

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA

Mojca RUDOLF

**VPLIV PRESIHANJA NA AKTIVNOST IN
PRIMARNO PRODUKCIJO VRST *Phragmites australis*
IN *Carex elata* NA CERKNIŠKEM JEZERU**

MAGISTRSKO DELO

Ljubljana, 2008

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
PODIPLOMSKI ŠTUDIJ VARSTVO NARAVNE DEDIŠČINE

Mojca RUDOLF

**VPLIV PRESIHANJA NA AKTIVNOST IN PRIMARNO
PRODUKCIJO VRST *Phragmites australis* IN *Carex elata* NA
CERKNIŠKEM JEZERU**

MAGISTRSKO DELO

**THE INFLUENCE OF INTERMITTENCE ON ACTIVITY AND
PRIMARY PRODUCTION OF SPECIES *Phragmites australis* AND
Carex elata IN LAKE CERKNICA**

M. SC. THESIS

Ljubljana, 2008

Magistrsko delo je zaključek podiplomskega študija Varstva naravne dediščine na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani. Praktično delo je bilo opravljeno na terenu in v laboratoriju Katedre za ekologijo in varstvo okolja, Oddelek za biologijo.

Senat Biotehniške fakultete je dne, 30. 1. 2006, odobril temo magistrskega dela z naslovom Vpliv presihanja na aktivnost in primarno produkcijo vrst *Phragmites australis* in *Carex elata* na Cerknškem jezeru. Za mentorico je imenoval prof. dr. Alenko Gaberščik.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: doc. dr. Davorin Tome

Univerza v Ljubljani, Nacionalni inštitut za biologijo

Mentorica in članica: prof. dr. Alenka Gaberščik

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Član: prof. dr. Boštjan Anko

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo
in obnovljive vire

Datum zagovora: 7. 5. 2008

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.

Mojca Rudolf, prof. biol. in gosp.

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Md
DK UDK 581.16+502.51:(285 Cerknško jezero)(497.4) (043.2)=163.6
KG spremembe vodostaja / *Phragmites australis* / *Carex elata* / fotosinteza / transpiracija / fotokemična učinkovitost FSII / primarna produkcija / ekosistemske storitve / varstvo narave
AV RUDOLF, Mojca, prof. biol. in gos.
SA GABERŠČIK, Alenka (mentor)
KZ SI – 1000, Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, podiplomski študij Varstvo naravne dediščine
LI 2008
IN VPLIV PRESIHANJA NA AKTIVNOST IN PRIMARNO PRODUKCIJO VRST *Phragmites australis* IN *Carex elata* NA CERKNŠKEM JEZERU
TD Magistrsko delo
OP XI, 86 str., 3 pregl., 29 sl., 1 pril., 72 vir.
IJ sl
JI sl/en
AI Aktivnost in primarna produkcija prevladujočih rastlinskih vrst na Cerknškem jezeru navadnega trsta *Phragmites australis* in togega šaša *Carex elata* sta odvisni od sprememb vodostaja. Naš namen je bil raziskati vlogo teh vrst pri pretoku energije in kroženju vode v odvisnosti od presihajočega vodnega režima. Hkrati smo želeli poudariti tudi njuno vlogo iz vidika ekosistemskih storitev in vidika varstva narave. Aktivnost preučevanih vrst smo ugotavljali z merjenjem fotokemične učinkovitosti FSII, fotosinteze in transpiracije. Izračunali smo učinkovitost izrabe vode. Merili smo tudi parametre primarne produkcije. Pri navadnem trstu smo ugotavljali velikost in gostoto rastlin, število internodijev, bazalni diameter in število cvetočih rastlin, pri šašu pa velikost in število listov. Pri obeh vrstah smo določili indeks listne površine in suho maso rastlin. Ob meritvah na terenu smo spremljali tudi abiotske dejavnike – fotosintezno aktivno sevanje, vlažnost zraka in temperaturo. Ugotovili smo, da imata navadni trst in togi šaš pomembno vlogo pri kroženju vode in vnosu energije v ekosistem. Potencial rastlin kot nosilcev pretoka energije in kroženja vode se ni dosti spreminjal in ni bilo opaziti večjih odstopanj med posameznimi leti. Čas in dolžina poplav sta vplivala na uspevanje navadnega trsta bolj kot pa na uspevanje togega šaša. Trst, ki je uspeval na kopnem, in tudi trst v vodi sta boljše izkoristila svetlobno energijo v času nizkega vodostaja, kar odraža negativna korelacija med vodostajem in fotokemično učinkovitostjo FSII, medtem ko pri togem šašu korelacija ni bila značilna. Vrednosti potencialne fotokemične učinkovitosti so bile nad vrednostjo 0,8 in se niso značilno razlikovale, iz česar lahko sklepamo, da rastline niso bile podvržene večjemu stresu. Nivo fotosinteze odraža variabilnost razmer na rastišču. Pri trstu v vodi in pri šašu smo ugotovili značilno pozitivno korelacijo med vodostajem in fotosintezo, medtem ko pri trstu v vodi povezava ni bila značilna. Razlike v vrednostih transpiracije pri trstu so bile ugotovljene med posameznimi leti, med posameznimi rastišči pa večjih odstopanj ni bilo. Pozitivna korelacija med transpiracijo in vodostajem je bila ugotovljena pri trstu na kopnem in vodi, medtem ko pri šašu povezava ni bila značilna. Učinkovitost izrabe vode je bila večja v bolj sušnih razmerah, ker mora rastlina omejiti izgube vode. Suha masa trsta na kopnem je znašala v povprečju 1194 g/m² (leto 2005) in nekoliko manj v letu 2006 (748 g/m²). Nekoliko nižjo primarno produkcijo je imel trst, ki je uspeval v vodi (720 g/m² in 838 g/m²). Vrednosti pri togem šašu se niso dosti spreminjale in so znašale v povprečju 333 g/m² in 383 g/m² v sezoni 2005 in 2006. Pri primerjavi višine rastlin so opazne razlike na kopnem in v vodi, kjer je uspeval v povprečju višji trst. Dejavniki primarne produkcije pri togem šašu se niso dosti spreminjali v posameznih sezonah. Uspešnost obeh vrst je indikator okoljskih razmer v določenem letu. Naše raziskave kažejo veliko prožnost trsta in šaša pri odzivih na spremembe vodostaja, kar pomeni nemotene ekosistemske storitve (vnos energije in kroženje vode), vključno z ustreznostjo habitatov za ostale vrste. Ohranjanje naravnega vodnega režima je ključni dejavnik za vzdrževanje optimalnih razmer na rastišču in posledično pretoka energije, visoke biodiverzitete in nemotenih ekosistemskih storitev.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN M
DC UDC 581.16+502.51: (285 Cerknško jezero)(497.4) (043.2)=163.6
CX water level fluctuations / *Phragmites australis* / *Carex elata* / photosynthesis / transpiration / photochemical efficiency of PSII / primary production / ecosystem services / nature conservation
AU RUDOLF, Mojca
AA GABERŠČIK, Alenka (supervisor)
PP SI – 1000, Ljubljana, Jamnikarjeva 101
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, postgraduate program Protection of nature heritage
PY 2008
TI INFLUENCE OF WATER LEVEL FLUCTUATION ON ACTIVITY AND PRIMARY PRODUCTION OF SPECIES *Phragmites australis* AND *Carex elata* IN LAKE CERKNICA
DT M. Sc. Thesis
NO XI, 86 p., 3 tab., 29 fig., 1 ann., 72 ref.
LA sl
AL sl/en
AB Activity and primary production of two prevailing species *Phragmites australis* and *Carex elata* was studied in relation to water level fluctuations on Cerknica Lake. The aim of our research was to examine the role of *Phragmites australis* and *Carex elata* in through flow of energy and water cycling in relation to intermittent water regime. On the basis of this research we also wanted to point out the role of both species for the selected ecosystem services and nature conservation aspects. The activity of studied species was monitored measuring photochemical efficiency of PSII, photosynthesis and transpiration rate. On the basis of the latter two we calculated water use efficiency. At the end of the season we performed growth analysis. In *Phragmites australis* we measured height and density of plants, number of internodes, basal diameter and the number of flowering plants, while in *Carex elata* we measured the length and number of leaves. In both we determined leaf area index and dry mass of aboveground plant parts. During field measurements we monitored abiotic parameters such as photosynthetically active radiation, relative humidity and air temperature. The study revealed that *Phragmites australis* and *Carex elata* played an important role in water cycling and input of energy into the ecosystem. The changes in duration and extent of flooding affected the *Phragmites australis* to higher extend than *Carex elata*. Terrestrial reed, as well as reed in water exhibited higher light use efficiency during low water level as revealed by negative correlation between photochemical efficiency of PSII and water level. In sedge no difference comparing three seasons were found. Values of potential photochemical efficiency of PSII were not significantly different (near 0.8), that revealed that plants were not under irreversible stress. The level of photosynthesis express growth conditions at the certain time. In littoral reed and in sedge we calculated positive correlation among photosynthesis and water level, while in terrestrial reed the correlation was not significant. The differences in transpiration in terrestrial and littoral reed occurred among different seasons. Positive correlation between transpiration rate and water level was established in both terrestrial and aquatic reeds, while it was not significant in sedge. The results showed that water use efficiency increased under lower water availability. Dry mass of terrestrial reed was in average 1194 g/m² (year 2005) and somewhat less in 2006 (748 g/m²). Lower production was measured in littoral reed (720 g/m² and 838 g/m², respectively). The values in sedge were in average 333 g/m² and 383 g/m². The habitus of plants differed among years and locations. In years 2005 and 2006 littoral reed was higher than terrestrial reed. Primary productivity parameters in sedge did not vary among seasons. Three years studies revealed great plasticity of both species to water level fluctuations, that assure undisturbed ecosystem services (input of energy and water cycling), including habitats for other species. Therefore regular water regime is of primary importance for maintenance of favorable growth conditions and consequently the through flow of energy, biodiversity and undisturbed ecosystem services.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
KAZALO PRILOG	X
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	XI
1. UVOD	1
2. PREGLED OBJAV	3
2.1. EKOSISTEMI IN EKOSISTEMSKE STORITVE	3
2.2. VREDNOTENJE NARAVE	4
2.3. EKOSISTEMSKE STORITVE MOKRIŠČ	4
2.4. MOKRIŠČA IN RAMSARSKA KONVENCIJA	5
2.4.1. Opredelitev mokrišč	6
2.4.1.1 Tipi mokrišč	6
2.5. PRESIHAJOČE JEZERO	7
2.6. VLOGA MOKRIŠČ V KRAJINI	8
2.6.1. Naravovarstveni pomen rastlinskih združb v mokriščih	9
2.7. CERKNIŠKO JEZERO – PRESIHAJOČ EKOSISTEM	10
2.7.1. Pomen Cerknškega jezera	11
2.8. EMERZNE MOČVIRSKÉ RASTLINE	12
2.8.1. Prilagoditve rastlinskih vrst na spremembe vodne gladine	12
2.8.2. Navadni trst (<i>Phragmites australis</i>)	13
2.9. STRUKTURNE PRILAGODITVE NA HIPOKSIČNE IN ANOKSIČNE RAZMERE	14
2.9.1. Mehanizmi transporta plina pri močvirskih rastlinah	15
2.10. NAVADNI TRST – SINDROM PROPADANJA TRSTIŠČ V EVROPI	15
2.10.1. Vzroki za propadanje trsta	16
2.11. ČIŠČENJE ODPADNIH VODA	19
2.12. TOGI ŠAŠ <i>CAREX ELATA</i>	19
2.13. FIZIOLOŠKI PARAMETRI IN PRIMARNA PRODUKCIJA	19
2.13.1. Fotosinteza in primarna produkcija	19
2.13.2. Transpiracija	21
2.13.3. Fotokemična učinkovitost	22
3. MATERIAL IN METODE	24
3.1. OPIS LOKACIJE	24
3.1.1. Cerknško jezero	24
3.1.2. Notranjski regijski park	25
3.1.3. Klima in padavinski režim	26
3.1.4. Mesto raziskav	28
3.1.4.1. Trstičevje (<i>Phragmitetum australis</i> Schmale 1939)	28
3.1.4.2. Togo šašje (<i>Caricetum elatae</i> W. Koch 1926)	30
3.2. METODE DELA	31
3.3. FIZIOLOŠKE MERITVE	32
3.3.1. Merjenje fotokemične učinkovitosti	32
3.3.2. Merjenje fotosintezne aktivnosti	33
3.3.3. Merjenje transpiracije (TR)	34
3.3.4. Učinkovitost izrabe vode (UIV)	34
3.4. MERJENJE ABIOTSKIH DEJAVNIKOV	35
3.5. MERJENJE DEJAVNIKOV PRIMARNE PRODUKCIJE	35
3.5.1. Delo v laboratoriju	35
3.5.2. Statistična obdelava podatkov	36
4. REZULTATI	38

4.1.	MERJENJE ABIOTSKIH DEJAVNIKOV V ČASU MERITEV	38
4.2.	FIZIOLOŠKI PARAMETRI	41
4.2.1.	<i>Dejanska in potencialna fotokemična učinkovitost</i>	41
4.2.2.	<i>Neto fotosinteza</i>	43
4.2.3.	<i>Transpiracija</i>	45
4.2.4.	<i>Učinkovitost izrabe vode (UIV)</i>	47
4.3.	POVEZANOST ABIOTSKIH DEJAVNIKOV IN FIZIOLOŠKIH PARAMETROV RASTLIN	50
4.4.	INDIKATORJI PRODUKTIVNOSTI	52
4.4.1.	<i>Gostota rastlin</i>	52
4.4.2.	<i>Število cvetočih rastlin</i>	53
4.4.3.	<i>Višina trsta in dolžina listov pri šašu</i>	53
4.4.4.	<i>Bazalni diamater</i>	54
4.4.5.	<i>Število internodijev</i>	55
4.4.6.	<i>Suha masa trsta in šaša</i>	56
4.4.7.	<i>Indeks listne površine</i>	58
5.	RAZPRAVA	60
5.1.	MERITVE AKTIVNOSTI PREISKOVANIH VRST	60
5.1.1.	<i>Fotokemična učinkovitost kot odraz stresa pri rastlinah</i>	60
5.1.2.	<i>Fotosinteza</i>	62
5.1.3.	<i>Transpiracija</i>	64
5.1.4.	<i>Učinkovitost izrabe vode</i>	66
5.1.5.	<i>Primarna produkcija rastlin</i>	67
5.1.6.	<i>Ekosistemske storitve Cerknškega jezera</i>	70
5.1.7.	<i>Naravovarstveni vidik</i>	72
6.	ZAKLJUČKI	74
7.	POVZETEK	77
8.	SUMMARY	80
9.	VIRI	83

ZAHVALA

PRILOGE

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 4.1: Povezanost med fiziološkimi parametri rastlin: FS, potencialna fotokemična učinkovitost PSII (Fv/Fm), dejanska fotokemična učinkovitost PSII (Y), TR in med abiotскими dejavniki: temperatura (T), vlaga in vodostaj pri trstu na kopnem. Pearsonova korelacija: nz (neznačilno) $p > 0,05$; * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$, *** $p \leq 0,001$ 50

Preglednica 4.2: Povezanost med fiziološkimi parametri rastlin: FS, potencialna fotokemična učinkovitost PSII (Fv/Fm), dejanska fotokemična učinkovitost PSII (Y), TR in med abiotскими dejavniki: temperatura (T), vlaga in vodostaj pri trstu v vodi. Pearsonova korelacija: nz $p > 0,05$; * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$, *** $p \leq 0,001$ 51

Preglednica 4.3: Povezanost med fiziološkimi parametri rastlin: fotosinteza, potencialna fotokemična učinkovitost PSII (Fv/Fm), dejanska fotokemična učinkovitost PSII (Y), transpiracija, in med abiotскими dejavniki: temperatura (T), vlaga in vodostaj pri šašu. Pearsonova korelacija: nz $p > 0,05$; * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$, *** $p \leq 0,001$ 51

