

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



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

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

To je izvirna različica zaključnega dela.

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

Jesenko, P., 2016. Antropogeni in naravni vplivi na Divje in Račevsko jezero. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Panjan, J., somentor Krzyk, M.): 89 str.

Datum arhiviranja: 08-04-2016

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



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

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

This is original version of final thesis.

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

Jesenko, P., 2016. Antropogeni in naravni vplivi na Divje in Račevsko jezero. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Panjan, J., co-supervisor Krzyk, M.): 89 pp.

Archiving Date: 08-04-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM VODARSTVO IN
KOMUNALNO INŽENIRSTVO

Kandidatka:

PETRA JESENKO

**ANTROPOGENI IN NARAVNI VPLIVI NA DIVJE IN
RAČEVSKO JEZERO**

Diplomska naloga št.: 275/VKI

**ANTHROPOGENIC AND NATURAL INFLUENCE ON
DIVJE AND RAČEVA LAKE**

Graduation thesis No.: 275/VKI

Mentor:

izr. prof. dr. Jože Panjan

Somentor:

asist. dr. Mario Krzyk

Ljubljana, 23. 03. 2016

STRAN ZA POPRAVKE (Errata)

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo

»Ta stran je namenoma prazna.«

IZJAVE

Podpisana Petra Jesenko izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom »Antropogeni in naravni vplivi na Divje in Račevsko jezero«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 8. 3. 2016

Petra Jesenko

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČEKOM

UDK	502.51:504.5(497.4)(043.2)
Avtor	Petra Jesenko
Mentor	izr. prof. dr. Jože Panjan
Somentor	asist. dr. Mario Krzyk
Naslov	Antropogeni in naravni vplivi na Divje in Račevsko jezero
Tip dokumenta	diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema	89 str., 28 pregl., 31 sl., 9 pril.
Ključne besede	jezero, evtrofikacija, fosfor, dušik, samočistilna sposobnost, antropogeni vpliv, naravni vpliv

Izvleček

Jezerca so naravni ekosistemi, ki so vsakodnevno izpostavljeni onesnaženju. Glavna krivca sta kemijska elementa fosfor in dušik. K sreči imajo jezera sposobnost, da se do neke stopnje očistijo. Pravimo, da imajo samočistilno sposobnost. Onesnaženje jezerske vode povzročajo antropogeni in naravni vplivi iz okolja. Na količine vnešenega dušika in fosforja pa vplivajo količina padavin, pokritost tal, raba prostora, stopnja urbanizacije, število gospodinjstev in urejenost odvodnjavanja in čiščenja odpadnih voda. V diplomski nalogi sem obravnavala in primerjala Račevsko jezero v občini Logatec in Divje jezero pri Idriji. Namen je bil izračunati okvirne letne količine dušika in fosforja, ki jih jezera pridobita iz lastnih prispevnih območij. Izračuni so le okvirni, ker zaenkrat ne obstajajo analize kakovosti voda za jezera. Na spletnih straneh ARSO sem najprej poiskala podatke o desetletni povprečni višini padavin na več padavinskih postajah in določila velikosti in deleže posamezne rabe prostora glede na celotne površine hidroloških območij obeh jezer. S pomočjo smernic različnih avtorjev sem določila količine obeh elementov, ki jih prispevajo ceste, utrjene površine, gospodinjstva, čistilne naprave, industrija in kmetijske površine. Količine sem pridobila za vsako jezero posebej in končne rezultate med sabo še primerjala. Ker gre za pretežno gozdnata predela, je sledeče, da gozd prispeva tudi največje količine dušika in fosforja. Med večje onesnaževalce štejemo še ceste in gospodinjstva, ki nimajo urejenega odvodnjavanja in čiščenja odpadnih voda. Količine onesnažil se bodo znatno zmanjšale, ko bodo odpadne vode odvedene na čistilno napravo in ko bodo vode iz prometnih cest zadržane v zadrževalnikih.

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC	502.51:504.5(497.4)(043.2)
Autor	Petra Jesenko
Supervisor	assoc. prof. Jože Panjan, Ph. D.
Co-advisor	assist. Mario Krzyk, Ph. D.
Title	Anthropogenic and natural influence on Divje and Račeva lake
Document type	Graduation Thesis – University studies
Notes	89 p., 28 tab., 31 fig., 9 ann.
Key words	lake, eutrophication, phosphorus, nitrogen, purifying, anthropogenic impact, naturally impact

Abstract

Lakes are natural ecosystems that are daily exposed to pollution. The main culprits are the chemical elements phosphorus and nitrogen. Thankfully lakes have the ability to be cleaned by itself to a certain point. We call that the self-cleaning ability. Lake water pollution is caused by anthropogenic and natural environmental influences. The quantities of nitrogen and phosphorus are affected by rainfall, type of landscape, land use, level of urbanization, the number of households and the arrangement of drainage and wastewater treatment. In this diploma work, I interpret and compare Lake Račeva in the municipality of Logatec and Lake Divje jezero in Idrija. The aim was to calculate the indicative annual amounts of nitrogen and phosphorus that lakes get from their own catchment areas. The calculations are only indicative, because currently there are no analysis of water quality of lakes. On the web pages of ARSO I first sought information of the ten-year average amount of rainfall on a few of meteorological stations and determine the size and proportions of each land use in relation to the total surface hydrological areas of both lakes. With the help of guidelines from various authors I determined the quantities of two elements that contribute roads, hardened surfaces, household wastewater treatment plants, industry and agricultural land. I acquired quantities for each reservoir separately and compared the final results with each other. Because it is predominantly wooded area the forest also contributes the largest amount of nitrogen and phosphorus. Among the major emitters we can count the road and households which do not have drainage and cleaning waste water. The quantities of pollutants will be significantly reduced when the waste water will be discharged to the treatment plant and when water from busy roads will be retained in reservoirs.

»Ta stran je namenoma prazna.«

ZAHVALA

Najprej bi se zahvalila izr. prof. Jožetu Panjanu in somentorju asist. dr. Mariu Krzyku za vso pomoč, navodila in potrebne smernice pri izdelavi diplomske naloge.

Za posredovane podatke o delovanju čistilne naprave v Godoviču bi se zahvalila gospe Ani Šimenc iz podjetja Komunala Idrija d. o. o.

Posebna zahvala pa gre vsem mojim domačim za pomoč, spodbudo in podporo že med študijem in pri pisanju diplomske naloge.

Hvala vsem!

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO VSEBINE

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČEKOM	V
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	VII
ZAHVALA	IX
KAZALO VSEBINE	XI
KAZALO PREGLEDNIC	XV
KAZALO SLIK	XVII
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	XIX
SLOVAR MANJ ZNANIH BESED IN TUJK	XXI
1 UVOD	1
2 VODNI EKOSISTEMI	2
2.1 Definicija	2
2.2 Jezera	2
2.3 Abiotski dejavniki v jezerskih ekosistemih	3
2.4 Svetloba	3
2.5 Temperatura	5
2.6 Klorofil- a	7
2.7 pH, ogljikov dioksid in karbonati	7
2.8 Kisik	9
2.9 Žveplo, sulfati in sulfiti	11
3 HRANILA IN EVTROFIKACIJA	12
3.1 Dušik	12
3.1.1 Splošno	12
3.1.2 Fiksacija dušika	13
3.1.3 Nitrifikacija	15
3.1.4 Denitrifikacija, amonifikacija in mineralizacija	15
3.2 Fosfor	17
3.2.1 Splošno	17
3.2.2 Fosforjev cikel	17
3.2.3 Fosfor v prsti	18
3.2.4 Transport fosforja	19
3.2.5 Fosfor v vodi	19
3.2.6 Fosfor in biologija	20

3.2.7	Kmetijstvo in fosfatna gnojila	21
3.2.8	Odstranjevanje fosforja.....	22
3.3	Evtrofikacija	23
3.3.1	Definicija	23
3.3.2	Naravna evtrofikacija	24
3.3.3	Umetna evtrofikacija	25
3.3.4	Vpliv usedlega materiala na kakovost jezer	26
3.3.5	Viri vnosa hranil	28
4	SAMOČISTILNE SPOSOBNOSTI NARAVNIH VODNIH SISTEMOV.....	31
4.1	Splošno	31
4.2	Potek samočiščenja in stopnje onesnaženosti.....	33
5	KATEGORIZACIJA STOJEČIH VODA GLEDE NA TROFIČNI NIVO DOLOČEVANJE TROFIČNOSTI PO OECD KRITERIJIH (Organisation for Economic Co-operation and Development)	35
5.1	Hiperevtrofna jezera in njihove značilnosti.....	39
5.2	Oligotrofna jezera in njihove značilnosti.....	39
5.3	Razvoj evtrofikacije.....	40
6	DIVJE JEZERO IN RAČEVSKO JEZERO	42
6.1	Divje jezero	42
6.1.1	Splošno in lega Divjega jezera	42
6.1.2	Morfometrija Divjega jezera	44
6.1.3	Hidrologija Divjega jezera.....	46
6.1.4	Rastlinstvo v okolici Divjega jezera	47
6.1.5	Geološka sestava Divjega jezera in okolice.....	48
6.1.6	Kamninska sestava Divjega jezera in okolice	51
6.1.7	Tektonska zgradba Divjega jezera in okolice	51
6.1.8	Potapljaške raziskave v podzemlju Divjega jezera.....	52
6.2	Račevsko ali Smreško jezero	52
6.2.1	Splošno in lega Račevskega jezera	52
6.2.2	Morfometrija Račevskega jezera	55
6.2.3	Hidrologija Račevskega jezera	58
6.2.4	Rastlinstvo v okolici	59
6.2.5	Geološka sestava tal v okolici Račevskega jezera.....	59
7	IZRAČUN OBREMENITEV S HRANILI IZ PRISPEVNIH POVRŠIN.....	62
7.1	Določitev prispevnih površin.....	62
7.1.1	Prispevno območje Račevskega jezera.....	62

7.1.2	Prispevno območje Divjega jezera	63
7.2	Klasifikacija prispevnih površin.....	64
7.2.1	Določitev letnih količin padavin	65
7.2.2	Vnos iz utrjenih površin	71
7.2.3	Vnos iz cest	73
7.2.4	Vnos iz gospodinjstev	75
7.2.5	Vnos iz javnih čistilnih naprav	76
7.2.6	Vnos industrije	78
8	PREGLED PRIDOBLJENIH KOLIČIN IN RAZPRAVA.....	79
8.1	Skupne količine	79
8.2	Primerjava skupnih količin in razprava.....	80
9	ZAKLJUČEK.....	83
VIRI.....		86

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Tipi jezer	3
Preglednica 2: Ključni procesi preobrazbe dušika	16
Preglednica 3: Procesi samočiščenja	31
Preglednica 4: Faktor skrajšanja procesa razkroja v odvisnosti od globine	32
Preglednica 5: OECD kriteriji za oceno trofičnega stanja jezer	37
Preglednica 6: Trofično stanje jezer	37
Preglednica 7: Raba tal na prispevni površini Račevskega jezera	64
Preglednica 8: Raba tal na prispevni površini Divjega jezera	65
Preglednica 9: Letne količine padavin za padavinsko postajo Rovte	66
Preglednica 10: Letne količine padavin za padavinsko postajo Črni Vrh nad Idrijo, Hotedršica, Otlica	66
Preglednica 11: Letni iznos celotnega fosforja in dušika po različnih avtorjih	67
Preglednica 12: Vnos fosforja v Račevsko jezero iz posamezne kategorije zemljišč	68
Preglednica 13: Vnos fosforja v Divje jezero iz posamezne kategorije zemljišč	69
Preglednica 14: Vnos dušika iz posamezne kategorije zemljišč v Račevsko jezero	69
Preglednica 15: Vnos dušika iz posamezne kategorije zemljišč v Divje jezero	70
Preglednica 16: Vnos fosforja iz utrjenih površin v Račevsko jezero	71
Preglednica 17: Vnos dušika iz utrjenih površin v Račevsko jezero	71
Preglednica 18: Število prebivalcev po naseljih	72
Preglednica 19: Vnos fosforja in dušika iz utrjenih površin aglomeracij prispevnega območja Divjega jezera	73
Preglednica 20: Vnos dušika in fosforja iz cestišča	74
Preglednica 21: Vnos dušika in fosforja iz cest na pripsevnem območju Divjega jezera	75
Preglednica 22: Vnos fosforja in dušika z odpadno vodo iz gospodinjstev	76
Preglednica 23: Vnos fosforja in dušika z odpadno vodo iz gospodinjstev v Divje jezero	76
Preglednica 24: Vnos fosforja in dušika iz javnih čistilnih naprave Godovič	78
Preglednica 25: Skupne količine fosforja in dušika za Račevsko jezero	79
Preglednica 26: Skupne količine fosforja in dušika za Divje jezero	80
Preglednica 27: Primerjava deležev količin fosforja in dušika za obe jezera	81
Preglednica 28: Vnosi fosforja in dušika za obe jezera v primeru, da bi bila gospodinjstva priključena na ČN	82

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO SLIK

Slika 1: Ekološka delitev jezer po globini z različnimi rastlinami in živalmi	4
Slika 2: Toplotne razmere v jezerih.	5
Slika 3: Spreminjanje temperature (T) in vsebnosti kisika (DO) glede na letne čase oziroma trofičnost jezera.	6
Slika 4: Pretvarjanje ogljikovega dioksida in karbonatov v jezeru. Razmerje $\text{CO}_2:\text{HCO}_3^-:\text{CO}_3^{2-}$ določa pH jezerske vode.	9
Slika 5: Koncentracija kisika in temperaturne razmere v jezeru.	10
Slika 6: Dušikov cikel	13
Slika 7: Kroženje dušika	14
Slika 8: Kroženje fosforja v naravi.	18
Slika 9: Shema poti fosforja v prsti.	19
Slika 10: Sukcesija jezerskega ekosistema.	24
Slika 11: Vpliv antropogenih pojavov na eutrofikacijo.	26
Slika 12: Geokemijsko pretvarjanje fosforja in železa v anaerobnem delu zgornje plasti jezerske usedline, na stiku voda – blato.	27
Slika 13: Shematski prikaz poteka porabe kisika in razvoja bakterij in alg pri različnih kakovostih vode in konstantnem dotoku odpadne vode in konstantni temperaturi.	34
Slika 14: Sheme jezera.	36
Slika 15: Verjetnost uvrstitve v razred trofičnosti glede na povprečno letno vrednost Secchi diska.	38
Slika 16: Divje jezero.	42
Slika 17: Lokacija Divjega jezera in izvira Podroteja.	44
Slika 18: Prerez Divjega jezera.	45
Slika 19: Karta prispevne površine Divjega jezera.	47
Slika 20: Kranjski jeglič.	48
Slika 21: Geološki prerez okolice Divjega jezera.	49
Slika 22: Geološki prerez Divjega jezera.	50
Slika 23: Račevsko jezero.	53
Slika 24: Lega Račevskega jezera.	54
Slika 25: Prikaz lokacije Malega jezera.	56
Slika 26: Račevsko jezero.	57
Slika 27: Račevsko jezero	58
Slika 28: Obravnavano območje srednjeperskih kamnin v Škofjeloškem hribovju. Na izrezu iz geološke karte v merilu 1 : 100.000 je označeno z rjavo barvo. Izsek iz Osnovne geološke karte SFRJ, lista Kranj.	60

Slika 29: Hidrografsko območje reke Sore ob Račevskem jezeru.	62
Slika 30: Določitev površine prispevnega območja Račevskega jezera.	63
Slika 31: Meritve na ČN Godovič	77

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

ARSO - Agencija Republike Slovenije za okolje

BPK_i - biokemijska potreba po kisiku

CO₂ - ogljikov dioksid

ČN - čistilna naprava

KČN - komunalna čistilna naprava

KPK - kemijsk potreba po kisiku

N - dušik

NH₃ - amonijak

NH₄⁺ - amonijev ion

OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development

P - fosfor

PISO - Prostorski informacijski sistem občin

»Ta stran je namenoma prazn«

SLOVAR MANJ ZNANIH BESED IN TUJK

Disociacija – razpad molekul v enostavnejše molekule, ione, atome.

Monitoring – spremljanje in preverjanje zdravstvene ustreznosti živila.

Vokliški izvir – je tip kraškega izvira poimenovanega po izviru Fontaine-de-Vaucluse na jugu Francije. Za izvire tega tipa je značilno, da voda iz velikih globin pod pritiskom po strmih kanalih priteka na površje.

»Ta stran je namenoma prazna«

1 UVOD

Namen diplomske naloge je predstavitev dveh jezer in sicer Račevskega ali Smreškega jezera v občini Logatec in Divjega jezera pri Idriji. Na primeru obeh jezer sem nato izvedla izračune vnosa letnih količin dušika in fosforja iz prispevnega območja. Pridobljene rezultate sem na koncu še primerjala med sabo in s tem prišla do ugotovitev, kaj je glavni vzrok za onesnaževanje jezerske vode. Količina vnešenih hranil je odvisna od rabe prostora, števila prebivalcev, gostote poselitve, količine padavin, industrije in opremljenosti območja s kanalizacijo in čistilnimi napravami.

Prispevno območje Račevskega jezera je neraziskano, zato so mi bili pri določitvi prispevne površine v največjo pomoč domačini ter moja in njihova opazovanja in naklon terena. Največji problem pri interpretaciji rezultatov pa predstavljata tudi dejstvi, da je jezero presihajoče narave, zato je lahko tudi pol leta povsem prazno, in da se na jezeru ne izvaja nikakršen monitoring hidoloških ali kakovostnih parametrov. Divje jezero je kraško sifonsko jezero oziroma vokliški izvir. Njegovo prispevno območje je bolje raziskano, vendar večje in se razteza na območja treh občin in mi je iz tega vidika predstavljalo večji izziv pri določitvi dejanske rabe prostora. Za jezero so izvedene hidrološke meritve ne pa tudi analiza kakovosti vode, zato za nobeno od jezer ne morem vedeti, ali so moja predvidevanja in končni rezultati primerljivi z dejanskim stanjem ali ne. Uporabljene podatke sem pridobila na spletni strani ARSO, pri lokalnih komunalnih podjetjih, občinskih spletnih straneh in na portalih Atlas Okolja, Prostorski Informacijski Sistem Občin - PISO in iObčina.

V prvem delu so opisana jezera kot ekosistem in vsi abiotski dejavniki, ki vplivajo na potek dogajanja v jezerih, kot so svetloba, temperatura vode, klorofil, kisik, ogljikov dioksid, karbonati, žveplo in sulfiti. Sledijo opisi hranil dušika in fosforja, ki sta glavna vzroka za onesnaženje vodnih ekosistemov in posledično razvoja eutrofikacije. Jezera glede na stopnjo eutrofikacije delimo po OECD kriterijih v več skupin. Na srečo imajo sami vodni ekosistemi možnost samočiščenja na več načinov. V osrednjem delu sledijo izvedeni izračuni in primerjava vnosa dušika in fosforja iz prispevnega območja v Divje in Račevsko jezero ter opisa obeh jezer s hidrološkim območjem. Prispevne površine sem določila tudi na podlagi ocene vododelnic iz topografskih kart glede na možnost prispetja onesnažil v jezeri. Ker gre za območja z redko poselitvijo in le nekaj aglomeracijami, predvidevam, da temeljni problem vnosa obeh hranil v jezero predstavljajo območja, kjer ni urejeno odvajanje in čiščenje odpadnih voda iz gospodinjstev.

2 VODNI EKOSISTEMI

2.1 Definicija

Ekosistem so vsi živi dejavniki oziroma vse rastline in živali ter vsi neživi dejavniki nekega zaključenega območja. Ekosistem je raven organizacije živih bitji. Vodni ekosistem je ekosistem, v katerega spadajo vsa vodna okolja, v katerih delujejo vodne rastline in živali s kemičnimi in fizikalnimi lastnostmi vode. Delimo jih na morske in sladkovodne ekosisteme. Celinske vodne ekosisteme pa delimo dalje še na stoječe in tekoče vode.

Vodni ekosistemi se razvijajo v različnih življenjskih okoljih, to so:

- morja (odprto morje, morske trate, bibavični pas, usedlinsko školjčno dno),
- morska obrežja (slane luže, peščena obrežja, poloj, slane trate, slane mlake in samorno močvirje),
- močvirje (povirno močvirje, nizko barje, trstiče, šašje, visoko barje),
- jezera (povirno jezero, ledeniško jezero, presihajoče jezero, zadrževalnik, zbirno jezero, pretočno jezero, glinokopno jezero),
- reke (deroče, zastajajoče, presihajoče, uravnane, nižinske, kraške, gorske, grape, tesen, slapovje, izviri, mrtvice, peskokopne mlake, grezišča, prodišča, vrbine, topolovi nasadi).

Voda je del globalnega kroženja. Predstavlja svetovno in mineralno bogastvo, brez katerega ne bi bilo življenja na Zemlji. Voda je obnovljivi vir, vendar se v primeru pretirane uporabe ne more več sproti obnavljati in posledično lahko postane neobnovljivi vir.

2.2 Jezera

Jezera so z vodo napolnjene kotline na zemeljski površini. Jezera so večinoma stalna, pojavljajo pa se tudi presihajoča jezera. Nastanek jezer je lahko različen. V osnovi jih delimo na tri tipe, kar prikazuje Preglednica 1.

Preglednica 1: Tipi jezer

Nastanek in tip jezer	Osnovne značilnosti
Tektonska jezera	Nastajajo z ugrezanjem zemeljske površine. Jezera so pogosto stara, terciarnega izvora.
Ognjeniška ali vulkanska jezera	Nastajajo v ugaslih kraterjih, zato so okrogle oblike.
Ledeniška jezera	Nastala so v kotanjah, ki so jih izdolbili ledeniki med ledeno dobo, ali pa v dolinah za pregradami ledeniških čelnih moren.
Naravna zajezitvena jezera	Nastajajo za pregradami, ki so nastali z usadi v rečno dolino ali za jezovi, ki jih gradijo bobri.

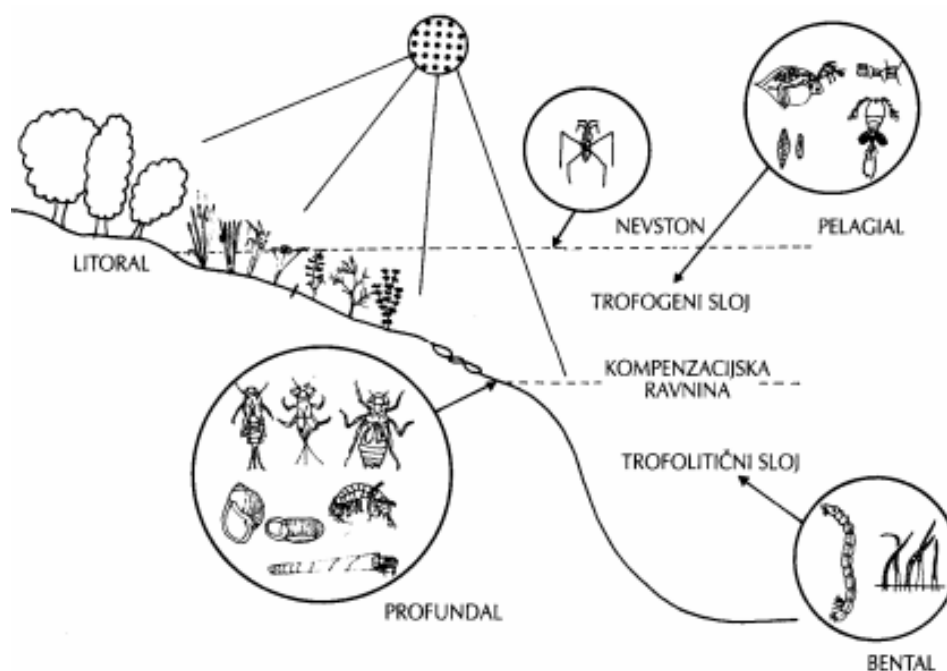
2.3 Abiotski dejavniki v jezerskih ekosistemih

Jezera uvrščamo med stoječe vode. Spreminjajo pa se zaradi meteoroloških vplivov in sicer hitrosti vetra in svetlobe, ki povzročata vertikalne in horizontale gradiente v fizikalnih, kemijskih in bioloških spremenljivkah. Vertikalni in horizontalni gradient povezujemo z izmenjavo sedimentov, atmosfero in okoljskimi terestričnimi ekosistemi.

2.4 Svetloba

Celotna energija, ki napaja metabolizem jezer, izvira neposredno iz sončne radiacije in določa svetlobne in toplotne značilnosti, ki v jezerih povzročajo vertikalno plastovitost oziroma stratifikacijo. Sonce je ekološko najpomembnejši vir svetlobe, posebej vidni del svetlobnega sevanja, ki je glavni dejavnik za potek fotosinteze oziroma primarne produkcije. Učinek svetlobe se najbolj odraža na fotosintezi zelenih rastlin. Količina in kvaliteta svetlobe v vodnem okolju je odvisna od njene jakosti ob stiku z vodno površino, od vpadnega kota, števila organizmov v vodi in količine anorganskih in organskih delcev. Z globino se intenziteta svetlobe eksponencialno zmanjšuje in v jezerih določa fotično-svetlobno cono oziroma trofogeni sloj, v kateri potekajo procesi fotosinteze in asimilacije organskih snovi (primarna produkcija) in temotno-afotično cono oziroma trofolitični sloj s procesi razgradnje organskih snovi ali sekundarna produkcija. Med fotično in afotično cono je kompenzacijska ravnina. Kompenzacijska ravnina predstavlja globino, do kjer še seže dnevna svetloba. Svetloba določa tudi barvo vode, ki je v razponu od temno modre do rjave. Če je v vodi veliko koloidnih delcev kalcijevega karbonata, je barva vode zelenkasta, če pa so v vodi pogoste huminske snovi, pa je voda rjava. Poleg naštetega narekuje

svetloba tudi tip poselitve. Po načinu poselitve jezero prostorsko delimo na bental in pelagial, kar prikazuje Slika 1. V bental sodijo organizmi, ki se drže podlage, v pelagial pa organizmi, ki prosto plavajo v vodi. Območje bentala pod kompenzacijsko ravnino je profundal in nad to ravnino je litoral. Mejo med litoralom in profundalom ostro označujejo zelene rastline, ki ne rastejo pod kompenzacijsko ravnino.



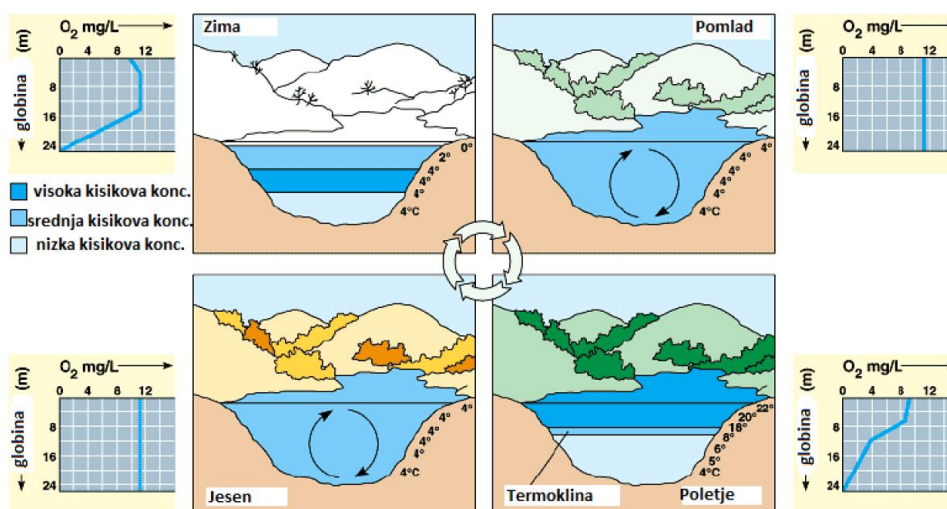
Slika 1: Ekološka delitev jezer po globini z različnimi rastlinami in živalmi.

Vir: Tarman, 1997

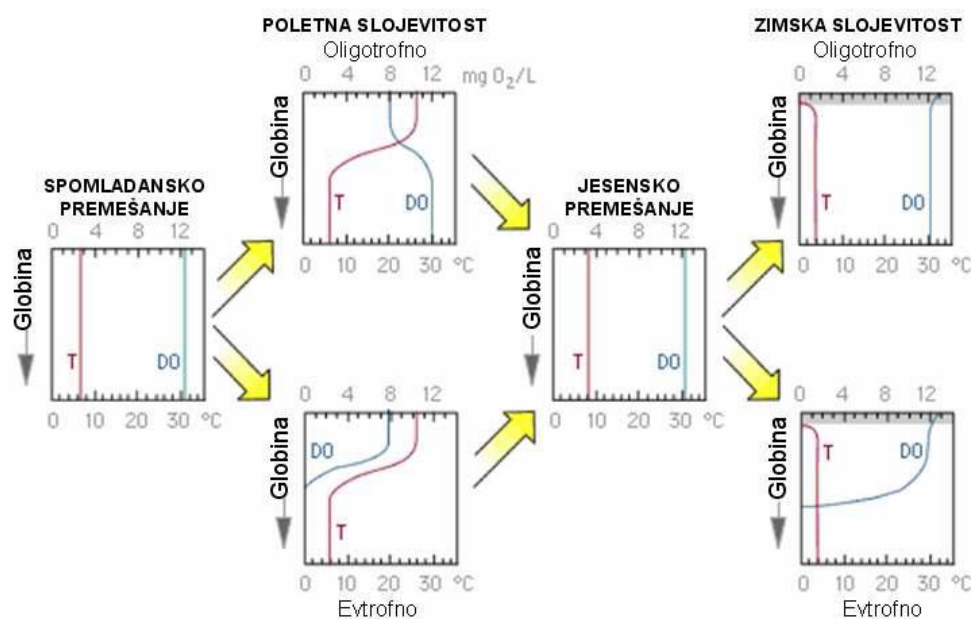
Mejo med litoralom in profundalom dobro označujejo zelene rastline, ki ne rastejo v profundalnem območju, torej v globini pod kompenzacijsko ravnino. Podobno je pelagial pod kompenzacijsko točko batipelagial in nad epipelagial. Le v epipelagialu uspešno producirajo fotoavtotrofne rastline. Značilna združba litorala so vodni makrofiti. Značilni združbi pelagiala pa sta plankton in nekton. Plankton sestavljajo bakterije oziroma bakterioplankton, eno in večcelične alge oziroma fitoplankton, praživali in nevretenčarji oziroma zooplankton. Nekton pa sestavljajo plavajoči organizmi. Funkcionalno vsebuje jezero fotoavtotrofne producente, ki so omejeni na osvetljeni del jezerskega prostora, ki ga označimo za trofogeno območje. Seveda delujejo tudi kemoavtotrofni organizmi, vendar je njihov prispevek k celotni proizvodnji manj pomemben. V trofogenem območju živijo potrošniki, ki izkoriščajo svežo primarno produkcijo. Živali, ki se prehranjujejo z mrtvo organsko snovjo, so del bentala in deloma tudi pelagiala.

2.5 Temperatura

Temperatura vode je ključna lastnost, ki vpliva na kroženje vodnih mas v jezeru. Od tega je odvisna razporeditev hranilnih snovi in posredno vpliva tudi na vse osnovne biološko-kemijske procese v jezeru. V jezerih zmernega pasu ločimo obdobje, ko ima voda v jezeru enako temperaturo ali obdobje homotermije oziroma cirkulacije in obdobje temperaturne plastovitosti ali stagnacije, ko pri segrevanju pride do razslojevanja vodnih mas. Tudi če jezero ne zmrzne, mešanje vodnih mas ni mogoče. V globokih jezerih je mešanje vodnih mas mogoče le v obdobju spomladanske in jesenske homotermije. Takrat se pojavi primer, ko so hranilne snovi enakomerno porazdeljene po vodnem stolpcu. Sprememba temperature za 1°C na 1 m globine, predstavlja tako močan gostotni gradient, da mešanje vode ni več mogoče. Plast, kjer pride do temperaturnega preskoka, imenujemo termoklina. V globokih jezerih se poleti oblikuje več, med seboj ločenih plasti vode, ki jih imenujemo epilimnij, metalimnij in hipolimnij. Termoklina predstavlja prepreko za vertikalni prenos snovi in energije. Proces sedimentacije omogoča transport potrebnih nutrientov iz epilimnija v hipolimniji. Zmenjava v nasprotni smeri z difuzijo pa je ob stabilni termoklini nemogoča. V epilimniju prihaja do upadanja količine hranil, primarna produkcija pa postaja omejena z nizkimi koncentracijami fosforja. V nasprotnem primeru pa sedimentacija organskih snovi vodi v intenzivno razgradnjo v hipolimniju in sedimentih, za kar se porablja veliko kisika. Trajanje plastovitosti in cirkulacije se spreminja od jezera do jezera in je odvisno od geografske lege jezera, izpostavljenosti vetru oziroma mikroklimatskih razmer. Spreminjanje temperature in količine kisika v jezerih zmerno toplega pasu prikazujeta Slika 2 in Slika 3. Temperaturna krivulja (T) je neodvisna od trofičnosti jezera, pri kisikovi krivulji (DO) pa obstajajo bistvene razlike med oligotrofnimi in evtrofnimi jezeri.



