

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Katarina KACJAN ŽGAJNAR

**KAKOVOST VODE V CERKNIŠKEM JEZERU V
ODVISNOSTI OD SEZONE IN VODNEGA REŽIMA**

MAGISTRSKO DELO

Ljubljana, 2007

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Katarina KACJAN ŽGAJNAR

**KAKOVOST VODE V CERKNIŠKEM JEZERU V ODVISNOSTI OD
SEZONE IN VODNEGA REŽIMA**

MAGISTRSKO DELO

**WATER QUALITY OF THE INTERMITTENT LAKE CERKNICA IN
RELATION TO SEASON AND WATER REGIME**

M. SC. THESIS

Ljubljana, 2007

Tebi, ki si me vedno vzpodbujal in podpiral, a zaključka žal nisi dočakal.

Katarina

Mentorstvo

Magistrsko delo je zaključek podiplomskega študija biologije na Oddelku za biologijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Praktično delo je bilo opravljeno na terenu, v laboratoriju Katedre za ekologijo in varstvo okolja Oddelka za biologijo in na Inštitutu za zdravstveno hidrotehniko v Ljubljani.

Senat Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani je 29. junija 2005 odobril temo magistrskega dela z naslovom *Kakovost vode v Cerkniškem jezeru v odvisnosti od sezone in vodnega režima*. Za mentorico je imenoval prof. dr. Alenko Gaberščik, za somentorja pa prof. dr. Borisa Kompareta.

Komisijo za oceno in zagovor sestavljajo:

- prof. dr. Mihael Jožef Toman, predsednik,
- prof. dr. Alenka Gaberščik, mentorica,
- prof. dr. Boris Kompare, somentor in
- doc. dr. Marina Pintar, članica.

Datum zagovora: 17. maj 2007

Magistrsko delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Podpisana se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddala v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Katarina Kacjan Žgajnar, dipl. san. inž.

Ključna dokumentacijska informacija

ŠD Md
DK 556.55:574.5:582.542(497.4Cerknško jezero)(043.2)=863
KG presihajoče jezero/vodni režim/kakovost vode/hranila/makrofiti/modeliranje
AV KACJAN ŽGAJNAR, Katarina, dipl. san. inž.
SA GABERŠČIK, Alenka, mentorica/KOMPARE, Boris, somentor
KZ SI-1000 Ljubljana, Večna pot 111
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
LI 2007
IN KVALITETA VODE V CERKNŠKEM JEZERU V ODVISNOSTI OD SEZONE IN VODNEGA REŽIMA
TD Magistrsko delo
OP XI, 77 str., 4 pregl., 41 sl., 1 pril., 104 vir.
IJ sl
JI sl/en
AI Z enostavnimi hidrološkimi modeli smo poskušali razložiti hidrološko dinamiko na območju Cerknškega jezera. Zanimalo nas je, kako se s spreminjanjem vodnega režima in pojavljanjem rastlin spreminja kakovost vode in ali se v času rastne sezone in nizkega vodostaja razmere v jezerski vodi dnevno spreminjajo. Na podlagi večletnih (1993–2001) podatkov o količini padavin z merilnih postaj Nova vas, Cerknica, Otok in Šmarata ter višin vodostajev na Dolenjem in Gorenjem jezeru smo izdelali šest enostavnih hidroloških modelov. Z njimi lahko napovedujemo višino vodostaja na Dolenjem in Gorenjem jezeru za en dan, tri in pet dni vnaprej. Spremembe v kakovosti vode smo ugotavljali na podlagi 9–letnega spremljanja 21–ih fizikalnih in kemijskih parametrov ter spremljanja izbranih parametrov v rastni sezoni 2004. Vodni režim Cerknškega jezera značilno vpliva na fizikalne in kemijske parametre na različnih lokacijah. Z višanjem vodostaja se znižujeta električna prevodnost vode in vsebnost hranil. V plitvejših vodnih telesih so spremembe temperature izrazitejše kot v globljih. Lokacije na jezeru so manj obremenjene s hranili kot lokacije na pritokih, kar je povezano tudi s spreminjanjem vodostaja in razvojem rastlin na jezeru. Spremljanje izbranih kemijskih parametrov na treh lokacijah Cerknškega jezera (Rešeto, Dolenje jezero in Zadnji kraj) v rastni sezoni 2004 je pokazalo spremembe v kemizmu vode (koncentracije raztopljenega kisika, hranil, elektroprevodnost) zaradi povečevanja zastopanosti makrofitov in spreminjanja vodne gladine. Časovno pojavljanje in pogostost makrofitov na Cerknškem jezeru sta povezana z vodnim režimom.

Key words documentation

DN Md
DC 556.55:574.5:582.542(497.4Cerkniško jezero)(043.2)=863
CX intermittent lake/water regime/water quality/nutrients/macrophytes/modelling
AU KACJAN ŽGAJNAR, Katarina, dipl. san. inž.
AA GABERŠČIK, Alenka, supervisor/KOMPARE, Boris, co-supervisor
PP SI-1000 Ljubljana, Večna pot 111
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Biology
PY 2007
TI WATER QUALITY OF THE INTERMITTENT LAKE CERKNICA IN RELATION TO SEASON AND WATER REGIME
DT M. Sc. Thesis
NO XI, 77 p., 4 tab., 41 fig., 1 ann., 104 ref.
LA sl
AL sl/en
AB This study was aimed to explain the hydrological dynamic of Lake Cerknica using simple models. We also wanted to establish the relations among plant species abundance, water quality and water regime as well as the possibly influence of seasonal and diurnal changes on these parameters. Using long-term data sets on precipitations from weather stations Nova vas, Cerknica, Otok and Šmarata and data on water level at locations Dolenje and Gorenje jezero we made six simple hydrological models. Water quality changes estimates based on 9-years long monitoring of 21 physical and chemical parameters out of which selected parameters were monitored at different locations (Rešeto, Dolenje jezero and Zadnji kraj) during vegetation period 2004. Models enabled the prediction of water level at locations Dolenje and Gorenje jezero for one, three and five days in advance. Water regime of Lake Cerknica significantly affected water quality. Lake locations were less loaded with nutrients in comparison to tributaries, which were related to water level changes and vegetation development. Seasonal monitoring of selected parameters revealed changes in oxygen and nutrients concentrations and electric conductivity, which was also, related to macrophyte abundance and water level changes. Electric conductivity and nutrient content decreased as water level increased. Temperature changes in shallower water bodies were more pronounced in comparison to that in deeper ones. Temporal colonization of the locations with macrophytes was also related to water regime.

Kazalo vsebine

Mentorstvo.....	II
Ključna dokumentacijska informacija	III
Key words documentation	IV
Kazalo vsebine.....	V
Kazalo slik	VII
Kazalo preglednic	IX
Kazalo prilog	X
Okrajšave in simboli.....	XI
1 UVOD.....	1
2 PREGLED OBJAV.....	2
2.1 OPREDELITEV MOKRIŠČ.....	2
2.2 PRESIHAJOČA MOKRIŠČA.....	4
2.2.1 VPLIV VODNEGA REŽIMA NA KAKOVOST VODE	5
2.2.2 VPLIV RASTLIN NA KAKOVOST VODE	7
2.3 PRESIHAJOČE CERKNIŠKO JEZERO	8
2.3.1 GEOMORFOLOGIJA IN HIDROLOGIJA CERKNIŠKEGA JEZERA	8
2.3.2 RAZISKAVE RASTLINSTVA.....	9
2.4 MODELIRANJE Z ORODJI STROJNEGA UČENJA.....	10
3 MATERIAL IN METODE DELA.....	15
3.1 VZORČNA MESTA	15
3.2 HIDROLOŠKE ANALIZE.....	16
3.2.1 ANALIZA VPLIVA PADAVIN NA VODNI REŽIM V OBDOBJU OD 1993 DO 2001	16
3.2.2 OBDELAVA PODATKOV S STROJNIM UČENJEM.....	17
3.3 FIZIKALNE IN KEMIJSKE ANALIZE.....	20
3.3.1 ANALIZA KAKOVOSTI VODE V OBDOBJU OD 1993 DO 2001	20
3.3.2 STATISTIČNA OBDELAVA.....	20
3.3.3 ANALIZA KAKOVOSTI VODE NA IZBRANIH LOKACIJAH V RASTNI SEZONI 2004	22
3.4 BIOLOŠKE ANALIZE	22
3.4.1 POJAVLJANJE IN ZASTOPANOST MAKROFITOV NA IZBRANIH LOKACIJAH NA JEZERU V LETU 2004	22
3.4.2 OBDELAVA PODATKOV.....	23

4	REZULTATI	24
4.1	VODNI REŽIM	24
4.2	KAKOVOST VODE V ODVISNOSTI OD SEZONE ZA OBDOBJE 1993–2001.....	37
4.3	KAKOVOST VODE V ODVISNOSTI OD VODNEGA REŽIMA IN RASTLIN V RASTNI SEZONI 2004.....	44
5	RAZPRAVA	61
5.1	VODNI REŽIM.....	61
5.2	FIZIKALNE IN KEMIJSKE ZNAČILNOSTI VODE TER VODNI REŽIM	62
5.3	KAKOVOST VODE IN POJAVLJANJE MAKROFITOV V RASTNI SEZONI 2004	64
6	ZAKLJUČKI	67
7	POVZETEK.....	69
8	SUMMARY	71
9	VIRI.....	73

ZAHVALA

PRILOGE

Kazalo slik

Slika 2.2.1: Spreminjanje fizikalnih in kemijskih značilnosti vode v presihajočih vodnih telesih glede na spremembe vodostaja (Boulton in Brock 1999: 154)	5
Slika 2.4.1: Odločitveno drevo podanega primera (diskretne vrednosti atributov).....	12
Slika 2.4.2: Odločitveno drevo podanega primera (diskretne in zvezne vrednosti atributov)	13
Slika 3.1.1: Vzorčna mesta (●) na lokacijah Rešeto (R), Dolenje jezero (DJ), Zadnji kraj (ZK), Gorenje jezero (GJ) na območju presihajočega Cerkniškega jezera ter na pritokih jezera: Cerkniščica (C), Martinjščica (M), Žerovniščica (ZER) in Lipsenjščica (L) (--- - rob polja, ■ - obseg običajne poplave) (Šraj, 2007)	15
Slika 3.3.1: Obrazložitev grafičnega prikaza rezultatov v obliki škatle z ročaji (boxplot)	21
Slika 4.1.1: Modelno drevo za napoved vodostaja na Dolenjem jezeru (DJ) za en dan naprej	24
Slika 4.1.2: Modelno drevo za napoved vodostaja na Dolenjem jezeru (DJ) za tri dni naprej	25
Slika 4.1.3: Modelno drevo za napoved vodostaja na Dolenjem jezeru (DJ) za pet dni naprej	26
Slika 4.1.4: Meritve (—) in napovedi (—) za višino vodostaja na Dolenjem jezeru za en dan naprej za obdobje 200 dni v letih 1993, 1996 in 2001 (vir podatkov: ARSO).....	28
Slika 4.1.5: Meritve (—) in napovedi (—) za višino vodostaja na Dolenjem jezeru za tri dni naprej za obdobje 200 dni v letih 1993, 1996 in 2001 (vir podatkov: ARSO).....	29
Slika 4.1.6: Meritve (—) in napovedi (—) za višino vodostaja na Dolenjem jezeru za pet dni naprej za obdobje 200 dni v letih 1993, 1996 in 2001 (vir podatkov: ARSO).....	30
Slika 4.1.7: Modelno drevo za napoved vodostaja na Gorenjem jezeru (GJ) za en dan naprej	31
Slika 4.1.8: Modelno drevo za napoved vodostaja na Gorenjem jezeru (GJ) za tri dni naprej	32
Slika 4.1.9: Modelno drevo za napoved vodostaja na Gorenjem jezeru (GJ) za pet dni naprej.....	33
Slika 4.1.10: Meritve (—) in napovedi (—) za višino vodostaja na Gorenjem jezeru za en dan naprej za obdobje 200 dni v letih 1993, 1996 in 2001 (vir podatkov: ARSO).....	34
Slika 4.1.11: Meritve (—) in napovedi (—) za višino vodostaja na Gorenjem jezeru za tri dni naprej za obdobje 200 dni v letih 1993, 1996 in 2001 (vir podatkov: ARSO).....	35
Slika 4.1.12: Meritve (—) in napovedi (—) za višino vodostaja na Gorenjem jezeru za pet dni naprej za obdobje 200 dni v letih 1993, 1996 in 2001 (vir podatkov: ARSO).....	36
Slika 4.2.1: Vodostaj ter temperatura zraka in vode na vzorčnih mestih Dolenje jezero (DJ), Zadnji kraj (ZK), Cerkniščica (C), Lipsenjščica (L), Martinjščica (M), Gorenje jezero (GJ) in Žerovniščica (ZER) za obdobji april–september (■) ter oktober–marec (■) 1993-2001 (N=71) (vir podatkov: ARSO).....	37
Slika 4.2.2: pH in elektroprevodnost vode na vzorčnih mestih Dolenje jezero (DJ), Zadnji kraj (ZK), Cerkniščica (C), Lipsenjščica (L), Martinjščica (M), Gorenje jezero (GJ) in Žerovniščica (ZER) za obdobji april–september (■) ter oktober–marec (■) 1993-2001 (N=71) (vir podatkov: ARSO).....	38
Slika 4.2.3: Nasičenost s kisikom, vsebnost kisika v vodi, KPK in BPK ₅ na vzorčnih mestih Dolenje jezero (DJ), Zadnji kraj (ZK), Cerkniščica (C), Lipsenjščica (L), Martinjščica (M), Gorenje jezero (GJ) in Žerovniščica (ZER) za obdobji april–september (■) ter oktober–marec (■) 1993-2001 (N=71) (vir podatkov: ARSO)	39
Slika 4.2.4: Kalcijeva, magnezijeva in skupna trdota vode ter vsebnost CO ₂ na vzorčnih mestih Dolenje jezero (DJ), Zadnji kraj (ZK), Cerkniščica (C), Lipsenjščica (L), Martinjščica (M), Gorenje jezero (GJ) in Žerovniščica (ZER) za obdobji april–september (■) ter oktober–marec (■) 1993-2001 (N=71) (vir podatkov: ARSO)	40

Slika 4.2.5: Skupni dušik, amonijev ion, nitrat in nitrit na vzorčnih mestih Dolenje jezero (DJ), Zadnji kraj (ZK), Cerkniščica (C), Lipsenjščica (L), Martinjščica (M), Gorenje jezero (GJ) in Žerovniščica (ZER) za obdobji april–september (■) ter oktober–marec (■) 1993-2001 (N=71) (vir podatkov: ARSO).....	41
Slika 4.2.6: Skupni fosfor in ortofosfat (dve različni skali) na vzorčnih mestih Dolenje jezero (DJ), Zadnji kraj (ZK), Cerkniščica (C), Lipsenjščica (L), Martinjščica (M), Gorenje jezero (GJ) in Žerovniščica (ZER) za obdobji april–september (■) ter oktober–marec (■) 1993-2001 (N=71) (vir podatkov: ARSO).....	42
Slika 4.2.7: Fekalni in skupni kolidiformi v vodi na vzorčnih mestih Dolenje jezero (DJ), Zadnji kraj (ZK), Cerkniščica (C), Lipsenjščica (L), Martinjščica (M), Gorenje jezero (GJ) in Žerovniščica (ZER) za obdobji april–september (■) ter oktober–marec (■) 1993-2001 (N=71) (vir podatkov: ARSO).....	43
Slika 4.3.1: Spremembe vodostaja na vzorčnih mestih Rešeto, Dolenje jezero in Zadnji kraj v rastni sezoni 2004; podatki so aritmetične sredine.	44
Slika 4.3.2: Dnevne spremembe temperature zraka na vzorčnih mestih Rešeto, Dolenje jezero in Zadnji kraj v rastni sezoni 2004; zjutraj (■), opoldne (■) in zvečer (■); podatki so aritmetične sredine ± SD.	45
Slika 4.3.3: Dnevne spremembe temperature vode na vzorčnih mestih Rešeto, Dolenje jezero in Zadnji kraj v rastni sezoni 2004; zjutraj (■), opoldne (■) in zvečer (■); podatki so aritmetične sredine ± SD.	46
Slika 4.3.4: Dnevne spremembe koncentracije kisika na vzorčnih mestih Rešeto, Dolenje jezero in Zadnji kraj v rastni sezoni 2004; zjutraj (■), opoldne (■) in zvečer (■); podatki so aritmetične sredine ± SD.	47
Slika 4.3.5: Dnevne spremembe nasičenosti s kisikom na vzorčnih mestih Rešeto, Dolenje jezero in Zadnji kraj v rastni sezoni 2004; zjutraj (■), opoldne (■) in zvečer (■); podatki so aritmetične sredine ± SD.	48
Slika 4.3.6: Dnevne spremembe električne prevodnosti vode na vzorčnih mestih Rešeto, Dolenje jezero in Zadnji kraj v rastni sezoni 2004; zjutraj (■), opoldne (■) in zvečer (■); podatki so aritmetične sredine ± SD.	49
Slika 4.3.7: Dnevne spremembe vrednosti pH na vzorčnih mestih Rešeto, Dolenje jezero in Zadnji kraj v rastni sezoni 2004; zjutraj (■), opoldne (■) in zvečer (■); podatki so aritmetične sredine ± SD.	50
Slika 4.3.8: Dnevne spremembe vsebnosti amonijevega iona na vzorčnih mestih Rešeto, Dolenje jezero in Zadnji kraj v rastni sezoni 2004; zjutraj (■), opoldne (■) in zvečer (■); podatki so aritmetične sredine ± SD.	51
Slika 4.3.9: Dnevne spremembe vsebnosti nitrita na vzorčnih mestih Rešeto, Dolenje jezero in Zadnji kraj v rastni sezoni 2004; zjutraj (■), opoldne (■) in zvečer (■); podatki so aritmetične sredine ± SD.	52
Slika 4.3.10: Dnevne spremembe vsebnosti nitrata na vzorčnih mestih Rešeto, Dolenje jezero in Zadnji kraj v rastni sezoni 2004; zjutraj (■), opoldne (■) in zvečer (■); podatki so aritmetične sredine ± SD.	53
Slika 4.3.11: Povprečne vsebnosti ortofosfata na vzorčnih mestih Rešeto, Dolenje jezero in Zadnji kraj v rastni sezoni 2004.	54
Slika 4.3.12: Pojavljanje in abundanca makrofitov na vzorčnem mestu Rešeto (2004). Abundance vrst so izražene z višinami stolpcev (■ 1–5).	55
Slika 4.3.13: Relativna rastlinska masa (RPM) makrofitov na vzorčnem mestu Rešeto (2004).....	56
Slika 4.3.14: Pojavljanje in abundanca makrofitov na vzorčnem mestu Dolenje jezero (2004). Abundance vrst so izražene z višinami stolpcev (■ 1–5).....	57
Slika 4.3.15: Relativna rastlinska masa (RPM) makrofitov na vzorčnem mestu Dolenje jezero (2004).....	58
Slika 4.3.16: Pojavljanje in abundanca makrofitov na vzorčnem mestu Zadnji kraj (2004). Abundance vrst so izražene z višinami stolpcev (■ 1–5).	59
Slika 4.3.17: Relativna rastlinska masa (RPM) makrofitov na vzorčnem mestu Zadnji kraj (2004).....	60

Kazalo preglednic

Preglednica 2.1.1: Poenostavljena klasifikacija začasnih mokrišč (povzeto po Paijamans in sod. 1985; Boulton in Brock 1999: 150)	3
Preglednica 2.4.1: Enostaven primer učenja koncepta (samo diskretne vrednosti atributov)	11
Preglednica 2.4.2: Enostaven primer učenja koncepta (diskretne in zvezne vrednosti atributov)	13
Preglednica 3.2.1: Atributi, uporabljeni pri izgradnji modelov	19

Kazalo prilog

Priloga A:

Preglednica: Povezanost parametrov s Pearsonovim korelacijskim koeficientom (* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$;
*** $p \leq 0,001$)

Okrajšave in simboli

ARSO – Agencije Republike Slovenije za okolje

ETP – evapotranspiracija

1 UVOD

Mokrišča spadajo med najdragocenejše ekosisteme, saj imajo pomembno vlogo pri pretoku energije ter kroženju snovi in predstavljajo domovanje številnih organizmov. So ekosistemi, kjer ima primarno vlogo vodni režim, ki pogojuje življenjsko združbo in procese. V mokriščih, kjer so tla stalno nasičena z vodo, je razgradnja organskih snovi počasnejša kot njihov nastanek, zato se v takem sistemu kopičijo.

Za presihajoča mokrišča je značilno izrazito spreminjanje vodnega režima, kar vpliva na celotno biocenozo sistema. Presihanje nastopi v sušnem obdobju. Značaj takšnega ekosistema se zaradi izsušitve popolnoma spremeni. Ko voda ponovno napolni sistem, ima podobne značilnosti kot stalna vodna telesa. Presihanje v takšnih ekosistemih izoblikuje poseben splet življenja, ki je prilagojen spremenljivim razmeram.

Cerkniško jezero je kraško presihajoče jezero v južnem delu Cerknškega polja. Je naše največje mokrišče in je del povodja reke Ljubljanice. Voda odteče skozi ponorne jame in ponikve dna v podzemlje. S presihanjem jezera je povezana raznolikost celotnega ekosistema, tako v zgradbi kot v delovanju.

Ekosistemska dinamika Cerknškega jezera je neobičajna, zato je izredno zanimiva za raziskave. Pomanjkljiva je slika hidroloških razmer, njihovega vpliva na kakovost jezerske vode in tudi vpliva vegetacije na razmere v vodnih telesih, zato smo želeli prispevati k razumevanju teh zapletenih povezav. Izhodišče so predstavljale spodnje hipoteze:

- Predvidevamo, da bomo na podlagi analiz dolgoletnih padavinskih podatkov in vodostajev izpostavili povezave med padavinami in vodostaji ter izdelali enostaven hidrološki model.
- Kakovost vode v Cerknškem jezeru in v pritokih je v določenem času odvisna od vodostaja.
- Na kemizem vode v vodnih telesih ključno vpliva tudi razvoj rastlin.

2 PREGLED OBJAV

2.1 OPREDELITEV MOKRIŠČ

V Sloveniji se je beseda mokrišče pojavila s pristopom k Ramsarski konvenciji. Definicij in izrazov za mokrišče je več, odvisno od posebnosti in lastnosti, po katerih te ekosisteme prepoznamo. Izraz vključuje vsa zemljišča na prehodu med kopnimi in vodnimi okolji (Beltram 2005) in je enakovreden angleški besedi "wetland". Ramsarska konvencija jih opredeljuje zelo široko, in sicer kot območja močvirij, nizkih barij, šotišč in proste vode, naravnega ali umetnega izvora, stalna ali začasna, s tekočo ali stoječo vodo, sladko, somornico ali slano, vključno z območji morske vode, katere globina med oseko ne presega šest metrov (Ramsar Classification System for Wetland Type, Annex I). Podobna je tudi opredelitev mokrišč po Boultonu in Brockovi (1999), ki dodajata, da poplavljanje pomembno vpliva na življenjsko združbo in ekološke procese. Ameriška agencija za zaščito okolja (EPA) mokrišča definira bolj funkcionalno. To so območja, poplavljen ali nasičena s površinsko ali talno vodo, kjer je glede na pogostost in trajanje poplav omogočena prevlada rastlin, prilagojenih na tla, ki so nasičena z vodo.

V mokriščih ima primarno vlogo vodni režim. Ta je zelo raznolik in pogojuje življenjsko združbo in procese (Maitland in Morgan 1997). Glavne spremenljivke vodnega režima v mokriščih so:

- pojavljanje vode – kdaj je prisotna, stalno, sezonsko ali občasno,
- frekvenca – pogostost polnjenja in praznjenja,
- trajanje – čas poplavljanja,
- obseg – površina poplavljanja,
- največja globina vode,
- spremenljivost parametrov v času (Boulton in Brock 1999).

Vse to je izrednega pomena za rast in razvoj mokriščne vegetacije (Bornette in Amoros 1996, Brock in Casanova 1997, Blanch in sod. 1999, Reid in Quinn 2004).

Pomembne so tudi fizikalne in kemijske značilnosti vode v mokriščih. Nanje najbolj vpliva variabilnost vodnega režima. Riis in Hawes (2002) na primeru 21 jezer Nove Zelandije ugotavljata, da se variabilnost v vodnem režimu pojavlja bodisi med leti bodisi v okviru enega leta. Mokrišča dobivajo vodo s padavinami, površinskimi in talnimi vodnimi dotoki, izgubljajo pa jo z evapotranspiracijo, odtoki in pronicanjem v podzemlje. Opisane spremenljivke skupaj s sušami in poplavami določajo fizikalne značilnosti začasnih mokrišč (preglednica 2.1.1) (Boulton in Brock 1999, Brock in Casanova 1997, Dobson in Frid 1998). Mokrišča predstavljajo vir in ponor nutrientov, vodni režim pa pomembno vpliva na njihovo kroženje (Mitsch in Gosselink 2000).

Klasifikacija mokrišč je odvisna od vodnega režima, geografske lege, značilnosti tal, kemizma vode, zgodovinskega nastanka in velikosti (Nilsen in Orcutt 1996). Boulton in Brockova (1999) pa sta preprosto klasifikacijo začasnih mokrišč povzela po Paijamansu; delita jih na kratkotrajna, občasna, presihajoča, sezonska in stalna (preglednica 2.1.1).

Preglednica 2.1.1: Poenostavljena klasifikacija začasnih mokrišč (povzeto po Paijamans in sod. 1985; Boulton in Brock 1999: 150)

Table 2.1.1: A simplified classification of temporary wetlands (extended from Paijamans et al. 1985; Boulton and Brock 1999: 150)

TIP MOKRIŠČA	ZNAČILNOSTI VODNEGA REŽIMA
KRATKOTRAJNO MOKRIŠČE	Polnjenje ob redkem, nepredvidljivem deževju. Voda izhlapeva že v času polnjenja in redko omogoča makroskopsko vodno življenje.
OBČASNO MOKRIŠČE	Letni vodni dotok je v večini primerov manjši od minimalne letne izgube vode. Večino časa je suho, z redkimi in neenakomernimi mokrimi obdobji, ki lahko trajajo mesece.
PRESIHAJOČE MOKRIŠČE	Mokro in suho obdobje se izmenjujeta, vendar ne tako pogosto in enakomerno kot v sezonskem mokrišču. Voda lahko obstane od nekaj mesecev do enega leta.
SEZONSKO MOKRIŠČE	Mokro in suho obdobje se izmenjujeta večkrat letno, odvisno od letnega časa. Mokrišče se običajno napolni v deževnih obdobjih leta, izsuševanje pa je letno in predvidljivo. Voda obstoji dovolj dolgo, da makroskopske rastline in živali dopolnijo vse vodne faze svojega življenjskega cikla.
STALNO MOKRIŠČE	Čas polnjenja je predvidljiv, vendar se višina vodne gladine spreminja. Letni vodni dotok je praviloma večji od najmanjše letne izgube vode. Izsuši se le v izjemno dolgih sušnih obdobjih, česar vodne živali in rastline ne prenesejo.

Mokrišča pokrivajo 6,4 % zemeljske površine oziroma približno 9 milijonov km² (Maltby 1986, Mitsch in sod. 1994, Mitsch in Gosselink 2000) in imajo pomembno vlogo pri zaščiti vodnih teles pred onesnaženjem in pri vzdrževanju kakovosti vode. Imajo veliko ekoloških funkcij, vključno z zadrževanjem visokih vod, sedimenta in hranil. V njih potekajo biogeokemične spremembe, razgradnja organskih snovi in primarna produkcija. Vse to so lastnosti, ki so v ekologiji priznane kot osnovne vrednote (Richardson 1994, Boulton in Brock 1999, Mitsch in Gosselink 2000). Količina sedimentov, hranil in strupenih snovi se v mokriščih močno zmanjša, saj delujejo kot ponor in filter (Wetzel 1990, Lakatos in sod. 1998, Cronk in Fennessy 2001). Sprejemajo, zadržujejo in obnavljajo hranila. Visoka primarna produkcija omogoča pretvorbo neorganskih snovi v organske in tako vzdržuje številne druge organizme v mokrišču in širši okolici (Richardson 1994, Boulton in Brock 1999, Mitsch in Gosselink 2000).

Stabilen vodostaj oziroma dolgotrajna suša zmanjšujeta produktivnost mokrišč. Nasprotno pa periodična izsušitev, ki jo označujejo spremembe anoksičnih razmer v oksične, pospeši kroženje snovi, primarna produkcija je višja, zato se pojavlja več populacij (Wetzel 2000).

2.2 PRESIHAJOČA MOKRIŠČA

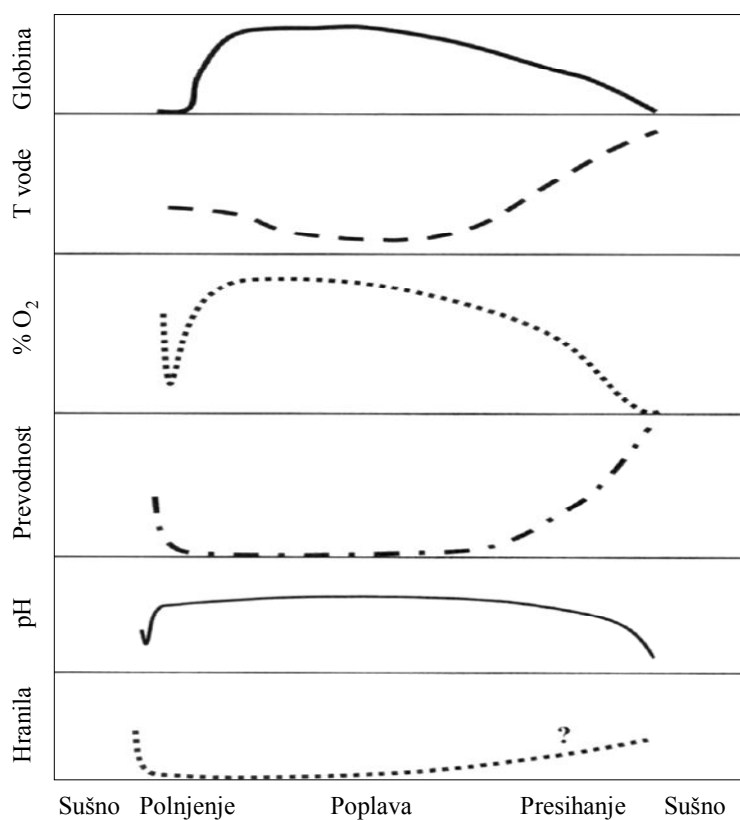
Procesi v presihajočih mokriščih se od stalnih razlikujejo v večji raznolikosti in večji odvisnosti od okoljskih razmer, kot so veter, temperatura zraka ipd. Razlike so še posebej značilne v času polnjenja z vodo in presihanja. V zelo plitvih začasnih mokriščih so vplivi vetra v času polnjenja oziroma praznjenja bolj opazni. Veter v takšnih mokriščih preprečuje sedimentacijo in hkrati povečuje kalnost (Boulton in Brock 1999). Ko govorimo o presihajočem mokrišču, je poleg specifičnega hidrološkega režima pomembna tudi ustrezna geološka podlaga (Kranjc 2002a). Ekosistemi s spremenljivim vodnim režimom (kot je npr. Cerkniško jezero), ki so del leta poplavljeni, občasno pa voda odteče (sistem se postopno izsuši), so najbolj učinkoviti pri pretvorbi in kroženju snovi. Če pride do izsušitve, se nakopičene strupene snovi ob prisotnosti kisika razgradijo (Dobson in Frid 1998), hranila pa se vgradijo v biomaso primarnih producentov, kar se odraža v boljši kakovosti vode (Gaberščik in Urbanc-Berčič 2002a).

Pomembne posledice presihanja vode so številne temeljne spremembe lastnosti sedimenta, kot so izmenjavanje anaerobnih in aerobnih procesov ter spreminjanje dinamičnosti hranil po ponovni poplavljenosti (Boulton in Brock 1999, Urbanc-Berčič in Gaberščik 2001). Na začetku suhega obdobja se ob prisotnosti kisika pospeši mineralizacija organskih snovi ter zmanjša kapaciteta sedimenta za adsorbcijo hranil. Ob ponovnem poplavljanju se sproščajo hranila (dušik in fosfor), ki skupaj s svetlobo in vodo omogočajo uspešno kalitev in rast primarnih producentov (Brock in Casanova 1997, Boulton in Brock 1999, Gaberščik in sod. 2000). Po drugi strani podaljšano sušno obdobje uniči velik del mikroorganizmov v tleh, zato se zmanjša razpoložljivost anorganskega ogljika in upočasnijo kroženje hranil ob ponovnem poplavljanju (Boulton in Brock 1999). S spreminjanjem vodnega režima se torej spreminja kakovost vode, ki jo lahko ocenjujemo, če poznamo podatke o izvoru in kroženju hranil (Gelbrecht in sod. 2005).

Menjavanje sušnih in mokrih obdobj ugodno vpliva na biodiverzitetu, saj imajo občasno prednost eni organizmi, medtem ko je razvoj drugih zavrt in obratno. Ko gre za spremembe vrstne sestave rastlinstva, to vpliva na tla, hidrologijo, populacijo mikroorganizmov in živali (Wetzel 2000).

2.2.1 VPLIV VODNEGA REŽIMA NA KAKOVOST VODE

Vodni režim presihajočih vodnih teles pomembno vpliva na rastline, ki so izmenično izpostavljene dvema povsem različnima okoljema. Ob poplavah so dnevne in sezonske spremembe značilnosti vode podobne kot v stalnih vodnih telesih. V presihajočih mokriščih so nekatere spremembe v značilnostih vode predvidljive in pomembno vplivajo na biološke procese, kar prikazuje slika 2.2.1 (Boulton in Brock 1999).



Slika 2.2.1: Spreminjanje fizikalnih in kemijskih značilnosti vode v presihajočih vodnih telesih glede na spremembe vodostaja (Boulton in Brock 1999: 154)

Figure 2.2.1: Changes in physical and chemical characteristics of water in intermittent water-bodies according to water level fluctuations (Boulton in Brock 1999: 154)

V sušnem obdobju so rastline izpostavljene večjim temperaturnim spremembam kot v času poplav (Wetzel 2001). Zaradi sprememb vodostaja se tudi temperatura vode lahko spreminja (slika 2.2.1, Boulton in Brock 1999).

Značilnosti substrata so določene z geološkimi značilnostmi območja (Fox 1992) in v presihajočih vodnih telesih močno vplivajo na življenjske razmere. Uravnavajo pretvorbo hranil ter izmenjavo snovi med sedimentom in vodo (Boulton in Brock 1999), vplivajo na ukoreninjenje rastlin in predstavljajo glavni vir hranil za rastline vodnih habitatov (Baatrup-Pedersen in Riis 1999, Wetzel 2001). Grobozrnat substrat je običajno reven s hranili in onemogoča dobro pritrđitev rastlin, hkrati pa so tudi fini, drobnozrnati substrati neustrezni za ukoreninjenje (Nichols in Shaw 1986).

