

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



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

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

To je izvirna različica zaključnega dela.

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

Korošec, R., 2015. Modeliranje vodnega ekosistema Cerkniškega jezera s programskim orodjem Aquatox. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Panjan, J., somentor Krzyk, M.): 60 str.

Datum arhiviranja: 22-07-2015

University  
of Ljubljana

Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



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

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

This is original version of final thesis.

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

Korošec, R., 2015. Modeliranje vodnega ekosistema Cerkniškega jezera s programskim orodjem Aquatox. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Panjan, J., co-supervisor Krzyk, M.): 60 p.

Archiving Date: 22-07-2015

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM VODARSTVO IN  
KOMUNALNO INŽENIRSTVO

Kandidat:

**ROK KOROŠEC**

**MODELIRANJE VODNEGA EKOSISTEMA  
CERKNIŠKEGA JEZERA S PROGRAMSKIM  
ORODJEM AQUATOX**

Diplomska naloga št.: 263/VKI

**ECOSYSTEM MODELING OF THE CERKNICA LAKE  
WITH AQUATOX SIMULATION SOFTWARE**

Graduation thesis No.: 263/VKI

**Mentor:**

izr. prof. dr. Jože Panjan

**Predsednik komisije:**

izr. prof. dr. Dušan Žagar

**Somentor:**

asist. dr. Mario Krzyk

Ljubljana, 09. 07. 2015

## **STRAN ZA POPRAVKE**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

## **IZJAVE**

Podpisani Rok Korošec izjavljam, da sem avtor diplomskega dela za naslovom »Modeliranje vodnega ekosistema Cerknškega jezera s programskim orodjem Aquatox«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 22. 6. 2015

Rok Korošec

---

## **BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>556.55:574.5(497.4Cerknjško jezero)(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Rok Korošec</b>
<b>Mentor:</b>	<b>izr. prof. dr. Jože Panjan</b>
<b>Somentor:</b>	<b>asist. dr. Mario Krzyk</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Modeliranje vodnega ekosistema Cerknjškega jezera s programskim orodjem Aquatox</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>Dipl. nal. - UNI</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>60 str., 13 pregl., 8 sl., 30 graf., 27 en., 8 pril.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>Cerknjško jezero, Aquatox, ekološko modeliranje, bilanca hranil</b>

### **Izveleček:**

Kraška narava presihajočega Cerknjškega jezera je razlog, da je vsakršno modeliranje jezera in ekosistemskih procesov v jezeru oteženo. Za modeliranje vodnega ekosistema Cerknjškega jezera je bilo zato izbrano programsko orodje Aquatox, ki omogoča hkratno modeliranje spremenljivk z dovolj majhnim časovnim korakom, da lahko simulira izredno dinamične razmere v presihajočem jezeru. Na podlagi analize obstoječih podatkov kakovostnih analiz voda ter meritev pretokov in vodostaja (ARSO) so bili določeni tako dinamični hidrološki režim jezera, kot tudi pomembnejši fizikalno kemijski parametri ter dnevne obremenitve s hranili za obdobje od leta 2000 do 2004. V tem obdobju je ocenjen povprečni letni vnos hranil v jezero 7 ton fosforja, 697 ton nitratov in 3 tone amonija. Glede na razpoložljive vhodne podatke je bil model izdelan tako, da z manjšim številom reprezentativnih biotskih spremenljivk čim bolj optimalno ponazarja splošne ekosistemske procese s poudarkom na bilanci hranil. V simulaciji izračunane koncentracije hranil so za nekaj 10 odstotkov nižje glede na dejanske merjene koncentracije. Občutljivostna analiza pokaže ključno odvisnost ekosistemskih procesov in koncentracij hranil v jezeru od hidroloških pogojev, ki pogojujejo izrazito dinamičen zadrževalni čas, ter od podane obremenitve s hranili. Izkaže se, da samočistilni procesi temeljijo na makrofitski združbi, ki ima zaradi presihanja jezera omejene pogoje za optimalno rast. Posledično je tudi izračunana samočistilna sposobnost jezera majhna. Glede na simulacijo se v jezeru odstrani zgolj okoli 2% hranil.

---

**BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDK:** 556.55:574.5(497.4Cerknško jezero)(043.2)

**Author:** Rok Korošec

**Supervisor:** Assoc. Prof. Jože Panjan, Ph.D.

**Cosupervisor:** Assist. Prof. Mario Krzyk, Ph.D.

**Title:** Ecosystem modeling of the Cerknica lake with Aquatox simulation software

**Document type:** Graduation thesis – University studies

**Notes:** 60 p., 13 tab., 8 fig., 30 graph., 27 eq., 9 ann.

**Key words:** Cerknica lake, Aquatox, ecosystem modeling, nutrient mass balance

**Abstract:**

Lake Cerknica is an intermittent karst lake, which makes any attempt to mathematically model this water body quite difficult. Due to its capability to simultaneously model multiple dynamic ecosystem variables, the Aquatox simulation software was chosen to model the Cerknica lake ecosystem. The water balance was estimated according to the analysis of existing hydrological input data including the water level data at the lake gauging station, available precipitation data of the catchment area and discharge data of the major inflows. Water quality analysis (ARSO) were used to determine the basic physical and chemical characteristics including the nutrient loads. The average yearly nutrient load was calculated to be about 7 tons of phosphorus, 697 tons of nitrate and 3 tons of ammonia. According to available input data the model was designed with a smaller amount of biotic variables in order to arguably represent the general ecosystem processes and the nutrient mass balance. Simulated nutrient concentrations are slightly underestimated according to the measured data. The sensitivity analysis shows a major impact of the dynamic retention time to the model results, therefore the estimated water balance along with the estimated nutrient loads are critical for the optimal simulation results. The model shows that the removal of nutrients is mostly contributed by the macrophyte vegetation which is limited by the changing condition of the intermittent lake. This results in a small nutrient removal rates that are only about 2% according to simulation results.

---

## KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>CERKNIŠKO JEZERO</b> .....	<b>2</b>
2.1	Kratka zgodovina jezera.....	2
2.2	Geografske značilnosti .....	2
2.3	Podnebje in hidrologija.....	2
<b>3</b>	<b>PREDSTAVITEV PROGRAMA AQUATOX</b> .....	<b>5</b>
3.1	Razvoj programa Aquatox .....	5
3.2	Področja uporabe .....	5
3.3	Lastnosti programa .....	6
3.3.1	Kaj Aquatox omogoča.....	6
3.3.2	Česa Aquatox ne omogoča .....	9
3.3.3	Kako Aquatox deluje .....	9
3.3.4	Primerjava s konkurenčnimi programi .....	10
3.3.5	Združljivost in povezljivost z drugimi programskimi orodji .....	11
3.4	Mnenje o programu in uporabnost pri študiju.....	12
3.5	Priporočena literatura .....	12
<b>4</b>	<b>MODELIRANJE CERKNIŠKEGA JEZERA</b> .....	<b>14</b>
4.1	Namen izdelave modela in osnovne predpostavke .....	14
4.2	Določitev vhodnih parametrov simulacije .....	15
4.2.1	Obdobje simulacije in pregled razpoložljivih virov podatkov .....	15
4.2.2	Morfologija jezera .....	17
4.2.3	Prispevna površina in srednji letni dotok .....	19
4.2.4	Referenčni dotok .....	21
4.2.5	Šimulirani dotok in odtok.....	23
4.2.6	Obremenitev z raztopljenimi hranili .....	25
4.2.6.1	Izračun določenega dela obremenitve .....	26
4.2.6.2	Ocena nedoločenega dela obremenitve.....	32
4.2.6.3	Skupna računska obremenitev z raztopljenimi hranili .....	32
4.2.7	Detrit.....	33
4.2.8	Temperatura vode .....	33
4.2.9	Veter .....	34
4.2.10	pH .....	35

---

4.2.11	Skupne suspendirane snovi – TSS.....	35
4.2.12	Svetloba .....	36
4.2.13	Izbira biotskih spremenljivk.....	37
4.2.14	Matrika trofičnih interakcij .....	38
4.2.15	Splošni vhodni podatki o vodnem telesu.....	39
4.2.16	Začetne vrednosti.....	41
4.2.17	Nastavitve simulacije.....	42
4.3	Kalibracija modela .....	42
4.4	Občutljivostna analiza.....	45
4.5	Simulacija z modelom Aquatox.....	49
4.5.1	Zadrževalni čas .....	49
4.5.2	Biota .....	49
4.5.3	Bilanca hranil.....	53
4.6	Interpretacija rezultatov.....	55
5	ZAKLJUČEK .....	56
VIRI	.....	59



---

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1:	Primerjava spremenljivk in procesov, ki jih podpira program Aquatox v primerjavi z nekaterimi konkurenčnimi programi (Park, Clough, 2014) .....	11
Preglednica 2:	Seznam merilnih postaj (ARSO) .....	16
Preglednica 3:	Površina, volumen in srednja globina jezera glede na vodostaj .....	18
Preglednica 4:	Pregled podatkov padavinskih postaj in srednji letni dotok (vir: ARSO) .....	20
Preglednica 5:	Faktorji pretoka pritokov glede na pretok Cerknšičice.....	23
Preglednica 6:	Povprečne letne vrednosti obremenitve s hranili v obdobju 1998 – 2006 po pritokih .....	31
Preglednica 7:	Povprečna letna obremenitev Cerknškega jezera z raztopljenimi hranili.....	32
Preglednica 8:	Povprečne mesečne vrednosti vetra.....	34
Preglednica 9:	Referenčne vrednosti skupnih suspendiranih snovi za simulacijo.....	36
Preglednica 10:	Matrika trofičnih interakcij.....	39
Preglednica 11:	Začetne vrednosti.....	41
Preglednica 12:	Simulirana bilanca fosforja v Cerknškem jezeru.....	55
Preglednica 13:	Povprečna letna bilanca hranil v Cerknškem jezeru glede na simulacijo.....	55
Preglednica 14:	Primerjava izračunov obremenitve s hranili s predhodnimi študijami .....	56

**KAZALO GRAFIKONOV**

Grafikon 1:	Volumen in površina Cerknškega jezera v odvisnosti od vodostaja .....	18
Grafikon 2:	Korelacija krivulj reke Rak in vodostaja Cerknškega jezera .....	21
Grafikon 3:	Referenčni dotok in skupni merjeni pretok.....	22
Grafikon 4:	Simulirani dotok v primerjavi z merjenimi podatki.....	24
Grafikon 5:	Primerjava izračunanega odtoka in merjenega pretoka reke Rak .....	25
Grafikon 6:	Dnevne vrednosti hranil v odvisnosti od dnevnega pretoka v Cerknščici .....	27
Grafikon 7:	Dnevne vrednosti hranil v odvisnosti od dnevnega pretoka v Obrhu .....	27
Grafikon 8:	Dnevne vrednosti hranil v odvisnosti od dnevnega pretoka v Lipsenjščici .....	28
Grafikon 9:	Dnevne vrednosti hranil v odvisnosti od dnevnega pretoka v Žerovniščici .....	29
Grafikon 10:	Dnevne vrednosti hranil v odvisnosti od dnevnega pretoka v Martinjščici .....	29
Grafikon 11:	Simulirano letno nihanje temperature vode in primerjava z merjenimi podatki.....	34
Grafikon 12:	Merjene vrednosti pH v jezeru v primerjavi z vodostajem jezera .....	35
Grafikon 13:	Skupne suspendirane snovi v odvisnosti od vodostaja jezera.....	36
Grafikon 14:	Mesečno povprečje dnevnih vrednosti sončnega obsevanja.....	37
Grafikon 15:	Simulirane vrednosti amonija pred kalibracijo .....	44
Grafikon 16:	Simulirane vrednosti amonija po kalibraciji .....	44
Grafikon 17:	Simulirane vrednosti raztopljenega kisika pred kalibracijo .....	45
Grafikon 18:	Simulirane vrednosti raztopljenega kisika po kalibraciji .....	45
Grafikon 19:	Občutljivost makrofita <i>Fontinalis</i> na 20% spremembo testiranih parametrov .....	47
Grafikon 20:	Občutljivost koncentracije fosforja na 20% spremembo testiranih parametrov .....	47
Grafikon 21:	Občutljivost koncentracije nitratov na 20% spremembo testiranih parametrov .....	48
Grafikon 22:	Občutljivost koncentracije amonija na 20% spremembo testiranih parametrov.....	48
Grafikon 23:	Simulirani zadrževalni čas v Cerknškem jezeru .....	49
Grafikon 24:	Simulirana dinamika populacije fitoplanktonskih organizmov .....	50
Grafikon 25:	Simulirana dinamika populacije zooplanktonskih organizmov .....	51
Grafikon 26:	Dinamika simulirane rasti makrofita .....	52
Grafikon 27:	Simulirana dinamika ribjih populacij.....	52
Grafikon 28:	Simulirane koncentracije amonija v jezeru.....	53
Grafikon 29:	Simulirane koncentracije nitratov v jezeru .....	54
Grafikon 30:	Simulirane koncentracije fosforja v jezeru .....	54

## KAZALO SLIK

Slika 1:	Shematski prikaz pomembnejših hidroloških elementov Cerknškega jezera (podlaga Atlas okolja – ARSO).....	4
Slika 2:	Koncept modeliranja ekosistema s programom Aquatox (Park, Clough, 2014) .....	10
Slika 3:	Grafični prikaz lokacij merilnih postaj ARSO .....	16
Slika 4:	Primerjava prispevnih površin po ARSO in Kranjcu .....	19
Slika 5:	Padavinska karta območja (ARSO).....	19
Slika 6:	Grafična ponazoritev letne obremenitve s hranili po posameznih pritokih .....	31
Slika 7:	Splošni vhodni podatki o vodnem telesu .....	40
Slika 8:	Nastavitve simulacije.....	42

**OKRAJŠAVE IN SIMBOLI**

EPA	Ameriška okoljska agencija (Environmental Protection Agency)
MDK	Maksimalna dovoljena koncentracija
GIS	Geografski informacijski sistem
CAD	Računalniško podprto načrtovanje
TSS	Skupne suspendirane snovi
BPK	Biološka potreba po kisiku
CBPK	Karbonska biokemijska potreba po kisiku
ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
IZH	Inštitut za zdravstveno hidrotehniko

---

## SLOVAR MANJ ZNANIH BESED IN TUJK

Alohtona vrsta	vrsta organizma, ki je bil v okolje s pomočjo človeka priseljen od drugod, nasprotje od avtohtone vrste
Avtotrof	organizem (rastline in nekatere bakterije), ki uporablja energijo svetlobe za izdelavo organskih spojin iz anorganskih
Detrit	ostanki odmrlih rastlinskih in živalskih organizmov, ki obležijo na dnu tekočih in stoječih voda in na površini tal
Diageneza	skupen izraz za procese kemičnih, fizikalnih in bioloških sprememb sedimentnega materiala
Estavela	posebna vrsta ponora, ki vodo sicer požira, a jo občasno tudi bruha
Fotična cona	površina jezerskega dna z zadostno količino svetlobne energije za potek procesov fotosinteze
Heterotrof	organizem, ki pridobiva energijo z oksidacijo organskih spojin drugih organizmov
Makrofiti	s prostim očesom vidne vodne rastline, ki rastejo v ali ob vodi
Mehanistični model	model, ki skuša prodreti v notranjo strukturo preučevanih sistemov in matematično opisati sisteme, ki v njih potekajo
Perifiton	skupina majhnih rastlinskih in živalskih organizmov, ki se pojavlja na površini podvodnih predmetov in rastlin
Podolje	relativno nizek in uravnan svet med kraškimi planotami in okoliškim hribovjem, v dno podolja pa so poglobljena polja (Kranjc, 1986)
Remineralizacija	proces transformacije organskih molekul v anorgansko obliko



## 1 UVOD

Cerkniško jezero že od prvih zapisov o njem vzbuja zanimanja naravoslovcev. Njegova kraška narava se najbolj izrazito kaže v sezonskem presihanju, redkem naravnem pojavu, ki je najbolj prepoznavna lastnost tega jezera. Presihanje je posledica omejene zmožnosti odvajanja voda skozi kraške ponore, jezero namreč nima površinskega odtoka. Kadar je dotok vode v jezero večji od njegove odtočne sposobnosti, se jezero polni, v nasprotnem primeru pa prazni. Kraški značaj jezera in presihanje so vzrok temu, da je razmeroma težko določiti že osnovne hidrološke parametre kot so prispevna površina in letni dotok vode v jezero. V preteklosti je bilo izdelanih več študij na to temo, zadnjo oceno vodne bilance je v svojem članku podal Kovačič (2010). Poleg hidroloških parametrov je pogosto predmet zanimanja tudi delovanje jezerskega ekosistema in še posebej njegova vloga pri odstranjevanju hranil, ki vanj prihajajo iz prispevnega območja.

V diplomski nalogi sem odgovore na to skušal poiskati skozi modeliranje Cerknjškega jezera s programom Aquatox, razvitega s strani ameriške okoljske agencije EPA. V primeru Cerknjškega jezera so prednosti uporabe Aquatoxa v možnosti hkratnega dinamičnega modeliranja številnih obravnavanih parametrov. Med njih sodijo dnevni vhodni hidrološki podatki (dotok in odtok vode, volumen jezera), pomembni fizikalno kemijski dejavniki (svetloba, temperatura vode, pH), obremenitev jezera s hranili (fosfor, nitrati, amonij, detrit) ter vpliv živalskih (zooplankton, nevretenčarji, ribe) in rastlinskih organizmov (fitoplankton, alge, makrofiti). Pri modeliranju Cerknjškega jezera sem se pri analizi rezultatov osredotočil predvsem na bilanco hranil. Prvi razlog za takšno odločitev je v prvi meri razpoložljivost vhodnih in kontrolnih podatkov, ki so na voljo v obravnavanem obdobju (meritve ARSO na pritokih in v jezeru). Drugi razlog pa je v aktualnosti vprašanja, kolikšna je dejanska obremenitev in samočistilna sposobnost naših vodnih teles, konkretno Cerknjškega jezera.

Velik delež v postopku modeliranja predstavlja analiza in priprava vhodnih podatkov. Z vidika hidrologije so bili analizirani podatki merjenih pretokov petih večjih vodotokov na območju in sicer Cerknjščice, Martinjščice, Žerovniščice, Lipsenjščice in Obrha. Na podlagi analize je bila določena dinamika dotoka vode v jezero glede na merjeni pretok Cerknjščice, ki je bil v simuliranem obdobju od leta 2000 do leta 2004 edini vodotok z dnevnimi meritvami pretoka. Na podlagi kakovostnih analiz vode iz pritokov in v jezeru so bili oblikovani nizi vhodnih podatkov za pomembnejše fizikalno kemijske parametre. Določitev dnevnega vnosa hranil (v gramih na dan) v jezero iz prispevnega območja je bila izvedena z analizo merjenih koncentracij hranil v povezavi z dnevnim pretokom vode v posameznih pritokih na dan vzorčenja. Rezultat analiz so enačbe, ki določajo dnevni vnos hranil v jezero v odvisnosti od merjenega dnevnega pretoka Cerknjščice.

Model Cerknjškega jezera v programu Aquatox je izdelan tako, da se s čim manjšim številom uporabljenih biotskih spremenljivk, ki reprezentirajo posamezne trofične nivoje v jezeru, doseže čim bolj reprezentativne rezultate z vidika bilance hranil. S pomočjo občutljivostne analize se izkaže odločilen pomen hidroloških značilnosti presihajočega jezera na njegove ekosistemske procese in posledično na njegovo samočistilno sposobnost. Glede na analizo rezultatov simulacije so interpretirane nekatere osnovne značilnosti in principi delovanja vodnega ekosistema Cerknjškega jezera, vključno z ocenjeno bilanco hranil. Zgoščen povzetek rezultatov in ugotovitev na podlagi izdelanih analiz in rezultatov simulacije je podan v zadnjem poglavju.

## **2 CERKNIŠKO JEZERO**

### **2.1 Kratka zgodovina jezera**

Cerkniško jezero je ena izmed največjih kraških znamenitosti pri nas. Njegova presihajoča narava je botrovala temu, da se v naravoslovni literaturi pojavlja že od 16. stoletja dalje, med najbolj znane zgodovinske opise pa sodi Valvasorjeva študija jezera v »Slavi vojvodine Kranjske« (1689). V novejši zgodovini je bilo jezero temelj številnih razprav in dveh nasprotujočih si teženj glede posegov za osuševanje jezera ter posegov za zadrževanje vode v jezeru (Korošec, 2002). Prvi poskusi osuševanja segajo v leto 1888, ko je gozdarski inženir in speleolog Viljem Putick znižal vhode nekaterim požiralnikom in pred zamašitvijo zavaroval Karlovinci. Leta 1910 so se domačini dela lotili sami in temeljito očistili Malo Karlovinci in v notranjosti razstrelili nekaj vodnih ovir. Jezero je pričelo hitreje odtekati in jezero je redno vsako leto presahnilo. Leta 1921 ustanovljena vodna zadruga je do druge svetovne vojne poglobila strugo od Nart do Karlovinci in znižala vhode požiralnim jamam. Naravni vijugasti vodotoki so bili regulirani. Z osuševalnimi posegi so dosegli, da se je voda v jezeru zadrževala povprečno za mesec dni manj, nivo pa se je le neznatno znižal (Kranjc, 1986). Po koncu druge svetovne vojne je v petdesetih letih zaradi pogostih poginov rib Ribiška družina Cerknica pred Rešetnimi jamami zgradila jez, s čimer je nastalo majhno stalno jezero. Konec šestdesetih let so težnje lokalne skupnosti po stalnejši ojezeritvi za namen razvoja turizma in ribištva vodile do postavitve umetne zapornice s pripravo za ročno dviganje in spuščanje pred Veliko Karlovinci. Konec osemdesetih let je bila umetna zapornica stalno odprta, jezero je ponovno pričelo presihati večkrat letno. Leta 1992 je bilo odstranjeno še tesnilo pri Mali Karlovinci ter jez pri Ponikvi, s čimer je bilo vzpostavljeno današnje stanje.

### **2.2 Geografske značilnosti**

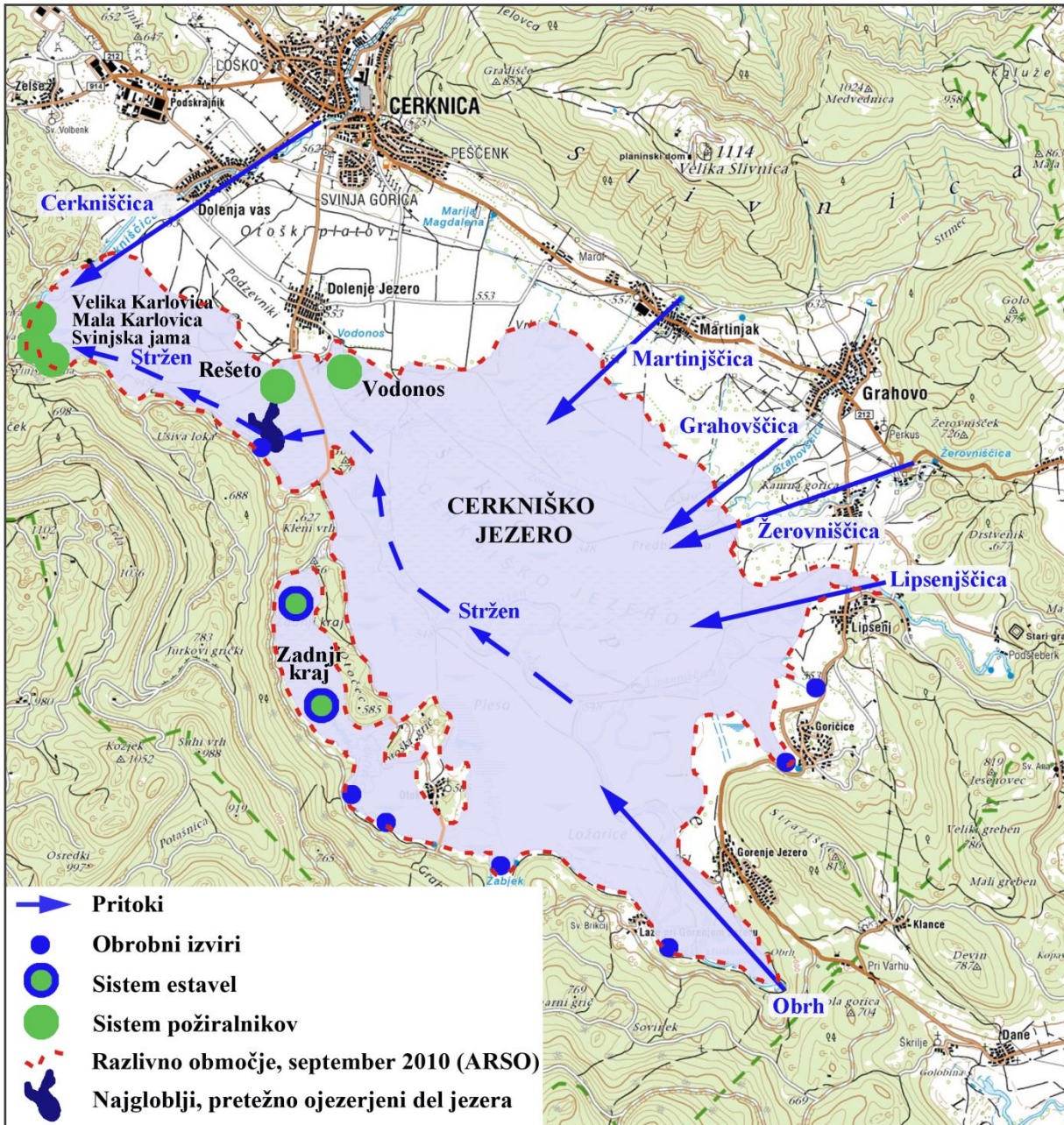
Geografsko gledano Cerknjško jezero leži na najnižjem delu Cerknjškega polja, ki predstavlja z vseh strani zaprto depresijo v notranjskem podolju. S 550 metri nadmorske višine leži med Loškimi poljem (575 m.n.v.) in Planinskim poljem (450 m.n.v.) in pripada porečju Ljubljanice. Umeščeno je med planote Snežnika, Javornikov in Hrušice na zahodu ter Krimskim hribovjem, Blokami in Račno goro na vzhodu. Največji del, to je ozemlje med Bloško planoto in Račno goro ter ves južni in jugozahodni del poplavnega zaledja, Snežnik in Javorniki, leži na dobro prepustnih kamninah, apnencih jurske in kredne starosti (Kranjc, 1986). Srednje prepustne kamnine, predvsem dolomiti z deli apnenca in neprepustnih kamnin, tvorijo večino kamninske podlage v severovzhodnem delu hidrološkega prispevnega območja, torej porečju Cerknjščice in na Bloški planoti, pa tudi na Babnem polju. Slabo prepustne kamnine, med njimi skrilavci, laporji in peščenjaki, tvorijo manjši del prispevnega območja ob zgornjem toku Cerknjščice.

### **2.3 Podnebje in hidrologija**

Cerkniško polje leži severovzhodno od dinarsko alpske pregrade, ki predstavlja izrazito klimatsko ločnico. Zaradi tega naj bi pripadalo modificirani kontinentalni klimi z dokaj mrzlimi, toda ne ostrimi zimami. Vendar pa je padavinski maksimum jeseni, kar je značilno za modificirani mediteranski klimatski režim. Zastopanost vremenskih postaj je majhna, z le štirimi padavinskimi postajami, v Cerknici, Novi vasi, Babnem polju in Šmarati. V večjem delu osrednjega in vzhodnega dela vodozbirnega območja pade letno med 1400 in 1800 mm padavin, na zahodnem delu vodozbirnega območja ter območju Snežnika in Javornikov pa predvidoma pade med 1800 in 2500 mm padavin. Površino vodozbirnega območja je zaradi kraške narave težko določiti, analiza hidroloških podatkov



(poglavje 4.2.3) pa kaže na to, da je večje od 400 km<sup>2</sup>. V nadaljevanju je uporabljena ocena 475 km<sup>2</sup>, ki jo je podal Kranjc (1986). Jezero se polni preko površinskih in podzemnih virov, prazni pa preko požiralnikov, ki imajo omejeno zmožnost požiranja. Kadar je le ta manjša od dotoka vode v jezero, se jezero polni, v nasprotnem primeru pa prazni, rezultat je specifično presihajoče jezero. Jezero je v povprečju relativno polno dobrih devet mesecev na leto, do nekaj tednov na leto je gladina izredno visoka. Statistično gledano, jezero enkrat na 10 let sploh ne presahne (Kovač, 2005). Med večje stalne površinske pritoke spadajo Martinjščica, Grahovščica, Žerovniščica, Lipsenjščica na vzhodu ter Obrh na jugu. Prispevno območje Snežnika in Javornikov odvaja vode delno površinsko preko Malega Obrha in Obrha, podzemno v estavele v Zadnjem kraju in površinsko po pobočju ob zahodnem delu jezera. Cerknjščica, katere porečje se zajeda v severni del Blok in prinaša tudi velik del voda iz urbaniziranih površin Cerknice in okolice, ponikne v sistemu požiralnikov Mala in Velika Karlovica ter Svinjska jama. Tu se sreča in ponika skupaj z vodo iz struge Stržena, ki se vije po dnu jezera v smeri od jugovzhoda proti severozahodu. V času, ko jezero presahne, je z izjemo nekaterih manjših kotanj Stržen glavno vodno telo jezera. Vodostaj jezera se giblje med 545 in 552 metri nadmorske višine. Pri slednji znaša površina jezera okoli 25 km<sup>2</sup>, volumen je ocenjen na  $80 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  s srednjo globino 3,2 m.



Slika 1: Shematski prikaz pomembnejših hidroloških elementov Cerkniškega jezera (podlaga Atlas okolja – ARSO)

### **3 PREDSTAVITEV PROGRAMA AQUATOX**

#### **3.1 Razvoj programa Aquatox**

Aquatox je zadnji v seriji računalniško podprtih matematičnih modelov za simulacijo procesov v vodnih okoljih, razvitih s strani ameriške okoljske agencije EPA. Je rezultat logičnih nadgradenj in razvoja modelov CLEAN, serije modelov CLEANER (Park et al., 1975, 1979, 1980; Park, 1978; Scavia in Park, 1976) in LAKETRACE (Collins in Park, 1989). Model MACROPHYTE, razvit za U.S. Army Corps of Engineers (Collins et al., 1985), je prispeval dodatno uporabnost v smislu reprezentacije potopljene vodne vegetacije. Dodatni vir algoritmov predstavljajo še model za simulacijo toksikantov PEST (Park et al., 1980, 1982), njegov naslednik TOXTRACE (Park, 1984) ter "equilibrium fugacity" model PART. Aquatox združuje algoritme teh modelov z ekotoksikološkim konstruktom sposojenim iz modela FGETS (Suárez and Barber, 1992). Da je Aquatox postal celovit model, je bil izdelan dodaten algoritem (Park, 1990, 1993). V poznih 90-ih letih je bil Aquatox prestrukturiran in modificiran za združljivost z okni (Microsoft Windows), z odprtokodno zasnovo postal bolj prilagodljiv, omogočil možnost dodajanja nadgradenj ter izboljšal uporabniško izkušnjo.

AQUATOX verzija 1 je bila izdelana leta 2002 in je bila prvo orodje, izdano s strani EPA s podporo okolju Windows.

AQUATOX verzija 2 (2003) omogoči vnos več spremenljivk in starostnih razredov rib ter vključuje nov uporabniški vmesnik.

AQUATOX verzija 2.1 (2005) med drugim vključuje dodatne možnosti modeliranja kemičnih komponent in variabilno stehiometrijo.

AQUATOX verzija 2.2 (2006) vsebuje posodobljene simulacije in podatkovne baze in manjše izboljšave uporabniškega vmesnika.

AQUATOX verzija 3 (2009) predstavlja vrsto novih možnosti uporabe, med drugim simulacijo povezanih segmentov, simulacije estuarjev, močno povečane možnosti izvoza in drugo.

AQUATOX verzija 3.1 plus (2014) je do dne predstavitve te naloge zadnja aktualna verzija z vrsto dodatnih funkcij in izboljšav, posodobljenim vmesnikom s podporo 64 bitnim sistemom, izboljšano uporabniško izkušnjo in hitrejšo obdelavo podatkov.

#### **3.2 Področja uporabe**

Glede na številna orodja-programe za modeliranje procesov v vodnih okoljih je za marsikaterega uporabnika prva odločitev pri modeliranju teh procesov povezana s tem, kateri program naj uporabi pri reševanju konkretnega problema. EPA predlaga, da Aquatox pride v poštev, kadar uporabnik želi ali mora pri reševanju problema razumeti procese, ki potekajo med fizikalnimi, kemičnimi in biološkimi komponentami vodnega okolja, torej:

- kjer se soočamo s kompleksnimi ekološkimi in biološkimi procesi,
- kjer so pomembni indirektni vplivi spremenljivk, vendar se jih težko spremlja,
- kadar je potrebno razumeti ali določiti razmerja med hranili/onesnažili ter biotskimi združbami,

- kadar želimo oceniti odziv ekosistema na različne scenarije zmanjšanja/povečanja onesnaževanja,
- kadar želimo raziskovati spremembe ekosistema kot odziv na klimatske spremembe,
- kadar želimo raziskovati odziv ekosistema na invazivne vrste,
- kjer se okoljske razmere lahko bistveno spremenijo.

Aquatox omogoča široke možnosti uporabe. V praksi je uporaben predvsem kot eno izmed orodij v procesih odločanja pri ravnanju z okoljem. Po navedbah EPA (Park in sod., 2010) je uporaba Aquatoxa pri sprejemanju odločitev v procesih ravnanja z vodami še v zgodnji fazi, vendar z velikim potencialom. S simuliranjem kroženja nutrientov in onesnažil, njihovem vplivu na eutrofikacijo in vodne organizme, vključno z bioakumulacijo se vse pogosteje uporablja za določevanje MDK hranil in onesnažil iz kmetijskega, urbanega ali industrijskega okolja. Večkrat se z uspehom uporablja tudi pri sanaciji že pretirano onesnaženih vodnih teles, določevanju ukrepov za njihovo izboljšanje ter napovedovanje dinamike izboljšanja. Za tovrstno uporabo programa je poleg inženirskega znanja seveda potrebna tudi določena količina kakovostnih vhodnih podatkov, kar lahko predstavlja dolgotrajen in pogosto tudi drag tehnično inženirski proces. Po drugi strani pa dobro izdelan in kalibriran model uporabniku na dolgi rok omogoča simuliranje različnih scenarijev, npr. določevanje MDK-jev v izogib cvetenju alg ali anoksiji in podobno.

Po navedbah EPA se Aquatox še najpogosteje uporablja kot orodje za preliminarne ocene vplivov onesnaževanja ali remediacijskih ukrepov na vodna okolja v začetnih fazah odločanja ali projektiranja. Z modificiranjem vzorčnih modelov lahko relativno hitro ocenimo odziv vodnih ekosistemov na različne spremembe v okolju kot na primer vdor invazivnih vrst ali povečana (zmanjšana) raba pesticidov. S tem se v določenih primerih lahko izognemo dolgotrajnejšim in dragim laboratorijskim modelom ali mesocosmskim testom. Glede na problematiko in na podlagi rezultatov teh grobih modelov se lahko:

- sprejme določene odločitve in ukrepe,
- odloči za nadaljnje, podrobnejše modeliranje,
- pridobi dodatne podatke,
- uporabi drug, primernejši program,
- drugo.

### **3.3 Lastnosti programa**

#### **3.3.1 Kaj Aquatox omogoča**

##### **Podprti tipi vodnih teles**

Aquatox je zasnovan tako, da uporabniku omogoča simulacijo procesov v različnih tipih vodnih teles. Simulira se lahko šest osnovnih tipov:

- ribnik (Pond), jezero (Lake), akumulacija (Reservoir): Vodna telesa s stoječo vodo z možnostjo upoštevanja stratifikacije in ločene obravnave epilimnijske in hipolimnijske plasti. Vsi trije tipi so programsko identični, vendar imajo različna imena za boljšo prepoznavnost.
- potok oz. reka (Stream): vodno telo s tekočo vodo, brez stratifikacije, za izračun se lahko uporabi "Sand-Silt-Clay" (Pesek-Melj-Glina) podmodel, ne upošteva stratifikacije, erozija perifitona in občutljivost pritrjenih makrofitov pa sta funkcija hitrosti vodnega toka.
- eksperimentalna okolja in mesocosmi (Enclosure): eksperimentalno okolje v jezeru.

- estuar (Estuary): predpostavlja stalno stratifikacijo in salinizacijo.

Od verzije 3 (iz leta 2009) naprej Aquatox omogoča tudi obravnavo povezanih segmentov (različnih ali enakih zaporedno vezanih vodnih teles) ter pritokov. Pogoj za obravnavo posameznih segmentov v povezan sistem je enak nabor spremenljivk v vsakem posameznem segmentu.

Specifične karakteristike posameznega vodnega telesa vnesemo za vsak primer posebej. Potrebno je vedeti, da se v program ne vnaša dejanske geometrije vodnih teles (GIS, CAD podatki), vendar le podatke, ki smiselno opišejo osnovne geometrijske količine, ki vplivajo na izračun. Te so na primer: geografski položaj, velikost (dolžina, širina, globina, površina, obseg, srednja globina), povprečna temperatura, svetlobni pogoji in drugo. Na podlagi vhodnih podatkov program simulira procese s predpostavkami, natančno opisanimi v tehničnem priročniku. Z naknadnim umerjanjem modela se nato skuša lastnosti modela, ki vplivajo na iskani rezultat, čim bolj približati realnemu stanju. Za namen kalibracije modela Aquatox uporabniku ponuja več orodij, med njimi avtomatizirano občutljivostno analizo in analizo negotovosti.

### **Računska obdobja**

Računsko obdobje ni omejeno. Lahko izberemo bodisi enodnevno simulacijo z urnim korakom poročanja (npr. za spremljanje urnih vrednosti raztopljenega kisika), bodisi večletno simulacijo z dnevnim ali več dnevnim korakom poročanja (analize posledic onesnaženja, določitev maksimalnih dovoljenih vrednosti vnosa hranil ali onesnaženja, spremljanje razvoja invazivnih vrst,...).

### **Podprti tipi simuliranih spremenljivk**

Aquatox deluje tako, da s preračunavanjem diferencialnih enačb hkrati simulira vse podane spremenljivke v sistemu. Ta lastnost programa uporabniku omogoča spremljanje vseh obravnavanih spremenljivk in njihovih odvisnosti ter s tem ponuja praktično neomejene možnosti uporabe. V grobem lahko podprte spremenljivke razdelimo v naslednje skupine:

- fizikalne in kemijske količine: temperatura, pretok, volumen, pH, koncentracija raztopljenega kisika, CO<sub>2</sub>, TSS, secchi-jeva globina, slanost, BPK,
- hranila: amonij, nitrati, fosfor, ogljikov dioksid,
- detrit – zaradi svoje vloge pri procesih v vodnih telesih, je detrit pomemben del simulacije procesov. Simulira se kot organska snov v g/m<sup>2</sup>, lahko pa se poda tudi kot organski ogljik mg/l suhe snovi, ali kot karbonska biokemijska potreba po kisiku CBPK,
- rastline – alge: Aquatox alge razvršča v štiri glavne skupine (diatomske alge, zelene alge, modrozelenke alge, druge alge), znotraj katerih imamo na voljo izbiro nekaj najbolj zastopanih vrst. Za simulacijo se lahko skupno izbere do 20 vrst alg,
- rastline – makrofiti: hkrati se lahko simulira do šest vrst makrofitskih organizmov,
- nevretenčarji: simulira se lahko do dve vrsti nevretenčarjev iz vsake izmed sedmih podskupin,
- ribe: znotraj treh trofičnih nivojev rib se lahko izbere po več vrst rib, dodatno pa lahko posamezne vrste rib razvrščamo bodisi glede na velikost (dva razreda - velike, majhne), bodisi glede na starost (do 15 starostnih razredov),
- organske kemične snovi: hkrati se lahko simulira koncentracije do 20 organskih kemikalij, ki v modelu navadno predstavljajo neželjeno onesnaženje.

## Simulirani ekološki procesi

Aquatox simulira številne fizikalne, biološke in ekološke procese ter na ta način posnema delovanje ekosistema. Na ta način lahko predvidi delovanje različnih stresorjev in njihov vpliv na posamezen sistem skozi čas.

Program tako modelira vrsto bioloških in ekoloških procesov, na primer:

- fotosinteza,
- poraba hranil,
- respiracija,
- rast in razmnoževanje,
- naravna smrtnost ter smrtnosti zaradi visoke temperature, nizke vrednosti raztopljenega kisika, ter previsoke ali prenizke slanosti,
- smrtne in efektivne koncentracije organskih onesnažil in amonija,
- trofične interakcije (prehranjevalne preference – prehranska veriga),
- spremembe biotskih združb (biocenoz) zaradi spremenjenega življenjskega okolja,
- erozija perifitona zaradi hitrosti toka,
- odmiranje organizmov zaradi vpliva sedimentov,
- kroženje hranil in dinamika raztopljenega kisika,
- sproščanje fosforja iz anaerobnih sedimentov,
- toksične transformacije organskih snovi,
- biokoncentracija in bioakumulacija snovi s prehrano ali skozi škrge (ribe).

