

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:

Ovčjak, M. 2013. Problematika evtrofnosti in sanacije nenaravnih jezer. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Panjan, J., somentor Krzyk, M.): 70 str.

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:

Ovčjak, M. 2013. Problematika evtrofnosti in sanacije nenaravnih jezer. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Panjan, J., co-supervisor Krzyk, M.): 70 pp.

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 ŠTUDIJ
VODARSTVA IN
KOMUNALNEGA
INŽENIRSTVA

Kandidatka:

MIHAELA OVČJAK

**PROBLEMATIKA EVTROFNOSTI IN SANACIJE
NENARAVNIH JEZER**

Diplomska naloga št.: 202/VKI

**EUTROPHICATION ISSUES AND SANATION OF
SOPHISTICATED LAKES**

Graduation thesis No.: 202/VKI

Mentor:

izr. prof. dr. Jože Panjan

Predsednik komisije:

doc. dr. Dušan Žagar

Somentor:

asist. dr. Mario Krzyk

Član komisije:

prof. dr. Boris Kompare

prof. dr. Franc Steinman

Ljubljana, 27. 05. 2013

Vse na tem planetu povezuje voda in prav kroženje vode zagotavlja ekološko stabilnost planeta. Izhlapevanje iz morij, iz vodnih teles na celinah in kopnega vrača vodo v obliki raznovrstnih padavin nazaj na celine in v morja. Prav celinske vode so edinstven življenjski prostor z značilnimi življenjskimi oblikami. Z njimi je človeštvo neposredno povezano in od njih odvisno, zato je upravičena trditev, da je voda največja biološka dobrina. Dobrino razumemo v vsej njeni pojavnosti in pomembnosti šele takrat, ko je ni dovolj ali ko postane nevarna za zdravje in preživetje človeka. Voda pa je dobrina za vse organizme, zato so nam spremembe v življenjskih združbah rastlin in živali prvi alarm, da se moramo strezniti. Ta streznitev bi se morala že začeti. Ne v vodah, ne le z vodami, ampak prvenstveno na kopnem, v družbi in industriji, kajti vse spremembe v vodah so odraz dogajanj na kopnem. Voda je idealno topilo, voda prinaša življenje in voda prinaša tudi smrt. To naj bo naše izhodišče in etično načelo.

prof. dr. Mihael J. Toman

Misli o vodi in našem odnosu do te dobrine

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**Stran z napako****Vrstica z napako****Namesto****Naj bo**

STRAN Z IZJAVAMI

Podpisana **Mihaela Ovčjak** izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom
»**Problematika evtrofnosti in sanacije nenaravnih jezer**«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, februar 2013

Mihaela Ovčjak

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	UDK:504.4:628.19(285.2)(497.4)(043.2)
Avtor:	Mihaela Ovčjak
Mentor:	izr. prof. dr. Jože Panjan
Somentor:	asist. dr. Mario Krzyk
Naslov:	Problematika evτροφnosti in sanacije nenaravnih jezer
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	70 str., 19 pregl., 29 sl., 1 gr., 21 en., 9 pril.
Ključne besede:	evτροφikacija, hranila, Šaleška jezera, Vollenweiderjev model

Izvilleček

Šaleška dolina sodi med tista območja v Sloveniji, katera se je zaradi človeških dejavnosti najintenzivneje preoblikovala. Glavni razlog za takšno preoblikovanje in spremembe je izkopavanje premoga, ki se nahaja pod površjem. Izkopavanje premoga je sprožilo hitro industrializacijo in urbanizacijo, prav tako pa so posledično zaradi ugrezanja površja nastala tri umetna ugrezninska jezera: Družmirsko, Velenjsko in Škalsko jezero. Družmirsko jezero je v glavnem namenjeno vodooskrbi Termoelektrarne Šoštanj, Velenjsko jezero vodooskrbi in rekreaciji, Škalsko jezero pa je v glavnem namenjeno rekreacij (športni ribolov). Z večanjem prostornine jezer skozi leta, se je povečala občutljivost celotne pokrajine in kljub enakemu nastanku se pri vsakem pojavljajo drugi problemi.

V diplomski nalogi so podrobneje opisane značilnosti evτροφikacije, na katero velikokrat vpliva s svojimi aktivnostmi pospešuje človek ter načini njenega preprečevanja. Predstavljeno je kroženje snovi v jezerskih ekosistemih ter vpliv obremenjevanja s hranili na evτροφni proces, obravnavani so abiotični dejavniki. Namen naloge je bil ugotoviti obstoječe stanje Šaleških jezer, prepoznati številne probleme, ki se pojavljajo v zvezi z njihovim nastankom, obenem pa sem poskušala predstaviti osnovne značilnosti in vzroke evτροφnosti ter podati možne sanacijske ukrepe.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC	UDK:504.4:628.19(285.2)(497.4)(043.2)
Author:	Mihaela Ovčjak
Supervisor:	Assoc. Prof. Jože Panjan Ph.D.
Co - advisor:	Assist. Mario Krzyk Ph.D.
Title:	Eutrophication issues and sanation of sophisticated lakes
Document type:	Graduation Thesis – University studies
Notes:	70 p., 19 tab., 29 fig., 1 graph., 21 eq., 9 ann.
Key words:	eutrophication, nutrient, Šaleška lakes, Vollenweider's model

Abstract

Šaleška valley is one of those areas in Slovenia, that have been intensively transformed due to the human activity. Main reason for this transformation and changes are quantities of coal under the earth surface. Mining initiated fast industrialization and urbanization and the result was also three lakes due to the subsidence of the land surface: Družmirsko lake, Velenjsko lake and Škalsko lake. Družmirsko lake is used for water supply for thermal power plant Šoštanj, Velenjsko lake is used for water supply and recreation and Škalsko lake is mainly used for recreation (fishing). By enlarging the lakes volumes throughout the years, the sensitivity of the whole region also enlarged and although all three lakes were formed the same way, in each occur different issues.

In this thesis are detailed characteristics of eutrophication, which is frequently accelerated by man with his activity, and the ways of preventing eutrophication. Hereafter is presented circulation of matter in lakes ecosystem and the impact of nutrient pollution on eutrophical process, there are also presented abiotic factors. The objective of this thesis is to determine current status of lakes in Šaleška valley and to identify numerous issues which occur regarding the formation of lakes. At the same time the thesis objective is also to present basic characteristics and causes of eutrophication and to provide possible remedial actions.

ZAHVALA

Na prvem mestu se zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Jožetu Panjanu in somentorju asist. dr. Mariu Krzyku za dragocena navodila, pomoč in koristne pripombe, ter za vse hitre odgovore, ko sem jih potrebovala.

Hvala tudi mojim prijateljem. Ker me razumete, verjamete vame, me znate vedno potolažiti, spraviti v smeh in napolniti z optimizmom.

Iz vsega srca pa se zahvaljujem atiju, mami in sestri Joci za vso brezpogojno podporo, neizmerno razumevanje, vsestransko spodbudo, potrpežljivost in zaupanje vame. To, da ste vedno z mano, ko vas potrebujem in nikoli ne nehate verjeti vame.

Hvala vsem!

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA	IV
STRAN Z IZJAVAMI	V
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	VI
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION	VII
KAZALO VSEBINE	IX
KAZALO PREGLEDNIC	XI
KAZALO GRAFIKONOV	XI
KAZALO SLIK	XI
SLOVAR MANJ ZNANIH BESED IN TUJK	XIII
1 UVOD	1
2 KAKOVOST VODA	3
3 EKOSISTEM	5
3.1 Jezera	7
3.2 Funkcija in struktura vodnih ekosistemov.....	8
3.3 Izmenjava in transformacije v vodnem ekosistemu.....	9
3.3.2 Kroženje fosforja.....	10
3.3.4 Kroženje dušika	11
3.5 Ostali pomembni dejavniki	12
3.5.1 Klorofil a.....	12
3.5.2 Svetloba.....	12
3.5.3 Temperatura in toplotne razmere v jezerih.....	14
3.5.4 Kisik (O ₂).....	18
3.5.5 pH, Ogljikov dioksid (CO ₂) in kalcijev karbonat (CaCO ₃)	19
4 EVTROFIKACIJA	22
4.1 Definicija	22
4.2 Naravna evtrofikacija	22
4.3 Umetna evtrofikacija	23
4.4 Viri vnosa hranil	25
4.4.1 Primeri najpogostejših virov obremenitev s hranili:	26
4.4.2 Načini zmanjševanja evtrofikacije	28

5	KATEGORIZACIJA STOJEČIH VODA GLEDE NA TROFIČNI NIVO	29
5.1	Določanje stopnje trofičnosti po OECD kriterijih	29
5.2	Hiperevtrofna jezera in njihove značilnosti	33
5.3	Oligotrofna jezera in njihove značilnosti	33
5.4	Razvoj evtrofikacije.....	35
6	UGREZNINSKA JEZERA V ŠALEŠKI DOLINI	37
6.1	Družmirsko jezero.....	40
6.2	Škalsko jezero	42
6.3	Velenjsko jezero	44
7	KRATKA PREDSTAVITEV POSTOPKOV MATEMATIČNEGA MODELIRANJA.....	47
7.1	Splošno o modelih	47
7.2	Masna bilanca	48
7.3	Vollenweiderjev model	49
7.4	Obremenitve jezera	51
7.4.1	Določitev obremenitve iz podatkov o koncentraciji snovi in pretokih pritokov jezera	51
7.4.2	Določitev obremenitve s pomočjo empirično določenih vrednosti za vnos hranil v jezero	53
7.4.2.1	Naravni vnos fosforja iz pojezerja	53
7.4.2.2	Naravni vnos fosforja s padavinami	54
7.4.2.3	Umetni vnos fosforja.....	55
7.5	Vhodni podatki.....	55
8	UGOTOVITVE	62
8.1	Meritev fosforja za Šaleška jezera	62
8.2	Model fosforja za Šaleška jezera	64
9	ZAKLJUČEK.....	66
	VIRI.....	68

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Prednosti in slabosti različnih načinov vrednotenja kakovosti.....	4
Preglednica 2: Ekosistemske lastnosti, zaradi katerih umetna jezera zasedajo vmesni položaj med naravnimi jezери in rekami	7
Preglednica 3: OECD kriteriji za oceno trofičnega stanja jezer.....	30
Preglednica 4: Trofično stanje jezera.....	30
Preglednica 5: Večanje ugrezninskih jezer v Šaleški dolini od leta 1970 do 2011	39
Preglednica 6: Teoretični čas menjave vode v Šaleških jezerih za leto 2009	39
Preglednica 7: Količina vnosa hranil iz pojezerja	54
Preglednica 8: Koncentracija fosforja v padavinah	55
Preglednica 9: Površine prispevnih površin v pojezerju	57
Preglednica 10: Vnos fosforja iz pojezerja	58
Preglednica 11: Vnos fosforja s padavinami.....	58
Preglednica 12: Število prebivalcev v jezerskih naseljih.....	59
Preglednica 13: Obremenitev jezera z dotoki.....	60
Preglednica 14: Skupni vnos fosforja vnesenega v jezera	60
Preglednica 15: Izračunane vrednosti koncentracije fosforja za Šaleška jezera	61
Preglednica 16: Povprečne vrednosti fosforja v Škalskem jezeru med leti 2003-2010	62
Preglednica 17: Povprečne vrednosti fosforja v Velenjskem jezeru med leti 2003-2010	63
Preglednica 18: Povprečne vrednosti fosforja v Družmirskem jezeru med leti 2003-2010	63
Preglednica 19: Razvrstitev jezer glede na stanje trofičnosti	65

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon1: Letne povprečne vrednosti fosforja v Šaleških jezerih.....	64
---	----

KAZALO SLIK

Slika 1: Poenostavljena shema kroženja in transformacije snovi	9
Slika 2: Kroženje fosforja v vodnih sistemih.....	10
Slika 3: Kroženje dušika v vodnih sistemih.....	11
Slika 4: Shema razslojitve evtrofne jezera.....	13
Slika 5: Termična stratifikacija v jezeru	14
Slika 6: Toplotne razmere v jezerih	16

Slika 7: Z onesnaženjem jezerske vode nastane v globini monimolimnijski sloj. Jesensko in spomladansko kroženje vode ne seže do dna.	18
Slika 8: Koncentracija kisika v vertikalnem profilu evtrofnega in oligotrofnega dimiktičnega jezera	19
Slika 9: Pretvarjanje ogljikovega dioksida in karbonatov v jezeru.	20
Slika 10: Prikaz naravnih vzrokov za evtrofikacijo	23
Slika 11: Prikaz antropogenih vplivov na evtrofikacijo	24
Slika 12: Različni vnosi hranil v jezero	25
Slika 13: Shema oligotrofnega, mezotrofnega in evtrofnega jezera	29
Slika 14: Verjetnost uvrstitve v razred trofičnosti glede na povprečno letno vidnost Secchi diska	31
Slika 15: Verjetnost uvrstitve v razred trofičnosti glede na totalni fosfor	32
Slika 16: Verjetnost uvrstitve v razred trofičnosti glede na povprečno letni letni klorofil-a	32
Slika 17: Verjetnost uvrstitve v razred trofičnosti glede na maksimalni klorofil	33
Slika 18: Oligotrofno jezero	34
Slika 19: Evtrofno jezero	36
Slika 20: Večanje Šaleških jezer skozi čas	38
Slika 21: Šaleška jezera 2012	38
Slika 22: Družmirsko jezero – podvodni relief	40
Slika 23: Družmirsko jezero	41
Slika 24: Škalsko jezero 2010 – podvodni relief	42
Slika 25: Škalsko jezero	43
Slika 26: Velenjsko jezero 2010 – podvodni relief	44
Slika 27: Velenjsko jezero	45
Slika 28: Lokacija jezer z okoliškimi kraji M 1: 27.000	56
Slika 29: Območje Šaleških jezer - kartografska podlaga DOF 2010 M 1:15.000	57

SLOVAR MANJ ZNANIH BESED IN TUJK

antropogen	nastal pod vplivom človeka
evtrofni potencial vodotoka	visoka vsebnost hranilnih snovi v tekočih vodah, ki v stoječem vodnem telesu lahko povzroči evtrofnost
hranilne snovi	hranila za fotoavtotrofne organizme (cianobakterije, alge, makrofite), predvsem dušikove in fosforjeve anorganske spojine
kakovost vode	kakovost vodnega okolja
kakovost vodnega okolja	kakovost vode, odvisna od snovi, ki so v vodnem okolju prisotne in lahko negativno vplivajo na vodne organizme
onesnaževanje	proces vnosa polutantov kot posledica antropogeno izzvanih procesov, antropogeni vnos polutantov
pojezerje	je ozemlje, od koder vode odtekajo v jezero
porečje	je ozemlje, ki se odmaka v reko. Porečja Velunje, Sopot in Lepene so se spremenila v pojezerja.
substrat	podlaga, ki jo lahko poseljujejo vodni organizmi
trofično stanje	stanje glede na količino prisotnih hranil za rastline (vir: Urbanič, 2003)

1 UVOD

Šaleška jezera so nastala kot posledica ugrezanja površja zaradi premogovništva. Najgloblje dele ugreznin je zalila voda, tako so v Šaleški dolini so nastala tri umetna ugrezninska jezera: Družmirsko, Velenjsko in Škalsko jezero. Kljub dejstvu, da so jezera umetnega nastanka, pa imajo večino potez podobnih kot naravna tektonska jezera. Le tektonika jezer je antropogenega izvora.

Glede na slovenske razmere lahko jezera uvrstimo med večja, saj je že Velenjsko jezero po površini enako kot Blejsko jezero, zaradi večje globine pa vsebuje petino več vode. Ker smo priča intenzivnim spremembam in vnosu velikih količin hranil zaradi potapljanja pretežno agrarnih površin in zaradi hitrega ugrezanja so jezera občutljiva kot naravna tektonska oziroma še bolj (vir: Šterbenk in sod., 2011).

Družmirsko jezero je v prvi vrsti namenjeno vodooskrbi Termoelektrarne Šoštanj, Velenjsko jezero je namenjeno vodooskrbi in rekreaciji, Škalsko jezero je v prvi vrsti namenjeno rekreaciji, in sicer športnemu ribolovu.

Veliko hranilnih snovi prihaja v jezera z izpiranjem iz kmetijskih in rekreacijskih površin ter z nasipa pepela, veliko hranilnih snovi pa prihaja v jezera z jesenskim odpadlim listjem in pomladanskim pelodom, organske snovi prinašajo vodotoki, ki ob višjih vodostajih erodirajo svoje struge.

Velenjsko jezero je bilo močno alkalno (pH 12), kemijsko onesnaženo in praktično brez živih organizmov do leta 1994 zaradi odprtega transporta pepela iz Termoelektrarne Šoštanj. Da so preprečili onesnaževanje jezera in posledično tudi Pake, so leta 1994 zgradili zaprt sistem odpepeljevanja, kar pomeni, da onesnaženo vodo zbirajo pod odlagališčem in jo vračajo v elektrarno, kjer jo ponovno uporabijo za transport pepela. Poleti leta 1995 se je pH epilimnija zmanjšal pod 9, naslednje poletje pa je kakovost epilimnija s pH 8,5 že ustrezala za kopanje, leta 1997 pa alkalnost vode v nobeni globini ni preseгла pH 8,7.

Tako leto 1997 označujejo kot začetek hitre evtrofikacije oz. bogatenja jezera z dušikovimi in fosforjevimi hranili. Evtrofikacijo Družmirskega, Velenjskega in Škalskega jezera povzročajo ob naravnih tudi obsežni antropogeni vnosi dušika, fosforja in drugih hranil v vodno okolje zaradi različnih dejavnosti. Prostornina jezer se z leti povečuje, kar je z vidika njihovih samočistilnih sposobnosti ugodno, po drugi strani pa se čas izmenjave vode v njih podaljšuje, kar pa ima ravno nasprotni učinek.

Namen naloge je bil ugotoviti obstoječe stanje Šaleških jezer, prepoznati številne probleme, ki se pojavljajo v zvezi z njihovim nastankom, obenem sem poskušala predstaviti osnovne značilnosti in vzroke evtrofnosti ter podati možne sanacijske ukrepe.

2 KAKOVOST VODA

Kakovost voda (ang. water quality) je pojem, ki ga je z vidika kompleksnosti dejavnikov, ki kakovost določajo, in velikega števila spremenljivk, na osnovi katerega opisujemo status vodnega telesa, težko definirati. Pojem se je v svetu obdržal predvsem zaradi lažjega sporazumevanja, nanaša pa se na kakovost vodnega okolja. Razumevanje kakovosti voda se je razvijalo v zadnjem stoletju s povečanjem uporabe vode in z novimi znanji, kako meriti in razlagati značilnosti vodnega okolja. Obstajajo številne snovi, katerih učinki so v vodi potencialno nevarni za organizme. S sintetiziranjem novih se tudi število nevarnih snovi iz leta v leto povečuje, z njihovo množično proizvodnjo in komercialno uporabo pa postanejo potencialni polutanti vodnega okolja (vir: Urbanič, 2003).

Na osnovi značilnosti polutantov lahko onesnaževanje voda razdelimo v več skupin:

- organsko onesnaževanje,
- onesnaževanje s hranilnimi snovmi (dušikove, fosforjeve, mikroelementi),
- toplotno onesnaževanje,
- onesnaževanje s strupenimi snovmi (težke kovine, amonij, cianidi, fenoli, pesticidi),
- onesnaževanje s suspendiranimi snovmi,
- ekstremen pH,
- onesnaževanje z detergenti,
- onesnaževanje z nafto in naftnimi derivati,
- onesnaževanje s kancerogenimi snovmi ter
- onesnaževanje s patogenimi organizmi (vir: Urbanič, 2003).

Onesnaževanje voda je največkrat povezano z:

- direktnimi industrijskimi izpusti v vodotoke,
- izpusti iz obratov in naprav prehranske industrije,
- izpusti predelane odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav in
- obremenitev iz urbaniziranih območij, ki nimajo urejenega čiščenja komunalnih odpadnih voda.

To so viri onesnaževanja, ki jih uvrščamo med točkovne vire, kamor so vključeni tudi številni nelegalni izpusti in izpusti, ki so posledica malomarnosti ali nesreč. Pri točkovnih obremenitvah so pomembni tudi industrijski objekti ali naprave, ki termično obremenjujejo vodotoke. Po izpustu iz točkovnega vira je koncentracija polutanta v vodotoku najvišja ob dotoku, in se z oddaljevanjem od vira izpusta zmanjšuje.

V primeru razpršenih (disperznih) virov pa je drugače v tem smislu, da vira onesnaženja ne moremo natančno določiti. To pomeni, da polutant ne vstopa v vodno okolje samo na enem mestu, ampak hkrati na večih mestih.

Razpršeni viri imajo pomembnejšo vlogo kot točkovni viri z vidika vnosa rastlinskih hranil (dušika), pesticidov in drugih oblik onesnaženja. Druge razpršene vire pa predstavljajo še vnosi iz atmosfere, iz onesnaženih območij, s cest, avtocest in drugih zazidanih površin. S programom načrtnega in ciljnega spremljanja kakovosti voda (monitoringa) se v zadnjem obdobju kontrolira poleg točkovnih tudi razpršene vire, vendar je njihovo vrednotenje precej težje, saj gre običajno za težko določljivo in širše območje.

Ne glede na vir je onesnaževanje voda privedlo do potrebe po vrednotenju kakovosti voda. Vrednotenje kakovosti voda predstavlja celoten proces vrednotenja fizikalnih, kemijskih in biotskih značilnosti vode glede na človeške vplive ter predvideno rabo. Posebej je pomembna tista raba vode, ki bi lahko vplivala na zdravje ljudi in ekološko stanje celotnega vodnega sistema. Različni pristopi vrednotenja se med seboj jasno razlikujejo (Preglednica 1). Namen vrednotenja kakovosti voda je definirati njihovo stanje in zagotoviti osnovo za ugotavljanje trendov v spreminjanju kakovosti. Pri tem je pomembno zagotavljanje informacij, ki omogočajo ugotavljanje ekoloških vzrokov in posledic (vir: Urbanič, 2003, Ovčjak, 2012).

Preglednica 1: Prednosti in slabosti različnih načinov vrednotenja kakovosti (vir: povzeto po Urbanič, 2003, Ovčjak, 2012)

Prednosti	Slabosti
Biološke analize	
Dober odziv organizmov na dolgotrajno nizko obremenjevanje	Neprimerne za podtalnico
Osnova za ugotavljanje fizikalne degradacije vodnega okolja	Neuporabne za raziskave smeri toka polutantov
Kopičenje (bioakumulacija, biomagnifikacija) v organizmih	Omejena standardizacija
Fizikalne in kemijske analize	
Možnost natančnega časovnega zaznavanja sprememb v vodah	Število omejitev za mnoge rutinske analize
Možnost natančnega določanja polutantov in njihovih tokov	Možna kontaminacija vzorcev z nekaterimi polutanti
Uporabnost za vsa vodna telesa vključno s podtalnico	Omejena uporaba za kontinuirane preglede
Možna standardizacija	Dragi postopki

3 EKOSISTEM

Površje Zemlje pokrivajo naravni in umetni ekosistemi. Vsak ekosistem je sestavljen iz dveh komponent, in sicer:

- življenjski prostor (biotop) in
- življenjska združba (biocenoza).

Ker snovi med členi ekosistema neprestano krožijo, energija v sistemu pa se pretaka sta ti dve komponenti med seboj neločljivo povezani. Bolj kot je zgradba kompleksna in bolj je ekosistem stabilen, tem večje so njegove možnosti prilagoditve na spremembe v okolju. Ekosistem je ekološki sistem, kjer so v funkcionalno celoto povezani del žive in nežive narave. V živi del se povezujejo živali, rastline in človeška družba, ki za svoje življenje potrebujejo neživi del, vodo, zrak in tla. V tako povezanem sistemu se pretaka energija in krožijo snovi. Vsak del je odvisen od delovanja celotnega sistema, vsak del sistema vpliva na druge člene. Spremembe ekosistema lahko povzročijo notranji in zunanji dejavniki.

Osnovne sestavine ekosistema so nežive sestavine (voda in hranilne snovi), primarni proizvajalci (zelene rastline), razkrojevalci (dekompozitorji – mikrobi in živali, ki razgrajujejo mrtve organske ostanke) reciklirajo hranilne snovi in energijo (vir: Vrhovšek, Vovk Korže, 2007).

Ekosisteme lahko razdelimo po več kriterijih: z vidika vira energije lahko ločimo dva večja tipa ekosistemov. **Avtotrofni ekosistemi** vsebujejo primarne proizvajalce kot glavno komponento, katerim sončna svetloba služi kot največji energijski vir, ter **heterotrofni ekosistemi** kateri so odvisni od že izoblikovane organske snovi, ki pride iz avtotrofnih ekosistemov od drugod.

Popoln ekosistem je ekosistem v katerem so vse tri temeljne skupine organizmov:

- proizvajalci (to so rastline, ki pri fotosintezi iz anorganskih snovi tvorijo organsko hrano),
- porabniki (živali) in
- razkrojevalci (predvsem bakterije, glive in nekatere živali, ki razkrajajo organske snovi v anorganske).

Nepopoln ekosistem je tisti ekosistem v katerem vsaj ena izmed treh temeljnih skupin organizmov manjka; npr. v jamah in globoko v morju ni svetlobe in zato tam ni proizvajalcev.

Naravni ekosistem je tisti ekosistem, ki ga človek ni spreminjal. Naravni ekosistemi so gozd, gozdni rob, jezero, mlaka, morje, travnik, puščava, tropski deževni gozd.

Umetni ali antropogeni ekosistem je ekosistem, ki ga je človek spremenil. Pogosto se s spreminjanjem poruši tudi naravno ravnovesje. Pod umetni ekosistemi spadajo umetno narejen ribnik, polje, vrt, mesto in odlagališče.

Vodni ekosistem je ekosistem v katerega spadajo vsa vodna okolja, od ribnika do oceana, v katerih rastline in živali vzajemno delujejo s kemičnimi in fizikalnimi lastnostmi okolja.

Delimo jih v celinsko-vodne ali sladkovodne in morske ekosisteme. Vodne ekosisteme na celinah pa delimo še v stoječe in tekoče vode.

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

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

Voda je del svetovnega biološkega in mineralnega bogastva, iz katerega družba ustvarja vrednost. Uvrščamo jo med obnovljive vire, ki se v primeru pretirane uporabe ne morejo več sproti obnovljati, in zato lahko postanejo neobnovljivi.

Kopenski ekosistem je vsako kopensko okolje, majhno ali veliko, kjer živali in rastline medsebojno delujejo s kemičnimi in fizikalnimi značilnostmi okolja.

Ločimo:

- naravne ekosisteme, kot so morja in vode na kopnem, gozdovi, travnata in druga območja ter
- umetne ekosisteme, kot so vodna zajetja in ribniki, različni nasadi, izkrčeni gozdovi in obdelovalna tla (vir: Vrhovšek, Vovk Korže, 2007)

3.1 Jezera

Jezera so z vodo napolnjene kotline na zemeljski površini in so večinoma stalna naravna vodna zajetja. Poznamo pa tudi jezera, ko so periodična in vsebujejo vodo le v deževnem obdobju in katera se v sušnem obdobju površinsko močno zmanjšajo ali celo izginejo; primer Cerkniško jezero. Prav tako pa lahko nastajajo majhna jezerca v podzemnih jamah (primer Križne jame, kjer jih je kar 22) (vir: Tarman, 1992).