KAZALO SLIK

Slika 2.1: Povezave med blagostanjem ljudi in ekosistemskimi storitvami ter vzroki za njihove spremembe (Millennium Ecosystem Assessment, 2005: 18) ter njihova povezanost z varstvom narave. _____	3
Slika 2.2: Slika prikazuje možne vzroke za propadanje trsta (Cronk in Fennessy, 2001: 320) _____	18
Slika 2.3: Prikaz transformacije absorbirane svetlobne energije v fotosinteznem aparatu (Troš t - Sedej, 2005: 46). _____	23
Slika 3.1: Mesečne padavine v letih 2004–2006 na merilnem mestu Gorenje jezero (Vir: Agencija republike Slovenije za okolje, Urad za monitoring). _____	27
Slika 3.2: Spremembe vodostaja v sezonah 2004–2006 na merilnem mestu Gorenje jezero. ●, ●, ● označujejo dneve naših meritev v posameznih letih (Vir: Agencija republike Slovenije za okolje, Urad za monitoring). _____	28
Slika 3.3: Razširjenost vrste <i>Phragmites australis</i> v Sloveniji (Jogan in sod., 2001: 279). _____	30
Slika 3.4: Razširjenost vrste <i>Carex elata</i> v Sloveniji (Jogan in sod., 2001: 85). _____	31
Slika 3.5: Obrazložitev grafičnega prikaza rezultatov v obliki škatle z ročaji (boxplot). _____	37
Slika 4.1: Vrednosti relativne zračne vlažnosti pri trstu na kopnem in v vodi (a) in pri šašu (b) v času meritev v obdobju 2004–2006; (n = 12–18). _____	39
Slika 4.2: Vrednosti temperature pri trstu na kopnem in v vodi (a) in pri šašu (b) v sezonah 2004–2006 zjutraj, opoldan, popoldan. Upoštevane so meritve na štirih različnih višinah: 5, 10, 25, 50 cm; (n = 12–18). _____	40
Slika 4.3: Potencialna fotokemična učinkovitost PSII (Fv/Fm) in dejanska fotokemična učinkovitost PSII (Y) pri trstu v vodi in na kopnem v rastni sezoni 2004–2006; (n = 60–90). _____	42
Slika 4.4: Potencialna fotokemična učinkovitost FS II (Fv/Fm) in dejanska fotokemična učinkovitost FS II (Y) pri šašu v rastni sezoni 2004–2006; (n = 60–90). _____	43
Slika 4.5: Intenziteta neto fotosinteze pri trstu v vodi in na kopnem v rastni sezoni 2004–2006; (n = 120–190). _____	44
Slika 4.6: Intenziteta neto fotosinteze pri šašu v rastni sezoni 2004–2006; (n = 120–190). _____	45
Slika 4.7: Transpiracija pri trstu v vodi in na kopnem v rastni sezoni 2004–2006; (n = 60–75). _____	46
Slika 4.8: Transpiracija pri šašu v rastni sezoni 2004–2006; (n = 60–75). _____	46
Slika 4.9: Učinkovitost izrabe vode pri trstu na kopnem in v vodi v rastni sezoni 2004–2006 zjutraj, opoldan, popoldan. Podatki so aritmetične sredine ± SD (n = 5); Anova; 95 % LSD metoda oz. Kruskal-Wallisov test. _____	48
Slika 4.10: Učinkovitost izrabe vode pri šašu v rastni sezoni 2004–2006 zjutraj, opoldan, popoldan. Podatki so aritmetične sredine ± SD (n = 5); enosmerna Anova; 95 % LSD metoda oz. Kruskal-Wallisov test. _____	49

Slika 4.11: Gostota rastlin pri trstu na kopnem in v vodi v rastni sezoni 2005–2006; različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p \leq 0,05$; Anova; 95% LSD metoda oz. Kruskal-Wallisov test. _____ 52

Slika 4.12: Število listov pri šašu v rastni sezoni 2005–2006; različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p \leq 0,05$; Anova; 95 % LSD metoda oz. Kruskal-Wallisov test. _____ 52

Slika 4.13: Število cvetočih rastlin pri trstu na kopnem in v vodi v rastni sezoni 2005–2006; različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p \leq 0,05$; Anova; 95 % LSD metoda oz. Kruskal-Wallisov test. _____ 53

Slika 4.14: Višina rastlin pri trstu na kopnem in v vodi v rastni sezoni 2004–2006. Podatki so aritmetične sredine $\pm$ SD ($n = 40$ – 125); Anova; 95 % LSD metoda oz. Kruskal-Wallisov test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p \leq 0,05$. _____ 54

Slika 4.15: Dolžina listov pri šašu v rastni sezoni 2004–2006. Podatki so aritmetične sredine $\pm$ SD ($n = 116/1626/1832$); Anova; 95 % LSD metoda oz. Kruskal-Wallis test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p \leq 0,05$. _____ 54

Slika 4.16: Bazalni diameter pri trstu na kopnem in v vodi v rastni sezoni 2004–2006. Podatki so aritmetične sredine $\pm$ SD ($n = 40$ – 125); Anova; 95 % LSD metoda oz. Kruskal-Wallisov test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p \leq 0,05$. _____ 55

Slika 4.17: Število internodijev pri trstu na kopnem in v vodi v rastni sezoni 2004 –2006. Podatki so aritmetične sredine $\pm$ SD ($n = 40$ – 125); Anova; 95 % LSD metoda oz. Kruskal-Wallisov test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p \leq 0,05$. _____ 55

Slika 4.18: Suha masa stebel, listov in cvetov (a) in skupna suha masa pri trstu na kopnem in v vodi (b) v rastni sezoni 2005–2006. Anova; 95 % LSD metoda oz. Kruskal-Wallisov test. Različne oznake označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ (A,B – steblo; a,b,c – list; $\times$ – cvet). _____ 57

Slika 4.19: Suha masa listov pri šašu v rastni sezoni 2005–2006. Anova; 95 % LSD metoda oz. Kruskal-Wallisov test. Različne oznake označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$. _____ 58

Slika 4.20: Indeks listne površine pri trstu na kopnem in v vodi v rastni sezoni 2005–2006. Anova; 95 % LSD metoda oz. Kruskal-Wallisov test. Različne oznake označujejo statistično značilno razliko pri $p \leq 0,05$. _____ 58

Slika 4.21: Indeks listne površine pri šašu v rastni sezoni 2005–2006. Anova; 95 % LSD metoda oz. Kruskal-Wallisov test. Različne oznake označujejo statistično značilno razliko pri $p \leq 0,05$. _____ 59

KAZALO PRILOG

Priloga A:

Fiziološki parametri rastlin

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

FS – fotosinteza

FSII (PSII) – fotosistem II

Fv/Fm – potencialna fotokemična učinkovitost

NRP – Notranjski regijski park

PE – photochemical efficiency (fotokemična učinkovitost)

T – temperatura

TR – transpiracija

UIV – učinkovitost izrabe vode

Y – dejanska fotokemična učinkovitost

1. UVOD

Presihajoča jezera so se v Sloveniji izoblikovala na Krasu. Jezer je več, vendar je najbolj znano Cerkniško jezero, saj je s presihanjem povezana velika raznolikost celotnega ekosistema tako v zgradbi kot v delovanju. Cerkniško jezero je zaradi svoje velikosti in vzorca presihanja edinstven pojav tako pri nas kot drugje v svetu. Spreminjanje vodnega režima ima velik vpliv na celotno biocenozo območja. V presihajočih jezerih ponavadi prevladuje pestra močvirska vegetacija. Prevladujoči močvirski združbi, ki smo jima posvetili največ pozornosti v naši raziskavi, sta bili združbi trstičevja in visokega šašja. Poglavitni namen naloge je bil dobiti vpogled v vlogo prevladujočih rastlinskih vrst pri pretoku energije, asimilaciji ogljikovega dioksida in kroženju vode. Ugotoviti smo želeli, kako vodostaj vpliva na aktivnost rastlin. Na ta način smo želeli dopolniti znanje o delovanju Cerkniškega jezera in razširiti znanje o mokriščih, predvsem o procesih, ki tam potekajo. Želeli smo poudariti tudi naravovarstveni pomen ohranjanja procesov v ekosistemu za ohranjanje ekosistemskih storitev, kar bo podlaga za uspešno varovanje. Predvidevamo, da posegi v vodni režim ključno vplivajo na procese pretoka energije in kroženja snovi v ekosistemu in tako tudi na njegov pomen za širše območje. Izhodišče za raziskave vpliva presihanja na aktivnost in primarno produkcijo vrst navadnega trsta *Phragmites australis* in togega šaša *Carex elata* so bile hipoteze:

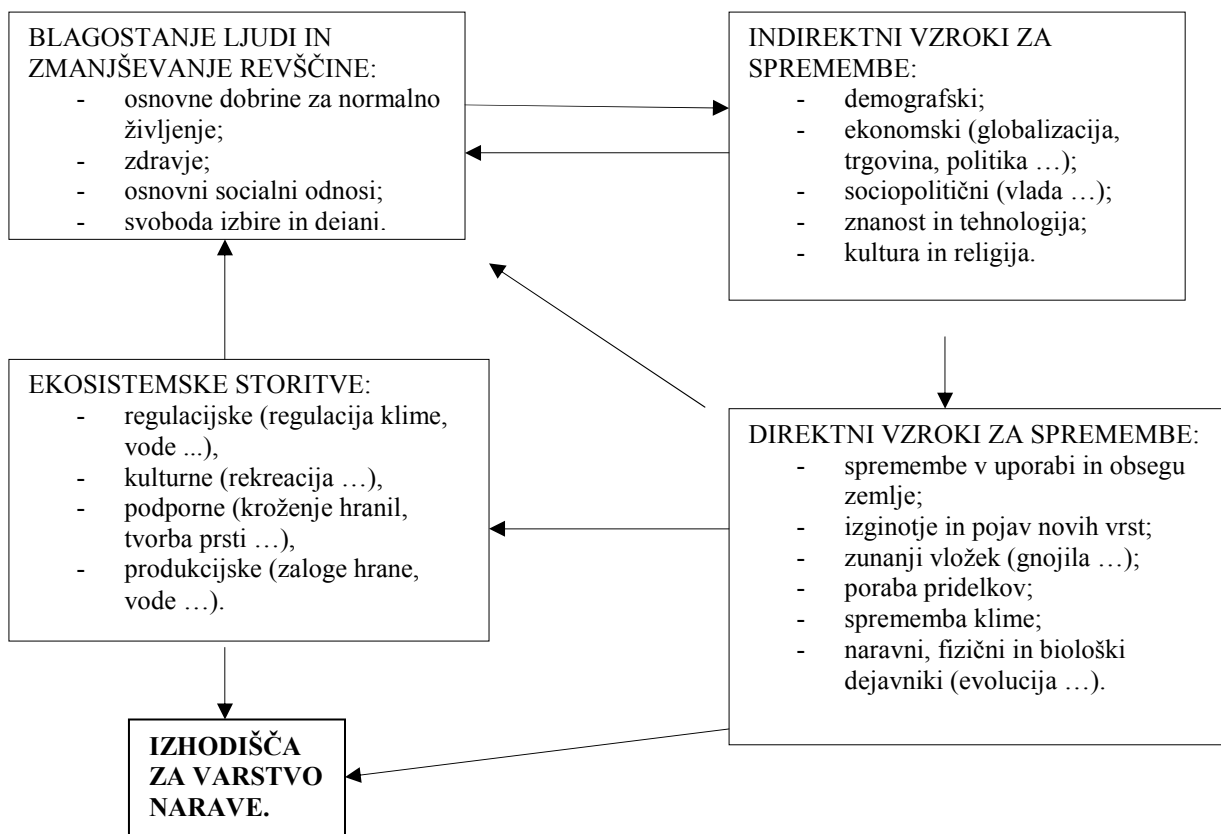
- *Sestoji navadnega trsta in togega šašja omogočajo pomembne ekosistemske storitve in predstavljajo obsežne habitate drugim organizmom, zato so z naravovarstvenega vidika izredno pomembni.*
- *Dosedanja analiza vodostajev na Cerkniškem jezeru kaže na vedno večjo nepredvidljivost sprememb v posameznem letu. Domnevamo, da bodo te spremembe spremenile potencial obeh vrst kot nosilcev pretoka energije in kroženja vode, kar bo vplivalo na celoten ekosistem.*
- *Predvidevamo, da se bosta obe vrsti odzivali na razmere v določenem letu in nam pokazali, v katero smer spremembe potekajo.*

- *Trstičevje in visoko šašje imata pomembno vlogo pri vnosu energije v ekosistem.*
- *Trstičevje in visoko šašje imata pomembno vlogo pri kroženju vode.*
- *Učinkovitost izrabe vode je zaradi presihanja vodostaja pomemben dejavnik, ki vpliva na uspešnost združb trstičevja in visokega šašja.*
- *Predvidevamo, da se razlike v okoljskih razmerah odražajo tudi v habitusu rastline.*

2. PREGLED OBJAV

2.1. EKOSISTEMI IN EKOSISTEMSKE STORITVE

Ekosistemske storitve in zaloge naravnih virov, ki jih proizvajajo, so odraz stanja in ohranjenosti sistemov, ki podpirajo življenje. Prispevajo k blaginji ljudi, direktno in indirektno, in zato predstavljajo značilen delež celotne ekonomske vrednosti planeta. Ker te storitve niso popolnoma vključene v trg ali ustrezno določene z izrazi, primerljivimi z ekonomskimi storitvami in proizvodnim kapitalom, imajo pogosto premalo teže pri političnih odločitvah. Ta zapostavljenost lahko ogroža vzdržljivost človeka v biosferi (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Ekosistemske storitve in vzroki za spremembe so predstavljeni na sliki 2.1.



Slika 2.1: Povezave med blagostanjem ljudi in ekosistemskimi storitvami ter vzroki za njihove spremembe (Millennium Ecosystem Assessment, 2005: 18) ter njihova povezanost z varstvom narave.

Figure 2.1: Connections between human well-being and ecosystem services and reasons for changes (Millennium Ecosystem Assessment, 2005: 18) and their connection with nature protection.

2.2. VREDNOTENJE NARAVE

Premalo se zavedamo povezav med ekosistemskimi storitvami, ki jih dobimo od naravnih ekosistemov, in vplivov na ljudi (Millennium Ecosystem assessment, 2005). Če se pojavijo velike okoljske spremembe (npr. klimatske), degradacija zemlje in izguba biodiverzitete, lahko pričakujemo, da bo prišlo do zmanjšanja kapacitete podpornih sistemov na Zemlji. Ko pride do sprememb v zgradbi, pride do motenj v delovanju ekosistema in povezave se začnejo podirati.

Zavedamo se, da moramo poleg obnovljivih virov tudi procese v naravi končno opredeliti v načinu našega vrednotenja. Plačilo prave cene za usluge narave je eden od mehanizmov izboljšanja stanja, ki ga predvideva Svetovni inštitut za vire za prihodnje gospodarjenje. Osnova vrednotenju procesov in strukturnih elementov narave je celostna analiza ekosistema. Pri vrednotenju moramo tudi upoštevati, da je obseg delovanja naravnih sistemov omejen. Spremembe narave, ki jih s svojim delovanjem povzročamo, pa zahtevajo tudi vlaganje v naravo. V primerjavi s škodo, ki smo jo že povzročili, so bili naši vložki zanemarljivi. Več denarja, namenjenega za ohranjanje narave, ne pomeni zaviranja razvoja, ampak nasprotno, boljše življenjske razmere (Gaberšček, 2006).

Vrednotenje je eden izmed načinov za izboljšanje upravljanja naravnih virov za zagotovitev njihove preudarne rabe. Ekonomsko vrednotenje lahko definiramo kot poskus, da pripišemo vrednost (ceno) dobrinam in storitvam, ki nam jih da okolje. Glavni cilj vrednotenja je, da se pokaže celotno ekonomsko učinkovitost možnih načinov izrabe virov. Glavna težava pri vrednotenju kompleksnih okoljskih sistemov je pomanjkanje informacij o pomembnih ekoloških procesih, ki podpirajo številne koristi (Barbier in sod., 1997).

