

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Univerzitetni program Gradbeništvo,
Hidrotehniška smer

Kandidat:

Andrej Škofljanec

Vpliv pojezerja na kakovost jezera - primer akumulacije Padež s Suhorko

Diplomska naloga št.: 2860

Mentor:

prof. dr. Boris Kompare

Somentor:

mag. Zoran Stojič

Ljubljana, 22. 12. 2005

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 556.55:574.5(043.2)

Avtor: Andrej Škofljanec

Mentor: prof. dr. Boris Kopmare

Somentor: mag. Zoran Stojič

Naslov: Vpliv pojezerja na kakovost jezera – Primer akumulacije Padež s Suhorko

Obseg in oprema: 74 str., 28 tab., 26 sl., 44 en.

Ključne besede: hranila, erozija, površinski odtok, eutrofikacija

Izvleček

Namen te naloge je določitev količine hranil, ki se bo spirala v vodni zadrževalnik Padež s prispevnega območja. Obremenitev jezera s hranili se določi z merjenjem tako koncentracij kot pretokov na vtokih in iztokih jezera. Ker pa še ni bilo merjenih potrebnih podatkov za vzpostavitev masne bilance, smo določili obremenitve s hranili iz obstoječih podatkov v literaturi.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 556.55:574.5(043.2)

Author: Andrej Škofljanec

Supervisor: prof. dr. Boris Kompare

Supervisor: mag. Zoran Stojič

**Title: The influence of lake's watershed on the water quality – Case study impoundment
Padež with Suhorka**

Notes: 72 p., 28 tab., 26 fig., 44 eq.

Key words: nutrient, erosion, surface runoff, eutrofication

Abstract

The purpose of this work is to determine the quantity of nutrients that will be washed out from the catchment basin into the drinking water reservoir Padež. Determination of nutrient balances is possible by measurement of the concentrations and flows into and out of the reservoir. Because the needed data were not yet measured, we determined the nutrients' loads from the existing literature data.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD.....	1
1.1	Povodje Padež in Suhorka	4
2	PREDSTAVITEV PROBLEMA EVTROFIKACIJE	5
2.1	Hranila	5
2.1.1	Dušik	5
2.1.2	Fosfor	9
2.1.3	Ostali pomembni elementi in dejavniki	11
2.1.3.1	Kisik	11
2.1.3.2	Ogljikov dioksid	11
2.1.3.3	Svetloba	12
2.1.3.4	Temperatura	13
2.2	Evtrofnost jezera	14
2.2.1	Pojav evtrofikacije	14
2.2.2	Metode za izboljšanje kakovosti vode iz povodja	17
2.2.2.1	Viri hranil in evtrofikacija	18
2.2.3	Produktivnost jezera	19
2.2.4	Določanje trofičnosti jezera	20
2.2.4.1	Določanje stopnje trofičnosti po OECD kriterijih	22
2.2.4.2	Določanje stopnje trofičnosti po Carlsonu	25
3	PREDSTAVITEV POSTOPKA MATEMETIČNEGA MODELIRANJA	28
3.1	Splošno o modelih	28
3.2	Masna bilanca - osnova modelov evtrofnosti	29
3.2.1	Viri hranil	30
3.2.1.1	Vnos hranil v jezero, ki jo povzroči živina	31
3.2.2	Določitev obremenitve jezera	32
3.2.2.1	Določitev obremenitve iz podatkov o koncentraciji snovi in pretokih pritokov jezera	32

3.2.2.2	Določitev obremenitve s pomočjo empirično določenih vrednosti za vnos hranil v jezero	34
4	OPIS IZBRANIH MODELOV ZA DOLOČITEV KOLIČINE HRANIL V AKUMULACIJI	37
4.1	Moneris	37
4.1.1	Računanje odtoka hranil iz površine	38
4.1.2	Računanje dotoka hranil zaradi erozije	40
4.1.3	Model Danube	41
4.2	RUSLE	43
4.3	MUSLE	47
5	REZULTATI MODELOV.....	49
5.1	Določitev obremenitve jezera s P in N	49
5.1.1	Določitev obremenitve s pomočjo empirično določenih vrednosti za vnos hranil v jezero	49
5.1.2	MONERIS	51
5.1.3	RUSLE	55
5.1.4	MUSLE	56
5.1.5	Primerjava rezultatov obremenitve s P in N	57
5.2	Določitev stopnje trofičnosti	60
5.2.1	Določitev stopnje trofičnosti po letih	60
5.2.2	Določite stopnje trofičnosti po mesecih	64
6	DISKUSIJA	68
7	ZAKLJUČKI	70
VIRI		72
PRILOGE		74

KAZALO TABEL

- Tabela 1.1: Podatki o predvideni akumulaciji (IEI, 2003)
- Tabela 2.1: Določanje omejitvenega dejavnika glede na razmerje N : P (Rismal, 1985)
- Tabela 2.2: Metode za izboljšanje kakovosti vode iz povodja (Straškraba, 1993)
- Tabela 2.3: Parametri in trofične kategorije po OECD kriterijih (Zupan, 2001)
- Tabela 2.4: Klasifikacija jezer po Carlsonu (Sedej 2003, po Carlson, 1996)
- Tabela 3.1: Teža posamezne vrste domače živali ter število GVŽ na posamezno žival (Ur.l. RS, 1996)
- Tabela 3.2: Teža posamezne vrste domače živali ter število GVŽ na posamezno žival (Ur.l. RS, 1996)
- Tabela 3.3: Količina dušika v živinskih gnojilih, ki se pridobi na leto pri reji posamezne domače živali, preračunano na GVŽ (Ur.l. RS, 1996)
- Tabela 3.4: Količina vnosa hranil iz pojezerja (Jørgensen, Vollenweider, 1989)
- Tabela 3.5: Koncentracija hranil v padavinah (Jørgensen, Vollenweider, 1989)
- Tabela 3.6: Retencijski koeficienti, D = velikost zrn (Jørgensen, Vollenweider, 1989)
- Tabela 4.1: Izločanje P in N iz različnih virov (Danube PRP- Slovenija, German Federal Ministry of the Environment, 2003)
- Tabela 4.2: K faktor (RUSLE)
- Tabela 4.3: Primer določitve LS faktorja (RUSLE)
- Tabela 4.4: Vrednosti C faktorja za različne pokritosti in neravnosti območja (RUSLE)
- Tabela 4.5: Vrednosti P faktorja za naslednje okoliščine – 300 ft dolgo pobočje z 10 % naklonom v Lexingtonu, Kentucky (majhna možnost odtoka, RUSLE)
- Tabela 5.1: Količina vnosa hranil iz pojezerja (Jørgensen, Vollenweider, 1989)
- Tabela 5.2: Koncentracija hranil v padavinah (Jørgensen, Vollenweider, 1989)
- Tabela 5.3: Koncentracije hranil iz različnih površin (Behrendt, 2000)
- Tabela 5.4: Vsebnost hranil v vrhnji plasti obdelane in neobdelane zemljine (Behrendt, 2000)
- Tabela 5.5: Računanje s pomočjo empirično določenih vrednosti za vnos hranil v jezero
- Tabela 5.6: Računanje s pomočjo MONERIS
- Tabela 5.7: Računanje s pomočjo MUSLE
- Tabela 5.8: Podatki o akumulaciji Padež (IEI, 2003)

Tabela 5.9: Račun stopnje trofičnosti v jezeru na predpostavki, da ga polni voda s karakteristikami izračunanega površinskega odtoka po različnih letih

Tabela 5.10: Račun stopnje trofičnosti v jezeru na predpostavki, da ga polni voda s karakteristikami izračunanega odtoka zaradi erozije po različnih letih

Tabela 5.11: Račun stopnje trofičnosti v jezeru na predpostavki, da ga polni voda s karakteristikami izračunanega površinskega odtoka po mesecih

Tabela 5.12: Račun stopnje trofičnosti v jezeru na predpostavki, da ga polni voda s karakteristikami izračunanega odtoka zaradi erozije po mesecih

KAZALO SLIK

- Slika 1.1: Lokacija akumulacije Padež (Atlas Slovenije)
- Slika 1.2: Lokacija Padeža in Suhorke (Atlas Slovenije)
- Slika 2.1: Dušikov krog (Baca and Arnett, 1976)
- Slika 2.2: Odvisnost med deležem NH_3 , NH_4^+ , temperaturo in pH (UNESCO/WHO/UNEP, 1996)
- Slika 2.3: Fosforjev krog (Baca and Arnett, 1976)
- Slika 2.4: Ravnotežje različnih oblik fosfatov v neonesnaženi vodi v odvisnosti od pH (UNESCO/WHO/UNEP, 1996)
- Slika 2.5: Vpliv svetlobe - razslojitev v evtrofnem jezeru (prirejeno po Tarman, 1992)
- Slika 2.6: Vertikalni profil koncentracije kisika in fosfatov ter temperature v oligotrofnem (levo) in evtrofnem (desno) jezeru (prirejeno po Tarman, 1992)
- Slika 2.7: Verjetnost uvrstitve v razred trofičnosti glede na povp. prosojnost (OECD, 1982)
- Slika 2.8: Verjetnost uvrstitve v razred trofičnosti glede na totalni fosfor (OECD, 1982)
- Slika 2.9: Verjetnost uvrstitve v razred trofičnosti glede na povp. letni klorofil a (OECD, 1982)
- Slika 2.10: Verjetnost uvrstitve v razred trofičnosti glede na max. klorofil a (OECD, 1982)
- Slika 4.1: MONERIS (Behrendt, 2000)
- Slika 4.2: Izločanje dušika iz različnih virov (Danube PRP- Slovenija, German Federal Ministry of the Environment, 2003)
- Slika 4.3: Izločanje fosforja iz različnih virov (Danube PRP- Slovenija, German Federal Ministry of the Environment, 2003)
- Slika 4.4: Primer pobočja za določitev LS faktorja (RUSLE)
- Slika 5.1 Odvisnost koncentracije P od P zasičenosti zemljine (Behrendt, 2000)
- Slika 5.2: Količina N in P pri površinskem odtoku
- Slika 5.3: Količina N in P pri eroziji

Slika 5.4: Koncentracija totalnega fosforja v akumulaciji po letih za različne variante izračuna obremenitve

Slika 5.5: Koncentracija anorganskega dušika v akumulaciji po letih za različne variante izračuna obremenitve

Slika 5.6: Koncentracija klorofila a v akumulaciji po letih za različne variante izračuna obremenitve

Slika 5.7: Hidrogram povprečnih pretokov po mesecih v letih 1954, 1958 - 1969, 1971 – 1973 (IEI, 2003)

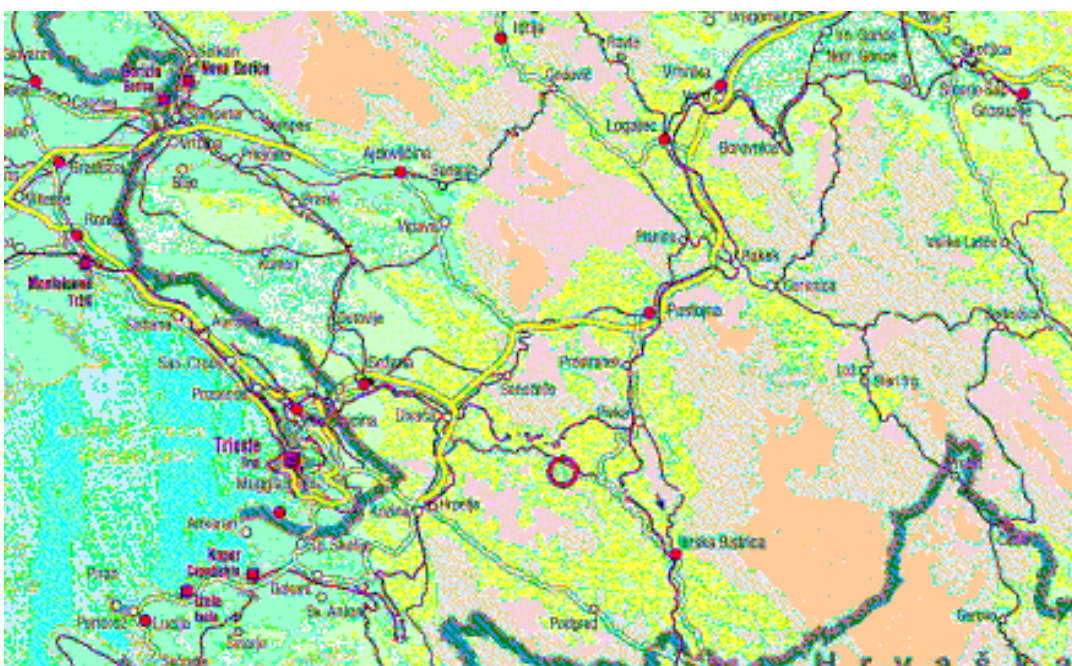
Slika 5.8: Koncentracija totalnega fosforja v akumulaciji po mesecih za različne variante izračuna obremenitve

Slika 5.9: Koncentracija anorganskega dušika v akumulaciji po mesecih za različne variante izračuna obremenitve

Slika 5.10: Koncentracija klorofila a v akumulaciji po mesecih za različne variante izračuna obremenitve

UVOD

Ena od variant za oskrbo Primorske s pitno vodo predvideva izgradnjo akumulacije na potoku Padež. Padež je levi pritok reke Reke v bližini naselja Buje, približno 12 km pred vtokom Reke v Škocjanske jame (glej slika 1.1). Rešitev predvideva izvedbo pregrade v najožjem delu doline, tik pod sotočjem potokov Padež in Suhorca. Zaježitev zato sega v dolino obeh vodotokov. Predvidena akumulacija Padež se nahaja v gričevnatem območju Brkinov, pregradni profil pa je predviden približno 1,2 km gorvodno od izliva Padeža v Reko.



Slika 1.1: Lokacija akumulacije Padež (Atlas Slovenije)

Tabela 1.1: Podatki o predvideni akumulaciji Padež (IEI, 2003)

1. skupna prostornina akumulacije	14.3 mio m ³
2. koristna prostornina za vodooskrbo	11.4 mio m ³
3. vodozbirno območje	43.7 km ²
4. površina poplavljenega zemljišča	80 ha
5. površina potrebnega zemljišča	120 ha
6. povprečna globina akumulacije	21 m

Akumulacija Padež s koristno prostornino 11,4 mio m³ nedvomno zadostuje za zelo dolgoročno obdobje (tudi po letu 2030), ne samo za potrebe slovenske Istre, ampak tudi pretežnega dela kraškega območja. Akumulacija Padež bi bila lahko večnamenska. Poleg osnovnega namena vodooskrbe bi bili možni tudi večji odjemi za namakanje, za bogatenje nizkih pretokov Padeža do izliva v Reko in predvsem reke Reke, kar ima poleg gospodarskega (turizem, ribištvo) predvsem tudi velik ekološki pomen za reko Reko in Škocjanske jame (Izvezeto iz IEI, 2003: Oskrba s pitno vodo slovenske Istre in zalednega kraškega območja, 6P-M95, II. Mapa).

Kakovost zajezone vode je za preskrbo s pitno vodo najpomembnejši podatek projekta pregrade iz več razlogov:

- Daje informacije o pričakovani kakovosti akumulirane vode in njeni primernosti za predelavo v pitno vodo.
- Iz teh podatkov je možno predvideti potrebne tehnologije za čiščenje pitne vode.
- Omogoča pravočasno predvideti obseg in način potrebnih del za sanacijo zaledja, ki so potrebna za zagotovitev takšne kakovosti akumulirane vode, ki je še spremenljiva za predelavo v pitno vodo v tehnološkem in ekonomskem pogledu.
- Prognoza kakovosti vode v akumulaciji je potrebna za pravočasno načrtovanje in izvedbo naprav za izboljšanje kakovosti biološkega minimuma, da se ohrani kakovost dolvodnega toka zajezone reke.
- Na osnovi prognoze kakovosti zajezone vode v globinskem profilu akumulacije je mogoče pravočasno načrtovati ukrepe za obseg in način potrebne umetne destratifikacije zajezone vode za njeno umetno ohlajevanje in ozračevanje, kar vse vpliva na pogonske in investicijske stroške predelave pitne vode in v končni fazi tudi na investicijske odločitve.

Za oceno kakovosti zajezone vode v akumulaciji Padež smo imeli na voljo zgolj hidrološke podatke o dotokih vode v akumulacijo, volumen, površino in globino načrtovane akumulacije (tabela 1.1), površine vodoprispevnega območja in podatke o poseljenosti prispevnih površin.

Ker ni potrebnih podatkov o kakovosti pritokov v akumulacijo, smo s pomočjo obstoječih podatkov v literaturi ocenili generacijo hranil, predvsem fosforja in dušika, ki v največji meri vplivata na stopnjo evtrofnosti zajezone vode in s tem na njeno primernost za predelavo v pitno vodo.

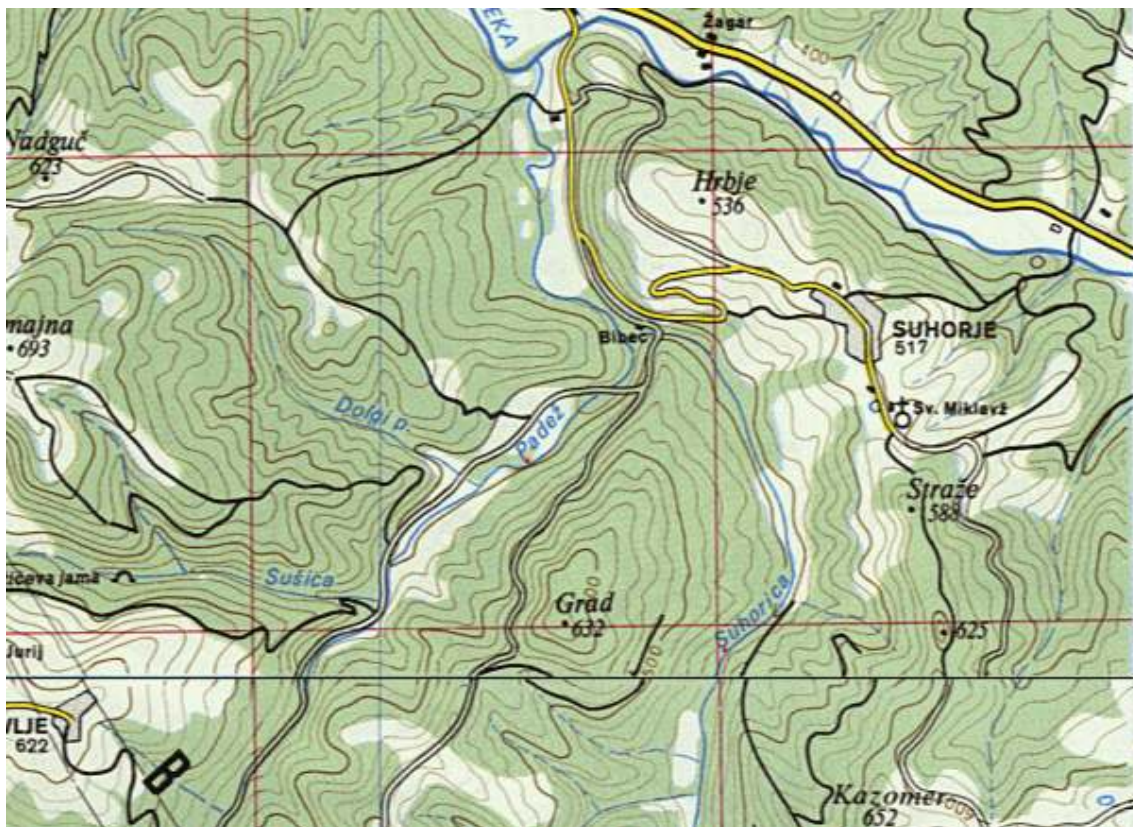
Na osnovi navedenih podatkov in naših izračunov smo s pomočjo OECD kriterija za določitev stopnje trofičnosti ocenili pričakovano stopnjo evtrofnosti zajezone vode za možne obremenitve vodne akumulacije, oziroma njenih pritokov s hranili - fosforjem in dušikom.

OECD kriterij obravnava stacionarne limnološke razmere v vodni akumulaciji, to je s časom konstantne obremenitve jezera s hranili in s stalnim letnim pretokom vodne akumulacije (dotok je enak odtoku iz akumulacije).

Kljub orientacijski vrednosti rezultatov te študije je mogoče s precejšnjo verjetnostjo napovedati evtrofni značaj akumulacije. S tem pa lahko tudi predvidimo vsebino in obseg sanacijskih del za preprečevanje nesprejemljivega kakovostnega stanja akumulirane vode.

1.1 Povodje Padež in Suhorka

Obrađnavano povodje se nahaja na JZ Slovenije v gričevnatem območju Brkinov (glej slika 1.2). Suhorka izvira pod Karlovico in se steka v Padež. Reka Padež pa izvira pod Stražo in se iz leve strani priključi reki Reki v bližini naselja Buje.



Slika 1.2: Lokacija Padeža in Suhorke (Atlas Slovenije)

Celotno vodozbirno območje obsega 43,7 km². V območju je 12 naselij, v katerih živi 524 prebivalcev. Na obrađnavanem območju je 200 govedov, 41 prašičev ter 6154 perutnine (IEI, 2003). V povodju ni glavnih cest, železnic in čistilne naprave za odpadne vode.

PREDSTAVITEV PROBLEMA EVTROFIKACIJE

Evtrofikacija pomeni obogatitev površinske vode s hranili, ki pospešuje rast alg in višjih vodnih rastlin. Možna je v vseh pojavnih oblikah vode: rekah, jezerih, morju,...

Hranila

Hranila sestavljajo predvsem dušikove in fosforjeve spojine. Pomembna elementa, ki vplivata na količino hranil v vodi sta kisik in ogljikov dioksid. Dejavniki, ki tudi vplivajo na količino hranil v vodi pa sta svetloba in temperatura. Sledi opis posameznih elementov in dejavnikov.

Dušik (N)

Komponente dušika

Dušik je pomemben za žive organizme kot sestavni del beljakovin in dednega materiala. Rastline in nekateri specialni mikroorganizmi spreminjajo anorganski dušik v organskega. Anorganski dušik se v dušikovem krogu preko organskih in anorganskih transformacij pojavlja kot nitrat (NO_3^-), nitrit (NO_2^-), amonijev ion (NH_4^+) in molekularni dušik (N_2). Dušik je v dušikovem krogu podvržen številnim organskim in anorganskim transformacijam (glej Slika 2.1).