Presihajoč vodni režim poveča izmenjavo snovi med sedimenti in vodo (Boulton in Brock 1999), s tem pa vpliva na raznolikost razpoložljivih hranil v vodi in tleh (Nilsen in Orcutt 1996). Spremembe so največje ob poplavah, ko se hranila iz tal sprostijo v vodo in se razredčijo, ter pred presahnitvijo, ko se količina hranil v vodi poveča (slika 2.2.1). Ob presihanju se zaradi razgradnje odmrlih organizmov v vodi poveča tudi količina organskih snovi, ki se v sušnem obdobju mineralizirajo in zadržijo v tleh (Boulton in Brock 1999). Sedimenti presihajočih vodnih teles navadno vsebujejo nizek delež organskih snovi in posledično nizko vsebnost hranil (Van den Brink in sod. 1995, Boulton in Brock 1999).

Izmenjavanje poplav in sušnih obdobji pomembno vpliva tudi na dostopnost kisika (O_2) in ogljikovega dioksida (CO_2). Difuzijski koeficient plinov je v vodi desetisočkrat manjši kot v zraku, slabša je tudi njihova topnost. Koncentracije O_2 v vodi so zato tridesetkrat nižje kot v zraku (Nilsen in Orcutt 1996). Za sedimente presihajočih vodnih teles je značilno izmenjavanje oksičnih in anoksičnih razmer (Urbanc-Berčič in Gaberščik 2001). Ob zniževanju vodne gladine in presihanju se zaradi razgradnje organskih snovi in povišane temperature nasičenost vode s kisikom zmanjšuje (slika 2.2.1, Boulton in Brock 1999). Ob presahnitvi se tla dobro prezračijo, poplave pa povzročijo, da v nekaj urah ali dneh nastopi hipoksija, ki ji pogosto sledi anoksija (Nilsen in Orcutt 1996, Braendle in Crawford 1999, Cronk in Fennessy 2001).

V sušnem obdobju edini vir ogljika za fotosintezo predstavlja prosti CO_2 v zraku (0,03 %). V vodi so koncentracije prostega CO_2 nizke. Prisotne so tri oblike anorganskega ogljika (CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-}), katerih ravnovesje uravnava pH vode (Maberly in Spence 1989). V času poplav so pomemben vir CO_2 tudi sedimenti (Robe in Griffiths 2000).

2.2.2 VPLIV RASTLIN NA KAKOVOST VODE

V času poplav globina vode, vodni tok, valovanje (Fox 1992, Gantes in Caro 2001, Riis in Hawes 2002, Barendregt in Boi 2003, Pedro in sod. 2006) ter trajanje poplav (Brock in Casanova 1997, Blanch in sod. 1999, Mauchamp in sod. 2001) pomembno vplivajo na vrstno sestavo in vrstno pestrost rastlinskih združb. Spremenljiv vodni režim, lahko tudi presihanje, pomembno oblikuje rastlinske združbe (Martinčič 2002, Mackay in sod. 2003, Urbanc-Berčič in sod. 2005) ter vpliva na proces mineralizacije (Urbanc-Berčič in Gaberščik 2001). Vodni tok in valovanje preko dostopnosti hranil in ogljikovega dioksida vplivata na fotosintezno aktivnost vodnih rastlin ter omogočata vegetativno razširjanje (Fox 1992).

Ob poplavah se hranila sprostijo iz tal in primarni producenti jih vgradijo v biomaso (Boulton in Brock 1999). Nekatere vodne rastline sproščajo v sediment kisik, kar omogoča aerobno razgradnjo in s tem večjo razpoložljivost hranil (Karjalainen in sod. 2001, Voesenek in sod. 2006). Dlje ko so tla poplavljena, slabše je sediment prezračen in procesi postajajo anaerobni. Anaerobne bakterije so manj učinkovite pri razgradnji organskih snovi, zato imajo poplavljena tla praviloma višji delež organske snovi (Nilsen in Orcutt 1996). Ob presihanju se anaerobni procesi v tleh ponovno spremenijo v aerobne, mikroba razgradnja organskih snovi se pospeši, zato se v vodi in sedimentu kopičijo hranila. Ko se tla popolnoma izsušijo, propade okrog 75 % biomase mikroorganizmov, kar zavre nadaljnjo razgradnjo (Boulton in Brock 1999, Gaberščik in sod. 2003). Primarni producenti, ki so v času poplav opravljali funkcijo filtra, ob presahnitvi odmrejo ali ostanejo na suhem in tako se zmanjša samočistilna sposobnost vodnega telesa (Gaberščik in sod. 1994). Preko odmiranja in razgradnje organizmov se hranila vračajo v okolje in so ponovno dostopna ob poplavah (Boulton in Brock 1999).

Visoka vsebnost hranil v vodnih ekosistemih, posebno nitrata in fosfata, pospeši rast rastlin (Hutchinson 1970). Vsebnost N in P v rastlinskem tkivu se ob prehodu iz vode na kopno zmanjša, najverjetneje zaradi pospešene rasti (Robe in Griffiths 2000, Mendoza in sod. 2005). V vodnem okolju so hranila težje dostopna kot na kopnem (Rascio 2002). Nekatere prave vodne rastline jih sprejemajo preko listov (Eugelink 1998, Strand in Weisner 2001), ostale so praviloma odvisne od hranil v tleh (Pedersen in Sand-Jensen 1997, Rascio 2002).

2.3 PRESIHAJOČE CERKNŠKO JEZERO

Številni znanstveniki raziskujejo pojave Cerknškega jezera zaradi njegovega posebnega značaja (Gaberščik 2002). Zaradi njegove posebnosti je kompleksnost, raznolikost in življenjske oblike že v 17. stoletju proučeval polihistor Janez Vajkard Valvazor. Urbanc-Berčičeva in Gaberščikova (2003) ugotavljata, da se okoljske razmere na različnih lokacijah jezera izrazito razlikujejo. Poleg razlik v vodnem režimu (Urbanc-Berčič in sod. 2005) so najbolj očitne razlike v razmerju organskih in anorganskih snovi.

2.3.1 GEOMORFOLOGIJA IN HIDROLOGIJA CERKNŠKEGA JEZERA

Cerkniško jezero se nahaja na prehodu med dinarskim in alpskim svetom. Kotanja Cerknškega polja (38 km², 549 m n. v.) je oblikovana v karbonatnih kamninah, to je v triasnih in jurskih dolomitih ter v jurskih in krednih apnencih (Kranjc 2002 b). Gladina jezera se spreminja od 546 do 552 m n. v. Ob najvišji vodi je dolgo približno 10 km, široko približno 5 km in poplavi do 26 km² Cerknškega polja (Gams in sod. 1988). Dno Cerknškega polja je povprečno dobra dva meseca na leto suho. Jezero ima vodo povprečno dobrih devet mesecev na leto (Gospodarič in Habič 1978, Kranjc 2002 a), od tega na običajnem nivoju (gladina na koti 550 m) štiri do pet mesecev, od nekaj dni pa do nekaj tednov na leto je gladina izredno visoka. V povprečju vsakih sedem let jezerska gladina preseže koto 552 m oziroma 553 m (v letih 1972, 1992, 2000). Jezero je najpogosteje polno v aprilu, maju in decembru, suho pa je od avgusta do oktobra. Jezerska gladina hitreje narašča kot pa upada. Ob močnejšem deževju se jezero običajno napolni v dveh do treh dneh. Ob suši jezero odteka tri do štiri tedne. Jezero v majhnem obsegu (do kote 549 m) vsebuje okoli 11 milijonov m³ vode, v običajnem obsegu (kota 550 m) dobrih 28 milijonov m³, ob izredno visoki gladini (kota 553 m) pa okoli 100 milijonov m³ vode (Kranjc 2002a).

Cerkniško polje dobi 80 % vode po kraških podzemnih poteh. Vodo iz Loške doline prinaša Obrh, z Bloške planote pa Lipsenjščica, Žerovniščica in Martinjščica; edini večji površinski dotok je Cerknščica. Cerknško jezero ima 80 % kraških in 15 % površinskih dotokov, enak je tudi delež jezerske vode. Glede na to, da nima nobenega površinskega odtoka in da je zajezitev, ki napravi jezero, v celoti kraške narave, je Cerknško jezero tipično kraško presihajoče jezero. Spomladi in jeseni največji dotok (210–240 m³s⁻¹) presega največji odtok (40–90 m³s⁻¹). Na polju nastane presihajoče Cerknško jezero, ki predstavlja obsežno poplavno ravnico Stržena. Ob običajnih poplavih prekriva približno 53 % polja (20 km², 550 m n. v.). Gladina vode se zniža pod površje polja za najmanj 10 m (Gospodarič in Habič 1978, Habič 1985, Kranjc 1986, Kranjc 2002a, Kranjc 2002b).

2.3.2 RAZISKAVE RASTLINSTVA

Presihanje jezera je izoblikovalo poseben splet življenja, prilagojen na spremenljive razmere. Velika vrstna pestrost je posledica raznolikosti območja ter spreminjanja življenjskih prostorov v rastni sezoni (Gaberščik in sod. 2003).

Obseg in trajanje poplav na območju Cerkniškega polja ustvarjata gradient hidroloških razmer, ki pogojujejo razporejanje rastlinskih združb. Na obrobju poplavnega območja so tla vlažna, voda pa se razlije le ob večjih poplavah. Tu prevladujejo mokrotni travniki (modro stožkovje ter združba rušnate masnice in visokega trpotca) in združbe, ki dajejo izgled barja (belo kljункovje ter modro stožkovje v združbi s črnkastim oziroma rjastim sitovcem). Na območjih, kjer voda v času poplav ne preseže globine dveh metrov, se pojavljajo močvirske združbe. Največje površine zavzema trstičevje, na vzhodnem in južnem delu polja je množično zastopana združba togega šašja. Kjer voda vztraja nekoliko dlje, se pojavlja jezersko bičkovje, ob tekočih vodah pa najdemo sestoj trstične pisanke. Na predelih, kjer je voda najgloblja, se razvijejo vodne združbe, tj. sestoji parožnic in dristavcev. Prisotnost pravih vodnih rastlin je vezana predvsem na strugo Stržena in pritoke jezera, kjer se voda obdrži dovolj dolgo, da rastline lahko zaključijo svoj življenjski cikel (Martinčič 2002, Martinčič in Leskovar 2002, Gaberščik in sod. 2003).

Močvirska združba trstičevje (*Phragmitetum australis*) prevladuje med močvirsko vegetacijo Cerkniškega jezera. Prepoznamo jo po prevladi navadnega trsta *Phragmites australis*, ki zaradi visoke pokrovnosti pusti le malo prostora drugim vrstam (Martinčič in Leskovar 2002).

Presihanje ustvarja ugodne razmere, v katerih so še posebej uspešne amfibijske rastline, saj lahko preživijo v vodi in na kopnem. Zaporedje in obseg sprememb vodostaja v določenem letu vplivata na to, katera vrsta bo v določenih razmerah uspešnejša. Ob višjem vodostaju se na pobočjih ponikev množično pojavljajo parožnice, nekatere prave vodne rastline, na plitvejših predelih pa visokorasle amfibijske vrste, na primer močvirski grint (*Senecio paludosus*) in širokolistna koščica (*Sium latifolium*). V letih, ko je na začetku rastnega obdobja vodostaj razmeroma nizek, prevladujejo nizkorasle amfibijske vrste, na primer vodna meta (*Mentha aquatica*), navadna božja milost (*Gratiola officinalis*), prava potočarka (*Rorippa amphibia*), česnov vrednik (*Teucrium scordium*) in močvirska spominčica (*Myosotis scorpioides*) (Martinčič 2002, Martinčič in Leskovar 2002, Gaberščik in sod. 2003).

2.4 MODELIRANJE Z ORODJI STROJNEGA UČENJA

Cerkniško jezero predstavlja dinamičen presihajoč ekosistem. Procese in dejavnike, ki vplivajo nanje, ter spremenljive pogoje v samem sistemu je brez poenostavitev in številnih predpostavk težko zajeti v matematične enačbe.

Osnovne in tudi sinergistične procese natančneje podajajo naslednji avtorji: Chapra (1997), Keen in Spain (1992), Jørgensen in Bendoricchio (2001), Jørgensen in Johnsen (1989) ter DeAngelis (1992). Mitsch (1983) je v svojem delu obsežno razložil modele mokrišč, ločil je med modeli energija/ hranilo, hidrološkimi modeli, modeli rastočega drevja, modeli procesov, slučajnimi in področnimi.

Zhang in Mitsch (2005) sta v svoji študiji raziskovala hidrološke procese štirih različnih pritokov, ki ustvarjajo eno od mokrišč v ZDA, in sicer s pomočjo modela enostavnega dnevnega masnega ravnotežja vodnih zalog. Model je vseboval podatke o površinskih pritokih in odtokih, padavinah, evapotranspiraciji (ETP) in odtekanju vode v podzemlje. Rezultati dokazujejo, da je to mokrišče razvilo hidroperiodo z več kot zadostno poplavljenostjo. Model so simulirali za povprečna, suha in mokra leta.

Omenjeni avtorji pri konstrukciji modelov izhajajo iz teoretičnega razumevanja dogajanj v naravi. Ker pa so naravni procesi v splošnem lahko zelo kompleksni, se taki modeli srečujejo z dvema poglavitnima problemoma: (1) z namenom čim bolj natančnega opisa pojavov kaj hitro postanejo matematično prekompleksni, premalo merjenih podatkov pa preprečuje njihovo umerjanje na realno situacijo; (2) so preenostavni za opis naravnega pojava. Tako je potrebno poiskati model primerne kompleksnosti, pri tem pa tudi samo modeliranje postane zelo zahtevno. V zadnjih letih se za modeliranje vse bolj uporabljajo orodja strojnega učenja, s katerimi lahko gradimo uporabne in enostavne modele le na podlagi merjenih podatkov (Kompore 1995). Modeliranje z metodami strojnega učenja je manj razširjeno, vendar enako uporabno kot konceptualno (teoretično) modeliranje. Glavna slabost tovrstnega modeliranja je, da potrebujemo veliko število merjenih podatkov, iz katerih se program »uči«. Glavna prednost pa je, da so modeli lahko zelo poenostavljeni, a kljub temu dovolj natančno opisujejo pojav in jih lahko koncipirajo na podlagi odločitvenih ali regresijskih dreves, multiple regresije itd.

Osnovni cilj strojnega učenja je naučiti se nekega pojma (koncepta) iz merjenih podatkov, ki ta koncept opisujejo, oziroma odkrivati vzorce med podatki. Celotna učna procedura strojnega učenja je sestavljena iz koncepta, primerov, učnega algoritma in učne sheme. Opisom koncepta pravimo primeri. Primere običajno podajamo v tabeli, kjer je en primer (ena vrstica) sestavljen iz atributov (neodvisnih spremenljivk) in razreda primera (koncept), tj. odvisnih spremenljivk. Učni algoritem nato iz primerov in področnega znanja ustvarja učno shemo, ki predstavlja model naučenega.

Za ponazoritev si pogledjmo enostaven primer indukcije odločitvenega drevesa, ki sta ga opisala Atanasova in Kompare (2002). Koncept, ki se ga želimo naučiti, je uporaba prevoznega sredstva. Zato se vprašamo, v kakšnih vremenskih pogojih uporabiti kolo in kdaj avto. V preglednici 2.4.1 je podanih 9 primerov, iz katerih se bo algoritem učil koncepta. Naučeno bo algoritem predstavil z odločitvenim drevesom, ki je le ena izmed učnih shem. Primere sestavljajo naslednji opisi (atributi): sonce (z vrednostma da in ne), temperatura (z vrednostmi visoka, srednja, nizka) in dež (z vrednostma da in ne). Zadnja kolona v tabeli predstavlja razred primera, torej prevozno sredstvo.

Preglednica 2.4.1: Enostaven primer učenja koncepta (samo diskretne vrednosti atributov)

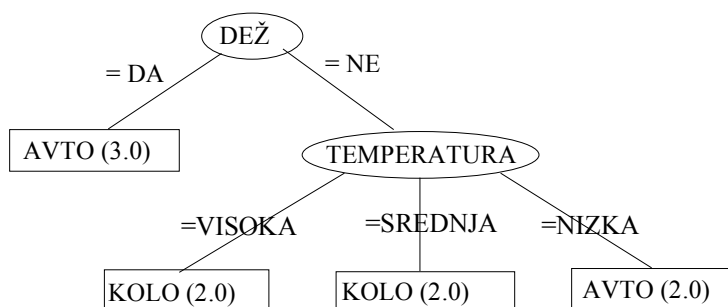
Table 2.4.1: Simple example of concept learning (only discrete attributes)

Primer	Sonce	Temperatura	Dež	Prevozno sredstvo
1	Da	Visoka	Ne	Kolo
2	Da	Srednja	Ne	Kolo
3	Da	Nizka	Ne	Avto
4	Da	Visoka	Da	Avto
5	Da	Srednja	Da	Avto
6	Da	Nizka	Da	Avto
7	Ne	Visoka	Ne	Kolo
8	Ne	Srednja	Ne	Kolo
9	Ne	Nizka	Ne	Avto

Če učni algoritem apliciramo na podani primer, dobimo odločitveno drevo na sliki 2.4.1. Sestavni deli učne sheme odločitvenega drevesa so: koren drevesa, vozlišča, listi in veje, ki povezujejo vozlišča med seboj oz. z listi. Vsakemu vozlišču sledi test, ki se nanaša na vrednost atributa v vozlišču. V listih drevesa se nahaja razred, ki ga napovedujemo na podlagi vrednosti atributov.

Drevo na sliki 2.4.1 ima dve vozlišči (dež in temperatura), od katerih vozlišče dež predstavlja začetek sheme, tj. koren drevesa in štiri liste (kvadrati). Drevo beremo tako, da začnemo pri korenu (DEŽ). Test, ki ga opravi vsak primer, je: ali je vrednost enaka DA ali NE. Vsi primeri, ki imajo vrednost atributa DEŽ enako DA, nadaljujejo naprej po levi veji drevesa, tisti z vrednostjo NE pa po desni. Leva veja se konča z listom AVTO; primeri z vrednostjo atributa DEŽ – DA se končajo v listu. Ostali primeri pridejo do vozlišča TEMPERATURA. Če je VISOKA oz. SREDNJA, se peljemo s kolesom, če je NIZKA, pa z avtom. Glede na podane primere se je algoritem naučil, da sonce ne igra nobene vloge pri uporabi transportnega sredstva in ga zato ni vstavil v odločitveno drevo.

Natančnost drevesa (modela) preverjamo s testno množico primerov, za katero poznamo vrednosti razreda. Testno množico spustimo skozi drevo, nato pa za vsak primer primerjamo vrednost razreda, ki ga je določil model, z dejansko vrednostjo.



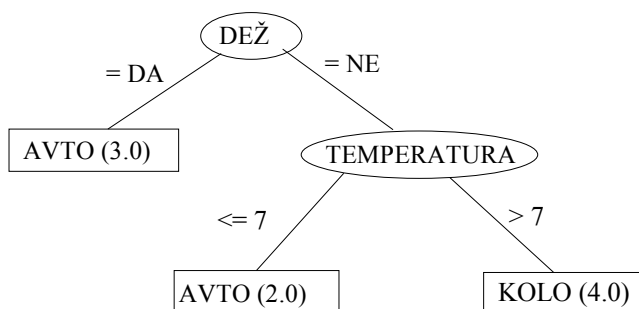
Slika 2.4.1: Odločitveno drevo podanega primera (diskretne vrednosti atributov)

Figure 2.4.1: Decision tree of given example (discrete attributes)

Odločitvena drevesa lahko ustvarjamo iz diskretnih vrednosti atributov, kot je bil opisani primer, ali iz zveznih vrednosti. Recimo, da ima atribut temperatura namesto nominalnih (diskretnih) realne (zvezne) vrednosti (preglednica 2.4.2). Potem bi odločitveno drevo izgledalo tako, kot kaže slika 2.4.2.

Preglednica 2.4.2: Enostaven primer učenja koncepta (diskretne in zvezne vrednosti atributov)
 Table 2.4.2: Simple example of concept learning (discrete and continuous attributes)

Primer	Sonce	Temperatura	Dež	prevozno sredstvo
1	Da	25	Ne	Kolo
2	Da	15	Ne	Kolo
3	Da	5	Ne	Avto
4	Da	22	Da	Avto
5	Da	10	Da	Avto
6	Da	7	Da	Avto
7	Ne	30	Ne	Kolo
8	Ne	14	Ne	Kolo
9	Ne	2	Ne	Avto



Slika 2.4.2: Odločitveno drevo podanega primera (diskretne in zvezne vrednosti atributov)
 Figure 2.4.2: Decision tree of given example (discrete and continuous attributes)

Uporaba navedenega modela:

Na voljo imamo naslednje podatke: *temperatura* = 3°C, *sonce* = DA in *dež* = NE. Na podlagi teh podatkov se želimo odločiti za uporabo ustreznega prevoza. Pri tem si pomagamo z modelom in dobimo odgovor, naj uporabimo avto.

Opisani primer ponazarja indukcijo odločitvenega drevesa (Quinlan 1986). Poleg odločitvenih dreves obstaja še vrsta učnih shem (Witten in Frank 2005), ki jih generirajo različni učni algoritmi. Nekatere izmed njih so:

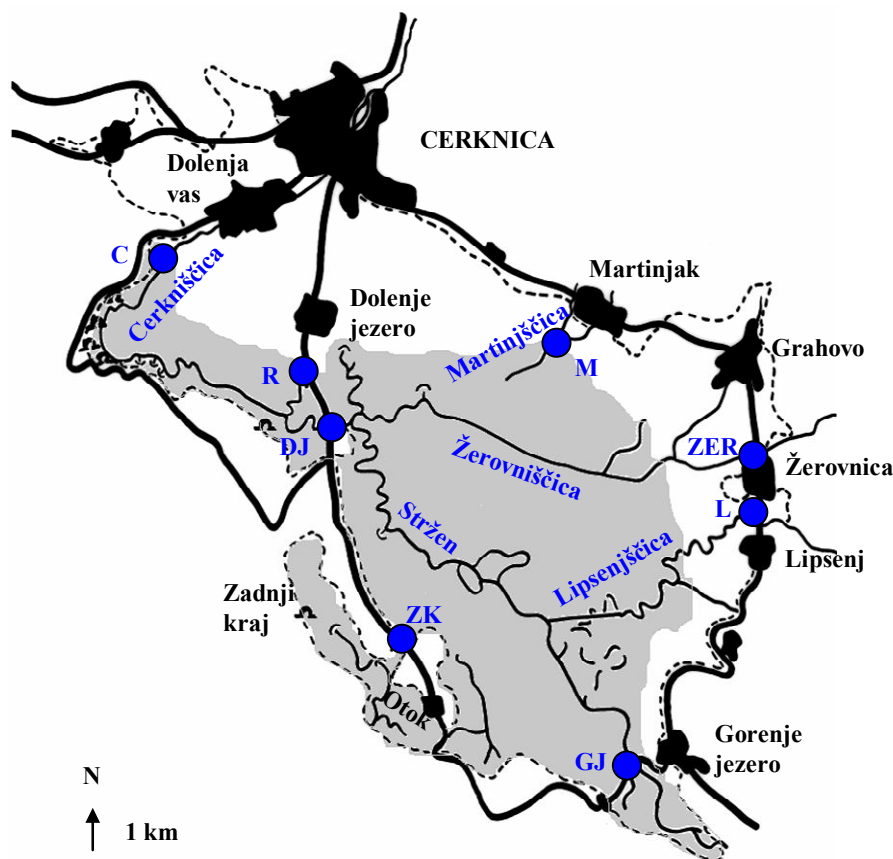
- odločitvene tabele,
- odločitvena drevesa,
- klasifikacijska pravila,
- regresijska drevesa,
- modelna drevesa,
- baza znanja,
- grupiranje itd.

Regresijska in modelna drevesa so zelo podobna odločitvenim, le da v listih vsebujejo numerično vrednost (regresijska drevesa) oz. linearno enačbo ali linearni model – LM (modelna drevesa). To pomeni, da jih uporabljamo za numerične napovedi.

3 MATERIAL IN METODE DELA

3.1 VZORČNA MESTA

Raziskave so bile izvedene na izbranih lokacijah presihajočega Cerkniškega jezera ($45^{\circ}45'N$ $14^{\circ}20'E$, 549 m n. v.), kar prikazuje slika 3.1.1.



Slika 3.1.1: Vzorčna mesta (●) na lokacijah Rešeto (R), Dolenje jezero (DJ), Zadnji kraj (ZK), Gorenje jezero (GJ) na območju presihajočega Cerkniškega jezera ter na pritokih jezera: Cerknjščica (C), Martinjščica (M), Žerovniščica (ZER) in Lipsenjščica (L) (--- - rob polja, ■ - obseg običajne poplave) (Šraj, 2007)
Figure 3.1.1: Sampling sites (●) at Rešeto (R), Dolenje jezero (DJ), Zadnji kraj (ZK), Gorenje jezero (GJ) on the area of the intermittent lake Cerknica and on the affluents of lake Cerknjščica (C), Martinjščica (M), Žerovniščica (ZER) in Lipsenjščica (L) (--- - the border of field, ■ - the area of regular flood) (Šraj, 2007)

Vzorčna mesta Dolenje in Gorenje jezero, Zadnji kraj in Rešeto se nahajajo na območju jezera, vzorčna mesta Lipsenjščica, Žerovniščica, Martinjščica in Cerknjščica pa na pritokih jezera.

Vzorčno mesto na Dolenjem jezeru je na potoku Strženu, ki je bližje ponikvam in ponornim jamam in je od izvira oddaljeno 10 km. Kadar vodostaj pade pod 100 cm, večina rastlin na bregovih ostane na kopnem. Struga je gosto poraščena.

Vzorčno mesto na Gorenjem jezeru se nahaja na Strženu, 2 km od izvira. Zaradi občasnega močnega vodnega toka je značilno premeščanje sedimenta, poraščenost struge z makrofiti je spremenljiva.

Zadnji kraj je od Stržena odmaknjen proti zahodnem obrobju polja. Vzorčno mesto obdajajo sestoji trsta. Razpon sprememb vodne gladine je podoben kot na Gorenjem jezeru, le da so spremembe počasnejše, voda pa presahne prej. V poletnem času je vzorčno mesto praviloma povsem suho.

Lokacija Rešeto je relativno majhna kotanja, ki se nahaja na območju požiralnikov. Voda se v kotanji zadrži večji del rastne sezone. Kotanja je z izjemo dna gosto poraščena z makrofiti.

3.2 HIDROLOŠKE ANALIZE

3.2.1 *ANALIZA VPLIVA PADAVIN NA VODNI REŽIM V OBDOBJU OD 1993 DO 2001*

Na območju Cerknškega jezera smo ugotavljali vpliv padavin na vodostaje Cerknškega jezera na lokacijah Gorenje in Dolenje jezero. Na Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO) smo za obdobje med leti 1993 in 2001 pridobili naslednje podatke:

- količina padavin v Novi vasi, Cerknici, Otoku in Šmarati, ki so jih beležili dnevno (v mm),
- višina vodostajev (limnografskih srednjih) na Dolenjem jezeru (DJ) in Gorenjem jezeru (GJ), odčitanih dnevno (v cm).

Količina padavin na zgoraj omenjenih lokacijah naj bi posredno ali neposredno vplivala na višino vodostajev na lokacijah Cerknškega jezera, to sta Dolenje in Gorenje jezero.

3.2.2 OBDELAVA PODATKOV S STROJNIM UČENJEM

Hidrološke podatke smo obdelali z metodo strojnega učenja. Podatke o količini padavin na lokacijah Nova vas, Cerknica, Otok in Šmarata ter o višini vodostajev na lokacijah Dolenje in Gorenje jezero smo obdelali in analizirali s programskim paketom WEKA, ki vsebuje večino popularnih algoritmov strojnega učenja (Witten and Frank, 2005, Holmes et al., 1994). Za indukcijo modelnih oz. regresijskih dreves smo uporabili algoritem M5 (Quinlan 1992, Wang and Witten 1997). Enostavna linearna regresija določi en (linearni) model odvisne spremenljivke za celotni niz podatkov, drevesno strukturirana regresija pa najprej smiselno razdeli niz na podnize ter vsakemu izmed njih določi linearni model. V tem smislu lahko drevesna linearna regresija mnogo bolje opiše nelinearno obnašanje odvisne spremenljivke. Regresijsko drevo sestoji iz vozlišč in vej. Veje povezujejo vozlišča in liste drevesa, ki predstavljajo končna vozlišča. V listih se napoveduje odvisna spremenljivka. Tu imamo lahko eno vrednost spremenljivke, takim drevesom rečemo enostavna regresijska drevesa, ali pa linearno enačbo, tem rečemo modelna regresijska drevesa.

Za naše eksperimente smo uporabili učni algoritem M5 (Quinlan 1992). Ta deluje rekurzivno, in sicer za celotno populacijo (S) najprej določi (avtomatsko) najboljši (oz. najbolj informativni) atribut. Nato razdeli celotno populacijo glede na delitveni kriterij, da doseže karseda homogen vzorec, upoštevajoč vrednost razreda ali regresijski model. Algoritem M5 uporablja povečevanje pričakovane napake v napovednih razrednih vrednostih kot ločitveni kriterij v vozlišču. S predstavlja vzorec primerov, ki dosegajo določeno notranje vozlišče drevesa. Prvi test na tem vozlišču pokaže, ali celotna populacija vsebuje le nekaj primerov ali razredna vrednost primerov le malenkostno variira. V tem primeru je proces določen in list zasnovan. Če temu ni tako, se celotna populacija (S) deli na vzorce S_i glede na rezultate testov, ki se izvajajo za vsak atribut. Vsi rezultati so ocenjeni z izračunom pričakovane napake v napovedni razredni vrednosti (enačba 1):

$$SDR = sd(S) - \sum_i \frac{|S_i|}{|S|} \cdot sd(S_i) \quad \dots (1)$$

$sd(S)$ je standardni odklon razrednih vrednosti za celotno populacijo;

S_i so vzorci, ki nastanejo zaradi delitve vozlišč glede na izbran atribut; za delitev populacije je izbran atribut, ki povečuje pričakovano napako.

Podatke smo obdelali tako, da smo zgradili modele, ki napovedujejo višine vodostajev na lokacijah Dolenje in Gorenje jezero (DJ in GJ) glede na količino padavin na lokacijah Nova vas, Cerknica, Otok in Šmarata (NV, CE, OT in SM). Napovedovali smo:

- vodostaj na Dolenjem jezeru (DJ) za en dan, tri dni in pet dni vnaprej, pri čemer smo upoštevali tudi podatke o višini vodostaja na DJ (trije modeli);
- vodostaj na Gorenjem jezeru (GJ) za en dan, tri dni in pet dni vnaprej, pri čemer smo upoštevali tudi podatke o višini vodostaja na GJ (trije modeli).

Podatkovna baza vsebuje dnevne podatke (o padavinah in vodostajih) devetih let, in sicer od leta 1993 do 2001. Priprava podatkov je med drugim obsegala tudi vpeljavo zgodovine. To pomeni, da smo zapise v podatkovni bazi spremenili tako, da vsak vsebuje vrednosti posameznega atributa, ki so se pojavile pred enim, dvema, tremi oz. štirimi dnevi. V preglednici 3.2.1 so prikazani vsi atributi, ki smo jih upoštevali v podatkovnih bazah pri izgradnji posameznega modela.

Za validacijo modelov smo uporabili postopek CROSS validacije 10. To pomeni, da program razdeli podatke na deset enakih delov in izmenično uporablja devet delov za učenje, en del pa za testiranje.

Preglednica 3.2.1: Atributi, uporabljeni pri izgradnji modelov

Table 3.2.1: Attributes used for models construction

Atribut	Opis	Enota
PAD_NV	Količina padavin v Novi vasi danes	mm
PAD-1_NV	Količina padavin v Novi vasi za en dan nazaj	mm
PAD-2_NV	Količina padavin v Novi vasi za dva dni nazaj	mm
PAD-3_NV	Količina padavin v Novi vasi za tri dni nazaj	mm
PAD-4_NV	Količina padavin v Novi vasi za štiri dni nazaj	mm
PAD-5_NV	Količina padavin v Novi vasi za pet dni nazaj	mm
PAD_CE	Količina padavin v Cerknici danes	mm
PAD-1_CE	Količina padavin v Cerknici za en dan nazaj	mm
PAD-2_CE	Količina padavin v Cerknici za dva dni nazaj	mm
PAD-3_CE	Količina padavin v Cerknici za tri dni nazaj	mm
PAD-4_CE	Količina padavin v Cerknici za štiri dni nazaj	mm
PAD-5_CE	Količina padavin v Cerknici za pet dni nazaj	mm
PAD_OT	Količina padavin v Otoku danes	mm
PAD-1_OT	Količina padavin v Otoku za en dan nazaj	mm
PAD-2_OT	Količina padavin v Otoku za dva dni nazaj	mm
PAD-3_OT	Količina padavin v Otoku za tri dni nazaj	mm
PAD-4_OT	Količina padavin v Otoku za štiri dni nazaj	mm
PAD-5_OT	Količina padavin v Otoku za pet dni nazaj	mm
PAD_SM	Količina padavin v Šmarati danes	mm
PAD-1_SM	Količina padavin v Šmarati za en dan nazaj	mm
PAD-2_SM	Količina padavin v Šmarati za dva dni nazaj	mm
PAD-3_SM	Količina padavin v Šmarati za tri dni nazaj	mm
PAD-4_SM	Količina padavin v Šmarati za štiri dni nazaj	mm
PAD-5_SM	Količina padavin v Šmarati za pet dni nazaj	mm
VOD_DJ (VOD_GJ)	Vodostaj na Dolenjem jezeru (Gorenjem jezeru) danes, oz. napoved vodostaja za X* dni naprej	cm
VOD-X_DJ (VOD-X_GJ)	Vodostaj na Dolenjem jezeru (Gorenjem jezeru) za X* dni nazaj	cm

* X pomeni število dni za katero napovedujemo vodostaj vnaprej. Na primer, če je X enako 3, napovedujemo vodostaj za tri dni vnaprej. V tem primeru pomenijo oznake atributov sledeče:

VOD-3 ... vodostaj danes,

VOD_... vodostaj čez 3 dni (napovedani),

PAD-3_... padavine danes,

PAD-2_... napoved padavin za jutri,

PAD-1_... napoved padavin za 2 dni naprej,

PAD_... napoved padavin za 3 dni naprej,

PAD-4_... količina padavin včeraj in

PAD-5_... količina padavin za dva dni nazaj.