Slika 2: Toplotne razmere v jezerih.



Slika 3: Spreminjanje temperature (T) in vsebnosti kisika (DO) glede na letne čase oziroma trofičnost jezera.

Vir: Gradišar, 2008

Na spremembo temperature najpomembneje vpliva neposredna absorpcija sončnega sevanja. Snovi, ki direktno sevanje absorbirajo, so voda, v vodi raztopljene organske snovi in suspendirani delci. Manj pomembno je še oddajanje toplote iz usedlin in oddajanje toplote iz zraka. Pri povišanju temperatur se pospešijo kemijske reakcije in izhlapevanje vode. Zmanjša pa se topnost nekaterih plinov v vodi in sicer kisika, ogljikovega dioksida, dušika in metana. S temperaturo je povezana tudi metabolna aktivnost organizmov. Ko imamo toplejšo vodo, je povišana tudi stopnja respiracije, ki pomeni povečano privzemanje kisika in povečano razgradnjo organskih snovi. Posledično se zviša stopnja rasti, kar se najopazneje zgodi pri bakterijah in fitoplanktonskih organizmih, ki se hitro množijo. Zaradi vsega naštetega se poveča motnost vode. Makrofiti hitreje rastejo in kadar je na voljo dovolj hranil, se pojavi cvetenje alg.

V primeru, da se temperatura poveča za 10°C znotraj danega območja toleranc, ki velja za konkreten organizem, se dejansko še enkrat poveča intenzivnost biokemijskih reakcij. Vodni organizmi uspevajo le v omejenem temperaturnem območju. V primeru, da pa temperatura preseže tolerančno območje za posamezno konkretno vrsto (ribe, žuželke, zooplankton, fitoplankton in mikrobi) ali tudi, če se spusti prenizko, je lahko ogroženo preživetje organizmov. Lahko pa se zaradi sprememb v temperaturi spremeni vrstna sestava posameznih življenjskih združb.

Poznavanje temperaturnega profila vodnega telesa je pomembno za preračun prevodnosti, redoks potenciala, raztopljenega kisika, pH vrednosti in vseh preostalih parametrov v povezavi s kakovostjo vode. Temperatura je tudi pomemben dejavnik, ki vpliva na začetek in konec drstenja rib, migracije organizmov in številne druge pojave v vodnem okolju.

2.6 Klorofil- a

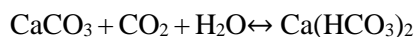
Klorofil- a je fotosintetski pigment, ki je prisoten v večini fotosintetskih organizmov. V vodnem okolju ga najdemo v fitoplanktonu. Na rast alg v vodnih telesih vplivajo predvsem prisotnost nutrientov, temperatura in svetloba. Spreminjanje teh parametrov pa potem vpliva na nihanje koncentracije klorofila, ki se lahko spreminja med letom, čez dan in z globino. V oligotrofnih vodnih telesih z nizko vsebnostjo nutrientov je koncentracija klorofila nizka in sicer pod vrednostjo 2,5 µg/l, medtem ko je v evtrofnih in hiperevtrofnih vodnih sistemih z visokimi koncentracijami nutrientov koncentracija klorofila med 5 in 140 µg/l. S pomočjo merjenja količine klorofila najpogosteje določimo oceno trofičnega stanja vodnega telesa.

2.7 pH, ogljikov dioksid in karbonati

Definicija pH vrednosti raztopine pravi, da je to negativni dekadenci logaritem koncentracije oksonijevih ionov ali v obliki enačbe: $\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$. Vrednost pH je dejansko mera, s katero določimo bazičnost ali kislost raztopin. Lestvica poteka od 1 do vrednosti 14. Vrednost 7 je nevtralna, raztopine z nižjo vrednostjo so kisle, z višjo pa bazične. Ker gre za logaritemsko lestvico, predstavlja sprememba pH vrednosti za eno enoto, desetkratno spremembo bazičnosti ali kislosti. To na primeru pomeni, da je določena raztopina s pH vrednostjo 6, desetkrat bolj kislina kot raztopina s pH vrednostjo 7. Z višanjem temperature se pH vrednosti zmanjšujejo. Kislost oziroma bazičnost vode je v tesni povezavi s koncentracijo proste ogljikove kisline in s količino karbonatov ter bikarbonatov, ki nastajajo predvsem pri raztapljanju kamnin, kot sta kalcit in aragonit. V neonesnaženih vodah je pH vode odvisen predvsem od ravnovesja med CO_2 , HCO_3^- in CO_3^{2-} ter seveda drugih naravnih spojin, kot so huminske in fulvo kisline. Na naravno karbonatno ravnotežje lahko vplivajo tudi industrijska onesnaženja in atmosfersko obremenjevanje s kislimi snovmi. Dnevno nihanje pH vrednosti je lahko tudi rezultat fotosintetske aktivnosti in respiracije primarnih producentov. CO_2 se uporablja za fotosintetke aktivnosti, kar lahko privede do pomanjkanja, kar poruši karbonatno ravnotežje. V Sloveniji se veliko jezer in zadrževalnikov nahaja na karbonatni podlagi, kar predstavlja dober puferski sistem, ki omogoča, da ima voda pH med 6 in 8,5. Nižje vrednosti se pojavijo v vodah, ki so bogate z raztopljenimi

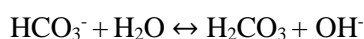
organskimi snovmi, med njih štejejo barjanske vode in vode na silikatih. Višje pH vrednosti so pogoste v evtrofnih sistemih. V vodi raztopljeni ogljikov dioksid tvori ogljikovo kislino (H_2CO_3), ki reagira s kalcijevimi kationi in tako nastanejo karbonati. Največ ogljikovega dioksida se raztaplja v deževnici pri pronicanju skozi tla. Zrak v tleh vsebuje več ogljikovega dioksida kot zrak nad tlemi in sicer zaradi razkrojevalnih procesov, ki se dogajajo v tleh. Ogljikov dioksid vstopa v voda z difuzijo iz zraka in se sprošča pri dihanju organizmov in gnitju. Največ se ga porabi pri fotosintezi, nekaj pa še v avtrofnih sintezah organskih snovi. Ogljikov dioksid lahko izhaja iz jezera z difuzijo ali pa se veže v karbonate. Izrazita so dnevno-nočna nihanja. Koncentracije so manjše čez dan zaradi porabe pri fotosintezi in se povečajo ponoči, ko prevladujejo procesi dihanja tudi pri zelenih rastlinah. Prihaja pa tudi do sezonskega znižanja pH v spodnjih plasteh stratificiranega jezera, kjer se zaradi procesov razkroja sprošča CO_2 , rastlin, ki pa bi ga fiksirale, pa zaradi pomanjkanja svetlobe ni.

Pretvorba ogljikovega dioksida in kalcijevega karbonata je prikazana na shemi na Slika 4. Ogljikov dioksid se v vodi hidratizira v ogljikovo kislino, ki disociira v H^+ in HCO_3^- , pri visokem pH pa disociira še dalje v H^+ in CO_3^{2-} . Razmerje med CO_2 , HCO_3^- in CO_3^{2-} je odvisno od pH vrednosti. V vodi, ki vsebuje veliko količino CO_2 , se raztaplja težko topni CaCO_3 in nastaja topni kalcijev hidrogen karbonat ali $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

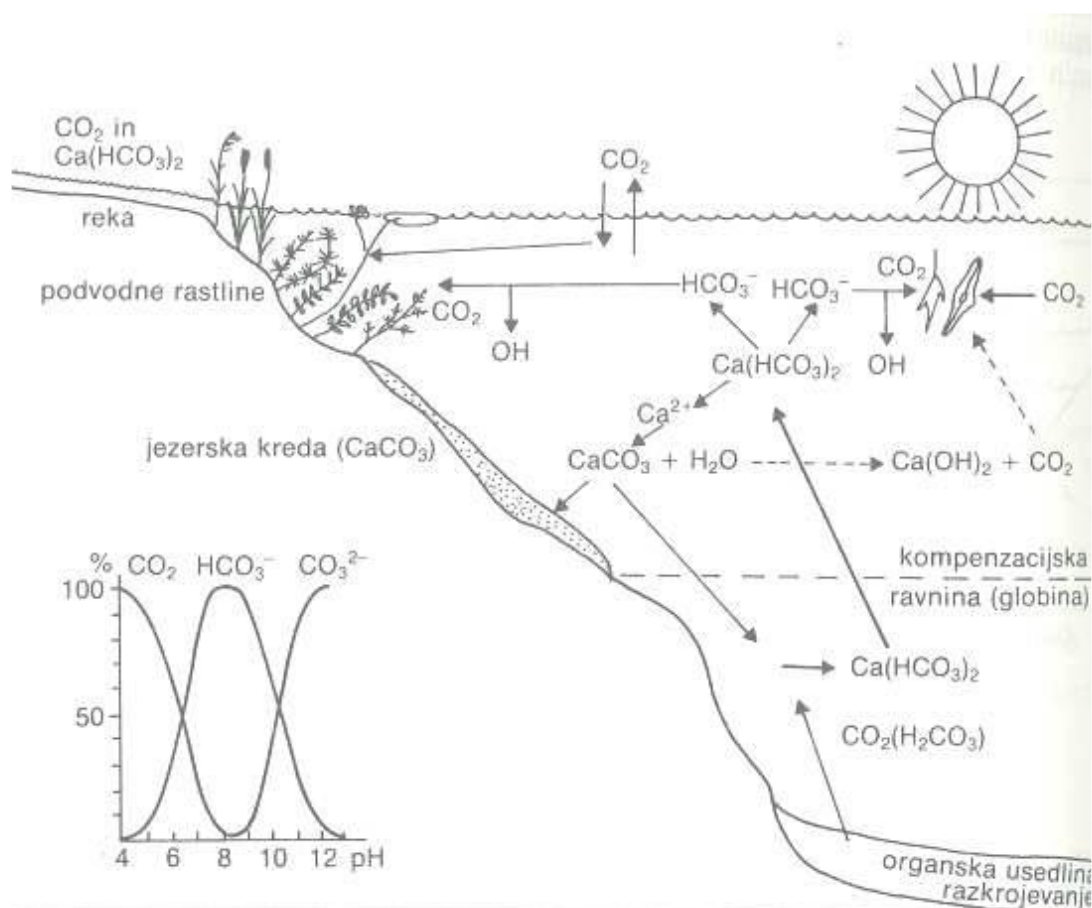


Kalcijev hidrogenkarbonat potem disociira v Ca^{2+} in 2HCO_3^- .

Po hidrolizi nastane:



OH^- ioni količinsko presegajo H^+ ione, ki nastanejo z disociacijo iz ogljikove kisline, zato reagira raztopina hidrogenkarbonata rahlo bazično. Kalcijev hidrogen je v raztopini le, če je dovolj CO_2 . V primeru, da se količina CO_2 zmanjša, se izloči kalcijev karbonat. Do tega pride, ko se ravnotežja spremenijo zaradi difuzije ogljikovega dioksida iz vode v ozračje, ali zaradi porabe ogljikovega dioksida v procesu fotosinteze. Izločeni kalcijev karbonat se nalaga na rastlinah ali se useda na dno in zato nastaja jezerska kreda. Kadar z veslom zadenemo podvodne rastline, se izločeni kalcijev karbonat otrese v vodo, da postane ta mlečnate barve. Če se izločeni CaCO_3 usede v jezersko globino, se zaradi večjih količin CO_2 v hipolimniju znova raztaplja. Na drugi strani pa lahko mnoge vodne rastline izkoriščajo hidrogen karbonat kot vir ogljikovega dioksida, še posebej, če primanjkuje raztopljenega CO_2 . Kalcijev hidrogen karbonat opravlja torej pomembno pufersko nalogo, saj je regulator pH vrednosti. Ko rastline trošijo CO_2 iz vode, se dviga pH in v vodah, ki vsebujejo malo apnenca, se ob močni fotosintezi pH dvigne tudi do vrednosti 9. Če pa je v vodi dovolj apnenca, se poraba ogljikovega dioksida nadomešča s sproščanjem le tega iz kalcijevega hidrogen karbonata in zato pH poraste do največ 8.



Slika 4: Pretvarjanje ogljikovega dioksida in karbonatov v jezeru. Razmerje $\text{CO}_2:\text{HCO}_3^-:\text{CO}_3^{2-}$ določa pH jezerske vode.

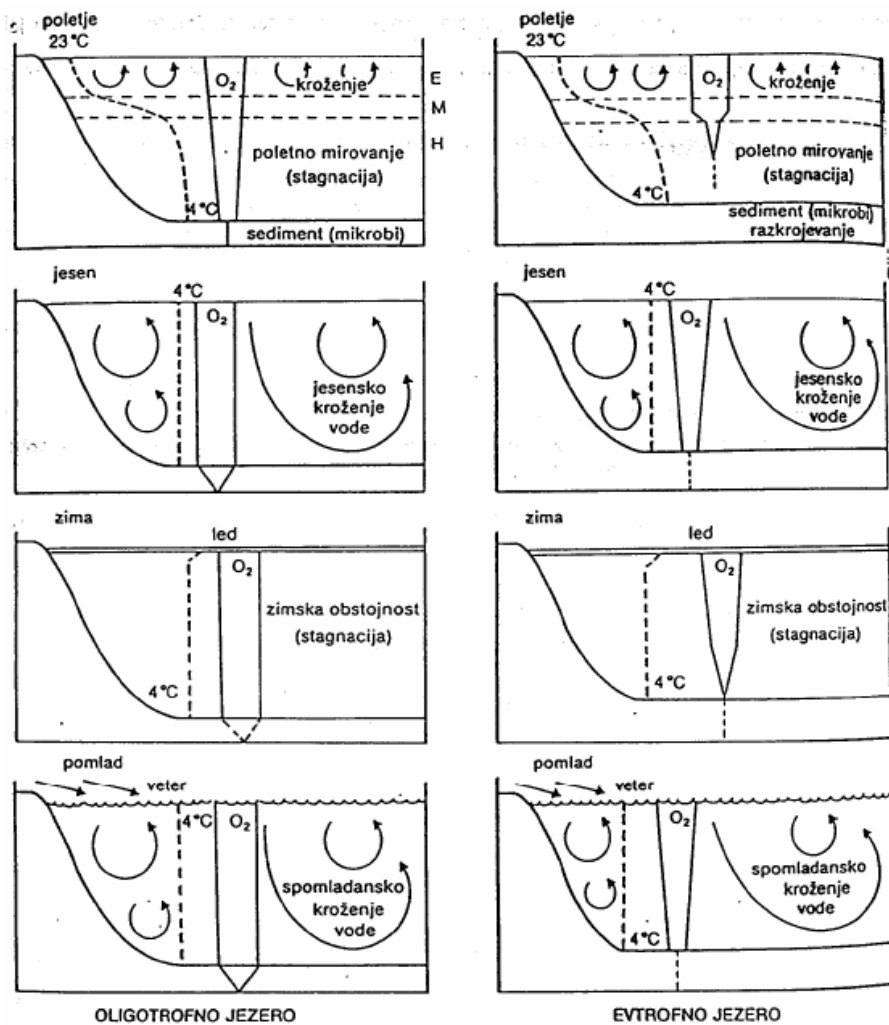
Vir: Tarman, 1992

pH vode določa topnost in biološko razpoložljivost kemijskih komponent, kot so hranila fosfor, dušik in ogljik, ter težkih kovin, kot so svinec, baker, kadmij idr. Prisotnost določenih škodljivih substanc v vodnem okolju v zadostnih koncentracijah pa zaradi tako imenovanega sinergijskega učinka močno zoži tolerančno območje preživetja za posamezno vrsto organizma. pH vpliva na to, katera oblika fosforja je v vodi največ, hkrati pa s tem določa tudi življenjske razmere v vodi. Z raztapljanjem težkih kovin pa je določena njihova toksičnost. Za težke kovine je značilno, da so zaradi večje topnosti, bolj toksične pri nižjih pH vrednostih.

2.8 Kisik

Raztopljeni kisik v vodi je nujno pomemben za preživetje aerobnih organizmov in ima velik vpliv na kroženje snovi v jezeru ter kemične procese. Topnost kisika v vodi je odvisna od temperature in zračnega tlaka. Z naraščanjem temperature in nižanjem zračnega tlaka pada vodotopnost kisika. Kisik vstopa v

vodo z difuzijo iz zraka ali pa nastaja v vodi pri procesu fotosinteze. Porabljajo pa ga vodni organizmi z dihanjem. Del kisika se potroši še v neživih oksidativnih reakcijah. Za potek fotosinteze je nujno potrebna svetloba, zato ta poteka le podnevi, dihanje pa čez cel dan, zato obstaja izrazito dnevo-nočno nihanje kisika, oziroma količina kisika čez dan naraste in upada ponoči. Porazdelitev kisika med površino in dnom je omogočeno zaradi fizikalnih procesov difuzije, konvekcije in mešanja vode zaradi vetrov, ki ustvarjajo turbulentne tokove. Omenjeni pojavi so povezani s termiko oziroma letnim temperaturnim krogom v jezeru. Vertikalna porazdelitev je odvisna od trofičnega tipa jezera. Potek prikazuje Slika 5. V oligotrofnih jezerih je vse leto dovolj kisika od površine do dna. Celo ob koncu poletne stagnacije vsebuje hipolimnična voda preko 50 % kisikovih zalog. V mnogih evtrofnih jezerih pa prihaja občasno do značilnega pomanjkanja kisika v hipolimnijskem sloju ali pa v monilimnijskem sloju kisika povsem zmanjka (Tarman, 1992).



Slika 5: Koncentracija kisika in temperaturne razmere v jezeru.

Nasičenost kisika je lahko večja od teoretične vrednosti in to v primeru, da v vodi potekajo intenzivni fotosintetski procesi. Te primeri so značilni za evtrofna jezera v zgornjih epilimnijskih plasteh poleti, ko lahko nasičenost s kisikom preseže 300 %. Takrat govorimo o hipersaturaciji in biogenem prezračevanju. Kisik je v vodnem okolju pomemben za razgradnjo organskih snovi, ki jo lahko ovrednotimo z biokemijsko potrebo po kisiku – BPK v določenem času. Visoke vrednosti BPK, ki ga izrazimo v mg/l, so indikacija velike vsebnosti organskih snovi in intenzivnih procesov mikrobne aktivnosti, kar lahko vodi v anoksijo.

2.9 Žveplo, sulfati in sulfiti

Žveplo prehaja v jezero na več različnih načinov. Eden izmed načinov je s preperevanjem kamnin v jezerskem porečju, ki s pomočjo dotokov pride v jezero. Glavni vir žvepla je sadra (CaSO_4). Večje količine žvepla dajejo zato apnenčaste podlage in manj silikatne. Količina žveplovega sulfata, ki jo vsebuje jezerska voda, znaša 5 do 30 mg/l. Žveplov sulfat prinašajo v vodo tudi padavine. V zraku nastajajo z oksidacijo vodikovega sulfida (H_2S) iz ognjeniških plinov in bakterijskega gnitja v tleh in močvirjih. Padavine privzamejo še antropogeno proizvedeni sulfat, ki nastaja z gorenjem premoga, nafte in plina (kisli dež). V tla pa prihaja sulfat iz umetnih gnojil. Poleg sulfata se v hipolimnijskih slojih, v katerih primanjkuje kisika, pojavlja tudi raztopljen vodikov sulfid ali žveplovodik (H_2S). Sulfat je vir žvepla za zelene rastline in mnoge mikrobe, ki rabijo žveplo za sintezo organskih spojin, kot so aminokisliline. Živali sprejemajo organsko vezano žveplo z rastlinsko prehrano. V presnovi in kroženju žvepla se udeležujejo različne vrste in skupine fototavtotrofnih in kemolitotrofnih mikrobov, zelene rastline in živali. Pri mikrobem razkroju beljakovin nastaja vodikov sulfid. Le ta obstaja samo v anaerobnem okolju ali okolju, kjer je zelo malo kisika. Ob navzočnosti kisika pa se oksidira v sulfatno obliko.

3 HRANILA IN EVTROFIKACIJA

3.1 Dušik

3.1.1 Splošno

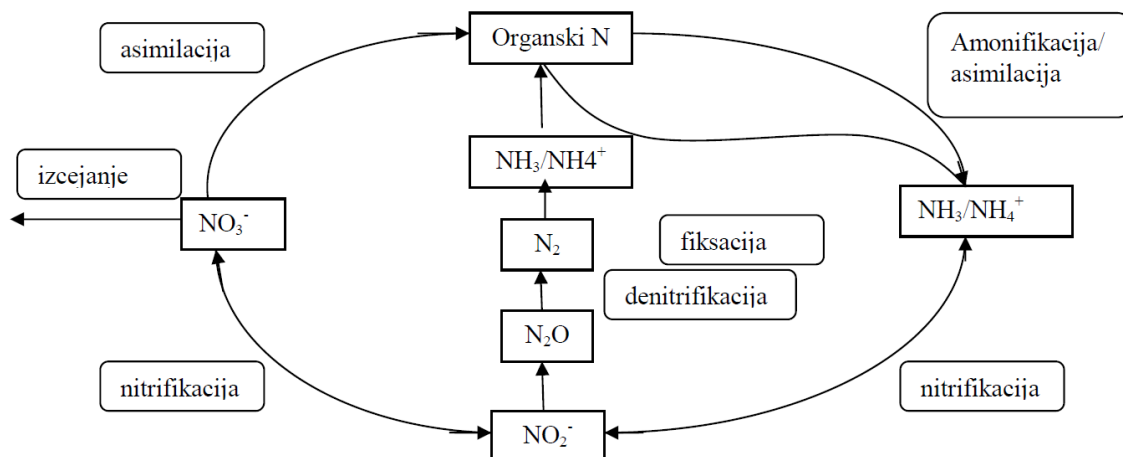
Dušik in njegove spojine imajo tako na suhem kot v vodi velik pomen. Dušik najdemo v celicah vseh živih bitji in je pglavitna komponenta proteinov. Rastline potrebujejo dušik predvsem v obliki nitratov pri asimilaciji. Dušik se iz prsti izluži večinoma kot raztopljen nitrat skozi podtalje. Na nekaterih področjih, kjer so kamnine bogate s fosforjem, je lahko dušik omejujoči element pri rasti rastlin in alg. V vodi se dušik pojavlja v obliki nitratov $-\text{NO}_3^-$, nitritih $-\text{NO}_2^-$, amonijaku kot raztopljen plin $-\text{NH}_3$ in amonijevih ionih $-\text{NH}_4^+$. Pri živalih je glavni produkt metabolizma dušika, sečnina. Organski dušik in amonijak v vodi nista zaželeni, ker porabljata kisik za razgradnjo. Dušikove spojine kažejo na organsko onesnaženje vode in na čas, kdaj je to nastopilo. Amonijak je značilen za sveže onesnaženje, nitriti za bližnje in nitrati za že dlje časa onesnaženo vodo.

Najpomembnejši naravni izvor dušika je atmosfera, saj je ozračje sestavljeno iz 78,08 % dušika. Dušik je težje topen od kisika, vendar pa pozimi doseže v vodi saturacijo pri koncentraciji 15 do 20 mg/l. zaradi prevladujočega visokega pritiska in denitrifikacije nastopi v globljih slojih prenasičenost. Glavne poti dušika v vodna telesa so industrijske odpadne vode, izcedne vode iz pognojnih kmetijskih površin, greznice, živalski odpadki, stroji z notranjim izgorevanjem in seveda komunalne odpadne vode. Amonijak se v prsti ob prisotnosti kisika nitrificira do NO_3^- , vendar ga tla v tej obliki ne morejo zadržati in odteče kot raztopina v podtalnico. Anorganski dušik pride v vodo raztopljen kot NH_3 , NO_2^- , NO_3^- in NH_4^+ . Razmerje $\text{NH}_4^+ : \text{NO}_3^-$ je odvisno od vsebnosti kisika. Amonijak se nahaja kot raztopljen plin v vodi in je v ravnotežju z amonijevim ionom NH_4^+ pri določeni temperaturi in pH vrednosti.



Dušik vstopi v atmosfero zaradi človeške dejavnosti kot amonijak in kot dušikovi oksidi. Izgorevanje v avtomobilskih motorjih in termoelektrarnah povzroča spajanje dušika in kisika v spojine dušikovitih oksidov NO_x . Dušikovi oksidi se odložijo na zemljo in v vodo v obliki dežja ali depositov. Izmed dušikovitih oksidov NO_x se v največjih količinah pojavlja dušikov monoksid NO , ki reagira z ozonom v dušikov dioksid NO_2 . Polovico totalnega globalnega NO_x se pojavlja zaradi človeških vplivov in je skoncentriran v industrijskih območjih. Glavni vir nitratov v meteorni vodi oziroma dežju je izhlapevanje amonijaka iz gnojne in umetnih gnojil. Visoke koncentracije nitratov (III) v vodi lahko

povzročajo methemoglobinemijo. Nitrati namreč povzročajo pretvorbo hemoglobina v methemoglobin, ki ne prenaša kisika v krvi.

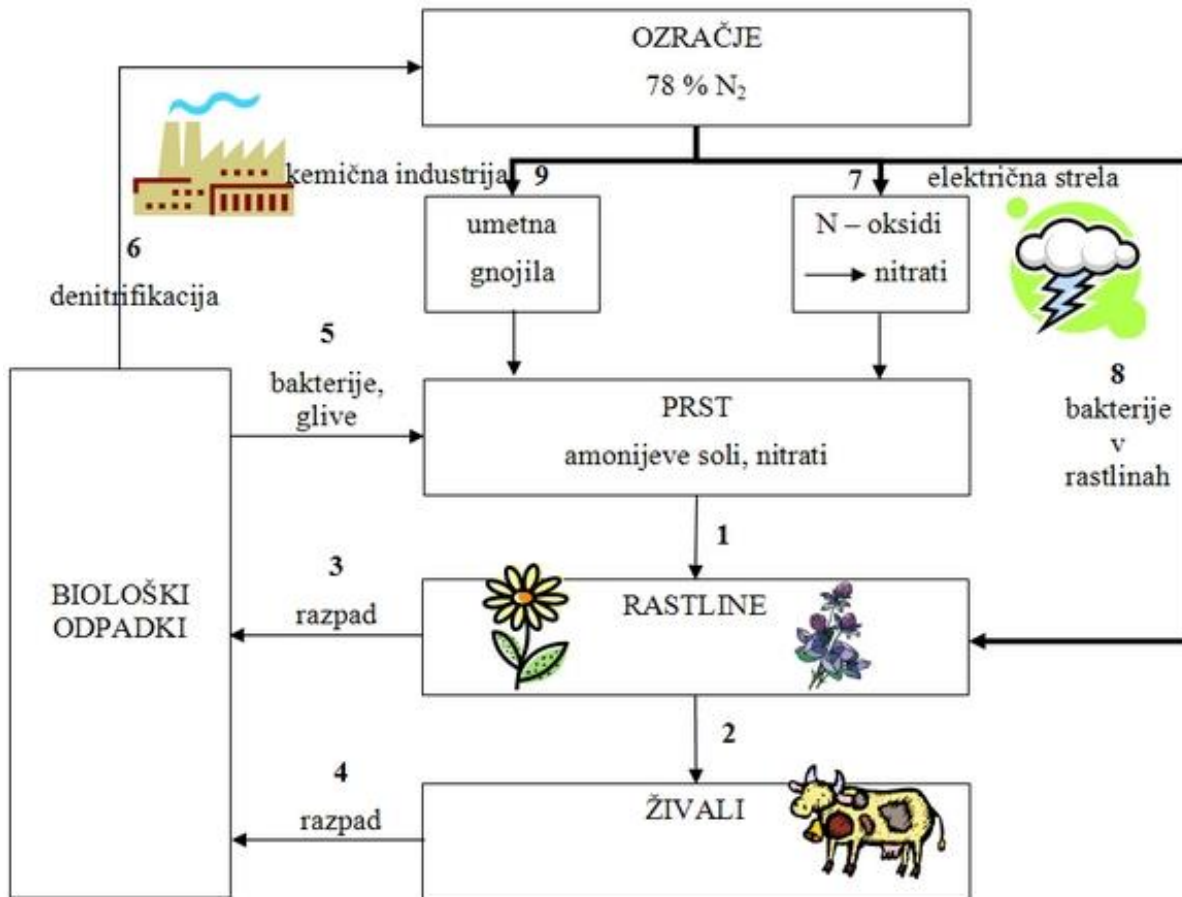


Slika 6: Dušikov cikel

Voda, ki vsebuje nitrate, je lahko problematična tudi pri vzreji živine, ker povzroča veliko konsumpcijo dušika, ki je že prisoten v hranilih. Kronična zastrupitev z dušikom povzroča pri živini bolezni, kot so znižanje krvnega pritiska, zmanjšanje mlečnosti in druge reproduktivne težave.

3.1.2 Fiksacija dušika

Največ dušika se nahaja v atmosferi, vendar je večini organizmom nedostopen. Dušika v kamninah pa je bolj malo. Molekula atmosferskega dušika N_2 vsebuje stabilno trojno vez ($N \equiv N$). Biološka fiksacija N_2 potrebuje energijo, ki jo dobi s hidrolizo velikih količin ATP. Ne-biološko poteka fiksacija preko strel, preko izgorevanja v motorjih in industriji. Večina dušikovih spojin pride v žive organizme zaradi predelave bakterij v prsti, ki fiksirajo atmosferski dušik. To so prokarionti, ki vključujejo modro-zelene alge in ostale bakterije. Fiksacija je redukcija dušika ob dodatku vodika in odsotnosti kisika.



Slika 7: Kroženje dušika.

Vir: <http://www.dijaski.net>

Pridobljeno 19. 2. 2016

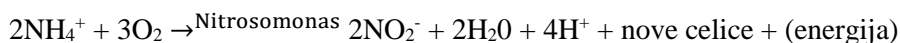


Potrebuje energijo, da proizvede aminokislino (-NH₂). Encimi, ki fiksirajo dušik (nitrogenaza), ne prenesejo kisika, zato je potrebno, da živijo organizmi v posebnih anaerobnih pogojih, pod vodo ali v simbiozi z drugimi organizmi. Najbolje rastejo v nevtralnem ali bazičnem okolju. Ob smrti bakterij se aminokislinske pretvorijo v amonijske ione, ki jih druge bakterije oksidirajo v nitrite in nitrate. Le ti so primerni za rast rastlin, so topni in se izluščijo v vodotoke. Vezava dušika s pomočjo modrozelenih alg je večja kot bakterijska. Modrozelenke alge so edini aerobni organizmi, ki zmorejo fiksacijo. Fiksacija poteka v specializiranih celicah, ki se imenujejo heterociste. Tiste, ki pa teh celic nimajo, potrebujejo za fiksacijo anoksično okolje.

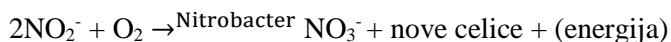
3.1.3 Nitrifikacija

Nitrifikacija je proces oksidacije NH_4^+ v NO_3^- , ki nastane zaradi bakterij in gliv v vodnih in kopenskih ekosistemih. Posledica nitrifikacije je velika poraba kisika in velik padec pH. Delovanje nitrifikacijskih bakterij je vezano na $T > 2^\circ\text{C}$, na najmanjšo vsebnost kisika 0,5 mg/l in na visok delež oksidiranih dušikovih povezav. Nitrifikacijske bakterije dosežejo pri temperaturi 28°C maksimalno aktivnost, ki se popolnoma skoraj preneha pod 10°C . Pri koncentraciji kisika, ki znaša več kot 3 mg/l, se ne pričakuje povečane nitrifikacije. Če je koncentracija kisika manjša od 1 mg/l je nitrifikacija ovirana. Nitrit je vmesni produkt pri bakterijski nitrifikaciji in pri prekoračenju mejnih koncentracij deluje zelo strupeno. Mejna začetna nevarna vrednost za ribe je pri 0,06 mg/l NO_2^- . Akutna nevarnost za človeka je 0,3 mg/l NO_2^- .