## Podprte enote

Posebno pozornost pri vnosu podatkov je potrebno nameniti enotam, v katerih podajamo vhodne podatke. Aquatox v veliki meri uporablja mednarodne fizikalne enote in metrični sistem enot. Kljub temu za določene parametre še vedno zahteva imperialne enote (npr. povprečna evaporacija v inch/year). V pomoč uporabniku je pri nekaterih vnosnih poljih na voljo tudi pretvornik enot, kjer izberemo podatek v kateri izmed nepodprtih enot, program pa ga pretvori v zahtevano vrsto enote. Decimalno ločilo je pika (.).

## Izvoz podatkov in vrednotenje rezultatov

Vse modelirane podatke in rezultate je mogoče pregledovati in izvoziti bodisi v tabelarni ali grafični obliki. Uporabnik lahko v grafični obliki prikaže eno ali več obravnavanih časovno odvisnih spremenljivk, pri tem pa ima poleg časovne X osi na voljo levo (Y1) in desno (Y2) os za primerjavo serij rezultatov v do dveh različnih merskih enotah. Mogoča je direktna grafična primerjava med izračunanimi rezultati in dejanskimi meritvami, ter primerjava med kontrolnim modelom in simulacijo. Za naprednejše grafične možnosti se lahko izvozi rezultate v tabelarni obliki in jih nato tabelira v primernejših programskih orodjih. Za vsako obravnavano serijo podatkov so na voljo tudi osnovne statistične vrednosti (srednja vrednost, povprečje, minimum, maksimum, varianca, standardna deviacija, 5 in 95 odstotna gotovost).

V smislu vrednotenja rezultatov Aquatox vsebuje dve zelo koristni statistični orodji: analizo negotovosti (Uncertainty analysis) in občutljivostno analizo (Sensitivity analysis). Analiza negotovosti poda ovojnico rezultatov simulacije glede na verjetnostno porazdelitev vrednosti določenih vhodnih

parametrov za vsak izračunani časovni korak. Uporabnik ima tako možnost z inženirsko presojo oceniti uporabnost vhodnega podatka oz. verjetnost, da ta podatek rezultira v izračun z inženirsko zadovoljivo natančnostjo in sprejeti ustrezne odločitve. Občutljivostna analiza pa obravnava odvisnost rezultata izračuna glede na spremembo vrednosti izbranih vhodnih parametrov za določen odstotek. Na ta način uporabnik pridobi pomembne kvantitativne informacije glede vpliva posameznih vhodnih podatkov na rezultat izračuna, ter podatke po potrebi dopolni z dodatnimi meritvami, ali pa določene vhodne podatke, ki nimajo bistvenega vpliva na izračun, tudi zanemari oz. jih izloči iz modela. S tem se po eni strani lahko zmanjša število obravnavanih spremenljivk, po drugi strani pa se z dodatnimi meritvami lahko dopolni pomembnejše parametre ter tako optimizira proces modeliranja.

### 3.3.2 Česa Aquatox ne omogoča

Aquatox ne modelira obnašanja kovin v vodnem okolju. Pred leti so ustvarjalci poskušali v program implementirati model živega srebra, vendar končni rezultati niso dosegali zadovoljive natančnosti.

Aquatox ne modelira bakterij in patogenih organizmov.

Aquatox ne modelira temperaturnih režimov in hidrodinamičnih procesov.

Kljub temu odprtokodna zasnova programa inženirjem omogoča specifične nadgradnje modela in povezavo z drugimi hidrološkimi modeli.

### 3.3.3 Kako Aquatox deluje

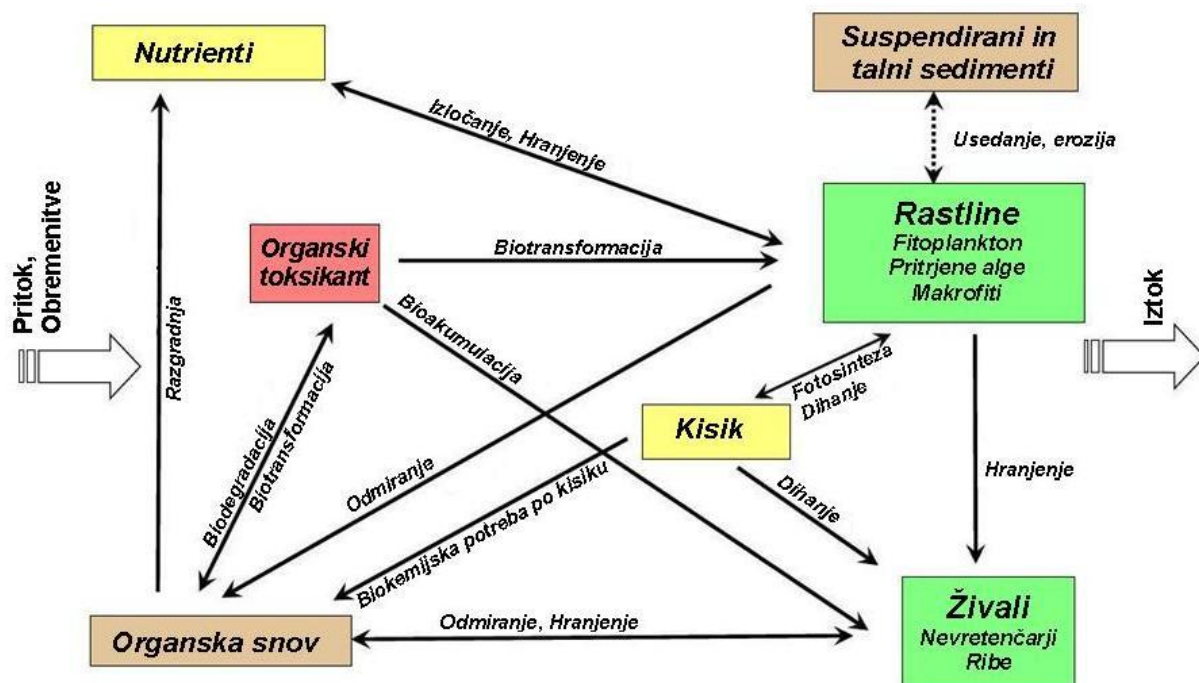
Aquatox modelira vodni ekosistem tako, da simulira spreminjanje koncentracij (v mg/l ali g/m<sup>3</sup>) organizmov, hranil, kemikalij in sedimentov v enoti vodnega volumna. Obnašanje spremenljivk reprezentirajo diferencialne enačbe, ki so osnova za programski algoritem, za izračun pa zahtevajo določitev začetnih vrednosti. Prednastavljen je variabilen časovni korak, ki s pomočjo Runge-Kutta postopka prilagaja velikost časovnega koraka, možno pa je izbrati tudi fiksni časovni korak od 0,01 do 0,1 dni. Spodaj je naveden primer enačbe, ki ponazarja spremembo biomase fitoplanktona v odvisnosti od časa v g/m<sup>3</sup>:

$$\frac{dBiomass_{Phyto}}{dt} = \text{Loading} + \text{Photosynthesis} - \text{Respiration} - \text{Excretion} - \text{Mortality} - \text{Predation} \pm \text{Sinking} \pm \text{Floating} - \text{Washout} + \text{Washin} \pm \text{TurbDiff} + \text{Diffusion}_{Seg} + \frac{\text{Slough}}{3} \quad (1)$$

kjer so vse spremenljivke na desni strani enačbe v g/m<sup>3</sup>·d

$dBiomass_{Phyto}/dt$	- sprememba biomase fitoplanktona v odvisnosti od časa
Loading	- začetna vrednost biomase oz. njen vnos iz drugih virov
Photosynthesis	- doprinos biomase zaradi fotosinteze
Respiration	- izguba biomase zaradi endogene respiracije
Excretion	- izguba biomase zaradi fotorespiracije
Mortality	- naravna smrtnost
Predation	- predacija s strani rastlinojedih heterotrofov
Washout	- izguba biomase v dolvodni segment
Washin	- doprinos biomase iz gorvodnega segmenta
Sinking	- izguba ali doprinos biomase kot posledica tonjenja in sedimentacije

Floating	- izguba iz hipolimnija ali doprinos v epilimniju zaradi plavljenja
TurbDiff	- turbulentna difuzija med epilimnijem in hipolimnijem
Diffusion <sub>Seg</sub>	- doprinos ali izguba zaradi difuzijskega transporta med dvema segmentoma
Slough	- doprinos biomase zaradi erozije perifitona



Slika 2: Koncept modeliranja ekosistema s programom Aquatox (Park, Clough, 2014)

Programska koda Aquatoxa je izdelana v programskem jeziku Pascal z Borland Delphi 2007 razvojno platformo. Koda je tudi javno dostopna preko zavihka "Help" v programu Aquatox ter kot taka omogoča individualne spremembe in nadgradnje.

### 3.3.4 Primerjava s konkurenčnimi programi

Aquatox se od ostalih programov za simulacijo procesov v vodnih okoljih razlikuje predvsem v tem, da povezuje fizikalne in kemične količine s procesi z biološkimi komponentami v obravnavanem okolju. Modelira torej ne le fizikalne in kemijske procese, temveč obravnava ekosistem kot celoto tako, da povezuje medsebojne procese številnih vrst rastlin, nevretenčarjev in rib s fizikalnimi in kemičnimi dejavniki v vodnem okolju. Na ta način lahko spremljamo ne le časovno odvisnih količin posameznih kemikalij v ekosistemu, temveč tudi njihove direktne in indirektne vplive na vodne organizme.

S hkratnim preračunavanjem diferencialnih enačb vsake posamezne spremenljivke ali procesa za vsak dan ali računski interval simuliranega obdobja se Aquatox v nasprotju z empiričnimi modeli uvršča med procesne oziroma mehanistične modele.

V primerjavi z ostalimi programi za modeliranje vodnih teles je Aquatox glede števila obravnavanih spremenljivk najkompleksnejši. Zaradi zmožnosti modeliranja tako številnih fizikalno kemijskih parametrov kot tudi vseh trofičnih nivojev v vodnih telesih, se pogosto izkaže za najbolj ustrezen program za modeliranje naravnih vodnih ekosistemov. Korošec (2014) v seminarju navaja nekaj



konkretnih primerov, kjer je bil Aquatox uspešno apliciran za modeliranje vodnih ekosistemov. V preglednici 1 je prikazana primerjava podprtih spremenljivk po posameznih programih.

Preglednica 1: Primerjava spremenljivk in procesov, ki jih podpira program Aquatox v primerjavi z nekaterimi konkurenčnimi programi (Park, Clough, 2014)

Modelirane spremenljivke in procesi	AQUATOX	CATS	CASM	Qual2K	WASP7	EFDC-HEM3D	QEAF-dChn	BASS	Qsim
Hranila	X	X	X	X	X	X			X
Diageneza sedimenta	X			X	X	X			
Detrit	X	X	X	X	X	X			X
Raztopljeni kisik	X		X	X	X	X			X
Vpliv razt. kisika na organizme	X								X
pH	X			X					X
toksičnost NH <sub>4</sub>	X								
Pesek/melj/glina	X				X	X			
Vpliv susp. in talnih sedimentov	X								
Hidromehanika						X			X
Toplotna bilanca				X	X	X			X
Slanost	X				X	X			
Fitoplankton	X	X	X	X	X	X			X
Perifiton	X	X	X	X	X				X
Makrofiti	X	X	X						X
Zooplankton	X	X	X						X
Zoobentos	X	X	X						X
Ribe	X	X	X					X	X
Bakterije			X						X
Patogeni				X		X			
Cikel organskih toksikantov	X	X			X			X	
Organski toksikanti v:					X	X			
Sedimentih	X	X			X	X			
Večplastnih sedimentih	X				X				
Fitoplanktonu	X	X							
Perifitonu	X	X							
Makrofitih	X	X							
Zooplanktonu	X	X					X		
Zoobentonu	X	X					X		
Ribah	X	X					X	X	
Ptice in druge živali	X	X							
Ekotoksičnost	X	X	X					X	
Povezani segmenti	X			X	X	X	X		X

### 3.3.5 Združljivost in povezljivost z drugimi programskimi orodji

Pri uvozu večjih serij podatkov in izvozu rezultatov Aquatox deluje v povezavi s programi MS Office. V Excelu tako lahko predhodno pripravimo vhodne podatke in jih nato uvozimo v Aquatox. Podobno velja tudi za izvoz, kjer lahko vse grafe v tabelarični obliki izvozimo v Excel, kjer jih nato lahko poljubno obdelujemo. Pri izvozu grafičnih rezultatov je na izbiro kopiranje grafa v odložišče v bitmap formatu ali Windows Enhanced Meta File formatu, nato pa se datoteka iz odložišča prilepi (Paste) v poljubno programsko orodje.

Od verzije 2 dalje je Aquatox združljiv tudi z orodjem BASINS (Better Assessment Science Integrating point & Non-point Sources). BASINS je večnamenski okoljsko analitični sistem, ki združuje širok nabor parametrov vodnih okolij z GIS sistemi in je bil razvit s strani EPA v pomoč regionalnim, državnim in lokalnim inštitucijam pri upravljanju z vodami. V ta namen je bil razvit vtičnik oz. dodatek k programu (BASINS Aquatox Extension), ki uporabniku omogoča povezavo teh dveh orodij. Iz podatkovne baze BASINS lahko tako uvozimo serije podatkov o posameznih obravnavanih vodnih telesih (opazovanja, meritve, pretoki, volumni, koncentracije onesnažil ipd.) kot vhodne podatke za simulacijo. Vtičnik avtomatsko prilagodi oz. po potrebi pretvori merske enote in računski korak programu Aquatox. Poleg tega omogoča Aquatoxu izvoz podatkov v obliki GenScn datoteke, ki znotraj BASINS-a omogoča dodatna statistična orodja za obdelavo rezultatov kot na primer vrednotenje rezultatov simulacije s primerjavo z dejanskimi izmerjenimi vrednostmi. Preko BASINS vtičnika je mogoč tudi direkten vnos vhodnih podatkov iz HSPF (Hydrological Simulation Program – Fortran) in SWAT (Soil and Water Assessment Tool) modelov za modeliranje porečij.

### 3.4 Mnenje o programu in uporabnost pri študiju

Ne glede na to, da EPA program opisuje kot najbolj realističen simulacijski model za vodne ekosisteme, je uporabnost rezultatov odvisna od številnih dejavnikov. Glede na to, kako kakovostne podatke uporabimo pri izdelavi modela in kako uspešni smo pri kalibraciji, lahko pričakujemo rezultate z določeno natančnostjo. Velika količina podprtih spremenljivk tako po eni strani uporabniku omogoča široke možnosti uporabe, po drugi strani pa je z naraščanjem števila obravnavanih spremenljivk tem težje model in njegove rezultate približati realnim okoliščinam. Poleg tega se vsak posamezen obravnavan ekosistem s časom spreminja in tako je treba tudi pri Aquatoxu model ob vsaki vnovični uporabi preveriti in po potrebi kalibrirati.

Po drugi strani pa lahko Aquatox uporabimo za hitre kvalitativne situacije ter na ta način v zgodnjih fazah reševanja problema lažje predvidimo obnašanje sistema. Seveda je pri tem neobhodno potrebna zadostna inženirska presoja. V tem kontekstu je Aquatox uporaben tudi kot pedagoško orodje. Z relativno intuitivno zasnovo je razmeroma preprost za uporabo, študent pa lahko (tudi na že shranjenih vzorčnih modelih) hitro preizkuša različne scenarije sprememb v okolju in spremlja simuliran (kvalitativen) odziv vodnega okolja na te spremembe. S funkcijo kontrolnega izračuna in številnimi možnostmi predstavitve ter izvoza rezultatov je primerjava vplivov na okolje in odzivi okolja na njih še toliko lažja. Z zmožnostjo modeliranja eksperimentalnih okolij bi znal biti Aquatox zanimiv tudi kot učno orodje v smislu povezave laboratorijskega dela in računalniško podprtega modeliranja.

Menim, da je Aquatox zanimiv program, ki uporabnika hitro pritegne k preizkušanju različnih scenarijev, s tem pa pogloblja razumevanje povezanosti fizikalno-kemijsko-bioloških procesov v vodnih okoljih. Po drugi strani pa za realne in inženirsko uporabne rezultate od uporabnika zahteva veliko inženirskega znanja in razumevanja procesov v vodnih okoljih ter seveda zadostno količino ustreznih podatkov (analize, dolgoročne meritve,...) za kalibracijo. To pa je dolgoročen proces, ki navadno zahteva večje število sodelujočih strokovnjakov ter kontinuirano spremljanje obravnavanega ekosistema.

### 3.5 Priporočena literatura

Pri delu s programom Aquatox sta nepogrešljiva pripomočka uporabniški priročnik in tehnična dokumentacija. Priporočljivo ju je imeti pri roki v vseh fazah dela z Aquatoxom. Medtem ko uporabniški priročnik ponuja preglednejše in hitreje iskanje potrebnih informacij, pa tehnična

dokumentacija vsebuje podrobnejši vpogled v delovanje programa, vključno z enačbami, ki ponazarjajo procese v računalniškem modelu. Vsebina uporabniškega priročnika je sicer identična vsebini pomoči znotraj programa, ki je na voljo v zavihku za pomoč ter tudi v večini vnosnih oken programa, s povezavo na relevantno vsebino pomoči.

Pri vnašanju vhodnih podatkov je v veliko pomoč drugi del tehnične dokumentacije (Technical note 2: requirements, sources, and conditioning of data for Aquatox), ki podrobneje opisuje in svetuje na kakšen način podajati in uporabljati vhodne podatke modela.

Za vsakogar, ki se odloči za uporabo programa Aquatox, je priporočljiva dokumentacija iz enodnevnega Aquatox tečaja, ki je na voljo v pdf obliki na spletnih straneh EPA. Podrobnejše spoznavanje programa ponuja tridnevni tečaj, katerega vsebina je tudi na voljo na spletu, datoteke pdf pa dopolnjujejo vzorčne datoteke, s katerimi lahko korak za korakom sledimo pisnim navodilom in komentarjem. Vsebuje 8 delavnic, pri čemer vsaka predstavlja konkreten praktični primer uporabe programa.

## 4 MODELIRANJE CERKNŠKEGA JEZERA

### 4.1 Namen izdelave modela in osnovne predpostavke

Pristop k modeliranju vodnih ekosistemov s programom Aquatox je odvisen od namena oz. ciljev, ki naj bi se jih z modelom doseglo. Pri modeliranju je običajno na voljo omejena količina vhodnih podatkov, pri katerih vedno obstaja določena stopnja (ne)gotovosti v smislu odražanja realnega stanja. V splošnem velja, da je vsestranskost tovrstnih modelov (možnost modeliranja večjega števila spremenljivk, simuliranje pod spremenljivimi pogoji ali z različnimi scenariji) v obratnem sorazmerju z natančnostjo rezultatov (npr. ujemanje izračunanih in merjenih rezultatov). Model tako ne more biti hkrati realističen, splošen in natančen, vendar pa se pri modeliranju najpogosteje teži k temu, da model kar se da realistično prikazuje stanje v naravi in je hkrati vsestransko uporaben (Park in Collins, 1982). Vsestranskost je še posebej zaželena, saj se tovrstni modeli pogosto uporabljajo za predvidevanje odzivov ekosistema na spremenjene (simulirane) razmere.

Pri modeliranju se je potrebno zavedati, da je Aquatox v osnovi ničdimenzijski model, ki modelira vodna telesa zelo poenostavljeno, s hkratnim modeliranjem procesov v popolnoma premešani enoti volumna. Cerknškemu jezeru ne gre pripisati homogenosti niti v časovnem (presihanje) niti v prostorskem smislu (posamezni deli jezera imajo lahko specifične značilnosti). Praktično ne gre v nobenem obdobju za enoten, premešan sistem, še najmanj pa v času nizkega vodostaja, ko je dejansko razdeljen na več posameznih delov. Pri modeliranju sem se zato v čim večji meri skušal opreti na vire merjenih vhodnih količin in jih pri določenih poenostavitvah tudi čim bolj verodostojno argumentirati. Za bolj transparentno interpretacijo in argumentacijo rezultatov je bila izbrana čim manjša količina biotskih spremenljivk, ki naj bi v čim večji meri reprezentirale vpliv celotne biote na ekosistemske procese v jezeru. S tem sem skušal doseči čim večjo vsestranskost modela, ki bi v generalnem pogledu lahko podal realne kvalitativne ugotovitve.

Namen oz. cilji modeliranja Cerknškega jezera s programom Aquatox v okviru te diplomske naloge torej so:

- določiti princip izračuna dinamičnih (dnevni) vrednosti hidroloških vhodnih podatkov za obdobje simulacije,
- oceniti količino hranil, ki v jezero prihaja in količino hranil, ki iz jezera odhaja,
- določiti princip izračuna dinamičnih (dnevni) vhodnih podatkov obremenitve s hranili
- simulirati osnovne ekosistemske procese s poudarkom na bilanci hranil,
- določiti medsebojne odvisnosti oz. vplive med posameznimi spremenljivkami in vhodnimi podatki,
- osvetliti osnovne principe delovanja Cerknškega jezera,
- oceniti (samo)čistilno sposobnost jezera in njegov vpliv na odvodnike.

Pri analizi in vrednotenju vhodnih ter kontrolnih podatkov je potrebno poudariti pomen dveh statističnih pojmov, povprečja oz. aritmetične sredine ter srednje vrednosti oz. mediane, ki sta v nadaljevanju dosledno uporabljana. V primeru Cerknškega jezera namreč večkrat prihaja do večjih razlik med obema vrednostima, kar je posledica pojava velikih lokalnih maksimalnih ekstremov. To je najbolj očitno pri računskem zadrževalnem času, kjer povprečje znaša nerealnih 2541 dni, srednja vrednost pa 8,5 dni (glej poglavje 4.5.1). V primerih rezultatov meritev analiz voda (ARSO) za vsebnosti amonija in fosforja je razmerje med obema statističnima količinama približno 2:1 (glej poglavje 4.5.3). Zaradi navedenega sta pri interpretaciji rezultatov po potrebi navedeni obe količini,

podkrepljeni z grafičnim prikazom. Povprečna vrednost predstavlja povprečje vseh podatkov, srednja vrednost oz. mediana pa predstavlja vrednost, ki število podatkov v nizu razdeli na dva enaka dela (polovica podatkov ima vrednost, ki je večja od mediane, druga polovica pa ima vrednost, ki je manjša od mediane). Pri srednji vrednosti imajo torej podatki, ki ekstremno odstopajo od ostalih podatkov, manj vpliva na njeno vrednost.

Izračun povprečne vrednosti  $\bar{x}$ , kjer je  $n$  število podatkov, prikazuje enačba (2):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{n} (x_1 + \dots + x_n) \quad (2)$$

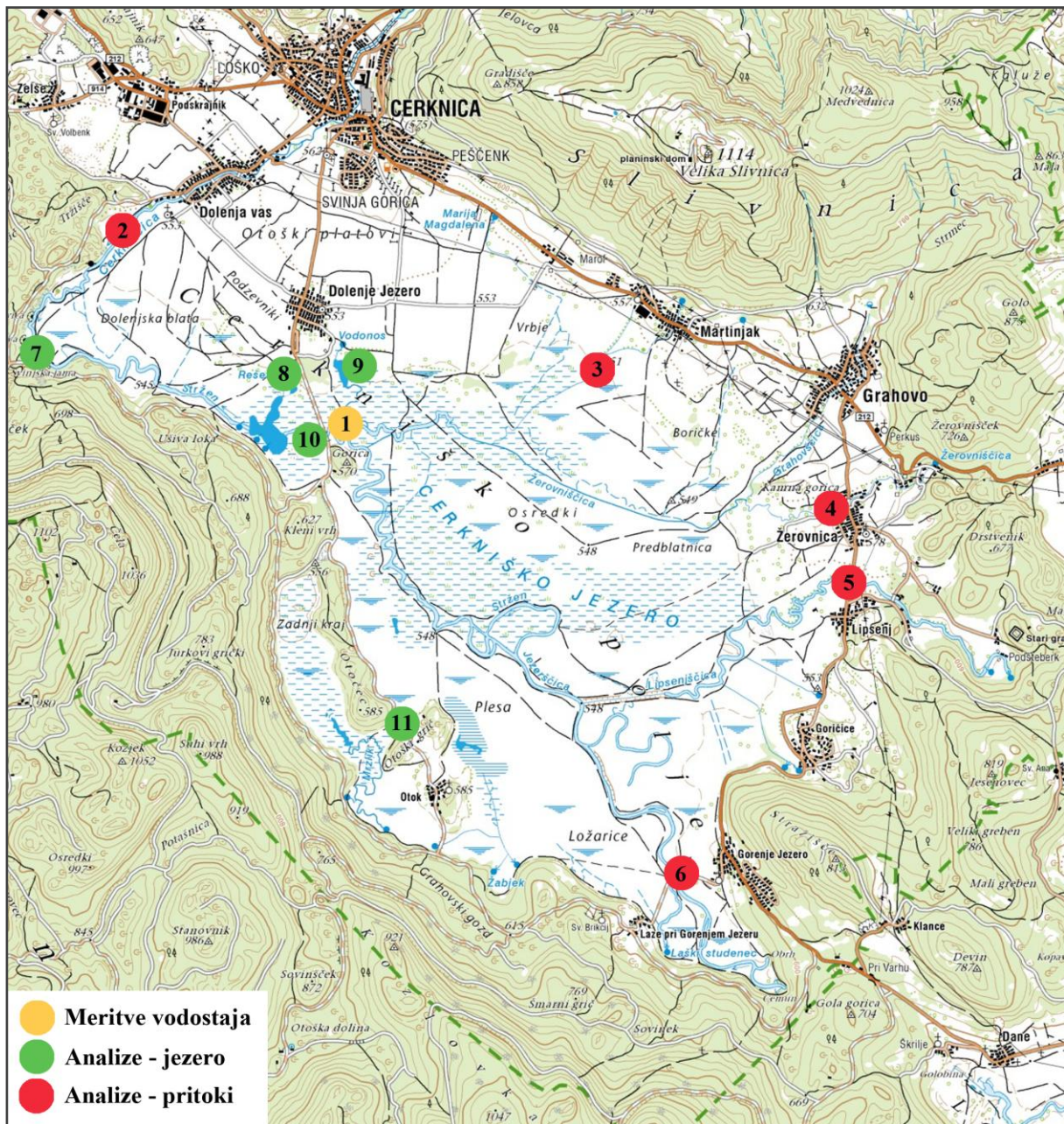
Mediana  $\tilde{x}$  nabora števil, razvrščenega po velikosti  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  z  $n$  členi se izračuna po enačbi (3):

$$\tilde{x} = \begin{cases} \frac{x_{n+1}}{2} & n = \text{liho} \\ \frac{1}{2} \left( x_{\frac{n}{2}} + x_{\frac{n}{2}+1} \right) & n = \text{sodo} \end{cases} \quad (3)$$

## 4.2 Določitev vhodnih parametrov simulacije

### 4.2.1 Obdobje simulacije in pregled razpoložljivih virov podatkov

Pri nalogi modeliranja Cerknškega jezera sem izhajal iz že obstoječih podatkov meritev in analiz, opravljenih v dozdajšnjem obdobju. V prilogi A je zbran prikaz do zdaj zbranih meritev, analiz in opazovanj, na podlagi katerih so bili povzeti in analizirani vhodni in kontrolni podatki za izdelavo modela. Tabela vsebuje obdobjni pregled meritev pretokov na posameznih pritokih v jezero, opravljene fizikalno kemične analize voda, vodostaj jezera, podatke padavinskih postaj, letne evapotranspiracije in sončnega obsevanja. Na podlagi razpoložljivih podatkov sem nato določil obdobje simulacije od leta 2000 do vključno leta 2004. Glede na padavinske podatke so bila leta 2000, 2001 in 2002 srednje vodnata, leto 2003 je bilo podpovprečno suho leto z daljšim sušnim obdobjem, leto 2004 pa nadpovprečno mokro leto. Za analizo dinamike dotoka vode v jezero so bili uporabljeni podatki iz let 1962, 1963 in 1965. Le v teh letih so bile namreč hkrati opravljene dnevne meritve pretokov večine večjih pritokov, torej Cerknjščice, Martinjščice, Grahovščice, Žerovniščice, Lipsenjščice, Malega Obrha, Velikega Obrha ter reke Rak. Omenjena obdobja so v preglednici označena s sivo barvo. Slika 3 vsebuje prikaz lokacij posameznih merilnih postaj ARSO, na katerih so bili zajeti uporabljeni podatki, v preglednici 2 pa so podani natančni podatki o posameznih merilnih mestih (ARSO).



Slika 3: Grafični prikaz lokacij merilnih postaj ARSO

Preglednica 2: Seznam merilnih postaj (ARSO)

Oznaka	Skupina	Ime	Šifra postaje	Koord. X	Koord. Y
1	CERKN. JEZERO (STRŽEN)	Dolenje jezero	/	69234	450701
2	CERKNIŠČICA	Cerknica (Dolenja vas)	5774	71270	448870
3	MARTINJŠČICA	Martinjak	5751	69918	453318
4	ŽEROVNIŠČICA	Žerovnica	5731	68574	455582
5	LIPSENJŠČICA	Lipsenj	5720	67770	455628
6	JEZERSKI OBRH	Gorenje jezero	5660	65048	454060
7	CERKN. JEZERO	Karlovica	5640	70066	447807
8	CERKN. JEZERO	Rešeto	5691	69852	450345
9	CERKN. JEZERO	Vodnos	5690	69962	450960
10	CERKN. JEZERO (STRŽEN)	Dolenje jezero	5680	69240	450690
11	CERKN. JEZERO	Zadnji kraj	5665	66416	451388

#### 4.2.2 Morfologija jezera

Morfologija je zelo pomembna pri modeliranju vodnih teles. Aquatox obravnava morfologijo s številnimi predpostavkami in na podlagi idealiziranih geometrijskih oblik. Številne procese namreč simulira hkrati s pomočjo diferencialnih enačb v enoti volumna, ki predstavlja vodno telo. Različne vplive morfologije vodnih teles zato poenostavljeno obravnava preko številnih koeficientov, ki predstavljajo robne pogoje pri izračunu.

Volumen določa razpoložljivo količino vode za razvoj vodnih organizmov in potek številnih fizikalnih, kemičnih in bioloških procesov. Površina je pomembna v smislu izmenjave atmosferskih plinov, evaporacije, določitve razpoložljive sončne energije, določitve vpliva vetra (mešanje plasti vode, razbijanje združb planktonskih organizmov, vpliv na globino termokline) ter sprejemanja različnih, tudi toksičnih snovi preko precipitacije. Globina je med drugim pomembna z vidika določitve velikosti epilimnijskega in hipolimnijskega dela pri stratificiranih sistemih, določitve anoksične cone, vpliva pa tudi na procese sedimentacije. Srednja globina je bistvena za določitev fotične oz. svetlobne cone, ki določa, kolikšna površina dna jezera je na voljo za razvoj pritrjenih rastlinskih organizmov oz. makrofitov.

Cerkniško jezero je v smislu morfologije izredno specifično, saj se vsi morfološko pomembni parametri izredno hitro spreminjajo, z njimi pa tudi robni pogoji za modeliranje ekosistemskih procesov. Zato so različne poenostavitve jezera izjemno težke. Aquatox pa z računskim korakom od 15 min do več dni (glede na hitrost sprememb v vodnem telesu) omogoča upoštevanje teh nihanj. V primeru Cerknškega jezera je ugodno to, da so praktično od leta 1959 pa do danes na voljo dnevne merjene vrednosti vodostaja Stržena na Dolenjem jezeru, s tem pa tudi eden ključnih vhodnih podatkov. Na podlagi dosedanjih raziskav je bila izdelana ocena razmerij med vodostajem, površino in volumnom jezera (arhiv IZH) z natančnostjo 0,1m. Za potrebe modeliranja jezera sem vrednosti linearno interpoliral do natančnosti meritev vodostaja, to je 0,01m, ter določil srednjo globino jezera kot razmerje med površino in volumnom – enačba (4). Preglednica 3 prikazuje vse štiri količine z natančnostjo vodostaja 0,5 m, priloga B pa vsebuje podatke z natančnostjo 0,1 m.

$$g_{sr}(z) = \frac{V(z)}{P(z)} \quad (4)$$

pri čemer je:

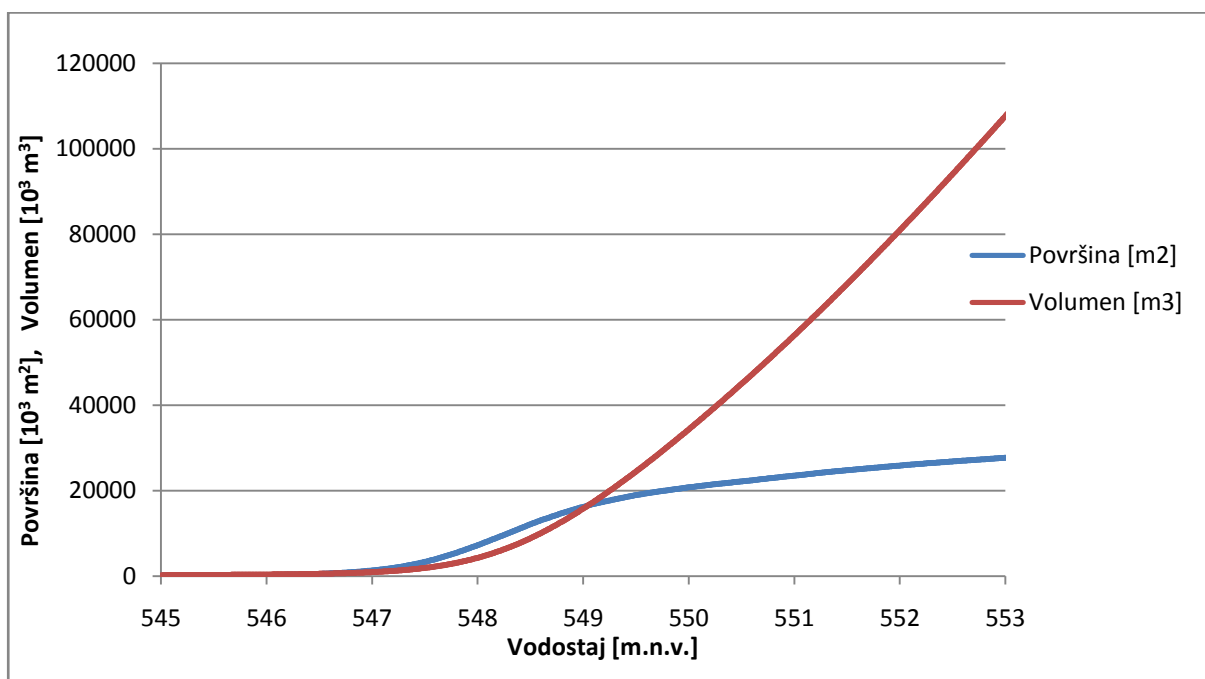
$g_{sr}(z)$  - srednja globina v odvisnosti od vodostaja [m]

$V(z)$  – volumen jezera v odvisnosti od vodostaja [m<sup>3</sup>]

$P(z)$  – površina jezera v odvisnosti od vodostaja [m<sup>2</sup>]

Preglednica 3: Površina, volumen in srednja globina jezera glede na vodostaj

Vodostaj [m.n.v]	Površina jezera [m <sup>2</sup> ]	Volumen jezera [m <sup>3</sup> ]	Srednja globina [m]	Vodostaj [m.n.v]	Površina jezera [m <sup>2</sup> ]	Volumen jezera [m <sup>3</sup> ]	Srednja globina [m]
545,00	95625	224875	2,35	550,50	22150000	44971312,5	2,03
545,50	144375	280562,5	1,94	551,00	23489375	56318437,5	2,40
546,00	244375	367500	1,50	551,50	24765000	68329250	2,76
546,50	506250	530437,5	1,05	552,00	25855625	80934250	3,13
547,00	1298125	912187,5	0,70	552,50	26825000	94064500	3,51
547,50	3311875	1892812,5	0,57	553,00	27684375	107649500	3,89
548,00	7208125	4262437,5	0,59	553,50	28512500	121657938	4,27
548,50	12123125	8834437,5	0,73	554,00	29340625	136076500	4,64
549,00	16186250	15761500	0,97	554,50	30149375	150909938	5,01
549,50	18938750	24450812,5	1,29	555,00	30825625	166124750	5,39
550,00	20765000	34302562,5	1,65				



Grafikon 1: Volumen in površina Cerknškega jezera v odvisnosti od vodostaja

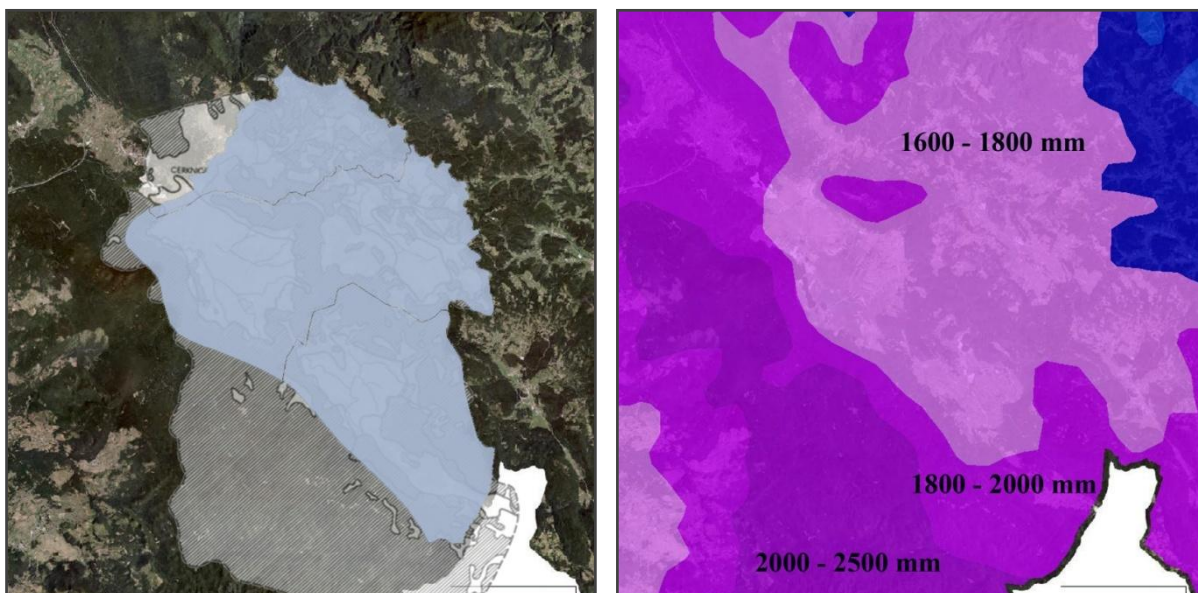
Vhodni podatki so v program podani v obliki dinamičnih serij dnevnih vhodnih podatkov za volumen in srednjo globino jezera. Na podlagi teh podatkov program samodejno izračuna aktivno površino jezera in površino fotične cone. V ta namen je bila v nastavitvah modela izbrana uporaba batimetričnih enačb.

Vzorca vhodnih datotek v Excelu za uvoz v Aquatox za srednjo globino in volumen jezera sta prikazana v prilogah J.7 in J.8.



### 4.2.3 Prispevna površina in srednji letni dotok

Izmed vhodnih količin za simulacijo vodnega ekosistema s programom Aquatox sta volumen vodnega telesa in dotok vode med najpomembnejšimi. Skupaj namreč določata hidravlični režim vodnega telesa, zadrževalni čas in volumen, v katerem potekajo procesi. Sam dotok pa je pomemben tudi iz vidika obremenitve sistema z organskimi hranili, suspendiranimi snovmi ter drugih količin, ki preko pritokov vstopajo v sistem, njihove vrednosti pa se podajo v enotah mg/l. Določitev prispevne površine oz. vodozbirnega območja je potrebna iz vidika določitve celotne količine vode, ki v določenem časovnem obdobju, na primer eno leto, priteče v jezero ter s tem definira dotok. Zaradi kraškega značaja širšega območja Cerknškega jezera je prispevno površino težko nedvoumno določiti. ARSO ima sicer izdelane karte linij razvodnic, vendar podzemni kraški tokovi prispevajo svoje k nezanesljivosti podatkov. Tako se v literaturi pojavlja več medsebojno različnih ocen, od 200 km<sup>2</sup> (Zevnik, 2000), 270 km<sup>2</sup> (Atlas okolja, ARSO), do 475 km<sup>2</sup> (Kranjc, 1986). Slednjo oceno je privzel tudi Kovačič (2009) v svoji oceni vodne bilance Cerknškega polja. Večina razlike med 475 km<sup>2</sup> in 270 km<sup>2</sup> predstavlja Javorniško hribovje vključno z jugozahodnim zaledjem Snežnika. Slika 4 prikazuje primerjavo med obema prispevnima območjema.