3.3 FIZIKALNE IN KEMIJSKE ANALIZE

3.3.1 ANALIZA KAKOVOSTI VODE V OBDOBJU OD 1993 DO 2001

Kakovost vode v jezeru smo ugotavljali na podlagi večletnega spremljanja fizikalnih in kemijskih parametrov na štirih pritokih jezera in na treh lokacijah na jezeru. Podatki so bili pridobljeni na Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO). Monitoring v letih od 1993 do 2001 je obsegal naslednje lokacije:

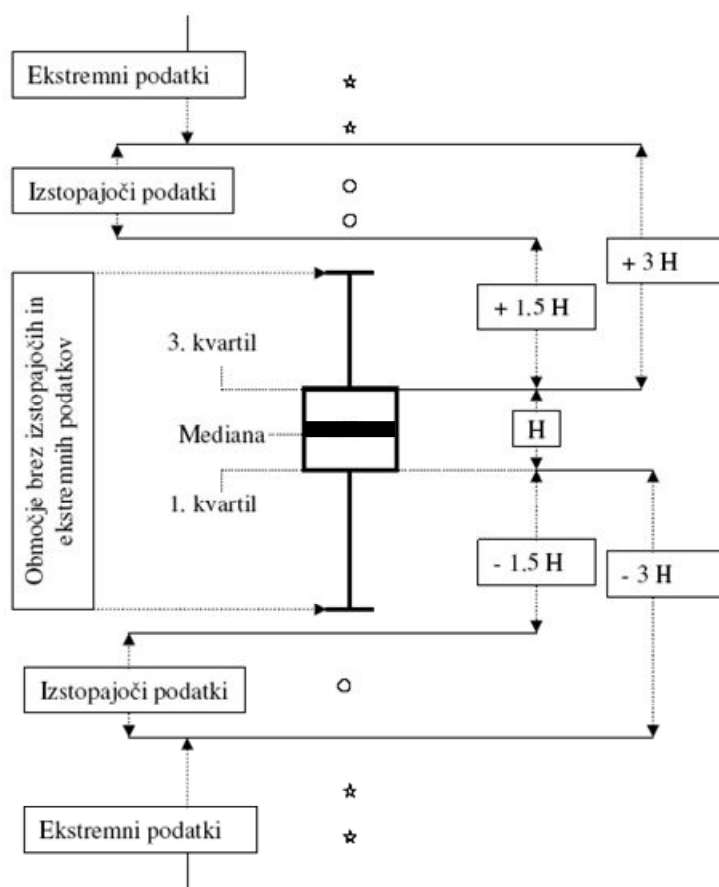
- površinska pritoka Cerknškega jezera (Cerknščica – C in Martinjščica – M) ter kraška pritoka (Lipsenjščica – L in Žerovniščica – ZER);
- lokacije na jezeru: Dolenje jezero – DJ, Zadnji kraj – ZK in Gorenje jezero – GJ.

V vodi so bili analizirani/izmerjeni sledeči parametri (ARSO): vodostaj (cm), temperatura vode (°C), temperatura zraka (°C), pH vrednost, elektroprevodnost ($\mu\text{S}/\text{cm}$), vsebnost kisika (mg/L), nasičenost s kisikom (%), KPK (mg/L), BPK₅ (mg/L), amonijev ion – NH_4^+ (mg/L), nitrit – NO_2^- (mg/L), nitrat – NO_3^- (mg/L), skupni dušik (mg/L), ortofosfat – orto P (mg/L), skupni fosfor – skupni P (mg/L), vsebnost CO_2 (mg/L), skupna trdota (°N), Ca trdota (°N), Mg trdota (°N), skupni koliformi (MPN/L), fekalni koliformi (MPN/L) (APHA 1992, Wetzel in Likens 1990).

Posamezne parametre smo prikazali glede na rastno sezono (april–september) in izven nje (oktober–marec).

3.3.2 STATISTIČNA OBDELAVA

Podatke o fizikalnih in kemijskih značilnostih vode smo združili za posamezen parameter za obdobje 1993–2001. Primerjali smo podatke za rastno sezono (april–september) in izven nje (oktober–marec) na posameznih vzorčnih mestih. Podatke smo predstavili v obliki okvirjev z ročaji (boxplot): okvirji predstavljajo 1. kvartil, mediano in 3. kvartil; ročaji predstavljajo podatke, ki ne izstopajo; \circ – izstopajoči podatki in * – ekstremni podatki (slika 3.3.1).



Slika 3.3.1: Obrazložitev grafičnega prikaza rezultatov v obliki škatle z ročaji (boxplot)
Figure 3.3.1: Boxplot result explanation

Značilne razlike v porazdelitvi merjenih parametrov smo ugotavljali s Kolmogorov-Smirnovovim testom normalnosti porazdelitve. Povezanost med dvema parametroma smo ugotavljali s pomočjo Pearsonovega korelacijskega koeficienta. Verjetnosti značilnih razlik smo označili kot: * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, *** $p \leq 0,001$. Statistično obdelavo smo naredili s programom SPSS za Windows 13.0.

3.3.3 ANALIZA KAKOVOSTI VODE NA IZBRANIH LOKACIJAH V RASTNI SEZONI 2004

Na treh izbranih lokacijah na jezeru (Rešeto, Dolenje jezero in Zadnji kraj) smo v rastni sezoni 2004 od aprila do septembra (čas, ko rastline rastejo in se razvijajo) spremljali 11 izbranih parametrov. Dvakrat mesečno smo zjutraj, opoldne in zvečer po metodologiji, ki sta jo razvila Wetzel in Likens (1990), analizirali/izmerili naslednje fizikalne in kemijske parametre: temperatura vode (°C), temperatura zraka (°C), pH vrednost, elektroprevodnost ($\mu\text{S}/\text{cm}$), vsebnost kisika (mg/L), nasičenost s kisikom (%), amonijev ion (mg/L), nitrit (mg/L), nitrat (mg/L), ortofosfat (mg/L) in vodostaj (cm).

Za analizo oz. merjenje parametrov smo uporabljali sledeče merilnike: WinLab® Data Line pH-Meter (Windaus Labortechnik Deutschland), WinLab® Data Line Conductivity-Meter (Windaus Labortechnik Deutschland), WinLab® Photometer LF 2400 (Windaus Labortechnik Deutschland) (Umwelt - Meßkoffer UW 2000, Windaus Labortechnik GmbH + Co. KG, Clausthal - Zellerfeld, Deutschland) in Oksimeter WTW – Weilheim, Deutschland.

3.4 BIOLOŠKE ANALIZE

3.4.1 POJAVLJANJE IN ZASTOPANOST MAKROFITOV NA IZBRANIH LOKACIJAH NA JEZERU V LETU 2004

Na treh izbranih lokacijah na jezeru (Rešeto, Dolenje jezero in Zadnji kraj) smo v rastni sezoni 2004 od aprila do septembra dvakrat mesečno spremljali pojavljanje in pogostost makrofitov in njihov vpliv na kakovost jezerske vode. Relativne abundance makrofitov smo ocenili po petstopenjski lestvici (Pall in Janauer 1995, EN 14184 2003): 1–posamična, 2–redka, 3–pogosta, 4–množična in 5–prevladujoča vrsta. Rastlinske vrste smo določili s pomočjo določevalnih ključev – Casper in Krausch (1980) in Martinčič in sod. (1999).

3.4.2 OBDELAVA PODATKOV

Na podlagi ocen prisotnosti in pogostosti makrofitov smo ugotovili razlike v razporeditvi rastlin tekom rastne sezone in za posamezen datum vzorčenja. Za posamezno makrofitsko vrsto smo izračunali relativno rastlinsko maso (RPM), ki predstavlja kvantitativno pomembnost vrste v danem vzorčenju (prirejeno po Pall in Janauer 1995).

$$\text{RPM}_x [\%] = \frac{\sum_i^n PM_{xi} * 100}{\sum_{j=1}^k (\sum_{i=1}^n PM_{ji})} \quad \dots (2)$$

RPM_x = relativna rastlinska masa vrste x ; PM_{xi} = rastlinska masa vrste x v vzorčenju i ($\text{PM} = a^3$);

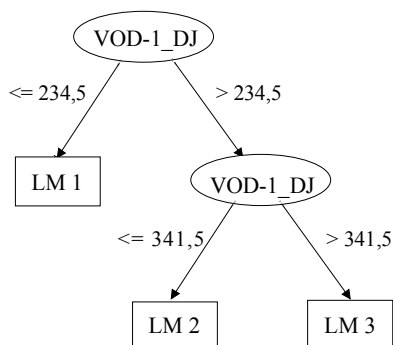
a = relativna abundanca vrste; PM_{ji} = rastlinska masa vseh vrst j prisotnih v vzorčenju i .

4 REZULTATI

4.1 VODNI REŽIM

Dolenje jezero

Na sliki 4.1.1 je prikazan model za napoved vodostaja v Dolenjem jezeru za naslednji dan. Modelno drevo sestoji iz dveh vozlišč in treh listov, kjer se nahajajo linearne enačbe. Enačba v posameznem listu drevesa velja za tisti primer (zapis v bazi), ki opravi teste v vozliščih. Npr. linearna enačba v listu LM 3 velja za primere, ki opravijo dva testa. Prvi je, da je višina vodostaja na DJ en dan nazaj večja od 234,5 cm, in drugi test je, da je višina vodostaja na DJ en dan nazaj večja od 341,5 cm. Če je drugi test negativen, tj. da je višina vodostaja na DJ en dan nazaj manjša ali enaka 341,5 cm, se bo izvedla enačba LM 2. V vseh modelih so vrednosti izbrane avtomatsko. Natančnost modela je izražena preko faktorja korelacije (0,9963), srednje absolutne napake (5,7349) in relativne absolutne napake (5,5409 %).



Slika 4.1.1: Modelno drevo za napoved vodostaja na Dolenjem jezeru (DJ) za en dan naprej
Figure 4.1.1: Model tree of Dolenje jezero (DJ) water level forecast for one day in advance

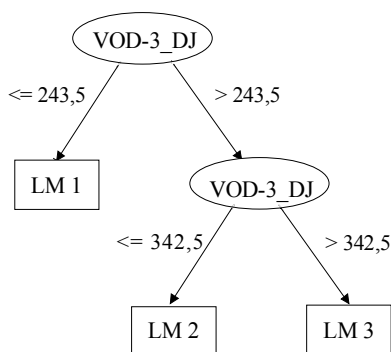
LM pomenijo linearne enačbe ali linearni modeli:

- LM 1:** $VOD_DJ = 0.0015 * PAD-1_NV + 0.257 * PAD_CE + 0.0005 * PAD-4_CE + 0.233 * PAD_OT + 0.0018 * PAD-1_OT + 0.3423 * PAD_SM + 0.6816 * PAD-1_SM + 0.9743 * VOD-1_DJ - 3.7101$
- LM 2:** $VOD_DJ = 0.0009 * PAD-1_NV + 0.3237 * PAD_CE + 0.0003 * PAD-4_CE + 0.0019 * PAD_OT + 0.1613 * PAD-1_OT + 0.0042 * PAD_SM + 0.252 * PAD-1_SM + 0.9922 * VOD-1_DJ - 2.4679$
- LM 3:** $VOD_DJ = 0.0009 * PAD-1_NV + 0.0042 * PAD_CE + 0.1233 * PAD-1_CE + 0.0003 * PAD-4_CE + 0.0019 * PAD_OT + 0.1339 * PAD-1_OT + 0.3434 * PAD_SM + 0.0041 * PAD-1_SM + 0.9565 * VOD-1_DJ + 12.1252$

Uporaba modela:

Če poznamo višino vodostaja v Dolenjem jezeru danes, attribute PAD_NV, PAD-1_NV, PAD-2_NV, PAD-3_NV, PAD-4_NV, PAD-5_NV, PAD_CE, PAD-1_CE, PAD-2_CE, PAD-3_CE, PAD-4_CE, PAD-5_CE, PAD_OT, PAD-1_OT, PAD-2_OT, PAD-3_OT, PAD-4_OT, PAD-5_OT, PAD_SM, PAD-1_SM, PAD-2_SM, PAD-3_SM, PAD-4_SM, PAD-5_SM in napoved padavin za jutri (dobimo jih s pomočjo modela ALADIN), lahko z modelom napovedujemo, kakšen bo vodostaj v Dolenjem jezeru jutri.

Slika 4.1.2 prikazuje model za napoved vodostaja v Dolenjem jezeru za tri dni naprej. Modelno drevo je tako kot prejšnje sestavljeno iz dveh vozlišč in treh listov, kjer se nahajajo linearne enačbe (LM). Natančnost modela je izražena preko faktorja korelacije (0,9831), srednje absolutne napake (14,4456) in relativne absolutne napake (13,9532 %).



Slika 4.1.2: Modelno drevo za napoved vodostaja na Dolenjem jezeru (DJ) za tri dni naprej

Figure 4.1.2: Model tree of Dolenje jezero (DJ) water level forecast for the three days in advance

Linearne enačbe so:

$$\text{LM 1: } \text{VOD_DJ} = -0.0024 * \text{PAD_NV} + 0.0038 * \text{PAD-2_NV} + 0.4568 * \text{PAD_CE} + 0.2611 * \text{PAD-1_CE} + 0.3106 * \text{PAD_OT} + 0.5075 * \text{PAD-1_OT} + 0.3597 * \text{PAD-3_OT} + 0.0023 * \text{PAD_SM} + 0.7385 * \text{PAD-1_SM} + 0.4619 * \text{PAD-2_SM} + 0.3552 * \text{PAD-3_SM} + 0.895 * \text{VOD-3_DJ} - 6.5385$$

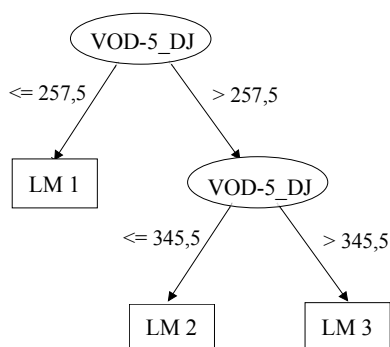
$$\text{LM 2: } \text{VOD_DJ} = -0.0058 * \text{PAD_NV} - 0.1527 * \text{PAD-1_NV} + 0.1323 * \text{PAD-2_NV} + 0.0021 * \text{PAD_CE} + 0.19 * \text{PAD-1_CE} + 0.3038 * \text{PAD_OT} + 0.3291 * \text{PAD-1_OT} + 0.2238 * \text{PAD-3_OT} + 0.1441 * \text{PAD_SM} + 0.4052 * \text{PAD-1_SM} + 0.1916 * \text{PAD-2_SM} + 0.3299 * \text{PAD-3_SM} + 0.986 * \text{VOD-3_DJ} - 11.9512$$

$$\text{LM 3: } \text{VOD_DJ} = -0.0062 * \text{PAD_NV} - 0.0027 * \text{PAD-1_NV} + 0.0059 * \text{PAD-2_NV} + 0.0021 * \text{PAD_CE} + 0.0043 * \text{PAD-1_CE} + 0.1568 * \text{PAD-2_CE} + 0.0083 * \text{PAD_OT} + 0.0091 * \text{PAD-1_OT} + 0.0062 * \text{PAD-3_OT} + 0.4485 * \text{PAD_SM} + 0.6272 * \text{PAD-1_SM} + 0.4786 * \text{PAD-3_SM} + 0.8463 * \text{VOD-3_DJ} + 43.9788$$

Uporaba modela:

Z modelom lahko napovedujemo, kakšen bo vodostaj v Dolenjem jezeru čez tri dni, če poznamo višino vodostaja v Dolenjem jezeru danes, attribute PAD_NV, PAD-1_NV, PAD-2_NV, PAD-3_NV, PAD-4_NV, PAD-5_NV, PAD_CE, PAD-1_CE, PAD-2_CE, PAD-3_CE, PAD-4_CE, PAD-5_CE, PAD_OT, PAD-1_OT, PAD-2_OT, PAD-3_OT, PAD-4_OT, PAD-5_OT, PAD_SM, PAD-1_SM, PAD-2_SM, PAD-3_SM, PAD-4_SM, PAD-5_SM in napoved padavin za tri dni naprej (dobimo jih s pomočjo modela ALADIN).

Slika 4.1.3 prikazuje model za napoved vodostaja v Dolenjem jezeru za pet dni naprej. Tako kot prejšnji modelni drevesi je tudi to sestavljeno iz dveh vozlišč in treh listov, kjer se nahajajo linearne enačbe (LM). Natančnost modela je izražena preko faktorja korelacije (0,9667), srednje absolutne napake (21,5389) in relativne absolutne napake (20,802 %).



Slika 4.1.3: Modelno drevo za napoved vodostaja na Dolenjem jezeru (DJ) za pet dni naprej
Figure 4.1.3: Model tree of Dolenje jezero (DJ) water level forecast for the five days in advance

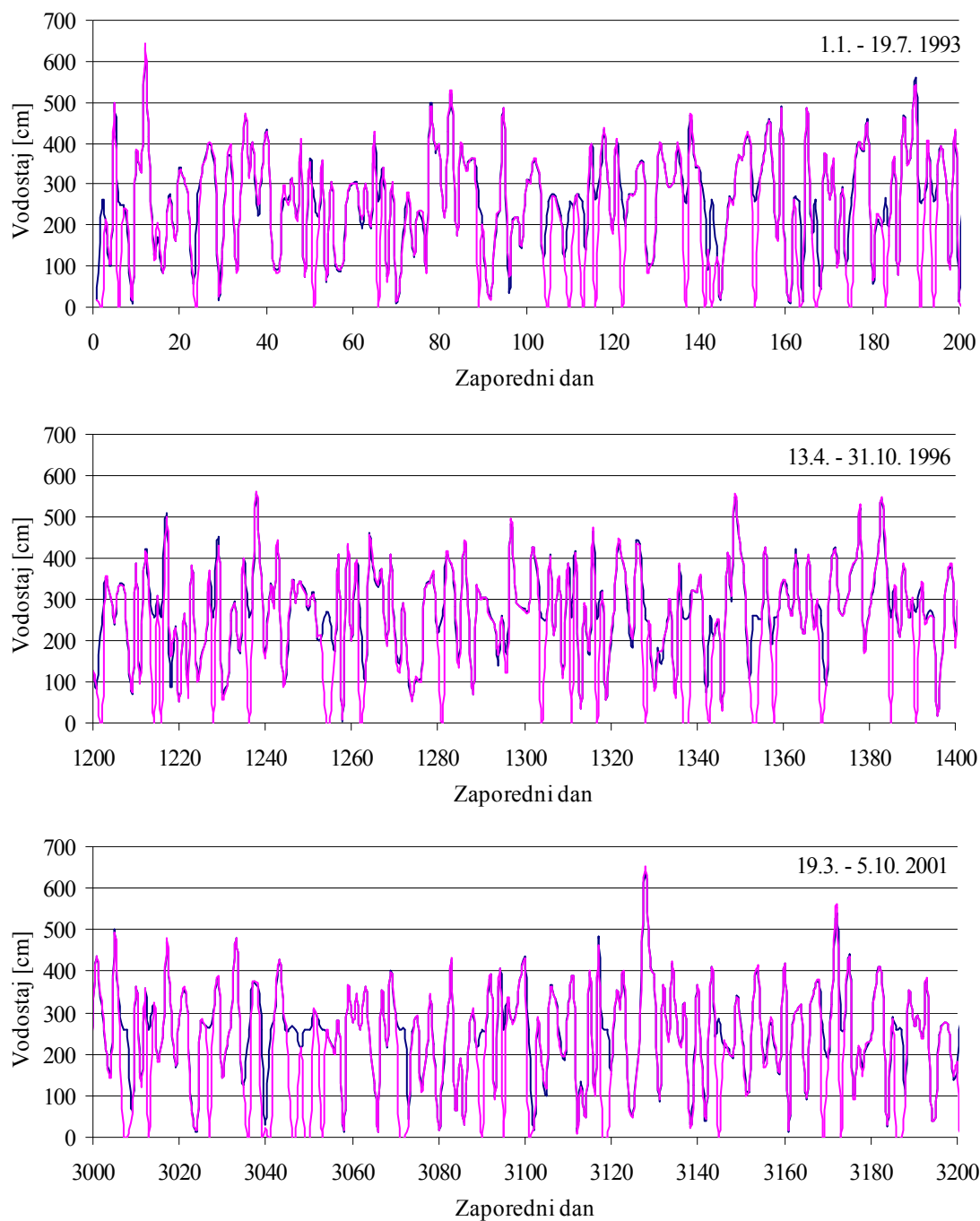
Linearne enačbe so sledeče:

- LM 1:** $VOD_DJ = 0.0022 * PAD-3_NV + 0.0029 * PAD-5_NV + 0.5162 * PAD_CE + 0.0027 * PAD-1_CE + 0.2558 * PAD-2_CE + 0.0033 * PAD_OT + 0.2979 * PAD-1_OT + 0.3222 * PAD-2_OT + 0.0043 * PAD-3_OT + 0.5898 * PAD-4_OT + 0.372 * PAD_SM + 1.0917 * PAD-1_SM + 1.3955 * PAD-3_SM + 0.6034 * PAD-5_SM + 0.8251 * VOD-5_DJ - 7.4492$
- LM 2:** $VOD_DJ = -0.0048 * PAD-1_NV + 0.0017 * PAD-3_NV + 0.0023 * PAD-5_NV + 0.4329 * PAD_CE + 0.0021 * PAD-1_CE + 0.1453 * PAD-3_CE + 0.0026 * PAD_OT + 0.7244 * PAD-1_OT + 0.0023 * PAD-2_OT + 0.5033 * PAD-3_OT + 0.003 * PAD-4_OT + 0.215 * PAD-5_OT + 0.0119 * PAD-1_SM + 0.4373 * PAD-2_SM + 0.0046 * PAD-3_SM + 0.5008 * PAD-4_SM + 0.374 * PAD-5_SM + 0.9441 * VOD-5_DJ - 10.9725$
- LM 3:** $VOD_DJ = -0.005 * PAD-1_NV + 0.4042 * PAD-3_NV - 0.3055 * PAD-4_NV + 0.0023 * PAD-5_NV + 0.0094 * PAD_CE + 0.0021 * PAD-1_CE + 0.4455 * PAD-3_CE + 0.0026 * PAD_OT + 0.0125 * PAD-1_OT + 0.0023 * PAD-2_OT + 0.0118 * PAD-3_OT + 0.003 * PAD-4_OT + 0.0042 * PAD-5_OT + 0.8512 * PAD-1_SM + 0.005 * PAD-2_SM + 0.0046 * PAD-3_SM + 0.4215 * PAD-4_SM + 0.5545 * PAD-5_SM + 0.7387 * VOD-5_DJ + 75.5051$

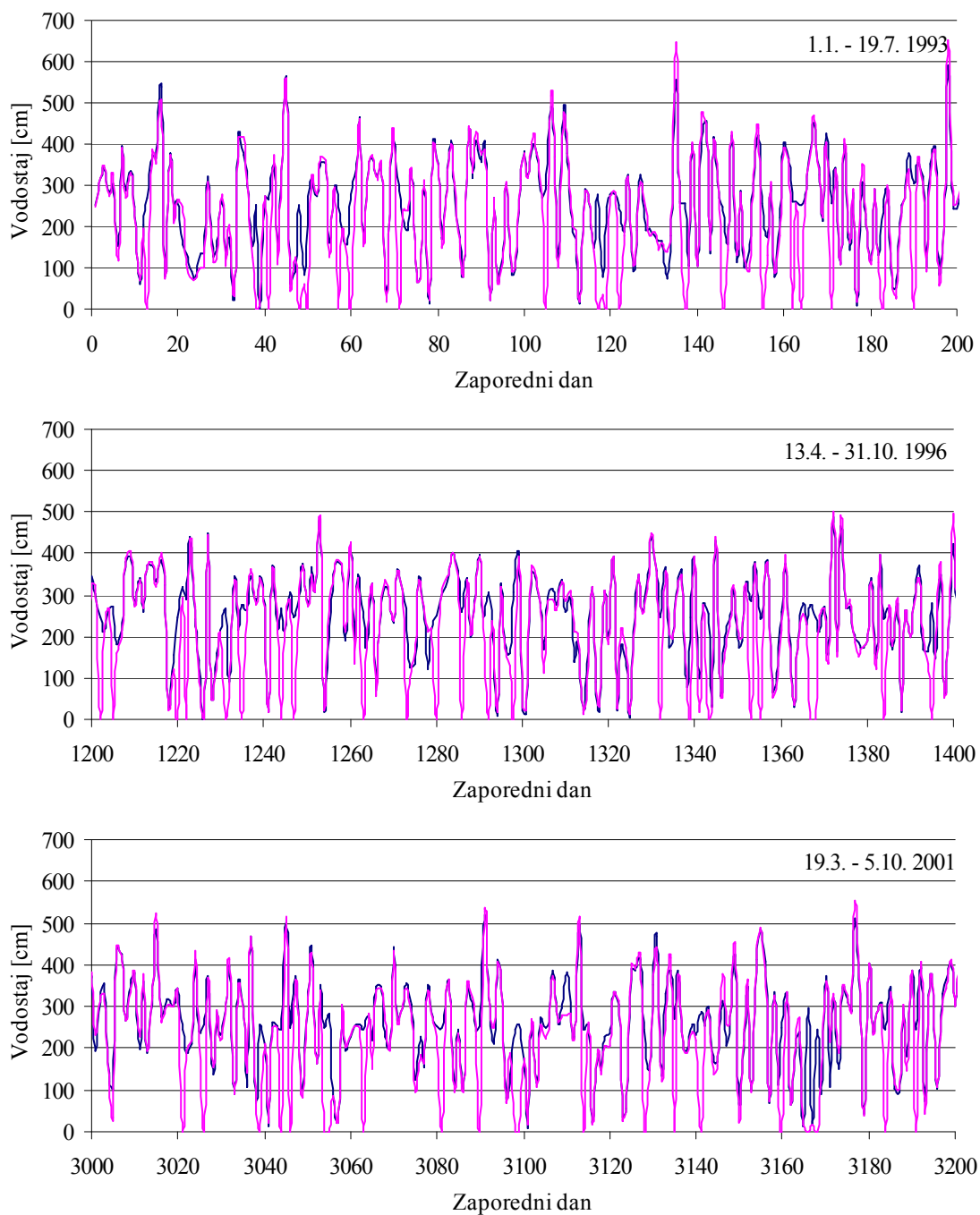
Uporaba modela:

Z modelom lahko napovedujemo, kakšen bo vodostaj v Dolenjem jezeru čez pet dni, če poznamo višino vodostaja v Dolenjem jezeru danes, attribute PAD_NV, PAD-1_NV, PAD-2_NV, PAD-3_NV, PAD-4_NV, PAD-5_NV, PAD_CE, PAD-1_CE, PAD-2_CE, PAD-3_CE, PAD-4_CE, PAD-5_CE, PAD_OT, PAD-1_OT, PAD-2_OT, PAD-3_OT, PAD-4_OT, PAD-5_OT, PAD_SM, PAD-1_SM, PAD-2_SM, PAD-3_SM, PAD-4_SM, PAD-5_SM in napoved padavin za pet dni naprej. Meteorologi s pomočjo modela Aladin napovedujejo količino padavin, zaenkrat le za tri dni naprej, ko ga bodo nadgradili in napovedovali za pet dni naprej, bomo lahko uporabili tudi naš model.

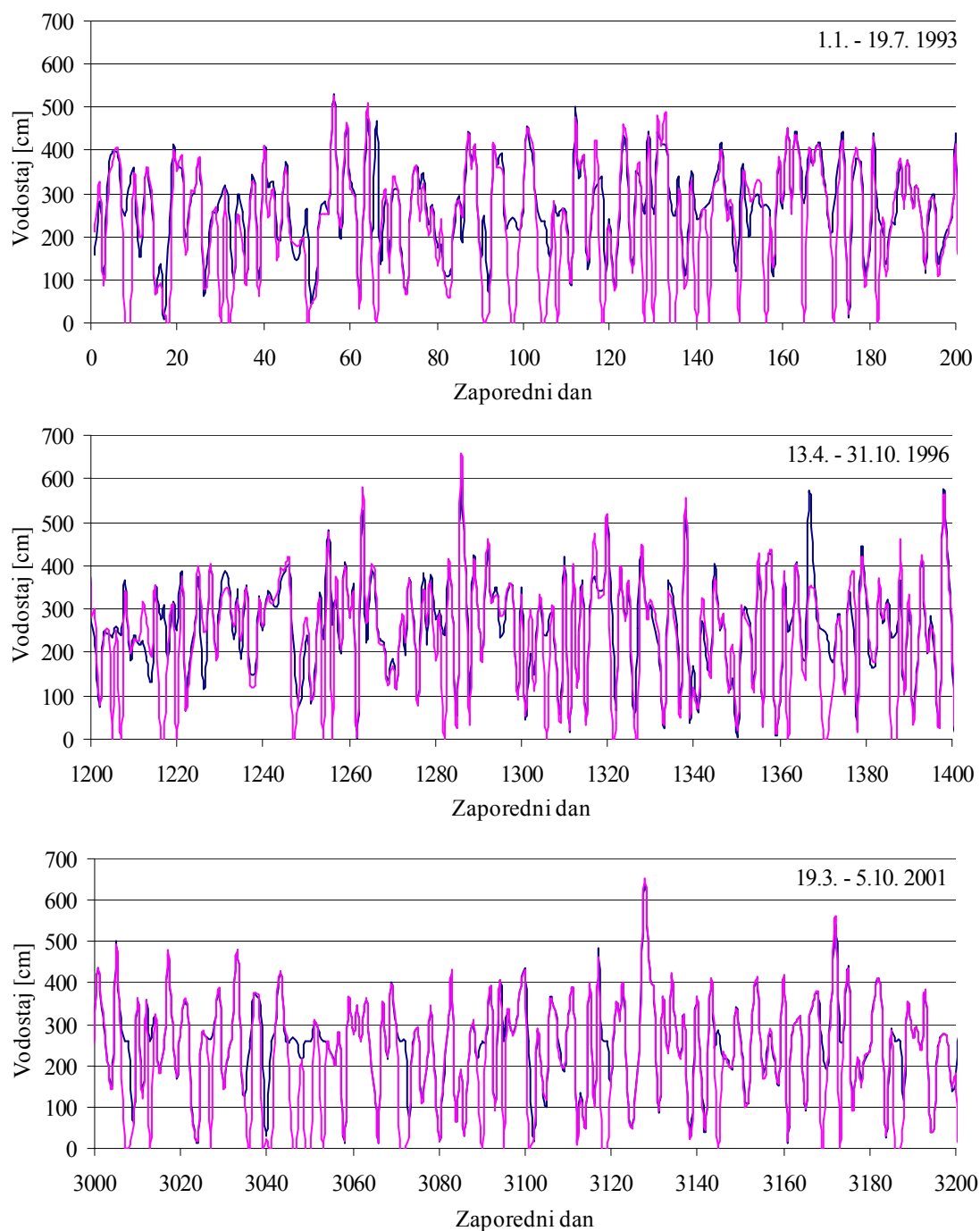
Na sliki 4.1.4 je prikazana primerjava simuliranih vrednosti z modelom skupaj z meritvami na Dolenjem jezeru za en dan naprej, na sliki 4.1.5 za tri dni naprej, na sliki 4.1.6 pa za pet dni naprej. Rezultati kažejo zelo dobro prileganje. Vrednosti brez meritev so na grafu prikazane kot 0, zato je v nekaterih dnevih opazno večje odstopanje napovedi od meritev. Iz slik je razvidno, da je napoved za en dan naprej nekoliko natančnejša od napovedi za tri dni naprej, ta pa je natančnejša od napovedi za pet dni naprej.



Slika 4.1.4: Meritve (—) in napovedi (—) za višino vodostaja na Dolenjem jezeru za en dan naprej za obdobje 200 dni v letih 1993, 1996 in 2001 (vir podatkov: ARSO)
Figure 4.1.4: Measurements (—) and forecasts (—) for water level at Dolenje jezero for one day in advance for the period of 200 days in 1993, 1996 in 2001 (data provided by ARSO)



Slika 4.1.5: Meritve (—) in napovedi (—) za višino vodostaja na Dolenjem jezeru za tri dni naprej za obdobje 200 dni v letih 1993, 1996 in 2001 (vir podatkov: ARSO).
Figure 4.1.5: Measurements (—) and forecasts (—) for water level at Dolenje jezero for three days in advance for the period of 200 days in 1993, 1996 in 2001 (data provided by ARSO).

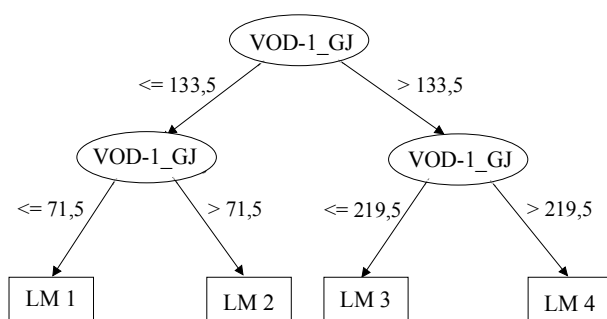


Slika 4.1.6: Meritve (—) in napovedi (—) za višino vodostaja na Dolenjem jezeru za pet dni naprej za obdobje 200 dni v letih 1993, 1996 in 2001 (vir podatkov: ARSO)

Figure 4.1.6: Measurements (—) and forecasts (—) for water level at Dolenje jezero for five days in advance for the period of 200 days in 1993, 1996 in 2001 (data provided by ARSO)

Gorenje jezero

Slika 4.1.7 prikazuje model za napoved vodostaja v Gorenjem jezeru (GJ) za naslednji dan. Modelno drevo sestoji iz treh vozlišč in štirih listov, kjer se nahajajo linearne enačbe. Enačba v posameznem listu drevesa velja za tisti primer, ki opravi teste v vozliščih. Npr. linearna enačba v listu LM 4 velja za primere, ki opravijo dva testa. Prvi je, da je višina vodostaja na GJ en dan nazaj večja od 133,5 cm, in drugi test je, da je višina vodostaja na GJ en dan nazaj večja od 219,5 cm. Če je drugi test negativen, kar pomeni, da je višina vodostaja na GJ en dan nazaj manjša ali enaka 219,5 cm, se bo izvedla enačba LM 3. Natančnost modela je izražena preko faktorja korelacije (0,9939), srednje absolutne napake (5,1493) in relativne absolutne napake (7,4586 %).



