

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:

Možina, J., 2016. Naravni in antropogeni vplivi na območju akumulacij Mola in Klivnik. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Šraj, M., somentor Panjan, J.): 70 str.

Datum arhiviranja: 04-07-2016

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:

Možina, J., 2016. Naravni in antropogeni vplivi na območju akumulacij Mola in Klivnik. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Šraj, M., co-supervisor Panjan, J.): 70 pp.

Archiving Date: 04-07-2016

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

Kandidat:

JERNEJ MOŽINA

**NARAVNI IN ANTROPOGENI VPLIVI NA OBMOČJU
AKUMULACIJ MOLA IN KLIVNIK**

Diplomska naloga št.: 290/VKI

**NATURAL AND ANTHROPOGENIC INFLUENCES IN
THE AREA OF RESERVOIRS MOLA AND KLIVNIK**

Graduation thesis No.: 290/VKI

Mentorica:

doc. dr. Mojca Šraj

Somentor:

izr. prof. dr. Jože Panjan

Ljubljana, 20. 06. 2016

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

Izjava

Spodaj podpisani/-a študent/-ka Jernej Možina, vpisna številka 26300182, avtor/-ica pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Naravni in antropogeni vplivi na območju akumulacij Mola in Klivnik.

IZJAVLJAM

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;

b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V/Na: Ljubljani

Datum: 30. 5. 2016

Podpis študenta/-ke:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	502.51:556.55(497.4)(043.2)
Avtor:	Jernej Možina
Mentorica:	doc. dr. Mojca Šraj
Somentorja:	izr. prof. dr. Jože Panjan, asist. dr. Mario Krzyk
Naslov:	Naravni in antropogeni vplivi na območju akumulacij Mola in Klivnik
Obseg in oprema:	70 str., 46 pregl., 25 sl., 4 graf., 22 en.
Gljučne besede:	evtrofikacija, Mola, Klivnik, koncentracija fosforja, koncentracija dušika

IZVLEČEK

Ekosistem je največja enota, ki opisuje procese, ki potekajo med neživo in živo naravo. Ta je sestavljen iz manjših ekosistemov, med katere spada tudi vodni ekosistem. V tej diplomski nalogi obravnavamo vodni ekosistem dveh jezer z vplivnim območjem.

Za ugotavljanje kvalitete vode v jezerih Mola in Klivnik smo preučili proces evtrofikacije, ki ogroža ravnovesje v stoječih vodah. Na hitrost evtrofikacije vpliva več dejavnikov, ki jih delimo na naravne in antropogene. Stopnjo evtrofikacije najlažje določimo preko količine hranil v vodi, od katerih sta najpomembnejša fosfor ter dušik. Količine fosforja in dušika smo izračunali iz dveh virov. Prvi del količine pride v jezero preko kanalizacijskih odpadnih voda, drugi pa z vodami, ki se v jezero stekajo z vplivnega območja. Izračunane koncentracije fosforja in dušika v jezerih smo primerjali z meritvami, ki jih je opravila Agencija Republike Slovenije za okolje.

Izračuni koncentracij so večinoma večji od dejanskih meritev. Do večjih odstopanj je prišlo pri koncentraciji fosforja, kjer so nekateri rezultati nekajkrat večji od izmerjene vrednosti. Pri dušiku je ta razlika manjša in lahko trdimo, da je izračun koncentracije dušika bolj natančen. Na podlagi stopnje evtrofikacije bi lahko v večini obravnavanega obdobja akumulaciji umestili med evtrofna jezera. Ker pa se določa stopnjo na podlagi izmerjenih vrednosti, ju umestimo med mezotrofna jezera. Na jezeru Klivnik antropogeni vplivi prispevajo 51 % količine fosforja, na jezeru Mola pa 56 %. Antropogeni vplivi imajo manjši vpliv na koncentracijo dušika in na Klivniku prispevajo 32 %, na jezeru Mola pa 37 % celotne koncentracije.

BIBLIOGRAFIC – DOKUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

- UDK:** 502.51:556.55(497.4)(043.2)
- Author:** Jernej Možina
- Supervisor:** Assist. Prof. Mojca Šraj, Ph.D.
- Co - Supervisors:** Assoc. Prof. Jože Panjan, Ph.D., Assist. Mario Krzyk, Ph.D.
- Title:** Natural and anthropogenic influences in the area of reservoirs Mola and Klivnik
- Notes:** 70 p., 46 tab., 25 fig., 4 graph, 22 eq.
- Key words:** eutrophication, Mola, Klivnik, the concentration of phosphorus, the concentration of nitrogen

ABSTRACT

Ecosystem describes the processes that take place between nonliving and living nature. The ecosystem is composed of smaller ecosystems, which include water ecosystems. In this diploma thesis water ecosystem represented by two lakes and their influence area will be discussed.

We evaluated the quality of the water in the lakes Mola and Klivnik. The eutrophication process, which is the main threat to biodiversity in stagnant water, was examined. The speed of eutrophication is affected by several factors which can be classified as natural or anthropogenic. The degree of eutrophication can be determined by the quantity of nutrients in the water. The effect on eutrophication is dominated by two elements: phosphorus and nitrogen. The nutrients enter the lakes from two sources: by the sewage waste water and by runoff water from the influence area. The calculated concentration of phosphorus and nitrogen was compared with measurements performed by the Slovenian Environment Agency.

Calculated concentrations are generally higher than measurements. Greater differences were observed for phosphorous concentrations. Therefore, the calculation of nitrogen concentrations is probably more accurate. Based on calculated values we could classify the lakes as eutrophic during most of the inspected period. However, based on measurements, which are more precise, the lakes are mesotrophic. For lake Klivnik the anthropogenic factors contribute 51 %, whereas for lake Mola they are responsible for 56 % of total phosphorous concentrations. Anthropogenic factors contribute to 32 % of total nitrogen on lake Klivnik and to 37 % of total nitrogen concentrations on lake Mola.

Zahvala

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. Mojci Šraj in somentorjema izr. prof. dr. Jožetu Panjanu in asist. dr. Mariu Krzyku za vodenje in nasvete pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvalil bi se tudi Vodnemu gospodarskemu podjetju Drava Ptuj za posredovanje podatkov meritev, ki jih izvajajo na akumulacijah Mola in Klivnik. Še posebej bi se zahvalil g. Blažu Ivanuši, ki mi je posredoval podatke o srednjih letnih pretokih.

Zahvalil bi se tudi g. Borisu Šestanu in g. Borisu Peroši, ki sta mi posredovala opis pregrad na obeh akumulacijah.

Nazadnje bi se zahvalil še družini, ki mi je skozi celotni študij stala ob strani in me bodrila.

Kazalo vsebine

1	UVOD	1
1.1	Cilji diplomske naloge.....	1
2	ZAKONODAJA.....	2
2.1	Uredba o stanju površinskih voda	2
2.2	Uredba o kemijskem stanju površinskih voda.....	2
3	EKOSISTEM.....	4
3.1	Vodni ekosistemi	4
3.1.1	Vodni krog.....	5
3.1.2	Jezera	6
4	EVTROFIKACIJA.....	7
4.1	Od kje hranila pridejo in kako povzročijo evtrofikacijo jezera	8
4.2	Dušik	12
4.2.1	Fiksacija dušika	13
4.2.2	Nitrifikacija	13
4.2.3	Denitrifikacija.....	13
4.2.4	Anaerobna oksidacija amonijaka (anammox)	14
4.2.5	Amonifikacija	14
4.3	Fosfor.....	14
4.3.1	Fosforjev krog	15
4.4	Izračun količine fosforja in dušika na prispevnem območju.....	17
4.5	Model.....	18
4.6	Izračun količine fosforja in dušika za jezera Klivnik in Mola	19
4.6.1	Površina prispevnega območja (A).....	19
4.6.2	Volumen jezera (V).....	19
4.6.3	Pritok (Q_1)	19
4.6.4	Odtok (Q_2).....	20
4.7	Postopek izračuna.....	20
4.7.1	Izračun obremenitve jezera zaradi izpustov kanalizacijskih odpadnih voda	20

4.7.2	Izračun obremenitve jezera zaradi izpiranja dušika in fosforja s prispevnega območja	20
4.7.3	Izračun končnih obremenitev	21
5	OPIS OBMOČJA	22
5.1	Jezero Mola	23
5.1.1	Opis objekta.....	23
5.2	Klivnik.....	26
5.2.1	Opis objekta.....	27
5.3	Vplivno območje	28
5.3.1	Opis stanja kanalizacije v vaseh	29
5.4	Raba tal.....	30
5.4.1	Raba tal za vplivno območje akumulacije Mola	30
5.4.2	Raba tal za vplivno območje akumulacije Klivnik.....	31
6	IZRAČUNI IN ANALIZA REZULTATOV.....	32
6.1	Meritve na jezerih Klivnik in Mola	32
6.1.1	Meritve koncentracij celotnega fosforja in celotnega dušika na akumulacijah Klivnik in Mola	35
6.2	Izračun in analiza obremenitev na akumulacijah Klivnik in Mola.....	41
6.2.1	Izračun obremenitev za leto 2003.....	41
6.2.2	Izračun obremenitev za leto 2004.....	42
6.2.3	Izračun obremenitev za leto 2005.....	44
6.2.4	Izračun obremenitev za leto 2007.....	46
6.2.5	Izračun obremenitev za leto 2008.....	48
6.2.6	Izračun obremenitev za leto 2009.....	49
6.2.7	Izračun obremenitev za leto 2010.....	51
6.2.8	Izračun obremenitev za leto 2011.....	53
6.2.9	Izračun obremenitev za leto 2012.....	55
6.2.10	Izračun obremenitev za leto 2013.....	56
6.2.11	Izračun obremenitev za leto 2014.....	58
6.3	Končne letne obremenitve na akumulaciji Klivnik v obdobju 2003–2014	60
6.3.1	Koncentracije fosforja	60

6.3.2	Koncentracije dušika	61
6.4	Končne letne obremenitve na akumulaciji Mola v obdobju 2003–2014.....	62
6.4.1	Koncentracije fosforja	62
6.4.2	Koncentracije dušika	63
6.5	Razprava.....	64
7	ZAKLJUČEK.....	66
VIRI.....		68

Kazalo preglednic

Preglednica 1: Razredi evtrofikacije (Jorgensen, 2001)	11
Preglednica 6: Vsebnost dušika in fosforja v določenem tipu tal (Lin, 2004)	21
Preglednica 2: Število prebivalcev (SURS, 2015)	29
Preglednica 3: Raba tal v odstotkih za jezero Mola	30
Preglednica 4: Raba tal v odstotkih za jezero Klivnik.....	31
Preglednica 5: Letna količina padavin za padavinsko postajo Podgrad za obdobje 2003 –2014 (Meteo.si, 2016)	32
Preglednica 7: Kemijsko in ekološko stanje vodnega telesa (ARSO, 2015).....	33
Preglednica 8: Meritve koncentracij celotnega fosforja in dušika na jezeru Klivnik za obdobje 2003– 2014 (ARSO, 2015).....	35
Preglednica 9: Meritve koncentracij celotnega fosforja in dušika na jezeru Mola za obdobje 2003– 2014 (ARSO, 2015).....	38
Preglednica 10: Obremenitev zaradi kanalizacije v letu 2003	41
Preglednica 11: Obremenitev akumulacije Klivnik zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2003	42
Preglednica 12: Obremenitev akumulacije Mola zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2003	42
Preglednica 13: Obremenitev zaradi kanalizacije v letu 2004	43
Preglednica 14: Obremenitev akumulacije Klivnik zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2004	43
Preglednica 15: Obremenitev akumulacije Mola zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2004	44
Preglednica 16: Obremenitev zaradi kanalizacije v letu 2005	45
Preglednica 17: Obremenitev akumulacije Klivnik zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2005	45
Preglednica 18: Obremenitev akumulacije Mola zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2005	46
Preglednica 19: Obremenitev zaradi kanalizacije v letu 2007	47
Preglednica 20: Obremenitev akumulacije Klivnik zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2007	47
Preglednica 21: Obremenitev akumulacije Klivnik zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2007	48
Preglednica 22: Obremenitev zaradi kanalizacije v letu 2008	48
Preglednica 23: Obremenitev akumulacije Klivnik zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2008	49

Preglednica 24: Obremenitev akumulacije Mola zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2008	49
Preglednica 25: Obremenitev zaradi kanalizacije v letu 2009	50
Preglednica 26: Obremenitev akumulacije Klivnik zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2009	50
Preglednica 27: Obremenitev akumulacije Mola zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2009	51
Preglednica 28: Obremenitev zaradi kanalizacije v letu 2010	52
Preglednica 29: Obremenitev akumulacije Klivnik zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2010	52
Preglednica 30: Obremenitev akumulacije Mola zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2010	53
Preglednica 31: Obremenitev zaradi kanalizacije v letu 2011	54
Preglednica 32: Obremenitev akumulacije Klivnik zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2011	54
Preglednica 33: Obremenitev akumulacije Mola zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2011	55
Preglednica 34: Obremenitev zaradi kanalizacije v letu 2012	55
Preglednica 35: Obremenitev akumulacije Klivnik zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2012	56
Preglednica 36: Obremenitev akumulacije Mola zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2012	56
Preglednica 37: Obremenitev zaradi kanalizacije v letu 2013	57
Preglednica 38: Obremenitev akumulacije Klivnik zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2013	57
Preglednica 39: Obremenitev akumulacije Mola zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2013	58
Preglednica 40: Obremenitev zaradi kanalizacije v letu 2014	59
Preglednica 41: Obremenitev akumulacije Klivnik zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2014	59
Preglednica 42: Obremenitev akumulacije Mola zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2014	60
Preglednica 43: Primerjava izračunanih in izmerjenih vrednosti koncentracij fosforja na jezeru Klivnik	60
Preglednica 44: Primerjava izračunanih in izmerjenih vrednosti koncentracij dušika na jezeru Klivnik	61
Preglednica 45: Primerjava izračunanih in izmerjenih vrednosti koncentracij fosforja na jezeru Mola	62
Preglednica 46: Primerjava izračunanih in izmerjenih vrednosti dušika na jezeru Mola	63

Kazalo slik

Slika 1: Vodni krog (prirejeno po Graham, 2010).....	5
Slika 2: Glavni viri hranil (prirejeno po Jorgensen, 2001).....	10
Slika 3: Dušikov krog (prirejeno po Benhard, 2010)	12
Slika 4: Dušik v jezeru (prirejeno po Göltenboth in sod, 2006).....	14
Slika 5: Fosforjev krog (prirejeno po Science Learning, 2013)	15
Slika 6: Prehajanja fosforja v različne oblike (prirejeno po Science Learning, 2013).....	16
Slika 7: Zaloga fosforja in dušika (prirejeno po Brylinsky, 2004).....	17
Slika 8: Vodna bilanca (prirejeno po Brylinsky, 2004).....	17
Slika 9: Območje obeh akumulacij (Najdi.si zemljevid, 2016).....	22
Slika 10: Tloris pregrade na jezeru Mola (Šestan, 2015)	24
Slika 11: Karakterističen prerez pregrade Mola (Šestan, 2015).....	25
Slika 12: Pregrada Mola karakterističen presek (Šestan).	25
Slika 13: Pregrada Mola - karakteristični presek (Šestan, 2015)	26
Slika 14: Prikaz nadmorskih višin na karakterističnem prerezu pregrade Klivnik (Vadnjal, 2013)	27
Slika 15: Vplivni območji akumulacij Mola in Klivnik (Geopedia.si Lite, 2012).....	28
Slika 16: Raba tal na vplivnem območju obeh akumulacij (Geopedia.si Lite, 2012)	30
Slika 17: Raba tal na vplivnem območju akumulacije Klivnik (Geopedia.si Lite, 2012).....	31
Slika 18: Merilna mesta na jezeru Klivnik (Najdi.si Zemljevid, 2015).	33
Slika 19: Merilna mest na jezeru Mola (Najdi.si Zemljevid, 2015).	34
Slika 20: Izmerjeni celotni fosfor na jezeru Klivnik (vir podatkov: ARSO, 2015).....	36
Slika 21: Izmerjeni celotni dušik na jezeru Klivnik (vir podatkov: ARSO, 2015).....	37
Slika 22: Izmerjeni celotni fosfor na jezeru Mola (vir podatkov: ARSO, 2015)	39
Slika 23: Merjeni celotni dušik na jezeru Mola (vir podatkov: ARSO, 2015).	40
Slika 24: Odnášanje brežine na jezeru Klivnik	65
Slika 25: Sipanje brežine na jezeru Klivnik	65

Kazalo grafikonov

Grafikon 1: Fosfor na jezeru Klivnik.	61
Grafikon 2: Dušik na jezeru Klivnik.	62
Grafikon 3: Fosfor na jezeru Mola.	63
Grafikon 4: Dušik na jezeru Mola.	64

1 UVOD

Ekosistem je največja enota, ki zajema in opisuje povezovanje žive in nežive narave. Sestavljen je iz manjših enot, med katere spada tudi vodni ekosistem. Kot je že iz imena razvidno, je glavni element teh voda. Ta je lahko v najrazličnejših oblikah, od ledu na Antarktiki do pare nad vodnimi gejzirji. Bistvo pri vseh ekosistemih je, ne glede na agregatno stanje, da je voda čista. Če se kvaliteta vode bistveno ne spreminja, potem je tudi ekosistem v ravnovesju. V zadnjih časih se kvaliteta vode vztrajno slabša zaradi najrazličnejših vplivov, ki so večinoma antropogenega izvora. Pojem, ki vse to zajema in opisuje, je evtrofikacija.

Pojem evtrofikacija so začeli uporabljati sredi 20. stoletja, z njim pa se opiše stanje vodnega vira. Evtrofikacijo spremljamo preko različnih parametrov, kot na primer količine klorofila, koncentracije fosforja, koncentracije dušika, koncentracije kisika, motnosti vode in drugih. Evtrofikacija je v osnovi proces, ki traja 1000 ali več let, če na vodno telo delujejo le naravni dejavniki (Ansari in sod., 2011). Če tem dodamo še antropogene dejavnike, pa se čas evtrofikacije precej skrajša. Nastanek evtrofikacije pomeni zasičenje vodnega telesa s hranili, kar spodbudi razrast alg. Te v veliki meri ogrožajo življenjski prostor živali. Poleg tega pa se manjša količina razpoložljivega kisika. Mejo, ki deli vodna telesa na čista ali pa onesnažena, poimenujemo meja evtrofikacije. Vodna telesa, kjer so parametri v večini pod mejo evtrofikacije, lahko uvrstimo med zdrava. V nasprotnem primeru spadajo med onesnažena ali evtroficirana vodna telesa (ARSO, 2015).

Evtrofikacijo lahko ocenimo z vsebnostjo hranil v fitoplanktonu, ki ga predstavlja razmerje C:N:P (ogljik: dušik: fosfor), to znaša 50:7:1 (Eklom, 2008). Razmerje se spreminja glede na vrsto fitoplanktona, letni čas in pogoje v vodi. Določevanje evtrofikacije na podlagi razmerja C:N:P pa je prej izjema kot pravilo, to še posebej velja za sladkovodne stoječe vode. Bolj uporabna je ocena razmerja N:P. Če ta presega vrednost 17, pomeni, da fosfor omejuje rast fitoplanktona, če je vrednost pod 10, pomeni da dušik omejuje rast. Če dobimo vrednost med 10 in 17 lahko omejujeta rast tako fosfor kot dušik (Ekholm, 2008).

1.1 Cilji diplomske naloge

V diplomski nalogi bomo obravnavali dve akumulacijski jezera na območju občine Ilirska Bistrica. Prvo jezero je Klivnik in leži gorvodno od drugega jezera Mola. Pri obeh bomo poskušali oceniti teoretični koncentraciji fosforja in dušika v vodi ter ju primerjati z dejanskimi meritvami, ki jih je opravila Agencija Republike Slovenije za okolje. Vrednosti obeh parametrov bomo primerjali z mejo evtrofikacije in s tem ocenili stanje kvalitete vode v jezerih. Poleg tega bomo poskušali ugotoviti, ali imajo na evtrofikacijo večji vpliv naravni ali antropogeni viri fosforja in dušika.

2 ZAKONODAJA

2.1 Uredba o stanju površinskih voda

Uredba o stanju površinskih voda (Uradni list RS, 2009) je namenjena nadzoru in ugotavljanju stanja površinskih voda. Kvaliteta površinskih voda se določa s pomočjo rezultatov kemijskih in ekoloških meritev, ki se izvajajo na vodnih telesih. Vodno telo je ocenjeno kot dobro, ko ima dobro ekološko in kemijsko stanje in ko ima dober ekološki potencial.

Za nas je najbolj pomemben drugi del uredbe o stanju površinskih voda, ki se nanaša na kemijsko stanje površinskih voda. Ta nam podaja glavne elemente, ki jih moramo meriti in mejne vrednosti teh parametrov. Če elementi, ki jih izmerimo ne presegajo mejnih vrednosti, lahko rečemo, da ima to vodno telo dobro kemijsko stanje. V nasprotnem primeru imamo slabo kemijsko stanje, kar pomeni, da imamo čezmerno obremenjeno površinsko vodo (Uradni list RS, 2009).

2.2 Uredba o kemijskem stanju površinskih voda

Uredba o kemijskem stanju površinskih voda (Uradni list RS, 2002) nam podaja elemente, ki jih je potrebno meriti, prek katerih se določa kemijsko stanje površinskih voda, mejne vrednosti teh elementov in opisuje način, kako se meritve izvajajo. Uredba velja za jezera katerih površina presega 0,5 km². Dobro kemijsko stanje velja za površinske vode, katerih letne povprečne velikosti merjenih elementov ne presežejo mejnih velikosti za ta element.

V uredbi je opisana enačba za izračun letne povprečne vrednosti elementa (Uradni list RS, 2002):

- Izračunamo maksimalno in minimalno vrednost povprečja vseh meritev tekom leta:

minimalna vrednost povprečja:

$$x_{is}^{min} = \frac{1}{n_{is}+p_{is}} \sum_j m_{js} \quad (1)$$

maksimalna vrednost povprečja:

$$x_{is}^{max} = \frac{1}{n_{is}+p_{is}} \{ \sum_j m_{js} + \sum_j l_{js} \} \quad (2)$$

i leto, ko so bile narejene meritve;

j število meritev znotraj enega leta;

s - merilno mesto;

n_{is} - število meritev, ki so enake ali večje od meje zaznavnosti;

p_{is} - število meritev, ki so manjše od meje zaznavnosti;

l_{js} - meja zaznavnosti;

m_{js} – vrednost parametra.

- Na podlagi maksimalne in minimalne vrednosti povprečja iz prejšnje točke izračunamo za vsako mesto meritev letno povprečno vrednost parametra:

$$X = (1 - w)x_{is}^{min} + wx_{is}^{max} \quad (3)$$

X - letna povprečna vrednost parametra;

W – utežni faktor 0,5 za tiste meritve, ki so pod mejo zaznavnosti (Uradni list RS, 2002).

3 EKOSISTEM

Konvencija o biološki raznolikosti (Convention on Biological Diversity – CBD, 2008) ekosistem definira kot funkcionalno enoto, ki povezuje neživo naravo z dinamično kompleksnimi združbami rastlin, živali in mikroorganizmov. Bistvo ekosistema je, da so živi in mrtvi organizmi nepretrgoma udeleženi pri izmenjavi energije, snovi in informacij z okoljem. Za pravilno delovanje ekosistema skrbijo organizmi, ki delujejo na različnih stopnjah znotraj sistema. Bazo sistema tvorijo primarni producenti (proizvajalci), to so zelene, fotosintetsko aktivne rastline in bakterije. Primarni producenti so sposobni vsrkavati in ohranjati energijo, ki pride iz zunajzemeljskega sevanja, ter jo pretvarjati v razgradljive ogljikove hidrate, maščobe in beljakovine. Primarnim producentom v ekosistemu sledijo rastlinojedci organizmi, ki se hranijo z njimi. Za rastlinojedci sledi skupina mesojedcev, ki se hranijo z rastlinojedci. Mesojedci se nato delijo na še dodatne podskupine. Ekosistem zaključujejo organizmi katerih primarna vloga je razgradnja in razkroj mrtvih organskih snovi – razkrojevalci. Ti organizmi so bistveni za reciklažo organskega materiala, ki je nujno potreben za rast primarnih producentov (rastlin). Ekosistem se deli na več podvrst ekosistemov, kot so kopenski (tundra, tajga, puščave, travniki) in vodni ekosistemi (koralni greben, globoko morje, reke, jezera). Kot ekosistem lahko poimenujemo tudi antropogene sisteme (urbane površine, vrtovi, smetišča). Stabilnost ekosistemov ogrožajo številni vplivi: toksične snovi, invazivne vrste, nove agresivne vrste ipd. (Pfan, 2008)

3.1 Vodni ekosistemi

Zemljo lahko poimenujemo »Modri planet«, saj je kar 75 % njene površine pokrite z vodo, bodisi v tekoči ali zmrznjeni obliki. Približno 96,5 % vse vode predstavlja morska voda v oceanih, 1,7 % vode je v obliki polarnih ledenih plošč, ledenikov ali stalnega snega, 1,7 % predstavlja površinska voda ter 0,1 % vse vode je v ozračju kot vodna para (Graham in sod, 2010). Zaradi tega so vodni ekosistemi tako po površini kot tudi po volumnu največji ekosistemi na zemlji. Voda je medij, ki omogoča raztapljanje veliko snovem, tako je omogočena velika raznovrstnost struktur in funkcij vodnih teles. Vodni ekosistemi celinskih voda so življenjski prostor vodnim organizmom, ki so občutljivi, zato ni presenetljivo, da na njih močno vplivajo dogodki v vodi in na kopnem. Vodni ekosistemi celinskih voda so bili in so še vedno zelo pomemben dejavnik za razvoj človeške družbe. Z razvojem industrije in večanjem števila prebivalstva je človeška družba zelo vplivala na kemične in fizikalne lastnosti vode. Šele v zadnjih desetletjih smo spoznali, kako pomemben element našega življenja je (Toman, 2008).

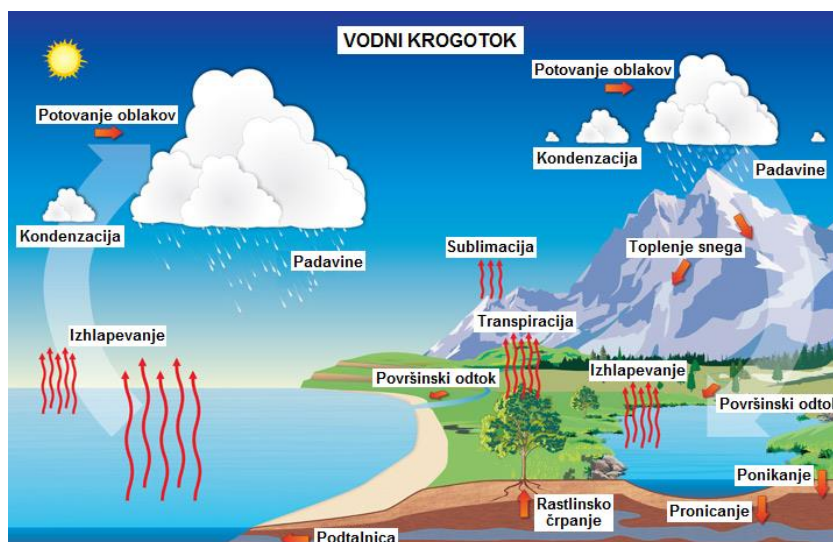
Če želimo razumeti, kako vodni ekosistem deluje, je pomembno, da poznamo strukturo in funkcije ekosistema. Struktura vodnega ekosistema je razdeljena na fizikalni in kemijski del. Fizikalni del strukture vodnega ekosistema predstavljata hidrosfera (gibanje vode, pretok) ter energija sonca, ki prek svetlobe in toplote napaja biosfero s svojo energijo in zagotavlja glavni pogoj za vršenje

fotosinteze (Toman, 2008). Kemijska struktura vodnega ekosistema je odvisna od elementov in spojin, ki se v vodi zadržujejo v različnih stanjih in oblikah. Velik vpliv na ekosistem ima količina kisika, raztopljenega v vodi. Glede na koncentracijo le tega ločimo oksične (aerobni metabolizem) ali anoksične (anaerobni metabolizem) pogoje (Toman, 2008). S poznavanjem kemijske sestave lahko določamo kvaliteto vode ter obremenjenost in onesnaženost obravnavanega vodnega telesa. Pridobljeno znanje nam pomaga pri določanju ustreznih ukrepov za zaščito vodnih in obvodnih ekosistemov (Toman, 2008; Graham in sod., 2010).

3.1.1 Vodni krog

Vodni ali hidrološki krog opisuje izmenjavo vodnih molekul od med Zemljo in ozračjem. Gre za ogromen sistem, ki ga poganja energija sonca in skrbi za stalno izmenjavo vode med atmosfero, oceani in zemljo (slika 1). Izhlapevanje, ki je proces, kjer se voda iz tekočega konsistentnega stanja spremeni v plinsko stanje, zagotavlja skoraj 90 % vlage v ozračju (Graham in sod., 2010). Ostalih 10 % skoraj v celoti pokriva izhlapevanje vode iz rastlin, kar imenujemo transpiracija rastlin. Rastline vodo črpajo preko korenin v steblo in liste ter jo izpustijo skozi majhne pore na spodnjem delu listov. Majhen del vlage v ozračje pride tudi neposredno iz ledu ali snega, kar imenujemo sublimacija. Sublimacija je proces, kjer snov v trdi obliki preide neposredno v plinasto (Graham in sod., 2010).