Slika 4: Primerjava prispevnih površin po ARSO (modra površina) in Kranjcu (črno-bela šrafura)  
Slika 5: Padavinska karta območja (ARSO)

Za prispevno območje so na voljo podatki štirih padavinskih postaj (ARSO) in sicer Cerknica, Nova vas na Blokah, Babno polje ter Šmarata – Stari trg pri Ložu. Na področju Javornikov in Snežnika ni padavinskih postaj, vendar pa na tem območju glede na padavinsko karto (slika 5) pade večja količina padavin. Zato sem v izračun povprečne količine padavin dodal tudi podatek za fiktivno padavinsko postajo Javorniki, letne padavine za to postajo pa razvrstil med vrednosti 1900 mm in 2300 mm padavin in sicer glede na povprečno količino padavin ostalih padavinskih postaj med najbolj suhim in najbolj mokrim letom v obravnavanem obdobju. Preglednica 4 prikazuje podatke posameznih padavinskih postaj, njihovo povprečje, povprečno vrednost evapotranspiracije glede na podatke ARSO, ter kot rezultat skupno efektivno količino padavin v mm, ki preko dotokov napaja jezero v posameznih letih obdobja 2000 – 2013. Podatkov za padavinsko postajo Babno polje v letih 2000 – 2003 ni na voljo, zato sem jih nadomestil z maksimalno vrednostjo izmed ostalih treh padavinskih

postaj. Zadnji stolpec vsebuje vrednosti srednjega letnega dotoka v jezero, izračunanega z enačbama (5) in (6).

$$Q_{sr,l} = \frac{\bar{h}_{ef,l} \cdot 475 m^2 \cdot 10^3}{365 \cdot 24 \cdot 3600 s} \quad (5)$$

$$\bar{h}_{ef,l} = \bar{h}_l - Evap_l \quad (6)$$

pri čemer je:

$Q_{sr,l}$  - srednji letni dotok v jezero [ $m^3/s$ ]

$\bar{h}_{ef,l}$  - skupna letna efektivna količina padavin [mm]

$\bar{h}_l$  - povprečna letna količina padavin [mm]

$Evap_l$  - letna evapotranspiracija [mm]

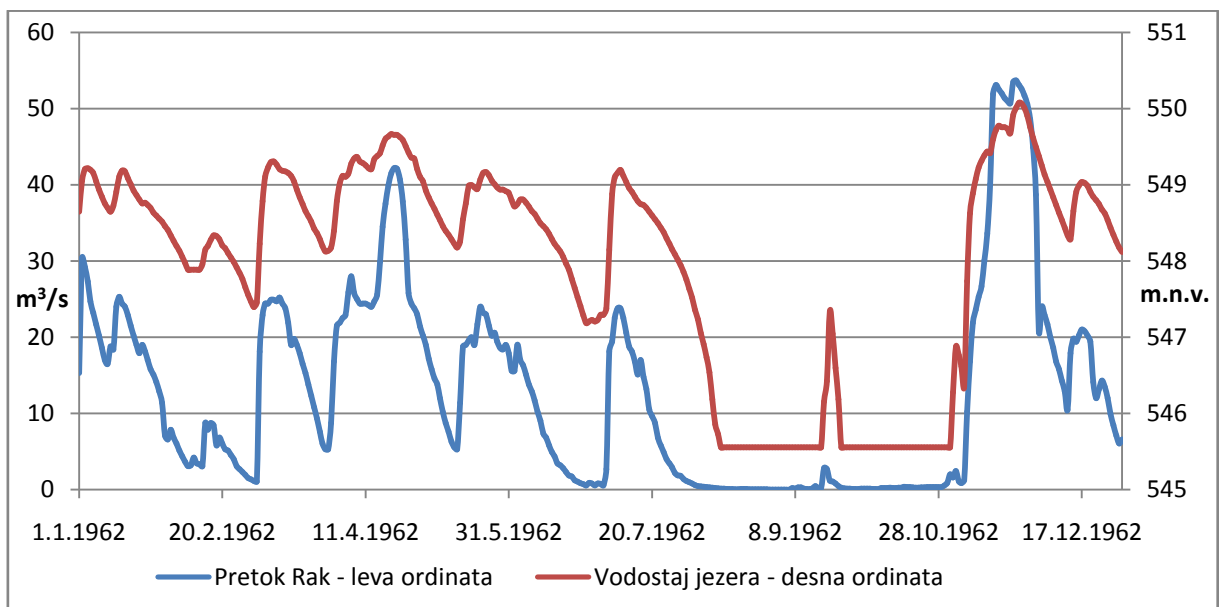
Preglednica 4: Pregled podatkov padavinskih postaj in srednji letni dotok (vir: ARSO)

Leto	Padavine [mm/leto]						Evapotransp. [mm/leto]	Efekt. Padavine [mm/leto]	Srednji letni dotok [ $m^3/s$ ]
	Javorniki	Cerknica	Nova vas na Blokah	Babno polje	Šmarata-Stari trg pri Ložu	Povprečje			
2000	2130	1764	1514	1764	1510	1736	692	1044	15,73
2001	2097	1535	1539	1539	1492	1640	673	967	14,57
2002	2094	1438	1760	1760	1348	1680	643	1037	15,63
2003	1931	1185	1174	1185	1057	1307	692	615	9,26
2004	2193	1769	1725	1834	1637	1832	601	1230	18,53
2005	2112	1475	1625	1613	1507	1666	620	1046	15,75
2006	2021	1269	1420	1463	1234	1481	643	839	12,63
2007	2025	1252	1390	1517	1266	1490	677	813	12,24
2008	2214	1815	1679	2008	1662	1876	627	1248	18,80
2009	2071	1525	1387	1549	1388	1584	660	924	13,91
2010	2300	1938	1953	2119	1944	2051	608	1443	21,73
2011	1900	1158	1055	1124	933	1234	668	566	8,53
2012	2062	1506	1392	1641	1219	1564	672	891	13,43
2013	2171	1704	1671	1814	1575	1787	609	1177	17,73
Povprečje	2094	1524	1520	1668	1412	1631	649	982	14,89

Voda iz Cerknškega jezera odteka v dve smeri (Kovač, 2005). Iz požiralnikov Svinjska jama, Narti, Mala Karlovica in Velika Karlovica voda teče skozi Rakov Škocjan kot reka Rak ali mimo njega v Rakov rokav Planinske jame in izvir Malni, ki je glavni vodni vir za Postojno in Pivko. Iz talnih požiralnikov Retje, Vodonos in Rešeto se vode podzemno odvajajo v izvire Ljubljaničice, v Lubijo in Bistvo.

Izmed navedenih so na voljo le meritve pretoka reke Rak v letih 1962-1970, 1972, 1974 in 1975 (ARSO). Iz podatkov izhaja, da večletno povprečje srednjih letnih pretokov reke Rak znaša  $12,05 \text{ m}^3/\text{s}$  (priloga C). Da se Rak resnično napaja skoraj izključno iz Cerknškega jezera, lahko sklepamo tudi iz podobnosti krivulj vodostaja Cerknškega jezera na merilni postaji Dolenje jezero ter krivulje pretoka reke Rak v istem obdobju. Grafikon 2 prikazuje obe krivulji za leto 1962. Pearsonov korelacijski koeficient ( $r_{xy}$ ), ki izkazuje stopnjo korelacije med obema vrstama podatkov znaša 0,81, pri čemer bi vrednost 1,00 pomenila popolno korelacijo, vrednost 0,00 pa nikakršno korelacijo med obema podatkom.

Iz predpostavke, da letna količina vode iz prispevne površine Cerknškega jezera ne more biti manjša kot povprečni letni pretok reke Rak  $12,05 \text{ m}^3/\text{s}$  in ob upoštevanju povprečne količine efektivnih padavin (z upoštevanjem evapotranspiracije)  $982 \text{ mm}/\text{leto}$  se lahko sklene, da teoretična minimalna površina vodozbirnega območja Cerknškega jezera znaša vsaj  $380 \text{ km}^2$ . Ker pa je dokazano, da voda iz Cerknškega polja napaja tudi druge izvire na Planinskem polju (Malni) in Ljubljanski kotlini, je mogoče sklepati, da je prispevna površina še bistveno večja. S tem je utemeljena odločitev, da se za velikost prispevne površine za namen te diplomske naloge privzame največjo izmed v literaturi podanih ocen, to je  $475 \text{ km}^2$  (Kranjc, 1986). Ta površina je tudi upoštevana pri izračunu srednjega letnega dotoka v jezero - enačba (5), preglednica 4. Srednji letni dotok v obdobju 2000 – 2013 po tem izračunu in v odvisnosti od letnih količin padavin znaša od  $9,26$  do  $21,73 \text{ m}^3/\text{s}$ , v povprečju pa  $14,89 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Grafikon 2: Korelacija krivulj reke Rak in vodostaja Cerknškega jezera

#### 4.2.4 Referenčni dotok

Za določitev dinamike dotoka voda iz prispevnih površin v jezero sem za potrebe simulacije definirala referenčni dotok. Referenčni dotok določa dinamiko dotoka vode v jezero. Pri modeliranju presihajočega sistema je ta dinamika v povezavi z volumnom bistvena, saj določa tudi zadrževalni čas. Ker je dotok vode v jezero v odvisnosti od časa skoraj nemogoče izmeriti, sem za temeljni podatek privzel pretok Cerknšičice, kot edini dejansko merjeni pritok od leta 1989 naprej. Za pretok Cerknšičice je značilno hitro nihanje vrednosti pretoka, kar je posledica  $50 \text{ km}^2$  velikega površinskega porečja s slabo prepustno podlago (Kovač, 2005) in dejstva, da se velik del vodotoka napaja tudi iz

utrjenih površin urbanega okolja, torej z visokim odtočnim koeficientom (teče skozi mesto Cerknica). Primerjal sem dinamiko pretoka Cerknishčice z dinamiko skupnega dotoka, ki predstavlja seštevek vseh merjenih pritokov v jezero. Primerjava je bila izvedena za obdobje 1.1.1962 do 31.12.1963 in verificirana v obdobju 1.1.1965 do 31.12.1965. Le v omenjenih obdobjih so v dosednji zgodovini meritev (ARSO) namreč bile opravljane dnevne meritve vseh večjih pritokov in sicer na vodotokih Cerknishčica, Martinjščica, Grahovščica, Žerovniščica, Lipsenjščica, Mali Obrh in Veliki Obrh.

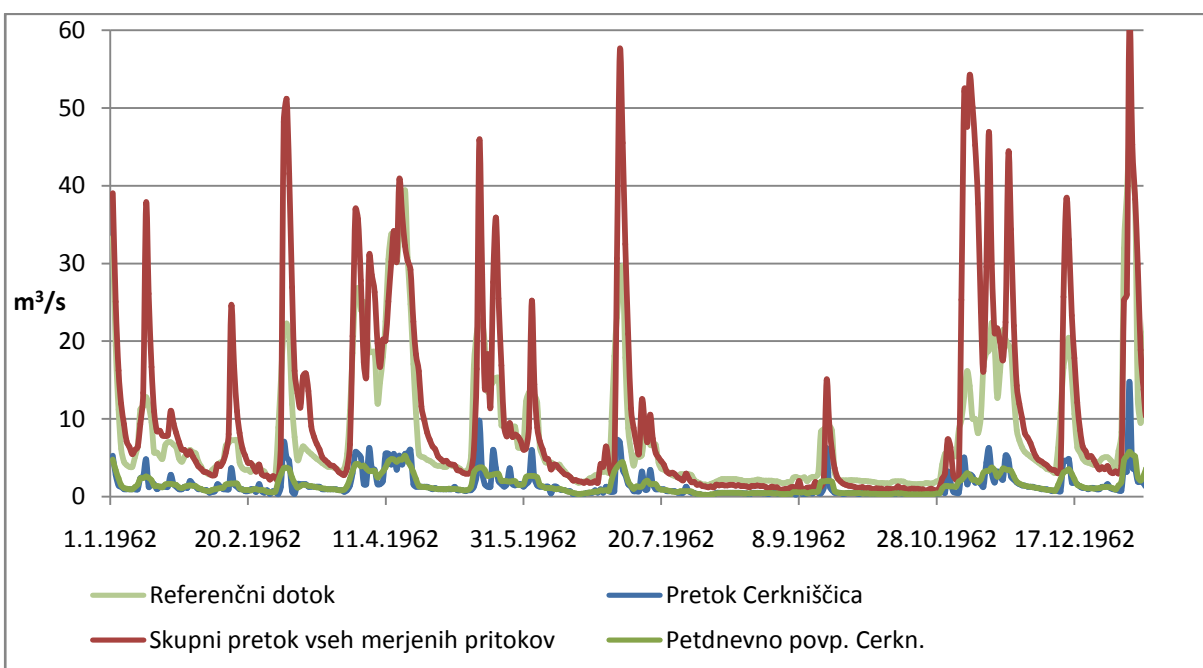
Za doseg približnega ujemanja krivulje pretoka Cerknishčice s krivuljo skupnega dotoka je bilo potrebno najprej omiliti hitro nihanje vrednosti pretoka Cerknishčice. To sem dosegel tako, da sem za vrednost pretoka vsakega posameznega dne privzel povprečno vrednost petih zaporednih dni. Ustreznost predpostavke sem preveril s Pearsonovim korelacijskim koeficientom ( $r_{xy}$ ), ki izkaže največjo korelacijo s tridnevni ( $r_{xy} = 0,698$ ) in petdnevni povprečjem ( $r_{xy} = 0,694$ ). Vendar pa pri tridnevni povprečju maksimalne vrednosti referenčnega dotoka precej odstopajo od skupnega pritoka ostalih pritokov, zato se odločim za petdnevno povprečje. Nato sem določil enačbo (7) za referenčni dotok  $Q_{Ref}$ , ki v zadovoljivi meri približa pritok Cerknishčice skupnemu merjenemu dotoku v obravnavanem obdobju, torej letih 1962 in 1963. V izogib vrednostim manjšim od 1 je petdnevni povprečju pretoka Cerknishčice dodana vrednost +1, vsota pa je nadalje kvadrirana za dosegu ustrezne amplitude vrednosti. Primerjavo krivulj referenčnega dotoka in skupnega merjenega dotoka za leto 1962 prikazuje grafikon 3. Primerjava obeh vrst podatkov z metodo linearne regresije izkaže vrednost determinacijskega koeficienta  $r^2 = 0,481$ . Metodo sem verificiral s podatki za leto 1965, kjer je statistično ujemanje še nekoliko ugodnejše ( $r_{xy} = 0,77$ ;  $r^2 = 0,601$ ).

$$Q_{Ref} = (Q_{C,5} + 1)^2 \quad (7)$$

pri čemer je:

$Q_{Ref}$  - referenčni dotok [ $m^3/s$ ]

$Q_{C,5}$  - petdnevno povprečje pretoka Cerknishčice [ $m^3/s$ ]



Grafikon 3: Referenčni dotok in skupni merjeni dotok

Iz podatkov iz let 1962, 1963 in 1965 določim tudi povprečne faktorje pretokov Martinjščice, Grahovščice, Žerovniščice, Lipsenjščice, Mali Obrh in Veliki Obrh (skupaj Obrh) glede na pretok Cerknjščice (faktor 1,00) ter jih prikažem v preglednici 5.

Preglednica 5: Faktorji pretoka pritokov glede na pretok Cerknjščice

Leto	Faktor pretoka glede na pretok Cerknjščice					
	Cerkniščica	Martinjščica	Grahovščica	Žerovniščica	Lipsenjščica	Obrh
	$f_C$	$f_M$	$f_G$	$f_Z$	$f_L$	$f_O$
1962	1,00	0,13	0,03	0,30	1,09	4,08
1963	1,00	0,06	0,03	0,23	0,96	4,06
1965	1,00	0,14	0,03	0,28	1,03	4,24
<b>Povprečje</b>	1,00	0,11	0,03	0,27	1,03	4,13

#### 4.2.5 Simulirani dotok in odtok

Dinamiko dotoka voda iz prispevnih površin v jezero predstavlja simulirani dotok. Določi se na podlagi skupnih letnih padavin v povodju in referenčnega dotoka v istem obdobju. Dnevni simulirani dotok je produkt dnevnega referenčnega dotoka in faktorja dotoka – enačba (9). Faktor dotoka je količnik med povprečno letno vrednostjo referenčnega dotoka ter srednjim letnim dotokom za posamezno leto – enačba (8). Ker se Cerknjščica izliva v požiralnike Velika in mala Karlovica ter Svinjska jama, še preden priteče v jezero in torej ne napaja samega jezera, se dnevni pretok Cerknjščice odšteje od simuliranega dotoka.

$$f_{d,l} = \frac{Q_{sr,l}}{Q_{Ref,l}} \quad (8)$$

$$Q_{Sim} = Q_{Ref} \cdot f_{d,l} - Q_C \quad (9)$$

pri čemer je:

$\overline{Q_{Ref,l}}$  - povprečna letna vrednost referenčnega dotoka [m<sup>3</sup>/s]

$f_{d,l}$  - faktor dotoka za posamezno leto simulacije [ - ]

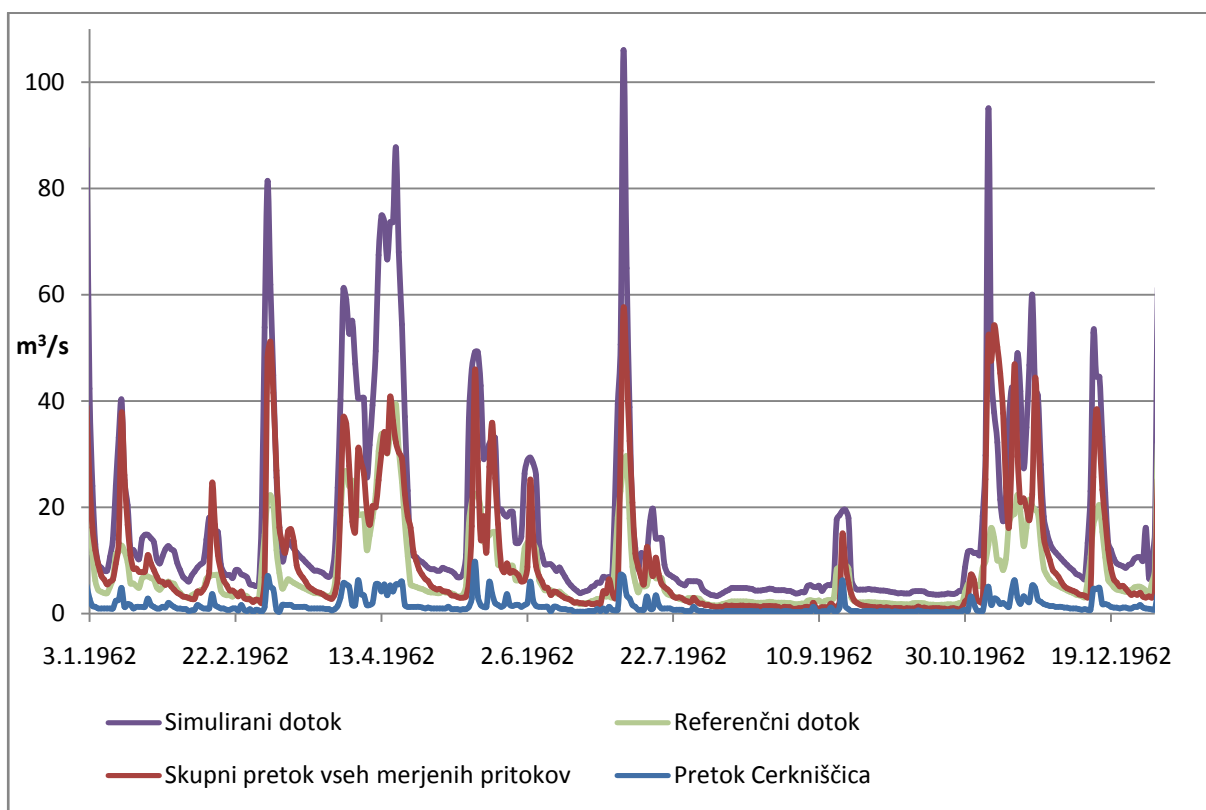
$Q_{Sim}$  – dnevni simulirani dotok [m<sup>3</sup>/s]

$Q_C$  – dnevni pretok Cerknjščice [m<sup>3</sup>/s]

Odtok iz jezera Aquatox sicer izračuna samodejno, na podlagi podanih dnevnih podatkov o volumnu in dnevnemu simuliranemu dotoku, vendar pa je bilo potrebno pri izračunu simuliranega dotoka in odtoka opraviti nekaj korekcij zaradi negativnih vrednosti odtoka. Negativne vrednosti odtoka so v primeru Cerknškega jezera sicer povsem verjetne (estavele – ponori, ki vodo bodisi požirajo ali bruhaajo), vendar pa so pri izračunu predvsem posledica napake oziroma nenatančnosti bodisi meritev vodostaja, bodisi podatka o volumnu v odvisnosti od vodostaja, bodisi izračunanega simulacijskega dotoka. Ker se pri srednjih in višjih vodostajih volumen močno spreminja (1 cm vodostaja lahko predstavlja 100 do 200 tisoč m<sup>3</sup> vode oz. 1 do 2,3 m<sup>3</sup>/s srednjega dnevnega pretoka), so ti odkloni lahko precejšnji. Zaradi tega sem simulirani dotok korigiral tako, da sem vrednosti dotoka za predhodni računski korak (1 dan) povišal za toliko, da je preračun odtoka podal vsaj minimalno

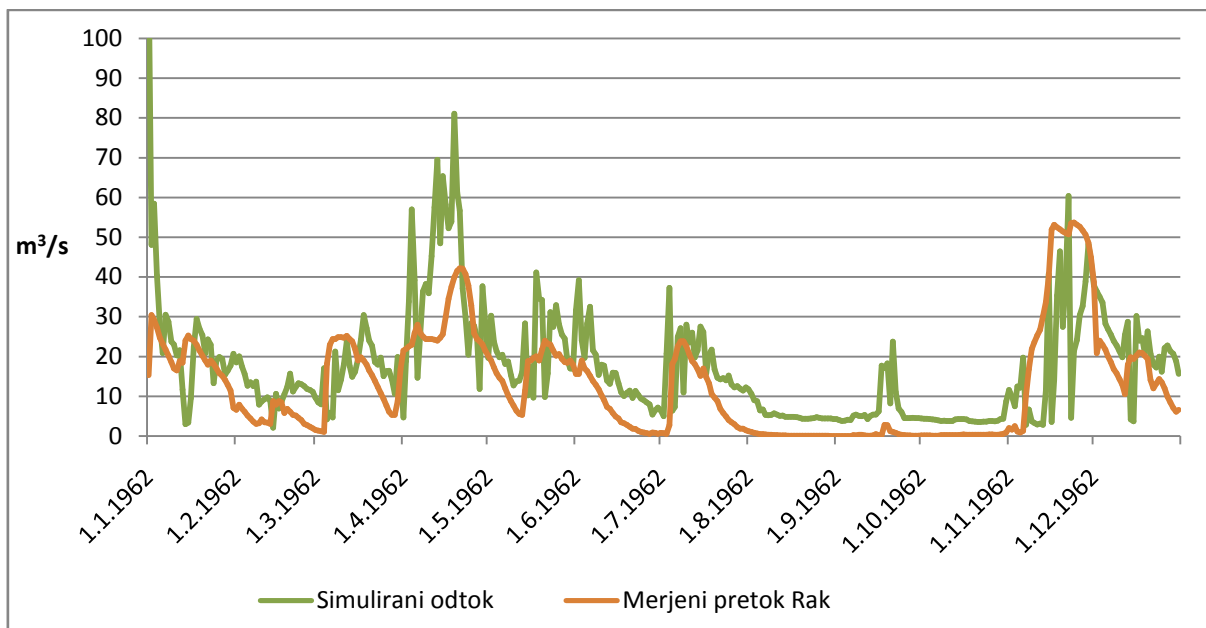
vrednost  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dejansko se izkaže, da dejanski kumulativ merjenih pritokov v obravnavanem obdobju izkazuje podobne poskoke vrednosti, po čemer gre sklepati, da je izračunani simulacijski pritok ustrezen približek realnemu stanju za namen modeliranja v Aquatoxu. To ustreza tudi opisom, da se v obdobjih močnih padavin in hitrega naraščanja jezera aktivirata tudi dva občasna izvira oz. bruhalnika vode Suhadolica in Vranja jama (Korošec, M. 2002). Vzorec preglednice v Excelu za izračun simuliranega dotoka je prikazan v prilogi I, vzorec vhodne datoteke v Excelu za uvoz v Aquatox za dotok vode v jezero pa je prikazan v prilogi J.

Grafikon 4 prikazuje končni rezultat korigiranega izračuna za simulirani dotok v primerjavi z referenčnim dotokom in skupnim pretokom vseh merjenih pritokov za leto 1962. Razliko med simuliranim dotokom in merjenim skupnim pretokom predstavljajo ostali vodni viri (manjši pritoki, dotok iz Javornikov).



Grafikon 4: Simulirani dotok v primerjavi z merjenimi podatki

Grafikon 5 prikazuje primerjavo med merjenim pretokom reke Rak in simuliranim odtokom za leto 1962. V splošnem je simulirani odtok pričakovano nekoliko večji od pretoka reke Rak, saj voda iz Cerknškega jezera napaja tudi izvire Ljubljance. Razlika ni toliko očitna, ker je iz vodne bilance jezera izvzet pretok Cerknšičice, ki preko požiralnikov Velika in Mala Karlovica ter Svinjska jama direktno napaja reko Rak. Pretok Cerknšičice sicer predstavlja okoli 10% vodne bilance celotnega prispevnega območja. Posamezna velika nihanja konic simuliranega odtoka so posledica napak opisanih v prejšnjih odstavkih.



Grafikon 5: Primerjava izračunanega odtoka in merjenega pretoka reke Rak

#### 4.2.6 Obremenitev z raztopljenimi hranili

Določitev obremenitve vodnega telesa s hranili iz vodozbirnega področja je dokaj zahtevna naloga. V dosedanjih študijah (Kovač, 2005 in Zevnik, 2000) sta bila uporabljena načina, ki količine fosforja in dušika določata glede na površino in rabo posameznih tipov tal ter glede na predvidene odtočne koeficiente odtoka iz teh površin. Ocene se tako gibljejo od 25 ton fosforja letno (Zevnik, 2000) do okoli 80 ton fosforja letno (Kovač, 2005 in Drev in sod., 2009) ter od 123 ton dušika letno (Zevnik, 2000) oz. 400 - 600 ton dušika letno (Drev in sod. 2009).

Pri modeliranju Cerknškega jezera, kjer se robni pogoji za preračunavanje količin in koncentracij nenehno spreminjajo, maksimalni ekstremi pa močno odstopajo od srednjih vrednosti, operiranje s povprečnimi skupnimi letnimi količinami hranil ni optimalno. Hranila, ki vstopajo v sistem, lahko razdelimo na dva režima, konstantni in dinamični. Konstantni režim v največji meri predstavlja antropogeno onesnaženje, torej iztoki iz čistilnih naprav, direktni iztoki iz gnojnih jam in drugo direktno antropogeno onesnaženje, ki s pritoki vstopa v vodno bilanco Cerknškega jezera konstantno, torej neodvisno od padavinskega režima. Dinamični režim pa predstavlja hranila, ki se s celotne prispevne površine pod vplivom padavin spirajo v pritoke jezera in torej obremenjujejo jezero dinamično, glede na dejanski dotok v jezero. Dinamični režim večinoma predstavlja naravno onesnaženje ter v manjšem delu antropogeno onesnaženje iz naslova izpiranja vozniških površin in dotoka hranil iz oddaljenih naselij preko pritokov oz. podzemnih vodnih povezav, kot to zaradi kraške narave prispevnega področja velja tudi za Cerknško jezero.

Pri modeliranju sem na podlagi razpoložljivih vhodnih podatkov in glede na možnosti, ki jih ponuja Aquatox, skušal čim bolj verodostojno opredeliti vnos hranil v jezero in sicer dušika v oblikah amonij in nitrat, ter skupnega fosforja. Vire hranil sem razdelil na dva dela in sicer na določeni del obremenitve ter na nedoločeni del obremenitve. Določeni vir hranil so pritoki jezera, za katere je na voljo omejena količina vhodnih podatkov koncentracij hranil na podlagi izvedenih analiz (ARSO) v obdobju 1998 - 2006. Nedoločeni vir hranil so dotoki v jezero, za katere vhodnih podatkov v smislu meritev ni na voljo, vendar nedvomno obstajajo. To je predvsem del prispevnega območja na jugozahodni strani jezera, ki ga predstavlja hribovje Javornikov in Snežnika, od koder se hranila

izpirajo v jezero bodisi površinsko, bodisi preko manjših izvirov in estavel. Del hranil pa se mimo pritokov oz. merilnih mest izpere iz neposredne bližine jezera preko kanalov, ki odvodnjavajo bližnje travnike in kmetijska zemljišča. Ravno tako z meritvami niso podprti prispevek pritoka Grahovščica in prispevki iz vasi neposredno ob jezeru, te so Dolenje jezero, Gorenje jezero in Goričice.

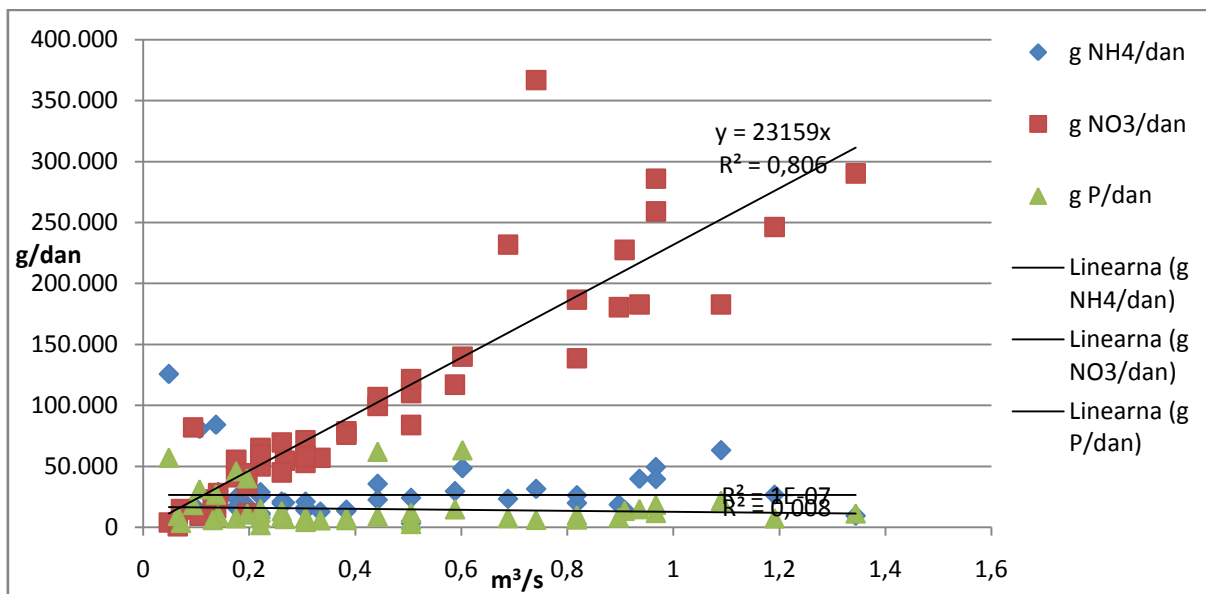
Pripomniti velja, da gre pri tem za raztopljene oblike hranil. V jezero poleg teh s pritoki doteka tudi raztopljena in suspendirana odmrta organska snov oz. detrit (glej poglavje 4.2.7), ki predstavlja dodatno obremenitev s hranili.

#### 4.2.6.1 Izračun določenega dela obremenitve

Na podlagi meritev in analiz jezerskih pritokov Cerknšičice, Martinjščice, Lipsenjščice, Žerovniščice in Obrha v obdobju 1998 – 2006 sem obremenitev s hranili izračunal tako, da sem obstoječe podatke analiziral in oblikoval po eno linearno enačbo za vsako vrsto hranila v odvisnosti od edinega konstantno merjenega hidravličnega parametra na pritokih, to je dnevni pretok Cerknšičice. Posamezne vrednosti meritev amonija, nitratov in skupnega fosforja v mg/l sem pomnožil z dnevnim pretokom vodotoka in tako dobil dnevno vrednost obremenitve s hranili v g/dan. Dnevni pretok Cerknšičice je merjen podatek, medtem ko so vrednosti pretoka ostalih pritokov določene na podlagi večletnega povprečnega razmerja med pretokom Cerknšičice in pretokom posameznega pritoka (preglednica 5). S pomočjo grafičnega prikaza obremenitve v g/dan v odvisnosti od dnevnega pretoka se lahko določi ali gre pri posamezni vrsti hranila za konstantni ali dinamični režim ter količino posamezne vrste hranila, ki s pritokom vstopa v sistem.

Za vsak pritok, na katerem so bile v obravnavanem obdobju izvajane meritve kvalitete voda, je bil izdelan ločen grafikon s podatki v količini hranil v g/dan v odvisnosti od pretoka. Iz grafikonov se lahko razbere, ali je količina hranil odvisna od pretoka (dinamični režim) ali ne (konstantni režim). Za kriterij določitve dinamičnega režima določim determinacijski koeficient  $r^2$ . Pri vrednostih  $r^2 > 0,5$  predpostavim dinamični režim, pri vrednostih  $r^2 < 0,5$  pa predpostavim konstantni režim. V primeru dinamičnega režima se količino hranil definira z linearno enačbo količine hranil v odvisnosti od pretoka. Pri tem smerni koeficient premice določa odvisnost od pretoka, morebitna začetna vrednost pa predstavlja dodaten konstantni del obremenitve. V primeru konstantnega režima se količina hranil določi z obdobjnim povprečjem. V nadaljevanju so pokazani posamezni grafikoni in izpeljane enačbe za obremenitev s hranili v g/dan v odvisnosti od pretoka v  $m^3/s$ .





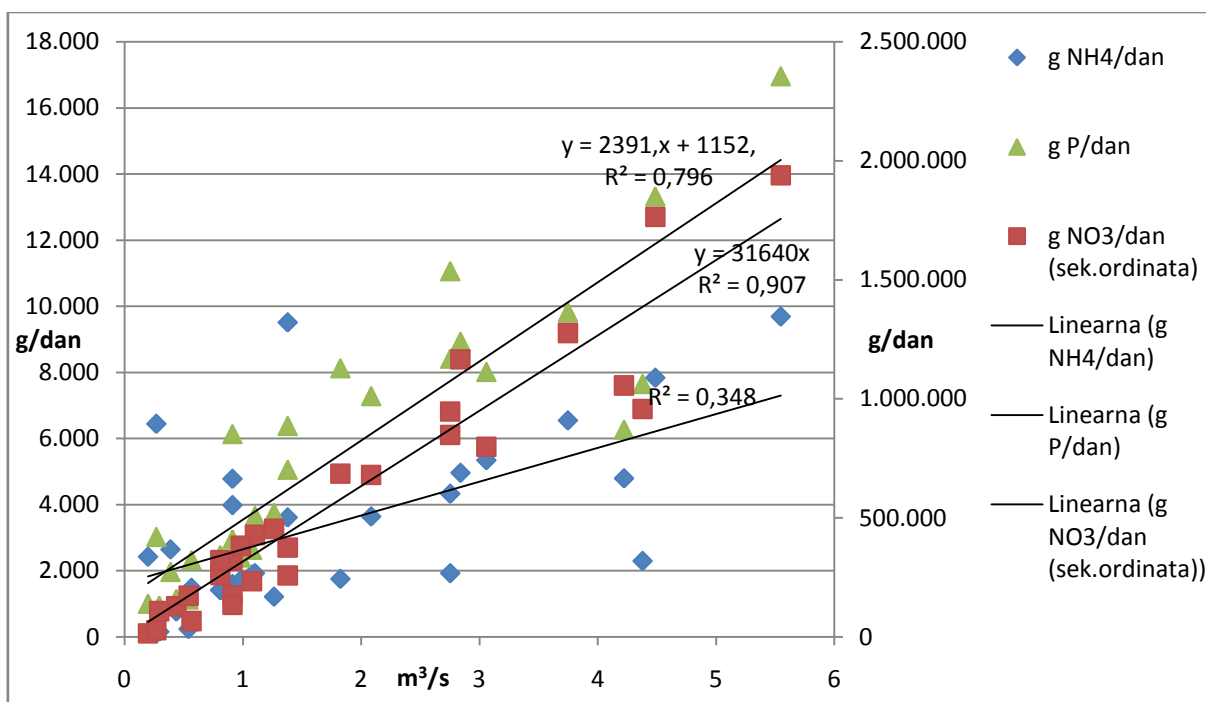
Grafikon 6: Dnevne vrednosti hranil v odvisnosti od dnevnega pretoka v Cerkljani

Določitev obremenitve s hranili za Cerkljani:

$$P_C [g/dan] = 14844 - \text{obdobno povprečje} \quad (10)$$

$$NO_{3,C} [g/dan] = 231590 \cdot Q_C [m^3/s] \quad (11)$$

$$NH_{4,C} [g/dan] = 26516 - \text{obdobno povprečje} \quad (12)$$



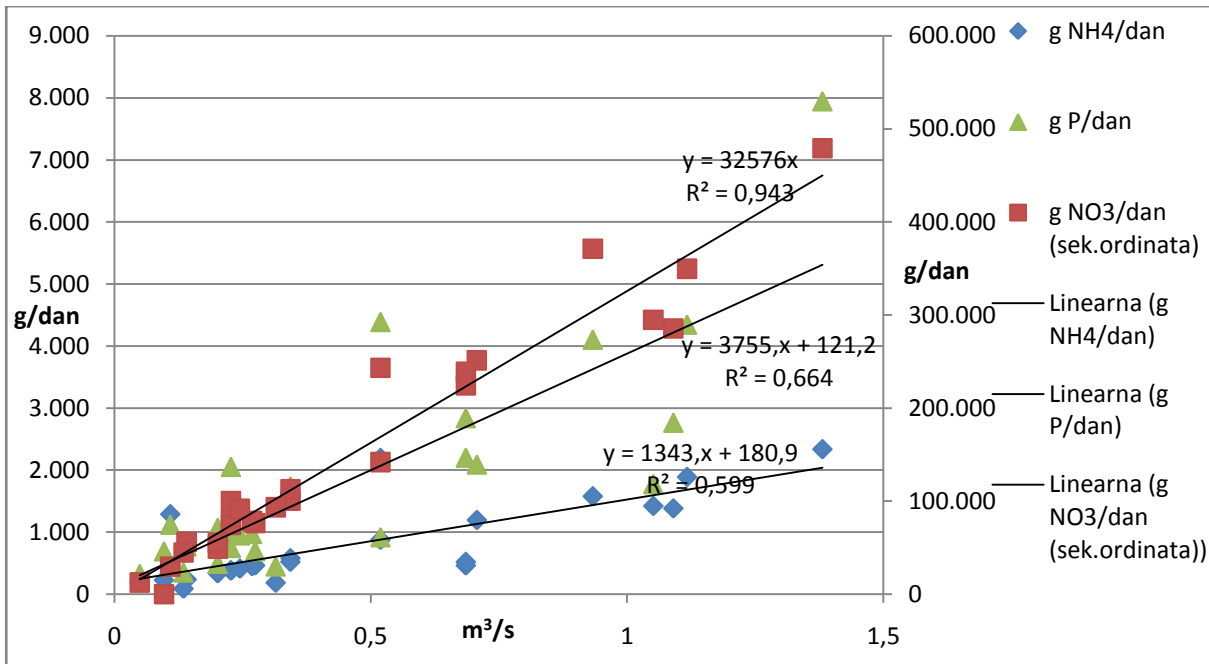
Grafikon 7: Dnevne vrednosti hranil v odvisnosti od dnevnega pretoka v Obrhu