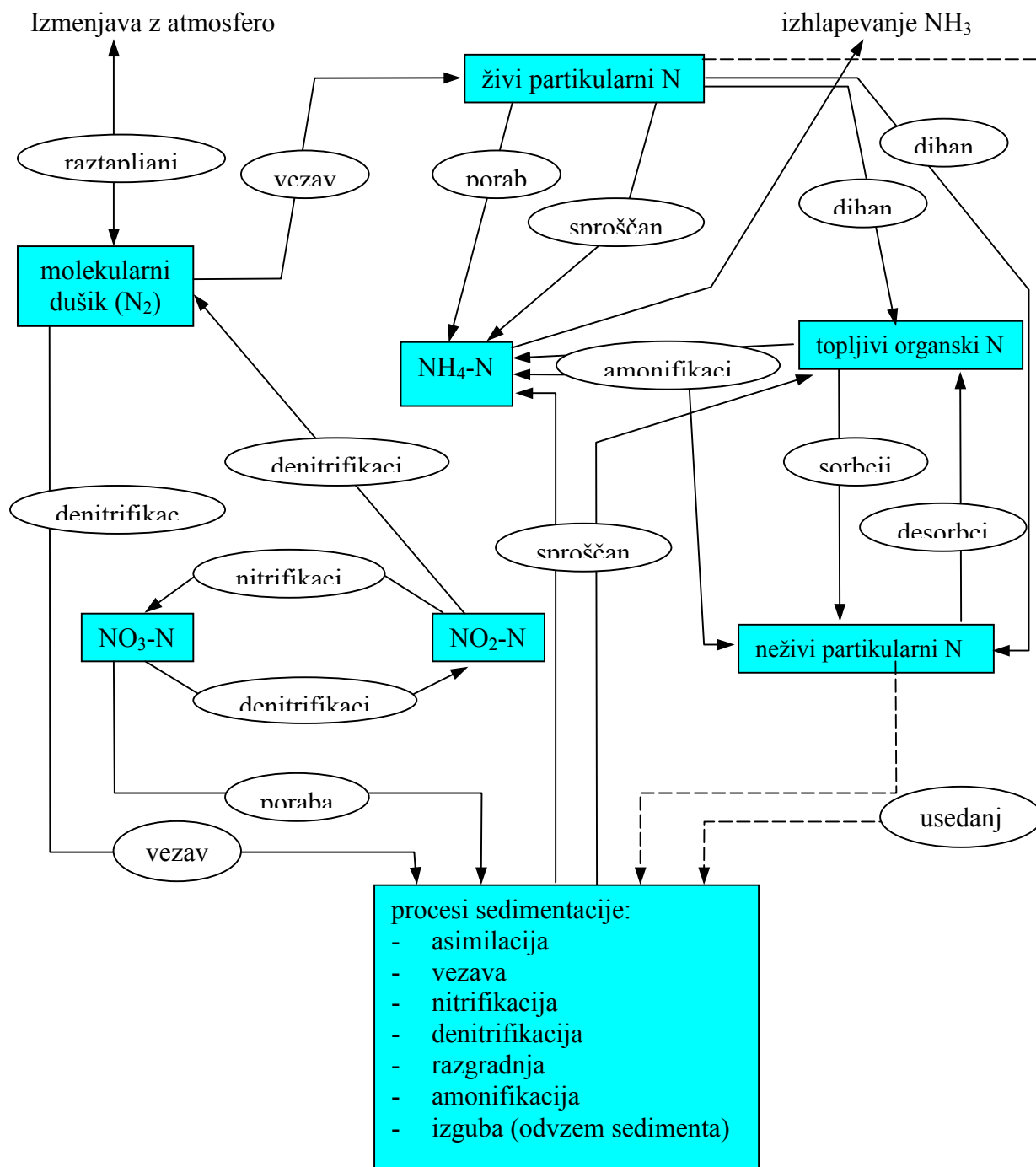
Anorganske transformacije:

- izhlapevanje
- sorbcija
- sedimentacija

Organske transformacije:

- asimilacija anorganske oblike (amoniak, nitrat) rastlin in mikroorganizmov, ki tvorijo organski dušik (aminokisliline)
- redukcija dušika iz plinastega stanja v amoniak in organski dušik s pomočjo specialnih dušik fiksatorskih mikroorganizmov
- prehajanje med oblikami heterotrofnih organizmov
- nitrifikacija - oksidacija amoniaka preko nitrita do nitrata

- nastanek amoniaka z razpadom organskih snovi
- denitrifikacija - redukcija nitrata v didušikov oksid (N_2O) in molekularni dušik (N_2) s pomočjo bakterij pod anoksičnimi pogoji



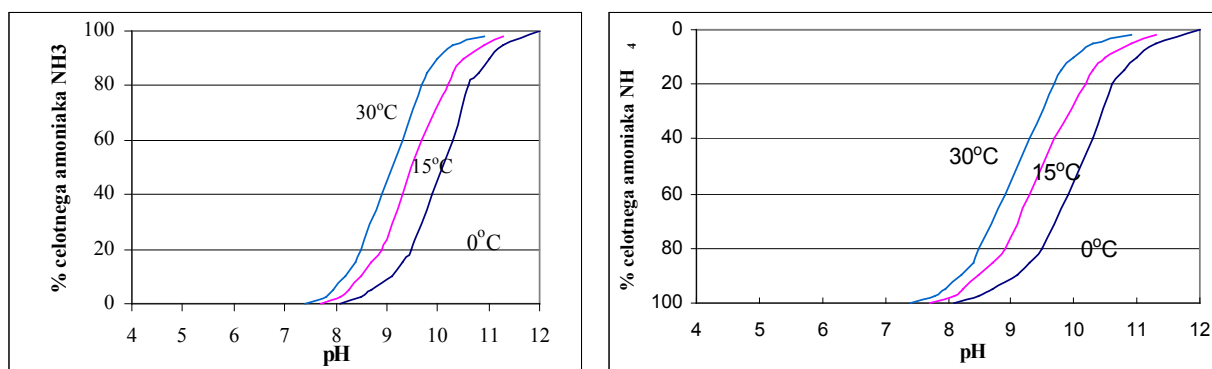
Slika 2.1: Dušikov krog (Baca and Arnett, 1976)

Amoniak (NH_3)

Amoniak se v vodi pojavi zaradi sledečih vzrokov:

- razpad dušikovih organskih in anorganskih snovi v zemljini in vodi
- izločanje živih organizmov
- redukcija dušika v vodi s pomočjo mikroorganizmov
- izmenjava z atmosfero
- industrijske odplake (predvsem papirna industrija)
- fekalne odplake
- intenzivno kmetijstvo

Amoniak lahko tvori nove spojine z ioni kovin ali pa se adsorbira v koloidne delce, suspendirane sedimente in nesuspendirane sedimente. Prav tako poteka izmenjava amoniaka med sedimenti in vodo. Koncentracija amoniaka je odvisna od temperature, pH in koncentracije totalnega amoniaka. Totalni amoniak je vsota dveh oblik amoniaka, ki se pojavljata v vodi: NH_3 in NH_4^+ . Ob določenih pH vrednostih je visoka koncentracija amoniaka strupena za vodni živež in škodljiva za ekološko ravnotežje vodnih teles. Odvisnost med deležem NH_3 in NH_4^+ , pH in temperaturo v neonesnaženi vodi je prikazana na Sliki 2.2.



Slika 2.2: Odvisnost med deležem NH_3 , NH_4^+ , temperaturo in pH (UNESCO/WHO/UNEP, 1996)

Neonesnažene vode vsebujejo zelo majhne vrednosti amoniaka in njegovih komponent; običajno so vrednosti manjše kot 0,1 mg/l N. V površinskih vodah se koncentracija totalnega amoniaka giblje pod 0,2 mg/l N, doseže pa tudi vrednost 2-3 mg/l N. Večje koncentracije so

znak organskega onesnaženja (fekalne odplake, industrijske odplake, gnojenje). V vodi se pojavi tudi sezonsko nihanje koncentracije amoniaka in njegovih komponent kot posledica odmiranja in razpadanja vodnih organizmov (fitoplankton, bakterije) v vodah, bogatih s hranili.

Nitrat (NO_3^-)

Nitratni ion (NO_3^-) je prisoten v površinskih vodah. Pod anaerobnimi pogoji je lahko reduciran v nitrit (NO_2^-), ta pa pod aerobnimi pogoji hitro oksidira nazaj v nitrat. Naravni vir nitratov za površinske vode so vulkanske kamnine, drenaža zemljišč ter ostanki rastlin in živalskih iztrebkov. Nitrat je pomembno hranilo za vodne rastline. Njegova koncentracija tekom sezone niha z rastjo in odmiranjem le-teh.

Koncentracije v neonesnaženih vodotokih redko dosežejo 0,1 mg/l NO_3 -N. Koncentracije se povečajo zaradi industrijskih in fekalnih odplak, na kmetijskih področjih pa zaradi umetnega gnojenja. Zaradi naštetih aktivnosti koncentracije znašajo 1-5 mg/l NO_3 -N. V ekstremnih primerih onesnaženj (iztok gnojnice, umetnih gnojil) koncentracije lahko dosežejo do 200 mg/l NO_3 -N.

Nitrit (NO_2^-)

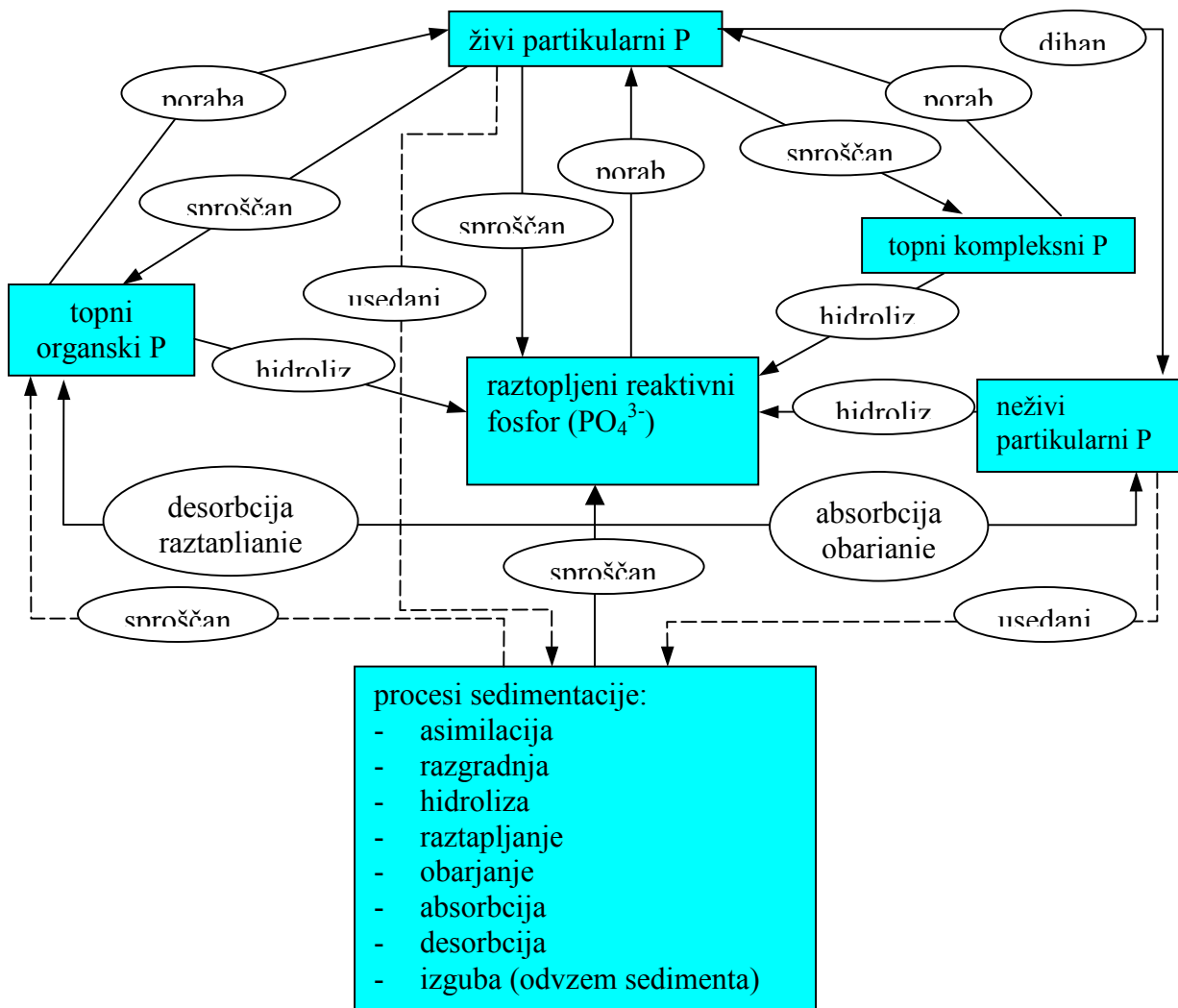
Koncentracije nitritov v naravnih neonesnaženih vodotokih ponavadi znašajo 0,001-1 mg/l NO_2 -N in le redko presežejo te vrednosti. Visoke koncentracije nitritov so indikator industrijskih odplak in/ali svežega onesnaženja z organskimi odplakami (ker se NO_2 še ni uspel oksidirati do NO_3).

Skupna količina amoniaka, nitratov in nitritov je splošen pokazatelj količine hranil in stopnje organskega onesnaženja.

Organski dušik

Organski dušik izvira pretežno iz beljakovin (amino kisline, nukleinske kisline, urin) in produktov biokemijskih transformacij le-teh - organskih kislin. Koncentracija organskega dušika tekom sezone niha z nihanjem biološke populacije. Večinoma ga proizvajajo fitoplankton in bakterije ter je del prehranske verige do končnih potrošnikov.

Fosfor (P)



Slika 2.3: Fosforjev krog (Baca and Arnett, 1976)

Fosfor se v tleh pojavi zaradi sledečih dejavnikov:

- prisotnost v naravi
- rastline in živali
- antropogeni dejavniki

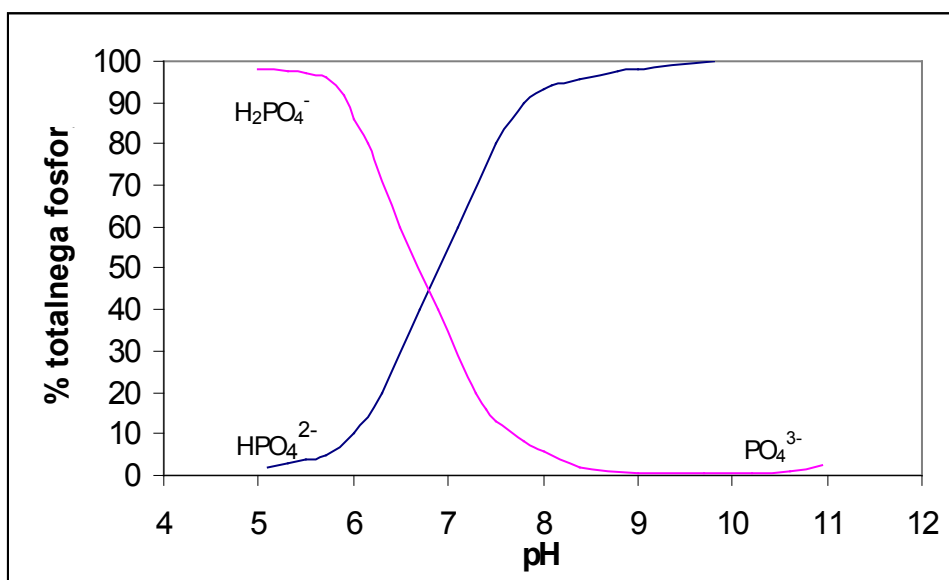
Fosfor je v fosforjevem krogu podvržen številnim organskim in anorganskim transformacijam (glej Slika 2.3).

Prisotnost v naravi

Fosfor se v naravi nahaja v obliki estrov in soli fosforjeve kisline H_3PO_4 (Ca, Fe, Al soli) ter v mineralu apatit.

Rastline in živali kot vir oblik fosforja

V rastlinah in živalih se fosfor pojavi kot sestavni del ATP (adenozintrifosfat) in ADP (adenozindifosfat), ki sta osnovni obliki za (kemijski) prenos energije v živih organizmih. Rastline fosfor sprejemajo iz tal v obliki fosfatnih ionov PO_4^{3-} . Fosfati so v vodi slabo topni, zato je njihovih ionov v vodi, ki jo rastlina črpa, razmeroma malo. Topnost je odvisna od pH zemljine in oblike, v kateri se fosfor nahaja. Bolj so tla kislila, nižja je topnost železovih in aluminijevih fosfatov in obratno. Rastline lahko največ fosfatov sprejmejo iz tal s pH vrednostjo okoli nevtralne (glej Slika 2.4).



Slika 2.4: Ravnotežje različnih oblik fosfatov v neonesnaženi vodi v odvisnosti od pH (UNESCO/WHO/UNEP, 1996)

Antropogeni dejavnik kot vir oblik fosforja

Veliko fosforja v okolje neposredno vnese človek s svojimi dejavnostmi. Med njimi so erozija, izpiranje mineralnih gnojil, izliv pralnih sredstev s fosfati ter urin in fekalne odplake.

Ostali pomembni elementi in dejavniki

Kisik (O₂)

Kisik v vodi je pomemben za dihanje živih organizmov in oksidativne reakcije organskih in neorganskih primesi vode in dna. Rastline ob izvajanju fotosinteze ob prisotnosti svetlobe proizvajajo kisik. Tako čez dan kakor tudi ponoči pa ga potrebujejo za dihanje. Zaradi tega raven kisika tekom dneva niha, ponoči pa zaradi odsotnosti fotosinteze lahko pade tudi na 0 mg/l.

Kisik se v vodi topi, vendar z njo ne reagira. Topnost je odvisna od temperature, zračnega tlaka in vsebnosti soli. Topnost kisika v vodi pada z naraščanjem temperature in zniževanjem zračnega tlaka. Na hitrost vnosa kisika iz atmosfere vpliva tudi turbulenca. Močna turbulenca pospešuje njegovo difuzijo iz zraka, mirna gladina pa jo zavira.

Nasičena koncentracija raztopljenega kisika v neonesnaženi vodi običajno znaša pod 10 mg/l, lahko pa variira od 15 mg/l pri 0°C do 8 mg/l pri 25°C (na nadmorski višini 0 m).

Ogljikov dioksid (CO₂)

Ogljikov dioksid je pomemben pri uravnavanju pH vrednosti v vodi. Ko rastline ob močni fotosintezi porabljajo ogljikov dioksid iz vode, se pH dvigne. Vrednost pH vpliva na topnost fosfatov.

Ogljikov dioksid se pojavi v vodi z difuzijo iz zraka, s padavinami in z dihanjem rastlin in živali. Pojavlja se tudi kot posledica puferske kapacitete vode iz karbonatnega ravnotežja:



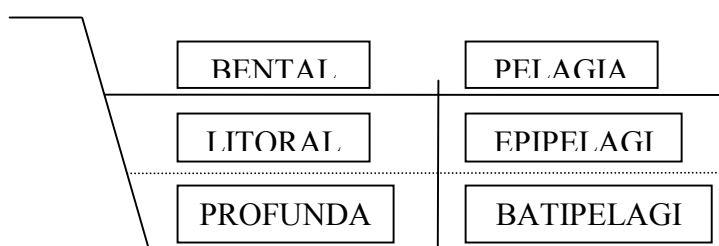
Fotosintetizirajoči organizmi, kot so alge in modrozelenke alge/bakterije, so kot vir CO₂ iz vode sposobni privzeti tudi CO₂, ki tvori karbonatni del trdote vode. Zato se ob fotosintezi

lahko občutno spreminja karbonatno ravnotežje vode in z njim tudi puferska kapaciteta ter posledično tudi pH (Sedej, 2003).

Svetloba

Rastline za rast in procese fotosinteze potrebujejo svetlobo, ki jo dobijo s sončnim sevanjem. Za razliko od kopenskih vodne rastline dobijo manj sončnega sevanja. Oslabitve sončnega sevanja povzročajo ovire na poti do rastline (zarast ob vodnih telesih, stavbe, skale, samosenčenje rastlin, ...), adsorbcija svetlobe v vodnem stolpcu, trdni delci v vodi, plankton in stiki vodnih plasti z različno gostoto.

Vpliv svetlobe se lepo kaže v jezerih, saj narekuje tip poselitve. Tako območje poselitve delimo na organizme, ki prosto plavajo v vodi (pelagial) in organizme, ki se držijo podlage (bental). Bental in pelagial lahko razdelimo na cono nad kompenzacijsko ravnino (trofogeno območje = evfotična cona), do koder seže svetloba in cono pod kompenzacijsko ravnino, do koder svetloba ne seže (afotična cona). Bental nad kompenzacijsko ravnino se imenuje litoral, pod kompenzacijsko ravnino pa profundal (glej slika 2.5). Zelene rastline uspevajo le v litoralu. Globina litoralnega območja je odvisna od prosojnosti vode in seže pri čistih alpskih jezerih do 30 m globoko. Pelagial nad kompenzacijsko točko se imenuje epipelagial, pod kompenzacijsko točko pa batipelagial. V epipelagialu uspevajo fotoavtotrofne rastline (fitoplanktonske alge).



Slika 2.5: Vpliv svetlobe - razslojitev v evtrofnem jezeru (s pikčasto črto je označena kompenzacijska ravnina, prirejeno po Tarman, 1992)

Količina svetlobe v tekoči vodi je v večji meri odvisna od barve vode ter količine lebdečih delcev. V zgornjem toku vodotoka je voda ponavadi čista in plitva. Svetloba prodre do dna in omogoča razvoj bentičnim algam ter pritrjenim makrofitom. V spodnjem toku vodotoka je voda največkrat globlja in bolj kalna kot v zgornjem toku. Osvetljena cona je lahko v celotni vodni masi; pritrjeni makrofiti (litoral) se razvijejo le v plitvih predelih.

Poleg svetlobe, tip poselitve narekuje tudi hitrost toka, zrnavost sedimenta in struktura posteljice (Sedej, 2003).

Temperatura

Naravne vode se segrevajo neposredno s sončnimi žarki in absorbcijo infrardeče svetlobe. Dodatni viri toplote so lahko segreto ozračje, segreti kamninska podlaga, površinski pritoki tople vode, podvodni topli izviri in kondenzacija vodnih par nad gladino. Toplota se izgublja iz vode z dolgovalovnim sevanjem, kondukcijo v ozračje ali dno ter z izparevanjem.

Zaradi ogrevanja s površine v globino se razvije v neevtroficiranih jezerih toplotna plastovitost glede na letni čas. Zaradi razlik v temperaturi in s tem razlik v specifični teži vode posameznih plasti se le-te ne mešajo med seboj, razen v območju med 0 - 4°C, kjer velja gostotna anomalija vode.

V jezerih zmernega pasu, ki so globlja od 10 m, nastane poletna plastovitost. V zgornjem epilimnijskem sloju je voda topla. Razlike med površinskimi in spodnjim delom epilimnijskega sloja so zelo majhne. V globinskem hipolimnijskem sloju je voda hladna. Med epilimnijskim in hipolimnijskim slojem je vmesni sloj metalimnij oz. termoklina. V tem sloju temperatura zelo hitro preskoči na mnogo nižjo vrednost, zaradi razlik v gostotah pa se na ta način preprečuje mešanje epilimnijske in hipolimnijske vode.

V času poletne stagnacije (plastovitosti) v jezeru ne poteka adveksijska izmenjava snovi med dnom in površino.

V jesenskem času se jezero ohlaja. Temperatura površinske plasti se ohladi pod temperaturo plasti, ki leži pod njo. Ohlajena voda ima večjo specifično težo od vode pod njo, zato jo izpodrine. Zaradi temperaturnih razlik in razlik v specifičnih težah nastanejo vertikalni konvekcijski tokovi. Posledica ohlajanja in konvekcijskih tokov je izravnavanje temperature po vodnem stebru od gladine do dna. Z ohlajanjem se vzpostavlja termična izravnava. Ko nastopi izotermija, znaša temperatura vode 4°C po vsej globini.

Termična plastovitost v zimskem času je inverzna. Tik pod ledom se temperatura vode giblje od 0 - 4°C, v ostalih globinah pa okoli 4°C. Ledena ploskev ustvarja zimsko stagnacijo in omogoča ohranjanje življenja višjih vrst.

Pomladanska odtalitev ledene plošče omogoči vetrovom premešanje vode. S segrevanjem se znova vzpostavi poletna plastovitost (Jørgensen, 1989).