V prvi stopnji nitrifikacije bakterije pretvorijo amonij do nitrita. Sledi naslednja reakcija:



V drugi fazi pa bakterije rodu *Nitrobacter* pretvorijo nitrit v nitrat:



Nitrificirajoče bakterije rastejo veliko počasneje kot heterotrofni organizmi, zato poteka nitrifikacija 3- do 4-krat počasneje kot oksidacija ogljikove komponente.

3.1.4 Denitrifikacija, amonifikacija in mineralizacija

Denitrifikacija je proces, pri katerem se dušik v obliki nitrata NO_3^- , spremeni v plinasto obliko NO, N_2O in N_2 in se vrne nazaj v atmosfero. Za potek denitrifikacije so potrebni anoksični pogoji, kar pomeni zdrava populacija denitrifikacijskih bakterij, zadostne količine organskega ogljika in nitrata. Denitrifikacija poteka v prsti in vodi. Pomembno je, da je prst dovolj vlažna. Vrednost pH med denitrifikacijo narašča.

Heterotrofne denitrifikacijske bakterije uporabljajo za dihanje kisik iz nitrata in nitrita, saj sta vir energije in nujno potrebna, da reakcija sploh poteče. Nitrat porabljajo za dihanje in vgradnjo v novo celično maso. Kisik upočasnjuje oziroma izniči potek denitrifikacije, medtem ko organizmi preživijo v aerobnem in anoksičnem okolju.

Preglednica 2: Ključni procesi preobrazbe dušika

Proces	Rezultat	Glavni omejitveni dejavniki
Vnos v biomaso in asimilacija	Črpanje mobilnega anorganskega dušika iz prsti	- Voda in temperatura - Fiksacija ogljika - Vrsta in stanje prsti - Biološke populacije in skupnosti
Mineralizacija/imobilizacija	Sprostitev/odstranitev mobilnega anorganskega dušika v prst in vodo	- Vrsta in stanje prsti - Organska snov/detritus - Stabilnost in ravnotežje sistema
Nitrifikacija	Preobrazba iz relativno netopne oblike NH_4^+ v topno NO_3^- obliko (delni izpust N_2O in NO_x)	- Koncentracija substrata NH_4^+ - Aerobnost prsti - Nitrifikacijske populacije - pH prsti
Izhlapevanje	Prenos iz prsti v neobstojno atmosfersko obliko NH_3 in NH_4^+	- Koncentracija substrata - pH prsti - Okoljski pogoji - Aktivnost encimov
Denitrifikacija	Prenos iz prsti in vode v atmosfero (N_2O , NO_x in N_2)	- Koncentracija substrata NO_3^- - Anoksični pogoji - Okoljski pogoji (temperatura) - Vir energije
Izcejanje	Prenos topnega NO_3^- iz prsti v vodni ekosistem	- Koncentracija substrata NO_3^- - Hidrološke poti - Vrsta in stanje prsti - Ostali procesi kroženja dušika

Amonifikacija je drugačen proces denitrifikacije. Pri tem procesu je končni produkt amonijak in molekularni dušik. Mineralizacija je bakterijska razgradnja organske snovi. Sprošča NH_4^+ , ki se nitrificira v NO_3^- . Mineralizacija dušikovih spojin, je pomemben proces v podvodju, ker spreminja dušik v topno obliko, ker bi ta drugače ostal vezan v organski snovi, kar bi povzročilo odmiranje rastlin.

3.2 Fosfor

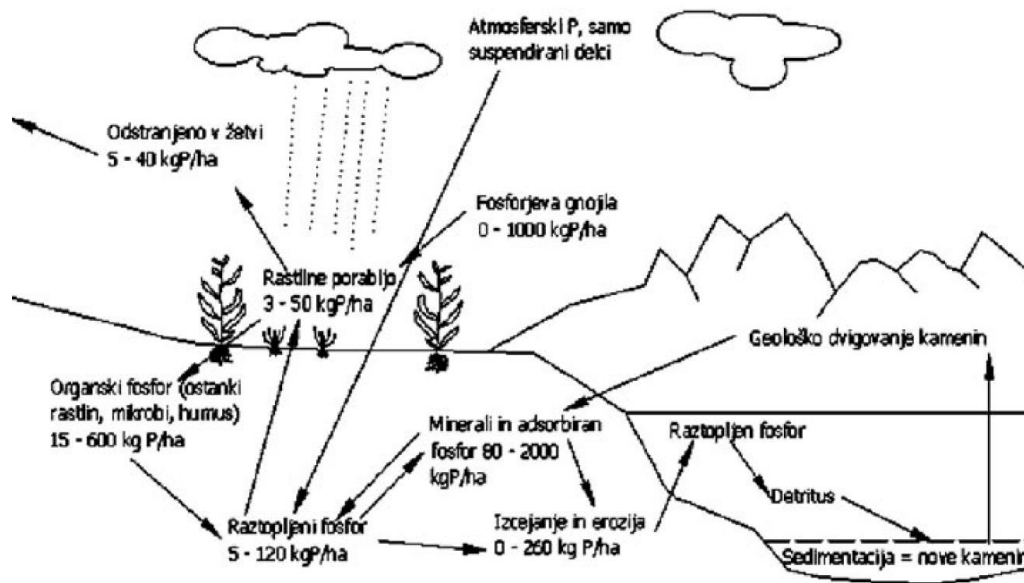
3.2.1 Splošno

Fosfor se pojavlja v različnih oblikah kot beli fosfor, rdeči fosfor, vijolični fosfor in črni fosfor. Je izjemno reaktiven, ob spajanju s kisikom oddaja bled lesk. Nahaja se tudi v zemeljski skorji. Fosfor igra ključno vlogo v DNK-ju, sodeluje v metaboličnih procesih in v ATP-ju. V kemičnih spojinah se večinoma veže s kisikom, ogljikom, dušikom in s kovinami. V manjšem deležu z borom, silicijem, žveplom ali s halogeni. Fosfatni minerali imajo edinstveno vlogo v biomineralizaciji, saj predstavljajo anorgansko komponento, ki nudi oporo v obliki skeleta vsem vretenčarjem. Najpogosteje se v naravi pojavlja kot mineral ortofosfata z imenom apatit. Fosfati so soli oziroma minerali apatita. Njihova splošna formula se glasi $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{X}_2$. X lahko predstavlja fluor, klor ali hidroksid (OH). Hidroksi - apatit $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2]$, ki je najmanj topen med apatiti, in tvori živalske kosti in zobovje. Antropogeni fosfor se imenuje monokalcijev fosfat $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2]$, ki je mnogo bolj topen in se uporablja v umetnih gnojilih. Fosfati lahko v bioloških procesih tvorijo polifosfat, ki je sestavljen iz verige od tri do več tisoč ortofosfatov.

Navkljub temu, da fosfor tvori 0,1 % zemeljske skorje, ni povsod primeren za ekonomsko izkoriščanje. Ker je zelo pomemben v kmetijstvu, obstaja skrb, da bo izkoriščanje neobnovljivega vira ogrozilo trajnostni razvoj. Ne glede na velikost zalog fosforja so te končne, zato je pomembna smotrna uporaba, kar pomeni tudi vključevanje ponovne uporabe hranil iz odpadnih vod, komunalnih in industrijskih odpadkov ter smotrno uporabo v kmetijstvu.

3.2.2 Fosforjev cikel

Fosforjev cikel se začne z izpustom iz primarnih virov (fosfatni minerali, kamnine, prst), ki mu sledi kroženje v prsti, izpust iz transportov v reke in zrak v obliki prašnih delcev. Z rekami dospe v jezera ali morja, kjer se odloži v usedlinah. Ta fosfor se bo nato skozi geološke procese vrnil na zemeljsko površje. Globalni fosforjev cikel se je spremenil ob antropogenih vplivih. Posledično so se tokovi fosforja, ogljika in dušika v zadnjih stoletjih podvojili. Vzrok je v črpanju mineralnih depozitov iz zemeljske skorje in uporabo le teh v gnojilih in detergentih. Kar 60 % fosforjevega krogotoka je posledica antropogenih vplivov. Poznavanje kroženja fosforja v vodi je težje zaradi retenzije v sedimentih. Ta značilnost tudi otežuje sanacijo vodnih teles, ki so obremenjena s fosforjem, saj se učinki pokažejo v nekaj letih.



Slika 8: Kroženje fosforja v naravi.

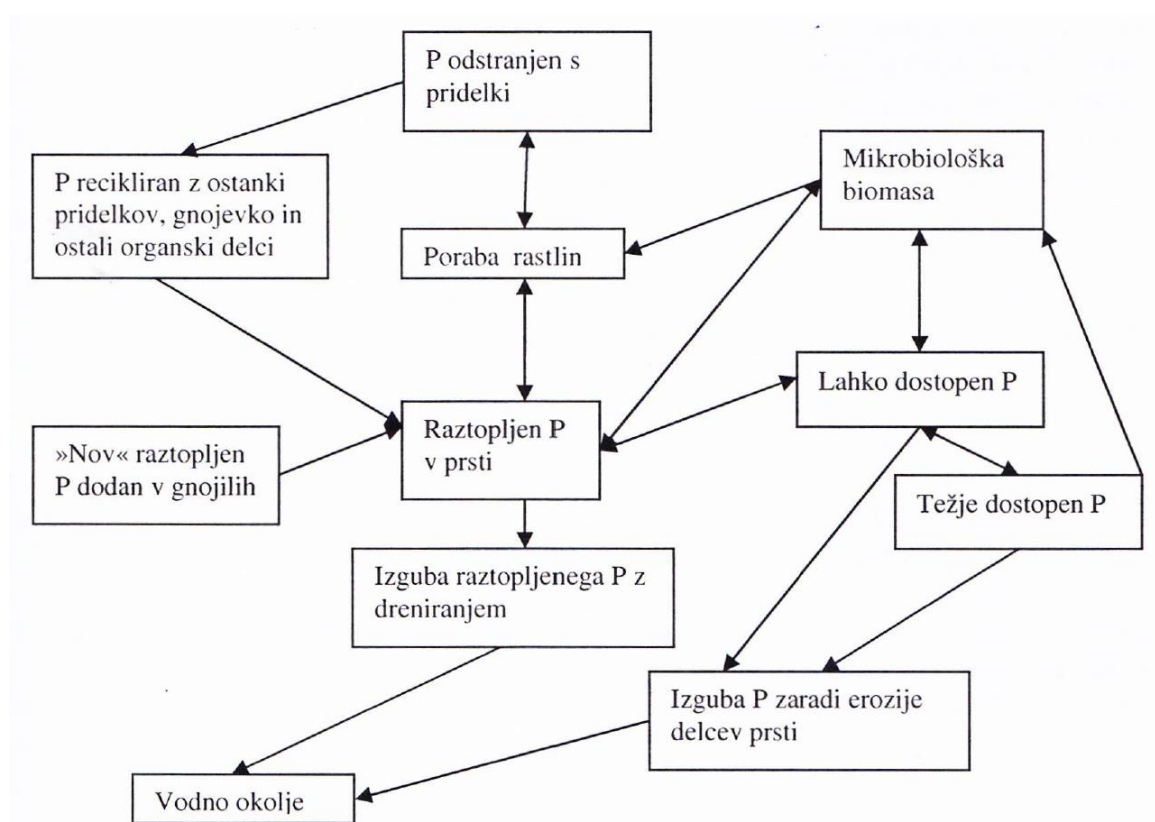
Vir: Moss, 1998

3.2.3 Fosfor v prsti

Prst uspešno zadržuje fosfor v sebi in ga reciklira. Fosfati preidejo v prst skozi mnogo transformacij, vključno s pretvorbo v organski fosfat. Ker je v vodi težko topen, se težje izluži iz prsti. Fosfor se adsorbira na delce glin, še posebej, če ta vsebuje velike deleže aluminija in železa. Preostanek fosforja se veže v vegetacijo in mikrobo v prsti. Šele po nekaj desetletjih intenzivnega gnojenja postane prst nasičena do te mere, da se izluži v vodni sistem. Anorganski fosfor je rastlinam glavni vir prehrane. Transformacija iz organskih oblik v anorgansko poteka s pomočjo mikroorganizmov in se imenuje mineralizacija. Posebno vlogo imajo tudi deževniki, ki predelajo partikularni fosfor v bolj dostopno obliko rastlinam. V anorganski obliki se nahaja v obliki kalcijevega, železovega in aluminijevega fosfatnega minerala ali pa je adsorbiran na delcih zemlje. Predvsem na glinah, železovih in aluminijevih oksidih. Na obliko fosforja pomembno vpliva pH. pri pH 6-7 se nahaja največ biološko dostopnega fosforja. V večini prsti je razmerje med organskim in anorganskim fosforjem med 50-57 %.

3.2.4 Transport fosforja

Na transport naravnega fosforja iz zaledja vplivata geološka sestava tal in krovno rastlinje. Transport fosforja iz prsti v površinske vode poteka v kemični (raztopljeni) in fizikalni (partikularni) obliki, tako po površju, kot tudi skozi podtalje. Večina fosforja (95 %) preide v vode v partikularni obliki, vezan na delce glin kot mineral ali pa vezan na organske ostanke. Pomemben masni delež bilance predstavlja tudi transport zračnih delcev partikularnega fosforja v velikosti 4-5 %. Določitev masnih bilanc partikularnega fosforja je težavna. Topljivost fosforja v prsti se poveča s koncentracijo le tega.



Slika 9: Shema poti fosforja v prsti.

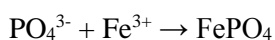
Vir: Valsami – Jones, 2004

3.2.5 Fosfor v vodi

Koncentracija raztopljenega fosfata v neonesnaženi vodi znašajo 0,003-0,03 mg/l. V deževnici je vsebnost P okoli 0,001 mg/l. Večina fosforja vstopi v vodno telo, adsorbiranega v delce prsti in organske snovi ob nalivih kot površinski odtok. V vodi se meri fosfor kot ortofosfat PO_4^{3-} (uporaben za rastline)

ali kot skupni fosfor, ki je skupek raztopljenega in partikularnega fosforja. Danes je okoli 70 % fosforja v vodi antropogenega izvora. Glavni vir fosforja v vodah so komunalne odpadne vode, od česar 2/3 fosfatov izvira iz pralnih praškov. Ostalo prispevajo kmetijstvo, naravni viri in industrija. Majhen delež pa predstavlja tudi atmosferski vpliv.

Kemične reakcije fosforja v vodi so odvisne od vrednosti pH in koncentracije železa. Fosfor reagira pri normalnem pH z železom in se deponira v usedlinah.



V apnenčastih jezerih prevzame kalcij vlogo železa in pod oksidacijskimi pogoji tvori težko topljivo spojino. Oksidirani sloji zemeljskega blata tvorijo pregrado, ki preprečujejo fosforju, da bi dosegli prosto vodo. Tako se del fosforja kot hranilo odvzame vodnemu sistemu. Pod pogojem, da prevladujejo v hipolimniju aerobne razmere (koncentracija kisika v mejnem sloju vsaj 4 mg/l). V nizko produktivnih globokih jezerih z oksičnimi razmerami v hipolimniju se usedljiv organski material mineralizira. Med vegetacijskim časom leži velik del fosforja v organskih fosfatih in v celicah živih in mrtvih organizmov ali se adsorbira na organske koloide. V mrzlem letnem času praviloma svetloba omeji razvoj alg. Za obtok fosforja je značilna hitra asimilacija ortofosfata v vodnih rastlinah osvetljenega sloja. Pri razgradnji te biomase se fosfor sprosti. Brez tekočega dovoda fosforja lahko poleti pride do osiromašenja ortofosfata v epilimniju. Spomladi je največ fitoplanktona in takrat se zniža koncentracija ortofosfata pod dokazljivo mejo, če je fosfor limitirajoči faktor. V oligotrofnih jezerih pade koncentracija fosforja pod 1 mg/l. V sedimentu se fosfor s pomočjo rastlinskih korenin in živali, ki jedo detritus, aktivira. V jesenski in spomladanski cirkulaciji se velike količine ortofosfata prenesejo iz hipolimnija v epilimniju. Na nekaterih jezerih je notranji dotok fosforja iz sedimentov v vodno telo enak ali celo večji kot dotok iz zunanjih virov, kar lahko upočasni sanacijo evtrofikacije.

3.2.6 Fosfor in biologija

Rastline v fazi rasti vsebujejo od 0,05 do 0,5 % fosforja v suhi snovi. Da bi temu zadostile, rastline vsak dan na hektar površine posrkajo iz prsti 0,5 do 1 kg fosforja v obliki fosfatnih ionov. Mnogo rastlin razvije simbiotičen odnos z glivami, ki prodrejo v korenine rastlin in črpajo hrano, s pomočjo razvejanega sistema micelija pa povečajo črpanje fosforja v rastlino. Najbolj pogosto vsrkajo v rastlinsko celico dihidrogeno obliko fosforjevega iona (H_2PO_4^-). Fosfor je v rastline vgrajen v različnih organskih oblikah, kot so sladkorji, fosfolipidi, encimi in nukleotidi. Lahko je prisoten tudi v

anorganski obliki kot ortofosfat v vakuolah, kjer se tudi kopičijo homeostatske rezerve. Večina fosforja v prsti je nedostopnega za rastline. Fosfor skupaj z ogljikom in dušikom uravnava biološko aktivnost. Optimalna produkcija fitoplanktona je dosežena, ko je kompozicija treh elementov v razmerju C : N : P = 106 : 16 : 1.

Fosfor absorbirajo živali iz hrane, kot PO_4^{2-} ali H_2PO_4^- . Človeška potreba znaša okoli 1,3 g fosforja na dan. Pomanjkanje fosforja je zelo redko, medtem ko lahko viški povzročijo pomanjkanje kalcija.

Za razliko od rastlin in živali, so mikroorganizmi sposobni pridobivati fosfor tudi iz trdnih anorganskih faz. Večina fosforja se nahaja v celici RNK-ja. Mikroorganizmi igrajo pomembno vlogo pri kroženju fosforja v prsti. Glavni vir fosforja v zemeljski skorji je apatit, ki pa ni dostopen rastlinam. Dostopen postane le po kemičnih in mikrobioloških procesih, ki ga spremenijo v topno obliko. Ta lastnost mikroorganizmov ima pomembno vlogo v kmetijstvu.

3.2.7 Kmetijstvo in fosfatna gnojila

Mineralna gnojila in gnojevka pripomoreta k velikim količinam fosforja na kmetijskih površinah, v povprečju okoli 1 kg/(ha.let) fosforja. V primeru intenzivne, orne obdelave tal (erozija), pašnje in dodajanja gnojevke pa tudi do 6 kg/(ha.let) fosforja. V fosfatnih gnojilih je tudi znatna prisotnost kadmija (Cd), katerega lastnost je, da se nahaja v kamninah, iz katerih izkoriščajo fosfor. Za kadmij je značilno, da je toksičen in kancerogen element. Obstaja tudi nevarnost prisotnosti radioaktivnega urana v gnojilih. Zaradi intenzivnega kmetijstva se lahko letno akumulira v prsti več kot 10 kg P/(ha.let). Neodvisno od odsotnosti fosforja v prsti, rastline ne morejo porabiti več kot 20-30 % fosforja dodanega z gnojili zaradi prostorskih omejitev koreninskega sistema. Ekonomsko in ekološko najbolj primerno bi bilo, da bi v prst vnašali takšno količino fosforja, kot se ga s pridelkom odstrani.

Rastline izboljšujejo oskrbo s hranilnimi snovmi tako, da povečajo izkoriščanje dostopnega raztopljenega fosforja v prsti. Za prvi proces je pomemben kontakt med prstjo in koreninami. Rastlina poveča dolžino koreninskih laskov, zmanjša premer korenine in vzpostavi simbiozo z glivo mycorrhizae. To ji omogoči črpanje snovi nekaj centimetrov okoli korenine. Izpust H^+ ali OH^- anionov organskih kislin, povečana redukcijska kapaciteta in izločanje encima, ki sprošča organski fosfor pa omogočijo rastlini, da mobilizira slabo dostopen fosfor v prsti.

3.2.8 Odstranjevanje fosforja

Znano je, da se fosfati iz urbanih in kmetijskih območij vnašajo v vodne ekosisteme, to še ne pomeni, da so koncentracije fosforja v vodi povišane, kar nakazuje na dejstvo, da se del fosforja odstranjuje z obarjanjem in usedanjem. Topnost in ponovna vrnitev v ekosistem ni znan. Ni veliko znanega tudi o preobrazbi fosforja iz ene stopnje v drugo, vključno z organsko – anorgansko transformacijo. Obarjanje poteka po naslednjem principu. Najprej je potrebna prisotnost dovolj velike koncentracije soli v vodnem telesu ali nasičenost, kar se lahko zgodi zaradi izhlapevanja vode ali pa dodajanja snovi. V primeru, da nasičenost preseže kritično vrednost, pri kateri se začne obarjati sol, vpliva tudi prisotnost drugih ionov.

a. Kemično odstranjevanje fosforja

Princip kemične odstranitve P iz odpadne vode, je preobrazba raztopljenega ortofosfata v slabo topno partikularno obliko. Za kemično odstranjevanje se uporabljajo dva- ali tri-valentni metalni ioni ali pa apno, ki pa ga je potrebno dodati v večjih količinah. Najbolj pogosto se uporabljajo železo (II), železo (III) in aluminij (III). Aluminij zaradi toksičnosti predstavlja določeno tveganje za zdravje. Na proces vplivajo pH, suspendirani delci, organske snovi, koncentracija in vrsta fosforja ter pogoji mešanja. Naravno prisotni minerali, ki vežejo fosfor so apneneci (CaCO_3) in dolomiti [$(\text{CaMg})\text{CO}_3$]. V jezerih s trdo vodo, torej v kraških jezerih je rast alg omejena s fosforjem, saj se le ta usede. Odstranjevanje raztopljenega fosforja iz vode poteka pospešeno pri pH 7-9,5 in višjih temperaturah 5-35°C. Apnenčasti minerali imajo sposobnost hitrega vračanja adsorbiranega fosforja.

b. Biološko odstranjevanje fosforja

V biološkem odstranjevanju fosfatov sodelujejo teko imenovane poli fosforjeve bakterije (*Actinobacter*, *Moraxela*, *Pseudomonas*) in dva biopolimera kot hranilne snovi. Poli fosforjeve bakterije imajo sposobnost akumulacije fosforja v presežku, se pravi več kot ga potrebujejo. Proces nastane v primeru, ko blato izmenjujoče izpostavimo anaerobnim in aerobnim pogojem. Aktivno biološko blato najprej izpostavimo anaerobnim pogojem. V prvi fazi skupine mikroorganizmov vzamejo kratke kislinsko maščobne molekule, ki so prisotne v tekočini, kot stranski metabolni produkti, jih pretvorijo in shranijo kot zalogo v obliki ogljikovih biopolimerov. Energijo, ki je potrebna za vnos in sintezo ogljikovih biopolimerov, mikroorganizmi pridobijo iz polifosfata. Hidroliza rezerv intracelularnega polifosfata sprosti energijo, potrebno za akumulacijo ogljikovih biopolimerov v anaerobni fazi, kot tudi fosfat v izven celično okolje. V drugi aerobni fazi mikroorganizmi nadomestijo

izgubljene zaloge polifosfata tako, da črpajo iz okolja ne samo tisti fosfat, ki so ga v predhodni fazi izpustile, temveč tudi večino preostalega dostopnega fosfata v okolju. V najboljših pogojih lahko tako odstranimo 80-90 % fosfata.

Opisani procesi povečane akumulacije fosforja v celicah bakterij se razvijejo le v primeru, ko odpadna voda vsebuje več fosforja, kot ga bakterije potrebujejo za svojo rast. Tem intenzivneje se v aerobni fazi fosfat sprošča in povečuje akumulacijo organskih snovi v celicah, toliko intenzivnejše je privzemanje fosfata v sledeči aerobni fazi. Sproščanje fosfata v anaerobni fazi je mogoče pospešiti z dodajanjem lahko razgradljivega substrata. Pri tem je potrebno poudariti, da ne smejo biti v anaerobni fazi prisotni nitrati zaradi delovanja encimov, ki pridobivajo energijo iz polifosfatov. Pomemben predpogoj za uspešno odstranjevanje fosforja je torej prisotnost organskega ogljika. Glede na razmerje BPK : P se odločamo o različnih principih delovanja čistilne naprave. Če je razmerje veliko, kar omogoča mikroorganizmom večje akumuliranje ogljikovih biopolimerov, čistimo celoten pretok. V primeru manjše prisotnosti organskega ogljika uporabimo proces, v katerem se čisti le del vode.

3.3 Evtrofikacija

3.3.1 Definicija

Evtrofikacija je proces povečanja hranilnih snovi v odvodnikih in sicer predvsem nitratov in fosfatov, ki pospešujejo rast alg in višjih rastlin. Zaradi povečane količine hranil in presežene samočistilne sposobnosti, se bioprodukcija nekaterih alg tako zviša, da začne presežek gniti in ostaja na dnu. V primeru ugodnih pogojev govorimo o akutni evtrofikaciji, če pa ugodnih pogojev za rast ni, govorimo o latentni evtrofikaciji. Osnovni abiotski dejavniki za nastop evtrofikacije so svetloba, temperatura vode, atmosferski plini, hranila in pretočni časi.

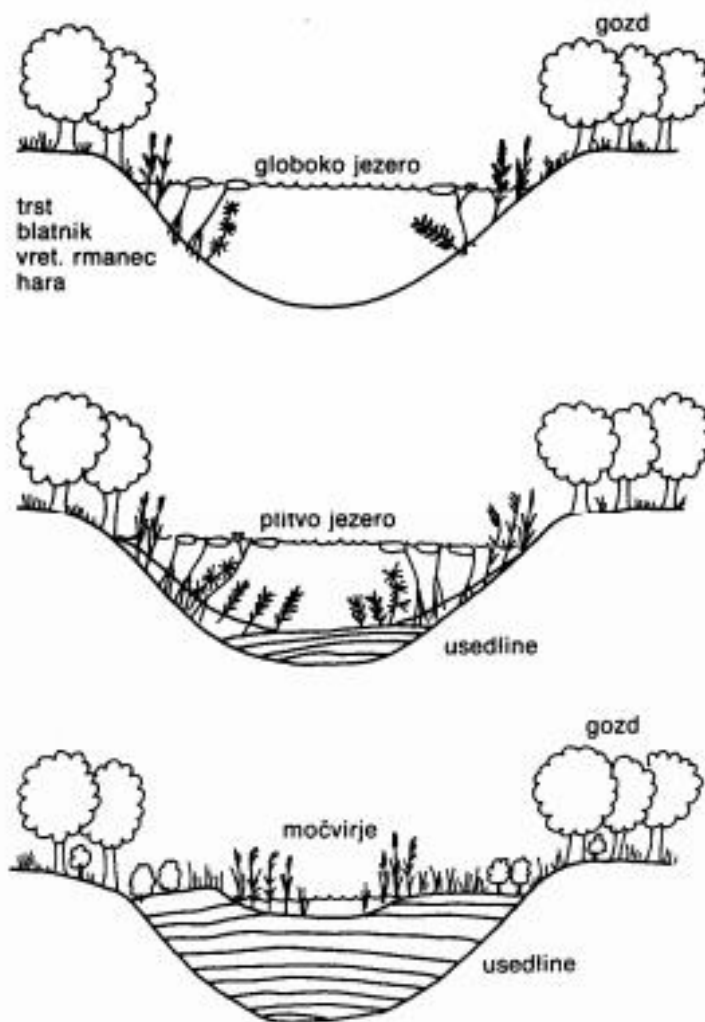
Delitev evtrofikacije:

- naravna evtrofikacija (staranje jezer), ki poteka ves čas v naravi,
- umetna (antropogena) evtrofikacija, ko človek posega s svojimi vplivi v hidrosfero.

3.3.2 Naravna eutrofikacija

V geološko mladih jezerih se nahaja zelo malo hranilnih snovi, ki so potrebna za razvoj višjih vodnih organizmov in alg. Posledično je celotna biološka produkcija majhna oziroma omejena.

Vse stoječe vode so takoj po nastanku podvržene procesom sukcesije torej staranju. S staranjem postajajo jezera, umetna jezera, ribniki plitvejši. Spreminjajo se v močvirja in se nazadnje povsem posušijo. Pojav staranja je prikazan na Slika 10, na hitrost poteka staranja pa vpliva predvsem eutrofikacija.



Slika 10: Sukcesija jezerskega ekosistema.

Vir: Tarman, 1992

Jezer, ki vsebujejo majhne količine prisotnih hranilnih snovi, imenujemo oligotrofna jezera. Najpomembnejša hranilna snov so fosfatne spojine. Razmerje med količino fosforja in dušika je za oligotrofna jezera enaka 1:100. V teh jezerih se nahaja malo planktonskih alg, zato prodira svetloba globoko pod površje. Bioprodukcija kisika poteka po celotnem vertikalnem profilu, zato je le ta stalno prisoten tudi na dnu jezera. V poletnih mesecih je temperaturna plastovitost slabo izražena, zato je omogočeno tudi mešanje spodnjih plasti. Kadar sta dotok in iztok v jezero majhna, se pričnejo v njem akumulirati hranilne snovi. Ko se razmerje med nitrati in fosfati močno znižuje in se približa razmerju 1:10, lahko začnemo govoriti o evtrofnem jezeru. Z večanjem količine hranilnih snovi se posledično večja količina organske materije in tudi celotna biološka produkcija. Lebdeče alge sestavljajo v glavnem modrozeleno alge in zelene alge, ki ob ugodnih ekoloških pogojih tvorijo vodni cvet. Odmrle alge, ki padajo proti dnu, predstavljajo dodatek organskega materiala, ki v spodnjih plasteh gnije in za to porablja kisik. V evtrofnem jezeru je poleg živalskega in rastlinskega planktona prisotnih še mnogo drugih lebdečih delcev, ob katere na svoji poti v globino zadane svetloba. V zgornjih plasteh jezera pada svetloba pri bujnem razvoju alg na minimum že po nekaj 10 cm. Na tej globini jezera se organski kisik samo porablja, fotosinteza pa ne poteka več. Zgornje plasti vode se tudi močneje segrejejo, medtem ko spodnje plasti ostanejo hladne. Toneči organizmi kmalu porabijo ves kisik v spodnjih plasteh in posledično se plast vode brez kisika začne hitro približevati površini. V pogojih brez kisika se fosfati, ki so v oligotrofnih jezerih v sedimentih, začnejo ponovno hitro sproščati nazaj v vodo in s tem se biološka produkcija neprestano povečuje. Na spremembo jezera iz oligotrofnega v evtrofno stanje, ki je zapleten proces, vplivajo poleg povečane produkcije še drugi ekološki dejavniki.

3.3.3 Umetna evtrofikacija

Pri naravnem procesu smo omenili problem staranja naravnih in umetnih jezer. Vzroki za umetno evtrofikacijo pa so posledica dodajanja hranil, ki so posledica človekovih dejavnosti. Iz tega razloga se evtrofikacijo jezer opisuje kot onesnaženje, ki ga povzročijo prekomerni dotoki hranilnih snovi, predvsem nitratov in fosfatov. Snovi so prisotne v kmetijstvu in odplakah iz gospodinjstva. Količine hranil se bodo kopičile v jezeru, je odvisno od hidroloških, klimatskih, geoloških, morfoloških dejavnikov in še ostalih. Pomembna je tudi geološka podlaga prispevnega območja posameznega jezera. Na proces evtrofikacije vpliva tudi erozija v prispevnem območju, saj je bistvena zaradi zasipavanja jezerske kotanje zaradi dotokov ali zaradi direktnega zasipavanja. Posledica zasipavanja jezerskega dna pomeni višanje temperature in s tem tudi pospešene biološke procese. Evtrofikacija poteka hitreje na obali kot v višjih legah. Obalna vegetacija povzroča ugodne mikroklimatske pogoje in s tem večjo količino organskega materiala v jezerih. V nižjih predelih so tudi ugodnejši pogoji za razvoj vegetacije, saj je sezona daljša in ni vplivov UV žarkov. Najpomembnejša dejavnika pa sta za jezero hidrologija

jezera in oblika jezerske kotanje. V jezerih z velikim pretokom je proces evtrofikacije počasnejši, lahko pa se pojavi nevarnost zasipavanja jezerske kotanje.