Jezera delimo na naravna in umetna, katera človek ustvari sam z izkopavanjem kotanj, ki jih potem zalije z vodo. Umetna jezera se v veliko parametrih razlikujejo od naravnih. Razlike med umetnimi in naravnimi jezери so v velikih in pogostih nihanjih vodne gladine, kar se posebno opazi na jezerskih obrežjih, zato manjka takim jezerom značilno litoralno rastlinstvo (vir: Tarman, 1992).

Umetna jezera (akumulacije) se lahko po večini lastnosti uvrsti nekje med naravnimi jezeri in tekočimi vodami (Preglednica 2) (vir: Šterbenk in sod., 2011).

Preglednica 2: Ekosistemske lastnosti, zaradi katerih umetna jezera zasedajo vmesni položaj med naravnimi jezeri in rekami (vir: Šterbenk in sod., 2011, Ovčjak 2012)

Element	Jezera	Umetna jezera	Reke
Oblika	Krožna, skledasta	Vmesna	Kanal, podolžna oblika
Tok	Počasen, različnih smeri	Vmesen	Stalen, turbulenten, usmerjen
Izpiranje	Počasno	Vmesno	Stalno
Vpliv zaledja	Manjši	Vmesen	Zelo velik
Suspendirani delci	Malo	Vmes	Veliko
Dotok dušikovih spojin	Kroženje v vodnem telesu	Oboje	Relativno stalen
Izguba dušikovih spojin	Sedimentacija	Oboje	Advekcija
Dotok organskih snovi	V večji meri avtohton	Vmes	V večji meri alohton
Prostorska razporeditev	Vertikalni gradienti (plastovitost)	Oboje	Podolžni gradienti

3.2 Funkcija in struktura vodnih ekosistemov

Za razumevanje vodnega ekosistema je potrebno poznavanje njegove funkcije in strukture.

Strukturo sistema

Strukturo sistema določajo abiotske in biotske komponente.

Med abiotske komponente prištevamo:

- *Anorganske snovi*, med katere spadajo ioni, t.i hranila in esencialni elementi v zelo majhnih koncentracijah (Fe, Mn, Zn, Cu, Si, itd.). Hranila so tiste anorganske snovi, ki jih asimilirajo primarni producenti. Med hranila, ki v večini primerov najbolj vplivajo na primarno produkcijo v jezerih in rekah, prištevamo dušik in fosfor. Ker je fosforja v naravi relativno malo (manj kot dušika glede na sestavo organske snovi v živih organizmih), le ta običajno omejuje primarno produkcijo.
- *Organske snovi*. Glavne organske komponente so ogljikovi hidrati, pigmenti, proteini, vitamini. Nastajajo v metabolnih procesih v celicah in so zelo pomembni v vodnem ekosistemu kot ekstracelularna raztopljen organska snov.
- *Klimatski pogoji* so izrednega pomena pri delovanju ekosistema. To so npr. svetloba, temperatura in veter.

Med biotske komponente vodnega ekosistema pa prištevamo:

- proizvedente organske snovi (avtotrofne organizme),
- makropotrošnike (zooplankton in ribe),
- mikropotrošnike (heterotrofne bakterije, ki razkrajajo raztopljeno in suspendirano organsko snov, ki jo producirajo avtotrofi).

Biomasa lahko v splošnem razdelimo na dve komponenti – avtotrofna in heterotrofna, ki sta med sabo povezani preko metabolnih procesov v prehranjevalni verigi (vir:Atanasova, 2005).

Funkcija sistema

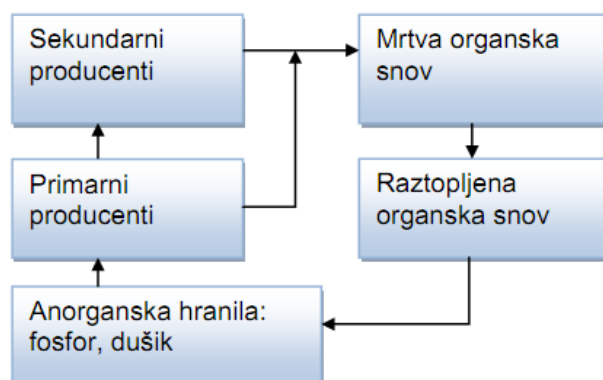
Funkcija ekosistema je določena z njegovo dinamiko transformacij posameznih komponent iz ene oblike v drugo (npr. iz anorganske v organsko). Dinamiko pa lahko analiziramo preko:

- kroženja energije,
- kroženja hranil,
- prehranjevalne verige in
- omejitve in kontrole metabolnih procesov.

Se pravi, ekosistem kot funkcionalna enota vključuje biotsko in abiotsko okolje, ki sta med seboj povezani in vplivata (omejujeta) eno na drugo (vir: Atanasova, 2005).

3.3 Izmenjava in transformacije v vodnem ekosistemu

V vodnem ekosistemu potekajo vseskozi številni procesi, preko katerih se anorganska snov transformira v organsko snov in obratno. Organska snov se transformira v organsko s pomočjo mikroorganizmov. Anorganska hranila dosežejo vodni sistem bodisi preko zunanje in/ali notranje obremenitve. Zunanja obremenitev pravimo hranilom, ki pridejo v sistem od zunaj, t.j. s padavinami, z izpiranjem iz prispevne površine ali s pritoki. Hranila, ki se sproščajo v vodni sistem iz samega sistema preko izločkov vseh živih organizmov, z mineralizacijo mrtve organske mase, s sproščanjem sedimenta, ter preko hidrolize raztopljenih organske mase, predstavljajo notranjo obremenitev sistema. Raztopljeni anorganski hranila konzumirajo fitoplankton in druge vodne rastline med fotosintezo, ki se preko prehranjevalne mreže razširijo v druge organizme. Suspendirani delci organske mase pridejo v vodo preko suspendiranih izločkov vodnih živali in odmiranja planktonskih organizmov, ki jih bakterije v svojem metabolnem procesu vrnejo nazaj v sistem kot anorgansko snov. Z razkrojem suspendirane, mrtve organske snovi in organskega sedimenta pride do sproščanja raztopljenih organskih in anorganskih snovi (vir: Atanasova, 2005).

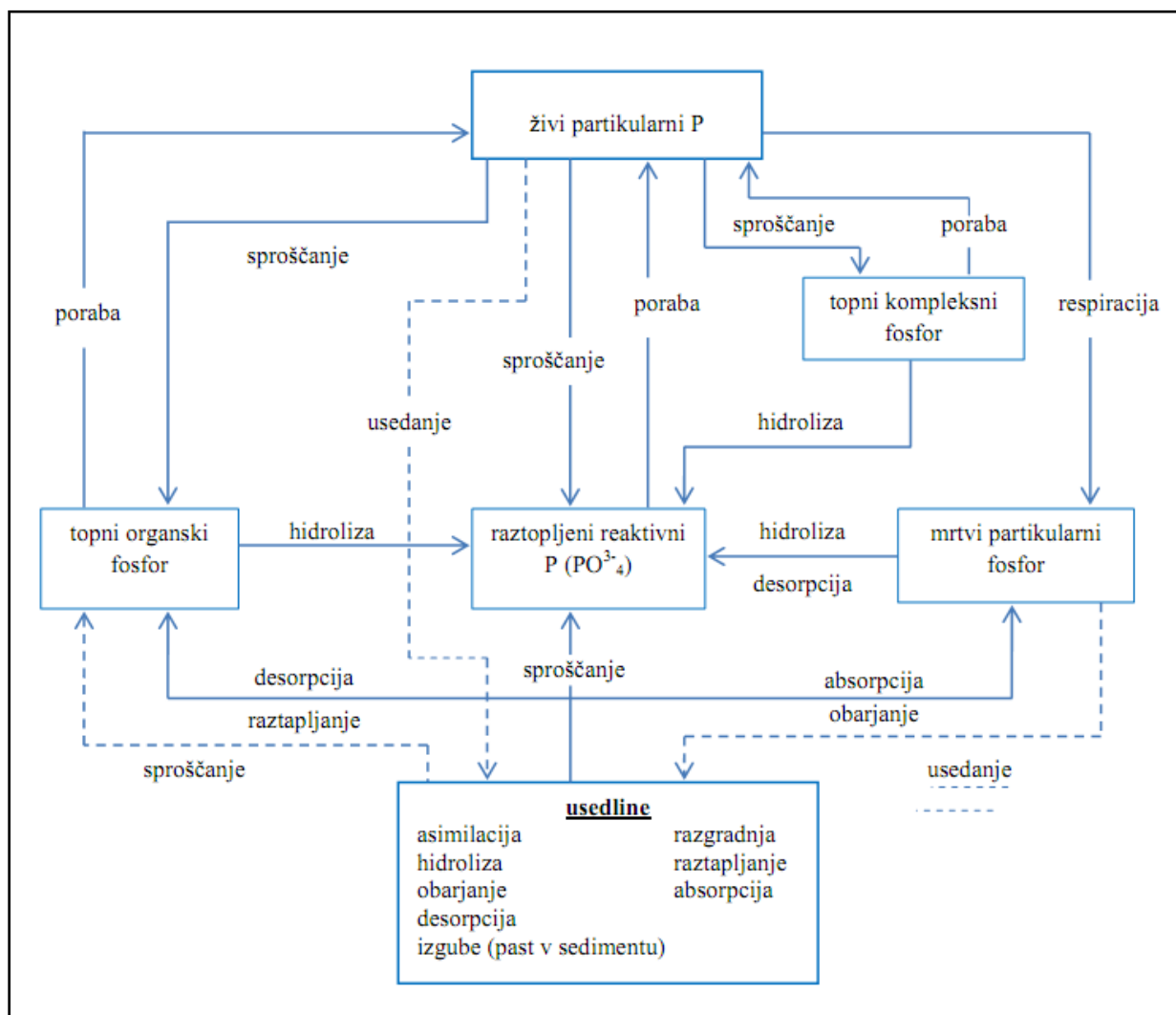


Slika 1: Poenostavljena shema kroženja in transformacije snovi (vir: povzeto po Atanasova, 2005, Ovčjak, 2012).

3.3.2 Kroženje fosforja

Fosfor v vodno okolje prihaja preko naravnih procesov izpiranja preperrnin preko človekove dejavnosti, zaradi gnojenja poljedelskih površin, ter zaradi uporabe detergentov v gospodinjstvih in industriji (vir: Panjan, 2004).

V vodnih ekosistemih je prisoten v raztopljeni in partikularni obliki kot raztopljen anorganski fosfor ali ortofosfat (PO_4^{3-}), raztopljen organski fosfor ter neraztopljen organski fosfor v organizmih in sedimentih. Ortofosfat lahko asimilirajo primarni producenti in mikroorganizmi. Preko njih fosfor prehaja po prehranskih verigah, na koncu katerih se pojavlja kot raztopljen in partikularni organski fosfor. Raztopljen organski fosfor pa se pretvarja spet v ortofosfat (vir: Toman, 2008). Kroženje fosforja v vodnem ekosistemu prikazuje spodnja slika.



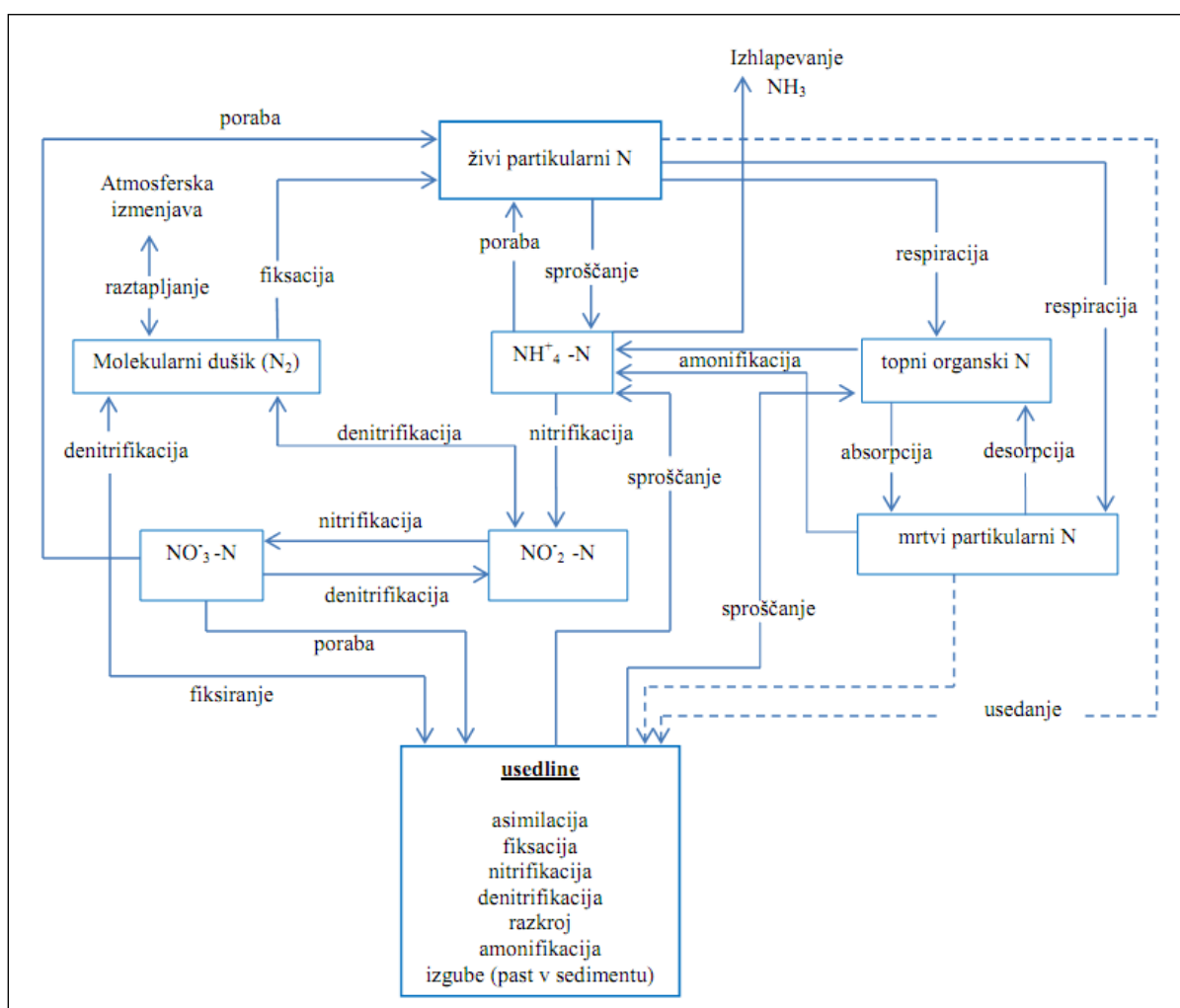
Slika 2: Kroženje fosforja v vodnih sistemih (vir: Panjan, 2004, Ovčjak, 2012).

3.3.4 Kroženje dušika

Dušik se vnaša v vodne ekosisteme z vezavo atmosferskega dušika, vnosom iz podtalnice in izvirov, spiranjem zemljišč ter razgradnjo z dušikom bogatih organskih snovi (Toman, 2008). V vodnih ekosistemih se dušik pojavlja kot vezan organski dušik (v proteinih, amino kislinah, sečnini, itd.), amonij (NH_4^+), amonijak (NH_3), nitritni dušik (NO_2^-) ali nitratni dušik (NO_3^-) (vir: Atanasova, 2005).

Kroženje dušika v vodnem telesu poteka z naslednjimi procesi

- amonifikacija: je razgradnja dušikovih spojin do amonijevega iona (amonij se v vodno telo polega amonifikacije vnaša tudi z bakterijsko fiksacijo plinastega dušika)
- nitrifikacija: poteka v aerobnem okolju in je bakterijska pretvorba amonijevega iona v nitratni ion, ki so ga organizmi sposobni asimilirati,
- denitrifikacija: poteka v anoksičnih usedlinah, v kateri bakterije pretvarjajo nitrat v elementarni dušik, ki se raztaplja in lahko prehaja v ozračje.



Slika 3: Kroženje dušika v vodnih sistemih (vir: Panjan, 2004, Ovčjak, 2012).

Dušikove spojine kažejo na organsko onesnaženje vode in čas, kdaj je nastopilo. Amonijak je značilen za sveže onesnaženje, nitriti za bližnje in nitrati za že dlje časa onesnaženo vodno okolje (vir: Panjan, 2004).

3.4 Ostali pomembni dejavniki

3.4.1 Klorofil a

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

3.4.2 Svetloba

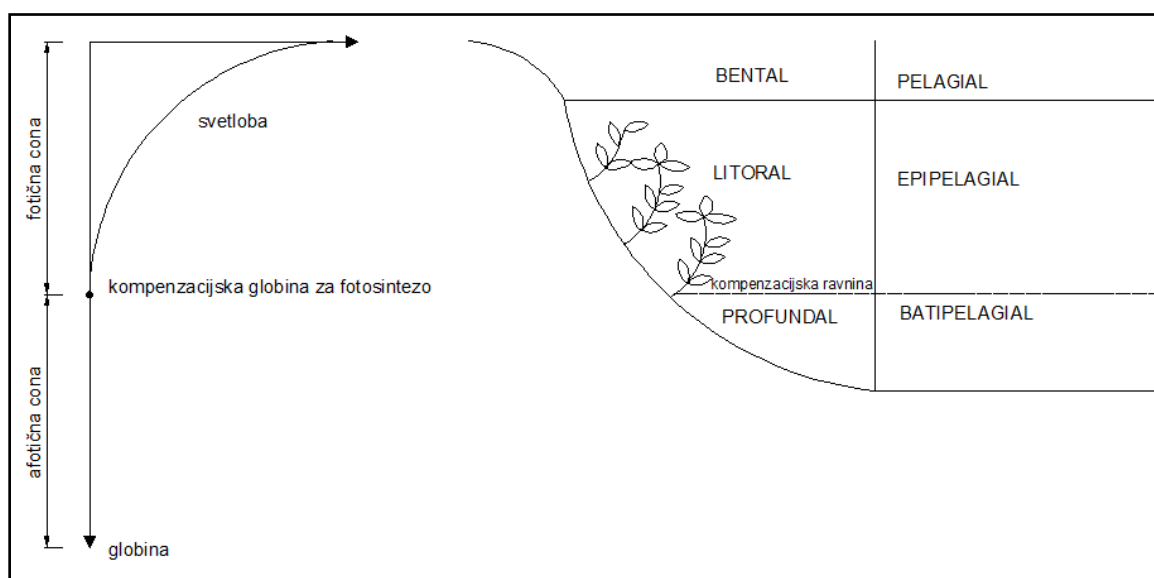
Ekološko najpomembnejši vir svetlobe je Sonce, posebno vidni del svetlobnega sevanja, ki omogoča primarno produkcijo oz. fotosintezo. Učinek svetlobe se najbolje odraža na fotosintezi zelenih rastlin. Količina in kvaliteta svetlobe v vodnem okolju je odvisna od:

- jakosti svetlobe ob stiku z vodno površino,
- od vpadnega kota,
- števila organizmov v vodi,
- količine anorganskih in organskih delcev.

Z globino se intenziteta svetlobe eksponencialno zmanjšuje in v jezerih določa fotično in afotično cono. V fotični – svetlobni coni oz. *trofogenem sloju*, potekajo procesi fotosinteze in asimilacije organskih snovi (primarna produkcija), v afotični – temotni coni oz. *trofolitičnem sloju* pa procesi razgradnje organskih snovi ali sekundarna produkcija. Med fotično in afotično cono je nahaja kompenzacijska ravnina. (vir: Toman, 2001)

Svetloba določa tudi barvo vode, ki je v razponu od temno modre do rjave. Modra obarvanost voda je znak pomanjkanja hranilnih soli in nizke biološke proizvodnje. Če je v vodi veliko koloidnih delcev kalcijevega karbonata, je barva vode zelenkasta, če pa je v vodi prisotnih mnogo raztopljenih huminske snovi, kot je v primeru Barjanskih vod in vod v rekah

iz tropskih deževnih pragozdov, pa je voda zato rdečkasto-rjave ali celo črnkaste barve (vir: Tarman, 1992).



Slika 4: Shema razslojitve eutrofnega jezera (vir: povzeto po Tarman, 1992).

Svetloba narekuje tudi tip poselitve in po načinu naselitve jezero prostorsko delimo v:

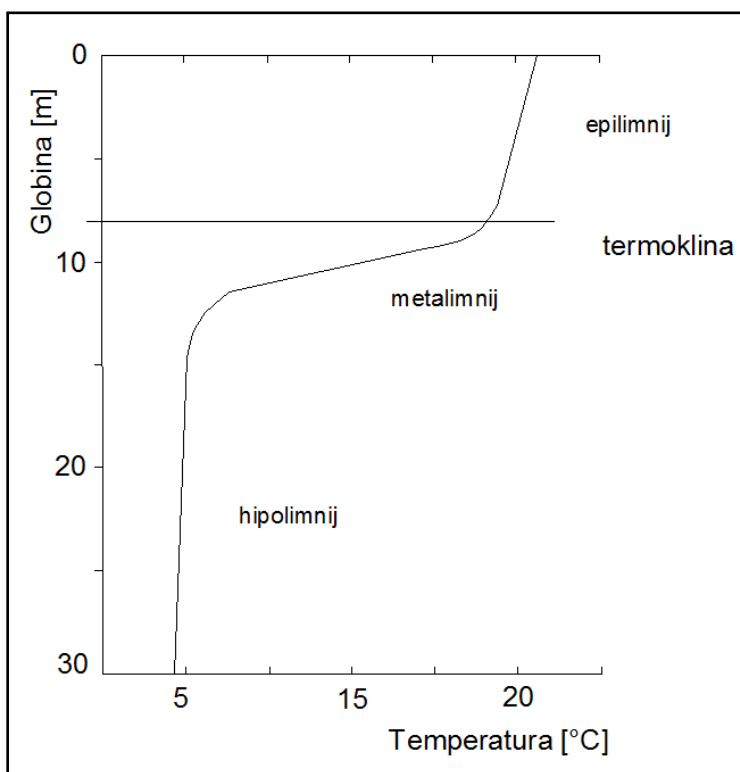
- ✓ **bental**; sem sodijo organizmi, ki se drže podlage in
- ✓ **pelagial**; sem spadajo organizmi, kateri prosto plavajo v vodi (slika 4).

Območje bentala pod kompenzacijsko točko imenujemo *profundal* in nad to točko *litoral*. Mejo med litoralom in profundalom zelo dobro označujejo zelene rastline, ki ne rastejo v profundalnem območju, torej v globini pod kompenzacijsko ravnino. Podobno je pelagial pod kompenzacijsko točko *batipelagial* in nad kompenzacijsko točko *epipelagial*. Le v epipelagialu uspešno producirajo fotoavtotrofne rastline. Funkcionalno vsebuje jezero fotoavtotrofne producente, kateri so omejeni na osvetljeni del jezerskega prostora, ki ga označimo za trofogeno območje. Seveda delujejo tudi kemoavtotrofni organizmi, vendar pa je njihov prispevek k celotni proizvodnji manj pomemben. V trofogenem območju živijo potrošniki, ki izkoriščajo svežo primarno produkcijo. Živali, ki se prehranjujejo z mrtvo organsko snovjo, so del bentala in deloma tudi pelagiala (vir: Tarman, 1992).

3.4.3 Temperatura in toplotne razmere v jezerih

Temperatura je ena izmed najpomembnejših parametrov naravnih površinskih voda. Vodna telesa so podvržena temperaturnim spremembam z običajnimi klimatskimi spremembami. Te spremembe se pojavljajo sezonsko, za nekatera vodna telesa pa so značilne tudi dnevno-nočne spremembe.

V vodnih okoljih na spremembo temperature najpomembneje vpliva neposredna absorpcija sončevega sevanja. Snovi, ki pa to direktno sevanje absorbirajo, so voda, v vodi raztopljene organske snovi in suspendirani delci, ter manj pomembna vira še oddajanje toplote iz usedlin in zraka (vir: Urbanič, 2003).



Slika 5: Termična stratifikacija v jezeru (vir: povzeto po Tarman, 1992).

Zaradi ogrevanja s površine v globino se razvije v vodnem telesu značilni temperaturni gradient, ki ga označujemo kot *toplotno ali termično plastovitost* (padec temperature jezera z globino) (Slika 5).

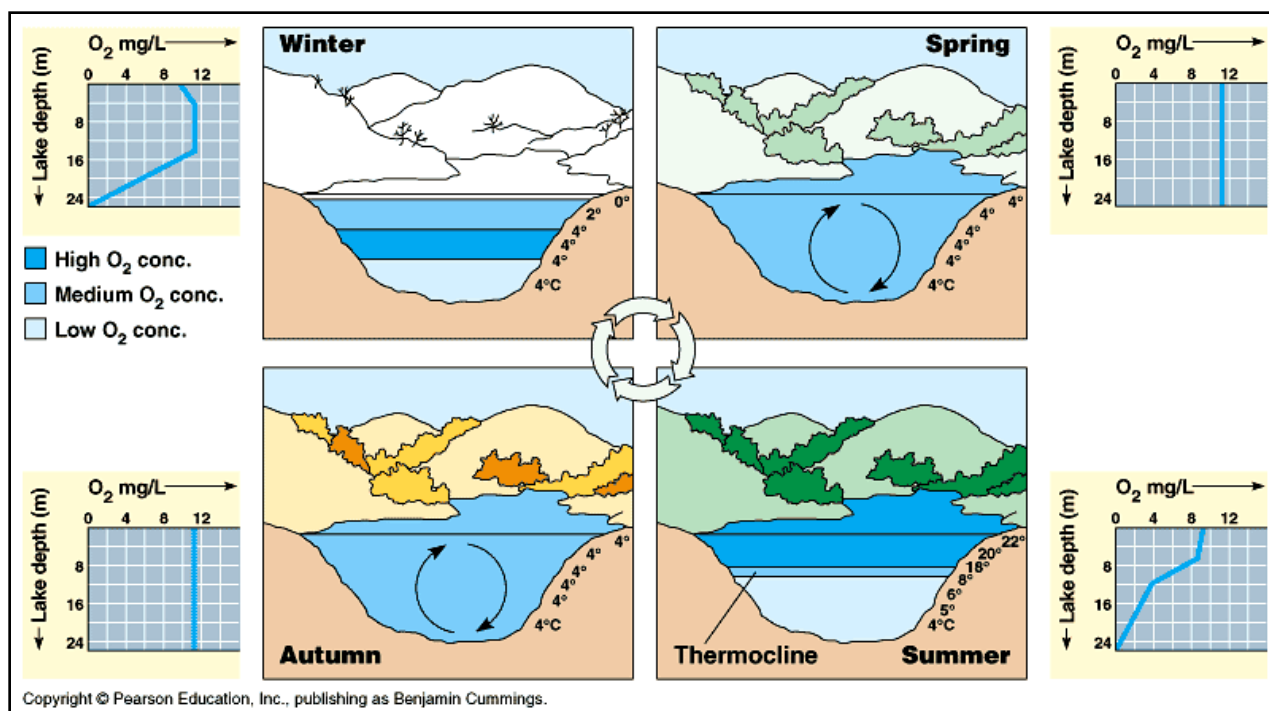
V jezeru ločimo tri značilne sloje vode:

- zgornji *epilimnion*,
- srednji *metalimnion* in
- spodnji *hipolimnion*.