2.3. EKOSISTEMSKE STORITVE MOKRIŠČ

Močvirski ekosistemi nam ponujajo različne storitve, pomembne za človeško blaginjo. Ekosistemske storitve so definirane kot »koristi, ki jih ljudje dobimo od ekosistemov« in so osnova za vrednotenje ekosistemov. Zaloge hrane in vode so pomembne za preživetje prebivalstva, regulacijske in podporne storitve (npr. blaženje poplav in suš, kroženje hranil

...) so odločilne za vzdrževanje vitalnosti in razmer širših območij. Močvirja imajo značilne estetske, izobraževalne, kulturne in duhovne vrednote in nam ponujajo tudi neprecenljive možnosti za rekreacijo in turizem. Pomembna so pri čiščenju vode in detoksifikaciji številnih odpadnih produktov. Voda, ki teče skozi močvirje, je čistejša, ko ponovno priteče na dan (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Vrednotenje ekosistemskih storitev močvirij je relativno nov pojav. V zgodovini so močvirja vrednotili kot območja, ki se jih lahko izboljša samo s pomočjo izsuševanja in uničenjem močvirij. Danes je razširjeno spoznanje, da nas močvirja oskrbijo z dragocenimi ekosistemskimi storitvami in obstaja naraščajoča potreba, da se določi vrednost močvirskih storitev. Ker te storitve nimajo tržne cene, lahko njihovo vrednost merimo le z netržnimi metodami (Woodward in Wui, 2001). Pri vrednotenju ekosistemskih storitev moramo upoštevati širše cilje, ki vključujejo tudi ekološko vzdržljivost, poleg tradicionalnih ekonomskih ciljev (Costanza, 2003).

2.4. MOKRIŠČA IN RAMSARSKA KONVENCIJA

Na Svetovni dan mokrišč 2. februarja 2006 se je širše območje Cerknškega jezera pridružilo 1599 znamenitim mokriščem na svetu, ki so uvrščena na Ramsarski seznam.

Mokrišča so ekosistemi, kjer ritem in obseg poplav oblikujeta življenjsko združbo in procese, ki tam potekajo. V preteklosti so mokriščne površine veljale za neuporaben in nepomemben svet. Danes se zavedamo, da so mokrišča poleg gozdov najdragocenejši ekosistemi, saj imajo pomembno vlogo pri pretoku energije in kroženju snovi ter so domovanje številnih organizmov. Blažijo učinke podnebnih sprememb in različnih vplivov človeka v spremenjeni krajini, hkrati pa so lahko vir hrane. Ker imajo mokrišča veliko gospodarsko, kulturno, znanstveno in rekreacijsko vrednost njihove izgube ni mogoče nadomestiti (Gaberščik in Šraj-Kržič, 2006).

Z namenom ohranjanja mokrišč je bila leta 1971 osnovana Ramsarska konvencija (Konvencija o močvirjih, ki so mednarodnega pomena, zlasti kot prebivališča močvirskih ptic), ki je hkrati tudi prva medvladna pogodba, ki varuje naravo. Merila za opredeljevanje

mokrišč so določena v 2. členu konvencije in vključujejo ekološke, botanične, zoološke, limnološke ali hidrološke značilnosti. Prvotno so za opredeljevanje mokrišč mednarodnega pomena prevladovala ornitološka merila, v tridesetih letih delovanja konvencije pa so se vsebinsko razširila. V Brisbanu so leta 1996 sprejeli sklep, da se pri izboru za seznam Konvencije upošteva tudi podzemske habitate. Glavni cilj Ramsarske konvencije je zagotoviti ohranjanje mokrišč, predvsem tistih, ki so mednarodnega pomena, s preudarno rabo, mednarodnim sodelovanjem in zavarovanjem (Skoberne, 2004).

2.4.1. Opredelitev mokrišč

Beseda mokrišče združuje niz habitatov, ki imajo več skupnih lastnosti; najpomembnejša med njimi je prisotnost vode. Mokriščne površine so stalno, sezonsko ali občasno poplavljenе ali pa le nasičene z vodo. Zelo široko opredeljujeta mokrišča Boulton in Brockova (1999): »Mokrišče je vsako območje, kjer so tla stalno ali občasno nasičena z vodo ali poplavljenā, naravno ali umetno, s tekočo ali stoječo vodo, slano, somornico ali sladko in kjer poplavljenje vpliva na življenjsko združbo in ekološke procese.« Širša je definicija v Ramsarski konvenciji, ki opredeljuje mokrišča kot »območja močvirij, nizkih, šotnih barij, naravnega ali umetnega izvora, stalna ali začasna, s tekočo ali stoječo vodo, sladko, brakično ali slano, vključno z morjem, katerega globina ob nizki plimi ne presega šest metrov«. Dodatno so med mokrišča vključena obrežna območja ob rekah in morju (Skoberne, 2004). Bolj funkcionalno pa definira mokrišča ameriška Agencija za zaščito okolja (EPA), ki pravi, da so to območja, poplavljenā ali nasičena s površinsko ali talno vodo, ki glede na pogostost in trajanje omogoča prevlado rastlinam, prilagojenim na z vodo nasičena tla. Ta definicija izpostavlja vlogo vegetacije, ki je nosilec pomembnih procesov v mokriščih (Gaberščik, 2003).

2.4.1.1 Tipi mokrišč

Mokrišča sodijo med najbolj produktivne ekosisteme na Zemlji. Značilnosti mokriščnih ekosistemov lahko opišemo z njihovimi sestavnimi deli, lastnostmi in funkcijami. Sestavni deli mokrišč vključujejo tla, vodo in organizme. Povezave med sestavnimi deli mokrišč omogočajo različne funkcije, kot so kroženje hranil, izmenjava vode med površino ter

podtalnico in površino in atmosfero. Mokrišča lahko razdelimo v pet širših kategorij (Barbier in sod., 1997):

- *estvariji*: območja, kjer se reke združijo z morjem (delte, slana močvirja ...);
- *morska mokrišča*: območja, na katere rečni tok ne vpliva (koralni grebeni, obalna mokrišča);
- *obrežna (rečna) mokrišča*: območja, ki jih periodično poplavlja reka (vlažni travniki, poplavni gozdovi ...);
- *barja*: območja, kjer je nivo vode bolj ali manj konstanten;
- *jezerska mokrišča*: območja s trajno vodo in majhnim pretokom (ribniki, ledeniška jezera, vulkanska jezera).

Delimo pa jih tudi glede na trajanje poplav, in sicer na stalna in občasna mokrišča.

2.5. PRESIHAJOČE JEZERO

Vodna telesa na osnovi predvidljivosti, spremenljivosti in trajanja prisotnosti vode delimo na kratkotrajna (efemerna), občasna (epizodna), presihajoča, sezonska in stalna. Cerknško jezero glede na delitev vodnih teles uvrščamo med presihajoča jezera. Glede na klasifikacijo mokrišč pa je to občasno mokrišče oziroma rečno mokrišče, območje, ki ga periodično poplavlja reka. Za presihajoča vodna telesa so značilne izmenjave poplav in sušnih obdobj, ki so običajno vezane na sezonske razmere, vendar niso popolnoma predvidljive (Boulton in Brock, 1999). Voda je v takih telesih prisotna večji del leta. Presihajoča jezera uvrščamo med mokrišča. Glede na procese, predvsem pa na tip vegetacije, ki prevladuje v Cerknškem jezeru, je mokriščni značaj ekosistema pomemben vidik za razumevanje njegovega razvoja. Najpomembnejši v mokriščih je vodni režim, ki je zelo raznolik in pogojuje življenjsko združbo in procese. Glavne spremenljivke vodnega režima so pojavljanje vode, frekvenca in trajanje poplavljanja, obseg poplav ter globina vode (Boulton in Brock, 1999). Pomembne so tudi fizikalne, kemijske (vsebnost hranil in soli) in biološke lastnosti vode. Mokrišča so ekosistemi, ki imajo velik vpliv na pokrajino, tako s stališča kroženja vode kot tudi prerazporejanja in pretvorbe snovi (Urbanc - Berčič, 2003). Izgube mokriščnih površin so nenadomestljive. Raziskave so pokazale, da so

mokrišča dragoceni deli narave, v katerih se odvijajo številni pomembni procesi, ki odločilno vplivajo na razmere v pokrajini (Boulton in Brock, 1999; Gaberšček in Urbanc - Berčič, 2001).

2.6. VLOGA MOKRIŠČ V KRAJINI

Primarna produkcija mokrišč je zelo variabilna. Z obsegom sprememb vodnega režima se veča tudi količina proizvedene biomase (Boulton in Brock, 1999). Najbolj produktivna pa so mokrišča na prehodu voda/kopno. To so tako imenovana ekotonalna mokrišča (obrežna močvirja, slana močvirja v območju bibavice). Tovrstni sistemi sodijo med najbolj produktivne sisteme na zemeljski obli. Larcher (2003) navaja, da je neto primarna produkcija v mokriščih lahko celo od 1 do 6 kg m⁻² leto⁻¹, medtem ko je v tropskem deževnem gozdu med 1 do 3,5 kg m⁻² leto⁻¹. Zaradi nasičenosti z vodo je razgradnja v nekaterih sistemih upočasnjena, zaradi česar se organske snovi kopičijo – mokrišča so zato ponor ogljikovega dioksida (Park, 2001).

Velika primarna produkcija je osnova kompleksnim prehranjevalnim spletom. Mokrišča so zato pomemben habitat številnih organizmov. So tudi otoki v pokrajini, kjer se živali, predvsem ptice, občasno zadržujejo in ustavljajo. V današnji razdrobljeni in spremenjeni pokrajini so posebno pomembna obrežna mokrišča, ki so povezava med ekosistemi in koridor za živalske vrste, ki se selijo (Owen in sod., 1998).

Mokrišča imajo tudi pomembno vlogo pri zaščiti vodnih teles pred onesnaženjem in pri vzdrževanju kakovosti vode. So multifunkcionalni in dinamični sistemi, ki vključujejo specifične hidrološke in ekološke pogoje (Zacharias in sod., 2003). V mokriščih se količina vseh bremen (sedimentov, hranil in strupenih snovi) močno zmanjša, saj delujejo kot ponor in filter (Lakatos in sod., 1998). Pri tem so zelo učinkovita obrežna močvirja. Imajo pomembne naloge kot so čiščenje in regulacija vodnega toka, predstavljajo številne vire za človeško rabo, so habitati za rastline, živali in mikroorganizme in so uporabni tudi za rekreacijo (Zacharias in sod., 2003). Najbolj učinkoviti so sistemi, kjer se vodni režim neprestano spreminja (Gaberšček in Urbanc - Berčič, 2003 a), kakršno je tudi Cerkniško jezero. Del leta so poplavljeni, občasno pa voda odteče in sistem se postopno izsuši. V

poplavljenih tleh hitro zmanjka kisika. Pomanjkanje kisika bi lahko povzročilo motnje v kroženju snovi, kar lahko vodi v kopičenje različnih strupenih snovi, ki negativno vplivajo na vitalnost rastlin (Boulton in Brock, 1999). Ker pa se sistem izsuši, se nakopičene strupene snovi ob prisotnosti kisika razgradijo. Hranila se vgradijo v biomaso primarnih producentov, kar se odraža v boljši kakovosti vode. Zmanjšanje obremenjenosti s hranili je bilo ugotovljeno tudi na Cerknškem jezeru. V takem presihajočem sistemu pa se zmanjša tudi obremenjenost vode z mikroorganizmi – skupnimi koliformnimi bakterijami in bakterijami fekalnega izvora (Gaberščik in Urbanc - Berčič, 2003 a). Človek je prepoznal prednosti nekaterih močvirskih rastlin, na primer navadnega trsta, zato ga je začel uporabljati tudi za čiščenje odpadnih voda.

Mokrišča so zadrževalnik vode v pokrajini in tako vplivajo na količino talne vode, vodostaj v rekah in na lokalno klimo. Imajo tudi pomembno vlogo pri uravnavanju visokih voda. Ko izsušujemo mokrišča, gradimo ceste, naselja, jezove in prekope, spreminjamo pokrajino. Spremembe vplivajo na lokalno kroženje vode in povzročajo spremembe v kakovosti našega okolja. Pomembno vlogo pri kroženju vode imajo rastline. Vsebujejo tudi do 90 % vode. Vodo črpajo s koreninami in jo kontrolirano oddajajo skozi listne reže. Kadar je vode dovolj, so listne reže vseskozi odprte in oddajanje poteka po načelu difuzije (Larcher, 2003). Kadar pa nastopi suša, rastline z vodo aktivno gospodarijo. Oddajajo le toliko vode, da izgube ne ogrožajo njihovega osnovnega metabolizma. Zaradi zadrževalne vloge močvirskih rastlin se velik del vode vrača v ozračje na mestu, kjer je prišel na zemeljsko površino v obliki padavin. Raziskave so pokazale, da lahko obrežna mokrišča zadržijo v pokrajini celo več vode, kot jo lokalno pade s padavinami (do 150 %), saj prestrežejo tudi del vode, ki jo reka zbere v zgornjem toku.

2.6.1. Naravovarstveni pomen rastlinskih združb v mokriščih

Zavedanje pomena mokrišč se povečuje že nekaj desetletij. Danes je pomembna vloga mokrišč izpostavljena tudi v okviru EU zakonodaje in različnih aktivnosti ob prepoznavanju območij posebnega pomena. Precej mokriščnih ekosistemov v Sloveniji je zaobjetih na seznamu Mednarodno pomembna območja za ptice v Sloveniji (Important Bird Area – IBA). IBA območja so določena v skladu z metodologijo Mednarodne zveze

za varstvo ptic (BirdLife International) (Grimmet in Jones, 1989). Dodatno pa lahko te dragocene naravne sisteme vključimo tudi na seznam Botanično pomembnih območij (Important plant areas – IPA), ki je v pripravi.

Večina groženj mokriščem je posledica človekovih dejavnosti v širšem povodju, zato je osnova za varovanje mokrišč celostno upravljanje v povodju. Večina mokriščnih združb je občutljivih na spremembe v okolju, zato jih lahko označimo kot ranljive. Značilno za te združbe je relativno majhno število vrst, kar praviloma pomeni večjo ranljivost (Martinčič in Leskovar, 2003). Varovanje posameznih vrst je v takih sistemih neučinkovito, če ni zavarovano njihovo življenjsko okolje kot celota. Da bi ohranili občutljive vodne in močvirske združbe, moramo poskrbeti za ohranitev takih razmer, ki so jim do sedaj omogočale uspevanje; predvsem nespremenjen vodni režim in kemizem vode, ponekod pa tudi zagotovljen dosednji način rabe (Martinčič in Leskovar, 2003). Vendar zavarovanje ne pomeni popolne odsotnosti človekove dejavnosti. Močvirske travnike lahko ohranimo le z redno košnjo enkrat letno v poznem poletju, ne smemo pa jih gnojiti. Tudi pokošeno steljo je treba odstraniti, da ne pride do kopičenja hranilnih snovi v tleh, v nasprotnem primeru je učinek enak kot pri gnojenju.

2.7. CERKNIŠKO JEZERO – PRESIHAJOČ EKOSISTEM

Bolj ali manj redne spremembe vodostaja in menjavanje suhih in mokrih obdobj so vidna značilnost ekosistema, prednost, ki omogoči hitrejšo pretvorbo snovi in pretok energije. Spremembe vodne gladine so odvisne od količine in letne razporeditve padavin na tem območju, ki se v zadnjem času spreminjata (Gaberščik in sod, 2003). Vsak odklon od normalnih poplav značilno vpliva na produktivnost trsta. Suha obdobja, ki so se ponavadi pojavila poleti, postajajo bolj pogosta pozimi. Poleg tega se spreminja tudi trajanje suhih obdobj, ki postajajo krajša. Nihanje vode je fizičen dejavnik, ki transportira organski material, ki se letno akumulira v jezeru in ustvarja pogoje za dekompozicijo, zato pride do razkrajanja. V suhih obdobjih se pojavi intenzivna aerobna mineralizacija. Časovno pojavljanje in pogostost teh procesov vplivata na letno primarno produkcijo jezera (Gaberščik in Urbanc - Berčič, 2001).