V vodotokih se ne razvijejo izraziti temperaturni sloji, saj zaradi turbulence in manjših globin pride do mešanja vode. Temperatura v naravni tekoči vodi se giblje med 0°C in 30°C in postopoma narašča od izvira proti izlivu. Njeno nenadno zvišanje lahko povzroči zaradi preveč ugodnih (latentnih) pogojev porast fotosinteze in posledično upad kisika (Tarman, 1992).

2.2 Evtrofnost jezera

2.2.1 Pojav evtrofikacije

Evtrofnost jezera je povečanje količine hranil v jezeru. Poznamo tako naravno evtrofikacijo - staranje jezer, ki v naravi poteka ves čas, kot antropogeno (umetno) evtrofikacijo, ki se pojavi kot neposredna posledica človekove dejavnosti, onesnaževanje s hranili ali toploto preko izpustov odpadnih vod ali drugih virov. Medtem ko naravna evtrofikacija poteka počasi - tisočletja, umetna evtrofikacija poteka zelo hitro - od nekaj let do nekaj desetletij. Prav zaradi hitrega poteka in neprimerljivo večje razsežnosti umetne evtrofikacije, je z vidika varovanja okolja in vodnih virov prav ta problematična. V nadaljevanju je pod pojmom evtrofnost mišljena umetna evtrofnost.

Proces evtrofnosti se vedno bolj povečuje predvsem zaradi pospešene urbanizacije, ki z odpadno vodo bremeni jezero predvsem z nitrati in fosfati (urin, pralni prašek), in povečane porabe gnojil (predvsem fosfatnih), ki se stekajo v jezero iz pojezerja.

Hranilne in druge razgradljive snovi, ki vstopajo v jezero iz pojezerja, imenujemo zunanji ali alohtoni viri. Povečana količina hranil povzroči povečano produktivnost jezera. Ta je največja poleti, ko so za rast fitoplanktona optimalni tudi ostali pogoji (temperatura, osvetljenost). Zaradi velike količine odmrle biomase ter s tem visoke aktivnosti razgrajevalcev na dnu jezera in razslojenosti vode, začne v hipolimniju primanjkovati kisika. Anoksični pogoji na dnu jezera omogočajo sproščanje fosfatov iz sedimentov. Sproščeni fosfati predstavljajo dodaten vir za primarne producente, tako da se produktivnost jezera še poveča. Hranilne snovi, ki nastajajo v jezeru, ali pa se sproščajo iz sedimentov, imenujemo notranji ali avtohtoni vir hranil (Jørgensen, Vollenweider, 1989).

Prekomerna obremenitev vode s hranilnimi snovmi, predvsem alohtonih snovi, povzroči evtrofikacijo jezera. Jezero ima namreč sposobnost, da prebavi onesnaženje, a le do neke meje - puferska kapaciteta, oziroma samočistilna sposobnost. To kapaciteto omogočajo sedimenti, ki akumulirajo tako organske kot anorganske snovi in pa razmerje med volumnom hipolimnija in epilimnija. Ko je ta meja presežena, lahko v zelo kratkem času izbruhne evtrofikacija.

Evtrofnost povzroči številne nevšečnosti:

- poslabšanje estetskega videza vode,
- zmanjšanje uporabnosti vode za pridobivanje pitne in tehnološke vode,
- zmanjšanje uporabnosti vode za rekreacijo,
- težave pri odvzemu vode - mašenje filtrov,
- dnevno nihanje koncentracije kisika zaradi fotosinteze in dihanja,
- odmiranje višjih organizmov zaradi pomanjkanja kisika ponoči,
- porušitev prehranske verige in zmanjšanje diverzitete organizmov ter s tem osiromašenje ekosistema.

Glavni in najbolj očiten pokazatelj evtrofnosti jezer je prekomerna rast fitoplanktona in makrofitov. Na površini jezera je pojav opazen kot cvetenje alg. Cvetenje fitoplanktona je posledica ugodnih abiotskih razmer, ki jih sooblikujejo svetlobne in temperaturne razmere ter vsebnost hranil, predvsem fosforja, ki je v večini jezer zmernega pasu omejitveni dejavnik produkcijskih procesov.

Omejitveni dejavnik evtrofnosti določamo na podlagi razmerja N : P. Oba elementa sta nujno potrebna za rast fitoplanktona in ker sta v jezeru prisotna v limitnih koncentracijah, nadzorujeta proces evtrofnosti. Razmerje N : P je v fitoplanktonu približno 4:1 do 10:1 (povprečno 7:1). Omejitveni dejavnik je tisti element, ki ga glede na razmerje v fitoplanktonu v vodi primanjkuje. Koncept je poznan kot Liebigov zakon minimuma. Opredeletev omejitvenega dejavnika evtrofikacije sloni na empirično določenih razmerjih, kot je prikazano v Tabeli 2.1.

Tabela 2.1: Določanje omejitvenega dejavnika glede na razmerje N : P (Rismal, 1985)

$\frac{N_{TOT}}{P_{TOT}}$	$\frac{(NH_4^+ + NO_2^- + NO_3^-) - N}{PO_4^{3-} - P}$	OMEJITVENI DEJAVNIK
≤ 10	≤ 5	N
10 – 17	5 – 12	N in/ali P
≥ 17	≥ 12	P

Dejansko pa je problem omejitvenega dejavnika preveč poenostavljen. Organizmi se namreč prilagajajo na koncentracijo hranil v vodi, tako da je lahko dejansko razmerje N : P drugačno od predpostavljene. Zaradi spreminjajočega se razmerja v fitoplanktonu je tako pri rasti fitoplanktona dobro upoštevati obe hranili. Poleg tega je problem pri določitvi omejitvenega dejavnika tudi praktične narave. Čeprav se lahko zgodi, da zaradi velike obremenitve z odpadno vodo, v kateri je razmerje N : P približno 3:1, postane limitirajoči element dušik, pa se je potrebno zavedati dejstva, da je pomemben vir dušika tudi fiksacija N₂, ki se je pri oceni masne bilance ter posledično pri določitvi limitirajočega elementa ne upošteva. Prav zaradi tega bi bilo odstranjevanje dušika iz odpadne oz. iz jezerske vode kot način nadziranja rasti fitoplanktona neuspešno. Tudi če je dejansko dušik limitirajoči element, je naš cilj narediti P za limitirajoči element, saj imamo večji nadzor nad viri le tega. Odstranjevanje fosforja je tudi enostavnejše (z vzpostavitvijo oksičnih pogojev in s precipitacijo z dodajanjem kalcijevega

karbonata ali železovega oksida), medtem ko je odstranjevanje dušikovih spojin, predvsem nitratov, težje oziroma potrebujemo večji prostor (rastlinske ČN, umetna močvirja, predzadrževalniki).

2.2.2 METODE ZA IZBOLJŠANJE KAKOVOSTI VODE IZ POVODJA

Poznana sta dva tipa onesnaženja, onesnaženje iz točkovnih in razpršenih virov, ki potrebujeta različne metode za zmanjšanje le-tega. Onesnaženje iz točkovnih virov je posledica človeške dejavnosti in je običajno lažje določljivo kot onesnaženje iz razpršenih virov. Znano je veliko klasičnih metod čiščenja odpadnih vod, kakovost čiščenja pa je pri istih ostalih pogojih odvisna od količine denarja. Več denarja je na razpolago, kvalitetnejše je čiščenje. Dandanes se pojavlja več tipov točkovnega in razpršenega onesnaženja hkrati, tako da je potrebna kombinacija večih metod za izboljšanje kakovosti vode. Metode za izboljšanje kakovosti vode iz povodja so prikazane v tabeli 2.2.

Tabela 2.2: Metode za izboljšanje kakovosti vode iz povodja (Straškraba, 1993)

Problemi, ki morejo biti rešeni	Metode
Organsko onesnaževanje	čista proizvodnja preusmerjanje odpadne vode čistilne naprave mokrišča
Presežek hranil in eutrofikacija	preusmerjanje odplak terciarni postopki čiščenja v čistilni napravi napredno kmetijstvo obrežna zatravitev in pogozditev naravna in umetna mokrišča manjša akumulacija pred glavno aku. naprava za izločanje P na vtoku
Eutrofikacija in izčrpanost kisika v rekah	obnavljanje rek v prvotno stanje dovod kisika v reke
Zamuljenje akumulacije	kontrola erozije saniranje rečnih brežin pogozditev brežin dovod podtalnice manjša akumulacija pred glavno aku.

Onesnaženje s težkimi kovinami	zmanjšanje onesnažene odpadne vode mokrišča
Kislost vode	dodajanje organskih snovi
Slanost vode	izboljšani načini namakanja zmanjšanje uporabe gnojil zmanjšanje soljenja cest

2.2.2.1 Viri hranil in eutrofikacija

Terciarni postopki čiščenja v čistilni napravi

Klasične čistilne naprave s primarnimi in sekundarnimi postopki čiščenja so zelo učinkovite pri odstranjevanju organskih snovi, toda njihova zmožnost odstranitve hranil, predvsem vsebnosti fosforja, pa je manjša. Terciarni postopki čiščenja zmanjšajo koncentracijo hranil v iztoku vode iz čistilne naprave. To je doseženo s kemično obdelavo - sedimentacijo fosforja.

Dobra kmetijska praksa

Dobra kmetijska praksa, ki pripomorejo k zmanjšanju izpiranja gnojil iz kmetijskih površin so naslednje (Straškraba, 1993):

- a) izogibati se uporabi gnojil v obvodnem pasu
- b) zaščititi obrežno drevje in/ali ustvariti zaščitene cone s travniki in drevjem
- c) zmanjšati uporabo dušikovih gnojil do vrednosti $< 100 \text{ kg}/(\text{ha} \cdot \text{leto})$
- d) razporediti količino gnojil prvenstveno med obdobja z najhitrejšo rastjo
- e) uporabljati počasi razkrajajoča gnojila
- f) zmanjšati čas, ko na polju ni nič posajeno
- g) ne smemo uporabljati gnojil na zmrznjeni zemlji ali na polju, kjer ni nič posajeno

Obrežno drevje in zaščitne travnate cone preprečijo izpiranje zemlje v reke in jezera/akumulacije, ne morejo pa preprečiti vnosa hranil v podtalnico.

Da bi zmanjšali rast koncentracije dušika v vodnih telesih, bo v prihodnosti potrebna uporaba pridelkov, ki vežejo nase dušik, s tem pa se bo zmanjšala uporaba dušikovih gnojil.

2.2.3 Produktivnost jezera

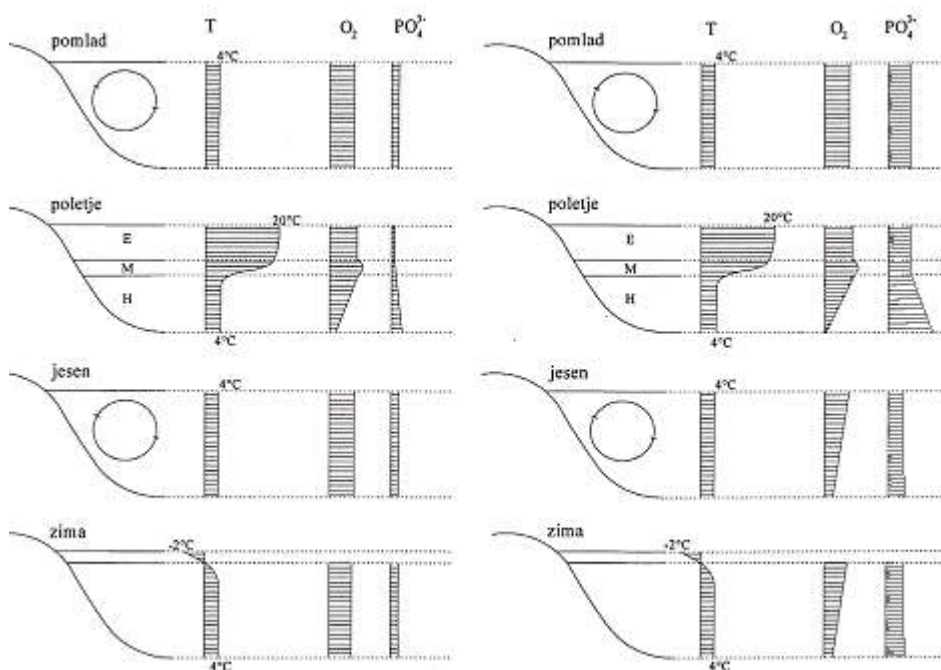
Če je produktivnost jezera velika, pravimo, da je jezero eutrofnost. Eutrofnost razumemo kot povečanje koncentracije hranilnih snovi v jezeru, kar ima za posledico povečano produktivnost jezera. Nasprotno, ko je produktivnost jezera omejena in je ekosistem v ravnovesju, pravimo, da je jezero oligotrofnost. Nadalje jezera delimo glede na koncentracijo hranilnih snovi v vodi na ultraoligotrofnost (zelo revna s hranili), oligotrofnost (revna s hranili), mezotrofnost (zmerno bogata s hranili), eutrofnost (bogata s hranili) in hipereutrofnost jezera (izredno bogata s hranili).

Oligotrofnost jezero je globoko, plast hipolimnija je debelejša od plasti epilimnija. Svetloba prodre tudi v spodnje plasti zaradi velike transparentnosti vode. Primarna produkcija jezera je majhna, a zaradi transparentnosti vode prisotna v celotnem vodnem telesu. Razvoj fitoplanktona je omejen zaradi pomanjkanja hranilnih snovi, v glavnem fosforja in dušika. Rast litoralnega rastlinstva je omejena. Cvetenje jezera je redek pojav. Kisika je v vseh plasteh dovolj. Profundalna populacija živali je vrstno bogata, a številčno revna.

Ponavadi so eutrofnost jezera plitvejša. Veliko je hranljivih snovi, zato je primarna produkcija izdatnejša. Cvetenje jezera je pogost pojav. Zaradi velike biomase je transparentnost majhna in je limitirajoči dejavnik svetloba. Na dnu se nabira mnogo organskih snovi, bakterijska potrebnost kisika je velika, zato v profundalu pogosto primanjkuje kisika in občasno zavladajo anoksične razmere.

Na Sliki 2.6 je prikazana vertikalna porazdelitev temperature ter koncentracije kisika in fosforja po globini v različnih letnih časih v oligotrofnem in eutrofnem jezeru. Kot je opaziti,

je bistven spremljevalec eutrofnosti pomanjkanje kisika ob dnu (predvsem v poletnem času), kar vpliva na sproščanje fosfatov iz sedimentov in s tem povečanja hranilnih snovi v jezeru.



Slika 2.6: Vertikalni profil koncentracije kisika in fosfatov ter temperature v oligotrofnem (levo) in eutrofnem (desno) jezeru (prirejeno po Tarman, 1992)

2.2.4 Določanje trofičnosti jezera

Na trofičnost jezera vpliva veliko parametrov, najpomembnejši so (Jørgensen, Vollenweider, 1989):

- morfologija jezera,
- fizikalno - kemijski parametri,
- biološki parametri,
- stopnja presnove jezera,
- hidrološki parametri.

Trofičnost jezera določamo na podlagi fizikalnih, kemičnih in bioloških indikatorjev stanja jezera. Poznane so različne metode določanja trofičnosti jezer, ki slonijo na različnih parametrih.

Dobra ocena stanja jezera je močno odvisna od programa vzorčenja. Program mora biti prilagojen specifičnosti jezera. Najpomembnejša lastnost, ki vpliva na pogostost vzorčenja, je pretočni čas jezera (bolj pretočna jezera zahtevajo pogostejše vzorčenje). Pretočni ali zadrževalni čas je definiran kot

$$t_z = V_{\text{jezera}} / Q_{\text{iztok}} \quad (1)$$

Vzeti in analizirati je potrebno vsaj 4 serije vzorcev letno in sicer v zimskem, poletnem, pomladanskem in jesenskem času. V času poletne stratifikacije naj bi se vzorci vode vzeli vsaj enkrat mesečno. Vzorci morajo biti vzeti na različnih globinah jezera. V času stratifikacije je nujen odvzem vzorcev nad termoklino (1-2 vzorca), v termoklini (1-2 vzorca) ter pod termoklino na različnih globinah (1 ali več vzorcev, odvisno od globine). Vzorci vode vzeti tik nad dnom so še posebej pomembni, saj nam povedo o prisotnosti kisika v sedimentih. Vzorčenje se izvaja na več vzorčnih mestih, še posebej na jezerih s kompleksno morfometrijo. Če z ekonomskega vidika tako vzorčenje ni možno, se vzorči v najglobljih točkah jezera. V primeru večjih jezer ocenimo tudi horizontalno porazdelitev snovi. Program vzorčenja ni pomemben le za določanje trofičnosti jezera, temveč je tudi osnova modeliranja. Za potrebe modeliranja mora biti pogostost odvzema vzorcev vode večja, da je razvidna dinamika sprememb (Zupan, 2001).

Osnovne fizikalne, kemijske in biološke analize, ki se jih izvaja pri monitoringu kakovosti jezer, so (Zupan, 2001):

- temperatura,
- specifična prevodnost,
- pH,
- redox potencial,
- vsebnost kisika,
- vsebnost celokupnega fosforja,
- vsebnost raztopljenega fosforja,
- vsebnost nitratnih, nitritnih in amonijevih ionov,
- celotni dušik (N_{tot}),
- celotni organski ogljik (TOC)

- vsebnost proste ogljikove kisline,
- karbonat in bikarbonat,
- prosojnost,
- klorofil a,
- fitoplankton (biomasa),
- zooplankton,
- saprobiološke analize,
- bakteriološke analize (koliformne bakterije),
- popis makrofitov.

Na podlagi zbranih podatkov lahko ocenimo stopnjo onesnaženja oz. obremenitve jezera ter spremljamo proces eutrofikacije. Največkrat določamo trofičnost jezera glede na vsebnost hranilnih snovi (fosfor, dušik), količino rastlinske biomase v vodnem stolpcu, izražene kot klorofil a in prosojnost vode merjene po Secchiju (Secchijeva plošča premera 20 cm). V pomoč pri celoviti oceni trofičnega stanja jezera sta še vsebnost raztopljenega kisika po globini ter temperaturna globinska krivulja v hladni in topli letni dobi.

Poznane so različne metode za določanje trofičnosti jezera. Večina metod je bila razvita za jezera na določenem območju, tako da je uporabnost metod omejena.

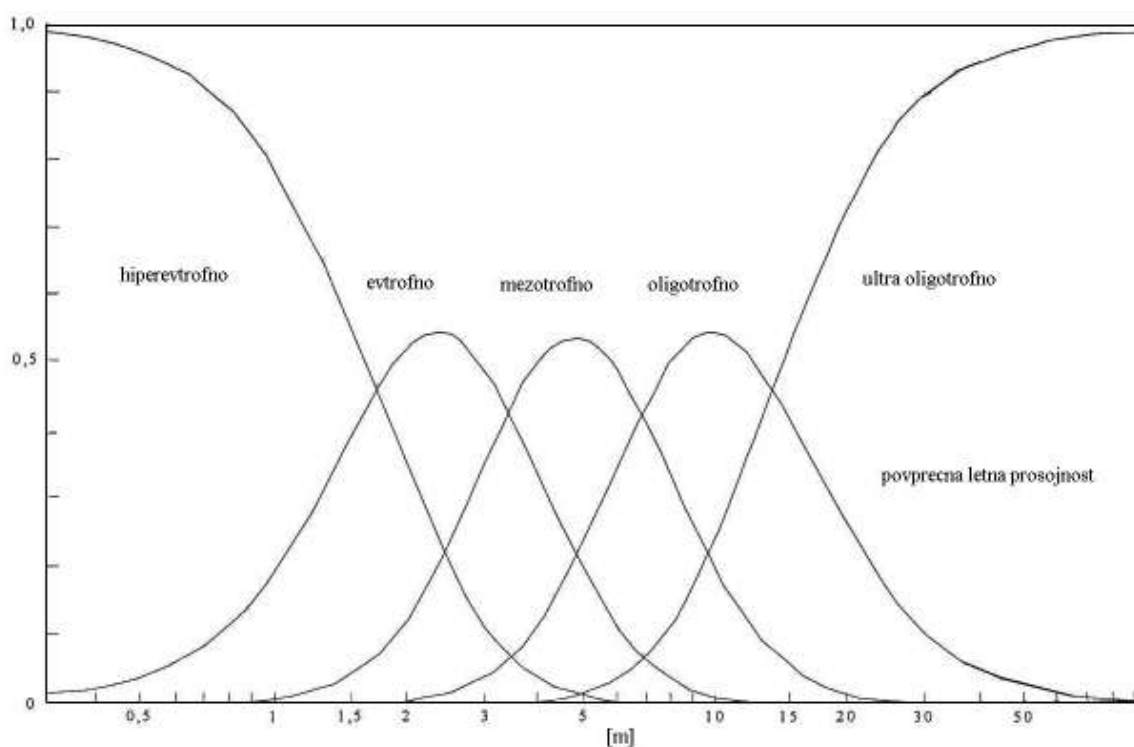
2.2.4.1 Določanje stopnje trofičnosti po OECD kriterijih

Pri nas določamo trofičnost jezer po OECD kriteriju iz leta 1982, glavni nosilec programa je Vollenweider. Kriteriji veljajo za jezera zmernega pasu. Po tem programu ločimo ultraoligotrofna, oligotrofna, mezotrofna, eutrofna in hipereutrofna jezera na podlagi 6 parametrov. Trofične kategorije in parametri so prikazani v spodnji tabeli št. 2.3.