Slika 4.1.7: Modelno drevo za napoved vodostaja na Gorenjem jezeru (GJ) za en dan naprej
Figure 4.1.7: Model tree of Gorenje jezero (GJ) water level forecast for one day in advance

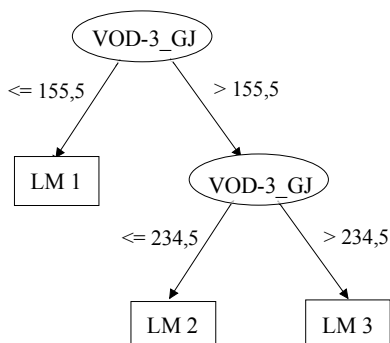
Modelno drevo ima štiri linearne enačbe:

- LM 1:** $VOD_GJ = 0.0009 * PAD_NV + 0.2118 * PAD_CE - 0.0004 * PAD_2_CE + 0.3046 * PAD_OT + 0.0014 * PAD_2_OT + 0.0004 * PAD_3_OT + 0.6481 * PAD_SM + 0.0006 * PAD_1_SM - 0.0041 * PAD_2_SM + 0.0003 * PAD_5_SM + 0.9173 * VOD_1_GJ + 1.9856$
- LM 2:** $VOD_GJ = 0.0009 * PAD_NV + 0.2891 * PAD_CE - 0.0004 * PAD_2_CE + 0.2812 * PAD_OT + 0.0606 * PAD_1_OT + 0.0018 * PAD_2_OT + 0.0685 * PAD_3_OT + 0.8445 * PAD_SM + 0.0006 * PAD_1_SM - 0.3091 * PAD_2_SM + 0.0003 * PAD_5_SM + 0.9649 * VOD_1_GJ - 0.9557$
- LM 3:** $VOD_GJ = 0.001 * PAD_NV + 0.102 * PAD_1_NV + 0.1989 * PAD_CE + 0.0529 * PAD_1_CE - 0.1365 * PAD_2_CE + 0.0024 * PAD_OT + 0.0628 * PAD_3_OT + 0.6451 * PAD_SM - 0.1526 * PAD_1_SM - 0.0005 * PAD_2_SM + 0.0003 * PAD_5_SM + 0.9956 * VOD_1_GJ - 3.7328$
- LM 4:** $VOD_GJ = 0.001 * PAD_NV + 0.0086 * PAD_CE - 0.003 * PAD_2_CE + 0.0576 * PAD_4_CE + 0.0834 * PAD_OT + 0.0026 * PAD_3_OT + 0.2545 * PAD_SM + 0.172 * PAD_1_SM - 0.0005 * PAD_2_SM + 0.0003 * PAD_5_SM + 0.9939 * VOD_1_GJ - 4.7319$

Uporaba modela:

Če poznamo višino vodostaja v Gorenjem jezeru danes, attribute PAD_NV, PAD-1_NV, PAD-2_NV, PAD-3_NV, PAD-4_NV, PAD-5_NV, PAD_CE, PAD-1_CE, PAD-2_CE, PAD-3_CE, PAD-4_CE, PAD-5_CE, PAD_OT, PAD-1_OT, PAD-2_OT, PAD-3_OT, PAD-4_OT, PAD-5_OT, PAD_SM, PAD-1_SM, PAD-2_SM, PAD-3_SM, PAD-4_SM, PAD-5_SM in napoved padavin za jutri, lahko z modelom napovedujemo, kakšen bo jutri vodostaj v Gorenjem jezeru.

Slika 4.1.8 prikazuje model za napoved vodostaja v Gorenjem jezeru za tri dni naprej. Modelno drevo je sestavljeno iz dveh vozlišč in treh listov, kjer se nahajajo linearne enačbe (LM). Faktor korelacije je 0,9776, srednja absolutna napaka 11,1983 in relativna absolutna napaka 16,2147 %.



Slika 4.1.8: Modelno drevo za napoved vodostaja na Gorenjem jezeru (GJ) za tri dni naprej
Figure 4.1.8: Model tree of Gorenje jezero (GJ) water level forecast for the three days in advance

Linearne enačbe so:

$$\text{LM 1: } \text{VOD_GJ} = -0.2418 * \text{PAD_NV} + 0.0707 * \text{PAD-1_NV} - 0.0719 * \text{PAD-3_NV} + 0.1498 * \text{PAD_CE} + 0.0009 * \text{PAD-1_CE} + 0.4436 * \text{PAD_OT} + 0.3829 * \text{PAD-1_OT} + 0.0897 * \text{PAD-2_OT} + 0.0006 * \text{PAD-3_OT} + 1.0994 * \text{PAD_SM} + 0.8345 * \text{PAD-1_SM} - 0.4089 * \text{PAD-2_SM} + 0.0015 * \text{PAD-3_SM} + 0.8606 * \text{VOD-3_GJ} + 1.2934$$

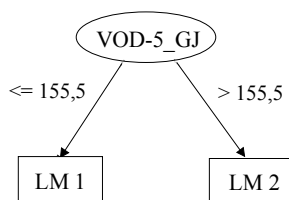
$$\text{LM 2: } \text{VOD_GJ} = 0.0019 * \text{PAD-1_NV} + 0.1543 * \text{PAD-2_NV} - 0.1226 * \text{PAD-3_NV} + 0.5763 * \text{PAD_CE} + 0.2731 * \text{PAD-1_CE} - 0.1275 * \text{PAD-2_CE} - 0.001 * \text{PAD-3_CE} + 0.0054 * \text{PAD_OT} + 0.1421 * \text{PAD-1_OT} + 0.0009 * \text{PAD-3_OT} + 0.0061 * \text{PAD_SM} + 0.527 * \text{PAD-1_SM} - 0.0013 * \text{PAD-2_SM} + 0.0096 * \text{PAD-3_SM} + 0.9796 * \text{VOD-3_GJ} - 10.3842$$

$$\text{LM 3: } \text{VOD_GJ} = 0.0019 * \text{PAD-1_NV} + 0.0023 * \text{PAD-2_NV} - 0.012 * \text{PAD-3_NV} + 0.0214 * \text{PAD_CE} + 0.0082 * \text{PAD-1_CE} - 0.0022 * \text{PAD-3_CE} + 0.0054 * \text{PAD_OT} + 0.0067 * \text{PAD-1_OT} + 0.1125 * \text{PAD-2_OT} + 0.0009 * \text{PAD-3_OT} + 0.0061 * \text{PAD_SM} + 0.5971 * \text{PAD-1_SM} - 0.0013 * \text{PAD-2_SM} + 0.3788 * \text{PAD-3_SM} + 0.9719 * \text{VOD-3_GJ} - 10.8612$$

Uporaba modela:

Z modelom lahko napovedujemo, kakšen bo vodostaj v Dolenjem jezeru čez tri dni, če poznamo višino vodostaja v Dolenjem jezeru danes, attribute PAD_NV, PAD-1_NV, PAD-2_NV, PAD-3_NV, PAD-4_NV, PAD-5_NV, PAD_CE, PAD-1_CE, PAD-2_CE, PAD-3_CE, PAD-4_CE, PAD-5_CE, PAD_OT, PAD-1_OT, PAD-2_OT, PAD-3_OT, PAD-4_OT, PAD-5_OT, PAD_SM, PAD-1_SM, PAD-2_SM, PAD-3_SM, PAD-4_SM, PAD-5_SM in napoved padavin za tri dni naprej.

Na sliki 4.1.9 je prikazan model za napoved vodostaja v Gorenjem jezeru za pet dni naprej. Modelno drevo je sestavljeno iz enega vozlišča in dveh listov, kjer se nahajata linearni enačbi. Natančnost modela je izražena preko faktorja korelacije (0,9623), srednje absolutne napake (15,733) in relativne absolutne napake (22,7785 %).



Slika 4.1.9: Modelno drevo za napoved vodostaja na Gorenjem jezeru (GJ) za pet dni naprej

Figure 4.1.9: Model tree of Gorenje jezero (GJ) water level forecast for the five days in advance

Model ima dve linearni enačbi:

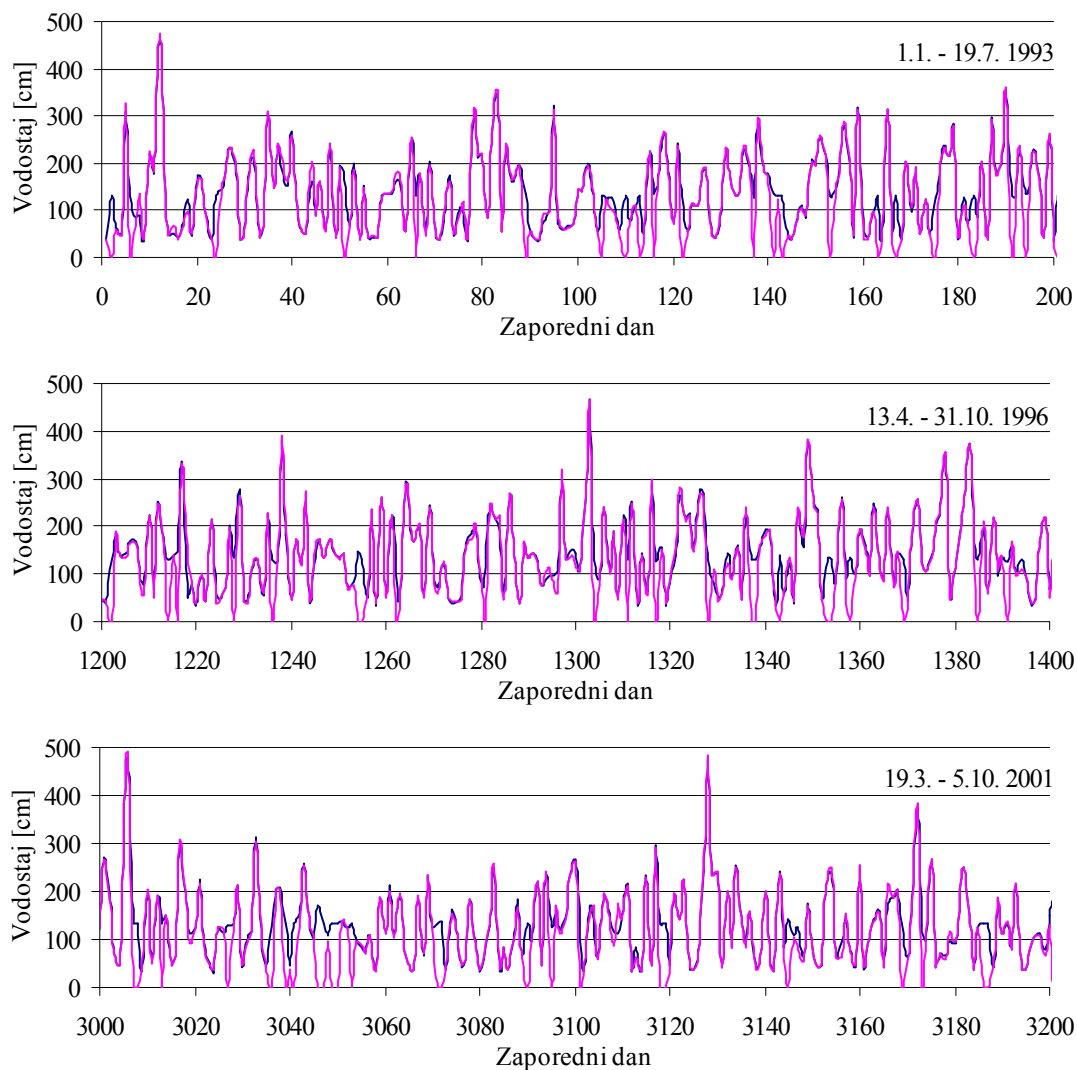
LM 1: $VOD_GJ = -0.279 * PAD_NV + 0.1662 * PAD-5_NV + 0.278 * PAD_CE + 0.16 * PAD-1_CE - 0.1193 * PAD-2_CE + 0.1507 * PAD-3_CE + 0.0008 * PAD-4_CE + 0.3877 * PAD_OT + 0.4354 * PAD-1_OT + 0.5076 * PAD-3_OT - 0.1582 * PAD-4_OT + 1.037 * PAD_SM + 0.6737 * PAD-1_SM + 0.3596 * PAD-3_SM - 0.3164 * PAD-5_SM + 0.7908 * VOD-5_GJ + 0.8878$

LM 2: $VOD_GJ = -0.0023 * PAD-5_NV + 0.0017 * PAD_CE + 0.0012 * PAD-1_CE + 0.1969 * PAD-3_CE + 0.0012 * PAD-4_CE + 0.0056 * PAD_OT + 0.2535 * PAD-1_OT + 0.005 * PAD-3_OT - 0.0013 * PAD-4_OT + 0.1489 * PAD-5_OT + 0.5331 * PAD_SM + 0.5519 * PAD-1_SM + 0.7549 * PAD-3_SM + 0.0036 * PAD-5_SM + 0.918 * VOD-5_GJ - 10.1529$

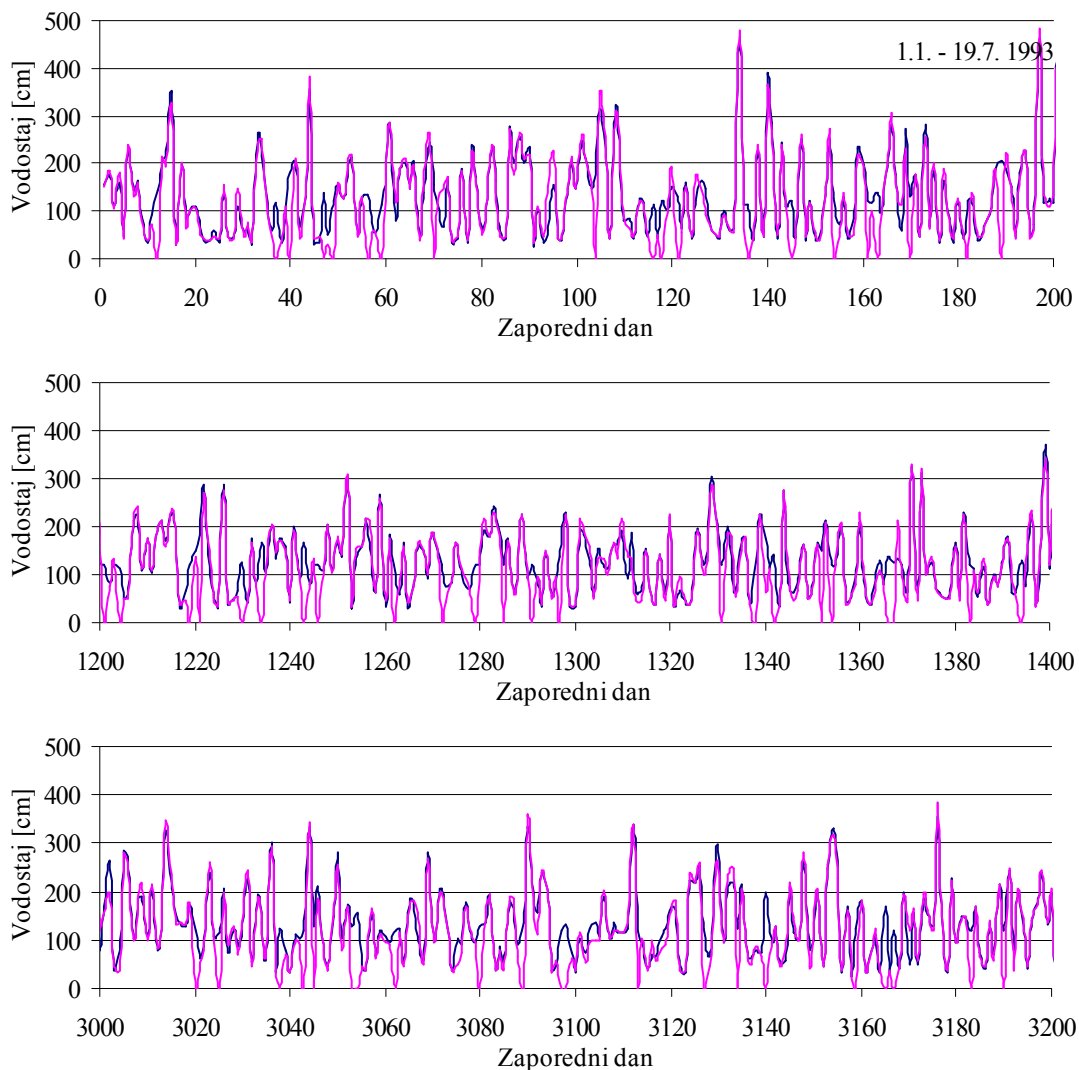
Uporaba modela:

Z modelom lahko napovedujemo, kakšen bo vodostaj v Gorenjem jezeru čez pet dni, če poznamo višino vodostaja v Gorenjem jezeru danes, attribute PAD_NV, PAD-1_NV, PAD-2_NV, PAD-3_NV, PAD-4_NV, PAD-5_NV, PAD_CE, PAD-1_CE, PAD-2_CE, PAD-3_CE, PAD-4_CE, PAD-5_CE, PAD_OT, PAD-1_OT, PAD-2_OT, PAD-3_OT, PAD-4_OT, PAD-5_OT, PAD_SM, PAD-1_SM, PAD-2_SM, PAD-3_SM, PAD-4_SM, PAD-5_SM in napoved padavin za pet dni naprej.

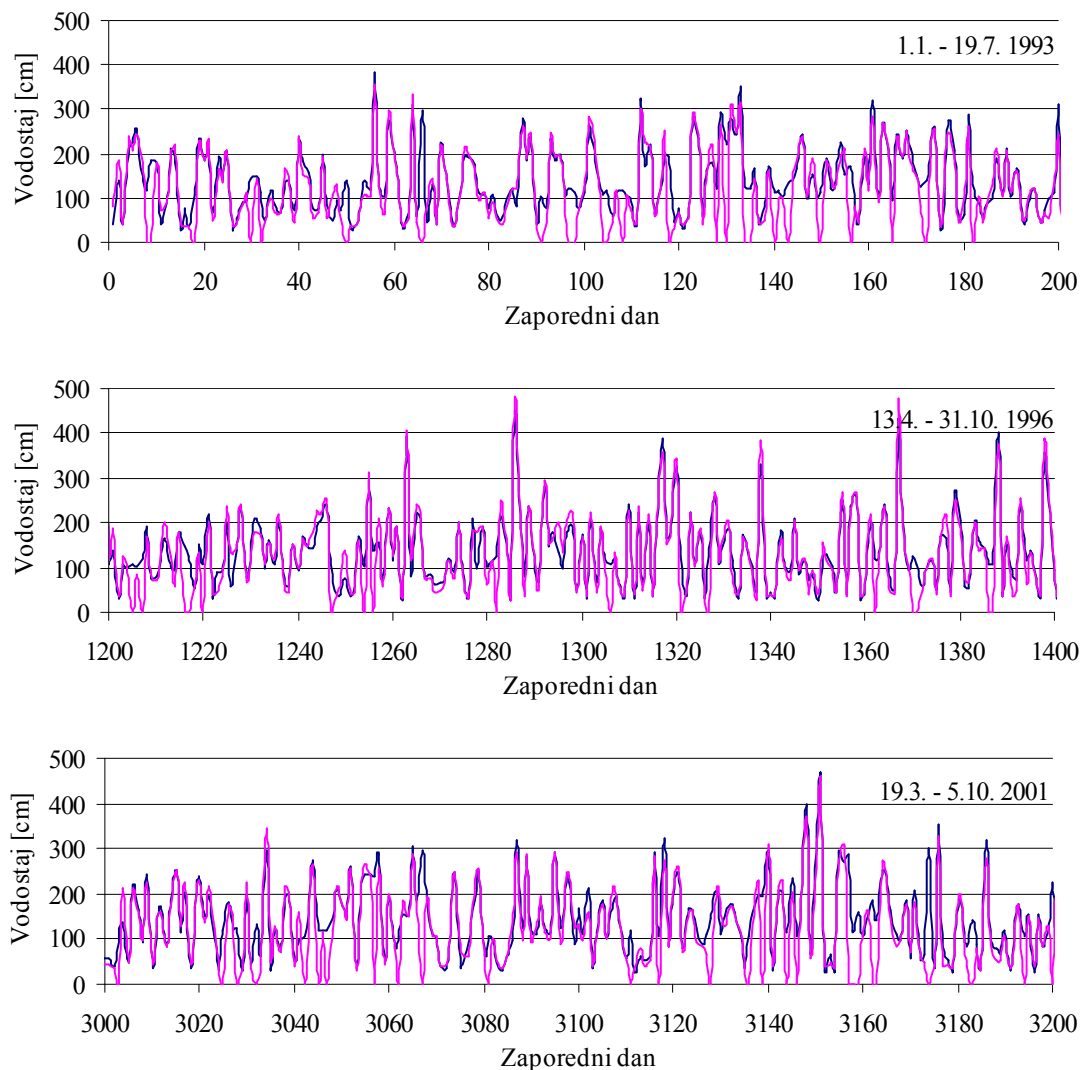
Slika 4.1.10 prikazuje primerjavo simuliranih vrednosti z modelom skupaj z meritvami na Gorenjem jezeru za en dan naprej, na sliki 4.1.11 za tri dni naprej, na sliki 4.1.12 pa za pet dni naprej. Vrednosti brez meritev so na grafu prikazane kot 0, zato je v nekaterih dnevih opazno večje odstopanje napovedi od meritev, sicer pa rezultati kažejo dobro prileganje. Iz vseh slik je razvidno, da je napoved za en dan naprej nekoliko natančnejša od napovedi za tri dni naprej, ta pa je natančnejša od napovedi za pet dni naprej.



Slika 4.1.10: Meritve (—) in napovedi (—) za višino vodostaja na Gorenjem jezeru za en dan naprej za obdobje 200 dni v letih 1993, 1996 in 2001 (vir podatkov: ARSO)
Figure 4.1.10: Measurements (—) and forecasts (—) for water level at Gorenje jezero for one day in advance for the period of 200 days in 1993, 1996 in 2001 (data provided by ARSO)



Slika 4.1.11: Meritve (—) in napovedi (—) za višino vodostaja na Gorenjem jezeru za tri dni naprej za obdobje 200 dni v letih 1993, 1996 in 2001 (vir podatkov: ARSO)
Figure 4.1.11: Measurements (—) and forecasts (—) for water level at Gorenje jezero for three days in advance for the period of 200 days in 1993, 1996 in 2001 (data provided by ARSO)

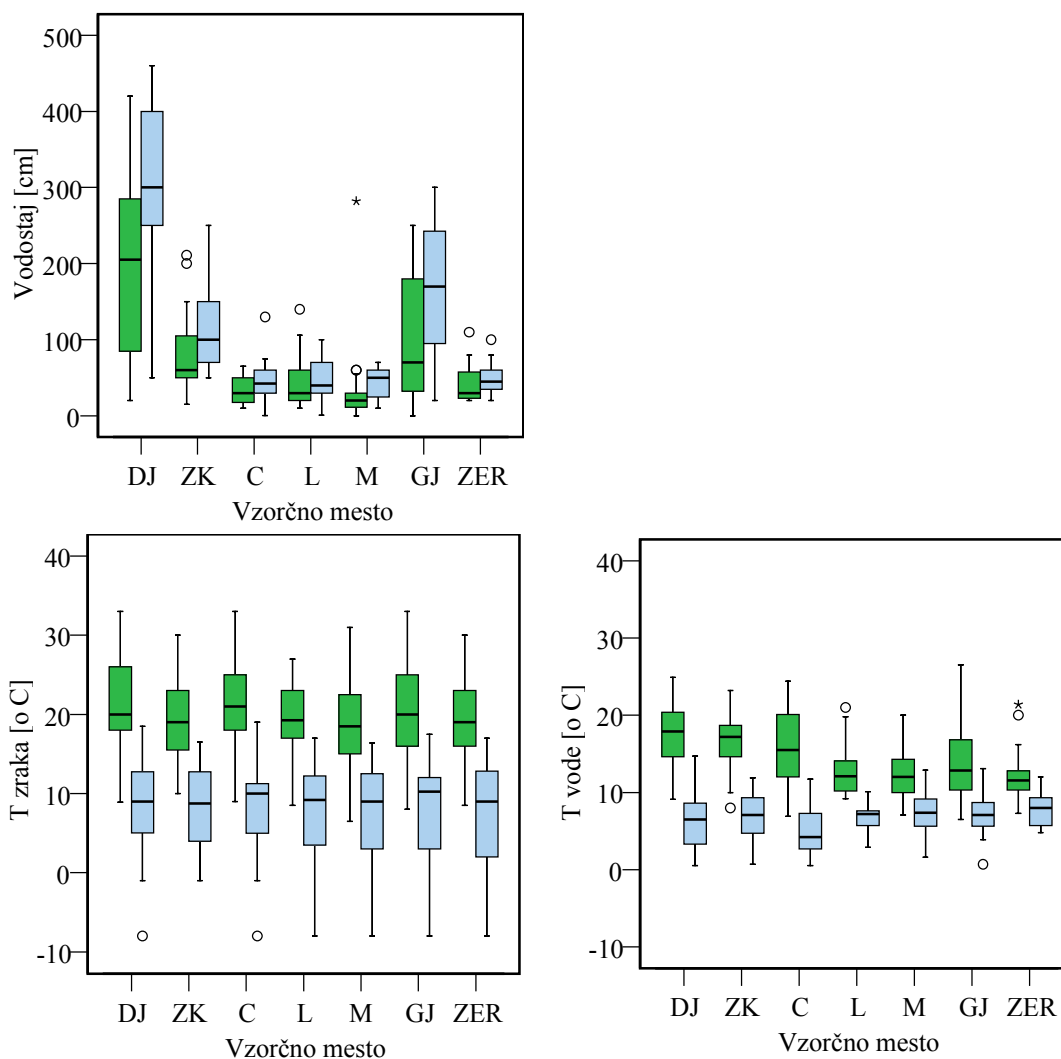


Slika 4.1.12: Meritve (—) in napovedi (—) za višino vodostaja na Gorenjem jezeru za pet dni naprej za obdobje 200 dni v letih 1993, 1996 in 2001 (vir podatkov: ARSO)

Figure 4.1.12: Measurements (—) and forecasts (—) for water level at Gorenje jezero for five days in advance for the period of 200 days in 1993, 1996 in 2001 (data provided by ARSO)

4.2 KAKOVOST VODE V ODVISNOSTI OD SEZONE ZA OBDOBJE 1993–2001

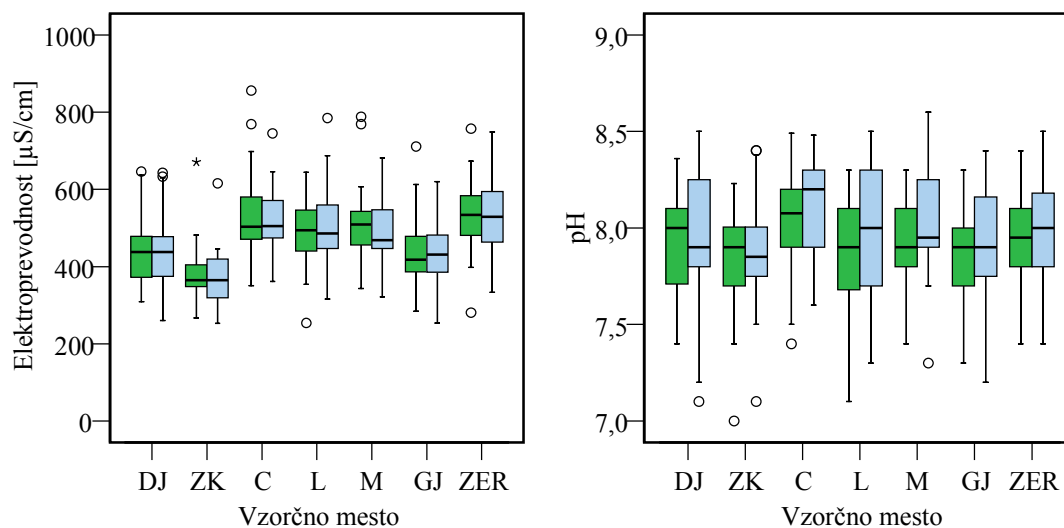
Monitoring je pokazal, da so največje spremembe vodostaja (slika 4.2.1) značilne za lokacije na jezeru (DJ, ZK, GJ). Temperature vode in zraka so na vseh vzorčnih mestih višje v času rastle sezone, medtem ko je vodna gladina nižja kot izven sezone.



Slika 4.2.1: Vodostaj ter temperatura zraka in vode na vzorčnih mestih Dolenje jezero (DJ), Zadnji kraj (ZK), Cerkniščica (C), Lipsenjščica (L), Martinjščica (M), Gorenje jezero (GJ) in Žerovniščica (ZER) za obdobji april–september (■) ter oktober–marec (■) 1993-2001 (N=71) (vir podatkov: ARSO)

Figure 4.2.1: Water level and the temperature of air and water at sampling sites of Dolenje jezero (DJ), Zadnji kraj (ZK), Cerkniščica (C), Lipsenjščica (L), Martinjščica (M), Gorenje jezero (GJ) and Žerovniščica (ZER) for periods april–september (■) and oktober–marec (■) 1993-2001 (N=71) (data provided by ARSO)

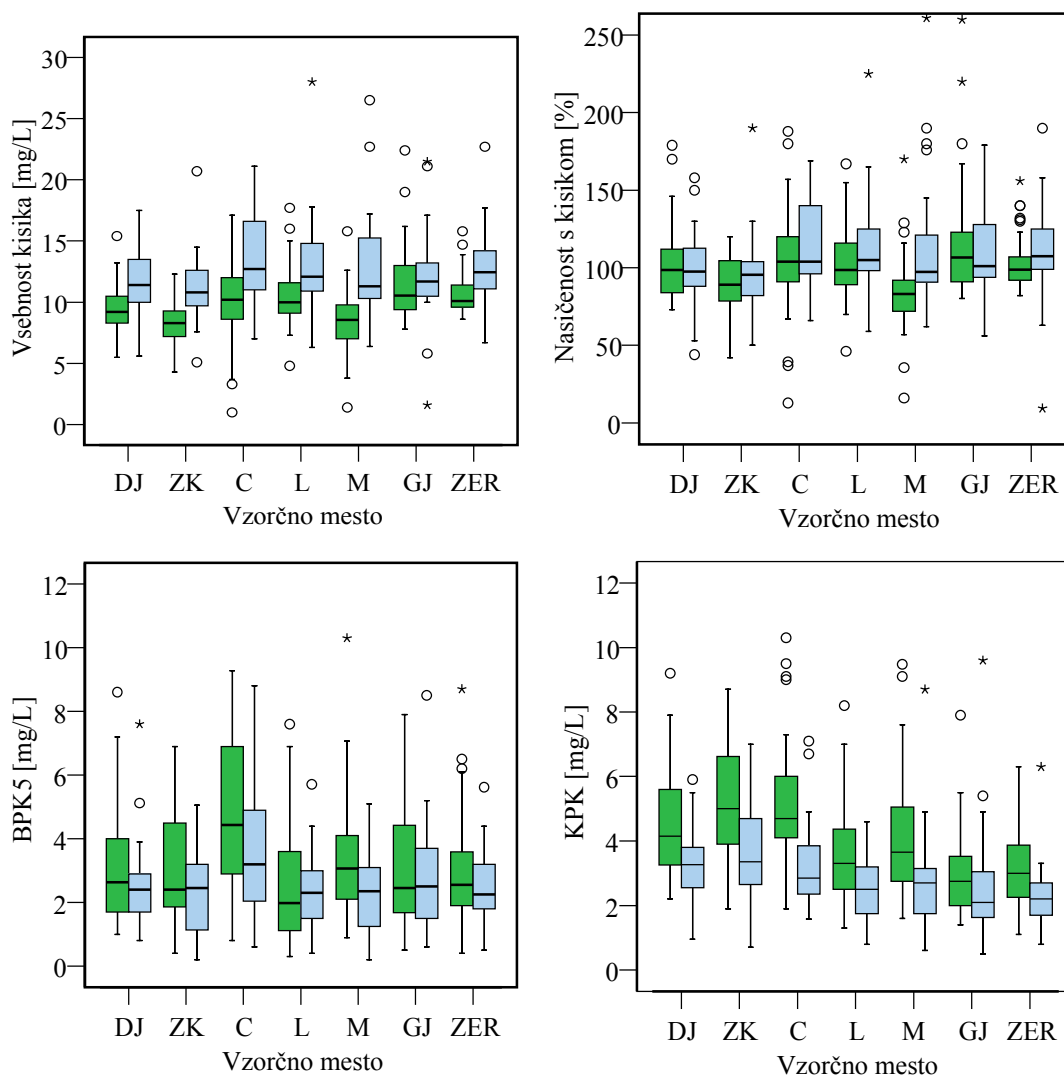
pH (slika 4.2.2) je na vseh vzorčnih mestih okrog 8, razlik med rastno sezono in izven nje ni. Elektroprevodnost je na lokacijah na jezeru (DJ, ZK in GJ) nižja kot na pritokih, med sezonami pa ni bistvenih razlik.



Slika 4.2.2: pH in elektroprevodnost vode na vzorčnih mestih Dolenje jezero (DJ), Zadnji kraj (ZK), Cerkniščica (C), Lipsenjščica (L), Martinjščica (M), Gorenje jezero (GJ) in Žerovniščica (ZER) za obdobji april–september (■) ter oktober–marec (■) 1993–2001 (N=71) (vir podatkov: ARSO)

Figure 4.2.2: pH and electrical conductivity at sampling sites of Dolenje jezero (DJ), Zadnji kraj (ZK), Cerkniščica (C), Lipsenjščica (L), Martinjščica (M), Gorenje jezero (GJ) and Žerovniščica (ZER) for periods april–september (■) and october–march (■) 1993–2001 (N=71) (data provided by ARSO)

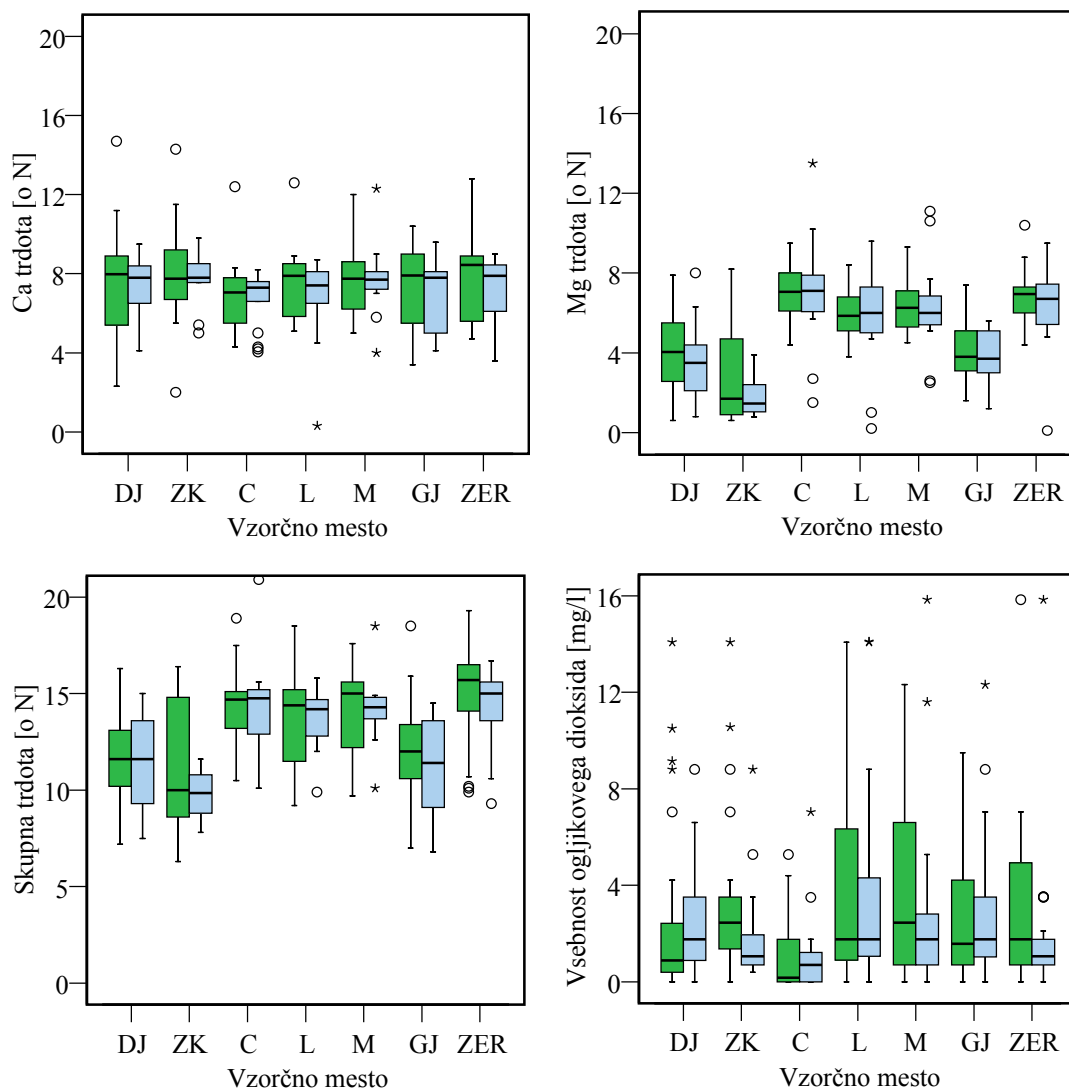
Vsebnosti kisika (slika 4.2.3) so na vseh vzorčnih mestih v rasti sezoni bistveno nižje kot izven nje, razen na Gorenjem jezeru, kjer je ta razlika manjša. Nasičenost s kisikom je na jezerskih lokacijah (DJ, ZK in GJ) nižja kot na pritokih, med sezonami pa ni večjih razlik, razen na vzorčnem mestu Martinjščica. Biološka potreba po kisiku (BPK_5) se med sezonami ne razlikuje (le na pritoku Cerknjščica), medtem ko je kemijska potreba po kisiku (KPK) višja v rasti sezoni.