Temperaturne razlike med gladino in spodnjim mejnim slojem epilimnija so majhne. Vetrovi in nihanje dnevnih ter nočnih temperatur pa zagotavljajo enotne razmere v epilimniju. V zgornjem epilimnijskem sloju je voda topla. Spodnji sloj hipolimnij je hladen, temperatura po globini se malo spreminja, najnižja je ob usedlinah, kjer je temperatura do 4°C. Vmesni sloj, kjer temperatura vode v sorazmerno ozkem vmesnem pasu naglo pade imenujemo *termoklina* ali *metalimnijski pas*. Ta sloj imenujemo tudi *preskočni* ali *zaporni sloj*. Preskočni zato, ker v njem temperatura zelo hitro preskoči na mnogo nižjo vrednost, in zaporni zato, ker preprečuje mešanje vode med epilimnijskim in hipolimnijskim slojem. Pogoj za preskočno plast ali termoklino je padec temperature na en meter globine za več kot 1°C. Zaporna plast preprečuje tudi izmenjavo kisika, ogljikovega dioksida in hranilnih snovi med epilimnijem in hipolimnijem.

Pozimi sta pod ledom dve plasti vode, tik pod ledom je plast s temperaturo 2°C, pod njo pa na vsej ostali globini plast nekaj toplejše vode s temperaturo 4°C. Takrat je zimska inverzna plastovitost. Led, kateri zapira vodno telo pred vetrovi, ustvarja *zimsko slojnost* ali *stagnacijo*. Po raztalitvi ledu se površinska voda segreva, dokler se temperatura v celotnem vodnem telesu ne izenači na 4°C. Temu pojavu pravimo *homotermija*. Šele spomladanska odtalitev ledene skorje dovoli vetrovom ponovno mešanje vode in bogatitev globinskih delov s kisikom ter površinskih delov s hranilnimi snovmi. Govorimo o pomladanski cirkulaciji. Ko temperatura zraka preseže 4°C, se začne zgornji sloj vode ogrevati. S segrevanjem se vzpostavi poletna plastovitost. Sončni žarki poleti segrejejo zgornjo plast jezera na približno 24°C. Z globino temperatura pada, strm padec temperature pa nastopi v območju termokline in povzroči gostotno razliko. Zaradi anomalije vode je največja gostota le-te pri 4°C. Pod termoklino je hipolimnijski sloj, kjer je temperatura vode 4°C. Poletni vetrovi mešajo samo epilimnijsko plast, ker je voda v tej plasti toplejša in s tem tudi redkejša, ne morejo pa izpodriniti gostejše plasti vode v globini. Dokler traja *poletna stojnost* ali *stagnacija*, v jezeru med dnem in površino ne poteka izmenjava kisika, ogljikovega dioksida in hranilnih soli. Ekološke posledice teh pojavov se pokažejo v periodičnosti življenjskih pojavov v jezeru. Mikrobom in živalim na dnu začne primanjkovati kisika. Fitoplanktonskim algam v površinskih plasteh pa zaradi usednja mrtvih alg in živalskih teles ter živalskih iztrebkov na dno, primanjkujejo nutrienti (fosfor, dušik in drugi elementi oz. soli teh elementov), ki se sproščajo z mikrobim razkrojevanjem mrtvih organskih snovi na dnu. Hranilne snovi se nabirajo v sloju pri dnu in se zaradi opisane stagnacije ne vračajo v površinski sloj, kjer poteka fotosinteza alg in makrofitov (vir: Tarman, 1992).

V jeseni se jezero ohlaja, in ko se zniža temperatura površinske plasti pod temperaturo plasti, ki leži pod njo, ohlajena in specifično težja voda izpodrine toplejšo in specifično lažjo vodo. Zaradi razlik v ogretosti, oziroma specifičnih težah vode iz različnih plasti nastajajo vertikalni konvekcijski tokovi, kjer je posledica ohlajanja in konvekcijskih tokov izravnavanje temperature vode po vsem vodnem stebru od gladine do dna. Z ohlajanjem se vzpostavlja termična izravnava. Ko nastopi *izotermija*, znaša zaradi anomalije vode temperatura vode 4°C na vsej globini. V poznem jesenskem obdobju izotermija omogoča, da vzbujajo vetrovi močne turbulenčne tokove. Zaradi termično izzvanih tokov in tokov, povzročenih z vetrom, nastane jesensko vertikalno mešanje vode. Tedaj se obnovijo ob dnu kisikove zaloge in se vrnejo k površini hranilne soli iz dna ter oddajajo viški ogljikovega dioksida. Izmenjavanju snovi med dnem in površino jezera pravimo *dihanje jezera*. Nato se začne zimska inverzna plastovitost in krog je tako zaključen. (vir: Tarman, 1992)

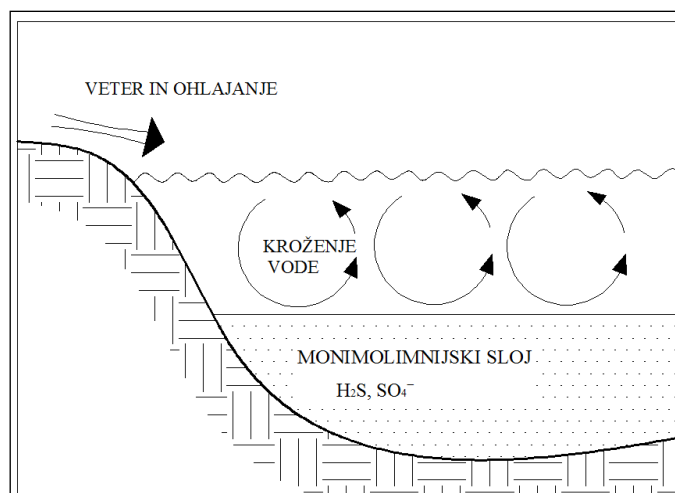


Slika 6: Toplotne razmere v jezerih (vir: http://www2.gi.alaska.edu/alison/SNW_14A_SpecHeat.html, pridobljeno 5.12.2012).

Opisana termika velja za jezera v zmernem pasu, za alpska jezera, ki so čista. Drugače se obnašajo polarna in tropska jezera, kjer ni izrazitih letnih časov z značilnimi toplotnimi razlikami. Zato na osnovi števila kroženj v enem letu lahko opredelimo več tipov jezer (vir: Tarman, 1992):

- Amiklično jezero je jezero, ki je večino leta zaledenelo. Takšna jezera leže v Anktarktiki in visoko v gorah, voda v njih pa se deloma ogreva skozi led in skozi podlage.

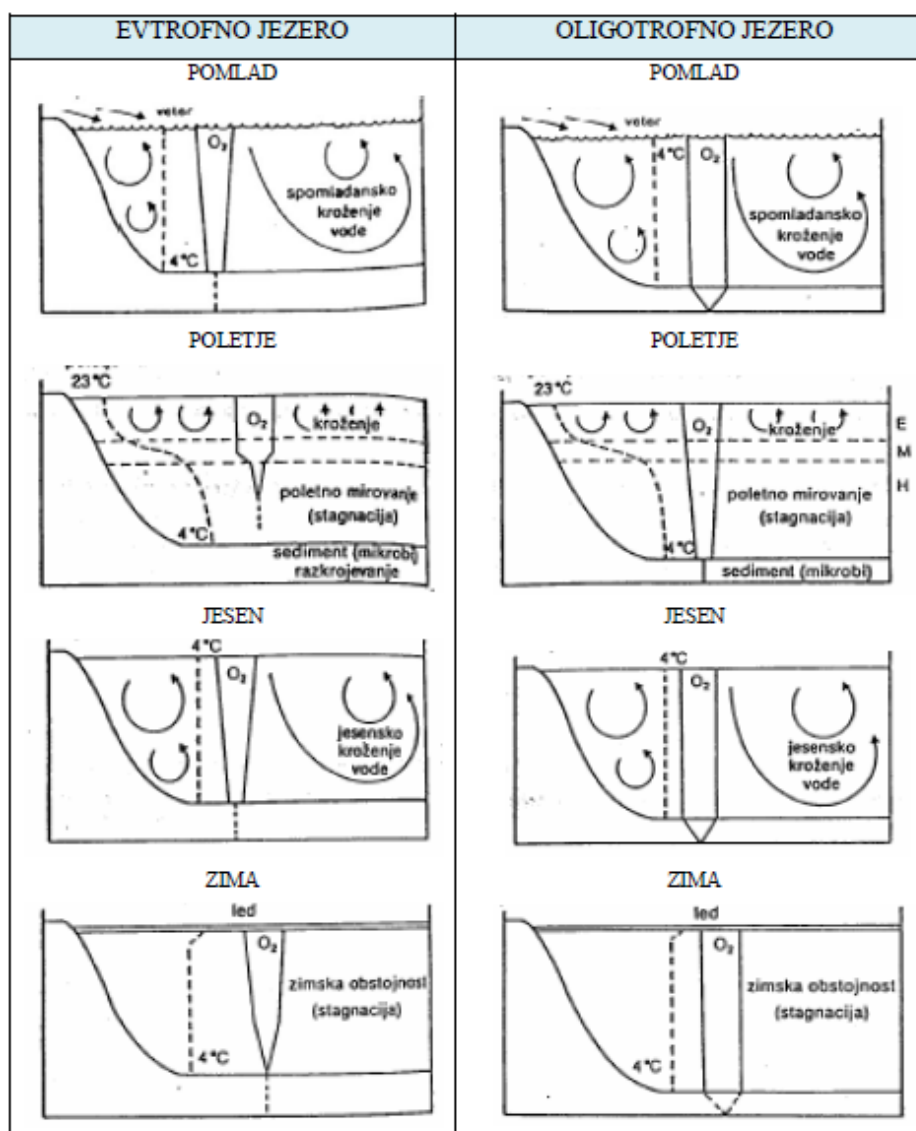
- Mrzla monomiktična jezera so globoka jezera in se ne ogrejejo nad 4°C. V takšnih jezerih kroži voda samo poleti, ko niso prekrita z ledom. Tako vrsto jezer najdemo na Arktiki in visoko v gorah.
- Dimiktično jezero je zgoraj podrobno opisano kot primer alpskega jezera v zmernem pasu. Takšna so tudi nekatera višje ležeča tropska jezera.
- Topla monomiktična jezera ležijo v geografskem območju, pri katerih se temperature nikoli ne znižajo pod 4 °C. Njihova plastovitost nastopa samo poleti. To so jezera v subtropskih območjih se pravi v toplih predelih zmernege pasu in gora.
- Oligomiktična jezera so jezera značilna v vročih in vlažnih tropskih pokrajinah. Kroženje v takšnih jezerih je zelo redko in časovno zelo nepravilno. Temperatura vode je zmeraj nad 4°C. Čeprav so temperaturne razlike med površinskim in globinskim delom majhne, imajo stojno plastovitost. Kroženje pa povzročajo le večje ohladitve.
- Polimiktično jezero označujejo pogosta kroženja v enem letu. Takšna jezera ležijo na višjih nadmorskih višinah in v ekvatorialnem območju, kjer so stalni vetrovi in suho ozračje. To so po površini velika in plitva jezera za katera je značilno, da se čez dan močno ogrejejo, ponoči pa ohladijo.
- Holomiktična jezera so jezera, v katerih poteka popolno kroženje, od dna do površine. V mnogih jezerih kroženje ne sega do dna in ostaja globinski del nepremešan, zato tovrstnim jezerom pravimo meromiktična jezera. Globinski sloj, kjer se voda ne premeša, imenujemo monimolimnijski sloj, zgornji sloj, kjer se voda meša pa miksolimnijski sloj. Zaradi onesnaženja in kopičenja težkih sulfidov in sulfatov v plasti pri dnu jezera, se mnoga alpska jezera speminjajo iz holomiktičnih jezer v meromiktična jezera (vir: Tarman, 1992).



Slika 7: Z onesnaženjem jezerske vode nastane v globini monimolimnijski sloj. Jesensko in spomladansko kroženje vode ne seže do dna (vir: povzeto po Skubic, 2006).

3.4.4 Kisik (O₂)

Z zniževanjem zračnega tlaka in naraščanjem temperature vodotopnost kisika pada. Kisik vstopa v vodo z difuzijo iz zraka in nastaja v vodnem okolju pri fotosintezi. Del kisika porabljajo organizmi z dihanjem, del pa se ga potroši tudi v neživih oksidativnih reakcijah. V primeru zelo intenzivne fotosinteze, ko prihaja do kisikove prenasičenosti v vodi, difundira ta plin iz vode v ozračje. Ker poteka fotosinteza le ob svetlobi in dihanje podnevi in ponoči, obstaja dnevno-nočno nihanje kisika oz. porast kisika čez dan in upadanje kisika ponoči. V jezerih z močno rastlinsko zarastjo ali v jezerih, kjer se razkrajajo mnoge mrtve organske snovi so nihanja še posebno izrazita. Fizikalni procesi difuzije, konvekcije in mešanje z vetrovi, ki povzročajo turbolenčne vetrove omogočajo porazdelitev kisika med površino in dnem. Ti pojavi so povezani s sezonskimi toplotnimi spremembami v jezeru. Od trofičnega topa jezer je odvisen vertikalni obseg porazdelitve kisika (slika 8) (Tarman, 1992).



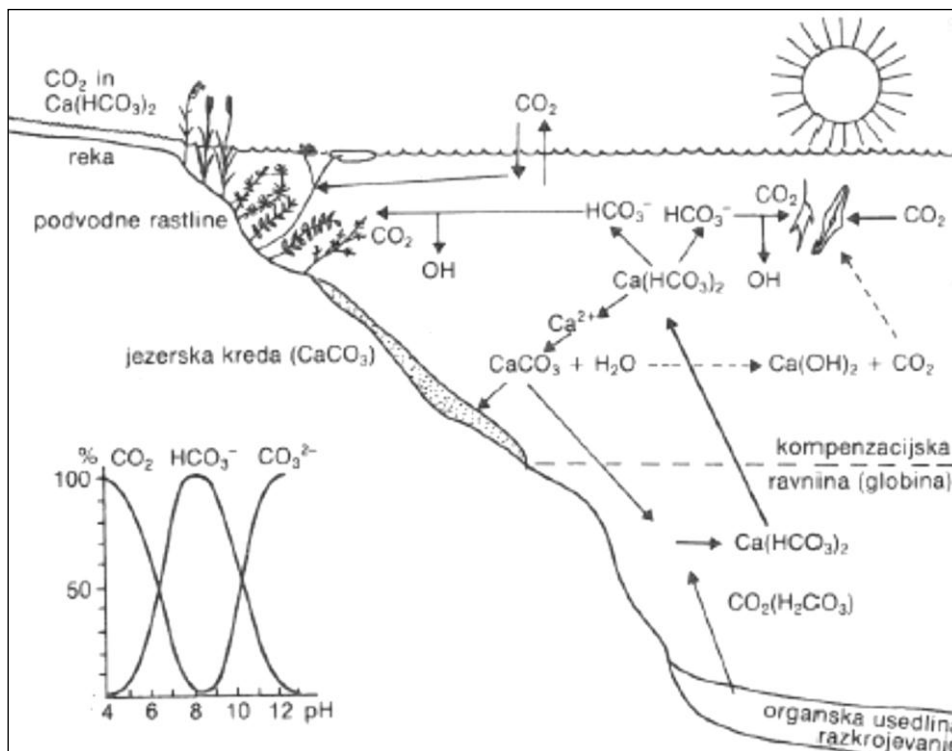
Slika 8: Koncentracija kisika v vertikalnem profilu evtrofnega in oligotrofnega dimiktičnega jezera (povzeto po Tarman, 1992).

3.4.5 pH, Ogljikov dioksid (CO₂) in kalcijev karbonat (CaCO₃)

pH je mera karbonatnega ravnotežja v vodnih telesih in je definiran kot negativni desetiški logaritem H⁺ ionov ($\text{pH} = -\log_{10} \text{H}^+$). Vrednosti se lahko nahajajo med 0 (zelo kislo) in 14 (zelo bazično), pri čemer pH=7 predstavlja nevtrarno območje. Ker je lestvica logaritemska predstavlja sprememba pH vrednost za eno enoto, desetkratno spremembo kislosti ali bazičnosti (alkalnosti). Tako npr., če ima določena raztopina pH vrednost 5, pomeni da je desetkrat bolj kisla od vrednosti pH=6. Z višanjem temperature se vrednosti pH zmanjšujejo. V neonesnaženih vodah je pH pretežno odvisen od ravnotežja med CO₂, HCO₃⁻ in CO₃²⁻ ter tudi od drugih naravnih spojin, kot so huminske in fulvo kisline. Na naravno karbonatno ravnotežje lahko vplivajo industrijski efluenti in atmosfersko obremenjevanje s kislimi snovmi.

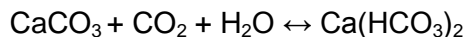
Spremembe v pH so lahko odraz prisotnosti efluentov, še zlasti če je z meritvami ugotovljena tudi povišana prevodnost. Dnevno nihanje pH je lahko rezultat fotosintetske aktivnosti in respiracije primarnih producentov. Veliko pomanjkanje CO_2 zaradi fotosintetske aktivnosti poruši karbonatno ravnotežje. pH večine naravnih voda znaša med 6 in 8,5. Nižje vrednosti se lahko pojavijo v vodah, bogatih z raztopljenimi organskimi snovmi (npr. barjanske vode) medtem ko so višje vrednosti pogoste v evτροφnih sistemih.

Ogljikov dioksid (CO_2) je dobro topen v vodi in v vodi raztopljen tvori ogljikovo kislino (H_2CO_3), ki reagira s kalcijevimi kationi (Ca^{2+}), da nastanejo karbonati. Ogljikov dioksid vstopa v vodo z difuzijo iz zraka, pa tudi s pritoki, kjer se sprošča pri dihanju organizmov ter gnitju. Največ se ga porabi pri procesu fotosinteze, iz jezera pa izhaja z difuzijo ali pa se veže v karbonate. Tudi pri ogljikovem dioksidu je opaziti dnevno-nočno nihanje koncentracije, pri čemer je njegova koncentracije veliko večje ponoči, ko prevladujejo procesi dihanja. Shema pretvorbe CO_2 in kalcijevih karbonatov so prikazane na spodnji sliki.



Slika 9: Pretvarjanje ogljikovega dioksida in karbonatov v jezeru. Razmerje CO_2 : HCO_3^- : CO_3^{2-} določa pH jezerske vode (vir: Tarman, 1992).

CO₂ se v vodi hidratizira v ogljikovo kislino (H₂CO₃), ki disociira v H⁺ in HCO₃⁻, pri visokem pH pa disociira ta dalje v H⁺ in CO₃²⁻. Razmerje med CO₂, HCO₃⁻ in CO₃²⁻ je odvisno od pH vrednosti. V vodi, ki vsebuje veliko CO₂, se raztoplja težko topni CaCO₃ in nastaja topni kalcijev hidrogeni karbonat ali Ca(HCO₃)₂:



Ko se količina CO₂ zmanjša, se začne kalcijev karbonat izločati v obliki »jezerske krede« tako, da se nalaga na rastline ali useda na dno. Do tega pride, kadar se ravnotežja spreminjajo zaradi difuzije CO₂ iz vode v ozračje ali zaradi fotosintetične porabe CO₂ v procesu fotosinteze. V primeru, če primanjkuje raztopljenega ogljikovega dioksida lahko mnoge rastline izkoriščajo hidrogeni karbonat kot vir ogljikovega dioksida. (vir: Tarman, 1992)

Kalcijev hidrogeni karbonat ima pomembno pufrsko nalogo, saj je regulator pH vrednosti. Namreč, ko rastline trošijo CO₂ iz vode, se pH dviga in v vodah, ki vsebujejo malo apnenca, se pri intenzivni fotosintezi pH dvigne tudi do 9. (vir: Tarman, 1992)

Poleg dušikovih in fosforjevih hranilnih snovi sta tako toplota kot svetloba primarna abiotska dejavnika v stoječih celinskih vodah, ki neposredno vplivata na produkcijo in dekompozicijo (razgradnjo) organskih snovi. Življenjske združbe se na toplotne razmere med letom prilagajajo, različni sta rast in gostota populacij. Toplotni vpliv je izrazit poleti, ko je jezero plastovito z značilno ločenimi tremi plastmi. Na trofičnost jezera vplivajo spremembe abiotskih dejavnikov, ta pa na dekompozicijske procese, ki lahko vodijo v metabolni razpad jezerskega ekosistema. Količina proizvedenih in neporabljenih organskih snovi se z leti namreč povečuje, kar pa povečuje tudi anoksijo in anaerobni metabolizem najprej v usedlinah, kasneje pa tudi v spodnjem hipolimniju. K povečanju produkcije veliko prispeva tudi alohton vnos dušikovih in fosforjevih snovi, kar je izrazito v zaprtih in majhnih jezerskih ekosistemih (npr. Blejsko jezero) (vir: Toman, 2008).

4 EVTROFIKACIJA

4.1 Definicija

Proces Evtrofikacije oz. evtrofizacije je v wikipediji zapisan z definicijo:

»Evtrofikacija oz. evtrofizacija (iz grške besede *eutrophos* - »dobro prehranjen«) je proces večanja količine biomase v vodi kot posledica povečane koncentracije anorganskih hranil (npr. nitratov in fosfatov) v ekosistemu. Fenomen je najočitnejši v stoječih ali počasi tekočih vodnih telesih (jezerih, ribnikih, obalnih morjih, počasnih potokih), kjer je te snovi največkrat zastajajo. Večja količina hranilnih snovi omogoči hitro razmnoževanje alg, natančneje modrozelenih cepljivk, ki prerastejo površino vodnega telesa. Ta pojav imenujemo cvetenje voda. Ta množica alg tudi množično odmira in ob bakterijski razgradnji odmrlega organskega materiala se intenzivno porablja kisik. To povzroči znižanje koncentracije kisika v vodotoku, ki postane nezadostna za preživetje drugih organizmov (žuželk, rib ipd.). Njihovo odmiranje še pospeši evtrofikacijo.« (vir:<http://sl.wikipedia.org/wiki/Evtrofikacija>, pridobljeno 18.03.2012).

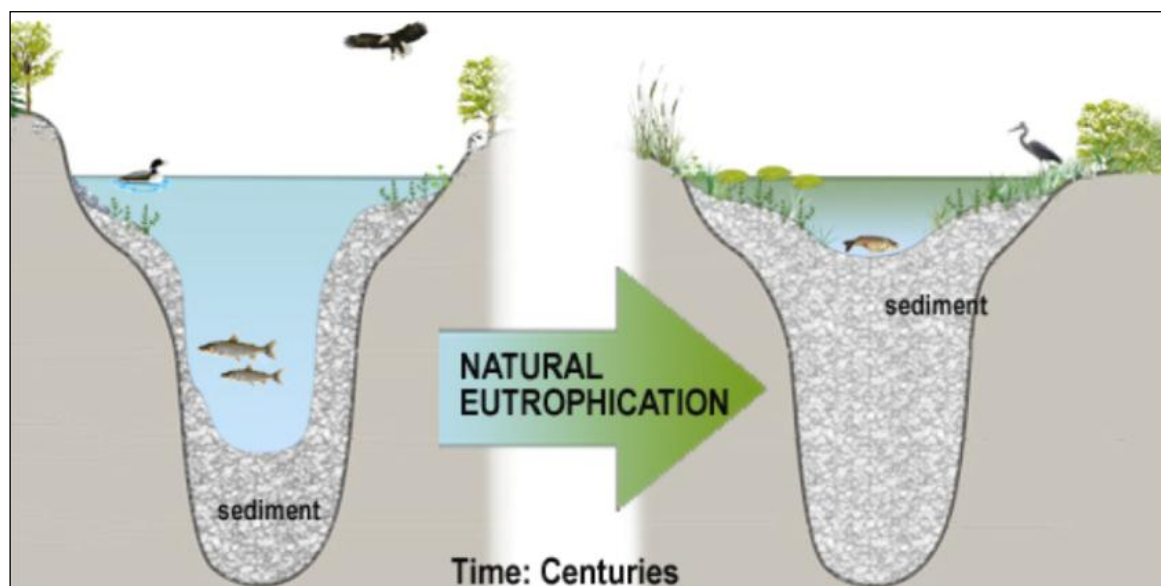
Tudi evtrofikacija se loči na:

- naravno evtrofikacijo (staranje jezer), ki poteka ves čas v naravi in
- umetno (antropogeno) evtrofikacijo, ko človek vpliva na hidrosfero s svojimi posegi.

4.2 Naravna evtrofikacija

Geološko mlada jezera vsebujejo zelo malo hranilnih snov, ki so potrebne za razvoj višjih vodnih organizmov in alg. Zaradi tega je celotna biološka produkcija majhna, oz. omejena. Na podlagi majhne količine prisotnih hranilnih snovi se imenujejo takšna jezera oligotrofna jezera. Med najpomembnejšimi hranilne snovi spadajo fosfatne spojine. Razmerje med količino fosforja in dušika je v oligotrofnih jezerih 1 : 100. V takšnih jezerih je le malo planktonskih alg, zato lahko svetloba prodira globoko pod površje. V celotnem vertikalnem profilu poteka bioprodukcija kisika, zato je kisik stalno prisoten tudi pri dnu jezera. Temperaturna plastovitost je v poletnem obdobju slabo izražena, zato je omogočeno tudi mešanje spodnjih plasti. V primeru, da sta iztok in dotok v jezero majhna, se pričnejo v njem akumulirati hranilne snovi. Ko razmerje med nitrat in fosfati močno znižuje in ko se približa vrednosti 1 : 10, že govorimo o evtrofnem jezeru. S tem, ko se količina hranilnih snovi povečuje, se povečuje količina organske materije in tudi celotna biološka produkcija. Lebdeče alge sestavljajo v glavnem modrozeleno in zelene alge, ki ob ugodnih ekoloških pogojih vedno pogosteje tvorijo vodni cvet. Odmrle alge, ki padajo proti dnu, predstavljajo dodatek organskega materiala, kjer v spodnjih plasteh gnije in porablja kisik. V evtrofnem

jezeru je torej poleg živalskega in rastlinskega planktona prisotnih še mnogo drugih lebdečih delcev, v katere na svoji poti v globino zadeva svetloba. V zgornjih plasteh jezera pade svetloba pri bohotnem razvoju alg že na minimum po nekaj 10 cm. Na tej globini jezera, organizmi kisik samo porabljajo, fotosinteza pa ne poteka več. Prav tako se zgornje plasti vode močno segrejejo, medtem ko spodnje plasti ostanejo hladne. Organizmi, ki tonejo v globino, kmalu porabijo ves kisik v spodnjih plasteh. Pri tem se plast vode brez kisika začne hitro približevati površini. V pogojih brez kisika se fosfati, ki so v oligotrofnem jezeru v sedimentih, pričnejo hitro sproščati nazaj v vodo in s tem se biološka produkcija neprestano povečuje. Na genezo jezera iz oligotrofnega stanja v eutrofno stanje, ki je kompleksen proces, vplivajo poleg naraščanja produktivnosti še drugi ekološki dejavniki (vir: Vrhovšek, Vovk Korže, 2007).