V oblakih se vlaga združuje, dokler ne doseže 100 % vlažnosti zraka, kar privede do padavin. Ko dež pade na zemeljsko površino, ga del takoj izhlapi nazaj v ozračje, del ga ponikne v zemljinu (vlažnost tal ali podtalnica), ostali del pa steče v vodotoke. Skoraj vsa voda slej ko prej konča v oceanih ali drugih večjih vodnih telesih, kjer se vodni krog nadaljuje. Med potjo, ki jo voda opravi, jo del prestrežejo živa bitja za svoje življenje. V ozračju je v vsakem trenutku okrog $12,9 \cdot 1000 \text{ km}^3$ vode (količina vse vode $1\,385\,984 \cdot 1000 \text{ km}^3$) (Graham in sod., 2010).



Slika 1: Vodni krog (prirejeno po Graham, 2010)

3.1.2 Jezera

Jezera so relativno velika vodna telesa, ki zadržujejo počasi se premikajočo vodo. Geologija jih definira kot začasna vodna telesa, saj se takoj po nastanku začnejo zalagati z zemljino, ki se izpira ob deževjih (Lane, 2015). Poznamo več vrst jezer, ki se delijo po svojem nastanku. Tektonska jezera so nastala zaradi premikanja zemljine skorje. Spadajo med najstarejša in največja jezera. Vulkanska jezera so nastala ob izbruhih vulkanov, s tem so povezana tudi jezera, ki so nastala zaradi plazov, ki so blokirali vodno strugo. Mehanizem tvorjenja bazenov, ki je odgovoren za nastanek večine jezer na severni polobli, je poledenitev. Umik ledenikov je za sabo pustil ogromno bazenov, ki jim pravimo ledeniške morene (Lane, 2015). Erozijska jezera so nastala zaradi delovanja vetra ali vode, ki sta odnašala sediment in tako poglobljala bazen. Poznamo pa tudi umetna jezera (akumulacije), ki jih je zgradil človek za namen izkoriščanja vodne mase. Umetno jezero nastane za rečno pregrado, ki je običajno zgrajena na najožjem delu rečne struge. Le-ta zaustavlja in regulira pretok vode. Umetna jezera se gradi za namene pridobivanja električne energije, urejanja rečnega vodostaja, za zajetje prvega vala ob močnih nalivih ipd. (Lane, 2015).

Resda na globalni vodni krog jezera nimajo bistvenega vpliva, saj predstavljajo le majhen odstotek proste vode na zemlji. Vseeno pa so za nas zelo pomembna, saj se v njih zadržuje 98 % nam dostopne površinske sladke vode (Lane, 2015). Štiri petine jezerskih voda se nahaja v majhnem številu jezer, največje med njimi je Bajkalsko jezero v srednji Aziji. Med glavnimi problemi, ki vplivajo na ohranjanje dobrega stanja jezerskih voda, so eutrofikacija (proces staranja jezera), kemično in biološko zastrupljanje jezer in zmanjševanje volumna vode. Pri kemičnem zastrupljanju jezer predstavljajo največji problem pesticidi in pa težke kovine, kot je živo srebro. Primer biološkega zastrupljanja je bakteriološko onesnaženje jezerskih voda. Zmanjševanje volumna vode je povezano s prekomerno porabo jezerske vode za namene namakanja, zagotavljanja pitne vode in v industrijske namene. Problem predstavlja tudi povečano izhlapevanje zaradi povišane temperature vode v jezeru, ker se ta uporablja za namene hlajenja v industrijskih obratih (primer: hlajenje uranovih palic v jedrski elektrarni) (Lane, 2015).

4 EVTROFIKACIJA

Evtrofikacija je bila prvič zaznana in predstavljena kot problem onesnaževanja okrog leta 1950 v evropskih in severno ameriških jezerih (Ansari in sod, 2011). Od takrat se je že močno razširila in je bila prepoznana tudi na azijskih, afriških in južno ameriških tleh. Meritve kažejo, da je 54 % jezer v Aziji, 53 % v Evropi, 48 % v Severni Ameriki, 41 % v Južni Ameriki in 28 % v Afriki že v stanju evtrofnosti (Ansari in sod, 2011). Evtrofikacija je ena izmed najresnejših groženj vodnim ekosistemom, saj močno vpliva na njihovo floro in favno, s tem ko zmanjšuje količino razpoložljivega kisika. To vpliva na nižjo življenjsko dobo in večji smrtni količnik vodnih živali. Evtrofikacija močno vpliva na kvaliteto jezerskih voda, kar posledično vpliva na rabo teh voda v industrijske in rekreacijske namene. Evtroficirana voda je močno nasičena s hranili in ugodno vpliva na hitro rast alg. Velike količine alg v jezeru so velik problem, saj zmanjšujejo udobnost pri plavanju, poleg tega pa onemogočajo plovbo, ker se zapletajo v propelerje čolnov.

Evtroficirana voda je po videzu sluzasta, motna in zelene barve (Yang in sod., 2008). Hitro rastoče alge so izvor velikih količin smrdečih organskih odpadkov, ko le te odmrejo, jih veter in vodni tokovi nanašajo na obalo. Alge lahko spuščajo v vodo toksične snovi, te se razgradijo v strupene pline, ki škodujejo ribam in školjkam. Toksične snovi iz odmrlih alg so tako strupene, da lahko škodujejo ljudem, če se taka voda uporablja kot vir pitne vode. Bakterije, ki so največkrat omenjene glede toksičnih snovi v pitni vodi so cianobakterije. Njihovi toksini lahko povzročijo akutne ali kronične zastrupitve. Poleg tega je voda s povečano vsebnostjo nitritov že sama po sebi škodljiva, saj so produkti nitrifikacije karcinogeni (Yang in sod., 2008). Evtrofikacija močno spreminja biotsko raznolikost. Zaradi njenega vpliva rastline in živali hitreje rastejo, zaradi česar se poveča njihova biomasa. Poveča se pogostost cvetenja alg in rast zakoreninjenih rastlin. Zaradi visoke gostote vodnih organizmov prihaja do velike konkurence pri izrabljanju vodnih virov. To povečuje kemični in psihični stres pri organizmih in zmanjšuje možnosti preživetja. Voda je bolj motna in vsebuje manjše količine kisika. Posledice se kažejo v manjšanju števila vodnih vrst (Ansari in sod., 2011). V splošnem lahko opišemo vodno evtrofikacijo kot proces cvetenja alg, ki s procesom fotosinteze iz anorganskih hranil in sončne energije izgraja bioplazmo (rast alg) (Yang in sod., 2008).

Evtrofikacija je naravni proces, ki se pojavlja v vseh vodnih sistemih in jezerih in traja več tisoč let. V zadnjih letih pa se je trajanje teh procesov drastično zmanjšalo zaradi velikih vnosov hranil iz antropogenih dejavnosti. Tako evtrofikacijo imenujemo umetna evtrofikacija (Ansari in sod., 2011).

Veliko dejavnikov je vezanih na vodno evtrofikacijo, vendar njihovo delovanje v povezavi s cvetenjem alg ni čisto razjasnjeno (Yang in sod., 2008). V nekaterih zmerno evtrofnih jezerih se pojavi cvetenje alg, ko so okoljske razmere ugodne. Cvetenje alg, ki nastane zaradi povečanih fosforjevih koncentracij, spreminja številne abiotske dejavnike vodnega telesa. Ti dejavniki neposredno urejajo

rast, raznolikost in gostoto biomase. Vpliv cvetenja alg na dejavnike posredno vpliva na strukturo in značilnosti vodnega telesa. Sledi opis vpliva na nekatere od teh dejavnikov (Yang in sod., 2008):

1. Temperatura in slanost sta dva pomembna dejavnika, ki povzročita cvetenje alg. Cvetenje se vedno zgodi, če je temperatura vode med 23 °C in 28 °C, slanost pa med 23 ‰ in 28 ‰. Pomemben pogoj za nastanek cvetenja alg je, da temperatura hitro narašča, medtem ko slanost pada.
2. Ogljikov dioksid je eden najpomembnejših dejavnikov, ki kontrolira vodno evtrofikacijo. Modrozelenke alge hitreje rastejo v primerjavi z drugimi organizmi, ko je raven CO₂ nizka in pH visok. Zato se zadržujejo v zgornjih slojih voda, kjer dobijo tudi veliko sončne svetlobe. Nekatere alge rastejo zelo na gosto, s čimer preprečujejo rast fitoplanktonu in premikanje zooplanktona. Vsi zgoraj naštetih dejavniki pomenijo, da lahko počasno tekoči vodni sistemi hitro postanejo prenatrpani z modrozelenimi algami, ki izpodrinejo fitoplankton in v nekaterih primerih celo živali. Gosta razrast preprečuje sončni svetlobi, da bi dosegla dno vodnega telesa, kar pomeni, da se začnejo v spodnjih slojih vzpostavljati anoksične razmere.
3. Sončna svetloba tudi igra pomembno vlogo pri rasti, raznolikosti in gostoti vodnega rastlinja. Ugotovljeno je bilo, da je najbolj ugodna svetloba jakosti 4000 lux-ov. Za cvetenje modrozelenih alg je sončna svetloba nujna, zato se zadržujejo na površini jezera do globine 30 cm. S svojim gostim razrastem preprečujejo sončnim žarkom, da prodrejo globlje v vodo. Tako je fitoplankton, ki se zadržuje globlje v vodi, obsojen na propad (Yang in sod., 2008).

Opaženo je bilo, da se proces evtrofikacije hitreje odvija v umetno ustvarjenih jezerih v primerjavi z naravnimi jezeri. Operativni postopki, ki se izvajajo v umetnih akumulacijah, imajo negativni vpliv in prispevajo k slabšanju kvalitete jezerske vode (Naselli-Flores, 2011). Operativni postopki se izvajajo za vzdrževanje umetnih jezer: čiščenje in popravila odtoka na pregradi, čiščenje brežin, poglobljanje jezera zaradi usedlin ipd.

4.1 Od kje hranila pridejo in kako povzročijo evtrofikacijo jezera

Povečana količina hranil v vodnem telesu predstavlja glavno nevarnost za strukturo in funkcije, ki se nanašajo na ekosistem okrog vodnega telesa in na hude probleme evtrofikacije (Lane, 2015). Čeprav je evtrofikacija povezana s povečano količino hranil v naravi, je osnovni vzrok vodne evtrofikacije povezan z neravnovesjem količin dušika in fosforja v vodi. Glavni dejavniki, ki vplivajo na nastanek vodne evtrofikacije, so (Yang in sod., 2008):

- povečana količina celotnega dušika,
- povečana količina celotnega fosforja,
- majhna hitrost vodnega toka,

- ustrezna temperatura in drugi okoljski dejavniki,
- mikrobiološka aktivnost in biotska raznovrstnost.

Če so vsi zgoraj naštetih pogoji zagotovljeni, je potrebno le malo časa, da se vodna eutrofikacija razvije.

Virov hranil, ki povzročajo eutrofikacijo jezer in umetnih jezer, je veliko. Vse aktivnosti, ki se odvijajo na vplivnem območju jezera, se odražajo neposredno ali posredno na kvaliteti jezerskih voda. Jezera, ki so obdana s pognojenimi površinami, so naravno eutroficirana zaradi izpiranja zemljine, ki je bogata s hranili. Glavni vzrok eutrofikacije pri velikem številu jezer je komunalna odpadna voda, če je ta neočiščena. Eutrofikacijo povzroča tudi očiščena odpadna komunalna voda, če je bila obdelana z običajnimi mehansko-biološkimi metodami čiščenja, saj še vedno vsebuje med 25-40 mg/l dušika in 6-10 mg/l fosforja (Jorgensen, 2001). Postopki odstranjevanja dušika in fosforja so dobro poznani: fosfor odstranjujemo z dodatkom kemikalij, ki povzročijo obarjanje fosfatov, medtem ko dušik odstranjujemo z biološkimi metodami s pomočjo mikroorganizmov (Jorgensen, 2001).

Voda, ki se izceja v jezera s kmetijskih zemljišč je velik povzročitelj eutrofikacije zaradi vsebnosti velikih količin dušika in fosforja. Ta območja imajo običajno veliko več razpoložljivega dušika kot fosforja, ker je fosfor vezan v komponente tal. Povečana uporaba gnojilnih pripravkov se odraža v velikih koncentracijah hranil, predvsem dušika v vodnem odtoku. Mokrišča so naraven način odpravljanja kmetijskega onesnaženja, ki povzroča eutrofikacijo in z njo povezane probleme. V mokriščih se nitrati presnovijo do molekularnega dušika, ki se sprosti v ozračje. To ne vpliva na kvaliteto zraka, saj dušik predstavlja 78 % atmosfere (Jorgensen, 2001). Prav tako kot dušik se tudi fosfor v mokriščih odstranjuje iz tal, saj ga porabljajo vodoljubne rastline. Mokrišča so dober način za uspešno odstranjevanje prevelikih količin dušika in fosforja iz okolja. Če želimo zagotavljati ustrezno kvaliteto vode pa ni dovolj le odstranjevanje hranil iz okolja. Pogosto je potrebno nadzirati in meriti količine gnojil, ki se uporabijo pri kmetovanju, saj jih lahko velika količina konča na območju vodnega telesa (Jorgensen, 2001).

K pospešeni eutrofikaciji prispeva tudi zemljina, ki se preko erozije nalaga v jezeru. Ta v večini vsebuje velike količine fosforja in dušika. Erozijska tal je povečana tam, kjer se prekomerno seka gozd zaradi nespametnega načrtovanja in upravljanja z naravnimi viri (Jorgensen, 2001).

Padavine so tudi eden izmed virov, ki lahko vplivajo na eutrofikacijo, saj se iz zračnega onesnaženja fosfor in dušik vežeta na dežne kaplje. Ker je v ozračju dušik veliko bolj gibljiv kot fosfor, je v padavinah dvajsetkrat bolj koncentriran. Dušik lahko iz padavin odstranjujemo le z obsežnim nadzorom onesnaženosti zraka v celotni regiji. Glavni vir padavinske onesnaženosti z dušikom predstavljajo industrijski in avtomobilski izpušni plini, ki nimajo predhodno vgrajenih ustreznih filtrskih sistemov (Jorgensen, 2001).

Vir onesnaženja je tudi ribogojništvo. Jezera se včasih uporabljajo za gojenje rib. Presežek hrane za ribe onesnažuje vodo, saj ni mogoče doseči popolne porabe živila. Fosfor in dušik, ki sta prisotna v odvečni hrani, se v vodi raztopita ali suspendirata. Uporaba jezer za ribogojništvo mora biti zato skrbno načrtovana in upravljana s strani lastnikov in delavcev (Jorgensen, 2001).

Jezersko dno, kjer se nabirajo usedline (blatni spodnji sloj), vsebuje razmeroma velike količine fosforja in dušika. Ta dva se lahko sproščata v vodo, še zlasti, ko so v jezeru nizke koncentracije raztopljenega kisika. Hranilne snovi v usedlinah prihajajo iz preteklega naseljevanja alg in mrtve organske snovi. Hranila, ki se sproščajo iz usedlin, imenujemo jezerska notranja obremenitev (Lane, 2015). Sicer je možno zgornji sloj usedlin, ki je bogat s hranili, odstraniti, vendar je rešitev zelo draga. Ena izmed rešitev je tudi prekritje usedlin z glino, da jih zapremo in tako preprečimo notranje nakladanje. Tudi če hranila odstranimo iz odpadne vode, kmetijske odpadne vode in padavin, je potrebnega veliko časa, preden se koncentracija hranil v usedlinah zmanjša, saj so hranila še vedno prisotna v vodnem okolju. Zato je zelo pomembno, da zgodaj zmanjšamo ali odstranimo vire hranil (Jorgensen, 2001).



Slika 2: Glavni viri hranil (prirejeno po Jorgensen, 2001).

Slika 2 predstavlja vire hranil (Jorgensen, 2001):

- zunaj jezera je to odpadna voda, odpadne vode s kmetijskih površin, erozija in padavine,
- znotraj jezera pa ribogojništvo in sproščanje iz usedlin.

Jezera in umetna jezera lahko klasificiramo glede na stopnjo eutrofikacije v štiri razrede: oligotrofna jezera, mezotrofna jezera, eutrofna jezera in hipereutrofna jezera (preglednica 1). Ti klasifikacijski razredi so rezultat obsežnih študij eutrofikacije v državah, ki so vključene v Organizacijo za ekonomsko sodelovanje in razvoj (OECD - Organization for Economic Cooperation and Development) v obdobju od leta 1970 do 1985 (Jorgensen, 2001). Študija temelji na koncentracijah dušika, fosforja in klorofila A (iz grščine *cgloros* – zelen, *phyllos* – list). Preko klorofila A lahko grobo

ocenimo koncentracijo rastlinske biomase, v povprečju predstavlja klorofil A 1 % biomase alg (Jorgensen, 2001).

Preglednica 1: Razredi evtrofikacije (Jorgensen, 2001)

Parameter	Oligotrofno [µg/l]	Mezotrofno [µg/l]	Evtrofno [µg/l]	Hiperevtrofna [µg/l]
Povprečni celotni fosfor	8,0	26,7	84,4	> 200
Povprečni celotni dušik	661	753	1875	visoko
Povprečni klorofil A	1,7	4,7	14,3	> 100, območje 100-200>
Klorofil A maksimalen	4,2	16,1	42,6	> 500

Voda, ki je obremenjena z odpadno komunalno vodo ali pa z odpadno vodo, ki je bila obdelana z mehansko-biološkimi postopki čiščenja, v povprečju vsebuje 32 mg/l dušika in 8 mg/l fosforja (Jorgensen, 2001). V jezerih, ki so zelo obremenjena s tako vodo, je evtrofikacija omejena z dušikom, saj je koncentracija dušika štirikrat manjša od koncentracije fosforja v odvodu odpadne vode. Jezera s tako obremenitvijo so pogosto žrtve obsežnejših cvetenj modrozelenih alg, kar se pokaže v obliki površinske pene. Obstajajo vrste modrozelenih alg, ki dušik uporabljajo neposredno iz zraka in rastejo kljub omejenim količinam raztopljenega dušika. Jezera, ki so obremenjena z naravnimi pritoki in izcednimi vodami s kmetijskih površin, vsebujejo visoke koncentracije dušika in so zato običajno omejena s fosforjem.

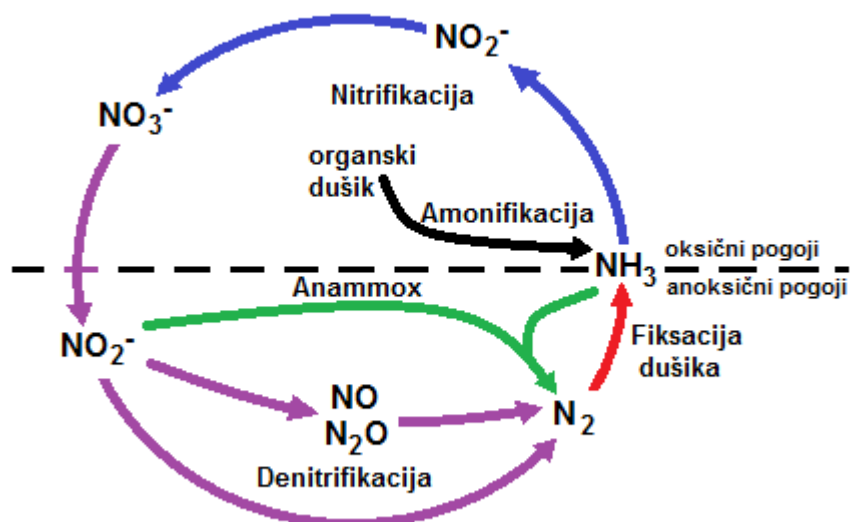
Raziskava, ki jo je naredila agencija Združenih narodov za okolje (UNEP – United Nation Environmental Protection), nakazuje, da je že med 30 % - 40 % vseh jezer na svetu obremenjenih z evtrofikacijo (Yang in sod., 2008). Pri iskanju rešitev za odpravo evtrofikacije v jezerih je pomembno, da ugotovimo, katero hranilo je najlažje omejiti. Ker je fosfor lažje in ceneje odstranjevati iz odpadnih voda kot dušik, je v večini primerov najboljša okoljska strategija za jezera odstranjevanje čim večjih količin fosforja iz odpadne vode (Yang in sod., 2008)

Hidrodinamika kot fizikalni dejavnik vpliva na evtrofikacijo preko višine vodne gladine, plimovanja in motne vode, ki jo povzroči (Yang in sod., 2008). Med motnostjo vode in pojavom ter obsegom kremenastih alg sicer ni neposredne povezave, vendar vseeno lahko velika motnost vode vpliva nanje, saj te običajno cvetijo in rastejo v stabilnem vodnem okolju. Motna voda lahko vpliva na proces evtrofikacije in na možnost potomstva alg, kar pa ni povezano z motno vodo samo, ampak s tem, da motna voda vpliva na količino sončne svetlobe in na stanje hranil v vodi. V nizkih vodah se lahko zaradi povečane motnosti poveča sproščanje fosforja iz usedlin, še posebej ob visokih temperaturah vode. Evtrofikacija je odvisna tudi od plime, saj ta vpliva na združevanje alg ter na koncentracijo

hranil v vodi, kar posredno vpliva na pogostost cvetenja alg. Na umetnih jezerih pa podobno deluje spreminjanje gladine vode zaradi povečanega ali zmanjšanega izpusta na pregradi (Yang in sod., 2008).

4.2 Dušik

Dušik je eden od osnovnih gradnikov vseh organizmov, zato ga vsi nujno potrebujejo v eni izmed njegovih oblik. Dušik je osnovna komponenta pri velikem številu biomolekul, kot so proteini, DNA in klorofil (Benhard, 2010). Čeprav ga je v atmosferi v izobilju v molekularni obliki N_2 , ga kot takega organizmi ne morejo izkoristiti. Šele ko se pretvori iz N_2 v amonijak NH_3 , postane dostopen primarnim proizvajalcem. Dušik je v naravi v veliko oblikah, tako anorganskih (nitrati, amonijak) kot organskih (aminokislina in nukleinske kisline). Dušik v naravi se spreminja iz ene oblike v drugo, da ga lahko organizmi uporabijo za svojo rast in v nekaterih primerih kot energijo. Glavne spremembe dušika so fiksacija dušika, nitrifikacija, denitrifikacija, anaerobna oksidacija amonijaka (anammox) in amonifikacija (slika 3) (Benhard, 2010). Spremembe dušika v številna oksidacijska stanja so ključnega pomena za produktivnost v naravi. So pa te spremembe zelo odvisne od različnih skupin mikroorganizmov, kot so bakterije in glive. Že od sredine 20. stoletja imamo ljudje vse večji vpliv na dušikov krogotok. Dejavnosti, kot so izdelava gnojil in kurjenje fosilnih goriv, bistveno vplivajo na količino stalnega dušika v ekosistemih na Zemlji. Do leta 2030 naj bi količina dušika, ki jo naredi človek, presegla količino dušika, ki ga naredijo mikroorganizmi (Benhard, 2010). Povečana razpoložljivost dušika v okolju vpliva na povečano produktivnost rastlin in posledično na večanje količin ogljika (Benhard, 2010).



Slika 3: Dušikov krog (prirejeno po Benhard, 2010)

4.2.1 Fiksacija dušika

Dušik v plinasti obliki (N_2) predstavlja skoraj 80 % zemljine atmosfere, vendar je v tej obliki precej nedostopen (Benhard, 2010). Proces, ki spremeni dušik iz plinaste oblike N_2 v biološko dostopen dušik, se imenuje fiksacija dušika. Ker je N_2 plin precej stabilen zaradi trojne vezi med dušikovima atomoma, je potrebno veliko energije za razcep te vezi, zato so prokarionti (bakterije) edini zmožni prenašati tako energijsko potraten proces. Prokarionti so lahko aerobni ali anaerobni, nekateri so fototrofni, drugi so kemotrofni (namesto svetlobe so jim vir energije kemične spojine). Čeprav obstaja velika fiziološka in filogenetska raznolikost med organizmi, ki so sposobni fiksacije dušika, le-ta pri vseh poteka s pomočjo podobnih encimskih kompleksov – nitrogenaz, ki katalizirajo redukcijo dušika N_2 do amonijaka NH_3 (Benhard, 2010).



4.2.2 Nitrifikacija

Nitrifikacija je naslednji korak v dušikovem krogu. Je proces, ki spreminja amonijak v nitrite in potem v nitrate. Nitrifikacija poteka izključno v prokariontih, večinoma v aerobnih pogojih. Poznamo dva ločena koraka nitrifikacije (Benhard, 2010). Prvi je oksidacija amonijaka do nitrita, ki poteka v mikrobih, ki jih poznamo kot amonij-oksidirajoče mikroorganizme. Ta proces ustvarja relativno majhne količine energije, zato ti organizmi običajno zelo počasi rastejo.



V drugem koraku se nitrit NO_2^- oksidira do nitrata NO_3^- . Ta proces poteka v prokariontih, v nitrit -oksidirajočih bakterijah. Podobno kot pri amonij-oksidirajočih organizmih je tudi tukaj količina proizvedene energije majhna. Za popolno nitrifikacijo morata poteči oba koraka.



Amonij-oksidirajoče in nitrit-oksidirajoče bakterije igrajo veliko vlogo pri čiščenju odpadne vode s tem, ko odstranjujejo presežne koncentracije amonijaka (Benhard, 2010).

4.2.3 Denitrifikacija

To je proces, ki spreminja nitrate nazaj v dušik. To pomeni, da se biološki dušik spremeni nazaj v atmosferskega. Denitrifikacija je anaeroben proces, ki poteka večinoma v prsti in usedlinah jezer in oceanov. Tako kot pri prejšnjih procesih, denitrifikacija poteka preko prokariontov. Zaradi denitrifikacije se nižja koncentracija nitratov na kmetijskih površinah, kar posledično vpliva na količino gnojenja. Kljub temu igra denitrifikacija veliko vlogo v čiščenju odpadne vode, saj se s

pomočjo tega procesa iz vode odstranjuje nezaželene nitrata in tako zmanjšuje verjetnost kasnejših okoljskih problemov – cvetenje alg (Benhard, 2010).



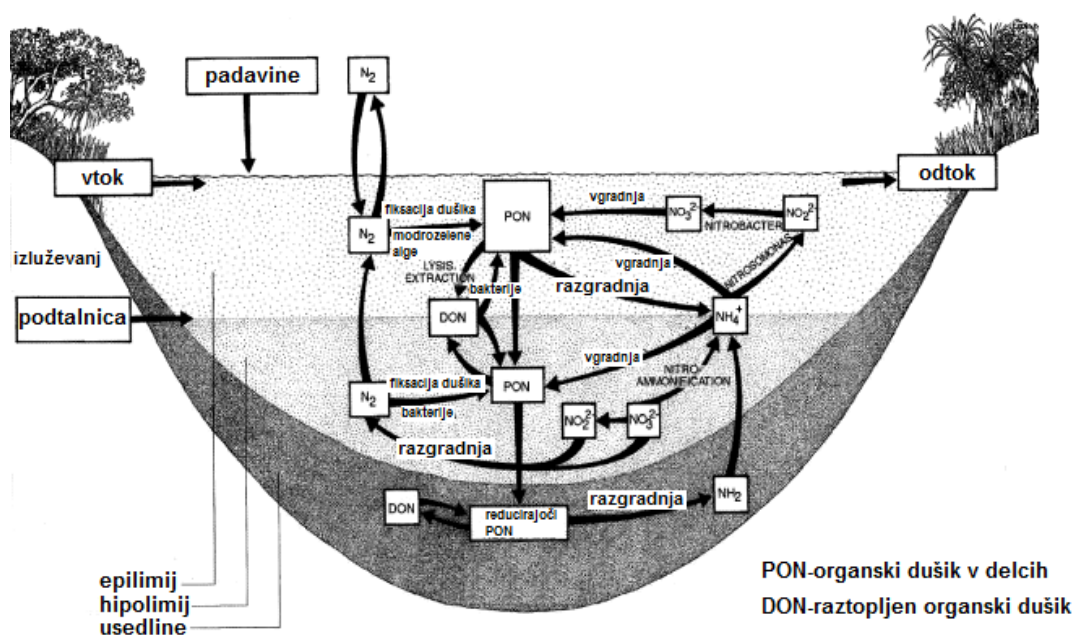
4.2.4 Anaerobna oksidacija amonijaka (anammox)

Gre za proces denitrifikacije, ki za razliko od običajne denitrifikacije poteka v anoksičnih pogojih. Ta proces so prvič odkrili pri čiščenju odpadne vode v anoksičnih reaktorjih. V naravi pa poteka v oceanih, kjer so območja nizkih koncentracij kisika, v usedlinah rečnih delt in obal, v mangrovah in v sladkovodnih jezerih (Benhard, 2010).



4.2.5 Amonifikacija

To je proces nastajanje amonijaka iz organskih nitrata. Glive in prokarioti razkrajajo organsko snov in sproščajo dušik v obliki amonijaka NH_3 . Le tega lahko koristijo rastline in mikroorganizmi za svojo rast (Benhard, 2010).