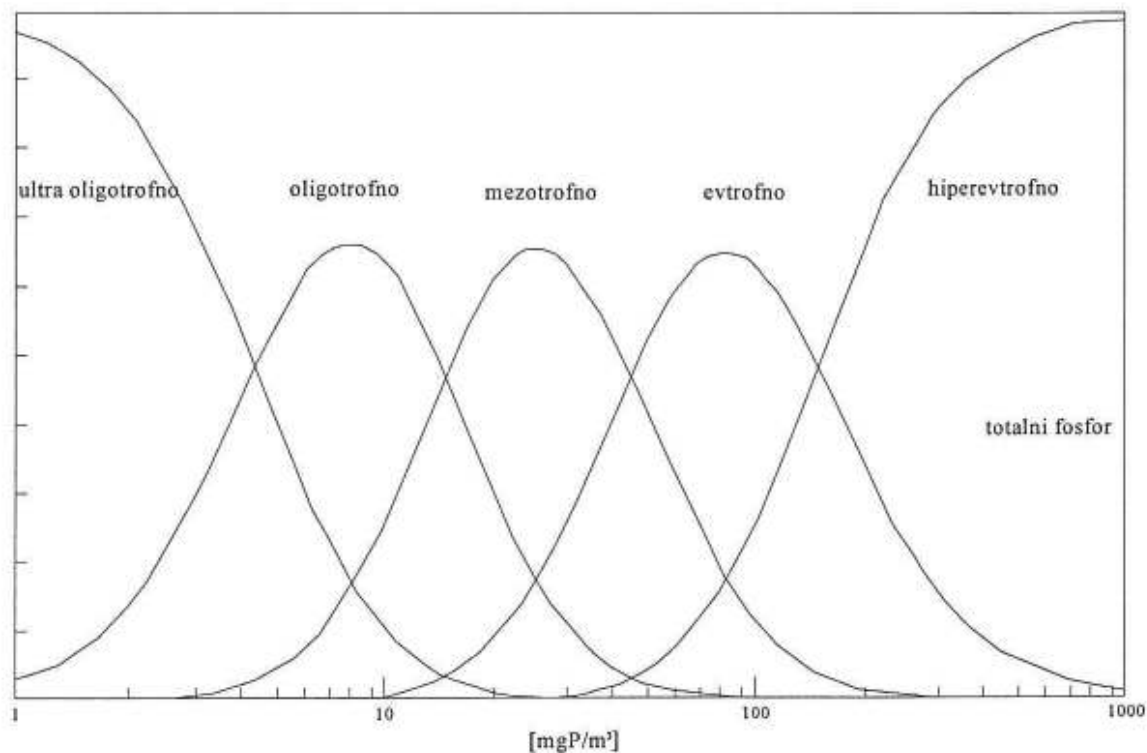
Tabela 2.3: Parametri in trofične kategorije po OECD kriterijih (Zupan, 2001)

	totalni fosfor (povprečje)	anorganski dušik (povprečje)	prosojnost (povprečje)	prosojnost (minimalno)	klorofil a (povprečje)	klorofil a (maksimalno)
TIP JEZERA	µgP/l	µgN/l	m	m	µg/l	µg/l
ultraoligotrofno	< 4	<200	>12	>6	<1	<2,5
oligotrofno	<10	200-400	>6	>3	<2,5	<8
mezotrofno	10-35	300-650	6-3	3-1,5	2,5-8	8-25
eutrofno	35-100	500-1500	3-1,5	1,5-0,7	8-25	25-75
hipereutrofno	>100	>1500	<1,5	<0,7	>25	>75

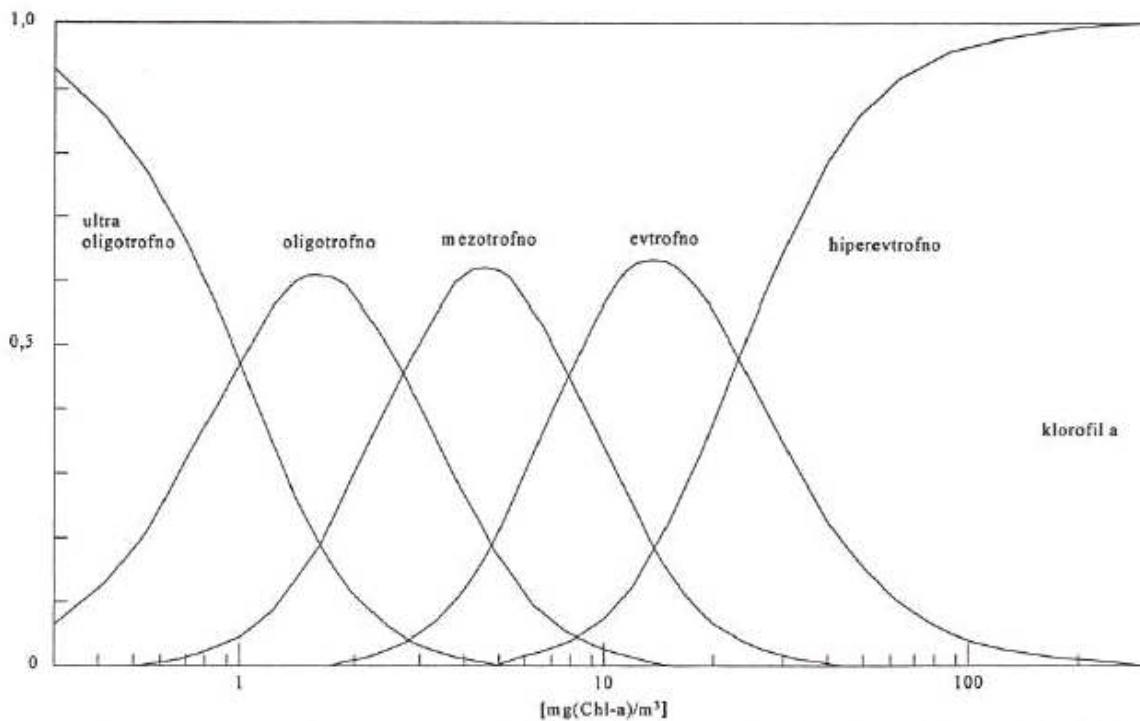
Verjetnosti uvrstitve jezera v določen razred trofičnosti glede na različne parametre so prikazane na slikah 2.7 do 2.10, in sicer verjetnost uvrstitve v razred trofičnosti glede na totalni fosfor, glede na povprečno letno prosojnost (merjena s Secchi-jevim diskom), glede na povprečno letno vsebnost klorofila a ter glede na maksimalno vsebnost klorofila a. Spodnje slike nam pomagajo pri odločanju, v kateri razred trofičnosti lahko jezero uvrstimo. Trofično stanje jezera namreč ni točno določeno, pač pa lahko le z določeno verjetnostjo ugotovljamo, v kateri razred trofičnosti spada jezero.



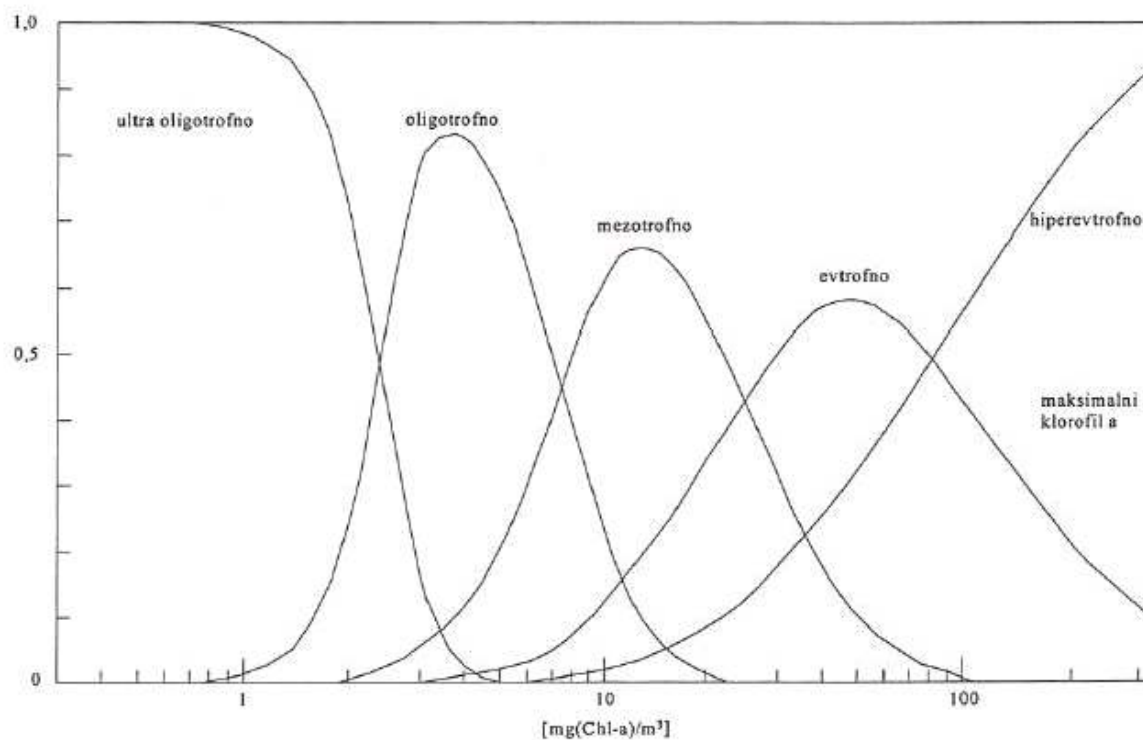
Slika 2.7: Verjetnost uvrstitve v razred trofičnosti glede na povp. prosojnost (OECD, 1982)



Slika 2.8: Verjetnost uvrstitve v razred trofičnosti glede na totalni fosfor (OECD, 1982)



Slika 2.9: Verjetnost uvrstitve v razred trofičnosti glede na povp. letni klorofil a (OECD, 1982)



Slika 2.10: Verjetnost uvrstitve v razred trofičnosti glede na maksimalni klorofil a (OECD, 1982)

2.2.4.2 Določanje stopnje trofičnosti po Carlsonu

Drugi najbolj razširjeni kriterij za določanje trofičnosti jezera je indeks trofičnosti. Indeks trofičnosti TSI (Trophic State Index) po Carlsonu sloni na korelaciji Secchijeve globine (SD), klorofila a (Chl-a) in totalnega fosforja (P_{tot}). Uporaba tega indeksa za določitev trofičnosti jezera je dokaj problematična. Izračunana biomasa z enačbami za določanje TSI je lahko precenjena, ker je biomasa fitoplanktona plenjena s strani zooplanktona. Po drugi strani pa je lahko izračunana biomasa podcenjena, saj lahko nastopi povečanje fitoplanktona zaradi hitre presnove fosforja (Jørgensen, Vollenweider, 1989). Enako velja za prisotnost huminskih kislin, ki povzročajo obarvanost in motnost vode, oziroma za prisotnost glin ali ilovice, ki povzročata kalnost in s tem zmanjšano prosojnost. Ta način določevanja trofičnosti jezera je omejen na tista jezera, ki imajo malo makrofitov in ne vsebujejo veliko lebdečih snovi (razen alg).

TSI izračunamo po spodnjih enačbah (Sedej, 2003, po Carlson 1977):

$$TSI(P_{tot}) = 14,42 \cdot \ln(P_{tot}[\mu\text{g}/l]) + 4,15 \quad (2)$$

$$TSI(Chl - a) = 9,81 \cdot \ln(Chl - a[\mu\text{g}/l]) + 30,6 \quad (3)$$

$$TSI(SD) = 60 - 14,41 \cdot \ln(SD[m]) \quad (4)$$

Stopnjo evtrofnosti jezera se nato določi s pomočjo Tabele 2.4.

Tabela 2.4: Klasifikacija jezer po Carlsonu (Sedej, 2003, po Carlson, 1996)

Tip jezera	TSI	klorofil a [$\mu\text{g}/l$]	Secchi [m]	P_{tot} [$\mu\text{g}/l$]
oligotrofno	<30	<0,95	>8	<6
	30-40	0,95-2,6	8-4	6-12
mezotrofno	40-50	2,6-7,3	4-2	12-24
	50-60	7,3-20	2-1	24-48
evtrofno	60-70	20-56	1-0,5	48-96
	70-80	56-155	0,5-0,25	96-192
hiperevtrofno	>80	>155	<0,25	192-384

Ostale metode, s pomočjo katerih lahko določamo stanje jezera glede na produktivnost, se pri nas ne uporabljajo dovolj pogosto, zato niso navedene.

Stopnjo evtrofnosti jezera v prihodnosti (običajno za nekaj let naprej) napovemo s pomočjo modelov evtrofnosti. V primerih, ko uporabljamo preproste modele evtrofnosti, ki simulirajo le koncentracijo fosforjevih spojin, lahko stopnjo evtrofnosti napovemo glede na koncentracijo klorofila a. Prvo enačbo, ki povezuje koncentracijo fosforja in klorofila a, je iz statistične obdelave razvil Vollenweider (1968):

$$Chl-a = 0,28 * [P]^{0,96} \quad [\mu\text{g}/l] \quad (5)$$

Kasneje sta tudi Dillon in Rigler (1974) razvila empirično enačbo, ki kaže povezanost klorofila a in totalnega fosforja za jezera, kjer je fosfor limitirajoči element. Enačba se glasi:

$$\log_{10}(Chl-a) = 1,45 * \log_{10}([P] * 1000) - 1,14 \quad [\mu\text{g}/l] \quad (6)$$

Z zgornjo enačbo lahko predvidimo tudi razvoj fitoplanktona v poletnih mesecih, če poznamo vsebnost totalnega fosforja v jezeru v času spomladanskega premešanja vode.

Za obravnavano povodje Padeža je bil uporabljen OECD kriterij za določitev stopnje trofičnosti. Da pa bi prišli do potrebnih podatkov, je potrebno uporabiti model, s katerim izračunamo količine hranil.

3 PREDSTAVITEV POSTOPKA MATEMATIČNEGA MODELIRANJA

3.1 Splošno o modelih

V naravi se dogaja neskončno mnogo med seboj ločenih ali povezanih procesov. Te procese se trudimo razumeti, si jih predstavljati in jih na nek način razložiti. Ker pa so opazovani procesi največkrat prezapleteni, vpeljemo vanje določene poenostavitve v smislu redukcije kompleksnega v bolj enostavno in manj povezano z okolico. V inženirski praksi se to lahko izvede z modeli, tako fizičnimi kot matematičnimi, ali njihovimi kombinacijami (Kompere, 1991).

Glede na način pristopa modele delimo na:

- fizične modele
- matematične modele
- analogne oz. hibridne modele

Fizični model

Dogajanje opazujemo v naravi v merilu 1:1 ali v laboratoriju v pomanjšanem merilu.

Matematični model

Z matematičnim modelom poskušamo dogajanje v naravi opisati s sistemom enačb, ki temeljijo na znanstvenih razlagah pojava.

Analogni model

Analogni oz. hibridni model je kombinacija fizičnega in matematičnega modela.

Glede na upoštevanje časa oz. dinamičnosti modele delimo na:

- stacionarne modele
- dinamične modele

Stacionarni model

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

Dinamični model

Model, ki upošteva časovno dinamiko pojavov, je dinamični model. 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.

3.2 Masna bilanca - osnova modelov evtrofnosti

Osnova vseh modelov evtrofnosti je masna bilanca. Ta nam pove, koliko snovi vteka iz pojezerja v jezero, izteka iz jezera ter 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:

$$L - O \pm \Delta S_t = \pm \Delta S \quad (7)$$

Enačba pomeni, da je vsebnost snovi v jezeru (S) razlika med vnosom snovi v jezero (L) in iztokom snovi iz jezera (O), upošteva pa se tudi akumulacijo snovi v sedimentih (-S_t). Enačba je veljavna le za snovi, ki v vodi niso prisotne v obliki plina, npr. fosfor. Za oceno vsebnosti dušika je potrebno upoštevati ravnovesje nitrifikacija - denitrifikacija. Razmerje se lahko oceni na osnovi sedimentacije fosforja, z razmerjem N/P v vnosu ali pa z razmerjem N/P v sedimentih. Slednji način je najboljši način za oceno izgube dušika z denitrifikacijo (Jørgensen, Vollenweider, 1989).

3.2.1 Viri hranil

Vnos snovi v jezero je odvisen od vrste virov v pojezerju, njihovih velikosti, koeficienta izgube in načina prenosa snovi iz pojezerja v jezero. V osnovi delimo vire snovi v točkovne in razpršene vire. Točkovni viri so lahko direktni (izliv kanalizacije direktno v jezero) ali indirektni (izliv kanalizacije v pritok jezera). Razpršeni viri pa so vse tiste površine, ki gravitirajo na jezero in se snovi približno enakomerno stekajo iz njih.

Za oceno snovne bilance je potreben popis virov. Popis mora vsebovati:

- tip točkovnega vira,
- intenzivnost točkovnega vira,
- lokacijo točkovnega vira,
- vse razpršene vire in njihovo prostorsko porazdelitev,
- izdatnost razpršenih virov.

Direktni točkovni viri so običajno izlivi kanalizacije (gospodinjska in industrijska odpadna voda). Popis teh virov ni problem. Večji problem predstavlja popis razpršenih virov. Razpršeni viri so običajno kmetijske površine (sadovnjaki, pašniki, orane površine,...), gozdovi, neizkoriščene površine, zaselki in naselja brez kanalizacije, ceste,... Prostorsko

porazdelitev podajamo v deležu posamezne površine (%), priporočljivo pa je poznati tudi druge podatke: količina in vrsta uporabljenega gnojiva in/ali pesticidov, število in vrsta živine, število avtomobilov, število in velikost odlagališč odpadkov, število hiš,...

Vse snovi v jezeru ocenimo na osnovi direktnih ali indirektnih meritev. Direktno merjenje vnosa snovi v jezero poteka na merilnih postajah v kritičnih točkah. Te so lokacije izlivov kanalizacije, vodomerne postaje na glavnih pritokih jezera ter lokacije, kjer določamo prostorsko porazdelitev razpršenih virov. Če vodomernih postaj, ki bi neprekinjeno merile spremenljivke, ni, določimo koncentracije snovi z odvzemom trenutnih vzorcev na najbolj onesnaženih pritokih jezera oziroma tam, kjer pričakujemo bistvene vnose.

3.2.1.1 Vnos hranil v jezero, ki jo povzroči živina

Hranila (od živine) prispejo v jezero zaradi gnojenja kmetijska zemljišča z živinskimi gnojili. Osnovno merilo za vrednotenje obsega reje domačih živali je število glav velike živine (GVŽ). Ena GVŽ je 500 kg žive teže živali. Vnos hranil v jezero določimo tako, da preračunamo za vse vrste domačih živali (Tabela 3.1 in 3.2) v skupno enoto, to je na GVŽ, nato pa v Tabeli 3.3 odčitamo obremenitev z N, ki se nahaja v živinskih gnojilih (Ur.l. RS, 1996).

Tabela 3.1: Teža posamezne vrste domače živali ter število GVŽ na posamezno žival (Ur.l. RS, 1996)

domača žival	GVŽ/žival	povprečna teža v kg
krave oziroma telice, 500 kg žive teže	1,0	500
goveji pitanci in voli	1,0	500
biki	1,4	700
teleta, pitanci	0,4	200
mlado govedo, 1-2 leti	0,7	350
teleta	0,15	75
konji	1,2	600
žrebeta	0,5	250
ovce in koze	0,1	50

Tabela 3.2: Teža posamezne vrste domače živali ter število GVŽ na posamezno žival (Ur.l. RS, 1996)

domača žival	GVŽ/žival	povprečna teža v kg
plemenske svinje	0,34	170
plemenski merjasci	0,34	170
prašičji pitanci	0,13	65
tekači	0,032	15,5
pujski	0,007	3,5
perutnina	0,005	2,5

Tabela 3.3: Količina dušika v živinskih gnojilih, ki se pridobi na leto pri reji posamezne domače živali, preračunano na GVŽ (Ur.l. RS, 1996)

vrsta domače živali	N (v kg na leto)
govedo	70
prašiči	85
perutnina	75

3.2.2 Določitev obremenitve jezera

Obremenitev jezera je najbolje določiti z merjenjem tako koncentracij kot pretokov na vtokih in iztokih jezera. Sledi opis določitve količine hranil s pomočjo koncentracije snovi in pretokih pritokov v jezera.

3.2.2.1 Določitev obremenitve iz podatkov o koncentraciji snovi in pretokih pritokov jezera

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

1.) na podlagi povprečnih vrednosti koncentracij in pretokov:

$$I_l[\text{kg / leto}] = \bar{c} * Q_d * \Delta t \quad (8)$$

Kjer so : I_l ... vnos hranil v jezero (kg/leto)

\bar{c} ... povprečna koncentracija snovi v pritoku jezera (g/m^3)

Q_d ... pretok na pritokih jezera (m^3/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.) na podlagi odvisnosti koncentracije od pretoka:

Možne so naslednje odvisnosti (Jørgensen, Vollenweider, 1989):

a) Enačba (9) podaja dnevno količino hranil v primeru, ko je koncentracija neodvisna od pretoka:

$$\bar{c} = K$$

$$I_d[\text{kg / dan}] = \bar{c} * Q_d \quad (9)$$

b) Enačba (10) podaja količino hranil v primeru, ko je koncentracija obratnosorazmerna pretoku:

$$\bar{c} = \frac{K_0}{Q_d}$$

$$I_d[\text{kg / dan}] = \bar{c} * Q_d = K_0 \quad (10)$$

c) Enačba (11) podaja količino hranil v primeru, ko je koncentracija premosorazmerna pretoku:

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

$$I_d[\text{kg / dan}] = K_l * Q_d^2 \quad (11)$$

Pogosto je eksponent različen od 2.

d) Najbolj verjetno količino hranil (dejanska situacija) podaja enačba (12), ki

$$\text{kombinira prve tri možnosti: } \bar{c} = K + \frac{K_0}{Q_d} + K_1 * Q_d^b$$

$$I_d [kg / dan] = K * Q_d + K_0 + K_1 * Q_d^{b+1} \quad (12)$$

Izgubo snovi na iztoku iz pojezerja pa običajno ocenimo s pomočjo erozijskega koeficienta ϕ posamezne površine v pojezerju, ki ga izračunamo po enačbi (13):

$$\phi [g / m^2 leto] = \frac{l_y [g / leto]}{D [m^2]} \quad (13)$$

Kjer so: l_y ... letna količina hranil, ki odteka iz posamezne površine v pojezerju

D ... površina posameznega dela pojezerja

3.2.2.2 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 in N iz pojezerja (I_{Pt} in I_{Nt}), naravni vnos P in N v jezero s padavinami (I_{Pp} in I_{Np}) ter umetni vnos P in N v jezero (I_{Pw} in I_{Nw}) (enačbi 14 in 15) (Jørgensen, Vollenweider, 1989)

$$I_P [mg / leto] = I_{Pt} + I_{Pp} + I_{Pw} \quad (14)$$

$$I_N [mg / leto] = I_{Nt} + I_{Np} + I_{Nw} \quad (15)$$

Ta način določitve vnosa hranil v jezero se uporablja izključno takrat, ko nimamo podatkov pridobljenih z meritvami.

Naravni vnos P in N 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. Tabela 3.4

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

Tabela 3.4: Količina vnosa hranil iz pojezerja (Jørgensen, Vollenweider, 1989)

vrsta prispevne površine	E _P (mgP/leto)		E _N (mgN/leto)	
	osnovno gorstvo	sedimenti	osnovno gorstvo	sedimenti
gozdovi (povprečje)	0,7-9,0 (4,7)	7,0-18 (11,7)	130-300 (200)	150-500 (340)
gozdovi + pašniki (povprečje)	6,0-12,0 (10,2)	11,0-37,0 (23,3)	200-600 (400)	300-800 (600)
kmetijske površine: sadovnjaki	18		2240	
pašniki	15-75		100-850	
polja, njive	22-100		500-1200	

Vnos P (Enačba 16) in N (Enačba 17) iz pojezerja izračunamo kot seštevek vnosov iz posameznih območij (Jørgensen, Vollenweider, 1989):

$$I_{Pt} [mg / leto] = \sum_{i=1} A_i [m^2] * E_{Pi} [mg / leto] \quad (16)$$

$$I_{Nt} [mg / leto] = \sum_{i=1} A_i [m^2] * E_{Ni} [mg / leto] \quad (17)$$

Naravni vnos P in N s padavinami

Na osnovi letne količine padavin (P) lahko ocenimo P in N s padavinami z Enačbama 18 in 19 (Jørgensen, Vollenweider, 1989):

$$I_{PP} [mg / leto] = P [mm / leto] * C_{PP} * A_S \quad (18)$$

$$I_{NP} [mg / leto] = P [mm / leto] * C_{NP} * A_S \quad (19)$$

Kjer so: A_S ... površina jezera (m²)

C_{PP}, C_{NP} ... koncentracija fosforja in dušika v padavinah (mg/l), (Tabela 3.5)

Tabela 3.5: Koncentracija hranil v padavinah (Jørgensen, Vollenweider, 1989)

	C _{PP} (mgP/l)	C _{NP} (mgN/l)
količina P in N v dežju (povprečje)	0,025-0,1 (0,07)	0,3-1,6 (1)

Umetni vnos P in N

Za izračun onesnaženja zaradi človeških dejavnosti moramo poznati število prebivalcev v pojezerju.