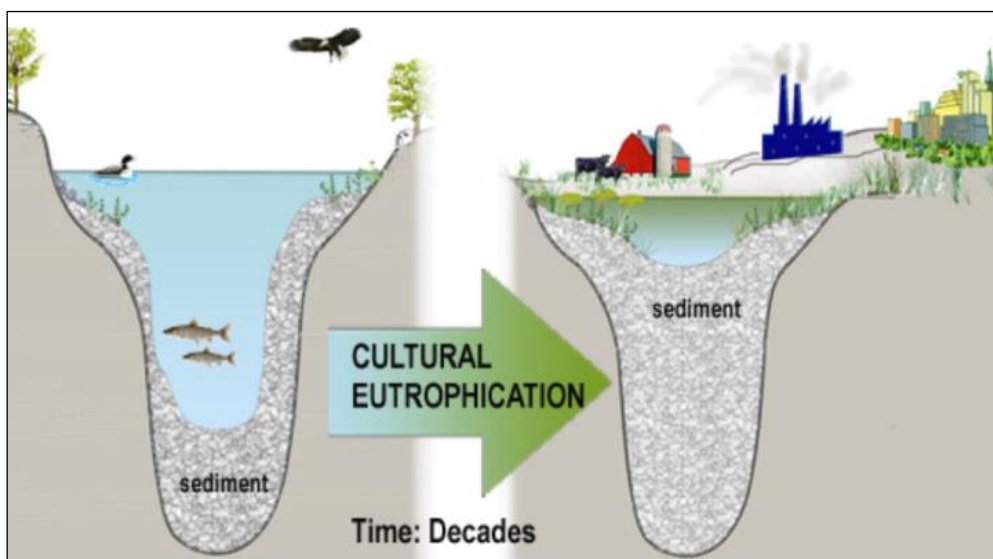


Slika 10: Prikaz naravnih vzrokov za eutrofikacijo (vir: <http://sevenhillslake.com/technical.html>, pridobljeno 09.03.2012).

4.3 Umetna eutrofikacija

Pri naravnem procesu gre za problem staranja naravnih jezer kot tudi umetnih, pri čemer pa se zaradi najrazličnejših naravnih vzrokov hranilne snovi v vodnem biotopu akumulirajo v vedno večjih količinah. Vzroki za umetno eutrofikacijo so predvsem v dodajanju teh snovi, kar je posledica človekovih dejavnosti. Danes zato eutrofikacijo jezer opisujemo kot onesnaženje, ki ga povzroči prekomerni dotok hranilnih snovi, predvsem nitratov in fosfatov. Te snovi so prisotne v in kmetijstvu in v odpadkih iz gospodinjstev. Kakšna količina hranilnih snovi se bo kopičila v nekem jezeru, pa je odvisno od hidroloških, klimatskih, geoloških, morfoloških in še drugih dejavnikov. Pomembna je tudi geološka podlaga prispevnega

območja voda. Koliko hranilnih snovi se bo izpralo v jezersko kotanjo je odvisno prav od nje. Na proces evtrofikacije vpliva tudi erozija v prispevnem območju. Erozija je bistvena zaradi zasipavanja z dotoki ali zaradi direktnega zasipavanja jezerske kotanje. Dvigovanje jezerskega dna pomeni večanje temperature in s tem posledično tudi pospešene biološke procese. Proces evtrofikacije je tudi hitrejši v nižinskih predelih kot višje v gorah. Obalna vegetacija namreč povzroča ugodne mikroklimatske pogoje in s tem povečuje količino organskega materiala v jezeru. V nižinah, kjer je sezona daljša in ni vpliva UV žarkov se tudi vegetacija uspešneje razvija. Odločilnega pomena za jezero pa je hidrologija jezera in oblika jezerske kotanje. V principu lahko rečemo, da je proces evtrofikacije počasnejši v jezerih z velikim pretokom oz. z večjo izmenjavo vode, obstaja pa nevarnost zasipavanja. Evtrofikacija je hitrejša in je zasipavanje, ki poteka predvsem na račun usedanja, počasnejše v globljih jezerih z manjšim pretokom. Vsi omenjeni vplivi so na začetku počasni in kasneje hitro napredujejo. Posledica bioloških procesov je pospešen razvoj odmiranja jezer (vir: Vrhovšek, Vovk Korže, 2007).



Slika 11: Prikaz antropogenih vplivov na evtrofikacijo (vir: <http://sevenhillslake.com/technical.html>, pridobljeno 09.03.2012).

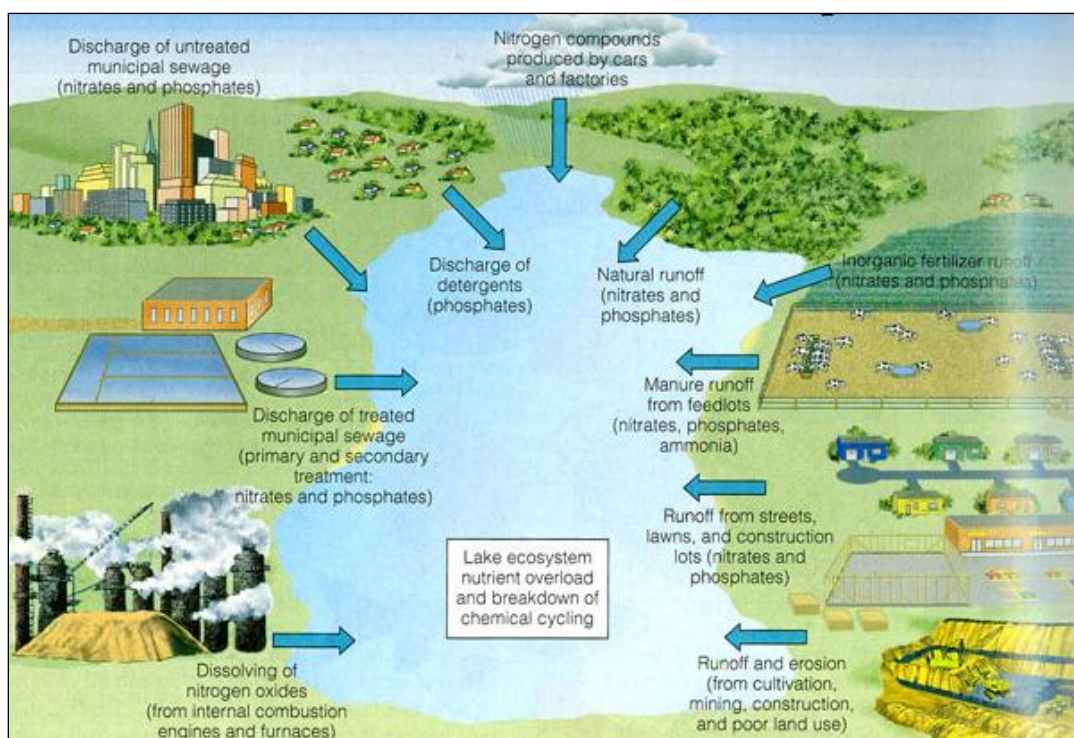
4.4 Viri vnosa hranil

V primeru, da je vnos hranilnih snovi velik, so spremembe v ekosistemu hitre in korenite. Prizadetost Ekosistemska prizadetost se kaže v spremembi števila rastlinskih in živalskih vrst oziroma v spremembi trofičnega stanja jezera. V primeru, ko v jesenskem času ne pride do popolnega premešanja vodnih mas v evtrofnih in mezotrofnih jezerih zmernih globlin in majhno površino, neredko pride do biološko povzročene meromikcije. Določen vpliv na ta proces ima tudi oblika jezerske kotanje, produktivnost jezera in meteorološki dejavniki. Produktivnost jezera se zmanjša, vendar je takšno stanje običajno le začasno v primeru, če je preprečena ponovna porazdelitev s hranili hipolimnijske vode po celotnemu vodnemu stolpcu.

Zaradi raznolikosti virov fosforja in dušika po svetu je globalni obseg tega problema velik. Prav tako sta težavna tudi nadzor in odpravljanje posledic.

Viri vnosa hranil so lahko:

- točkovni (ang. point source) ali
- razpršeni (ang. diffuse source) (vir: Gradišar, 2008).



Slika 12: Različni vnosi hranil v jezero (vir: <http://earjibchem.weebly.com/e-environmental-chemistry.html>, pridobljeno 17. 11. 2012).

4.4.1 Primeri najpogostejših virov obremenitev s hranili:

- **Gnojenje**

Kjer se kmetijska gnojila, večinoma dušik in fosfor, uporabljajo za povečevanje pridelka. S prekomernim gnojenjem se neporabljeni dušik in fosfor izpirata v vodotoke. Še večji problem pa je vnos hranil v podzemne vode in podtalnico. Ker hranilne snovi počasi pronicajo v globino, se v podzemni vodonosnik izločajo še dolgo po prenehanju gnojenja. Vodotoki, ki tečejo blizu kmetijskih površin so podvrženi onesnaženju iz tega razpršenega vira, viri pitne vode na takem območju pa so podvrženi onesnaženju z dušikovimi spojinami.
- **Odvodnjavanje padavinskih voda**

Padavinske vode, ki odtekajo s cestišč in pozidanih urbanih območij vsebujejo veliko različnih polutantov med katerimi zavzemajo precejšen delež organski ostanki bogati z nutrienti. Vodotoki, ki tečejo skozi urbana območja in stoječe vode znotraj urbanih območij so zato pogosto evtrofni.
- **Odpadne vode**

Globalno gledano prispevajo pomemben delež k obremenitvam s hranili. To so lahko veliki izpusti iz urbanih naselij ali lokalni točkovni viri kot so npr. slabo vzdrževane greznice. Da bi odstranili grobo organsko onesnaženje in potencialne nevarnosti za razvoj bolezni, so bile zgrajene številne čistilne naprave. Izpusti iz primarne in sekundarne faze čiščenja so sicer varni, vendar še vedno obremenjeni s hranili. Fosfor je mogoče uspešno odstranjevati v okviru terciarnega čiščenja, ki pa se praviloma le redko izvaja.
- **Detergenti**

Sem spadajo čistilna in pralna sredstva, ki vsebujejo fosforjeve komponente. V svetu se v površinske vode še vedno steka na milijone ton fosfatov, ki izhajajo iz sintetičnih detergentov, ki bi jih bilo mogoče nadomestiti s takimi brez vsebnosti fosforja, pri čemer pa se učinek čiščenja ne bi zmanjšal.
- **Točkovni viri**

Vode močno ogroža onesnaževanje s točkovnih virov kot so npr. izpusti iz živinorejskih farm, kmetij, klavnic, mlekarn ipd. Še posebej veliko hranil vsebuje silažni sok, ki je v tem pogledu dva do trikrat močnejši onesnaževalec kot gnojevka.
- **Spiranje površja**

Na evtrofne procese vpliva spiranje hranil po naravni poti iz zemlje in iz odmrlih rastlinskih ostankov. Zaradi razgradnje organskih ostankov iz kopnega, se v globoki vodi razvijejo anoksične razmere in evtrofnost.

- Iztrebki ptičev

K vnosu hranil, predvsem fosforja in dušika, lahko s svojimi iztrebki prispevajo tudi vodne ptice. Za tovrstne obremenitve so značilna sezonska nihanja, ki so povezana z vedenjskimi in migracijskimi vzorci na vodne in obvodne habitate vezanih ptic (vir: Gradišar, 2008).

V večjem delu naravnih vodnih teles je njihova mikroflora prilagojena za učinkovito in hitro porabljanje razpoložljivih hranil, koncentracije hranil pa so nizke. Eden izmed najpogostejših omejitvenih dejavnikov v celinskih vodah je fosfor. Odzivi na povečan vnos prevladujočega hranila so zato velikokrat zelo hitri in se kažejo kot močno povečana produkcija na nižjih trofičnih nivojih sistema.

Tako pride tudi do sprememb v vrstni sestavi s splošnim znižanjem vrstne raznolikosti. Značilno je postopno zmanjševanje v številu vrst planktona in diatomej, cianobakterije in enocelične zelene alge pa po preskoku iz oligotrofnega v evτροφno stanje prevladajo, prav tako se poveča tudi epifitska združba. V začetku se običajno poveča biomasa makrofitov, ki pa potem ob visokih koncentracijah hranil začne upadati, ker jo v kompeticiji za svetlobo izrinejo zelene alge. Če je na začetku limitirajoči nutrient kar naenkrat na voljo v dovolj velikih količinah, da zadovolji celotne potrebe po njem, postane tako limitirajoči kateri od drugih nutrientov. Ob upoštevanju tega pa je z uravnavanjem vnosov oziroma razpoložljivosti nutrientov možno nadzorovati produktivnost.

Raznolikost in obsežnost jezerskih ekosistemov, ki so podvrženi evτροφnim procesom, se kaže v številnih poznanih načinih odpravljanja in preprečevanja evτροφnosti. Za to obstajata dva pristopa in sicer:

- zdravljenje simptomov ter
- odpravljanje vzrokov.

Simptomatsko zdravljenje je privlačno, ker je kratkoročno gledano poceni, vendar pa ne odpravlja vzrokov. Če gledamo na dolgi rok je bolj smiselno in velikokrat tudi stroškovno ugodnejše odpravljati vzroke, kot pa le blažiti posledice (vir: Gradišar, 2008).

4.4.2 Načini zmanjševanja evtrofikacije

Zmanjševanje ali odstranjevanje nutrientov, ki so že v jezeru

To ponavadi pomeni:

- fizično odstranjevanje sedimentov, ki delujejo kot notranji vir sproščanja hranil,
- odstranjevanje makrofitske vegetacije,
- uporaba živalstva kot mehanizma za izločanje in vezavo hranil, ki se tako porabijo ali se jih odstrani.

Zmanjšanje količine hranil je mogoče doseči tudi z:

- z razredčenjem z dovodom čiste vode,
- z odvajanjem hipolimnijske vode,
- z ozračevanjem, da se preprečujejo anoksije ter
- z umetno povzročnim kroženjem vode (destratifikacijo).

Preprečitev vnosa hranil v sistem.

To je možno doseči z zmanjševanjem sproščanja iz razpršenih virov, in sicer z:

- zmanjšanjem uporabe gnojil v kmetijstvu,
- čiščenjem točkovnih virov onesnaževanja pred izpustom,
- odstranjevanje hranil iz obremenjene vode, ki se že nahaja v sistemu ter
- vračanje očiščene vode nazaj v sistem.

V nekaterih primerih se povsem prepreči dotok s hranili bogate vode v občutljiv jezerski ekosistem, kar je še posebej smiselno v primerih, ko na hranilno bogatih dotokih ni mogoče čiščenje.

Povrnitev biotskih pogojev, ki zavirajo evtrofne procese.

Če govorimo o evtrofikaciji pri kateri gre za prehod jezerskega ekosistema v drugačno stanje in poteka to napredovanje v novo stanje po naravni poti, je mogoče vzpostaviti prejšnje razmere z biomanipulacijo rastlin in živali. V tem primeru gre za poskus ponovnega vzpostavljanja neevtrofnega naravnega ravnovesja med algami in makrofiti, čemur pravimo biomanipulacija (vir: Gradišar, 2008).

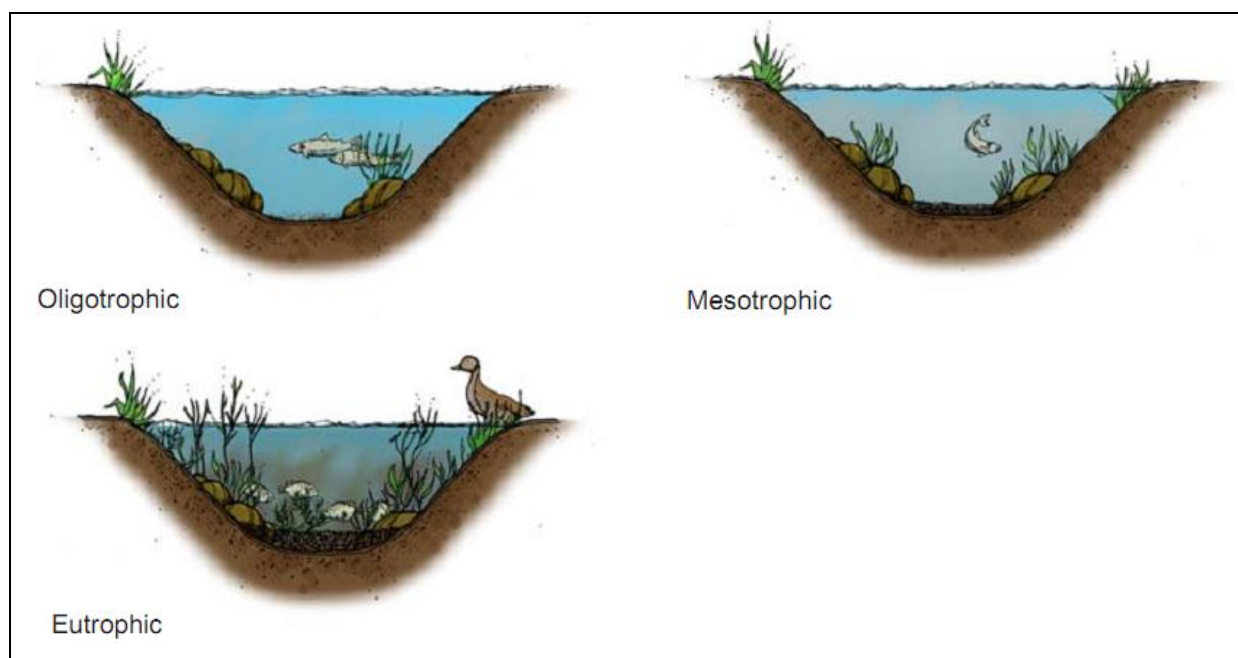
5 KATEGORIZACIJA STOJEČIH VODA GLEDE NA TROFIČNI NIVO

5.1 Določanje stopnje trofičnosti po OECD kriterijih

Trofičnost jezer določamo s pomočjo OECD kriterija iz leta 1982. Ti kriteriji veljajo za jezera zmernege pasu. Po OECD kriterijih, (povprečna letna vsebnost celotnega anorganskega dušika, povprečna letna vsebnost celotnega fosforja, povprečna letna in maksimalne vsebnost klorofila-a, ter povprečna in minimalna prosojnost jezera, ki jo merimo s Secchi-jevo ploščo), se jezera uvršča v pet trofičnih stopenj (slika 13), in sicer:

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

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



Slika 13: Shema oligotrofnega, mezotrofnega in evtrofnega jezera (vir: <http://michiganlakeinfo.com/files/2010/04/Lake-Water-Quality.pdf>, pridobljeno 17.11.2012).

Preglednica 3: OECD kriteriji za oceno trofičnega stanja jezer (ARSO, 2008: str 30).

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

Po rezultatih OECD programa je pokazano, da je v večini primerov fosfor tisti element, ki določa razvoj evτροφikacije. Tudi če so nitrati limitirajoči faktorji, fosfor še vedno igra pomembno vlogo.

Na splošno je v jezeru limitirajoč fosfor takrat, ko je razmerje $N_{tot}/P_{tot} > 15$. Če je v jezeru limitirajoč dušik, je razmerje $N_{tot}/P_{tot} < 7$. Ko pa je razmerje N_{tot}/P_{tot} med 15 in 7, pa sta lahko limitirajoča faktorja fosfor, dušik ali oba (vir: povzeto po <http://www.chebucto.ns.ca/ccn/info/Science/SWCS/TPMODELS/OECD/correlations.html#correlations>, pridobljeno 17.11.2012).

Po Vollenweider-ju lahko določimo trofično stanje jezer glede na totalni fosfor in totalni dušik (preglednica 4).

Preglednica 4: Trofično stanje jezera (OECD, 1982.)

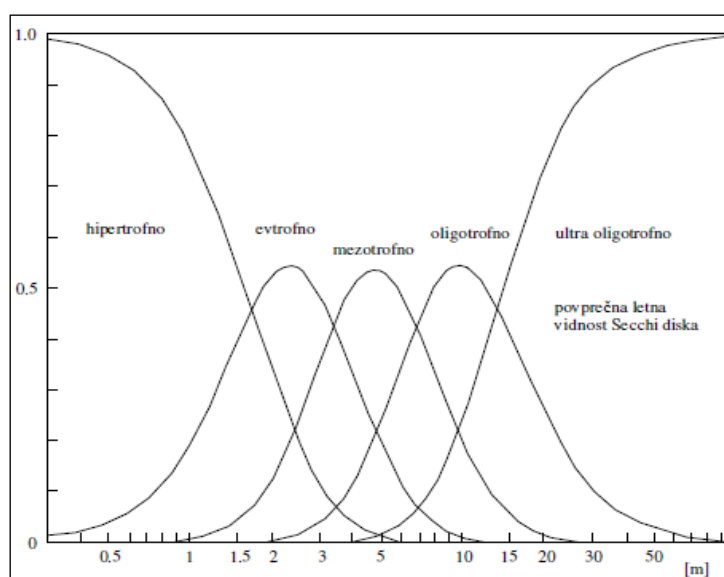
Stopnja trofičnosti	P_{tot} [μg/l]	N_{tot} [μg/l]
utraoligotrofno- oligotrofno	< 5	< 200
oligotrofno – mezotrofno	5 – 10	200 – 400
mezotrofno - evtrofno	10 – 30	300 – 650
evtrofno – politrofno	30 – 100	500 – 1500
politrofno	> 100	> 1500

Za indikator kakovosti stoječe vode se najpogosteje uporabljajo naslednji parametri (vir: Skubic, 2006 po Vollenweider 1968):

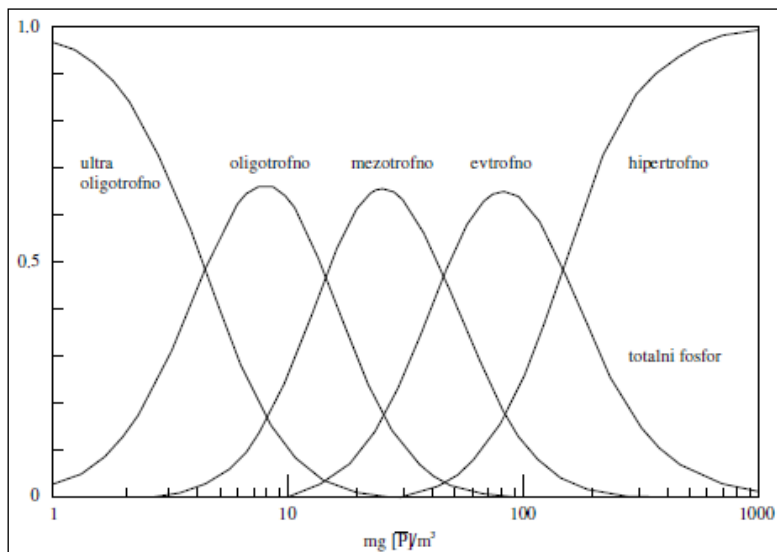
- totalni fosfor P_{tot} ,
- klorofil-a,
- Secchijeva globina,
- koncentracija kisika v hipolimniju.

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

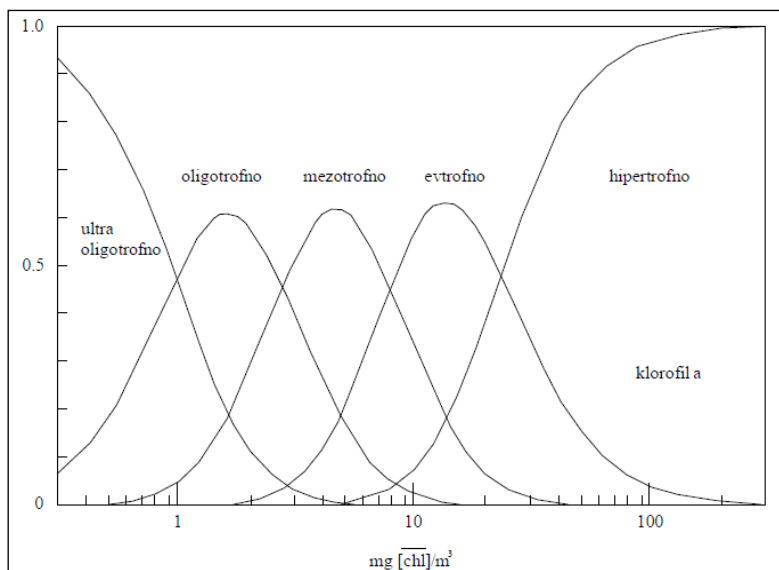
Vodnega telesa ne moremo točno uvrstiti glede na stanje trofičnosti, saj ni natančne meje med kategorijami. Lahko pa ga v določeno kategorijo uvrstimo glede na indikator kakovosti vode z določeno verjetnostjo. Spodnje slike nam tako pomagajo pri odločanju, v kateri razred trofičnosti lahko jezero uvrstimo.



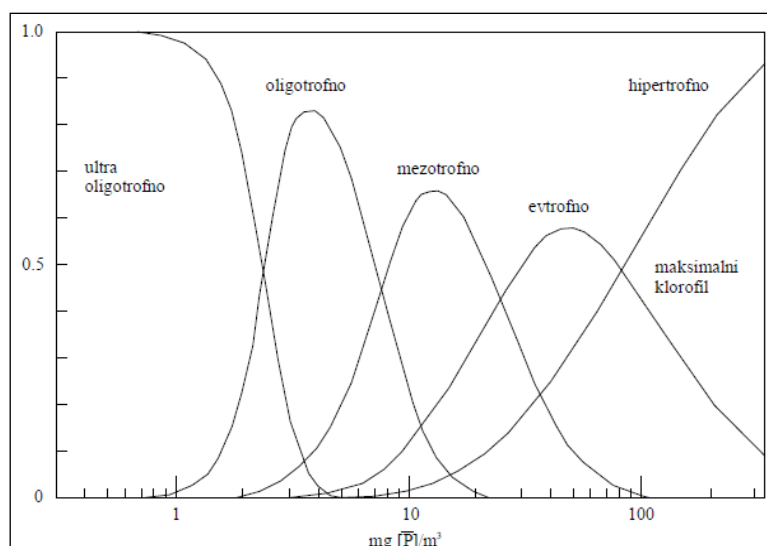
Slika 14: Verjetnost uvrstitve v razred trofičnosti glede na povprečno letno vidnost Secchi diska (vir: Skubic, 2006 po OECD, 1982).



Slika 15: Verjetnost uvrstitve v razred trofičnosti glede na totalni fosfor (vir: Skubic, 2006 po OECD, 1982).



Slika 16: Verjetnost uvrstitve v razred trofičnosti glede na povprečno letni letni klorofil-a (vir: Skubic, 2006 po OECD, 1982).



Slika 17: Verjetnost uvrstitve v razred trofičnosti glede na maksimalni klorofil (vir: Skubic, 2006 po OECD, 1982).

5.2 Hiperevtrorna jezera in njihove značilnosti

Za hiperevtrorna jezera označimo tista jezera kadar so razmere trofičnosti, ki se razvijejo v jezerskem sistemu, znatno bolj ekstremne. Za takšne sisteme so značilna velika nihanja vsebnosti kisika, cvetenje alg in pomori rib. Prav tako prihaja do velikih sezonskih ali celo dnevni nihanj v produktivnosti in kvaliteti vode. Primeri takšnih jezer so običajno jezera z nenadzorovanim vnosom hranil, lagune za čiščenje odpadnih voda, ter ribniki v katerih poteka intenzivno gojenje rib. Hiperevtrorne vode predstavljajo prehod v nestabilen, kaotičen režim. Značilna so neredna, ekstremna nihanja, ter velika produktivnost dominantnih vrst. Vsebnost kisika je velikokrat zelo visoka, s stopnjo nasičenja do 200%, kar predstavlja nevarnost za ribe. Ker ne pride do omejitve koncentracije hranil, pogosto prihaja do cvetenja alg in se prekomerno razmnoži fitoplankton. Velikokrat so v hiperevtrornih jezerskih sistemih prisotne populacije cianobakterij, ki pa lahko glede na spreminjanje razmer nihajo tudi iz ure v uro (vir: Gradišar, 2008).