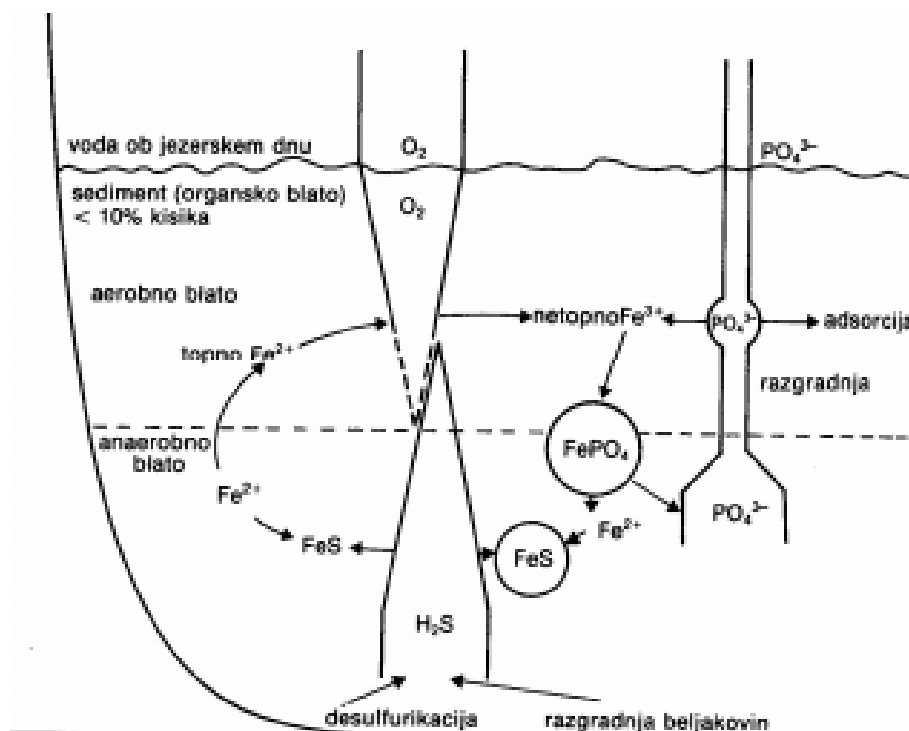
Antropogena evtrofikacija



Slika 11: Vpliv antropogenih pojavov na evtrofikacijo.

3.3.4 Vpliv usedlega materiala na kakovost jezer

Kroženje fosforja v jezeru obsega biološke in geokemicne procese. Anorganski fosfor vežejo rastline v organske proizvode, te pa so hrana živalim. Podvodne rastline dobijo fosfor iz podlage in sedimentov. Vračanje fosforja pri odmrlih organizmih je hitro, tega pa druge rastline znova vgradijo v svoja telesa. Tako se fosfor obrne v enem letu od 10 do 40 krat. Geokemijsko kroženje fosforja je tesno povezano s presnovo železa in poteka v jezerskem blatu (Tarman, 1992).



Slika 12: Geokemijsko pretvarjanje fosforja in železa v anaerobnem delu zgornje plasti jezerske usedline na stiku voda – blato.

Vir: Tarman, 1992

Ob stiku voda – blato je prisoten kisik, v globljih plasteh jezerskega blata pa kisika zmanjka. V aerobnem delu se topna oblika železa Fe²⁺ oksidira v netopno obliko ali Fe³⁺. S strjevanjem teh sedimentov nastaja železova ruda.

PO₄³⁻ se veže s Fe³⁺ v FePO₄ ali pa adsorbira na Fe(OH)₃, na CaCO₃ ali druge minerale. Če pade kisikova nasičenost pod 10 %, se znova sprošča fosfat in prehaja v vodo. V anaerobnem sloju blata sta železo Fe²⁺ in fosfat raztopljeni in železo tvori z navzočim vodikovim sulfidom (H₂S) črn železov sulfid (FeS) (Tarman, 1992).

Kroženje in geokemijsko pretvarjanje fosforja in železa na jezerskem dnu ob stiku voda – sediment je močno odvisno od termike jezera. Ko vladajo med poletno stagnacijo v hipolimnijskem sloju evtrofnih jezer anaerobne razmere, sta Fe²⁺ in PO₄³⁻ raztopljeni in v epilimniju fosforja ni več, saj so ga porabili tamkajšnji primarni producenti. Vračanje fosforja iz globine pa je onemogočeno zaradi zaporne plasti. Samo zelo močne nevihte in vetrovi lahko prodre termoklino in dvignejo hipolimnijsko vodo s fosfatom na površino. V tem primeru se primarna produkcija znova dvigne. Vsi ti pojavi so povezani z globino jezera in čim globlje je jezero, tem težje je tako mešanje hranilnih snovi. Z jesenskim jezerskim popolnim mešanjem vode, ko se obnove kisikove zaloge, pride do obarjanja železa in vezanja fosfata. Ta proces velja predvsem za oligotrofna jezera. V oligotrofnih jezerih z močnim prilivom organskih

odpadkov zaradi gnitja zmanjkuje ob dnu kisika, s čimer se poveča topnost fosfata, kar povzroča evtrofijo jezera. Na potek zaprojevanja vplivajo neživi dejavniki, kot so erozijski pojavi in naplavljanje suspendiranih delcev s pritoki v jezero. Obseg sedimentacije določa hitrost zmanjševanja jezerske globine. Posledično se spreminjajo tudi fizikalni in kemični parametri v jezerski vodi. Več je hranilnih soli, zaradi plitvosti se spremenijo tudi toplotni in svetlobni pogoji, kar vpliva na strukturo in produktivnost planktonskih in bentoških združb. Pribitek organske proizvodnje, ki se useda na dno, dodatno prispeva k zmanjševanju jezerske globine. Veliki vodni makrofiti, ki prvotno rastejo samo ob obrežju, se zaradi plitvosti širijo proti sredini. Vzporedno se zato spreminja tudi sestav živalstva. Nutrienti za primarno proizvodnjo v plitvem jezeru hitreje krožijo med dnom in jezersko površino kot v globljih, kjer poteka fotosinteza.

3.3.5 Viri vnosa hranil

Kadar je vnos hranilnih snovi velik, so tudi spremembe v ekosistemih hitre in korenite. Prizadetost ekosistema se vidi v spremembi števila rastlinskih in živalskih vrst oziroma v stopnji trofičnosti jezera.

Vire vnosa hranil delim na:

- točkovne,
- razpršene.

3.3.5.1 Primeri najpogostejših virov obremenitev s hranili

- GNOJENJE

Kmetijska gnojila, predvsem dušikova in fosforjeva, se uporabljajo za povečanje pridelka. S prekomerno uporabo gnojil se neuporabljen dušik in fosfor izpirata v vodotoke. Še večji problemi se pojavijo, ko se hranila vnesejo v podtalnico. Hranilne snovi počasi pronicajo v globino, zato se v vodonosnikih izločajo še mnogo kasneje po prenehanju gnojenja. Vodotoki ob kmetijskih površinah so podvrženi temu razpršenemu viru, viri pitne vode pa onesnaženju z dušikovimi spojinami.

- ODVODNAVANJE PADAVINSKIH VODA

Padavinske vode odtekajo iz cestišč in pozidanih območij in vsebujejo veliko polutantov. Največ je organskih ostankov, ki so bogati z nutrienti, zaradi tega je mnogo vodotokov in stoječih voda znotraj urbanih področij evtrofnih.

- ODPADNE VODE

Iz globalnega stališča prispevajo pomemben delež k obremenitvi z nutrienti. To so lahko večji izpusti iz urbanih naselji ali posamezni točkovni viri onesnaženja, kot so slabo vzdrževane greznice. Do sedaj je bilo zgrajenih že kar nekaj čistilnih naprav. Izpusti iz primarne ali sekundarne faze čiščenja so načeloma varni, vendar še vedno obremenjeni s hranili, ki se odstranjujejo v terciarni fazi čiščenja.

- DETERGENTI

To so čistila in pralna sredstva, ki vsebujejo fosforjeve komponente. Globalno se v površinske vode steka milijone ton fosfatov, ki izhajajo iz sintetičnih detergentov, ki bi jih bilo mogoče nadomestiti s takimi brez fosforja.

- TOČKOVNI VIRI

Med njih lahko štejemo izpuste iz živinorejskih farm, kmetij, industrij, klavnic in podobno.

- SPIRANJE POVRŠJA

Evtrofnost povzročajo spiranje hranil iz prsti in iz odmrlih ostankov. Razgradnja organskih ostankov na kopnem povzroči razvoj anoksičnih razmer in evtrofnosti v globoki vodi.

V večjem delu naravnih vodnih teles je njihova mikroflora prilagojena na učinkovito in hitro porabljanje razpoložljivih hranil. Fosfor je eden izmed najpogostejših omejitvenih dejavnikov v celinskih vodah. Odziv na povečan vnos prevladujočega hranila so zato zelo hitri in se kažejo kot močno povečana produkcija na nižjih trofičnih nivojih sistema.

Prihaja do sprememb v vrstni sestavi s splošnim znižanjem vrstne raznolikosti. Značilno je zmanjševanje v številu vrst planktona in diatomej, cianobakterij in enocelične zelene alga pa po preskoku iz oligotrofne v evtrofno stanje prevladajo, prav tako pa se poveča tudi epifitska združba. V začetku se poveča biomasa makrofitov, ki pa potem ob višanju koncentracije hranil začne upadati, ker jih pri borbi za svetlobo izrinejo zelene alge. Če je na začetku limitirajoči nutrient kar naenkrat na voljo v zadostnih količinah, da zadovolji zadostne potrebe po njem, postane tako limitirajoči kateri od drugih nutrientov. Z uravnavanjem vnosa oziroma razpoložljivosti nutrientov je možno nadzorovati produktivnost. Raznolikost in obsežnost jezerskih ekosistemov, ki so podvrženi evtrofnim procesom, se kaže v številnih poznanih načinih odpravljanja in preprečevanja evtrofnosti.

Obstajata dva pristopa odpravljanja:

- zdravljenje simptomov,
- odpravljanje vzrokov.

Zdravljenje simptomov je kratkoročno gledano poceni, vendar žal ne odpravlja vzrokov. Gledano na dolgi rok je bolj primerno in velikokrat tudi cenovno ugodnejše odpravljati vzroke, kot pa blažiti posledice.

4 SAMOČISTILNE SPOSOBNOSTI NARAVNIH VODNIH SISTEMOV

4.1 Splošno

Naravni ekosistemi imajo možnost samoregeneracije, kar pomeni, da so zmožni uravnati razmerje med snovmi. Snovi v ekosistemu so v dinamičnem ravnotežju. V primeru povečanja koncentracije ene izmed snovi posledično odvijajo procesi, ki to snov preobrazijo, premestijo ali pa uskladiščijo. Čiščenje poteka s pomočjo vodnih organizmov. Potekajo kemični in prav tako fizikalni procesi. Proces samočiščenja se pojavi s pojavom onesnaženja. Gre za prepleten proces, ki poteka v aerobnih in anarobnih pogojih, z izmenjavo snovi in energije med bakterijami, avtotrofi in heterotrofi.

Bakterije so najpomembnejši dejavnik samočiščenja. Imajo veliko prednost pred ostalimi vodnimi organizmi, zaradi razmerja med površino in telesno težo in hitrega razmnoževanja. Bakterije se v večini prehranjujejo s tekočimi organskimi spojinami. Nekatere pa se hranijo tudi s koloidi in trdnimi organskimi snovmi, ki jih s pomočjo svojih izločkov topijo in jih lahko vsrkajo v svoje celice. S pomočjo sluzi se pritrdijo na podlago, uporabljajo pa jo tudi za zbiranje hrane. Rastline z asimilacijskimi barvili pridobivajo soli iz vode, izločajo kisik v vodo in tako izravnavaajo njegovo porabo. Pri tem delu so uspešnejši enocelični organizmi. Višje podvodne rastline delujejo predvsem kot sito, saj je vodni tok med njihovimi stebli in listi zelo umirjen in se lahko lebdeči delci usedajo. Kisika je dovolj za intenzivno razgradnjo. Na delih podvodnih rastlinah je vedno tudi dovolj bakterij, bičkarjev in migetalkarjev. Od preostalih vodnih bitij pri razgradnji sodelujejo še školjke, razne ličinke in črvi, ki predelujejo blato na dnu. Na proces čiščenja vpliva pH, koncentracija in vrsta odpadne snovi, koncentracija kisika, sončno obsevanje in geomorfološka sestava vodotoka.

Preglednica 3: Procesi samočiščenja

Procesi samočiščenja	
Fizikalni	Kemijski
Razredčenje	Oksidacija
Mešanje	Redukcija
Usedanje in plavanje	Obarjanje
Filtracija in precejanje	
Izmenjava plinov	

Vir: Panjan, 2010b

Popolno biološko samočiščenje poteka ob prisotnosti hrane, različnih skupin organizmov, sončne svetlobe in kisika. Če manjka le eden od teh dejavnikov, potem popolno biološko samočiščenje ne poteče. Potekata dva cikla. V prvi so potrošniki (živali) in razgrajevalci (mikroorganizmi), uporabljajo kompleksne organske spojine kot energijo in jo spremenijo v anorganske snovi. Proces se imenuje mineralizacija. Drugi proces pa poteka ob prisotnosti anorganskih snovi, avtotrofnih organizmov, svetlobe, ki spreminjajo anorgansko snov v organsko snov s pomočjo svetlobe. Pri biološkem samočiščenju pride do kroženja snovi, kot so kisik, ogljik, fosfor, dušik, kovine.

Pri plitvih, površinskih stoječih vodah, se pri globinah manj kot 0,5 m, proces samočiščenja odvije hitreje kot običajno, in sicer zaradi večje specifične površine in omogoča intenzivnejši vnos kisika. Razkroj je prav tako odvisen od hitrosti vode. Pri hitrostih manjših od 0,05 m/s se usede večji del suspendiranih snovi na dno, ki nato tvorijo usedlino, pri čemer lahko pride do anaerobnega razkroja, ki pa je počasnejši. Kisik je v vodi zato, ker ga voda prinaša s seboj. Prevzema ga iz površine ali pa ga proizvajajo v vodi živeči organizmi, če voda ni globlja od 2 m. Intenziteta navzemanja kisika je tem večja, čim večji je primanjkljaj.

Preglednica 4: Faktor skrajšanja procesa razkroja v odvisnosti od globine

Globina [m]	Faktor skrajšanja procesa
2,0	1,000
1,0	0,500
0,5	0,250
0,25	0,125

Vir: Panjan, 2010b

V primeru, kadar je vnos odpadnih voda v vodotok oziroma površinsko vodo večji od sposobnosti samočiščenja, se ravnotežje vodnega ekosistema za določen čas poruši in povzroči različna stanja. Lahko se pojavi pogin rib ali pa osiromašenje biološke raznovrstnosti, kar pa povzroči tudi gospodarsko škodo v primeru ribištva in turizma. S pomočjo različnih inženirskih ukrepov lahko dvignemo samočistilno sposobnost odvodnikov. Med te ukrepe štejemo gradnjo jezov, regulacijo rečne struge, umetno prezračevanje, povečanje nizkih pretokov, izpiranje in odstranitev hranil iz odvodnika, čiščenje dna z mehanskimi sredstvi ter ponovna uporaba vode.

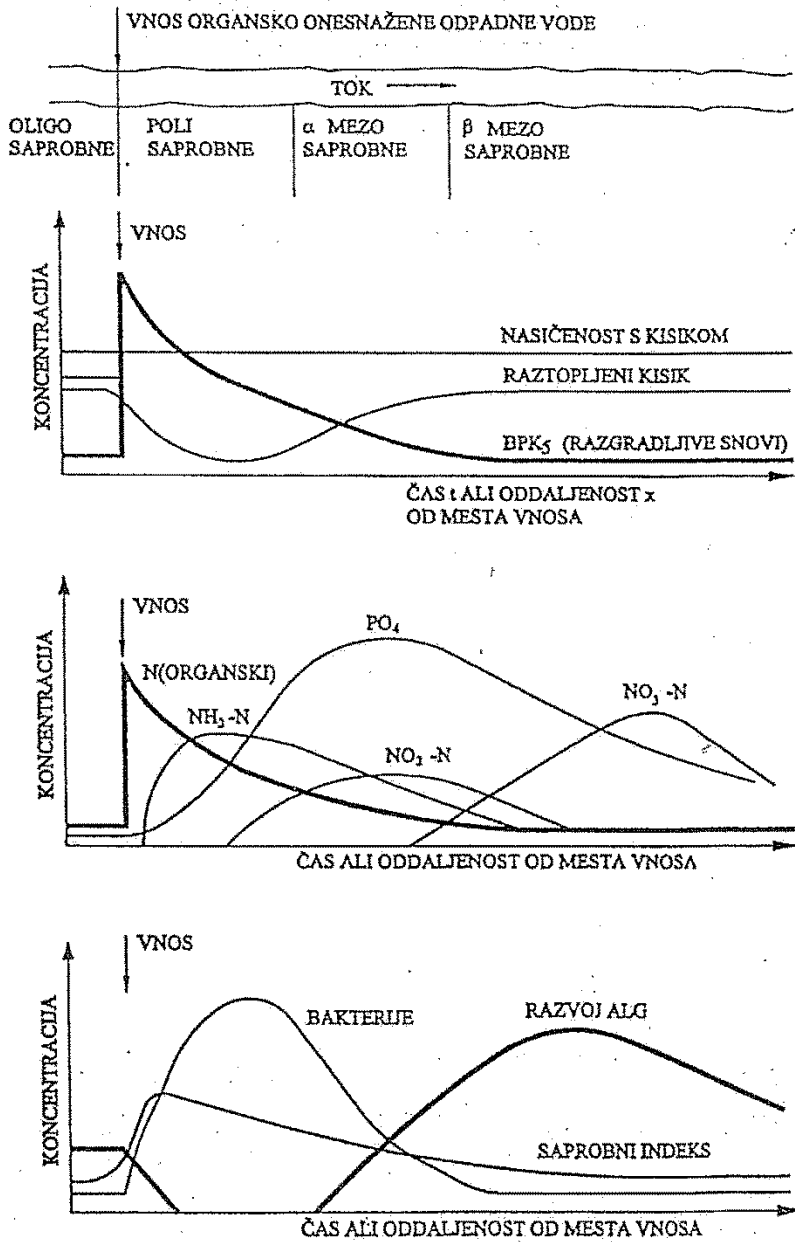
Za zdravljenje jezer pa uporabljamo naslednje ukrepe:

- zmanjšanje dovoda hranil,
- dovod sveže vode,
- odvzem hipolimnijske vode,
- prezračevanje.

4.2 Potek samočiščenja in stopnje onesnaženosti

Prva stopnja najmočnejše onesnaženosti se imenuje polisaprobna stopnja. Začne se s pritokom odpadne vode. Učinki se pokažejo nekaj metrov dolvodno, odvisno od velikosti vodotoka in količine odpadne vode. Voda je kalna. Asimirajočih rastlin ni zaradi pomanjkanja svetlobe. Odpadne snovi se usedajo na mirnejših predelih. Glede na vrsto onesnaženja se v vodi nahajata amonijak in organski dušik. Razkrajanje je v blatu anaerobno, voda pa ima neprijeten vonj. Razkroj poteka s pomočjo prisotnih mikroorganizmov in drugih vodnih organizmov. Populacijska številka je velika, ni pa veliko število rastlin in živali (Panjan, 2010b).

Ko se odpadna voda razgradi do določene mere, se zmanjša bakterijska dejavnost in p-saprobna stopnja preide v alfa mezasaprobno. Zmanjša se kalnost vode in s tem posledično nezahtevne asimilirajoče rastline. Poraba kisika se zmanjša in pojavi se izgradnja – asimilacija. Večina amonijaka in organskega dušika se nitrificira v nitrite. Čez noč primanjkuje kisika, a čez dan ga je dovolj. Poveča se tudi število rastlinskih in živalskih vrst, saj gre za območje srednje onesnaženosti. V zadnji stopnji je onesnaženost neznatna, ta stopnja se imenuje oligosaprobna stopnja. Voda je nasičena s kisikom in prozorna. Mineralizacija je dovršena. Kakovost vode je enaka vodi pred dotokom odpadne vode. Število rastlinskih in živalskih vrst se še poveča (Panjan, 2010b).



Slika 13: Shematski prikaz poteka porabe kisika in razvoja bakterij in alg pri različnih kakovostih vode in konstantnem dotoku odpadne vode in konstantni temperaturi.

Vir: Panjan, 2010b

5 KATEGORIZACIJA STOJEČIH VODA GLEDE NA TROFIČNI NIVO DOLOČEVANJE TROFIČNOSTI PO OECD KRITERIJIH (Organisation for Economic Co-operation and Development)

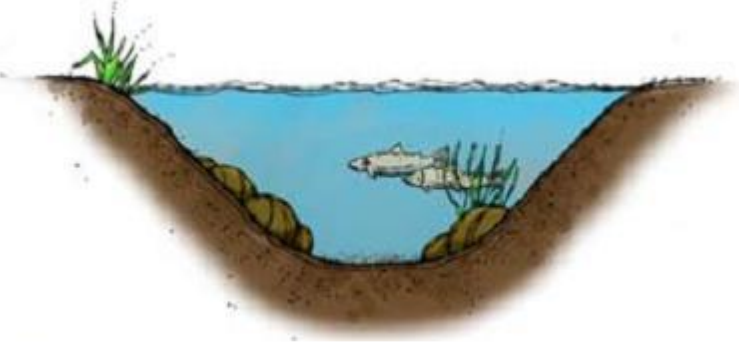


OECD kriteriji se uporabljajo za določanje trofičnosti jezer in so bili določeni leta 1982 in veljajo za jezera zmerne pasu. Po teh kriterijih se določa:

- povprečno letno vsebnost celotnega anorganskega dušika,
- povprečna letna vsebnost celotnega fosforja,
- povprečna letna in maksimalna vsebnost klorofila-a,
- povprečna in minimalna prosojnost jezera, merjena s Secchijevo ploščo.

Jezera se po OECD kriterijih uvršča v pet trofičnih stopenj:

- ultraoligotrofno (zelo revno s hranili),
- oligotrofno (malo hranil),
- mezotrofno (zmerno s hranili),
- evtrofno (bogato s hranili),
- hipertrofno (zelo bogato s hranili).

Zaporedje navedenih trofičnih stopenj predstavlja ontogenetski razvoj posameznega jezera. Če je vnos hranilnih snovi velik, so spremembe v jezerskem ekosistemu hitre in korenite, prizadetost ekosistema pa se kaže v spremembi števila rastlinskih in živalskih vrst oziroma spremembi trofičnega stanja jezer.

	<p>OLIGOTROFNO JEZERO</p> <ul style="list-style-type: none"> - višje ležeča jezera, - relativno velika, globlja in ožja, - nizek vnos hranil iz zunanjih virov, - razgradnja nastalih organskih snovi poteka v oksičnih razmerah ...
	<p>MEZOTROFNO JEZERO</p> <ul style="list-style-type: none"> - prihaja do sprememb v sedimentih, - bogatejše s hranili, - sprememba videza ekosistema - pojavljajo se spremembe v sedimentih ...
	<p>EVTROFNO JEZERO</p> <ul style="list-style-type: none"> - bogato s hranili, - spremeni se vrstna sestava alg, - sprememba makrofitskih vrst, - sprememba v živalstvu ...

Slika 14: SHEME jezera.

Preglednica 5: OECD kriteriji za oceno trofičnega stanja jezer

Tip jezera	Skupni fosfor [µgP/l]	Anorganski dušik [µgN/l]	Povprečna prosojnost [m]	Minimalna prosojnost [m]	Klorofil A povp. [µg/l]	Klorofil A max. [µg/l]
Ultra - oligotrofno	do 4,0	do 200	nad 12,0	nad 6	pod 1	pod 2,5
Oligotrofno	nad 4,0-10,0	nad 200-400	pod 12-6	nad 3-6	od 1-2,5	nad 2,5-8
Mezotrofno	nad 10,0-35,0	300-650	pod 6-3	nad 1,5-3	nad 2,5-8	nad 8-25
Evtrofno	nad 35,0-100	500-1500	pod 3-1,5	nad 0,7-1,5	nad 8-25	nad 25-75
Hipertrofno	nad 100	nad 1500	pod 1,5	pod 0,7	nad 25	nad 75

Vir: ARSO, 2008

Po rezultatih OECD je pokazano, da je fosfor tisti element, ki določa razvoj evtrofikacije. Tudi če je nitrat limitirajoči faktor, fosfor še vedno igra pomembno vlogo.

Ko je razmerje $N_{tot}/P_{tot} > 15$, je fosfor limitirajoči element v jezeru. Ko pa je dušik limitirajoči element, je razmerje manjše od 7 ($N_{tot}/P_{tot} < 7$). Ko je razmerje N_{tot}/P_{tot} med 15 in 7, sta lahko limitirajoča elementa fosfor ali dušik ali pa kar oba.

Po Vollenweider-ju lahko določimo trofično stanje jezera glede na totalni fosfor in totalni dušik.

Preglednica 6: Trofično stanje jezer

Stopnja trofičnosti	P_{tot} [µg/l]	N_{tot} [µg/l]
Ultraoligotrofno – oligotrofno	<5	<200
Oligotrofno – mezotrofno	5-10	200-400
Mezotrofno – evtrofno	10-30	300-650
Evtrofno – politrofno	30-100	500-1500
Politrofno	>100	>1500

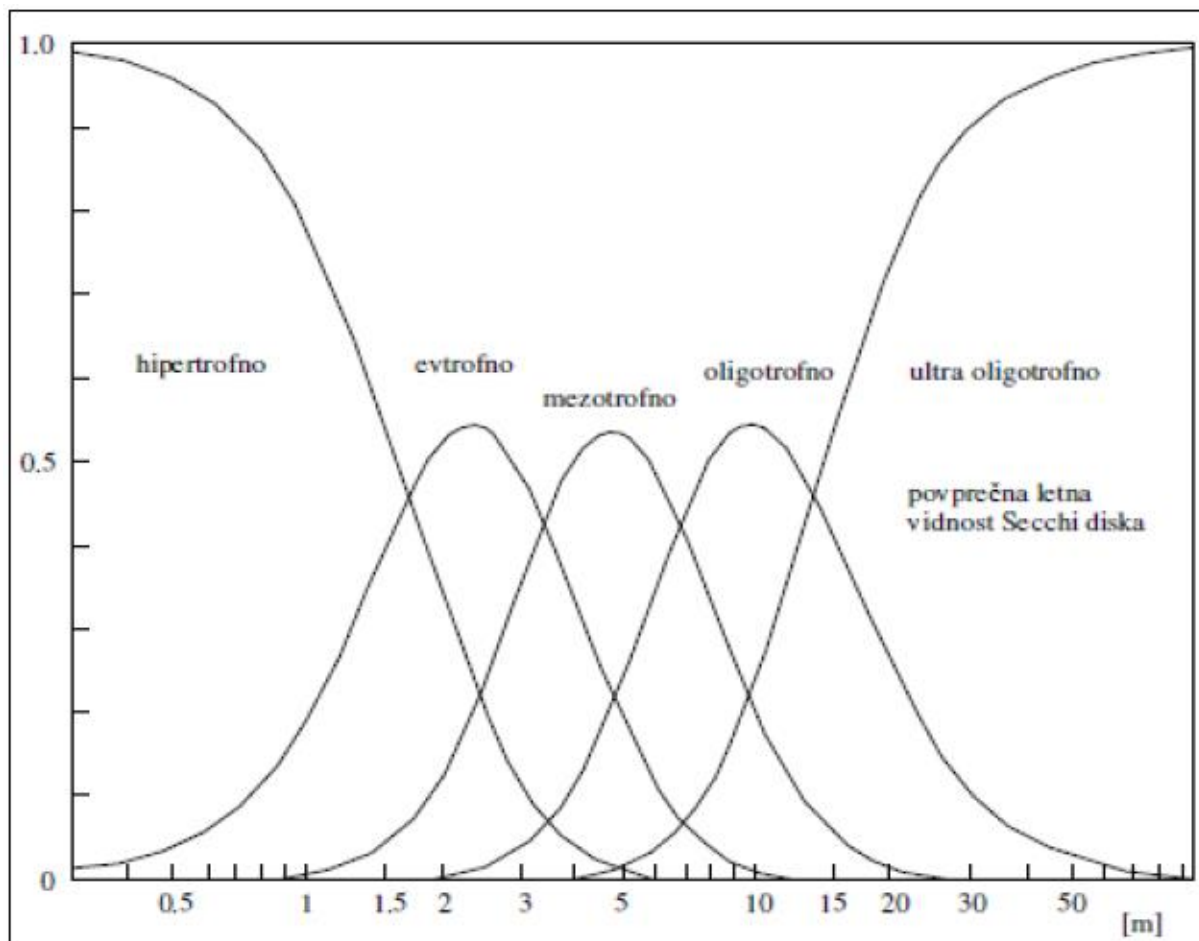
Po Vollenweider-ju (1968) se za indikatorje kakovosti stoječe vode najpogosteje uporabljajo naslednji parametri (Skubic, 2006):

- totalni fosfor P_{tot}

- klorofil-a,
- Secchijeva globina,
- Koncentracija kisika v hipolimniju.

Če je vnos hranilnih snovi velik, so spremembe v jezerskih ekosistemih hitre in korenite, prizadetost ekosistema pa se kaže v spremembi števila živalskih in rastlinskih vrst oziroma spremembi trofičnega stanja jezera.

Vodnega telesa ne moremo točno uvrstiti glede na stanje trofičnosti, saj ni natančne meje med kategorijami. Lahko pa ga v določeno kategorijo uvrstimo glede na indikator kakovosti vode z določeno verjetnostjo. Slika 15 nam pomaga pri odločanju, v kateri trofični razred lahko uvrstimo jezero.



Slika 15: Verjetnost uvrstitve v razred trofičnosti glede na povprečno letno vrednost Secchi diska

Vir: Skubic, 2006 po OECD, 1982

5.1 Hiperevtrorna jezera in njihove značilnosti

Hiperevtrorna jezera so tista jezera, pri katerih so razmere trofičnosti v jezerskem ekosistemu bolj ekstremne. Značilna so velika nihanja vsebnosti kisika, cvetenje alg in pomori rib. Prihaja tudi do velikih sezonskih ali celo dnevnih nihanj v produktivnosti in kvaliteti vode. Primeri teh jezer so predvsem jezera z nenadzorovanim vnosom hranil, lagune za čiščenje odpadnih voda in ribniki, v katerih poteka intenzivno gojenje rib. Hiperevtrorni vodni sistemi predstavljajo prehod v nestabilen, kaotičen režim. Značilna so neredna, ekstremna nihanja in velika produktivnost dominantnih vrst. Vsebnost kisika je velikokrat zelo visoka, s stopnjo nasičenosti do 200 %, kar pa predstavlja nevarnost za ribe. Ker ne pride do omejitve koncentracije hranil, prihaja velikokrat do cvetenja alg in prekomerno razmnoženosti fitoplanktona (Gradišar, 2008).

5.2 Oligotrofna jezera in njihove značilnosti

Običajno so oligotrofna jezera višje ležeča, relativno velika, globlja, ožja in imajo veliko razmerje med hipolimnijskim in epilimnijskim volumnom. Zaradi nastalih majhnih količin organskih snovi je omejena njihova razgradnja. V hipolimnijski plasti ostajajo oksične razmere, sproščanje hranil iz sedimenta pa je majhno. Oligotrofne razmere se lahko vzdržujejo z vrsto značilnosti:

- Geomorfološke razmere številnih oligotrofnih jezer, ki pogosteje onemogočajo obsežen razvoj visoko produktivnih močvirskih in obrežnih združb višjih rastlin ter pritrjene mikroflore.
- Nizek vnos hranil iz zunanjih virov, še posebno fosforja in dušika.
- Nizka produkcija fitoplanktona, ki je pogojena s številnimi, med seboj povezanimi dejavnostmi, kot so nizek vnos nutrientov iz zunanjih virov, večja velikost in globina oligotrofnih jezer ter premešanje plasti po globinskem profilu, razmerje ogljika in fosforja (C:P), ki se ob povečani svetlobi poviša, kar spodbudi razvoj fitoplanktona, kasneje pa tudi razvoj in rast zooplanktonov ter njihovo objedanje.
- Nizka vsebnost raztopljenih organskih snovi zaradi majhne evtrofne produkcije in velika prosojnost vode, ki prispeva k povečanju intenzivnosti in globine fotolitične razgradnje iz prispevnega območja vnesenih huminskih snovi.
- Razgradnja nastalih organskih snovi poteka v oksičnih razmerah. Pot usedanja snovi je zaradi globine počasna, obremenitve sedimenta z nutrienti so majhne, kar velja tako za pelagialne kot tudi za litoralne predele jezera.
- Razgradnja alg in drugih partikularnih organskih snovi je majhna zaradi raztopljenih anorganskih snovi in omejene količine hranil.