Glede na dosedanje raziskave ekosistema Cerknško jezero ne moremo opredeliti niti kot jezero niti kot kopenski ekosistem. Večji del leta je vodni ekosistem, ko se pojavijo suše, pa se izsuši. Med deževnim obdobjem velika količina vode izvira iz številnih jam na robu in dnu Cerknškega polja. Voda se zbira v strugo Stržena, ki meandrira skozi polje. V preteklosti so bila nihanja vodne gladine predvidljiva, v zadnjem času pa se pojavljajo dolga obdobja brez dežja, kar neposredno vpliva na stanje jezera. Gaberščik in Urbanc - Berčič (1996) sta ugotovili, da nihanje vodne gladine vpliva na obseg onesnaženja Cerknškega jezera. Ko se pojavijo redne, postopne spremembe v nivoju vode, gosti sestoji močvirske vegetacije blažijo učinek onesnaženja. Pri nizkem nivoju vode se večina jezera izsuši. Posledica je onesnaženje glavnega toka in prehajanje onesnaženja v podzemlje.

Obseg in trajanje poplav na območju Cerknškega polja ustvarjata gradient hidroloških razmer, ki pogojujejo razporejanje rastlinskih združb. Na obrobju poplavnega območja, kjer so tla vlažna, voda pa se razlije le ob večjih poplavah, prevladujejo mokrotni travniki. Na območjih, kjer voda v času poplav ne preseže globine dveh metrov, se pojavljajo močvirske združbe. Največje površine obsega trstičevje s prevladujočo vrsto navadni trst. Na V in J delu polja prevladuje združba togega šašja (Martinčič in Leskovar, 2003).

2.7.1. Pomen Cerknškega jezera

Cerknško jezero ni le posebnost med ekosistemi, pomembna je tudi njegova vloga v pokrajini, saj njegovi nemoteni procesi posredno določajo tudi kakovost našega življenja. Jezero je naravni zadrževalnik vode v pokrajini in tako vpliva na podnebje širšega območja (Gaberščik, 2003). Pri tem imajo pomembno vlogo rastline, ki vodo sprejemajo in jo nato oddajajo skozi listne reže. Rastline Cerknškega polja, predvsem obsežni sestoji trsta, varujejo vodo pred onesnaženjem. Vode, ki pritečejo iz neposrednega zaledja ter z Bloške planote in Loške doline, so obremenjene s hranili, mikroorganizmi in različnimi delci. V trstičih se količina vseh bremen močno zmanjša, saj učinkujejo kot njihov ponor in filter. Presihanje vode še poveča učinkovitost čiščenja.

2.8. EMERZNE MOČVIRSKE RASTLINE

Navadni trst spada med emerzne vrste, za katere je značilno, da razvijejo asimilacijske površine in večji del stebela nad vodno gladino. Emerzne zeljnate rastline pogosto naselijo plitve vode v močvirjih, vzdolž obal ali brežin vodnih strug. V jezeru dolgotrajne poplave v začetku rastnega obdobja preprečijo razvoj močvirske vegetacije, podobno se zgodi v obdobju dolgo trajajočih sušnih obdobji. Navadni trst, ki je prevladujoča vrsta, uspeva na področjih z različnim hidrološkim režimom, zato lahko ločimo kopenski – »terestrični trst«, ki uspeva na obrobju jezera, kjer so poplave redke, »prehodni trst«, ki uspeva na prehodu voda/kopno (ob strugah) in »litoralni trst«, ki uspeva na poplavljenih predelih (Gaberšček in Urbanc - Berčič, 2002 b).

Makrofiti, vključno z navadnim trstom, so pomembni za izboljšanje kvalitete vode, direktno skozi oksigenacijo in ponovnim kroženjem hranil in indirektno z oskrbo površin za rast vodnih alg, gliv in bakterij. Trst nudi povezavo med vodo in kopnim za tiste nevretenčarje, ki imajo larvalne stadije v vodi in imajo leteče odrasle osebkke. Strukturna raznolikost individualnih rastlin je zelo pomembna zato, ker so številne raziskave pokazale, da večja raznolikost pomeni bolj pestro združbo nevretenčarjev (Holmes, 1999).

2.8.1. Prilagoditve rastlinskih vrst na spremembe vodne gladine

Naravna močvirja so pogosto označena z relativno velikimi sezonskimi nihanji vode. Toleranca občutljivosti rastlinskih vrst na nihanje vode je zelo pomembna za razporeditev rastlinskih vrst. Močvirske rastline so prilagojene na različne globine vode in conacija emerznih makrofitov je v glavnem posledica morfoloških in fizioloških prilagoditev, da se uprejo izgubi O₂ zaradi poplav in sposobnost, da vzdržijo podaljšana obdobja suše.

Fenotipska plastičnost pri amfibijskih rastlinah je dovolj velika, da se lahko prilagodijo na hidrološke spremembe. Odzivi, ki so jih zabeležili pri amfibijskih rastlinah, so zelo različni: spremembe v razporeditvenem vzorcu biomase, ki spremeni ravnotežje med kopenskimi in podzemnimi organi, poveča se razmerje fotosinteznih tkiv, pride do podaljšanja listnih pecljev in poganjkov, pojavi se heterofilna rast (Mauchamp in sod.,

2001). Fenotipske spremembe pri trstu zaradi sprememb vodnega nivoja so manjše v primerjavi z drugimi heterofilnimi amfibijskimi vrstami, kjer se pojavijo spremembe morfologije in anatomije.

2.8.2. Navadni trst (*Phragmites australis*)

Navadni trst je kozmopolitska vrsta in je najbolj razširjen med angiospermami. Trstičevja so puferska cona, ki zadržujejo hranila in stabilizirajo obrežna pobočja (Rolletschek, 1997). Trst je dolgoživeča vrsta, ki je odvisna predvsem od podzemnih organov, da lahko osvaja prostrana močvirja in da preživi neugodna obdobja. Pogost je v zmerni zemljepisni širini, uspeva tudi v tropskih pokrajinah. Navadni trst najpogosteje tvori goste enostavne sestoje na prehodu med vodo in kopnim (Clevering in Lissner, 1999). Spada med visoke trave (družina *Poacea*) in je ena izmed trajnic z velikimi, vzporednožilnatimi listi, ki lahko uspeva tako v slanih kot sladkovodnih močvirjih, v stoječih vodah in vzdolž obale. Zraste lahko do 4 m ali več v višino in se povzpne nad večino emergentnih močvirskih vrst. Trst je prevladujoča vrsta, kjerkoli uspeva, včasih uspeva tudi skupaj z rodovima *Typha* (rogoz) in *Scirpus* (sitec) ali vrsto *Spartina alterniflora* (metličje). Zelo hitro se širi in raste, zato tudi zasenči ostale rastline in nakopiči veliko opada, ki prekrije in zasenči podlago (substrat).

Navadni trst je dominantna rastlina mnogih evropskih močvirij. Uspeva vzdolž obrežij rek in jezer in na vlažnih travnikih. Pogosto so ga našli ob cestah in ob drugih motenih področjih. Obsežna področja navadnega trsta so našli na območjih s plitvimi pomladanskimi poplavami, kjer nivo vode kasneje upade pod površino (Cronk in Fennesey, 2001). Na splošno so nahajališča navadnega trsta opisana kot sončna, nizko ležeča območja, presihajoča ali trajno poplavljen s plitvo, stoječo vodo.

Ko je navadni trst enkrat prevladujoča vrsta v močvirju, so opazne tudi razlike v okoljskih razmerah. Zanj je značilen velik odstotek evapotranspiracije in ima zato tudi velik vpliv na nivo vode. V mnogih močvirjih, kjer prevladuje trst, se nivo vode zniža in nakopičena šota se zgosti. Populacija aerobnih bakterij naraste, ko je šota izsušena, prav tako naraste vsebnost kisika, zato se poveča gnitje (razkroj) šote.

Navadni trst spada med vrste, ki imajo plitev do zelo globok koreninski sistem. Na poplavljenih območjih ima korenine koncentrirane blizu površine zemlje ali tik pod njo. Na bolj suhih rastiščih pa korenine segajo do globine 1 m in celo več. Trst prenese visok nivo poplav in soli in lahko raste na območjih, kjer je slanost okoli 30 ppm raztopljenih soli. Zaradi prevelike slanosti lahko pride tudi do nižje rasti in manjše gostote trsta.

Spomladanska rast poganjkov je zelo hitra, predvsem na račun bogate zaloge rezervnih snovi v podzemskih delih. Brsti in rastoči poganjki so zelo občutljivi na zmrzal. Poškodovane brste pa lahko nadomesti en ali več nadomestnih brstov. Listi so na sredini najširši in se ožijo proti koncema. Velikost listov narašča z namestitvijo od spodaj navzgor, doseže v osrednjem delu vrh, proti latu se potem listi spet zmanjšujejo. Naraščajoča olistanost postopno zmanjšuje prodiranje svetlobe do spodnjih plasti sestoja. S tem, pa tudi zaradi same fiziološke starosti, propade veliko starejših listov (Silan, 1999).

Potencialno višino rastline določa premer inicialnega brsta, dejansko višino pa oblikujejo tekom rasti faktorji okolja (Toorn in Mook, 1982). Pri tem je zelo pomembna tudi količina in kakovost tal. Ob večjem volumnu tal so poganjki višji in imajo večjo primarno produkcijo.

2.9. STRUKTURNE PRILAGODITVE NA HIPOKSIČNE IN ANOKSIČNE RAZMERE

Številne prilagoditve dopuščajo močvirskim rastlinam, da pridobijo kisik (O_2) ali tolerirajo posledice nizkih koncentracij O_2 . Najpogostejša prilagoditev je tvorba aerenhima (poroznega tkiva) v poganjkih (steblih), koreninah, listnih pecljih in listih, ki tvori notranji sistem za transport plinov, sestavljen iz velikih prostorov, napolnjenih z zrakom, imenovanih lakune (Cronk in Fennesey, 2001). Transport plinov poteka po rastlini vzdolž kanalov, ki jih tvori aerenhimatsko tkivo. Pri emerznih močvirskih vrstah vstopi O_2 skozi nadvodne dele rastline, skozi reže v listih in skozi lenticele v stebelu olesenelih tkiv. Nato gre proti koreninam skozi aerenhim, ponavadi s pomočjo difuzije. V nasprotni smeri potuje ogljikov dioksid (CO_2) – od korenin, kjer nastane kot produkt respiracije, skozi porozno tkivo in skozi reže v ozračje.

2.9.1. Mehanizmi transporta plina pri močvirskih rastlinah

Pri močvirskih rastlinah najdemo več kisika v zračnih delih rastlin kot v podzemnih delih. Pri trstu so v zračnih poganjkih izmerili koncentracijo kisika blizu atmosferskim vrednostim (20,7 %), v rizomih pa samo 3,6 %. Korenine potopljenih višjih rastlin so pogosto zasidrane v anaeroben sediment in se opirajo na transport O₂ iz poganjkov, da zadovoljijo potrebe po O₂. Kisik, transportiran v korenine, se uporabi v procesu dihanja korenin ali se sprošča v sediment, kjer pomaga pri procesu oksidacije rizosfere. Hipoksične razmere se razvijejo znotraj korenin, ko njihove zahteve po O₂ daleč presegajo stopnjo transporta O₂ (Drew in Lynch, 1980).

Konvektivni pretok plinov se pogosto pojavi pri močvirskih rastlinah, ki naseljujejo globoko vodo ali imajo obsežen koreninski sistem. Ta tok poveča notranji transport plinov, poveča koncentracijo kisika v podzemnih tkivih in pospeši zračenje biogenih plinov iz sedimenta. Trst, ki je ena glavnih rastlin v ekotonu po celem svetu, ima še posebej visok odstotek konvektivnega toka (Armstrong in Armstrong, 1991). Pri konvektivnem toku gre zrak v rastlino skozi reže mladih listov, vzdolž stebela v rizome in potem nazaj skozi stebela starejših listov. Ta proces omogočajo razlike v temperaturi in vlagi med notranjostjo listov in zunanjim zrakom. Pri trstu konvektivni tok pospeši izmenjavo plinov med sedimentom in atmosfero in vpliva na mikrobiološke procese tal. Konvekcija, ki temelji na principu Venturijeve cevi, je mehanizem za izmenjavo plinov pri trstu, ki temelji na gradientu hitrosti vetra. Višji poganjki so izpostavljeni višjim hitrostim vetra kot polomljeni poganjki, ki so bližje tlam. To povzroči razlike v pritisku, kar omogoči pretok plinov iz višje koncentracije (polomljeni poganjki) v višje poganjke, kjer je nižja koncentracija in nato v atmosfero.

2.10. NAVADNI TRST – SINDROM PROPADANJA TRSTIŠČ V EVROPI

V zadnjih 40-ih letih je veliko območij s trstom v centralni in V Evropi propadlo. Leta 1951 so poročali o propadu trsta na robu jezera v Švici. V naslednjih desetletjih so poročali o propadanju trsta tudi iz V in centralne Evrope (Cronk in Fennessy, 2001). Ker območja,

kjer uspeva navadni trst, ščitijo obalna območja pred vplivom valov in nudijo zatočišče za divje živali, njegovo propadanje vpliva na:

- izgubo zaščite bregov, kar povzroči erozijo in kopičenje obrežnih sedimentov proč od obale;
- propad dreves in grmov;
- izginotje ptičjih vrst;
- zmanjšanje števila nekaterih vrst rib.

Propadanje trsta, ki je eden izmed dominantnih makrofitov v litoralni coni plitvih jezer, je postal široko razširjen fenomen v Evropi. Fragmentacija območij, kjer uspeva trst, je eden največjih vzrokov za propad (Meszaros in sod., 2003). Na takih mestih je trst bolj izpostavljen okoljskemu stresu. Rast in produkcija ter razvoj reproduktivnih organov so močno moteni.

