izginja, Monografija o Cerkniškem jezeru, Društvo ekologov Slovenije, Ljubljana, 2002.

Ilič, D., Panjan, J., Ocena vplivnosti fosforja iz kmetijstva na eutrofikacijo površinskih voda v krajinskem parku Goričko, GV, letnik 57, 2008.

IWA Specialized Conference Nutrient Management Wastewater Treatment Processes and Reycle Streamers, Krakow, 19.–21. sep. 2005.

- Kovač, M., Vpliv naravnih in antropogenih dejavnikov na kakovost površinskih voda, Principi določevanja količin fosforja in dušika, UL FGG, 2004.
- Merrington, G., Winder, L., Parkinson, R., Redman, M., Agricultural pollution, Environmental problems and practical solutions., Spon press., 2002.
- Moss, B., Ecology of fresh waters, Blackwell Science, 1998.
- Panjan, J., Osnove zaščite voda, UL FGG, 2004.
- Valsami-Jones, E., Phosphorus in Environmental Technologies, IWA Publishing, Cornwall, UK, 2004.
- Wilson, W. S., Ball, A. S., Hinton, R. H., Managing risk of nitrates to humans an the Environment, The Royal Society of Chemistry, 1999.