- Omejena je tudi sinteza organskih mikronutrientov, ki so nujno potrebni večini planktonskih alg. Esencialni mikronutrienti, posebno železo, se namreč v oligotrofnih jezerih manj učinkovito sproščajo iz organskih komponent.

Če se v oligotrofnih jezerih povečuje obremenjevanje s hranili, se poveča tudi njegova produktivnost. Podobno se zgodi, če gre za kratkotrajno motnjo poteka kroženje hranil hitreje, ekosistem si kmalu opomore, produktivnost pa se zmanjša proporcionalno z zmanjšanjem obremenitve (vir: Gradišar, 2008).

5.3 Razvoj evtrofikacije

Običajno so evtrofna jezera nadmorsko nižje ležeča, širša in plitvejša. Presežen vnos nutrientov v jezerskem ekosistemu sproži zaporedje dogodkov, ki si sledijo po značilnem vzorcu. V vseh jezerih sicer ti dogodki ne potekajo enako, je pa vseeno možno povzeti splošen vzorec, ki velja za večino jezer v zmerno toplem pasu:

- Povečan vnos nutrientov povzroči spremembo makrofitskih združb. Nekatere tolerantne vrste ob povečanem vnosu hranil na začetku lepo uspevajo, kasneje pa se prekomerno razrastejo in prevzamejo vlogo nezaželenih vrst. Povečana motnost, cvetenje alg, anoksija in spremembe v sedimentih sčasoma postanejo škodljive celo za tolerantne vrste. Velike izgube makrofitne vegetacije s samo nekaj emerznimi vrstami ali nobene od njih označujejo evtrofične habitate.
- Spremeni se vrstna sestava alg, fitoplanktonskih in perifitonskih združb, predvsem pa se poveča njihova produktivnost. Razširijo se vrste, ki lahko učinkovito izrabljajo novo nastale razmere. Poveča se motnost vode, podnevi prihaja do prenasičenosti s kisikom in do anoksije ponoči ali v času razgradnje cvetov alg, ko te odmrejo. Predvsem cianobakterije proizvajajo toksine in z napredovanjem evtrofikacije postajajo vse bolj dominantne.
- Prihaja do sprememb v sedimentih, ker je povečan vnos nutrientov pogost v povezavi s povečanim vnosom trdnih neraztopljenih delcev, ki pospešujejo sedimentacijo. Pogosta značilnost je nestabilno in anoksično jezersko blato, ki nastaja z odmiranjem fitoplanktona in razgradnjo makrofitov, največkrat v anoksičnih razmerah.
- Spremeni se živalstvo, čeprav nekaterim vrstam nove razmere s povečano razpoložljivostjo hrane ustrezajo in imajo lahko tudi visoko produktivnost, se na splošno njihova vrstna diverziteteta zmanjša. Vzrok so deloma spremenjene kemijske razmere v vodi, anoksije, deloma pa tudi spremenjene razmere na nivoju alg in vodnih makrofitov. Živalstvo med drugim prizadenejo predvsem zmanjšanje makrofitske vegetacije in posledično izguba kritja, ki jima ga le ta nudi. Ko populacije nekaterih vrst začnejo upadati, ima to vpliv tudi na druge trofične nivoje in prehranjevalna veriga se lahko zruši. V bentalni favni profundala prevladajo maloščetinci. S časom so prizadete tudi ribe, občutljive komercialne vrste rib izginjajo. Če še ostanejo kakšne

vrste rib, so to manj pomembne in za prehrano ljudi običajno neprimerne. V ekstremnih primerih (hiperevtrofne vode) pride lahko zaradi anoksije in do pomorov rib. Za take dogodke obstaja največje tveganje v poletnih jutrih, ko ponoči obilje fitoplanktona za lastno respiracijo porabi ves kisik. Kritične so lahko tudi dolge in hude zime, ko na zaledenelo vodno površino plitvih jezer zapade sneg in primarni producenti porabijo zaloge kisika, fotosinteza pa zaradi pomanjkanja svetlobe ni možna.

- Poleg bioloških sprememb se spremeni tudi celoten videz in krajinska privlačnost jezera. Močno evτροφne vode dobijo videz, ki spominja na gosto grahovo juho. Možni so tudi negativni vplivi na okolico jezera in sicer škodljiv in neprijeten vonj, ki se razvije iz ciano bakterijskih populacij in nekaterih gliv. Nekateri ciano bakterijski cvetovi pa lahko toksično učinkujejo na različne rastlinske in živalske vrste (Gradišar, 2008).

6 DIVJE JEZERO IN RAČEVSKO JEZERO

6.1 Divje jezero

6.1.1 Splošno in lega Divjega jezera

Divje jezero je kraško sifonsko jezero, ki leži na nadmorski višini 330 m in se nahaja 2 km južno od Idrije, ob cesti, ki je skozi ozko sotesko speljana proti Idrijski Beli. Jezero leži pod stometrskimi prepadnimi stenami, ki obrobajo rob Črnovrške planote. Temnozeleno jezero je široko 30 metrov in dolgo 60 metrov. Obiskovalci navadno opazujejo jezero z mirno vodno gladino in v tem primeru nikakor ne opravičuje svojega imena in ne spominja na največji kraški izvir v Sloveniji. V obdobjih visokih vodostajev po obilnih padavinah pa se drugače mirna gladina jezera razburka zaradi velikih količin vode, ki bruhajo skozi dotočni kanal in se v obliki velikih mehurjev bočijo na vodni gladini. Takrat Divje jezero zasluži svoje ime.



Slika 16: Divje jezero.

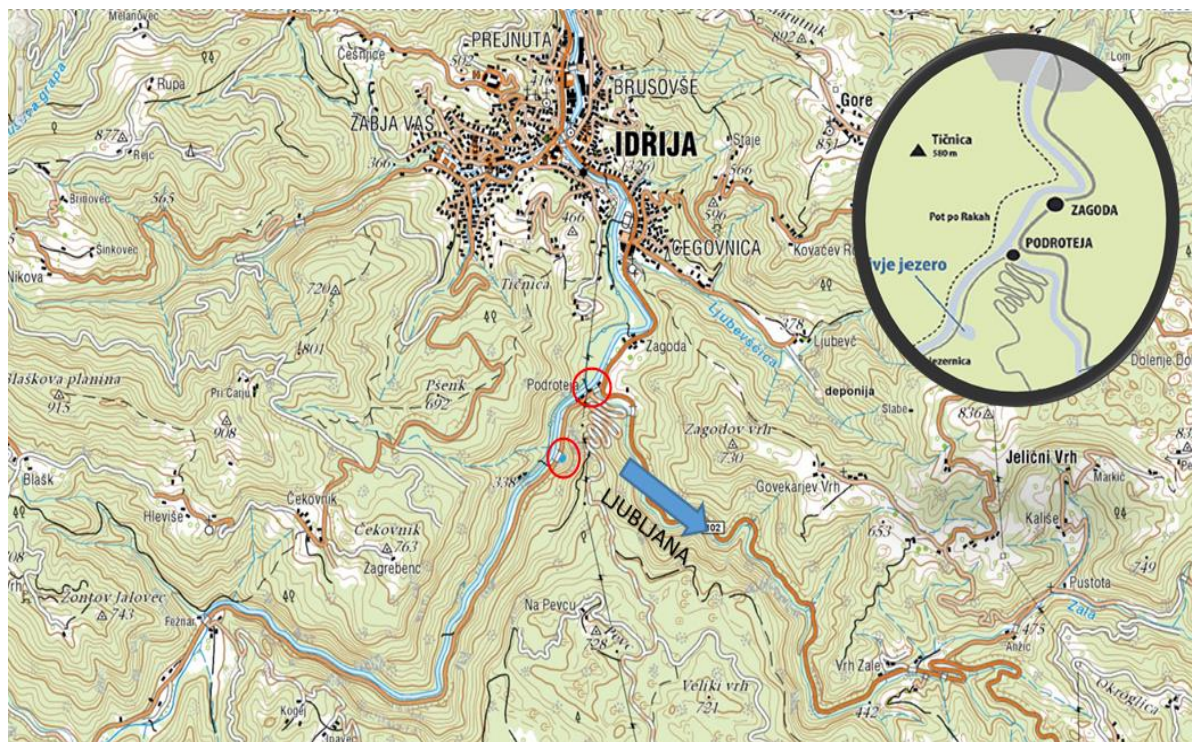
Vir: www.dedi.si, pridobljeno 14. 2. 2016

Ob nizkih vodostajih je jezerska kotanja sicer napolnjena z vodo, vendar preliva ni. Zelena jezerska gladina pa je mirna. V takih razmerah prihajajo kraške vode na površje le v izviru Podroteja, ki leži približno 1 km severno. Ta izvir nima enotnega dotočnega rova, ampak voda izteka skozi številne

manjše razpoke. Šele ob daljših deževnih obdobjih začnejo iz njegovih globin bruhati velike količine vode in se po reki Jezernici izlivati v reko Idrijco. Včasih se zgodi tudi, da Jezernica spremeni svoj tok in voda teče po strugi navzgor. Ob kratkotrajnih močnih nalivih namreč reka Idrijca naraste veliko prej kot Divje jezero in ta se tedaj spremeni v požiralnik vode, ki se iz Idrijce preliva vanj.

Divje jezero je bilo leta 1972 razglašeno za prvi muzej v naravi v Sloveniji. V ta namen so bili urejeni varen cestni dostop, parkirišče za avtomobile in avtobuse, obračališče za avtobuse in pojasnjevalne table z napisi. Ob jezeru in v jezeru najdemo veliko primerkov raznovrstne flore in favne, ki so jo raziskovali že v času delovanja idrijskega rudnika takratni zdravniki in zdravniki v Idriji. Divje jezero je tudi vokliški izvir, saj priteka voda v jezero iz strmega rova. Vokliški izvir je tip kraškega izvira, ki je dobil ime po izviru Fontaine – de – Vaucluse v pokrajini Vauscluse na jugu Francije. Za izvire tega tipa je značilno, da voda iz velikih globin pod pritiskom po strmih kanalih priteka na površje. Večji del jezerske kotanje ni globlji od 3 metrov, le v južnem delu globina nenadoma naraste na 15 metrov. Od tu se poševno navzdol nadaljuje eden od največjih sifonov na svetu, katerega globine lahko le slutimo. Potapljači so do sedaj dosegli globino 160 metrov. Iz izvira dalje teče reka Jezernica, ki je najkrajša površinsko tekoča reka v Sloveniji in se po 55 metrih izliva v reko Idrijco.

Hidrološko zaledje Divjega jezera meri 125 km² in zavzame območja treh občin in sicer Idrije, Logateca in Ajdovščine. Vse našete občine spadajo med pretežno gozdnate in s kmetijskimi površinami porasle občine in isto velja tudi za območje, ki odvaja vode v Divje jezero. Na prispevni površini živi okoli 3000 prebivalcev. Med večja naselja pa štejemo Hotedršico, Godovič in Črni Vrh nad Idrijo. Odvajanje odpadnih voda in čistilno napravo ima urejeno le naselje Godovič, pa še ta čistilna naprava deluje na zgornji meji zmogljivosti. Za komunaln storitve so odgovorna lokalna komunalna podjetja in sicer Komunalno podjetje Logatec d. o. o., Komunalna Idrija d. o. o. in Komunalno stanovanjska družba Ajdovščina d. o. o. Na območju ni izrazite industrije, le ena industrijska cona v naselju Godovič in le eno podjetje presega mejne vrednosti za odvajanje tehnološke odpadne vode direktno v kanalizacijo in na čistilno napravo. Prav iz tega razloga ima urejeno lastno tehnološko čistilno napravo. Po čiščenju pa se odpadna voda odvede po kanalizaciji na čistilno napravo. Po območju poteka tudi zelo obremenjena prometnica skozi Zalo, ki povezuje Idrijo z Ljubljano in je eden od večjih potencialnih onesnaževalcev. Za primer povejmo, da je povprečni letni dnevni promet v letu 2008 za odsek Logatec – Kalce znašal 4210 vozil/dan.



Slika 17: Lokacija Divjega jezera in izvira Podroteja.

Vir: www.geopedia.si, pridobljeno 9. 5. 2015

6.1.2 Morfometrija Divjega jezera

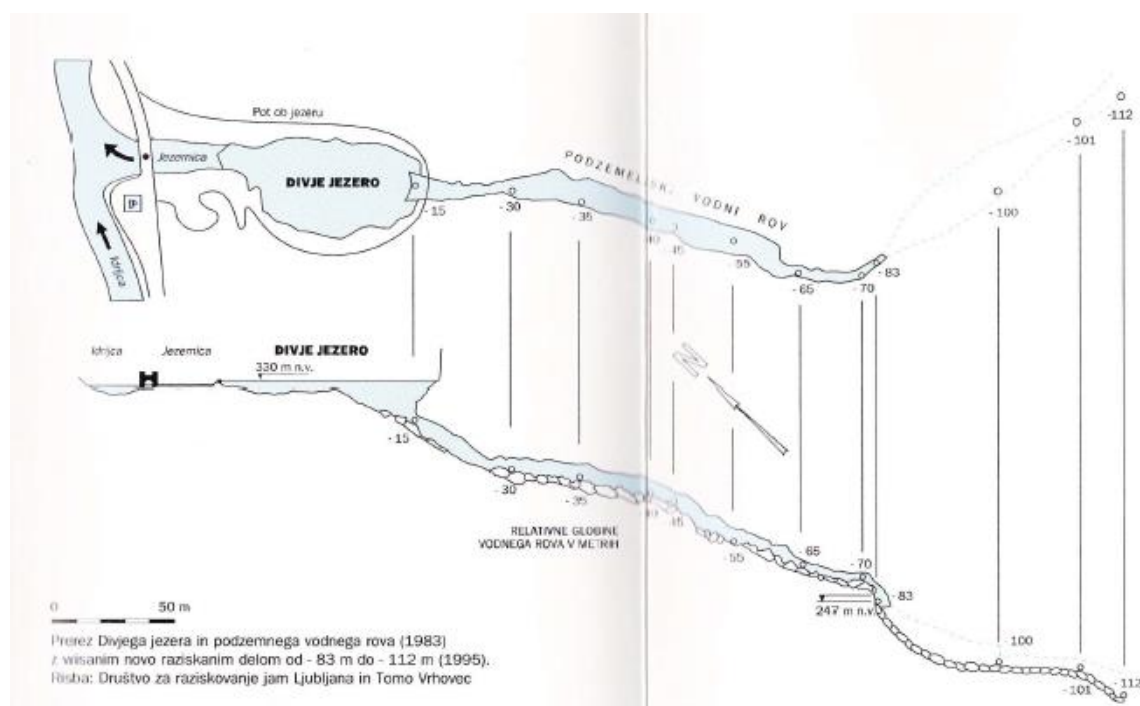
Divje jezero je izvir, ki leži na desnem bregu zgornjega toka reke Idrijce. Glede na morfološko obliko in hidrološke značilnosti uvrščamo Divje jezero med značilne »vokliške« kraške izvire. Voda se najprej zbira v izvirkovi kotanji, na robu le te pa se oblikuje reka.

Divje jezero leži na nadmorski višini 330 m. Izvirkova kotanja je ovalne oblike, ob srednjem vodnem stanju dolga 65 m in široka 31 m. Povprečna površina meri 1500 m². Največja globina 15,2 m je bila izmerjena v navpičnem breznu pod južnim robom izvirkove kotanje. Na tej globini se nahaja tudi vhod v podvodni rov. Najgloblji del dna prehaja položno proti sredini jezerske kotanje. Severna stran je omejena z umetno betonsko pregrado, pred katero je še ena depresija, globoka 3 m. Pod vplivom padavin se gladina jezera lahko dvigne za dva do tri metre. Celotna jezerska kotanja Divjega jezera ima litoralni značaj. Struktura sedimentov, oblikovanost obale in dna izvirkove kotanje je zelo raznolika. Spreminja se od obale z globino, odvisno od lokalne morfometrije. Obrežni litoralni pas okrog in okrog jezerske kotanje tvori kamnito dno, le del obale na levem bregu ob iztoku je kamninski. Sicer je obala položna, globina počasi narašča proti sredini kotanje. Le pod južnim robom, kjer se začne brezno, je obrežni

pas ozek in strm, sediment pa nestabilen. V obeh depresijah je dno pokrito s peskom, brezno pa obdajajo večji kamninski bloki.

Iz Divjega jezera se izliva Jezernica, ki se izliva v Idrijco. V sušnem obdobju je v njej vode le za potoček ali pa popolnoma presahne. Ob visokih vodah Jezernica naraste v deročo reko, ki je celo bolj vodnata kot Idrijca. Če pa se v povirju Idrijce pojavijo močne nevihte (na planoti okrog Črnega vrha pa ne), se lahko narasla Idrijca zalije mirujoče Divje jezero (Čar, 1996).

Morfometrični parametri (največja, najmanjša in povprečna globina, volumen, oblikovanost obale) imajo pomemben vpliv na kemične, fizikalne in tudi biološke lastnosti vode. Uporabljajo se tudi za oceno erozije, količine hranil, primarne produkcije in toplotnih razmer v vodnem ekosistemu. Izviri so dinamični ekosistemi, ki se s časom spreminjajo in z njimi tudi morfometrični parametri.



Slika 18: Prerez Divjega jezera.

Vir: Čar, 1996

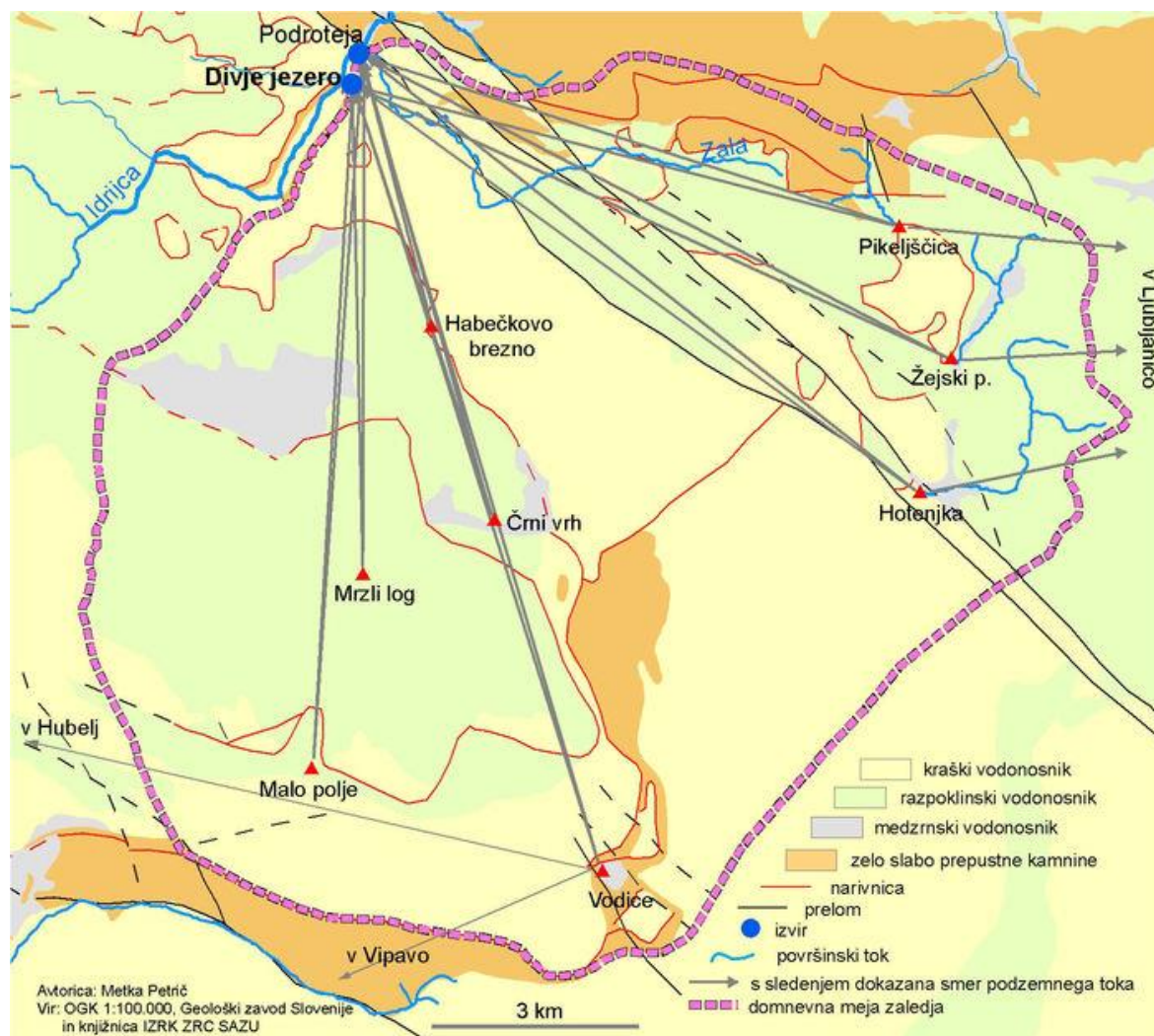
6.1.3 Hidrologija Divjega jezera

Na kraških planotah Trnovskega gozda, Nanosa in Hrušice poteka razvodje med jadranskim in črnomoškim porečjem. Prevladuje kraški svet brez površinskih voda. Padavine hitro pronicajo skozi močno zakrasele in pretrte apnenčeve kamnine do nivoja podtalnice, globoko v notranjosti Črnovrške planote in Trnovskega gozda. Nadalje se vode pretakajo po obsežnih spletih kraških kanalov in prihajajo na površje v Divjem jezeru in bližnjih stalnih Podrotejskih izviroh. Smeri podzemnih tokov so prikazane na Slika 19. Zalin prelom seka dolino Idrijce ob sotočju Idrijce in Zale pri Podroteji. Zaradi nepropustne stene preloma pridejo prav tu na površje obilne kraške vode (Čar, 1996).

Ob nizkih vodostajih je jezerska kotanja sicer napolnjena z vodo, vendar preliva ni. V takih razmerah prihajajo kraške vode na površje le v izviru Podroteja, ki leži približno 1 km severno. Ta izvir nima enotnega dotočnega rova, ampak voda izteka skozi številne manjše razpoke.

V obdobju 2004–2014 so se mesečni maksimalni pretoki na vodomerni postaji Podroteja I gibali od 1,055 m³/s iz dne 09. 9. 2012 in do maksimalne vrednosti 4,702 m³/s, ki je bil izmerjen 5. 1. 2014. Lokacija merilne naprave Podroteja I je prikazana na Slika 17. V arhivu podatkov za hidrološka merilna mesta sem na spletni strani ARSO pridobila tudi podatke, da je bila v obdobju od 2008 do 2009 zmerjena minimalna višina vode v Divjem jezeru 1. 10. 2009 in sicer 203 cm. Maksimalna višina vode pa je bila izmerjena 3. 3. 2009 in je znašala 622 cm. Temperatura vode v jezeru niha med 7 in 10°C, le poleti ob nizkih vodostajih se na površini ogreje do 20°C.

Hidrološko zaledje Divjega jezera se preučuje že nekaj časa. Površina celotnega zaledja Divjega jezera in izvirov Podroteje meri okoli 125 km². Glede na vodno stanje se ob visokih vodah zbiralna zaledja povečajo, ob nizkih pa zmanjšujejo. Z metodo barvanja vode so dokazali, katere vode se stekajo v Divje jezero in Podretejske izvire.



Slika 19: Karta prispevne površine Divjega jezera.

Vir: www.dedi.si, pridobljeno 11. 5. 2015

Hidrološki režim jezera sovпада s tipičnimi pretoki kraških izvirov in je odvisen predvsem od razporeda in velikosti padavin na Idrijskem. Na obilnejše padavine v kraškem zaledju se Divje jezero že po nekaj urah odzove s hitrim porastom pretoka. Ob visokih vodah doseže pretok skozi sifon tudi več kot 100 m³/s.

6.1.4 Rastlinstvo v okolici Divjega jezera

V okolici uspevajo številne lesne rastline, drevesa in grmovnice, kot so smreka, jelka, bukev, lipa, lipovec, divji kostanj, veliki in mali jesen, navadni beli gaber, črni gaber, gorski in ostrolistni javor, goli

brest, maklen, mokovec, iva, siva in velelistna vrba, navadna leska, češmin, bezeg, šipek, glog in še bi lahko naštevali.

Police in skalne razpoke mogočnih sten, ki se na južni strani jezernega kotla dvigajo iz vode, porašča združba zelišč, kot so kranjski jeglič, rumeno milje, žiljka, tanki šaš, dlakavi sleč in druge.

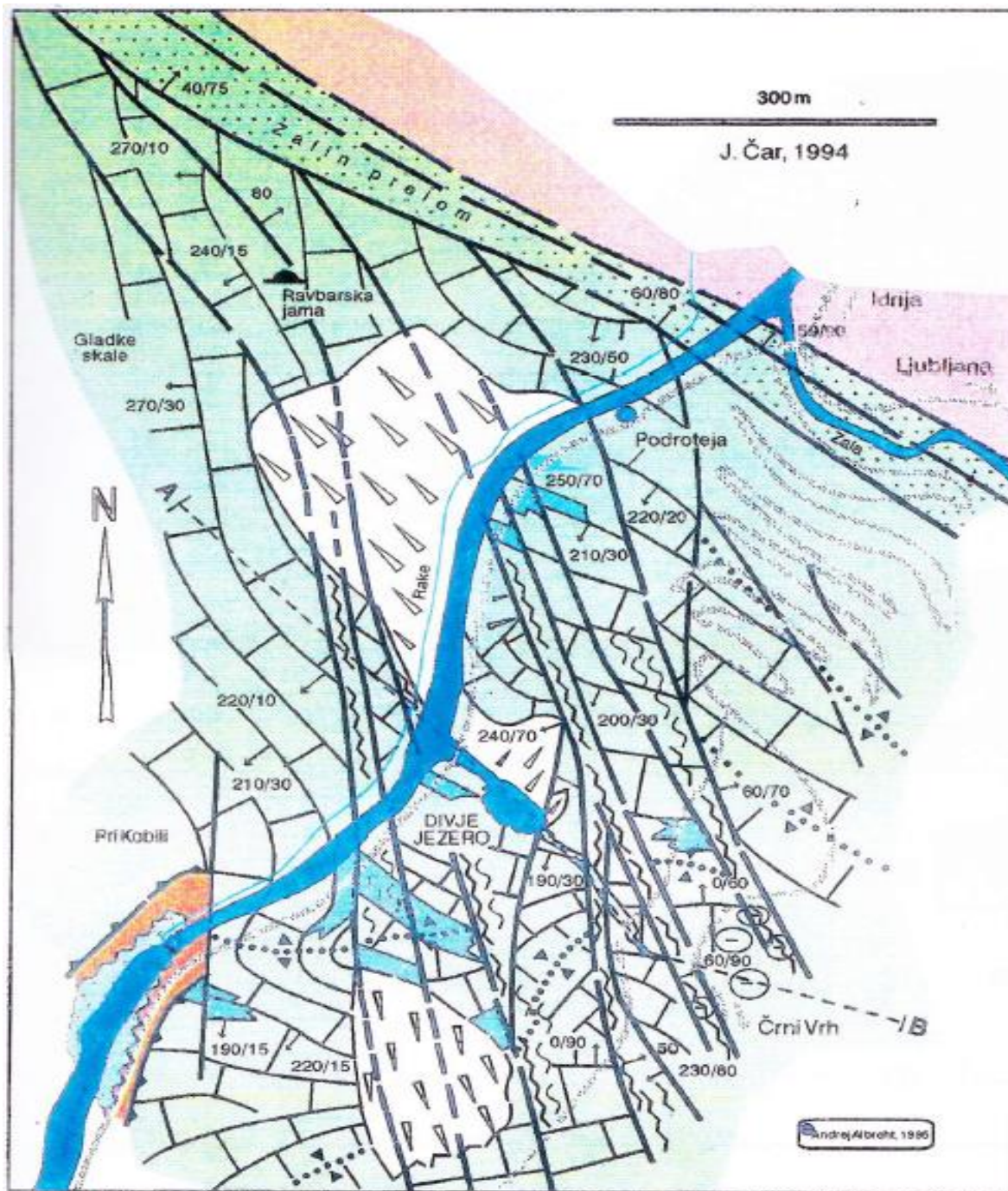


Slika 20: Kranjski jeglič.

Vir: sl.wikipedia.org, pridobljeno 25. 2. 2016

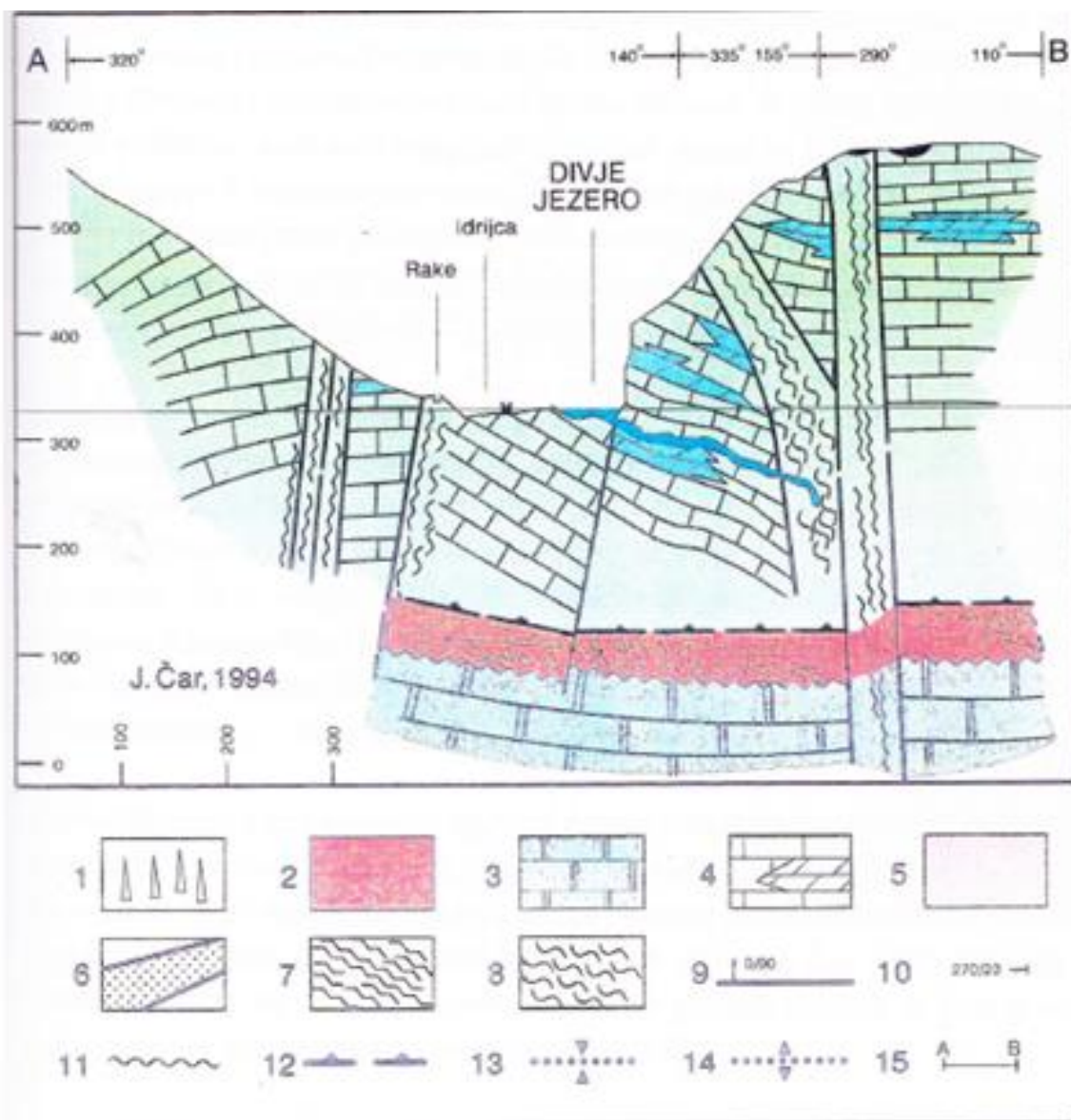
6.1.5 Geološka sestava Divjega jezera in okolice

Za lažje razumevanje nastanka Divjega jezera moramo poznati geološke razmere širšega idrijskega območja. Gre za območje s pestro geološko preteklostjo in zaradi tega tudi z zelo zapleteno geološko zgradbo. Samo območje Divjega jezera z okolico pa je le majhen izsek iz celote. Geološke razmere so nazorno prikazane na slikah Geološka karta okolice Divjega jezera in Geološki prerez čez Divje jezero. To sta Slika 21 in Slika 22.