2.10.1. Vzroki za propadanje trsta

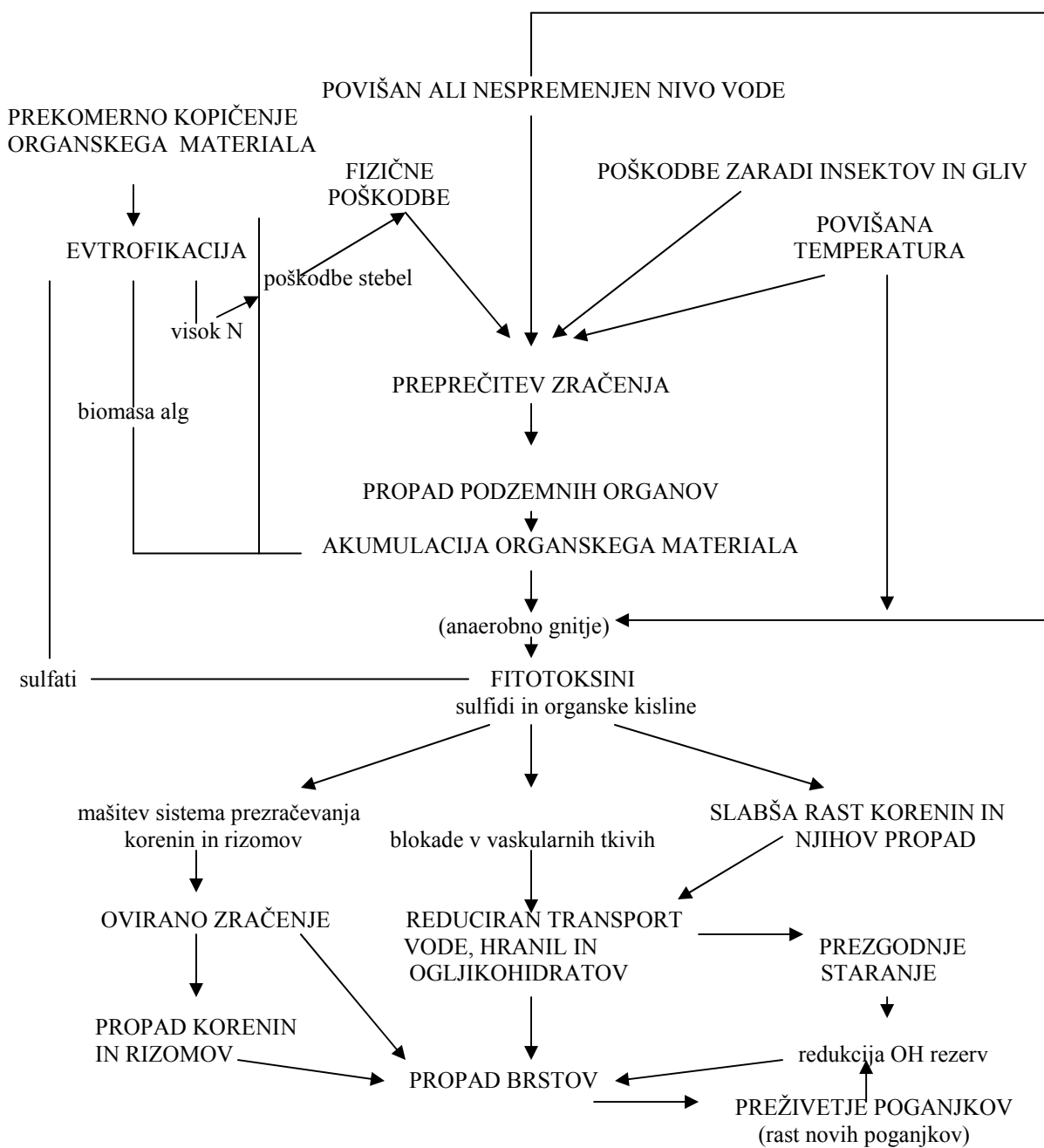
Sprememba hidroloških razmer je eden glavnih vzrokov propadanja območij, kjer uspeva navadni trst po vsej Evropi. V veliko primerih po Evropi se je propadanje trsta pojavilo tam, kjer je nivo vode reguliran (Cronk in Fennesey, 2001). Na Švedskem, v Švici in v drugih Evropskih državah je trst propadel zaradi regulacije vodnega toka in zaradi vse krajših poletnih suhih obdobj. Trst je pod stresom tudi, če je stalno poplavljen, zaradi pomanjkanja O₂ in CO₂. Rast in kalitev sta ovirani in rastline izčrpajo rezerve.

V zadnjem stoletju intenzifikacija kmetijstva, izkoriščanje vodnih virov, povečanje onesnaževanja in vremenske spremembe vplivajo na močvirja in povzročajo njihovo progresivno degradacijo (Zacharias in sod, 2003).

Dejavniki, ki dodatno vplivajo na propad trsta, so: mehanske poškodbe, akumulacija organskega materiala, močno spremenjene razmere v tleh, eutrofikacija, akumulacija fitotoksinov, povišana temperatura in poškodbe zaradi insektov in gliv. Ti dejavniki ovirajo zračenje in vplivajo na privzem vode in hranil ter pripeljejo do zakrnele rasti in propada podzemnih organov. Akumulacija razpadajočega organskega materiala vpliva na

povečanje fitotoksinov, kot so hidrogen sulfidi, in hitrohlapljivih organskih kislin, kar prispeva k propadu korenin, rizomov, popkov in poganjkov in pripelje do prezgodnjega staranja poganjkov in propada celotne rastline. Alohtoni viri organskega materiala, kot so odpadne vode, lahko tudi povzročijo akumulacijo fitotoksinov in visokih potreb po O₂ ter propad rastlin (Čizkova in sod., 1996).

Jezera z obsežnimi močvirji so območja, kjer je povečana eutrofikacija ublažena zaradi samoočiščevalnih procesov goste litoralne vegetacije. Navadni trst igra pomembno vlogo pri dinamiki kroženja hranil. Trst je zaželena vrsta v zgrajenih močvirjih, kjer veliko breme hranil nima večjega škodljivega učinka na stanje trsta. Zato sklepajo, da na propadanje trsta vplivajo tudi drugi dejavniki.



2.11. ČIŠČENJE ODPADNIH VODA

Močvirja so učinkovita pri odstranjevanju in pretvorbi hranil, tudi pri visoki obremenitvi s hranili. Vrste, primerne za čiščenje odpadnih voda, so odvisne od lokalnih pogojev, globine vode, konstrukcije močvirja in vrste odpadnih voda. Emerzne vrste imajo velik sistem korenin in rizomov s pomočjo katerih lahko dovajajo kisik globoko v zemljo in nakopičena hranila skladiščijo v svojih tkivih. Trst pogosto uporabljajo za čiščenje talne vode.

Intenzivna aerobna razgradnja med suho periodo povzroči bujno rast jezerske vegetacije medtem, ko je področje poplavljenno. Številne raziskave so pokazale, da mesta z gosto vegetacijo filtrirajo toksične substance in hranila, ki se tja iztekajo iz oddaljenih področij (Gaberšček in Urbanc - Berčič, 1996). V Cerkniškem jezeru se hranila, ki se izpirajo iz povodja in odmrlih rastlin, zadržujejo zelo malo časa. Razlog za to je intenzivno kroženje hranil zaradi nihanj vodne gladine in izmenjave suhih in mokrih obdobj. Ti pogoji omogočajo zračenje rizosfere.

2.12. TOGI ŠAŠ *Carex elata*

Vrsta *Carex* je eden izmed največjih rodov v zmerni flori S poloble. Večina vrst iz rodu je povezanih z vlažnimi habitat. Glede na raziskave Dahlgrena in sodelavcev (1985) vključuje okoli 2000 vrst, okoli 180 se jih pojavlja v Evropi. Večino anatomskih značilnosti, ki so jih preučevali pri prečnem prerezu, lahko povežemo z dostopnostjo vode: debelino listov, premer žil metaksilema in velikost zračnih prostorov.

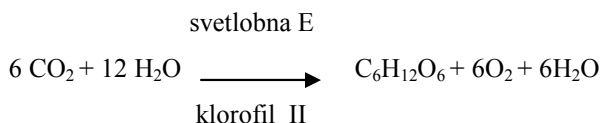
2.13. FIZIOLOŠKI PARAMETRI IN PRIMARNA PRODUKCIJA

2.13.1. Fotosinteza in primarna produkcija

Pri primarni produkciji pride do pretvorbe sončne energije v kemično energijo. Proces, kjer pride do pretvorbe energije, ali fotosinteza, je kompleksen niz biokemijskih reakcij, ki jih lahko predstavimo s preprosto enačbo (Cronk in Fennessy, 2001):

Enačba

... (1)



CO₂ in H₂O sta snovi, ki vstopata v reakcijo, kjer nastane preprost ogljikohidrat (glukoza), O₂ in voda kot stranski produkt. Fotosinteza je energetski proces, ki ga delimo v svetlobne in temotne reakcije. V svetlobnih reakcijah se sončna energija (fotosintetsko aktivna svetloba z valovno dolžino od 400 do 700 nm) v obliki fotonov pretvarja v kemično energijo (adenozin trifosfat, ATP) in v reducent nikotinamid adenin dinukleotid fosfat (NADPH) v dveh fotokemičnih reakcijah, ki sta povezani z elektronskim transportnim sistemom. Klorofil deluje kot antena za lovljenje fotonov. Elektrone za redukcijo dobijo rastline iz vode, pri čemer se sprošča kisik. Zaloga energije ATP in redukcijska moč (NADPH) se nato uporabita v temotnih reakcijah, kjer iz CO₂ nastanejo organske spojine. Svetlobne reakcije potekajo v kloroplastnih membranah (grana tilakoide), medtem ko temotne reakcije potekajo v stromi kloroplastov (Bowes in Beer, 1987).

Primarno produkcijo največkrat ugotavljamo s pomočjo merjenja biomase. Biomasa združbe se meri kot gram suhe snovi na kvadratni meter površine (gm⁻²). Trajanje in pogostost poplav lahko reducira ali poveča primarno produkcijo. S povečanim pritokom vode v močvirja pride več hranil, kar pospeši izmenjavo raztopljenih snovi (fosforjevih in dušikovih spojin, O₂, C) z zmanjšanjem debeline mejne plasti na površini rastline in to pospeši primarno produkcijo (Cronk in Fennesey, 2001). V nekaterih močvirjih pa lahko daljše poplave povzročijo stres zaradi nastanka anoksičnih razmer v tleh. Dokazali so tudi, da pritok vode, ki vsebuje veliko hranil, poveča produkcijo biomase in koncentracijo teh elementov v tkivih. Cronk in Fennesey (2001) sta ugotovila, da je primarna produkcija v sladkovodnih močvirjih bolj odvisna od prisotnosti stoječe vode kot dotoka hranil.

Razumevanje primarne produkcije je pomembno za razumevanje funkcij ekosistema. Vsi heterotrofni organizmi v združbi so odvisni od energije, ki jo proizvedejo rastline. Primarni producenti zadržijo hranila med rastno sezono in jih sprostijo, ko propadejo. Primarna produkcija močvirij je pomembna, ker poskrbi za povezavo med kopenskimi združbami in

združbami vzdolž vodnih ekosistemov. Močvirske rastline vežejo hranila, ki pritečejo v njihov habitat iz zaledja. Rezultati primarne produkcije določenega močvirja odražajo časovni in krajevni vzorec rasti in sprememb iz leta v leto.

Fotosintezna aktivnost rastline je odvisna od številnih okoljskih dejavnikov. Pomembne so razmere v okolju, sevanje, predvsem pa gostota toka fotonov fotosintezno aktivnega spektra sevanja (PPFD), temperatura, vsebnost CO₂, razpoložljiva voda in hranila, relativna zračna vlažnost in nekateri drugi dejavniki. Pri sončnih rastlinah je omejujoč dejavnik vodni primanjkljaj v rastlini, zaradi katerega pride do zapiranja listnih rež in omejenega sprejemanja CO₂, pri senčnih rastlinah pa je omejujoč dejavnik najpogosteje šibka jakost sevanja (Trošt - Sedej, 2005).

Pri izpostavljenosti rastlin visoki intenziteti svetlobe pride do fotoinhibicije v procesih fotosinteze. Opazno je zmanjšanje v produkciji in v padcu maksimalne kapacitete fotosinteze. Pri tem lahko pride tudi do poškodb znotraj fotosistema II v procesih prenašanja elektronov. Senčni listi na isti rastlini so bolj podvrženi fotoinhibiciji kot sončni listi (Ögren, 1987). Fotoinhibicija je lahko reverzibilno ali ireverzibilno zmanjšanje učinkovitosti FSII.

2.13.2. Transpiracija

Pri procesu transpiracije (TR) izhaja voda v plinasti obliki iz rastlin v atmosfero. Transpiracija je pomemben dejavnik, ker predstavlja povezave med hidrološkim režimom močvirij in vegetacijo. Je difuzijski proces, odvisen od razlike parcialnih tlakov v intercelularnem prostoru pod listno režo ter zunaj lista in od skupne upornosti na poti izhajanja vode; od upornosti mejne zračne plasti (od velikosti lista in vetrovnosti), kutikularne in stomatalne (odprtost listnih rež) upornosti ter upornosti intercelularnega prostora pod listno režo (Trošt - Sedej, 2005).

Enačba

... (2)

$$TR = \frac{\Delta c}{\sum r}$$

c: parcialni vodni tlak, r: upornost

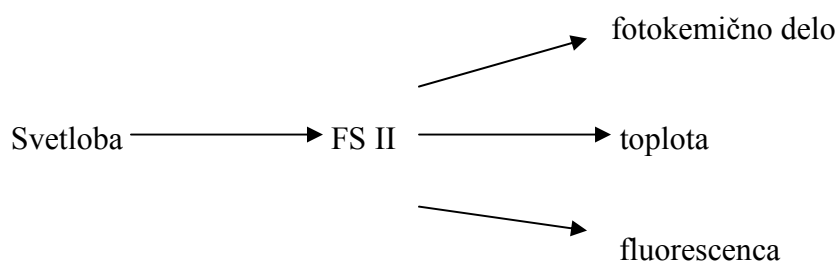
Raziskave transpiracije so pogosto povezane z evaporacijo (voda, ki izhlapeva direktno iz zemlje ali vode). Ko vodne zaloge niso omejene, na stopnjo evapotranspiracije vpliva več meteoroloških dejavnikov: sončno sevanje, hitrost vetra in turbulenca, vlažnost zemlje in relativna zračna vlažnost. Stopnja TR je odvisna tudi od pritiska zračne vlage na gladini vode ali na površini lista in pritiska zračne vlage v atmosferi (Cronk and Fennessy, 2001).

Trst ima listne reže na obeh straneh lista. Morfološko-anatomske lastnosti ter dobra preskrbljenost z vodo mu omogočajo intenzivno transpiracijo. V sončnem poletnem dnevu so lahko najvišje opoldanske vrednosti celo večje od izhlapevanja s proste vodne površine (Šmid, 1975).

2.13.3. Fotokemična učinkovitost

Pred presežno energijo sevanja, ki bi povzročila oksidacijske poškodbe fotosinteznega aparata in drugih sestavnih delov celice, se rastline zavarujejo na različne načine. Zaščita temelji na zmanjšanju prodiranja sevanja do fotosinteznega aparata, porabljanju presežne fotokemične energije v drugih celičnih procesih in sproščanju presežne absorbirane energije sevanja v obliki toplote in fluorescence. Energija sevanja, ki doseže fotosintezni aparat, se sprošča na tri načine. Porabi se za fotokemično delo, tj. za redukcijo klorofila a in prenos elektronov preko elektronskih prejemnikov v obeh fotosistemih (FSI, FSII). Del sevanja se preko ksantofilnega cikla sprošča kot toplota. Tretji del sevanja pa klorofil a reakcijskega centra in klorofil b antenskih pigmentov v FSII oddajata v obliki fluorescence, ki služi kot merilo stresa pri rastlinah (Sedej - Trošt, 2005).

Rastlina, ki uspeva v ugodnih razmerah, je sposobna izrabiti več absorbirane svetlobe za fotokemično delo kot rastlina, ki je izpostavljena stresnim razmeram. Razmerje med energijo sevanja, porabljeno za fotokemično delo, toploto in fluorescenco se zato spreminja glede na razmere na rastišču (Trošt - Sedej, 2005).



Slika 2.3: Prikaz transformacije absorbirane svetlobne energije v fotosinteznem aparatu (Trošt - Sedej, 2005: 46).

Figure 2.3: The scheme of transformation of energy in photosynthetic apparatus (Trošt - Sedej, 2005: 46).

3. MATERIAL IN METODE

3.1. OPIS LOKACIJE

3.1.1. Cerknško jezero

Cerknško polje je eno izmed kraških polj vzdolž tektonskih prelomnic v dinarski smeri na Notranjskem in je med vsemi kraškimi polji v Sloveniji največje oziroma ima najobsežnejše in najdlje trajajoče poplave. Presihajoče Cerknško jezero (45°45'N, 14°20'E, 549 m. n. v) je poplavna ravnica potoka Stržena, ki teče po Cerknškem polju. Leži na prehodnem območju med Dinarskim gorstvom in Alpami, je največje mokrišče pri nas in je del povodja reke Ljubljanice. Presihajoče jezero je rezultat njegove geografske in geološke lege. Je edinstven ekosistem, v katerem je sukcesija periodično motena zaradi nihanja vodne gladine. Te motnje predstavljajo fizikalen faktor, ki je življenjsko pomemben za jezero in vpliva na abiotske in biotske procese (Gaberščik in sod., 2003). Jezero nastane na istoimenskem polju (38 km²), ko na območje pride več vode, kot jo lahko odteče skozi ponikve in ponorne jame. Med deževnim obdobjem se voda zbira iz višje ležečih kraških polj iz okoliških platojev in direktno iz padavin (Kranjc, 2003). Zaradi kraških značilnosti zaledja povodje Cerknškega jezera obsega kar 475 km². Večina vode pride na polje po kraških podzemnih poteh: Obrh prinaša vodo iz Loške doline, Martinjščica, Lipsenjščica in Žerovniščica pa iz Bloške planote. Edini večji površinski dotok je Cerknjščica. Količina vode v jezeru je odvisna od padavin in potencialne evapotranspiracije na polju in sosednjih območjih. Spomladi voda predvsem zaradi taljenja snega prestopi bregove Stržena in preplavi polje. Ob običajnih poplavah jezero prekriva približno 53 % celotnega polja. V poznopomladanskem času se začne površina jezera postopoma krčiti. Voda navadno odteče v treh do štirih tednih (Kranjc, 1986). Polje je suho nekaj več kot dva meseca, ob jesenskem deževju pa se jezerska kotanja zopet napolni. Presihanje je izoblikovalo poseben splet življenja, prilagojenega na spremenljive razmere. Velika vrstna pestrost je posledica raznolikosti območja ter spreminjanja življenjskih prostorov v rastni sezoni (Gaberščik in Šraj - Kržič, 2006).