Določitev obremenitve s hranili za Obrh:

$$P_O[g/dan] = 2391 \cdot Q_O[m^3/s] + 1152 \quad (13)$$

$$NO_{3,0}[g/dan] = 316400 \cdot Q_O[m^3/s] \quad (14)$$

$$NH_{4,0}[g/dan] = 3674 - \text{obdobno povprečje} \quad (15)$$



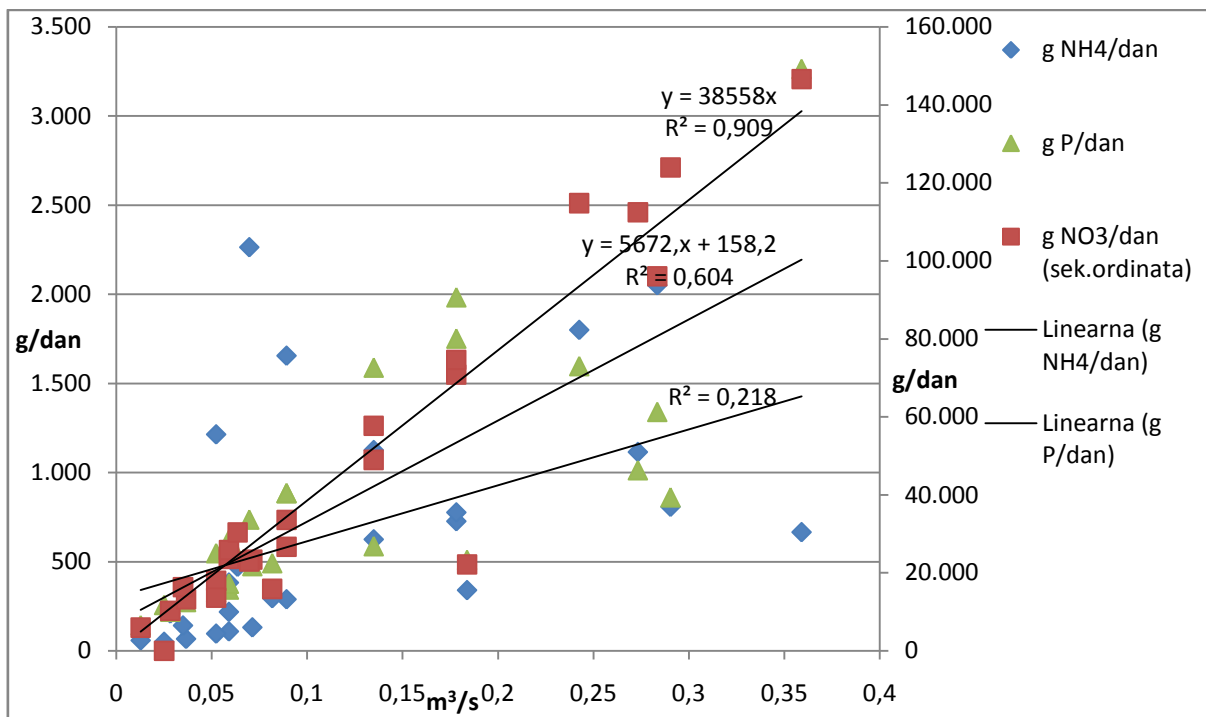
Grafičkon 8: Dnevne vrednosti hranil v odvisnosti od dnevnega pretoka v Lipsenjščici

Določitev obremenitve s hranili za Lipsenjščico:

$$P_L[g/dan] = 3755 \cdot Q_L[m^3/s] + 121,2 \quad (16)$$

$$NO_{3,L}[g/dan] = 325760 \cdot Q_L[m^3/s] \quad (17)$$

$$NH_{4,L}[g/dan] = 1343 \cdot Q_L[m^3/s] + 180,9 \quad (18)$$



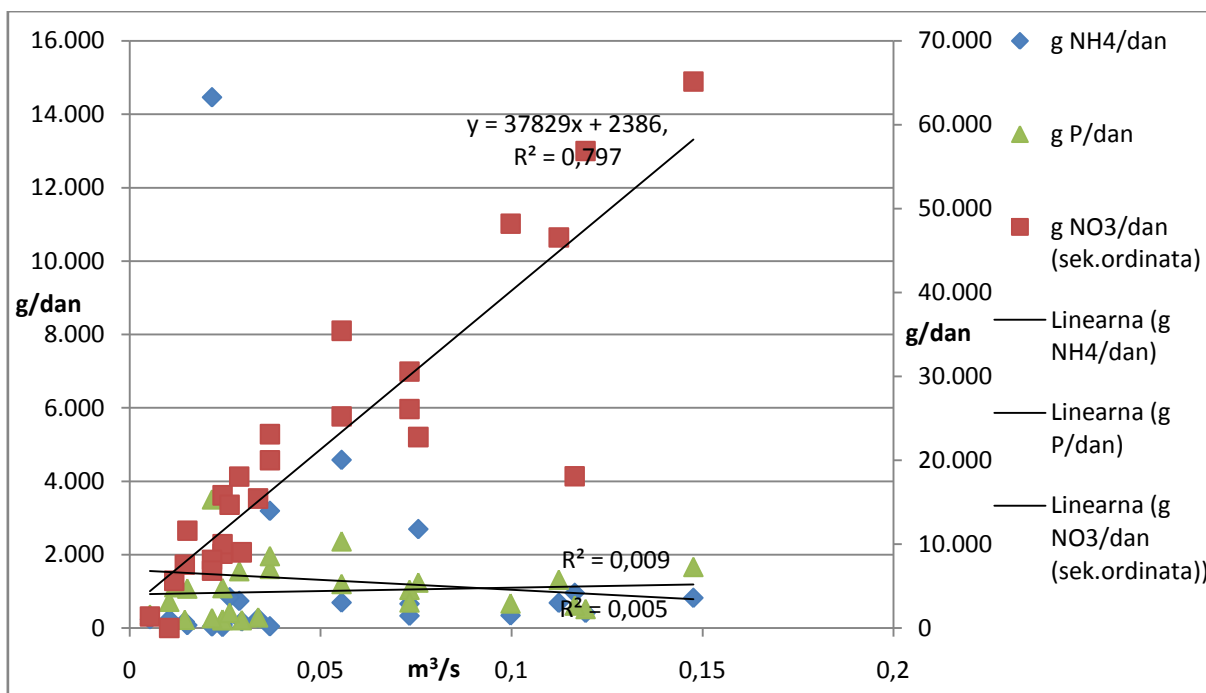
Grafikon 9: Dnevne vrednosti hranil v odvisnosti od dnevnega pretoka v Žerovniščici

Določitev obremenitve s hranili za Žerovniščico:

$$P_{\check{z}}[g/dan] = 5672 \cdot Q_{\check{z}}[m^3/s] + 158,2 \quad (19)$$

$$NO_{3,\check{z}}[g/dan] = 385580 \cdot Q_{\check{z}}[m^3/s] \quad (20)$$

$$NH_{4,\check{z}}[g/dan] = 681 - \text{obdobno povpre\c{c}je} \quad (21)$$



Grafikon 10: Dnevne vrednosti hranil v odvisnosti od dnevnega pretoka v Martinjščici

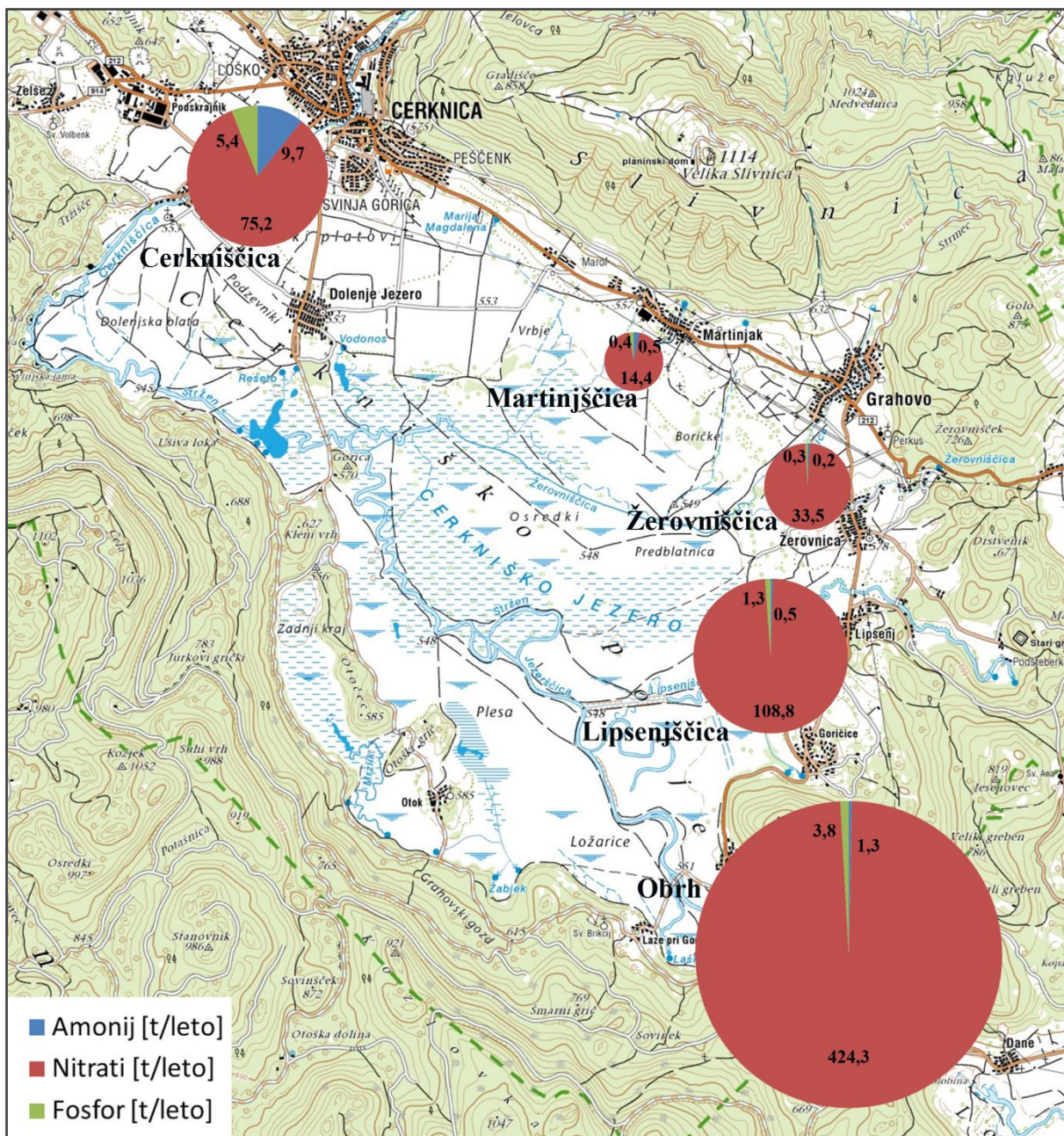
Določitev obremenitve s hranili za Martinjščico:

$$P_M[g/dan] = 1006 - \text{obdobno povprečje} \quad (22)$$

$$NO_{3,M}[g/dan] = 378290 \cdot Q_M[m^3/s] + 2386 \quad (23)$$

$$NH_{4,M}[g/dan] = 1317 - \text{obdobno povprečje} \quad (24)$$

Na podlagi definiranih enačb obremenitve s hranili po posameznih pritokih lahko izračunamo povprečne letne vrednosti določenega dela obremenitve v obdobju 1998 – 2006. Povprečna skupna letna količina hranil v pritokih Cerknjščica, Martinjščica, Žerovniščica, Lipsenjščica in Obrh znaša okoli 11,2 ton fosforja, 656 ton nitratov in 12 ton amonija. Razčlenjene vrednosti po pritokih so prikazane v preglednici 6, grafična ponazoritev pa na sliki 4. Okvirno se lahko povzame, da je velikost obremenitve s fosforjem in amonijem pretežno odvisna od stopnje urbanizacije prispevnega območja in je torej v veliki meri antropogenega izvora, medtem ko je obremenitev z nitrati pretežno odvisna od povprečnega letnega pretoka in s tem od velikosti prispevne površine. Glede na relativno majhno poseljenost prispevnega območja se lahko sklene, da je velika večina obremenitve z nitrati naravnega izvora. Poudariti velja, da se v bilanco hranil Cerknjškega jezera ne šteje obremenitev s pritokom Cerknjščica, saj se le ta še pred jezerom izteka v požiralnike Velika Karlovica, Mala Karlovica in Svinjska jama. Iz druge strani se v te iste požiralnike izteka tudi jezerska voda v obliki reke Stržen. V izjemnih primerih desetletnih poplav se zgodi, da tok Cerknjščice doseže tudi jezersko vodo, vendar sem to okoliščino pri modeliranju jezera zanemarl.



Slika 6: Grafična ponazoritev letne obremenitve s hranili po posameznih pritokih

Preglednica 6: Povprečne letne vrednosti obremenitve s hranili v obdobju 1998 – 2006 po pritokih

Vodotok	Cerknjščica	Martinjščica	Žerovniščica	Lipsenjščica	Obrh	
Faktor pretoka	$f_C$	$f_M$	$f_Z$	$f_L$	$f_O$	
	1	0,11	0,27	1,03	4,13	
Povprečni obdobjni pretok (2000-2004) [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{C,povp}$	$Q_{M,povp}$	$Q_{Z,povp}$	$Q_{L,povp}$	$Q_{O,povp}$	<b>Skupaj</b>
	0,89	0,10	0,24	0,91	3,67	
Fosfor [kg/leto]	5.418,06	367,19	289,63	1.298,07	3.772,87	<b>11.145,81</b>
Nitrati [kg/leto]	75.232,01	14.368,34	33.461,59	108.774,46	424.299,74	<b>656.136,14</b>
Amonij [kg/leto]	9.678,34	480,71	248,57	514,47	1.341,01	<b>12.263,09</b>

#### 4.2.6.2 Ocena nedoločene dela obremenitve

Pritoki Obrh, Lipsenjščica, Žerovniščica in Martinjščica seveda ne predstavljajo edine obremenitve za Cerknško jezero, vendar so le na teh bile do sedaj izvajane meritve kvalitete voda. Izmed pritokov na severovzhodnem delu jezera sta pomembna še vsaj Grahovščica, ki teče skozi vas Grahovo in pritok Marija Magdalena, v katerega se iztekajo izcedne vode iz kmetijskih površin med Martinjakom in Cerknico oz. vasjo Dolenje jezero. Iz meritev so izvzeta tudi naselja Dolenje jezero, Gorenje jezero in Goričice, vsa so locirana na robu poplavnega območja jezera in niso priključena na javna kanalizacijska omrežja oz. KČN. Del padavin iz jugozahodnega prispevnega območja Snežnika in Javornikov napaja jezero Malega Obrha in nadalje Obrha, del se izteka površinsko in podzemno v Zadnji kraj, del pa se preko preostalih manjših studencev in hudournikov izliva v jezero. Ravno tako je težko realno oceniti prispevek direktnega vnosa hranil na površino jezera s padavinami. Jorgensen (1988) na primer navaja količino fosforja v padavinah od 0,025 do 0,1 mg P/l ter količino dušika v padavinah od 0,3 do 1,6 mg N/l. Vsakršne ocene glede prispevka obremenitve s hranili iz teh virov so torej zaradi odsotnosti vhodnih podatkov oz. meritev in kraške narave območja podvržene subjektivni presoji in predstavljajo nedoločeni del obremenitve.

Za določitev celotne računske obremenitve Cerknškega jezera za potrebe simulacije generiram subjektivni faktor nedoločene obremenitve  $f_{obr}$ , s katerim pomnožim izračunano skupno obremenitev iz pritokov Obrh, Lipsenjščica, Žerovniščica in Martinjščica. Za vrednost faktorja obremenitve  $f_{obr}$  določim vrednost 1,20. S tem predpostavim, da je skupna obremenitev jezera s hranili za 20% večja od obremenitve, izračunane na podlagi meritev kvalitete voda na pritokih Obrh, Lipsenjščica, Žerovniščica in Martinjščica. V tem primeru je torej nedoločeni del obremenitve enak 20% določenega dela obremenitve.

#### 4.2.6.3 Skupna računska obremenitev z raztopljenimi hranili

Dinamični izračun dnevne obremenitve s hranili v odvisnosti od dnevnega pretoka Cerknškega jezera z upoštevanjem enačb (10) do (24), faktorjev pretoka iz preglednice 5 in faktorja obremenitve izpeljem:

$$P_{Skupni} [g/dan] = f_{obr} \cdot (P_O + P_L + P_M + P_{\check{z}}) = 1,2 \cdot (15273,92 \cdot Q_C [m^3/s] + 2438,4) \quad (25)$$

$$NO_{3,Skupni} [g/dan] = f_{obr} \cdot (NO_{3,O} + NO_{3,L} + NO_{3,M} + NO_{3,\check{z}}) = 1,2 \cdot (1787983,3 \cdot Q_C [m^3/s] + 2386) \quad (26)$$

$$NH_{4,Skupni} [g/dan] = f_{obr} \cdot (NH_{4,O} + NH_{4,L} + NH_{4,M} + NH_{4,\check{z}}) = 1,2 \cdot (1383,29 \cdot Q_C [m^3/s] + 5852,9) \quad (27)$$

pri čemer je:

$Q_C$  – dnevni pretok Cerknškega jezera [ $m^3/s$ ]

Povprečno letno obremenitev Cerknškega jezera z raztopljenimi hranili v simulacijskem obdobju 2000 – 2004, izračunano na podlagi enačb (25), (26) in (27) prikazuje preglednica 7.

Preglednica 7: Povprečna letna obremenitev Cerknškega jezera z raztopljenimi hranili

<b>Fosfor [kg/leto]</b>	7.015
<b>Nitrati [kg/leto]</b>	697.104
<b>Amonij [kg/leto]</b>	3.105

Za vhodni podatek obremenitve s hranili v program Aquatox vnesem dinamično serijo dnevni vrednosti obremenitve na podlagi enačb (10) do (24) za določeni del obremenitve. Vzorci vhodnih datotek obremenitve s hranili v Excelu za uvoz v Aquatox so prikazani v prilogi J. Faktor nedoločene obremenitve za vsak tip hranil vnesem ločeno v polje "Multiply loading by", kar v fazi interpretacije rezultatov omogoča lažjo izvedbo občutljivostne analize in analize negotovosti.

#### 4.2.7 Detrit

V programu Aquatox se za detrit smatra vsa odmrta organska snov in z njo povezani organizmi razgradnje, bakterije in glive (Aquatox sicer ne modelira bakterij). Vsebuje tako partikularno kot raztopljeno organsko snov vključno z mikrofloro. Aquatox ga deli na refraktorni (težko razgradljiv) in labilni (lahko razgradljiv in takoj na voljo avtotrofom in heterotrofom) del, ter nadalje na raztopljeni, suspendirani, sedimentirani ter zakopani - nedostopni. Refraktorni detrit se pretvarja v labilni del skozi mikrobiološko kolonizacijo, pri čemer bakterije in glive niso eksplicitno modelirane. V splošnem je v rekah in jezerih raztopljenega detrita v vodnem stolpcu okoli desetkrat več kot suspendiranega, refraktorni del pa je navadno večji od labilnega, posamezna razmerja pa se v Aquatoxu modelirajo dinamično. Detrit je pomemben faktor pri določitvi bilance hranil, saj pomembno prispeva k obremenitvi jezera s hranili (fosfor, dušik, ogljik), ki z detritom v pritokih prihajajo v sistem.

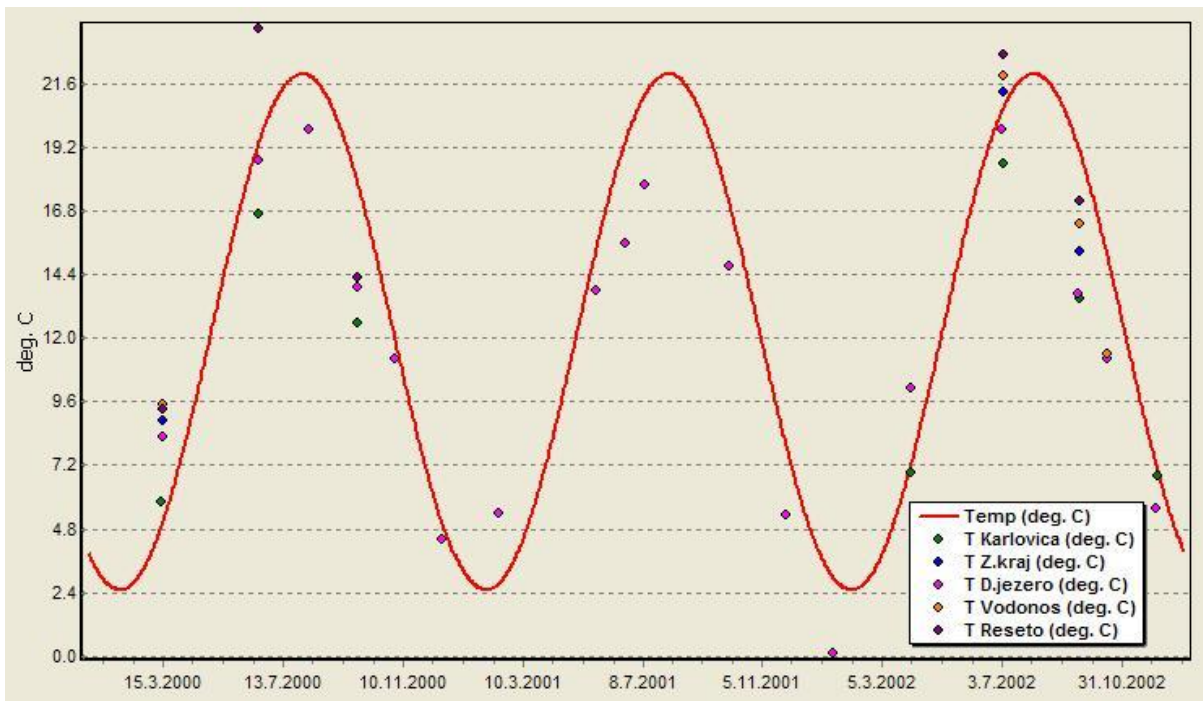
Količino detrita v vodnem telesu se določi z začetno vrednostjo in konstantno ali dinamično obremenitvijo v mg/l dotoka. Za potrebe simulacije so bili v program vneseni vhodni podatki podani s koncentracijo skupnega organskega ogljika (TOC), model pa samodejno izvede potrebne konverzije na posamezne komponente. Iz analiz kvalitete voda na merilnih mestih Zadnji kraj, Dolenje jezero, Vodonos, Rešeto v obdobju 1982-2013, pridobljenih s strani ARSA ni razviden določen vzorec vrednosti TOC, ki bi bil v odvisnosti od volumna ali letnega časa. Vrednosti znašajo od 0,9 do 19,2 mg/l, povprečje pa 3,62 mg/l. Za začetno vrednost TOC v jezeru podam povprečje 3,62 mg/l. Na podlagi analiz določim tudi koncentracijo TOC, ki v sistem prihaja z vodotoki. Analize kvalitete voda na pritokih Obrh, Lipsenjščica, Martinjščica in Žerovniščica izkazujejo vrednosti TOC od 0,8 do 5,2 mg/l s povprečjem 1,95 mg/l. Kot vhodni podatek obremenitve uporabim vrednost 1,95 mg/l TOC v dotoku v jezero.

Razmerja med refraktornim in labilnim ter suspendiranim in raztopljenim detritom določim na podlagi koeficientov podanih v tehnični dokumentaciji (Park in sod. 2014; str. 144) in sicer vrednosti za jezera med oligotrofnim in evtrofnim stanjem (priloga D). Določim delež refraktornega detrita 87% in delež suspendiranega detrita 14%. Zaradi nerazpoložljivosti vhodnih podatkov količine detrita v sedimentu ne opredelim, program ga tekom simulacije dinamično izračunava.

#### 4.2.8 Temperatura vode

Temperatura vode je še ena pomembna količina pri modeliranju vodnih ekosistemov. Večina naravnih procesov je v večji ali manjši meri odvisna od temperature. Med njimi so stratifikacija, biološki in kemični procesi, razgradnja, fotosinteza, stopnja prehranjevanja, razmnoževanje in smrtnost, mikrobiološka degradacija, hidroliza, bioakumulacija in druge. Delovanje in vpliv živih organizmov je odvisen od temperature, posledično pa opažamo sezonska nihanja. Aquatox temperaturo vodnega okolja simulira s sinusoidno funkcijo, odvisno od srednje letne temperature in letnega temperaturnega razpona. Na podlagi analiz jezerske vode (ARSO) določim naslednje vrednosti za simulacijo: razpon temperature 19,5°C (od 2,5°C do 22,5°C) ter povprečno vrednost temperature 12,25°C. Grafikon 11

prikazuje simulirano sinusoidno krivuljo v primerjavi z merjenimi vrednostmi na merilnih mestih Karlovica, Zadnji kraj, Dolenje jezero, Vodonos in Rešeto.



Grafikon 11: Simulirano letno nihanje temperature vode in primerjava z merjenimi podatki

#### 4.2.9 Veter

Na nekatere procese v jezeru vpliva tudi veter. Med njimi so reaeracija in izmenjava atmosferskih plinov, stabilnost cvetenja alg v zgornjih plasteh jezera, v določenih primerih tudi globina stratifikacije. Za območje Cerknškega jezera sta edini referenčni merilni postaji za veter (ARSO) v Postojni in Novi vasi. Pri merilni postaji Nova vas je opazna večja anomalija in sicer v obdobju 1963-1999 znaša povprečna vrednost 2,3 m/s, v obdobju 2000-2013 pa 0,5 m/s, kar je zelo verjetno podcenjeno. Zato sem se pri podatkih oprl na meritve iz Postojne, vrednosti pa zaradi predpostavke, da je Cerknško polje vendarle manj vetrovno, zmanjšal vrednosti za 0,3 m/s, tako da letno povprečje znaša 2,08 m/s. Kot vir podatkov sem uporabil povprečne mesečne vrednosti hitrosti vetra v Postojni v obdobju 2000-2004. Določil sem povprečne mesečne vrednosti na podlagi petletnega povprečja ter v simulaciji za vsak mesec simulacije upošteval povprečno mesečno vrednost. Preglednica 8 prikazuje povprečne mesečne vrednosti vetra v omenjenem petletnem obdobju, ki so bile uporabljene kot vhodni podatek za Aquatox, in sicer enake mesečne vrednosti za vsako leto simulacije od leta 2000 do 2004. Opaziti je, da so poletni meseci manj vetrovni od zimskih.

Preglednica 8: Povprečne mesečne vrednosti vetra

Mesec	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec
Hitrost vetra [m/s]	2,62	2,34	2,4	2,02	1,56	1,64	1,56	1,46	1,74	2,16	2,6	2,86

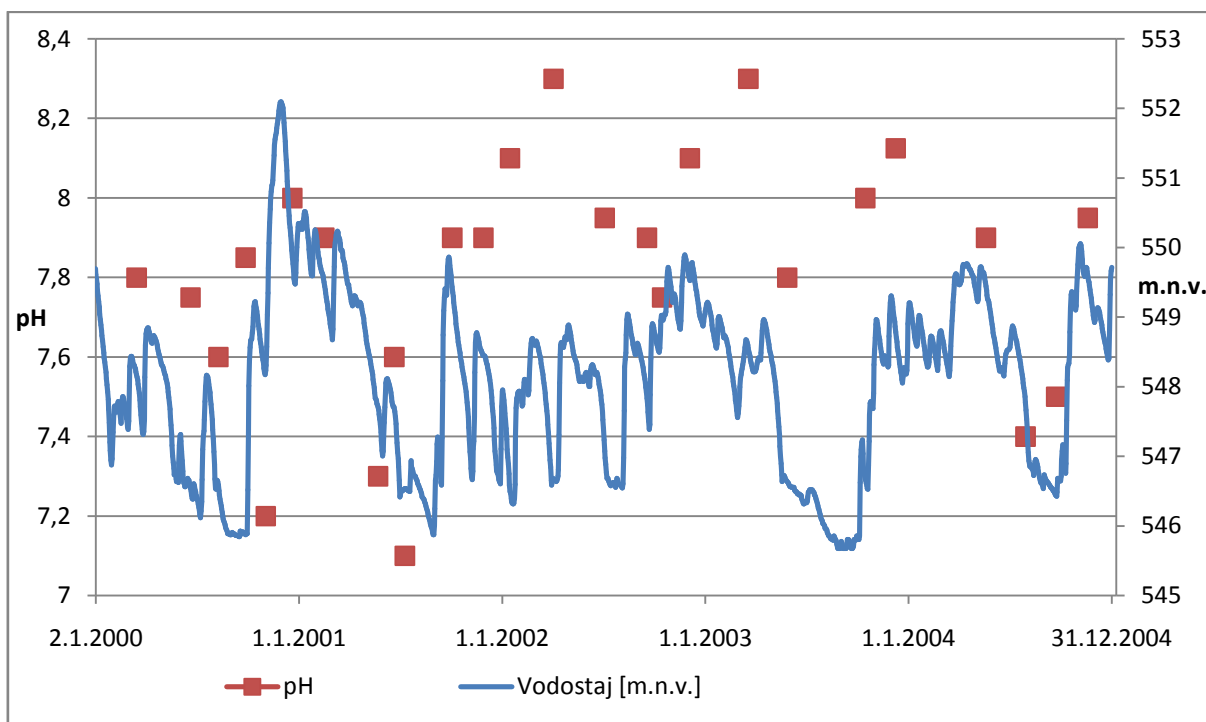
Vzorec vhodne datoteke obremenitve z vetrom v Excelu za uvoz v Aquatox je prikazan v prilogi J.



#### 4.2.10 pH

V Aquatoxu največji vpliv na simulacijo vrednosti pH izkazuje pri procesih razgradnje organske snovi, precipitacije kalcita, nekaterih mikrobioloških procesih ter postopkih denitrifikacije. Glede na tehnično dokumentacijo programa (Parki in sod. 2014), Aquatox uspešno simulira vodna okolja s pH vrednostmi med 3,75 in 8,25.

Na podlagi analiz voda (ARSO) v Cerknškem jezeru v obdobju od leta 2000 do 2004 je minimalen pH znašal 7,1, maksimalen pa 8,3 s povprečjem 7,80. Merjene vrednosti ne izkazujejo očitnih sezonskih nihanj, opaziti je le, da se najnižje vrednosti navadno pojavijo ob nizkih vodostajih. Zaradi majhne korelacije vrednosti pH z ostalimi merjenimi parametri, se odločim, da za simulacijo uporabim konstantno vrednost pH in sicer povprečje meritev pH = 7,80. V naknadnem postopku kalibracije modela sem povprečno vrednost nadomestil tudi z merjenimi vrednostmi, vendar rezultat simulacije ni izkazal verodostojne razlike. Tudi zaradi lažje interpretacije rezultatov modela je bila torej uporabljena povprečna vrednost meritev za celotno obdobje simulacije. Grafikon 12 prikazuje merjene vrednosti pH v primerjavi z vodostajem jezera.



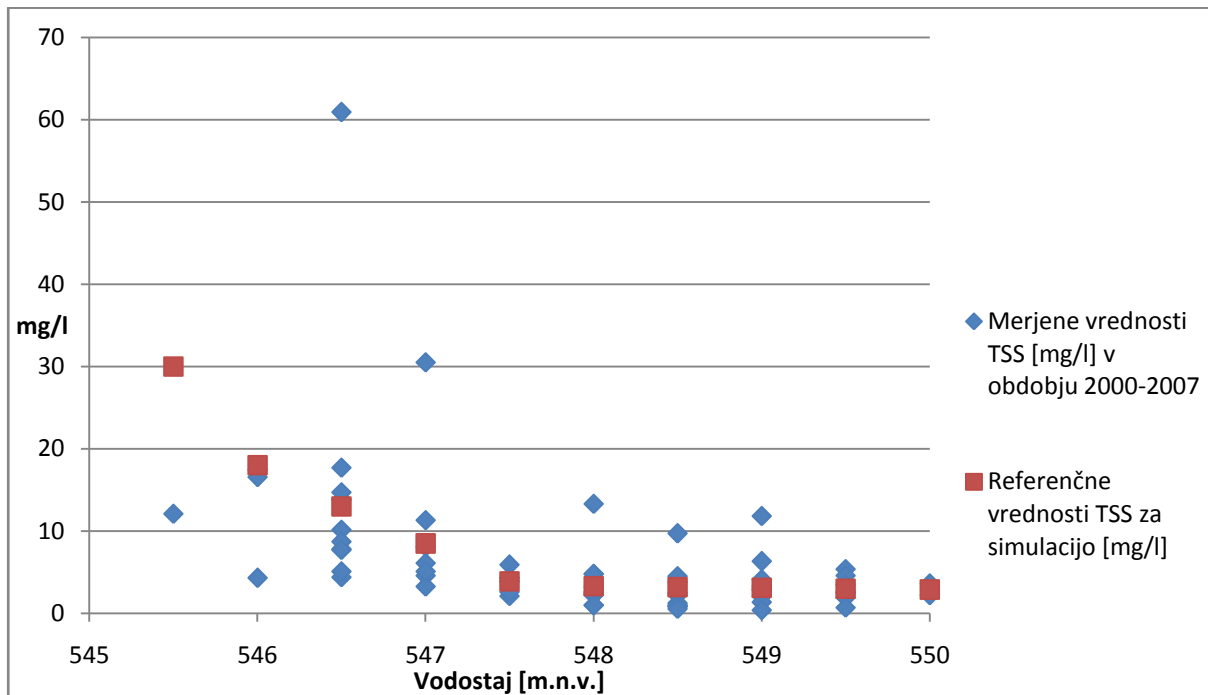
Grafikon 12: Merjene vrednosti pH v jezeru v primerjavi z vodostajem jezera

#### 4.2.11 Skupne suspendirane snovi – TSS

Anorganske suspendirane snovi imajo lahko pomemben vpliv na svetlobne pogoje v vodnem telesu in posredno najbolj vplivajo na svetlobno odvisne procese, predvsem na fotosintezo in z njo povezane biotske procese. Aquatox ponuja štiri opcije za modeliranje anorganskih suspendiranih snovi in sedimentacije. Model pesek-melj-glina je primeren za rečne sisteme. V globokih jezerskih sistemih se najbolje obneseta večplastni sedimentni model in model sedimentne diagenoze, vendar pa oba zahtevata precejšnjo količino kakovostnih vhodnih podatkov. Četrta in tudi najbolj enostaven način je modeliranje anorganske suspendirane snovi in sedimenta z modelom skupnih suspendiranih snovi – TSS, ta model je predvsem primeren za akumulacije in plitva jezera (Park in sod. 2014). V tem primeru zadošča vhodni podatek o količini skupnih suspendiranih snovi v mg/l, Aquatox pa izračuna

delež anorganskih suspendiranih snovi tako, da od skupne vrednosti odšteje predviden delež suspendiranega fitoplanktona in detrita. Za model Cerknškega jezera se uporabi model TSS.

Na podlagi analiz vode v Cerknškem jezeru v obdobju od leta 1994 do 2007 koncentracija suspendiranih snovi niha med 0,4 in 30,5 mg/l, z izjemo podatka z dne 15.1.2002, ki ima vrednost 60,9 mg/l. Povprečje znaša 6,34 mg/l. Iz primerjave vrednosti TSS in nihanja volumna jezera je razvidno, da se višje vrednosti TSS pojavljajo ob najnižjih vodostajih, ob višjih vodostajih pa so TSS vrednosti nižje, kar je logično, saj jezero ob polnjenju napolni velika količina vode, zadrževalni čas se podaljša, hitrosti vode so v večjem delu jezera majhne in omogočajo sedimentacijo. Ob nižjih vodostajih so suspendirani delci podvrženi hitrejšim tokovom, usedanje je počasnejše, manjši volumen jezera pa tudi rezultira v višjih koncentracijah TSS. Z izjemo izredno nizkih vodostajev vrednost TSS niha med 0,4 in 15 mg/l. Vzročno povezavo med volumnom jezera lahko prikažemo v grafikonu rezultatov analiz TSS glede na vodostaj na dan posameznih analiz (grafikon 13). Modre točke ponazarjajo merjene vrednosti analiz za vodostaje z natančnostjo 0,50 m. Za potrebe simulacije sem določil referenčne vrednosti TSS (rdeče točke na grafikonu) za posamezen vodostaj v natančnosti 0,50 m (preglednica 9), vmesne vrednosti pa linearno interpoliral z natančnostjo 0,01 m.



Grafikon 13: Skupne suspendirane snovi v odvisnosti od vodostaja jezera

Preglednica 9: Referenčne vrednosti skupnih suspendiranih snovi za simulacijo

Vodostaj [m.n.v.]	545,5	546	546,5	547	547,5	548	548,5	549	549,5	550 in več
TSS [mg/l]	30	18	13	8,5	3,9	3,3	3,2	3,1	3	2,9

Vzorec vhodne datoteke obremenitve s TSS v Excelu za uvoz v Aquatox je prikazan v prilogi J.

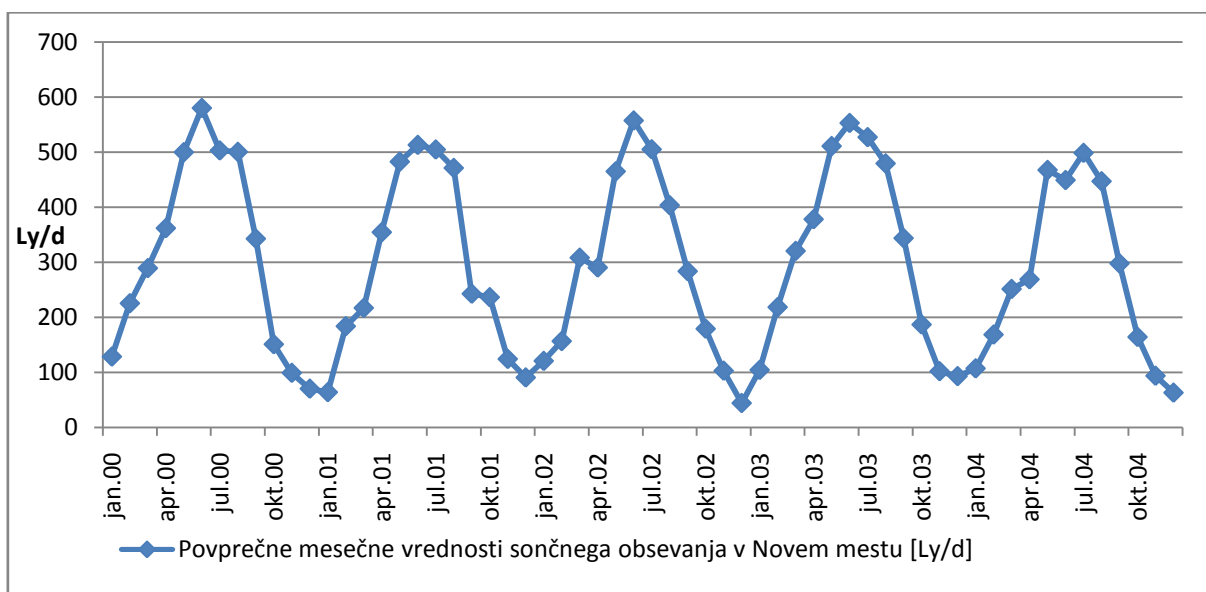
#### 4.2.12 Svetloba

Svetloba je pri modeliranju pomembna kot omejitveni dejavnik fotosinteze in skupaj z modelirnimi parametri, ki opisujejo obnašanje avtotrofov, določa stopnjo in količino primarne produkcije. Za določitev razpoložljive svetlobne energije so pomembne tudi koncentracije skupnih suspendiranih

snovi in planktonskih organizmov, ki vplivajo na prosojnost in globino fotične cone. Aquatox svetlobne pogoje računa bodisi na podlagi povprečnega sončnega obsevanja in amplitude sezonskega nihanja, bodisi na podlagi konkretne s strani uporabnika podane časovno odvisne serije podatkov. Podatki se podajo v Langley-ih na dan (Ly/d) pri čemer velja:  $1 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{d} = 86 \text{ Ly/d}$

Glede na to, da se pri modeliranju Cerkniškega jezera obravnava obdobje več let in da je pri suhih letih pričakovati večji prispevek sončne energije kot v deževnih letih, se odločim, da vhodne podatke o svetlobi podam v seriji mesečnih povprečnih vrednosti sončnega obsevanja v obravnavanem obdobju.

Ker podatki o količini sončnega sevanja na Cerkniškem ne obstajajo, sem analiziral podatke iz treh merilnih postaj, ki so geografsko najbližje Cerknici, to so Portorož, Ljubljana in Novo mesto. Podatki so bili pridobljeni iz letnih meteoroloških letopisov v obravnavanem obdobju (ARSO, 2000-2004). Povprečne letne vrednosti sončnega obsevanja so v obravnavanem obdobju znašale za Ljubljano 288 Ly/d, za Novo mesto 295 Ly/d in za Portorož 329 Ly/d. Za Cerkniško regijo je značilno celinsko podnebje, podobno kot za Ljubljano in Novo mesto, medtem ko Portorož spada v submediteranski podnebni tip. Glede na to, da ima Cerknica v splošnem manj meglenih dni kot Ljubljana, se odločim, da za vhodne podatke uporabim podatke z merilne postaje Novo mesto. Grafikon 14 prikazuje v modelu uporabljena mesečna povprečja dnevni vrednosti sončnega sevanja, konkretne vrednosti pa so podane v prilogi E.



Grafikon 14: Mesečno povprečje dnevni vrednosti sončnega obsevanja

#### 4.2.13 Izbira biotskih spremenljivk

Med modelirane biotske spremenljivke štejemo vse vrste živih organizmov, ki nastopajo v simulaciji. Izbira biotskih spremenljivk je v prvi vrsti odvisna od dejanske vrstne združbe rastlinskih in živalskih organizmov, ki naseljujejo vodno telo. Nadalje je izbiro potrebno prilagoditi glede na nabor organizmov, med katerimi se lahko izbira v Aquatoxovi knjižnici. Zadnji kriterij izbire je sam namen, zaradi katerega se vodno telo modelira. Če je cilj modela na primer analiza trofičnih razmerij ali spremljanje točno določene vrste populacije v modelu, je zaželeno, da vrstna zastopanost v modelu čim bolj odraža vrstno zastopanost v naravi. Vendar pa se veliko število biotskih spremenljivk odraža v daljšem času računanja in bistveno večjem številu računskih parametrov. Obnašanje vsake biotske spremenljivke je v modelu namreč simulirano na podlagi dvajsetih do štiridesetih parametrov (stopnja

fotosinteze, temperaturna občutljivost, optimalno razmerje hranil za rast in podobno). Ti parametri so bili v procesu nastajanja programa določeni oz. kalibrirani na posameznih testnih modelih in so lahko tudi geografsko specifični, določitev oz. spreminjanje vsakega parameter pa prinaša določeno stopnjo negotovosti v model. Zato Aquatox v tehnični dokumentaciji priporoča izbiro čim manj biotskih spremenljivk, ki še lahko v zadostni meri reprezentirajo obravnavano vodno telo glede na namen oziroma cilj modeliranja.