Slika 4.2.3: Nasičenost s kisikom, vsebnost kisika v vodi, KPK in BPK_5 na vzorčnih mestih Dolenje jezero (DJ), Zadnji kraj (ZK), Cerknjščica (C), Lipsenjščica (L), Martinjščica (M), Gorenje jezero (GJ) in Žerovniščica (ZER) za obdobji april-september (■) ter oktober-marec (■) 1993-2001 (N=71) (vir podatkov: ARSO)

Figure 4.2.3: Oxygen saturation and concentration, COD and BOD_5 at sampling sites of Dolenje jezero (DJ), Zadnji kraj (ZK), Cerknjščica (C), Lipsenjščica (L), Martinjščica (M), Gorenje jezero (GJ) and Žerovniščica (ZER) for periods april-september (■) and october-march (■) 1993-2001 (N=71) (data provided by ARSO)

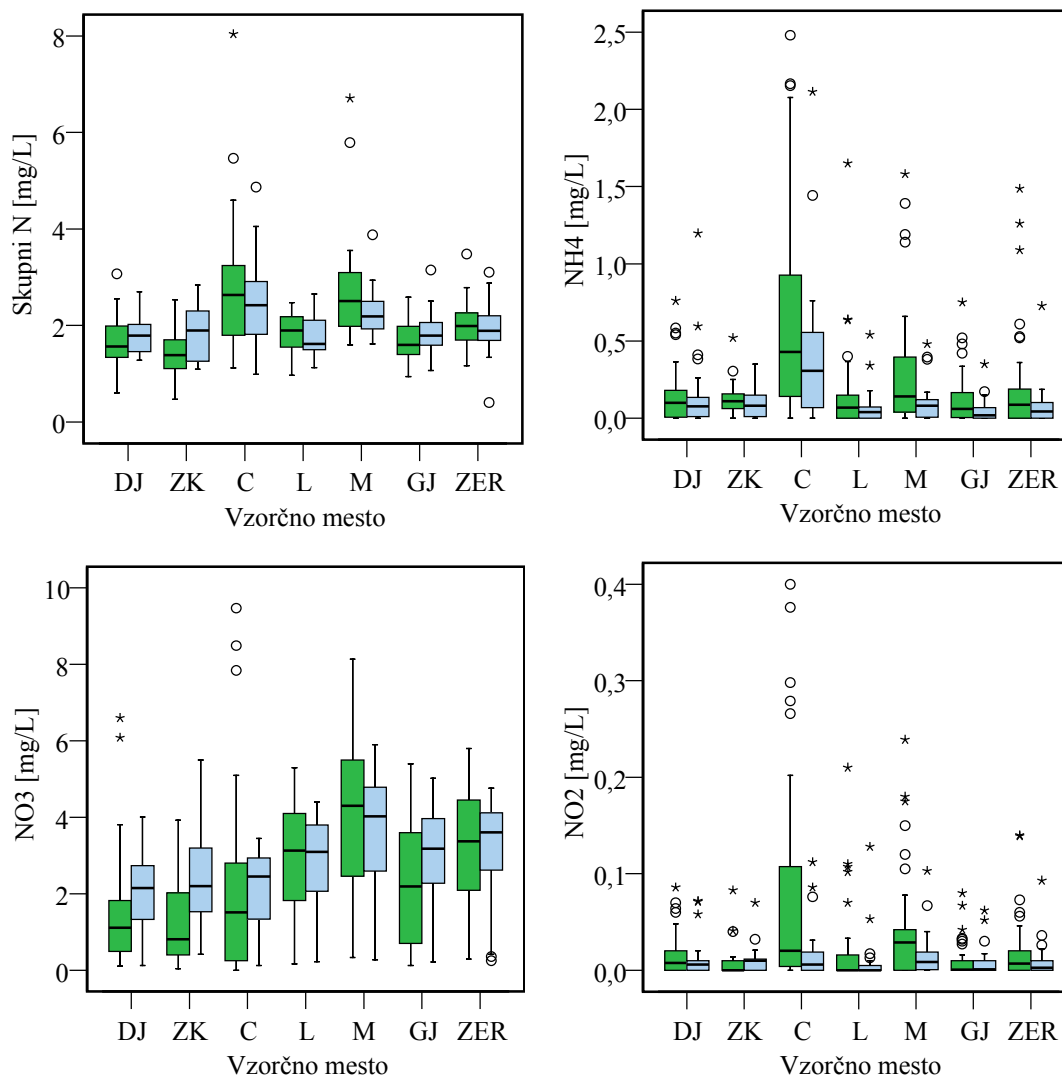
Magnezijeva in skupna trdota vode sta na jezerskih vzorčnih mestih (Dolenje jezero, Zadnji kraj in Gorenje jezero) nižji, kalcijeva pa se med vzorčnimi mesti ne razlikuje (slika 4.2.4). Med sezonama ni razlik v kalcijevi, magnezijevi in skupni trdoti vode. Za vsebnosti ogljikovega dioksida je značilna velika variabilnost, ki je še posebej izrazita v rastni sezoni.



Slika 4.2.4: Kalcijeva, magnezijeva in skupna trdota vode ter vsebnost CO₂ na vzorčnih mestih Dolenje jezero (DJ), Zadnji kraj (ZK), Cerkniščica (C), Lipsenjščica (L), Martinjščica (M), Gorenje jezero (GJ) in Žerovniščica (ZER) za obdobji april–september (■) ter oktober–marec (■) 1993–2001 (N=71) (vir podatkov: ARSO)

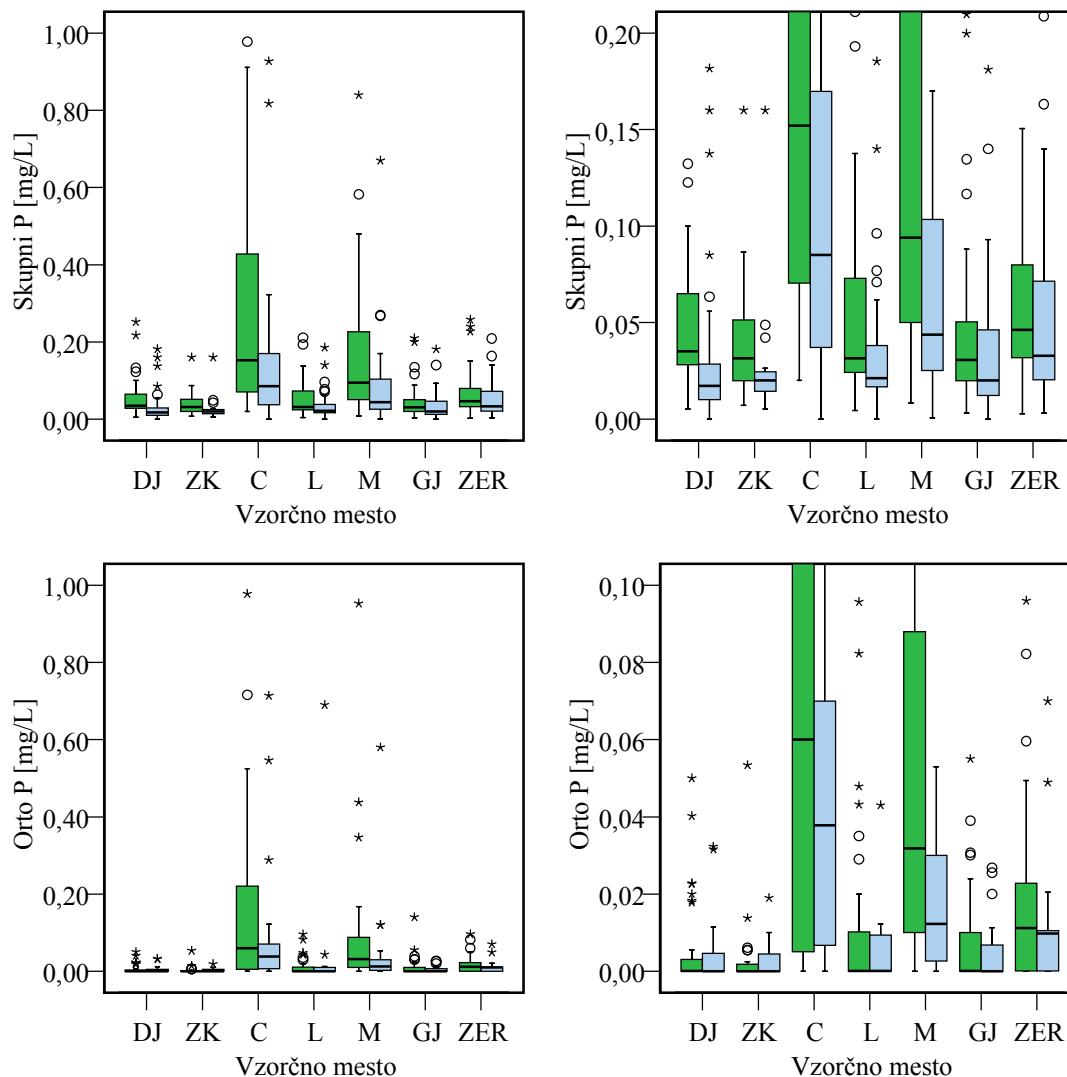
Figure 4.2.4: Calcium, magnesium and total hardness of water, and concentration of CO₂ at sampling sites of Dolenje jezero (DJ), Zadnji kraj (ZK), Cerkniščica (C), Lipsenjščica (L), Martinjščica (M), Gorenje jezero (GJ) and Žerovniščica (ZER) for periods april–september (■) and october–march (■) 1993–2001 (N=71) (data provided by ARSO)

Sliki 4.2.5 in 4.2.6 prikazujeta vsebnosti hranil (različne oblike N in P) v vodi. Med obema sezonama ni razlik v skupnem dušiku. Na vzorčnih mestih Cerknšičica in Martinjšičica so vsebnosti skupnega dušika, amonija in nitrita ter obeh oblik fosforja višje kot na ostalih vzorčnih mestih.



Slika 4.2.5: Skupni dušik, amonijev ion, nitrat in nitrit na vzorčnih mestih Dolenje jezero (DJ), Zadnji kraj (ZK), Cerknšičica (C), Lipsenjščica (L), Martinjšičica (M), Gorenje jezero (GJ) in Žerovniščica (ZER) za obdobji april–september (■) ter oktober–marec (■) 1993-2001 (N=71) (vir podatkov: ARSO)

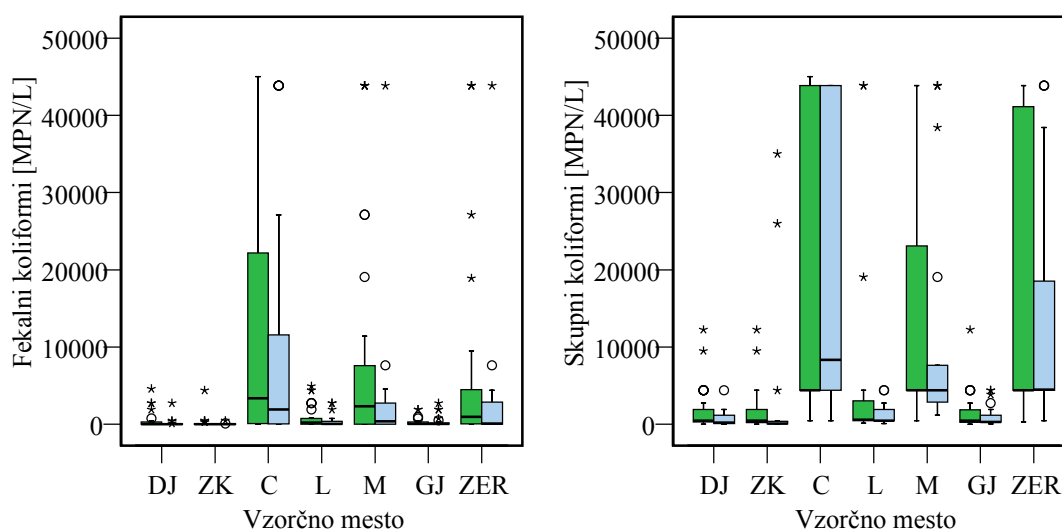
Figure 4.2.5: Total nitrogen, ammonium, nitrate and nitrite at sampling sites of Dolenje jezero (DJ), Zadnji kraj (ZK), Cerknšičica (C), Lipsenjščica (L), Martinjšičica (M), Gorenje jezero (GJ) and Žerovniščica (ZER) for periods april–september (■) and october–march (■) 1993-2001 (N=71) (data provided by ARSO)



Slika 4.2.6: Skupni fosfor in ortofosfat (dve različni skali) na vzorčnih mestih Dolenje jezero (DJ), Zadnji kraj (ZK), Cerknščica (C), Lipsenjščica (L), Martinjščica (M), Gorenje jezero (GJ) in Žerovniščica (ZER) za obdobji april–september (■) ter oktober–marec (■) 1993-2001 (N=71) (vir podatkov: ARSO)

Figure 4.2.6: Total phosphorous and orthophosphat (two different scales) at sampling sites of Dolenje jezero (DJ), Zadnji kraj (ZK), Cerknščica (C), Lipsenjščica (L), Martinjščica (M), Gorenje jezero (GJ) and Žerovniščica (ZER) for periods april–september (■) and oktober–march (■) 1993-2001 (N=71) (data provided by ARSO)

Prisotnost skupnih koliformnih bakterij in koliformnih bakterij fekalnega izvora je na jezerskih vzorčnih mestih (Dolenje jezero, Zadnji kraj in Gorenje jezero) ter v pritoku Lipsenjščica zelo nizka (slika 4.2.7). Izjemno visoka prisotnost koliformnih bakterij je značilna za Cerknjšico, sledita ji Martinjščica in Žerovniščica.



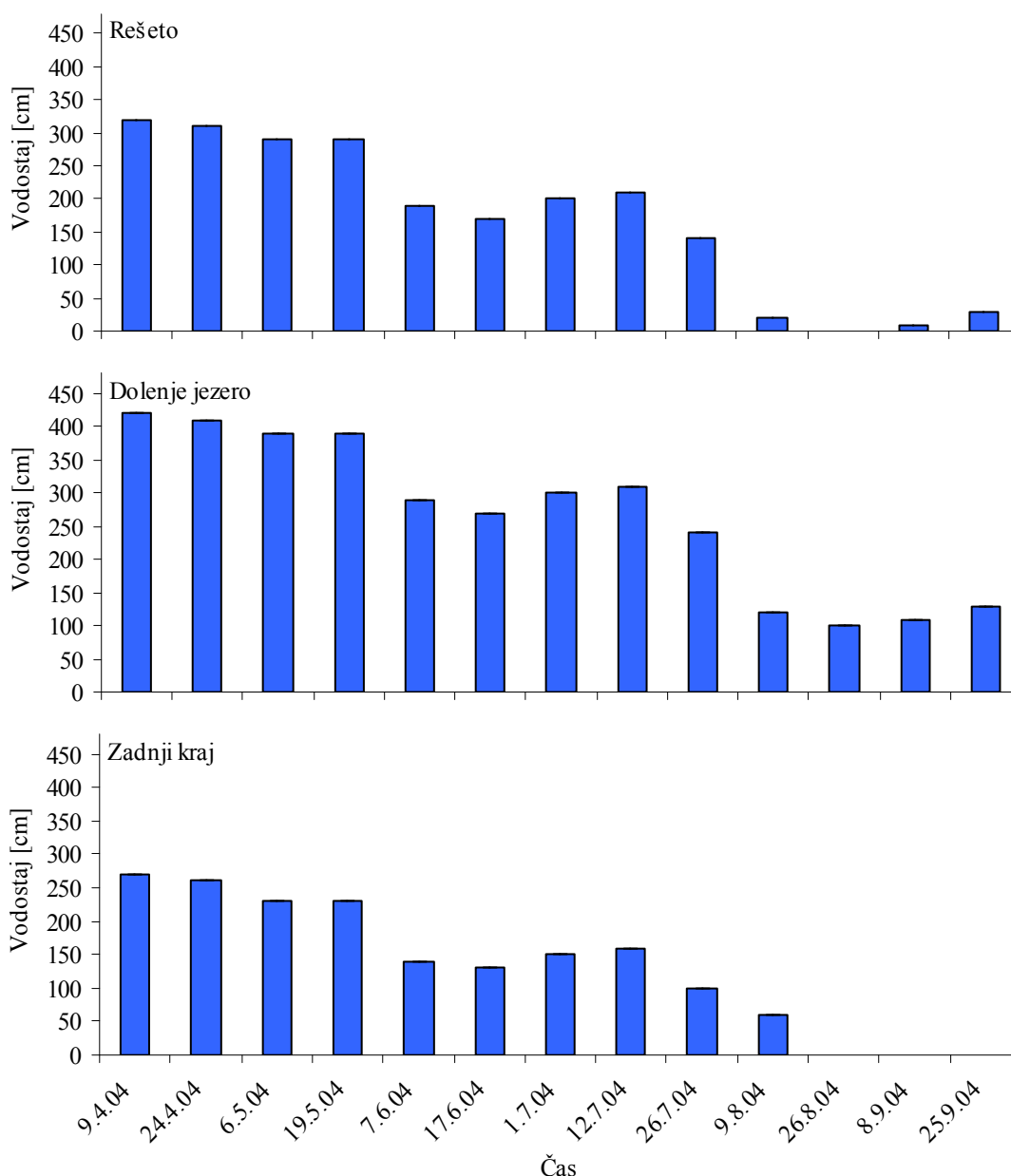
Slika 4.2.7: Fekalni in skupni koliformi v vodi na vzorčnih mestih Dolenje jezero (DJ), Zadnji kraj (ZK), Cerknjšica (C), Lipsenjščica (L), Martinjščica (M), Gorenje jezero (GJ) in Žerovniščica (ZER) za obdobje april-september (■) ter oktober-marec (■) 1993-2001 (N=71) (vir podatkov: ARSO)

Figure 4.2.7: Faeces and total coliphorms (two different scales) at sampling sites of Dolenje jezero (DJ), Zadnji kraj (ZK), Cerknjšica (C), Lipsenjščica (L), Martinjščica (M), Gorenje jezero (GJ) and Žerovniščica (ZER) for periods april-september (■) and october-march (■) 1993-2001 (N=71) (data provided by ARSO)

S pomočjo Pearsonove korelacije smo ugotavljali povezave med fizikalnimi in kemijskimi parametri (priloga A). Večina parametrov je v značilni negativni povezavi z vodostajem. Elektroprevodnost je v večini primerov v značilni pozitivni povezavi z merjenimi parametri, v negativni povezavi je z vsebnostjo CO₂ in vodostajem, s kisikom pa ni povezave. Kalcijeva trdota ne kaže povezav z ostalimi parametri, značilna pozitivna povezava je le s pH-vrednostjo in elektroprevodnostjo. KPK in BPK₅ sta v značilni pozitivni povezavi z vsebnostjo hranil (N in P).

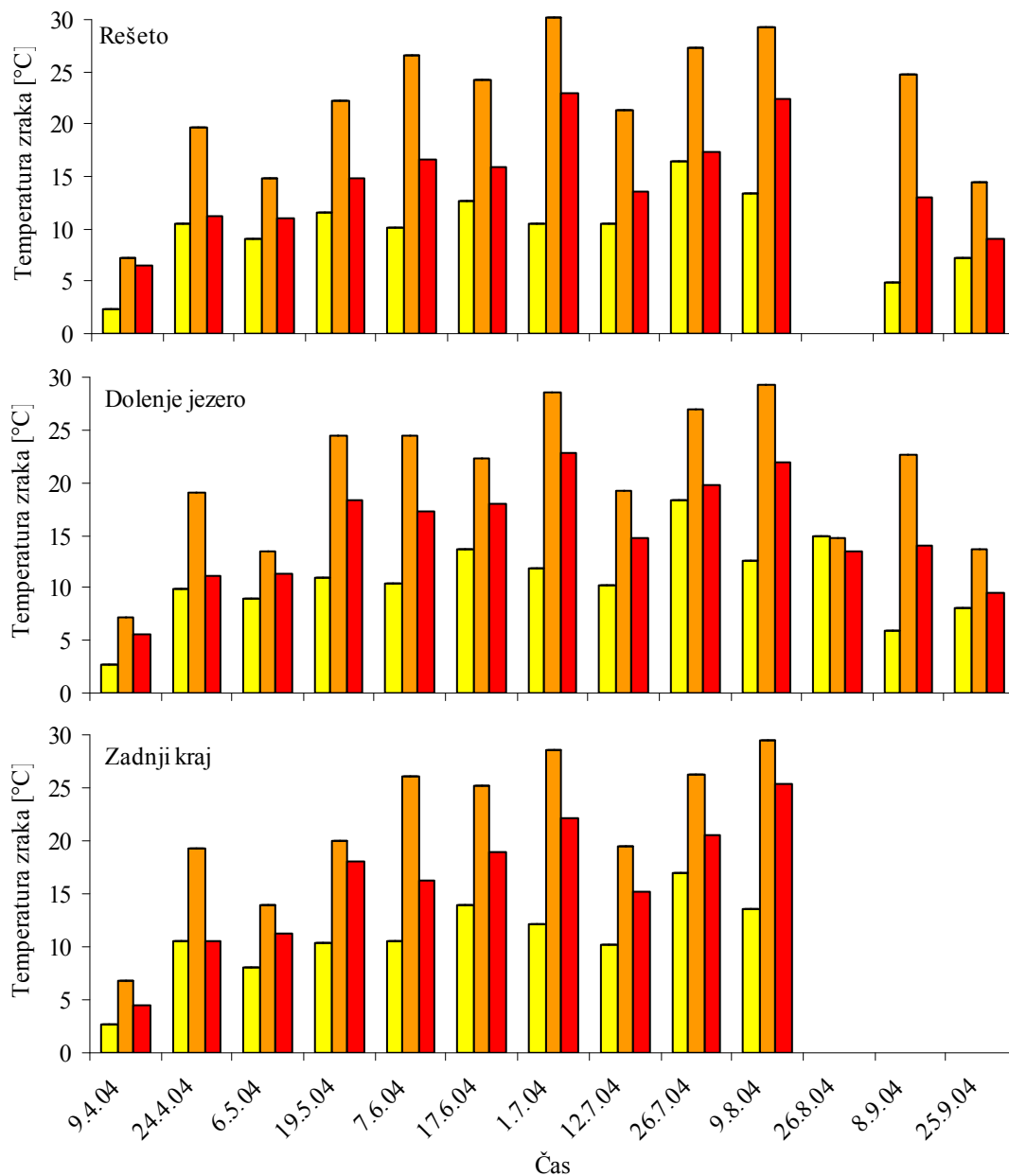
4.3 KAKOVOST VODE V ODVISNOSTI OD VODNEGA REŽIMA IN RASTLIN V RASTNI SEZONI 2004

Rezultati so pokazali, da se kakovost vode na izbranih vzorčnih mestih tekom sezone spreminja. Slika 4.3.1 prikazuje spremembe vodostaja od aprila do septembra 2004. Na lokaciji Zadnji kraj je ob koncu poletja voda presahnila, prav tako na lokaciji Rešeto, a je bila zaradi močnega deževja v septembru ponovno prisotna.



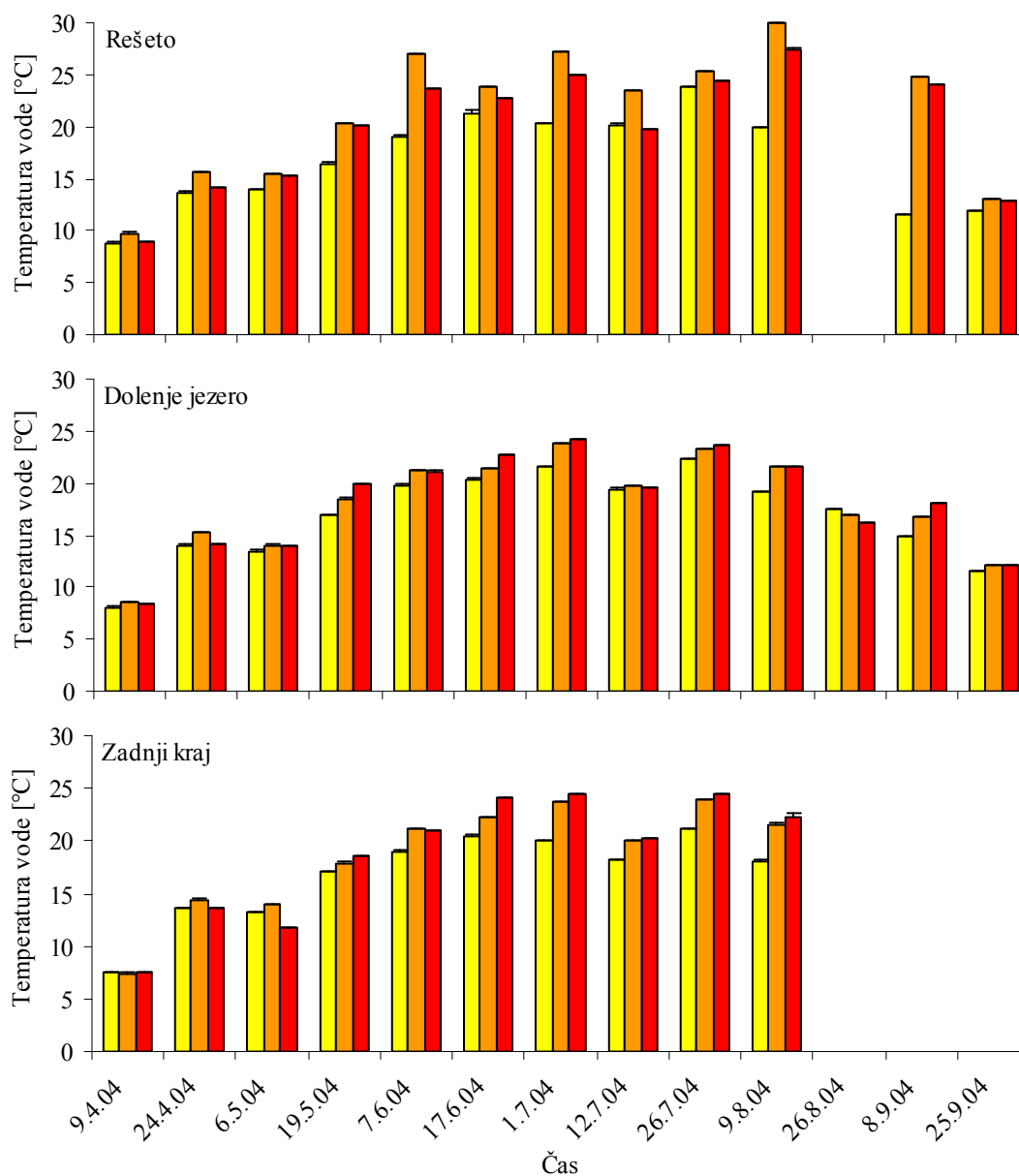
Slika 4.3.1: Spremembe vodostaja na vzorčnih mestih Rešeto, Dolenje jezero in Zadnji kraj v rastni sezoni 2004; podatki so aritmetične sredine.
Figure 4.3.1: Changes of water level at sampling sites Rešeto, Dolenje jezero and Zadnji kraj in vegetation season 2004; data are averages.

Na vseh vzorčnih mestih se je temperatura zraka tekom dneva značilno spreminjala (slika 4.3.2), medtem ko je bila temperatura vode bolj stalna (slika 4.3.3). Najbolj očitne temperaturne spremembe smo zabeležili v poletnih mesecih.



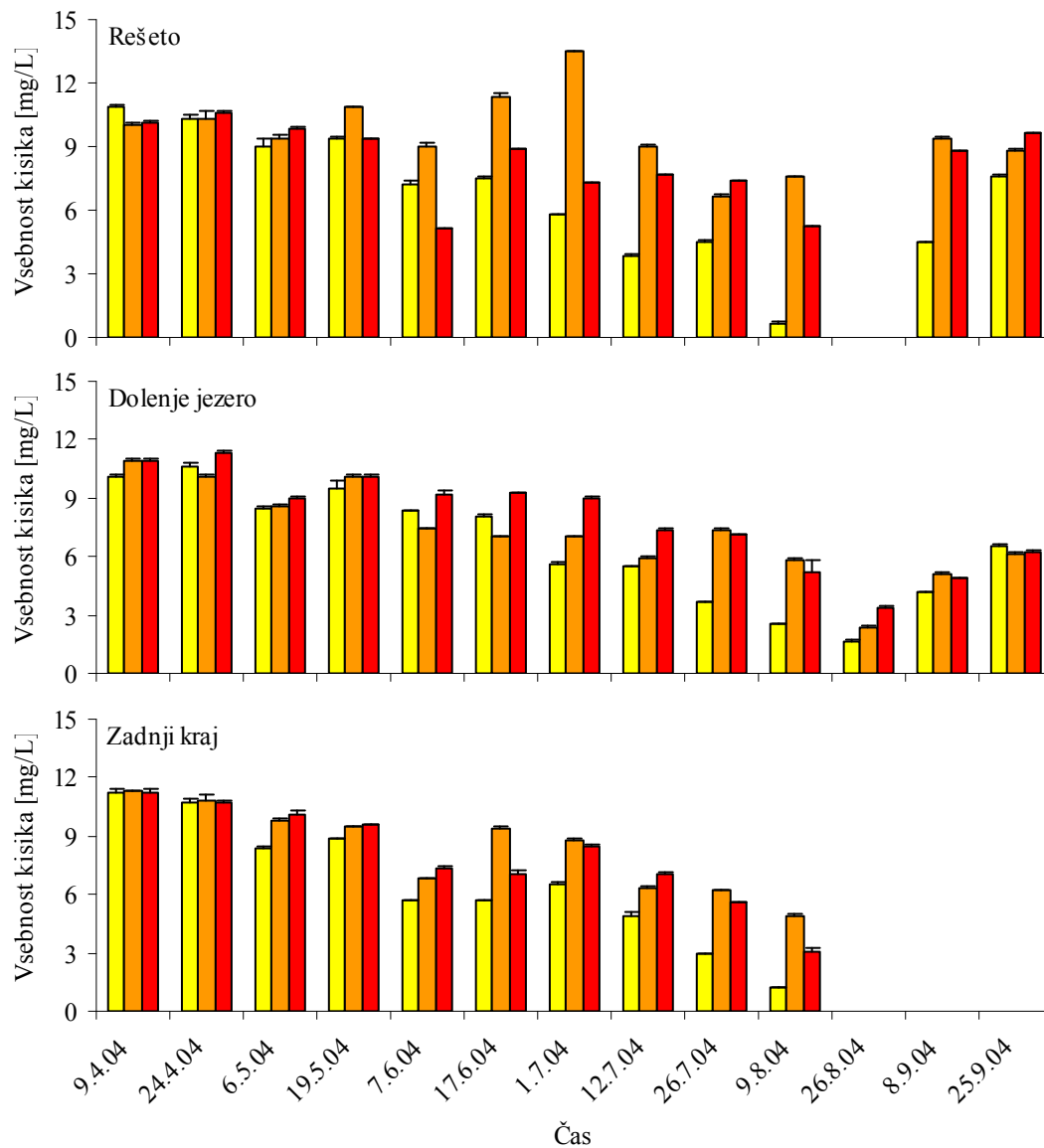
Slika 4.3.2: Dnevne spremembe temperature zraka na vzorčnih mestih Rešeto, Dolenje jezero in Zadnji kraj v rastni sezoni 2004; zjutraj (■), opoldne (■) in zvečer (■); podatki so aritmetične sredine ± SD.

Figure 4.3.2: Diurnal changes of air temperature at sampling sites Rešeto, Dolenje jezero and Zadnji kraj in vegetation season 2004; in the morning (■), at noon (■) and in the evening (■); data are averages ± SD.