Upoštevati moramo naslednje dejavnike:

- 1) vnos P je $E_{Pw} = 800-1800$ g P/(preb. leto), vnos N pa $E_{Nw} = 3000-3800$ g N/(preb. leto)
- 2) z mehanskim čiščenjem odpadne vode ($M_{P,N}$) odstranimo 10-15% hranil
- 3) z biološkim čiščenjem odpadne vode ($B_{P,N}$) odstranimo 10-15% hranil
- 4) s kemijskim usedanjem P ($K_{P,N}$) odstranimo 80-90% P
- 5) upoštevamo retencijske koeficiente (R_S) za celokupni fosfor in dušik za drenaže iz greznic (Tabela 3.6)

Tabela 3.6: Retencijski koeficienti, D = velikost zrn (Jørgensen, Vollenweider, 1989)

Sestava drenaže	R_S
4% sed.blata in 96% peska (70 cm)	0,76
75 cm peska D = 0.3 mm	0,34
75 cm peska D = 0.6 mm	0,22
75 cm peska D = 0.24 mm	0,48
75 cm peska D = 1.0 mm	0,01
10% sed.blata in 90% peska (37 cm)	0,88
50% apnenca in 50% peska (37 cm)	0,73
muljnati pesek (70 cm)	0,63
50% muljnata glina in 50% peska (37 cm)	0,74

Z množenjem zgoraj navedenih dejavnikov (vnos P in N, čiščenje odpadne vode,...) izračunamo vnos P (I_{Pw}) in vnos N (I_{Nw}) iz poseljenih območij (Enačba 20, 21).

$$I_{Pw} = E_{Pw} * M_P * B_P * K_P * R_S \quad (20)$$

$$I_{Nw} = E_{Nw} * M_N * B_N * K_N * R_S \quad (21)$$

4 OPIS IZBRANIH MODELOV ZA DOLOČITEV KOLIČINE HRANIL

V AKUMULACIJI

4.1 MONERIS

Model MONERIS (MOdelling Nutrient Emissions into RIver Systems) je bil narejen za računanje hranil, ki izvirajo iz točkovnih in razpršenih virov, v nemških rekah večjih od 500 km² (Behrendt et al., 1999). Osnovni vnosi v model so podatki o izlivu hranil, kvaliteti vode in v GIS-u (Geographical Information System) zajetih digitalnih mapah ter statističnih informacijah za različne upravne zadeve. Medtem ko se mestne odpadne vode in industrijske vode stekajo prečiščene ali neprečiščene direktno v reko v točki (izpust), pritekajo hranila razpršenih virov iz različnih območij in običajno razpršeno, oz. v vrsti majhnih izpustov, ki jih je nemogoče nadzorovati, oz. meriti. Razdelitev med vnosi hranil iz različnih virov je potreben, ker so koncentracije hranil in procesi znotraj teh komponent vnosov različni. Posledično MONERIS računa določitev količine hranil iz sedmih različnih virov:

- točkovni viri
- ozračje
- odtok iz površin
- erozija
- podtalnica
- drenažna voda skozi zemljino
- tlakovane mestne površine

V MONERIS-u so karakterizirani dotoki razpršenih virov, različne transformacije, izgube in zadrževalni postopki. Za določitev količine hranil in napoved dotoka hranil v relaciji z njihovimi viri je potrebno poznavanje transformacijskih in zadrževalnih postopkov. Za podrobne dinamične modele to še ni mogoče, ker so znanje in obstoječi podatki omejeni le na srednja in velika rečna območja. Zaradi tega so obstoječi pristopi makro-modeliranja modificirani in, če je potrebno, narejeni poizkusi, da so dobljeni novi primerni konceptni modeli za računanje dotoka hranil iz individualnih razpršenih virov (Behrendt et al., 1999) Glej sliko 4.1.

MONERIS je izrazito empiričen (statistično ovrednoten) model, ki sicer temelji na zelo poenostavljenih konceptih.



Slika 4.1: MONERIS (Behrendt, 2000)

Za določitev količin hranil iz povodja Padeža sta bila od sedmih možnih virov določitve uporabljena dva vira, to sta odtok iz površin in erozija. V nadaljevanju so navedene formule, s katerimi določimo količine hranil.

4.1.1 Računanje odtoka hranil iz površine

$$q_G = 0,86 * N_j - 111,6 * \frac{N_{S0}}{N_{W1}} - 241,4 \quad (22)$$

kjer je q_G ... povprečni letni specifični odtok [mm/m^2]

N_j ... povprečne letne padavine [mm/m^2]

N_{S0} ... povprečne padavine v poletni polovici leta [mm/m^2]

N_{W1} ... povprečne padavine v zimski polovici leta [mm/m^2]

$$q_{R0} = q_G * 2 * 10^{-6} * (N_j - 500)^{1,65} \quad (23)$$

kjer je q_{R0} ... specifični površinski odtok [mm/m^2]

$$Q_{RO} = q_{RO} * (A_{LN} + A_{OF}) * 1000 \quad (24)$$

kjer je Q_{RO} ... površinski odtok iz netlakovanih površin [m^3/leto]

A_{LN} ... kmetijske površine [km^2]

A_{OF} ... odprta območja (površine z naravno vegetacijo, hribovja)

$$C_{RO_{N,P}} = \frac{C_{ROACKER_{N,P}} * A_{ACKER} + C_{ROGRUN_{N,P}} * A_{GRUN} + C_{ROOF_{N,P}} * A_{OF}}{A_{ACKER} + A_{GRUN} + A_{OF}} \quad (25)$$

kjer je $C_{RO_{n,p}}$... koncentracija hranil iz površinskega odтока [mg/l]

A_{ACKER} ... območje orane površine [km^2]

A_{GRUN} ... travnato območje [km^2]

A_{OF} ... odprte površine [km^2]

$C_{ROACKER_{n,p}}$... ocenjena koncentracija hranil iz orane površine [mg/l]

$C_{ROGRUN_{n,p}}$... ocenjena koncentracija hranil iz travnate površine [mg/l]

$C_{ROOF_{n,p}}$... ocenjena koncentracija hranil iz odprte površine [mg/l]

$$ERO_{N,P} = \frac{C_{RO_{N,P}} * Q_{RO}}{1000} \quad (26)$$

kjer je $ERO_{N,P}$... vnos hranil iz površine [$\text{t}/(\text{km}^2\text{leto})$]

Pri računanju odтока hranil iz površine je glavni podatek poprečna letna količina padavin, iz katerega izračunamo specifični površinski odtok (Enačba 23). Če ta odtok množimo s celotno prispevno površino, dobimo površinski odtok iz naravnih površin (kmetijske površine, travniki, gozdovi) (Enačba 24). Preden izračunamo vnos hranil iz površine, moramo poznati

tudi koncentracijo hranil v površinskem odtoku (Enačba 25). Pri izračunu koncentracije je potrebno poznati površine območij (polja, travniki, gozdovi) in koncentracije hranil iz teh območij. V našem primeru so podatki za koncentracije hranil iz kmetijskih površin, travnikov in gozdov povzeti po avtorjih Braun et al. (1991) in (Pöthig&Behrendt, 1999). Vnos hranil iz površine (Enačba 26) pa dobimo z množenjem površinskega iz naravnih površin in koncentracijo hranil v površinskem odtoku.

4.1.2 Računanje dotoka hranil zaradi erozije

$$SED = BA * 0,012 * (SL - 0.25)^{0,3} * A_{ACKER}^{1,5} \quad (27)$$

kjer je SED ... dotok sedimentov [t/a]

SL ... nagib pobočja [%]

A_{ACKER} ... območje orane površine [%]

BA ... izguba zemljine, izračunano s pomočjo RUSLE [t/ha]

$$P_{BODEN} = \frac{A_{ACKER} * P_{ACKER} + A_{GEB} * P_{GEB}}{A_{ACKER} + A_{GEB}} \quad (28)$$

$$N_{BODEN} = \frac{A_{ACKER} * N_{ACKER} + A_{GEB} * N_{GEB}}{A_{ACKER} + A_{GEB}} \quad (29)$$

kjer je P, N_{BODEN} ... ocenjena vsebnost fosforja/dušika v vrhnji plasti zemljine [t/km²]

P, N_{GEB} ... ocenjena vsebnost fosforja/dušika v vrhnji plasti neobdelane zemljine [t/km²]

P, N_{ACKER} ... ocenjena vsebnost fosforja/dušika v vrhnji plasti obdelane zemljine [t/km²]

A_{ACKER} ... območje orane površine [km²]

A_{GEB} ... hribovito, neobdelano območje [km²]

$$ER_P = 18 * I_{AFS}^{-0,47} \quad (30)$$

$$ER_N = 7,7 * I_{AFS}^{-0,47} \quad (31)$$

kjer je $ER_{N,P}$... kvocient zmesi N (P) v erodirani/neerodirani zemljini

I_{AFS} ... specifični vnos sedimentov [t/km²]

$$EER_P = P_{BODEN} * ER_P * SED \quad (32)$$

$$EER_N = N_{BODEN} * ER_N * SED \quad (33)$$

kjer je $EER_{N,P}$... dotok hranil zaradi erozije [t/km^2 leto]

Za določitev dotoka hranil zaradi erozije (Enačba 32, 33) moramo poznati dotok sedimentov, vsebnost hranil v vrhnji plasti in kvocient hranil v erodirani/neerodirani zemljini. Pri izračunu dotoka sedimentov (Enačba 27) je potrebno poznati podatek o naklonu – strmosti pobočja, o površini obdelovalne površine – polja in o izgubi zemljine, katero določimo s pomočjo modela RUSLE. Vsebnost hranil v vrhnji plasti zemljine izračunamo z množenjem prispevnih površin (obdelano in neobdelano območje) ter vsebnostjo hranil v vrhnji plasti obdelane/neobdelane zemljine. Za naše prispevno površino Padeža ta podatek nismo imeli znan, zato smo ga poiskali v knjigi MONERIS (Behrendt, 2000). Za izračun ER (Enačba 30, 31) pa je potrebno poznati specifični vnos sedimentov, ki je v našem primeru izračunan s pomočjo modela RUSLE.

4.1.3 Model Danube

V programu DPRP (Danube Pollution Reduction Programme) sodelujejo države iz povodja Donave, t.j. Nemčija, Avstrija, Češka, Slovaška, Madžarska, Slovenija, BiH, Hrvaška, Srbija, Romunija, Bolgarija, Moldavija, Ukrajina ter še nekatere države, ki vodijo program in izvajajo matematično modeliranje. Celotno povodje obsega $802.890 km^2$.

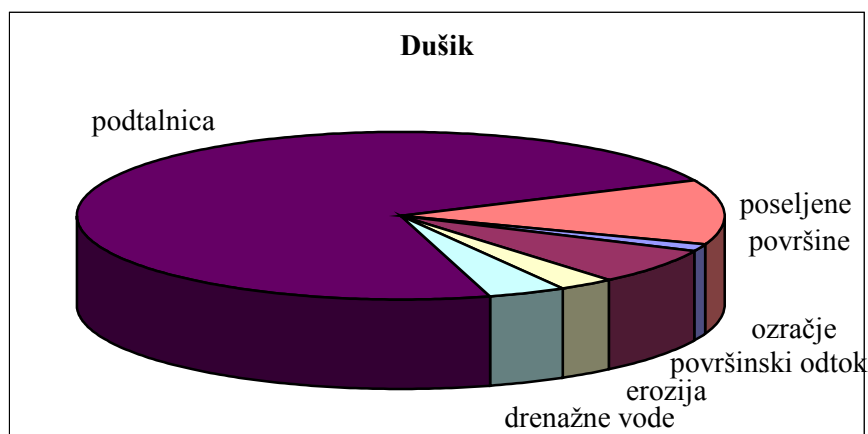
V Sloveniji so obravnavana porečja reke Save, Mure in Drave. Velikost obravnavanega povodja je $16.410 km^2$. V tabeli 4.1 so prikazane s pomočjo modela MONERIS izračunane vrednosti onesnaženja s hranili iz razpršenih virov. Te iste vrednosti pa so nato prikazane še na sliki 4.2 in 4.3.

Vnos hranil iz točkovnih in razpršenih virov je bil izračunan iz 388 porečij sistema rek povodja Donave, v obdobju 1998 - 2000 z modelom MONERIS. Izračunano je, da je bilo onesnaženje s totalnim fosforjem v sistemu povodja Donave v obdobju od 1998 do 2000 690

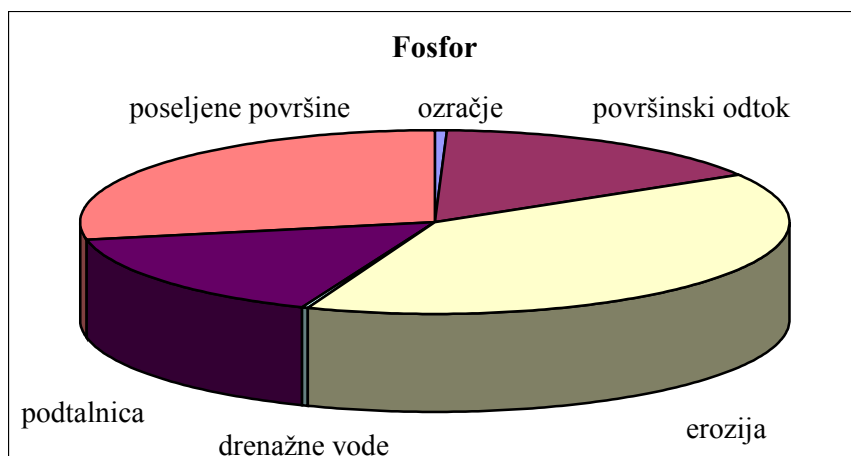
kt/leto, od tega 80 % iz razpršenih virov. Onesnaženje s fosforjem v istem obdobju je bilo 67,2 kt/leto, od tega 64 % iz razpršenih virov.

Tabela 4.1: Izločanje P in N iz različnih virov (Danube PRP- Slovenija, German Federal Ministry of the Environment, 2003)

površina: 16410 km ²	N	N	P	P
	t/leto	kg/ha*leto	t/leto	kg/ha*leto
ozračje	280	0,17	7	0,0043
površinski odtok	1350	0,82	192	0,117
erozija	540	0,33	475	0,29
drenažne vode	810	0,49	4	0,0024
podtalnica	14280	8,7	193	0,118
poseljene površine	2460	1,5	339	0,2066



Slika 4.2: Izločanje dušika iz različnih virov (Danube PRP- Slovenija, German Federal Ministry of the Environment, 2003)



Slika 4.3: Izločanje fosforja iz različnih virov (Danube PRP- Slovenija, German Federal Ministry of the Environment, 2003)

4.2 RUSLE

Metoda RUSLE je množica matematičnih enačb, ki računajo povprečne letne izgube zemljine in donos sedimentov s pomočjo površinske in podtalne erozije (Galetovic J.R., 1998). Pridobljena je s pomočjo teorije o procesih erozije, več kot 10.000 modelnih let podatkov iz naravnih padavinskih modelov, in veliko modelov padavinskih simulacij. Enačbe RUSLE so zelo dobro umerjene in dokumentirane. Prednost metode RUSLE je ta, da jo je izdelala skupina nacionalno znanih znanstvenikov, ki so imeli veliko izkušenj z erozijskimi procesi (Soil and Water Conservation Society, 1993).

RUSLE (Revised USLE) je obdržala obliko predhodne enačbe, USLE (the Universal Soil Loss Equation) (USLE, Wischmeier and Smith, 1978), in se glasi:

$$A = R * K * LS * C * P \quad (34)$$

Kjer je: A ... povprečna letna izguba zemljine [t/ha*leto]
R ... površinska erozija zaradi padavin [t/ha]
K ... erozivnost zemlje [brez dimenzije]
LS ... strmina pobočja [%]

C ... faktor odvisen od različne pokritosti območja (rastline, drevje, pridelki) [brez dimenzije]

P ... ukrepi za zmanjšanje erozije [brez dimenzije]

R faktor je izraz erozivnosti zaradi padavin in odtekanja na določeni lokaciji. Vrednost R faktorja raste s količino in intenzivnostjo učinkovitih padavin. V pomoč uporabniku so ti podatki vsebovani v datoteki CITY, ki je priložena računalniškemu programu. Osnovni program vsebuje podatke za številna mesta v ZDA, vendar so razpoložljivi tudi podatki za ostale države pri različnih uradih (USDA - United States Department of Agriculture, NRCS - Natural Resources Conservation Service, SCS - the Soil Conservation Service). Ena od enačb za določitev faktorja R je prikazana spodaj.

$$R = 0,1059 * a * b * c + 52,0 \quad (35)$$

kjer je R ... površinska erozija zaradi padavin

a ... povprečne letne padavine [cm]

b ... maksimalne 24 urne padavine z 2-letno povratno dobo [cm/dan]

c ... 1-urne maksimalne padavine z 2-letno povratno dobo [cm/h]

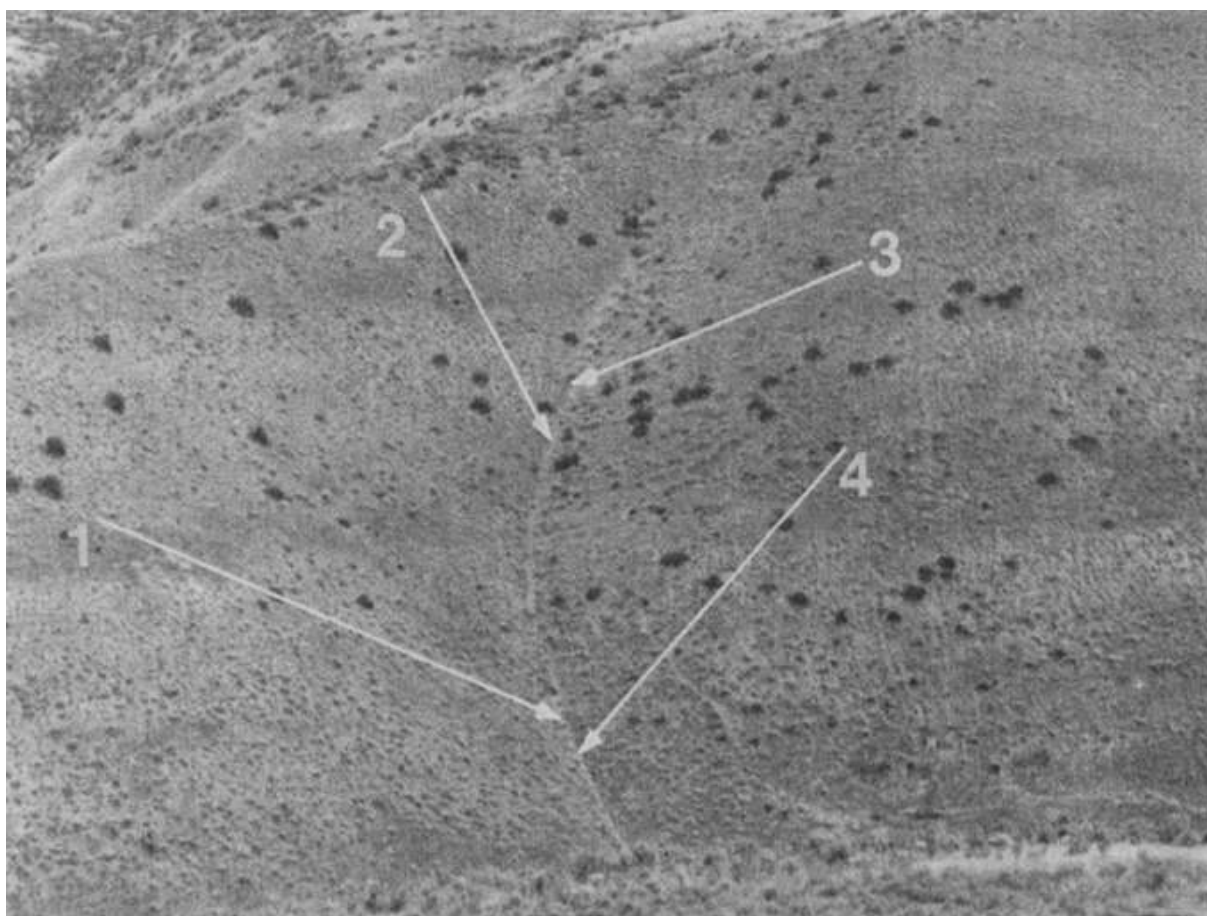
K faktor je izraz naravne erozivnosti zemljine ali površinskega materiala na določenem mestu pri standardnih poskusnih pogojih. K faktor je funkcija razporeditve velikosti delcev, vsebnosti organskih snovi, strukture in prepustnosti zemljine ali površinskega materiala. Za naravne zemljine so vrednosti K faktorja dosegljive pri NRCS. Za onesnažene zemljine pa vsebuje program enačbe, ki izračunajo primerne erozivne vrednosti. Vrednosti za K faktor so prikazane v tabeli 4.2.

Tabela 4.2: K faktor (RUSLE)

tip zemljine	erozivnost	razpon vrednosti K
fina tekstura, veliko gline	nizka	0.05 - 0.15
plastna tekstura, peščeno	nizka	0.05 - 0.20
srednja tekstura, ilovica	zmerna, skromna	0.25 - 0.45
velika vsebnost blata, mulja	velika	0.45 - 0.65

LS faktor je izraz posledice topografije, predvsem dolžine in strmosti pobočja, s katero določimo odstotek izgube zemljine na določenem mestu. Vrednosti LS faktorja rastejo z dolžino in strmostjo pobočja pod predpostavko, da se odtok zemlje kopiči in pospešuje po pobočju navzdol. Primer določitve LS faktorja je prikazan na sliki 4.4 in tabeli 4.3.

V našem primeru smo imeli faktor LS že podan (IEI, 2003).



Slika 4.4: Primer pobočja za določitve LS faktorja (RUSLE)

Tabela 4.3: Primer določitve LS faktorja (RUSLE)

Pobočje	Dolžina pobočja (m)	strmost pobočja(s) (%)	LS
1	68,6	60	13,27
2	41,2	53	9,34
3	45,7	45	8,58
4	114,4	60	16,68

C faktor je odvisen od različne pokritosti in neravnosti območja (rastline, drevje, pridelki), vrste zemljine ter obdelovanja zemljine na določeni lokaciji. Vrednost C faktorja se manjša, ko pokritost območja narašča, kajti s tem se obvaruje zemljino pred erozijo. Primer določitve vrednosti faktorja C je prikazana v tabeli 4.4.

Tabela 4.4: Vrednosti C faktorja za različne pokritosti in neravnosti območja (RUSLE)

Vrsta pokritosti območja	Vrednost C faktorja
Trava	0,001
Redka trava	0,002
Plevel	0,01
	0,04
	0,11
Oves (prve štiri mesece)	0,27
	0,44
Oves (letno)	0,17

P faktor je odvisen od različnih rešitev za zmanjšanje erozije, kot so pravilno načrtovanje in terasiranje na določeni lokaciji. Vrednost P faktorja pada z uporabo teh rešitev, kajti zmanjša se količina in velikost odtoka ter pospešuje odlaganje sedimentov na pobočju. Učinkovitost določene metode za zmanjšanje erozije je odvisna od lokalnih pogojev. V tabeli 4.5 so prikazane vrednosti faktorja P za primer zemljine v Lexingtonu, Kentucky.

Tabela 4.5: Vrednosti P faktorja za naslednje okoliščine – 300 ft dolgo pobočje z 10 % naklonom v Lexingtonu, Kentucky (majhna možnost odtoka, RUSLE).