3.1.2. Notranjski regijski park

Notranjski regijski park (NRP) se nahaja znotraj meja občine Cerknica in obsega 222 km². Leta 2002 ga je ustanovila občina Cerknica z namenom, da se ohranjajo, varujejo in raziskujejo naravne in kulturne vrednote tega območja, izjemne geomorfološke, geološke in hidrološke znamenitosti, zavaruje avtohtono rastlinstvo, živalstvo in naravni ekosistemi ter značilnosti neživega sveta, kakor tudi paleontološka in arheološka najdišča, etnološke in arhitekturne značilnosti ter kulturna krajina. Odlikuje ga visoka stopnja ohranjenosti naravnih življenjskih prostorov, številni naravni spomeniki, izjemna pestrost živih bitij, na drugi strani pa razpoznavna kulturna krajina, ki jo je zaznamoval dolgotrajen kakovosten preplet človeka in narave in se ponaša z veliko ekološko, biotsko in krajinsko vrednostjo.

Park obsega celotno območje občine Cerknica, razen zazidalnih in nezazidalnih stavbnih zemljišč, področij širitev naselij ter področij sedanjih in bodočih industrijskih con. Iz parka so izvzete vse ceste in poti skupaj s cestnim telesom, območja, opredeljena za mirujoči promet, peskokopi, železnice ter vojaško vadišče in strelišče Bloška polica (Odlok o NRP, 2002).

V parku so naslednja varstvena območja: območje travnišč in mokrišč na področju Cerknškega jezera, strnjeni gozdovi na območju Menišije in osrednjega dela Javornikov, kot naravni rezervat so opredeljeni Zadnji kraj, Dujice, Osredki, Levišča in Vranja jama, kot naravni spomenik pa Rakov Škocjan, Iška in Zala, Križna jama in Zelške jame.

Na področju NRP naj bi se zagotovil z naravnimi danostmi in vrednotami usklajen nadaljnji razvoj gospodarstva, kmetijstva, turizma, gozdarstva, rekreacije in izobraževanja ter ugodni materialni in drugi pogoji za razvoj in življenje prebivalcev na območju Občine Cerknica. Vse to je mogoče z razvijanjem naravovarstvenih, gospodarskih in družbenih dejavnosti v skladu s sprejetimi planskimi akti, predpisi in varstvenimi ukrepi (Notranjski ..., 2008).

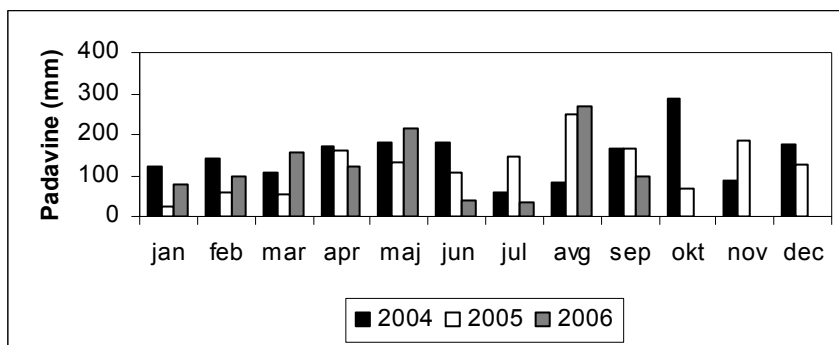
Območje Cerknškega jezera je izjemnega mednarodnega pomena, kar potrjuje tudi vključitev v mrežo območij Natura 2000. Območje je opredeljeno tako na podlagi

Direktive o ohranjanju naravnih habitatov ter prosto živečih živalskih in rastlinskih vrst kot tudi na podlagi Direktive o ohranjanju prostoživečih ptic. Obe predstavljata pravno podlago za vzpostavljanje območij Natura 2000, ki je ključni steber varstva narave v EU (Novice NRP, 2007).

V okviru projekta LIFE 06 NAT/SLO/00069 je NRP v letu 2006 pristopil k izdelavi projektne dokumentacije za renaturacijo vodotokov na območju presihajočega Cerknškega jezera. Zaradi izravnalnih posegov v struge vodotokov v preteklosti so se izkazali številni negativni vplivi na naravno zelo pester prostor, ki je varovan z različnimi režimi varovanja. V okviru projekta LIFE Narava bodo zato preučili nekdanji potek strug, opravili inventarizacijo prostora in preučili možnosti sonaravne obnove vodotokov, t. i. renaturacije. Pričakovani rezultati renaturacije so počasnejši odtok nizkih voda iz območja presihajočega jezera, dvig nivoja talne vode, zastajanje vode v depresijah in rokavih vodotokov ter na koncu tudi višja stalna višina talne vode in sprememba razmerja poplavljenih in kopenskih površin. Pričakuje se, da se bo s podaljševanjem strug vodotokov, obnovo nekdanjih rokavov in meandrov povečala vodna površina vodotokov, kar bo ugodno vplivalo na ohranitev vodnih, obvodnih in močvirskih habitatov.

3.1.3. Klima in padavinski režim

Cerkniško jezero s širšo okolico leži v osrednjem delu države, ki ga lahko označimo kot klimatsko območje, kjer se prepletajo značilnosti mediteranske, gorske in kontinentalne klime. Po skupni letni količini padavin spada širše območje Cerknškega jezera v bolj namočen del Slovenije. Ker leži za razmeroma visokim grebenom Javornikov, je to glavni vzrok za velike količine padavin. Tudi letna porazdelitev padavin je ugodna, saj so padavine dobro porazdeljene v vseh mesecih. V letih 1961-1990 so izmerili dva padavinska maksimuma, primarni v novembru in sekundarni v juniju ter zimski minimum februarja in januarja (Zupančič, 2003). V našem primeru je bil padavinski maksimum za leti 2005 in 2006 v avgustu in leta 2004 v oktobru. Padavinski minimum je bil leta 2004 in 2006 v mesecu juliju, leta 2005 pa v zimskem času – januarja.

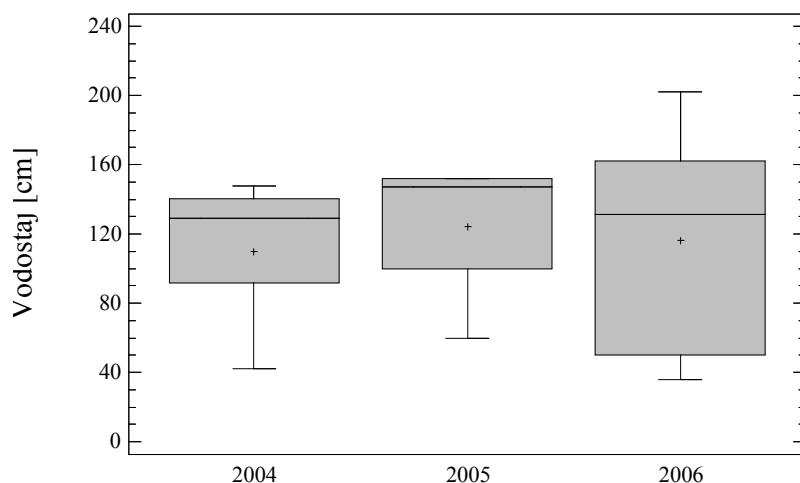


Slika 3.1: Mesečne padavine v letih 2004–2006 na merilnem mestu Gorenje jezero (Vir: Agencija republike Slovenije za okolje, Urad za monitoring).

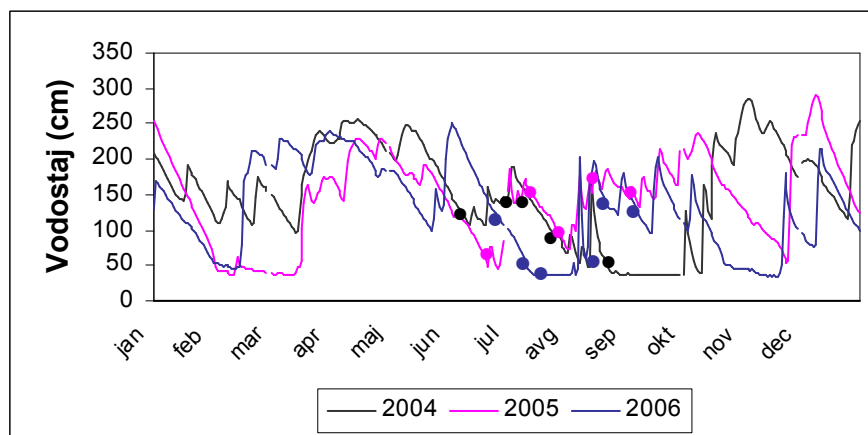
Figure 3.1: Monthly levels of precipitation rates in 2004–2006 at sampling site Gorenje jezero (Vir: Agencija republike Slovenije za okolje, Urad za monitoring)

Značilnosti vodnega režima na Gorenjem jezeru v letih 2004 – 2006 prikazuje slika 3.2. Najnižji vodostaj v času meritev je bil v sezoni 2006 v juliju in v začetku avgusta. Prvo sezono 2004 je bilo zaslediti znižanje vodostaja na koncu julija, nekoliko nižji je bil prav tako tudi še avgusta. V sezoni 2005 je bil najnižji vodostaj od sredine junija naprej, nato je sledilo hitro povišanje vodostaja v juliju in ponovno majhen, vendar ne izrazit padec proti koncu julija. Največ nihanj v vrednostih vodostaja je bilo v zadnji sezoni 2006, ko smo zasledili najnižje in najvišje vrednosti v vseh treh letih (slika 3.2 a).

a)



b)



Slika 3.2: Spremembe vodostaja v sezonah 2004–2006 na merilnem mestu Gorenje jezero. ●, ●, ● označujejo dneve naših meritev v posameznih letih (Vir: Agencija republike Slovenije za okolje, Urad za monitoring).

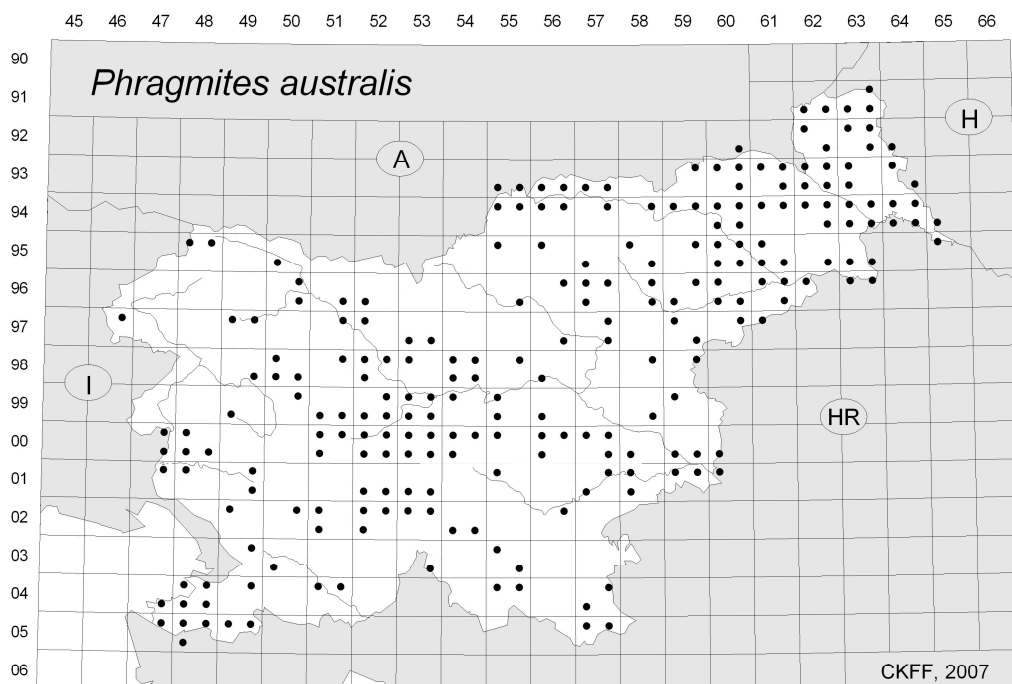
Figure 3.2: The water level fluctuations in 2004–2006 at sampling site Gorenje jezero. ●, ●, ● shows the days of our sampling in particular years (Vir: Agencija republike Slovenije za okolje, Urad za monitoring).

3.1.4. Mesto raziskav

3.1.4.1. Trstičevje (*Phragmitetum australis* Schmale 1939)

V spremenljivem okolju Cerknškega jezera se je razvila bogata močvirska vegetacija s prevladujočo združbo trstič. Močvirske združbe se razvijejo v tistih predelih, kjer globina vode običajno doseže od enega do dva metra, traja pa le mesec ali dva. Po presahnitvi v teh predelih ni več površinske vode, vendar so tla dovolj vlažna za nemoten nadaljni razvoj.

Na jezeru najdemo različne močvirske združbe: trstičevje (*Phragmitetum australis* Schmale 1939), jezersko bičkovje (*Scirpetum lacustris* Schmale 1939), vodno presličje (*Equisetetum limosi* Steffen 1931), togo šašje (*Caricetum elatae* W. Koch 1926), obrežno šašje (*Caricetum ripariae* Knapp et. Stoff. 1962), kljunasto šašje (*Caricetum Rostratae* Rüb. 1912), sestoji trstične pisanke (*Phalaris arundinacea*) in združba močvirske site (*Eleocharitetum palustris* Ubrizsy 1948) (Martinčič in Leskovar, 2002). Največ dosedanjih raziskav je bilo narejenih v trstiščih, saj je navadni trst prevladujoči predstavnik rastlinstva na jezeru. Največje površine porašča trst v Zadnjem kraju, v osrednjem delu jezera in v bližini Dujic, ob cesti proti Grahovem. V osrednjem delu jezera združba ni razvita v tipični obliki, ampak s stalno zastopanostjo vrst, značilnih za visoka šašja. Triletne meritve primarne produkcije v sestojih trsta so pokazale, da je primarna produkcija zelo spremenljiva, kar je odvisno od rastiščnih razmer, predvsem od vodnega režima. Na vitalnost trsta močno vpliva nivo vodne gladine v zgodnji fazi rasti, saj globoka voda omejuje preskrbo koreninskega sistema s kisikom (Pagter in sod., 2005; Koppitz in sod., 2004). Na Cerkniškem jezeru so zaradi specifičnih razmer, ki tu vladajo, zastopane različne oblike združb trstičevja (Martinčič in Leskovar, 2003). V nekaterih začenja trst svoj razvoj že pod vodo. Kasneje v vegetacijski sezoni, ko voda upade, se razvije močvirska oblika te združbe z značilnimi predstavniki, ki v vodi ne uspevajo. Druge oblike se že od začetka vegetacijske sezone razvijajo v kopnem okolju, vendar so vseskozi vezane na visok nivo talne vode. Vegetacija trstišč predstavlja pomemben puferski sistem, v katerem se snovi in energija skladiščijo, porabljajo in pretvarjajo, zato močvirska vegetacija predstavlja osnovo stabilnosti in prožnosti ekosistema (Urbanc - Berčič, 2003; Engloner, 2006).