Slika 21: Geološki prerez okolice Divjega jezera.

Vir: (Čar, 1996)



Legenda: 1- pobočni grušč 2- paleocensko-eocenski flišni konglomerat, peščenjak in laporovec ter apnenčeva breča 3- debeloplastni zgornjekredni apnenec 4- plastnati spodnjekredni apnenec z vložki dolomitiziranega apnenca in dolomita 5- triasne kamnine 6- prelomna cona Zalinoga preloma 7- porušena cona 8- razpoklinska cona 9- prelom z vpodom prelomne ploskve 10- smer in vpod plasti 11- erozijska diskordanca 12- narivnica 13- os sinklinalne upogitve plasti 14- os antikalinalne upogitve plasti 15- prevez

Slika 22: Geološki prevez Divjega jezera.

Vir: Čar, 1996

6.1.6 Kamninska sestava Divjega jezera in okolice

Najstarejše ohranjene kamnine na idrijskem so karbonske in permske kamnine, stare preko 300 milijonov let. Spodnjetriasne skitke plasti in srednje triasne plasti gradijo obrobje zbiralnega zaledja v zgornjem toku Zale ter preostali del idrijskega ozemlja, vključno z idrijskim rudiščem. V bližnji okolici Divjega jezera kamnin iz omenjenih geoloških obdobij ne zasledimo. V zaledju Divjega jezera se pojavijo zgornjetriasninijsko – retijski plastnati dolomiti. Mogočne stene jezerskega kotla in njegove okolice pa gradijo vsaj 300 m debele plasti spodnjekrednega apnenca. V njem pogosto najdemo školjke iz rodu *Requienia*.

V širši okolici Divjega jezera najdemo tudi zgornjekredni apnenec, ki je svetlo siv do bel ter, v primerjavi s spodnjekrednim, neplastnat. Kamnina je bogata z rudistnimi školjkami. Najmlajše kamnine paleocensko – eocenske starosti so fliši. Odloženi so diskordantno na zgornjekredne plasti. Vložki apnenčnih breč so bogati z ostanki različnih luknjičark. Kjerkoli v idrijski okolici pogledamo geološko zgradbo, ugotovimo, da na najmlajših kamninah ležijo starejše. Tako prekrivajo dno grap najmlajše, pobočja pa gradijo stare kamnine. Ponekod si plasti sledijo v pravilnem, toda v obrnjenem zaporedju.

6.1.7 Tektonska zgradba Divjega jezera in okolice

V obdobju dvigovanja Alp, pred približno 60 milijoni let, so usedanje plasti (od mlajšega paleozoika do terciarja) večkrat prekinila gorotvorna premikanja. Zaradi velikih bočnih pritiskov od severa in severovzhoda na širšem idrijsko – cerkljanskem prostoru je nastala velika polegla guba, ki se je v končni fazi večkrat pretrgala. Tako je nastala zapletena narivna zgradba, ki je značilna tudi za območje Divjega jezera. Mogočne stene jezerskega kotla in širša okolica Divjega jezera so zgrajeni iz spodnjekrednih kamnin. Prevladujejo plastnati apnenec, s ponekod več deset metrov debelimi skladi dolomitiziranega apnenca in dolomita. Plasti vpadajo v splošnem proti zahodu in jugozahodu, v čelni jezerski steni pa proti jugu. Kredne plasti so zaradi narivanja zgubane, kar opazujemo tudi v stenah okrog jezera. Kredne kamnine ležijo na bistveno mlajših paleocensko – eocensko fliših, ki izdanjajo v dolini Idrije. V končnem stadiju orogeneze, pred 5 milijoni let, je idrijsko ozemlje presekalo snop prelomov v smeri severozahod – jugozahod.

Za razlago razmer v okolici Divjega jezera sta najpomembnejša Idrijski prelom in vzporeden Zalin prelom, ki poteka po dolini potoka Zala. Na pobočju med Gladkimi stenami in Podrotejo se od Zalinega

preloma odcepi 400 m široka prelomna cona imenovana Prelomna cona Divjega jezera. Gre za zapleten sistem ozkih zdrobljenih con, ki je pomembno vplival na oblikovanost jezerskega kotla ter potek struge Idrijce in Jezernice.

6.1.8 Potapljaške raziskave v podzemlju Divjega jezera

S potapljaškimi raziskavami v letih 1981 in 1982 je bila ugotovljena natančna morfologija potopljenih rogov sifona. Pod dobro vidnim prelomom na jugovzhodni steni, se na globini 15 m prične vodni rov, ki se spušča pod kotom 20°. Po kakšnih 20 m se zoži na višino 1,5 m in širino 4 m. Za ožino se sifon razširi v pravo dvorano široko od 8 do 10 m, višine 5-7 m, dolgo 120 m. Dvorana je polna prodnih blokov in velikih skalnih plošč. Tu imajo svoj dom podvodne živali, med njimi tudi človeška ribica. V globini 78 m se sifon nadaljuje navpično v globino.

Največja do sedaj dosežena globina znaša 160 m, ki ga je leta 2001 opravil italijanski jamski potapljač Casti, in je od gladine jezera oddaljena več kot 450 m. Dolžina do sedaj raziskanega rova je 426 m. Zahtevnost sifona in velika globina sta vzela življenja že štirim izkušenim raziskovalnim potapljačem. Od leta 1999 dalje je potapljanje v jezeru brez dovoljenja prepovedano.

6.2 Račevsko ali Smreško jezero

6.2.1 Splošno in lega Račevskega jezera

Račevsko ali Smreško jezero se nahaja 8 km iz Žirov, v občini Logatec, natančneje ob cesti Žiri – Vrhnika. Jezero leži jugovzhodno od žirovske kotline, v globoki kotanji na nadmorski višini 681 m, med Vrhom Svetih Treh Kraljev in Lavrovcem. Jezero je lepo na pogled, predvsem pa je čudovita njegova okolica. Gre za manjše jezero, ki je nastalo v povirju reke Račeve. Jezero je trikotne oblike, dolgo 120 metrov, široko 100 metrov in z največjo izmerjeno globino 5,5 metra. Sicer pa sama gladina vode zelo niha, saj jezero večkrat na leto presahne.



Slika 23: Račevsko jezero.

Vir: www.vrh-sv-treh-kraljev.si, pridobljeno 14. 2. 2016

Račevska dolina se pri Podlescu zoži v ozko grapo, ki se vzpenja proti Smrečju. Malo pod Smrečjem se odpre v poraščeno planoto, sredi katere se je ugnezdilo naše jezero. Okolica je poraščena z mogočnimi smrekovimi in jelovimi gozdovi, ki segajo vse do obale. Bližnja okolica je ravna, le tista stran, ki je obrnjena proti Vrhju Svetih Treh Kraljev, je strma. Nekoč je jezero kraljevalo mirno in samotno sredi zelenih gozdov. Nekaj kmečkih domov, ki so bila oddaljeni več sto metrov od jezera, je bilo dolga stoletja edina človeška civilizacija, katera je segla v ta samotni kraj. Povojna leta pa so prinesla nagel razvoj, ki je tudi tukaj pustil svoje sledove. Najprej so zgradili novo cesto Račeva –Smrečje in tako povezali Žiri z Vrhniko in Ljubljano po najbližji poti. Ta cesta se je na spodnjem delu čisto približala jezeru, a se je na srečo hitro oddaljila. Za človeka je bila nedvomno lepa pridobitev, za jezersko okolico pa je to pomenilo onesnaženje in izgubo miru. Cesta je namreč pripeljala poleg poštenih občudovalcev tudi brezvestneže, ki so skrunjevali gorsko naravo. Danes se v bližnji okolici nahaja manjši zaselek z devetimi stanovanjskimi hišami in štirimi počitniškimi hišicami, ki pa žal večino časa samevajo. V jezeru se je dalo kopati, ker se je voda v njem ob sončnem vremenu segrela tudi do 28°C. V teh časih pa je jezero v poletnih dneh presahne ali pa ima nizek vodostaj, zato kopanje v njem ni možno vsako leto.

Na območju Lavrovca danes živi 126 prebivalcev, na območju okrog jezera, v delu naselja Hlevni Vrh 33 prebivalcev, in v Smrečju 242 le teh. Na hidrološkem območju Račevskega jezera pa jih živi le približno 40. Približna polovica prispevne površine je pokrita z gozdom, četrtnina s travniki, zadnji del pa zavsemjo poseljene površine in prometna infrastruktura. Na obravnavanem območju ni razvite

industrije, prebivalci pretežno hodijo v službo v bližnje kraje in se vzporedno ukvarjajo s poljedelstvom in živinorejo.

Velik problem območja je nerazvita komunalna infrastruktura. Nekateri okoliški prebivalci imajo urejeno čiščenje odpadnih gospodinjstkih voda preko malih čistilnih naprav, vendar se v večini primerov odpadne vode še vedno odvajajo v greznice. Komunalni odpadki se zbirajo ločeno in sicer mešani odpadki in embalaža ločeno. Odvoz bioloških odpadkov trenutno še ni organiziran. Za zbiranje in odvoz odpadkov je zadolženo komunalno podjetje Logatec.



Slika 24: Lega Račevskega jezera.

Vir: www.geopedia.si, pridobljeno 16. 5. 2015

Po bližnjih gozdovih rastejo gobe, maline, zdravilna zelišča ... Predvsem pa je tukaj svežega, zdravega, gorskega zraka na pretek in tudi mir se še ni povsem umaknil iz tega kota. V okolici so lepe izletniške točke, kot je na primer Vrh ali pa Lavrovéc. Po bližnjih gozdovih se pase mnogo srnjadi, ne manjka pa niti druge divjadi, katera je značilna za te kraje: zajci, veverice, lisice, jazbeci ... Izmed rastlinja je bila najpomembnejša cvetlica blagajev volčin, ki je endemična, se pravi, da raste v celi Sloveniji samo v teh krajih, vendar jo danes žal skoraj ne zasledimo več. Ta cvetlica je sedaj zaščitena, prav tako kakor bodika, ki tudi raste v okolici.

Kakih bistvenih površinskih pritokov jezero nima, ima pa odtočni sifon, skozi katerega voda odteka v podzemlje. V primeru višjega vodostaja pa tudi površinski iztok v reko Račevo na SZ strani jezera. Gladina jezera se zelo spreminja in je odvisna je od vremena, letnega časa oziroma kolikor vode pač izhlapi ali odteče in priteče v jezersko kotlino in zapolnitve podzemnih rovov. Voda v jezeru je motna, ob sušnih obdobjih skoraj kalna. Vendar to ni onesnaženje, ki bi ga povzročil človek, je le posledica tal, na katerih leži jezero. Dno namreč ni apnenčasto, ampak je sestavljeno iz debelega blatnega sloja. To lahko lepo vidimo na obrežju, katero se iz čvrsto zaraščene gozdne ruše skoraj navpično spusti do gladine vode.

Jezero je verjetno prvi opisal idrijski profesor Kajetan Stranetzky. To je storil v zborniku Muzejskega društva za Kranjsko leta 1916. Stranetzky omenja, da so takrat jezero imenovali domačini Koroška luža. To ime naj bi izhajalo od tod, ker je bila v starih časih na Vrhcu Svetih Treh Kraljev znana romarska pot za Korošce. Ker jih je pot vodila mimo jezera, naj bi po njih dobilo ime. To ime je danes že pozabljeno. Zanimivo pa je, da ga pisatelj Lojze Zupanc v svoji knjigi Zlato pod Blegošem imenuje kot Račevsko jezero. To ime se sicer uporablja še danes, vendar med mlajšim rodom prevladuje tudi ime Smreško jezero, katerega je dobilo od bližnjega zaselka Smrečje.

O nastanku jezera obstaja tudi pripovedka. Zgodba pravi, da je na mestu, kjer danes leži jezero, nekoč stala bogata kmetija. Na kmetiji je bilo vsega na pretek. Le vode ni bilo v bližini, zato so jo s sodi vozili iz bližnje Račeve. Kakor pa je bil gospodar bogat, tako je bil tudi skop. Beračem ni privoščil niti plesnivega kruha in jih je podil od hiše. Nekoč je možil svojo hčer in pripravil bogato svatbo, ki je trajala tri dni in tri noči. Zadnji dan je mimo prišel ubog berač in poprosil za kos kruha. Trdosrčni gospodar pa mu je stisnil v roko trdo in plesnivo skorjo kruha. Ker je berač ni mogel jesti, je poprosil še za kozarec vina, da bi vanj namočil skorjo. Skopuh pa je stopil k sodu z vodo in je natočil poln kozarec. Ko pa je ponudil beraču vodo, se je ta razjezil in vzkliknil: »Da bi iz vašega soda zmeraj tekla voda!« Komaj je berač odšel, je iz soda pričela dreti voda. Svatje so poskušali zamašiti pipo, a jim ni uspelo. Voda je tekla še bolj in je tekla tako dolgo, da je preplavila kotlino. Od bogate kmetije ni ostalo niti sledi, nastalo pa je Račevsko jezero.

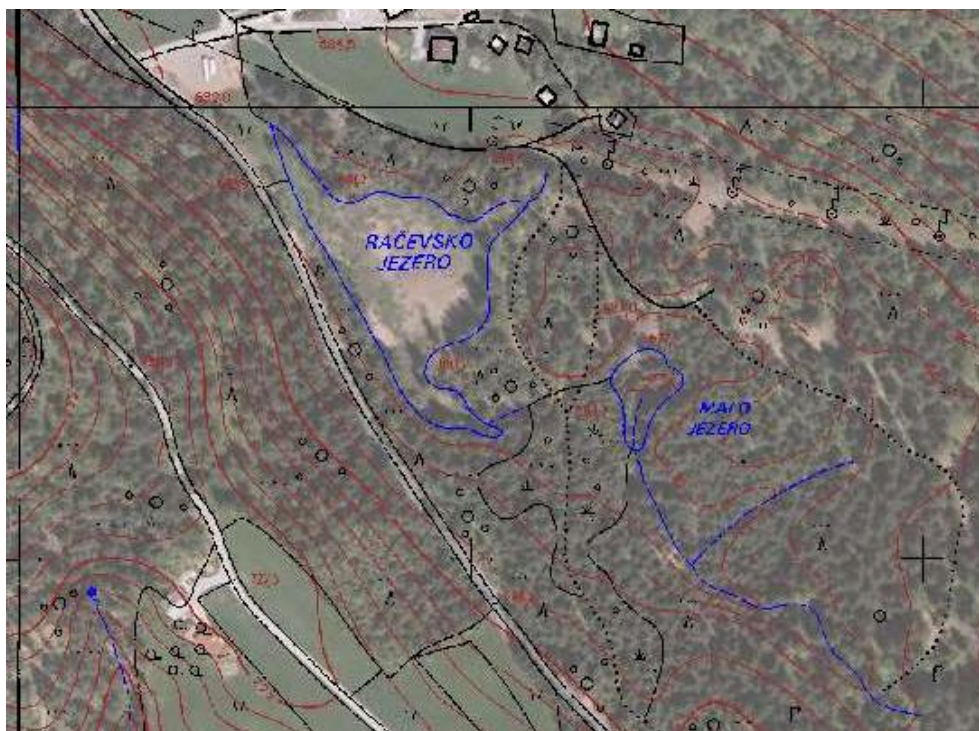
6.2.2 Morfometrija Račevskega jezera

Nastanek Račevskega oziroma Smreškega jezera naj bi bil povezan z geološkimi razmerami ob Sovodenjskem prelomu. Jezero je kraški fenomen sredi predalpskega sveta. Nastalo je na stiku neprepustnih groedenskih in prepustnih karbonatnih kamnin, v katerih so se izoblikovali odtočni kraški

vodni kanali. Kontakt kamnin ni viden, ker je prekrit s plastjo periglacialnega materiala, s katerim so bili v času poledenitev zapolnjeni kraški kanali. V sedanjih klimatskih razmerah pa so kraški kanali ponovno aktivni.

Jezero je nastalo zaradi kontakta med prepustnimi in neprepustnimi kamninami. V povirnem delu reke Račeve je le ta pritoke pridobivala iz desnega dela porečja, hkrati pa je zaradi omenjenega stika pričela izgubljati vodo, ki je skozi nastajajoče požiralnike v dnu doline odtekala v dolino Sore. S tem se je erozijska moč Račeve zmanjšala in zgornji del doline je posledično zaostal pri vrezovanju. V delu, kjer je Račeva izgubljala največ vode, pa je nastala kraška depresija s ponori, ki jo je šele v geološki sedanjosti znova dosegla erozija Račeve. V pleistocenu so se ponori oziroma depresije zatrpali zaradi nanašanja peščenega in ilovnatga periglacialnega gradiva do nadmorske višine 681 metrov. V halocenu pa se je kraški odtok obnovil in nasuta ravnica je z grezi razpadla na dve med seboj ločeni kotanji. Slaba prevotljenost v karbonatnih tleh, še posebno, ker so kanali zatrpani z naplavinami in glino, ovira podzemeljsko odtekanje vode, ki zdaj zastaja v jezeru.

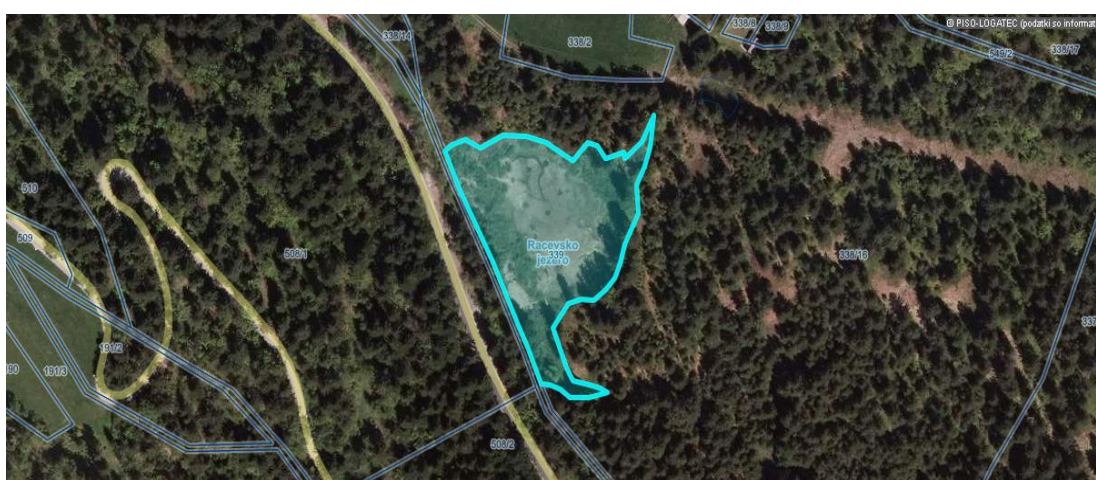
Račevsko jezero sestavljajo pravzaprav tri kotanje in sicer Račevsko jezero, Malo Račevsko jezero in suha kotanja.



Slika 25: Prikaz lokacije Malega jezera.

Kotanja Račevskega jezera je sestavljena iz periglacialnega gradiva in gre pravzaprav za aluvialno vrtačo. Kotanja je ovalne oblike, z daljšo osjo 134 metri in tremi zalivi, ki so jih izdelali nekdanji jezerski površinski pritoki. Na spletnem portalu PISO (prostorski informacijski sistem občin) sem pridobila podatek, da površina jezera znaša 7.077 m² in se nahaja na parcelni številki 339 k.o. Vrh v občini Logatec.

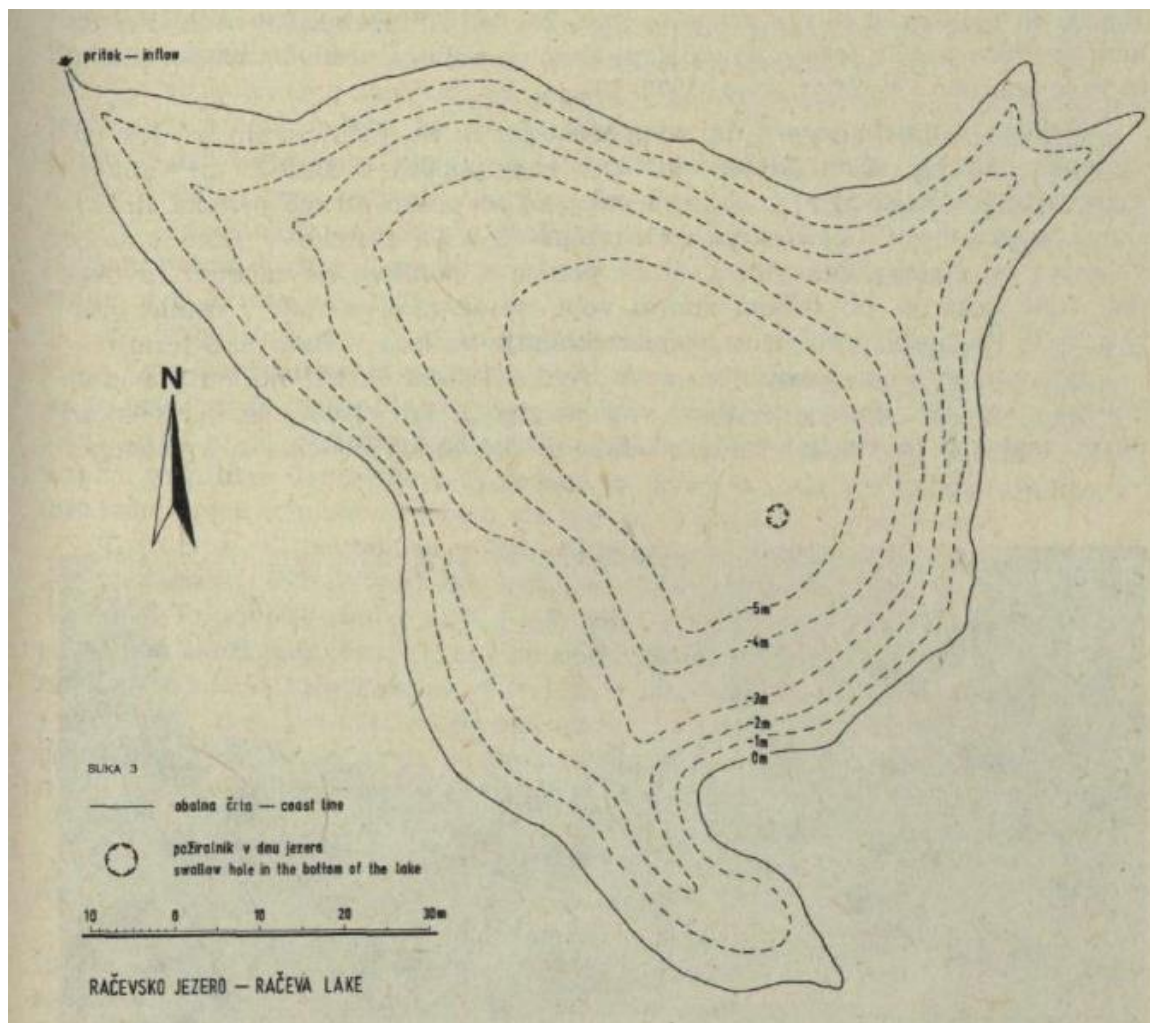
Največja izmerjena globina jezera je 5,5 metrov, povprečna pa 2,9 metra. Prostornina jezera torej znaša približno 24.800 m³.



Slika 26: Račevsko jezero.

Vir: www.geoprostor.si, pridobljeno 2. 6. 2015

Severni in vzhodni breg strmo padata proti dnu jezera, bregovi zalivov in zahodni breg pa so bolj položni. Dno se blago spušča proti JV, kjer se nahaja grez, v katerega ponika voda. Približno 50 metrov SV od Račevskega jezera se nahaja Malo Račevsko jezero. Gre za okrog 30 m² veliko prav tako presihajočo kotanjo. Malo Račevsko jezero je po govorjenju domačinov nastalo, ko so prek strug potoka nasuli gozdno pot. V vzhodni smeri od glavne kotanje Račevskega jezera je nastala še tretja kotanja, v naplavine vrezana suha kotanja, ki je slepa dolina potočka iz Jeličja. Kotanja je globoka okrog 6 metrov in je odprta navzgor v smeri pritoka. Ob višjem vodostaju voda odteka tudi v druge požiralnike, ki so v grezih naplavljenem delu kotanje.



Slika 27: Račevsko jezero

Vir: Mihevc, 1980

6.2.3 Hidrologija Račevskega jezera

Povodje Račevskega jezera je težko določljivo, zaradi njegovih kraških značilnosti in še neraziskanimi podzemnimi vodnimi povezavami. Dr. Andrej Mihevc je leta 1980 podal podatek, da Račevsko jezero dobiva vodo iz okolice, ki obsega 20 ha površine. Jaz sem oceno pridobila s pomočjo podatkov dostopnih na portalu PISO in Geopedia in jo ocenila na okoli 40 ha.

Površina prispevnega območja je sestavljena iz dveh delov, ki ločeno oddajata vodo v jezero, in sicer iz normalnega, s površinskim dotokom, in sufozijskega, s pretokom skozi preperlino. Na jezeru lahko v nizkem vodostaju opazimo en stalni površinski dotok in sicer potok, ki doteka iz Jeličja in izpod Lavrovca preko malega jezera in priteče v jezersko kotanjo na jugo-zahodni strani. Struga potoka je v zelo slabem, nevzdrževanem stanju. Zaraščena je z grmičevjem in vsebuje veliko naplavljenega vejevja

iz gozda v okolici. Ostalih površinskih dotokov, ko je voda pod normalno gladino, nisem opazila. Opazovala sem v obdobju od marca 2015 do januarja 2016.

V času večjih količin padavin je opaziti, da na vzhodni in jugovzhodni strani jezera oživijo mnogi hudourniki, ki dovajajo vodo v jezero, v suhih obdobjih pa so suhi. Ker pa se jezera konstantno polni in presiha, predvidevam, da se voda v jezero izceja iz kamnin na vzhodni strani oziroma izpod Lavrovca in Smrekovca, zato bom to območje obravnavala kot povodje Račevskega jezera.

Svet iz apnenca in dolomita na zahodni strani jezera je brez površinskih dotokov, zato je natančen potek razvodnice težko določiti. Razvodnica med Račevskim jezerom in Podliščico poteka po slemenih med Lavrovcem in Smrekovcem, razvodnica z Račevo pa poteka južno preko dna doline tik pod jezerom. Kot pa sem že omenila, lahko razvodnico na zahodni strani določimo le približno.

Monitoring nad jezerom se ne izvaja. Zato podatki o presihanju, globini, temperaturi vode, pretokih, dotokih in odtokih niso znani. Prav tako se ne izvaja monitoring nad kvaliteto vode v jezeru. Lahko le iz stališča opazovalca omenim, da je bilo jezero nazadnje napolnjeno leta 2010, in sicer v času poplav in večjih padavin v času od 17.-19. 9. 2010. Takrat je bilo zapolnjeno tudi Malo jezero in tretja suha kotlina jezera. Drugače pa jezero stalno spreminja svoj vodostaj. Gre za dotekanje skozi preperle kamnine in iztekanje skozi požiralnik na jugovzhodni strani jezerske kotline ali skozi iztok na SZ strani.

6.2.4 Rastlinstvo v okolici

Prst v okolici jezera je kislja, kar predstavlja odlične pogoje za rast borovničevega grmičevja in praproti v podrasti. Od drevesnih vrst prevladujejo iglavci in sicer bor ter smreka. Med listnatimi vrstami dreves najdemo javor, bukev. Med grmovnicami pa lesko in vrbo. Prirodno rastje okoli jezera je bil gozd, ki so ga za potrebe poselitve izkrčili, danes na teh površinah najdemo predvsem travnike. Pred časom je v okolici uspevala tudi ogrožena vrsta blagajev volčin.

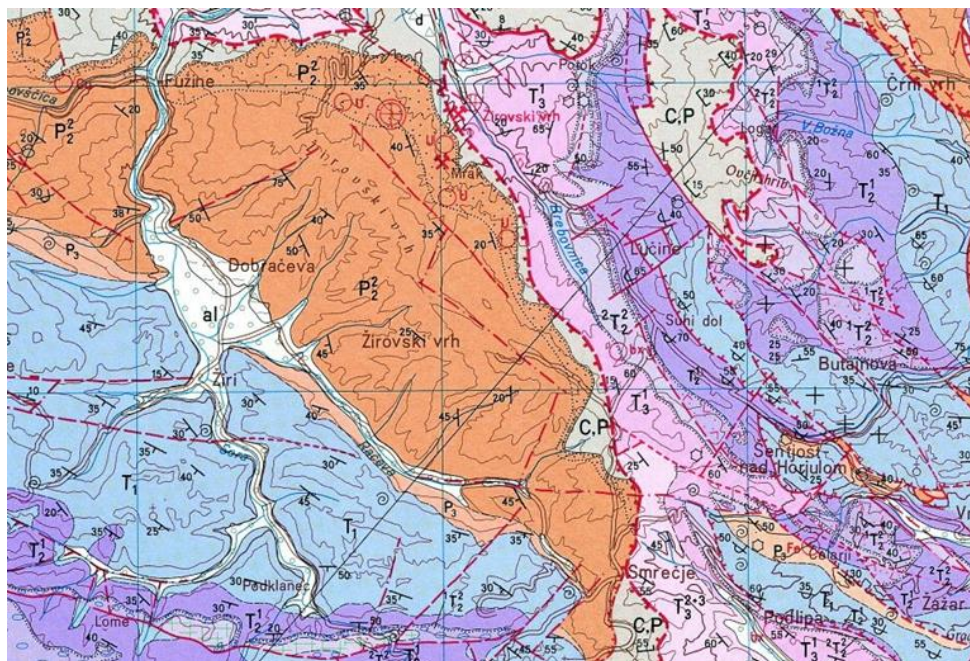
6.2.5 Geološka sestava tal v okolici Račevskega jezera

Reka Račeva je levi pritok Poljanske Sore in teče po 8 km dolgi dolini, ki se nahaja med masivnim Žirovskim vrhom in planotastimi Opalami, Goropekami in Hlevišami. Dolina Račeve se razpotega premočrtno v dinarski smeri, le v zgornjem delu se polkrožno ovije okrog hriba Lesec (745 m) in se konča v zatrepu podobnem povirju, ki obsega svet med Lavrovcem (890 m), Smrekovcem (795 m) in

slemenom med Vrhom Svetih Treh Kraljev s Smrekovcem. V tem zgornjem delu je na naplavljenem dnu nastalo Račevsko jezero.

Jezero spada med manjša jezera v Sloveniji, zato je bolj kot zaradi velikosti, zanimivo zaradi svoje lege na prehodu iz alpskega v dinarski svet. Jezero leži na stiku med nepropustnimi permskimi plastmi grōdenskih skrilavcev in peščenjakov ter prepustnimi skladi sivih apnencev in dolomitov, ki so prav tako permske starosti. Ta neposredni petrografski stik je prekrit z debelo, pretežno ilovnato preperino oziroma kvartarnimi, očitno periglacialnimi nanosi. V okolici jezera znaša debelina nanosa, sodeč po globini jezera in izoblikovanosti površja, najmanj 10 metrov.

Najstarejše kamnine v okolici Račevskega jezera so karbonske starosti. Najdemo jih v ozkem pasu ob severovzhodnem robu nariva v Žirovskem vrhu, ki leži severno od Lavrovca in Smrekovca. Proti jugovzhodu sledi širok pas konglomeratov, peščenjakov in skrilavcev, ki gradijo Lavrovec, Smrekovec oziroma desno polovico Račevske doline. Dolomit in apnenec permske starosti gradita jugozahodna pobočja Račevske doline. Na njih ležijo triasni lapornati apnenci, dolomiti in peščenjaki. Del tega površja je kraški, manjši del pa površinsko oddaja vodo v Soro in njen desni pritok v Sovro (A., Mihevc, 1980).



Slika 28: Obravnavano območje srednjeperskih kamnin v Škofjeloškem hribovju. Na izrezu iz geološke karte v merilu 1 : 100.000 je označeno z rjavo barvo. Izsek iz Osnovne geološke karte SFRJ, lista Kranj.

Severovzhodna pobočja so torej iz nepropustnih kamnin, jugovzhodna pa iz prepustnih, delno zakraselih kamnin. To se odraža tudi v asimetrično izoblikovani dolini reke Račeve, oziroma asimetričnosti porečja. Severovzhodna pobočja so manj strma. Iz teh pobočij pritekajo v reko Račevo številni pritoki in jo z nanosi odrivajo k nasprotnim pobočjem. Z leve strani ne dobiva pritokov, zato je ta svet nerazčlenjen, zaradi odpornejših kamnin tudi strmejši.