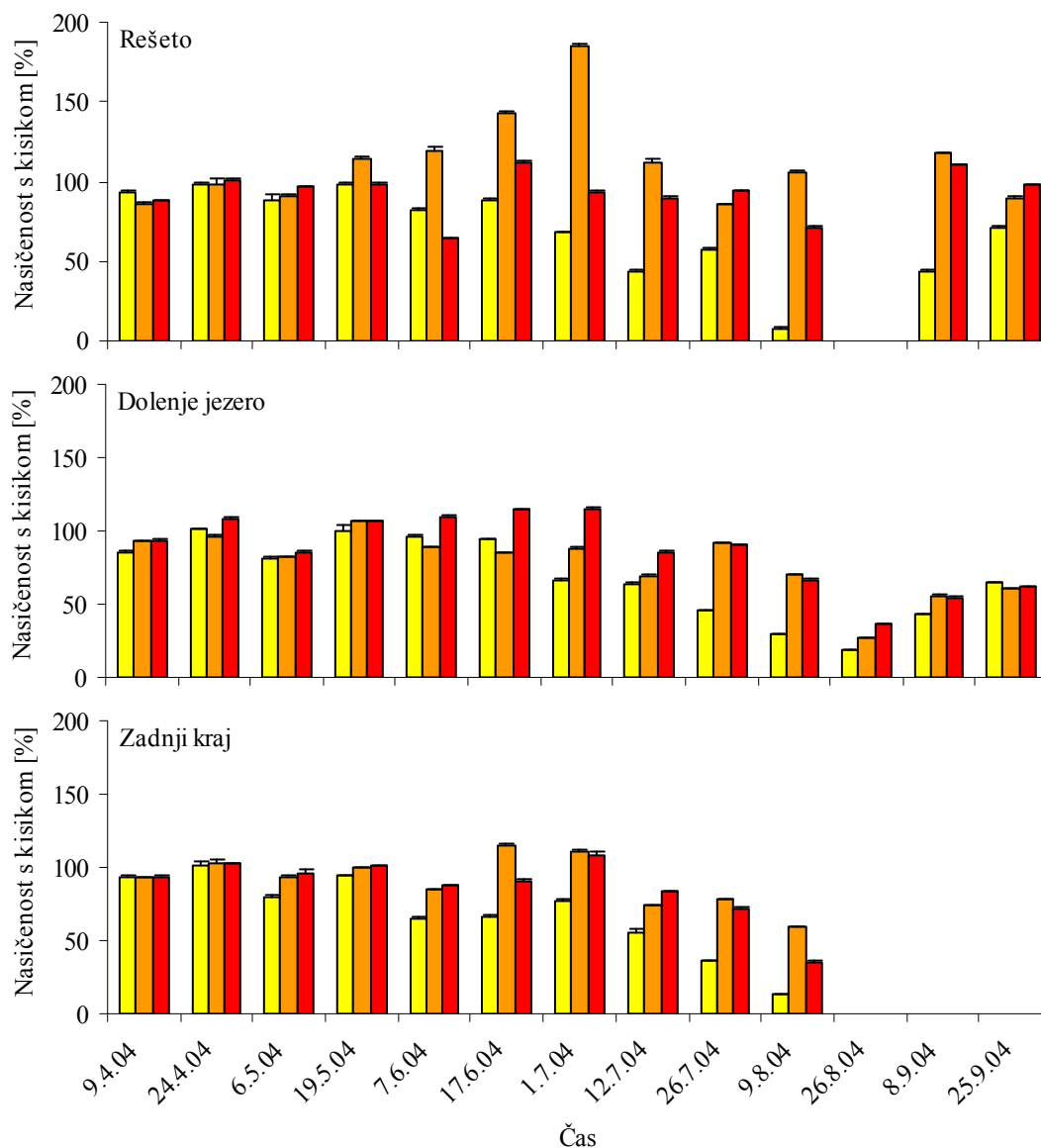
Slika 4.3.3: Dnevne spremembe temperature vode na vzorčnih mestih Rešeto, Dolenje jezero in Zadnji kraj v rastni sezoni 2004; zjutraj (■), opoldne (■) in zvečer (■); podatki so aritmetične sredine ± SD.
 Figure 4.3.3: Diurnal changes of water temperature at sampling sites Rešeto, Dolenje jezero and Zadnji kraj in vegetation season 2004; in the morning (■), at noon (■) and in the evening (■); data are averages ± SD.

Slika 4.3.4 prikazuje vsebnost kisika v vodi, slika 4.3.5 pa nasičenost vode s kisikom. V višku sezone so vrednosti zjutraj praviloma nižje na vseh vzorčnih mestih, opoldne pa so na lokaciji Rešeto v istem obdobju najvišje. Od junija naprej so opazne značilne dnevne spremembe vsebnosti kisika in nasičenosti s kisikom. Ugotovimo lahko, da se z zniževanjem vodne gladine zmanjšuje tudi razpoložljivost kisika v vodi.



Slika 4.3.4: Dnevne spremembe koncentracije kisika na vzorčnih mestih Rešeto, Dolenje jezero in Zadnji kraj v rastni sezoni 2004; zjutraj (■), opoldne (■) in zvečer (■); podatki so aritmetične sredine ± SD.

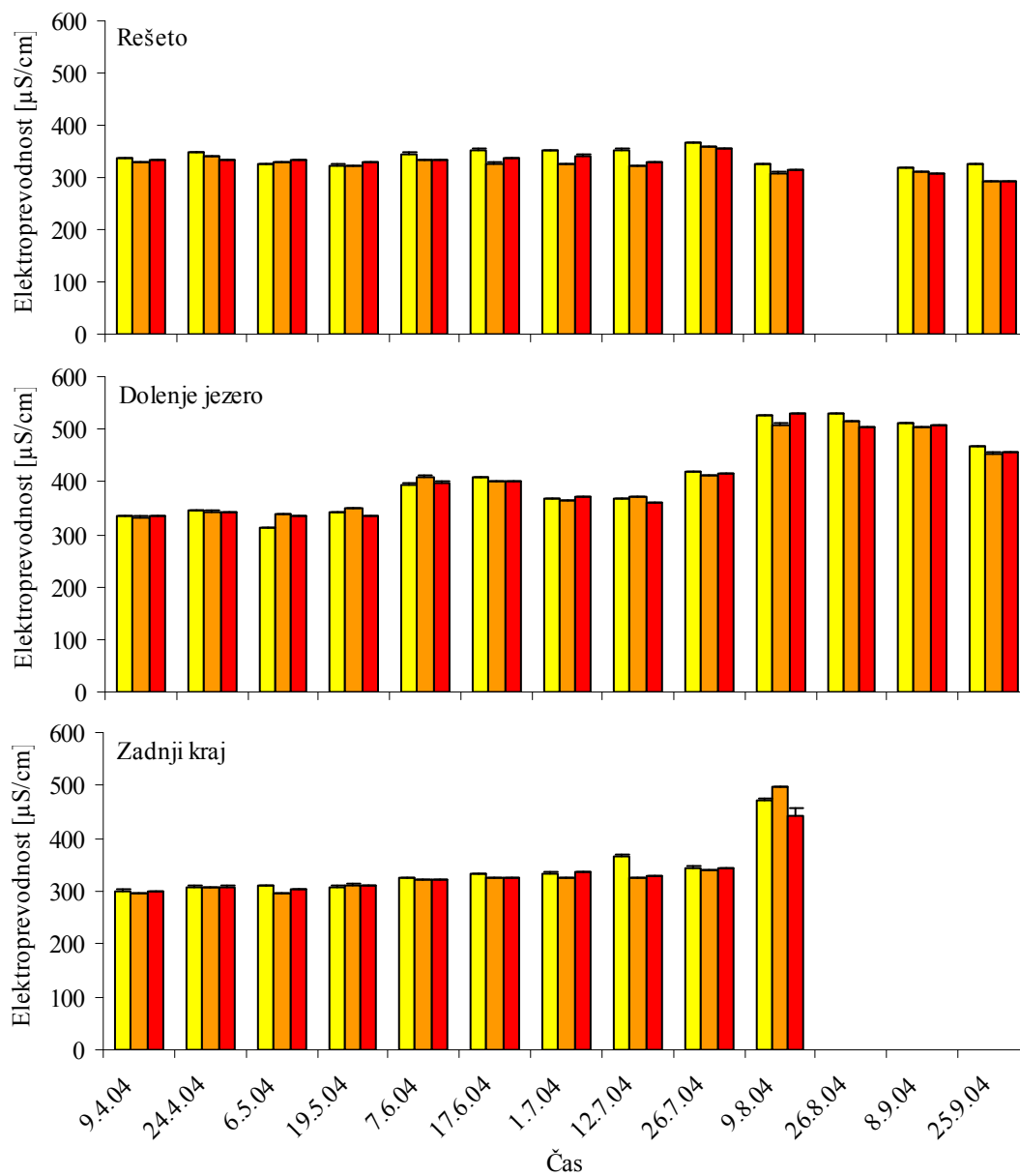
Figure 4.3.4: Diurnal changes of oxygen concentration at sampling sites Rešeto, Dolenje jezero and Zadnji kraj in vegetation season 2004; in the morning (■), at noon (■) and in the evening (■); data are averages ± SD.



Slika 4.3.5: Dnevne spremembe nasičenosti s kisikom na vzorčnih mestih Rešeto, Dolenje jezero in Zadnji kraj v rasti sezoni 2004; zjutraj (■), opoldne (■) in zvečer (■); podatki so aritmetične sredine ± SD.

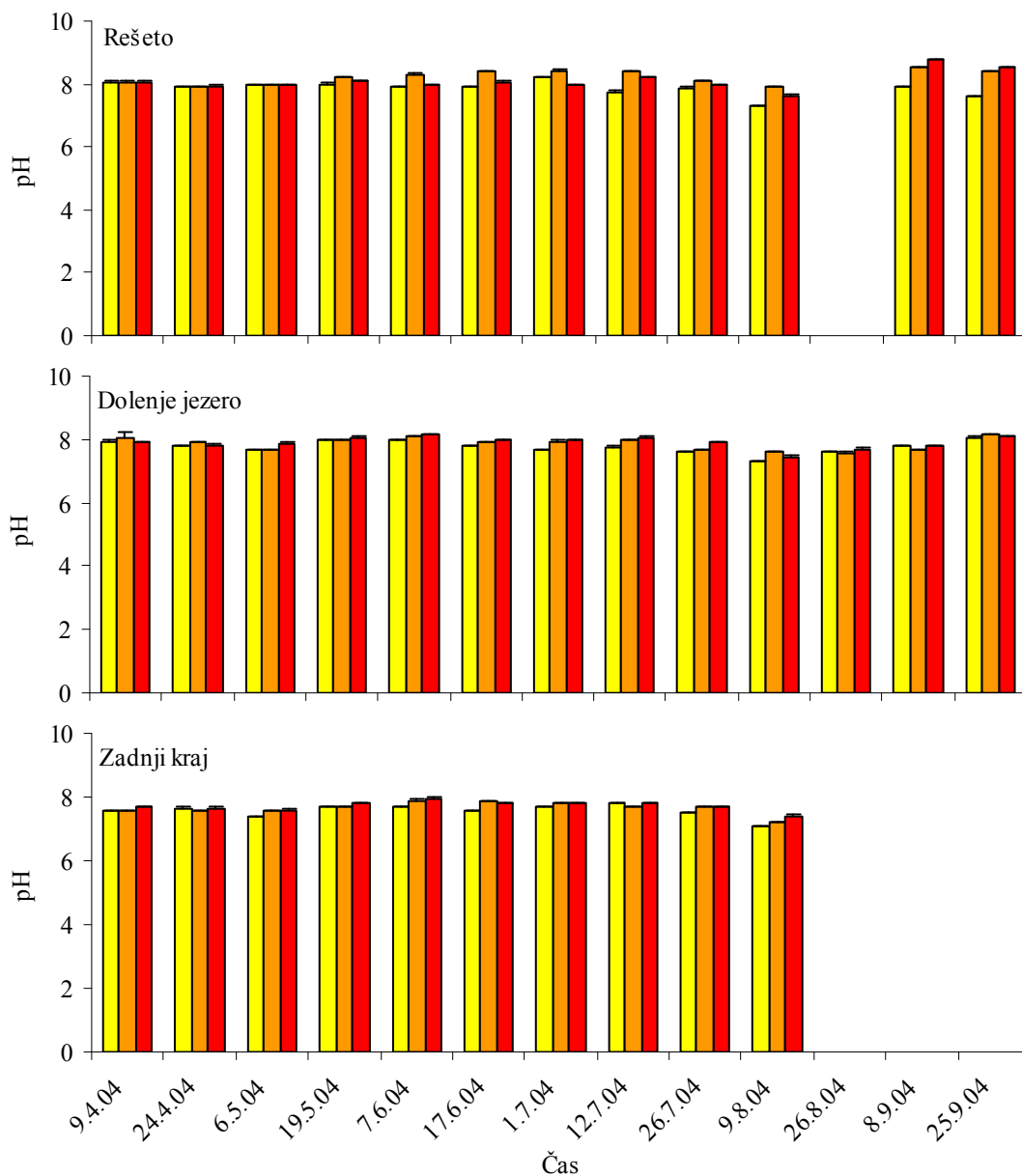
Figure 4.3.5: Diurnal changes of oxygen saturation at sampling sites Rešeto, Dolenje jezero and Zadnji kraj in vegetation season 2004; in the morning (■), at noon (■) and in the evening (■); data are averages ± SD.

Elektroprevodnost vode je bila relativno nizka (slika 4.3.6) in se je na vzorčnih mestih Dolenje jezero in Zadnji kraj povečevala sorazmerno z nižanjem vodostaja. Dnevne spremembe v elektroprevodnosti so bile minimalne.



Slika 4.3.6: Dnevne spremembe električne prevodnosti vode na vzorčnih mestih Rešeto, Dolenje jezero in Zadnji kraj v rastni sezoni 2004; zjutraj (■), opoldne (■) in zvečer (■); podatki so aritmetične sredine ± SD. Figure 4.3.6: Diurnal changes of electrical conductivity at sampling sites Rešeto, Dolenje jezero and Zadnji kraj in vegetation season 2004; in the morning (■), at noon (■) and in the evening (■); data are averages ± SD.

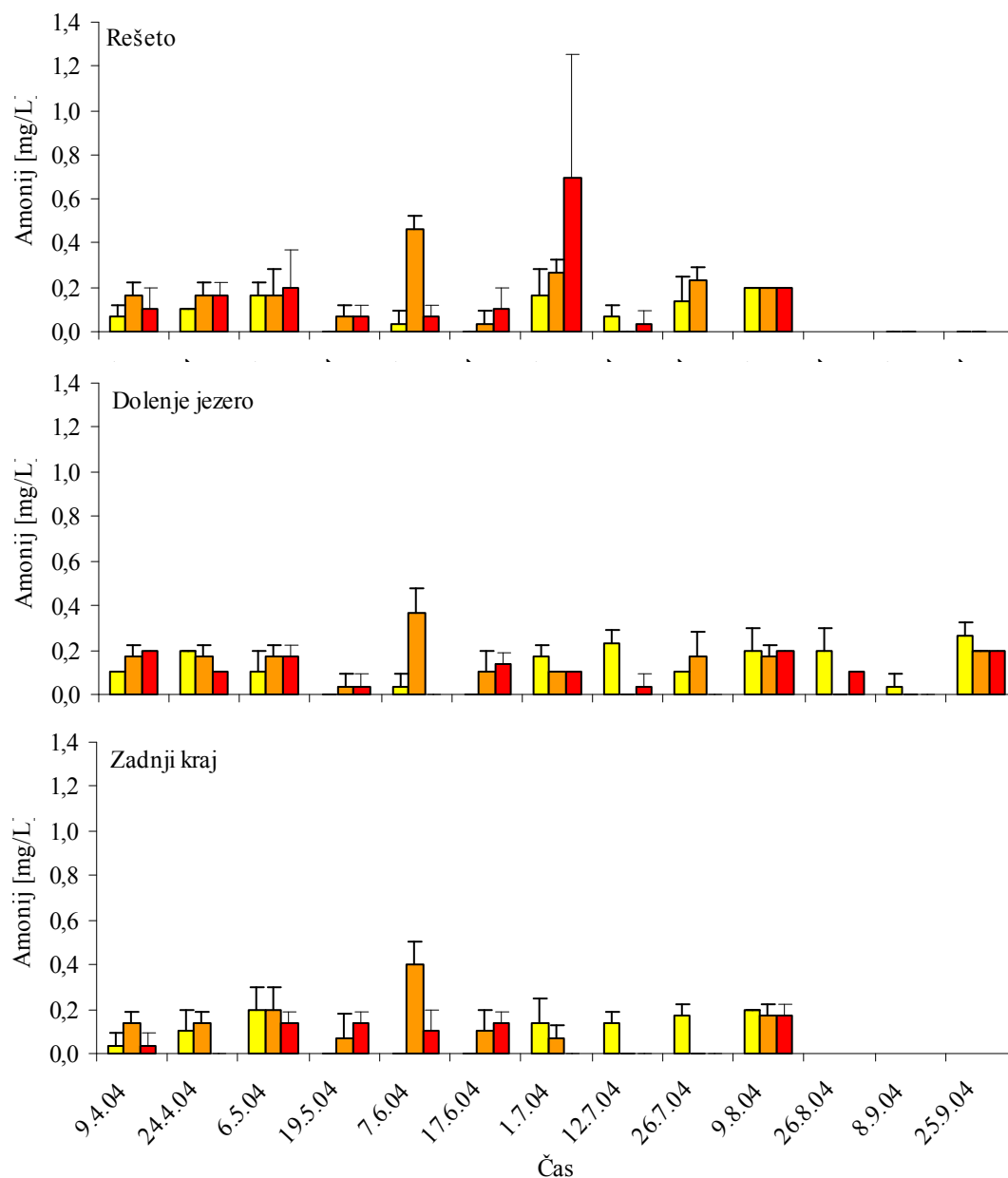
Vrednost pH je bila na vseh vzorčnih mestih med 7,5 in 8,5 (slika 4.3.7). V večini primerov ni bilo opaznih značilnih razlik niti tekom dneva niti tekom rastne sezone, le na vzorčnem mestu Rešeto je bila vrednost pH v septembru višja in je naraščala od jutra do večera.



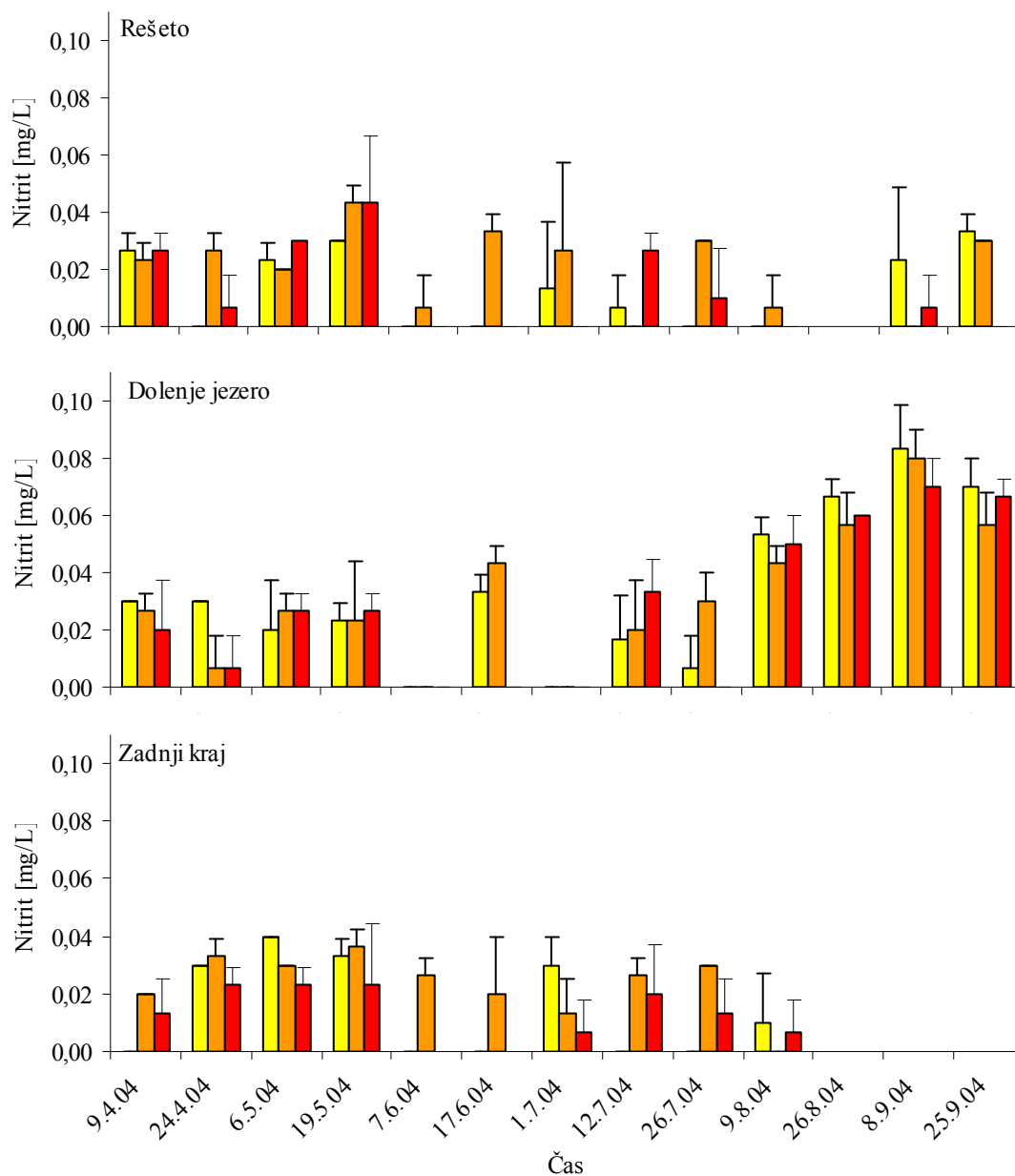
Slika 4.3.7: Dnevne spremembe vrednosti pH na vzorčnih mestih Rešeto, Dolenje jezero in Zadnji kraj v rastni sezoni 2004; zjutraj (■), opoldne (■) in zvečer (■); podatki so aritmetične sredine \pm SD.

Figure 4.3.7: Diurnal changes of pH values at sampling sites Rešeto, Dolenje jezero and Zadnji kraj in vegetation season 2004; in the morning (■), at noon (■) and in the evening (■); data are averages \pm SD.

Koncentracije amonija so bile v vseh vzorčnih mestih relativno nizke, razen pri večernem merjenju na vzorčnem mestu Rešeto 1. 7. 2004 (slika 4.3.8). Pri večini vzorčenj ni bilo razlik tekom dneva. Vsebnosti nitrita so bile na vzorčnih mestih Zadnji kraj in Rešeto zelo spremenljive, medtem ko so bile na Dolenjem jezeru bistveno višje v avgustu in septembru (slika 4.3.9). Vsebnosti nitrata so bile na vseh vzorčnih mestih najvišje aprila in maja, pozneje pa so močno upadle in bile v posameznih vzorčenjih celo pod mejo detekcije (slika 4.3.10).

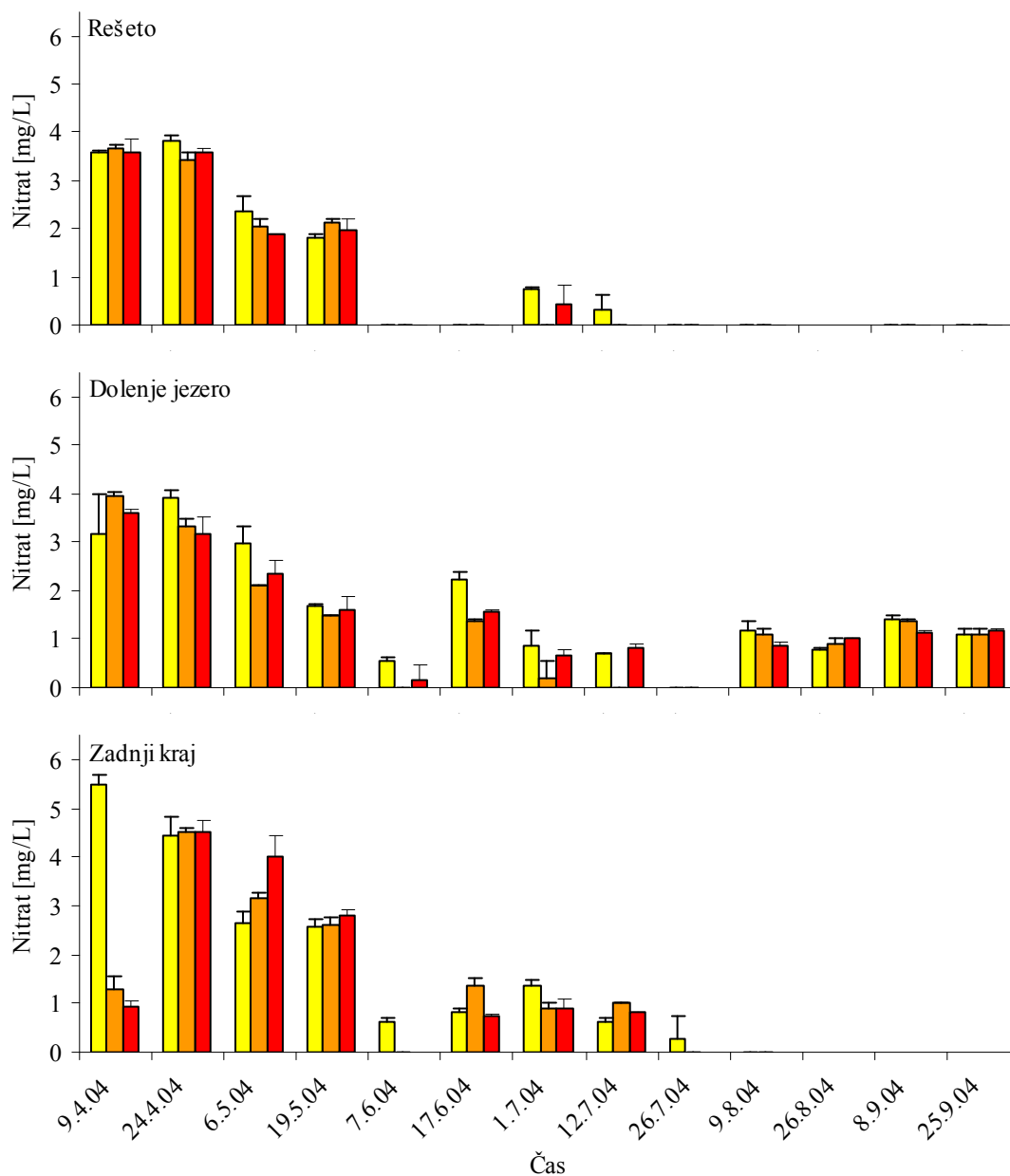


Slika 4.3.8: Dnevne spremembe vsebnosti amonijevega iona na vzorčnih mestih Rešeto, Dolenje jezero in Zadnji kraj v rastni sezoni 2004; zjutraj (■), opoldne (■) in zvečer (■); podatki so aritmetične sredine \pm SD. Figure 4.3.8: Diurnal changes in ammonium contents at sampling sites Rešeto, Dolenje jezero and Zadnji kraj in vegetation season 2004; in the morning (■), at noon (■) and in the evening (■); data are averages \pm SD.



Slika 4.3.9: Dnevne spremembe vsebnosti nitrita na vzorčnih mestih Rešeto, Dolenje jezero in Zadnji kraj v rastni sezoni 2004; zjutraj (■), opoldne (■) in zvečer (■); podatki so aritmetične sredine ± SD.

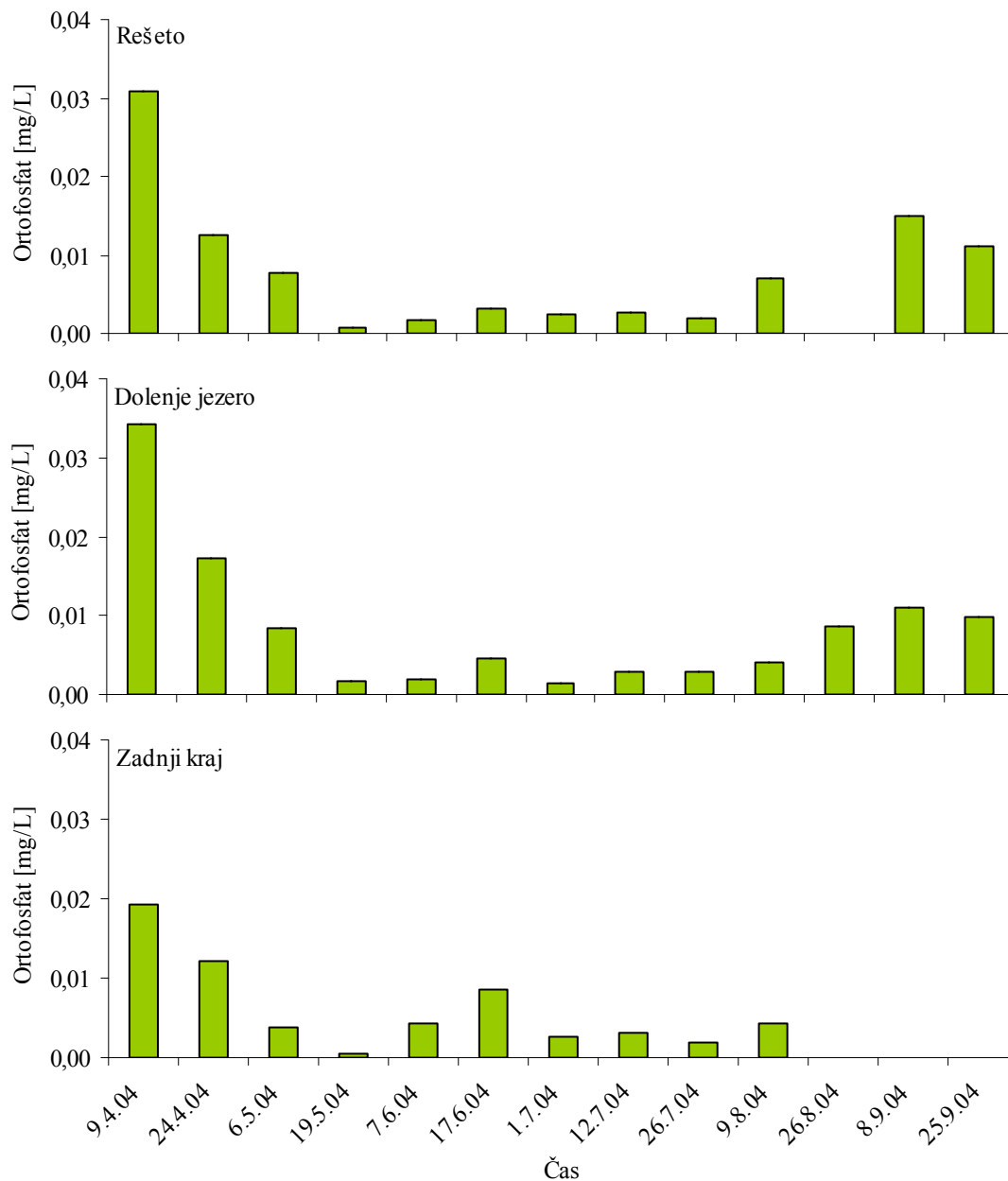
Figure 4.3.9: Diurnal changes in nitrite contents at sampling sites Rešeto, Dolenje jezero and Zadnji kraj in vegetation season 2004; in the morning (■), at noon (■) and in the evening (■); data are averages ± SD.



Slika 4.3.10: Dnevne spremembe vsebnosti nitrata na vzorčnih mestih Rešeto, Dolenje jezero in Zadnji kraj v rastni sezoni 2004; zjutraj (■), opoldne (■) in zvečer (■); podatki so aritmetične sredine ± SD.

Figure 4.3.10: Diurnal changes in nitrate contents at sampling sites Rešeto, Dolenje jezero and Zadnji kraj in vegetation season 2004; in the morning (■), at noon (■) and in the evening (■); data are averages ± SD.

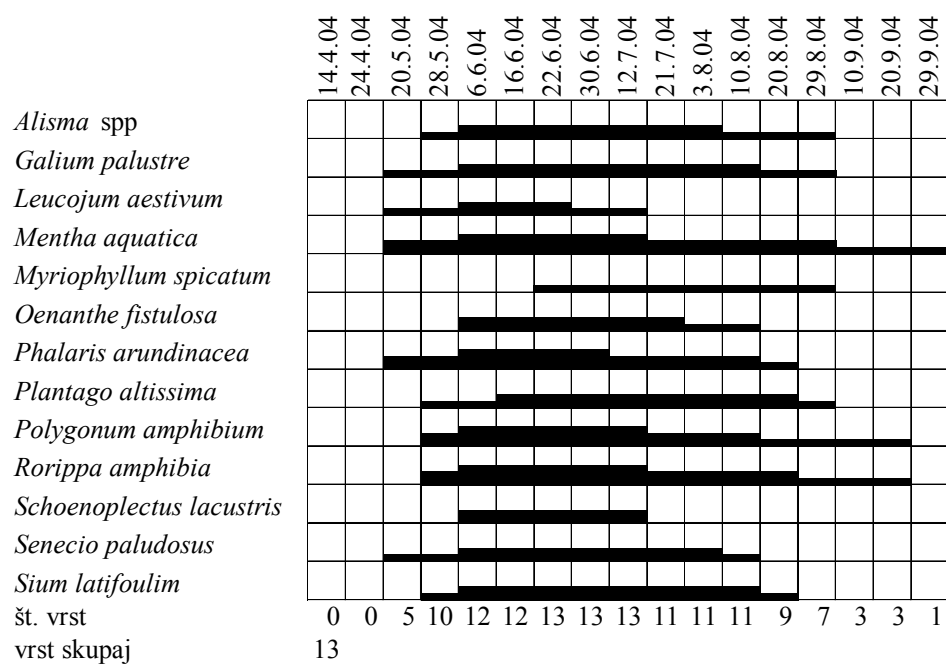
Vsebnosti ortofosfata so bile najvišje v aprilu, sledi mu september (slika 4.3.11). Na višku rastle sezone so bile izmerjene nizke vrednosti.



Slika 4.3.11: Povprečne vsebnosti ortofosfata na vzorčnih mestih Rešeto, Dolenje jezero in Zadnji kraj v rastni sezoni 2004

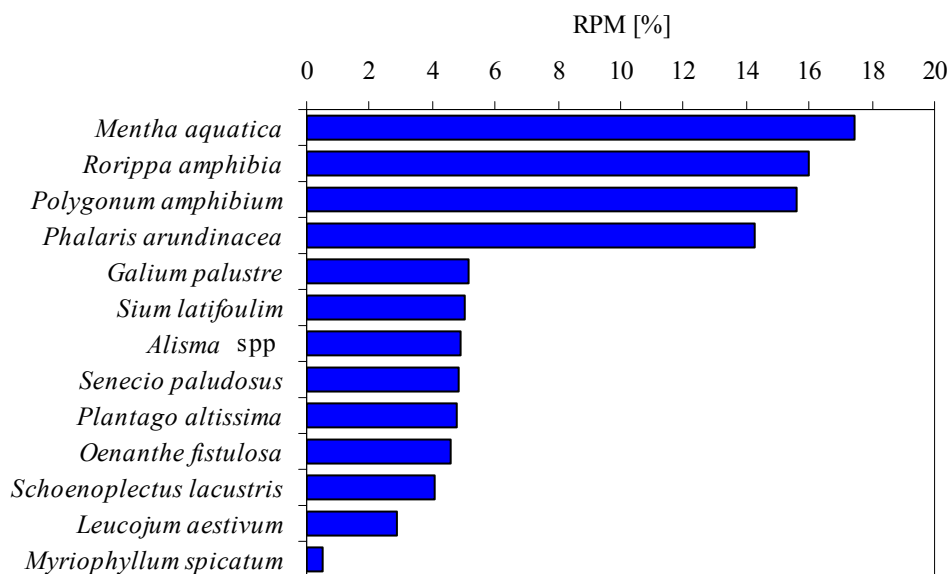
Figure 4.3.11: Averages in orthophosphate contents at sampling sites Rešeto, Dolenje jezero and Zadnji kraj in vegetation season 2004

Raziskave so pokazale, da je bilo na lokaciji Rešeto v rastni sezoni 2004 (slika 4.3.12) prisotnih skupaj 13 rastlinskih vrst. Pojavljati so se pričele v maju in so bile prisotne do konca septembra. Vse vrste so se pojavljale od druge polovice junija do prve polovice julija. Ves čas je bila prisotna le vrsta vodna meta (*Mentha aquatica*). Najpogostejše in najbolj abundantne vrste so bile vodna meta (*Mentha aquatica*), prava potočarka (*Rorippa amphibia*), vodna dresen (*Polygonum amphibium*) in trstična pisanka (*Phalaris arundinacea*) (slika 4.3.13).