Slika 4: Dušik v jezeru (prirejeno po Göltenboth in sod, 2006)

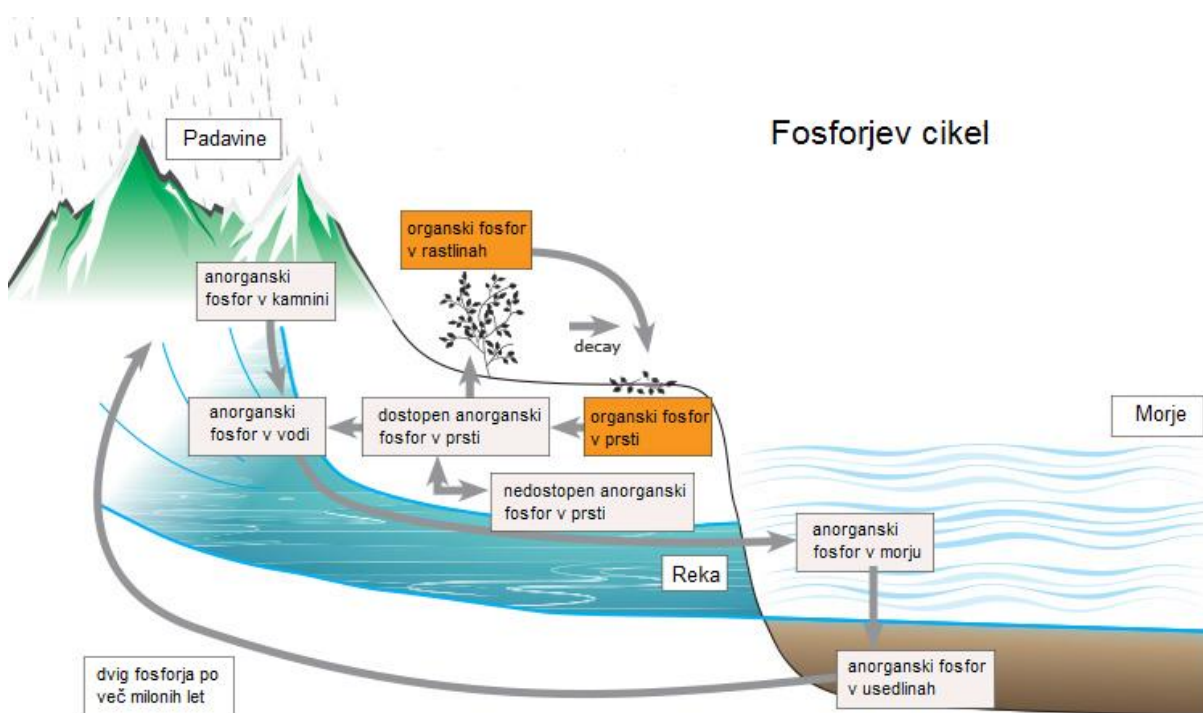
4.3 Fosfor

Fosfor je kemijski element, ki ga najdemo na zemlji v različnih spojinah. Eden izmed teh je fosfatni ion PO_4^{3-} , ki ga najdemo v vodi, prsti in usedlinah (Science Learning, 2013). Količine fosforja v zemljini so običajno nizke in so zato pogosto omejujoč dejavnik rasti rastlin. Zato se na kmetijskih

površinah pogosto uporabljajo fosfatna gnojila. Fosfor pride v živali z rastlinsko hrano. Fosfor je ključni element za rastline in živali. Igra pomembno vlogo pri izgradnji celic in je ključna komponenta v številnih bioloških molekulah (ATP – adenzin trifosfat, DNA in lipidi). Pomanjkanje fosforja v prsti lahko vpliva na nižje količine pridelka (Science Learning, 2013).

4.3.1 Fosforjev krog

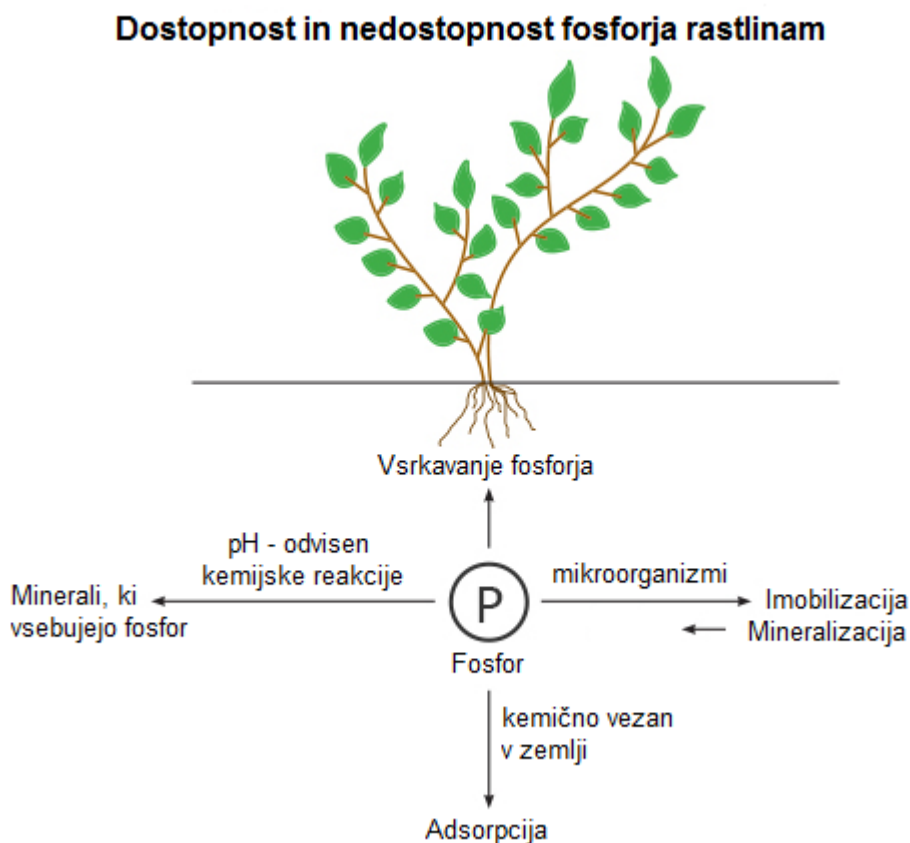
Fosfor se v naravi giblje skozi kamnine, vodo, zemljo in organizme. Fosfatni ion se zaradi dolgotrajnih vremenskih vplivov sprošča iz kamnin in mineralov ter se odlaga v zemljo in vodo. Anorganski fosfor črpajo rastline in vgrajujejo v svoje tkivo. Od tam se preko prehranske verige prenaša v živali. Ko je fosfor v organizmu, se vgrajuje v organske molekule, kot je DNA. Ko rastlina ali žival umre in se razkroji, se organski fosfor vrne v zemljo. Bakterije ga presnovijo in predelajo v anorganski fosfor, tako da je spet dostopen rastlinam. Temu procesu pravimo mineralizacija. Fosfor, ki konča v vodi, posledično konča v oceanih, kjer se poseda v usedline (slika 5) (Science Learning, 2013).



Slika 5: Fosforjev krog (prirejeno po Science Learning, 2013)

Večino fosforja v naravi ni dostopnega rastlinam. Velik del ga je vgrajenega v usedline in kamnine. Tudi tisti fosfor, ki je v prsti, v večini ni dostopen rastlinam. Poznamo več načinov, kako fosfor v prsti postane dostopen (Science Learning, 2013). Kljub temu, da bakterije preko mineralizacije spreminjajo organski fosfor v anorganskega, je tako delovanje zanemarljivo, saj je obraten proces – presnova anorganskega fosforja v organskega, v primerjavi s tem bistveno hitrejši. Adsorpcija je proces, ki

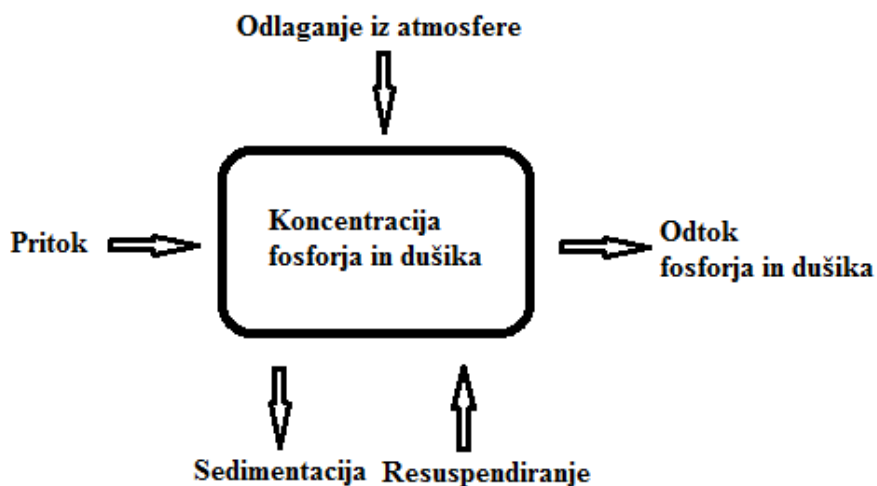
fosfor kemično veže v prst, do katerega rastline ne morejo (slika 6). Spojine anorganskega fosforja morajo biti topne, če jih želijo rastline uporabiti. Topnost teh spojin je odvisna od pH prsti. Če je pH nižji od 4 ali večji od 8, fosfor ostane vezan na ostale spojine, kar ga dela nedostopnega (Science Learning, 2013). Večina kmetijskih rastlin potrebuje za rast in dober donos več fosforja, kot ga je v prsti na voljo. Poleg tega se pri kmetovanju rastline požanje in odstrani, kar pomeni, da ne ostane skoraj nič odmrlega rastlinja, ki bi s razkrojem nadomestilo predhodno porabljen fosfor. Zato se veliko kmetov poslužuje uporabe fosfatnih gnojil, s katerim povečajo količine fosforja v prsti. Fosfor za gnojila se pridobiva v rudnikih, nato se pridobljenemu fosforju topnost izboljša z dodatkom žveplove kisline - to vrsto gnojila imenujemo superfosfati. Če so njihove preveč gnojene in rastline ne izkoristijo vseh fosfatov, se ti izpirajo in odtekajo. Fosfati tako končajo v potokih, rekah in jezerih. Ta presežek fosfata povzroča v vodnem okolju povečano rast rastlin in modrozelenih alg, kar privede do evtrofikacije (Science Learning, 2013).



Slika 6: Prehajanja fosforja v različne oblike (prirejeno po Science Learning, 2013)

4.4 Izračun količine fosforja in dušika na prispevnem območju

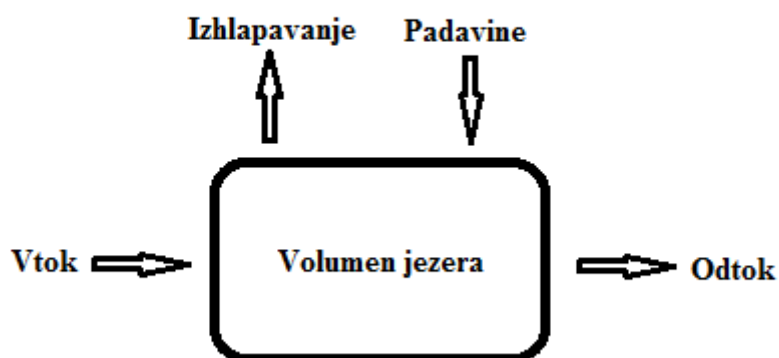
Zaloga fosforja in dušika



Slika 7: Zaloga fosforja in dušika (prirejeno po Brylinsky, 2004)

Slika 7 nam kaže masno bilanco fosforja in dušika, ki jo dobimo, če upoštevamo količino fosforja in dušika, ki pride v jezero in količino, ki jezero zapusti. To pomeni, da je na letni ravni količina, ki pride v jezero, enaka seštevku fosforja in dušika v sedimentih in količini le tega v odtoku. Če pri izračunu upoštevamo še hidravlične vrednosti (slika 8), dobimo koncentracije fosforja in dušika v jezeru (Brylinsky, 2004).

Vodna bilanca



Slika 8: Vodna bilanca (prirejeno po Brylinsky, 2004)

4.5 Model

Temelječ na predpostavkah, da poznamo količine vode in fosforja ali dušika, ki pridejo z vtokom, je bila predstavljena prvotna enačba Bifi (1963), ki jo je dokončal Vollenweider leta 1975. Enačba je postavljena na predpostavkah, da je količina fosforja ali dušika, obravnavana v časovnem obdobju, enaka količini, ki pride v jezero minus količini, ki sedimentira ter količini, ki odteče iz jezera:

$$\frac{PV}{t} = M - \left(PV * \frac{Q}{V} \right) - (\sigma * P) \quad (11)$$

PV = količina fosforja ali dušika v jezeru [g]

P = koncentracija fosforja ali dušika v jezeru [g/m³]

V = volumen jezera [m³]

t = čas [leto]

M = letna količina fosforja, ki pride v jezero [g/leto]

Q = letna količina vode, ki odteče iz jezera [m³/leto]

σ = koeficient sedimentacije [na leto]

Če pri tej enačbi privzamemo, da je $\frac{PV}{t} = 0$ dobimo:

$$PV = \frac{M/V}{\left(\frac{Q}{V}\right) + \sigma} \quad (12)$$

Glavne predpostavke pri tej enačbi so (Brylinsky, 2004):

- fosfor ali dušik, ki pride v jezero, je zmešan čez celoten volumen,
- koncentracija fosforja ali dušika v odtoku je enaka koncentraciji v jezeru,
- izguba fosforja ali dušika zaradi sedimentacije je sorazmerna s koncentracijo v jezeru,
- vpliv, ki ga povzročajo sezonska nihanja fosforja ali dušika in hidravlična nihanja lahko zanemarimo.

Glavni problem pri uporabi Vollenwaiderjeve enačbe je, da moramo vedeti, kako hitro in koliko fosforja ali dušika sedimentira, ko prideta v jezero (Brylinsky, 2004). Sedimentacija kot proces je zelo zahtevna za merjenje, zato ker je težko določiti količino fosforja in dušika, ki sedimentirata ter količino, ki se iz usedline ponovno raztopi. Predpostavili smo, da je količina sedimentiranega fosforja in dušika enaka količini raztopljenega iz usedline. Zato smo pri izračunu zanemarili vpliv sedimentacije.

Enačbe, ki so bile zgoraj navedene, niso uporabne za izračun koncentracije fosforja in dušika, če jezero spada med naslednje tipe jezer (Brylinsky, 2004):

- jezera, ki so močno obarvana in vsebujejo velike koncentracije humusnih snovi,
- jezera, ki imajo nizko razmerje med dušikom in fosforjem,
- jezera, ki so motna in je večja verjetnost, da so omejena s sončno svetlobo kot s koncentracijo hranil v vodi,
- ter jezera, ki so zelo plitva in se v njih hitro zamenja celoten volumen jezera.

Za izračun so potrebni podatki, ki se delijo v tri skupine. Prva zajema površino vplivnega območja in jezerske značilnosti, v drugi so združeni vsi pritoki in odtoki jezera ter njihove hidravlične lastnosti, tretja skupina pa pokriva vnosne količine fosforja in dušika (Brylinsky, 2004).

4.6 Izračun količine fosforja in dušika za jezera Klivnik in Mola

4.6.1 Površina prispevnega območja (A)

Za določitev vplivnega območja potrebujemo topografske karte območja, da lahko določimo razvodnico. Razvodnica je črta, ki določa mejo med dvema porečjema oz. prispevnima površinama. Razvodnica določa območje, ki meji na najvišje točke zemljišča na eni strani in točko odtoka iz jezera na drugi. Površine jezera običajno ne vključimo med površino vplivnega območja. Ker je vplivno območje sestavljeno iz različnih tipov tal, je nujno potrebno določiti površino vsakega tipa tal posebej, saj vsak da različne količine fosforja in dušika. Površino jezera določimo na isti način kot ostale tipe tal. Če ima jezero otok, določimo tip tal in površino otoka in ga prištejemo istemu tipu tal iz vplivnega območja.

Številne raziskave so pokazale, da je zadrževanje fosforja ali dušika v jezeru povezano s hidravličnimi obremenitvami jezera. V ta namen smo morali pridobiti čim bolj natančne pretoke na obeh jezerih za vsako leto v obravnavanem obdobju. Pretoke smo izračunali iz meritev gladin, ki jih na obeh akumulacijah izvaja Vodno gospodarsko podjetje Drava d. d. (Ivanuša, 2016).

4.6.2 Volumen jezera (V)

Kljub temu, da volumen jezera v večini primerov ni potreben za določitev koncentracije fosforja ali dušika, je to podatek, s katerim lahko izračunamo povprečno globino jezera in zadrževalni čas.

4.6.3 Pritok (Q_1)

Pritok vode v jezero izračunamo iz podatkov letnih padavin, ki jih pomnožimo s površino vplivnega območja. Za izračun vzamemo podatke padavin, ki so bili merjeni na najbližji padavinski postaji. Meritve padavin izvaja in hrani Agencija Republike Slovenije za okolje (Meteo.si, 2015). Če ima jezero pritok, ga upoštevamo skupaj s pritokom s površine.

4.6.4 Odtok (Q_2)

Odtok iz jezera je pogosto podan kot srednji letni odtok. Na jezeru Mola in Klivnik meritve odtokov meri Vodno gospodarsko podjetje Drava Ptuj d. d. (Ivanuša, 2016). Količina odtoka je enaka vtoku, ki mu prištejemo padavine ter odštejemo količino vode, ki se izgubi zaradi izhlapevanja. Pritoka podzemne vode ne upoštevamo, saj je izračun tega volumna nezanesljiv.

4.7 Postopek izračuna

4.7.1 Izračun obremenitve jezera zaradi izpustov kanalizacijskih odpadnih voda

Najprej smo izračunali obremenitve, ki jih ustvarijo izpusti kanalizacijskih odpadnih voda.

Hidravlična obremenitev:

$$Q_2 = A * np \text{ [l/dan]} \quad (13)$$

A - število prebivalcev na danem območju,

np - količina vode, ki jo porabi prebivalec v enem dnevu: 150 l (PE/dan).

Biokemijska obremenitev:

$$G = A * g * \left(\frac{100-n}{100}\right) \text{ [g/dan]} \quad (14)$$

g - biokemijska obremenitev na prebivalca: 3,5 g P (PE/dan), 12 g N (PE/dan),

n - učinek čiščenja greznice: 25%.

Izračun koncentracije fosforja ali dušika v odtoku:

$$C_2 = G/Q \text{ [g/l]} \quad (15)$$

Preračun koncentracije glede na pretok v jezeru:

$$C_{kanalizacija} = \frac{C_2 * Q_2}{Q} \text{ [mg P/l, mg N/l]} \quad (16)$$

Q - srednji letni pretok na jezeru za določeno leto.

4.7.2 Izračun obremenitve jezera zaradi izpiranja dušika in fosforja s prispevnega območja

V nadaljevanju je predstavljen izračun obremenitev jezera zaradi izpiranja dušika in fosforja s prispevnega območja.

Delež padavin na površini:

$$p_n = A_n * p \text{ [l/leto]} \quad (17)$$

n - je številka vrstice od 1 do 7 in predstavlja različne tipe tal (1-gozd, 2-voda, 3-travniki, 4-zaraščanje, 5-njive in vrtovi, 6-pozidana, 7-sadovnjaki),

A - površina, ki jo določen tip tal zajema,

p - letna količina padavin v računem letu.

Površinski odtok za vsak tip tal:

$$Q_n = p_n * k_o \text{ [l/leto]} \quad (18)$$

k_o - koeficient odtoka (gozd- 0.1, travniki- 0.2, zaraščanje- 0.15, njive in vrtovi- 0.2, pozidana- 0.8, sadovnjaki- 0.25).

Koncentracija fosforja ali dušika za določen tip tal:

$$C_n = \frac{A*k}{Q_n} \text{ [mg P/l, mg N/l]} \quad (19)$$

k - vsebnost dušika in fosforja v določenem tipu tal (preglednica 6).

Preglednica 2: Vsebnost dušika in fosforja v določenem tipu tal (Lin, 2004)

Raba tal	Vsebnost dušika	Vsebnost fosforja
gozd	2,86	0,24
voda	-	-
travniki	8,65	1,50
zaraščanje	5,76	0,87
njive in vrtovi	16,09	4,46
pozidana	9,97	1,91
sadovnjaki	5,19	1,08

Izračun končne koncentracije:

$$C_{izpiranje} = \frac{c_1*Q_1 + c_2*Q_2 + c_3*Q_3 + c_4*Q_4 + c_5*Q_5 + c_6*Q_6}{Q} \text{ [mg P/l, mg N/l]} \quad (20)$$

Q - srednji letni pretok na jezeru za določeno leto.

4.7.3 Izračun končnih obremenitev

Za jezero Klivnik smo končne obremenitve izračunali tako, da smo sešteli koncentracijo zaradi izpiranja tal in koncentracijo, ki pride iz kanalizacijskih odpadnih voda.

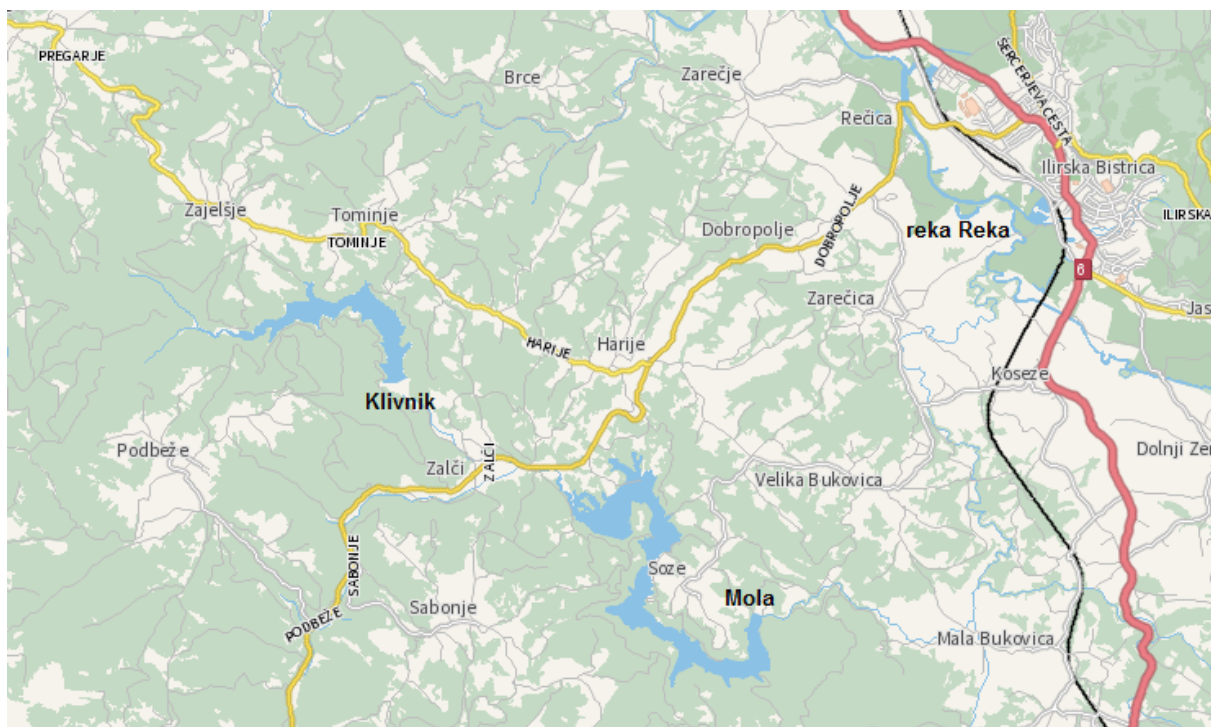
$$C = C_{kanalizacija} + C_{izpiranje} \quad (21)$$

Na jezeru Mola smo končno obremenitev izračunali podobno kot na jezeru Klivnik, vendar smo tu prišteli še obremenitev, ki priteče iz jezera Klivnik. Pri tem smo upoštevali merjeno vrednost.

$$C = C_{kanalizacije} + C_{izpiranje} + C_{Klivnik \text{ izmerjena}} \quad (22)$$

5 OPIS OBMOČJA

Občina Ilirska Bistrica leži na jugozahodnem delu Slovenije, pod Snežniškim gorovjem. Spada med večje občine po površini (480 km²) v Sloveniji. Mesto z okolico šteje okrog 14 500 prebivalcev (OŠ Dragotina Ketteja, 2016). Občina zajema tri večja vodna telesa (slika 9): reko Reko ter jezera Mola in Klivnik. Reka Reka je bila v preteklosti eden izmed bolj onesnaženih vodotokov v Sloveniji. V 70. in 80. letih 20. stoletja se je porast industrije močno povečeval, kar je privedlo do velikih količin industrijske odpadne vode, ki se jo je spuščalo neposredno v reko Reko. Tu sta prednjačili dve takrat močni podjetji, TOK – tovarna organskih kislin in tovarna lesomitnih plošč - Lesonit. Če temu prištejemo še komunalno odpadno vodo in odpadke, ki so jih ljudje metali v bližino reke, je to privedlo do tega, da je reka Reka leta 1966 prvič prekoračila mejo dovoljenega onesnaženja (Habe, 1984). Zaradi onesnaženosti so trpele tudi Škocjanske jame. Zato je bil sprejet dogovor o izvajanju skupnih ukrepov za sanacijo reke Reke, kjer je bil predstavljen načrt za izgradnjo umetnega jezera Mola. Namen jezera je večanje pretokov v sušnih obdobjih ter posledično nižanje koncentracij onesnaženja. Meritve, ki jih je izvajal Kemijski inštitut Borisa Kidriča, so pokazale, da se kvaliteta vode ni bistveno izboljšala. Zato je bil leta 1983 sprejet drugi dogovor o izvajanju skupnih ukrepov za sanacijo reke Reke. Program je med drugim predvideval, da se v letih 1984 do 1986 zgradi akumulacija Klivnik (Habe, 1984).



Slika 9: Območje obeh akumulacij (Najdi.si zemljevid, 2016)

5.1 Jezero Mola

Akumulacija Mola je zgrajena na potoku Molja, ki je eden od večjih pritokov reke Reke. Jezero stoji na južnem delu geografskega območja Brkini, ki se nahaja jugozahodno od predela slovenskega Krasa v občini Ilirska Bistrica. Akumulacija je bila zgrajena z namenom zagotavljanja vode za višanje nizkih pretokov reke Reke v sušnih obdobjih (Šestan, 2015). Prvotno za manjšanje koncentracij onesnaženja, v zdajšnjih časih pa za aktiviranje reke vzdolž struge od Ilirske Bistrice do Škocjanskih jam. Namenjena je tudi za zadrževanje visokega vodnega vala in preprečevanje poplav v dolini Molje in dolini reke Reke. V zadnjih letih igra jezero Mola veliko vlogo pri lokalni Ribiški družini Ilirska Bistrica, saj služi kot eno od glavnih območij rekreacijskega ribolova. Poleg tega na jezeru prirejajo tekmovanja v športnem ribolovu na ciprinidne ribe, ki štejejo za državno ligo. Gradnja pregrade se je začela leta 1974, dokončala pa leta 1976. Poskusno obratovanje pregrade se je začelo leta 1978, po enem letu obratovanja je objekt dobil uporabno dovoljenje (Peroša, 2015).

Objekt je zgradilo vodno gospodarstvo Hidro Koper. Za potrebe izgradnje jezera so iz območja akumulacije izselili eno kmetijo, od katere so še vedno vidni zidovi hiše v sušnih obdobjih.

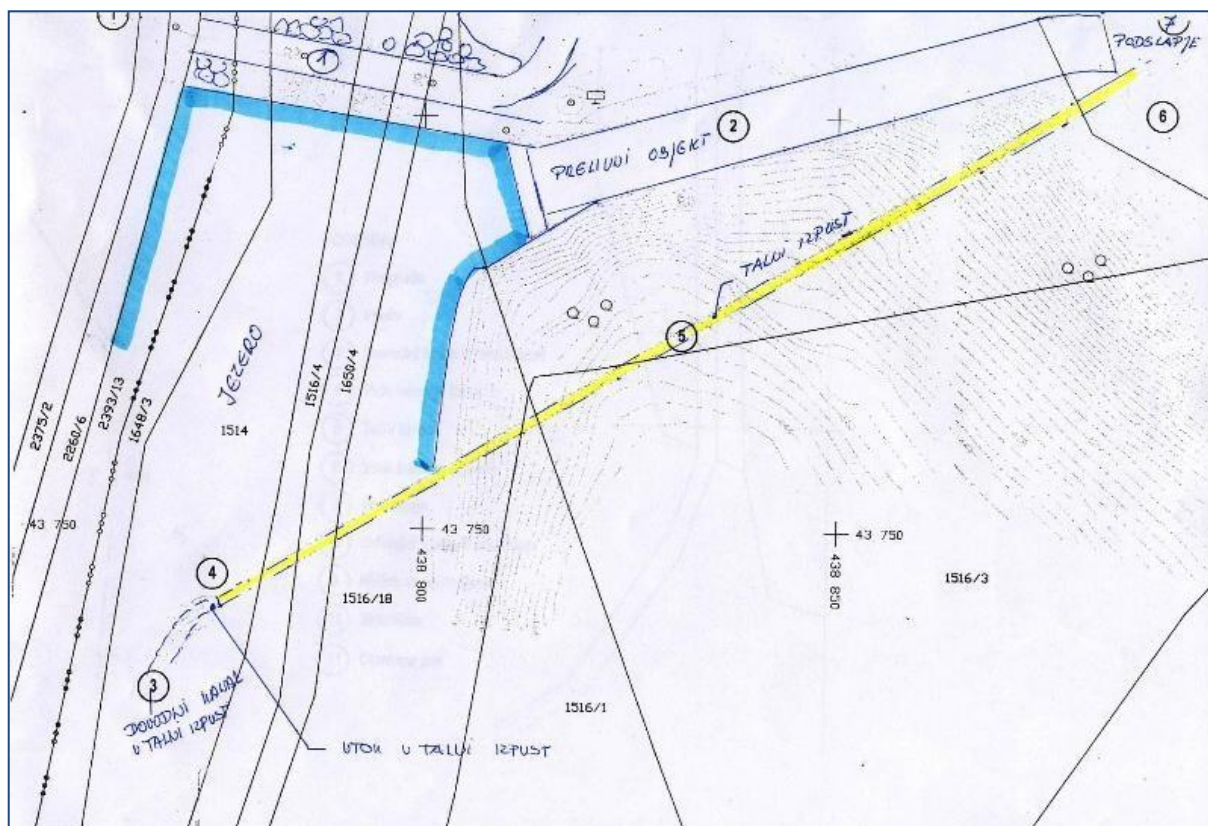
Faze gradnje (Šestan, 2015):

- pripravljalna dela (infrastruktura, gradnja dostopnih cest, skladiščni objekti, ipd.),
- izgradnja talnega izpusta (sodelovali rudarji iz Trbovelj),
- gradnja temeljev pregrade in njeno nasutje,
- izgradnja prelivnega in izpustnega objekta (podslapje) z vgrajenimi umirjevalniki.