V primeru Cerknškega jezera je na voljo le skopa količina podatkov, zato sem se pri modeliranju osredotočil predvsem na bilanco hranil. Izbor biotskih spremenljivk sem prilagodil tako, da so zastopani vsi trofični nivoji in sicer z vrstami, sorodnimi tistim v Cerknškem jezeru. V naknadni kalibraciji modela so bile nato nekatere spremenljivke, ki v modeliranem sistemu niso izkazovale obstoja oziroma vplivale na rezultat simulacije v smislu bilance hranil, odstranjene.

Podatke o zastopanosti posameznih vrst sem črpal iz monitoringov kakovosti jezer v letih 2000 do 2004, ki jih izvaja ARSO. Planktonske avtotrofne organizme v modelu predstavljajo kremenaste alge oz. diatomeje (Aquatox spremenljivka *Peri High-Nut Diatom*), alge pa predstavlja rod nitastih zelenih alg *Cladophora*. Izbor večjih pritrjenih rastlinskih organizmov je v Aquatoxu močno omejen, izbira se lahko le med šestimi vrstami, od katerih dve predstavljata invazivni vrsti, nobena izmed šestih vrst pa se ne pojavlja v Cerknškem jezeru. Zato za reprezentacijo makrofitov v jezeru izberem vrsto vodnega mahu *Fontinalis*, ter skušam v postopku kalibracije (poglavje 4.3) določiti in kalibrirati pomembnejše dejavnike za potrebe simulacije. Heterotrofne planktonske organizme predstavljajo vodne bolhe (*Daphnia*), ceponožni raki (*Copepod*) in plenilski zooplankton (*Predatory Zooplankton*). Višji trofični nivo predstavljajo ličinke insektov (*Chironomid*), ter nadalje ribe. Izmed ribjih vrst izberem spremenljivko *Shiner*, ki reprezentira več vrst t.i. ribjega drobiža (v Cerknškem jezeru je najštevilčnejša, sicer alohtona, rdečeperka), plenilskega ostriža (*Yellow Perch*), ki predstavlja najvišji trofični nivo v simulaciji (ostriž je v Cerknškem jezeru prisoten kot alohtona vrsta) ter krapa (*Carp*), ki predstavlja večje rastlinojede vrste (krap, linj).

#### 4.2.14 Matrika trofičnih interakcij

Pri tako kompleksnem obravnavanju vodnega ekosistema, kot ga omogoča Aquatox, je za uspešno simulacijo zelo pomembno tudi čim bolj realno opredeliti trofična razmerja med modeliranimi organizmi oziroma tako imenovano prehransko verigo. Heterotrofni organizmi v Aquatoxovi knjižnici imajo že prednastavljene prehranjevalne preference, Aquatox pa trofična razmerja določi samodejno glede na izbrane organizme. Uporabnik lahko prehranjevalne preference modificira za vsak heterotrofen organizem posebej, bolj pregledna in uporabna pa je matrika trofičnih interakcij, do katere se dostopa preko glavnega okna programa, s klikom na gumb "food web". V zgornji vodoravni vrstici so nanizani vsi plenilni organizmi, v levi vertikalni vrsti pa vsi organizmi, ki predstavljajo plen. Matrika prikazuje prehranjevalne preference posameznega plenilnega organizma v obliki deležev posamezne vrste plena v njegovi prehrani. Uporabnik lahko v matriki poljubno spreminja prehranjevalne preference, pri tem je v pomoč tudi gumb "Renormalize", s katerim Aquatox samodejno prilagodi vrednosti, da seštevek deležev znaša 100 odstotkov, kar predstavlja računski robni pogoj za delovanje modela.

Pri modeliranju Cerknškega jezera prednastavljeni parametri trofične matrike niso bili modificirani in sicer zaradi odsotnosti podatkov, s katerimi bi lahko konkretno utemeljil posamezne spremembe.

Preglednica 10 prikazuje matriko trofičnih interakcij z uporabljenimi vrednostmi, kot jih predlaga program.

Preglednica 10: Matrika trofičnih interakcij

		Plenilni organizmi [% deleža plena v celotni prehrani]						
		Chironomid	Daphnia	Copepod	Predatory Zooplank.	Shiner	Carp	Yellow Perch
<b>Plen</b>	<b>R detr sed</b>	2,5						
	<b>L detr sed</b>	95,0					22,2	
	<b>R detr part</b>							
	<b>L detr part</b>		100,0	100,0		12,0	22,2	
	<b>Peri High-Nut Diatom</b>							
	<b>Cladophora</b>							
	<b>Fontinalis</b>						27,2	
	<b>Chironomid</b>					15,7	11,1	3,9
	<b>Daphnia</b>				100,0	36,1	6,1	
	<b>Copepod</b>					36,1	11,1	
	<b>Predatory Zooplank.</b>	2,5						48,3
	<b>Shiner</b>							47,8
	<b>Carp</b>							
	<b>Yellow Perch</b>							

#### 4.2.15 Splošni vhodni podatki o vodnem telesu

Slika 7 prikazuje nekatere zahtevane splošne vhodne podatke o obravnavanem vodnem telesu. Z modro piko so označeni podatki, vneseni za Cerknjško jezero. Ostali podatki so prednastavljeni s strani programa.

**AQUATOX- Edit Site**

Load from Library Save to Library OK Print *Cerknisko jezero*

Site Name **Cerknisko jezero** Help

**Site Data:** *References:*

Max Length (or reach) 5.5 km Convert

Vol. (only used if copied into water volume state var.) 8.1000E+07 m<sup>3</sup> Convert

Surface Area 2.6000E+07 m<sup>2</sup> Convert

Estuary Site Width (Estuary Only) 0 m Convert estuaries only

use bathymetry equations (requires maximum depth and mean depth)  
(must use bathymetry for system to stratify dynamically)

Mean Depth 2 m Convert

Maximum Depth 12 m Convert  
(of both segments, if stratified)

Ave. Epilimnetic Temp. 12.25 °C Convert

Epilimnetic Temp. Range 19.5 °C Convert

If system stratifies enter hypolimnion temperature and range here, otherwise enter the same temperature and range as for epilimnion to ensure stratification is not triggered

Ave. Hypolimnetic Temp. 12.25 °C Convert

Hypolimnetic Temp. Range 19.5 °C Convert

Latitude (Neg. in So. Hemisphere) 45.75 deg.

Altitude (Affects Oxygen Saturation) 548 m

Average Light 294.87 Ly/d Convert

Annual Light Range 477.79 Ly/d Convert

Total Alkalinity 24 mg/L ave. for E. U.S. lakes, EPA '86

Hardness as CaCO<sub>3</sub> 0 mg CaCO<sub>3</sub> /L

Sulfate Ion Conc. 10 mg/L ave. for sedimentary terranes, Hutchinson '57

Total Dissolved Solids 140 mg/L ave. for N. American rivers, Wetzel '75

Enclosure Wall Area (exprmtl. enclosure only) 0 m<sup>2</sup> Convert NA

Mean Evaporation 27 in. / year 700mm = 27,6 in.

Extinct. Coeff Water 0.2 1 / m

Extinct. Coeff Sediment 0.17 1 / (m g/m<sup>3</sup>) mid value from Straskraba & Gnauck, 1985

Extinct. Coeff DOM 0.03 1 / (m g/m<sup>3</sup>) calc. from Effler et al., 1985

Extinct. Coeff POM 0.12 1 / (m g/m<sup>3</sup>) Verduin, 1982

Baseline Percent Embeddedness 0 percent Default, Used for O2Sat

Minimum Volume Frac. 0.01 frac. of init. cond default

Automatically select equation to set reaeration rate (or)

Enter kReaar 0 1 / d NA

Slika 7: Splošni vhodni podatki o vodnem telesu

#### 4.2.16 Začetne vrednosti

Kot vhodni podatek je v program potrebno podati tudi začetne vrednosti posameznih spremenljivk. V preglednici 11 so prikazane začetne vrednosti po kalibraciji.

Preglednica 11: Začetne vrednosti

Spremenljivka	Začetna vrednost	Enota
NH3 & NH4+	0,04	mg/l
NO3	1,2	mg/l
Tot. Sol. P	0,03	mg/l
CO2	0,8	mg/l
Oxygen	7	mg/l
TSS	5	mg/l
R detr sed	0	g/m <sup>2</sup> suhe teže
L detr sed	0	g/m <sup>2</sup> suhe teže
R detr diss	5,1461196	g/m <sup>2</sup> suhe teže
L detr diss	0,7689604	g/m <sup>2</sup> suhe teže
R detr part	0,8377404	g/m <sup>2</sup> suhe teže
L detr part	0,1251796	g/m <sup>2</sup> suhe teže
Peri High-Nut Diatom	1,00E-05	g/m <sup>2</sup> suhe teže
Cladophora	1,00E-05	g/m <sup>2</sup> suhe teže
Fontinalis	0,3	g/m <sup>2</sup> suhe teže
Chironomid	0,362326422	g/m <sup>2</sup> suhe teže
Daphnia	0,0001	mg/l suhe teže
Copepod	0,0001	mg/l suhe teže
Predatory Zooplank.	1,00E-05	mg/l suhe teže
Shiner	0,2	g/m <sup>2</sup> suhe teže
Carp	0,2	g/m <sup>2</sup> suhe teže
Yellow Perch	0,1	g/m <sup>2</sup> suhe teže
Water Vol	10699000	m <sup>3</sup>
Temp	1,2	°C
Wind	1,1	m/s
Light	80	Ly/d
pH	7,8	pH

#### 4.2.17 Nastavitve simulacije

Nastavitve simulacije določajo osnovne parametre izračuna. Slika 8 prikazuje vnosno okno nastavitve simulacije za Cerknško jezero z uporabljenimi vrednostmi oz. izbirami.

**Simulation Setup**

First Day Of Simulation  Last Day

Use Variable Step size (Default) with Relative Error of   
*Min. Step size 1E-10*

Use Fixed Step size of  fraction of a day: 0.01 to 0.1

Daily Simulation  Hourly Simulation

**Biota Modeling Options:**

When calculating nutrient effects on plants

Model Nutrients Internally  Use External Nutrients

Run model in Spin-up Mode (Biota Initial Conditions set at end)  
 Also spin up nutrients, suspended, and bed sediments

Calculate Nitrogen Fixation Using N to Inorganic P Ratio  ratio

**Toxicant Modeling Options:**

**Output Options**

Data Storage Step (avg. period)   Days  Hours

Write Hypolim. Data When System not Stratified

Show Integration Info  Don't Show Integration

Slika 8: Nastavitve simulacije

#### 4.3 Kalibracija modela

S kalibracijo modela se skuša model v čim večji meri približati realnemu stanju oziroma obnašanju. Pri tako kompleksnem programskem orodju, kot je Aquatox, ima uporabnik številne možnosti, ki pa zahtevajo zadostno razumevanje procesov in inženirskega znanja. Rezultat posameznih poskusov je pogosto težko predvidljiv, celoten proces pa je lahko hitro podvržen pretirani subjektivni presoji. V samem postopku kalibracije ima uporabnik številne možnosti različnega načina podajanja vhodnih

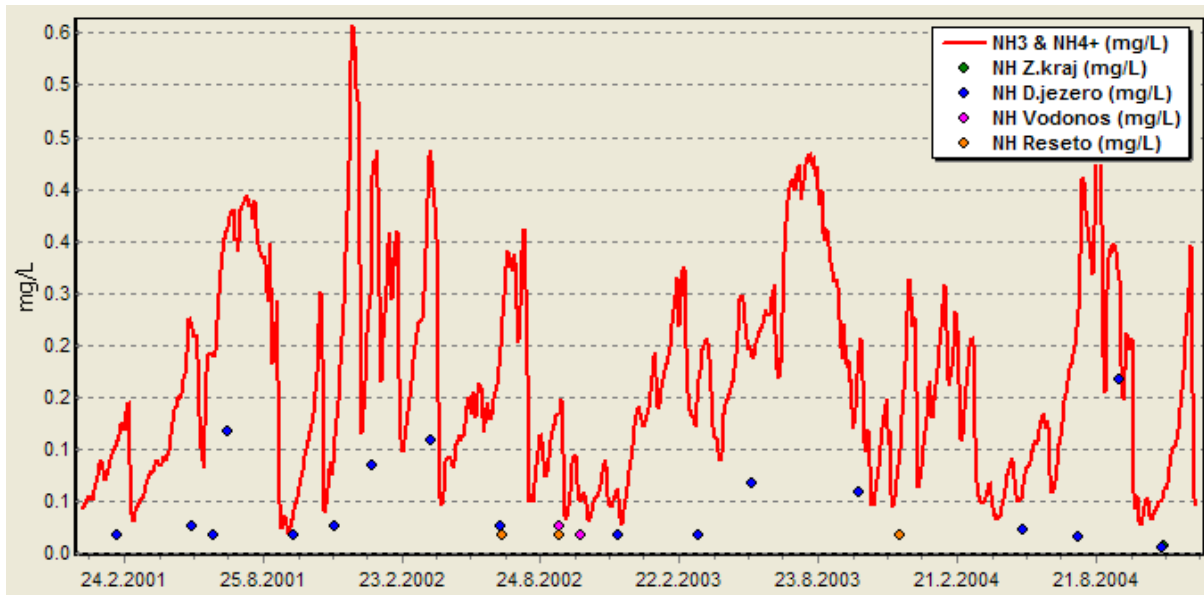


podatkov, spreminjanje robnih pogojev izračuna, modificiranja računskih parametrov specifičnih ekosistemskih procesov ter prilagajanja nastavitev simulacije in začetnih vrednosti. Generalno gledano se proces kalibracije nikoli ne konča, saj se v sam postopek lahko šteje tudi končna interpretacija rezultatov.

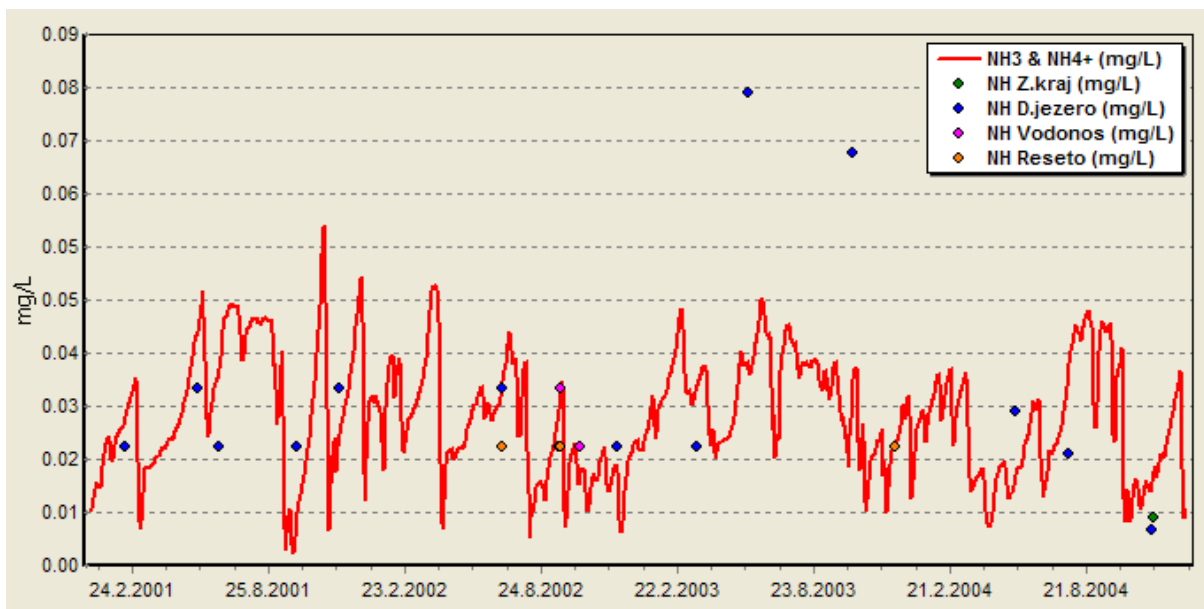
Pri modeliranju in kalibraciji modela Cerknškega jezera sem v smislu maksimalne objektivnosti uporabil podatke, ki v največji možni meri temeljijo na merjenih podatkih in dejstvih, v postopku kalibracije pa teh argumentiranih podatkov nisem spreminjal. Izmed vhodnih podatkov je največji subjektivni oceni podvržena ocena faktorja nedoločenega dela obremenitve z raztopljenimi hranili (poglavje 4.2.6.2). Parametri številnih specifičnih procesov kot so remineralizacija, koeficienti biotskih spremenljivk in drugi procesni parametri so ostali nespremenjeni oziroma enaki prednastavljenim vrednostim programa Aquatox in so bili torej kalibrirani v procesu razvoja programa na podlagi številnih dolgoletnih študij na testnih vodnih telesih. Jasno je, da je vsak vodni ekosistem svet zase, vendar sem se ob pomanjkanju vhodnih podatkov in inženirskega znanja moral zanesti na Aquatoxove prednastavljene vrednosti teh parametrov.

Temeljni in edini procesni parameter, ki je bil spremenjen v postopku kalibracije, je bila tako le maksimalna stopnja fotosintetske aktivnosti (*Max. Photosynthetic Rate*) za edini makrofyt v simulaciji, *Fontinalis*. Kot je opisano v Poglavju 4.2.13, je izbira makrofitskih vrst v simulaciji močno omejena, zato je bil izbran le *Fontinalis*, ki naj bi v grobem reprezentiral makrofitsko združbo v jezeru. Prednastavljena stopnja maksimalne fotosintetske aktivnosti je znašala 0,191, v postopku kalibracije pa sem določil novo vrednost 0,065. V literaturi se sicer navajajo vrednosti za koeficient maksimalne fotosintetske aktivnosti fitoplanktona med 0,2 in 11 (Collins in Włosinski, 1983). Kljub temu, da je kalibrirana vrednost 0,065 manjša od navedenih, smatram to vrednost kot sprejemljivo za potrebe te diplomske naloge, zlasti glede na to, da sta simulirana fotosintetska aktivnost in rast makrofita pogojena še z drugimi, nekalibriranimi parametri (optimalna temperatura, koeficient fotorespiracije, koeficient respiracije, koeficienti fiksacije hranil). Parameter sem kalibriral glede na občutno prevelike izračunane vrednosti amonija in raztopljenega kisika v rezultatih osnovne simulacije (grafikona 15 in 17). Izkaže se namreč, da so previsoke vrednosti posledica simulirane velike razrasti makrofita, kar je rezultiralo v visokih dnevni vrednosti raztopljenega kisika (povprečje 25,8 mg/l) in visokih vrednosti amonija (povprečje 0,2 mg/l) kot posledica razgradnje velike organske mase makrofita. Stopnjo razrasti makrofita sem zato kalibriral s parametrom maksimalne stopnje fotosintetske aktivnosti v tolikšni meri, da so simulirane vrednosti amonija (povprečje 0,025 mg/l) in raztopljenega kisika (povprečje 10,5 mg/l) ustrezale območju merjenih vrednosti. Grafikona 16 in 18 prikazujeta izračunane vrednosti amonija in raztopljenega kisika po kalibraciji. Rdeča krivulja na grafikonih predstavlja izračunane vrednosti, posamezne točke pa merjene vrednosti (ARSO) na posameznih delih jezera.

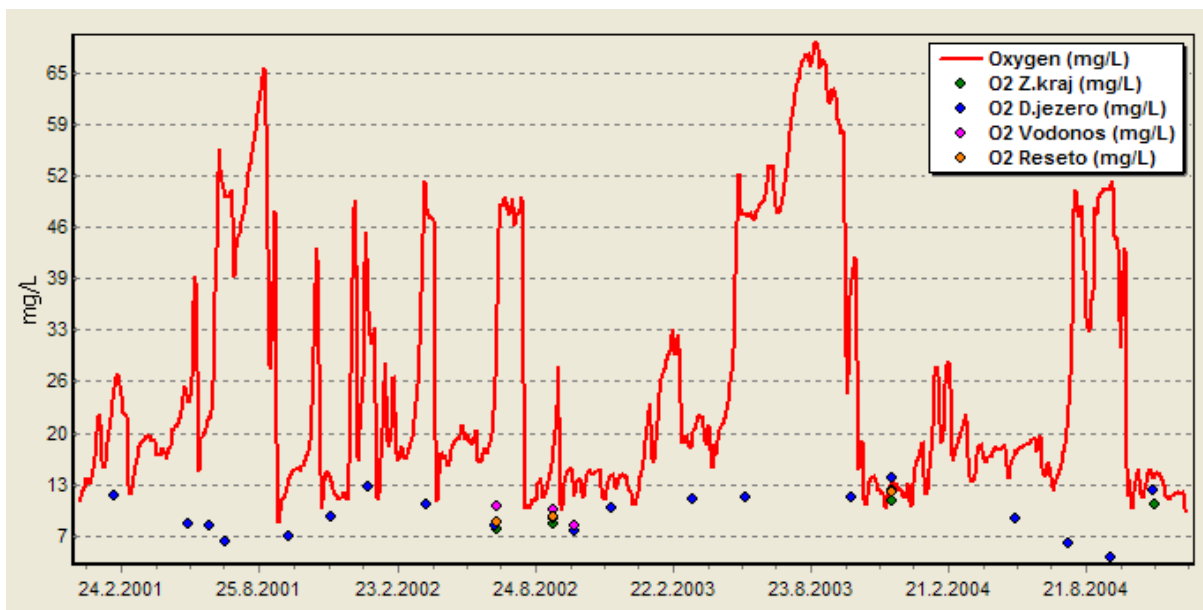
V postopku kalibracije so bile modificirane tudi začetne vrednosti spremenljivk in sicer tako, da so sovpadale z velikostnim redom izračunanih vrednosti tekom simulacije. Pri tem ne gre za sistemsko spremembo parametrov, ki bi vplivala na sam proces simulacije, temveč le za začetno korekcijo, s katero že v prvem letu simuliranega obdobja dosežem bolj realne oz. manj izstopajoče vrednosti. Začetne vrednosti prikazane v preglednici 11 torej predstavljajo v kalibraciji korigirane vrednosti.



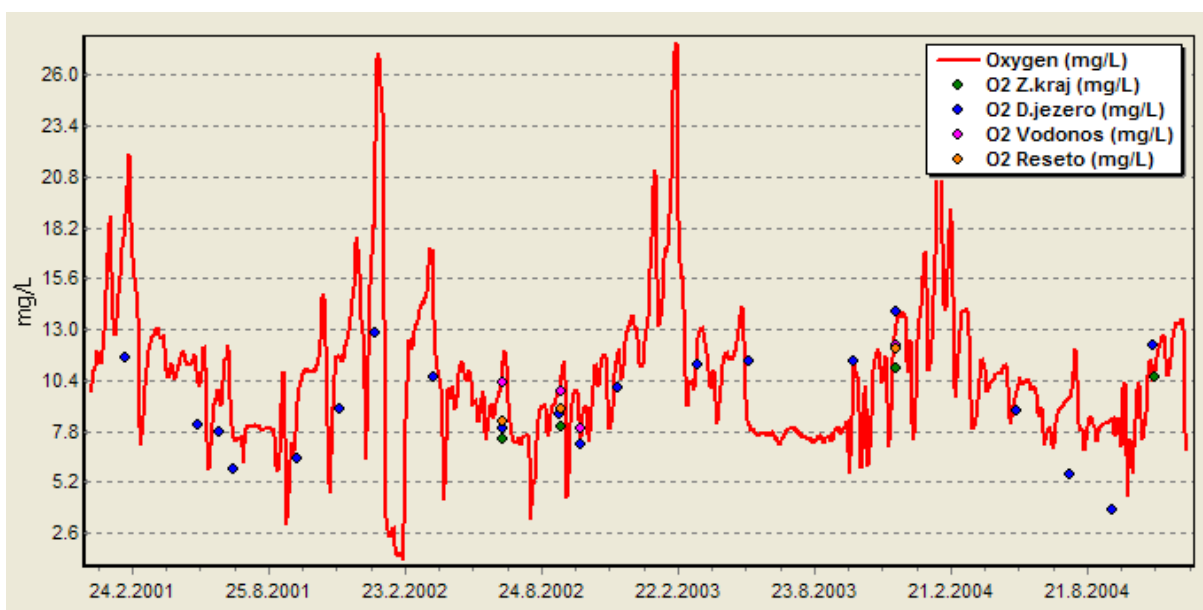
Grafikon 15: Simulirane vrednosti amonija pred kalibracijo



Grafikon 16: Simulirane vrednosti amonija po kalibraciji



Grafikon 17: Simulirane vrednosti raztopljenega kisika pred kalibracijo



Grafikon 18: Simulirane vrednosti raztopljenega kisika po kalibraciji

#### 4.4 Občutljivostna analiza

Občutljivostna analiza je orodje, s katerim se analizira odvisnost rezultata izračuna glede na spremembo vrednosti izbranih vhodnih parametrov za določen odstotek. Predstavlja uporabno orodje pri kalibraciji modela in interpretaciji rezultatov, predvsem v smislu iskanja dejavnikov, ki v največji meri vplivajo na rezultat simulacije. Rezultat analize je t.i. "tornado diagram". Vertikalna linija diagrama predstavlja rezultat determinističnega izračuna za posamezen izhodni parameter, rdeča linija predstavlja rezultat izračuna v primeru zmanjšanja vrednosti vhodnega parametra za izbrani odstotek, modra linija pa za povečanje vrednosti vhodnega parametra za izbrani odstotek. Občutljivost je podana na levi strani diagrama v odstotkih. Če rezultat izračuna odstopa za 10% pri 10% odstopanju vrednosti vhodnega parametra, potem je občutljivost 100 odstotna.

Pri modeliranju Cerkniškega jezera sem se pri analizi rezultatov osredotočil predvsem na bilanco hranil. Prvi razlog za takšno odločitev je v prvi meri razpoložljivost vhodnih in kontrolnih podatkov, ki so na voljo v obravnavanem obdobju (meritve ARSO na pritokih in v jezeru). Drugi razlog je v aktualnosti vprašanja, kolikšna je dejanska obremenitev in samočistilna sposobnost naših vodnih teles, konkretno Cerkniškega jezera. Tretji razlog je možnost primerjave z izračuni Kovača (2005) ter Dreva in Panjana (2009).

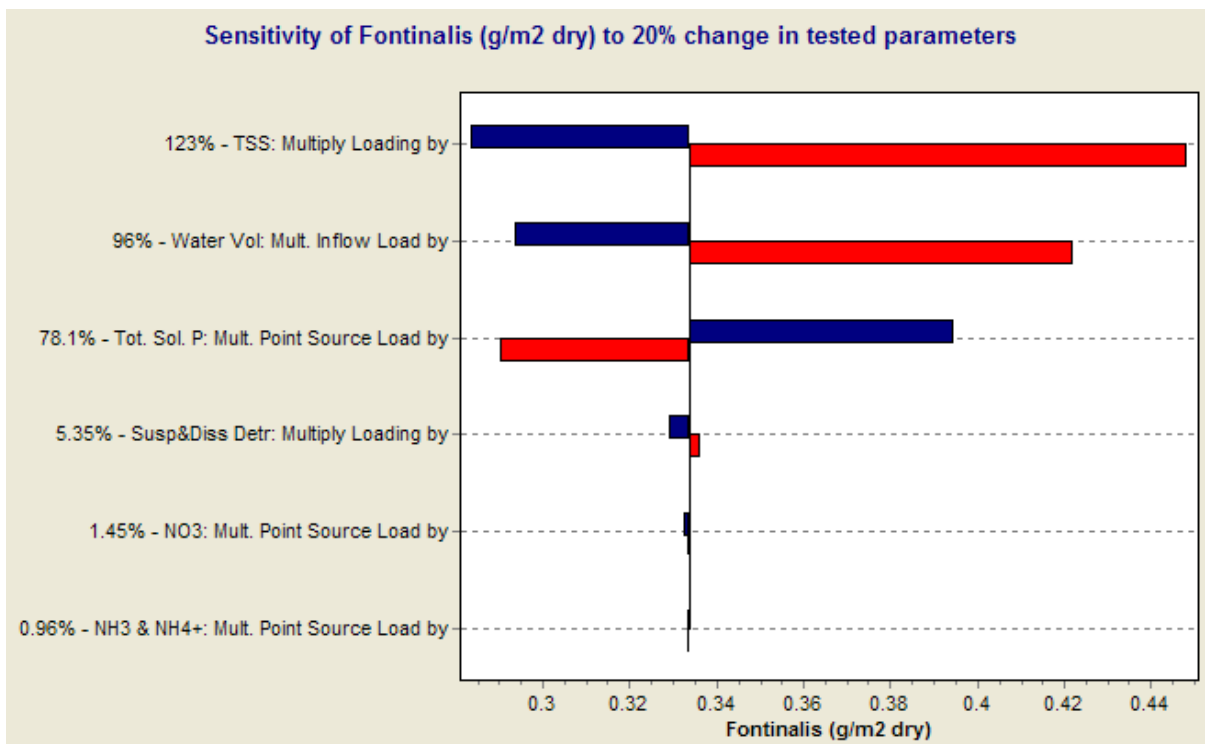
Z občutljivostno analizo sem analiziral vpliv pomembnejših vhodnih parametrov na bilanco hranil in sicer sem predpostavil 20% spremembo (faktor 0,8 in 1,2) vhodnih parametrov, ki v večji meri vplivajo na rezultat simulacije, realnost njihovih vrednosti pa je odvisna od kakovosti vhodnih podatkov oziroma določene mere subjektivne presoje pri določanju vhodnih količin. Analizirani so bili sledeči vhodni parametri:

- dotok v jezero
- obremenitev z amonijem
- obremenitev z nitrati
- obremenitev s fosforjem
- obremenitev z detritom
- količina skupnih suspendiranih snovi

Simulirani dotok v jezero je odvisen od količine srednjega letnega dotoka in dinamike referenčnega dotoka (glej poglavja 4.2.3, 4.2.4 in 4.2.5), v modelu pa je pomemben predvsem zaradi izračuna zadrževalnega časa, ki je v presihajočem jezeru izrazito dinamičen. Obremenitev s hranili je bila določena glede na meritve na večjih pritokih (poglavje 4.2.6.1), nedoločeni del obremenitve pa s subjektivnim faktorjem obremenitve (poglavje 4.2.6.2). Količina skupnih suspendiranih snovi v jezeru je bila določena glede na merjeni vodostaj jezera (poglavje 4.2.11), v modelu pa je pomembna predvsem iz vidika določanje fotične cone in torej vpliva na procese fotosinteze v jezeru.

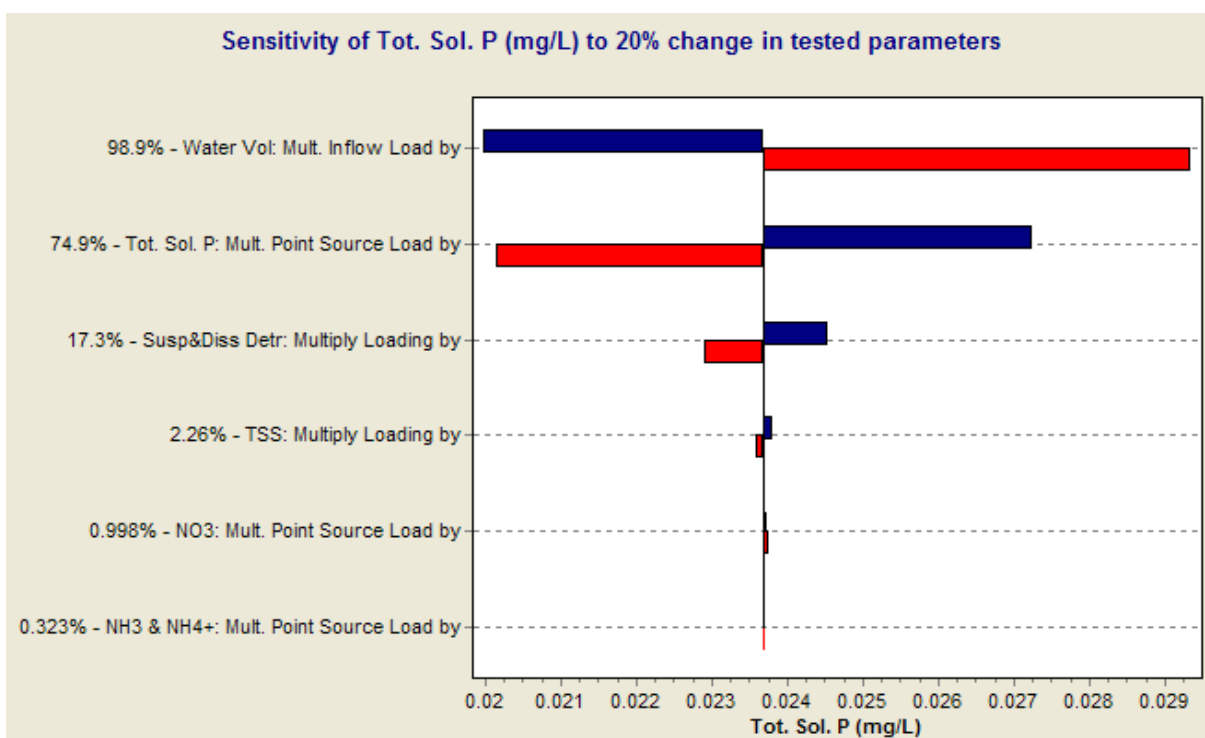
Opazovan je bil vpliv 20% spremembe zgoraj navedenih vhodnih parametrov na simulirane vrednosti raztopljenih hranil (amonij, nitrati, fosfor) in na simulirano količino oz razrast makrofita *Fontinalis*.

Kot je razvidno iz grafikona 19, je rast makrofita pogojena predvsem od količine skupnih suspendiranih snovi, ki neposredno vplivajo na svetlobne pogoje v jezeru in s tem na fotosintetsko aktivnost makrofita. Jasno je izkazana tudi odvisnost makrofita od razpoložljivega fosforja, ki skupaj s fotosintetsko aktivnostjo predstavlja omejitveni faktor za rast. To potrjuje tudi v analizi izkazana majhna občutljivost makrofita na količino nitratov in amonija. Velik vpliv na rast makrofita izkazuje tudi količina dotoka v jezero in sicer predvsem zato, ker le ta določa zadrževalni čas razpoložljivih hranil (konkretno fosforja, ki je omejitveni dejavnik) v jezeru, ki se z manjšim dotokom (ob istem volumnu) poveča. S tem pa se poveča tudi možnost koriščenja hranil s strani makrofitov. Občutljivost makrofita na količino dotoka je torej neposredno vezana na količino razpoložljivega fosforja.

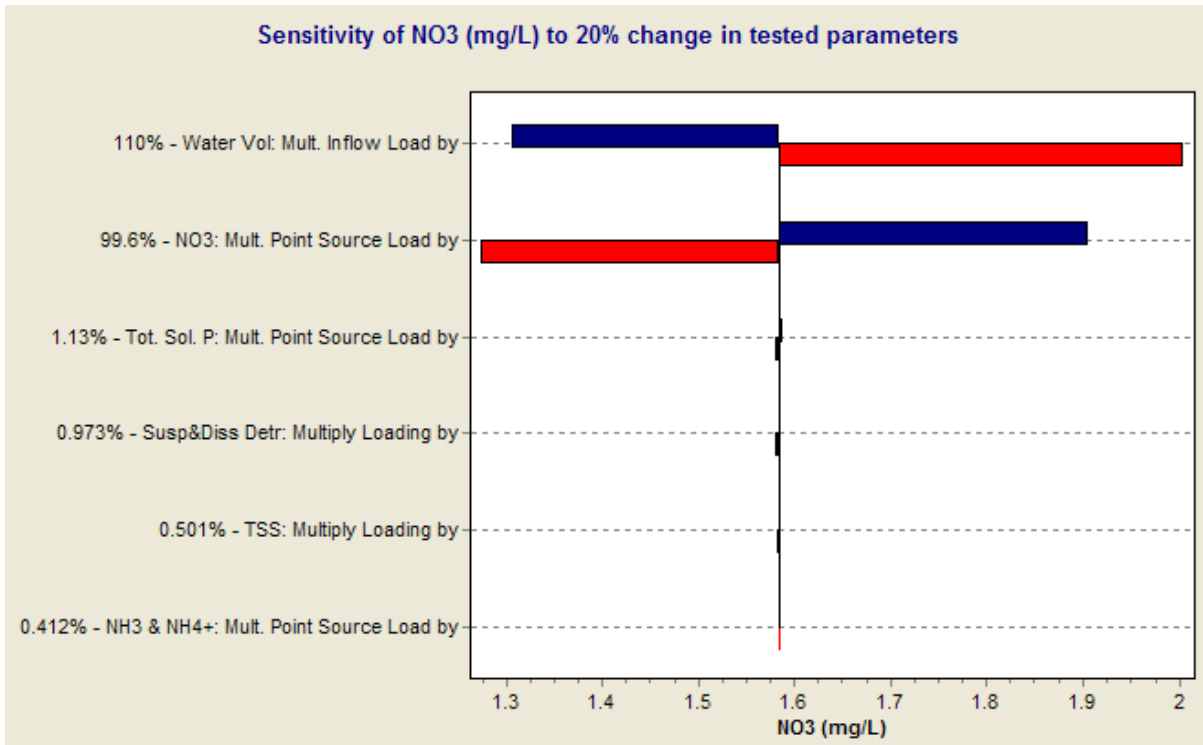


Grafikon 19: Občutljivost makrofita *Fontinalis* na 20% spremembo testiranih parametrov (vrednosti v gramih suhe teže na m<sup>2</sup> površine jezera)

Simulirana količina raztopljenega fosforja je odvisna predvsem od same obremenitve s fosforjem in deloma tudi z detritom (grafikon 20), oba parametra namreč predstavljata direkten vnos fosforja v jezero. Tudi tu je izkazana velika odvisnost od količine dotoka v jezero in torej zadrževalnega časa. Enako velja za simulirano koncentracijo nitratov, ki je v največji meri odvisna od obremenitve in količine dotoka (grafikon 21).

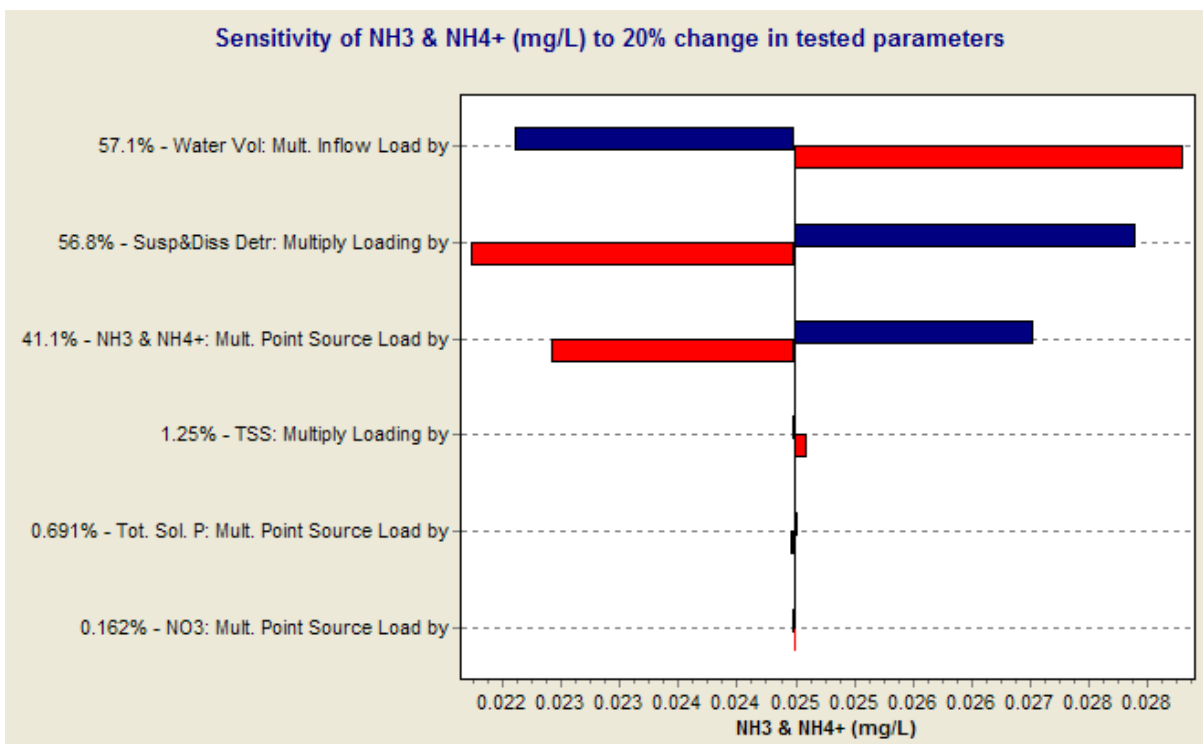


Grafikon 20: Občutljivost koncentracije fosforja na 20% spremembo testiranih parametrov



Grafikon 21: Občutljivost koncentracije nitratov na 20% spremembo testiranih parametrov

Koncentracija amonija v jezeru izkazuje manjši vpliv dotoka v jezero in večji vpliv vnosa detrita (grafikon 22), kot je to v primeru fosforja in nitratov. Razlog za to je v tem, da amonij v simulaciji tudi nastaja kot produkt razgradnje odmrle organske snovi (makrofiti) oz. detrita, ki vstopa v jezero.