Slika 4.3.12: Pojavljanje in abundanca makrofitov na vzorčnem mestu Rešeto (2004). Abundance vrst so izražene z višinami stolpcev (■ 1–5).

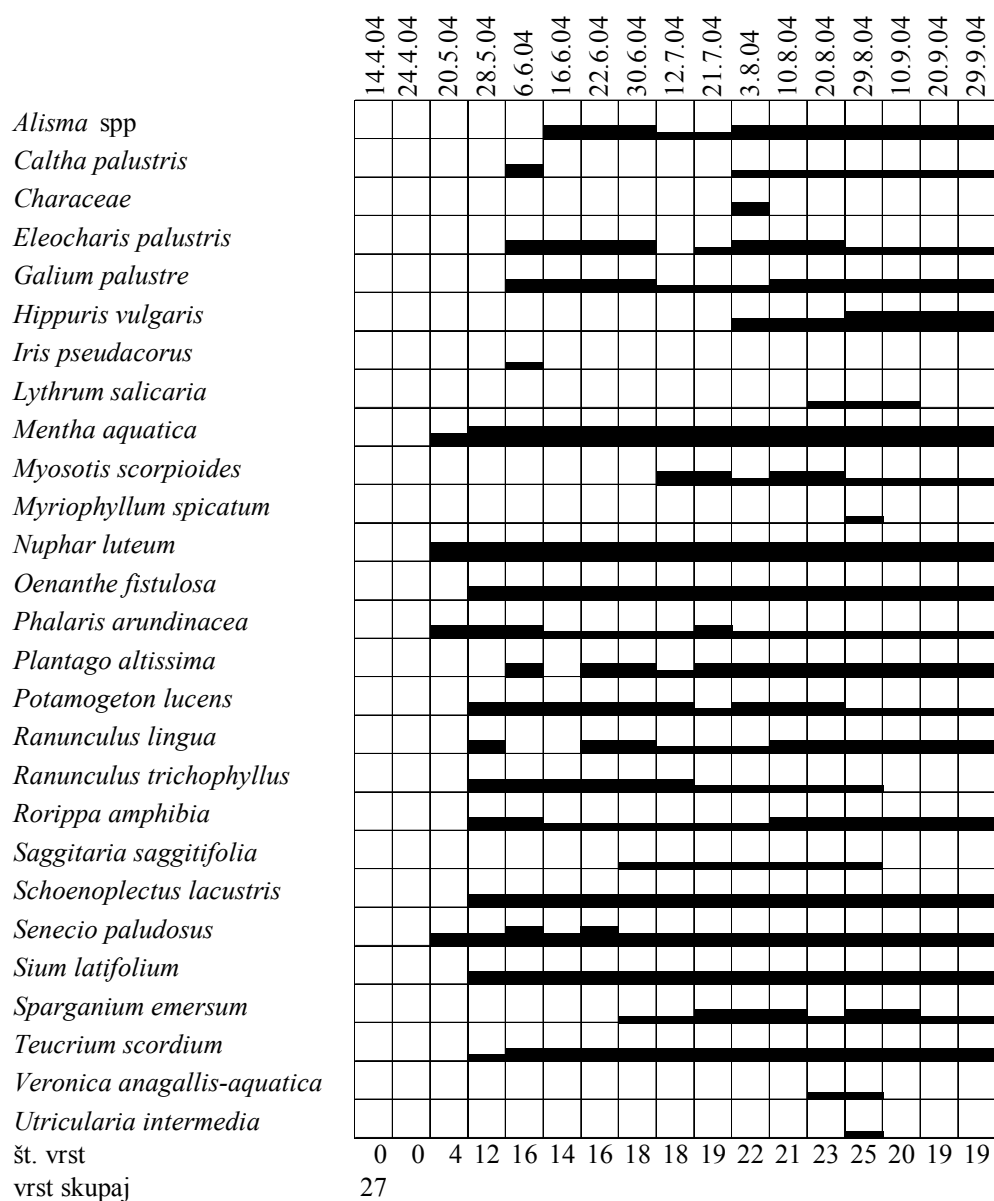
Figure 4.3.12: The presence and abundance of macrophytes at sampling site Rešeto (2004). Black bars indicate the abundance of macrophytes (■ 1–5).



Slika 4.3.13: Relativna rastlinska masa (RPM) makrofitov na vzorčnem mestu Rešeto (2004)

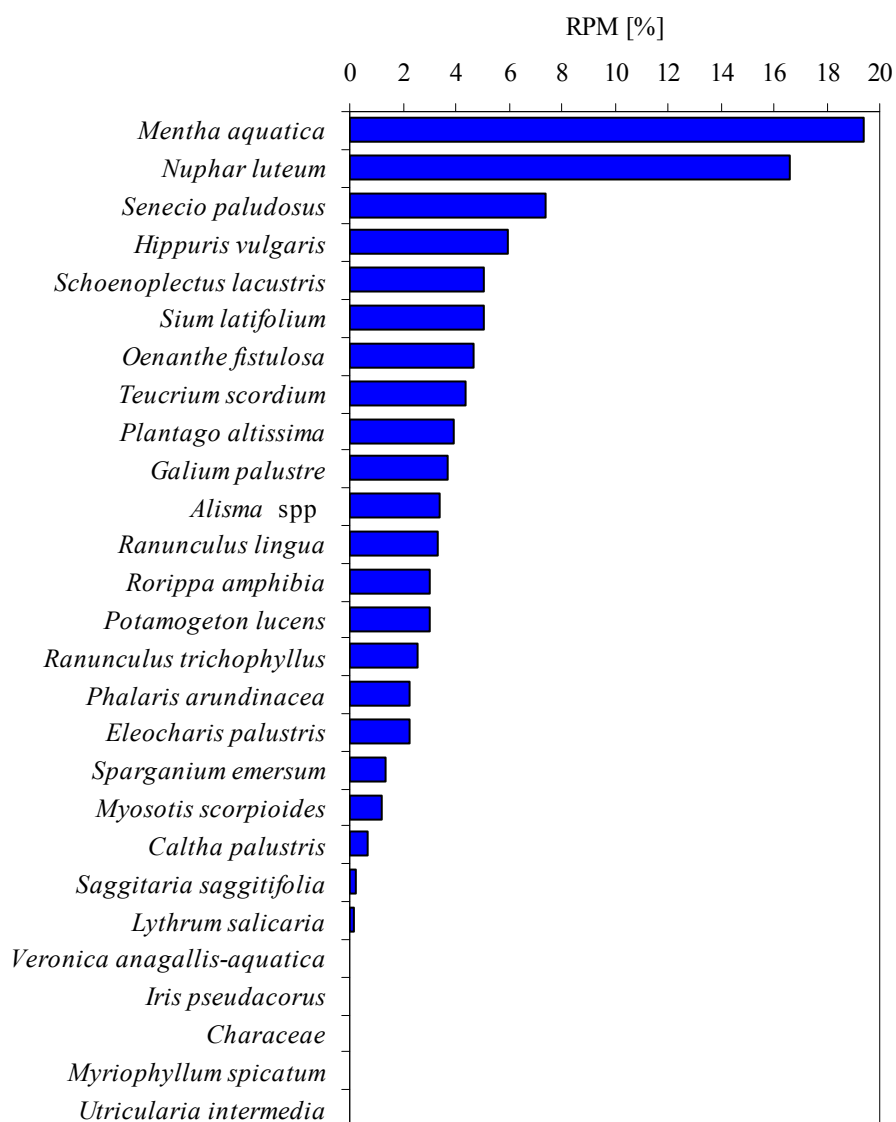
Figure 4.3.13: Relative plant mass of macrophytes at sampling site Rešeto (2004)

Na vzorčnem mestu Dolenje jezero je bilo v rastni sezoni 2004 (slika 4.3.14) prisotnih 27 vrst makrofitov. Pojavljati so se pričeli v maju, tako kot na lokaciji Rešeto, in so bili prisotni vse do konca septembra. Največje število vrst (25) smo določili konec avgusta. V celotni rastni sezoni so se pojavljale vrste vodna meta (*Mentha aquatica*), rumeni blatnik (*Nuphar luteum*), trstična pisanka (*Phalaris arundinacea*) in močvirski grint (*Senecio paludosus*). Najbolj abundantni sta bili vrsti *Mentha aquatica* in *Nuphar luteum*, ostale vrste so bile zastopane v manjšem številu (slika 4.3.15).



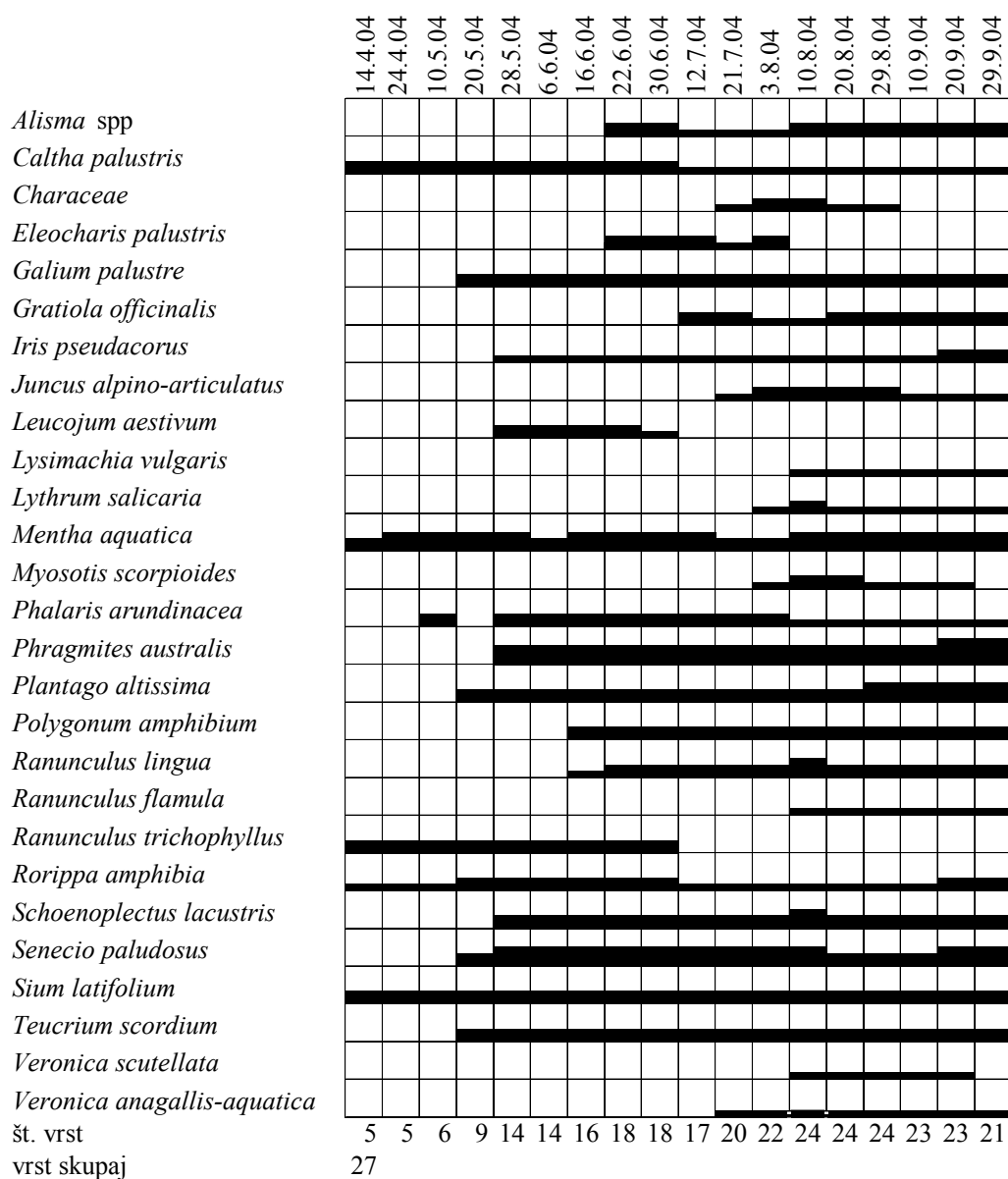
Slika 4.3.14: Pojavljanje in abundanca makrofitov na vzorčnem mestu Dolenje jezero (2004). Abundance vrst so izražene z višinami stolpcev (■ 1–5).

Figure 4.3.14: The presence and abundance of macrophytes at sampling site Dolenje jezero (2004). Black bars indicate the abundance of macrophytes (■ 1–5).



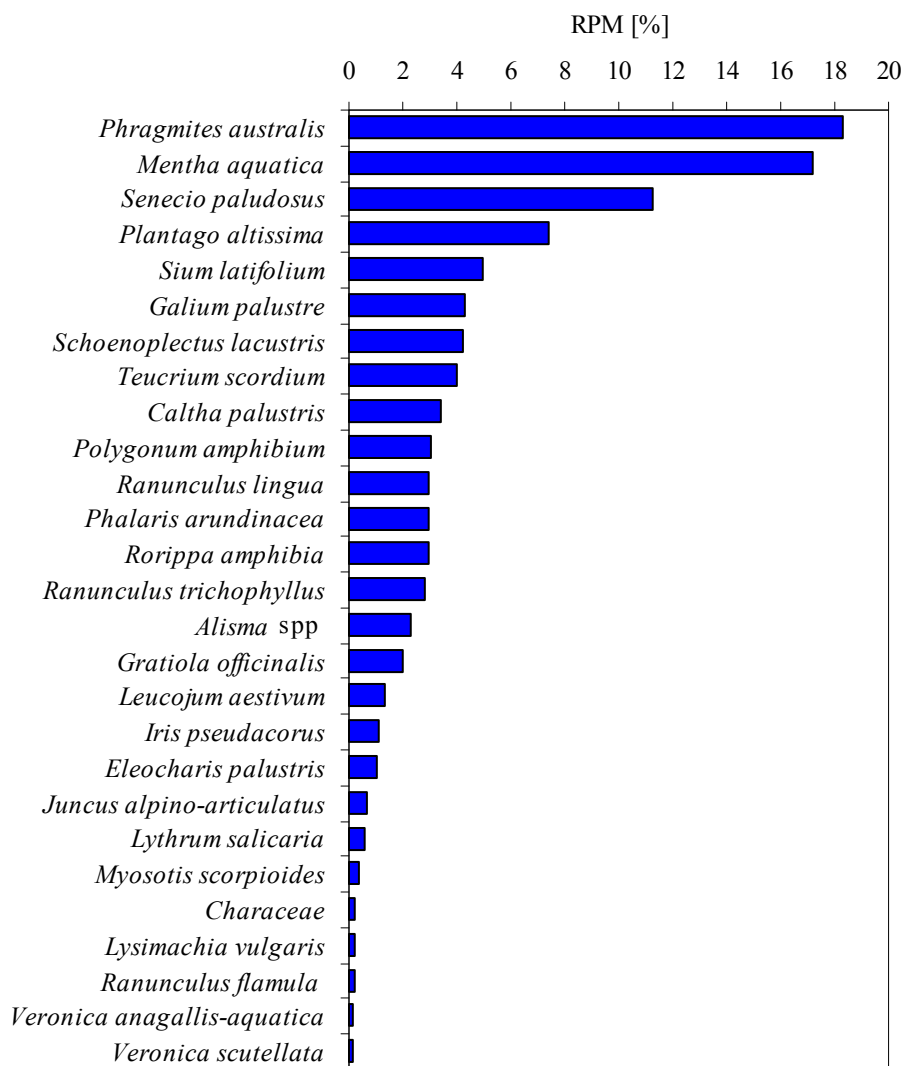
Slika 4.3.15: Relativna rastlinska masa (RPM) makrofitov na vzorčnem mestu Dolenje jezero (2004)
Figure 4.3.15: Relative plant mass of macrophytes at sampling site Dolenje jezero (2004)

Na vzorčnem mestu Zadnji kraj so se v rastni sezoni 2004 (slika 4.3.16) makrofiti začeli pojavljati že v aprilu. Popisali smo 27 vrst makrofitov, od katerih se je večina pojavljala do septembra. Največ vrst je bilo prisotnih avgusta (24). Vso sezono sta bili prisotni vrsti navadna kalužnica (*Caltha palustris*) in vodna meta (*Mentha aquatica*). Prevladovale so naslednje vrste: navadni trst (*Phragmites australis*), vodna meta (*Mentha aquatica*) in močvirski grint (*Senecio paludosus*), ostale vrste pa so bile zastopane v manj kot osmih odstotkih (slika 4.3.17).



Slika 4.3.16: Pojavljanje in abundanca makrofitov na vzorčnem mestu Zadnji kraj (2004). Abundance vrst so izražene z višinami stolpcev (■ 1–5).

Figure 4.3.16: The presence and abundance of macrophytes at sampling site Zadnji kraj (2004). Black bars indicate the abundance of macrophytes (■ 1–5).



Slika 4.3.17: Relativna rastlinska masa (RPM) makrofitov na vzorčnem mestu Zadnji kraj (2004)
Figure 4.3.17: Relative plant mass of macrophytes at sampling site Zadnji kraj (2004)

5 RAZPRAVA

V okviru naloge smo z več vidikov raziskovali kompleksnost presihajočega Cerknškega jezera. Najprej smo modelno predstavili vodni režim, ki vpliva na fizikalne, kemijske in biološke procese. V nadaljevanju smo pojasnili, kako so fizikalne in kemijske značilnosti vode povezane s spreminjanjem vodnega režima. Za lokacije na jezeru (Rešeto, Dolenje jezero, Zadnji kraj in Gorenje jezero) je značilen spremenljiv vodni režim, medtem ko imajo lokacije na pritokih (Cerkniščica, Martinjščica, Lipsenjščica in Žerovniščica) stabilen nivo vode, kar posledično vpliva na fizikalne in kemijske parametre. Pri določenih parametrih so se pokazale razlike med rastno sezono in izven nje, zato smo na treh lokacijah na jezeru (Rešeto, Dolenje jezero in Zadnji kraj) podrobneje spremljali poglobitve fizikalne in kemijske parametre v rasti sezoni leta 2004 v povezavi z vodnim režimom in makrofiti.

5.1 VODNI REŽIM

Presihajoče Cerknško jezero je kompleksen ekosistem, za katerega smo z metodo strojnega učenja izdelali enostavne hidrološke modele, ki naj bi opisali dinamiko vodnega režima. Po dosedanjih izkušnjah in preliminarnih rezultatih s Cerknškega jezera se je izkazalo, da predlagana orodja strojnega učenja pokažejo soodvisnost med podatki na nazoren način, ki je lažje razumljiv od diferencialnih enačb, s katerimi sicer opisujemo konceptualne modele. Dobljeni modeli so popolnejši kot rezultati klasičnih statističnih obdelav, kjer za soodvisnost med analiziranimi podatki dobimo eno samo regresijsko premico (Kompore 1995). Regresijska drevesa odvisnost razlagajo po korakih in se tako lahko bolje prilagajajo nelinearnostim v modelu (Witten in Frank 2005), kar z eno samo linearno regresijsko premico ni mogoče.

Naši rezultati so pokazali, da lahko na podlagi devetletnih (1993–2001) podatkov o količini padavin z merilnih postaj Nova vas, Cerknica, Otok in Šmarata ter višin vodostajev na Dolenjem in Gorenjem jezeru napovedujemo višino vodostaja na Dolenjem in Gorenjem jezeru za en dan, tri dni in celo za pet dni vnaprej. Natančnost izdelanih modelov je izražena s faktorjem korelacije, ki je med 0,9623 in 0,9963. Za napovedi vodostaja moramo poznati tudi napovedi padavin, kar omogoča model Aladin. Ta sicer napoveduje padavine le za tri dni naprej, a ko ga bodo nadgradili in z njim napovedovali tudi za pet dni naprej, bomo lahko uporabili tudi naša dva modela, ki napovedujeta vodostaj za pet dni naprej, saj je njuna natančnost izredno velika (faktorja korelacije sta 0,9623 in 0,9667).

Spremenljivke, ki vplivajo na vodni režim presihajočega Cerknškega jezera, so številne in kompleksne. Poleg padavin so pomembni tudi pritoki; kraški, od katerih dobi Cerknško jezero kar 80 % vode, in površinski, od katerih je največji Cerknščica (Gospodarič in Habič 1978, Habič 1985, Kranjc 2002a, Kranjc 2002b). V naših modelih smo upoštevali le podatke o padavinah in vodostajih. Stanje vodostaja sicer posredno zajema tudi pritoke in odtok v danem trenutku. Na jezeru se lahko v poletnem času vodostaj zniža tudi do 10 m (Gospodarič in Habič 1978), zato so metode modeliranja težavnejše.

Na vodni režim Cerknškega jezera vpliva tudi evapotranspiracija (ETP), ki je v modelu nismo upoštevali. V svojem hidrološkem modelu sta Zhang in Mitsch (2005) upoštevala tudi ETP in simulirala vodni režim za povprečna, suha in mokra leta. ETP se dnevno spreminja, Cronk in Fennessy (2001) navajata, da je ETP od 2,5 do 10 mm/dan, odvisno od vrste mokrišča. Najvišjo ETP (~10 mm/dan) sta navedla Herbst in Kappen (1999) v trstičju na severu Nemčije. ETP ima višji vpliv na vodni režim v rastni sezoni kot izven sezone (Cronk in Fennessy 2001, Mitch in Gosselnik 2000). V nadaljnjih raziskavah bi v model lahko vključili tudi podatke o nivoju talne vode in ETP.

Modeliranje vodnega režima presihajočih vodnih ekosistemov je zahtevno, saj dolžine sušnih oziroma mokrih obdobj ni mogoče natančno napovedovati. Prav tako je veliko spremenljivk, ki oblikujejo specifičen vodni režim. Slednji pomembno vpliva na fizikalne in kemijske procese in je ključnega pomena za oblikovanje življenjskih združb v presihajočih ekosistemih (Boulton in Brock 1999, Mackay in sod. 2003, Urbanc-Berčič in sod. 2005).

5.2 FIZIKALNE IN KEMIJSKE ZNAČILNOSTI VODE TER VODNI REŽIM

Cerknško jezero je presihajoče jezero, pri katerem se izmenjujejo suha in mokra obdobja. Vodni režim Cerknškega jezera značilno vpliva na številne fizikalne in kemijske parametre, saj smo za večino merjenih parametrov ugotovili značilno negativno povezavo z vodnim režimom (Pearsonova korelacija). Z višanjem vodostaja se znižujeta elektroprevodnost in vsebnost hranil. Boulton in Brockova (1999) ter Fink in Mitsch (2007) pojasnjujejo, da se ob presihanju vode hranila kopičijo, ob poplavljanju pa redčijo. Rezultati so pokazali, da je povečana količina hranil v negativni korelaciji s količino raztopljenega kisika. Mitsch in Gosselink (2000), Wetzel (1990, 2000) ter Boulton in Brockova (1999) potrjujejo, da pospešena aerobna mineralizacija organskih snovi privede do kopičenja hranil in zmanjšane vsebnosti kisika.

Poleg vodnega režima na kakovost vode vpliva še mnogo drugih dejavnikov, na primer poselitev z vodnimi makrofiti (Brock in Casanova 1997, Gaberščik in sod. 2000, Casanova in Brock 2000, Blindow in sod. 2002), količina in razporeditev padavin, spiranje (Fink in Mitsch 2007), hitrost dekompozicijskih procesov in temperatura.

Spremembe v temperaturi zraka so večje kot v vodi. Tako kot Boulton in Brockova (1999) smo ugotovili, da so spremembe temperature v plitvejših vodnih telesih izrazitejše kot v globljih. Temperatura je pomemben dejavnik, saj neposredno vpliva na biološke procese in na prehajanje rastlin iz ene fenološke faze v drugo. V kraških pritokih so letne temperature spremembe manjše kot v ostalih vodnih telesih. Temperatura jezera je v rastni sezoni višja kot v pritokih. Takrat je jezero poraščeno z makrofiti. Temperatura vode vpliva tudi na mineralizacijo in topnost kisika v vodi; nižja kot je temperatura, višja je vsebnost kisika (Wetzel in Likens 1990). Isto ugotavljamo tudi mi, saj so bile vsebnosti O₂ na vseh vzorčnih mestih v rastni sezoni nižje.

Vode Cerknškega jezera imajo veliko trdoto, kar pripisujemo kalcijevemu in magnezijevemu karbonatu, ki jima botruje podlaga, sestavljena iz dolomita in apnenca (Kranjc 2002b). Monitoring je najnižjo trdoto pokazal na lokaciji Zadnji kraj. Tu gre za zaprt sistem, saj trstišče ločuje Stržen od Zadnjega kraja in je vpliv pritokov zanemarljiv. Vrednosti pH so med 7,5 in 8,5, voda je rahlo alkalna, kar je tudi posledica karbonatne podlage. V pritokih so vsebnosti raztopljenega CO₂ znatno višje kot na lokacijah na jezeru zaradi vodnega toka in ker je na slednjih več makrofitov, ki so porabniki CO₂. Raztopljeni ogljikov dioksid učinkuje na lastnosti vode. Tvori šibko ogljikovo kislino, ki lahko vpliva na pH vode in povzroča alkalnost ter trdoto vode (Wetzel in Likens 1990). Vsebnost raztopljenih plinov v vodi se povečuje z zviševanjem tlaka in zniževanjem temperature, znižuje pa se z višjo koncentracijo različnih ionov (Wetzel 2001, Larcher 2003). Voda v jezeru in pritokih je podnevi razmeroma bogata s kisikom, kar lahko povežemo tudi z dobrim prezračevanjem in visoko fotosintezno aktivnostjo vodnih rastlin. Nižje koncentracije kisika v Cerknščici v poletnem času pa povežemo z antropogenimi vplivi (naselje, kmetijstvo), kar je pokazala tudi povečana biološka potreba po kisiku v petih dneh (BPK₅).

Primerjava vzorčnih mest na pritokih in jezeru odraža različno obremenjenost voda ter povezanost med vodnim režimom in obremenjenostjo s hranili. Lokacije na jezeru so manj obremenjene s hranili kot lokacije na pritokih, kar gre pripisati razlikam v vodnem režimu. Spremembe vodne gladine so na jezeru zelo izrazite, medtem ko so na pritokih minimalne, kar ugotavljajo tudi Gaberščik in sod. (1994, 2002, 2003), Urbanc-Berčič in Gaberščik (2001), Gaberščik in Urbanc-Berčič (2002a). Vnosi hranil iz pojezerja v zadnjih letih merjenja naraščajo. Največ jih pride v jezero s površinskima pritokoma Cerknščica in Martinjščica. Stanje na jezeru in v kraških pritokih je nekoliko boljše, čeprav so raziskave pokazale, da so tudi kraški izviri lahko obremenjeni s hranili (Gaberščik in sod. 1994).

Gaberščikova in Urbanc-Berčičeva (2001) ugotavljata, da so bile med leti 1993 in 1998 v Cerknškici vsebnosti hranil visoke, in sicer so bile srednje vrednosti celotnega fosforja $0,233 \text{ mg l}^{-1}$, celotnega dušika pa $2,38 \text{ mg l}^{-1}$. Hranila se prenašajo z visoko vodo iz vodotokov v močvirje in se tam zadržijo, porabijo in transformirajo, kar potrjujejo tudi Kurata in Kira (1990), Mitsch in Gosselink (2000).

Ugotovili smo, da imajo lokacije na jezeru kvalitetnejšo vodo kot pritoki, samo jezero, kot presihajoč ekosistem, pa predstavlja naravni samoočiščevalni sistem, saj hranila neprestano krožijo. Tudi številni drugi avtorji potrjujejo samoočiščevalno sposobnost mokrišč (Jørgensen 1990, Pieczynska 1990, Vymazal in sod. 1998, Mitsch in Gosselink 2000, Gaberščik in Urbanc-Berčič 2001). Koncentracije nitrata so na lokacijah na jezeru v rastni sezoni nižje, saj so v tem obdobju prisotni makrofiti. Za presihajoče sisteme je značilno pospešeno kroženje snovi. To so odkrili tudi v drugih sistemih, v katerih je spremenljiv vodni režim (Brock 1986, Boulton in Brock 1999, Fink in Mitsch 2007).

Prisotnost skupnih koliformnih bakterij in koliformnih bakterij fekalnega izvora se med posameznimi merjenimi leti spreminja, kar kaže, da so bila močnejša onesnaženja občasna. Pritoki so z izjemo Lipsenjščice bistveno bolj obremenjeni kot samo jezero, kar potrjujeta tudi Gaberščikova in Urbanc-Berčičeva (2002a). Koliformne bakterije fekalnega izvora so bile v večini pritokov prisotne v zelo velikem številu, kar je posledica urbanega zaledja, neurejenega komunalnega omrežja in manjše poraščenosti vodotokov z rastlinami. Na jezeru koliformnih bakterij ni bilo oz. je bilo njihovo število nizko, saj je jezero poraščeno z bogatim močvirskim rastlinjem. Znano je, da močvirske rastline poleg raztopljenih in suspendiranih snovi zadržijo tudi bakterije (Joergensen 1990, Pieczynska 1990).

5.3 KAKOVOST VODE IN POJAVLJANJE MAKROFITOV V RASTNI SEZONI 2004

Makrofiti Cerknškega jezera kažejo visoko strpnost do ekstremnih razmer, kar ugotavlja tudi Šrajeva (2007). Newbold in Mountford (1997) pa trdita, da imajo makrofiti hidrološko stabilnejših habitatov manjšo strpnost do sprememb vodostaja. Boulton in Brockova (1999) zahteve makrofitov opredeljujeta v povezavi s prisotnostjo in globino vode, ne pa s trajanjem vodostaja, ki v presihajočih vodnih telesih ključno vpliva na rastline.

Število rastlinskih vrst in vrstna pestrost sta se spreminjali s časom. Spremenljiv vodni režim oblikuje visoko pestrost habitatov in posledično vrstno pestre združbe. Pozitivno povezavo med zmernimi spremembami vodostaja ter številom vrst, vrstno pestrostjo in produktivnostjo so določili mnogi avtorji (Riis in Hawes 2002, Hawes in sod 2003, Van Geest in sod. 2005, Pedro in sod. 2006, Šraj 2007).

Podaljšana obdobja poplav oziroma sušna obdobja lahko povzročajo motnje v rasti in razvoju makrofitov. Do motenj lahko pride, kadar spremembe vodostaja niso usklajene s fenologijo rastlin (Fernández-Aláez in sod. 1999, Warwick in Brock 2003, Williams in sod. 2003, Gaberščik in sod. 2003).

Zaradi presihanja so se nekatere vrste pojavljale tako na kopnem kot tudi v vodi. V času rastne sezone se ob nizkem vodostaju zaradi bujne vegetacije razmere v vodnih telesih močno spreminjajo, kar vpliva na vodno združbo v teh sistemih. Feldmann in Noges (2007) ugotavljata, da ima poglavitni vpliv na porazdelitev vodnih makrofitov nihanje vodne gladine. Od začetka do viška sezone se je povečalo število makrofitov, povečevala pa se je tudi abundanca, najverjetneje zaradi upadanja vode, ugodnejših sevalnih razmer in ustrezne razpoložljivosti hranil. Na lokaciji Rešeto smo popisali 13 makrofitov, najpogostejše in hkrati najbolj abundantne so bile *Mentha aquatica*, *Rorippa amphibia*, *Polygonum amphibium* in *Phalaris arundinacea*. V Dolenjem jezeru smo določili 25 vrst, od tega sta bili najbolj abundantni *Mentha aquatica* in *Nuphar luteum*, sledita *Senecio paludosus* in *Hippuris vulgaris*, ostale pa so zastopane v manj kot petih odstotkih. V Zadnjem kraju smo zabeležili največ (27) vrst, prevladovala so *Phragmites australis*, *Mentha aquatica*, *Senecio paludosus* in *Plantago altissima*. Raziskave so pokazale podobne rezultate, saj Urbanc-Berčičeva s sodelavci (2005) navaja, da so med leti 2001 in 2003 v Zadnjem kraju popisali 25, v Dolenjem jezeru pa 33 makrofitov. Večina teh rastlin ima amfibijski značaj, ki jim omogoča uspevanje v času visoke vode ali pa na kopnem (Urbanc-Berčič in sod. 2005, Šraj-Kržič in Gaberščik 2005, Šraj-Kržič in sod. 2006). Rastline porabljajo hranila (Wetzel 1990, Johnston 1991) po drugi strani pa v procesu primarne produkcije proizvajajo organsko snov, ki je ob propadu vir hranil. Tako igrajo pomembno vlogo pri kroženju hranil in pretoku energije. Koncentracija nitrata in fosfata je na začetku rastne sezone višja, v višku sezone pa se njuna vsebnost zniža, kar pripisujemo porastu biomase makrofitov. Ob koncu rastne sezone se zaradi odmiranja rastlin in mineralizacije organskih snovi vsebnost hranil v vodi zopet poveča. Fink in Mitsch (2007) ugotavljata znižanje koncentracije nitrata in fosfata v času topljenja snega in spomladanskih poplav, ko je v proučevanem mokrišču v Ohio (ZDA) več vode.

Rastline so prisotne v toplejšem času leta in s svojo prisotnostjo pomembno vplivajo na kakovost vode. Kakovost vode se je spreminjala na lokacijah Rešeto, Dolenje jezero in Zadnji kraj v rastni sezoni 2004 v povezavi s spremembami vodostaja ter pojavljanjem makrofitov, kar je v skladu z dosedanjimi raziskavami (Boulton in Brock 1999, Urbanc-Berčič in Gaberščik 2001, Gaberščik in Urbanc-Berčič 2002a, 2002b, Gaberščik in sod. 2002, 2003, Gaberščik in Šraj-Kržič, 2006).