5.1.1 Opis objekta

Za objekt skrbi Vodnogospodarsko podjetje Drava Ptuj, d.d. Gre za nasuto zemeljsko pregrado, ki je visoka 23,5 metra, dolžina krone je 90 metrov. Jezero se razteza na dolžini 3,7 km. Ko je napolnjeno do vrha, znaša maksimalna prostornina 4 300 000 m³, površina pa 680 000 m². Srednji letni pretok znaša 0,708 m³/s. Ob tem pretoku se vsa voda v jezeru zamenja v 70 dnevih in 7 urah (Šestan, 2015).

Na sliki 10 je razvidno, kateri objekti sestavljajo jez in njihova lokacija.



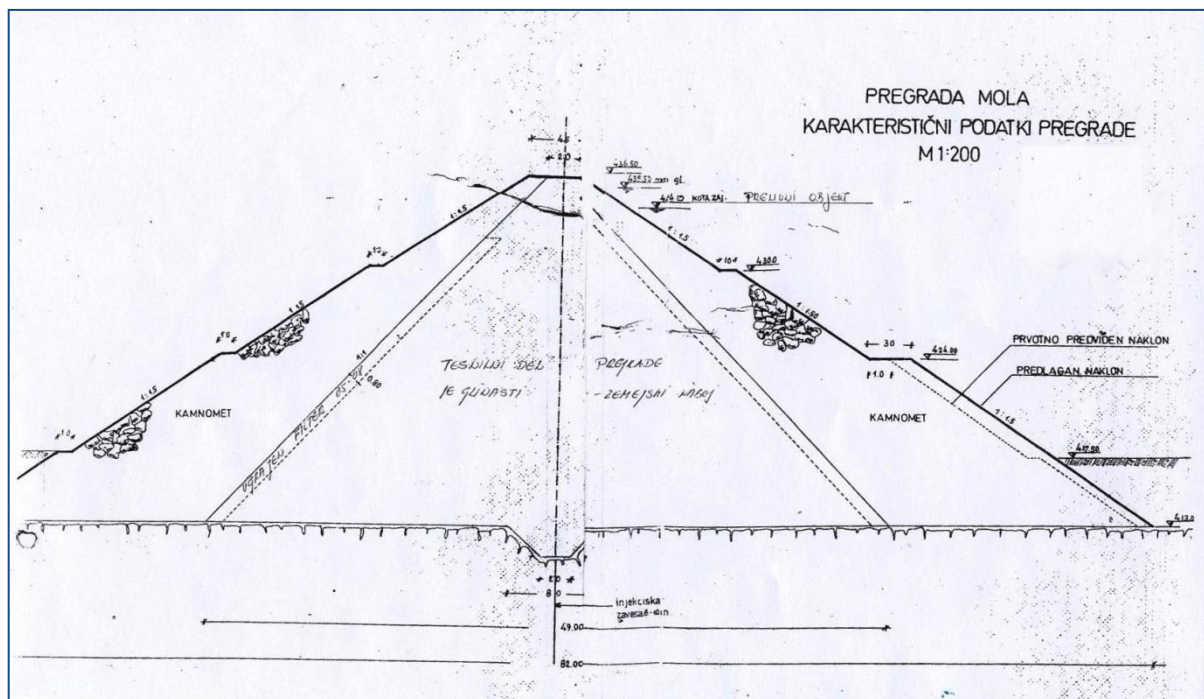
Slika 10: Tloris pregrade na jezeru Mola (Šestan, 2015)

Slika 10 nam prikazuje lokacijo naslednjih objektov:

1. Krona pregrade – čeznjo pelje makadamska cesta (nadm. višina 436,5 m).
2. Prelivni objekt – čezenj odteka voda, ki preseže koto 434 m. Je armiranobetonska konstrukcija z vtočnim pragom 12 m, ki preide v drčo širine 7 m ter se konča v podslapju.
3. Dovodni kanal v talni izpust – na dnu zajetja.
4. Vtok v talni izpust – je armirano betonska konstrukcija na dnu zajetja z ustreznimi grabljami in omogoča vtok vode v talni izpust.
5. Talni izpust – predstavlja armirano betonska cev premera 2 m. Povezuje akumulacijo s podslapjem. Ima dva zasuna – glavni s $\phi = 90$ cm, pomožni pa s $\phi = 80$ cm. Skozenj se vrši stalen izpust vode in sicer najmanj 15 l/s za zagotavljanje biološkega minimuma v potoku Molja, ki se po 5,9 km pri Ilirski Bistrici izlije v reko Reko.
6. Iztok talnega izpusta
7. Podslapje – je skupno za talni izpust in za prelivni objekt. V njem se voda umirja.

V pregrado je vgrajenih 45 000 m³ materiala (Šestan, 2015). Sredica objekta je iz gline, kar omogoča tesnilnost objekta. V najširšem delu meri 49 metrov. Tako zračni kot vodni del pregrade sta iz kamnometne obloge. Na zgornji in spodnji strani osrednjega tesnilnega dela je vgrajen filter (slika 11).

Celotna širina pregrade spodaj znaša 82 metrov. Naklon vodne in zračne strani pregrade je 1 : 1,5 m z vmesnimi bermami. V zaključni fazi gradnje so pregrado vzdolž krone in po brežinah dodatno zatesnili z injekcijsko zaveso iz betona (Šestan, 2015).



Slika 11: Karakterističen prerez pregrade Mola (Šestan, 2015)

Na sliki 11 so razvidne posamezne višinske kote.

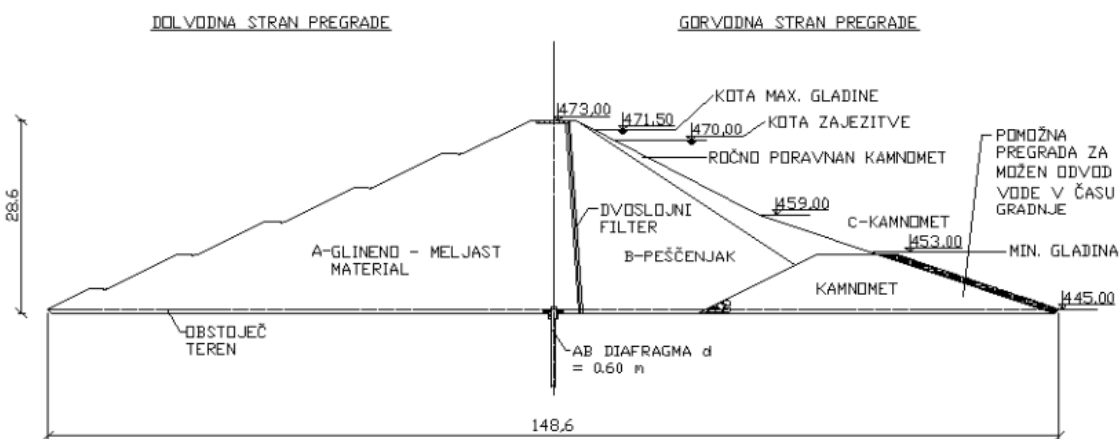
- vrh pregrade: 436,50 m,
- maksimalna gladina: 435,50 m; volumen 4,3 milijona m³,
- kota preлива: 434,10 m; volumen vode 3,3 milijona m³,
- kota za visoki val: 432,0 m,
- biološki minimum = minimalna gladina: 424 m; volumen vode 0,3 milijona m³,
- talni izpust: 417,50 m.

zadrževanje visokega vodnega vala. Prav tako kot Mola je tudi jezero Klivnik vključeno v Ribiško družino Ilirska Bistrica. Razlika je le v tem, da so v njem naseljene le salmonidne vrste rib. Ribiška družina tudi vsako leto 1. aprila organizira mednarodno tekmo v lovu na postrv, saj se s tem dnevom odpre lov na salmonidne vrste rib. Pregrada je bila zgrajena leta 1989, zgradili sta jo podjetji Hidro Koper in Nivo Celje, kot podizvajalca poslovnega združenja Hidrogea Maribor (Peroša, 2015).

5.2.1 Opis objekta

Pregrada je tipa nasuta zemeljska, višine 28 metrov in dolžine 252 metrov. Maksimalen volumen vode 4 300 000 m³ doseže jezero, ko je zaprta zgornja loputa in doseže gladina vode koto 471,5 metrov nadmorske višine, pri tem zajame 360 000 m² površine. Srednji letni pretok jezera je enak 0,52 m³/s, to pomeni, da se vsa voda ob tem pretoku zamenja v 95 dneh in 17 urah (Vadnjal, 2013).

Ta pregrada je v primerjavi s pregrado Mola večja. Pregrado ločimo na gorvodni del in na dolvodni del. Dolvodni (zračni) del je zgrajen iz 92 337 m³ glinasto-meljaste zemljine. Za večjo stabilnost so to polovico pregrade zasnovali stopničasto. Pet stopnic ali berm je širokih 3 metre, spuščajo pa se z naklonom 1:2. Zračni del je v celoti zatravljen in se spušča z naklonom 1:2,53. Gorvodni del ali vodni del je zgrajen iz 55 463 m³ peščenjaka v notranjosti in 44 158 m³ skalometa iz apnenca od zunaj. Naklon vodnega dela je od vrha do kote 459 m je 1:2, ostali del je v naklonu 1:3. Med obema slojema je dvoslojni filter, ki ima nalogo preprečevanja drobnih delcev iz vodnega dela (Vadnjal, 2013).



Slika 14: Prikaz nadmorskih višin na karakterističnem prerezu pregrade Klivnik (Vadnjal, 2013)

Na sliki 14 so razvidne posamezne višinske kote:

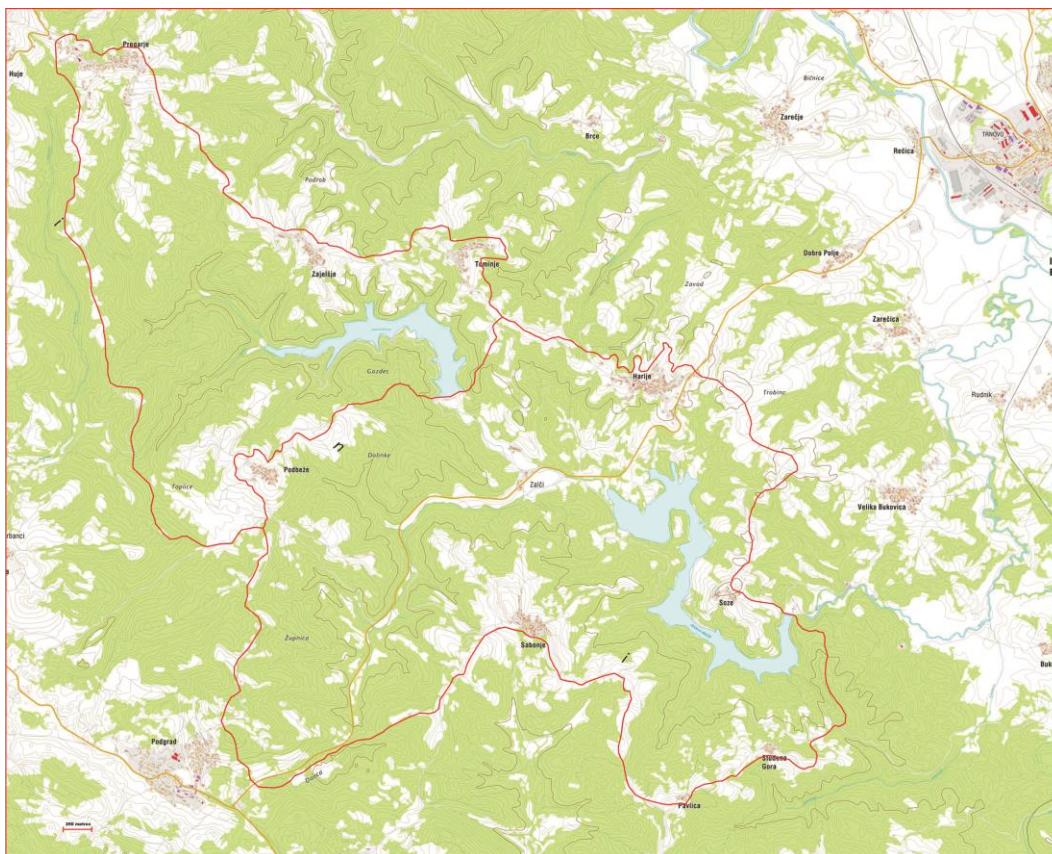
- vrh pregrade: 473 m,
- maksimalna gladina: 471,50 m; volumen 4,3 milijona m³,
- preliv za visoke vode: 469 m,

- biološki minimum = minimalna gladina: 453 m; volumen vode 0,3 milijona m³,
- talni izpust: 446,8 m.

Na zračnem delu je urejeno odvodnjavanje padavinske vode, ki odvaja vodo po bermah z betonskimi kanaletami (Vadnjak, 2013; Šestan, 2015; Peroša, 2015).

5.3 Vplivno območje

Vplivno območje zajema vso površino, s katere voda odteka v potok, reko, jezero ali morje. Določi se ga na podlagi reliefa in vodne mreže. Tako smo določili površino, iz katere se čez celo leto izcejajo vse vode v jezera Klivnik in Mola. Za določitev površine smo si pomagali s topografsko in reliefno karto, ki pokrivata območji obeh jezer. V veliko pomoč je bilo tudi dobro poznavanje tega terena. Površina vplivnega območja znaša 22003262 m², kar je okrog 22 km².



Slika 15: Vplivni območji akumulacij Mola in Klivnik (Geopedia.si Lite, 2012)

Vplivno območje smo razdelili na dva dela (slika 15). Prvi del predstavlja vplivno območje akumulacije Klivnik in poleg jezera zajema vasi Pregarje, Zajelšje in Tominje. Drugi del pa predstavlja vplivno območje akumulacije Mola. Poleg jezera Mola zajema vasi Studena Gora, Pavlica, Sabonje, Soze, Zalci, Podbeže in Harije, regionalno cesto Ilirska Bistrica – Podgrad ter lokalne ceste,

ki so povezave med vasmi. Ker nismo dobili podatkov o številu prebivalcev po vaseh za vsa obravnavana leta smo se odločili, da bomo za izračun uporabili najnovejši popis števila prebivalcev, ki je bil narejen leta 2015 (preglednica 2).

Preglednica 3: Število prebivalcev (SUR5, 2015)

Ime kraja	Število prebivalcev 2015	Moški	Ženske	Število gospodinjstev
Harije	260	129	131	90
Pregarje	195	99	96	86
Tominje	102	53	49	42
Podbeže	96	53	43	40
Sabonje	74	32	42	29
Zajelšje	56	27	29	19
Soze	38	20	18	15
Studena Gora	23	10	13	11
Zalči	20	12	8	8
Pavlica	12	5	7	7
Skupaj	876	440	436	347

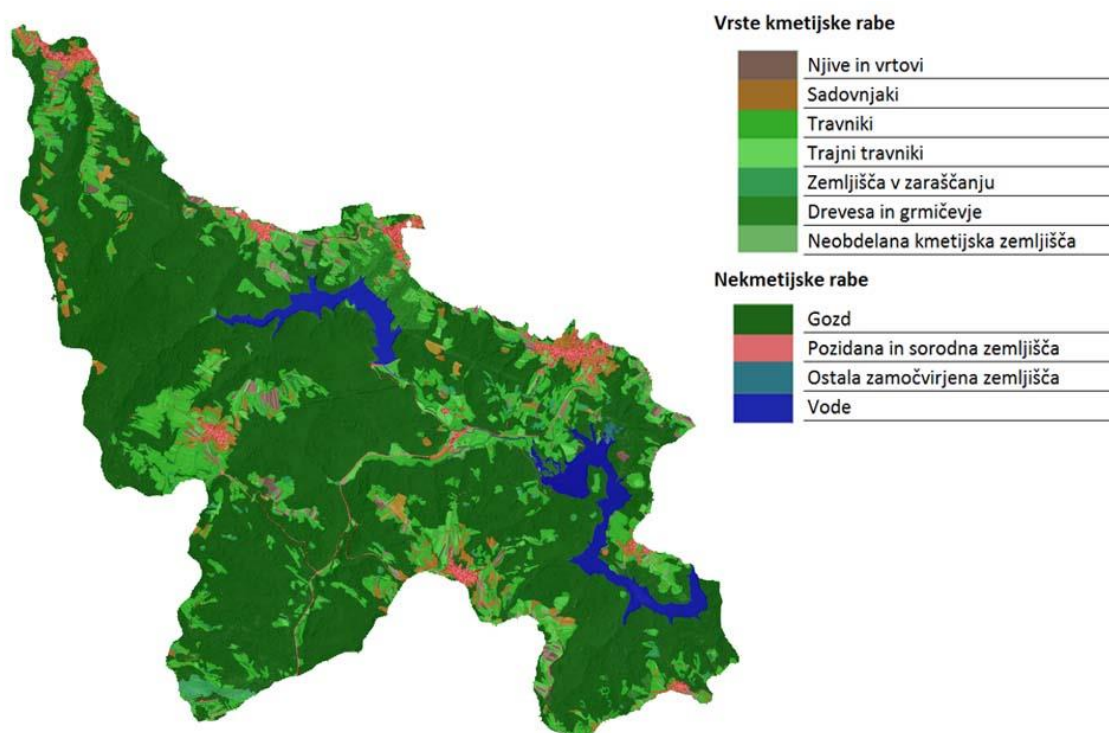
5.3.1 Opis stanja kanalizacije v vaseh

V občini Ilirska Bistrica je trenutno poskrbljeno za odvajanje in čiščenje komunalne odpadne vode, za mesto Ilirska Bistrica ter večje vasi, Topolec, Jasen, Podgrad... Vasi, ki so vključene v tej diplomski nalogi, spadajo med manjše, zato za njih še ni bilo urejeno odvajanje in čiščenje komunalnih odpadnih voda. Velika večina hiš je starejših, tako, da imajo urejeno odvajanje kanalizacijskih voda v obliki pretočnih greznic, z neurejenimi odtoki.

5.4 Raba tal

Rabo tal smo določili s pomočjo spletnega portala (Geopedia.si Lite, 2012), kjer smo pridobili topografsko karto, ki prikazuje rabo tal. Pridobljeni podatki so prikazani v nadaljevanju.

5.4.1 Raba tal za vplivno območje akumulacije Mola



Slika 16: Raba tal na vplivnem območju obeh akumulacij (Geopedia.si Lite, 2012)

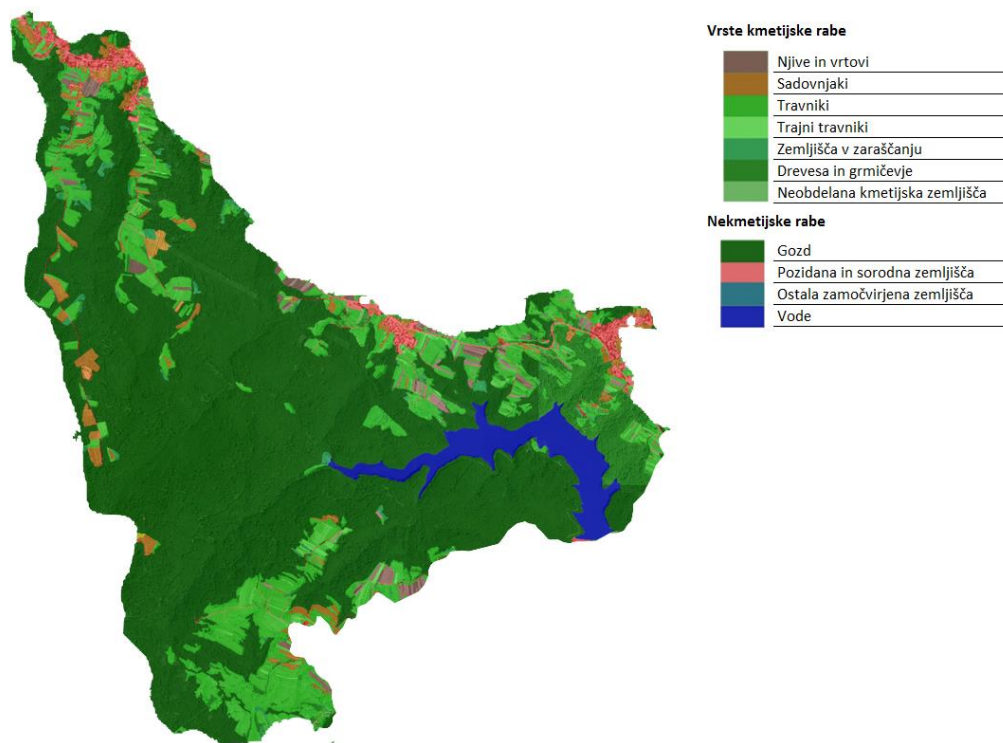
Preglednica 4: Raba tal v odstotkih za jezero Mola

Raba tal	Delež površine [%]
gozd	67,67
voda	3,92
travniki	14,60
zaraščanje	5,57
njive in vrtovi	2,36
pozidana	2,51
sadovnjaki	3,37
Celota	100,00

Na vplivnem območju smo določili 11 različnih vrst rabe tal (slika 16). Daleč največji del predstavlja gozd, kar 67,1 % območja. Ker so nekatere vrste rabe tal v zelo majhnih deležih, smo se odločili, da jih združimo z večjimi podobnimi površinami (preglednica 3). Zato smo zamočvirjeno območje

združili z območjem voda, travnikom smo prišteli območje trajnih travnikov, združili smo območje zaraščanja z območjem grmičevja ter neobdelana kmetijska zemljišča prišteli k območjem njiv in vrtov.

5.4.2 Raba tal za vplivno območje akumulacije Klivnik



Slika 17: Raba tal na vplivnem območju akumulacije Klivnik (Geopedia.si Lite, 2012)

Preglednica 5: Raba tal v odstotkih za jezero Klivnik

Raba tal	Delež površine [%]
gozd	66,15
voda	3,77
travniki	15,77
zaraščanje	7,36
njive in vrtovi	2,29
pozidana	2,50
sadovnjaki	2,16
Celota	100,00

Deleži rabe tal so praktično v enakih razmerjih kot pri vplivnem območju akumulacije Mola (slika 17). Tudi tu smo manjše deleže združevali z večjimi podobnimi rabami tal (preglednica 4).

6 IZRAČUNI IN ANALIZA REZULTATOV

6.1 Podatki

Izračunali smo vrednosti celotnega dušika in celotnega fosforja, da bi jih lahko primerjali z vrednostmi, ki jih je izmerila Agencija za okolje Republike Slovenije (ARSO, 2015). Za izračun smo potrebovali podatke o letnih količinah padavin (preglednica 5). Podatke smo pridobili v arhivih ARSO (Meteo.si, 2016) za najbližjo padavinsko merilno postajo Podgrad.

Preglednica 6: Letna količina padavin za padavinsko postajo Podgrad za obdobje 2003 –2014 (Meteo.si, 2016)

Padavine [mm]	1mm = 1l/m ²												Seštevek padavin [mm/leto]	Seštevek padavin [l/m ² /leto]
	Leto	Januar	Februar	Marec	April	Maj	Junij	Julij	Avgust	September	Oktober	November		
2003	117,4	60,6	2,7	124,7	22,8	67,5	24,5	45,7	97,5	182,2	162,7	121,9	1030,2	1030,2
2004	128,5	163,6	55	105,2	145,5	86,5	57,4	49,9	59	248,6	83	208,8	1391	1391
2005	13,4	49,2	77,7	162,9	149,1	68,3	121,9	236,4	119,8	80,9	182,5	139	1401,1	1401,1
2007	125,5	173,4	105,6	1,9	160,5	89	58,6	104,8	270,9	91,2	31,2	58	1270,6	1270,6
2008	110,9	44,8	151,6	213,1	65,9	135,8	117,1	100	51,6	50,5	165,6	392,9	1599,8	1599,8
2009	101,4	191,9	153,3	110,4	15,5	130,8	88,2	88,9	84,6	73,6	161,3	379,5	1579,4	1579,4
2010	142,4	149,2	55,7	68,4	218,4	154,1	139,8	121,5	381	154,2	261,8	271,9	2118,4	2118,4
2011	44,8	63,8	124,7	29,1	80,4	124,9	161,8	31,3	66,2	122,6	14	153,8	1017,4	1017,4
2012	36,4	27,6	2,6	69,4	121,7	48,1	17,2	65,5	159,5	163,1	299,5	158,6	1169,2	1169,2
2013	157,4	178,9	219,9	82,5	206,4	102,6	30,6	78,8	181	103,5	271,2	94,7	1707,5	1707,5
2014	255,6	306,7	82,4	95,1	98,7	139,5	196,9	187,4	190,9	96,4	263,2	160,4	2073,2	2073,2

6.1 Meritve na jezerih Klivnik in Mola

Meritve na obeh jezerih izvaja Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO) s pomočjo Nacionalnega inštituta za biologijo Ljubljana, Oddelka za biologijo Biotehnične fakultete Univerze v Ljubljani, Zavoda za zdravstveno varstvo Maribor in Inštituta za ekološke raziskave ERICo Velenje. Monitoring na obeh akumulacijah so začeli izvajati leta 2003. Zaenkrat so letna poročila dosegljiva za obdobje od leta 2003 do leta 2014, z izjemo leta 2006. Vsa poročila in meritve so dostopna na spletni strani Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO, 2015). V poročilih so združene analize fizikalno-kemijskih parametrov ter analize klorofila-A in fitoplanktona. Na podlagi meritev je v poročilih ocenjeno ekološko stanje in kemijsko stanje jezer. Zajem vzorcev za meritve in analize se je izvajal s pomočjo Van-Dornovega vzorčevalnika. Vzorci so se jemali na treh globinah, in sicer na dnu jezera, na sredini in na globini 0,5 metra. Ekološko stanje jezer v letih od 2003 do 2007 je bilo v letnih poročilih določeno po OECD kriterijih, ki jezera razvrščajo v pet razredov trofičnosti. Razred za posamezno jezero je bil določen na podlagi povprečne letne količine celotnega fosforja, povprečne letne količine celotnega dušika, povprečne letne prosojnosti in povprečne letne maksimalne količine

klorofila. Od leta 2008 naprej je ekološko stanje jezer in akumulacij razvrščeno v novo poimenovane skupine, ki so določene v Vodni direktivi (ARSO, 2015). Uredba o kemijskem stanju površinskih voda (ARSO, 2015) deli jezera na tista, kjer je dobro kemijsko stanje voda in na tista s slabim stanjem voda (preglednica 7).

Preglednica 7: Kemijsko in ekološko stanje vodnega telesa (ARSO, 2015)

Kemijsko stanje vodnega telesa	Ekološko stanje vodnega telesa
dobro	zelo dobro
	dobro
slabo	zmerno
	slabo
	Zelo slabo

Na akumulaciji Klivnik ARSO izvaja meritve na dveh merilnih mestih, 1 Klivnik pritok in 2 Klivnik iztok ter na zajemni točki T1 – zadrževalnik Klivnik (slika 18). Meritve se izvajajo trikrat do štirikrat na leto (ARSO, 2015).



Slika 18: Merilna mesta na jezeru Klivnik (Najdi.si Zemljevid, 2015).

Meritve na akumulaciji Mola se izvajajo na merilnem mestu 3 Mola iztok ter na zajemni točki T2 – zadrževalnik Mola (slika 19). Tako kot na Klivniku se tudi tu izvajajo meritve trikrat do štirikrat na leto (ARSO, 2015).



Slika 19: Merilna mest na jezeru Mola (Najdi.si Zemljevid, 2015).