5.3 Oligotrofna jezera in njihove značilnosti

Običajno so oligotrofna jezera višje ležeča, relativno velika, globlja, ožja in imajo veliko razmerje med hipolimnijskim in epilimnijskim volumnom. Zaradi nastalih majhnih količin organskih snovi je omejena njihova razgradnja. V hipolimnijski plasti ostajajo oksične

razmere, sproščanje hranil iz sedimenta pa je majhno. Oligotrofne razmere se lahko vzdržujejo z vrsto značilnosti in te vključujejo:

- Geomorfološke razmere številnih oligotrofnih jezer, ki pogosteje onemogočajo obsežen razvoj visoko produktivnih močvirskih in obrežnih združb višjih rastlin ter pritrjene mikroflore.
- Nizek vnos hranil iz zunanjih virov, še posebno fosforja in dušika.
- Nizka produkcija fitoplanktona, katera je pogojena s številnimi, med seboj povezanimi dejavniki kot so: nizek vnos nutrientov iz zunanjih virov, večja velikost in globina oligotrofnih jezer ter premešanje plasti po globinskem profilu, razmerje ogljika in fosforja (C:P), ki se ob povečani svetlobi poviša, kar spodbudi razvoj fitoplanktona, kasneje pa tudi razvoj in rast zooplanktonov ter njihovo objedanje.
- Nizka vsebnost raztopljenih organskih snovi zaradi majhne avtotrofne produkcije in velika prosojnost vode, ki prispeva k povečanju intenzivnosti in globine fotolitične razgradnje iz prispevnega območja vnesenih huminskih snovi.
- Razgradnja nastalih organskih snovi poteka v oksičnih razmerah. Pot usedanja snovi je zaradi globine počasna, obremenitve sedimenta z nutrienti so majhne kar velja tako za pelagialne kot tudi za litoralne predele jezera.
- Razgradnja alg in drugih partikularnih organskih snovi je majhna zaradi raztopljenih anorganskih snovi in omejene količine hranil.
- Omejena je posledično tudi sinteza organskih mikronutrientov, ki so nujno potrebni večini planktonskih alg. Esencialni mikronutrienti, posebno železo, se namreč v oligotrofnih razmerah manj učinkovito sproščajo iz organskih komponent (vir: Gradišar, 2008).



Slika 18: Oligotrofno jezero (vir: <http://www.squamlakes.org/programs/phosphorus.php>, pridobljeno 17. 11. 2012)

V kolikor se v oligotrofnem jezeru obremenjevanje s hranili povečuje, se hitro poveča tudi njegova produktivnost. Podobno se zgodi, če gre za kratkotrajno motnjo (npr. kratkotrajno trajanje povečanega vnosa hranil) poteka kroženje hranil hitreje, ekosistem si kmalu opomore, produktivnost pa se zmanjša proporcionalno z zmanjšanjem obremenitve (vir: Gradišar, 2008).

5.4 Razvoj evτροφikacije

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

- Povečan vnos nutrientov povzroči spremembo makrofitskih združb. Nekatere tolerantne vrste ob povečanem vnosu nutrientov na začetku lepo uspevajo, kasneje pa se čezmerno razrastejo in uspevajoče na velikih površinah prevzamejo vlogo nezaželenih vrst. Povečana motnost, cvetenje alg, anoksija in spremembe v sedimentih sčasoma postanejo škodljive celo za tolerantne vrste. Velike izgube makrofitske vegetacije s samo nekaj preostalimi emerznimi vrstami ali nobene od njih, označujejo evτροφične habitate.
- Spremeni se vrstna sestava alg, tako fitoplanktonskih kot perifitonskih, predvsem pa se poveča njihova produktivnost. Razširijo se vrste, ki lahko učinkovito izrabljajo novo nastale razmere. Poveča se motnost vode, podnevi prihaja do prenasičenosti s kisikom in do anoksij ponoči ali v času razgradnje cvetov alg, ko te odmrejo. Nekatere vrste, predvsem cianobakterije, proizvajajo toksine in z napredovanjem evτροφikacije postajajo vse bolj dominantne.
- Prihaja do sprememb v sedimentih, ker je povečan vnos nutrientov pogosto v povezavi s povečanim vnosom trdnih neraztopljenih delcev, ki pospešujejo sedimentacijo. Pogosta značilnost je nestabilno in anoksično jezersko blato, ki nastaja z odmiranjem fitoplanktona in razgradnjo makrofitov, pogosto v anoksičnih razmerah.
- Spremeni se živalstvo, čeprav nekaterim vrstam nove razmere s povečano razpoložljivostjo hrane ustrezajo in imajo lahko tudi visoko produktivnost, se na splošno njihova vrstna diverziteteta zmanjša. Vzrok so deloma spremenjene kemijske razmere v vodi, anoksije, deloma pa tudi spremenjene razmere na nivoju alg in vodnih makrofitov. Živalstvo med drugim prizadenejo predvsem zmanjšanje makrofitske vegetacije in posledično izguba kritja, ki jim ga le-ta nudi. Ko populacije

nekaterih vrst začnejo upadati, ima to vpliv tudi na druge trofične nivoje in prehranjevalna veriga se lahko zruši. V bentalni favni prevladajo maloščetinci (*Oligochaeta*). Sčasoma so prizadete tudi ribe, občutljive komercialne vrste rib izginejo, in če že ostanejo kakšne, so to manj pomembne vrste rib, ki so za prehrano ljudi običajno neprimerne. V ekstremnih primerih (hiperevtrofne vode) pride lahko zaradi anoksij do pomorov rib. Za take dogodke obstaja največje tveganje v poletnih jutrih, ko ponoči obilje fitoplanktona za lastno respiracijo porabi ves kisik. Kritične so lahko tudi dolge in hude zime, ko na zaledenelo vodno površino plitvih jezer zapade sneg in primarni producenti porabijo zaloge kisika, fotosinteze pa zaradi pomanjkanja svetlobe niso zmožni.

- Poleg bioloških sprememb se izrazito spremeni tudi celoten videz in krajinska privlačnost jezera. Močno evtrofizirane vode dobijo videz, ki spominja na gosto grahovo juho. Možni so tudi negativni vplivi na okolico jezera – npr. škodljiv in neprijeten vonj, ki se razvije iz cianobakterijskih populacij in aktinomicetnih gliv. Nekateri cianobakterijski cvetovi pa lahko učinkujejo toksično na različne rastlinske in živalske vrste (vir: Gradišar, 2008).



Slika 19: Evtrofno jezero (vir: <http://www.squamlakes.org/programs/phosphorus.php>, pridobljeno 17. 11. 2012)

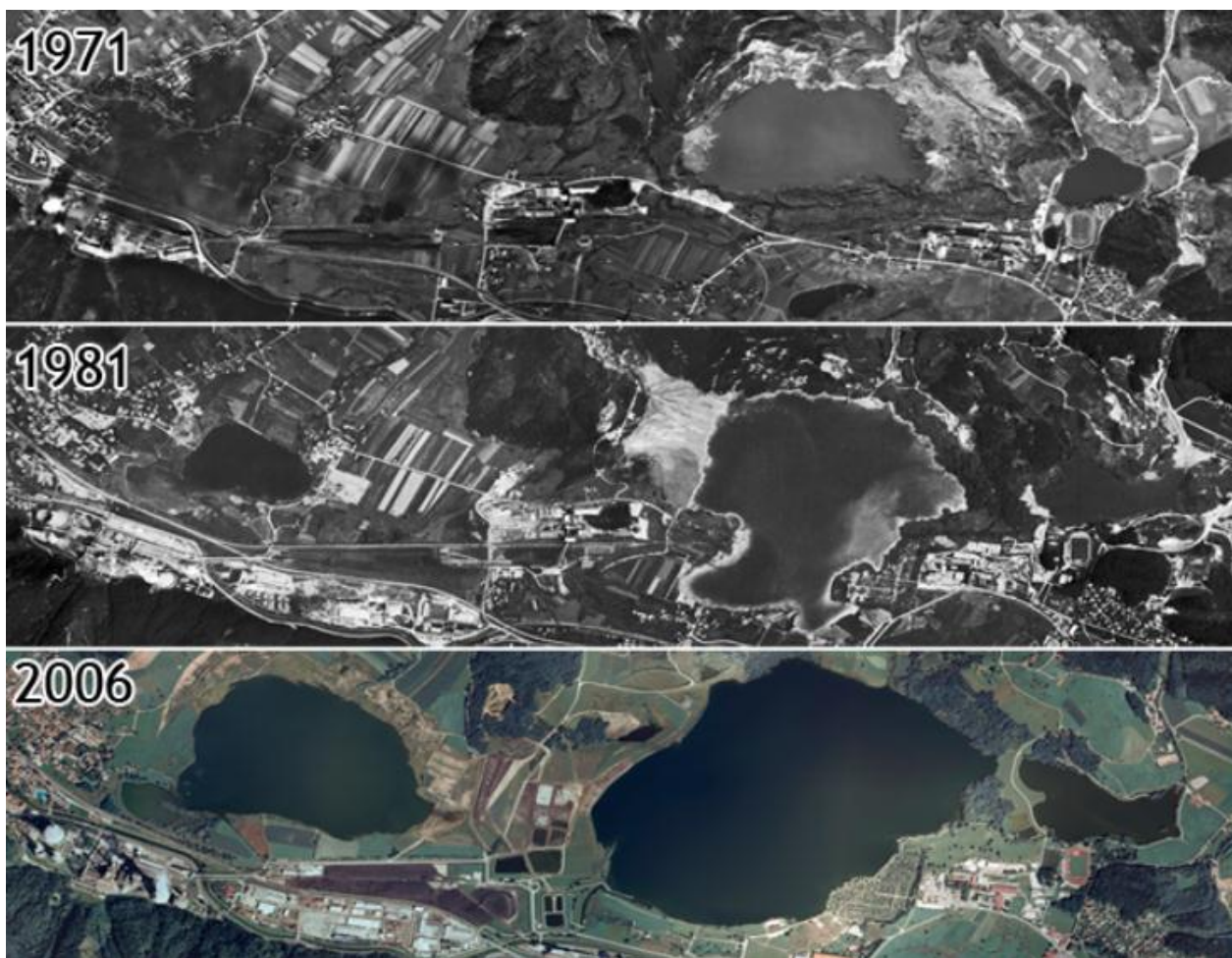
6 UGREZNINSKA JEZERA V ŠALEŠKI DOLINI

Jezera so v Šaleški dolini nastala kot posledica premogovništva in so umetnega nastanka. Nastala so zaradi izkopavanja lignita, katerega izkoriščajo že 130 let. Premogovniške ugreznine so nastale sredi dna Šaleške doline, ki je bilo pred tem v prevladujoči meri v kmetijski rabi ter precej gosto poseljeno. Kjer so dandanes jezera, je bilo več podeželskih naselij, ki so delno ali v celoti izginila kot na primer Škale, Družmirje in Preloge. Zaradi premogovništva se podoba doline še vedno spreminja, prav tako pa se še vedno spreminjajo tudi jezera.

Prostornina ugrezninske kotanje je leta 2004 presegla $110 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, njena površina pa je bila dobrih 6 km^2 . Najgloblje dele kotanje je napolnila voda in nastala so tri jezera, ki zavzemajo približno tretjino deleža površine ugrezninske kotanje. Jezera, ki jih napajajo potoki, so dobila imena po naseljih, ki so se morala umakniti ojezerjevanju (Škalsko jezero, Družmirsko jezero), oziroma po mestu, ki je zaradi premogovništva postalo objezersko naselje (Velenjsko jezero).

Jezera se po številnih značilnostih med seboj precej razlikujejo. Z razlikami pa je pogojena tudi različna raba jezer in njihovih bregov. Ker se kotlinsko dno od Šaleka na vzhodu proti Šoštanju na zahodu spušča, so različne tudi nadmorske višine gladine posameznega jezera. Najvišje je gladina Škalskega jezera, na nadmorski višini 373,09 m, gladina Velenjskega je nekaj več kot šest metrov nižje (366,54 m), še nadaljnjih šest metrov nižje pa je gladina Družmirskega jezera (360,35 m).

»Ob svojem nastanku so bila ugrezninska jezera izključno negativen pojav, saj so zalila rodovitne ravninske površine. Temu primeren je bil tudi odnos domačinov do njih. Na njihovih bregovih so nastajala odlagališča odpadkov, vanje so izpuščali odpadne vode, na njihovih bregovih pa so bili z vseh smeri postavljeni napisi. »OBMOČJE UGREZNIN, PREHOD PREPOVEDAN«. Z leti so jezera postala del vsakdanjosti in pogled nanje se je začel spreminjati. Prevladalo je mišljenje, da jih je potrebno urediti in očistiti. Odnos do jezer se spreminja in postaja očitno, da postajajo prepoznavna pokrajinska značilnost in ena izmed razvojnih možnosti Šaleške doline« (Šterbenk, 1999; str. 11)



Slika 20: Večanje Šaleških jezer skozi čas (vir: http://egradiva.gis.si/web/7.-razred/geografij/ekskurzija2;jsessionid=5963B74DB609D6BA4934BD3AA3822D7F?p_p_id=GOS_T08_P05_WAR_GOS_T08_P05portlet_INSTANCE_KB3q&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-3&ppcolcount=6, pridobljeno 15. 10. 2012)



Slika 21: Šaleška jezera 2012 (vir: Google Earth, pridobljeno 30. 05. 2012)

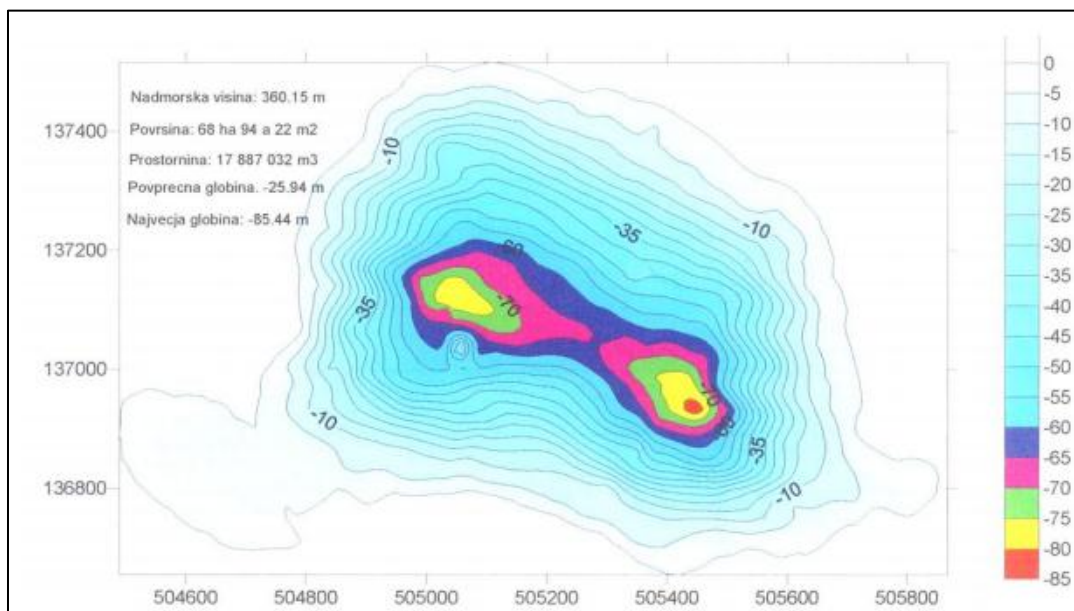
Preglednica 5: Večanje ugrezninskih jezer v Šaleški dolini od leta 1970 do 2011 (vir: Šterbenk in sod., 2011, Ovčjak, 2012)

Leto	Škalsko jezero		Velenjsko jezero		Družmirsko jezero		Skupaj	
	Površina (ha)	Prostornina (mio m ³)	Površina (ha)	Prostornina (mio m ³)	Površina (ha)	Prostornina (mio m ³)	Površina (ha)	Prostornina (mio m ³)
1970	10,00*	/	22,07	1,13	0	0	32,07	1,63
1980	11,87	0,74	92,73	13,69	19,70	2,05	124,3	16,48
1990	16,66	0,95	122,96	20,81	38,57	5,95	178,19	27,71
2000	16,81	0,95	138,68	26,03	51,99	10,85	207,48	37,83
2009	16,68	0,96	142,40	32,35	71,62	19,21	230,7	52,52
2010	16,49	0,96	143,50	32,00	72,70	19,08	232,88	52,04
2011	16,49	0,94	143,39	32,78	73,84	20,69	233,72	54,41

Preglednica 6: Teoretični čas menjave vode v Šaleških jezerih za leto 2009 (vir: Šterbenk in sod 2011, Ovčjak, 2012)

Jezero	Prostornina [m ³]	Letni dotok (pritoki, padavine, nep. pritok) [m ³]	Čas menjave [leto]
Velenjsko	32,3 * 10 ⁶	10,3 * 10 ⁶	3,2
Družmirsko	19,2 * 10 ⁶	19,7 * 10 ⁶	1
Škalsko	1,0 * 10 ⁶	5,2 * 10 ⁶	0,2

6.1 Družmirsko jezero



Slika 22: Družmirsko jezero – podvodni relief (vir: osebni arhiv Bizjak B., pridobljeno 5.11.2012)

Družmirsko jezero se je pojavilo najpozneje. Sredi Družmirskega polja je začelo nastajati leta 1975 in ga napaja pritok Velunja. Leta 2011 je obsegalo več kot 73,8 ha in je vsebovalo skoraj $20,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vode. Med vsemi šaleškimi jezери ima največje pojezerje, veliko več kot 30 km^2 . Pritok Velunja, ki je poleg padavin njegov edini vodni vir, je dovolj vodnata, da se voda v njem teoretično izmenja enkrat letno (preglednica 6). Ker je nad jezerom naselje Gaberke za katerega je značilno intenzivno kmetijstvo, obstaja nevarnost, da se stanje vode še poslabša. Padavine in potok Velunja prispevajo v jezero približno $20 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vode letno. Če odštejemo izhlapevanje, bi moralo iz Velunje v reko Pako odteči več kot $20 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ vode, vendar je zaradi odvajanja tehnološke vode za potrebe šoštanjske termoelektrarne in povečevanja prostornine jezera, kar povečuje izhlapevanje, odteče precej manj (vir: Šterbenk in sod, 2011).

Družmirsko jezero ima povprečno globino 27,88 m in z največjo globino 87,58 m velja za najgloblje jezero v Sloveniji. Pod njim in njegovimi bregovi so aktivni rovi Premogovnika Velenje. Ima dve jezerski kotanji. Zahodna je manjša in plitvejša (globina manj kot 5 m), večja osrednja kotanja pa ima dve poglobitvi. Glavna jezerska kotanja poteka v smeri vzhod-zahod in je podobno usmerjena kot kotanja Škalskega jezera. Razmerje med največjo dolžino in širino je 2,2 : 1. Jezero se zaradi izkopavanja premoga še povečuje in se razširja proti naselju Gaberke. Po podatkih Premogovnika Velenje naj bi leta 2020 obsegalo blizu $1,7 \text{ km}^2$, s čimer naj bi tako po površini kot po količini vode postalo največje jezero v Šaleški dolini (vir: <http://zgs.zrc-sazu.si/sl-si/teletekst/06122005.aspx>, pridobljeno 17. 11. 2012).

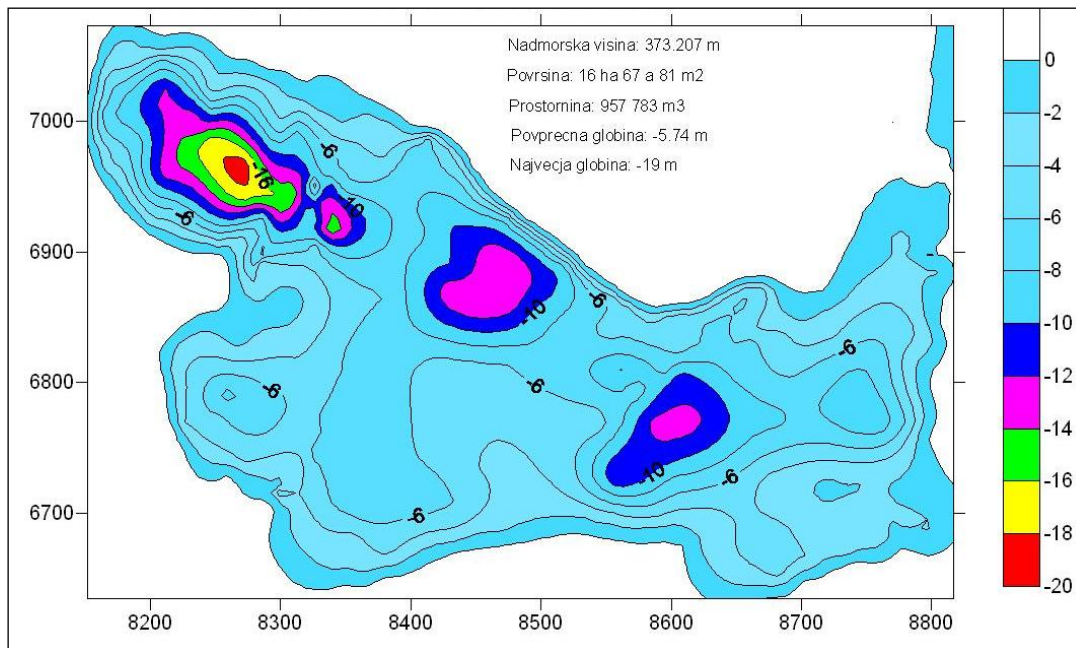


Slika 23: Družmirsko jezero (vir: Ovčjak, 2012)

Kakovost Družmirskega jezera se v zadnjih letih slabša. Pokazatelj so meritve vsebnosti kisika v spodnji plasti jezera. Leta 1993 se je prvič zgodilo, da je med poletnim merjenjem vsebnost kisika na največjih globinah padla pod 1 mg/l. Leta 1999 je bilo stanje praktično nespremenjeno, rezultati iz leta 2006 pa kažejo, da se vsebnosti kisika 1 mg/l ali manj pojavljajo ob julijskih, septembrskih in novembrskih meritvah (Šterbenk in sod., 2011). Med meritvami iz leta 2009 z izjemo aprilskih meritev, ko je bilo stanje boljše, je bilo ugotovljeno, da je jezero od globine 20,0 m proti dnu praktično brez kisika (Šterbenk in sod., 2011).

V Šaleški dolini velja Družmirsko jezero za najboljše po večini lastnosti vode, v zadnjem času pa se njegova onesnaženost veča, saj se enako kot pri sosednjem (Velenjskem) jezeru kaže v padanju vsebnosti kisika v spodnjih plasteh jezera.

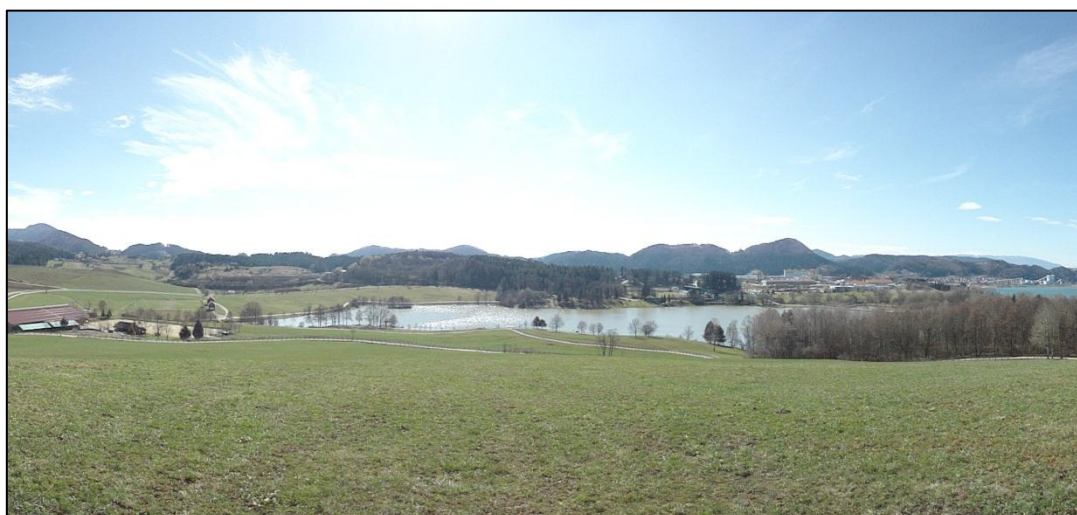
6.2 Škalsko jezero



Slika 24: Škalsko jezero 2010 – podvodni relief (vir: <http://www.rdvelenje.si/?articleID=62&menuID=30&type=article>, pridobljeno 4. 4. 2012)

Je najstarejše jezero, ki se je začelo oblikovati že pred 2. svetovno vojno, a je bilo takoj po vojni približno polovico manjše kot danes. Leži na nadmorski višini 373,09 m, sama oblika jezera je dokončna, saj so v tem predelu doline lignit že prenehali izkopavati. Ker je nastajalo v začetni in manj intenzivni fazi razvoja premogovništva v Šaleški dolini, je med vsemi tremi jezери najmanjše. Po površini meri skoraj 17,0 ha in vsebuje $1 \cdot 10^6$ m³ vode. Glavna os jezera poteka v smeri vzhod - zahod, razmerje med dolžino in širino je približno 2,3 : 1 (vir: <http://zgs.zrc-sazu.si/sl-si/teletekst/06122005.aspx>, pridobljeno 17. 11. 2012).

Pojezerje Škalskega jezera meri dobrih 10 km² in je povečini gozdno, več kot tretjina (37%) zemljišč je kmetijskih, poseljuje pa jih okrog 1000 prebivalcev. Razmerje med površinama pojezerja in jezera ni ugodno, saj je jezero glede na površino pojezerja premajhno. Ugodna pa je vodna bilanca jezera, saj se jezerska voda teoretično zamenja več kot petkrat letno. Letno priteče v jezero okrog $5,2 \cdot 10^6$ m³ vode, od tega prispeva Lepena $3,3 \cdot 10^6$ m³, preostali manjši pritoki pa okrog $0,7 \cdot 10^6$ m³. V jezero načrpajo letno tudi povprečno $0,7 \cdot 10^6$ m³ jamske vode, ki je sicer tehnološka, vendar dokaj dobre kakovosti. Padavine neposredno prispevajo preostalih $0,2 \cdot 10^6$ m³ vode. Z jezerske gladine letno izhlapi 944 l/m² vode, kar za celotno jezero pomeni skoraj 158.000 m³ letno (vir: Šterbenk in sod, 2011, Ovčjak 2012).