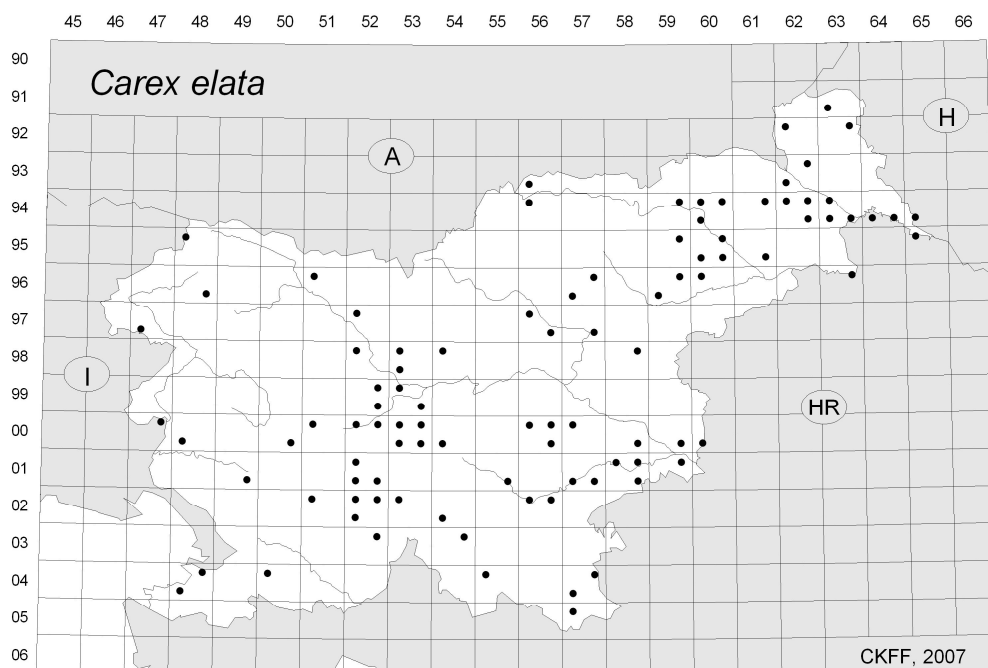


Slika 3.3: Razširjenost vrste *Phragmites australis* v Sloveniji (Jogan in sod., 2001: 279).

Figure 3.3: The distribution of species *Phragmites australis* in Slovenia (Jogan in sod., 2001: 279).

3.1.4.2. Togo šašje (*Caricetum elatae* W. Koch 1926)

Največje sklenjene površine, na katerih prevladujejo visoki šaši, predvsem togi šaš, najdemo v osrednjem delu jezera. Veliko manjših površin je mozaično razporejeno med drugimi združbami tudi na obrobju. V teh primerih gre večinoma za bolj suhe oblike te združbe, ki ponekod tudi nimajo več značilne sestave vrst, nedvomno pa pripadajo zvezi visokega šašja (Magnocaricion). Kjer je združba razvita v tipični obliki, togi šaš močno prevladuje, zato je v takih sestojih prisotnih le malo drugih vrst. Najpogosteje se togemu šašu pridružijo močvirska lakota *Galium palustre* L., navadna krvenka *Lythrum salicaria*, pijavčnica *Lysimachia* L., ter do dva metra visoki močvirski grint *Senecio paludosus*. Veliko večino površin, kjer prevladuje togi šaš, pozno poleti, ko voda upade, tudi redno kosijo. Tak način rabe vpliva tudi na fiziognomski izgled sestojev, saj togi šaš tu ne uspeva v zanj značilnih visokih kupih, ampak tvori na prvi pogled enotno rušo. Šele ko hodimo po, v poznem poletju pokošenih površinah, vidimo, da uspeva togi šaš v velikih, gostih šopih (Martinčič in Leskovar, 2003).



Slika 3.4: Razširjenost vrste *Carex elata* v Sloveniji (Jogan in sod., 2001: 85).

Figure 3.4: The distribution of species *Carex elata* in Slovenia (Jogan in sod., 2001: 85).

3.2. METODE DELA

Vpliv presihanja na aktivnost in primarno produkcijo navadnega trsta in togega šaša na Cerkniškem jezeru smo spremljali v treh zaporednih rastnih sezonah:

- od 7. 6. 2004 do 24. 8. 2004
- od 25. 6. 2005 do 2. 9. 2005
- od 24. 6. 2006 do 1. 9. 2006.

Meritve so potekale na vzorčnem mestu Gorenje jezero (na južnem delu jezera), ki se nahaja ob potoku Stržen približno 2 km od izvira. Meritve smo izvajali približno 50 m stran od mostu ob cesti, ki vodi v vas Laze, v intervalih od 14–21 dni v sočnem, jasnem vremenu. Izbrali smo dve lokaciji, kjer je uspeval navadni trst. Lokaciji se med seboj razlikujeta glede na vodni režim – lokacija, kjer je trst uspeval na kopnem in večji del leta ni bil poplavljen, vendar so bila tla nasičena z vodo in lokacija, kjer je bil trst poplavljen do različnih višin – odvisno od padavinskega režima. Togi šaš je uspeval na kopnem, kjer so bila tla nasičena z vodo in le občasno oz. redko poplavljena. Na vseh treh vzorčnih mestih

smo si naključno izbrali po pet vzorčnih rastlin, na katerih smo merili fiziološke parametre. Sklenjene površine navadnega trsta (v vodi in na kopnem) se nahajajo na levi in desni strani ceste. Področje, kjer je uspevalo togo šašje, je bilo vedno dostopno, zato smo merili ves čas na istem mestu.

3.3. FIZIOLOŠKE MERITVE

Meritve so potekale na terenu in v laboratoriju. Na terenu smo izvedli meritve neto FS, transpiracije, dejanske in potencialne fotokemične učinkovitosti sistema in sevanja; iz izmerjenih parametrov smo kasneje preračunali še učinkovitost izrabe vode. Fiziološke meritve smo na vseh treh vzorčnih mestih izvajali trikrat preko celega dneva (tako smo lahko primerjali dnevni potek dogajanj pri določeni rastlini) – zjutraj, ko se je rosa posušila, malo po dvanajsti uri in popoldan okrog 16. ure (odvisno od vremenskih razmer na dan meritev in intenzivnosti sončnega sevanja).

3.3.1. Merjenje fotokemične učinkovitosti

Fotokemično učinkovitost rastline, določeno preko klorofilne fluorescence klorofila a v FS II, smo merili z modulacijskom fluorometrom (tip OS-500, Opti-Sciences, Tyngsboro, MA, USA). Merili smo potencialno in dejansko fotokemično učinkovitost pri sončnem vremenu, ko je vrednost fotosintezno aktivnega spektra sevanja (PPFD) znašala okoli 1000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Pri merjenju sevanja smo uporabili data-logger s tipalom za PAR (Li-Cor, Nebraska).

Potencialno fotokemično učinkovitost FS II izražamo s parametrom F_v/F_m .

Formula

...(3)

F_v/F_m (relativna enota) = $F_m - F_o/F_m$

F_o in F_m : minimalna in maksimalna fluorescenca vzorca, adaptiranega na temo

F_v : variabilna fluorescenca (razlika med F_m in F_o), ki je pokazatelj velikosti redukcije QA, ki je prvi stabilni sprejemnik elektronov v PSII.

Pred merjenjem smo na list pritrdili ščipalke za temotno adaptacijo. Po 20 minutah adaptacije, ki zadošča za oksidacijo prejemnikov elektronov FSII, smo list osvetlili s saturacijskim pulzom bele svetlobe ($\approx 8000 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, trajanje 0,8 s) in odčitali potencialno fotokemično učinkovitost. V ugodnih razmerah fluorescenca predstavlja 2 % do 4 % ekscitacijske energije, v stresnih razmerah pa se delež oddane energije v obliki fluorescence poveča. Fluorescenca klorofila a v FSII zato služi kot merilo stresa pri rastlini. Razmerje F_v/F_m dosega optimalne vrednosti okoli 0,83. Nižje vrednosti nakazujejo na rastlinino izpostavljenost stresu.

Dejansko fotokemično učinkovitost izražamo s parametrom Y (yield):

$$\text{Enačba} \qquad \qquad \qquad \dots(4)$$

Y (relativna enota) = $F_{ms} - F_s / F_{ms}$

F_{ms} in F_s : maksimalna in minimalna fluorescenca osvetljenega vzorca

Dejansko fotokemično učinkovitost FSII smo merili pri danih svetlobnih razmerah na osvetljenih listih. Na vzorec smo pritrdili ščipalko, tako da je bil list osvetljen pod kotom 60° . S pomočjo saturacijskega pulza bele svetlobe ($\approx 9000 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, trajanje 0,8 s) se je sprožila redukcija prejemnikov elektronov v FSII (Trošt - Sedej, 2005).

3.3.2. Merjenje fotosintezne aktivnosti

Fotosintezno aktivnost najpogosteje merimo preko privzemanja CO_2 . Spremembo vsebnosti CO_2 smo merili z infrardečim plinskim analizatorjem (IRGA, tip LI-6200, Li-Cor) z zaprtim kroženjem zraka in diferencialnim načinom merjenja. Zrak iz kivete, kamor smo namestili objekt merjenja, je tekkel v vzorčno celico. Žarek infrardečega sevanja (IR) je tekkel skozi celici z vzorčnim in referenčnim plinom do detektorja IR sevanja, kjer je nastala električna napetost, sorazmerna razliki med jakostjo IR žarkov med obema celicama. Absorpcija žarkov med obema celicama je bila različna zaradi razlike v vsebnostih CO_2 med vzorčno in referenčno celico, kar ustvarja različni napetosti na detektorju.

Jakost neto fotosinteze je bila izračunana kot sprememba CO₂ v času na enoto površine rastlinskega tkiva. Površino merjenega dela listne ploskve smo za vsak vzorec posebej izmerili s pomočjo milimetrskega papirja (Trošt - Sedej, 2005).

3.3.3. Merjenje transpiracije (TR)

Merjenje transpiracije pri rastlini temelji na zaznavanju povečanja relativne zračne vlažnosti v kiveti zaradi vodnih par, ki izhajajo iz lista. TR ocenjujemo neposredno preko spremembe vsebnosti vode v določeni časovni enoti ali posredno z izračunavanjem iz razlike v parcialnih vodnih tlakih (Δc) in skupne difuzijske upornosti (Σr).

Za ugotavljanje TR smo uporabili dva različna porometra (tip LI-1600 – prvi dve sezoni, Li-Cor, Lincoln, Nebraska USA in tip AP4, ΔT – zadnjo sezono). Porometer LI-1600 v kiveti ohranja konstantno relativno zračno vlažnost na račun vpihanja suhega zraka. S pomočjo znane mase vpihanega suhega zraka izračuna transpiracijo. Porometer AP4 (Delta Devices LTD, Cambridge, England) deluje tako, da meri čas, ki ga potrebuje list, da izloči toliko vodne pare, da spremeni relativno vlago v majhni kiveti z znanim volumnom. TR določi po Monteithovi umeritveni krivulji na podlagi časa, v katerem se relativna zračna vlažnost v kiveti poveča za 2,3 %. Transpiracijo izražamo kot maso sproščene vode na enoto površine lista na enoto časa ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Trošt - Sedej, 2005).

3.3.4. Učinkovitost izrabe vode (UIV)

Vnos CO₂ in izparevanje vode skozi listne reže potekata sinhrono. S stomatalno redukcijo transpiracije je reduciran tudi vnos CO₂, potreben za fotosintezo (FS). Povezavo med asimilacijo CO₂ in porabo vode smo izrazili kot razmerje med stopnjo FS in stopnjo TR oziroma kot učinkovitost izrabe vode (UIV). Izračunamo jo po enačbi (Larcher, 2003):

Formula ... (4)

$$\text{UIV} = \frac{\text{stopnja FS}}{\text{stopnja TR}} \quad (\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})$$

stopnja FS stopnja fotosinteze, izmerjene na terenu
stopnja TR stopnja transpiracije, izmerjene na terenu

3.4. MERJENJE ABIOTSKIH DEJAVNIKOV

Tudi abiotске dejavnike smo merili trikrat v enem dnevu – istočasno kot smo merili fiziološke parametre. Na vseh treh lokacijah smo z alkoholnim termometrom merili temperaturo na rastišču na štirih različnih višinah: 5 cm, 10 cm, 25 cm in 50 cm. Prav tako smo spremljali tudi relativno zračno vlago s pomočjo klasičnega higrometra. Podatke o višini vodostaja v posamezni sezoni nam je posredovala Agencija republike Slovenije za okolje in prostor, Urad za monitoring.

3.5. MERJENJE DEJAVNIKOV PRIMARNE PRODUKCIJE

Ob koncu rastnih sezon 2004, 2005, 2006 smo na vsakem vzorčnem mestu nabrali po štiri vzorce navadnega trsta (trst na kopnem in trst v vodi) in togega šaša na površini 25×25cm (0,0625 m²). Vzorčenje je potekalo tako, da smo s pomočjo palice in metra določili vzorčno površino, nato pa s škarpami rastline odrezali pri bazi. Rastline iz posameznega podvzorca smo shranili v polivinilastih vrečkah in jih analizirali v laboratoriju.

3.5.1. Delo v laboratoriju

V laboratoriju za ekologijo rastlin smo pri vzorcih trsta izmerili naslednje parametre: število internodijev, velikost rastlin (od baze do vrha stebila oz. cveta), bazalni diameter stebila na najnižjem delu rastline, vendar ne na nodiju (kljunasto merilo), število cvetočih poganjkov, gostoto rastlin na m². V sezoni 2004 smo pri trstu izmerili naslednje parametre: višino rastlin, bazalni diameter, število internodijev. Pri šašu pa smo izmerili dolžino listov in gostoto listov na m². V sezoni 2004 smo izmerili samo dolžino listov.

Za izračun suhe biomase smo dele rastlin iz posameznega vzorca razrezali, zavili v aluminijasto folijo (posebej liste, cvetove, stebila) in jih posušili v sušilniku pri 105°C. Po 24-ih urah smo rastline vzeli iz sušilnika in jih tehtali na elektronski tehtnici na desetinko grama natančno.

Z aerometrom smo določili listno površino desetih naključno izbranih listov iz posameznega vzorca in nato vse liste tudi posušili v sušilniku za 24 ur. S pomočjo površine 10-ih listov in suhe teže listov smo izračunali listno površino celotne rastline – indeks listne površine (m^2/m^2).

3.5.2. Statistična obdelava podatkov

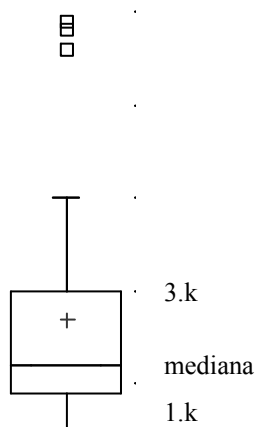
Pri večini rezultatov, ki smo jih dobili pri posameznih meritvah (fotosinteza, transpiracija, fotokemična učinkovitost, višina trsta, dolžina listov pri šasu, bazalni diameter, število internodijev), smo izračunali povprečne vrednosti parametrov in standardno deviacijo.

Dobljene rezultate smo med seboj primerjali s programom Statgraphics Plus 4.0. Značilne razlike v porazdelitvi povprečij merjenih parametrov med vodnimi in kopenskimi poganki in med nekaterimi parametri produktivnosti smo ugotavljali s Kolmogorov-Smirnovim testom normalne porazdelitve. Pri ostalih podatkih smo najprej testirali variance s Cochranovim, Bartlettovim in Hartleyevim testom, da smo ugotovili, ali so variance primerjanih vzorcev enake ali različne (pri 0,05 % tveganju). Značilne razlike med povprečji smo iskali z ANOVA testom z LSD (Least Significant Difference) metodo pri 0,05 % tveganju in s Kruskal-Wallis testom.