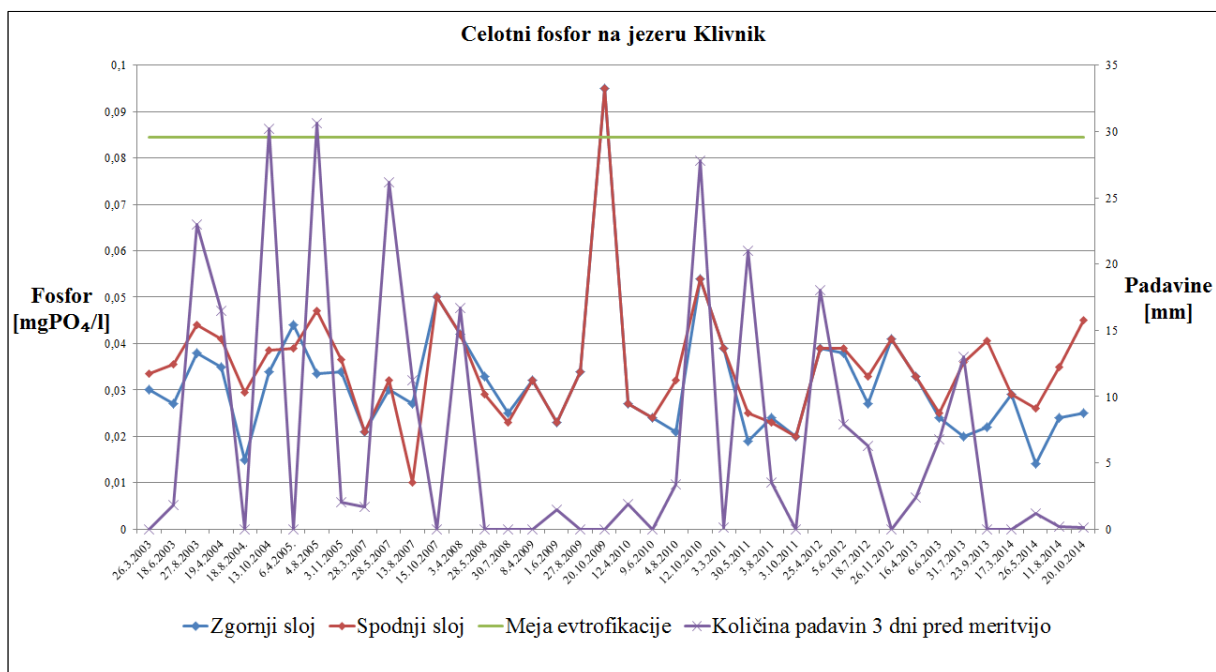
6.1.1 Meritve koncentracij celotnega fosforja in celotnega dušika na akumulacijah Klivnik in Mola

Preglednica 8: Meritve koncentracij celotnega fosforja in dušika na jezeru Klivnik za obdobje 2003–2014 (ARSO, 2015)

Klivnik		Fosfor celotni		Dušik celotni		Padavine 3 dni prej mm
Datum	Število meritev	Zgornji sloj	Spodnji sloj	Zgornji sloj	Spodnji sloj	
		mgPO ₄ /l	mgPO ₄ /l	mg N/l	mg N/l	
26.3.2003	1	0,03	0,0335			0
18.6.2003	2	0,027	0,0355	0,03	0,185	1,8
27.8.2003	3	0,038	0,044	0,6	0,8	23
19.4.2004	4	0,035	0,041			16,5
18.8.2004	5	0,015	0,0295			0
13.10.2004	6	0,034	0,0385			30,2
6.4.2005	7	0,044	0,039	1,2	1,2	0
4.8.2005	8	0,0335	0,047	1,3	1,3	30,6
3.11.2005	9	0,034	0,0365	0,7	0,7	2
28.3.2007	10	0,021	0,021	0,919	0,919	1,7
28.5.2007	11	0,03	0,032	0,75	0,795	26,2
13.8.2007	12	0,027	0,01	0,424	0,761	11,2
15.10.2007	13	0,05	0,05	0,984	0,984	0
3.4.2008	14	0,042	0,042	0,89	0,89	16,7
28.5.2008	15	0,033	0,029	0,78	0,89	0
30.7.2008	16	0,025	0,023	0,63	0,81	0
8.4.2009	17	0,032	0,032	1,06	1,06	0
1.6.2009	18	0,023	0,023	0,86	1,01	1,5
27.8.2009	19	0,034	0,034	0,54	0,54	0
20.10.2009	20	0,095	0,095	0,44	0,44	0
12.4.2010	21	0,027	0,027	0,98	0,98	1,9
9.6.2010	22	0,024	0,024	0,64	0,83	0
4.8.2010	23	0,021	0,032	0,63	0,87	3,4
12.10.2010	24	0,054	0,054	0,71	0,71	27,8
3.3.2011	25	0,039	0,039	0,98	0,98	0,1
30.5.2011	26	0,019	0,025	0,73	0,61	21
3.8.2011	27	0,024	0,023	0,62	0,8	3,5
3.10.2011	28	0,02	0,02	0,53	0,53	0
25.4.2012	29	0,039	0,039	0,6	0,6	18
5.6.2012	30	0,038	0,039	0,65	0,61	7,9
18.7.2012	31	0,027	0,033	0,51	0,6	6,3
26.11.2012	32	0,041	0,041	1,7	1,7	0
16.4.2013	33	0,033	0,033	1,3	1,4	2,4
6.6.2013	34	0,024	0,025	0,77	1,1	6,8
31.7.2013	35	0,02	0,036	0,6	0,93	13
23.9.2013	36	0,022	0,0405	0,55	0,92	0
17.3.2014	37	0,029	0,029	1,8	1,8	0
26.5.2014	38	0,014	0,026	2,1	1,7	1,2
11.8.2014	39	0,024	0,035	2,9	1,95	0,2
20.10.2014	40	0,025	0,045	2,7	2,65	0,1

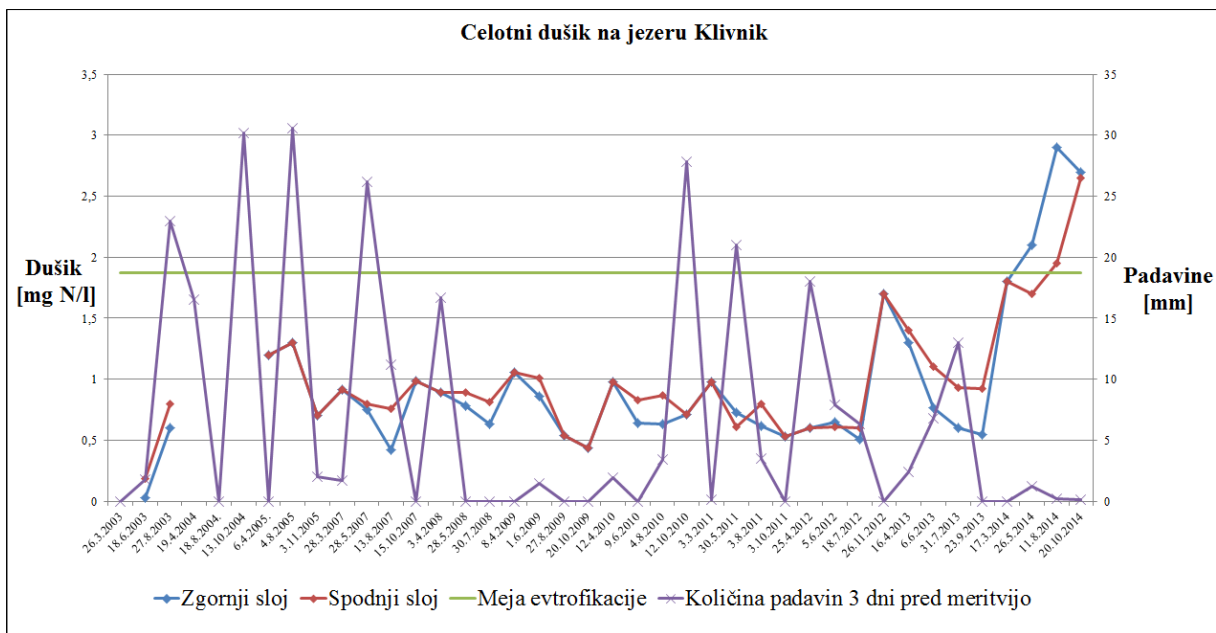
Preglednica 8 prikazuje meritve celotnega fosforja in celotnega dušika, ki jih je naredila Agencija Republike Slovenije za okolje na akumulaciji Klivnik od leta 2003 do leta 2014 (ARSO, 2015). V tem času je bilo skupno opravljenih štirideset meritev. V letih 2003, 2004, 2005 in 2008 so bile opravljene po tri meritve v letu, v ostalih letih pa štiri. Ker se globine meritev razlikujejo od meritve do meritve, smo jih posplošili v dva razreda. Tiste, ki so bile izmerjene na nizkih globinah smo uvrstili v zgornji sloj, ostale pa v spodnji sloj. Poleg celotnega fosforja in celotnega dušika smo v preglednico 8 vključili tudi količino padavin, ki je padla v treh dneh pred datumom meritve. S tem smo želeli

preveriti ali obstaja morebitna povezava med količino padavin in koncentracijo izmerjenega fosforja ali dušika.



Slika 20: Izmerjeni celotni fosfor na jezeru Klivnik (vir podatkov: ARSO, 2015)

Slika 20 prikazuje meritve celotnega fosforja na akumulaciji Klivnik iz preglednice 8. Lepo je razvidno, da se količine fosforja skozi leta niso bistveno spreminjale in so se večinoma gibale med 0,02 mg PO₄/l in 0,05 mg PO₄/l. Največja izmerjena koncentracija celotnega fosforja je bila izmerjena 20. 10. 2009, ko je znašala 0,095 mg PO₄/l. To je tudi edinkrat, ko je koncentracija fosforja preseгла mejo eutrofikacije (zelená črta), ki znaša 0,084 mg PO₄/l. Iz slike 18 je tudi lepo razvidno, da so v večini v spodnjem sloju koncentracije fosforja večje kot v zgornjem sloju. Vijolična črta predstavlja količino padavin, ki so padle v treh dneh pred meritvijo, ki pa kaže slabo korelacijo z izmerjenimi podatki.



Slika 21: Izmerjeni celotni dušik na jezeru Klivnik (vir podatkov: ARSO, 2015)

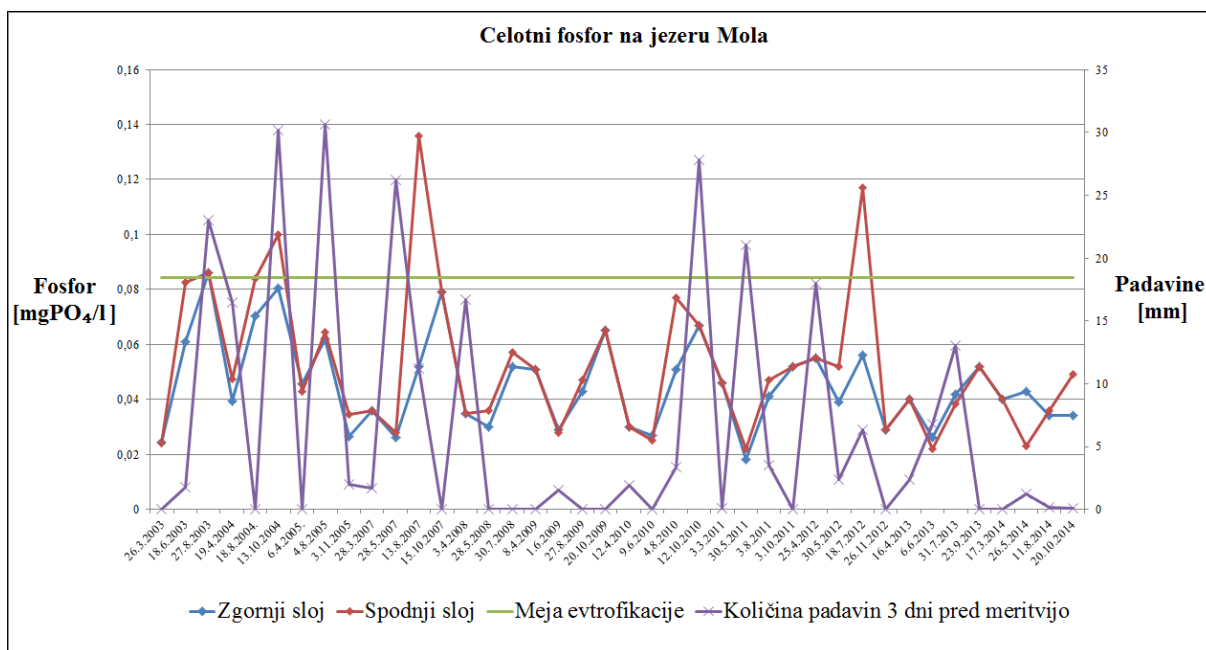
Slika 21 nam podaja meritve celotnega dušika na jezeru Klivnik (ARSO, 2015). Če spregledamo dve meritvi v letu 2003, je ARSO začel meriti celotni fosfor z letom 2005. Koncentracije meritev so se skozi leta gibale med 0,5 mg N/l in 1,5 mg N/l, z izjemo leta 2014, ko so se te velikosti drastično povečale. Meritve so pokazale, da je v zadnjih treh merjenjih leta 2014 koncentracija celotnega dušika dosegla mejo evtrofikacije in jo tudi močno preseгла. Meja evtrofikacije za celotni dušik znaša 1,875 mg N/l. Ta meja je bila večkrat presežena, najbolj 11. 8. 2014, ko je dosegla vrednost 2,9 mg N/l. Za razliko od celotnega fosforja so koncentracije celotnega dušika veliko bolj enakomerne po celotni globini akumulacije. Tudi tu ni razvidno, da bi obstajala korelacija med koncentracijami dušika in količino padavin, ki so padle tri dni pred meritvijo.

Preglednica 9: Meritve koncentracij celotnega fosforja in dušika na jezeru Mola za obdobje 2003–2014 (ARSO, 2015)

Mola		Fosfor celotni		Dušik celotni		Padavine 3 dni prej
Datum	Število meritev	Zgornji sloj	Spodnji sloj	Zgornji sloj	Spodnji sloj	mm
		mgPO ₄ /l	mgPO ₄ /l	mg N/l	mg N/l	
26.3.2003	1	0,0245	0,024			0
18.6.2003	2	0,061	0,0825			1,8
27.8.2003	3	0,086	0,086			23
19.4.2004	4	0,0395	0,0475			16,5
18.8.2004	5	0,0705	0,084			0
13.10.2004	6	0,0805	0,1			30,2
6.4.2005	7	0,0455	0,043	1,25	1,2	0
4.8.2005	8	0,062	0,0645			30,6
3.11.2005	9	0,0265	0,0345	0,55	0,6	2
28.3.2007	10	0,036	0,036	0,897	0,897	1,7
28.5.2007	11	0,026	0,028	0,489	0,764	26,2
13.8.2007	12	0,052	0,136	0,509	0,786	11,2
15.10.2007	13	0,079	0,079	0,873	0,873	0
3.4.2008	14	0,035	0,035	0,72	0,72	16,7
28.5.2008	15	0,03	0,036	0,72	0,8	0
30.7.2008	16	0,052	0,057	0,4	0,45	0
8.4.2009	17	0,051	0,051	0,79	0,79	0
1.6.2009	18	0,029	0,028	0,6	0,78	1,5
27.8.2009	19	0,043	0,047	0,42	0,61	0
20.10.2009	20	0,065	0,065	0,67	0,67	0
12.4.2010	21	0,03	0,03	0,75	0,75	1,9
9.6.2010	22	0,027	0,025	0,55	0,6	0
4.8.2010	23	0,051	0,077	0,44	0,46	3,4
12.10.2010	24	0,067	0,067	0,65	0,65	27,8
3.3.2011	25	0,046	0,046	0,87	0,87	0,1
30.5.2011	26	0,018	0,022	0,86	0,75	21
3.8.2011	27	0,041	0,047	0,5	0,55	3,5
3.10.2011	28	0,052	0,052	0,4	0,4	0
25.4.2012	29	0,055	0,055	0,56	0,56	18
30.5.2012	30	0,039	0,052	0,48	0,55	2,4
18.7.2012	31	0,056	0,117	0,6	0,59	6,3
26.11.2012	32	0,029	0,029	1,1	1,1	0
16.4.2013	33	0,04	0,04	1	1	2,4
6.6.2013	34	0,026	0,022	0,65	0,73	6,8
31.7.2013	35	0,042	0,0385	0,35	0,65	13
23.9.2013	36	0,052	0,052	0,44	0,44	0
17.3.2014	37	0,04	0,04	0,61	0,61	0
26.5.2014	38	0,043	0,023	0,38	0,48	1,2
11.8.2014	39	0,034	0,036	0,3	0,46	0,2
20.10.2014	40	0,034	0,049	0,44	0,56	0,1

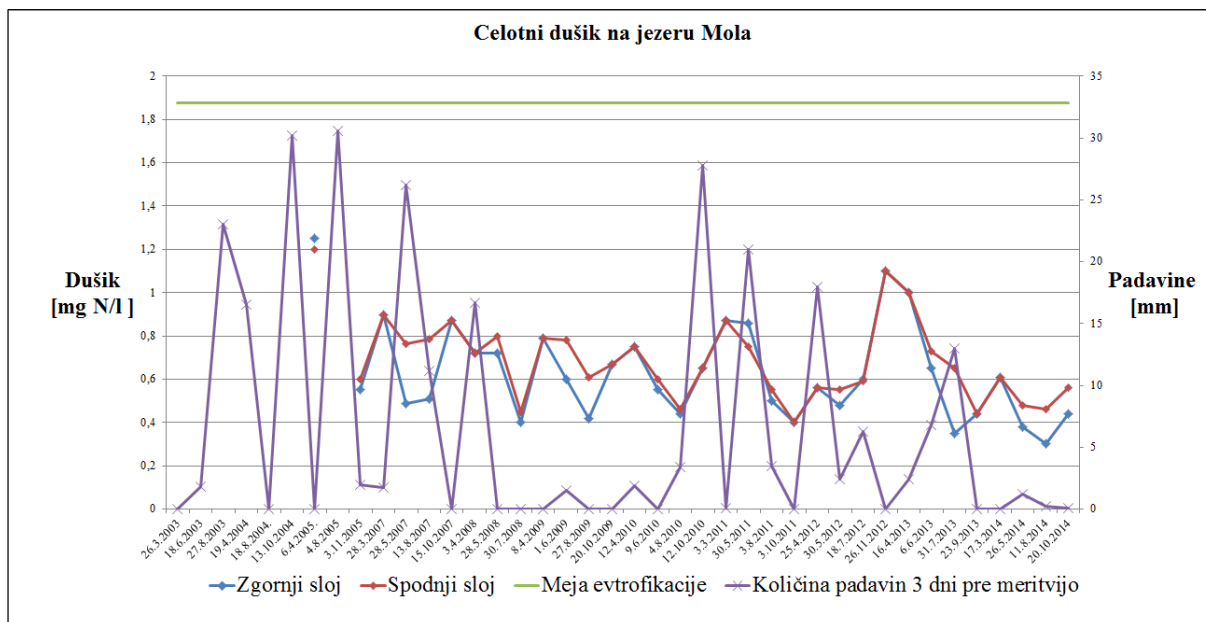
Meritve je na akumulaciji Mola, tako kot na Klivniku izvajala Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO, 2015). Preglednica 9 zajema štirideset meritev, ki so bile opravljene v obdobju od leta 2003 do leta 2014. Meritve so se v večini izvajale iste dneve kot na jezeru Klivnik. V letih 2003, 2004, 2005 in 2008 so bile opravljene po tri meritve, ostala leta pa po štiri. Koncentracije fosforja in dušika smo razdelili v dva razreda, ki smo ju ločili glede na globino zajema vzorca vode. Tiste vzorce, ki so bili zajeti višje, smo uvrstili v zgornji sloj, medtem ko smo globlje zajete vzorce uvrstili v spodnji sloj. Za pregled morebitne korelacije med koncentracijami fosforja in dušika s padavinami smo v preglednici 9

prikazali tudi količino padavin, ki je padla tri dni pred meritvami. Meritve celotnega dušika so se začele izvajati šele proti koncu leta 2005, tako da jih za leto 2003 in 2004 ni.



Slika 22: Izmerjeni celotni fosfor na jezeru Mola (vir podatkov: ARSO, 2015)

Slika 22 prikazuje vse meritve fosforja iz preglednice 9 in kaže gibanje le tega skozi obdobje od leta 2003 do 2014. Za razliko od meritev na akumulaciji Klivnik so te meritve veliko bolj razpršene. Večkrat je bila tudi dosežena in presežena meja evtrofikacije, ki znaša 0,084 mg PO₄/l in je na sliki 20 označena z zeleno črto. Najbolj je bila presežena 13. 8. 2007, ko je znašala meritev fosforja 0,136 mg PO₄/l in 18. 7. 2012, ko je bilo izmerjeno 0,117 mg PO₄/l. Je pa z grafa lepo razvidno, da se koncentracije celotnega fosforja v zadnjih letih zmanjšujejo in se držijo v območju med 0,05 mg PO₄/l in 0,02 mg PO₄/l, podobno kot smo ugotovili za jezero Klivnik. Tudi tukaj so koncentracije fosforja večje v spodnjem sloju v primerjavi z zgornjim slojem. Neposredne korelacije med padavinami (vijolična črta) in meritvami nismo uspeli potrditi, čeprav se v določenih obdobjih kažejo povezave.



Slika 23: Merjeni celotni dušik na jezeru Mola (vir podatkov: ARSO, 2015).

Slika 23 prikazuje meritve celotnega dušika na akumulaciji Mola ter vrednosti tridnevni padavin pred meritvami. Koncentracije dušika so se v jezeru Mola zelo malo spreminjale, večina jih v območju med 1 mg N/l in 0,4 mg N/l. Meja evtrofikacije, ki je označena z zeleno črto, v obravnavanih letih ni bila nikoli presežena. Najvišji meritvi sta bili doseženi 6. 4. 2005, ko je koncentracija celotnega dušika znašala 1,25 mg N/l in 26. 11. 2012, ko je meritev dosegla 1,1 mg N/l. Za te meritve lahko ugotovimo, da obstaja povezava med njimi in padavinami, saj so bile vse večje koncentracije dušika izmerjene v času, ko ni bilo padavin in je njihova količina znašala 0 mm.

Agencija Republike Slovenije za okolje je v poročilih akumulaciji Mola in Klivnik v letih od 2003 do 2007, ko se je uporabljalo še staro označevanje stanja jezer, ocenila kot mezotrofni (ARSO, 2015). Izjema je bilo leto 2004, ko je akumulacija Mola dobila oznako evtrofno jezero, zaradi preseganja mejnih vrednosti v kategorijah celotni fosfor, celotni dušik, prosojnost in povprečna količina klorofila. Od leta 2008 naprej, ko se je začelo uporabljati novo označevanje, sta akumulaciji dosegali dobro stanje jezerskih voda. Isto velja za leto 2009. Od leta 2010 naprej pa jezera zaradi malenkostnega poslabšanja stanja voda dosegata zmerno stanje voda (ARSO, 2015) oziroma, z drugimi besedami ne dosegata dobrega stanja voda ali ne dosegata okoljskega standarda kakovosti.

6.2 Izračun in analiza obremenitev na akumulacijah Klivnik in Mola

6.2.1 Izračun obremenitev za leto 2003

Iz podatkov, ki smo jih pridobili od Vodno Gospodarskega podjetja Drava Ptuj (VIR), smo izračunali srednji letni odtok za leto 2003. Na akumulaciji Klivnik znaša srednji letni odtok $Q = 127,7$ l/s, medtem ko na akumulaciji Mola $Q = 185,4$ l/s.

6.2.1.1 Obremenitev zaradi kanalizacije

Iz podatkov v preglednici 10 smo izračunali, da je območje jezera Klivnik obremenjeno s 37650 litri kanalizacijskih voda na dan. To pomeni, da je jezero obremenjeno z 0,06 mg P/l in 0,20 mg N/l. Enak izračun za akumulacijo Mola pokaže, da je območje obremenjeno s 78450 litri komunalnih odpadnih voda na dan, ki obremenijo Molo z 0,09 mg P/l in 0,29 mg N/l.

Preglednica 10: Obremenitev zaradi kanalizacije v letu 2003

Leto 2003		
A (1 prebivalec)	1	PE
np	150	l/(PE/dan)
g (biokemijska obremenitev na prebivalca)	3,5	g F/(PE/dan)
	12	g N/(PE/dan)
n (učinek čiščenja pretočne greznice)	25	%
A Mola	523	
A Klivnik	251	
1 dan	86400	s
Q (Mola)	185,4097	l/s
Q (Klivnik)	127,7533	l/s

Klivnik			
Hidravlična obremenitev:		[l/dan]	[l/s]
$Q=A*np$	$Q_2=$	37650	0,44
Biokemijska obremenitev:		[g/dan]	[g/s]
$G=A*g*n$	$G(\text{fosfor})=$	658,88	0,01
	$G(\text{dušik})=$	2259	0,03
		[g/l]	[mg/l]
$C_2=G/Q$	$C_2(\text{fosfor})=$	0,02	17,5
	$C_2(\text{dušik})=$	0,06	60
		[mg/l]	
$C=(C_1*Q_1+C_2*Q_2)/Q$	$C(\text{fosfor})=$	0,06	
	$C(\text{dušik})=$	0,20	

Mola			
Hidravlična obremenitev:		[l/dan]	[l/s]
$Q=A*np$	$Q_2=$	78450	0,91
Biokemijska obremenitev:		[g/dan]	[g/s]
$G=A*g*n$	$G(\text{fosfor})=$	1372,88	0,02
	$G(\text{dušik})=$	4707	0,05
		[g/l]	[mg/l]
$C_2=G/Q$	$C_2(\text{fosfor})=$	0,02	17,50
	$C_2(\text{dušik})=$	0,06	60
		[mg/l]	
$C=(C_1*Q_1+C_2*Q_2)/Q$	$C(\text{fosfor})=$	0,09	
	$C(\text{dušik})=$	0,29	

6.2.1.2 Obremenitev zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin

6.2.1.2.1 Prispevno območje akumulacije Klivnik

Izračunali smo količine fosforja in dušika, ki se izperejo z različnih tipov tal. Najbolj je jezero obremenjeno zaradi njiv in vrtov, vendar je tega tipa tal na območju Klivnika le 2,29 % vse površine. Pričakovali bi, da je potemtakem največji obremenjevalec jezera s fosforjem gozd, ker pokriva kar 66,15 % vsega vplivnega območja, vendar gozd prispeva le 0,03 mg/l fosforja. Največji delež obremenitve s fosforjem prispevajo travniki 0,05 mg P/l. Je pa gozd krivec za največji del obremenitve jezera z dušikom 0,37 mg N/l. Skupna obremenitev jezera tako znaša 0,12 mg/l fosforja in 0,87 mg/l dušika (preglednica 11).

Preglednica 11: Obremenitev akumulacije Klivnik zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2003

Leto 2003											
Raba tal	Delež površine [%]	Delež površine [m ²]	Delež površine [ha]	Delež padavin [l/leto]	Koeficient odtoka	Skupni odtok [l/leto]	Skupni odtok [l/s]	Vsebnost dušika [kg N/ha/leto]	Vsebnost fosforja [kg P/ha/leto]	C ₁ dušik [mg N/l]	C ₁ fosfor [mg P/l]
gozd	66,15	5252515	525	5411140672	0,10	541114067	17,16	2,86	0,24	2,78	0,23
voda	3,77	299278	30	308316334	-	-	-	-	-	-	-
travniki	15,77	1252062	125	1289873828	0,20	257974766	8,18	8,65	1,50	4,20	0,73
zaraščanje	7,36	584516	58	602168137	0,15	90325221	2,86	5,76	0,87	3,72	0,56
njive in vrtovi	2,29	181617	18	187101685	0,20	37420337	1,19	16,09	4,46	7,81	2,16
pozidana	2,50	198841	20	204846510	0,80	163877208	5,20	9,97	1,91	1,21	0,23
sadovnjaki	2,16	171701	17	176885914	0,25	44221478	1,40	5,19	1,08	2,02	0,42
Celota	100,00	7940529	794	8180333079	-	1134933076	35,99	-	-	21,73	4,33
Seštevek padavin [l/m ² /leto]		1030,2									
Q (Klivnik)		127,8 l/s									
C = (C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q								C(fosfor)=		0,12 [mg/l]	
								C(dušik)=		0,87 [mg/l]	

6.2.1.2.2 Prispevno območje akumulacije Mola

Tudi na prispevnem območju akumulacije Mola prevladuje gozd in pokriva kar 67,67 % vse površine. Največ k obremenitvi s fosforjem prispevajo travniki, ki pokrivajo 14,60 % vplivnega območja, njihov delež pa znaša 0,05 mg P/l. Jezero je najbolj obremenjeno z dušikom zaradi gozda, ki prispeva 0,47 mg N/l. Seštevek vseh obremenitev s fosforjem znaša 0,15 mg/l, z dušikom pa 1,04 mg/l (preglednica 12).