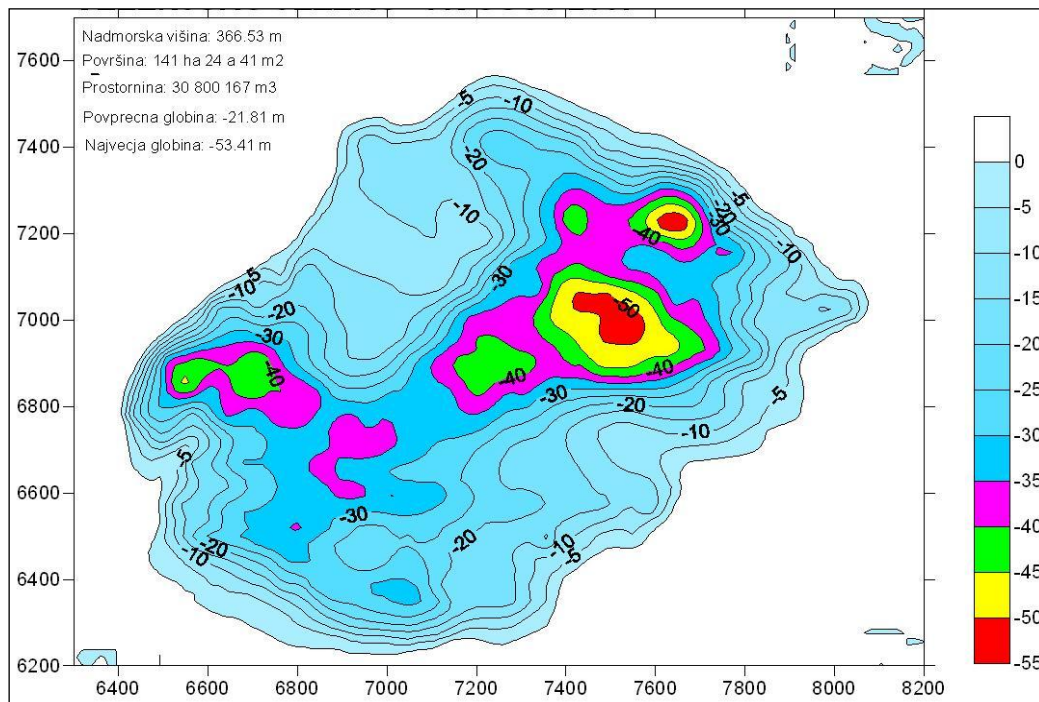


Slika 25: Škalsko jezero (vir: Ovčjak, 2012)

V preteklosti je bilo jezero izjemno obremenjeno. Konec sedemdesetih let dvajsetega stoletja so območje nad jezerom začeli zapolnjevati s komunalnimi odpadki. Območje tvori slabo vodoprepustna glina, kar je ustrezna podlaga za odlagališče. Zaradi neugodne lege odlagališča nad jezerom so se izcedne vode iz odlagališča vse do leta 1986 izlivale neposredno v Škalsko jezero. V neposrednem zaledju je bila še farma s sto govejimi pitanci. Poleg tega so se v Lepeno iztekale komunalne odpadne vode iz dela Škal in Hrastovca. Ker se voda v kotanji Škalskega jezera skozi vse leto ni premešala je bilo do leta 1998 meromiktično. V epilimnijskem vzorcu se je zato začel stalno pojavljati vodikov sulfid (H_2S). Organske snovi so se pri tako majhnem jezeru iz velikega pojezerja kopičile na dnu in za svoj razkroj porabile ves kisik spodnje jezerske plasti. Začelo se je gnitje, anaerobni proces, katerega produkt je vodikov sulfid. Ker je bila plast z raztopljenim vodikovim sulfidom tako stabilna, da je letno kroženje vode v jezeru ni razkrojilo so začeli problematiko Škalskega jezera reševati že konec osemdesetih let. Do leta 1996 se je jezero začelo počasi izboljševati, zaradi leta 1993 zgrajene kanalizacije, na katero so priključili del objektov Škal in Hrastovca, pod odlagališčem komunalnih odpadkov pa so zgradili črpališče za izcedne in precedne vode. Po tem letu pa se je trend izboljševanja ustavil. Leta 1999 so se reševanja jezera lotili na način, da so v spodnjo plast jezera speljali jamsko vodo. V prvem letu delovanja cevovoda je se je kakovost vode bistveno izboljšala, saj je plast s kisikom segala že do globine 14 m. Leta 1994 je plast s kisikom segala le do globine 3m, leta 1996 pa do globine 6m. Že leta 2000 pa se je stanje spet poslabšalo saj je bila plast s kisikom debela le 5 m (vir: Šterbenk in sod., 2011).

Škalsko jezero se v zadnjih letih pospešeno evtrofizira. Njegovo stanje se slabša kljub izboljšanju kanalizacijskega sistema, ker izgleda vstopa v jezero preveč hranil. Najbolj je občutljivo zaradi prisotnega intenzivnega gnojenja (travniki, sadovnjaki) ter bližine golf igrišča.

6.3 Velenjsko jezero



Slika 26: Velenjsko jezero 2010 – podvodni relief (vir: <http://www.rdvelenje.si/?articleID=66&menuID=30&type=article>, pridobljeno 4. 4. 2012)

Velenjsko jezero je s površino blizu 1,43 km² in prostornino 33,6 * 10⁶ m³ največje v Šaleški dolini in tako tudi med večjimi v Sloveniji. Njegovo pojezerje obsega več kot 20 km², ki jih poseljuje približno 1500 prebivalcev. Jezero je dolgo 1,4 km in široko 1,3 km. Z globino 63,2 m je globlje od Blejskega (31 m) in Bohinjskega jezera (45 m), po površini pa je povsem enako Blejskemu, vendar v primerjavi z njim vsebuje dobra 2,0 * 10⁶ m³ več vode.

Jezerski breg je slabo razčlenjen, zato je jezero skoraj pravilne pravokotne oblike, njegov obseg je dobrih 5,0 km. Večina obrežja je delno ali povsem umirjena, saj je izkopavanje premoga intenzivno le še pod zahodnim bregom, kjer ugreznino sproti zasipavajo z elektrofiltrskim pepelom. Pepel je stranski produkt sežiganja premoga v Termoelektrarni Šoštanj. V preteklosti je bil tudi glavni razlog za onesnaženje Velenjskega jezera, saj ga

vsako leto nastane okrog 800.000 ton. Zasipavanje ugreznine ob njem je pomembno tudi zato, ker se z nasipom vzdržuje pregrada med Velenjskim in Družmirskim jezerom, ki zagotavlja oporo severnemu in južnemu obrobju doline.

Velenjsko jezero ima pritoka Lepeno, ki pred tem napaja tudi Škalsko jezero, in Sopoto. Njegovo padavinsko zaledje meri 20,4 km². Več kot polovica odpade na škalsko pojezerje, medtem ko obsega porečje Sopote, ki predstavlja neposredno zaledje Velenjskega jezera, le dobrih 7,5 km². Preostali del pojezerja predstavlja neposredni jezerski breg. Lepena prispeva letno $5,2 * 10^6$ m³ vode, Sopota pa $3,6 * 10^6$ m³. S padavinami dobi jezero neposredno letno $1,6 * 10^6$ m³ vode, z manjšimi vodotoki pa priteče še več kot $11 * 10^6$ m³ vode. Jezerska voda se teoretično zamenja šele v dobrih dveh letih. Če odštejemo izhlapevanje, letno iz jezera odteče v Pako $10 * 10^6$ m³ vode (vir: Šterbenk in sod, 2011).



Slika 27: Velenjsko jezero (vir: Termoelektrarna Šoštanj, 2012)

Največja težava Velenjskega jezera v začetku devetdesetih let dvajsetega stoletja je bila visoka alkalnost. Jezero je bilo praktično sterilno, s spremenjenim načinom odlaganja pepela pa se je izboljšalo. Sprva je bilo izboljšanje opaziti v zgornji plasti jezera, v treh letih pa se je normalizirala alkalnost celotnega jezera.

Toda takoj po normalizaciji pH vrednosti se je pojavila nova težava – izredno hitra evtrofikacija jezera. Leta 1994 je bilo jezero praktično brez živih organizmov, poleti 1995 so se vanj po več kot desetih letih vrnila ribe, a že leta 1997 je jezero poleti prvič cvetelo (Šterbenk, 1999, Ovčjak, 2012). Cvetenje jezera se ponavlja v različnih časovnih razmikih in letnih časih. Nazadnje je cvetelo pozimi leta 2007/08, šlo je za modro zelene alge, ob katerih so se razvili tudi agregati cianobakterij. Cvetenje pa ni edina težava jezera, saj se počasi zmanjšuje vsebnost kisika v hipolimniju, zaradi odlaganja pepela in sadre se povečuje še vsebnost sulfata v vodi.

Vzroki za povečano vsebnost sulfata v vodah na in v območju sanacije ugreznin so bile velike akumulacije vode na samem območju. Voda iz akumulacij pronica skozi material, kjer pride do izluževanja sulfata, kar so posledice povišane koncentracije sulfata v Velenjskem jezeru pa tudi Družmirskem.

Z uvedbo zaprtega krogotoka transportne vode za pepel na področju sanacije ugreznin se je stanje Velenjskega jezera močno izboljšalo. Onesnažena voda tako iz področja sanacije ugreznin namreč ne teče več v Velenjsko jezero, ampak se izteka v končne usedalnike od koder se prečrpava v termoelektrarno Šoštanj v ponovno uporabo.

7 KRATKA PREDSTAVITEV POSTOPKOV MATEMATIČNEGA MODELIRANJA

7.1 Splošno o modelih

V naravi se dogaja neskončno mnogo med seboj povezanih ali ločenih procesov. Te procese poskušamo razumeti, si jih predstavljati in jih na nek način razložiti. Ker pa so največkrat opazovani procesi prezapleteni, vanje vpeljemo določene poenostavitve v smislu redukcije kompleksnega v bolj enostavno in manj povezano z okolico. V inženirski praksi se to lahko izvede, s pomočjo tako fizičnih modelov kot matematičnih modelov, ali z njihovimi kombinacijami (vir: Škofljanec, 2005).

Modele ločimo glede na način pristopa na:

- fizične
Pri fizičnih modelih opazujemo dogajanje v naravi v merilu 1:1 ali v laboratoriju v pomanjšanem merilu.

- matematične
Pri matematičnih modelih poskušamo z modelom opisati dogajanje v naravi s sistemom enačb, ki temeljijo na znanstvenih razlagah pojava.

- kombinirane
Pri kombiniranih modelih gre za kombinacijo fizičnega in matematičnega modela.

Glede na upoštevanje časa oz. dinamičnosti modele delimo na:

- stacionarni model
Če model ne upošteva časovnega poteka dogodkov, pač pa za vse količine jemlje stalne vrednosti, je tak model stacionaren.

- dinamični model
Dinamični model je model, ki upošteva časovno dinamiko pojavov. Če se vhodne spremenljivke spreminjajo dovolj počasi, to je iznad reda velikosti odzivnega časa sistema, lahko dinamični model doseže kvazi stacionarno stanje in prehaja od enega do drugega stanja preko ravnovesnih stacionarnih stanj. Če se vhodne spremenljivke spreminjajo dovolj hitro, to je reda velikosti odzivnega časa sistema, se dinamičnost sistema jasno manifestira. Če pa se vhodne spremenljivke spreminjajo bistveno

hitreje od odzivnega časa sistema, se lahko izkaže, da sistem nanje sploh ne reagira - analogija vzbujanja nihanja uteži na vzmeti.

Glede na končni namen se modeli delijo na:

- raziskovalne
- operativne

V prvih fazah nastajanja je vsak model raziskovalni, saj opazujemo le kvalitativno obnašanje. Ko gremo korak dlje in mora model poleg kvalitativnega pokazati še kvantitativno pravilne rezultate, preide v operativne modele. Ti so namenjeni uporabi za točno določeno lokacijo in namen.

7.2 Masna bilanca

Masna bilanca je osnova vseh modelov evτροφnosti. Pove nam, koliko snovi vteka iz pojezerja v jezero, izteka iz jezera ter analizira distribucijo snovi v jezeru. V jezero vstopajo snovi iz pojezerja, izgube snovi za jezero pa so iztoki, sedimentiranje ali izgube v atmosfero (denitrifikacija). Posebno pozornost moramo posvetiti sedimentom, saj je njihova funkcija lahko dvojna: kot izguba snovi, ko se le-te usedajo, v določenih pogojih (anoksične razmere na dnu) pa delujejo kot notranji vir.

Masno bilanco jezera ocenimo z enačbo:

$$L - O \pm \Delta S_t = (\pm)S \quad (1)$$

Kjer je:

- S vsebnost snovi v jezeru
- L vnos snovi v jezero
- O iztok snovi iz jezera
- S_t akumulacija snovi v sedimentih

Enačba nam pove, da je vsebnost snovi v jezeru (S) razlika med vnosom snovi v jezero (L) in iztokom snovi iz jezera (O), upoštevati se tudi akumulacija snovi v sedimentih ($-S_t$). Enota za masni model je mg/leto in velja za le za snovi, ki v vodi niso prisotne v obliki plina, npr. fosfor. Kroženje fosforja je prikazano v poglavju 3.3.1. V primeru, da ne razpolagamo z meritvami o količini vnosa hranil v jezero, si pomagamo z empirično določenimi vrednostmi. Fosfor (P) je omejitveni faktor rasti alg, zato je zajet v vseh masnih bilancah snovi.

7.3 Vollenweiderjev model

Eden prvih evτροφkacijskih modelov je pol empirični Vollenweiderjev model (Vollenweider, 1968), ki vsebuje eno samo enačbo za določitev povprečne letne koncentracije fosforja v jezeru. V jezeru se koncentracija fosforja v jezeru spreminja glede na količino vnosa hranil, hkrati pa moramo upoštevati izgube skozi iztok in sedimentacijo. Rezultat, ki nam ga model poda na koncu, moramo upoštevati kot pripomoček, saj nam model pokaže samo poenostavljeno stanje v naravi.

Enačba, ki jo uporabimo za izračun skupne koncentracije fosforja:

$$d \frac{[P]}{dt} = \frac{I_P}{V} - s[P] - r[P], \quad (2)$$

kjer so:

[P] skupna koncentracija fosforja v jezeru (akumulaciji) [mgP/m³],

s stopnja sedimentacije [m/leto],

r stopnja odtoka = hitrost izmenjave vode (l/leto), kjer je $r = \frac{Q}{V}$,

V prostornina jezera [m³],

Q skupni volumen odtoka na leto [m³/leto].

Zgornjo enačbo lahko rešimo za stacionarni režim (vir: Jørgensen, Vollenweider, 1989), t.j. ko se [P] s časom ne spreminja:

$$d \frac{[P]}{dt} = \frac{I_P}{V} - s[P] - r[P] = 0 \quad (3)$$

$$I_P = I_{Pt} + I_{Pp} + I_{Pw}$$

$$[P] = \frac{I_P}{V \times (s+r)} \quad (4)$$

Iz zgornje enačbe (enačbe 4) je razvidno, da je potreben podatek Q, bodisi ga je potrebno izračunati ali izmeriti. V nekaterih primerih lahko dolgoletni povprečni dotok Q_{in} izračunamo po enačbi (vir: Jørgensen, Vollenweider, 1989):

$$Q_{in} = A_i * P * (1 - k'), \quad (5)$$

kjer je :

k' razmerje med evapotranspiracijo in letnimi padavinami (P), (k je pogosto znano določeno geografsko območje),

A_i velikost prispevnih površin.

Enačbo lahko zapišemo tudi kot:

$$Q_{in} = A_i * P * \Psi,$$

kjer je:

Ψ koeficient odtoka.

Stopnjo sedimentacije (s) je razmeroma težko določiti, in sicer jo lahko določimo na dva načina:

1. pri globokih jezerih s pomočjo lovilnikov sedimentov in
2. s pomočjo retencijskega koeficienta (R).

Retencijski koeficient (R) je enak delu obremenitve vodnega telesa, ki ne zapusti vodnega telesa. Raziskave so v preteklosti pokazale, da je retencijski koeficient povezan s koeficientom obremenitve vode na določenem območju Q/A_s (vir: Jørgensen, Bendoricchio, 2001, Mičič, 2006).

Enačba retencijskega koeficienta:

$$R = 0,426 * e^{(-0,271 * \frac{Q}{A_s})} + 0,574 * e^{(-0,00949 * \frac{Q}{A_s})} \quad (6)$$

Na podlagi raziskav osemnajstih skandinavskih jezer, so ugotovili, da je retencijski koeficient za dušik približno 10-20% nižji kot za fosfor. Namesto stopnje sedimentacije (s) lahko uporabimo retencijski koeficient (R) in dobimo poenostavljeno enačbo koncentracije totalnega fosforja:

$$[P] = \frac{I_P(1-R)}{Q} \quad (7)$$

V primerih, ko uporabljamo preproste modele evτροφnosti, ki simulirajo le koncentracijo fosforjevih spojin, lahko stopnjo evτροφnosti napovemo glede na koncentracijo klorofila-a.

Vollenweider je povezal enačbo, ki povezuje koncentracijo fosforja in klorofila-a (vir: Jørgensen, Bendoricchio, 2001, Mičič, 2006)

$$Chl_a = 0,28 * [P]^{0,96} \quad [\mu g/l], \quad (8)$$

ki ima korelacijski koeficient ($r = 0,88$); ni pa pri tej raziskavi upošteval jezer, kjer je razmerje $N/P < 10$.

7.4 Obremenitve jezera

Obremenitev jezera je najbolje določiti z merjenjem tako koncentracij na vtokih in iztokih iz jezera.

7.4.1 Določitev obremenitve iz podatkov o koncentraciji snovi in pretokih pritokov v jezera

Količino hranil vneseno v jezero z vtoki izračunamo na osnovi podatkov o koncentraciji snovi in pretokih vseh pritokov jezera. Na voljo sta dva načina izračuna (vir: Jørgensen, Vollenweider, 1989):

1. Način temelji na podlagi povprečnih vrednosti koncentracij in pretokov:

$$I_{vtok} = \bar{c} * Q_d * \Delta t \quad [kg/leto], \quad (9)$$

kjer so:

I_{vtok} vnos hranil v jezero [kg/leto],

\bar{c} povprečna koncentracija snovi v pritoku jezera [g/m³],

Q_d pretok na pritokih jezera [m³/s],

Δt interval med posameznimi meritvami pretokov in koncentracij [dan].

Ta način je uporaben le za primere, ko imamo relativno konstanten pretok in koncentracijo snovi.

2. Način temelji na podlagi odvisnosti koncentracije od pretoka. Možne so naslednje odvisnosti (vir: Jørgensen, Vollenweider, 1989):

a) Enačba spodaj podaja dnevno količino hranil v primeru, ko je koncentracija neodvisna od pretoka:

$$\begin{aligned}\bar{c} &= K \\ I_d &= \bar{c} * Q_d \quad [kg/dan]\end{aligned}\quad (10)$$

b) Enačba spodaj podaja količino hranil v primeru, ko je koncentracija obratnosorazmerna pretoku (manjši pretok manjša koncentracija):

$$\begin{aligned}\bar{c} &= \frac{K_0}{Q_d} \\ I_d &= \bar{c} * Q_d = K_0 \quad [kg/dan]\end{aligned}\quad (11)$$

c) Enačba spodaj podaja količino hranil v primeru, ko je koncentracija premosorazmerna pretoku (koncentracija linearno narašča s pretokom):

$$\bar{c} = K_l * Q_d$$

ali pa s kvadratom

$$I_d = K_l * Q_d^2 \quad [kg/dan] \quad (12)$$

Pogosto je eksponent različen od 2, npr.: $3/2 = 1,5$ ali $5/2 = 1,67$

d) Najbolj verjetno količino hranil (dejanska situacija) podaja enačba spodaj, ki kombinira prve tri možnosti:

$$\begin{aligned}\bar{c} &= K + \frac{K_0}{Q_d} + K_1 * Q_d^b \\ I_d &= K * Q_d + K_0 + K_1 * Q_d^{b+1} \quad [kg/dan]\end{aligned}\quad (13)$$

Izgubo snovi na iztoku iz pojezerja pa običajno ocenimo s pomočjo erozijskega koeficienta ϕ posamezne površine v pojezerju, ki ga izračunamo po spodnji enačbi:

$$\phi = \frac{I_y}{A} \quad [\text{g}/\text{m}^2\text{leto}] \quad (14)$$

Kjer so:

I_y letna količina hranil, ki odteka iz posamezne površine v pojezerju [g/leto]

A površina posameznega dela pojezerja [m^2]

7.4.2 Določitev obremenitve s pomočjo empirično določenih vrednosti za vnos hranil v jezero

Če nimamo na voljo podatkov pridobljenih z meritvami, lahko vnos hranil v jezero ocenimo s pomočjo empirično določenih vrednosti za vnos hranil v jezero. Skupno količino hranil vnesenih v jezero izračunamo tako, da seštejemo naravni vnos P iz pojezerja (I_{Pt}), naravni vnos P v jezero s padavinami (I_{Pp}) ter umetni vnos P v jezero (I_{Pw}), (enačba 15) (vir: Jørgensen, Vollenweider, 1989)

$$I_P = I_{Pt} + I_{Pp} + I_{Pw} \quad [\text{mg}/\text{leto}], \quad (15)$$

kjer so:

I_{Pt} naravni vnos fosforja iz pojezerja [mg/l],

I_{Pp} naravni vnos fosforja s padavinami [mg/l],

I_{Pw} umetni vnos fosforja v jezero [mg/l].

7.4.2.1 Naravni vnos fosforja iz pojezerja

Za izračun deleža vnosa hranil s površine pojezerja moramo poznati površino prispevnega območja (A_i) in klasifikacijo vsakega območja glede rabe tal ter geološko sestavo, pogosto pa moramo poznati tudi nagnjenost tal.

Naslednja preglednica podaja količino hranil, ki se stekajo v jezero iz pojezerja glede na klasifikacijo prispevnega območja.

Preglednica 7: Količina vnosa hranil iz pojezerja (vir: Jørgensen, Vollenweider, 1989)

vrsta prispevne površine	Ep[mgP/l(m ² leto)]	
	osnovno gorstvo	sedimenti
gozdovi (povprečje)	0,7-9,0 (4,7)	7,0-18 (11,7)
Kmetijske površine:		
sadovnjaki	18	18
pašniki	15-75 (45)	15-75 (45)
polja,njive	22-100 (61)	22-100 (61)

Enačba 16 prikazuje izračun vnosa fosforja (P) iz pojezerja, ki ga izračunamo kot seštevek vnosov iz posameznih območij (vir: Jørgensen, Vollenweider, 1989):

$$I_{Pt} = \sum_{i=1} A_i * E_{Pi} \quad [mg/leto], \quad (16)$$

kjer so:

A_i površina posameznega prispevnega območja [m²],

E_{Pi} količina vnosov fosforja iz pojezerja glede na vrsto prispevne površine [mg/leto].

7.4.2.2 Naravni vnos fosforja s padavinami

Letno obremenitev fosforja s padavinami (I_{PP}) lahko izračunamo na osnovi letne količine padavin (P) (enačba 17) (vir: Jørgensen, Vollenweider, 1989):

$$I_{PP} = P * C_{PP} * A_S \quad [mg/leto], \quad (17)$$

kjer so:

A_S površina jezera [m²],

C_{PP} koncentracija fosforja v padavinah [mg/l],

P letna količina padavin [mm/leto].

Preglednica 8: Koncentracija fosforja v padavinah (vir: Jørgensen, Vollenweider, 1989, Škofljanec, 2005)

	C_{PP} [mgP/l]
količina P v dežju (povprečje)	0,025-0,1 (0,07)

7.4.2.3 Umetni vnos fosforja

Za izračun antropogenega onesnaženja (človeških dejavnosti) moramo poznati število prebivalcev v pojezerju. Vnos P (I_{PW}) iz poseljenih območij izračunamo z naslednjo enačbo:

Z množenjem zgoraj navedenih dejavnikov (vnos P, čiščenje odpadne vode,...) izračunamo po enačbi spodaj:

$$I_{PW} = E_{PW} * M_P * B_P * K_P * R_S \quad [mg / leto] \quad (18)$$

Kjer moramo upoštevati:

- vnos P brez predčiščenja $E_{PW} = 800-1800$ g P/(preb. leto);
 E_{PW} povprečna = 1300 g P/(preb. leto),
- z mehanskim čiščenjem odpadne vode (M_P) odstranimo 10-15% hranil
- z biološkim čiščenjem odpadne vode (B_P) odstranimo 10-15% hranil
- s kemijskim usedanjem P (K_P) odstranimo 80% P
- upoštevamo retencijske koeficiente (R_S)

7.5 Vhodni podatki

Vhodni podatki enostavnega modela, ki sem jih uporabila:

- obremenitev s padavinami
- prispevna površina jezer
- vrsta prispevnih površin po posameznih jezerih
- površina jezer
- volumen jezer
- število prebivalcev v pojezerjih

- vrsta antropogenega onesnaževanja
- letne količine padavin na območjih jezer

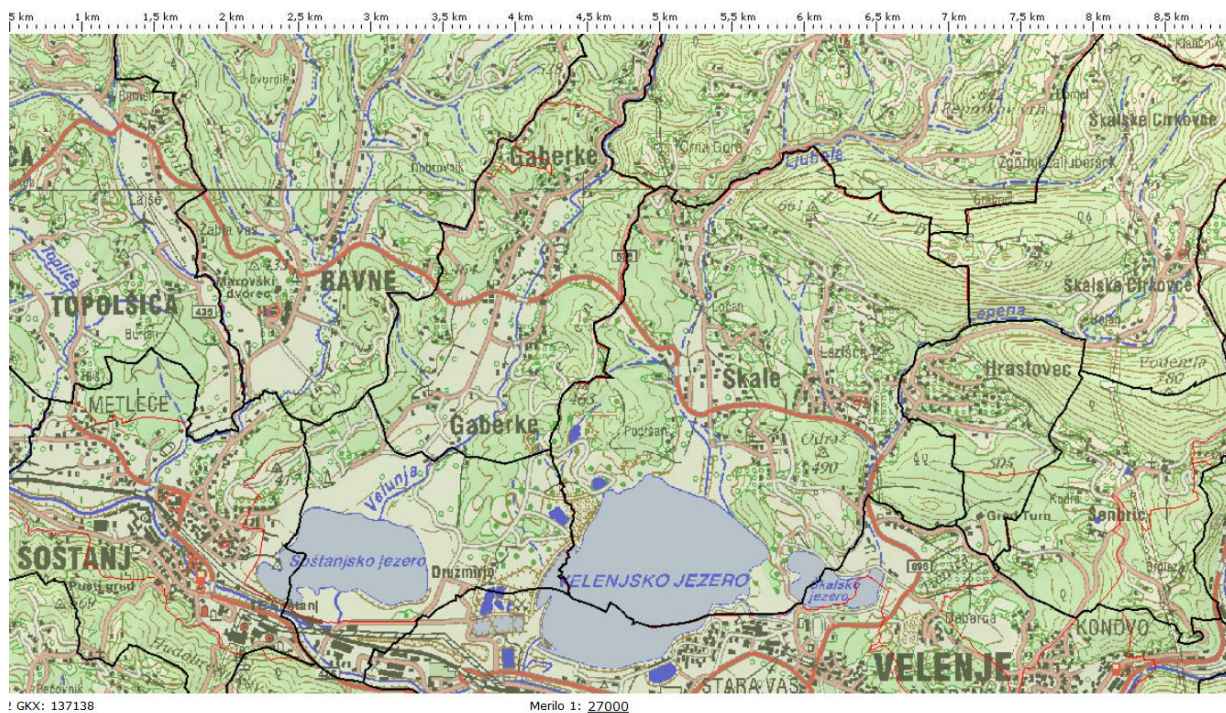
Površine in prostornine Šaleških jezer so podane v preglednici 5 ter grafično prikazane v prilogi D, kjer so razvidne tudi globine jezer. Območje jezer obsega več kot 2 km².