7 IZRAČUN OBREMENITEV S HRANILI IZ PRISPEVNIH POVRŠIN

7.1 Določitev prispevnih površin

Vnos hranil v Račevsko in Divje jezero je odvisen od lastnosti prispevnih površin in sicer velikosti in rabe površin, vrste prsti, količine padavin, površinskega odtoka, poselitve, industrije in prometa.

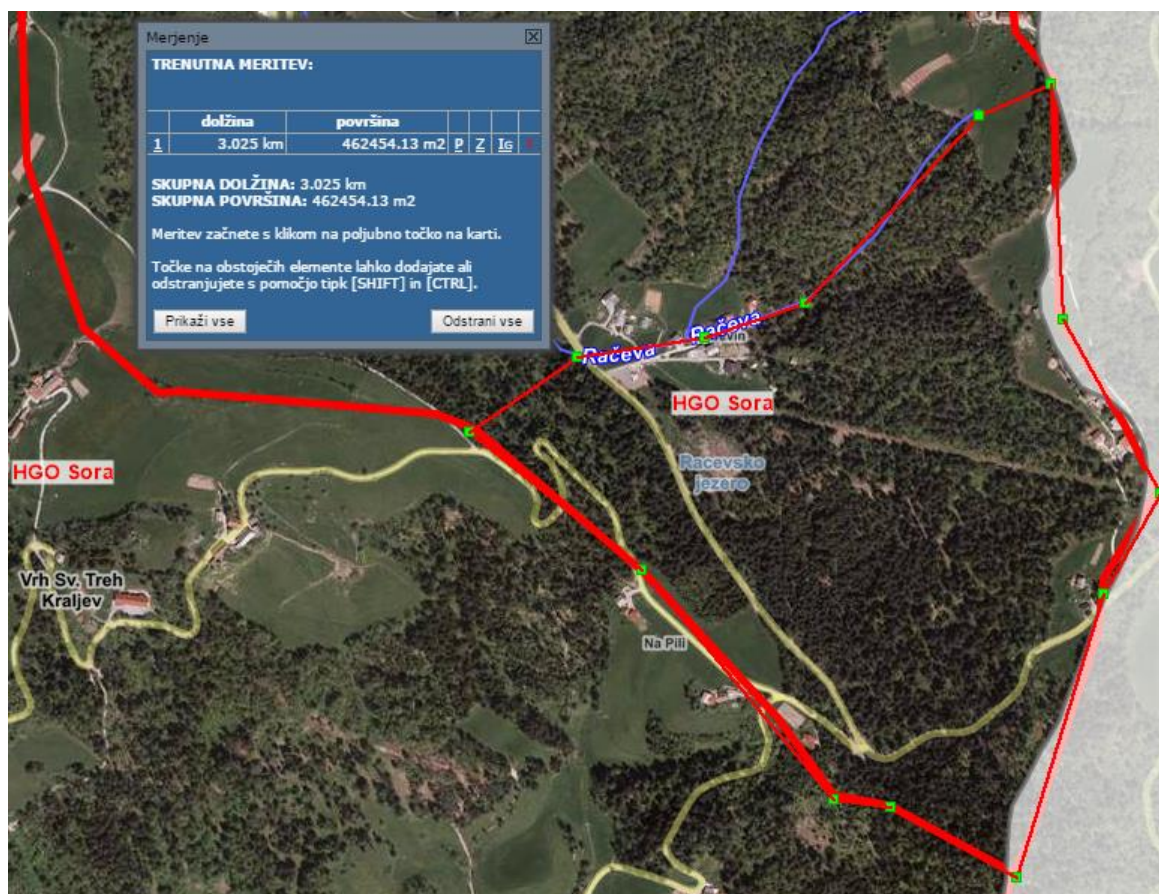
7.1.1 Prispevno območje Račevskega jezera

Račevsko jezero se nahaja v hidrografskem območju reke Sore. Glede na pridobljeno hidrografsko karto iz informacijskega portala PISO, Račevsko jezero nima stalnih površinskih dotokov. Kot pa sem že omenila pobočje Lavrovca, Vrha Svetih Treh Kraljev in Smrekovca, ločuje hidrografsko območje reke Račeve od hidrografskega območja Podlipščice oziroma Ljubljanice. S pomočjo spodnje karte, ki jo prikazuje Slika 29, sem določila površino prispevnega območja Račevskega jezera.



Slika 29: Hidrografsko območje reke Sore ob Račevskem jezeru.

To sem storila tako, da sem v prostorskem portal PISO narisala poligon, ki poteka po meji hidrografskega območja in ob najbližjem izviru reke Račeve izpod Lavrovca. Poligon meri 462.454 m² oziroma 46,25 ha.



Slika 30: Določitev površine prispevnega območja Račevskega jezera.

Vir: www.geoprostor.si, pridobljeno 30. 9. 2015

7.1.2 Prispevno območje Divjega jezera

Hidrološko zaledje Divjega jezera se preučuje že več desetletji. Površina celotnega zaledja Divjega jezera in izvirov Podroteje je glede na geološko zgradbo in dokazane povezave med požiralniki ocenjeno na 125 km². Glede na vodno stanje se ob visokih vodah zbiralna zaledja povečajo, ob nizkih pa zmanjšujejo. Z metodo barvanja vode so dokazali, da se stekajo v Divje jezero in Podretejske izvire vode iz območij Vodice, Javornika, Kanjskega dola in Mrzlega loga, Zadloga, tja do obrobja Križne gore, osrednjega dela Črnovrške planote in Koševnika, Loma, zahodnega dela Novega Sveta ter delno iz okolice Hotedršice, Medvedjega Brda, Jeličnega Vrha in doline Zale. Prispevno območje Divjega jezera

se razprostira čez več občin in sicer občine Idrija, Logatec in Ajdovščina. Največji delež pripada občini Idrija in sicer okoli 81 km², 30 km² prispevnega območja pripada občini Logatec in 14 km² občini Ajdovščina.

7.2 Klasifikacija prispevnih površin

Obremenitev voda s hranili, ki prispejo iz kmetijskih površin, je odvisna od načina kmetijske prakse, vrste prsti, intenzivnosti padavin, vrste pridelka in nagnjenosti površin. Za izračun vnosa fosforja in dušika iz kmetijskih površin pa potrebujemo podatke o površini določenih tipov zemljišča, srednje koncentracije padavinskih voda iz kmetijskih površin, podatke o količinah padavin in koeficient odtoka ϕ . Namesto podatkov o količinah padavin in koeficienta odtoka lahko uporabimo tudi neposredne podatke o letnem povprečnem površinskem odtoku za določeno območje.

S pomočjo spletnih orodji GIS iObčina, PISO in Atlas okolja sem določila posamezne rabe tal na prispevnih območjih za posamezno jezero. Za Račevsko jezero in del prispevnega območja Divjega jezera, ki se nahaja na območju občine Logatec, sem uporabila spletni portal PISO za preostali del prispevnega območja Divjega jezera pa spletno orodje GIS iObčina. Specifikacijo prispevnih območji prikazujeta Preglednica 7 in Preglednica 8.

Preglednica 7: Raba tal na prispevni površini Račevskega jezera

Račevsko jezero		
Raba tal	Delež	Površina
	[%]	[ha]
Gozd	76	35,2
Trajni travnik	13,5	6,25
Urbane površine	4,5	2,1
Cesta	2,9	1,3
Jezero	1,5	0,7
Travniki v zaraščanju	1,3	0,6
Njive oziroma vrtovi	0,3	0,15
Skupaj	100	46,3

Preglednica 8: Raba tal na prispevni površini Divjega jezera

Divje jezero		
Raba tal	Delež	Površina
	[%]	[ha]
Gozd	66	8.304,10
Trajni travnik	25	3.069,00
Urbane površine	3	354,04
Cesta	5	650,00
Njive oziroma vrtovi	1	122,86
Skupaj	100,00	12.500,00

Kot pričakovano največji delež obeh zaledij pokriva gozd. Najmanjši del pa njive oziroma vrtovi.

7.2.1 Določitev letnih količin padavin

S pomočjo Spletne strani Agencije Republike Slovenije za okolje, ARSO, sem pridobila podatke o letnih količinah padavin v mm na najbližjih vremenskih postajah. Za Račevsko jezero sem privzela vremensko postajo, ki se nahaja v naselju Rovte; (lon=14.2, lat=46, viš=700 m). Za to padavinsko postajo sem se odločila, ker je najbližja opazovanemu jezeru in se prav tako nahaja v hidrološkem območju reke Sore. Podatek za leto 2007 žal ne obstaja, iz tega razloga pa sem za izračun uporabila podatek iz meteorološke postaje v Žireh.

Za padavine v hidrološkem območju Divjega jezera sem izbrala podatke iz treh meteoroloških postaj in sicer Črni vrh nad Idrijo (lon=14, lat=45.9, viš=683 m), Otlica (lon=13.9294, lat=45.9175, viš=820 m) in meteorološko postajo Hotedršica (lon=14.1, lat=45.9, viš=550 m). Leto 2015 še ni zaključeno, zato sem pridobila na portalu podatke od leta 2004-2014.

S pomočjo podatkov sem izračunala povprečno letno višino padavin v desetih letih. Ta za padavinsko postajo Rovte znaša 1924 mm, za naše izračune pa bomo privzeli vrednost 1920 mm. Povprečne desetletne vrednosti, ki sem jih privzela za izračun za preostale meteorološke postaje, znašajo 1899 mm za padavinsko postajo Hotedršica, Otlica 2260 mm in 2395 mm padavin za padavinsko postajo Črni Vrh

nad Idrijo v obdobju od leta 2004 do leta 2014. Letne količine padavin po posameznih postajah prikazujeta Preglednica 9 in Preglednica 10.

Preglednica 9: Letne količine padavin za padavinsko postajo Rovte

Padavinska postaja	
Rovte (lon=14.2, lat=46, viš=700 m)	
Leto	Padavine [mm]
2004	2169.2
2005	1707.9
2006	1533.6
2007	1433.2
2008	1897.8
2009	1924
2010	2495.6
2011	1288.2
2012	1587.8
2013	1883.1
2014	2276.3

Vir: <http://meteo.arso.gov.si>, pridobljeno 17. 9. 2015

Preglednica 10: Letne količine padavin za padavinsko postajo Črni Vrh nad Idrijo, Hotedršica, Otlica

Padavinska postaja			
	Črni Vrh nad Idrijo	Hotedršica	Otlica
	(lon=14, lat=45,9, viš=683 m)	(lon=14,1, lat=45,9, viš=550 m)	(lon=13,9294, lat=45,9175, viš=820 m)
Leto	Padavine [mm]	Padavine [mm]	Padavine [mm]
2004	2431,8	2171,2	2211,8
2005	2181,2	1765,4	1959,9
2006	1997,2	1458,8	1700,9
2007	1909,5	1394,3	1647,5

Se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 10

2008	1770,1	2182,4	2384,8
2009	2629,7	2028,7	2449,9
2010	3826,1	2555,8	3458,6
2011	1725,2	1336	1619
2012	2188,5	1634,1	1913,4
2013	2741,2	2022	2683,6
2014	2942,5	2336,4	2825,6

Vir: <http://meteo.arso.gov.si>, pridobljeno 19. 9. 2015

S pomočjo pridobljene letne višine padavin, ki jih prikazujeta Preglednica 9 in Preglednica 10, in velikostjo posameznih tipov rabe tal na prispevnem območju sem lahko nadaljevala z izračunom. Računala sem z desetletnim povprečjem padavin iz padavinske postaje Rovte in padavinske postaje Črni Vrh nad Idrijo za Divje jezero. Za desetletno povprečje iz padavinske postaje Črni Vrh nad Idrijo sem se odločila, ker so bile na tem območju izmerjene višje količine padavin kot na ostalih dveh padavinskih postajah.

Potrebovala sem srednje koncentracije padavinskih vod c_p iz kmetijskih površin. Te sem pridobila iz različnih virov. Ker vrednosti za gozd v prilogi B. Panjan ni podal, sem jih poiskala pri drugih avtorjih in so prikazani v Preglednica 11.

Preglednica 11: Letni iznos celotnega fosforja in dušika po različnih avtorjih

	Gozd [kg/ha*leto]	Gozd, nediferenciran [kg/ha*leto]
Celotni fosfor	0,05	0,02-0,45
Celotni dušik	3,9	/

Podatki o srednjih vrednostih so v različnih enotah. Najbolj nazorna pa je predstavitev v kg/leto, da to lahko storimo, pa potrebujemo podatke o količini padavin v mm, ki jih prikazujeta Preglednica 9 in Preglednica 10.

Poleg višine padavin je potrebno upoštevati še koeficient odtoka φ , ki pa se neprestano spreminja predvsem zaradi vremenskih okoliščin. Koeficienti odtoka prikazuje PRILOGA A. Kolar navaja koeficient odtoka za parke, vrtove in travnike v vrednosti od 0,05-0,25. Jaz sem izbrala vrednost 0,125. Tako lahko po splošni enačbi, ki je prikazana spodaj, izračunamo vnos fosforja ali dušika v kilogramih na leto.

Padavine [l/m^2 leto] * koef. odtoka [l]*srednja koncentracija v padavinskih vodah [mg/l]= vnos fosforja in dušika[mg/ m^2 leto]

$$\text{fosfor, dušik} \left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^2 \text{leto}} \right] = P\varphi c_p$$

P ... padavine [l/m^2 leto]

φ ... koeficient odtoka [-]

c_p ... srednja koncentracija v padavinskih vodah [mg/l]

Preglednica 12: Vnos fosforja v Račevsko jezero iz posamezne kategorije zemljišč

Račevsko jezero						
Fosfor						
Raba tal	Površina [ha]	Padavine [l/m^2 leto]	φ [l]	c_p [mg/l]	Količina vnosa [kg/leto]	Delež [%]
Gozd	35,2				3,52	17
Trajni travnik	6,25	1920	0,125	1,05	15,75	78
Travniki v zaraščanju	0,6	1920	0,125	0,35	0,504	3
Njive oziroma vrtovi	0,15	1920	0,125	1,05	0,378	2
Skupaj	42,2				20,152	100

Preglednica 13: Vnos fosforja v Divje jezero iz posamezne kategorije zemljišč

Divje jezero						
Fosfor						
Raba tal	Površina [ha]	Padavine [l/m²leto]	φ[/]	c_p [mg/l]	Količina vnosa [kg/leto]	Delež [%]
Gozd	8.304,10	2395			830,40	8
Njive oz. vrtovi	122,86	2395	0,125	1,05	386,17	4
Travniki	3.069,00	2395	0,125	1,05	9.646,48	89
Skupaj	11.495,96				10.863,05	100

Preglednica 12 in Preglednica 13 prikazujeta vnos fosforja iz posameznih kategorij zemljišč. Za vnos iz gozda sem privzela vrednost 0,1 kg/ha*leto. Te vrednosti nam prikazuje Preglednica 11. Iz celotnega vodozbirnega območja pride v Račevsko jezero 20,20 kg fosforja na leto. Največji delež, in sicer 78 % predstavlja vnos fosforja iz trajnih travnikov, 17 % iz travnikov, preostali delež pa iz njiv oziroma vrtov. V Divje jezero se iz prispevnega območja letno zbere 10.863,05 kg fosforja. 89 % fosforja prispevajo travniki. Njive in vrtovi prispevajo 4 %, preostanek in sicer 8 % pa gozdovi.

Spodaj sledijo izračuni količin elementa dušika, ki letno preidejo v obravnavani jezери iz posameznih prispevnih površin.

Preglednica 14: Vnos dušika iz posamezne kategorije zemljišč v Račevsko jezero

Račevsko jezero						
Dušik						
Raba tal	Površina [ha]	Padavine [l/m²leto]	φ[/]	c_p [mg/l]	Količina vnosa [kg/leto]	Delež [%]
Gozd	35,2				137,28	77
Trajni travnik	6,25	1920	0,125	2,6	39	22
Travniki v zaraščanju	0,6	1920	0,125	0,8	1,152	1
Njive oziroma vrtovi	0,15	1920	0,125	2,6	0,936	1
Skupaj	42,2				178,368	100

Preglednica 14 nam prikazuje vnos dušika iz prispevnega območja Račevskega jezera. Račevsko jezero letno pridobi iz prispevnega območja 178 kg dušika. Za izračun količin, ki jih v jezero prispeva površina, porastla z gozdom, sem privzela vrednost 3,9 kg/(ha*leto).

V Račevsko jezero največjo količino dušika prispeva območje poraslo z gozdom, saj tudi pokriva največji del vodozbirnega območja. Gozd prispeva 77 % delež vsega dušika, ki zaide v jezero iz kmetijskih površin. 22 % dušika prispevajo travniki, preostanek pa njive, ker predstavljajo tudi njamanjši delež pokritosti vodozbirnega območja.

Monitoring nad kakovostjo vode se za Račevsko jezero ne izvaja, zato lahko samo predvidevam, da je onesnaženje z dušikom in fosforjem izrazito v pomladnih mesecih, ko okoliški kmetje gnojijo z gnojivko in umetnimi gnojili travnike in njive oziroma vrtove. Takrat je vegetacija v začetni fazi rasti ali pa še sploh ni posejane oziroma posajena, zato še ne more vsrkati celotne količine hranil. Se pa v pomladnih mesecih gnojenje tudi zaključi.

Preglednica 15: Vnos dušika iz posamezne kategorije zemljišč v Divje jezero

Divje jezero						
Dušik						
Raba tal	Površina [ha]	Padavine [l/m²leto]	ϕ[/]	c_p [mg/l]	Količina vnosa [kg/leto]	Delež [%]
Gozd	8.304,10	2395			32.385,99	57
Njive oz. vrtovi	122,86	2395	0,125	2,6	956,24	2
Travniki	3.069,00	2395	0,125	2,6	23.886,52	42
Skupaj	11.495,96				57.228,74	100

Preglednica 15 nam prikazuje letne vnose dušika iz posameznih prispevnih površin Divjega jezera. V Divje jezero po mojih izračunih letno prispe 57.228,74 kg dušika. Gozd pokriva največji del prispevne površine in prispeva 57 % delež vsega letnega vnosa dušika. Njive prispevajo 2 %, preostali 42 % delež pa travniki.

7.2.2 Vnos iz utrjenih površin

Vodozbirno območje Račevskega jezera ni izrazito urbanizirano, temveč gre za raztreseno poselitev območja s posameznimi stanovanjskimi hišami in počitniškimi hišicami. Na območju prebiva okrog 40 prebivalcev. Po podatkih Statističnega urada Republike Slovenije je bila leta 2013 gostota prebivalstva v občini Logatec enaka 79 prebivalcev/km², kar je nižje od slovenskega povprečja.

Urbano površine zavzemajo le 4 % celotne površine prispevnega območja Račevskega jezera. Gre za redko poseljeno vaško naselje, zato sem za srednjo koncentracijo onesnažil izbrala vrednosti 0,2 mg/l za celokupni dušik in 0,1 mg/l za celokupni fosfor, ki nam jih podaja Panjan v PRILOGI C. Letno priteče v jezero 0,35 kg celokupnega fosforja in 0,70 kg celokupnega dušika. Rezultate prikazujeta Preglednica 16 in Preglednica 17. Zaradi nizke gostote prebivalstva so vrednosti sicer majhne, vendar je glavni problem območja, da na njem ni urejen odtok odpadnih voda v kanalizacijo in dalje na javno čistilno napravo, ali kakor je bolj v praksi za razpršeno poselitev na male čistilne naprave oziroma hišne čistilne naprave.

Preglednica 16: Vnos fosforja iz utrjenih površin v Račevsko jezero

Račevsko jezero					
Fosfor					
Število prebivalcev [P]	Površina urbanih površin [ha]	ϕ [/]	Padavine [l/m ² leto]	c_p [mg/l]	Količina vnosa [kg/leto]
40	0,6	0,3	1920	0,1	0,35

Preglednica 17: Vnos dušika iz utrjenih površin v Račevsko jezero

Račevsko jezero					
Dušik					
Število prebivalcev [P]	Površina urbanih površin [ha]	ϕ [/]	Padavine [l/m ² leto]	c_p [mg/l]	Količina vnosa [kg/leto]
40	0,6	0,3	1920	0,2	0,70

Na območju prispevnega območja Divjega jezera živi okoli 2991 prebivalcev. Področja naselij Medvedjega Brda in Jeličnega Vrha v izračunih nisem upoštevala. Število prebivalcev po naseljih prikazuje Preglednica 18.

Preglednica 18: Število prebivalcev po naseljih

Naselje	Število prebivalcev [P]
Črni Vrh	552
Godovič	757
Idrijski Log	84
Zadlog	292
Mrzli Log	24
Lome	115
Kanji Dol	11
Javornik	1
Novi Svet	111
Hotedršica	556
Podkraj	437
Vodice	51
Skupaj	2991

Vir: Kržišnik, Šimenc, Rejc, www.stat.si, pridobljeno 6. 1. 2016

Med urbana in delno urbanizirana območja Divjega jezera lahko štejemo tri območja. To so naselje Hotedršica, ki se nahaja v občini Logatec, ter Godovič in Črni Vrh nad Idrijo, ki pripadata občini Idrija. Površina naštetih pozidanih območij v omenjenih naseljih znaša 138,80 ha. Preostalih 215,24 ha pozidane površine pa predstavlja razpršena poselitev po ostalih zaselkih. Celotna površina pozidane površine skupaj znaša 354,04 ha. Podatki so bili pridobljeni na spletni strani <http://rkg.gov.si/GERK/> dne 31. 12. 2015. Aglomeracija Godovič ima urejeno odvajanje meteornih vod v kanalizacijsko omrežje in čiščenje na javni čistilni napravi, zato sem izvedla dodaten izračun pod poglavjem 7.2.5 Vnos iz javnih čistilnih naprav. Tako so izračuni v tem poglavju narejeni za Hotedršico, Črni Vrh in ostalo pozidano površino.

Obremenitev s fosforjem in dušikom je odvisna od količine padavin, števila prebivalstva, gostote poselitve, koeficienta odtoka in velikosti površin naselij. Enako kot za Račevsko jezero sem tudi za Divje jezero iz PRILOGE C določila, da padavinsko onesnažene vode iz utrjenih površin za vaško naselje vsebujejo 0,2 mg/l ($N_{\text{celokupni}}$) in 0,1 mg/l ($P_{\text{celokupni}}$) koncentracije onesnažil.

Preglednica 19: Vnos fosforja in dušika iz utrjenih površin aglomeracij prispevnega območja Divjega jezera

Divje jezero							
Fosfor							
Naselje	Število prebivalcev [P]	Površina naselja [ha]	Gostota poselitve [P/ha]	Koef. odtoka ϕ[/]	Padavine [l/m²leto]	c_p [mg/l]	Količina vnosa [kg/leto]
Črni Vrh	552	39,65	14	0,2	2395	0,70	132,9
Hotedršica	556	30,37	18	0,2	1899	0,70	80,7
Ostalo	1126	215,24	5	0,15	2395	0,10	77,3
Skupaj							291,0
Dušik							
Naselje	Število prebivalcev [P]	Površina naselja [ha]	Gostota poselitve [P/ha]	Koef. odtoka ϕ[/]	Padavine [l/m²leto]	c_p [mg/l]	Količina vnosa [kg/leto]
Črni Vrh	552	39,65	14	0,2	2395	1,20	227,9
Hotedršica	556	30,37	18	0,2	1899	1,20	138,4
Ostalo	1126	215,24	5	0,15	2395	0,20	154,6
Skupaj							521,0

Letno prispevajo naselja 291 kg fosforja v Divje jezero. Od tega 80,7 kg priteče iz Hotedršice, 132,9 kg iz območja Črnega Vrha in preostanek 77,3 kg iz ostalih pozidanih površin na celotnem območju prispevnega območja Divjega jezera.

Skupna količina dušika za prispevno območje Divjega jezera znaša 521 kg. 138,4 kg prispeva območje občine Logatec oziroma naselje Hotedršice, 227,90 kg območje Črnega Vrha in preostala pozidana površina prispeva 154,60 kg. Rezultate vnosa dušika in fosforja iz utrjenih površin prikazuje Preglednica 19.

7.2.3 Vnos iz cest

Cesta je linijski element, zato sem za pridobitev površine cest upoštevala dolžino posameznih odsekov, za povprečno širino vseh cest pa sem privzela 6 m in s pomočjo te vrednosti izračunala površino, ki jih na območju zavzemajo ceste.

Kljub temu da območje hidrološkega zaledja Račevskega jezera ni izrazito urbanizirano, poteka mimo jezera prometna občinska cesta, ki povezuje Žiri z Vrhniko. Na vodozbirnem območju predstavlja cesta 1,3 ha površine, ki jo tvori že omenjena občinska cesta Žiri – Vrhnika in delčki lokalnih cest v krajevni skupnosti Vrh Svetih Treh Kraljev.

V primeru cest imamo v PRILOGI D podane primerjave vrednosti med padavinskimi vodami, ki iztekajo iz cest in deževnico. Izbrala sem vrednosti za dušik in celokupni fosfor. Za koeficient ϕ sem iz PRILOGE A izbrala vrednost 85 %. Letno v jezero iz cestišča zaide 5,9 kg fosforja in 42,4 kg dušika. Rezultat prikazuje Preglednica 20.

Preglednica 20: Vnos dušika in fosforja iz cestišča

Račevsko jezero					
Fosfor					
Število prebivalcev [P]	Površina ceste [ha]	ϕ[/]	Padavine [l/m²leto]	c_p [mg/l]	Količina vnosa [kg/leto]
40	1,3	0,85	1920	0,28	5,9
Račevsko jezero					
Dušik					
Število prebivalcev [P]	Površina ceste [ha]	ϕ[/]	Padavine [l/m²leto]	c_p [mg/l]	Količina vnosa [kg/leto]
40	1,3	0,85	1920	2	42,4

Na celotnem območju prispevne površine Divjega jezera se ceste razprostirajo na 650 ha, ker pa velik del predstavljajo gozdne ceste in ceste, ki potekajo na območju naselja Godovič, ki ima urejeno odvajanje meteornih voda v kanalizacijo sem za izračun površino cest zmanjšala na 500 ha.

Preglednica 21: Vnos dušika in fosforja iz cest na prispelnem območju Divjega jezera

Divje jezero					
Fosfor					
Padavinska postaja	Površina ceste [ha]	ϕ[/]	Padavine [l/m²leto]	c_p [mg/l]	Količina vnosa [kg/leto]
Črni Vrh nad Idrijo	500	0,85	2395	0,28	2.849

Dušik					
Padavinska postaja	Površina ceste [ha]	ϕ[/]	Padavine [l/m²leto]	c_p [mg/l]	Količina vnosa [kg/leto]
Črni Vrh nad Idrijo	500	0,85	2395	2	20.356

Za količino padavin sem izbrala desetletno povprečje iz padavinske postaje Črni Vrh, koeficient odtoka pa 85 %. Tako sem izračunala, da iz cest v Divje jezero steče 2.849,80 kg fosforja in 20.356 kg dušika. Rezultate in izbrane koeficiente prikazuje Preglednica 21.

7.2.4 Vnos iz gospodinjstev

Na obravnavanem območju prispevnih površin Račevskega jezera ni urejenega odvajanja komunalnih voda na čistilno napravo, saj se vsa hišna odpadna voda odvaža neposredno v bližnji potok ali pa se zbira v greznicah.

PRILOGA E podaja, da se koncentracije celokupnega dušika nahajajo med vrednostmi 15-90 mg/l, vrednosti celokupnega fosforja pa med 5-20 mg/l. V PRILOGI G pa je Panjan navedel, da vsak PE dnevno prispeva 13,9 g dušika in 2,3 g fosforja.

V članku Ocena vpliva fosforja iz kmetijstva na eutrofikacijo površinskih voda v krajinskem parku Goričko pa avtorja Ilić in Panjan navajata, da 1 PE proizvede 13 g/dan dušika in 2 g/dan fosforja. Iz tega dobimo sledeče podatke, da 40 prebivalcev na prispelnem območju Račevskega jezera proizvede 29,2 kg fosforja na leto in 189,8 kg dušika na leto.

Preglednica 22: Vnos fosforja in dušika z odpadno vodo iz gospodinjstev

Račevsko jezero			
Naselje	Število prebivalcev [P]	Fosfor [kg/leto]	Dušik [kg/leto]
Hlevni Vrh	40	29,2	189,8

Na prispevnem območju Divjega jezera se nahaja 13 naselji. Od tega je le Godovič priključen na kanalizacijo in čistilno napravo in zato je izračun opravljen v poglavju 7.2.5 in so upoštevani podatki o iztoku iz javne čistilne naprave.

Preglednica 23: Vnos fosforja in dušika z odpadno vodo iz gospodinjstev v Divje jezero

Naselje	Število prebivalcev [P]	Fosfor [kg/leto]	Dušik [kg/leto]
Črni Vrh	552	402,96	2619,24
Idrijski Log	84	61,32	398,58
Zadlog	292	213,16	1385,54
Mrzli Log	24	17,52	113,88
Lome	115	83,95	545,675
Kanji Dol	11	8,03	52,195
Javornik	1	0,73	4,745
Novi Svet	111	81,03	526,695
Hotedršica	556	405,88	2638,22
Podkraj	437	319,01	2073,565
Vodice	51	37,23	241,995
Skupaj	2234	1.630,82	10.600,33

Preglednica 23 prikazuje, da gospodinjstva, ki nimajo urejenega odvajanja odpadnih voda na čistilno napravo, prispevajo v Divje jezero letno 1.630 kg fosforja in 10.600 kg dušika.

7.2.5 Vnos iz javnih čistilnih naprav

Odvajanje na javno čistilno napravo ima urejeno naselje Godovič. Čistilna naprava Godovič je projektirana za 500 PE in trenutno deluje na zgornji stopnji zmogljivosti. Očiščena voda se iz čistilne naprave odvaja v kraški požiralnik. Smer podzemnega toka pa je usmerjena proti Divjemu jezeru in

zviru Podroteja, ki sta od čistilne naprave oddaljene okoli 7 km. Približno 30 m od čistilne naprave je urejeno ponikalno polje. Prostornina ponikalnice ustreza povprečni dnevni količini očiščene vode. Med dnom ponikalnega polja in maksimalno gladino podtalnice pa se nahaja sloj filternega materiala. Planirana je nadgradnja čistilne naprave na 1000 PE z možnostjo dodatne nadgradnje na 1500 PE, vendar glede na razpoložljiva sredstva se projekt ne bo začel z realizacijo prej kot v naslednjih dveh letih. Čistilna naprava sodi med male komunalne čistilne naprave in skladno s 5. členom Uredbe o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz MKČN (Ur. l. RS, št. 98/07 in 30/10) oziroma 8. členom nove Uredbe o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode (Ur. l. RS, št. 98/15) je na iztoku potrebno meriti le kemijsko (KPK) in biokemijsko potrebo po kisiku (BPK₅), ne pa tudi dušika in fosforja, zaradi česar s podatki o koncentracijah upravljalec ne razpolaga. Vrednosti je potrebno meriti dvakrat na leto vsaki dve leti. Meritve so bile izvedene v letu 2013 in 2015. Rezultate prikazuje Slika 31.

Zap. št.	Datum	Vreme	DOTOK					IZTOK					skupni pretok med vzorčenjem (m ³)	T zraka (°C)	učinek čiščenja po KPK (%)	učinek čiščenja po BPK ₅ (%)
			opis vzorca	pH	KPK (mg/l)	BPK ₅ (mg/l)	T vode (°C)	opis vzorca	pH	neraztopljene snovi (mg/l)	KPK (mg/l)	BPK ₅ (mg/l)				
									150	30						
12	apr. 13	24.4.2013		8,9	390	260	6,9	8,3	32	6	9,4		11,5	91,8	97,7	
13	okt. 13	1.10.2013		8,2	440	220	13,2	8	38	10	14,4		10,5	91,4	95,5	
14	mar. 15	30.3.2015	delno oblačno	8,22 - 8,39	452	162	8,1 - 8,3	7,66 - 7,85	42	9	8,2 - 9,0		9	90,7	94,4	
15	nov. 15	3.11.2015	sončno	8,37	694	547	10,7	7,6	30	9	11,3	13,247	10	95,7	98,4	

Slika 31: Meritve na ČN Godovič

Vir: Šimenc, 20. 1. 2016

Na čistilni napravi se je v letu 2013 očistilo 23.665 m³, v letu 2014 22.589 m³, v letu 2015 pa 23.930 m³ komunalne odpadne vode.