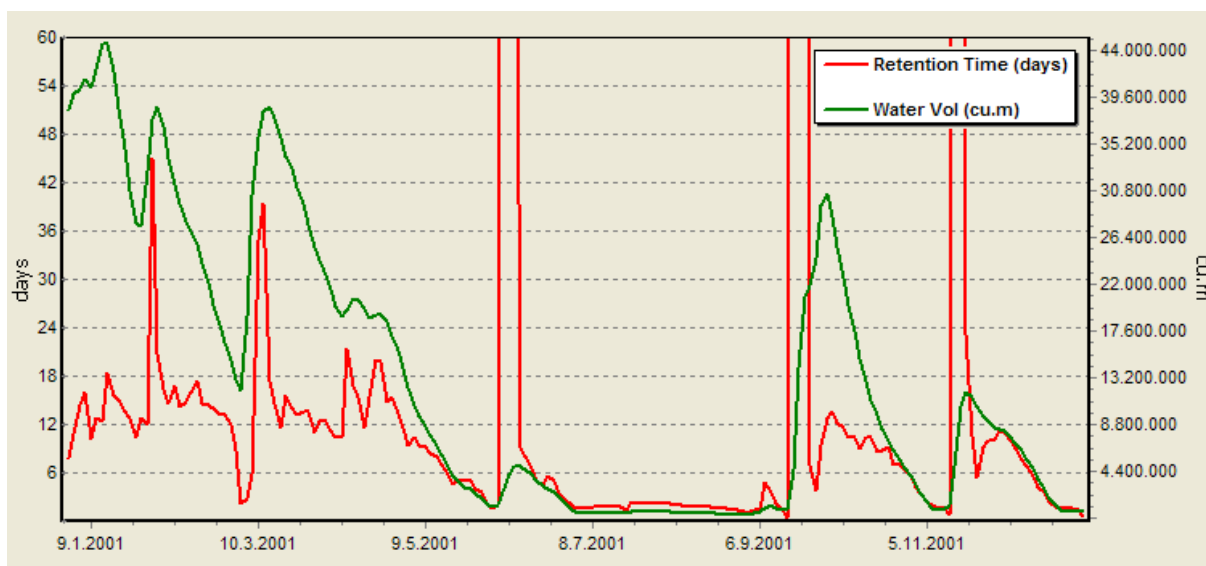
Grafikon 22: Občutljivost koncentracije amonija na 20% spremembo testiranih parametrov

## 4.5 Simulacija s programom Aquatox

Simulacija je bila izvedena za obdobje od 1.1.2000 do 31.12.2004. Medtem ko so prva tri leta simulacije povprečno vodnata, je bilo leto 2003 izrazito suho leto z daljšim sušnim obdobjem, leto 2004 pa nadpovprečno mokro leto. Simulacija modela v Aquatoxu omogoča pregled rezultatov za praktično vse obravnavane parametre, pri čemer je možno izvajati številne primerjave in analize. Za potrebe te diplomske naloge sem se pri rezultatih osredotočil predvsem na bilanco hranil in nekatere značilne biotske spremenljivke in sicer s ciljem, da se v povezavi z občutljivostno analizo (poglavje 4.4) oceni osnovne principe delovanja jezera, okvirno bilanco hranil in (samo)čistilno sposobnost Cerknškega jezera.

### 4.5.1 Zadrževalni čas

Eden temeljnih parametrov za razumevanje ekosistemskih procesov v Cerknškem jezeru je zagotovo zadrževalni čas. Le ta je odvisen od volumna jezera (določen na podlagi merjenih vrednosti vodostaja) in od skupnega dotoka vode v jezero. Grafikon 23 prikazuje dinamiko zadrževalnega časa (leva ordinata) v letu 2001 in hkratno primerjavo z dinamičnim volumnom jezera (desna ordinata). Zadrževalni čas v Cerknškem jezeru je izrazito dinamičen parameter, pri čemer so njegove vrednosti večinoma od 1 do 20 dni, srednja vrednost pa znaša 8,5 dni. Najkrajši zadrževalni čas je v suhem delu leta, ko ima jezero najmanjši volumen (od julija do septembra), v povprečju okoli 2 dni. Na grafikonu so opazna tudi značilni lokalni ekstremi, ki so posledica računske metode in predstavljajo računski zadrževalni čas v primerih najnižjih vrednosti dotoka v razmeroma velik volumen. Takšne računske vrednosti zadrževalnega časa dosegajo tudi vrednosti več deset tisoč dni, kar pa je seveda nerealno, saj se vrednosti ob prvem povišanju dotoka hitro zmanjšajo na red velikosti 10 dni.



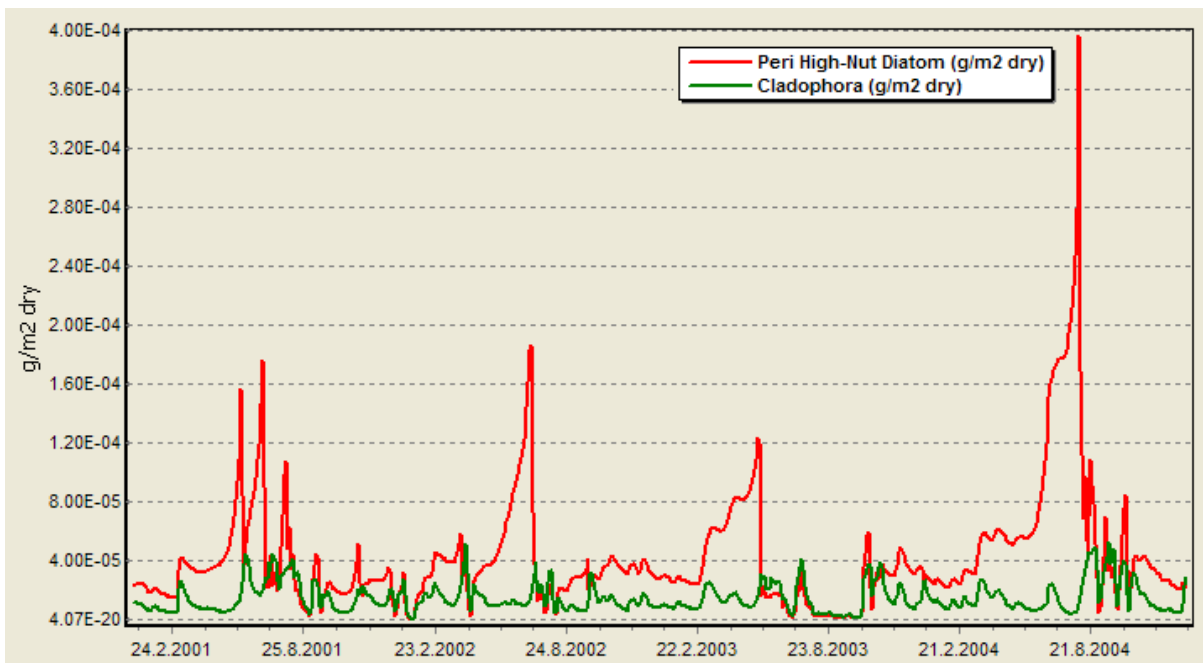
Grafikon 23: Simulirani zadrževalni čas v Cerknškem jezeru

Vzorec tabele rezultatov simulacije za zadrževalni čas je prikazan v prilogi K1.

### 4.5.2 Biota

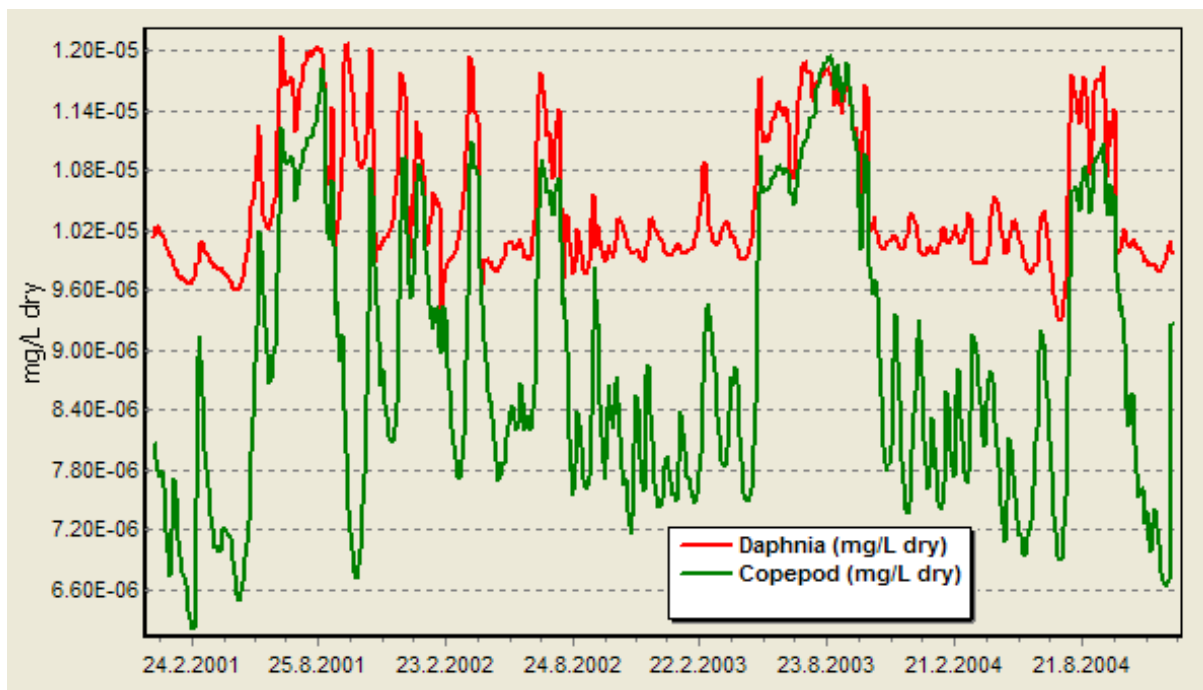
Hidrološke lastnosti presihajočega jezera z izrazito dinamičnim volumnom in zadrževalnim časom močno vplivajo tudi na populacijo planktonskih organizmov. Cerknško jezero je sicer ob nizkih vodostajih razdeljeno na več manjših delov, ki ločeno omogočajo daljše zadrževalne čase, vendar pa

so planktonski organizmi generalno gledano v večjem deležu volumna jezera močno odvisni od hidroloških razmer. Na grafikonu 24 je prikazana dinamika populacije fitoplanktonskih organizmov diatomej in zelenih alg (*Cladophora*). Razvidno je, da v nekaterih krajših obdobjih populacije izkazujejo hitro rast, vendar pa se nato zelo hitro njihova populacija zopet zmanjša. Nepritrjene organizme namreč ob večjih pretokih skozi jezero vodni tok odnaša iz jezera. Enako velja za zooplanktonske organizme (grafikon 25). Povprečna vrednost količine fitoplanktonskih organizmov tako znaša le  $4,5 \cdot 10^{-5}$  gramov suhe teže diatomej na  $m^2$  površine jezera (pri tem je upoštevana stalna površina jezera  $26 \text{ km}^2$ ) in  $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ g/m}^2$  zelenih alg. Povprečna koncentracija vodnih bolh v jezeru znaša  $1,0 \cdot 10^{-5} \text{ mg/l}$ , planktonskih ceponožnih rakov pa  $0,9 \cdot 10^{-5} \text{ mg/l}$ . Pri tem je potrebno poudariti, da Aquatox vsak računski korak samodejno doda  $1,0 \cdot 10^{-5} \text{ g/m}^2$  oziroma  $\text{mg/l}$  k predhodno izračunanim vrednostim biotskih spremenljivk, kar predstavlja t.i. "seme", ki v simulaciji onemogoča izumrtje posameznih vrst organizmov, in hkrati omogoča njihov razvoj v času optimalnih pogojev. Glede na tehnično dokumentacijo programa (Park in Clough, 2014) so takšne vrednosti dovolj majhne, da nimajo vpliva na ostale parametre simulacije. Iz navedenega sledi, da so simulirane vrednosti planktonskih organizmov resnično minimalne in nimajo konkretnega vpliva na ostale ekosistemske procese. S tem se lahko izključi njihovo vlogo pri samočistilni sposobnosti jezera, ravno tako pa je izjemno malo možnosti za pojav morebitnega cvetenja alg. Do tega bi lahko v generalnem pogledu prišlo le v izjemnih primerih zelo dolgega sušnega obdobja z zelo majhnim pretokom.



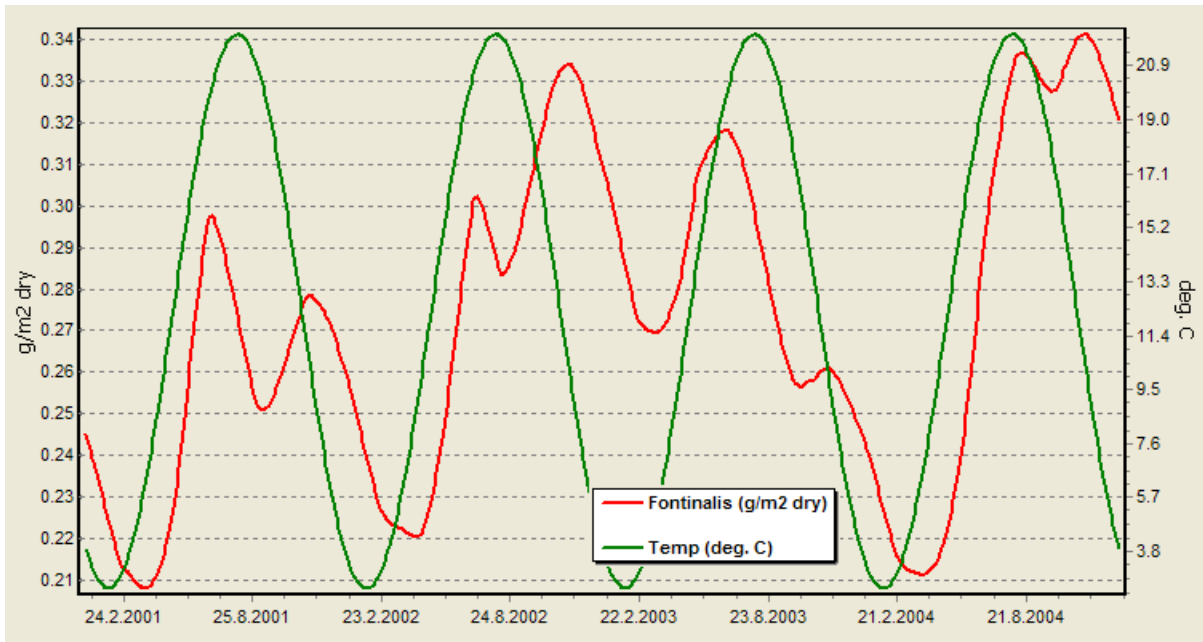
Grafikon 24: Simulirana dinamika populacije fitoplanktonskih organizmov (vrednosti v gramih suhe teže na  $m^2$  površine jezera)





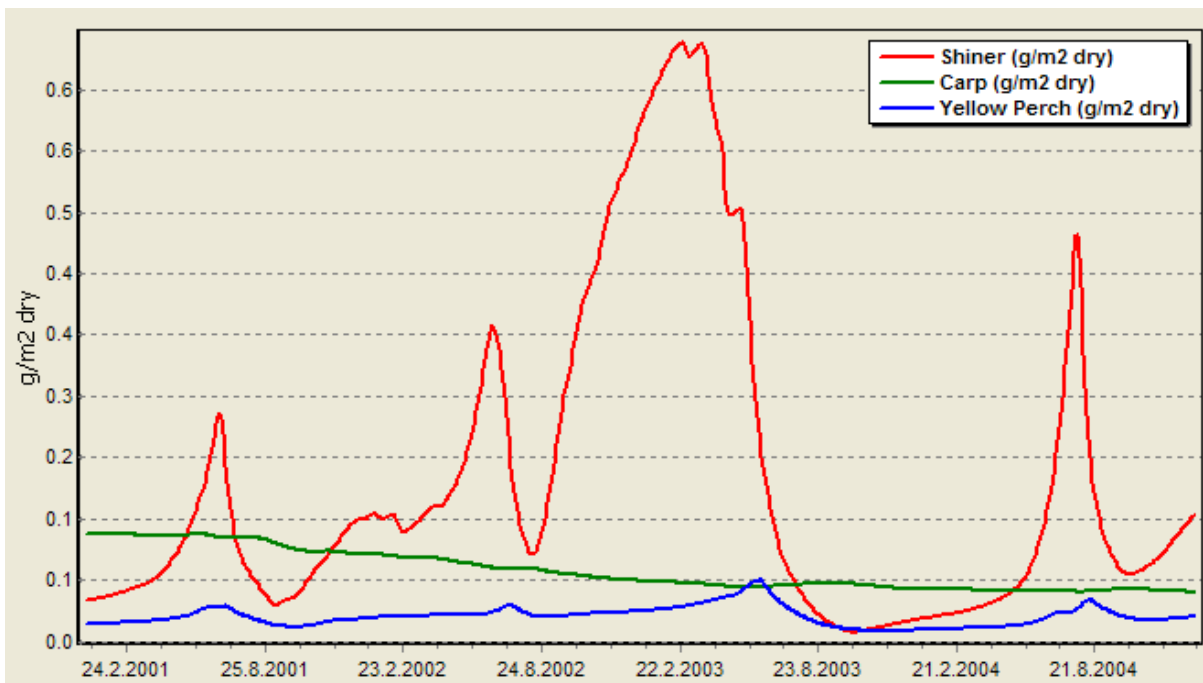
Grafikon 25: Simulirana dinamika populacije zooplanktonskih organizmov (vrednosti v miligramih suhe teže na liter)

Zaradi nezmožnosti obstoja večjih populacij planktonskih organizmov je primarna produkcija v Cerknškem jezeru v veliki meri odvisna od pritrjenih makrofitov. V simulaciji makrofitovsko združbo reprezentira v postopku kalibracije modificirani makrofit *Fontinalis*. Kalibracija makrofita je bila izvedena glede na količino raztopljenega kisika in amonija v vodnem telesu in sicer s ciljem optimizacije simulirane bilance hranil. Ker vhodnih oz. kontrolnih podatkov glede mase makrofitov v Cerknškem jezeru ni, ob tem pa obstaja tudi velika vrstna raznolikost, ni mogoče oceniti kvantitativne vrednosti oz. realnosti rezultatov. Makrofiti so tako simulirani na reprezentativni ravni z namenom, da se oceni njihov vpliv na kroženje hranil v Cerknškem jezeru, vizualna kontrola rezultata v grafični obliki pa ima zgolj orientacijski značaj pri splošni interpretaciji rezultatov simulacije. Dinamika simulirane rasti makrofita je prikazana na grafikonu 26. Kot je bilo ugotovljeno v občutljivostni analizi, je rast makrofitov pogojena predvsem s svetlobnimi pogoji in razpoložljivostjo hranil oz. fosforja kot omejitvenega dejavnika. Primerjava dinamike rasti makrofitov in simuliranega temperaturnega sezonskega nihanja pa izkazuje tudi odvisnost od temperature. Slednje je pričakovano, saj med simulacijske parametre za rast makrofita spada tudi skrajna temperaturna toleranca (v simulaciji prednastavljene vrednosti od 2°C do 26°C) in optimalna temperatura (prednastavljeno 15°C), katere zaradi nerazpoložljivosti podatkov niso bile kalibrirane. Jasno so izražena sezonska nihanja z minimumi v marcu mesecu, pri čemer se obdobje sezonske rasti prične, ko temperatura vode naraste nad 5°C, obdobje zmanjševanja biomase makrofitov pa v začetku novembra, ko temperatura vode pade pod 10°C in svetlobni pogoji niso več zadostni.



Grafikon 26: Dinamika simulirane rasti makrofita (vrednosti v gramih suhe teže na m<sup>2</sup> površine jezera)

Simulirana populacija rib v jezeru je odvisna predvsem od razpoložljive hrane in temperature vode v jezeru. Simulirane so bile populacije *Shiner* (predstavlja različne vrste t.i. ribjega drobiža), *Carp* oz. krap (predstavlja populacijo večjih rastlinojedih rib) in *Yellow Perch* oz. rumeni ostriz (predstavlja populacijo plenilskih vrst rib). Simulacijski parametri rib niso bili kalibrirani in so torej enaki prednastavljenim v programu Aquatox.



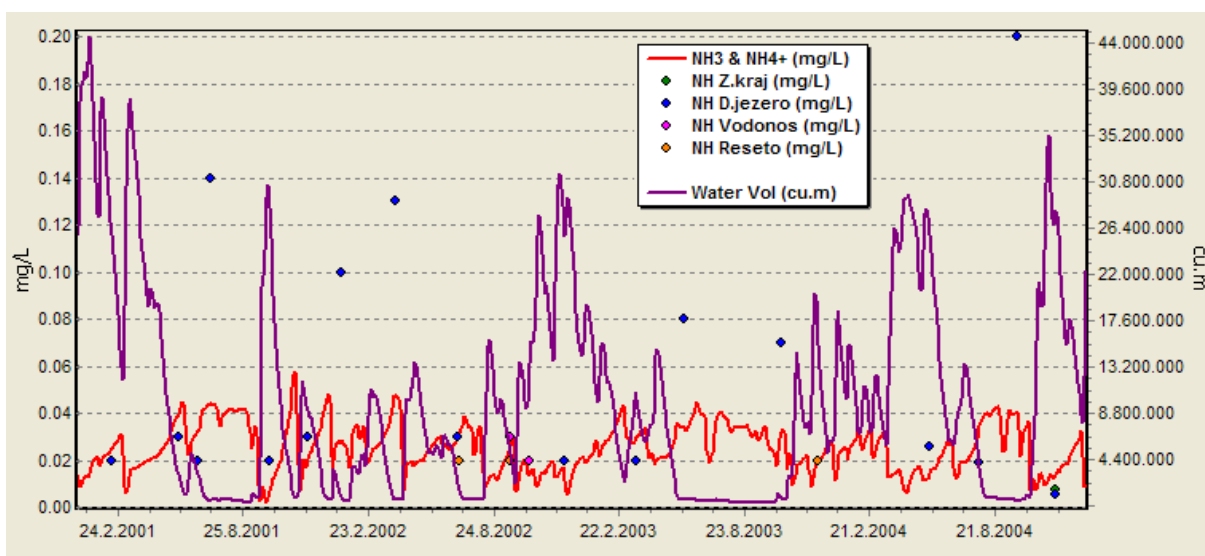
Grafikon 27: Simulirana dinamika ribjih populacij (vrednosti v gramih suhe teže na m<sup>2</sup> površine jezera)

Vzorec tabele rezultatov simulacije za biotske spremenljivke je prikazan v prilogi K2.

### 4.5.3 Bilanca hranil

Bilanca hranil v Cerknškem jezeru je izdelana na osnovi rezultatov simulacije in sicer za vsako vrsto hranila (amonij, nitrat, fosfor) posebej na podlagi vhodnih in simuliranih izhodnih količin hranil v jezeru. Vhodni podatki temeljijo na podlagi analiz kvalitete voda v nekaterih večjih dotokih v jezero, način določitve vhodnih količin in njihove vrednosti so obravnavane v poglavju 4.2.6. Simulirane izhodne količine hranil so pridobljene iz simulacije programa Aquatox v obdobju od 1.1.2000 do 31.12.2004. V nadaljevanju so prikazani rezultati simulacije hranil z dvodnevним korakom poročanja v grafični obliki. Vzorec tabele rezultatov simulacije za koncentracije hranil v jezeru je prikazan v prilogi K3.

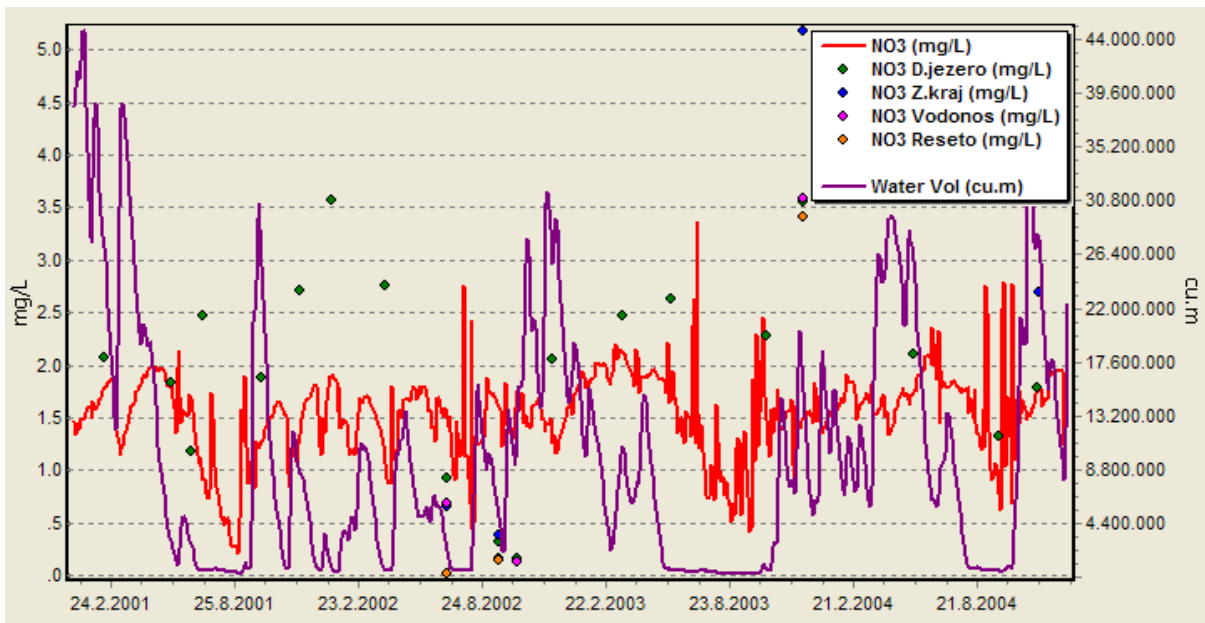
Grafikon 28 prikazuje simulirane koncentracije amonija v jezeru (rdeča linija) v primerjavi z merjenimi podatki (posamezne točke) programa monitoringa jezer (ARSO). Pričakovano je izkazana tudi odvisnost koncentracije amonija od volumna jezera oz. od količine vode. Povprečne simulirane koncentracije amonija so med 0,0023 mg/l in 0,058 mg/l s povprečjem in srednjo vrednostjo 0,025 mg/l. Analize na drugi strani izkazujejo vrednosti med 0,007 mg/l in 0,2 mg/l s povprečjem 0,048 mg/l in srednjo vrednostjo 0,0225 mg/l. Pri tem je potrebno poudariti, da so bile vse merjene vrednosti nad 0,04 mg/l pridobljene v času najnižjih letnih vodostajev na merilnem mestu Dolenje jezero in kot take predstavljajo lokalne ekstreme, ki jih je v primeru Cerknškega jezera težko realno ovrednotiti.



Grafikon 28: Simulirane koncentracije amonija v jezeru

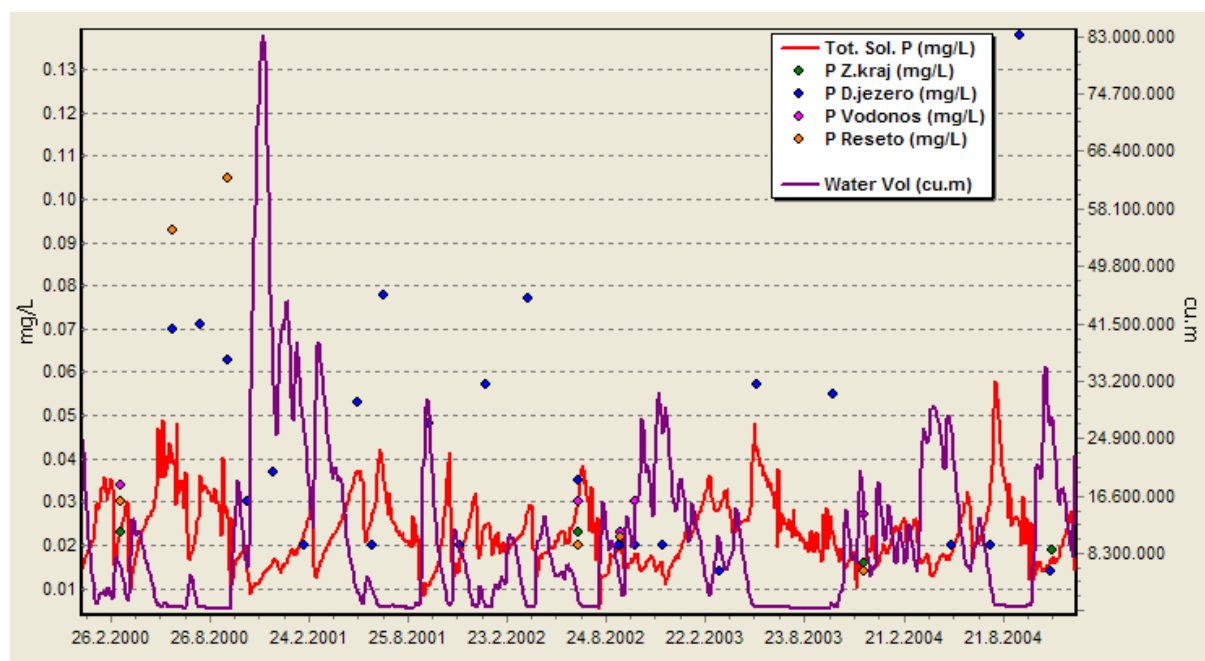
Simulirane in merjene koncentracije nitratov v jezeru ne izkazujejo tolikšne odvisnosti od volumna vode v jezeru kot je to v primeru amonija. Simulirane vrednosti se gibljejo med 0,22 in 3,37 mg/l s povprečjem 1,54 mg/l in srednjo vrednostjo 1,58 mg/l. Merjene vrednosti (ARSO) se gibljejo med 0,15 in 5,18 mg/l, s povprečjem 2,06 mg/l in srednjo vrednostjo 2,07 mg/l. Primerjava simuliranih in merjenih koncentracij (grafikon 29) nakazuje, da so simulirane koncentracije nekoliko nižje. Vzrokov za to je lahko več. Kot je razvidno iz občutljivostne analize (poglavje 4.4), je simulirana količina nitratov v največji meri odvisna od ocene skupne obremenitve jezera z nitrati in dotokom vode v jezero, oba podatka temeljita na relativno skopih razpoložljivih podatkih in predpostavkah, opisanih v poglavju 4.2. Glede na tehnično dokumentacijo programa, je dušikov cikel razmeroma težko modelirati, še posebej, ker Aquatox ne modelira nitrifikacijskih bakterij. Določene enačbe simulacije

dušikovega cikla so tako predvsem empirične narave, ter odvisne od vrste prednastavljenih parametrov, ki opredeljujejo dinamiko procesov dušikovega cikla.



Grafikon 29: Simulirane koncentracije nitratov v jezeru

Merjene in simulirane koncentracije fosforja v Cerknškem jezeru prikazuje grafikon 30. Tako kot pri amoniju, je pričakovano opaziti odvisnost koncentracije fosforja od volumna vode v jezeru. Simulirane vrednosti se gibljejo med 0,0053 in 0,058 mg/l s povprečjem in srednjo vrednostjo 0,025 mg/l. Merjeni podatki analiz izkazujejo vrednosti med 0,01 in 0,14 mg/l, povprečje znaša 0,044 mg/l, srednja vrednost pa 0,029 mg/l. Podobno kot pri nitratih lahko ugotovimo, da so simulirane vrednosti fosforja glede na merjene podatke (ARSO) nekoliko nižje. Enako kot pri nitratih gre vzroke za nekoliko podcenjene rezultate najverjetneje iskati v vhodnih podatkih, predvsem v količini obremenitve s fosforjem in dotoka vode v jezero.



Grafikon 30: Simulirane koncentracije fosforja v jezeru.

#### 4.6 Interpretacija rezultatov

Simulacijski rezultati izkažejo večjo količino raztopljenega fosforja v iztoku iz modeliranega sistema kot na vtoku v sistem. Pri tem se je potrebno zavedati, da vir fosforja predstavlja tudi vnos odmrle organske snovi oz. detrita, ki je tudi vhodni podatek v modelu. Najpomembnejša s strani Aquatoxa modelirana procesa fosforjevega cikla v jezeru sta asimilacija razpoložljivega fosforja s strani rastlin in remineralizacija fosforja iz detrita. Večja količina raztopljenega fosforja na iztoku v primerjavi z dotokom ob relativno nizki obremenitvi jezera nakazuje na to, da remineralizacijski procesi presegajo asimilacijske. Za oceno odstranitve fosforja iz jezera je tako potrebno upoštevati obe spremenljivki, količino raztopljenega fosforja in količino detrita na dotoku in iztoku z jezera. Preglednica 12 prikazuje simulirane povprečne letne količine raztopljenega fosforja in fosforja vezanega v detritu, ki jezero obremenjujejo in iz jezera iztekajo. V simulirani model tako skupno priteče 9,83 ton fosforja, iz jezera pa izteče 9,45 ton fosforja. Razlika tako znaša 0,18 ton oz. 1,82%.

Preglednica 12: Simulirana bilanca fosforja v Cerknškem jezeru

	Fosfor [kg/leto]		
	Raztopljeni	Vezan v detritu	Skupaj
<b>Dotok</b>	7.015,80	2.812,00	9.827,80
<b>Iztok</b>	8.438,77	1.210,00	9.648,77
<b>Razlika</b>	-1.422,97	1.602,00	179,03

Skupna povprečna letna bilanca hranil glede na simulacijo za obdobje 1.1.2000 do 31.12.2004 je prikazana v preglednici 13. Dnevne količine iztoka posameznih hranil so bile izračunane kot produkt dnevne koncentracije posamezne vrste hranila in povprečnega dnevnega odtoka. Dnevne količine dotoka posameznih vrst hranil so bile podane s pomočjo enačb (25), (26) in (27). Očitno je, da je glede na simulacijo zmanjšanje količine hranil oziroma čistilna sposobnost jezera zelo majhna in sicer za fosfor 1,82% ter za nitrate 2,25%. Glede na simulacijo iz jezera izteče kar 1,7 krat toliko amonija, kot ga vanj vstopa. To je delno posledica izločanja in odmiranja živalskih organizmov, najverjetneje pa predvsem posledica fotosintetske aktivnosti avtotrofov, predvsem makrofitov, katerih organska masa se sezonsko razgrajuje. Odvisnost količine raztopljenega amonija od količine makrofitov v vodnem okolju je obravnavana v okviru kalibracije modela (poglavje 4.3). Zaradi kratkih zadrževalnih časov v jezeru je nitrifikacija amonija močno omejena, posledično pa je količina amonija v iztoku večja kot na dotoku.

Preglednica 13: Povprečna letna bilanca hranil v Cerknškem jezeru glede na simulacijo

	Fosfor [kg/leto]	Nitrati [kg/leto]	Amonij [kg/leto]
<b>Dotok</b>	9.827,80	697.104,00	3.105,00
<b>Iztok</b>	9.648,77	681.397,97	8.421,43
<b>Razlika</b>	179,03	15.706,03	-5.316,43
<b>Delež zmanjšanja</b>	<b>1,82%</b>	<b>2,25%</b>	<b>-171,22%</b>

Pri bilanci hranil v Cerknškem jezeru gre upoštevati tudi iznos organske mase in z njo hranil preko sezonske košnje trave na jezeru in ribolova. Sezonska košnja trave se z leti opušča, saj se je le ta v preteklosti uporabljala bodisi za nastilj, bodisi za nizkokakovostno krmo za živino, živinoreja na malih kmetijah pa je v zadnjih letih močno upadla. Iznos organske mase na račun makrofitov tako v luči pomanjkljivih vhodnih podatkov ni bil modeliran. Tudi sicer je težko kvantitativno realno oceniti razmerje iznešene organske mase, predvsem glede na vnos organskih snovi oz. detrita, katerega

računski vnos v jezero je ravno tako močno izpostavljen negotovosti vhodnih podatkov. Ribolov je bil v simulaciji upoštevan v višini 1% izlova rib na letni ravni. V postopku kalibracije je bil simuliran tudi 10% letni izlov rib, kar pa v smislu bilance hranil v jezeru ni izkazalo opazne razlike. Iz navedenega lahko povzamem, da sezonska košnja trave na jezeru in ribolov v splošnem ne vplivata bistveno na simulacijo bilance hranil.

Glede na rezultate simulacije lahko zaključim, da z vidika bilance hranil Cerknško jezero nima omembe vredne samočistilne sposobnosti, le ta pa je očitno omejena na makrofitsko populacijo. Predpostavim lahko, da največji delež samočistilne sposobnosti pripada vodnim vrstam makrofitov, ki so prilagojeni za črpanje hranil iz vodnega okolja in so veliko večino leta vsaj delno potopljeni, ter s tem omejeni na dele jezera z bolj ali manj stalnim vodnim okoljem. Sezonsko poplavljeni travniki in kmetijska zemljišča najverjetneje ne prispevajo bistveno k samočistilni sposobnosti jezera. Verjetno je celo, da predstavljajo dodaten vir organskih snovi in hranil, ki obremenjujejo jezero. Cerknško jezero ima torej relativno majhen delež samočistilno aktivne površine, omejene predvsem na struge Stržena in ostalih pritokov ter nekaterih manjših, večji del leta potopljenih površin.

Ocena obremenitve s hranili je bila primerjana tudi z izvlečki študij, ki so jih izvedli Kovač (2005) in nadalje še Drev in Panjan (2009). V splošnem njihovi izračuni obremenitve s hranili izkazujejo večjo obremenitev s fosforjem in manjšo obremenitev z dušikom v primerjavi z izračunom v tej diplomski nalogi. Kovač (2005) ocenjuje, da se v jezeru odstrani 24% fosforja ter 40% dušika. Izračuni navedenih avtorjev glede obremenitve s hranili temeljijo predvsem na določitvi rabe prispevnih površin in odtočnih koeficientov, pri čemer pa so upoštevali prispevno površino 270 km<sup>2</sup>, kar je bistveno manj od 475 km<sup>2</sup> prispevnih površin (poglavje 4.2.3 ter slika 4) upoštevanih v tej diplomski nalogi. Preglednica 14 prikazuje primerjavo vseh treh izračunov oz. ocen.

Preglednica 14: Primerjava izračunov obremenitve s hranili s predhodnimi študijami

	Dotok hranil		Redukcija hranil	
	Fosfor [kg/leto]	Dušik [kg/leto]	Fosfor	Dušik
<b>Kovač (2005)</b>	79.648	571.072	25%	40%
<b>Drev, Panjan (2009)</b>	40.000 - 80.000	400.000 - 600.000	-	-
<b>Korošec</b>	9.828	697.104	1,82%	2,25%

Vpliv mokrišč na odstranjevanje vhodnih hranil je raziskoval tudi Giusti s sodelavci (2011). Študija je s pomočjo programa Aquatox obravnavala izvedljivost renaturalizacije 26 ha danes agrarnih zemljišč ob italijanskem jezeru Massaciucoli nazaj v mokrišče. Renaturalizirano mokrišče naj bi služilo varstvu pred poplavami in hkrati odstranjevanju hranil, katerih visoke koncentracije so posledica intenzivne obdelave okoli 700 ha ostalih kmetijskih zemljišč v okolici. Model je predvidel odstranitev skoraj četrtine fosforja in treh četrtin skupnih suspendiranih snovi, medtem ko pomembnejši vpliv na odstranjevanje dušika ni bil izkazan. Model je sicer predvidel stalno vodnatost mokrišča in možnost razvoja okolju prilagojenih rastlin, kar je najverjetneje odločilen razlog, da model mokrišča odstrani večji del hranil, predvsem fosforja, v primerjavi z modelom Cerknškega jezera.