Preglednica 12: Obremenitev akumulacije Mola zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2003

Leto 2003											
Raba tal	Delež površine [%]	Delež površine [m ²]	Delež površine [ha]	Delež padavin [l/leto]	Koeficient odtoka	Skupni odtok [l/leto]	Skupni odtok [l/s]	Vsebnost dušika [kg N/ha/leto]	Vsebnost fosforja [kg P/ha/leto]	C ₁ dušik [mg N/l]	C ₁ fosfor [mg P/l]
gozd	67,67	9516400	952	9803794855	0,10	980379485	31,09	2,86	0,24	2,78	0,23
voda	3,92	550821	55	567455380	-	-	-	-	-	-	-
travniki	14,60	2052837	205	2114832690	0,20	422966538	13,41	8,65	1,50	4,20	0,73
zaraščanje	5,57	783733	78	807401563	0,15	121110234	3,84	5,76	0,87	3,72	0,56
njive in vrtovi	2,36	331956	33	341981386	0,20	68396277	2,17	16,09	4,46	7,81	2,16
pozidana	2,51	353188	35	363854504	0,80	291083603	9,23	9,97	1,91	1,21	0,23
sadovnjaki	3,37	473798	47	488106953	0,25	122026738	3,87	5,19	1,08	2,02	0,42
Celota	100,00	14062733	1406	14487427331	-	2005962876	63,61	-	-	21,73	4,33
Seštevek padavin [l/m ² /leto]		1030,2									
Q (Mola)		185,4 l/s									
C = (C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q								C(fosfor)=		0,15 [mg/l]	
								C(dušik)=		1,04 [mg/l]	

6.2.2 Izračun obremenitev za leto 2004

Na podlagi meritev gladin na akumulacijah Mola in Klivnik, ki jih je naredilo Vodno Gospodarsko podjetje Drava Ptuj (Ivanuša, 2016), smo izračunali srednji letni odtok za leto 2004. Na akumulaciji Klivnik znaša srednji letni odtok Q = 104,1 l/s, na akumulaciji Mola pa Q = 181,0 l/s.

6.2.2.1 Obremenitev zaradi kanalizacije

Vsak dan v letu je jezero Klivnik obremenjeno s 37650 litri komunalnih odpadnih voda (preglednica 13). Te obremenijo vode v jezero z 0,07 mg P/l in 0,25 mg N/l. Jezero Mola je zaradi kanalizacijskih voda malenkost bolj obremenjeno, saj na tem območju živi dvakrat več ljudi kot na območju

akumulacije Klivnik. V jezero se vsak dan izliva 78450 litrov odpadnih voda, zaradi česar se letni koncentraciji fosforja in dušika povečata na 0,09 mg P/l ter 0,30 mg N/l (preglednica 13).

Preglednica 13: Obremenitev zaradi kanalizacije v letu 2004

Leto 2004			Klivnik		
A (1 prebivalec)	1	PE	Hidravlična obremenitev:		
np	150	l/(PE/dan)	Q=A*np	Q ₂ =	[l/dan] [l/s]
g (biokemijska obremenitev na prebivalca)	3,5	g F/(PE/dan)	Biokemijska obremenitev:		
n (učinek čiščenja pretočne greznice)	12	g N/(PE/dan)	G=A*g*n	G(fosfor)=	[g/dan] [g/s]
A Mola	523			G(dušik)=	[g/l] [mg/l]
A Klivnik	251		C ₂ =G/Q	C ₂ (fosfor)=	[mg/l]
1 dan	86400	s		C ₂ (dušik)=	[mg/l]
Q (Mola)	181,042	l/s		C=(C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q	[mg/l]
Q (Klivnik)	104,0714	l/s		C(fosfor)=	[mg/l]
				C(dušik)=	[mg/l]

Mola		
Hidravlična obremenitev:		
Q=A*np	Q ₂ =	[l/dan] [l/s]
Biokemijska obremenitev:		
G=A*g*n	G(fosfor)=	[g/dan] [g/s]
	G(dušik)=	[g/l] [mg/l]
C ₂ =G/Q	C ₂ (fosfor)=	[mg/l]
	C ₂ (dušik)=	[mg/l]
C=(C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q	C(fosfor)=	[mg/l]
	C(dušik)=	[mg/l]

6.2.2.2 Obremenitev zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin

6.2.2.2.1 Prispevno območje akumulacije Klivnik

Klivnik je bil leta 2004 obremenjen z 0,15 mg P/l in 1,07 mg N/l zaradi padavinskih voda, ki so se s prispevne površine iztekale v akumulacijo. Največji del onesnaženja s fosforjem je zaradi travnikov, ti so prispevali 0,06 mg P/l. K onesnaženju z dušikom pa največ prispeva gozd 0,46 mg N/l in travniki 0,33 mg N/l (preglednica 14).

Preglednica 14: Obremenitev akumulacije Klivnik zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2004

Leto 2004											
Raba tal	Delež površine [%]	Delež površine [m ²]	Delež površine [ha]	Delež padavin [l/leto]	Koeficient odtoka	Skupni odtok [l/leto]	Skupni odtok [l/s]	Vsebnost dušika [kg N/ha/leto]	Vsebnost fosforja [kg P/ha/leto]	C ₁ dušik [mg N/l]	C ₁ fosfor [mg P/l]
gozd	66,15	5252515	525	7306247986	0,10	730624799	23,17	2,86	0,24	2,06	0,17
voda	3,77	299278	30	416295885	-	-	-	-	-	-	-
travniki	15,77	1252062	125	1741617642	0,20	348323528	11,05	8,65	1,50	3,11	0,54
zaraščanje	7,36	584516	58	813061423	0,15	121959213	3,87	5,76	0,87	2,76	0,42
njive in vrtovi	2,29	181617	18	252629046	0,20	50525809	1,60	16,09	4,46	5,78	1,60
pozidana	2,50	198841	20	276588521	0,80	221270817	7,02	9,97	1,91	0,90	0,17
sadovnjaki	2,16	171701	17	238835475	0,25	59708869	1,89	5,19	1,08	1,49	0,31
Celota	100,00	7940529	794	11045275978	-	1532413036	48,59	-	-	16,10	3,21
Seštevek padavin [l/m ² /leto]	1391										
Q (Klivnik)	104,1 l/s										
C=(C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q								C(fosfor)=	0,15	[mg/l]	
								C(dušik)=	1,07	[mg/l]	

6.2.2.2 Prispevno območje akumulacije Mola

Onesnaženje s fosforjem zaradi izpiranja tal je leta 2004 doseglo koncentracijo 0,15 mg P/l, največji del k temu pa so prispevali travniki in to kar tretjino celotne količine 0,05 mg P/l. Gozd pa je bil največji krivec za onesnaženje z dušikom in h končni koncentraciji zaradi izpiranja 1,07 mg N/l prispeva 0,48 mg N/l (preglednica 15).

Preglednica 15: Obremenitev akumulacije Mola zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2004

Leto 2004											
Raba tal	Delež površine [%]	Delež površine [m ²]	Delež površine [ha]	Delež padavin [l/leto]	Koeficient odtoka	Skupni odtok [l/leto]	Skupni odtok [l/s]	Vsebnost dušika [kg N/ha/leto]	Vsebnost fosforja [kg P/ha/leto]	C ₁ dušik [mg N/l]	C ₁ fosfor [mg P/l]
gozd	67,67	9516400	952	13237311826	0,10	1323731183	41,98	2,86	0,24	2,06	0,17
voda	3,92	550821	55	766191452	-	-	-	-	-	-	-
travniki	14,60	2052837	205	2855496284	0,20	571099257	18,11	8,65	1,50	3,11	0,54
zaraščanje	5,57	783733	78	1090172369	0,15	163525855	5,19	5,76	0,87	2,76	0,42
njive in vrtovi	2,36	331956	33	461751221	0,20	92350244	2,93	16,09	4,46	5,78	1,60
pozidana	2,51	353188	35	491284813	0,80	393027851	12,46	9,97	1,91	0,90	0,17
sadovnjaki	3,37	473798	47	659053360	0,25	164763340	5,22	5,19	1,08	1,49	0,31
Celota	100,00	14062733	1406	19561261325	-	2708497730	85,89	-	-	16,10	3,21
Seštevek padavin [l/m ² /leto]		1391									
Q (Mola)		181,0 l/s									
C = (C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q								C(fosfor)=		0,15 [mg/l]	
								C(dušik)=		1,07 [mg/l]	

6.2.3 Izračun obremenitev za leto 2005

Za leto 2005 smo iz meritev gladin, ki jih je naredilo Vodno Gospodarsko podjetje Drava Ptuj (Ivanuša, 2016) na akumulacijah Mola in Klivnik, izračunali srednji letni odtok. Na akumulaciji Klivnik znaša srednji letni odtok Q = 107,8 l/s, na akumulaciji Mola pa Q = 166,6 l/s.

6.2.3.1 Obremenitev zaradi kanalizacije

Leta 2005 je bilo jezero Klivnik obremenjeno z 0,07 mg P/l in 0,24 mg N/l, zaradi 251 ljudi, ki so dnevno v okolje spuščali dobrih 37,6 m³ odpadnih komunalnih voda. Jezero Mola je bilo obremenjeno z dvakrat večjo količino odpadnih voda 78,4 m³, ki so koncentracijo fosforja in dušika povečale na 0,10 mg P/l in 0,33 mg N/l (preglednica 16).

Preglednica 16: Obremenitev zaradi kanalizacije v letu 2005

Leto 2005			Klivnik		
A (1 prebivalec)	1	PE	Hidravlična obremenitev: [l/dan] [l/s]		
np	150	l/(PE/dan)	Q=A*np	Q ₂ =	37650 0,44
g (biokemijska obremenitev na prebivalca)	3,5	g F/(PE/dan)	Biokemijska obremenitev: [g/dan] [g/s]		
	12	g N/(PE/dan)	G=A*g*n	G(fosfor)=	658,88 0,01
n (učinek čiščenja pretočne greznice)	25	%	G(dušik)=		
			2259 0,03		
A Mola	523		[g/l] [mg/l]		
A Klivnik	251		C ₂ (fosfor)=	0,02	17,50
l dan	86400	s	C ₂ (dušik)=	0,06	60
Q (Mola)	166,6112	l/s	[mg/l]		
Q (Klivnik)	107,7749	l/s	C = (C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q	C(fosfor)=	0,07
				C(dušik)=	0,24

Mola		
Hidravlična obremenitev: [l/dan] [l/s]		
Q=A*np	Q ₂ =	78450 0,91
Biokemijska obremenitev: [g/dan] [g/s]		
G=A*g*n	G(fosfor)=	1372,88 0,02
	G(dušik)=	4707 0,05
[g/l] [mg/l]		
C ₂ =G/Q	C ₂ (fosfor)=	0,02 17,50
	C ₂ (dušik)=	0,06 60
[mg/l]		
C = (C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q	C(fosfor)=	0,10
	C(dušik)=	0,33

6.2.3.2 Obremenitev zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin

6.2.3.2.1 Prispevno območje akumulacije Klivnik

Iz podatkov smo za leto 2005 izračunali količini fosforja in dušika, ki prideta v jezero. Iz različnih tipov tal se z meteornimi vodami izcejajo različne količine fosforja in dušika. Največji del h končni količini fosforja nam prinesejo travniška tla 0,06 mg P/l. Največ h končni količini dušika nam prinesejo gozdnata tla, ki pokrivajo dve-tretjini celotnega vplivnega območja, 0,44 mg N/l. Končni koncentraciji fosforja in dušika znašata 0,15 mg P/l in 1,03 mg N/l (preglednica 17).

Preglednica 17: Obremenitev akumulacije Klivnik zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2005

Leto 2005	Delež površine [%]	Delež površine [m ²]	Delež površine [ha]	Delež padavin [l/leto]	Koeficient odtoka	Skupni odtok [l/leto]	Skupni odtok [l/s]	Vsebnost dušika [kg N/ha/leto]	Vsebnost fosforja [kg P/ha/leto]	C ₁ dušik [mg N/l]	C ₁ fosfor [mg P/l]
gozd	66,15	5252515	525	7359298385	0,10	735929838	23,34	2,86	0,24	2,04	0,17
voda	3,77	299278	30	419318594	-	-	-	-	-	-	-
travniki	15,77	1252062	125	1754263463	0,20	350852693	11,13	8,65	1,50	3,09	0,54
zaraščanje	7,36	584516	58	818965032	0,15	122844755	3,90	5,76	0,87	2,74	0,41
njive in vrtovi	2,29	181617	18	254463376	0,20	50892675	1,61	16,09	4,46	5,74	1,59
pozidana	2,50	198841	20	278596821	0,80	222877456	7,07	9,97	1,91	0,89	0,17
sadovnjaki	2,16	171701	17	240569650	0,25	60142413	1,91	5,19	1,08	1,48	0,31
Celota	100,00	7940529	794	11125475322	-	1543539830	48,95	-	-	15,98	3,19
Seštevek padavin [l/m ² /leto]		1401,1									
		Q (Klivnik)	107,8	l/s				C = (C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q	C(fosfor)=	0,15	[mg/l]
									C(dušik)=	1,03	[mg/l]

6.2.3.2.2 Prispevno območje akumulacije Mola

Mola je malenkost bolj onesnažena s fosforjem in dušikom, saj je prispevno območje jezera Mola bistveno večje od prispevnega območja jezera Klivnik. Obremenitev s fosforjem doseže koncentracijo 0,17 mg P/l, največji del pride iz gozdnih in travniških tal. Največji onesnaževalec jezera z dušikom je gozd, ki prispeva 0,52 mg N/l h končni količini obremenitve z dušikom 1,16 mg N/l (preglednica 18).

Preglednica 18: Obremenitev akumulacije Mola zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2005

Leto 2005											
Raba tal	Delež površine [%]	Delež površine [m ²]	Delež površine [ha]	Delež padavin [l/leto]	Koeficient odtoka	Skupni odtok [l/leto]	Skupni odtok [l/s]	Vsebnost dušika [kg N/ha/leto]	Vsebnost fosforja [kg P/ha/leto]	C ₁ dušik [mg N/l]	C ₁ fosfor [mg P/l]
gozd	67,67	9516400	952	13333427461	0,10	1333342746	42,28	2,86	0,24	2,04	0,17
voda	3,92	550821	55	771754740	-	-	-	-	-	-	-
travniki	14,60	2052837	205	2876229938	0,20	575245988	18,24	8,65	1,50	3,09	0,54
zaraščanje	5,57	783733	78	1098088070	0,15	164713211	5,22	5,76	0,87	2,74	0,41
njive in vrtovi	2,36	331956	33	465103980	0,20	93020796	2,95	16,09	4,46	5,74	1,59
pozidana	2,51	353188	35	494852015	0,80	395881612	12,55	9,97	1,91	0,89	0,17
sadovnjaki	3,37	473798	47	663838722	0,25	165959680	5,26	5,19	1,08	1,48	0,31
Celota	100,00	14062733	1406	19703294926	-	2728164032	86,51	-	-	15,98	3,19
Seštevek padavin [l/m ² /leto]	1401,1										
Q (Mola)	166,6 l/s										
C = (C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q								C(fosfor)=	0,17	[mg/l]	
								C(dušik)=	1,16	[mg/l]	

6.2.4 Izračun obremenitev za leto 2007

S pomočjo meritev gladin na akumulacijah Mola in Klivnik, ki jih je naredilo Vodno Gospodarsko podjetje Drava Ptuj (Ivanuša, 2016), smo izračunali srednji letni odtok za leto 2007. Za akumulacijo Klivnik smo tako dobili srednji letni odtok Q = 120,0 l/s, na akumulaciji Mola pa Q = 126,6 l/s.

6.2.4.1 Obremenitev zaradi kanalizacije

Jezero Klivnik je bilo v letu 2007 obremenjeno s 37650 litri komunalnih odpadnih voda na dan (preglednica 19). Zaradi te vode se je onesnaženje s fosforjem in dušikom povečalo na 0,06 mg P/l ter 0,22 mg N/l. Na vplivnem območju akumulacije Mola živi 523 ljudi, kar je približno dvakrat več kot na območju Klivnika, vendar je obremenitev jezera s komunalno odpadno vodo le malenkost večja in znaša 0,13 mg P/l in 0,43 mg N/l (preglednica 19).

Preglednica 19: Obremenitev zaradi kanalizacije v letu 2007

Leto 2007			Klivnik		
A (1 prebivalec)	1	PE	Hidravlična obremenitev:		
np	150	l/(PE/dan)	Q=A*np	Q ₂ =	[l/dan] [l/s]
g (biokemijska obremenitev na prebivalca)	3,5	g F/(PE/dan)	Biokemijska obremenitev:		
	12	g N/(PE/dan)	G=A*g*n	G(fosfor)=	[g/dan] [g/s]
n (učinek čiščenja pretočne greznice)	25	%		G(dušik)=	
A Mola	523				[g/l] [mg/l]
A Klivnik	251		C ₂ =G/Q	C ₂ (fosfor)=	
1 dan	86400	s		C ₂ (dušik)=	
Q (Mola)	126,5721	l/s			[mg/l]
Q (Klivnik)	120,0262	l/s	C = (C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q	C(fosfor)=	
				C(dušik)=	

Mola		
Hidravlična obremenitev:		
Q=A*np	Q ₂ =	[l/dan] [l/s]
78450	0,91	
Biokemijska obremenitev:		
G=A*g*n	G(fosfor)=	[g/dan] [g/s]
1372,88	0,02	
	G(dušik)=	
	4707	0,05
		[g/l] [mg/l]
C ₂ =G/Q	C ₂ (fosfor)=	
	0,02	17,50
	C ₂ (dušik)=	
	0,06	60
		[mg/l]
C = (C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q	C(fosfor)=	
	0,13	
	C(dušik)=	
	0,43	

6.2.4.2 Obremenitev zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin

6.2.4.2.1 Prispevno območje akumulacije Klivnik

Jezero Klivnik je bilo obremenjeno z 0,13 mg P/l in 0,92 mg N/l zaradi izpiranja tal. Največ k tej vrednosti prispevata travniška in gozdna tla. Površinsko sta ti dve vrsti tal najpogosteje zastopani in skupaj pokrivata skoraj 82 % vsega prispevnega območja.

Preglednica 20: Obremenitev akumulacije Klivnik zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2007

Leto 2007											
Raba tal	Delež površine [%]	Delež površine [m ²]	Delež površine [ha]	Delež padavin [l/leto]	Koeficient odtoka	Skupni odtok [l/leto]	Skupni odtok [l/s]	Vsebnost dušika [kg N/ha/leto]	Vsebnost fosforja [kg P/ha/leto]	C ₁ dušik [mg N/l]	C ₁ fosfor [mg P/l]
gozd	66,15	5252515	525	6673845213	0,10	667384521	21,16	2,86	0,24	2,25	0,19
voda	3,77	299278	30	380262798	-	-	-	-	-	-	-
travniki	15,77	1252062	125	1590869429	0,20	318173886	10,09	8,65	1,50	3,40	0,59
zaraščanje	7,36	584516	58	742685726	0,15	111402859	3,53	5,76	0,87	3,02	0,46
njive in vrtovi	2,29	181617	18	230762377	0,20	46152475	1,46	16,09	4,46	6,33	1,76
pozidana	2,50	198841	20	252648005	0,80	202118404	6,41	9,97	1,91	0,98	0,19
sadovnjaki	2,16	171701	17	218162728	0,25	54540682	1,73	5,19	1,08	1,63	0,34
Celota	100,00	7940529	794	10089236274	-	1399772827	44,39	-	-	17,62	3,51
Seštevek padavin [l/m ² /leto]		1270,6									
Q (Klivnik)			120,0	l/s							
						C = (C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q					
								C(fosfor)=	0,13	[mg/l]	
								C(dušik)=	0,92	[mg/l]	

6.2.4.2.2 Prispevno območje akumulacije Mola

Geografske lastnosti prispevnega območja jezera Mola so enake kot pri jezeru Klivnik, tako da so tudi tu najbolj zastopana gozdna in travniška tla. Ta dva tipa tal sta največja vira izpiranja fosforja in

dušika v jezero. V letu 2007 so količine fosforja in dušika dosegle 0,22 mg P/l in 1,52 mg N/l, preračunano na volumen jezera (preglednica 21).

Preglednica 21: Obremenitev akumulacije Klivnik zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2007

Leto 2007												
Raba tal	Delež površine [%]	Delež površine [m ²]	Delež površine [ha]	Delež padavin [l/leto]	Koeficient odtoka	Skupni odtok [l/leto]	Skupni odtok [l/s]	Vsebnost dušika [kg N/ha/leto]	Vsebnost fosforja [kg P/ha/leto]	C ₁ dušik [mg N/l]	C ₁ fosfor [mg P/l]	
gozd	67,67	9516400	952	12091537315	0,10	1209153732	38,34	2,86	0,24	2,25	0,19	
voda	3,92	550821	55	699872652	-	-	-	-	-	-	-	
travniki	14,60	2052837	205	2608334708	0,20	521666942	16,54	8,65	1,50	3,40	0,59	
zaraščanje	5,57	783733	78	995810936	0,15	149371640	4,74	5,76	0,87	3,02	0,46	
njive in vrtovi	2,36	331956	33	421783682	0,20	84356736	2,67	16,09	4,46	6,33	1,76	
pozidana	2,51	353188	35	448760952	0,80	359008761	11,38	9,97	1,91	0,98	0,19	
sadovnjaki	3,37	473798	47	602008051	0,25	150502013	4,77	5,19	1,08	1,63	0,34	
Celota	100,00	14062733	1406	17868108296	-	2474059824	78,45	-	-	17,62	3,51	
Seštevek padavin [l/m ² /leto]		1270,6										
		Q (Mola)	126,6	l/s								
						$C = (C_1 \cdot Q_1 + C_2 \cdot Q_2) / Q$						
								C(fosfor)=	0,22	[mg/l]		
								C(dušik)=	1,52	[mg/l]		

6.2.5 Izračun obremenitev za leto 2008

Za potrebe bilance smo izračunali srednja letna pretoka za jezera Mola in Klivnik. Akumulacija Klivnik je imela v letu 2008 srednji letni pretok 136,3 l/s, akumulacija Mola pa 209,5 l/s.

6.2.5.1 Obremenitev zaradi kanalizacije

Jezero Klivnik je obremenjeno z 0,06 mg P/l in 0,19 mg N/l na letni ravni zaradi odpadnih komunalnih voda. Jezero Mola je bolj obremenjeno zaradi večjega števila prebivalcev, kar se odraža tudi na obremenitvi s fosforjem in dušikom. Letne koncentracije dosežejo vrednosti 0,08 mg P/l in 0,26 mg N/l (preglednica 22).

Preglednica 22: Obremenitev zaradi kanalizacije v letu 2008

Leto 2008			Klivnik		
A (1 prebivalec)	1	PE	Hidravlična obremenitev:	[l/dan]	[l/s]
np	150	l/(PE/dan)	Q=A*np	Q ₂ =	37650 0,44
g (biokemijska obremenitev na prebivalca)	3,5	g F/(PE/dan)	Biokemijska obremenitev:	[g/dan]	[g/s]
	12	g N/(PE/dan)	G=A*g*n	G(fosfor)=	658,88 0,01
n (učinek čiščenja pretočne greznice)	25	%		G(dušik)=	2259 0,03
A Mola	523			[g/l]	[mg/l]
A Klivnik	251		C ₂ =G/Q	C ₂ (fosfor)=	0,02 17,50
1 dan	86400	s		C ₂ (dušik)=	0,06 60
Q (Mola)	209,5197	l/s		[mg/l]	
Q (Klivnik)	136,3156	l/s	C = (C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q	C(fosfor)=	0,06
				C(dušik)=	0,19

Mola		
Hidravlična obremenitev:	[l/dan]	[l/s]
Q=A*np	Q ₂ =	78450 0,91
Biokemijska obremenitev:	[g/dan]	[g/s]
G=A*g*n	G(fosfor)=	1372,88 0,02
	G(dušik)=	4707 0,05
	[g/l]	[mg/l]
C ₂ =G/Q	C ₂ (fosfor)=	0,02 17,50
	C ₂ (dušik)=	0,06 60
	[mg/l]	
C = (C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q	C(fosfor)=	0,08
	C(dušik)=	0,26

6.2.5.2 Obremenitev zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin

6.2.5.2.1 Prispevno območje akumulacije Klivnik

Klivnik je bil leta 2008 obremenjen z 0,12 mg P/l in 0,81 mg N/l. Največji delež k obremenitvi s fosforjem so prispevala tla, ki spadajo v kategorijo travniki. Za obremenitev z dušikom pa so največji del prispevala gozdna tla, ki pokrivajo 2/3 celotne površine prispevnega območja.

Preglednica 23: Obremenitev akumulacije Klivnik zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2008

Leto 2008												
Raba tal	Delež površine [%]	Delež površine [m ²]	Delež površine [ha]	Delež padavin [l/leto]	Koeficient odtoka	Skupni odtok [l/leto]	Skupni odtok [l/s]	Vsebnost dušika [kg N/ha/leto]	Vsebnost fosforja [kg P/ha/leto]	C ₁ dušik [mg N/l]	C ₁ fosfor [mg P/l]	
gozd	66,15	5252515	525	5411140672	0,10	541114067	17,16	2,86	0,24	2,78	0,23	
voda	3,77	299278	30	308316334	-	-	-	-	-	-	-	
travniki	15,77	1252062	125	1289873828	0,20	257974766	8,18	8,65	1,50	4,20	0,73	
zaraščanje	7,36	584516	58	602168137	0,15	90325221	2,86	5,76	0,87	3,72	0,56	
njive in vrtovi	2,29	181617	18	187101685	0,20	37420337	1,19	16,09	4,46	7,81	2,16	
pozidana	2,50	198841	20	204846510	0,80	163877208	5,20	9,97	1,91	1,21	0,23	
sadovnjaki	2,16	171701	17	176885914	0,25	44221478	1,40	5,19	1,08	2,02	0,42	
Celota	100,00	7940529	794	8180333079	-	1134933076	35,99	-	-	21,73	4,33	
Seštevek padavin [l/m ² /leto]	1599,8											
Q (Klivnik)	136,3 l/s											
C = (C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q									C(fosfor)=	0,12	[mg/l]	
									C(dušik)=	0,81	[mg/l]	

6.2.5.2.2 Prispevno območje akumulacije Mola

Kljub temu, da je vplivno območje jezera Mola bistveno večje od vplivnega območja jezera Klivnik, je bila obremenitev s fosforjem in dušikom na območju Mole le malenkost večja, in je znašala 0,13 mg P/l in 0,92 mg N/l (preglednica 24). Razlog je v srednjem letnem pretoku za leto 2008, ki je bil na jezeru Mola skoraj dvakrat večji kot na jezeru Klivnik.

Preglednica 24: Obremenitev akumulacije Mola zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2008

Leto 2008												
Raba tal	Delež površine [%]	Delež površine [m ²]	Delež površine [ha]	Delež padavin [l/leto]	Koeficient odtoka	Skupni odtok [l/leto]	Skupni odtok [l/s]	Vsebnost dušika [kg N/ha/leto]	Vsebnost fosforja [kg P/ha/leto]	C ₁ dušik [mg N/l]	C ₁ fosfor [mg P/l]	
gozd	67,67	9516400	952	9803794855	0,10	980379485	31,09	2,86	0,24	2,78	0,23	
voda	3,92	550821	55	567455380	-	-	-	-	-	-	-	
travniki	14,60	2052837	205	2114832690	0,20	422966538	13,41	8,65	1,50	4,20	0,73	
zaraščanje	5,57	783733	78	807401563	0,15	121110234	3,84	5,76	0,87	3,72	0,56	
njive in vrtovi	2,36	331956	33	341981386	0,20	68396277	2,17	16,09	4,46	7,81	2,16	
pozidana	2,51	353188	35	363854504	0,80	291083603	9,23	9,97	1,91	1,21	0,23	
sadovnjaki	3,37	473798	47	488106953	0,25	122026738	3,87	5,19	1,08	2,02	0,42	
Celota	100,00	14062733	1406	14487427331	-	2005962876	63,61	-	-	21,73	4,33	
Seštevek padavin [l/m ² /leto]	1599,8											
Q (Mola)	209,5 l/s											
C = (C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q									C(fosfor)=	0,13	[mg/l]	
									C(dušik)=	0,92	[mg/l]	

6.2.6 Izračun obremenitev za leto 2009

Srednji letni pretok jezera Klivnik v letu 2009 je znašal 128,2 l/s, jezera Mola pa 216,3 l/s. Obe vrednosti smo izračunali iz izmerjenih višin vodne gladine na obeh akumulacijah (VIR).

6.2.6.1 Obremenitev zaradi kanalizacije

V letu 2009 je obremenitev zaradi izpuščanja kanalizacijskih voda na vplivnem območju akumulacije Klivnik znašala 0,06 mg P/l ter 0,20 mg N/l. Na jezeru Mola je onesnaženje s fosforjem in dušikom zaradi kanalizacijskih voda doseglo koncentracije 0,07 mg P/l in 0,25 mg N/l (preglednica 25).