Višina brazd (mm)	Približno 50 % pokritost	Zemlja
Zelo malo (13 – 51)	0,66	0,81
Zmerno (76 – 102)	0,42	0,67
Zelo veliko (> 152)	0,35	0,57

Za izračun povprečne letne izgube zemljine (Enačba 34) moramo poznati faktor R (površinska erozija zaradi padavin), faktor K (erozivnost zemlje), LS (strmina pobočja), C (odvisen od različne pokritosti območja) ter faktor P (ukrepi za zmanjšanje erozije). Površinsko erozijo zaradi padavin izračunamo s pomočjo Enačbe 35, kjer moramo poznati

povprečne letne padavine, maksimalne dnevne in urne padavine. Ostale faktorje pa določimo s pomočjo tabel (RUSLE). Rezultat pridobljen s pomočjo RUSLE je uporabljen pri metodi MONERIS za računanje določitve količine hranil, ki nastane zaradi erozije.

4.3 MUSLE

Metoda MUSLE je modificirana verzija metode USLE (Wischmeier and Smith, 1978). Glavna razlika v primerjavi z USLE je zamenjava padavinskega faktorja R z direktno oceno površinskega odtoka in odstotka površinskega odtoka. Ta verzija nam poda rešitev za dnevno, USLE pa letno povprečje. Avtorji te verzije trdijo, da je z uvedbo direktne ocene površinskega odtoka možno spremeniti originalno verzijo USLE formule, da računa količino sedimentov.

Enačba MUSLE se glasi:

$$SED = 11,8 * (Q_{surf} * q_{peak} * Area_{hru})^{0,56} * K * C * P * LS * CFRG \quad (36)$$

kjer je: SED ... izguba sedimentov (t/km²)

Q_{surf} ... površinski odtok (mm)

q_{peak} ... maksimalni površinski odtok (m³/h)

$Area_{hru}$... področje hidrološkega odziva na enoto (km²)

K ... erozivnost zemlje (t * h /ha)

LS ... dolžina in strmina pobočja (%)

C ... faktor odvisen od različne pokritosti območja (brez dimenzije)

P ... rešitve za zmanjšanje erozije (brez dimenzije)

CFRG ... količina kamna v zgornjem sloju zemlje (%)

ER kvocient zmesi N (P) v erodirani/neerodirani zemljini - je računano po enačbi Behrendta, ki je bila že obravnavana v poglavju 4.1.6 (Računanje dotoka hranil zaradi erozije, MONERIS):

$$ER_N = 18 * (I_{AFS})^{-0,47} \text{ za dušik} \quad (37)$$

$$ER_P = 7,7 * (I_{AFS})^{-0,47} \text{ za fosfor} \quad (38)$$

kjer je: I_{AFS} ... specifični vnos sedimentov [t/km^2]

Dotok hranil zaradi erozije je bil izračunan kot produkt vsebnosti hranil v zemljini, obogatitve in vnosa sedimentov:

$$EER_P = a * P_{SOIL} * ER_P * SED \quad (39)$$

$$EER_N = a * N_{SOIL} * ER_N * SED \quad (40)$$

kjer je: $EER_{P,N}$... dotok hranil zaradi erozije [t]

a ... enota pretvornega faktorja

P_{SOIL} ... vsebnost fosforja v vrhnji plasti zemljine [t/km^2]

N_{SOIL} ... vsebnost dušika v vrhnji plasti zemljine [t/km^2]

Model MUSLE je bil uporabljen na povodju Padeža za izračun koncentracij hranil, ki prispejo v površinske vode zaradi površinske erozije .

5 REZULTATI MODELOV

5.1 Določitev obremenitve jezera s P in N

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

Skupno količino hranil vnesenih v jezero izračunamo tako, da seštejemo naravni vnos P in N iz pojezerja (I_{Pt} in I_{Nt}), naravni vnos P in N v jezero s padavinami (I_{Pp} in I_{Np}) ter umetni vnos P in N v jezero (I_{Pw} in I_{Nw}) (glejte enačbi 14 in 15)

Naravni vnos P in N iz pojezerja

Tabela 5.1: Količina vnosa hranil iz pojezerja (Jørgensen, Vollenweider, 1989)

vrsta prispevne površine	E_P (mgP/m ² leto)	E_N (mgN/m ² leto)
	Sedimente kamenine	Sedimentne kamenine
gozdovi	4,7	200
kmetijske površine:		
polja, njive	61	850
travniki	45	475

- površina gozda (A_g) je $34,55 \cdot 10^6$ m²
- površina polj, njiv (A_p) je $3,35 \cdot 10^6$ m²
- površina travnikov (A_t) je $5,8 \cdot 10^6$ m²
- vrednosti za količine vnosa hranil iz pojezerja $E_{P,N}$ so v tabeli 5.1

Vnos P in N iz pojezerja izračunamo kot seštevek vnosov iz posameznih območij:

$$I_{Pt} [mg / leto] = \sum_{i=1} A_i [m^2] * E_{Pi} [mg / m^2 leto] = 3,35 \cdot 10^6 * 61 + 5,8 \cdot 10^6 * 45 + 34,55 \cdot 10^6 * 4,7 =$$

$$= 627735000 mg / leto = 0,628 tP / leto$$

$$I_{Nt} [mg / leto] = \sum_{i=1} A_i [m^2] * E_{Ni} [mg / m^2 leto] = 3,35 \cdot 10^6 * 850 + 5,8 \cdot 10^6 * 475 + 34,55 \cdot 10^6 * 200 =$$

$$= 1,25125 \cdot 10^{10} mg / leto = 12,5125 tN / leto$$

Naravni vnos P in N s padavinami

Na osnovi letne količine padavin (P) lahko ocenimo P in N s padavinami z enačbama:

Podatki potrebni pri izračunu:

- letne količine padavin (P) so 1543 mm/leto (tabela v prilogi 2)
- površina jezera A_S je $0,8 \cdot 10^6 \text{ m}^2$
- koncentracija fosforja in dušika v padavinah C_{PP} , C_{NP} pa je prikazana v tabeli 5.2

$$I_{PP}[\text{mg/leto}] = P[\text{mm/leto}] \cdot C_{PP} \cdot A_S = 1543 \cdot 0,07 \cdot 0,8 \cdot 10^6 = 86408000 \text{ mgP/leto}$$

$$= 0,0864 \text{ tP/leto}$$

$$I_{NP}[\text{mg/leto}] = P[\text{mm/leto}] \cdot C_{NP} \cdot A_S = 1543 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 10^6 = 12344 \cdot 10^5 \text{ mgN/leto}$$

$$= 1,2344 \text{ tN/leto}$$

Tabela 5.2: Koncentracija hranil v padavinah, celotna tabela v Tabeli 3.5 (Jørgensen, Vollenweider, 1989)

	C_{PP} (mgP/l)	C_{NP} (mgN/l)
količina P in N v dežju	0,07	1

Umetni vnos P in N

Za izračun antropogenega onesnaženja moramo poznati število prebivalcev v pojezerju. Na obravnavanem območju je 524 prebivalcev.

Upoštevati moramo naslednje dejavnike:

- vnos P je 800-1800 gP/(preb. leto), vnos N pa 3000-3800 gN/(preb. leto)
- retencijski koeficient, ki ga določimo s pomočjo tabele 3.3 in je 0,73

Na osnovi podatkov izračunamo vnos P (I_{Pw}) in vnos N (I_{Nw}) iz poseljenih območij.

$$I_{Pw}[t/leto] = 1300 \cdot 10^{-6} \cdot 524(\text{prebivalcev}) \cdot 0,73 = 0,497 \text{ tP/leto}$$

$$I_{Nw}[t/leto] = 3400 \cdot 10^{-6} \cdot 524(\text{prebivalcev}) \cdot 0,73 = 1,301 \text{ tN/leto}$$

Skupna količina hranil vnesenih v jezero je:

$$I_P[t/leto] = I_{Pt} + I_{Pp} + I_{Pw} = 0,628 + 0,0864 + 0,497 = 1,2114 \text{ tP/leto}$$

$$I_N[t/leto] = I_{Nt} + I_{Np} + I_{Nw} = 12,5125 + 1,2344 + 1,301 = 15,0479 \text{ tN/leto}$$

Pri umetnem vnosu hranil v jezero bi bilo potrebno upoštevati tudi vnos hranil zaradi živine, ki je razložen v poglavju 3.2.1.1. GVŽ tukaj ni upoštevan v umetnem vnosu hrana, vendar pa je zajet v Jørgensenovi formuli (Enačba 16 in 17) preko izpiranja hranil s kmetijskih zemljišč.

5.1.2 MONERIS

Odtok hranil iz površine

$$q_G = 0,86 * N_j - 111,6 * \frac{N_{S0}}{N_{W1}} - 241,4 = 0,86 * 1543 - 111,6 * \frac{784}{740} - 241,4 = 967,34 \text{ mm} / \text{m}^2$$

kjer je q_G ... povprečni letni specifični odtok [mm/m^2]

$$N_j \dots \text{povprečne letne padavine} [\text{mm}/\text{m}^2] = 1543 \text{ mm}/\text{m}^2$$

$$N_{S0} \dots \text{povprečne padavine v poletni polovici leta} [\text{mm}/\text{m}^2] = 784 \text{ mm}/\text{m}^2$$

$$N_{W1} \dots \text{povprečne padavine v zimski polovici leta} [\text{mm}/\text{m}^2] = 740 \text{ mm}/\text{m}^2$$

$$q_{R0} = q_G * 2 * 10^{-6} * (N_j - 500)^{1,65} = 967,34 * 2 * 10^{-6} * (1543 - 500)^{1,65} = 184,83 \text{ mm} / \text{m}^2$$

kjer je q_{R0} ... specifični površinski odtok [mm/m^2]

$$Q_{RO} = q_{R0} * (A_{LN} + A_{OF}) * 1000 = (184,83 / 1000) * (9,15 + 34,55) * 10^6 * 1000 = 8077071000 \text{ m}^3 / \text{leto}$$

kjer je Q_{RO} ... površinski odtok iz netlakovanih površin [m^3/leto]

$$A_{LN} \dots \text{kmetijske površine} [\text{m}^2] = 9,15 * 10^6 \text{ m}^2$$

$$A_{OF} \dots \text{odprta območja (površine z naravno vegetacijo, hribovja)} = 34,55 * 10^6 \text{ m}^2$$

$$C_{RO_{N,P}} = \frac{C_{RO_{ACKER_{N,P}}} * A_{ACKER} + C_{RO_{GRUN_{N,P}}} * A_{GRUN} + C_{RO_{OF_{N,P}}} * A_{OF}}{A_{ACKER} + A_{GRUN} + A_{OF}}$$

$$C_{RO_N} = \frac{2,3 * 3,35 + 2 * 5,8 + 2 * 34,55}{43,7} = 2,023 \text{ g} / \text{m}^3$$

$$C_{RO_P} = \frac{0,8 * 3,35 + 0,2 * 5,8 + 0,05 * 34,55}{43,7} = 0,127 \text{ g} / \text{m}^3$$

- kjer je $C_{ROn,p}$... koncentracija hranil iz površinskega odtoka [g/m^3]
 A_{ACKER} ... območje orane površine [km^2] = 3,35 km^2
 A_{GRUN} ... travnato območje [km^2] = 5,8 km^2
 A_{OF} ... odprte površine [km^2] = 34,55 km^2
 $C_{ROACKERn,p}$... koncentracija hranil iz orane površine [g/m^3] (tabela 5.3)
 $C_{ROGRUNn,p}$... koncentracija hranil iz travnate površine [mg/l] (tabela 5.3)
 $C_{ROOFn,p}$... koncentracija hranil iz odprte površine [mg/l] (tabela 5.3)

Tabela 5.3: Koncentracije hranil iz različnih površin (Behrendt, 2000)

	N [g/m^3]	P [g/m^3]
$C_{ROACKERn,p}$	2,3	0,8
$C_{ROGRUNn,p}$	2	0,2
$C_{ROOFn,p}$	2	0,05

$$ERO_{N,P} = \frac{C_{ROn,p} * Q_{RO}}{1000}$$

$$ERO_N = \frac{8077071000 * (2,023 / 10^6)}{1000} = 16,34t / leto = 0,37t / km^2 leto$$

$$ERO_P = \frac{8077071000 * (0,127 / 10^6)}{1000} = 1,026t / leto = 0,023t / km^2 leto$$

kjer je $ERO_{N,P}$... vnos hranil iz površine [$t/km^2 leto$]

Dotok hranil zaradi erozije

$$SED = BA * 0,012 * (SL - 0,25)^{0,3} * A_{ACKER}^{1,5} = 668 * 0,012 * (0,282 - 0,25)^{0,3} * 0,077^{1,5} = 0,061t / km^2$$

kjer je SED ... dotok sedimentov [t/km^2]

SL ... nagib pobočja [%] = 28,2%. Ta podatek je bil znan in se nahaja v prilogi (Hidrografske karakteristike)

A_{ACKER} ... območje orane površine [%] = 7,7%. Odstotek orane površine dobimo, če delimo območje orane površine s celotnim območjem povodja.

$BA = A$... izguba zemljine [t/km^2] = 668 t/km^2 (Izračun narejen v poglavju 5.1.3 RUSLE)

$$P_{BODEN} = \frac{A_{ACKER} * P_{ACKER} + A_{GEB} * P_{GEB}}{A_{ACKER} + A_{GEB}} = \frac{3,35 * 36,4 + 40,35 * 15,0}{43,7} = 16,641 t / km^2$$

$$N_{BODEN} = \frac{A_{ACKER} * N_{ACKER} + A_{GEB} * N_{GEB}}{A_{ACKER} + A_{GEB}} = \frac{3,5 * 8,1 + 40,35 * 25,0}{43,7} = 23,704 t / km^2$$

kjer je P_{BODEN} ... vsebnost fosforja v vrhnji plasti zemljine [t/km^2] = 16,641 t/km^2

N_{BODEN} ... vsebnost dušika v vrhnji plasti zemljine [t/km^2] = 23,704 t/km^2

P_{GEB} ... vsebnost fosforja v vrhnji plasti neobdelane zemljine [t/km^2] (tabela 5.4)

N_{GEB} ... vsebnost dušika v vrhnji plasti neobdelane zemljine [t/km^2] (tabela 5.4)

P_{ACKER} ... vsebnost fosforja v vrhnji plasti obdelane zemljine [t/km^2] (tabela 5.4)

N_{ACKER} ... vsebnost dušika v vrhnji plasti obdelane zemljine [t/km^2] (tabela 5.4)

A_{ACKER} ... območje orane površine [km^2] = 3,35 km^2

A_{GEB} ... hribovito, neobdelano območje [km^2] = 40,35 km^2

Tabela 5.4: Vsebnost hranil v vrhnji plasti obdelane in neobdelane zemljine (Behrendt, 2000)

Vsebnost hranil	N [t/km^2]	P [t/km^2]
Neobdelana zemlja	25	15
Obdelana zemlja	8,1	36,4

$$ER_P = 18 * I_{AFS}^{-0,47} = 18 * 668^{-0,47} = 0,85 t / km^2$$

$$ER_N = 7,7 * I_{AFS}^{-0,47} = 7,7 * 668^{-0,47} = 0,36 t / km^2$$

kjer je $ER_{N,P}$... kvocient zmesi N (P) v erodirani/neerodirani zemljini

$I_{AFS} = A$... specifični vnos sedimentov [t/km^2] = 668 t/km^2 (Izračun narejen v poglavju 5.1.3 RUSLE)

$$EER_P = P_{BODEN} * ER_P * SED = 16,641 * 0,85 * 0,061 = 0,86 t / km^2$$

$$EER_N = N_{BODEN} * ER_N * SED = 23,704 * 0,36 * 0,061 = 0,52 t / km^2$$

kjer je $EER_{N,P}$... dotok hranil zaradi erozije [t/km^2 leto]

Podatki za vsebnost in koncentracijo hranil (Tabela 5.3 in 5.4) so povzeti iz knjige MONERIS. Braun et al. (1991) so predpostavili, da je koncentracija dušika iz travnate in odprte površine 2g N/ m^3 , koncentracija iz orane površine pa je za 0,3 g N/ m^3 večja.

Koncentracija fosforja iz različnih površin je določena s pomočjo grafa (slika 5.1), kjer je prikazano, da je koncentracija fosforja odvisna od P – zasičenosti zemljine. Koncentracijo P iz orane površine dobimo pri 90 % zasičenosti, iz travnate površine pri 70% zasičenosti, iz odprte površine pa pri 50% zasičenosti (Pöthig&Behrendt, 1999).

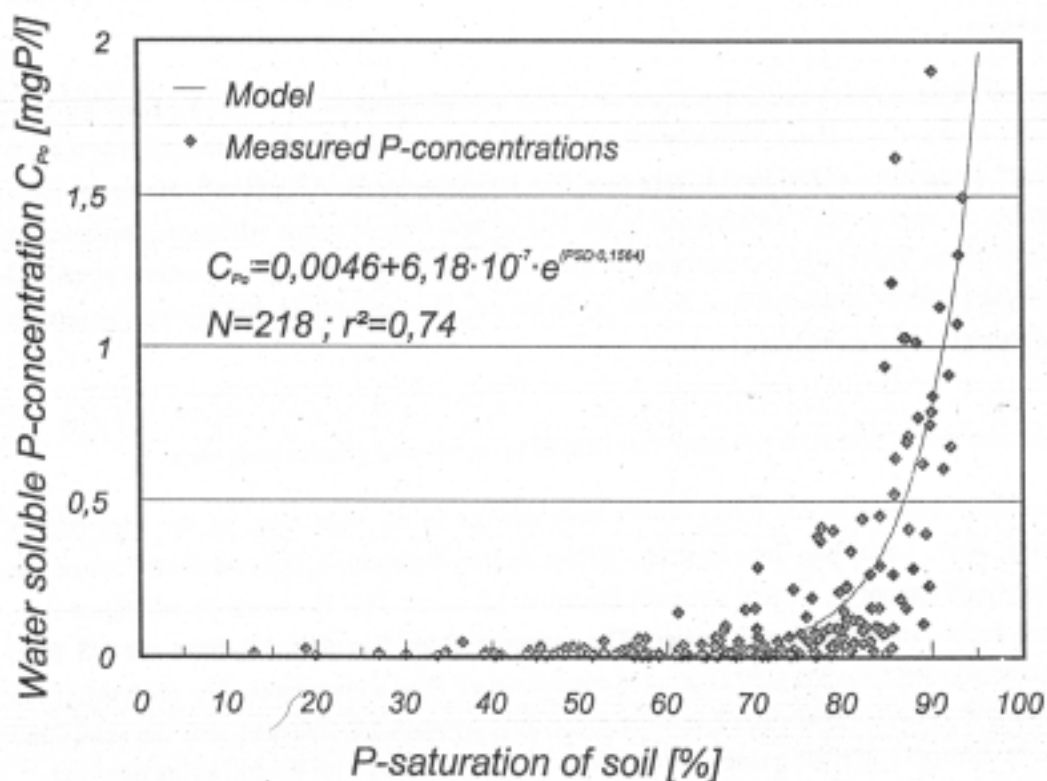


Figure 3.8: Dependence of the water-extractable P-concentration on the P-saturation of soils.

Slika 5.1 Odvisnost koncentracije P od P zasičenosti zemljine (Behrendt, 2000)

Vsebnost hranil v vrhnji plasti obdelane in neobdelane zemljine (tabela 5.4) pa je določena s pomočjo digitalnih map za območje nižinske Nemčije, in te podatki so uporabljeni za povodje Padeža. Digitalne mape zemljine (The Digital **Soil Map** of the World, FAO 1997) temeljijo na FAO/UNESCO digitalnih mapah zemljin sveta. Za določitev vsebnosti hranil v vrhnji plati je bila uporabljena mapa v merilu 1:5 000 000.

5.1.3 RUSLE

RUSLE je množica matematičnih enačb, ki računajo povprečne letne izgube zemljine in donos sedimentov s pomočjo površinske in podtalne erozije.

$$A = R * K * LS * C * P = 564,2 * 0,1 * 0,282 * 0,42 * 1,0 = 6,68 \text{ t/ha}$$

Kjer je: A ... povprečna letna izguba zemljine v tonah/ha*leto

R ... površinska erozija zaradi padavin = 564,2 t/ha (glej izračun R1)

K ... erozivnost zemlje = 0,1 (določen s pomočjo tabele 4.2)

LS ... nagib pobočja = 28,2%. Ta podatek je bil znan in se nahaja v prilogi
(Hidrografske karakteristike)

C ... faktor odvisen od različne pokritosti območja (rastline, drevje, pridelki) = 0,42
(prirejeno pa tabeli 4.4)

P ... rešitve za zmanjšanje erozije = 1,0. Ker se faktor P določa za določeno obdelovalno površino (določena rešitev), mi pa pri izračunu upoštevamo celotno površino - vsa polja (kjer je možnih več rešitev), predpostavim, da je vrednost faktorja P enaka 1.

R faktor je izraz erozije iz površine zaradi padavin na določeni lokaciji. Vrednost R raste s količinsko rastjo in intenziteto padavin.

Račun R faktorja (erozija iz površine zaradi padavin)

Vrednost R-faktorja je direktno uporabljena v računu izgube zemljine. Izračunan je s pomočjo naslednje enačbe (Jha Raghunath, 2002):

$$R = 0,1059 * a * b * c + 52,0 = 0,1059 * 154,3 * 20,9 * 1,5 + 52,0 = 564,2 \text{ t / ha} \quad (\text{R } 1)$$

kjer je R ... površinska erozija zaradi padavin

a ... povprečne letne padavine [cm] = 154,3 cm (priloga 4)

b ... maksimalne 24 urne padavine z 2-letno povratno dobo [cm/dan] = 20,9 cm/dan

c ... 1-urne maksimalne padavine z 2-letno povratno dobo [cm/h] = 1,5 cm/h

5.1.4 MUSLE

MUSLE je modificirana verzija USLE (Wischmeier and Smith, 1978). Glavna razlika v primerjavi z USLE je zamenjava padavinskega faktorja R z direktno oceno površinskega odtoka in maksimalnega površinskega odtoka.

Enačba MUSLE se glasi:

$$SED = 11,8 * (Q_{surf} * q_{peak} * Area_{hru})^{0,56} * K * C * P * LS * CFRG$$

$$SED = 11,8 * (913 * 4320 * 3,35 * 10^3)^{0,56} * 0,1 * 0,42 * 1,0 * 0,282 * 0,10 * 0,0001 = 0,65 \text{ t}$$

kjer je: SED ... izguba sedimentov (t)

Q_{surf} ... površinski odtok (mm) = 913 mm (tabela, priloga 2)

q_{peak} ... maksimalni površinski odtok (m^3/h) = $1,2 m^3/s = 4320 m^3/h$ (tabela, priloga 2)

$Area_{hru}$... področje hidrološkega odziva na enoto (km^2) = $3,35 km^2$

K ... erozivnost zemlje ($t * h / (ha * N)$) = 0,1 (določen s pomočjo tabele 4.2)

LS ... dolžina in strmina pobočja (%) = 28,2

C ... faktor odvisen od različne pokritosti območja (brez dimenzije) = 0,42

P ... rešitve za zmanjšanje erozije (brez dimenzije) = 1,0

CFRG ... vsebnost kamenja v zgornjem sloju zemljine (%) = 0,10 (ocena)

Faktorji K, LS, C in P so bili vzeti iz poglavja 5.1.3.