Obseg pojezerja Šaleških jezer:

- Velenjskega jezera 20,5 km²,
- Družmirskega jezera 33 km² in
- Škalskega jezera 10 km².

Prispevne površine glede na rabo tal so grafično prikazane v prilogi B. Prispevne površine sestavljajo gozdovi, kmetijske površine, travniki. Gozd je prevladujoča raba tal v vseh pojezerjih. Skupni delež gozdov v pojezerjih znaša 60,7% , 22,7% znaša skupni delež travnikov, na tretjem mestu so polja,njive.

Na kmetijski zemljiščih gojijo predvsem koruzo. Visoka je gostota živinoreje, kjer prevladujejo hlevi na izpiranje (Šterbenk in sod., 2011).



Slika 28: Lokacija jezer z okoliškimi kraji M 1: 27.000 (vir: <http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/>, pridobljeno 11.1.2013)



Slika 29: Območje Šaleških jezer - kartografska podlaga DOF 2010 M 1:15.000 (vir: <http://www.naravovarstveni-atlas.si> , pridobljeno 11.1.2013)

Naravni vnos fosforja v Šaleška jezera

Preglednica 9: Površine prispevnih površin v pojezerju

Prispevne površine	Površine[m ²]		
	Velenjsko jezero	Družmirsko jezero	Škalsko jezero
gozdovi	9.840.000	22.070.000	5.400.000
sadovnjaki	620.000	500.000	640.000
travniki	4.720.000	7.260.000	2.450.000
polja,njive	620.000	690.000	420.000
poselitev	164.000	722.700	800.000
jezera	3.075.000	1.386.000	170.000
ostalo	1.461.000	371.300	120.000
Skupaj	20.500.000	33.000.000	10.000.000

Preglednica 10: Vnos fosforja iz pojezerja

vrsta prispevne površine	I_{pt} [mgP/leto]		
	Velenjsko jezero	Družmirsko jezero	Škalsko jezero
gozdovi	46.248.000	103.729.000	25.380.000
sadovnjaki	11.160.000	9.000.000	11.520.000
travniki	212.400.000	326.700.000	110.250.000
polja,njive	37.820.000	42.090.000	25.620.000
Skupaj I_{Pt} [mgP/leto]	307.628.000	481.519.000	172.770.000
Skupaj I_{Pt} [tP/leto]	0,308	0,482	0,173

Vnos fosforja iz pojezerja izračunamo kot seštevek vnosov iz posameznih območij (enačba 16).

Naravni vnos fosforja s padavinami

Podatke za količino letnih padavin sem pridobila iz podatkovne baze ARSO (<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/archive/>) za leto 2010 (priloga E). Podatki so bili merjeni na merilni postaji Velenje in te podatke sem upoštevala za celotno območje modela. Podatki za leto 2011 so zajemali samo prvih devet mesecev, za leto 2012 pa niso bili niti na razpolago, zato sem se osredotočila na leto 2010. Podatek letne količine padavin v Velenju za leto 2010 je 1255,7 mm.

Preglednica 11: Vnos fosforja s padavinami

	I_{PP} [mgP/leto]		
	Velenjsko jezero	Družmirsko jezero	Škalsko jezero
A_S [m ²]	1.433.900,00	738.400,00	164.900,00
C_{PP} [mgP/l]	0,07	0,07	0,07
P [mm]	1,26	1,26	1,26
I_{PP} [mgP/leto]	126.038,376	64.904,622	14.494,545
I_{PP} [tP/leto]	0,0001260384	0,000065	0,000014

Letni vnos fosforja s padavinami (I_{PP}) izračunamo na osnovi letne količine padavin (enačba 17).

Umetni vnos fosforja

Z izgradnjo kanalizacije v Šaleški dolini in s celovitim čiščenjem odpadnih voda se je vpliv naselij bistveno zmanjšal. V pojezerjih so naselja, kjer prevladujejo eno in dvodružinske

hiše s parcelami okrog 1000 m². Prebivalstvo se najbolj zgošča v večjih naseljih zaradi bližine zaposlitve in zaradi samega ugrezanja območja. Število prebivalcev v naseljih, ki ležijo v pojezerju, se je od leta 1948 do danes zmanjšalo, saj sta naselji Družmirje in Preloge »izginila« zaradi premogovništva. Iz ekološkega vidika vplivov na kakovost vode v jezerih pa je to ugodno. Dejansko je gostota poselitve zelo različna. Škalsko pojezerje je najgostejše naseljeno, gostota v družmirskem pojezerju pa je kar trikrat manjša od škalskega (Šterbenk in sod., 2011).

Preglednica 12: Število prebivalcev v pojezerskih naseljih (vir: povzeto po Šterbenk in sod., 2011)

	1948	2011
Družmirje	498	/
Gaberke	345	684
Hrastovec	336	352
Plešivec	439	424
Preloge	144	/
Ravne	912	1.092
Škale	680	883
Škal. Cirkovce	146	155
Spodnji Razbor	371	217
Zgornji Razbor	240	129
Skupaj	4.111	3.936

Skupna količina hrani vnesenih v Šaleška jezera

Skupno količino izračunamo kot seštevek hranil naravnega in antropogenega vnosa. Pri seštevkcu nisem upoštevala antropogenega vnosa v jezera, ker je območje dobro urejeno s komunalno opremljenostjo in je vpliv prebivalstva zanemarljiv.

Kot dodaten vnos hranil v jezera sem upoštevala dotoke v jezera. Podatki o pretokih in koncentraciji P_{tot} so dobljeni iz poročila za leto 2010 Inštituta za ekološke raziskave, ERICo Velenje. Vrednosti so povprečja zimskih in poletnih meritev v letu 2010 na vtokih v jezera.

Preglednica 13: Obremenitev jezera z dotoki

Jezero	Dotok	Q_{sr}	P_{tot}	I_{Pd}	I_{Pd}
		[m ³ /s]	[mg/l]	[P kg/leto]	[P t/leto]
Velenjsko jezero	Lepena	0,09	0,3	851,472	0,851
	Sopota	0,09	0,42	1192,061	1,192
	Skupaj	0,18	0,72	2043,533	2,044
Družmirsko jezero	Velunja	0,102	0,735	2364,254	2,364
Škalsko jezero	Lepena	0,09	0,3	851,472	0,851

Obremenitev jezera z dotokom je (I_{Pd}) izračunana po spodnji enačbi:

$$I_{Pd} = Q * P_{tot} \quad [kg/leto], \quad (19)$$

kjer je:

Q pretok [m³/s],

P_{tot} koncentracija fosforja [mg/l ali g/m³].

Preglednica 14: Skupni vnos fosforja vnesenega v jezera

	I_P [t P/leto]		
	Velenjsko jezero	Družmirsko jezero	Škalsko jezero
I_{pt}	0,308	0,482	0,173
I_{pp}	0,000100	0,000052	0,000012
I_{pd}	2,044	2,364	0,851
Skupaj	2,351	2,846	1,024

Skupno količino hranil vnesenih v jezero izračunamo tako, da seštejemo naravni vnos P iz pojezerja (I_{Pt}), naravni vnos P v jezero s padavinami (I_{Pp}), ter umetni vnos P v jezero (I_{Pw}), v našem primeru moramo upoštevati še dodatno obremenitev dotokov v jezero (I_{Pd}) (enačba 20).

$$I_P = I_{Pt} + I_{Pp} + I_{Pw} + I_{Pd} \quad [mg/leto], \quad (20)$$

S pomočjo Vollenweiderjeve formule so bile izračunane koncentracije totalnega fosforja

$$[P] = \frac{L}{z/T_w(1+\sqrt{T_w})} \quad (21)$$

kjer so:

P koncentracija totalnega fosforja v jezeru [mgP/m^3],

L_{tot} vnos fosforja v pritoke jezera [kgP/leto],

L vnos fosforja v jezero [$\text{mgP}/\text{m}^2\text{leto}$]; $L = L_{\text{tot}}/A$,

T_w zadrževalni čas jezera [leto]; $T_w = V/Q$,

z srednja globina jezera [m],

A površina jezera [m^2],

Q letni dotok v jezero [m^3/leto],

V prostornina jezera [m^3],

q_s [m/leto]; $q_s = z/T_w$.

Preglednica 15: Izračunane vrednosti koncentracije fosforja za Šaleška jezera

	V [m^3]	A [m^2]	z [m]	T_w [leto]	q_s [m/leto]	P [mg/l]	Chl_a [mg/l]
Velenjsko jezero	32000000	1433900	23,42	2,42	9,69	66,22	15,68
Škalsko jezero	960000	164900	5,56	0,19	29,22	17,02	4,25
Družmirsko jezero	19080000	738400	27,88	0,82	33,87	30,73	7,50

8 UGOTOVITVE

Fosfor je element, ki v večini jezer zmernega pasu določa nivo produkcije fitoplanktona ter s tem vpliva na produktivnost celotnega jezerskega sistema (Ramšak, 2011). Glavni viri fosforja so odpadne vode iz gospodinjstev, gnojenje,....

8.1 Meritev fosforja za Šaleška jezera

Ker sem lahko razpolagala s podatki v poročilu Raziskav in spremljanja kakovosti jezer v Šaleški dolini iz leta 2010 Inštituta za ekološke raziskave ERICa Velenje, sem pri Šaleških jezerih izpostavila fosfor saj je najpogosteje omejitveno hranilo v sladkovodnih ekosistemih.. Ker je pomemben povzročitelj slabšanja kakovosti voda v današnjem času predvsem intenzivno kmetijstvo in urbanizacija so Šaleška jezera idealen primer, kjer so vidni in raziskani učinki hranil dušikovih in fosforjevih spojin na vodni ekosistem. Meritve koncentracij totalnega fosforja V Šaleških jezerih so povzete v prilogi C, D in E.

Preglednica 16: Povprečne vrednosti fosforja v Škalskem jezeru med leti 2003 - 2010 (vir: Ramšak, 2011)

Leto	Skupni fosfor [µgP/l]	Stopnja trofičnosti po OECD klasifikaciji
2003	81	evtrofno
2004	114	hipertrofno
2005	81	evtrofno
2006	168	hiperevtrofno
2007	47	evtrofno
2008	45	evtrofno
2009	52	evtrofno
2010	36	evtrofno

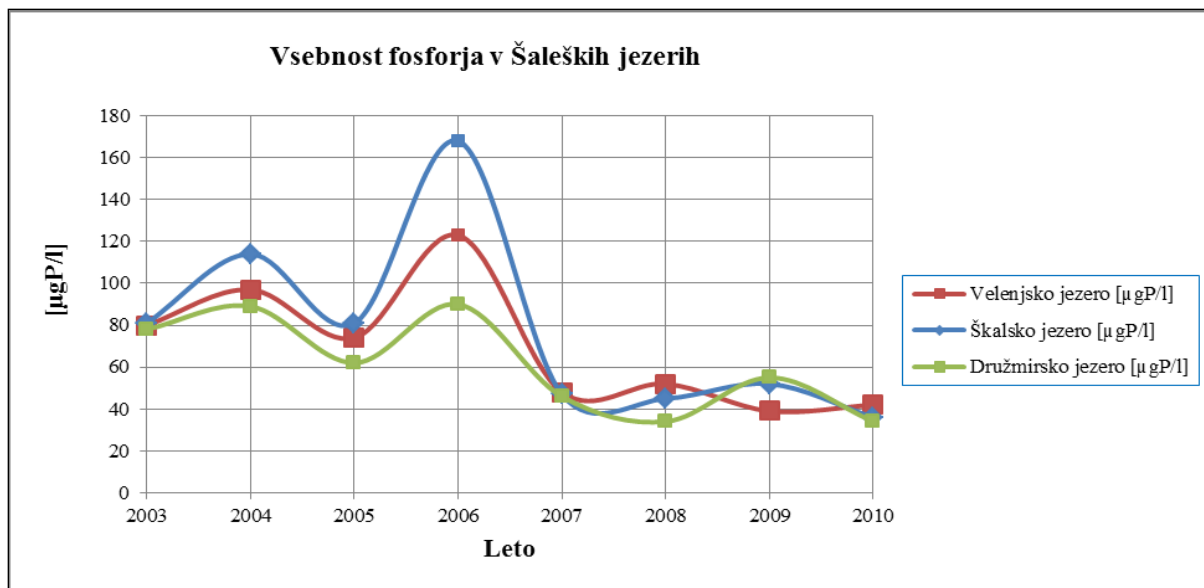
Preglednica 17: Povprečne vrednosti fosforja v Velenjskem jezeru med leti 2003 - 2010 (vir: Ramšak, 2011)

Leto	Skupni fosfor [µgP/l]	Stopnja trofičnosti po OECD klasifikaciji
2003	80	evτροφno
2004	97	evτροφno
2005	74	evτροφno
2006	123	hiperevτροφno
2007	48	evτροφno
2008	52	evτροφno
2009	39	evτροφno
2010	42	evτροφno

Preglednica 18: Povprečne vrednosti fosforja v Družmirskem jezeru med leti 2003 - 2010 (vir: Ramšak, 2011)

Leto	Skupni fosfor [µgP/l]	Stopnja trofičnosti po OECD klasifikaciji
2003	78	evτροφno
2004	89	evτροφno
2005	62	evτροφno
2006	90	evτροφno
2007	46	evτροφno
2008	34	mezotrofno
2009	55	evτροφno
2010	34	mezotrofno

Po vsebnosti fosforja (Grafikon 1) bi lahko skoraj vsa Šaleška jezera po OECD kriterijih za uvrstitev jezer v trofične kategorije uvrstili med evτροφna jezera. Izjemi sta bili Velenjsko jezero v letu leta 2006, saj povečana vrednost 123 µgP/l kaže uvrstitev jezera med hiperevτροφno, prav tako istega leta Škalsko jezero s 168 µgP/l. V Družmirskem jezeru je bila izmerjena vrednost v letih 2008 in 2010 34 µgP/l za kar ga lahko uvrstimo med mezotrofna jezera.



Grafikon 1: Letne povprečne vrednosti fosforja v Šaleških jezerih

Če primerjam Šaleška jezera z naravnimi jezeri kot sta npr. Blejsko in Bohinjsko jezero, najbolj izstopajo prav visoke vsebnosti fosforja. Blejsko jezero je imelo leta 2008 vrednosti 11 µgP/l, Bohinjsko pa istega leta vrednosti 3,6 µgP/l. Po vsebnosti fosforja po OECD kriterijih za uvrstitev jezer v trofične kategorije je bilo Blejsko jezero uvrščeno v mezotrofno, Bohinjsko jezero pa v ultra-oligotrofno jezero.

8.2 Model fosforja za Šaleška jezera

Preglednica 19 prikazuje razvrščanje jezer po stopnji trofičnosti po Vollenweider-ju (preglednica 4) in po OECD klasifikaciji (preglednica 3). Model nam pokaže, da so jezera preobremenjena s totalnim fosforjem. Tako nam pokaže, da so jezera v evτροφnem in mezotrofnem stanju.

Rezultati so primerjani z meritvami, ki jih opravlja Inštituta za ekološke raziskave, ERICo Velenje v okviru rednih letnih monitoringov. Rezultati so lahko primerljivi in bi minimalno odstopali ob primeru natančnejših vhodnih podatkov. Zaradi pomanjkljivega zajema podatkov se modelu avtomatično zmanjša zanesljivost.

Slabost enostavnih modelov je velika poenostavitev nekaterih karakteristik; kvalitetni podatki meritev pa so ključnega pomena za dobre rezultate modela.

Prednost enostavnega modela je v tem, da dobimo okvirno oceno stanja ter se na podlagi te ocene lahko odločimo za morebitne nadaljnje ukrepe.

Preglednica 19: Razvrstitev jezer glede na stanje trofičnosti

	Velenjsko jezero	Družmirsko jezero	Škalsko jezero
meritve 2010 [$\mu\text{gP/l}$]	42	34	36
Stopnja trofičnosti po OECD klasifikaciji	evτροφno	mezotrofno	evτροφno
Stopnja trofičnosti po Vollenweider	evτροφno - politrofno	evτροφno - politrofno	evτροφno - politrofno
model [$\mu\text{gP/l}$]	66	31	17
Stopnja trofičnosti po OECD klasifikaciji	evτροφno	evτροφno	mezotrofno
Stopnja trofičnosti po Vollenweider	evτροφno - politrofno	evτροφno - politrofno	mezotrofno - evτροφno

9 ZAKLJUČEK

Industrijski odpadki, izpiranje kmetijskih površin in kanalizacija lahko močno onesnažujejo jezera s hranili, kemikalijami, strupenimi snovmi, zato je kvaliteta jezerske vode povsod po svetu zaskrbljujoča. Reke imajo stalni velik pretok, medtem ko voda v jezerih ostaja mesece in leta in jo je zato toliko lažje onesnažiti. Zaradi dolgega zadrževalnega časa je tako kvaliteta vode lahko zelo hitro degradirana. Zato je na splošno potrebno posvetiti veliko pozornost strokovnemu upravljanju ne le samih jezer, pač pa tudi njihovemu celotnemu prispevnemu območju.

Rezultati modela nam pokažejo, da so šaleška jezera preobremenjena s totalnim fosforjem. Razvrščeni so po stopnji trofičnosti po Volleneweide-ju in po OECD klasifikaciji. Šaleška jezera so tako v evτροφnem in mezotrofem stanju. Rezultati so primerjani z analizami, ki jih opravlja Inštitut za ekološke raziskave, ERICo Velenje v okviru rednega monitoringa. Rezultati, ki smo jih izračunali z modelom, so lahko primerljivi in bi ob razpolaganju z natančnejšimi podatki lahko bili še bolj točni.

Vsa Šaleška jezera, še posebno Velenjsko in Družmirsko, se v zadnjih štirih letih pospešeno evτροφizirajo. Tako se komunalne odpadne vode v neposrednem jezerskem zaledju skoraj v celoti zbirajo in prečrpavajo v centralni kolektor, ki vodi do Centralne čistilne naprave Šaleške doline, ki se nahaja v Šoštanju. Kanalizacijski sistem ima pomanjkljivost, da nima zadrževalnikov visokih voda, zato se ob deževjih razredčena komunalna odpadna voda preliva v jezera.

V današnjem času so nam na voljo nove razvite oblike očiščenja degradiranega območja in eno izmed teh je tudi ekoremediacija (EMR), ki vključuje procese in sisteme, ki potekajo v naravnih in umetnih ekosistemih, obnavljajo ali ščitijo okolje.

Za upočasnitev evτροφikacije jezer oz. za zmanjšanje vnosa hranilnih snovi, organskih snovi in drugih onesnaževal v jezera bi lahko pripomogli naslednji ukrepi:

- da bi se ob kmetijskih površinah, sadovnjakih in travnikih uredile manjše bariere ali mejice; ob pritokih Lepene, Sopote in Velunje, bi lahko uredili vegetacijski pas, saj se s tem zmanjša vnos onesnaževal in razpršenih virov onesnaževanja.
- da bi dosledno upoštevali pet metrski varstveni pas ob vodotokih in jezerih, ter skrbeli za urejenost in nepropustnost gnojišč
- da bi se izgradil zadrževalno-razbremenilni bazen za visoke vode na kanalizacijskem sistemu,

- da bi odstranjevali makrofite v Velenjskem jezeru, katero ima dve pomembni vlogi in sicer odstranjevanje hranil iz jezer in odstranjevanje prekomerne biomase rastlin, s čimer bi se posledično izboljšal estetski videz samega jezera.

Spreminjanje Šaleških jezer še ni v celoti zaključeno, kajti nadaljnje izkopavanje se bo nadaljevalo še pod Družmirskim in Velenjskim jezerom, s tem pa tudi ugrezanje površja ter s tem povezane hidrološke spremembe.

V celoti je mogoče reči, da je v razvoju Šaleške doline vse več in več poudarka na varovanju okolja, kar odpira možnosti za skrb in sanacijo do nedavno enih naših najbolj degradiranih območij.

K poznavanju okoljske problematike Šaleške doline in njenemu reševanju je v zadnjih več kot dvajsetih letih pripomogel Inštitut za ekološke raziskave Erico Velenje, ki z rednimi monitoringi omogoča učinkovitejše in hitrejše okoljevarstvene ukrepe.

Zavedanje o pomenu naravnega bogastva za sedanost in prihodnost ter splošna odločnost za njegovo ohranitev sta nujna pogoja za uresničevanje naravovarstvenih namenov in ciljev. Izjemna, pa čeprav dediščina, ki je nastala zaradi posledic premogovništva, katero predstavljajo Škalsko, Velenjsko in Družmirsko jezero tudi s številnimi ogroženimi živalskimi in rastlinskimi vrstami, pomeni pravo bogastvo, ki se ga žal največkrat le komaj zavedamo.

VIRI

ARSO 2008. Kakovost voda v Sloveniji. Agencija RS za okolje: str. 30

<http://www.arso.gov.si/vode/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/kakovost%20voda/Kakovost%20voda-SLO.pdf> (Pridobljeno 11. 2. 2012.)

Atanasova, N. 2005. Priprava in uporaba ekspertnega predznanja za avtomatizirano modeliranje vodnih ekosistemov. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba N. Atanasova): 72 str.

Eutrophication of Waters (OECD). 2012.

<http://lakes.chebucto.org/TPMODELS/OECD/oecd.html#preamble> (Pridobljeno 2. 2. 2012.)

Diagrami verjetnostne porazdelitve. 2012.

<http://lakes.chebucto.org/TPMODELS/OECD/probability.html#vollenweider> (Pridobljeno 17. 11. 2012.)

Drev, D., Kovač, M., Panjan, J. 2009. Ocena masnih obremenitev Cerknškega jezera s hranili. Gradbeni vestnik. 58, 5: 114-122.

<http://www.zveza-dgits.si/ocena-masnih-obremenitev-cerkniškega-jezera-s-hranili>
(Pridobljeno 2. 2. 2012.)

Gradišar, B. 2008. Vpliv prispevnega območja in gospodarjenja z jezerom na evτροφne in sukcesijske procese v jezerskem ekosistemu – primer ribnikov v dolini Drage pri Igu. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba B. Gradišar): 146 str.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/95/> (Pridobljeno 5. 12. 2012.)

Jørgensen, S.E., Vollenweider, R.A. 1989. Guidelines of lake management. Volume 1. Principles of Lake Management. Kusatsu, ILEC: 195 str.

Jørgensen, S.E., Bendoricchio, G. 2001. Fundamentals of Ecological Modelling, 3rd Edition. Developments in environmental modelling. Netherlands, Elsevier: 525 str.

Korelacije med dušikom in fosforjem. 2012.

<http://www.chebucto.ns.ca/ccn/info/Science/SWCS/TPMODELS/OECD/correlations.html#correlations> (Pridobljeno 15. 9. 2012.)

Mičić, T. 2006. Matematični model kakovosti treh ribnikov v mariborskem Mestnem parku. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba T. Mičić): 81 str.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/716/> (Pridobljeno 10. 11. 2012.)

Ovčjak, M. 2012. Spremembe kakovosti hidrosfere v Šaleški dolini. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Ovčjak): 72 str.

Panjan, J. 2004. Osnove zaščite voda. Študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: loč.pag.

Ramšak, R. 2006. Raziskave in spremljanje kakovosti jezer v Šaleški dolini, poročilo za leto 2005. Velenje, ERICo Velenje, Inštitut za ekološke raziskave: 54 str.

Ramšak, R. 2011. Raziskave in spremljanje kakovosti jezer v Šaleški dolini, poročilo za leto 2010. Velenje, ERICo Velenje, Inštitut za ekološke raziskave: 71 str.

Shema oligotrofnega, mezotrofnega in evτροφnega jezera. 2012.

<http://michiganlakeinfo.com/files/2010/04/Lake-Water-Quality.pdf> (Pridobljeno 17. 11. 2012.)

Skubic, J. 2006. Vpliv obremenitve in morfologije jezera na kakovost jezera. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba J. Skubic): 59 str.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/852/> (Pridobljeno 10. 11. 2012.)

Škofljanec, A. 2005. Vpliv pojezerja na kakovost jezera-primer akumulacije Padež s Suhorko. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba A. Škofljanec): 72 str.

Šterbenk, E. 1999. Šaleška jezera. Vplivi premogovništva na pokrajinsko preobrazbo Šaleške doline. Velenje, Založništvo Pozoj Velenje: 192 str.

Šterbenk, E., Ramšak, R., Bole, M. idr. 2011. Šaleška jezera - vodni vir in razvojni izziv : končno poročilo. Velenje, ERICo Velenje, Inštitut za ekološke raziskave: 254 str.

Tarman, K. 1992. Osnove ekologije in ekologija živali, 1. izd. Ljubljana, Državna založba Slovenije: 547 str.

Toman, M. J. 2001. Osnove ekologije celinskih voda. Skripta pri predmetu Osnove vodne mikrobiologije, drugi letnik študija Vodarstva in komunalnega inženirstva. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: loč.pag.

Toman, M. J. 2008. Vodni ekosistemi - struktura in funkcija. V: Ekosistemi - povezanost živih sistemov: mednarodni posvet biološka znanost in družba, Ljubljana, 2-3 oktober, 2008. Ljubljana: Zbornik prispevkov: str. 50-56.

www.zrssi.si/bzid/ekosistemi/gradiva/Zbornik_ekosistemi08.pdf (Pridobljeno 11. 1. 2013.)

Ugrezninska jezera v Šaleški dolini. 2012.

<http://zgs.zrc-sazu.si/sl-si/teletekst/06122005.aspx> (Pridobljeno 17. 11. 2012.)

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

Vrhovšek, D., Vovk Korže, A. 2007. Ekoremediacije. Maribor, Filozofska fakulteta, Mednarodni center za ekoremediacije: 128 str.