Preglednica 25: Obremenitev zaradi kanalizacije v letu 2009

Leto 2009			Klivnik		
A (1 prebivalec)	1	PE	Hidravlična obremenitev:		
np	150	l/(PE/dan)	Q=A*np	Q _z =	37650 0,44
g (biokemijska obremenitev na prebivalca)	3,5	g F/(PE/dan)	Biokemijska obremenitev:		
	12	g N/(PE/dan)	G=A*g*n	G(fosfor)=	658,88 0,01
n (učinek čiščenja pretočne greznice)	25	%		G(dušik)=	2259 0,03
A Mola	523				[g/l] [mg/l]
A Klivnik	251		C ₂ =G/Q	C ₂ (fosfor)=	0,02 17,50
1 dan	86400	s		C ₂ (dušik)=	0,06 60
Q (Mola)	216,3488	l/s			[mg/l]
Q (Klivnik)	128,2246	l/s	C=(C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q	C(fosfor)=	0,06
				C(dušik)=	0,20

Mola		
Hidravlična obremenitev:		
Q=A*np	Q _z =	78450 0,91
Biokemijska obremenitev:		
G=A*g*n	G(fosfor)=	1372,88 0,02
	G(dušik)=	4707 0,05
		[g/l] [mg/l]
C ₂ =G/Q	C ₂ (fosfor)=	0,02 17,50
	C ₂ (dušik)=	0,06 60
		[mg/l]
C=(C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q	C(fosfor)=	0,07
	C(dušik)=	0,25

6.2.6.2 Obremenitev zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin

6.2.6.2.1 Prispevno območje akumulacije Klivnik

Klivnik je bil zaradi izpiranja iz okoliških tal v letu 2009 obremenjen z 0,12 mg P/l in 0,87 mg N/l (preglednica 26). Večina fosforja in dušika je prišlo iz travnikov in gozda. Skupaj namreč ti dve vrsti tal pokrivata dobrih 82 % celotne vplivne površine.

Preglednica 26: Obremenitev akumulacije Klivnik zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2009

Leto 2009											
Raba tal	Delež površine [%]	Delež površine [m ²]	Delež površine [ha]	Delež padavin [l/leto]	Koeficient odtoka	Skupni odtok [l/leto]	Skupni odtok [l/s]	Vsebnost dušika [kg N/ha/leto]	Vsebnost fosforja [kg P/ha/leto]	C ₁ dušik [mg N/l]	C ₁ fosfor [mg P/l]
gozd	66,15	5252515	525	8295821760	0,10	829582176	26,31	2,86	0,24	1,81	0,15
voda	3,77	299278	30	472679886	-	-	-	-	-	-	-
travniki	15,77	1252062	125	1977506041	0,20	395501208	12,54	8,65	1,50	2,74	0,47
zaraščanje	7,36	584516	58	923184193	0,15	138477629	4,39	5,76	0,87	2,43	0,37
njive in vrtovi	2,29	181617	18	286845662	0,20	57369132	1,82	16,09	4,46	5,09	1,41
pozidana	2,50	198841	20	314050259	0,80	251240208	7,97	9,97	1,91	0,79	0,15
sadovnjaki	2,16	171701	17	271183860	0,25	67795965	2,15	5,19	1,08	1,31	0,27
Celota	100,00	7940529	794	12541271661	-	1739966318	55,17	-	-	14,18	2,83
Seštevek padavin [l/m ² /leto]		1579,4									
	Q (Klivnik)	128,2	l/s			C=(C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q		C(fosfor)=	0,12	[mg/l]	
								C(dušik)=	0,87	[mg/l]	

6.2.6.2.2 Prispevno območje akumulacije Mola

Koncentracija fosforja je na akumulaciji Mola zaradi izpiranja le tega v jezero dosegla 0,13 mg P/l. Večino količine fosforja je bilo izpranega iz gozda in travnikov. Ta dva tipa tal sta prispevala tudi največ pri onesnaženju jezera z dušikom. Nivo obremenitve z dušikom je dosegel koncentracijo 0,89 mg N/l (preglednica 27).

Preglednica 27: Obremenitev akumulacije Mola zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2009

Leto 2009	Delež površine [%]	Delež površine [m ²]	Delež površine [ha]	Delež padavin [l/leto]	Koeficient odtoka	Skupni odtok [l/leto]	Skupni odtok [l/s]	Vsebnost dušika [kg N/ha/leto]	Vsebnost fosforja [kg P/ha/leto]	C ₁ dušik [mg N/l]	C ₁ fosfor [mg P/l]
gozd	67,67	9516400	952	15030201508	0,10	1503020151	47,66	2,86	0,24	1,81	0,15
voda	3,92	550821	55	869966052	-	-	-	-	-	-	-
travniki	14,60	2052837	205	3242250778	0,20	648450156	20,56	8,65	1,50	2,74	0,47
zaraščanje	5,57	783733	78	1237827634	0,15	185674145	5,89	5,76	0,87	2,43	0,37
njive in vrtovi	2,36	331956	33	524291789	0,20	104858358	3,33	16,09	4,46	5,09	1,41
pozidana	2,51	353188	35	557825474	0,80	446260379	14,15	9,97	1,91	0,79	0,15
sadovnjaki	3,37	473798	47	748316949	0,25	187079237	5,93	5,19	1,08	1,31	0,27
Celota	100,00	14062733	1406	22210680184	-	3075342426	97,52	-	-	14,18	2,83
Seštevek padavin [l/m ² /leto]		1579,4									
		Q (Mola)	216,3	l/s							
								$C = (C_1 \cdot Q_1 + C_2 \cdot Q_2) / Q$			
								C(fosfor)=	0,13	[mg/l]	
								C(dušik)=	0,89	[mg/l]	

6.2.7 Izračun obremenitev za leto 2010

V letu 2010 je padlo največ padavin v primerjavi z ostalimi leti, in sicer 2118,4 mm. To se je odražalo na srednjih letnih pretokih obeh jezer, saj je pretok na akumulaciji Klivnik znašal 205,9 l/s na akumulaciji Mola pa 273 l/s.

6.2.7.1 Obremenitev zaradi kanalizacije

Velika količina dežja se je poznala tudi na obremenitvah obeh jezer s komunalnimi odpadnimi vodami. Stopnja onesnaženja je bila manjša kot v prejšnjih letih. Na akumulaciji Klivnik je koncentracija obremenitve s fosforjem dosegla 0,04 mg P/l z dušikom pa 0,13 mg N/l. Onesnaženje na akumulaciji Mola je znašalo 0,06 mg P/l in 0,20 mg N/l (preglednica 28).

Preglednica 28: Obremenitev zaradi kanalizacije v letu 2010

Leto 2010			Klivnik		
A (1 prebivalec)	1	PE	Hidravlična obremenitev:	[l/dan]	[l/s]
np	150	l/(PE/dan)	$Q=A*np$	$Q_2=$ 37650	0,44
g (biokemijska obremenitev na osebo/dan)	3,5	g F/(PE/dan)	Biokemijska obremenitev:	[g/dan]	[g/s]
	12	g N/(PE/dan)	$G=A*g*n$	G(fosfor)= 658,88	0,01
n (učinek čiščenja pretočne greznice)	25	%		G(dušik)= 2259	0,03
A Mola	523			[g/l]	[mg/l]
A Klivnik	251		$C_2=G/Q$	$C_2(\text{fosfor})=$ 0,02	17,50
1 dan	86400	s		$C_2(\text{dušik})=$ 0,06	60
Q (Mola)	272,9838	l/s		[mg/l]	
Q (Klivnik)	205,8923	l/s	$C=(C_1*Q_1+C_2*Q_2)/Q$	$C(\text{fosfor})=$ 0,04	
				$C(\text{dušik})=$ 0,13	

Mola		
Hidravlična obremenitev:	[l/dan]	[l/s]
$Q=A*np$	$Q_2=$ 78450	0,91
Biokemijska obremenitev:	[g/dan]	[g/s]
$G=A*g*n$	G(fosfor)= 1372,88	0,02
	G(dušik)= 4707	0,05
	[g/l]	[mg/l]
$C_2=G/Q$	$C_2(\text{fosfor})=$ 0,02	17,50
	$C_2(\text{dušik})=$ 0,06	60
	[mg/l]	
$C=(C_1*Q_1+C_2*Q_2)/Q$	$C(\text{fosfor})=$ 0,06	
	$C(\text{dušik})=$ 0,20	

6.2.7.2 Obremenitev zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin

6.2.7.2.1 Prispevno območje akumulacije Klivnik

Kljub temu, da so večje količine dežja iz tal izprale več fosforja in dušika, se to ni odražalo na izračunanih koncentracijah onesnaženja. Ravno obratno, zaradi velikih količin padavin, so bile obremenitve jezera s fosforjem in dušikom nižje kot v prejšnjih letih. Obremenitev s fosforjem je dosegla 0,08 mg P/l, z dušikom pa 0,54 mg N/l (preglednica 29).

Preglednica 29: Obremenitev akumulacije Klivnik zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2010

Leto 2010											
Raba tal	Delež površine [%]	Delež površine [m ²]	Delež površine [ha]	Delež padavin [l/leto]	Koeficient odtoka	Skupni odtok [l/leto]	Skupni odtok [l/s]	Vsebnost dušika [kg N/ha/leto]	Vsebnost fosforja [kg P/ha/leto]	C ₁ dušik [mg N/l]	C ₁ fosfor [mg P/l]
gozd	66,15	5252515	525	11126927199	0,10	1112692720	35,28	2,86	0,24	1,35	0,11
voda	3,77	299278	30	633990800	-	-	-	-	-	-	-
travniki	15,77	1252062	125	2652367226	0,20	530473445	16,82	8,65	1,50	2,04	0,35
zaraščanje	7,36	584516	58	1238238188	0,15	185735728	5,89	5,76	0,87	1,81	0,27
njive in vrtovi	2,29	181617	18	384737147	0,20	76947429	2,44	16,09	4,46	3,80	1,05
pozidana	2,50	198841	20	421225826	0,80	336980661	10,69	9,97	1,91	0,59	0,11
sadovnjaki	2,16	171701	17	363730460	0,25	90932615	2,88	5,19	1,08	0,98	0,20
Celota	100,00	7940529	794	16821216845	-	2333762598	74,00	-	-	10,57	2,11
Seštevek padavin [l/m ² /leto]	2118,4										
	Q (Klivnik)	205,9	l/s					$C=(C_1*Q_1+C_2*Q_2)/Q$	$C(\text{fosfor})=$ 0,08	[mg/l]	
									$C(\text{dušik})=$ 0,54	[mg/l]	

6.2.7.2.2 Prispevno območje akumulacije Mola

Obremenitev s fosforjem je znašala 0,10 mg P/l, z dušikom pa je dosegla koncentracijo 0,71 mg N/l (preglednica 30).

Preglednica 30: Obremenitev akumulacije Mola zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2010

Leto 2010	Delež površine [%]	Delež površine [m ²]	Delež površine [ha]	Delež padavin [l/leto]	Koeficient odtoka	Skupni odtok [l/leto]	Skupni odtok [l/s]	Vsebnost dušika [kg N/ha/leto]	Vsebnost fosforja [kg P/ha/leto]	C ₁ dušik [mg N/l]	C ₁ fosfor [mg P/l]
gozd	67,67	9516400	952	20159540885	0,10	2015954089	63,93	2,86	0,24	1,35	0,11
voda	3,92	550821	55	1166858355	-	-	-	-	-	-	-
travniki	14,60	2052837	205	4348729927	0,20	869745985	27,58	8,65	1,50	2,04	0,35
zaraščanje	5,57	783733	78	1660259630	0,15	249038945	7,90	5,76	0,87	1,81	0,27
njive in vrtovi	2,36	331956	33	703216238	0,20	140643248	4,46	16,09	4,46	3,80	1,05
pozidana	2,51	353188	35	748193924	0,80	598555140	18,98	9,97	1,91	0,59	0,11
sadovnjaki	3,37	473798	47	1003694204	0,25	250923551	7,96	5,19	1,08	0,98	0,20
Celota	100,00	14062733	1406	29790493164	-	4124860957	130,80	-	-	10,57	2,11
Seštevek padavin [l/m ² /leto]		2118,4									
		Q (Mola)	272,9838	l/s							
						$C = (C_1 \cdot Q_1 + C_2 \cdot Q_2) / Q$		C(fosfor)=	0,10	[mg/l]	
								C(dušik)=	0,71	[mg/l]	

6.2.8 Izračun obremenitev za leto 2011

V letu 2011 je padlo dvakrat manj padavin kot v letu 2010, ki je bilo rekordno (2118,4 mm). Količina padavin v letu 2011 je znašala 1017,4 mm, kar pomeni, da je bilo leto zelo sušno. To se je pokazalo tudi na izračunanih srednjih letnih pretokih za akumulacijah Mola in Klivnik. Na Klivniku je ta znašal 92,3 l/s, na Moli pa 74,6 l/s. Prvič v obravnavanih letih je bil srednji letni pretok na Klivniku večji kot na Moli. Kar pomeni, da so iz zgornjega jezera Klivnik izpuščali več vode v jezero Mola, kot iz Mole v reko Reko.

6.2.8.1 Obremenitev zaradi kanalizacije

Podobno kot so se velike količine dežja v letu 2010 poznale na majhnih količinah onesnaženja s fosforjem in dušikom, je sušno leto 2011 imelo obratno velike količine onesnaženja. Koncentraciji dušika in fosforja sta na območju Klivnika dosegli 0,08 mg P/l ter 0,28 mg N/l (preglednica 31). Onesnaženje z odpadnimi komunalnimi vodami in suša sta se še bolj odražali na območju jezera Mola, kjer so obremenitve dosegle nivo 0,21 mg P/l in 0,73 mg N/l (preglednica 31).

Preglednica 31: Obremenitev zaradi kanalizacije v letu 2011

Leto 2011		
A (1 prebivalec)	1	PE
np	150	l/(PE/dan)
g (biokemijska obremenitev na prebivalca)	3,5	g F/(PE/dan)
	12	g N/(PE/dan)
n (učinek čiščenja pretočne greznice)	25	%
A Mola	523	
A Klivnik	251	
l dan	86400	s
Q (Mola)	74,6	l/s
Q (Klivnik)	92,33929	l/s

Klivnik			
Hidravlična obremenitev:		[l/dan]	[l/s]
Q=A* Σ np	Q ₂ =	37650	0,44
Biokemijska obremenitev:		[g/dan]	[g/s]
G=A* Σ g*n	G(fosfor)=	658,88	0,01
	G(dušik)=	2259	0,03
		[g/l]	[mg/l]
C ₂ =G/Q	C ₂ (fosfor)=	0,02	17,50
	C ₂ (dušik)=	0,06	60
		[mg/l]	
C=(C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q	C(fosfor)=	0,08	
	C(dušik)=	0,28	

Mola			
Hidravlična obremenitev:		[l/dan]	[l/s]
Q=A* Σ np	Q ₂ =	78450	0,91
Biokemijska obremenitev:		[g/dan]	[g/s]
G=A* Σ g*n	G(fosfor)=	1372,88	0,02
	G(dušik)=	4707	0,05
		[g/l]	[mg/l]
C ₂ =G/Q	C ₂ (fosfor)=	0,02	17,50
	C ₂ (dušik)=	0,06	60
		[mg/l]	
C=(C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q	C(fosfor)=	0,21	
	C(dušik)=	0,73	

6.2.8.2 Obremenitev zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin

6.2.8.2.1 Prispevno območje akumulacije Klivnik

Suša se je izražala tudi na rezultatih izračuna obremenitev s fosforjem in dušikom zaradi izpiranja tal. Kljub temu, da je bilo manj padavin in je bila izprana manjša količina, sta vseeno koncentraciji fosforja in dušika dosegli visoki vrednosti 0,17 mg P/l ter 1,20 mg N/l (preglednica 32).

Preglednica 32: Obremenitev akumulacije Klivnik zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2011

Leto 2011												
Raba tal	Delež površine [%]	Delež površine [m ²]	Delež površine [ha]	Delež padavin [l/leto]	Koeficient odtoka	Skupni odtok [l/leto]	Skupni odtok [l/s]	Vsebnost dušika [kg N/ha/leto]	Vsebnost fosforja [kg P/ha/leto]	C ₁ dušik [mg N/l]	C ₁ fosfor [mg P/l]	
gozd	66,15	5252515	525	5343908484	0,10	534390848	16,95	2,86	0,24	2,81	0,23	
voda	3,77	299278	30	304485574	-	-	-	-	-	-	-	
travniki	15,77	1252062	125	1273847440	0,20	254769488	8,08	8,65	1,50	4,25	0,74	
zaraščanje	7,36	584516	58	594686335	0,15	89202950	2,83	5,76	0,87	3,77	0,57	
njive in vrtovi	2,29	181617	18	184776989	0,20	36955398	1,17	16,09	4,46	7,91	2,19	
pozidana	2,50	198841	20	202301338	0,80	161841071	5,13	9,97	1,91	1,22	0,23	
sadovnjaki	2,16	171701	17	174688147	0,25	43672037	1,38	5,19	1,08	2,04	0,42	
Celota	100,00	7940529	794	8078694306	-	1120831792	35,54	-	-	22,01	4,39	
Seštevek padavin [l/m ² /leto]	1017,4											
Q (Klivnik)	92,3 l/s											
C=(C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q									C(fosfor)=	0,17	[mg/l]	
									C(dušik)=	1,20	[mg/l]	

6.2.8.2.2 Prispevno območje akumulacije Mola

Podobno kot na zgornji akumulaciji, se je pokazalo tudi na območju jezera Mola, kjer je bila predvsem obremenitev z dušikom izredno visoka. Onesnaženja z dušikom je doseglo 2,59 mg N/l, onesnaženje s fosforjem pa 0,37 mg/l (preglednica 33).

Preglednica 33: Obremenitev akumulacije Mola zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2011

Leto 2011											
Raba tal	Delež površine [%]	Delež površine [m ²]	Delež površine [ha]	Delež padavin [l/leto]	Koeficient odtoka	Skupni odtok [l/leto]	Skupni odtok [l/s]	Vsebnost dušika [kg N/ha/leto]	Vsebnost fosforja [kg P/ha/leto]	C ₁ dušik [mg N/l]	C ₁ fosfor [mg P/l]
gozd	67,67	9516400	952	9681984940	0,10	968198494	30,70	2,86	0,24	2,81	0,23
voda	3,92	550821	55	560404876	-	-	-	-	-	-	-
travniki	14,60	2052837	205	2088556377	0,20	417711275	13,25	8,65	1,50	4,25	0,74
zaraščanje	5,57	783733	78	797369783	0,15	119605467	3,79	5,76	0,87	3,77	0,57
njive in vrtovi	2,36	331956	33	337732345	0,20	67546469	2,14	16,09	4,46	7,91	2,19
pozidana	2,51	353188	35	359333695	0,80	287466956	9,12	9,97	1,91	1,22	0,23
sadovnjaki	3,37	473798	47	482042335	0,25	120510584	3,82	5,19	1,08	2,04	0,42
Celota	100,00	14062733	1406	14307424351	-	1981039245	62,82	-	-	22,01	4,39
Seštevek padavin [l/m ² /leto]	1017,4										
	Q (Mola)	74,6	l/s	C = (C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q				C(fosfor)=	0,37	[mg/l]	
								C(dušik)=	2,59	[mg/l]	

6.2.9 Izračun obremenitev za leto 2012

Srednja letna pretoka za leto 2012 sta znašala 62,7 l/s na akumulaciji Mola in 117 l/s na akumulaciji Klivnik. Oba pretoka smo izračunali s pomočjo meritev gladin na obeh jezери, ki jih je naredilo Vodno Gospodarsko podjetje Drava Ptuj (VIR). Iz obeh vrednosti je razvidno, da je v spodnjem jezeru Mola primanjkovalo vode, primanjkljaj pa so nadomeščali z vodo iz zgornjega jezera Klivnik, zato je odtok iz Klivnika skoraj dvakrat večji kot odtok iz Mole.

6.2.9.1 Obremenitev zaradi kanalizacije

Akumulacija Klivnik je bila obremenjena z 0,07 mg P/l in 0,22 mg N/l zaradi iztekanj kanalizacijskih voda v jezero iz hišnih greznic. V istem letu je bila akumulacija Mola zaradi istega vzroka obremenjena z 0,25 mg P/l in 0,87 mg N/l (preglednica 34).

Preglednica 34: Obremenitev zaradi kanalizacije v letu 2012

Leto 2012		
A (1 prebivalec)	1	PE
np	150	l/(PE/dan)
g (biokemijska obremenitev na prebivalca)	3,5	g F/(PE/dan)
	12	g N/(PE/dan)
n (učinek čiščenja pretočne greznice)	25	%
A Mola	523	
A Klivnik	251	
1 dan	86400	s
Q (Mola)	62,7	l/s
Q (Klivnik)	116,9536	l/s

Klivnik			
Hidravlična obremenitev:		[l/dan]	[l/s]
Q=A*np	Q ₂ =	37650	0,44
Biokemijska obremenitev:		[g/dan]	[g/s]
G=A*g*n	G(fosfor)=	658,88	0,01
	G(dušik)=	2259	0,03
		[g/l]	[mg/l]
C ₂ =G/Q	C ₂ (fosfor)=	0,02	17,50
	C ₂ (dušik)=	0,06	60
		[mg/l]	
C = (C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q	C(fosfor)=	0,07	
	C(dušik)=	0,22	

Mola			
Hidravlična obremenitev:		[l/dan]	[l/s]
Q=A*np	Q ₂ =	78450	0,91
Biokemijska obremenitev:		[g/dan]	[g/s]
G=A*g*n	G(fosfor)=	1372,88	0,02
	G(dušik)=	4707	0,05
		[g/l]	[mg/l]
C ₂ =G/Q	C ₂ (fosfor)=	0,02	17,50
	C ₂ (dušik)=	0,06	60
		[mg/l]	
C = (C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q	C(fosfor)=	0,25	
	C(dušik)=	0,87	

6.2.9.2 Obremenitev zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin

6.2.9.2.1 Prispevno območje akumulacije Klivnik

Glavna dva tipa tal, ki sta kriva za večino izpranega fosforja in dušika sta gozd in travniki. Skupaj sta prispevala 0,09 mg P/l od skupne obremenitve s fosforjem 0,14 mg P/l ter 0,70 mg N/l od končne vrednosti 0,95 mg N/l (preglednica 35)

Preglednica 35: Obremenitev akumulacije Klivnik zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2012.

Leto 2012											
Raba tal	Delež površine [%]	Delež površine [m ²]	Delež površine [ha]	Delež padavin [l/leto]	Koeficient odtoka	Skupni odtok [l/leto]	Skupni odtok [l/s]	Vsebnost dušika [kg N/ha/leto]	Vsebnost fosforja [kg P/ha/leto]	C ₁ dušik [mg N/l]	C ₁ fosfor [mg P/l]
gozd	66,15	5252515	525	6141240219	0,10	614124022	19,47	2,86	0,24	2,45	0,20
voda	3,77	299278	30	349915995	-	-	-	-	-	-	-
travniki	15,77	1252062	125	1463910386	0,20	292782077	9,28	8,65	1,50	3,70	0,64
zaraščanje	7,36	584516	58	683415827	0,15	102512374	3,25	5,76	0,87	3,28	0,49
njive in vrtovi	2,29	181617	18	212346428	0,20	42469286	1,35	16,09	4,46	6,88	1,91
pozdana	2,50	198841	20	232485478	0,80	185988382	5,90	9,97	1,91	1,07	0,20
sadovnjaki	2,16	171701	17	200752291	0,25	50188073	1,59	5,19	1,08	1,78	0,37
Celota	100,00	7940529	794	9284066624	-	1288064214	40,84	-	-	19,15	3,82
Seštevek padavin [l/m ² /leto]	1169,2										
Q (Klivnik)		117,0 l/s									
C = (C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q									C (fosfor)=	0,14	[mg/l]
									C (dušik)=	0,95	[mg/l]

6.2.9.2.2 Prispevno območje akumulacije Mola

Tudi na območju jezera Mola sta bila največja krivca za obremenitev jezerske vode s fosforjem in dušikom zaradi izpiranja tal gozd in travniki. Obremenitve, ki smo jih izračunali na jezeru Mola za leto 2012, so dosegle največje vrednosti v primerjavi z ostalimi obravnavanimi leti. Obremenitev s fosforjem je znašala 0,44 mg P/l, z dušikom pa visokih 3,07 mg N/l (preglednica 36).

Preglednica 36: Obremenitev akumulacije Mola zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2012

Leto 2012											
Raba tal	Delež površine [%]	Delež površine [m ²]	Delež površine [ha]	Delež padavin [l/leto]	Koeficient odtoka	Skupni odtok [l/leto]	Skupni odtok [l/s]	Vsebnost dušika [kg N/ha/leto]	Vsebnost fosforja [kg P/ha/leto]	C ₁ dušik [mg N/l]	C ₁ fosfor [mg P/l]
gozd	67,67	9516400	952	11126574397	0,10	1112657440	35,28	2,86	0,24	2,45	0,20
voda	3,92	550821	55	644019443	-	-	-	-	-	-	-
travniki	14,60	2052837	205	2400177035	0,20	480035407	15,22	8,65	1,50	3,70	0,64
zaraščanje	5,57	783733	78	916340427	0,15	137451064	4,36	5,76	0,87	3,28	0,49
njive in vrtovi	2,36	331956	33	388123312	0,20	77624662	2,46	16,09	4,46	6,88	1,91
pozdana	2,51	353188	35	412947666	0,80	330358133	10,48	9,97	1,91	1,07	0,20
sadovnjaki	3,37	473798	47	553964909	0,25	138491227	4,39	5,19	1,08	1,78	0,37
Celota	100,00	14062733	1406	16442147190	-	2276617934	72,19	-	-	19,15	3,82
Seštevek padavin [l/m ² /leto]	1169,2										
Q (Mola)		62,7 l/s									
C = (C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q									C (fosfor)=	0,44	[mg/l]
									C (dušik)=	3,07	[mg/l]

6.2.10 Izračun obremenitev za leto 2013

Tako kot v letu 2012 je bil tudi v letu 2013 srednji letni pretok iz akumulacije Klivnik večji kot na jezeru Mola. Ta je znašal 177,1 l/s, medtem ko je bil na Moli 109,7 l/s.

6.2.10.1 Obremenitev zaradi kanalizacije

Obremenitev jezera Klivnik s fosforjem je v letu 2013 dosegla koncentracijo 0,04 mg P/l, obremenitev z dušikom pa 0,15 mg N/l. Obremenitve na jezeru Mola so bile približno trikrat višje in so znašale 0,14 mg P/l ter 0,50 mg N/l (preglednica 37).

Preglednica 37: Obremenitev zaradi kanalizacije v letu 2013

Leto 2013			Klivnik		
A (1 prebivalec)	1	PE	Hidravlična obremenitev:		
np	150	l/(PE/dan)	Q=A*np	Q ₂ =	[l/dan] [l/s]
g (biokemijska obremenitev na prebivalca)	3,5	g F/(PE/dan)	Biokemijska obremenitev:		
n (učinek čiščenja pretočne greznice)	12	g N/(PE/dan)	G=A*g*n	G(fosfor)=	[g/dan] [g/s]
A Mola	523			G(dušik)=	
A Klivnik	251				
1 dan	86400	s	C ₂ =G/Q	C ₂ (fosfor)=	[g/l] [mg/l]
Q (Mola)	109,7	l/s		C ₂ (dušik)=	
Q (Klivnik)	177,1076	l/s			
			C = (C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q	C(fosfor)=	[mg/l]
				C(dušik)=	

Mola			Klivnik		
Hidravlična obremenitev:			Q=A*np	Q ₂ =	[l/dan] [l/s]
Biokemijska obremenitev:			G=A*g*n	G(fosfor)=	[g/dan] [g/s]
				G(dušik)=	
C ₂ =G/Q				C ₂ (fosfor)=	[g/l] [mg/l]
				C ₂ (dušik)=	
C = (C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q				C(fosfor)=	[mg/l]
				C(dušik)=	

6.2.10.2 Obremenitev zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin

6.2.10.2.1 Prispevno območje akumulacije Klivnik

Koncentracija fosforja je na jezeru Klivnik dosegla 0,09 mg P/l, k tej vrednosti so dobro tretjino prispevali travniki 0,03 mg p/l. Obremenitev z dušikom je znašala 0,63 mg N/l. Izcedne vode s površin, kjer raste gozd, so prispevale skoraj polovico končne vrednosti 0,27 mg N/l (preglednica 38).

Preglednica 38: Obremenitev akumulacije Klivnik zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2013

Leto 2013											
Raba tal	Delež površine [%]	Delež površine [m ²]	Delež površine [ha]	Delež padavin [l/leto]	Koeficient odtoka	Skupni odtok [l/leto]	Skupni odtok [l/s]	Vsebnost dušika [kg N/ha/leto]	Vsebnost fosforja [kg P/ha/leto]	C ₁ dušik [mg N/l]	C ₁ fosfor [mg P/l]
gozd	66,15	5252515	525	8968668897	0,10	896866890	28,44	2,86	0,24	1,67	0,14
voda	3,77	299278	30	511017415	-	-	-	-	-	-	-
travniki	15,77	1252062	125	2137895128	0,20	427579026	13,56	8,65	1,50	2,53	0,44
zaraščanje	7,36	584516	58	998060661	0,15	149709099	4,75	5,76	0,87	2,25	0,34
njive in vrtovi	2,29	181617	18	310110781	0,20	62022156	1,97	16,09	4,46	4,71	1,31
pozidana	2,50	198841	20	339521855	0,80	271617484	8,61	9,97	1,91	0,73	0,14
sadovnjaki	2,16	171701	17	293178701	0,25	73294675	2,32	5,19	1,08	1,22	0,25
Celota	100,00	7940529	794	13558453438	-	1881089330	59,65	-	-	13,11	2,62
Seštevek padavin [l/m ² /leto]		1707,5									
Q (Klivnik)			177,1								
						C = (C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q		C(fosfor)=	0,09	[mg/l]	
								C(dušik)=	0,63	[mg/l]	

6.2.10.2.2 Prispevno območje akumulacije Mola

Koncentracije fosforja in dušika so bile v primerjavi s Klivnikom na jezeru Mola bistven večje in so znašale 0,25 mg P/l ter 1,76 mg N/l (preglednica 39). K tem količinam so izcedne vode iz gozdov in travnikov prispevale več kot dve tretjini. Gozdovi in travniki pokrivajo dobrih 80 % prispevnega območja jezera Mola.