ER - je računano po enačbi Behrendta (rezultata sta prepisana iz poglavja 5.1.2):

$$ER_N = 18 * ((I_{AFS}))^{-0,47} = 0,36 \text{ t/km}^2 \text{ za dušik}$$

$$ER_P = 7,7 * ((I_{AFS}))^{-0,47} = 0,85 \text{ t/km}^2 \text{ za fosfor}$$

kjer je: (I_{AFS}) ... specifični vnos sedimentov [t/km^2]

Dotok hranil zaradi erozije je bil izračunan kot produkt vsebnosti hranil v zemljini, obogatitve in vnosa sedimentov:

$$EER_P = P_{BODEN} * ER_P * SED = 16,641 * 0,85 * 0,65 = 9,19 \text{ t/leto} = 2,74 \text{ t/km}^2\text{leto}$$

$$EER_N = N_{BODEN} * ER_N * SED = 23,704 * 0,36 * 0,65 = 5,55 \text{ t/leto} = 1,66 \text{ t/km}^2\text{leto}$$

kjer je: $EER_{P,N}$... dotok hranil zaradi erozije [$\text{t/km}^2\text{leto}$]

P_{BODEN} ... vsebnost fosforja v vrhnji plasti zemljine [t/km^2] = 16,641 t/km^2

N_{BODEN} ... vsebnost dušika v vrhnji plasti zemljine [t/km^2] = 23,704 t/km^2

Izračun količin N, P_{BODEN} je izveden v poglavju 5.1.2.

5.1.5 Primerjava rezultatov obremenitve s P in N

Na podlagi izračunanih količin po treh različnih metodah in na podlagi rezultatov iz modela Danube so izdelane tabele (tabela 5.5, 5.6 in 5.7) ter prikazani rezultati tudi v grafični obliki (slika 5.2 in 5.3).

Tabela 5.5: Računanje s pomočjo empirično določenih vrednosti za vnos hranil v jezero

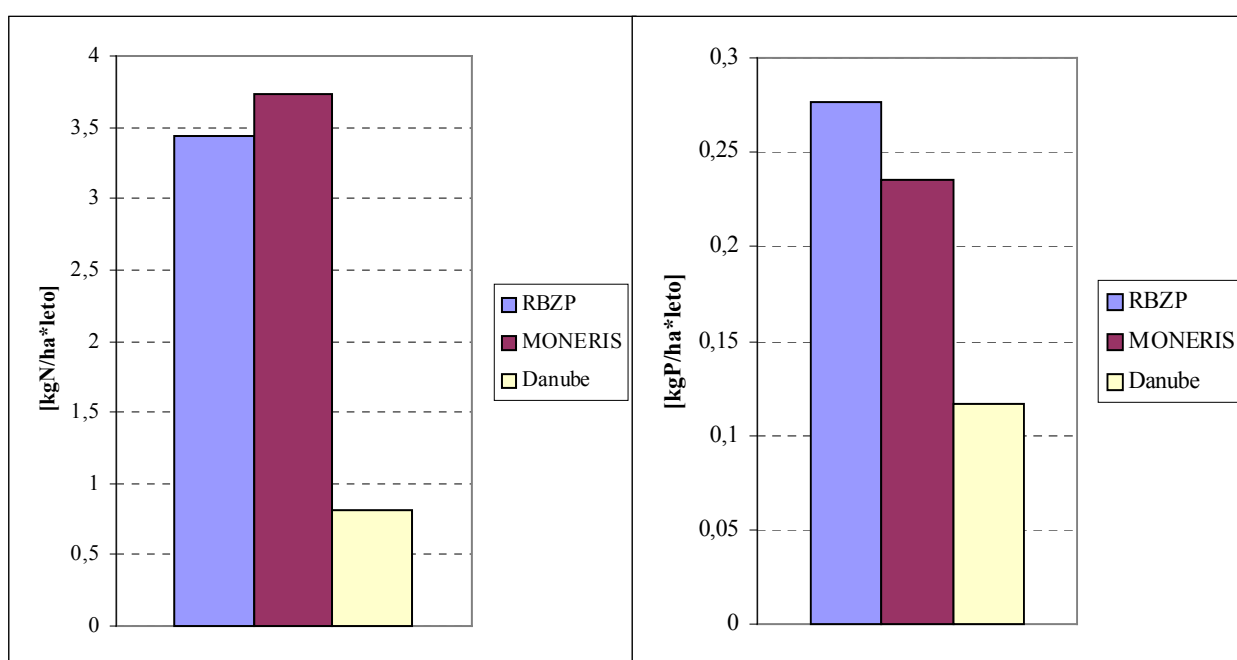
površina: 43.7 km ²	RBZP			
	N	N	P	P
	t/leto	kg/ha*leto	t/leto	kg/ha*leto
površinski odtok	15	3,4	1,2	0,3
erozija	-	-	-	-

Tabela 5.6: Računanje s pomočjo MONERIS

površina: 43.7 km ²	MONERIS			
	N	N	P	P
	t/leto	kg/ha*leto	t/leto	kg/ha*leto
površinski odtok	16,3	3,7	1	0,2
erozija	1,7	5,2	2,9	8,6

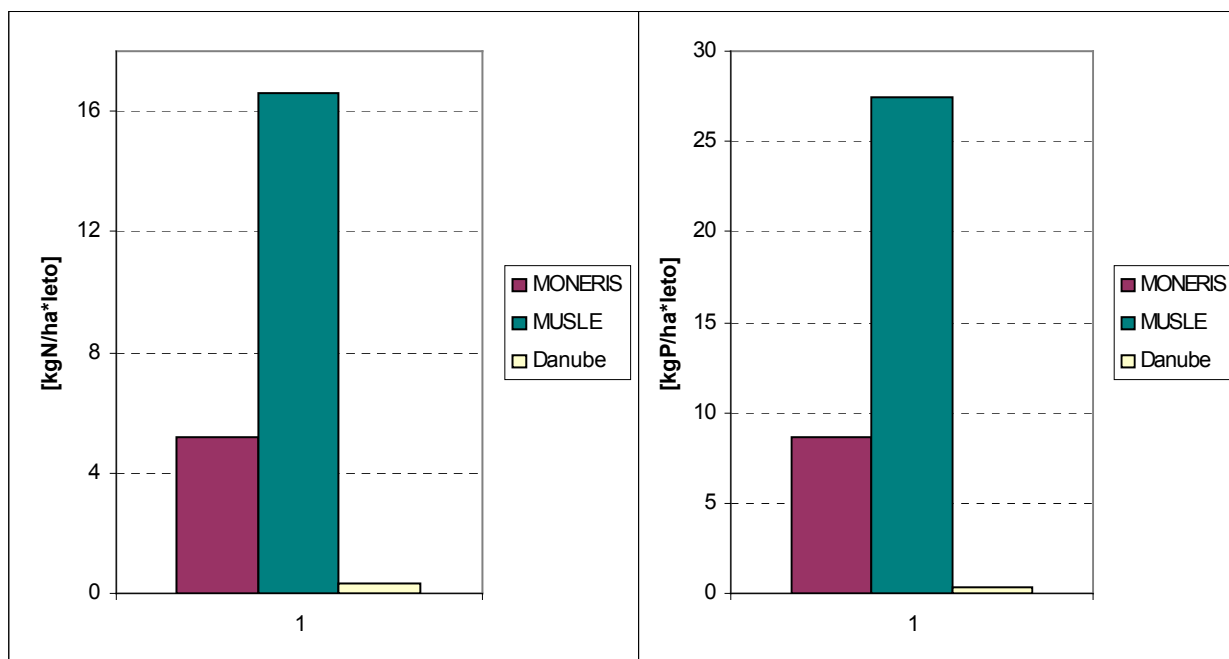
Tabela 5.7: Računanje s pomočjo MUSLE

površina: 43.7 km ²	MUSLE			
	N	N	P	P
	t/leto	kg/ha*leto	t/leto	kg/ha*leto
površinski odtok	-	-	-	-
erozija	5,5	16,6	9,2	27,4



Slika 5.2: Količina N in P pri površinskem odtoku

Iz slike 5.2 je razvidno, da so dobljeni rezultati s pomočjo modela Moneris in računanja s pomočjo empirično določenih vrednosti za vnos hranil v jezero približno istega velikostnega razreda. Približno 3-krat manjše vrednosti pa so dobljene s pomočjo modela Danube (služi le za primerjavo).



Slika 5.3: Količina N in P pri eroziji

Iz slike 5.3 je razvidno, da so dobljeni rezultati s pomočjo modela MUSLE veliko večji od ostalih dveh modelov. Vrednosti modela Danube so služile le za primerjavo.

Podrobnejši komentar na dobljene rezultate je podan v 6. poglavju (Diskusija).

5.2 Določitev stopnje trofičnosti

Stopnja trofičnosti akumulacije Padež je bila določena po OECD kriteriju iz leta 1982, katerega glavni nosilec je Vollenweider. Trofične kategorije in parametri so prikazani v tabeli 2.3.

5.2.1 Določitev stopnje trofičnosti po letih

Na obravnavanem območju, to je na reki Padež v Suhorju, je bil leta 1954, 1958 - 1969, 1971 - 1973 izmerjen pretok (tabela z izmerjenimi pretoki je podana v prilogi 1). S pomočjo Vollenweiderjeve formule so bile izračunane koncentracije totalnega fosforja in anorganskega dušika. Količina klorofila a pa je dobljena s pomočjo enačbe, ki povezuje koncentracijo fosforja in klorofila a, katere avtor je tudi Vollenweider (Rismal M., 1980).

$$[P] = \frac{L}{z/T_w(1 + \sqrt{T_w})} \quad (41)$$

$$L = \frac{L_{tot}}{S}; \quad T_w = \frac{V}{Q}; \quad Chl - a = 0.28 * [P]^{0.96} \quad (42), (43), (44)$$

Kjer so: P ... koncentracija totalnega fosforja v akumulaciji [mgP/m³]

L_{tot} ... vnos fosforja v pritoke akumulacije [kgP/leto]

L ... vnos fosforja v akumulacijo [mgP/m²leto]

T_w ... pretočni čas jezera [leto]

z ... srednja globina jezera [m]

S ... površina jezera [m²]

Q ... letni dotok v akumulacijo [m³/leto]

V ... prostornina jezera [m³]

Chl-a ... koncentracija klorofila a [mg/m³]

Tabela 5.8: Podatki o akumulaciji Padež (IEI, 2003)

Z	S	V
[m]	[m ²]	[m ³]
21	0.8*10 ⁶	11.4*10 ⁶

V tabelah 5.9 in 5.10 so kategorije trofičnosti določene z različnimi barvami:

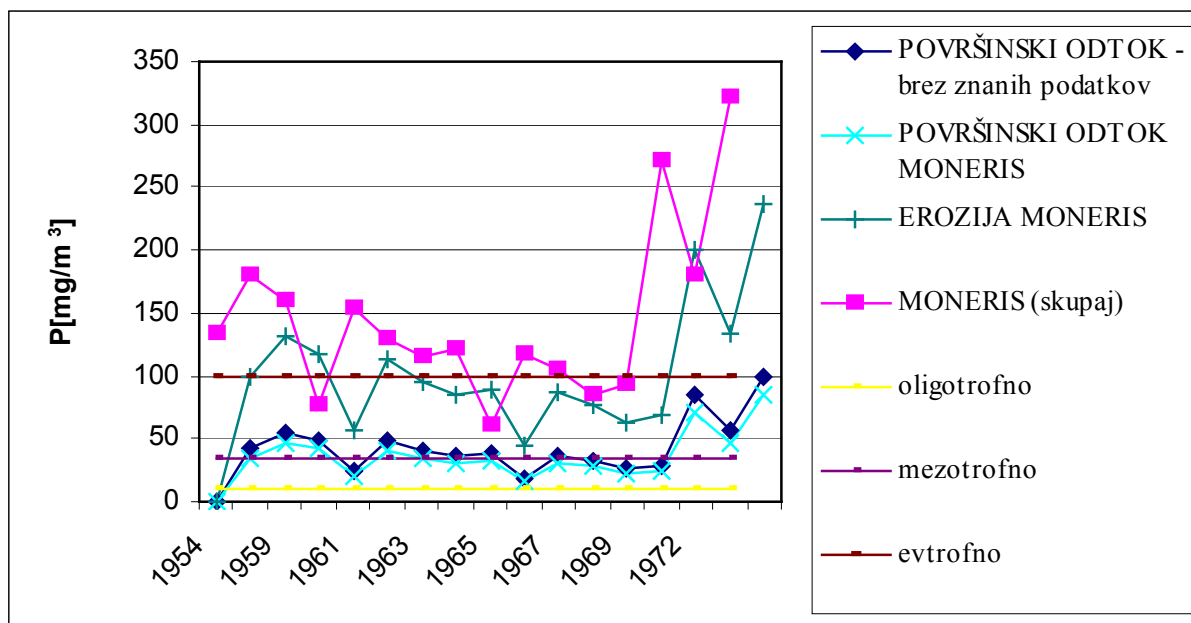
modro = oligotrofno, zeleno = mezotrofno, rumeno = evtrofno, oranžno = hiperevtrofno

Tabela 5.9: Račun stopnje trofičnosti v jezeru na predpostavki, da ga polni voda s karakteristikami izračunanega površinskega odtoka po različnih letih

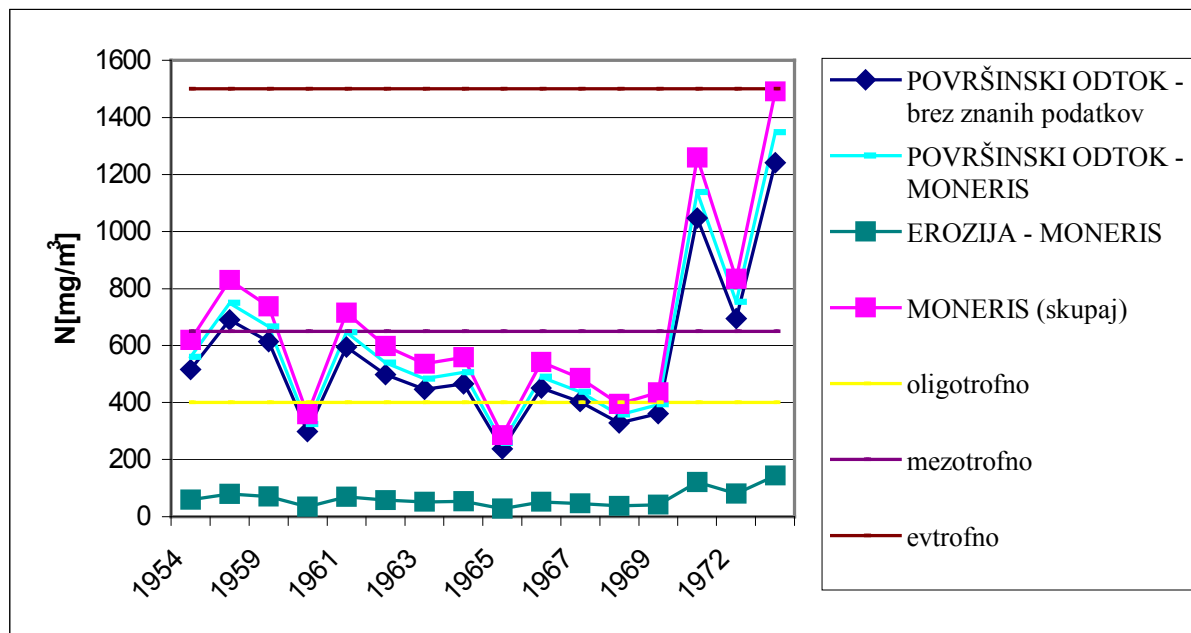
			POVRŠINSKI ODTOK					
			Račun. brez znanih podatkov			MONERIS		
leto	Q[m ³ /s]	Tw[leto]	P[mg/m ³]	N[mg/m ³]	Chl-a[mg/m ³]	P[mg/m ³]	N[mg/m ³]	Chl-a[mg/m ³]
1954	1,005	0,360	41,492	515,406	10,009	35,142	559,662	8,534
1958	0,787	0,459	55,568	690,262	13,249	47,064	749,532	11,296
1959	0,868	0,416	49,410	613,763	11,836	41,848	666,465	10,092
1960	1,603	0,226	23,983	297,912	5,914	20,312	323,492	5,042
1961	0,891	0,406	47,889	594,873	11,486	40,560	645,953	9,793
1962	1,035	0,349	40,069	497,727	9,679	33,936	540,465	8,253
1963	1,135	0,318	35,927	446,276	8,717	30,428	484,596	7,432
1964	1,096	0,330	37,442	465,097	9,069	31,711	505,033	7,733
1965	1,954	0,185	19,078	236,980	4,747	16,158	257,329	4,048
1966	1,126	0,321	36,266	450,491	8,796	30,715	489,172	7,499
1967	1,236	0,292	32,494	403,640	7,916	27,521	438,298	6,749
1968	1,474	0,245	26,441	328,453	6,495	22,395	356,656	5,537
1969	1,356	0,267	29,148	362,073	7,132	24,687	393,163	6,080
1971	0,558	0,648	84,312	1047,320	19,770	71,409	1137,249	16,856
1972	0,784	0,461	55,824	693,439	13,308	47,280	752,981	11,346
1973	0,486	0,744	99,890	1240,829	23,265	84,603	1347,374	19,836

Tabela 5.10: Račun stopnje trofičnosti v jezeru na predpostavki, da ga polni voda s karakteristikami izračunanega odtoka zaradi erozije po različnih letih

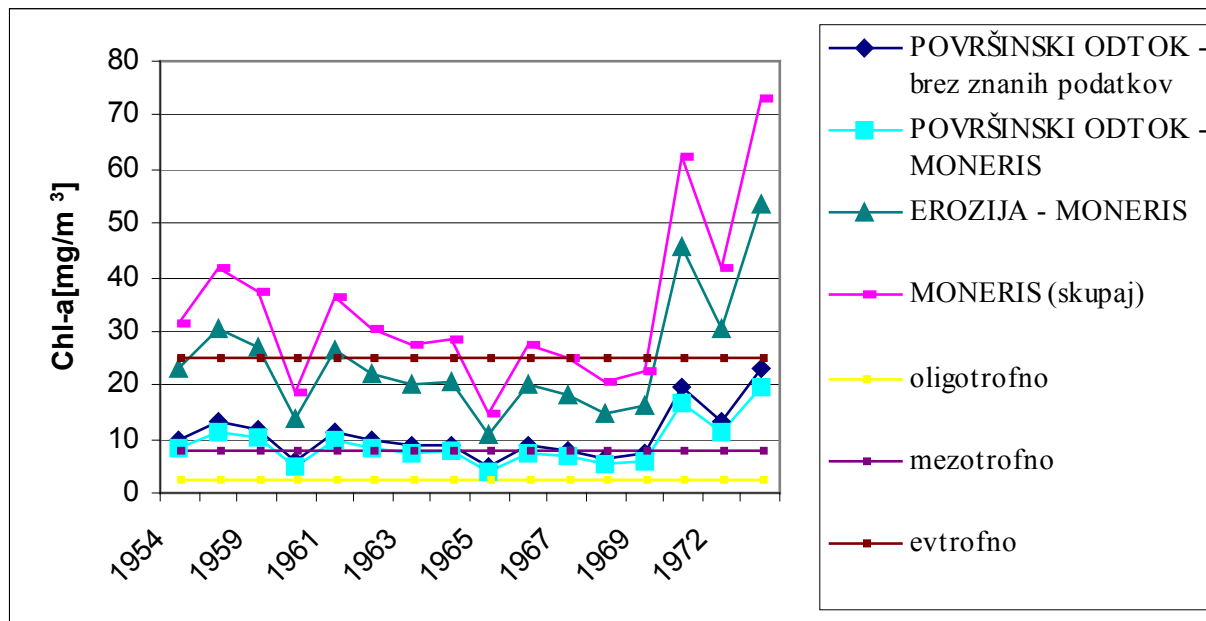
			EROZIJA					
			MONERIS			MUSLE		
leto	Q[m ³ /s]	Tw[leto]	P[mg/m ³]	N[mg/m ³]	Chl-a[mg/m ³]	P[mg/m ³]	N[mg/m ³]	Chl-a[mg/m ³]
1954	1,005	0,360	98,677	59,665	22,994	314,767	190,093	70,021
1958	0,787	0,459	132,154	79,907	30,437	421,555	254,584	92,687
1959	0,868	0,416	117,508	71,052	27,191	374,835	226,370	82,803
1960	1,603	0,226	57,037	34,487	13,585	181,940	109,876	41,370
1961	0,891	0,406	113,892	68,865	26,387	363,299	219,403	80,355
1962	1,035	0,349	95,293	57,619	22,236	303,970	183,573	67,714
1963	1,135	0,318	85,442	51,663	20,025	272,548	164,597	60,979
1964	1,096	0,330	89,045	53,841	20,835	284,042	171,538	63,446
1965	1,954	0,185	45,371	27,434	10,906	144,728	87,404	33,211
1966	1,126	0,321	86,249	52,150	20,206	275,122	166,151	61,532
1967	1,236	0,292	77,279	46,727	18,184	246,509	148,871	55,376
1968	1,474	0,245	62,884	38,023	14,920	200,592	121,141	45,434
1969	1,356	0,267	69,321	41,915	16,383	221,124	133,541	49,889
1971	0,558	0,648	200,515	121,242	45,417	639,616	386,275	138,306
1972	0,784	0,461	132,763	80,275	30,571	423,494	255,756	93,096
1973	0,486	0,744	237,563	143,643	53,445	757,795	457,645	162,752



Slika 5.4: Koncentracija totalnega fosforja v akumulaciji po letih za različne variante izračuna obremenitve



Slika 5.5: Koncentracija anorganskega dušika v akumulaciji po letih za različne variante izračuna obremenitve

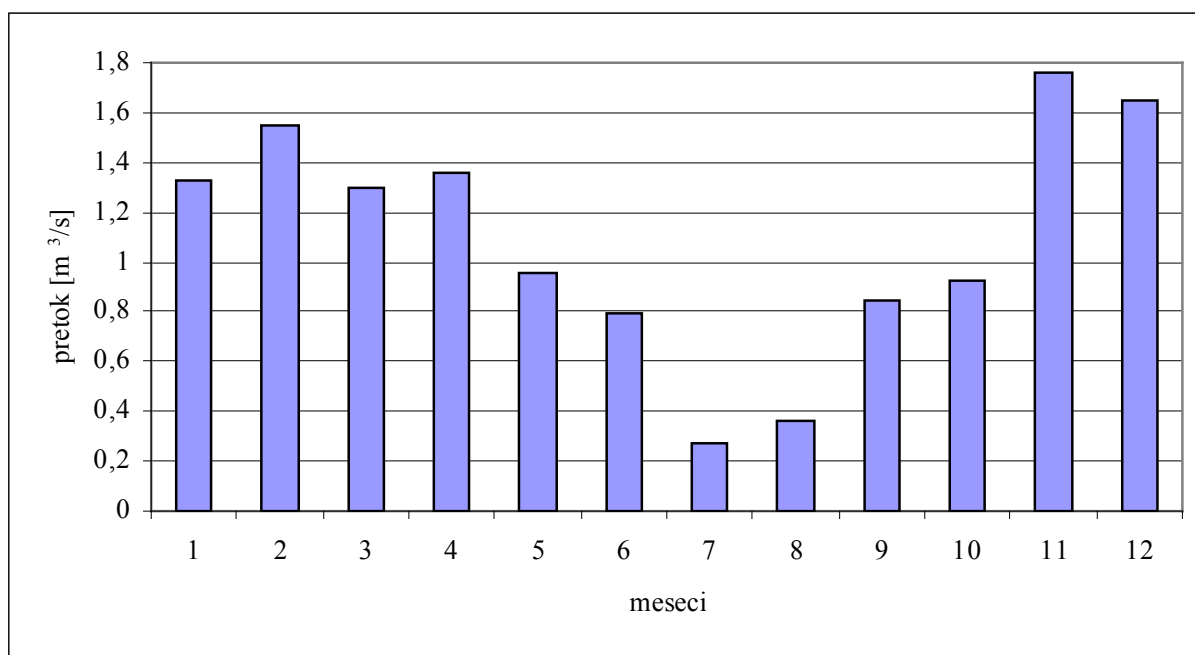


Slika 5.6: Koncentracija klorofila a v akumulaciji po letih za različne variante izračuna obremenitve

Iz slik 5.4 do 5.6 je razvidno, da se je koncentracija hranil tekom let povečevala. Največje vrednosti so bile dobljene v letih 1971 in 1973, najmanjše vrednosti pa v letih 1960 in 1965. Podrobnejši komentar se nahaja v poglavju 6 (diskusija).