SEZNAM PRILOG:

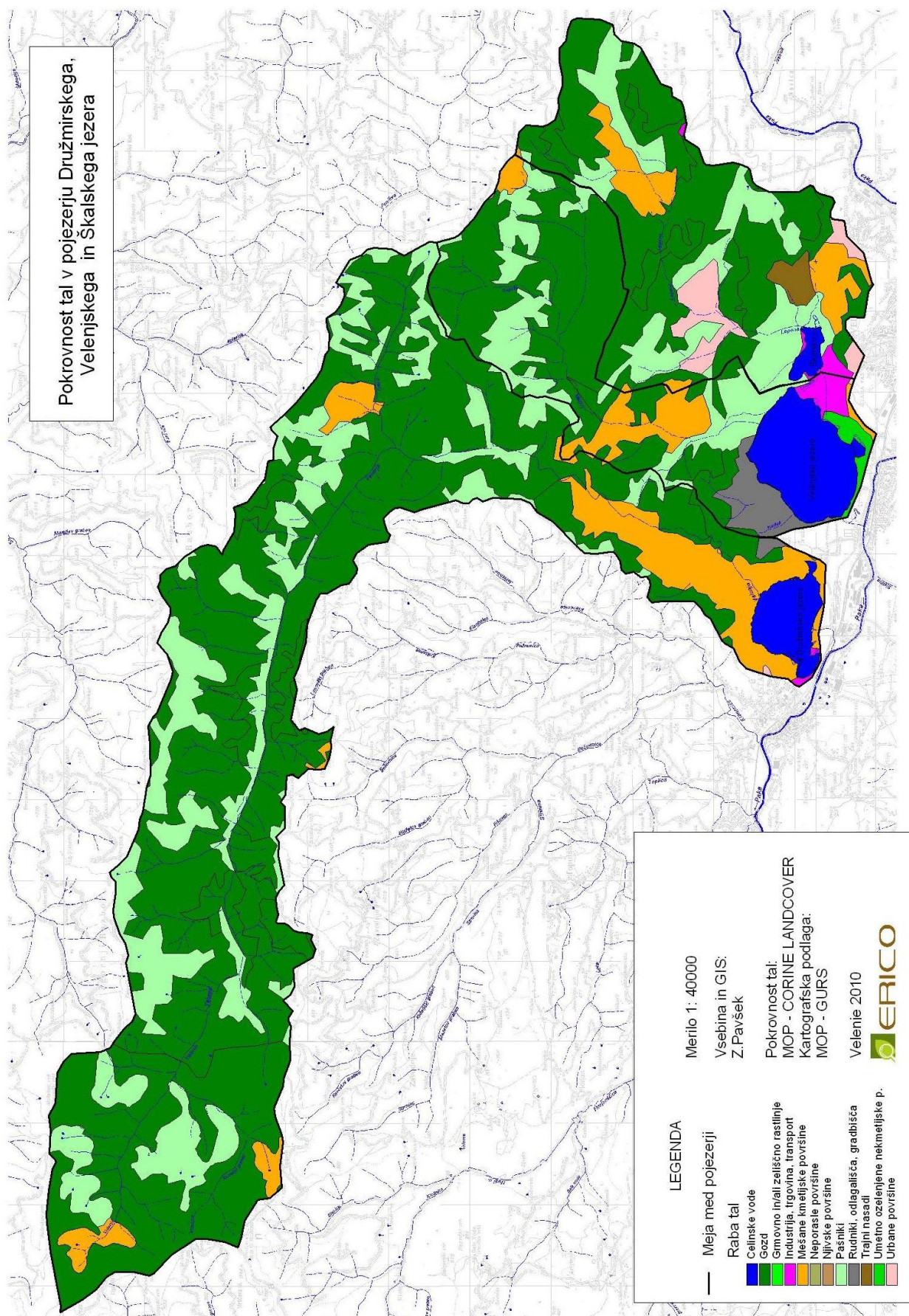
- PRILOGA A: POVPREČNE LETNE VREDNOSTI DUŠIKA IN FOSFORJA V ŠALEŠKIH JEZERIH PO PRIPOROČILIH OECD (1982) ZA UVRSTITEV JEZER V TROFIČNO STANJE
- PRILOGA B: KARTA POKROVNOSTI TAL V POJEZERJU ŠALEŠKIH JEZER
- PRILOGA C: MERITEV KONCENTRACIJE CELOKUPNEGA FOSFORJA V VELENJSKEM JEZERU V LETU 2010
- PRILOGA D: MERITEV KONCENTRACIJE CELOKUPNEGA FOSFORJA V DRUŽMIRSKEM JEZERU V LETU 2010
- PRILOGA E: MERITEV KONCENTRACIJE CELOKUPNEGA FOSFORJA V ŠKALSKEM JEZERU V LETU 2010
- PRILOGA F: BATIMETRIČNA KARTA VELENJSKEGA JEZERA 2012
- PRILOGA G: BATIMETRIČNA KARTA DRUŽMIRSKEGA JEZERA 2012
- PRILOGA H: BATIMETRIČNA KARTA ŠKALSKEGA JEZERA 2012
- PRILOGA I: LETNA KOLIČINA PADAVIN V VELENJU 2010

PRILOGA A: POVPREČNE LETNE VREDNOSTI DUŠIKA IN FOSFORJA V ŠALEŠKIH JEZERIH PO PRIPOROČILIH OECD (1982) ZA UVRSTITEV JEZER V TROFIČNO STANJE (vir: Ramšak, 2011)

Tip jezera	Skupni fosfor (µgP/l)	Anorganski dušik (µgN/l)	Povprečna prosojnost (m)	Minimalna prosojnost (m)	Klorofil A povp. (µg/l)	Klorofil A max. (µg/l)
Ultra –oligotrofno	do 4,0	do 200	nad 12,0	nad 6	pod 1	pod 2,5
Oligotrofno	nad 4,0-10,0	nad 200 - 400	pod 12-6	nad 3 - 6	od 1- 2,5	od 2,5 - 8
Mezotrofno	nad 10,0-35,0	300 - 650	pod 6-3	nad 1,5 –3	nad 2,5 - 8	nad 8 - 25
Evtrofno	nad 35,0-100	500 -1500	pod 3-1,5	nad 0,7 – 1,5	nad 8 - 25	nad 25 - 75
Hipertrofno	nad 100	Nad 1500	pod 1,5	pod 0,7	nad 25	nad 75
Velenjsko j. 2003	80,0	1200,0	5,9	5,3	1,6	5,4
Velenjsko j. 2004	97,0	1077,0	6,9	4,0	1,9	6,2
Velenjsko j. 2005	74,0	1160,0	6,2	5,0	2,0	3,6
Velenjsko j. 2006	123,0	660,0	7,4	6,5	1,3	6,0
Velenjsko j. 2007	48,0	726,0	5,4	3,7	1,8	13,0
Velenjsko j. 2008	52,0	1040,0	7,4	6,0	2,9	16,0
Velenjsko j. 2009	39,0	1561,0	8,3	4,3	2,1	14,3
Velenjsko j. 2010	42,0	815,0	6,1	2,5	0,8	3,9
Škalsko j. 2003	81,0	1482,0	1,5	1,0	7,8	35,0
Škalsko j. 2004	114,0	1354,0	1,3	0,9	9,4	58,5
Škalsko j. 2005	81,0	1535,0	1,5	1,0	13,5	197,0
Škalsko j. 2006	168,0	770,0	1,7	1,5	22,1	374,0
Škalsko j. 2007	47,0	1032,0	1,8	1,4	22,9	504,0
Škalsko j. 2008	45,0	1973,0	1,6	1,0	12,4	184,0
Škalsko j. 2009	52,0	1667,0	1,6	1,0	15,8	112,0
Škalsko j. 2010	36,0	1547,0	1,9	1,9	5,5	39,1
Družmirsko j. 2003	78,0	980,0	3,7	3,1	2,8	15,0
Družmirsko j. 2004	89,0	1108,0	3,4	2,0	2,4	9,0
Družmirsko j. 2005	62,0	1788,0	3,7	3,1	5,6	22,0
Družmirsko j. 2006	90,0	710,0	3,2	2,1	3,3	8,1
Družmirsko j. 2007	46,0	667,0	4,5	1,9	2,7	8,5
Družmirsko j. 2008	34,0	562,0	3,7	1,5	2,8	11,6
Družmirsko j. 2009	55,0	840,0	4,1	2,1	3,7	10,7
Družmirsko j. 2010	34,0	783,0	3,2	0,7	1,4	11,2

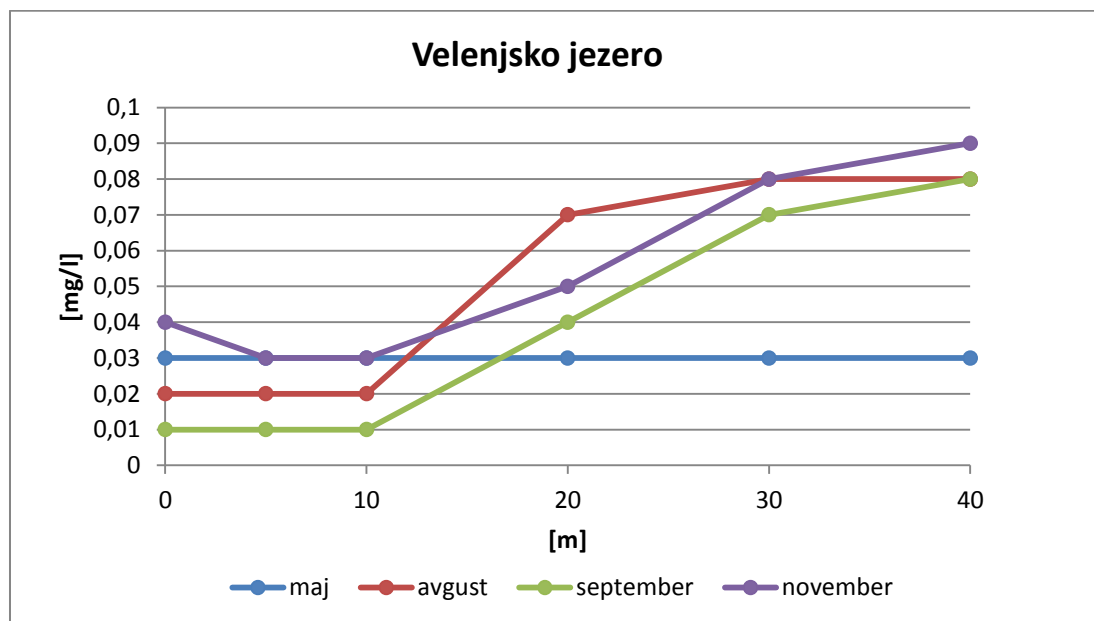
PRILOGA B: KARTA POKROVNOSTI TAL V POJEZERJU ŠALEŠKIH JEZER

(vir: Šterbenk in sod., 2011)



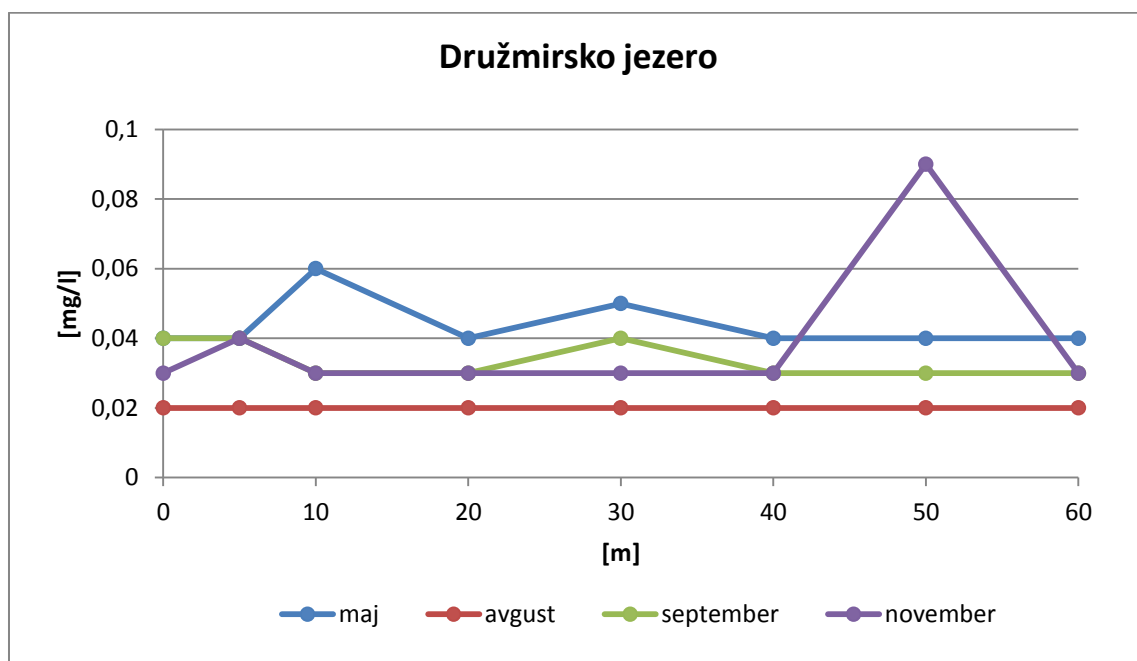
PRILOGA C: MERITEV KONCENTRACIJE CELOKUPNEGA FOSFORJA V VELENJSKEM JEZERU V LETU 2010

Datum	Enota	Globina [m]					
		0	5	10	20	30	40
maj.10	mg/L	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
avg.10		0,02	0,02	0,02	0,07	0,08	0,08
sep.10		0,01	0,01	0,01	0,04	0,07	0,08
nov.10		0,04	0,03	0,03	0,05	0,08	0,09



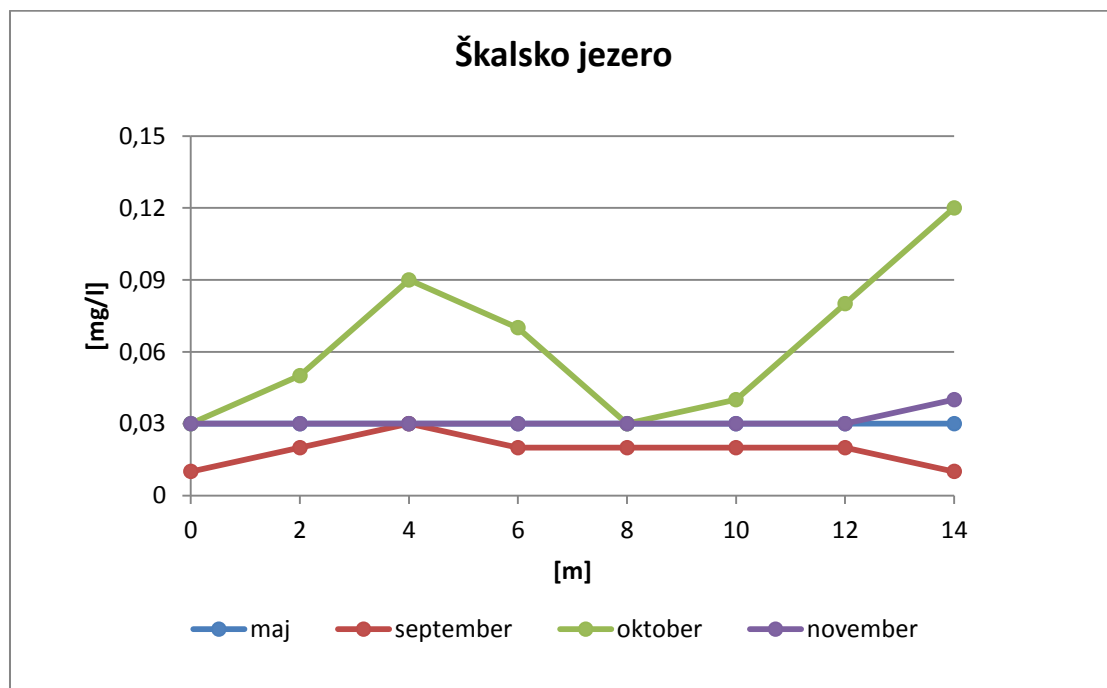
**PRILOGA D: MERITEV KONCENTRACIJE CELOKUPNEGA FOSFORJA V
DRUŽMIRSKEM JEZERU V LETU 2010**

Datum	Enota	Globina [m]							
		0	5	10	20	30	40	50	60
maj.10	mg/L	0,04	0,04	0,06	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04
avg.10		0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
sep.10		0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03
nov.10		0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,09	0,03



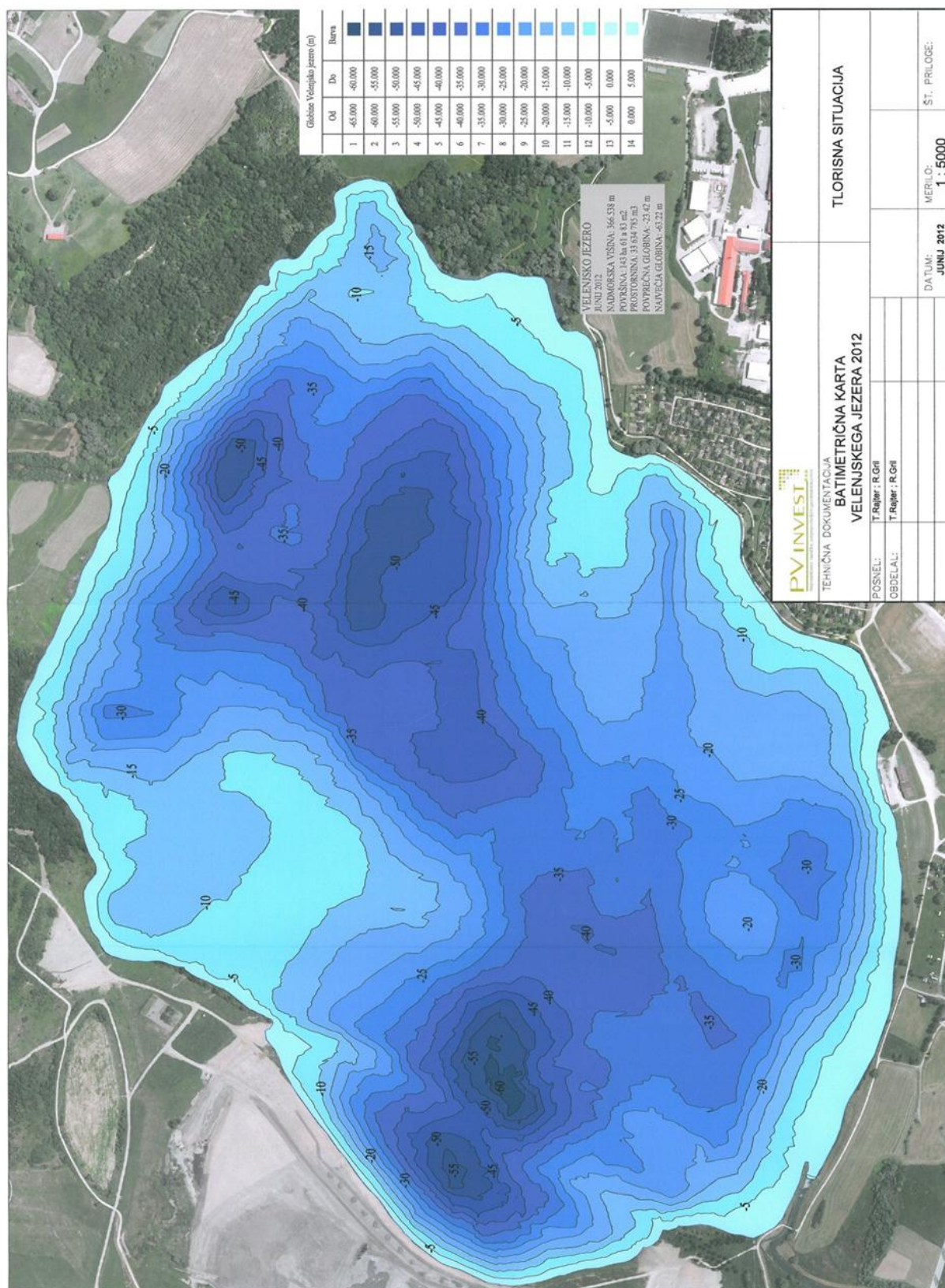
**PRILOGA E: MERITEV KONCENTRACIJE CELOKUPNEGA FOSFORJA V
 ŠKALSKEM JEZERU V LETU 2010**

Datum	Enota	Globina [m]							
		0	2	4	6	8	10	12	14
maj.10	mg/L	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
sep.10		0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
okt.10		0,03	0,05	0,09	0,07	0,03	0,04	0,08	0,12
nov.10		0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04



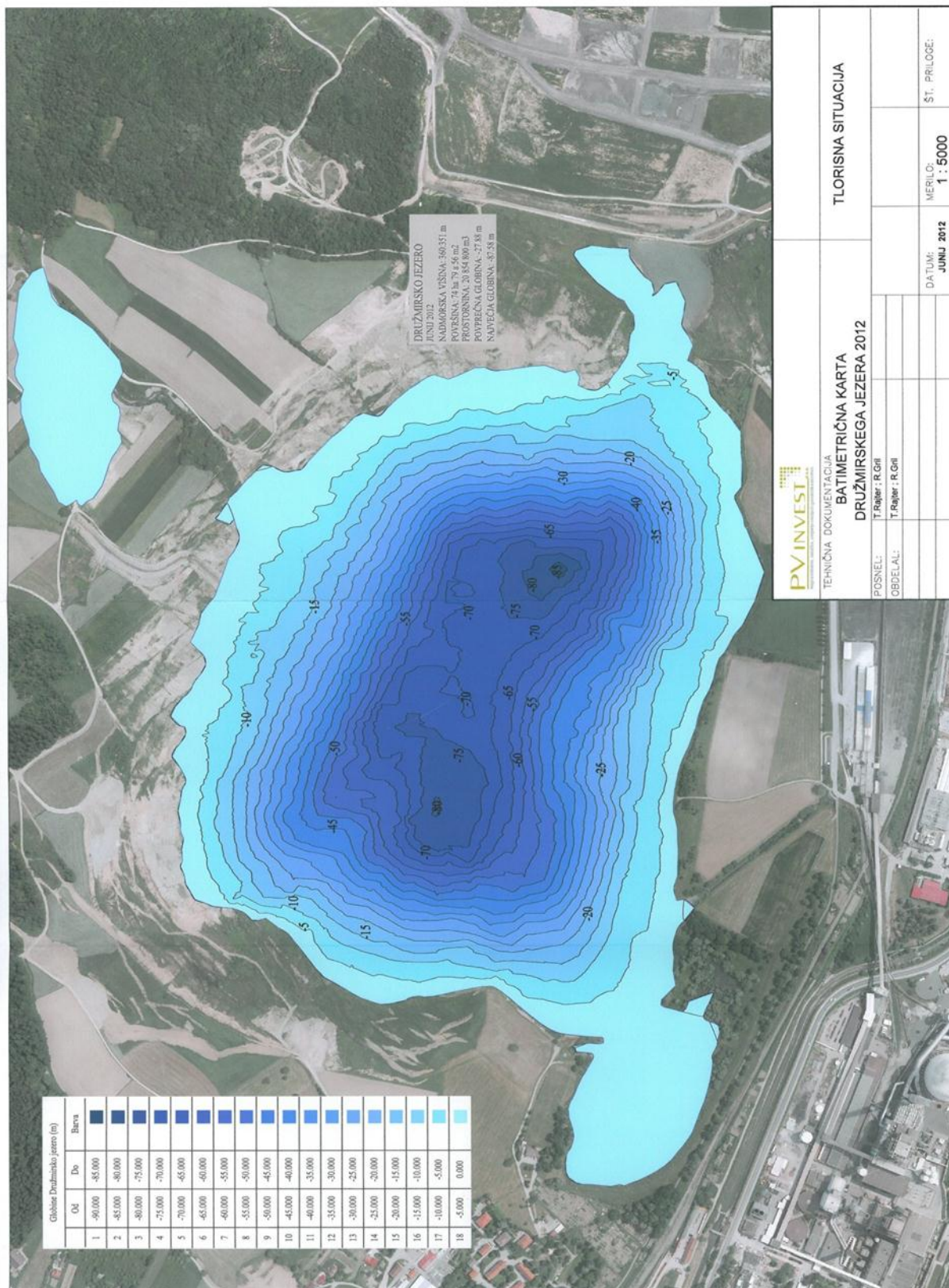
PRILOGA F: BATIMETRIČNA KARTA VELENJSKEGA JEZERA 2012

(vir: PV Invest, pridobljeno 5.12.2012)



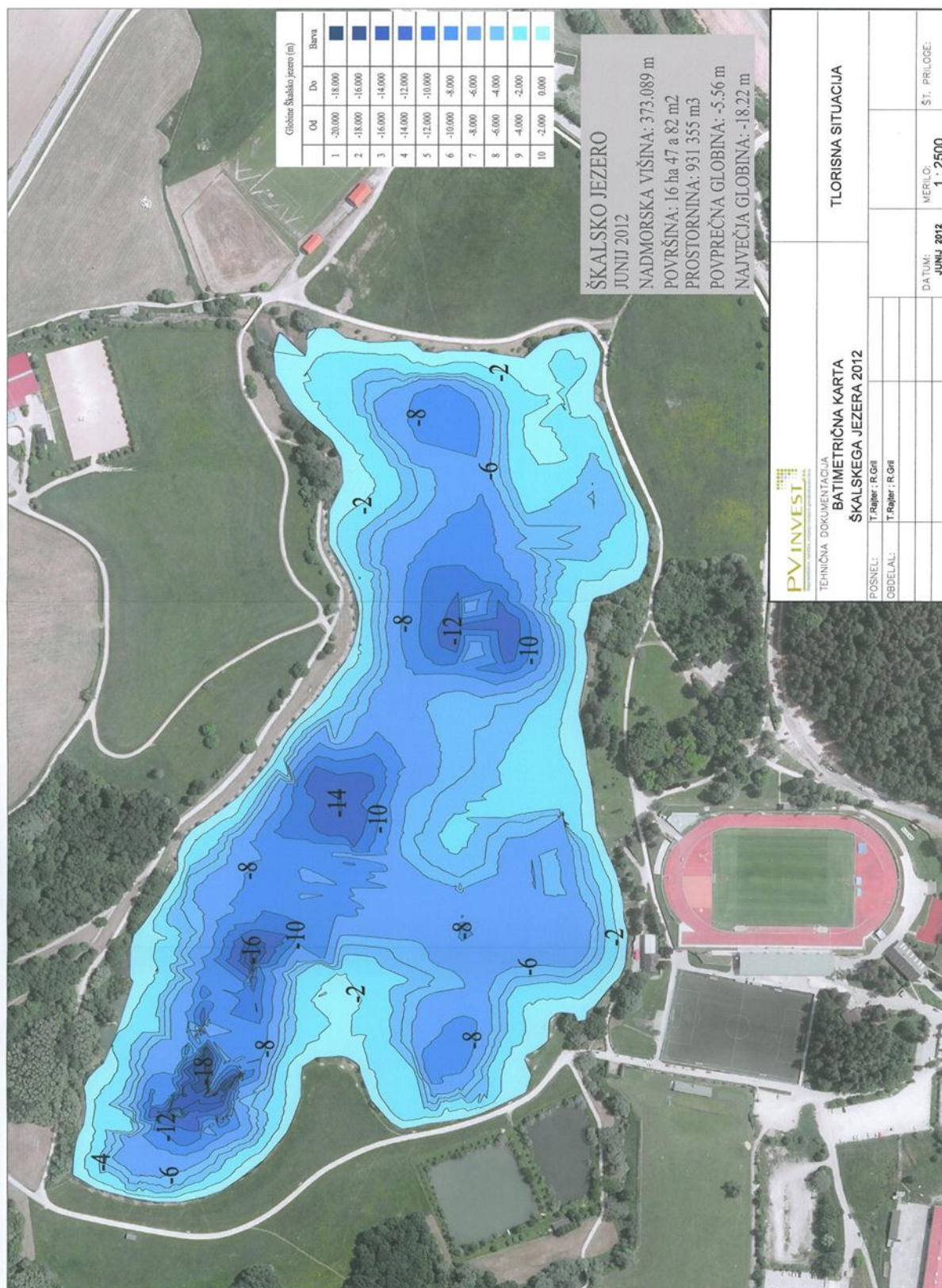
PRILOGA G: BATIMETRIČNA KARTA DRUŽMIRSKEGA JEZERA 2012

(vir: PV Invest, pridobljeno 5.12.2012)



PRILOGA H: BATIMETRIČNA KARTA ŠKALSKEGA JEZERA 2012

(vir: PV Invest, pridobljeno 5.12.2012)



PRILOGA I: LETNA KOLIČINA PADAVIN V LETU 2010

(vir: ARSO, pridobljeno 1.2.2012)

Obdobje	količina padavin [mm]
Januar	75,8
Februar	76,2
Marec	32,9
April	41,9
Maj	98,1
Junij	78,9
Julij	83,3
Avgust	172
September	269
Oktober	69,7
November	150,3
December	107,6
Skupaj [leto 2010]	1255,7