Preglednica 39: Obremenitev akumulacije Mola zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2013

Leto 2013											
Raba tal	Delež površine [%]	Delež površine [m ²]	Delež površine [ha]	Delež padavin [l/leto]	Koeficient odtoka	Skupni odtok [l/leto]	Skupni odtok [l/s]	Vsebnost dušika [kg N/ha/leto]	Vsebnost fosforja [kg P/ha/leto]	C ₁ dušik [mg N/l]	C ₁ fosfor [mg P/l]
gozd	67,67	9516400	952	16249252295	0,10	1624925229	51,53	2,86	0,24	1,67	0,14
voda	3,92	550821	55	940526171	-	-	-	-	-	-	-
travniki	14,60	2052837	205	3505219199	0,20	701043840	22,23	8,65	1,50	2,53	0,44
zaraščanje	5,57	783733	78	1338223810	0,15	200733571	6,37	5,76	0,87	2,25	0,34
njive in vrtovi	2,36	331956	33	566815392	0,20	113363078	3,59	16,09	4,46	4,71	1,31
pozidana	2,51	353188	35	603068885	0,80	482455108	15,30	9,97	1,91	0,73	0,14
sadovnjaki	3,37	473798	47	809010504	0,25	202252626	6,41	5,19	1,08	1,22	0,25
Celota	100,00	14062733	1406	24012116256	-	3324773453	105,43	-	-	13,11	2,62
Seštevek padavin [l/m ² /leto]	1707,5										
	Q (Mola)	109,7		l/s		C = (C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q		C(fosfor)=	0,25	[mg/l]	
								C(dušik)=	1,76	[mg/l]	

6.2.11 Izračun obremenitev za leto 2014

V letu 2014 je bila količina padavin ekstremno visoka, in sicer je v celem letu padlo 2073,2 mm padavin. To se je pokazalo tudi na srednjih letnih pretokih. Na jezeru Klivnik je ta dosegel 383,1 l/s, na Moli pa 296,8 l/s. Res, da je bil tudi v prejšnjih dveh letih pretok na Klivniku večji od pretoka na Moli, vendar so bile razmere bistveno drugačne, saj je bilo bistveno manj padavin. Zato si razlagamo tako razliko v pretokih z dejstvom, da je bilo jezero Mola dalj časa napolnjeno do maksimalnega volumna, kar pomeni, da je večino te razlike v pretokih iz jezera izteklo preko prelivnega objekta, česar pa ni bilo možno izmeriti.

6.2.11.1 Obremenitev zaradi kanalizacije

Koncentracije fosforja in dušika so bile majhne zaradi velikih količin vode, ki so jih razredčile. Na jezeru Klivnik so znašale 0,02 mg P/l in 0,07 mg N/l (preglednica 40). Koncentracije na Moli so bile precej podobne in so dosegle 0,05 mg P/l in 0,18 mg N/l (preglednica 40).

Preglednica 40: Obremenitev zaradi kanalizacije v letu 2014

Leto 2014			Klivnik		
A (1 prebivalec)	1	PE	Hidravlična obremenitev: [l/dan] [l/s]		
np	150	l/(PE/dan)	Q=A*np	Q ₂ =	37650 0,44
g (biokemijska obremenitev na prebivalca)	3,5	g F/(PE/dan)	Biokemijska obremenitev: [g/dan] [g/s]		
	12	g N/(PE/dan)	G=A*g*n	G(fosfor)=	658,88 0,01
n (učinek čiščenja pretočne greznice)	25	%		G(dušik)=	2259 0,03
A Mola	523				
A Klivnik	251				
1 dan	86400	s	C ₂ =G/Q	C ₂ (fosfor)=	0,02 17,50
Q (Mola)	296,8	l/s		C ₂ (dušik)=	0,06 60
Q (Klivnik)	383,102	l/s			
			C=(C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q	C(fosfor)=	0,02
				C(dušik)=	0,07

Mola		
Hidravlična obremenitev: [l/dan] [l/s]		
Q=A*np	Q ₂ =	78450 0,91
Biokemijska obremenitev: [g/dan] [g/s]		
G=A*g*n	G(fosfor)=	1372,88 0,02
	G(dušik)=	4707 0,05
		[g/l] [mg/l]
C ₂ =G/Q	C ₂ (fosfor)=	0,02 17,50
	C ₂ (dušik)=	0,06 60
		[mg/l]
C=(C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q	C(fosfor)=	0,05
	C(dušik)=	0,18

6.2.11.2 Obremenitev zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin

6.2.11.2.1 Prispevno območje akumulacije Klivnik

Tudi pri izračunanih količinah fosforja in dušika zaradi izpiranja se je poznala velika količina padavin. Koncentracija fosforja je bila 0,04 mg P/l, koncentracija dušika pa 0,29 mg N/l (preglednica 41).

Preglednica 41: Obremenitev akumulacije Klivnik zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2014

Leto 2014											
Raba tal	Delež površine [%]	Delež površine [m ²]	Delež površine [ha]	Delež padavin [l/leto]	Koeficient odtoka	Skupni odtok [l/leto]	Skupni odtok [l/s]	Vsebnost dušika [kg N/ha/leto]	Vsebnost fosforja [kg P/ha/leto]	C ₁ dušik [mg N/l]	C ₁ fosfor [mg P/l]
gozd	66,15	5252515	525	10889513533	0,10	1088951353	34,53	2,86	0,24	1,38	0,11
voda	3,77	299278	30	620463428	-	-	-	-	-	-	-
travniki	15,77	1252062	125	2595774043	0,20	519154809	16,46	8,65	1,50	2,09	0,36
zaraščanje	7,36	584516	58	1211818075	0,15	181772711	5,76	5,76	0,87	1,85	0,28
njive in vrtovi	2,29	181617	18	376528065	0,20	75305613	2,39	16,09	4,46	3,88	1,08
pozidana	2,50	198841	20	412238190	0,80	329790552	10,46	9,97	1,91	0,60	0,12
sadovnjaki	2,16	171701	17	355969595	0,25	88992399	2,82	5,19	1,08	1,00	0,21
Celota	100,00	7940529	794	16462304930	-	2283967437	72,42	-	-	10,80	2,15
Seštevek padavin [l/m ² /leto]	2073,2										
Q (Klivnik)	383,1 l/s										
C=(C ₁ *Q ₁ +C ₂ *Q ₂)/Q								C(fosfor)=	0,04 [mg/l]		
								C(dušik)=	0,29 [mg/l]		

6.2.11.2.2 Prispevno območje akumulacije Mola

Obremenitev s fosforjem in dušikom je bila na Moli dvakrat večja kot na Klivniku. Znašala je 0,09 mg P/l in 0,65 mg N/l (preglednica 42). Kot v prejšnjih letih so k tem vrednostim največ prispevala gozdna tla in travniki.

Preglednica 42: Obremenitev akumulacije Mola zaradi izpiranja fosforja in dušika iz različnih tipov površin v letu 2014

Leto 2014												
Raba tal	Delež površine [%]	Delež površine [m ²]	Delež površine [ha]	Delež padavin [l/leto]	Koeficient odtoka	Skupni odtok [l/leto]	Skupni odtok [l/s]	Vsebnost dušika [kg N/ha/leto]	Vsebnost fosforja [kg P/ha/leto]	C ₁ dušik [mg N/l]	C ₁ fosfor [mg P/l]	
gozd	67,67	9516400	952	19729399624	0,10	1972939962	62,56	2,86	0,24	1,38	0,11	
voda	3,92	550821	55	1141961264	-	-	-	-	-	-	-	
travniki	14,60	2052837	205	4255941694	0,20	851188339	26,99	8,65	1,50	2,09	0,36	
zaraščanje	5,57	783733	78	1624834906	0,15	243725236	7,73	5,76	0,87	1,85	0,28	
njive in vrtovi	2,36	331956	33	688211813	0,20	137642363	4,36	16,09	4,46	3,88	1,08	
pozidana	2,51	353188	35	732229817	0,80	585783854	18,58	9,97	1,91	0,60	0,12	
sadovnjaki	3,37	473798	47	982278523	0,25	245569631	7,79	5,19	1,08	1,00	0,21	
Celota	100,00	14062733	1406	29154857641	-	4036849384	128,01	-	-	10,80	2,15	
Seštevek padavin [l/m ² /leto]	2073,2											
	Q (Mola)	296,8	l/s	$C = (C_1 * Q_1 + C_2 * Q_2) / Q$				C(fosfor)=	0,09	[mg/l]		
								C(dušik)=	0,65	[mg/l]		

6.3 Končne letne obremenitve na akumulaciji Klivnik v obdobju 2003–2014

6.3.1 Koncentracije fosforja

Izračunane vrednosti koncentracij fosforja v jezeru so seštevek obremenitve jezera Klivnik z odpadnimi komunalnimi vodami in obremenitve zaradi izpiranja fosforja s prispevnega območja jezera (preglednica 43). Za prikaz izmerjenega fosforja smo izbrali največjo vrednost v posameznem letu, ki jo je izmerila Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO, 2015). Vrednosti v obeh stolpcih smo med seboj primerjali in ugotovili, da so izračunane vrednosti bistveno večje od izmerjenih. Pokazalo se je tudi, da vse izračunane koncentracije presegajo mejo evtrofikacije, ki znaša 0,084 mg P/l. Primerjava vrednosti z mejo evtrofikacije je tudi pokazala, da so v večini vse izmerjene vrednosti pod mejo evtrofikacije, z izjemo leta 2009, ko je izmerjena koncentracija znašala 0,095 mg P/l.

Preglednica 43: Primerjava izračunanih in izmerjenih vrednosti koncentracij fosforja na jezeru Klivnik

Leto	Celotni izračunan fosfor [mg P/l]	Izmerjeni fosfor [mg P/l]
2003	0,179	0,044
2004	0,223	0,041
2005	0,221	0,047
2007	0,194	0,050
2008	0,176	0,042
2009	0,179	0,095
2010	0,117	0,054
2011	0,253	0,039
2012	0,205	0,041
2013	0,133	0,041
2014	0,060	0,045



Grafikon 1: Fosfor na jezeru Klivnik.

6.3.2 Koncentracije dušika

V preglednici 44 so podane izračunane vrednosti dušika, ki so seštevek obremenitve jezera s komunalnimi odpadnimi vodami in s količino dušika, ki je prišla s prispevnega območja zaradi izpiranja tal. Drugi stolpec predstavlja največje izmerjene vrednosti v posameznem letu Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO, 2015). Primerjava izračunanih in izmerjenih koncentracij je pokazala, da so bile izmerjene vrednosti v večini prve polovice obravnavanega obdobja nižje od izračunanih. Obratno pa je bilo v drugi polovici, kjer so izmerjene vrednosti presegle izračunane. To se še posebej kaže v zadnjih treh letih, kjer se je ta razlika zelo povečala.

Preglednica 44: Primerjava izračunanih in izmerjenih vrednosti koncentracij dušika na jezeru Klivnik.

Leto	Celotni izračunan dušik [mg N/l]	Izmerjen dušik [mg N/l]
2003	1,075	0,800
2004	1,321	/
2005	1,273	1,300
2007	1,138	0,984
2008	1,002	0,890
2009	1,074	1,060
2010	0,667	0,980
2011	1,483	0,980
2012	1,173	1,700
2013	0,778	1,400
2014	0,358	2,900



Grafikon 2: Dušik na jezeru Klivnik.

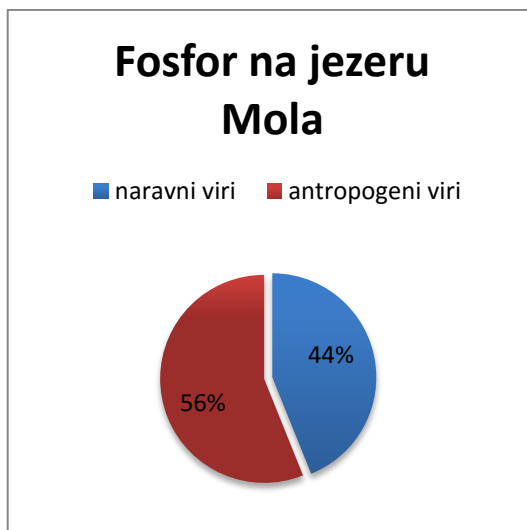
6.4 Končne letne obremenitve na akumulaciji Mola v obdobju 2003–2014

6.4.1 Koncentracije fosforja

Količino fosforje, ki obremenjuje akumulacijo Mola smo izračunali tako, da smo sešteli predhodno določene količine fosforja, ki pridejo v jezero iz dveh virov. Večji del fosforja pride iz okoliških tal, ko jih izpira dež, manjši pa preko komunalne odpadne vode iz pretočnih hišnih greznic. Ker sta jezera Klivnik in Mola medseboj povezani s potokom Klivnik, se voda iz zgornjega Klivnika pretaka v spodnjo Molo. Zato smo izračunani koncentraciji fosforja prišteli še izmerjeno vrednost koncentracije fosforja, ki zapusti jezero Klivnik. Vse izračunane vrednosti presegajo vrednost evtrofikcije, ki znaša 0,084 mg P/l, ter so nekajkrat večje v primerjavi z izmerjenimi (preglednica 45).

Preglednica 45: Primerjava izračunanih in izmerjenih vrednosti koncentracij fosforja na jezeru Mola

Leto	Celotni izračunan fosfor [mg P/l]	Izmerjen fosfor [mg P/l]
2003	0,236	0,086
2004	0,238	0,084
2005	0,265	0,065
2007	0,346	0,136
2008	0,206	0,057
2009	0,203	0,065
2010	0,158	0,077
2011	0,583	0,047
2012	0,693	0,117
2013	0,395	0,052
2014	0,143	0,049



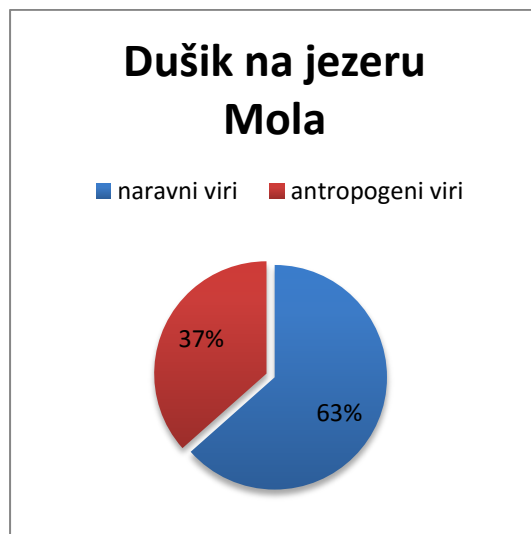
Grafikon 3: Fosfor na jezeru Mola.

6.4.2 Koncentracije dušika

Preglednica 46 prikazuje izračunane koncentracije dušika, ki obremenjujejo jezero Mola. Te vrednosti smo izračunali na enak način kot vrednosti dušika za jezero Klivnik. V drugem stolpcu so prikazane največje izmerjene vrednosti za posamezno leto, ki jih je opravil ARSO (ARSO, 2015). Meritve dušika na jezeru Mola so začeli izvajati šele leta 2005, tako da za leti 2003 in 2004 nismo imeli podatkov. Lahko pa predvidevamo, da sta bili tudi v teh dveh letih izmerjeni vrednosti manjši od izračunanih, glede na to, da so vse ostale izmerjene vrednosti nekajkrat manjše od izračunanih.

Preglednica 46: Primerjava izračunanih in izmerjenih vrednosti dušika na jezeru Mola

Leto	Celotni izračunan dušik [mg N/l]	Izmerjen dušik [mg N/l]
2003	2,134	/
2004	1,371	/
2005	2,787	1,250
2007	2,934	0,897
2008	2,070	0,800
2009	2,202	0,790
2010	1,889	0,750
2011	4,300	0,870
2012	5,639	1,100
2013	3,657	1,000
2014	3,734	0,610



Grafikon 4: Dušik na jezeru Mola.

6.5 Razprava

Rezultati, ki smo jih izračunali, so v večini večji od dejanskih meritev. Do večjih odstopanj je prišlo pri izračunu koncentracije fosforja, kjer so nekateri rezultati nekajkrat večji od izmerjene vrednosti. Pri dušiku je ta razlika manjša, zato je verjetno, da je izračun koncentracije dušika bolj natančen od izračuna fosforja. Edina odstopanja, ki se pri dušiku pojavijo, so meritve na akumulaciji Klivnik v zadnjih letih obravnavanega obdobja. Za ta leta je izračun pokazal zelo majhne vrednosti koncentracij dušika v jezeru. To bi lahko pojasnili le s tem, da je na velike vrednosti dušika, ki so jih pokazale meritve, vplival dodaten dejavnik. Ta dejavnik bi lahko bil sipanje brežin jezera v vodo ter s tem neposredno vnašanje večjih količin dušika v jezero. Žal pa teh količin dušika nismo mogli upoštevati pri končni vrednosti, saj ni mogoče določiti, kdaj in kolikšen del brežine se je vsul v jezero.

Če bi na podlagi izračunanih vrednosti ocenjevali stopnjo eutrofikacije v obeh akumulacijah, bi jih lahko v večini obravnavanih let umestili med eutrofna jezera. Ker pa se določa stopnjo na podlagi izmerjenih vrednosti, ki so merodajne, spadata obe akumulaciji med mezotrofna jezera (ARSO, 2015). To pomeni, da narava sama poskrbi za zmanjšanje dobršnega dela onesnaženja s fosforjem in dušikom.

Rezultati (grafikon od 1 do 4) prikazujejo, kolikšen del fosforja in dušika v jezero pride iz naravnih virov in kolikšen iz antropogenih, torej za kolikšno količino je kriv človek. Iz rezultatov je razvidno, da ima človek večji vpliv na koncentracije vnešenega fosforja, saj ga na jezeru Klivnik prispeva dobro polovico. Na jezeru Mola je ta količina še večja in doseže 56 %. Nekoliko boljše je glede dušika, saj je človek kriv za 32 % vse vnešene koncentracije dušika na Klivniku ter 37 % na jezeru Mola.

Z rdečo črto je na sliki 24 označen prvotni potek brežine. Ta se je v zadnjih letih močno spremenil. Voda s svojim delovanjem vsako leto odnaša breg in povečuje velikost zaliva.



Slika 24: Odnasjanje brežine na jezeru Klivnik (Možina, 2016)

Na sliki 25 so lepo razvidne korenine drevesa, ki so prišle na plano zaradi sipanja brežine v jezero Klivnik.



Slika 25: Sipanje brežine na jezeru Klivnik (Možina, 2016)

7 ZAKLJUČEK

Namen diplomske naloge je bil ugotavljanje kvalitete vode v akumulacijah Klivnik in Mola, ki ležita na spodnjem robu planote Brkini v občini Ilirska Bistrica. Kvaliteto vode se v jezerih označi s stopnjo evtrofikacije. Za ta namen smo v nalogi najprej predstavili proces evtrofikacije, ter njene vplivne dejavnike, ki jih delimo na naravne in antropogene. Izkazalo se je, da je večina vplivov naravnih in na te nimamo vpliva, težko pa je določiti stopnjo njihovega dejanskega vpliva na stopnjo evtrofikacije. Pri določanju stopnje evtrofikacije na obeh jezerih smo se posvetili izračunu hranil, ki pridejo v jezera z njihovih prispevnih površin.

Hranila so najpomembnejši dejavnik pri določanju stopnje evtrofikacije in jo z večanjem količin močno pospešujejo. V ta namen smo preučili dušikov in fosforjev krog v naravi. Fosfor in dušik sta dve najbolj zastopani obliki hranil v okolju. Za izračun količin smo določili vire, iz katerih prideta obe hranili v vodo. Prevladovala sta dva vira:

- vnos hranil s kanalizacijskimi odpadnimi vodami, ki se izlivajo v jezero (antropogeni vpliv),
- izlivanje izcednih voda, ki iz tal prispevnega območja izpirajo dušik in fosfor (naravni in antropogeni vpliv).

Izračuni so pokazali, da so v vseh obravnavanih letih koncentracije fosforja in dušika presegle mejo evtrofikacije. Dobljene rezultate smo primerjali z izmerjenimi vrednostimi v določenem letu, ki smo jih pridobili od Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO, 2015). Pričakovali smo, da bodo izračunane vrednosti večje od izmerjenih, kar so primerjave tudi potrdile. Edina odstopanja od tega so se pojavila na jezeru Klivnik, kjer so meritve dušika v zanjih treh letih obravnavanega obdobja močno presegle izračunane vrednosti. Predvidevamo, da bi za povečano koncentracijo dušika v jezeru Klivnik lahko bila kriva erozija brežin. Te so v zadnjih letih zaradi velikega nihanja vodne gladine v jezeru ostale zelo neporaščene. Poleg tega se je pokazalo, da je izračun za dušik verjetno bolj natančen kot izračun za fosfor. Pri fosforju so se pojavila tudi desetkratna odstopanja od izmerjenih vrednosti.

Analiza izmerjenih vrednosti je pokazala, da je bilameja evtrofikacije na obeh akumulacijah presežena le trikrat, enkrat na Klivniku ter dvakrat na Moli. Se pa ostale meritve fosforja gibljejo blizu te meje. Ob morebitnem večanju količin fosforja v vodi, bi to pomenilo, da bi akumulaciji prešli iz mezotrofnega stanja v evtrofno. Nekoliko boljše je stanje pri dušiku, kjer se vrednosti gibljejo okrog 1,000 mg N/l, meja evtrofikacije pa znaša 1,875 mg N/l. Edini zaskrbljujoč podatek je meritev v letu 2014 na jezeru Klivnik, ko je bila izmerjena koncentracija 2,900 mg N/l.

Za izboljšanje kvalitete vode in znižanje stanja evtrofikacije predlagamo dva ukrepa:

- odprava erozije na zgornjem jezeru z utrditvijo brežin ter

- zmanjšanje izpusta kanalizacijskih odpadnih voda, bodisi z vgradnjo MČN ali s predelavo obstoječih greznic.

VIRI

Ansari, A. A., Gill, S. S., Khan, A. F. 2011. Chapter 7: Eutrophication: Threat to Aquatic Ecosystems. V: Ansari, A. A., Gill, S. S., Lanza, R. G. Eutrophication: Causes, Consequences and Control. New York. Springer: 143–170.

ARSO. 2015. Vreme in podnebje – podatki in napovedi.

<http://www.arso.gov.si/vreme/napovedi%20in%20podatki/> (Pridobljeno 2. 2. 2016.)

Benhard, A. 2010. The Nitrogen Cycle: Processes, Players, and Human Impact. Nature Education.

<http://www.nature.com/scitable/knowledge/library/the-nitrogen-cycle-processes-players-and-human-15644632> (Pridobljeno 4. 1. 2016.)

Brylinsky, M. 2004. User's Manual for Prediction of Phosphorus Concentration in Nova Scotia Lakes: A Tool for Decision Making Version 1.0. Nova Scotia. Nova Scotia Department of Environment and Labor: Str: 9–17.

Ekholm, P. 2008. N:P ratios in estimating nutrient limitation in aquatic system: str: 4.

http://www.cost869.alterra.nl/fs/fs_npratio.pdf (Pridobljeno 11. 5. 2016.)

Geopedia.si Lite. 2012. Raba tal 2012.

http://www.geopedia.si/#T105_L15502_x438196_y44472_s15_b4 (Pridobljeno 16. 12. 2015.)

Göltenboth, F., Lehmusluoto, P. 2006. Chapter 7: Lakes. V: Göltenboth, F., Timotius, H. K., Milan, P. P., Margraf, J. Ecology of Insular Southeast Asia. Amsterdam. Elsevier. Str: 129.

<http://www.univpgr-palembang.ac.id/perpus-fkip/Perpustakaan/Geography/Geografi%20Fisik/Ekologi%20Asia%20Tenggara.pdf> (Pridobljeno 29. 5. 2016.)

Graham, S., Parkinson, C., Chahine, M. 2010. The water cycle. NASA earth observatory.

<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Water/> (Pridobljeno 14. 12. 2015.)

Habe, F. 1984. Prizadevanja za čisto notranjsko reko. Ljubljana. Geografski vestnik. LVI: 71–73.

http://zgs.zrc-sazu.si/Portals/8/Geografski_vestnik/2_Pred1999/GV_5601_071_074.pdf (Pridobljeno 7. 1. 2016.)

Ivanuša, B. 2016. Meritve pretokov na akumulacijah Mola in Klivnik za obdobje od 2003 do 2014. Elektronsko sporočilo za : Možina, J. 3. 2. 2016. Osebna komunikacija.

Jorgensen, S. E., 2001. Where Nutrients Come From and How They Cause Eutrophication. Lakes and reservoirs: Water Quality: The Impact of Eutrophication. Kusatsu. UNEP-IETC/ILEC Vol. 3: 12–15.
<http://www.ilec.or.jp/en/wp/wp-content/uploads/2013/03/Vol.3.pdf> (Pridobljeno 30. 12. 2015.)

Lane, K. R. 2015. Lake. Encyclopedia Britannica.
<http://www.britannica.com/science/lake> (Pridobljeno 21. 12. 2015.)

Lin, J. P. 2004. Review of Published Export Coefficient and Event Mean Concentration (EMC) Data. Vicksburg. WRAP Tehnical Notes Collection (ERDC TN-WRAP-04-3): str. 15.
<http://el.erdc.usace.army.mil/elpubs/pdf/twrap04-3.pdf> (Pridobljeno 8. 2. 2016.)

Meteo.si. 2016. Državna meteorološka služba. Arhiv podatkov.
<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/app/webmet/#webmet==8Sdwx2bhR2cv0WZ0V2bvEGcw9ydIJWbIR3LwVnaz9SYtVmYh9icIFGbt9SaulGdugXbsx3cs9mdl5WahxXYyNGapZXZ8tHZv1WYp5mOnMHbvZXZulWYnwCchJXYtVGdIInOn0UQQdSf>; (Pridobljeno 29. 5. 2016.)

Najdi.si. Zemljevid. 2016.
<http://zemljevid.najdi.si/> (Pridobljeno 10. 2. 2016.)

Naselli-Flores, L. 2011. Chapter 6: Mediterranean Climate and Eutrophication of Reservoirs: Limnological Skills to Improve Management. V: Ansari, A. A., Gill, S. S., Lanza, R. G. Eutrophication: Causes, Consequences and Control. New York. Springer: 131–142.

OŠ Dragotina Ketteja. 2016. Ilirska Bistrica.
<http://www.os-dk.si/ilirska-bistrica/> (Pridobljeno 30. 5. 2016.)

Peroša, B. 2015. Tehnični podatki o pregradah Klivnik in Mola. Osebna komunikacija (5. 12. 2015).

Pfanz, H. 2008. Koncept ekosistema. V: Strgulc Krajšek, S. (ur.), Vičar, M. (ur.). Ekosistemi - povezanost živih sistemov mednarodni posvet biološka znanost in družba, Ljubljana: Zavod RS za šolstvo: str. 44–45.
http://www.zrss.si/bzid/ekosistemi/gradiva/Zbornik_ekosistemi08.pdf (Pridobljeno 14. 12. 2015.)

Science Learning. 2013. The phosphorus cycle.

<http://sciencelearn.org.nz/Contexts/Soil-Farming-and-Science/Science-Ideas-and-Concepts/The-phosphorus-cycle> (Pridobljeno 4. 1. 2016.)

SURS. 2015. Podatki o izbranem naselju.

<http://www.stat.si/krajevnaimena/default.asp?txtIme=HARIJE&selNacin=celo&selTip=naselja&ID=1193> (Pridobljeno 12. 1. 2016.)

Šestan, B. 2015. Opis pregrade Mola. Osebna komunikacija (10. 11. 2015.)

Toman, J. M. 2008. Vodni ekosistemi - struktura in funkcije. V: Strgulc Krajšek, S. (ur.), Vičar, M. (ur.). Ekosistemi - povezanost živih sistemov mednarodni posvet biološka znanost in družba, Ljubljana: Zavod RS za šolstvo: str. 50–56.

http://www.zrss.si/bzid/ekosistemi/gradiva/Zbornik_ekosistemi08.pdf (Pridobljeno 16. 12. 2015.)

Uredba o kemijskem stanju površinskih voda. Uradni list RS, št. 11-461/2002: 818.

<https://www.uradni-list.si/1/content?id=34918> (Pridobljeno 2. 12. 2015.)

Uredba o stanju površinskih voda. Uradni list RS, št. 14-437/2009: 1757.

<https://www.uradni-list.si/1/content?id=90840> (Pridobljeno 2. 12. 2015.)

Vadnjal, M. 2013. Možnosti nadvišanja pregrade Klivnik. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Vadnjal): 3301/HS.

http://drugg.fgg.uni-lj.si/4221/1/GRU3301_Vadnjal.pdf (Pridobljeno 4. 1. 2016.)

Yang, X., WU. X., HAO, H., HE, Z., 2008 Mechanisms and assessment of water eutrophication. Journal of Zhejiang University Sci B, 9(3): 197–209.