Na vseh treh vzorčnih mestih je bil pH med 7,5 in 8,5, voda je bila rahlo alkalna, kar je posledica karbonatne podlage. Na vzorčnem mestu Rešeto je bil pH v septembru višji in je naraščal od jutra do večera. Vode je bilo v kotanji zelo malo. Rastline izrabljajo CO₂, ki vpliva na pH (Maberly in Spence 1989), zato so tekom dneva vrednosti naraščale in v večernih urah narasle na 8,8. Elektroprevodnost pa se je istočasno zniževala. Na lokaciji Dolenje jezero smo ugotovili, da je bila elektroprevodnost višja takrat, ko je bil nižji vodostaj in manjša pogostost rastlin.

Dnevne vrednosti nasičenosti s kisikom in vsebnosti kisika so bile spremenljive, ker čez dan v procesu fotosinteze nastaja kisik in je proizvodnja višja od njegove porabe. Ponoči ni fotosinteze, poteka le dihanje, zato so zjutraj vsebnosti kisika nižje (Wetzel in Likens 1990, Mitsch in Gosselink 2000). Ko je bilo rastlin malo in je bil vodostaj visok, nismo zaznali dnevnega spreminjanja vsebnosti kisika. Spremembe smo opazili pri nizkem vodostaju in veliki poraščenosti z makrofiti. Z znižanjem vodostaja se zmanjšujeta nasičenost s kisikom in vsebnost kisika (Boulton in Brock 1999, Gaberščik in sod. 2000, Urbanc-Berčič in Gaberščik 2001) ter povečuje delež vodnih rastlin v vodnem stolpcu. Zaradi pomanjkanja kisika smo občasno določili povečane koncentracije amonijevega iona. Zelo visoka koncentracija amonija je bila izmerjena 1. 7. 2004 zvečer na lokaciji Rešeto, kar je lahko posledica heterogenosti vzorcev odvzetih v plitvem vodnem telesu.

6 ZAKLJUČKI

Na podlagi analize dolgoletnih padavinskih podatkov in vodostajev smo ugotavljali povezave med padavinami in vodostaji ter izdelali enostaven hidrološki model.

Hidrološki modeli poenostavljeno predstavljajo kompleksnost vodnega režima na območju Cerknškega jezera na podlagi večletnih (1993–2001) podatkov o količini padavin s področij Nova vas, Cerknica, Otok in Šmarata ter višin vodostajev na Dolenjem in Gorenjem jezeru. Z metodo strojnega učenja smo izdelali šest enostavnih in preglednih modelov, s pomočjo katerih lahko napovedujemo višino vodostaja na Dolenjem in Gorenjem jezeru za en dan, tri dni in celo za pet dni vnaprej. Njihova natančnost je velika, saj so faktorji korelacije med 0,9623 in 0,9963.

Kakovost vode v Cerknškem jezeru in v pritokih je v določenem času odvisna od vodostaja.

Vodni režim Cerknškega jezera značilno vpliva na številne fizikalne in kemijske parametre. Spremembe vodne gladine so v jezeru zelo izrazite, medtem ko so v pritokih minimalne, kar ugotavljajo tudi številni drugi avtorji. Za večino merjenih parametrov je značilna negativna povezava z vodnim režimom. Z višanjem vodostaja se znižujeta elektroprevodnost in vsebnost hranil. V plitvejših vodnih telesih so spremembe temperature izrazitejše kot v globljih. Temperatura vpliva tudi na vsebnost kisika, na vseh vzorčnih mestih je bila nižja vsebnost O₂ v rastni sezoni, ko je temperatura vode višja. Lokacije na jezeru so manj obremenjene s hranili kot lokacije na pritokih, kar je povezano tudi s spreminjanjem vodnega režima in z bližino naselij, zaradi katerih so v zadnjih letih pritoki vse bolj obremenjeni.

Na kemizem vode v vodnih telesih ključno vpliva tudi razvoj rastlin.

V rastni sezoni 2004 se je kakovost vode na lokacijah Rešeto, Dolenje jezero in Zadnji kraj spreminjala v povezavi s spremembami vodostaja ter pojavljanjem makrofitov, kar je v skladu z dosedanjimi raziskavami. Od začetka do viška sezone sta se povečala število makrofitskih vrst in abundanca, najverjetneje zaradi upadanja vode, ugodnejših sevalnih razmer in ustrezne razpoložljivosti hranil. Makrofiti so pomembno vplivali na koncentracijo hranil. Koncentracija nitrata in fosfata je na začetku rastne sezone višja, v višku sezone pa se njuna vsebnost zniža. Ob koncu rastne sezone je zaradi odmiranja rastlin vsebnost hranil zopet višja. Nasičenost s kisikom in vsebnost kisika sta se tekom

dneva spreminjali. Zaradi pomanjkanja kisika so bile občasno povečane koncentracije amonijevega iona.

7 POVZETEK

Z enostavnimi hidrološkimi modeli smo v nalogi poskušali razložiti hidrološko dinamiko na območju Cerknškega jezera. Zanimalo nas je, kako se s spreminjanjem vodnega režima in pojavljanjem rastlin spreminja kakovost vode in ali se v času rastle sezone in nizkega vodostaja razmere v jezerski vodi tekom dneva spreminjajo.

Raziskave so bile izvedene na izbranih lokacijah Cerknškega jezera. Vzorčna mesta Dolenje in Gorenje jezero, Zadnji kraj in Rešeto se nahajajo na območju jezera, vzorčna mesta Lipsenjščica, Žerovniščica, Martinjščica in Cerknjščica pa na pritokih. Hidrološke podatke smo obdelali z metodo strojnega učenja. Podatke o količini padavin na lokacijah Nova vas, Cerknica, Otok in Šmarata ter o višini vodostajev na lokacijah Dolenje in Gorenje jezero smo obdelali in analizirali s programskim paketom WEKA, ki vsebuje večino popularnih algoritmov strojnega učenja (Witten in Frank 2005, Holmes in sod. 1994). Kakovost vode na jezeru in pritokih smo ugotavljali na podlagi večletnega monitoringa (1993–2001) enaindvajsetih fizikalnih in kemijskih parametrov. Podatki smo pridobili od ARSO. Vse meritve so bile opravljene po standardnih metodah (APHA 1992, Wetzel in Likens 1990). V rastni sezoni 2004 (april–september) smo na treh izbranih lokacijah na jezeru (Rešeto, Dolenje jezero in Zadnji kraj) dvakrat mesečno trikrat na dan spremljali 11 fizikalnih in kemijskih parametrov (vodostaj, temperatura zraka in vode, vsebnost kisika, nasičenost s kisikom, elektroprevodnost, pH, amonij, nitrit, nitrat in ortofosfat). Hkrati smo beležili pojavljanje in abundanco makrofitov.

Na podlagi večletnih (1993–2001) podatkov o količini padavin z merilnih postaj Nova vas, Cerknica, Otok in Šmarata ter višin vodostajev na Dolenjem in Gorenjem jezeru smo izdelali šest enostavnih in preglednih hidroloških modelov. Z njimi lahko napovedujemo višino vodostaja na Dolenjem in Gorenjem jezeru za en dan, tri in pet dni vnaprej.

Spremembe vodostaja na Cerknškem jezeru so značilno vplivale na izbrane fizikalne in kemijske parametre. Ugotovili smo, da so spremembe vodne gladine na jezeru zelo izrazite, na pritokih pa minimalne. Za večino merjenih parametrov je bila značilna negativna povezava z vodostajem. Z višanjem vodostaja se znižujeta električna prevodnost in vsebnost hranil. V plitvejših vodnih telesih so spremembe temperature izrazitejše kot v globljih. Lokacije na jezeru so manj obremenjene s hranili kot lokacije na pritokih, kar je bilo povezano tudi s spreminjanjem vodostaja in verjetno tudi z bližino naselij, zaradi katerih so bili v zadnjih letih pritoki vse bolj obremenjeni, ter z veliko gostoto rastlin na jezeru.

V rastni sezoni 2004 smo spremljali nekatere kemijske parametre na lokacijah Rešeto, Dolenje jezero in Zadnji kraj. Ugotovili smo, da so bile spremembe povezane s spremembami vodostaja ter pojavljanjem makrofitov. Število makrofitskih vrst in abundanca sta se povečevala od začetka do viška sezone, kar je bilo povezano z upadanjem vode, ugodnejšimi sevalnimi razmerami in večjo razpoložljivostjo hranil. Na lokaciji Rešeto smo popisali 13 makrofitskih vrst, najpogostejše in hkrati najbolj abundantne so bile vrste *Mentha aquatica*, *Rorippa amphibia*, *Polygonum amphibium* in *Phalaris arundinacea*. V Dolenjem jezeru smo določili 25 vrst, od tega sta bili najbolj abundantni vrsti *Mentha aquatica* in *Nuphar luteum*, sledita *Senecio paludosus* in *Hippuris vulgaris*. V Zadnjem kraju smo zabeležili največ (27) vrst, prevladovale pa so vrste *Phragmites australis*, *Mentha aquatica*, *Senecio paludosus* in *Plantago altissima*. Rastline imajo pomembno vlogo pri kroženju hranil in pretoku energije. Koncentracija nitrata in fosfata je bila na začetku rastne sezone višja, na višku sezone pa se njuna vsebnost zniža. Zaradi odmiranja rastlin in mineralizacije organskih snovi se ob koncu rastne sezone koncentracija hranil zopet poveča.

Ugotovili smo tudi, da sta časovno pojavljanje in pogostost makrofitov na Cerkniškem jezeru povezana s spremembami vodostaja. Dnevni ritem nasičenosti s kisikom in vsebnosti kisika se je spreminjal. Z zniževanjem vodostaja sta se znižali nasičenost in vsebnost kisika v vodi, povečala pa se je gostota vodnih rastlin. Zaradi pomanjkanja kisika so bile občasno povečane koncentracije amonijevega iona.

8 SUMMARY

The goal of this study was to explain hydrological dynamic of Lake Cerknica, by using simple hydrological models and to establish the influence of vegetation development and water level fluctuations on the quality of water as well as the possibly influence of seasonal and diurnal changes on selected chemical parameters.

Investigations were carried out at selected locations of Lake Cerknica. Sampling points Dolenje and Gorenje jezero, Zadnji kraj and Rešeto are located on the lake area, Lipsenjščica, Žerovniščica, Martinjščica and Cerkniščica are sampling points on the tributaries. Hydrological data were processed by Machine learning. We used program WEKA, which includes most of popular algorithms of Machine learning (Witten and Frank 2005, Holmes et al. 1994). We processed and analyzed data of precipitation rates at locations Nova vas, Cerknica, Otok and Šmarata as well as water level at locations Dolenje and Gorenje jezero. The quality of water in the lake and in its tributaries was estimated on the basis of long term monitoring data sets of 21 different physical and chemical parameters. The data were provided by ARSO. All measurements were carried out according to standard methods (APHA 1992, Wetzel and Likens 1990). 11 physical and chemical parameters (water level, air and water temperature, oxygen concentration and saturation, electrical conductivity, pH, ammonia, nitrite, nitrate and orthophosphate) were monitored during vegetation season in 2004 (april–september) at three selected locations (Rešeto, Dolenje jezero and Zadnji kraj) along with monitoring of macrophytes presence and abundance.

Using long-term data sets on precipitations (1993–2001) from weather stations Nova vas, Cerknica, Otok in Šmarata and data sets on water level at locations Dolenje and Gorenje jezero, we made six simple hydrological models. These models enabled the prediction of water level at locations Dolenje in Gorenje jezero of one, three and five days in advance.

Water regime of Lake Cerknica exerted significant influence on selected physical and chemical parameters. Water level fluctuations were significant on lake area, whereas at tributaries they were not very pronounced. We also found out that there was a negative relation between water level fluctuations and majority of measured parameters. Higher water level was related to lower electric conductivity and nutrient concentrations. Temperatures were more variable at lower water levels than at higher water levels. Lake locations were less loaded with nutrients in comparison to tributaries, which were related to water level changes and vegetation development.

We established that changes of chemical parameters monitored on locations Rešeto, Dolenje jezero and Zadnji kraj during vegetation season in 2004 were also related to water level changes and macrophytes abundance. Number of macrophyte species and abundance was increasing steadily from the beginning to the peak of vegetation season. At Rešeto location we found 13 macrophyte species. The most frequent and abundant were *Mentha aquatica*, *Rorippa amphibia*, *Polygonum amphibium* and *Phalaris arudinacea*. 25 different macrophyte species were found at the location Dolenje jezero. The most abundant were *Mentha aquatica*, *Nuphar luteum*, *Senecio paludosus* and *Hippuris vulgaris*. At Zadnji kraj we registered 27 macrophyte species. *Phragmites australis*, *Mentha aquatica*, *Senecio paludosus* and *Plantago altissima* prevailed. Plants had significant impact on nutrient cycling and energy flow. Nitrate and phosphate concentration was higher at the beginning of the vegetation season, whereas at peak season the amount of nutrients in water decreased. Due to senescence processes in plants and mineralization of organic matter the concentration of nutrients increased at the end of the growing season.

We established, that macrophytes presence and abundance in Lake Cerknica were related to water regime influencing diurnal pattern of oxygen amount. Decrease of water level was related to lower saturation and concentration of oxygen and higher abundance of plants. Due to temporal lack of oxygen, ammonia concentration increased.

9 VIRI

- American Public Health Association (APHA). 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th edition. American Public Health Association, Washington DC, USA.
- Atanasova N., Kompare B. 2002. Uporaba odločitvenih dreves pri modeliranju čistilne naprave za odpadno vodo – The Use of Decision Trees in Modeling of Waste Water Treatment Plant. *Acta hydrotechnica*, 20/32.
- Baatrup-Pedersen A., Riis T. 1999. Macrophyte diversity and composition in relation to substratum characteristics in regulated and unregulated Danish streams. *Freshwater Biology*, 42: 375-385
- Barendregt A., Boi A. M. F. 2003. Relevant variables to predict macrophyte communities in running waters. *Ecological Modelling*, 160: 205-217
- Beltram G. 2005. Ramsarska konvencija in slovenska mokrišča. Sovinc A. (ur). Ljubljana. Nacionalni odbor RS za Ramsarsko konvencijo pri ARSO.
- Blanch S. J., Ganf G. G., Walker K. F. 1999. Tolerance of riverine plants to flooding and exposure indicated by water regime. *Regulated Rivers: Research & Management*, 15: 43-62
- Blindow I., Hergeby A, Andersson G. 2002. Seasonal changes of mechanisms maintaining clear water in a shallow lake with abundant *Chara* vegetation. *Aquatic Botany* 72: 315-334
- Bornette G., Amoros C. 1996. Disturbance regimes and vegetation dynamics: Role of floods in riverine wetlands. *Journal of Vegetation Science* 7: 615-622
- Boulton A. J., Brock M. A. 1999. Process and Management. *Australian Freshwater Ecology*. Glen Osmond, SA, Australia, Geneagles Publishing: 144-166
- Braendle R., Crawford R. M. M. 1999. Plants as amphibians. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2/1: 56-78
- Brock M. A. 1986. Adaptations to fluctuations rather than to extremes of environmental parameters. V: *Limnology in Australia*. De Deckker P., Williams W.D. (ur.). CSIRO/ Dr.W. Junk, Melbourne, Dordrecht: 131-140
- Brock M. A., Casanova M. T. 1997. Plant life at the edges of wetlands. V: *Frontiers in Ecology: Building the Links* (eds Klomp N., Lunt I.). Oxford, Elsevier Science: 181-192
- Casanova M. T., Brock M. A. 2000. How do depth, duration and frequency of flooding influence the establishment of wetland plant communities? *Plant Ecology*, 147: 237-250
- Casper S. J., Krausch H. D. 1980. *Süßwasserflora von Mitteleuropa. Pteridophyta und Antophyta*. VEB G. Fischer Verlag, Jena: 942 str.
- Chapra S. C. 1997. *Surface Water-Quality Modeling*. New York, McGraw-Hill: 844 str.
- Cronk J. K., Fennessy M. S. 2001. *Wetland plants - biology and ecology*. Lewis Publisher, London: 462 str.
- DeAngelis D. L. 1992. *Dynamics of Nutrient Cycling and Food Webs*. Chapman & Hall, London: 270 str.
- Dobson M., Frid C. 1998. *Ecology of aquatic systems*. Adison Wesley Longman Limited, Edinburgh Gate: 158-182
- EN 14184. Water quality – Guidance standard for the surveying of aquatic macrophytes in running waters. Comité Européenne de Normalisation (European Standard), Brussels. 2003
- Eugelink A. H. 1998. Phosphorous uptake and active growth of *Elodea canadensis* Michx. and *Elodea nuttallii* (Planch.) St. John. *Water Science and Technology*, 37: 59-65
- Feldmann T., Noges P. 2007. Factors controlling macrophyte distribution in large shallow Lake Vortsjärv. *Aquatic Botany* (2007), doi:10.1016/j.aquabot.2007.01.004 (in press)

- Fernández-Aláez C., Fernández-Aláez M., Bécarez E. 1999. Influence of water level fluctuation on the structure and composition of the macrophyte vegetation in two small temporary lakes in the northwest of Spain. *Hydrobiologia*, 415: 155-162
- Fink D. F., Mitsch W. J. 2007. Hydrology and nutrient biogeochemistry in a created river diversion oxbow wetland. *Ecological engineering*, 30: 93-102
- Fox A. M. 1992. Macrophytes. V: *The Rivers Handbook. Hydrological and Ecological Principles*. Vol. I. Calow P., Petts G. E. (eds.). Blackwell Science, Oxford: 216-346
- Gaberščik A., Kosi G., Krušnik C., Urbanc-Berčič O., Bricelj M. 1994. Kvaliteta vode v Cerkniškem jezeru in njegovih pritokih. *Acta carsologica*, 23: 266-283
- Gaberščik A., Urbanc-Berčič O., Martinčič A. 2000. The influence of water level fluctuations on the production of reed stands (*Phragmites australis*) on intermittent Lake Cerknica. V: *Proceedings of the International Workshop and 10th Macrophyte Group Meeting IAD-SIL, Danube Delta, Romania, 24-28 avg.* 1998. Christofor S., Sarbu A., Adamescu M. (ur.). Danube Delta, University of Bucharest, Romania: 29-34
- Gaberščik A., Urbanc-Berčič O. 2001. Reed dominated intermittent Lake Cerknica as a sink for nutrients. V: *Transformation of Nutrients in Natural and Constructed Wetlands*. Vymazal J. (ur.). Leiden, Backhuys Publishers: 225-234
- Gaberščik A., Urbanc-Berčič O. 2002a. Kakovost vode v jezeru in pritokih – Water quality in the lake and its tributaries. V: *Jezero, ki izginja - Monografija o Cerkniškem jezeru*. Gaberščik A. (ur.). Ljubljana, Društvo ekologov Slovenije: 44-49
- Gaberščik A., Urbanc-Berčič O. 2002b. Ekosistem, ki ga ustvarja igra vode. V: *Jezero, ki izginja - Monografija o Cerkniškem jezeru*. Gaberščik A. (ur.). Ljubljana, Društvo ekologov Slovenije: 51-57
- Gaberščik A. (ur.). 2002. *Jezero, ki izginja - Monografija o Cerkniškem jezeru*. Ljubljana, Društvo ekologov Slovenije: 333 str.
- Gaberščik A., Urbanc-Berčič O., Germ M., Kržič N., Rudolf M. 2002. The influence of water level fluctuation on plants in the intermittent lake Cerknica. V: *Knjiga abstraktov Simpozij Flora in vegetacija v spreminjajočem se okolju*. 14.-15.11.2002, Maribor: 23
- Gaberščik A., Urbanc-Berčič O., Kržič N., Kosi G., Brancelj A. 2003. The intermittent Lake Cerknica: Various faces of the same ecosystem. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, 8: 159-168
- Gaberščik A., Šraj-Kržič N. 2006. Cerkniško jezero - ramsarsko mokrišče. *Proteus*, letn. 68, št. 8: 342-354
- Gams I., Gospodarič R., Sket B., Gregori J. 1988. Cerkniško jezero. *Enciklopedija Slovenije* 2, Mladinska knjiga, 416: 40-42
- Gantes H. P., Caro A. S. 2001. Environmental heterogeneity and spatial distribution of macrophytes in plain streams. *Aquatic Botany*, 70: 225-236
- Gelbrecht J., Lengsfeld H., Pöthing R., Opitz D. 2005. Temporal and spatial variation of phosphorus input, retention and loss in a small catchment of NE Germany. *Journal of Hydrology*, 304: 151-165
- Gospodarič R., Habič P. 1978. Kraški pojavi Cerkniškega polja. *Acta carsologica*, 8: 7-162
- Habič P. 1985. Vodna gladina v Notranjskem in Primorskem krasu Slovenije. *Acta Carsologica*, 13: 37-78
- Hawes I., Riis T., Sutherland D., Flanagan M. 2003. Physical constraints to aquatic plant growth in New Zealand lakes. *Journal of aquatic plant management*, 41: 44-52
- Herbst M., Kappen L. 1999. The ratio of transpiration versus evaporation in a reed belt as influenced by weather conditions. *Aquatic Botany* 63: 113-125
- Holmes G., Donkin A., Witten I. H. 1994. A Machine Learning Workbench. Proc. Second Australia and New Zealand Conference on Intelligent Information Systems, Brisbane, Australia.
- Hutchinson G. E., 1970. The chemical ecology of three species of *Myriophyllum* (Angiospermae, Haloragaceae). *Limnolog. Oceanogr.* 15: 1-5

- Johnston C. A. 1991. Sediment and nutrient retention by freshwater wetlands: Effects on surface water quality. *Critical Reviews in Environmental Control* 21: 491-565
- Jørgensen S. E. 1990. Erosion and filtration. V: *Guidelines of shore management*. Vol. 3. Jørgensen S. E., Loeffler H. (ur.). International Lake Environmental Committee, UNEP: 13-20
- Jørgensen S. E., Bendricchio G. 2001. *Fundamentals of Ecological Modelling*, 3. edition. Amsterdam, Elsevier.
- Jørgensen S. E., Johnsen I. 1989. *Principles of environmental science and technology*, Studies in Environmental Science 33, 2nd. edition. Amsterdam, Elsevier: 627 str.
- Karjalainen H., Stefansdottir G., Touminen L., Kairesalo T. 2001. Do submerged plants enhance microbial activity in sediment? *Aquatic Botany*, 69: 1-13
- Keen R. E., Spain J. D., 1992. *Computer Simulation in Biology – A Basic Introduction*. New York, Wiley-Liss.
- Kompare B. 1995. The use of artificial intelligence in ecological modelling: Ph. D. Thesis. Ljubljana: FGG; København: Kraljeva danska šola za farmacijo, 1 zv. (lo. pag.)
- Kranjc A. 1986. Cerknško jezero in njegove poplave. *Geografski zbornik*, 25: 75-123
- Kranjc A. 2002a. Hidrološke značilnosti. V: *Jezero, ki izginja – Monografija o Cerknškem jezeru*. Gaberščik A. (ur.). Društvo ekologov Slovenije, Ljubljana: 27-37
- Kranjc A. 2002b. Geologija in geomorfologija. V: *Jezero, ki izginja – Monografija o Cerknškem jezeru*. Gaberščik A. (ur.). Društvo ekologov Slovenije, Ljubljana: 19-25
- Kurata A., Kira T. 1990. Water quality aspects. V: *Guidelines of shore management*. Vol. 3. Jørgensen S. E., Loeffler H. (ur.). International Lake Environmental Committee, UNEP: 13-20
- Lakatos G., Grigorszky I., Birp P. 1998. Reed-periphyton complex in the littoral of shallow lakes. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 26: 1852-1856
- Larcher W. 2003. *Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups*. 4th. Edition. Springer – Verlag Berlin Heidelberg. New York: 3-5
- Maberly S. C., Spence D. H. N. 1989. Photosynthesis and photorespiration in freshwater organisms: amphibious plants. *Aquatic Botany*, 34: 267-286
- Mackay S. J., Arthington A. H., Kennard M. J., Pusey B. J. 2003. Spatial variation in the distribution and abundance of submersed macrophytes in an Australian subtropical river. *Aquatic Botany*, 77: 169-186
- Maitland P. S., Morgan N. C. 1997. *Conservation Management of Freshwater Habitats*. Lakes, rivers and wetlands. 1. edition. London, Chapman & Hall: 95-121
- Maltby E. 1986. *Waterlogged Wealth*, Washington, D. C. Earthscan: 200 str.
- Martinčič A. 2002. Praprotnice in semenke. V: *Jezero, ki izginja - Monografija o Cerknškem jezeru*. Gaberščik A. (ur.). Društvo ekologov Slovenije, Ljubljana: 73-80
- Martinčič A., Leskovar I. 2002. Vegetacija. V: *Jezero, ki izginja - Monografija o Cerknškem jezeru*. Gaberščik A. (ur.). Društvo ekologov Slovenije, Ljubljana: 81-96
- Martinčič A., Wraber T., Jogan N., Ravnik V., Podobnik A., Turk B., Vreš B. 1999. *Mala flora Slovenije*. Ključ za določanje praprotnic in semenk. Tehniška založba Slovenije, Ljubljana: 845 str.
- Mauchamp A., Blanch S., Grillas P. 2001. Effect of submergence on the growth of *Phragmites australis* seedlings. *Aquatic Botany*, 69, 147-164.
- Mendoza R., Escudero V., García I. 2005. Plant growth, nutrient acquisition and mycorrhizal symbioses of a waterlogging tolerant legume (*Lotus glaber* Mill.) in a saline sodic soil. *Plant and Soil*, 275: 305-315
- Mitsch W. J. 1983. *Ecological Models for Management of Freshwater Wetlands*. Application of Ecological Modeling in Environmental Management, Part B. Jørgensen S. E., Mitsch W. J. (ur.). Elsevier, Amsterdam.

- Mitsch W. J., Gosselink J. G. 2000. Wetlands. 3rd edition. New York, John Wiley & Sons: 920 str.
- Mitsch W. J., Mitsch R. H., Turner R. E. 1994. The Wetlands of the Old and New Worlds: Ecology and Management. V: Global Wetlands: Old World and New. Mitsch W. J. (ur.). Amsterdam, Elsevier science: 3-53
- Newbold C., Mountford O. 1997. Water level requirements of wetland plants and animals, no. 5. English Nature Freshwater Series. Environmental Impacts Team, Peterborough: 36 str.
- Nichols S. A., Shaw B. H. 1986. Ecological life histories of three aquatic nuisance plants, *Myriophyllum spicatum*, *Potamogeton crispus* and *Elodea canadensis*. *Hydrobiologia*, 131: 3-21
- Nilsen E. T., Orcutt D. M. 1996. The physiology of plants under stress. Abiotic factors. John Willey in Sons, inc., New York, USA: 362-400
- Pall K., Janauer G. A. 1995. Die Makrophytenvegetation von Flußstauen am Beispiel der Donau zwischen Fluß-km 2552,0 und 2511,8 in der Bundesrepublik Deutschland. *Arch. Hydrobiol.* 101 (Large rivers 9): 91-109
- Pedersen O., Sand-Jensen K. 1997. Transpiration does not control growth and nutrient supply in the amphibious plant *Mentha aquatica*. *Plant, Cell and Environment*, 20: 117-123
- Pedro F., Maltchik L., Bianchini jr. I. 2006. Hydrologic cycle and dynamics of aquatic macrophytes in two intermittent rivers of the semi-arid region of Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 66: 575-585
- Pieczynska E. 1990. Littoral habitats and communities. V: Guidelines of shore management. Vol. 3. Jørgensen S. E., Loeffler H. (ur.). International Lake Environmental Committee, UNEP: 13-20
- Quinlan J. R. 1986. Induction of Decision Trees. *Machine Learning* 1(1): 81-106
- Quinlan J. R., 1992. Learning with continuous classes. In: Adams and Sterling (Eds.), proceedings AI'92 (Australian Conference on AI). Singapore. World Scientific 1992: pp. 343-348
- Ramsar Classification System for Wetland Type, Annex I. 1971. Strategic Framework and guidelines for the future development of the list of wetlands of international importance of the Convention on Wetlands. Ramsar, Iran.
- Rascio N. 2002. The Underwater life of secondarily aquatic plants: some problems and solutions. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 21: 401-427
- Reid M. A., Quinn G. P. 2004. Hydrologic regime and macrophyte assemblages in temporary floodplain wetlands: implications for detecting responses to environmental water allocations. *Wetlands*, 24: 586-599
- Richardson C. J. 1994. Ecological functions and human values in wetlands: A framework for assessing forestry impact. *Wetlands* 14, No. 1: 1-9
- Riis T., Hawes I. 2002. Relationships between water level fluctuations and vegetation diversity in shallow water of New Zeland lakes. *Aquatic Botany*, 74: 133-148
- Robe W. E., Griffiths H. 2000. Physiological and photosynthetic plasticity in the amphibious, freshwater plant, *Littorella uniflora*, during the transition from aquatic to dry terrestrial environments. *Plant, Cell and Environment*, 23: 1041-1054
- Strand J. A., Weisner S. E. B. 2001. Morphological plastic responses to water depth and wave exposure in aquatic plant (*Myriophyllum spicatum*). *Journal of Ecology*, 89: 166-175
- Šraj-Kržič N., Gaberščik A. 2005. Photochemical efficiency of amphibious plants in an intermittent lake. *Aquatic Botany*, 83: 281-288
- Šraj-Kržič N., Germ M., Urbanc-Berčič O., Kuhar U., Janauer G.A., Gaberščik A. 2006. The quality of the aquatic environment and macrophytes of karstic watercourses. *Plant ecol. (Dordr.)*, in press.
- Šraj N. 2007. Tekmovalne prednosti makrofitov v presihajočih vodnih telesih. Doktorska disertacija. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo.
- Umwelt - Meßkoffer UW 2000. Windaus Labortechnik GmbH + Co. KG, Clausthal - Zellerfeld, Deutschland

- Urbanc-Berčič O., Gaberščik A. 2001. The influence of water table fluctuations on nutrient dynamics in the rhizosphere of common reed (*Phragmites australis*). *Wat. Sci. Tech.* 44: 245-50
- Urbanc-Berčič O., Gaberščik A. 2003. Microbial activity in the rhizosphere of common reed (*Phragmites australis*) in the intermittent lake Cerkniško jezero. V: *Wetlands: Nutrients, metals and mass cycling*. Vymazal J. (ed.), Backhuys Publishers, Leiden: 1-34
- Urbanc-Berčič O., Kržič N., Rudolf M., Gaberščik A. and Germ M. 2005. The effect of water level fluctuation on macrophyte occurrence and abundance in the intermittent Lake Cerknica. V: *Natural and constructed wetlands: Nutrients, metals and management*. Vymazal J. (ed.), Backhuys Publishers, Leiden: 312-320
- Van den Brink F. W. B., Van den Velde G., Bosman W. W., Coops H. 1995. Effects of substrate parameters on growth responses of eight helophyte species in relation to flooding. *Aquatic botany*, 50: 79-97
- Van Geest G. J., Wolters H., Roozen F. C. J. M., Coops H., Roijackers R. M. M., Buijse A. D., Scheffer M. 2005. Water level fluctuations affect macrophyte richness in floodplain lakes. *Hydrobiologia*, 539: 239-248
- Voesenek L. A. C. J., Colmer T. D., Pierik R., Millenaar F. F., Peeters A. J. M. 2006. How plants cope with complete submergence. *New Phytologist*, 170: 213-226
- Vymazal J., Brix H., Cooper P. F., Green M. B., Haberl R. (ur.). 1998. *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe*. Backhuys Publishers, Leiden: 366 str.
- Wang Y., Witten I. H. 1997. Inducing Model Trees for Continuous Classes, *Proc European Conference on Machine Learning. Poster Papers*. Prague, Czech Republic: 128-137
- Warwick N. W. M., Brock M. A. 2003. Plant reproduction in temporary wetlands: the effects of seasonal timing, depth and duration of flooding. *Aquatic Botany*, 77: 153 - 167
- Wetzel R. G. 1990. Land-water interfaces: Metabolic and limnological regulators. *Internat. Verein. Limnol.*, 24: 6-24
- Wetzel R. G. 2000. Fundamental processes within natural and constructed wetland ecosystems: short-term vs. Long-term objectives. V: *Proceeding of 7th Inter. Conference on wetland systems for water pollution control*. Nov. 11-16 2000. Lake Buena Vista, Florida: 3-11
- Wetzel R. G. 2001. *Limnology. Lake and river ecosystems*, 3rd ed. Academic press, an Elsevier science imprint, San Diego, California: 1006 str.
- Wetzel R. G., Likens G.E. 1990. *Limnological analyses*. 2nd edition. New York, Springer-Verlag: 391 str.
- Williams P., Whitfield M., Biggs J., Bray S., Fox G., Nicolet P., Sear D. 2003. Comparative biodiversity of rivers, streams, ditches and ponds in an agricultural landscape in Southern England. *Biological Conservation*, 115: 329-341
- Witten I. H., Frank E. 2005. *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. 2nd edition. Amsterdam, Morgan Kaufmann Publishers: 525 str.
- Zhang L., Mitsch W. J. 2005. Modelling hydrological processes in created freshwater wetlands: an integrated system approach. *Environmental Modelling & Software*, 20, 7: 935-946

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorici prof. dr. Alenki Gaberščik za vso pomoč in čas, ki si ga je vzela za najine razprave o presihajočih vodnih sistemih, rastlinah in tudi za spodbujanje pri pisanju naloge.

Prav tako se zahvaljujem somentorju prof. dr. Borisu Komparetu, ki si je vedno našel čas za diskusijo o strojnem učenju in me usmerjal, da sem našla pravo pot do nastalih modelov.

Prof. dr. Mihaelu Jožefu Tomanu se zahvaljujem za učinkovit pregled magistrskega dela. Zahvaljujem se tudi doc. dr. Marini Pintar za tehtne pripombe ob recenziji magistrske naloge.

Nini Šraj se iz srca zahvaljujem za ustvarjalno sodelovanje in moralno podporo, prav tako hvala Nataši Atanasovi za pomoč pri strojnem učenju. Hvala Damjanu Kovačiču za vso nesebično pomoč, posebej pri obdelavi podatkov, Damjanu Tomšiču pa za rešitev vseh računalniških težav. Janezu Perparju hvala za lektoriranje dela. Zahvala gre tudi sodelavcem za vzpodbudne besede in razumevanje ob nastajanju magistrskega dela. Rada bi se zahvalila tudi vsem tistim, ki so kakorkoli pomagali pri nastajanju naloge, pa jih nisem posebej omenila.

Iskrena hvala mojim najdražjim, Primožu, Lukcu in Taji, ki so mi stali ob strani, me vzpodbujali in mi oprostili za vse trenutke, ki jih nisem preživela z njimi, da sem uspela zaključiti nalogo. Hvala tudi mami, Majdi in Tinetu za vso pomoč in razumevanje.

PRILOGE

Priloga A:

Preglednica: Povezanost parametrov s Pearsonovim korelacijskim koeficientom
(* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$)