Mala komunalna čistilna naprava zagotavlja sekundarno stopnjo čiščenja, kar pomeni, da fosforja ne odstranjuje. Iz tega sledi, da približno ista koncentracija fosforja, ki pride na čistilno napravo, jo tudi zapusti. Iz tega razloga sem iz PRILOGE E določila, da očiščena voda iz čistilne naprave vsebuje 10 mg/l celokupnega fosforja. Za vrednost celokupnega dušika pa sem izbrala, da voda na iztoku iz čistilne naprave vsebuje 14 mg celokupnega dušika na liter očiščene vode, kar pade med mejne vrednosti vsebnosti celotnega dušika, ki jih določa PRILOGA 2 iz uredbe iz Ur. l. RS, št. 45/2007 in je navedena v PRILOGI F.

Preglednica 24: Vnos fosforja in dušika iz javnih čistilnih naprave Godovič

Leto 2014	
Čistilna naprava	ČN Godovič
Letna količina vode [m ³ /leto]	22.589,00
Celokupni dušik [mg/l]	14,00
Celokupni fosfor [mg/l]	10,00
Letna količina N [kg/leto]	316,25
Letna Količina P [kg/leto]	225,89

Preglednica 24 prikazuje rezultate izračuna. Glede na predpostavljeno vrednost za dušik in fosfor ter znane količine očiščene vode v letu 2014 je iz čistilne naprave v Godoviču steklo 316,25 kg dušika in 225,89 kg fosforja.

7.2.6 Vnos industrije

V naselju Godovič je bilo v letu 2014 na kanalizacijsko omrežje priključenih 122 gospodinjstev, 16 obrtnih obratov in 1 ustanova. Odpadne vode iz petnajstih obratov se odvajajo direktno na čistilno napravo, saj odpadna voda ne presega mejnih vrednosti za izpust v javno kanalizacijo, eno podjetje pa ima urejeno predhodno čiščenje na industrijski čistilni napravi.

V letu 2014 je bilo iz obratov na kanalizacijo odvedenih skupaj 5234 m³ odpadne vode. 103 m³ odpadne vode je bilo predhodno očiščeno na tehnološki čistilni napravi, ki pripada podjetju Lindab IMP Klima, d. o. o. Po podatkih, ki sem jih pridobila iz podjetja Komunala d. o. o. Idrija, se očiščena voda nato odvede po javni kanalizaciji na javno čistilno napravo. Sledi, da so količine odvedene in očiščene vode upoštevane že pri izračunu vnosa iz javnih čistilnih naprav v poglavju 7.2.5.

8 PREGLED PRIDOBLENIH KOLIČIN IN RAZPRAVA

8.1 Skupne količine

Iz prispevne površine v velikosti 42,2 ha letno v Račevsko jezero zaide 55,7 kg fosforja in 411,3 kg dušika. Kot sem že predvidevala so največji problem in onesnaževalec gospodinjstva, saj kanalizacija in čiščenje na čistilni napravi trenutno še ni urejeno. Naslednje so kmetijske površine, vendar le te predstavljajo tudi največji delež prispevnih površin. Skupne količine in deleže po posameznih tipih rabe prostora prikazuje Preglednica 25.

Preglednica 25: Skupne količine fosforja in dušika za Račevsko jezero

Račevsko jezero					
	Fosfor [kg/leto]	Delež	Dušik [kg/leto]	Delež	
Kmetijske površine	20,2	36	178,4	43,4	
Urbane površine	0,4	1	0,7	0,2	
Ceste	5,9	11	42,4	10,3	
Gospodinjstva	29,2	52	189,8	46,1	
Skupaj	55,7	100	411,3	100	

Iz prispevne površine velikosti 125 km² v Divje jezero letno prispe 15.860,56 kg fosforja in 89.022,32 kg dušika. Kmetijske površine predstavljajo največji delež in s tem tudi največje količine dušika in fosforja in sicer 68 % delež fosforja in 64 % delež dušika. Sledijo ceste, ki prispevajo 18 % fosforja in 23 % dušika. Velik onesnaževalec so tudi gospodinjstva, ki niso priključena na javno čistilno napravo. Prispevajo 10 % količine fosforja in 12 % delež dušika. Čistilne naprave in urbane površine prispevajo po 2 % fosforja in 1 % dušika. Rezultate prikazuje Preglednica 26.

Preglednica 26: Skupne količine fosforja in dušika za Divje jezero

Divje jezero				
	Fosfor [kg/leto]	Delež	Dušik [kg/leto]	Delež
Kmetijske površine	10.863,05	68	57.228,74	64
Urbane površine	291,00	2	521,00	1
Ceste	2.849,80	18	20.356,00	23
Gospodinjstva	1.630,82	10	10.600,33	12
Čistilne naprave	225,89	2	316,25	1
Skupaj	15.860,56	100	89.022,32	100,00

8.2 Primerjava skupnih količin in razprava

Kmetijske površine, ceste in gospodinjstva, ki niso priključena na čistilno napravo, letno prispevajo največje količine dušika in fosforja v obe jezera.

Vnos iz kmetijskih površin je pri Divjem jezeru 68 % za fosfor in 64 % za dušik. Pri Račevskem jezeru sta deleža manjša, in sicer pride 36 % celotne količine fosforja in 43 % količine dušika. Posledica razlike je v tem, da je pri Divjem jezeru veliko večje vodozbirno območje v primerjavi z Račevskim jezerom. Nobeno območje pa ni intenzivno urbanizirano, zato kmetijske površine tudi prispevajo največje deleže fosforja in dušika.

V Divje jezero 18 % fosforja in 23 % dušika prispevajo ceste. Ceste predstavljajo le štiri odstotke celotne prispevne površine, vendar pa ceste spadajo med utrjene površine, lahko predpostavimo, da 85 % vode direktno odteka iz cestišča in kasneje ponika v podtalje ali pa odteka po kanalizacijskem omrežju na čistilno napravo. V hidrološkem območju Račevskega jezera meteorne vode iz cest ponikajo neposredno v podtalje in po izračunih prispevajo 11 % fosforja in 10 % dušika. Padavinske onesnažene vode nastopijo najintenzivnejše v času močnih nalivov po daljšem sušnem obdobju, sicer pa so danes ob tej intenzivnosti prometa stalno pod vplivom onesnažil. Največ onesnažil nastane zaradi obrusa cestišč, naftnih derivatov, obrusa gum in zavor in težkih kovin zaradi izpuha. V času zmrzali pa tudi zaradi soljenja in pospianja cestišča. Velik problem predstavlja tudi namerno onesnaževanje cestišč z odmetavanjem odpadkov voznikov ter kmetijskih strojev, ki nesnago nanašajo iz kmetijskih površin.

Obe vodozbirni območji nista intenzivno urbanizirani, na kar kaže tudi dejstvo, da pozidane površine prispevajo 2 % fosforja in 1 % dušika v Divje jezero ter 1 % fosforja in nič en odstotek dušika v Račevsko jezero. S tem pa je povezano tudi dejstvo, da je na obeh vodozbirnih območjih razpršena poselitev in temu sledi, da gospodinjstva nimajo urejenega odvajanja odpadne vode iz gospodinjstva na čistilne naprave. Kot sem že napisala, je v območju zbirnega področja Divjega jezera na čistilno napravo priključena aglomeracija Godovič. Za naselje Črni Vrh in Hotedršica so izdelani idejni plani in še čakajo na realizacijo, ki pa je žal odvisna od razpoložljivosti občinskih sredstev. Ostala naselja imajo nizko stopnjo urbanizacije in zato imajo nekatera gospodinjstva urejeno čiščenje odpadne vode na individualnih hišnih malih čistilnih napravah, oziroma še vedno višina le teh zbira odpadne vode v individualnih greznicah. Gospodinjstva prispevajo v Divje jezero 10 % fosforja in 12 % dušika. V Račevsko jezero pa zaradi manjše velikosti vodozbirnega območja in dejstva, da vsa gospodinjstva odpadno vodo odvajajo v individualne greznice ali v bližnji potok, prispevajo 52 % fosforja in 46 % dušika.

Voda iz čistilne naprave letno prispeva le po 1 % dušika in 2 % fosforja. Rezultate prikazuje Preglednica 27.

Preglednica 27: Primerjava deležev količin fosforja in dušika za obe jezera

	Divje jezero	Račevsko jezero	Divje jezero	Račevsko jezero
	Fosfor [%]	Fosfor [%]	Dušik [%]	Dušik [%]
Kmetijske površine	68	36	64	43
Urbane površine	2	1	1	0,2
Ceste	18	11	23	10
Gospodinjstva	10	52	12	46
Čistilne naprave	2	0	1	0

Zmanjšanje letne količine fosforja in dušika bi najhitreje dosegli, če bi vso odpadno vodo iz gospodinjstev odvajali na čistilne naprave. Izvedla sem izračun kolikšne količine fosforja in dušika bi sicer prispevala gospodinjstva, če bi bila priključena na čistilne naprave. Število prebivalcev, ki niso priključeni na javno čistilno napravo v območju Račevskega jezera, je 40, v vodozbirnem območju Divjega jezera pa 2234. Ker bi šlo za male čistilne naprave, ki bi imele urejeno le prvo in drugo stopnjo čiščenja, sem privzela vrednosti, da bi očiščene vode vsebovale 10 mg/l fosforja in 14 mg/l dušika. Za dnevno normo porabe vode sem privzela vrednost 120 l/PE.dan in dobila sledeče vrednosti, ki jih prikazuje Preglednica 28.

Preglednica 28: Vnosi fosforja in dušika za obe jezera v primeru, da bi bila gospodinjstva priključena na ČN

	Račevsko jezero	Divje jezero	Račevsko jezero Vnos brez ČN	Divje jezero Vnos brez ČN
Letna količina vode [m³/leto]	1.752,00	97.849,00		
Celokupni dušik [mg/l]	14,00	14,00		
Celokupni fosfor [mg/l]	10,00	10,00		
Letna količina N [kg/leto]	24,53	1.370	189,8	10.600
Letna Količina P [kg/leto]	17,52	978,49	29,2	1.630

S priključitvijo gospodinjstev na javno čistilno napravo bi vnos fosforja pri Divjem jezeru iz 1630 kg/leto zmanjšali na 978,49 kg/leto, če prištejemo še vnos iz ČN Godovič zneske skupna količina fosforja 1.204 kg. Vnos dušika iz čistilnih naprav bi znašal 1.370 kg/leto. Skupaj z obstoječo čistilno napravo bi letna količina znašala 1.686,25 kg. Trenutno pa gospodinjstva prispevajo 10.600 kg dušika na leto.

Letno 40 prebivalcev na prispevnem območju Račevskega jezera prispeva 29,2 kg fosforja in 189,8 kg dušika. Z izgradnjo čistilne naprave pa bi se vrednosti zmanjšale na 17,52 kg fosforja in 24,53 kg dušika letno. Rezultate prikazuje Preglednica 28. Vnose fosforja v obe jezera bi lahko še dodatno zmanjšali z gradnjo terciarnih stopenj čiščenja na čistilnih napravah, ki pri zgornjem izračunu ni upoštevana.

9 ZAKLJUČEK

Divje jezero in Račevsko jezero uvrščamo med kraška pojava. Prvo je vokliški izvir reke, drugo pa presihajoče jezero. Prav to dejstvo nam oteži samo raziskovanje in določanje prispevnega območja jezer. Vodozbirno področje Divjega jezera so raziskali s pomočjo barvanja vode, Račevsko jezero pa je do danes neraziskano in zato je bila zame najtežja naloga predviditi velikost, določiti meje vodozbirne površine in smeri podzemnih tokov.

Po določitvi vodozbirnega področja obeh jezer sem se lotila klasifikacije in določanja velikosti posamezne rabe prostora. Največje količine fosforja in dušika letno prispevajo gospodinjstva, ki nimajo urejenega odvajanja in čiščenja odpadnih voda, ceste in kmetijske površine, ker predstavljajo pretežni del pokritosti ozemlja.

S pomočjo teoretičnih osnov onesnaževanja voda sem izračunala letne vnose dušikovih in fosforjevih spojin v Račevsko jezero in Divje jezero. Celotna količina fosforja znaša za Račevsko jezero 55,7 kg, za Divje jezero pa 15.860,56 kg. Vnos dušika je višji in sicer 411,3 kg letno v Račevsko jezero in 89.022,32 kg v Divje jezero. Glede na izvor onesnaženja sem izračun ločila glede na vnos iz kmetijskih površin, urbanih površin in industrije. Na območjih sicer ni izrazite industrije, razen v naselju Godovič. Vsi obrati odvajajo odpadno vodo neposredno v kanalizacijo. Le podjetje Lindab IMP Klima Godovič d. o. o. vodo predhodno očisti na tehnološki napravi in nato odvede po kanalizaciji na lokalno ČN. Kakšna pa je kvaliteta vode na izlivu iz tehnološke čistilne naprave podjetja, nisem uspela izvedeti, so pa odgovorni v podjetju Komunala Idrija d. o. o. povedali, da kvaliteta odpadne vode zadošča pogojem za izpust na ČN, zato so količine upoštevane pri vnosu iz čistilnih naprav.

Jezeri se nahajata v občini Idrija in Logatec, ki ležita na stičišču dinarskega in alpskega sveta, poleg tega pa več kot polovico ozemlja pokriva gozd in zato ni nič čudnega, da isto velja tudi za obe vodozbirni področji. Iz navedenega razloga kmetijske površine prispevajo večje količine dušika in fosforja v jezери. To pomeni 36 % delež celotne količine fosforja in 43 % delež dušika v Račevsko jezero. V Divje jezero pa iz kmetijskih zemljišč zaide 68 % delež fosforja in 64 % delež dušika. Količine hranil iz kmetijskih površin med letom nihajo. Na sam vnos v jezeri pa lahko pozitivno vplivajo kmetje z upoštevanjem določil o letnem vnosu gnojil ob gnojenju. Na prispevek dušika in fosforja iz gozdov pa ne moremo vplivati, ker gre za naravno pokritost tal.

Za obe območji je značilna razpršena poselitev oziroma neizrazita urbanizacija. Pravilno sem predvidela, da bo prav tip poselitve razlog za večje količine vnosa dušika in fosforja, saj poseldično ni urejeno odvajanje odpadnih voda na čistilne naprave. Gospodinjstva brez urejenega odvajanja odpadnih voda na čistilno napravo predstavljajo na območju Račevskega jezera 52 % celotnega vnosa fosforja in 46 % vnosa dušika. Pri Divjem jezeru so vrednosti nekoliko manjše in znašajo 10 % delež celotne količine za fosfor in 12 % za dušik. Pri Divjem jezeru se nam pojavijo tri aglomeracije. To so naselje Godovič, Črni Vrh in Hotedršica. Od naštetih pa ima le prvo urejeno odvajanje in čiščenje odpadnih voda na javni čistilni napravi. Za ostali dve pa zenkrat obstajajo samo še načrti, rok izvedbe pa je žal odvisen od razpoložljivih občinskih sredstev. Po moji oceni na vdozbornem območju Račevskega jezera živi le štirideset prebivalcev, vendar imajo zaenkrat vsi urejeno zbiranje odpadnih voda še v individualnih greznicah ali pa jih direktno odvajajo v bližnji potok. Iz omenjenih razlogov bomo torej zmanjšali letne vnose dušika in fosforja z izgradnjo vseh potrebnih javnih čistilnih naprav in individualnih malih komunalnih čistilnih naprav. Vendar bo potrebno najprej dvigniti ozaveščenost prebivalcev, da le ti v prvi vrsti ne bodo preprečevali izgradnje kanalizacijskega omrežja in čistilnih naprav oziroma, da bi si na območjih, kjer ni predvidena gradnja javnih čistilnih naprav, posamezna gospodinjstva čim prej uredila individualne male komunalne čistilne naprave oziroma dogradila obstoječe greznice.

Tudi ceste prispevajo velik delež celotnih količin dušika in fosforja, kar me prav tako ni presenetilo. Dejstvo je, da je intenzivnost prometa visoka. Prebivalci dnevno migrirajo na delo, v šolo in po potrebnih opravkih v večja središča. To za vodozbirno območje Divjega jezera predstavljata Idrija ali Ajdovščina. Za Račevsko jezero pa Logatec, Vrhnika ali Žiri. Ceste prispevajo v Račevsko jezero 11 % celetnoega vnosa fosforja in 10 % dušika. V Divje jezero pa prispe iz cest 18 % delež fosforja in 23 % dušika. Onesnaženje povzročajo obrusi vozišča, pnevmatik, zavor in tudi soljenje in posipanje cestišča v času zmrzali. Nisem pa analizirala števila prometnih nesreč in možnega hipnega onesnaženja.

Zanemarljive odstotke dušika in fosforja v primerjavi z ostalimi prispevajo še urbane oziroma utrjene površine in čistilne naprave. Utrjene površine iz razloga, ker pokrivajo minimalen delež obeh vodozbirnih področji, čistilne naprave pa, ker čiščenje odpadnih voda žal še ni urejeno.

Že pred začetkom pisanja sem sklepala, da je antropogeni vpliv tisti, ki se spreminja in je krivec za visoke količine obeh hranil. Prav zaradi tega si želim, da se bo odvajanje in čiščenje odpadnih voda čim prej uredilo in se bodo količine vnosov omejile in zmanjšale. Nisem pa si predstavljala, da tudi kmetijske površine, ki spadajo pod naravne dejavnike v okolju, prispevajo tako visoke količine, kljub temu, da

sem se zavedala, da pokrivajo pretežni del obeh vodozbirnih področji. Izračuni so le informativni in mi je žal, da ne obstajajo analize kakovosti vode iz obeh jezer, saj bi s tem lahko ugotovila verodostojnost pridobljenih količin. Sedaj lahko samo ugibam, ali so količine dejansko višje ali nižje. Dejstvo pa je, da zaenkrat še ni opaziti razvoja eutrofikacije, saj gre na pogled za čisti jezeri. Problem predstavlja dejstvo, da podzemni tokovi niso raziskani in se onesnaženje prej ali slej lahko pokaže dolvodno od jezer. Za Divje jezero bi lahko bil ogrožen izvir Podroteja, ki je tudi pomemben vir pitne vode za oskrbo naselja Idrija.

VIRI

- Ambrožič, Š., Cvitanič, I., Dobnikar, M., Gacin, M., Grbovič, J., Jesenovec, B., Kozak, Š., Legiša, Krajnc, M., Mihorko, P., Poje, M., Remec Rekar, Š., Rotar, B., Sodja, E. 2008. Kakovost voda v Sloveniji. Agencija republike Slovenije za okolje.
<http://www.arso.gov.si/vode/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/kakovost%20voda/Kakovost%20voda-SLO.pdf> (Pridobljeno 13. 3. 2015.)
- Atlas okolja. 2015.
http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso
(Pridobljeno 15. 1. 2016.)
- Biogeokemijsko kroženje elementov. 2010. Dijaški.net.
http://www.dijaski.net/gradivo/bio_ref_biogeokemijsko_krozenje_elementov_02?r=1
(Pridobljeno 19. 2. 2016.)
- Čar, J. 1996. Divje jezero pri Idriji, Ljubljana, Tiskarna Slovenija: 72 str.
- Drev, D., Kovač, M., Panjan, J. 2009. Ocena masnih obremenitev Cerkniškega jezera s hranili. Gradbeni vestnik 58, 114-122.
- Drev, D., Panjan, J. 2011. Samočiščenje Cerkniškega jezera kot kombinacija rastlinske čistilne naprave in sekvenčnega reaktorja. Gradbeni vestnik 60, 258-266.
- GIS iObčina. 2015.
<http://gis.iobcina.si/gisapp/?locale=en&a=ajdovscina> (Pridobljeno 16. 9. 2015.)
- GIS iObčina. 2015.
<http://gis.iobcina.si/gisapp/?locale=en&a=idrija> (Pridobljeno 30. 12. 2015.)
- Gradišar, B. 2008. Vpliv prispevnega območja in gospodarjenja z jezerom na evtrofne in sukcesijske procese v jezerskem ekosistemu – primer ribnikov v dolini Drage pri Igu. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba B. Gradišar): 146 str.
- Grafični podatki Raba za celotno Slovenijo. 2015. <http://rkg.gov.si/>.

<http://rkg.gov.si/GERK/> (Pridobljeno 31. 12. 2015.)

- Ilić, D., Panjan, J. 2008. Ocena vpliva fosforja iz kmetijstva na evtrofikacijo površinskih voda v krajinskem parku Goričko. *Gradbeni vestnik* 57, 310-316.
- Jesenko, P. 2015. Antropogeni in naravni vplivi na jezera. Seminarska naloga. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba P. Jesenko): 50 str.
- Kolar, J. 1983. Odvod odpadne vode iz naselji in zaščita voda. Ljubljana, Državna založba Slovenije: 523 str.
- Kovač, M. 2005. Prelaminarna ocena samočistilne sposobnosti odstranjevanje dušika in fosforja v Cerknškem jezeru. Diplomaska naloga, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerzitetni program vodarstvo in komunalno inženirstvo (samozaložba M. Kovač): 70 str.
- Kržišnik, M., Šimenc, A., Rejc, M., 2014. Prenova operativnega programa odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode v občini Idrija. Komunala d. o. o. Idrija.
http://komunala.cloovis.si/upload/files/OPOCKOV%20vsebina_21052015.pdf (Pridobljeno 9. 1. 2016.)
- Mihevc, A. 1980. Račevsko jezero med Žirovskim Vrhom in Rovtami. *Geografski vestnik*, 37-48.
- Miklavčič, V. 2015. Poslovno poročilo za leto 2014. Komunala d. o. o. Idrija.
http://www.cerkno.si/fileadmin/o-obcini/Seje_OS_OC/6._seja_OS_OC/Tocka_04.pdf
(Pridobljeno 9. 1. 2016.)
- Moss, B. 1998. *Ecology of fresh waters*, Oxford, Blackwell Science: 557 str.
- Panjan, J. 2010a. Čiščenje odpadnih voda. Študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Inštitut za zdravstveno hidrotehniko: 169 str.
- Panjan, J. 2010b. Količinske in kakovostne lastnosti voda. Študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Inštitut za zdravstveno hidrotehniko: 92 str.

- Petrič, M. 2010. Divje jezero. DEDI - digitalna enciklopedija naravne in kulturne dediščine na Slovenskem.
<http://www.dedi.si/dediscina/87-divje-jezero> (Pridobljeno 14. 2. 2016.)
- Predstavitev občine. Osnovno o občini Logatec. 2009. Logatec. Občina Logatec.
<http://www.logatec.si/index.php/world-mainmenu-26/predstavitev-obine/833-osnovnoo-obini-logatec> (Pridobljeno 6. 1. 2016.)
- Prostorski informacijski sistem občin. Občina Logatec. Druge državne vsebine. Hidrologija.
<http://www.geoprostor.net/piso/ewmap.asp?obcina=LOGATEC> (Pridobljeno 30. 9. 2015.)
- Skubic, J. 2006. Vpliv obremenitve in morfologije jezera na kakovost jezera. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba J. Skubic): 59 str.
- Statistični urad republike Slovenije. 2002.
www.stat.si (Pridobljeno 17. 9. 2015.)
- Stopar, E. 2015. Letno poročilo KSD d. o. o. Ajdovščina za leto 2014. KSD d. o. o. Ajdovščina.
<http://www.ajdovscina.si/mma/4.%20tocka%20%20Letno%20poročilo%20Komunalno%20stanovanjske%20dru%20d.o.o.%20Ajdov%20ščina.pdf> (Pridobljeno:18. 1. 2016.)
- Šimenc, A. 2016. ČN Godovič. Sporočilo poslano: Jesenko, P. 13. 1. 2016. Osebna komunikacija.
- Šimenc, A. 2016. ČN Godovič. Sporočilo poslano: Jesenko, P. 15. 1. 2016. Osebna komunikacija.
- Šimenc, A. 2016. ČN Godovič. Sporočilo poslano: Jesenko, P. 18. 1. 2016. Osebna komunikacija.
- Tarman, K. 1992. Osnove ekologije in ekologija živali, 1. izd. Ljubljana, Državna založba Slovenije: 547 str.
- Tarman, K. 1997. Biologija 6 Ekologija. Ljubljana, Državna založba Slovenije: str. 102-105.

- Valsami-Jones, E. 2004. Phosphorus in Environmental Technologies, London, IWA Publishing: 512 str.
- Vreme podnebje. 2015. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje. <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/app/webmet/#webmet> (Pridobljeno 19. 9. 2015.)
- Zevnik, B. 2000. Naravna in antropogena obremenitev in potrebne stopnje čiščenja odpadnih voda naselij vodozbirnega območja Cerkniškega jezera. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba B. Zevnik): 64 str.
- Znamenitosti. Račevsko jezero. 2013. Vrh Svetih Treh Kraljev. http://www.vrh-sv-treh-kraljev.si/znamenitosti.html#racevsko_jezero (Pridobljeno: 14. 2. 2016.)
- Wikipedija prosta enciklopedija. 2016. https://sl.wikipedia.org/wiki/Kranjski_jegli%C4%8D (Pridobljeno 25. 2. 2016.)

Uredbe:

- Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav. Uradni list RS št. 45/2007 in 30/10.
- Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode. Uradni list RS št. 98/15.
- Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz malih komunalnih čistilnih naprav. Uradni list RS št. 98/07, 30/10 in 98/15.
- Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo. Uradni list RS št. 64/12, 64/14 in 98/15.
- Uredba o emisiji snovi in toplote pri odvajanju odpadnih voda v vode in javno kanalizacijo. Uradni list RS št. 45/07.

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: Koeficienti odtoka z razne vrste površin

PRILOGA B: Srednje koncentracije padavinskih vod s kmetijskih površin

PRILOGA C: Srednje koncentracije onesnažil padavinskih vod s prometnih površin v naseljih

PRILOGA D: Srednje koncentracije onesnažil padavinskih vod s prometnih površin v primerjavi s "čistim" dežjem – deževnico

PRILOGA E: Koncentracije onesnažil v odpadnih vodah iz gospodinjstev

PRILOGA F: Priloga 2: Mejne vrednosti parametrov odpadne vode, ki se odvaja iz komunalne čistilne naprave, Ur. l. RS št. 45/2007

PRILOGA G: Primesi v odpadni vodi po vrstah porabe

PRILOGA H: Shematski prikaz vodozbirnega področja Račevskega jezera

PRILOGA I: Shematski prikaz vodozbirnega področja Divjega jezera

PRILOGA A: Koeficienti odtoka z razne vrste površin, Vir: Kolar, 1983

Vrsta površine	ϕ[%]
Strehe s pločevinasto ali emajlirano kritino	95
Strehe z običajno kritino	90-95
Ceste in poti, utrjene z asfaltom ali betonom	85-90
Tlak iz naravnega ali umetnega kamna z zalitimi stiki	75-85
Tlak iz naravnega ali umetnega kamna z zalitimi stiki	50-70
Slabo utrjene površine	25-60
Igrišča	10-30
Parki, vrtovi in travniki	5-25
Gozd	1-20

PRILOGA B: Srednje koncentracije padavinskih vod s kmetijskih površin, Vir:Panjan, 2010b

Parameter [mg/l]	Obdelovalna zemlja	Pašniki	Travniki
Celotni izparilni ostanek	1241	222	108
Suspendirane snovi	1021	38	40
Celotni fosfor	1,05	0,49	0,35
Nitrati (kot N)	1,5	0,4	0,3
Celotni dušik (Kjeldahl)	2,6	1,7	0,8
KPK	148	49	22

PRILOGA C: Srednje koncentracije onesnažil padavinskih vod s prometnih površin v naseljih, Vir: Panjan, 2010b

Vrsta površine	Koncentracije [mg/l]			
	Suspendirane snovi	Celokupni dušik	Celokupni fosfor	Olja in masti
Vaško naselje	50	0,2	0,1	0,6
Stanovanjsko naselje z nizko gostoto prebivalstva	600	1,2	0,7	0,8
Stanovanjsko naselje z visoko gostoto prebivalstva	250	0,7	0,8	20,0
Trgovsko-skladiščno področje	770	1,7	1,3	33,0

PRILOGA D: Srednje koncentracije onesnažil padavinskih vod s prometnih površin v primerjavi s “čistim” dežjem – deževnico, Vir: Panjan, 2010b

Parameter	Padavinska voda iz ceste [mg/l]	Deževnice [mg/l]
Suspendirane snovi	110	3,5
Celokupni organski ogljik	19,6	2,9
Celokupni ogljikovodiki	4,5	-
BPK5	12,2	-
Svinec	0,34	0,067
Cink	0,25	0,06
Baker	0,047	0,007
Kadmij	0,0034	0,003
Kloridi	159	1,6
Brez posipanja s soljo	22,4	-
Sulfati	15	8,4
Nitrati	1,3	0,47
Amonijak	0,5	0,6
Dušik (Kjeldahl)	2,0	-
Celokupni fosfor	0,28	0,031

PRILOGA E: Koncentracije onesnažil v odpadnih vodah iz gospodinjstev, Vir: Panjan, 2010b

Vrsta onesnaženja	Koncentracija [mg/l]
Vseh usedljivih snovi	300- 1200
Lebdečeh snovi	100-400
Raztopljenih snovi	250-850
BPK₅	100-400
KPK	200-1000
Celokupni dušik	15-90
Celokupni fosfor	5-20
Kalij	40
Kloridi	30-85
Sulfati	20-60
pH	6-9

PRILOGA F: Priloga 2: Mejne vrednosti parametrov odpadne vode, ki se odvaja iz komunalne čistilne naprave, Ur. l. RS št. 45/2007**PRILOGA 2: Mejne vrednosti parametrov odpadne vode, ki se odvaja iz komunalne čistilne naprave****Preglednica 1: Mejne vrednosti za koncentracijo neraztopljenih snovi, amonijevega in celotnega dušika, KPK ter BPK₅**

Parameter	Izražen kot	Enota	Zmogljivost čistilne naprave, izražena v PE		
			>= 2.000 < 10.000	>= 10.000 < 100.000	>=100.000
Neraztopljene snovi	-	mg/l	60	35	35
Amonijev dušik	N	mg/l	10**	10**	5**
Celotni dušik*	N	mg/l	25**	25**	20**
KPK	O ₂	mg/l	125	110	100
BPK ₅	O ₂	mg/l	25	20	20

* Celotni dušik je vsota dušika po Kjeldalhu (N-organski + N-NH₄), nitratnega dušika (N-NO₃) in nitritnega dušika (N-NO₂).

** Mejna vrednost za amonijev in celotni dušik se uporablja pri temperaturi odpadne vode 12 °C in več na iztoku aeracijskega bazena.

Preglednica 2: Mejne vrednosti za koncentracijo amonijevega dušika ter za koncentracijo in učinek čiščenja celotnega dušika in celotnega fosforja

Parameter	Izražen kot	Enota	Zmogljivost čistilne naprave, izražena v PE		
			>= 2.000 < 10.000	>= 10.000 < 100.000	>=100.000
Amonijev dušik	N	mg/l	10**	10**	5**
Celotni dušik*	N	mg/l	15**	15**	10**
Učinek čiščenja celotnega dušika		%	70	70	80
Celotni fosfor	P	mg/l	2	2	1
Učinek čiščenja celotnega fosforja		%	80	80	80

* Celotni dušik je vsota dušika po Kjeldalhu (Norganski + N-NH₄), nitratnega dušika (N-NO₃) in nitritnega dušika (N-NO₂).

** Mejna vrednost za amonijev in celotni dušik se uporablja pri temperaturi odpadne vode 12 °C in več na iztoku aeracijskega bazena.

Preglednica 3: Mejne vrednosti za mikrobiološke parametre

Parameter	Enota	Mejna vrednost emisije	
		Vodotoki	morje
Skupne koliformne bakterije	Število v 100 ml	10.000	2.000
Koliformne bakterije fekalnega izvora	Število v 100 ml	2.000	500
Streptokoki fekalnega izvora	Število v 100 ml	400	200

PRILOGA G: Primesi v odpadni vodi po vrstah porabe, Vir: Panjan, 2010b

Namen	Količina [l/(P.dan)]					Primesi [g/(P.dan)]			
	Poraba vode	Odtok odpadne vode	Skupaj primesi snovi	Mineralne snovi	Organske snovi	BPK ₅	Ogljik	Dušik	Fosfor
	[l/dan]	[l/dan]	[l/dan]	[g/(P.dan)]	[g/(P.dan)]	[g/(P.dan)]	[g/(P.dan)]	[g/(P.dan)]	[g/(P.dan)]
Čiščenje prostorov	3	3							
Pitna voda, kuha	3						8	0,2	
Pomivanje posode	4	4							
Pranje	20	19							
Umivanje	10	10	108	61	47		7		0,9
Tuširanje	20	20							
WC blato	20	22	27	4	23		17	1,5	0,6
Urin			55	15	40		5	12,2	0,8
Skupaj	80	78	190	80	110	54	37	13,9	2,3