5.2.2 Določitev stopnje trofičnosti po mesecih

Na reki Padež pod Suhorjem je bil v letih 1954, 1958 - 1969, 1971 - 1973 izmerjen mesečni pretok, iz katerega je izdelan povprečni hidrogram (IEI 2003). Hidrogram je prikazan na sliki 5.7, kjer so na X-osi podani meseci, na Y-osi pa pretoki.



Slika 5.7: Hidrogram povprečnih pretokov po mesecih v letih 1954, 1958 - 1969, 1971 – 1973 (IEI, 2003)

Enako kot v prejšnjem primeru v poglavju 5.2.1, ko je bila računana koncentracija hranil po letih, je sedaj izračunana koncentracija hranil za vse mesece v letu.

Tabela 5.11: Račun stopnje trofičnosti v jezeru na predpostavki, da ga polni voda s karakteristikami izračunanega površinskega odtoka po mesecih

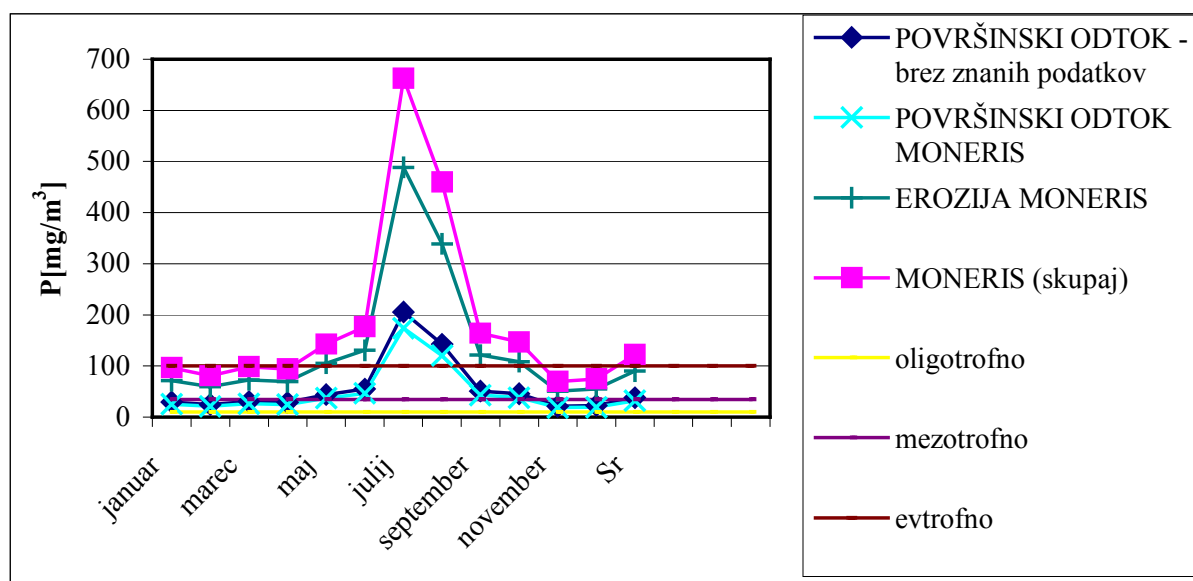
			POVRŠINSKI ODTOK					
			Račun. brez znanih podatkov			MONERIS		
mesec	Q[m ³ /s]	Tw[leto]	P[mg/m ³]	N[mg/m ³]	Chl-a[mg/m ³]	P[mg/m ³]	N[mg/m ³]	Chl-a[mg/m ³]
januar	1,323	0,273	30,001	372,671	7,332	25,410	404,670	6,251
februar	1,548	0,234	24,976	310,246	6,149	21,153	336,885	5,242
marec	1,301	0,278	30,597	380,068	7,471	25,914	412,703	6,370
april	1,357	0,266	29,123	361,761	7,126	24,666	392,824	6,075
maj	0,954	0,379	44,142	548,329	10,622	37,386	595,412	9,057
junij	0,795	0,455	54,897	681,924	13,096	46,495	740,478	11,165
julij	0,273	1,324	205,351	2550,851	46,468	173,923	2769,882	39,619
avgust	0,365	0,990	142,484	1769,924	32,717	120,677	1921,900	27,895
september	0,846	0,427	50,952	632,915	12,191	43,154	687,261	10,394
oktober	0,929	0,389	45,561	565,953	10,950	38,588	614,549	9,336
november	1,755	0,206	21,593	268,230	5,347	18,289	291,261	4,559
december	1,650	0,219	23,192	288,089	5,726	19,643	312,826	4,882
Sr	1,087	0,333	37,809	469,655	9,155	32,022	509,982	7,805

Tabela 5.12: Račun stopnje trofičnosti v jezeru na predpostavki, da ga polni voda s karakteristikami izračunanega odtoka zaradi erozije po mesecih

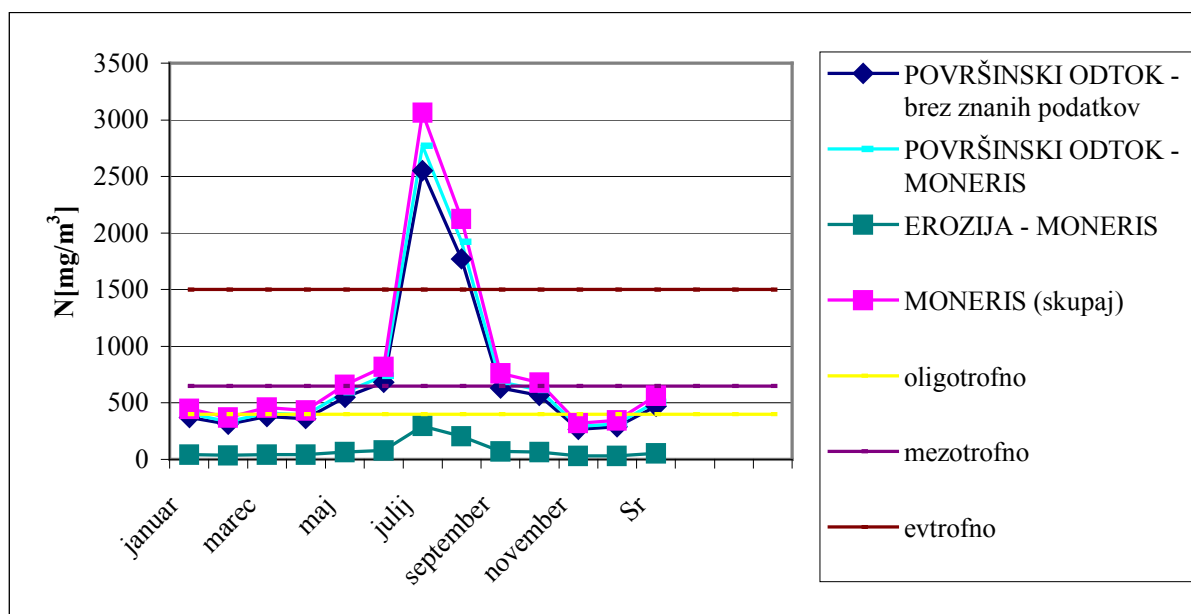
			EROZIJA					
			MONERIS			MUSLE		
mesec	Q[m ³ /s]	Tw[leto]	P[mg/m ³]	N[mg/m ³]	Chl-a[mg/m ³]	P[mg/m ³]	N[mg/m ³]	Chl-a[mg/m ³]
januar	1,323	0,273	71,350	43,142	16,843	227,596	137,449	51,290
februar	1,548	0,234	59,398	35,915	14,125	189,472	114,425	43,013
marec	1,301	0,278	72,766	43,998	17,164	232,114	140,177	52,267
april	1,357	0,266	69,261	41,879	16,369	220,933	133,425	49,848
maj	0,954	0,379	104,981	63,477	24,402	334,874	202,236	74,309
junij	0,795	0,455	130,558	78,942	30,084	416,462	251,509	91,612
julij	0,273	1,324	488,374	295,296	106,748	1557,847	940,811	325,074
avgust	0,365	0,990	338,861	204,893	75,159	1080,922	652,787	228,876
september	0,846	0,427	121,175	73,269	28,005	386,532	233,433	85,282
oktober	0,929	0,389	108,355	65,517	25,154	345,637	208,736	76,601
november	1,755	0,206	51,354	31,051	12,283	163,812	98,929	37,405
december	1,650	0,219	55,156	33,350	13,155	175,941	106,254	40,060
Sr	1,087	0,333	89,918	54,369	21,031	286,826	173,219	64,043

V tabelah 5.11 in 5.12 so kategorije trofičnosti določene z različnimi barvami:

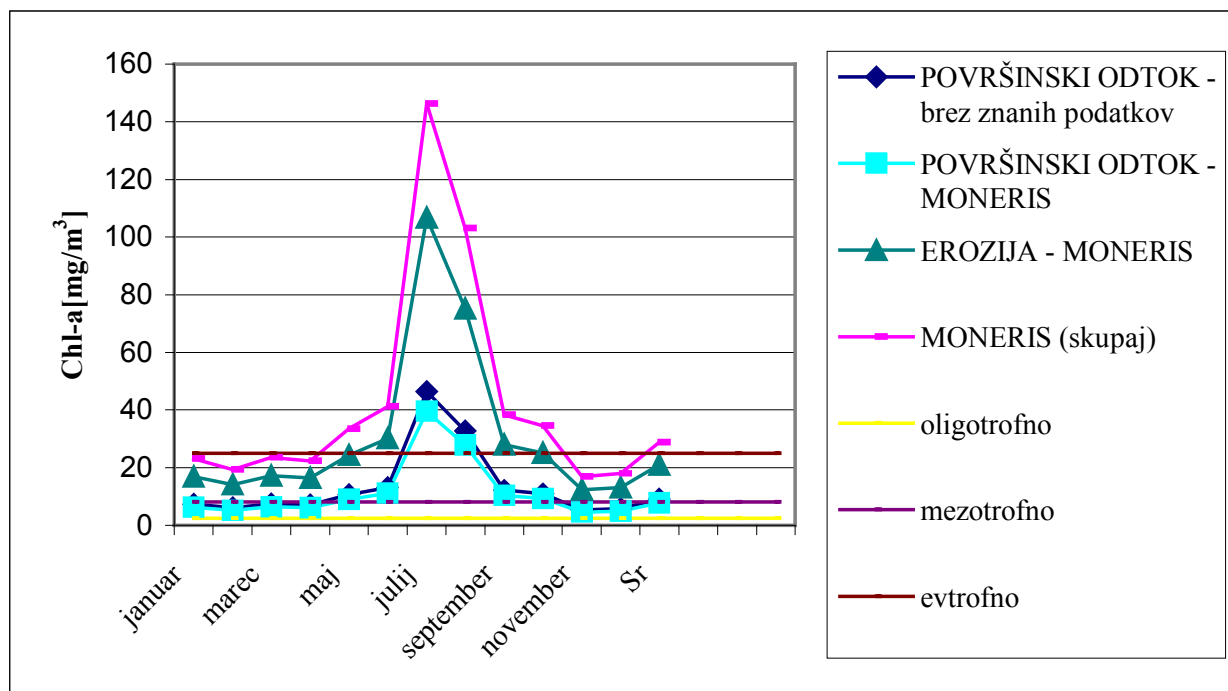
modro = oligotrofno, zeleno = mezotrofno, rumeno = evtrofno, oranžno = hiperevtrofno



Slika 5.8: Koncentracija totalnega fosforja v akumulaciji po mesecih za različne variante izračuna obremenitve



Slika 5.9: Koncentracija anorganskega dušika v akumulaciji po mesecih za različne variante izračuna obremenitve



Slika 5.10: Koncentracija klorofila a v akumulaciji po mesecih za različne variante izračuna obremenitve

Na podlagi izdelanih grafov (slika 5.8 do 5.10) vidimo, da se največje koncentracije hranil pojavijo v mesecih julij in avgust, najmanjše vrednosti pa novembra in decembra. Podrobnejši komentar na dobljene rezultate je podan v 6. poglavju (Diskusija).

6 DISKUSIJA

Pri rezultatih količine hranil, ki prispejo v povodje zaradi površinskih odtokov in erozije, prihaja do velikih razlik glede na računsko metodo. Rezultati so le približni, kajti podatki so izvzeti iz nemških povodij. Podatkov iz obravnavanega povodja ni, saj terenske meritve še niso bile narejene. Po vsej verjetnosti so izračuni za nemška nižinska povodja prenizki, kajti model MONERIS je izrazito empiričen (statistično ovrednoten) model, ki sicer temelji na zelo poenostavljenih konceptih.

Izračunane količine hranil (N, P) so bile primerjane s količinami, ki so bile izračunane s pomočjo programa MONERIS za povodje Donave. Rezultati za Donavo so malo manjši pri površinskem odtoku, pri eroziji pa so veliko manjši od izračunov za povodje Padež.

V povodju Donave na območju Panonske nižine je malo padavin, oz. malo viška padavin (večina se infiltrira), kar posledično pomeni manjši površinski odtok in še manjšo erozijo. Manjše vrednosti onesnaženja s hranili v povodju Donave pa so tudi posledica pomanjkljivo izdelanega programa ter pomanjkljivih podatkov (Environmental Research of the Federal Ministry of the Environment, 2003). Onesnaženje s hranili zaradi površinskega odtoka v povodju Donave je bilo dosti manjše od računane povprečja v Češki, Madžarski in Moldaviji (Environmental Research of the German Federal Ministry of the Environment, 2003). To je posledica modela za izračun količine hranil, ki je bil narejen za razmere v centralni Evropi. Zato se ne ve, ali so rezultati za onesnaženje s P in N v južnem delu povodja Donave pravilni, ali ne. Ocenjeno onesnaženje s hranili površinske vode zaradi erozije je odvisno od kvalitetnega zemljevida izgube zemljine, ki je uporabljen pri izračunih. Tak zemljevid, ki prikaže izgubo zemljine, za celotno Evropo še ne obstaja. Zato je bil za povodje Donave uporabljen zemljevid za Evropo, kjer niso zajete vse države (Environmental Research of the German Federal Ministry of the Environment, 2003).

Za določitev stopnje trofičnosti so bili uporabljeni podatki do leta 1973. Novejših meritev ni, kajti vodomerska postaja Suhorje na reki Padež od leta 1973 ne deluje več.

Rezultat izračuna s pomočjo empirično določenih vrednosti za vnos hranil v jezero na predpostavki, da ga polni voda s karakteristikami izračunanega površinskega odtoka z največjo verjetnostjo po OECD kriteriju trofičnosti za fosfor uvrstimo v evtrofno območje, da ga polni voda s karakteristikami izračunanega površinskega odtoka po MONERIS-u v mezotrofno območje, da ga polni voda s karakteristikami izračunanega odtoka zaradi erozije po MONERIS-u v evtrofno območje, da ga polni voda s karakteristikami izračunanega odtoka zaradi erozije po MUSLE-u pa v hiperevtrofno območje.

Rezultat izračuna s pomočjo empirično določenih vrednosti za vnos hranil v jezero na predpostavki, da ga polni voda s karakteristikami izračunanega površinskega odtoka z največjo verjetnostjo po OECD kriteriju trofičnosti za dušik uvrstimo v mezotrofno območje, da ga polni voda s karakteristikami izračunanega površinskega odtoka po MONERIS-u v mezotrofno območje, da ga polni voda s karakteristikami izračunanega odtoka zaradi erozije po MONERIS-u v ultraoligotrofno območje, da ga polni voda s karakteristikami izračunanega odtoka zaradi erozije po MUSLE-u pa ravno tako v ultraoligotrofno območje.

Rezultat izračuna s pomočjo empirično določenih vrednosti za vnos hranil v jezero na predpostavki, da ga polni voda s karakteristikami izračunanega površinskega odtoka z največjo verjetnostjo po OECD kriteriju trofičnosti za klorofil a uvrstimo v evtrofno območje, da ga polni voda s karakteristikami izračunanega površinskega odtoka po MONERIS-u v mezotrofno območje, da ga polni voda s karakteristikami izračunanega odtoka zaradi erozije po MONERIS-u v evtrofno območje, da ga polni voda s karakteristikami izračunanega odtoka zaradi erozije po MUSLE-u pa v hiperevtrofno območje.

Če pogledamo koncentracijo hranil po mesecih (tabela 5.11 in 5.12, slika 5.7, 5.8 in 5.9), vidimo, da je koncentracija največja v poletnih mesecih, ko je pretok vode manjši. Največja koncentracija hranil je v mesecu juliju, najmanjša koncentracija hranil pa v mesecu novembru.

Kvaliteta vode v predvideni akumulaciji Padež po dobljenih rezultatih ne bo zadovoljiva. Visoke koncentracije hranil je pričakovati v poletnih mesecih.

7 ZAKLJUČKI

Cilj raziskovalne naloge je bil določitev količine hranil s celotnega prispevnega območja in s pomočjo teh podatkov določiti stopnjo trofičnosti v bodoči akumulaciji za pitno vodo Padež. V nalogi je obravnavano povodje reke Padež in Suhorke. Stopnja trofičnosti je bila določena s pomočjo OECD kriterija za določitev stopnje trofičnosti.

Za določitev količine hranil, ki se generira v povodju, so bile uporabljene tri različne metode. Prva je bila Jørgensenova in Vollenweiderjeva metoda za določitev količine hranil, če nimamo znanih podatkov. S pomočjo metode MONERIS, to je druga metoda, je bilo potrebno določiti količino hranil s površinskega odtoka in količino hranil zaradi erozije. Pri tej metodi je bilo potrebno uporabiti tudi program RUSLE, kateri računa letne povprečne izgube zemljine. Tretja metoda pa je bila določitev količine hranil zaradi erozije s pomočjo programa MUSLE.

S pomočjo rezultatov modela MONERIS za količine hranil na podpovodjih Donave je bila narejena primerjava rezultatov z vsemi tremi metodami. Rezultati so bili približno enakega velikostnega razreda pri prvih dveh metodah, pri določitvi količine hranil s pomočjo modela MUSLE pa je prihajalo do velikih razlik.

S pomočjo OECD kriterija za določitev stopnje trofičnosti je bila po vseh treh metodah določena stopnja trofičnosti. Ugotovljeno je bilo, da bo po prvi metodi akumulacija v evtrofnem stanju za P in mezotrofnem stanju za N. Po drugi metodi je bila akumulacija v hiperevtrofnem stanju za P in mezotrofnem stanju za N. Po tretji metodi pa je bila akumulacija v hiperevtrofnem stanju za P in ultraoligotrofnem stanju za N.

Iz izvedene analize možne kakovosti vode v načrtovani akumulaciji je mogoče zaključiti, da kvaliteta vode v predvideni akumulaciji Padež za pridelavo pitne vode ne bo zadovoljiva.

Pred izdelavo načrtov vodne akumulacije je potrebno izvesti vsaj enoletne natančne meritve pretokov in koncentracij totalnega fosforja (partikularni, organski, anorganski, raztopljeni,

itd.) ter dušika (partikularni, molekularni, organski, itd.). Na podlagi teh podatkov bo potrebno izdelati dinamični model jezera, ki bo upošteval vse pritoke in odtokove vode in hranil v in iz akumulacije. Na osnovi rezultatov dinamičnega modela bo potrebno izdelati načrte ukrepov za kontrolo kakovosti vode v sami akumulaciji (ozračevanje globinske vode, predakumulacijo, itd.), načrte ukrepov za sanacijo celotnega zaledja akumulacije vključno z rešitvijo dispozicije odpadnih voda in načina obdelave kmetijskih in gozdnih površin ter načrte potrebnih del v zajezenem delu akumulacije pred in v času njenega polnjenja, da se zmanjšajo možnosti pretirane generacije hranil iz dna zaježitve ...

Z izvedbo zgoraj navedenih ukrepov se bo izboljšala kakovost vode v vodni akumulaciji.

VIRI

Behrendt et al.. 1999. MONERIS (Modelling Nutrient Emissions in RIver Systems).
Germany: 112 str.

Bendoricchio G.. 1999. Integrated Managment of Water Quality: The Role of Agricultural
Diffuse Pollution Sources. Water science & technology. Volume 39, Number 3. London,
IAWQ: str.156.

Birsa M.. 2004. Matematično modeliranje evtrofnosti jezer. Seminarska naloga. Ljubljana,
Univerza v Ljubljani, FGG – VKI: 87 str.

Galetovic J.R.. 1998. Guidelines for the Use of the Revised Universal Soil Loss Equation
(RUSLE), Version 1.06. Denver: 148 str.

Jha Raghunath. 2002. Potential Erosion Map For Bagmati Basin Using GRASS GIS.
Proceedings of Open source GIS – GRASS users conference 2002 – Trento: 19 str.

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

Oskrba s pitno vodo slovenske Istre in zalednega kraškega območja, 6P-M95, II. mapa. 2003.
Ljubljana, IEI.

Rismal M.. 1988. Regionalni primorski vodovod - idejni projekt, I. del. Ljubljana,
Vodnogospodarski inštiut p.o.

Rismal M.. 1980. Presoja posameznih metod za sanacijo Blejskega jezera. Ljubljana,
Univerza v Ljubljani, FAGG: 46 str.

Schreiber H., Constantinescu L.T., Cvitanič I., Drumea D., Jabucar D., Juran S., Pataki B., Snishko S., Zessner M., Behrendt H.. 2003. Harmonised Inventory of Point and Diffuse Emissions of Nitrogen and Phosphorus for a Transboundary River Basin. Germany, Environmental Research of the Federal Ministry of the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety: 154 str.

Sedej A.. 2003. Napoved kvalitativnih sprememb v akumulacijah hidroelektrarn na spodnji Savi. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG: 78 str.

Stoorvogel, Smaling. 1990. Methodologies for assessing soil nutrient balances. Sub-Saharan Africa soil nutrient-balance study, FAO: 20 str.

Straškraba M., Tundisi. J.G.. 1999. Guidelines of lake management. Volume 9. Reservoir Water Quality Management. Kusatsu, ILEC: 224 str.

Uredba o vnosu nevarnih snovi in rastlinskih hranil v tla. Vlada RS, 1996.
http://www.gov.si/vurs/zakonodaja/9/9_10.htm

Zessner M., Gabriel O., Schilling C., Lampert C., Behrendt H., Schreiber H., Strauss P., Laszlo F., Literathy P.. 2005. Outlines of a Handbook for International Nutrient Balances on Catchment Scales including Minimum-Requirement-Data-List. Wien: 112 str.

Zupan. 2001. Monitoring kakovosti jezer v letu 2001: URL: <http://www.rzs-hm.si>