## 5 ZAKLJUČEK

Kraška narava presihajočega Cerknškega jezera predstavlja oviro pri poskusih ekološkega modeliranja tega vodnega telesa. Ključni vhodni podatki, tako z vidika hidrologije kot tudi z vidika

obremenitve s hranili in kvalitete voda so podvrženi precejšnji negotovosti in številnim predpostavkam. V diplomski nalogi sem skušal čim bolj celostno in argumentirano analizirati obstoječe podatke in meritve s ciljem pridobitve kredibilnih vhodnih podatkov za izdelavo modela jezera s programskim orodjem Aquatox. Pred pričetkom izdelave modela je bilo težko oceniti ali je Aquatox primerno orodje za modeliranje Cerknškega jezera. V postopku izdelave modela in kasneje njegove kalibracije ter interpretacije rezultatov se je izkazalo, da je velika kvaliteta programa zmožnost hkratnega dinamičnega modeliranja večjega števila spremenljivk, s čimer je mogoče tako dinamičen sistem kot je presihajoče jezero modelirati z dovolj majhnim časovnim korakom. Kompleksnost programa, veliko število hkrati obravnavanih spremenljivk in številni parametri, ki simulirajo posamezne procese v jezeru, nakazujejo določeno negotovost pri vrednotenju rezultatov. Za uspešno modeliranje je tako poleg zadostnih in kvalitetnih vhodnih podatkov potrebno tudi široko poznavanje ekosistemskih procesov ter zadostna inženirska presoja in izkušnje. V primeru modela Cerknškega jezera sem pomanjkanje vhodnih podatkov in inženirskih izkušenj skušal kompenzirati z objektivno analizo in podajanjem vhodnih podatkov, uporabljeni parametri posameznih procesov pa pri modeliranju niso bili korigirani in so torej enaki prednastavljenim v programu Aquatox. Izdelan model iz vidika bilance hranil izkazuje relativno dobro ujemanje z merjenimi podatki in analizami, s pomočjo občutljivostne analize in interpretacije rezultatov pa je mogoče s precejšnjo mero gotovosti opredeliti nekatere ugotovitve navedene v nadaljevanju.

Analiza hidroloških podatkov izkazuje večjo prispevno površino jezera, kot bi bilo pričakovati glede na geografske razvodnice. Na podlagi le teh je ocenjena prispevna površina okoli 270 km<sup>2</sup> (ARSO), medtem ko primerjava padavinskih podatkov in pretoka reke Rak kaže na to, da je prispevna površina vsaj 380 km<sup>2</sup>. Tako je bila utemeljena odločitev, da se za velikost prispevne površine za namen te diplomske naloge privzame največjo izmed v literaturi podanih ocen, to je 475 km<sup>2</sup> (Kranjc, 1986). Na podlagi te ocene in razpoložljivih padavinskih podatkov je bil modeliran povprečni srednji letni dotok vode v jezero 14,89 m<sup>3</sup>/s.

Za oceno bilance hranil je bistvena realna ocena količine hranil, ki prihajajo v jezero. Z analizo merjenih koncentracij hranil (ARSO) v štirih večjih pritokih v jezero (Martinjščica, Žerovniščica, Lipsenjščica in Obrh) v povezavi z merjenimi pretoki teh vodotokov je mogoče določiti matematično povezavo med pretokom in količino posameznih vrst hranil (fosfor, nitrati, amonij) v gramih na dan. Na podlagi teh razmerij so bile izpeljane tri enačbe, ki za vsako posamezno vrsto hranila določajo količino hranila, ki dnevno pride v jezero in sicer v odvisnosti od merjenega dnevnega pretoka Cerknšičice, ki določa splošno dinamiko dotoka vode v modelirani sistem. Na ta način je ocenjen povprečni letni vnos okoli 7 ton fosforja, 697 ton nitratov in 3 ton amonija v Cerknško jezero. V teh količinah ni vključena količina hranil iz vodotoka Cerknšičica, ki je sicer najbolj s hranili obremenjen vodotok na prispevnem območju. Cerknšičica namreč ne napaja jezera samega, vendar skupaj s Strženom, ki priteče iz jezera, direktno ponika v sistemu požiralnikov Velika in Mala Karlovica ter Svinjska jama. Tako celotna količina hranil iz prispevnega področja Cerknšičice, to je okoli 5 ton fosforja, 75 ton nitratov in 10 ton amonija ponikne direktno v požiralnike, ter s tem obremenjuje reko Rak.

Občutljivostna analiza rezultatov simulacije izkazuje nedvoumno odvisnost koncentracije hranil v jezeru ne le od obremenitve same, temveč predvsem od količine dotoka vode v jezero. S tem se izkaže velik pomen ocene prispevnega področja in srednjega letnega dotoka v jezero. Razmerje med dnevnim dotokom vode in dnevnim volumnom (določen na podlagi dnevno merjenega vodostaja na Dolenjem jezeru) namreč določa še en bistven parameter za razumevanje ekosistemskih procesov v jezeru, to je

zadrževalni čas. Zadrževalni čas je v presihajočem jezeru izrazito dinamična spremenljivka in znaša od 1 do 20 dni, s srednjo vrednostjo 8,5 dni. Zadrževalni čas bistveno vpliva na populacije planktonskih organizmov, ki zaradi rednega izpiranja iz jezera nimajo možnosti razviti večjih stalnih populacij. Zaradi tega je, razen v izjemnih primerih dolgotrajne suše, praktično onemogočen pojav cvetenja alg in tudi njihov vpliv na samočistilno sposobnost jezera. Le ta je tako v največji meri odvisna od združbe pritrjenih vodnih makrofitov, ki pa so omejeni na dele jezera z bolj ali manj stalnim vodnim okoljem. Makrofiti v primerjavi s planktonskimi organizmi tudi bistveno počasneje reagirajo na morebitne spremembe v okolju (na primer na povečan vnos hranil). Rezultat takšnih razmer je tudi majhna samočistilna sposobnost jezera. Rezultati simulacije namreč kažejo, da je stopnja odstranjevanja fosforja zgolj 1,82% in nitratov 2,25%, medtem ko je količina amonija, ki iz jezera izteče, celo precej večja (faktor 1,7) od vhodnih količin. To je posledica razgradnje odmrlih rastlinskih in živalskih organizmov ter hidroloških lastnosti presihajočega jezera, ki s kratkim zadrževalnim časom omejuje postopke nitrifikacije, posledično pa se iz jezera izpira večja količina amonija.

Seveda je možnosti za izboljšavo modela Cerknškega jezera v programu Aquatox še veliko. Največ pozornosti bi bilo zagotovo potrebno nameniti izboljšanju vhodnih podatkov, predvsem z vidika natančnosti hidroloških podatkov in obremenitve s hranili. Ena pomembnejših neznank je del jezera, imenovan Zadnji kraj, kjer voda preko estavel tako ponika kot tudi izvira. Predvsem z določitvijo količine vode, ki tam v padavinskih obdobjih izvira, in hkratnem analiziranju koncentracij hranil in organske snovi, bi se morda dalo bolje določiti količine dotoka vode in hranil iz tega vira. Oboje je pomembno, ker za JZ prispevno območje jezera (gozdnato območje Snežnika in Javornikov, površina prispevnega območja Cerknškega jezera težko določljiva) ni skoraj nobenih podatkov. Del voda iz območja se površinsko ali podzemno izliva v vodotoka Mali Obrh in Obrh, del napaja Zadnji kraj, del pa v jezero izteka površinsko po pobočju. To gozdnato pripevno območje je lahko pomemben vir raztopljenih hranil predvsem pa odmrle organske snovi, ki se iz razmeroma strmih pobočij tudi preko hudournikov spira v jezero. Dejansko oceno količin je na podlagi do sedaj zbranih podatkov zelo težko podati. Druge možnosti izboljšave modela so v kalibraciji številnih prednastavljenih parametrov simulacije, ki pa zahtevajo višji nivo znanja in inženirskih izkušenj.

Zanimivo bi bilo raziskati prispevek odmiranja in razkroja rastlin na količino hranil v jezeru. Cerknško jezero je glede tega specifično, saj redno poplavlja večje travniške površine, voda pa se na njih lahko zadržuje več mesecev. Ko voda odteka, s seboj odnaša tudi organsko snov, zanemariti pa ne gre niti iznosa vegetacije iz naslova kmetijstva. Vpliv kopenskega in vodnega rastlinja na poplavnem območju Cerknškega jezera je torej težko določljiv in zato zanimiv za nadaljnje raziskave.

Iz vidika zaščite podzemnih voda, ki se napajajo iz prispevnega področja Cerknškega jezera je očitno najpomembnejši vpliv onesnaženja Cerknšičice, ki vsebuje daleč največje koncentracije hranil na Cerknškem polju in se preko požiralnikov direktno izliva v podzemlje in ponovno pride na dan v reki Rak. Glede na analize kvalitete voda s strani ARSO med leti 1998 in 2005, ki so bile opravljane na izviri in pred ponorom reke Rak, gre oceniti, da se v reki Rak v splošnem očisti okoli 30% nitratov in 40% fosforja (priloga F). Glede na to, da voda iz reke Rak ponovno izvira v Planinski jami, zelo verjetno pa vsaj delno napaja tudi zajetje za pitno vodo Malni, bi bilo zanimivo v Aquatoxu izdelati tudi model reke Rak in določiti njen pomen za kakovost voda dolvodno.



## VIRI

- ARSO. 2004. Meteorološki letopis. Energija globalnega sončnega obsevanja. Poročila 2000-2004. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje. [http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/meteorološki\\_letopis/meteoroloski\\_letopisi.htm](http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/meteorološki_letopis/meteoroloski_letopisi.htm) (Pridobljeno 14. 1. 2015.)
- ARSO. 2000. Monitoring kakovosti jezer v letu 2000. Poročilo. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje. <http://www.arso.gov.si/vode/reke/arhiv-jezera.html> (Pridobljeno 4. 2. 2015.)
- ARSO. 2001. Monitoring kakovosti jezer v letu 2001. Poročilo. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje. <http://www.arso.gov.si/vode/reke/arhiv-jezera.html> (Pridobljeno 4. 2. 2015.)
- ARSO. 2002. Monitoring kakovosti jezer v letu 2002. Poročilo. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje. <http://www.arso.gov.si/vode/reke/arhiv-jezera.html> (Pridobljeno 4. 2. 2015.)
- ARSO. 2003. Monitoring kakovosti jezer v letu 2003. Poročilo. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje. <http://www.arso.gov.si/vode/reke/arhiv-jezera.html> (Pridobljeno 4. 2. 2015.)
- ARSO. 2004. Monitoring kakovosti jezer v letu 2004. Poročilo. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje. <http://www.arso.gov.si/vode/reke/arhiv-jezera.html> (Pridobljeno 4. 2. 2015.)
- Collins, C. D., Wlosinski, J. H. 1983. Coefficients for use in the U. S. army corps of engineers reservoir model, CE-QUAL-R1. Technical report E-83-15. Office, Chief of Engineers. U. S. Army: 43 str. [http://www2.epa.gov/sites/production/files/2014-03/documents/2009\\_12\\_01\\_models\\_aquatox\\_part1.pdf](http://www2.epa.gov/sites/production/files/2014-03/documents/2009_12_01_models_aquatox_part1.pdf) (Pridobljeno 31. 3. 2015.)
- Drev, D., Panjan, J., Kovač, M. 2009. Ocena masnih obremenitev Cerkniškega jezera s hranili. Gradbeni vestnik 58: 113-122.
- Drev, D., Slane, M., Panjan, J. 2009. Die Bewertung der Belastungen des Sees Cerknica durch Stickstoff und Phosphor. Wasserwirtschaft 12: 32-36.
- Giusti, E., S. Marsili-Libelli, and S. Mattioli. 2011. A fuzzy quality index for the environmental assessment of a restored wetland. Water Science & Technology 63:2061-2070. [http://www.dsi.unifi.it/~marsili/Papers/WST\\_Venice.pdf?origin=publication\\_detail](http://www.dsi.unifi.it/~marsili/Papers/WST_Venice.pdf?origin=publication_detail) (Pridobljeno 3. 8. 2014.)
- Jørgensen, S.E., Vollenweider, R.A. 1988. Guidelines of Lake Management. Principles of Lake Management. Volume 1, International Lake Environment Committee. United Nations Environment Programme: 199 str. [http://www.ilec.or.jp/en/wp/wp-content/uploads/2013/04/Vol.1\\_Principles\\_of\\_Lake\\_Management.pdf](http://www.ilec.or.jp/en/wp/wp-content/uploads/2013/04/Vol.1_Principles_of_Lake_Management.pdf) (Pridobljeno 31. 3. 2015.)

---

Korošec, M. 2002. Sociološki vidiki varovanja narave: Primer presihajočega Cerknškega jezera nekdanj in danes. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za družbene vede. (samozaložba M. Korošec): 60 str.

Korošec, R. 2014. Modeliranje vodnih ekosistemov s programskim orodjem Aquatox. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba R. Korošec): 40 str.

Kovač, M. 2004. Vpliv naravnih in antropogenih dejavnikov na kakovost površinskih voda (Principi določevanja količin fosforja in dušika). Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Kovač): 63 str.

Kovač, M. 2005. Preliminarna ocena samočistilne sposobnosti odstranjevanja dušika in fosforja v Cerknškem jezeru. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Kovač): 68 str.

Kovačič, G. 2010. Poskus ocene vodne bilance Cerknškega polja. Postojna. Acta Carsologica 39

Kranjc, A. 1986. Cerknško jezero in njegove poplave. Geografski zbornik, 25, 73-123

Panjan, J. 2002. Osnove zdravstveno hidrotehnične infrastrukture. Vodovod in čiščenje pitnih voda, odvod in čiščenje onesnaženih voda in komunalni odpadki. Univerzitetni učbenik, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 289 str.

Park, R. A., Clough, J. S. 2014. Aquatox (release 3.1 plus) Volume 2: Technical documentation. Washington, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Office of Science and Technology: 344 str.

<http://www2.epa.gov/sites/production/files/2014-03/documents/technical-documentation-3-1.pdf>

(Pridobljeno 18. 5. 2014.)

Park, R. A., Collins, C. D. 1982. Realism in Ecosystem Models. Perspectives in Computing 2: 18-27.

Park, R. A., Clough, J. S., Coombs Wellman, M. 2010. AQUATOX Short Course. Portland Oregon: 190 str.

[http://water.epa.gov/scitech/datait/models/aquatox/upload/AQUATOX\\_SETAC\\_Portland\\_Notes.pdf](http://water.epa.gov/scitech/datait/models/aquatox/upload/AQUATOX_SETAC_Portland_Notes.pdf)

(Pridobljeno 8. 12. 2013.)

Zevnik, B. 2000. Naravna in antropogena obremenitev in potrebne stopnje čiščenja odpadnih voda naselij vodozbirnega območja Cerknškega jezera. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba B. Zevnik): 64 str.

## SEZNAM PRILOG

Priloga A:	PREGLED RAZPOLOŽLJIVIH VIROV PODATKOV .....	A1
Priloga B:	PREGLEDNICA POVRŠINE, VOLUMNA IN SREDNJE GLOBINE JEZERA GLEDE NA VODOSTAJ.....	B1
Priloga C:	LETNE STATISTIČNE VREDNOSTI PRETOKA REKE RAK V OBDOBJU IZVAJANJA MERITEV .....	C1
Priloga D:	PREDLAGANE VHODNE KOLIČINE ZA DETRIT V PRIMERU NERAZPOLOŽLJIVOSTI PODATKOV .....	D1
Priloga E:	MESEČNO POVPREČJE DNEVNIH VREDNOSTI SONČNEGA OBSEVANJA V NOVEM MESTU .....	E1
Priloga F:	PRIMERJAVA KONCENTRACIJ HRANIL NA IZVIRU IN PONORU REKE RAK.....	F1
Priloga G:	KAKOVOSTNE ANALIZE VODA NA MERILNIH POSTAJAH V CERKNIŠKEM JEZERU.....	G1
Priloga H:	KAKOVOSTNE ANALIZE VODA NA PRITOKIH V CERKNIŠKO JEZERO.	H1
Priloga I:	VZOREC PREGLEDNICE V EXCELU ZA IZRAČUN SIMULIRANEGA DOTOKA .....	I1
Priloga J:	VZORCI VHODNIH DATOTEK V EXCELU ZA UVOZ V AQUATOX .....	J1
Priloga K:	VZORCI TABEL REZULTATOV SIMULACIJE IZVOŽENIH IZ AQUATOXA V EXCEL .....	K1
Priloga L:	KARTA CERKNIŠKEGA JEZERA S SHEMATSKIM PRIKAZOM POMEMBNEJŠIH HIDROLOŠKIH ELEMENTOV .....	L1
Priloga M:	PRIMERJAVA PRISPEVNIH OBMOČIJ CERKNIŠKEGA JEZERA GLEDE NA PODATKE ARSO IN ŠTUDIJO KRANJCA (1984) .....	M1
Priloga N:	ZGOŠČENKA CD Z DATOTEKO MODELA CERKNIŠKEGA JEZERA, UPORABNIŠKIM PRIROČNIKOM IN TEHNIČNO DOKUMENTACIJO AQUATOX .....	N1



**PRILOGA A: PREGLED RAZPOLOŽLJIVIH VIROV PODATKOV**

Leto	DNEVNE MERITVE PRETOKOV								
	Cerkniščica	Martinjščica	Grahovščica	Žerovniščica	Lipsenjščica	Mali Obrh - Šmarata	Veliki Obrh	Rak - Mali	Rak - Slivice
1959			1	1				1	
1960			1	1				1	
1961			1	1		1	1	1	
1962	1	1	1	1		1	1	1	1
1963	1	1	1	1		1	1	1	1
1964	1		1	1		1		1	1
1965	1	1	1	1		1	1	1	1
1966	1		1	1		1	1	1	1
1967	1		1	1		1	1	1	1
1968	1		1	1			1	1	1
1969	1	1	1	1			1	1	1
1970	1			1				1	1
1971	1	1	1					1	
1972	1	1	1	1				1	1
1973	1		1	1			1	1	
1974	1	1	1	1			1	1	1
1975	1	1	1	1				1	1
1976	1			1			1	1	
1977	1			1			1	1	
1978	1			1			1	1	
1979	1			1			1	1	
1980	1			1			1	1	
1981	1			1			1	1	
1982	1			1			1	1	
1983	1						1	1	
1984	1			1			1	1	
1985	1			1			1	1	
1986	1						1	1	
1987	1								
1988	1						1	1	
1989	1							1	
1990	1								
1991	1								
1992	1								
1993	1								
1994	1								
1995	1								
1996									
1997	1								
1998	1								
1999	1								
2000	1								
2001	1								
2002	1								
2003	1								
2004	1								
2005	1								
2006	1								
2007	1								
2008	1							1	
2009	1							1	
2010	1								
2011	1							1	
2012	1								
2013	1								

se nadaljuje...

... nadaljevanje preglednice v prilogi A

Leto	ANALIZE VODE											
	Stržen Dolenje jezero	Rešeto	Jezero Zadnji kraj	Vodono s	Karlovi ca	Cerkniš čica	Jez. Obrh	Lipsenj ščica	Martinj ščica	Žerovni ščica	Odtok - Rak nar. most	Veliki nar. most
1960												
1961												
1962												
1963												
1964												
1965												
1966												
1967												
1968												
1969												
1970												
1971												
1972												
1973												
1974												
1975												
1976												
1977												
1978												
1979												
1980												
1981												
1982	1											
1983	1											
1984	1											
1985	1											
1986	1											
1987	1											
1988	1					1						
1989	1					1						
1990	1					1						
1991	1					1						
1992	1					1						
1993	1					1						
1994	1					1						
1995	1					1						
1996	1					1						
1997	1					1						
1998	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1999	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2000	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2001	1					1						
2002	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2003	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1
2004	1		1			1	1	1	1	1	1	1
2005	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2006	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1
2007	1					1						
2008						1	1					1
2009						1						
2010						1	1					
2011						1						
2012						1	1					1
2013	1											

se nadaljuje ...



## PRILOGA B: PREGLEDNICA POVRŠINE, VOLUMNA IN SREDNJE GLOBINE JEZERA GLEDE NA VODOSTAJ

Nadmorska višina [m.n.v]	Površina jezera [m <sup>2</sup> ]	Volumen jezera [m <sup>3</sup> ]	Srednja globina [m]
545,00	95625	224875	2,35
545,10	102500	234437,5	2,29
545,20	108125	244687,5	2,26
545,30	120000	255500	2,13
545,40	130625	267500	2,05
545,50	144375	280562,5	1,94
545,60	159375	295000	1,85
545,70	169375	310937,5	1,84
545,80	184375	327875	1,78
545,90	211875	346312,5	1,63
546,00	244375	367500	1,50
546,10	281875	391937,5	1,39
546,20	311875	420125	1,35
546,30	365000	451312,5	1,24
546,40	426250	487812,5	1,14
546,50	506250	530437,5	1,05
546,60	613125	581062,5	0,95
546,70	738750	642375	0,87
546,80	888750	716250	0,81
546,90	1070625	805125	0,75
547,00	1298125	912187,5	0,70
547,10	1557500	1042000	0,67
547,20	1897500	1197750	0,63
547,30	2292500	1387500	0,61
547,40	2760625	1616750	0,59
547,50	3311875	1892812,5	0,57
547,60	3947500	2224000	0,56
547,70	4663125	2618750	0,56
547,80	5453750	3085062,5	0,57
547,90	6320000	3630437,5	0,57
548,00	7208125	4262437,5	0,59
548,10	8171875	4983250	0,61
548,20	9135625	5799687,5	0,63
548,30	10096875	6713250	0,66
548,40	11115000	7722937,5	0,69
548,50	12123125	8834437,5	0,73
548,60	13052500	10046750	0,77
548,70	13883750	11352000	0,82
548,80	14731250	12740375	0,86
548,90	15480000	14213500	0,92
549,00	16186250	15761500	0,97
549,10	16880000	17380125	1,03
549,20	17421875	19068125	1,09
549,30	17947500	20810312,5	1,16
549,40	18457500	22605062,5	1,22
549,50	18938750	24450812,5	1,29
549,60	19346875	26344687,5	1,36
549,70	19738750	28279375	1,43
549,80	20076875	30253250	1,51
549,90	20420937,5	32277906,3	1,58
550,00	20765000	34302562,5	1,65

Nadmorska višina [m.n.v]	Površina jezera [m <sup>2</sup> ]	Volumen jezera [m <sup>3</sup> ]	Srednja globina [m]
550,10	21048750	36379062,5	1,73
550,20	21359375	38483937,5	1,80
550,30	21628125	40619875	1,88
550,40	21886250	42782687,5	1,95
550,50	22150000	44971312,5	2,03
550,60	22408125	47186312,5	2,11
550,70	22695000	49427125	2,18
550,80	22973125	51696625	2,25
550,90	23245000	53993937,5	2,32
551,00	23489375	56318437,5	2,40
551,10	23760000	58667375	2,47
551,20	24038750	61043375	2,54
551,30	24285625	63447250	2,61
551,40	24534375	65875812,5	2,69
551,50	24765000	68329250	2,76
551,60	24995000	70805750	2,83
551,70	25215625	73305250	2,91
551,80	25417500	75826812,5	2,98
551,90	25656875	78368562,5	3,05
552,00	25855625	80934250	3,13
552,10	26076250	83519812,5	3,20
552,20	26270000	86127437,5	3,28
552,30	26458125	88754437,5	3,35
552,40	26642500	91400250	3,43
552,50	26825000	94064500	3,51
552,60	27000000	96747000	3,58
552,70	27172500	99447000	3,66
552,80	27338125	102164250	3,74
552,90	27514375	104898063	3,81
553,00	27684375	107649500	3,89
553,10	27836875	110417938	3,97
553,20	28020000	113201625	4,04
553,30	28187500	116003625	4,12
553,40	28355625	118822375	4,19
553,50	28512500	121657938	4,27
553,60	28658125	124509188	4,34
553,70	28831875	127375000	4,42
553,80	29010000	130258188	4,49
553,90	29173125	133159188	4,56
554,00	29340625	136076500	4,64
554,10	29513750	139010563	4,71
554,20	29666875	141961938	4,79
554,30	29826875	144928625	4,86
554,40	29986250	147911313	4,93
554,50	30149375	150909938	5,01
554,60	30295625	153924875	5,08
554,70	30438750	156954438	5,16
554,80	30571250	159998313	5,23
554,90	30693125	163055438	5,31
555,00	30825625	166124750	5,39



**PRILOGA C: LETNE STATISTIČNE VREDNOSTI PRETOKA REKE RAK V OBDOBJU IZVAJANJA MERITEV**

<b>Značilne merjene vrednosti pretoka reke Rak pri Slivicah [m<sup>3</sup>/s]</b>			
<b>Leto</b>	<b>Minimum</b>	<b>Povprečje</b>	<b>Maximum</b>
1962	0,00	12,84	53,70
1963	0,12	11,41	45,50
1964	0,04	9,39	54,70
1965	0,55	18,22	72,10
1966	0,35	11,30	53,50
1967	0,00	7,55	50,60
1968	0,00	12,65	54,40
1969	0,00	13,61	50,90
1970	0,00	13,84	54,10
1971	ni meritev		
1972	0,13	12,04	36,20
1973	ni meritev		
1974	0,08	12,24	45,00
1975	0,05	9,45	45,30
Večletno povprečje:		12,05	

---

**PRILOGA D: PREDLAGANE VHODNE KOLIČINE ZA DETRIT V PRIMERU NERAZPOLOŽLJIVOSTI PODATKOV (Park in sod. 2014: str 144)**

<b>Tip vodnega telesa</b>	<b>Partikularni detrit [%]</b>	<b>Refraktorni detrit [%]</b>	<b>Organska snov [mg/l]</b>
Oligotrofna jezera	10	90	4
Evtrofna jezera	15	86	24
Gozdni potoki	20	60	5
Reke	30	60	14
Kanalizacija	5	95	26

**PRILOGA E: MESEČNO POVPREČJE DNEVNIH VREDNOSTI SONČNEGA OBSEVANJA  
V NOVEM MESTU (ARSO)**

Datum	Sončno sevanje [Ly/d]
15.1.2000	128,47
15.2.2000	225,35
15.3.2000	289,15
15.4.2000	361,80
15.5.2000	499,72
15.6.2000	579,96
15.7.2000	502,85
15.8.2000	500,30
15.9.2000	342,62
15.10.2000	150,94
15.11.2000	98,99
15.12.2000	70,27
15.1.2001	63,92
15.2.2001	183,70
15.3.2001	216,94
15.4.2001	354,43
15.5.2001	482,52
15.6.2001	512,93
15.7.2001	504,60
15.8.2001	471,09
15.9.2001	242,69
15.10.2001	236,36
15.11.2001	124,21
15.12.2001	90,61

Datum	Sončno sevanje [Ly/d]
15.1.2002	120,68
15.2.2002	156,64
15.3.2002	308,10
15.4.2002	290,22
15.5.2002	464,87
15.6.2002	557,22
15.7.2002	504,90
15.8.2002	403,42
15.9.2002	283,57
15.10.2002	179,07
15.11.2002	102,86
15.12.2002	44,14
15.1.2003	104,31
15.2.2003	218,35
15.3.2003	320,42
15.4.2003	377,97
15.5.2003	510,81
15.6.2003	552,75
15.7.2003	526,99
15.8.2003	479,30
15.9.2003	343,66
15.10.2003	186,79
15.11.2003	101,91
15.12.2003	93,02

Datum	Sončno sevanje [Ly/d]
15.1.2004	107,08
15.2.2004	168,47
15.3.2004	251,29
15.4.2004	268,84
15.5.2004	467,42
15.6.2004	449,03
15.7.2004	498,44
15.8.2004	446,92
15.9.2004	297,65
15.10.2004	164,18
15.11.2004	93,71
15.12.2004	63,06

**PRILOGA F: PRIMERJAVA KONCENTRACIJ HRANIL NA IZVORU IN PONORU REKE RAK (ARSO)**

Merilno mesto na reki Rak	Datum	Ura	Amonij mg NH <sub>4</sub> /l	Nitrati mg NO <sub>3</sub> /l	TP mg PO <sub>4</sub> /l	Učinek čiščenja		
						Amonij	Nitrati	TP
Mali nar. most (Zelske jame)	18.2.1998	11:25	0,05	6,2	0,128			
Vel. nar. most (Rakov Škocjan)	18.2.1998	12:40	0,05	4,2	0,043	0,00	0,32	0,66
Mali nar. most (Zelske jame)	29.6.1998	18:25	0,02	6,9	0,195			
Vel. nar. most (Rakov Škocjan)	29.6.1998	19:00	0,02	3,3	0,03	0,00	0,52	0,85
Mali nar. most (Zelske jame)	13.8.1998	15:30	0,02	5,8	0,284			
Vel. nar. most (Rakov Škocjan)	13.8.1998	16:20	0,04	0,4	0,065	-1,00	0,93	0,77
Mali nar. most (Zelske jame)	16.12.1998	15:20	0,02	5,6	0,117			
Vel. nar. most (Rakov Škocjan)	16.12.1998	16:30	0,02	2,8	0,03	0,00	0,50	0,74
Mali nar. most (Zelske jame)	5.5.1999	17:00	0,03	2,6	0,083			
Vel. nar. most (Rakov Škocjan)	5.5.1999	17:50	0,02	3	0,044	0,33	-0,15	0,47
Mali nar. most (Zelske jame)	22.6.1999	17:35	0,02	4,4	0,131			
Vel. nar. most (Rakov Škocjan)	22.6.1999	18:30	0,02	2,7	0,051	0,00	0,39	0,61
Mali nar. most (Zelske jame)	18.8.1999	16:45	0,02	4,9	0,169			
Vel. nar. most (Rakov Škocjan)	18.8.1999	17:45	0,1	1,4	0,03	-4,00	0,71	0,82
Mali nar. most (Zelske jame)	7.12.1999	10:50	0,02	3,8	0,083			
Vel. nar. most (Rakov Škocjan)	7.12.1999	9:40	0,02	4,4	0,036	0,00	-0,16	0,57
Mali nar. most (Zelske jame)	14.3.2000	15:10	0,02	4,49	0,126			
Vel. nar. most (Rakov Škocjan)	14.3.2000	16:10	0,02	3,83	0,047	0,00	0,15	0,63
Mali nar. most (Zelske jame)	20.6.2000	16:40	0,02	5,17	0,183			
Vel. nar. most (Rakov Škocjan)	20.6.2000	17:30	0,02	2,97	0,079	0,00	0,43	0,57
Mali nar. most (Zelske jame)	27.9.2000	17:10	0,02	12,46	0,428			
Vel. nar. most (Rakov Škocjan)	27.9.2000	18:20	0,02	4,53	0,034	0,00	0,64	0,92
Mali nar. most (Zelske jame)	2.4.2002	16:15	0,02	4,32	0,029			
Vel. nar. most (Rakov Škocjan)	2.4.2002	17:00	0,02	5,08	0,198	0,00	-0,18	-5,83
Mali nar. most (Zelske jame)	3.7.2002	9:15	0,02	5,41	0,387			
Vel. nar. most (Rakov Škocjan)	3.7.2002	8:30	0,94	1,89	0,105	-46,00	0,65	0,73
Mali nar. most (Zelske jame)	18.9.2002	9:00	0,02	4,89	0,241			
Vel. nar. most (Rakov Škocjan)	18.9.2002	9:40	0,02	0,93	0,026	0,00	0,81	0,89
Mali nar. most (Zelske jame)	5.12.2002	9:50	0,02	2,49	0,056			
Vel. nar. most (Rakov Škocjan)	5.12.2002	9:00	0,02	2,53	0,021	0,00	-0,02	0,63
Mali nar. most (Zelske jame)	19.3.2003	10:30	0,02	3,27	0,079			
Vel. nar. most (Rakov Škocjan)	19.3.2003	9:00	0,02	3,2	0,024	0,00	0,02	0,70
Mali nar. most (Zelske jame)	15.10.2003	9:30	0,02	7,36	0,374			
Vel. nar. most (Rakov Škocjan)	15.10.2003	8:50	0,02	3,01	0,041	0,00	0,59	0,89
Mali nar. most (Zelske jame)	10.12.2003	13:10	0,02	3,71	0,071			
Vel. nar. most (Rakov Škocjan)	10.12.2003	14:10	0,02	3,7	0,028	0,00	0,00	0,61
Mali nar. most (Zelske jame)	18.5.2004	9:30	0,01	2,032	0,032			
Vel. nar. most (Rakov Škocjan)	18.5.2004	8:45	0,011	2,388	0,019	-0,10	-0,18	0,41
Mali nar. most (Zelske jame)	2.8.2004	10:35	0,007	4,984	0,178			
Vel. nar. most (Rakov Škocjan)	2.8.2004	9:30	0,011	1,522	0,039	-0,57	0,69	0,78
Mali nar. most (Zelske jame)	23.9.2004	10:30	0,009		0,173			
Vel. nar. most (Rakov Škocjan)	23.9.2004	9:10	0,053		0,043	-4,89		0,75
Mali nar. most (Zelske jame)	18.11.2004	9:50	0,01	2,071	0,031			
Vel. nar. most (Rakov Škocjan)	18.11.2004	9:00	0,015	2,256	0,025	-0,50	-0,09	0,19
Mali nar. most (Zelske jame)	3.5.2005	9:40	0,01	2,532	0,054			
Vel. nar. most (Rakov Škocjan)	3.5.2005	8:45	0,01	3,106	0,018	0,00	-0,23	0,67
Mali nar. most (Zelske jame)	8.11.2005	10:25	0,007	5,748	0,303			
Vel. nar. most (Rakov Škocjan)	8.11.2005	9:15	0,007	2,506	0,046	0,00	0,56	0,85
<b>Povprečni učinek čiščenja</b>						<b>236,36%</b>	<b>30,11%</b>	<b>41,11%</b>

**PRILOGA G: KAKOVOSTNE ANALIZE VODA NA MERILNIH POSTAJAH V CERKNIŠKEM JEZERU (ARSO)**

Merilno mesto	Datum	T °C	pH -	O <sub>2</sub> mg O <sub>2</sub> /l	TSS mg/l	KPK mg O <sub>2</sub> /l	BPK <sub>5</sub> mg O <sub>2</sub> /l	TOC mg C/l	TN mg N/l	Amonij mg NH <sub>4</sub> /l	Nitriti mg NO <sub>2</sub> /l	Nitrati mg NO <sub>3</sub> /l	TP mg PO <sub>4</sub> /l
Karlovica	14.3.2000	5,8	8,1	9,3	4,7	3,4	1,7			0,9	0,021	2,73	0,35
Karlovica	20.6.2000	16,7	7,7	7,2	3,4	3,9	2,3	2,4	2,1	0,07	0,296	6,66	0,61
Karlovica	27.9.2000	12,6	7,4	5,4	5	5,2	7,2	1,1	0,7	1,55	0,277	6,78	0,993
Karlovica	2.4.2002	6,9	8	8,1	7,8	3,1	6			3,01	0,2	3,83	1,236
Karlovica	4.7.2002	18,6	7,8	3	2,5	2,9	5,6			0,25	0,8	4,02	0,825
Karlovica	18.9.2002	13,5	8,5	12,9	3,5	3,4	1,6	2,8	1,2	0,02	0,03	4,18	0,62
Karlovica	5.12.2002	6,8	8,2	11,1	6	4,3	<1	4,1	0,8	0,1	0,018	2	0,075
Karlovica	9.12.2003	0	8,4	12,8	2,9	2,6	2,1			1,04	0,008	2,76	0,404
Karlovica	4.5.2005	12,7	8,2	8	2,1	1,9	1,6	1,3	0,8	0,291	0,015	2,184	0,163
Karlovica	10.11.2005	7	7,9	9,1	1	1,7	2,2	2,1	0,9	0,284	0,066	2,789	0,249
Rešeto	15.3.2000	9,3	7,9	10,9	3,5	2,5	1,6			0,02	0,008	2,81	<0,03
Rešeto	20.6.2000	23,7	7,8	6,2	11,4	7,4	3,2	5,7	0,8	0,05	0,02	0,03	0,093
Rešeto	27.9.2000	14,3	7,7	6,5	18,8	9,4	3,5	<0,2		0,07	0,012	2	0,105
Rešeto	4.7.2002	22,7	8	8,3	4,6	4,3	1,6	3,9	0,2	<0,02	<0,005	0,02	0,02
Rešeto	18.9.2002	17,2	8,1	8,9	3,6	4,6	<1	4,1	0,3	<0,02	<0,005	0,15	0,022
Rešeto	9.12.2003	2,2	8,2	12	1,4	3,6	1,5			<0,02	0,011	3,41	<0,014
Vodonos	15.3.2000	9,5	7,9	10,8	9,1	3,1	1,2			0,03	0,009	2,22	0,034
Vodonos	4.7.2002	21,9	8,2	10,3	2,1	3,8	1,6	3,4	0,4	0,02	0,009	0,69	0,03
Vodonos	18.9.2002	16,3	8	9,8	2,1	5,7	1	4,8	0,3	0,03	<0,005	0,16	0,023
Vodonos	15.10.2002	11,4	7,8	7,9	2,3	5,1	1,3	5,1	0,4	<0,02	0,007	0,13	0,03
Vodonos	9.12.2003	1,9	8,1	12,2	36,6	5	2,9			<0,02	0,013	3,58	0,027
Zadnji kraj	15.3.2000	8,9	7,7	9,1	2,1	3,5	1,1	0,9	1,1	<0,02	0,008	3,58	<0,03
Zadnji kraj	4.7.2002	21,3	7,8	7,4	2,7	4,6	1,4	4,7	0,5	0,02	0,008	0,66	0,023
Zadnji kraj	18.9.2002	15,3	7,7	8	2,1	6,1	1,2	4,9	0,4	<0,02	<0,005	0,39	<0,02
Zadnji kraj	9.12.2003	1,9	7,9	11	5,5	3,2	1			<0,02	0,014	5,18	0,016
Zadnji kraj	18.11.2004	5,2	7,8	10,6	5,8	3,7	1,8			0,008	0,013	2,694	0,019
Dolenje jezero	15.3.2000	8,3	7,7	9,7	4,4	2,4	1			<0,02	0,006	3,16	<0,03
Dolenje jezero	20.6.2000	18,7	7,7	8,2	8,9	3,1	1,2	2,3	0,9	0,05	0,036	2,99	0,07
Dolenje jezero	9.8.2000	19,9	7,6	8,1	8,7	3,2	1,1	3,6	0,9	0,06	0,033	2	0,071
Dolenje jezero	27.9.2000	13,9	8	11	14,3	3,6	1,4	3,8	0,8	0,05	0,026	2,08	0,063
Dolenje jezero	2.11.2000	11,2	7,2	6,5	2,2	3,7	1,2			<0,02	0,007	1,71	<0,03
Dolenje jezero	20.12.2000	4,4	8	10,4	3,6	2,3	<1			<0,02	0,008	1,32	0,037
Dolenje jezero	15.2.2001	5,4	7,9	11,6	2,6	2,2	1,7	3,1	0,6	<0,02	0,024	2,08	<0,02
Dolenje jezero	23.5.2001	13,8	7,3	8,1	4,3	3,1	1	2,3	0,6	0,03	0,012	1,83	0,053
Dolenje jezero	21.6.2001	15,6	7,6	7,8	2,6	2,2	1,1	2,5	0,4	<0,02	0,006	1,18	<0,02
Dolenje jezero	10.7.2001	17,8	7,1	5,9	17,7	3,5	2,3	4,1	1	0,14	0,065	2,47	0,078
Dolenje jezero	3.10.2001	14,7	7,9	6,4	2,5	5,9				<0,02	0,014	1,89	0,048
Dolenje jezero	28.11.2001	5,3	7,9	8,9	<1	1,9	<1	4,9	0,8	0,03	0,006	2,71	<0,02
Dolenje jezero	15.1.2002	0,1	8,1	12,8	60,9	3,4	2		1,4	0,1	0,026	3,57	0,057
Dolenje jezero	3.4.2002	10,1	8,3	10,6	7,7	2,3	2,2			0,13	0,028	2,76	0,077
Dolenje jezero	3.7.2002	19,9	7,8	7,9	3,6	4,4	2			0,03	0,01	0,93	0,035
Dolenje jezero	17.9.2002	13,7	7,8	8,7	2,6	5,5	1,6		0,3	<0,02	<0,005	0,33	<0,02
Dolenje jezero	15.10.2002	11,2	7,7	7,1	1,8	5	1,2	4,7	0,3	<0,02	0,007	0,17	<0,02
Dolenje jezero	4.12.2002	5,6	8,1	10	4,6	2,5	<1	2,2	0,6	<0,02	0,01	2,06	<0,02
Dolenje jezero	19.3.2003	7,3	8,3	11,2	2,2	2,1	2,1			<0,02	0,005	2,47	<0,014
Dolenje jezero	28.5.2003	19,3	7,8	11,4	4,4	2,5	2,2		0,9	0,08	0,036	2,63	0,057
Dolenje jezero	15.10.2003	9,3	8	11,4	5,1	3,4	1,1			0,07	0,017	2,28	0,055
Dolenje jezero	9.12.2003	0,2	8,3	13,9	3,8	3,5	2,3			<0,02	0,01	3,56	<0,014
Dolenje jezero	22.3.2004	6	7,8	7,9									
Dolenje jezero	19.5.2004	17,3	7,9	8,8	1,9	2,4	1,7			0,026	0,008	2,113	0,02
Dolenje jezero	29.7.2004	19,7	7,4	5,6	<1	5,8	1,8			0,019	0,011	3,75	0,02
Dolenje jezero	15.9.2004	12,5	7,6	8									
Dolenje jezero	22.9.2004	15	7,5	3,8	14,7	7,9	1,3			0,2	0,052	1,325	0,138
Dolenje jezero	11.11.2004	5,8	8	8,4									
Dolenje jezero	17.11.2004	2,2	8,1	12,2	1,1	3,4	1			<0,006	0,007	1,792	0,014

**PRILOGA H: KAKOVOSTNE ANALIZE VODA NA PRITOKIH V CERKNIŠKO JEZERO (ARSO)**

<b>Pritok</b>	<b>Datum</b>	<b>T</b> °C	<b>pH</b> -	<b>O<sub>2</sub></b> mg O <sub>2</sub> /l	<b>TSS</b> mg/l	<b>KPK</b> mg O <sub>2</sub> /l	<b>BPK<sub>5</sub></b> mg O <sub>2</sub> /l	<b>TOC</b> mg C/l	<b>TN</b> mg N/l	<b>Amonij</b> mg NH <sub>4</sub> /l	<b>Nitriti</b> mg NO <sub>2</sub> /l	<b>Nitrati</b> mg NO <sub>3</sub> /l	<b>TP</b> mg PO <sub>4</sub> /l
Cerkniščica	15.3.2000	6,5	8,1	11,5	2,5	2,2	2			0,87	0,008	2,36	0,29
Cerkniščica	20.6.2000	16,3	7,7	4,2	4	2,7	3,7	2	2,3	1,5	0,205	3,13	0,624
Cerkniščica	9.8.2000	17,1	8	8,6	2,2	4,4	2,2	5,1	2,5	1,08	0,267	3,65	3,04
Cerkniščica	27.9.2000	12,8	7,6	3,5	2,5	4,5	3,8			7,1	0,142	1,29	2,258
Cerkniščica	2.11.2000	10,1	7,9	10,8	2,8	4,7	2,3			0,67	0,02	1,94	0,23
Cerkniščica	20.12.2000	3,1	8,3	12,9	2,1	1,5	<1			0,49	0,008	5,73	0,094
Cerkniščica	15.2.2001	3,7	8,1	13,4	2	1,8	2,4	3,1	0,8	0,28	0,017	2,64	0,089
Cerkniščica	23.5.2001	11,7	8,1	8,5	2,2	3,2	1,2	2,4	1	0,44	0,039	1,97	0,195
Cerkniščica	21.6.2001	13,7	8,1	8,3	1,7	2,8	4,3	3	1,5	0,96	0,062	1,98	0,619
Cerkniščica	10.7.2001	17,3	7,7	2,6	2,6	3,1	9	3,3	3	2,36	0,484	2,29	0,808
Cerkniščica	3.10.2001	12,7	8,3	9,5	1,6	3,2				0,11	0,104	1,92	0,134
Cerkniščica	28.11.2001	5,1	8,3	11,9	1,7	2,3	1,3	3,1	0,9	0,49	0,008	2,26	0,183
Cerkniščica	15.1.2002	0,2	8,4	13	<1	2	1,6		3,2	0,93	0,01	2,69	1,215
Cerkniščica	3.4.2002	8,1	8,1	8,8	2,9	2,3	3,8			2,08	0,044	2,02	0,69
Cerkniščica	3.7.2002	17,8	8	4,8	6,4	2,6	4,2			1,03	0,4	2,61	0,643
Cerkniščica	18.9.2002	11,8	8	5,5	2,8	3,5	3,4	2,4	1,2	0,93	0,124	1,99	0,581
Cerkniščica	15.10.2002	9,7	8,3	10,4	2,1	3	2,5	2,7	0,9	0,37	0,014	1,96	0,137
Cerkniščica	4.12.2002	5,7	8,4	11,6	3,8	3,1	2,6	2,5	1,1	0,44	0,01	2,55	0,205
Cerkniščica	19.3.2003	3,9	8,5	13,8	2,2	1,8	2,3		0,6	0,07	0,007	2,52	0,06
Cerkniščica	28.5.2003	17,3	8,4	10,8	2,7	2,9	3		1,2	0,55	0,142	2,78	0,267
Cerkniščica	14.10.2003	11,1	7,8	8,6	21,8	10	5,9			0,89	0,198	0,66	2,37
Cerkniščica	9.12.2003	0,1	8,5	13,7	1,6	2,3	2,2			0,79	0,008	2,69	0,274
Cerkniščica	22.3.2004	6,1	8,2	8,7									
Cerkniščica	19.5.2004	10,3	8,3	11,6	2,2	1,8	1,3			0,239	0,004	2,328	0,102
Cerkniščica	20.5.2004	12,9	7,9	8									
Cerkniščica	29.7.2004	14,3	8,2	8,7	1,8	2,8	2,4			0,863	0,257	3,076	0,389
Cerkniščica	15.9.2004	12	8,2	8,1									
Cerkniščica	22.9.2004	14,3	7,5	3,8	1,4	4,9	16,6			2,222	0,181	10,06	2,247
Cerkniščica	11.11.2004	5	8,4	10									
Cerkniščica	17.11.2004	4,3	8,3	12,9	1,8	2,2	1,5			0,258	0,004	2,393	0,07
Jezerški Obrh	14.3.2000	7,9	7,6	11,2	2,7	1,1	1,1			<0,02	<0,005	4,45	0,038
Jezerški Obrh	20.6.2000	21,9	7,9	15	7	2,4	3,5			0,05	0,022	1,7	0,077
Jezerški Obrh	27.9.2000	17,2	7,5	14,2	6,8	1,7	2,2	2,1	0,6	0,03	0,018	1,36	0,047
Jezerški Obrh	20.12.2000	4,9	7,9	11,4	2	1,3	1,1			<0,02	0,005	2,99	<0,03
Jezerški Obrh	2.4.2002	8,7	7,9	10,3	2,7	<0,8	<1			<0,02	<0,005	3,69	0,034
Jezerški Obrh	4.7.2002	16,3	7,8	9	1,9	1,4	1,2			0,03	0,009	3,12	0,042
Jezerški Obrh	18.9.2002	13,1	8	11,9	2,7	2,1	1,5	2	0,4	0,02	<0,005	2,49	0,028
Jezerški Obrh	5.12.2002	6,8	8	8,9	1,6	2	<1			<0,02	0,009	2,74	0,026
Jezerški Obrh	19.3.2003	6,8	8	10,8	3,6	1,4	1,7			<0,02	<0,005	3,74	0,04
Jezerški Obrh	15.10.2003	9,3	8	12,8	1,8	1,6	1			<0,02	0,011	4,56	0,035
Jezerški Obrh	10.12.2003	6,5	7,8	11,2	1,9	1,5	<1			<0,02	<0,005	4,46	0,028
Jezerški Obrh	18.5.2004	9,2	7,8	12,8	2,1	1,4	1,7			0,013	0,004	2,864	0,017
Jezerški Obrh	2.8.2004	18,2	7,6	11,8	2,5	2,7	2,8			0,079	0,012	2,148	0,053
Jezerški Obrh	23.9.2004	15,9	7,4	8	1,6	4,2	2,6			0,078	0,016		0,058
Jezerški Obrh	18.11.2004	7,1	7,7	9,9	<0,8	3,4	1,1			0,006	0,007	2,502	0,02
Lipsenjščica	14.3.2000	6,6	7,9	12,4	3,6	1,5	1,1			<0,02	<0,005	3,29	<0,03
Lipsenjščica	20.6.2000	12,8	7,3	7,4	2,9	2,4	<1	2,1	1,1	0,05	0,015	3,86	0,107
Lipsenjščica	27.9.2000	11,1	7,3	7,9	2	2,6	1,1	2,4	1,3	<0,02	0,014	4,72	0,065
Lipsenjščica	2.4.2002	7,7	8,1	11,3	<1	1	1,4			<0,02	<0,005	2,86	0,029
Lipsenjščica	4.7.2002	13,2	7,8	8,8	1,8	2,1	<1			0,02	0,005	3,46	0,058
Lipsenjščica	18.9.2002	11,5	8	9,9	2,1	2,1	<1	1,9	0,9	<0,02	<0,005	3,47	0,043
Lipsenjščica	5.12.2002	8,6	7,9	11,2	5,8	1,9	1			<0,02	0,006	3,24	0,035
Lipsenjščica	19.3.2003	6,8	8,3	11,9	3	1,5	1,8			<0,02	<0,005	3,23	0,021

se nadaljuje...

... nadaljevanje preglednice v prilogi H

<b>Pritok</b>	<b>Datum</b>	<b>T</b> °C	<b>pH</b> -	<b>O<sub>2</sub></b> mg O <sub>2</sub> /l	<b>TSS</b> mg/l	<b>KPK</b> mg O <sub>2</sub> /l	<b>BPK<sub>5</sub></b> mg O <sub>2</sub> /l	<b>TOC</b> mg C/l	<b>TN</b> mg N/l	<b>Amonij</b> mg NH <sub>4</sub> /l	<b>Nitriti</b> mg NO <sub>2</sub> /l	<b>Nitrati</b> mg NO <sub>3</sub> /l	<b>TP</b> mg PO <sub>4</sub> /l
Lipsenjščica	28.5.2003	12,1	7,8	8,9	4,4	1,8	1,2		1,5	0,05	0,013	5,54	0,1
Lipsenjščica	15.10.2003	8,9	7,6	9,7	1,8	4,5	<1			<0,02	0,008	3,25	0,063
Lipsenjščica	10.12.2003	6,3	7,9	11,3	4,6	2,4	<1			<0,02	<0,005	4,43	0,046
Lipsenjščica	18.5.2004	9	8	11,7	1,8	2,1	<1			0,016	0,004	3,315	0,02
Lipsenjščica	2.8.2004	13,3	7,7	9,6	<1	1,7	1,5			0,018	0,005	3,887	0,06
Lipsenjščica	23.9.2004	11,8	7,3	8,1	1,7	4,4	1,4			0,028	0,011		0,085
Lipsenjščica	18.11.2004	7,9	7,8	11,5	<0,8	3,4	<1			0,015	0,004	3,094	0,03
Lipsenjščica	3.5.2005	9,8	8	11,9	<0,8	0,8	1,5	0,9	0,9	0,007	0,005	3,508	0,017
Lipsenjščica	8.11.2005	10	7,7	10,7	0,7	1,1	1,7			0,008	0,002	4,121	0,049
Martinjščica	14.3.2000	9,8	8,1	10,9	3,9	2,8	1,3			0,09	0,018	4,39	0,104
Martinjščica	20.6.2000	13,2	7,9	9	4,5	2,1	1,5	1,9	1,6	0,07	0,037	5,88	0,124
Martinjščica	27.9.2000	11,8	7,5	4,2	2,9	5,1	1,9	5,2	3	0,08	0,173	11	1,02
Martinjščica	2.4.2002	6,7	8	10,5	1,5	1,4	1,9			0,03	0,026	5,38	0,178
Martinjščica	4.7.2002	14,8	8,1	9,2	1,9	2,1	1,3			<0,02	0,04	8,99	0,627
Martinjščica	18.9.2002	11,3	8	7,6	3,2	2,7	2,1	2,5	2,3	0,37	0,32	8,99	0,772
Martinjščica	5.12.2002	8,5	8,2	11,3	3	2	<1	2,8	1,8	0,04	<0,005	5,41	0,033
Martinjščica	19.3.2003	8,4	8,5	11,7	3,2	1,9	2,6			1,18	0,03	6,49	0,309
Martinjščica	28.5.2003	13,8	7,9	6,2	4,3	3	2,2		2,4	0,18	0,22	9,12	0,608
Martinjščica	15.10.2003	7,2	7,9	5	16,2	7,1	2,9			9,59	0,506	4,52	2,325
Martinjščica	10.12.2003	6,7	8,2	11,3	1,2	3,4	1,4			0,46	0,015	8,02	0,226
Martinjščica	18.5.2004	9,4	8,3	12,4	1,3	1,7	1,6			0,088	0,008	5,915	0,167
Martinjščica	2.8.2004	13,1	7,8	5,3	1,5	3,2				1,244	0,469	7,78	0,763
Martinjščica	23.9.2004	11	7,6	6,3	<0,8	2,9	1,8			0,338	0,553		0,99
Martinjščica	18.11.2004	8,7	8,1	12,3	<0,8	2,6	1,5			0,118	0,011	2,216	0,075
Žerovniščica	14.3.2000	7,6	8,2	14,5	4,2	1,6	2,3			<0,02	0,009	3,53	0,072
Žerovniščica	20.6.2000	13	8,1	10,2	2,5	1,9	1	1,3	1,2	<0,02	0,036	4,72	0,114
Žerovniščica	27.9.2000	10,4	8	10,3	7,8	2,9	1,1	3	1,1	<0,02	0,018	3,88	0,081
Žerovniščica	2.4.2002	7,6	8,3	13,2	1,4	0,8	2			<0,02	0,018	3,69	0,068
Žerovniščica	4.7.2002	12,7	8,1	11,5	2,7	1,8	1,8			0,2	0,019	3,22	0,107
Žerovniščica	18.9.2002	12,1	8,2	12,1	2,8	1,9	2,3	1,5	1,1	0,35	0,006	3,54	0,114
Žerovniščica	5.12.2002	9,2	7,9	11,1	1,8	1,6	<1	2	1,2	<0,02	<0,005	3,32	0,028
Žerovniščica	19.3.2003	8,6	8,5	13,7	1,9	1,5	2,3			0,05	0,01	3,91	0,047
Žerovniščica	28.5.2003	12,2	8,2	10,6	4,8	1,9	1,8		1,1	0,09	0,016	4,61	0,127
Žerovniščica	15.10.2003	9,1	7,9	12,8	3	4,2	1,6			0,25	0,009	2,8	0,113
Žerovniščica	10.12.2003	5,9	8,1	11,1	2,1	1,5	<1			0,08	0,009	5,15	0,09
Žerovniščica	18.5.2004	10	8,2	12,4	3,3	1,4	1,1			0,044	0,008	4,434	0,04
Žerovniščica	2.8.2004	12,3	8	9,9	1	1,9	2,3			0,035	0,01	4,054	0,107
Žerovniščica	23.9.2004	10,8	7,9	9,7	1,5	2,5	<1			0,022	0,023		0,111
Žerovniščica	18.11.2004	9,5	7,9	12	<0,8	2,4	1,4			0,078	0,005	3,651	0,051

## PRILOGA I: VZOREC PREGLEDNICE V EXCELU ZA IZRAČUN SIMULIRANEGA DOTOKA

Datum	Pretok Cerknjšica $Q_C$ [m <sup>3</sup> /s]	5-dnevno povpr. pretoka Cerknjšice $Q_{C,5}$ [m <sup>3</sup> /s]	Referenčni dotok enačba (7) $Q_{Ref}$ [m <sup>3</sup> /s]	Srednji letni dotok pregled. 4 $Q_{sr,l}$ [m <sup>3</sup> /s]	Faktor dotoka enačba (8) $f_{d,l}$ [-]	Simulirani dotok enačba (9) $Q_{sim} = Q_{Ref} \cdot f_{d,l} - Q_C$ [m <sup>3</sup> /s]	Vodostaj $h_j$ [m.n.v.]	Volumen jezera pregled. 3 $V_j = f(h_j)$ [m <sup>3</sup> ]	Simulirani odtok $Q_{odt} = f(Q_{sim}, V_j)$ [m <sup>3</sup> /s]	Simulirani dotok korigirani $Q_{sim, kor} = IF(Q_{odt} > 1; Q_{sim}; Q_{sim} + ABS(Q_{odt}) + 1)$ [m <sup>3</sup> /s]	Simulirani odtok korigirani $Q_{odt, kor} = f(Q_{sim, kor}, V_j)$ [m <sup>3</sup> /s]
27.1.2000	0,14	0,15	1,33	15,73	2,91	3,72	547,21	1216725	11,22	3,72	11,22
28.1.2000	0,14	0,14	1,31	15,73	2,91	3,67	547,09	1029019	5,89	3,67	5,89
29.1.2000	0,14	0,14	1,31	15,73	2,91	3,67	546,95	858656	5,64	3,67	5,64
30.1.2000	0,14	0,19	1,41	15,73	2,91	3,92	546,88	787350	4,50	3,92	4,50
31.1.2000	0,18	0,35	1,83	15,73	2,91	4,98	546,97	880069	2,85	4,98	2,85
1.2.2000	0,35	0,47	2,17	15,73	2,91	5,86	547,11	1057575	2,93	5,86	2,93
2.2.2000	0,97	0,55	2,42	15,73	2,91	6,48	547,35	1502125	0,71	8,92	0,71
3.2.2000	0,74	0,61	2,58	15,73	2,91	6,92	547,60	2224000	-1,87	6,92	0,56
4.2.2000	0,54	0,63	2,64	15,73	2,91	7,07	547,72	2712013	1,27	7,07	1,27
5.2.2000	0,44	0,50	2,26	15,73	2,91	6,08	547,73	2758644	6,53	6,08	6,53
6.2.2000	0,44	0,42	2,03	15,73	2,91	5,49	547,70	2618750	7,69	5,49	7,69
7.2.2000	0,35	0,41	1,98	15,73	2,91	5,35	547,66	2460850	7,32	5,35	7,32
8.2.2000	0,35	0,39	1,93	15,73	2,91	5,23	547,64	2381900	6,27	5,23	6,27
9.2.2000	0,44	0,37	1,88	15,73	2,91	5,10	547,65	2421375	4,77	6,64	4,77
10.2.2000	0,35	0,35	1,83	15,73	2,91	4,98	547,76	2898538	-0,42	4,98	1,12
11.2.2000	0,35	0,35	1,83	15,73	2,91	4,98	547,79	3038431	3,36	4,98	3,36
12.2.2000	0,27	0,32	1,74	15,73	2,91	4,74	547,78	2991800	5,52	4,74	5,52
13.2.2000	0,35	0,30	1,69	15,73	2,91	4,63	547,73	2758644	7,44	4,63	7,44
14.2.2000	0,27	0,30	1,69	15,73	2,91	4,63	547,64	2381900	8,99	4,63	8,99
15.2.2000	0,27	0,44	2,08	15,73	2,91	5,61	547,56	2091525	7,99	5,61	7,99
16.2.2000	0,35	0,48	2,18	15,73	2,91	5,88	547,48	1837600	8,55	7,03	8,55
17.2.2000	0,97	0,51	2,29	15,73	2,91	6,15	547,64	2381900	-0,41	9,49	0,73
18.2.2000	0,54	0,55	2,40	15,73	2,91	6,43	547,81	3139600	-2,61	6,43	0,72
19.2.2000	0,44	0,55	2,40	15,73	2,91	6,43	547,86	3412288	3,28	6,43	3,28



## PRILOGA J: VZORCI VHODNIH DATOTEK V EXCELU ZA UVOZ V AQUATOX

Priloga J.1: Vzorec vhodne datoteke obremenitve s fosforjem

Datum	Fosfor [g/dan]
1.1.2000	17208,28
2.1.2000	15436,51
3.1.2000	15436,51
4.1.2000	13756,37
5.1.2000	13756,37
6.1.2000	12152,61
7.1.2000	12152,61
8.1.2000	10625,22
9.1.2000	10625,22
10.1.2000	10625,22
11.1.2000	10625,22
12.1.2000	9189,47
13.1.2000	9189,47
14.1.2000	9189,47
15.1.2000	9189,47
16.1.2000	7814,82
17.1.2000	7814,82
18.1.2000	6516,54
19.1.2000	6516,54
20.1.2000	6516,54
21.1.2000	6516,54
22.1.2000	5813,94
23.1.2000	5111,34
24.1.2000	4530,93
25.1.2000	5111,34
26.1.2000	5111,34
27.1.2000	4530,93
28.1.2000	4530,93
29.1.2000	4530,93
30.1.2000	4530,93
31.1.2000	5111,34
1.2.2000	7814,82
2.2.2000	17208,28
3.2.2000	13756,37
4.2.2000	10625,22
5.2.2000	9189,47
6.2.2000	9189,47
7.2.2000	7814,82
*	*

## Priloga J.2: Vzorec vhodne datoteke obremenitve z nitrati

<b>Datum</b>	<b>Nitrati [g/dan]</b>
1.1.2000	1731365,85
2.1.2000	1523959,79
3.1.2000	1523959,79
4.1.2000	1327281,63
5.1.2000	1327281,63
6.1.2000	1139543,38
7.1.2000	1139543,38
8.1.2000	960745,05
9.1.2000	960745,05
10.1.2000	960745,05
11.1.2000	960745,05
12.1.2000	792674,62
13.1.2000	792674,62
14.1.2000	792674,62
15.1.2000	792674,62
16.1.2000	631756,12
17.1.2000	631756,12
18.1.2000	479777,54
19.1.2000	479777,54
20.1.2000	479777,54
21.1.2000	479777,54
22.1.2000	397530,31
23.1.2000	315283,08
24.1.2000	247339,71
25.1.2000	315283,08
26.1.2000	315283,08
27.1.2000	247339,71
28.1.2000	247339,71
29.1.2000	247339,71
30.1.2000	247339,71
31.1.2000	315283,08
1.2.2000	631756,12
2.2.2000	1731365,85
3.2.2000	1327281,63
4.2.2000	960745,05
5.2.2000	792674,62
6.2.2000	792674,62
7.2.2000	631756,12
*	*

Priloga J.3: Vzorec vhodne datoteke obremenitve z amonijem

<b>Datum</b>	<b>Amonij [g/dan]</b>
1.1.2000	7190,54
2.1.2000	7030,08
3.1.2000	7030,08
4.1.2000	6877,92
5.1.2000	6877,92
6.1.2000	6732,67
7.1.2000	6732,67
8.1.2000	6594,34
9.1.2000	6594,34
10.1.2000	6594,34
11.1.2000	6594,34
12.1.2000	6464,31
13.1.2000	6464,31
14.1.2000	6464,31
15.1.2000	6464,31
16.1.2000	6339,82
17.1.2000	6339,82
18.1.2000	6222,24
19.1.2000	6222,24
20.1.2000	6222,24
21.1.2000	6222,24
22.1.2000	6158,61
23.1.2000	6094,98
24.1.2000	6042,41
25.1.2000	6094,98
26.1.2000	6094,98
27.1.2000	6042,41
28.1.2000	6042,41
29.1.2000	6042,41
30.1.2000	6042,41
31.1.2000	6094,98
1.2.2000	6339,82
2.2.2000	7190,54
3.2.2000	6877,92
4.2.2000	6594,34
5.2.2000	6464,31
6.2.2000	6464,31
7.2.2000	6339,82
*	*

## Priloga J.4: Vzorec vhodne datoteke obremenitve z vetrom

Datum	Hitrost vetra [m/s]
1.1.2000	2,62
15.1.2000	2,62
15.2.2000	2,34
15.3.2000	2,4
15.4.2000	2,02
15.5.2000	1,56
15.6.2000	1,64
15.7.2000	1,56
15.8.2000	1,46
15.9.2000	1,74
15.10.2000	2,16
15.11.2000	2,6
15.12.2000	2,86
15.1.2001	2,62
15.2.2001	2,34
15.3.2001	2,4
15.4.2001	2,02
15.5.2001	1,56
15.6.2001	1,64
15.7.2001	1,56
15.8.2001	1,46
15.9.2001	1,74
15.10.2001	2,16
15.11.2001	2,6
15.12.2001	2,86
15.1.2002	2,62
15.2.2002	2,34
15.3.2002	2,4
15.4.2002	2,02
15.5.2002	1,56
15.6.2002	1,64
15.7.2002	1,56
15.8.2002	1,46
15.9.2002	1,74
15.10.2002	2,16
15.11.2002	2,6
15.12.2002	2,86
15.1.2003	2,62
*	*

Priloga J.5: Vzorec vhodne datoteke obremenitve z vetrom

Datum	TSS [mg/l]
1.1.2000	3
10.1.2000	3,1
20.1.2000	3,3
30.1.2000	8,5
10.2.2000	3,9
20.2.2000	3,9
29.2.2000	3,3
10.3.2000	3,2
20.3.2000	3,3
30.3.2000	3,3
10.4.2000	3,2
20.4.2000	3,2
30.4.2000	3,2
10.5.2000	3,3
20.5.2000	8,5
30.5.2000	8,5
10.6.2000	13
20.6.2000	13
30.6.2000	13
10.7.2000	13
20.7.2000	3,3
30.7.2000	3,9
10.8.2000	13
20.8.2000	18
30.8.2000	18
10.9.2000	18
20.9.2000	18
30.9.2000	8,5
10.10.2000	3,1
20.10.2000	3,1
30.10.2000	3,2
10.11.2000	2,9
20.11.2000	2,9
30.11.2000	2,9
10.12.2000	2,9
20.12.2000	2,9
30.12.2000	2,9
10.1.2001	2,9
*	*

Priloga J.6: Vzorec vhodne datoteke za dotok vode v jezero

<b>Datum</b>	<b>Dotok [m3/d]</b>
1.1.2000	904985
2.1.2000	823668
3.1.2000	759365
4.1.2000	709803
5.1.2000	672467
6.1.2000	628706
7.1.2000	595252
8.1.2000	571471
9.1.2000	555864
10.1.2000	526155
11.1.2000	512030
12.1.2000	506387
13.1.2000	492614
14.1.2000	466164
15.1.2000	453473
16.1.2000	437209
17.1.2000	413603
18.1.2000	398118
19.1.2000	387169
20.1.2000	370577
21.1.2000	359129
22.1.2000	347305
23.1.2000	340328
24.1.2000	332814
25.1.2000	319677
26.1.2000	315299
27.1.2000	318656
28.1.2000	314307
29.1.2000	314307
30.1.2000	339293
31.1.2000	441036
1.2.2000	743121
2.2.2000	914933
3.2.2000	834495
4.2.2000	611035
5.2.2000	523476
6.2.2000	466732
7.2.2000	461425
*	*

Priloga J.7: Vzorec vhodne datoteke za srednjo globino jezera

Datum	Srednja globina [m]
1.1.2000	1,43
2.1.2000	1,37
3.1.2000	1,33
4.1.2000	1,27
5.1.2000	1,21
6.1.2000	1,16
7.1.2000	1,11
8.1.2000	1,06
9.1.2000	1,00
10.1.2000	0,95
11.1.2000	0,91
12.1.2000	0,86
13.1.2000	0,83
14.1.2000	0,80
15.1.2000	0,76
16.1.2000	0,72
17.1.2000	0,70
18.1.2000	0,68
19.1.2000	0,66
20.1.2000	0,63
21.1.2000	0,61
22.1.2000	0,60
23.1.2000	0,58
24.1.2000	0,57
25.1.2000	0,56
26.1.2000	0,57
27.1.2000	0,63
28.1.2000	0,67
29.1.2000	0,73
30.1.2000	0,77
31.1.2000	0,72
1.2.2000	0,67
2.2.2000	0,60
3.2.2000	0,56
4.2.2000	0,56
5.2.2000	0,56
6.2.2000	0,56
7.2.2000	0,56
*	*

Priloga J.8: Vzorec vhodne datoteke za volumen jezera

<b>Datum</b>	<b>Volumen [m3]</b>
1.1.2000	28279375,00
2.1.2000	26731625,00
3.1.2000	25587137,50
4.1.2000	24081662,50
5.1.2000	22425587,50
6.1.2000	20989787,50
7.1.2000	19590781,25
8.1.2000	18224125,00
9.1.2000	16570812,50
10.1.2000	15297100,00
11.1.2000	14066187,50
12.1.2000	12887687,50
13.1.2000	11907350,00
14.1.2000	10960425,00
15.1.2000	9804287,50
16.1.2000	8723287,50
17.1.2000	7945237,50
18.1.2000	7319062,50
19.1.2000	6530537,50
20.1.2000	5891043,75
21.1.2000	5146537,50
22.1.2000	4478681,25
23.1.2000	3820037,50
24.1.2000	3194137,50
25.1.2000	2539800,00
26.1.2000	1865206,25
27.1.2000	1216725,00
28.1.2000	1029018,75
29.1.2000	858656,25
30.1.2000	787350,00
31.1.2000	880068,75
1.2.2000	1057575,00
2.2.2000	1502125,00
3.2.2000	2224000,00
4.2.2000	2712012,50
5.2.2000	2758643,75
6.2.2000	2618750,00
7.2.2000	2460850,00
*	*



## **PRILOGA K: VZORCI TABEL REZULTATOV SIMULACIJE IZVOŽENIH IZ AQUATOXA V EXCEL**

Priloga K.1: Vzorec tabele rezultatov simulacije za zadrževalni čas

<b>Date</b>	<b>Time</b>	<b>Retention Time (days)</b>
<b>1.1.2000</b>	0:00:00	99999
<b>2.1.2000</b>	0:00:00	99999
<b>3.1.2000</b>	0:00:00	92326,06663
<b>4.1.2000</b>	0:00:00	9462,327791
<b>5.1.2000</b>	0:00:00	27,69504832
<b>6.1.2000</b>	0:00:00	14,32029035
<b>7.1.2000</b>	0:00:00	12,46845179
<b>8.1.2000</b>	0:00:00	12,21696226
<b>9.1.2000</b>	0:00:00	11,60101773
<b>10.1.2000</b>	0:00:00	9,301804568
<b>11.1.2000</b>	0:00:00	9,714481765
<b>12.1.2000</b>	0:00:00	10,1778313
<b>13.1.2000</b>	0:00:00	10,24816278
<b>14.1.2000</b>	0:00:00	10,29485094
<b>15.1.2000</b>	0:00:00	9,620556729
<b>16.1.2000</b>	0:00:00	8,197764609
<b>17.1.2000</b>	0:00:00	7,476844296
<b>18.1.2000</b>	0:00:00	8,188663762
<b>19.1.2000</b>	0:00:00	8,448328255
<b>20.1.2000</b>	0:00:00	7,060824282
<b>21.1.2000</b>	0:00:00	6,872055935
<b>22.1.2000</b>	0:00:00	6,096365639
<b>23.1.2000</b>	0:00:00	5,872767078
<b>24.1.2000</b>	0:00:00	4,845364373
<b>25.1.2000</b>	0:00:00	4,431280812
<b>26.1.2000</b>	0:00:00	3,971350732
<b>27.1.2000</b>	0:00:00	3,133250019
<b>28.1.2000</b>	0:00:00	2,341915674
<b>29.1.2000</b>	0:00:00	2,29070134
<b>30.1.2000</b>	0:00:00	2,340056585
<b>31.1.2000</b>	0:00:00	2,213499362
<b>1.2.2000</b>	0:00:00	2,268317064
<b>2.2.2000</b>	0:00:00	1,685922686
<b>3.2.2000</b>	0:00:00	2,183270124
<b>4.2.2000</b>	0:00:00	2047,464848
<b>5.2.2000</b>	0:00:00	53345,84176
<b>6.2.2000</b>	0:00:00	10,05214171
<b>7.2.2000</b>	0:00:00	6,253090867
<b>*</b>	<b>*</b>	<b>*</b>

Priloga K.2: Vzorec tabele rezultatov simulacije za biotske spremenljivke

Date	Time	Peri High-Nut Diatom (g/m)	Cladophora (g/m <sup>2</sup> dry)	Fontinalis (g/m <sup>2</sup> dry)	Daphnia (mg/L dry)
1.1.2000	0:00:00	1,00E-05	1,00E-05	0,3	0,0001
2.1.2000	0:00:00	1,53E-05	1,48E-05	0,299719	7,14E-05
3.1.2000	0:00:00	1,90E-05	1,74E-05	0,2990968	5,15E-05
4.1.2000	0:00:00	1,90E-05	1,64E-05	0,2984484	4,84E-05
5.1.2000	0:00:00	1,87E-05	1,52E-05	0,297805	4,72E-05
6.1.2000	0:00:00	1,83E-05	1,40E-05	0,2971711	4,61E-05
7.1.2000	0:00:00	1,79E-05	1,29E-05	0,2965458	4,50E-05
8.1.2000	0:00:00	1,76E-05	1,19E-05	0,2959282	4,40E-05
9.1.2000	0:00:00	1,73E-05	1,11E-05	0,2953177	4,30E-05
10.1.2000	0:00:00	1,70E-05	1,03E-05	0,2947135	4,21E-05
11.1.2000	0:00:00	1,68E-05	9,63E-06	0,2941147	4,11E-05
12.1.2000	0:00:00	1,65E-05	9,03E-06	0,2935218	4,02E-05
13.1.2000	0:00:00	1,63E-05	8,52E-06	0,2929334	3,92E-05
14.1.2000	0:00:00	1,61E-05	8,04E-06	0,2921876	3,82E-05
15.1.2000	0:00:00	1,58E-05	7,60E-06	0,2913108	3,72E-05
16.1.2000	0:00:00	1,55E-05	7,23E-06	0,290434	3,62E-05
17.1.2000	0:00:00	1,53E-05	6,91E-06	0,289561	3,52E-05
18.1.2000	0:00:00	1,51E-05	6,66E-06	0,2886914	3,42E-05
19.1.2000	0:00:00	1,50E-05	6,45E-06	0,2878258	3,32E-05
20.1.2000	0:00:00	1,49E-05	6,29E-06	0,2869643	3,22E-05
21.1.2000	0:00:00	1,48E-05	6,18E-06	0,2861066	3,12E-05
22.1.2000	0:00:00	1,48E-05	6,13E-06	0,2852493	3,02E-05
23.1.2000	0:00:00	1,48E-05	6,12E-06	0,2843878	2,92E-05
24.1.2000	0:00:00	1,49E-05	6,18E-06	0,2835229	2,82E-05
25.1.2000	0:00:00	1,51E-05	6,32E-06	0,2826552	2,72E-05
26.1.2000	0:00:00	1,54E-05	6,55E-06	0,2817846	2,61E-05
27.1.2000	0:00:00	1,59E-05	6,93E-06	0,2809119	2,51E-05
28.1.2000	0:00:00	1,66E-05	7,57E-06	0,2800377	2,40E-05
29.1.2000	0:00:00	1,78E-05	8,58E-06	0,2791627	2,28E-05
30.1.2000	0:00:00	1,96E-05	1,00E-05	0,2782892	2,13E-05
31.1.2000	0:00:00	2,18E-05	1,19E-05	0,2774194	1,94E-05
1.2.2000	0:00:00	1,54E-05	9,46E-06	0,2765586	1,69E-05
2.2.2000	0:00:00	8,47E-06	5,96E-06	0,2757088	1,42E-05
3.2.2000	0:00:00	6,91E-06	7,03E-06	0,2748685	1,22E-05
4.2.2000	0:00:00	1,28E-05	1,18E-05	0,2740423	1,13E-05
5.2.2000	0:00:00	1,66E-05	1,48E-05	0,2732284	1,10E-05
6.2.2000	0:00:00	1,85E-05	1,58E-05	0,2724272	1,09E-05
*	*	*	*	*	*

se nadaljuje...

... nadaljevanje preglednice v prilogi K.2

Date	Time	Copepod (mg/L dry)	Shiner (g/m2 dry)	Carp (g/m2 dry)	Yellow Perch (g/m2 dry)
1.1.2000	0:00:00	0,0001	0,2	0,2	0,1
2.1.2000	0:00:00	7,04E-05	0,20031225	0,199923289	0,099953368
3.1.2000	0:00:00	4,90E-05	0,20070341	0,199748445	0,099845499
4.1.2000	0:00:00	4,48E-05	0,20099523	0,199564369	0,099734431
5.1.2000	0:00:00	4,26E-05	0,2013269	0,199381106	0,09962505
6.1.2000	0:00:00	4,06E-05	0,20160065	0,19920072	0,09951751
7.1.2000	0:00:00	3,87E-05	0,20226364	0,199023437	0,099411595
8.1.2000	0:00:00	3,69E-05	0,20304567	0,198849203	0,099307505
9.1.2000	0:00:00	3,53E-05	0,20384441	0,198678259	0,099205283
10.1.2000	0:00:00	3,36E-05	0,20465973	0,198510714	0,099104943
11.1.2000	0:00:00	3,21E-05	0,20548845	0,198346781	0,099006659
12.1.2000	0:00:00	3,07E-05	0,20632832	0,198186808	0,098910617
13.1.2000	0:00:00	2,93E-05	0,20717803	0,198031127	0,098817062
14.1.2000	0:00:00	2,79E-05	0,20803537	0,197879968	0,098726213
15.1.2000	0:00:00	2,66E-05	0,20889836	0,19773365	0,098638387
16.1.2000	0:00:00	2,54E-05	0,20976378	0,197592566	0,098554022
17.1.2000	0:00:00	2,42E-05	0,21062867	0,197457186	0,098473491
18.1.2000	0:00:00	2,31E-05	0,21148992	0,197327785	0,098397188
19.1.2000	0:00:00	2,20E-05	0,21234366	0,197204257	0,098325349
20.1.2000	0:00:00	2,10E-05	0,21318575	0,197086682	0,098258369
21.1.2000	0:00:00	2,00E-05	0,21401269	0,196975555	0,098196839
22.1.2000	0:00:00	1,91E-05	0,21482048	0,19687076	0,098141069
23.1.2000	0:00:00	1,82E-05	0,21560311	0,196772504	0,098091569
24.1.2000	0:00:00	1,74E-05	0,21634891	0,196682021	0,098049635
25.1.2000	0:00:00	1,66E-05	0,21704794	0,196599476	0,09801588
26.1.2000	0:00:00	1,60E-05	0,21768231	0,196525324	0,097991124
27.1.2000	0:00:00	1,54E-05	0,218218	0,196460715	0,097976574
28.1.2000	0:00:00	1,49E-05	0,21859705	0,196406399	0,097972133
29.1.2000	0:00:00	1,45E-05	0,21874576	0,196361301	0,097973395
30.1.2000	0:00:00	1,41E-05	0,21862154	0,196321889	0,09797087
31.1.2000	0:00:00	1,35E-05	0,2182155	0,196284928	0,097954956
1.2.2000	0:00:00	1,26E-05	0,21754949	0,196248947	0,097920062
2.2.2000	0:00:00	1,15E-05	0,21687268	0,196214596	0,097881534
3.2.2000	0:00:00	1,07E-05	0,21641255	0,196180939	0,097854313
4.2.2000	0:00:00	1,04E-05	0,21629916	0,196142083	0,097839235
5.2.2000	0:00:00	1,02E-05	0,21650149	0,19609199	0,097825728
6.2.2000	0:00:00	1,00E-05	0,21687767	0,196030878	0,097807517
*	*	*	*	*	*

Priloga K.3: Vzorec tabele rezultatov simulacije za koncentracije hranil v jezeru

Date	Time	NH3 & NH4+ (mg/L)	NO3 (mg/L)	Tot. Sol. P (mg/L)
1.1.2000	0:00:00	0	1,176605171	0,026396203
2.1.2000	0:00:00	0,000413736	0,852147607	0,018577224
3.1.2000	0:00:00	0,002354921	0,662173587	0,013731106
4.1.2000	0:00:00	0,00523236	0,686892418	0,013906889
5.1.2000	0:00:00	0,007933697	0,73373407	0,014582476
6.1.2000	0:00:00	0,009954815	0,779476352	0,015173641
7.1.2000	0:00:00	0,011356534	0,823780914	0,015665882
8.1.2000	0:00:00	0,012381584	0,866202663	0,016092241
9.1.2000	0:00:00	0,01319286	0,905277472	0,01645688
10.1.2000	0:00:00	0,013916176	0,942691393	0,016787442
11.1.2000	0:00:00	0,01458087	0,983866475	0,017138477
12.1.2000	0:00:00	0,015220365	1,028688474	0,017509124
13.1.2000	0:00:00	0,015869757	1,069263235	0,017833616
14.1.2000	0:00:00	0,016664893	1,106404591	0,018135553
15.1.2000	0:00:00	0,017678455	1,145875526	0,018474083
16.1.2000	0:00:00	0,018580526	1,189344348	0,018823132
17.1.2000	0:00:00	0,019346887	1,227631987	0,019101431
18.1.2000	0:00:00	0,02015362	1,263081863	0,0193619
19.1.2000	0:00:00	0,021038487	1,291525888	0,019577217
20.1.2000	0:00:00	0,022008502	1,312716291	0,019754557
21.1.2000	0:00:00	0,023092951	1,336863279	0,019987542
22.1.2000	0:00:00	0,024356352	1,365032339	0,020309697
23.1.2000	0:00:00	0,025863108	1,391190968	0,020697006
24.1.2000	0:00:00	0,02752804	1,401341611	0,021012827
25.1.2000	0:00:00	0,02951651	1,395640823	0,021307851
26.1.2000	0:00:00	0,03197803	1,395887252	0,021825795
27.1.2000	0:00:00	0,03504949	1,415807541	0,022745748
28.1.2000	0:00:00	0,039107235	1,429217552	0,024003222
29.1.2000	0:00:00	0,044668115	1,427283792	0,025756097
30.1.2000	0:00:00	0,05149792	1,411322412	0,028070719
31.1.2000	0:00:00	0,058117051	1,363101937	0,030433104
1.2.2000	0:00:00	0,060037819	1,252368987	0,03101813
2.2.2000	0:00:00	0,052510365	1,159121598	0,028261899
3.2.2000	0:00:00	0,042445694	1,511376011	0,027749744
4.2.2000	0:00:00	0,038602068	1,816205262	0,028705109
5.2.2000	0:00:00	0,039321381	1,842435376	0,028971451
6.2.2000	0:00:00	0,042025881	1,869983227	0,030133843
7.2.2000	0:00:00	0,044423793	1,907341566	0,03146871
*	*	*	*	*