Grafično predstavljeni rezultati, ki se med seboj značilno razlikujejo, so označeni z različnimi črkami in $\times$ (različne p-vrednosti pri 0,05 % tveganju). Le-te smo pri večini parametrov določili s pomočjo Multiple Range testov v programu Statgraphics Plus 4.0.

Povezanost med dvema parametroma smo ugotavljali s pomočjo Pearsonovega korelacijskega koeficienta. Verjetnost značilnih razlik smo označili kot: * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, *** $p \leq 0,001$.

Podatke o abiotских dejavnikih in fizioloških parametrih smo združili za posamezen parameter za obdobje 2004–2006. Podatke smo predstavili v obliki okvirjev z ročaji (boxplot): okvirji predstavljajo 1. kvartil, mediano in 3. kvartil; ročaji predstavljajo podatke, ki ne izstopajo; $\square$ izstopajoči podatki.



- Okvir s 1. kvartilom (1. k), mediano (m) in 3. kvartilom (3. k): $3.k - 1. k = H$
- Ročaji z neizstopajočimi podatki: $1. k - 1,5 H < x < 1. k$ in/ali $3. k < x < 3. k + 1,5 H$
- Izstopajoči podatki ($\ominus$): $x < 1. k - 1,5 H$ in/ali $x > 3. k + 1,5 H$

Slika 3.5: Obrazložitev grafičnega prikaza rezultatov v obliki škatle z ročaji (boxplot).

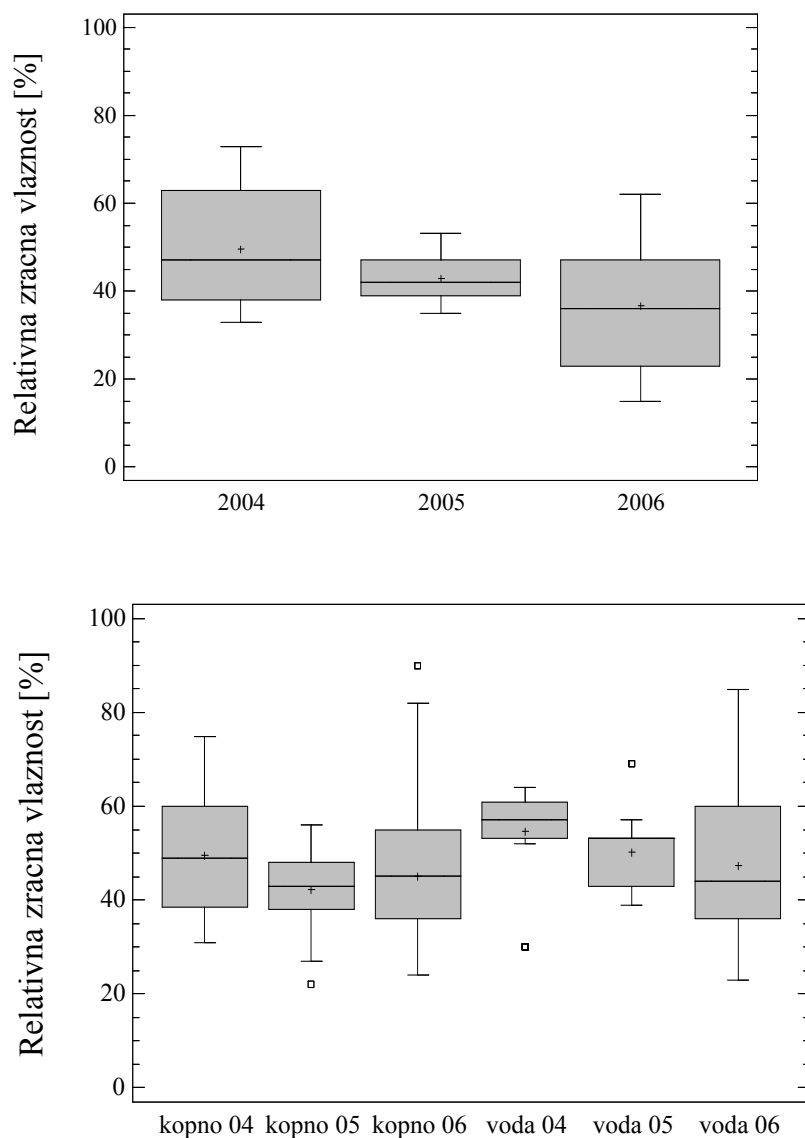
Figure: 3.5: Boxplot explanation.

4. REZULTATI

4.1. MERJENJE ABIOTSKIH DEJAVNIKOV V ČASU MERITEV

Vrednosti relativne zračne vlažnosti so se v času meritev v vseh treh letih pri trstu na kopnem in v vodi gibale v povprečju nekje med 40 in 60 % (slika 4.1 a). Največja nihanja v vrednostih smo opazili pri navadnem trstu na kopnem in v vodi v letu 2006. Nekoliko višje vrednosti so bile v vseh treh letih izmerjene pri trstu, ki je uspeval v vodi. Pri togem šašu (slika 4.1 b) so bile vrednosti vsako sezono nekoliko nižje. V povprečju najvišje vrednosti smo izmerili leta 2004.

a)

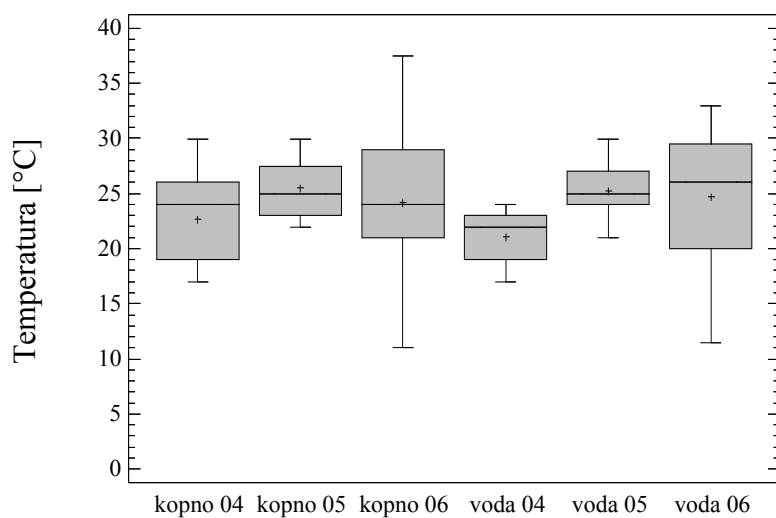


Slika 4.1: Vrednosti relativne zračne vlažnosti pri trstu na kopnem in v vodi (a) in pri šašu (b) v času meritev v obdobju 2004–2006; (n = 12–18).

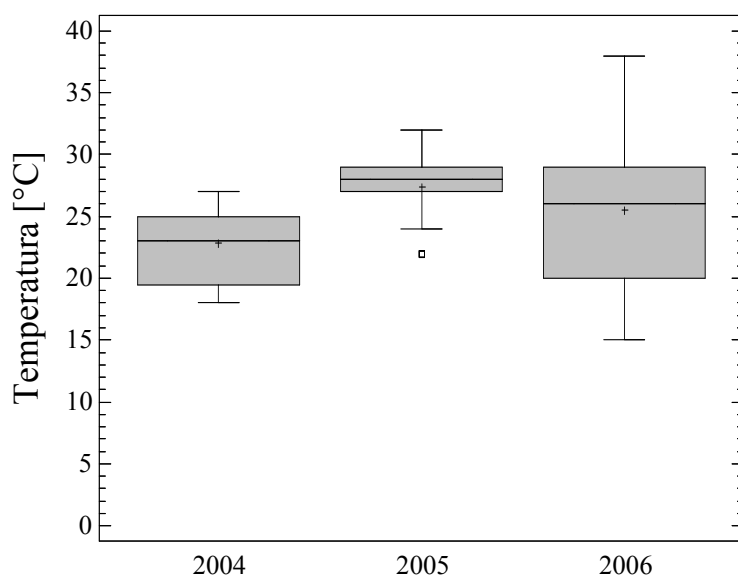
Figure 4.1: Relative humidity in reed stands in terrestrial and aquatic habitat (a) and in sedge stands (b) during measurements in 2004–2006; (n = 12–18).

Največji razpon v vrednostih temperature (minimalnih in maksimalnih) pri trstu na kopnem in v vodi je opaziti v sezoni 2006 (slika 4.2 a). Vrednosti temperature so se v povprečju v vseh treh letih gibale med 20–30°C. Podobne rezultate smo dobili pri šašu (slika 4.2 b).

a)



b)



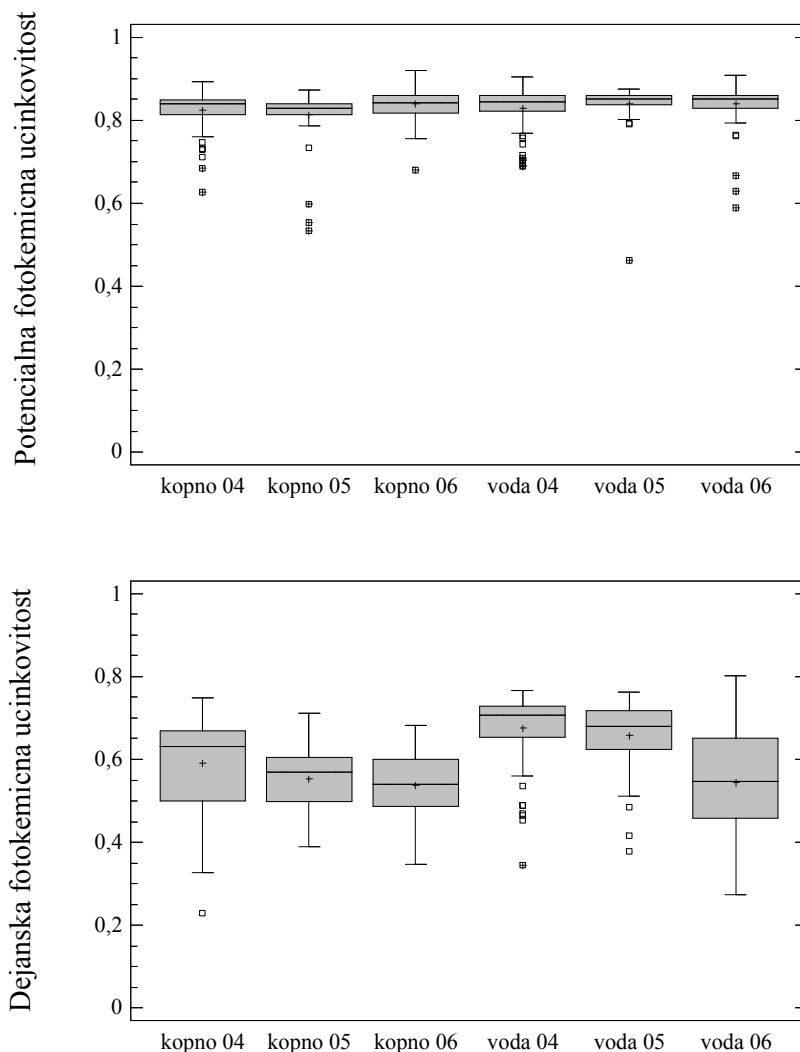
Slika 4.2: Vrednosti temperature pri trstu na kopnem in v vodi (a) in pri šašu (b) v sezonah 2004–2006 zjutraj, opoldan, popoldan. Upoštevane so meritve na štirih različnih višinah: 5, 10, 25, 50 cm; (n = 12–18).

Figure 4.2: Air temperatures in reed stands in terrestrial and aquatic habitat (a) and in sedge stands (b) during measurements in 2004–2006. We considered measurements at four different heights 5, 10, 25, 50 cm above soil surface; (n = 12–18).

4.2. FIZIOLOŠKI PARAMETRI

4.2.1. Dejanska in potencialna fotokemična učinkovitost

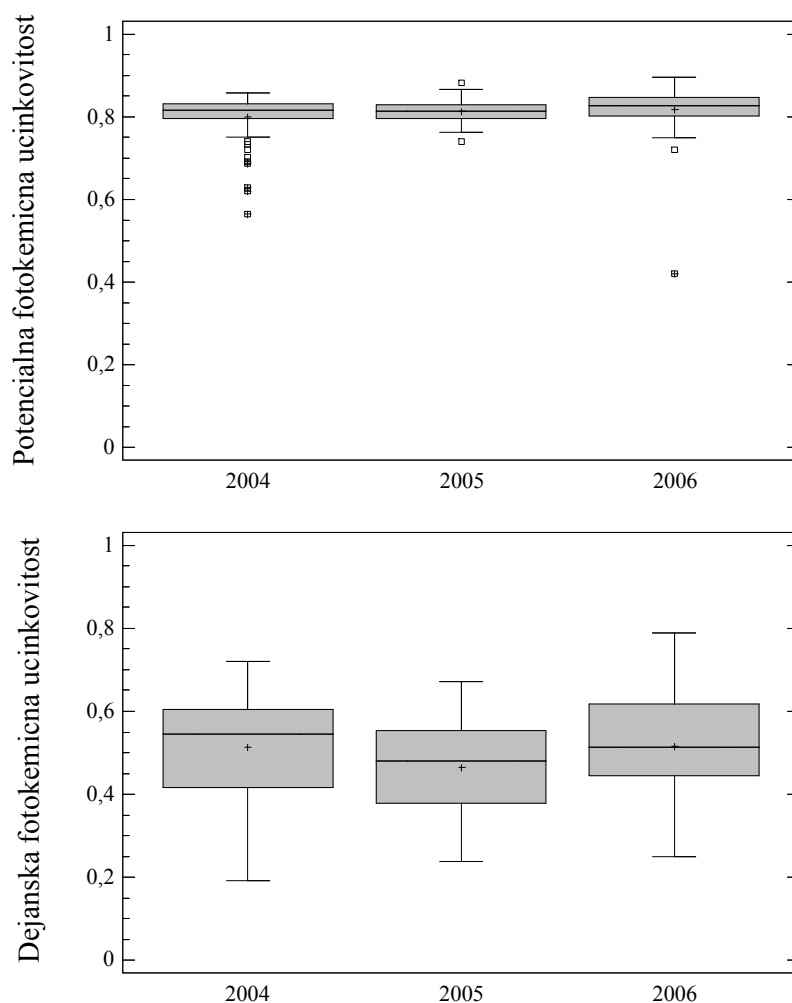
Vrednosti potencialne fotokemične učinkovitosti FSII (F_v/F_m) so bile tako pri vodnih kot pri kopenskih poganjkih v povprečju nad vrednostjo 0,8 (slika 4.3). Vrednosti dejanske fotokemične učinkovitosti FSII (Y) so bile v povprečju višje pri vodnih poganjkih navadnega trsta. Tako pri vodnih kot pri kopenskih poganjkih je opaziti trend zniževanja povprečnih vrednosti dejanske fotokemične učinkovitosti od leta 2004 do leta 2006. Pri potencialni fotokemični učinkovitosti ni opaziti večjih statističnih razlik med vodnimi in kopenskimi poganjki (priloga A, slika A1). Dejanska fotokemična učinkovitost FSII je bila variabilna, vendar ni nikoli dosegla vrednosti 0,8 ali več.



Slika 4.3: Potencialna fotokemična učinkovitost PSII (F_v/F_m) in dejanska fotokemična učinkovitost PSII (Y) pri trstu v vodi in na kopnem v rastni sezoni 2004–2006; ($n = 60-90$).

Figure 4.3: The potential photochemical efficiency of PSII (F_v/F_m) and the actual photochemical efficiency PSII (Y) of reed stands in terrestrial and aquatic habitat in growth seasons 2004–2006; ($n = 60-90$).

Tudi pri šašu smo dobili podobne rezultate. Potencialna fotokemična učinkovitost FSII (F_v/F_m) je bila skozi vse tri sezone podobna, največ odstopanj v posameznih vrednostih je bilo opaziti v prvi sezoni 2004 (slika 4.4). Vrednosti dejanske fotokemične učinkovitosti FSII (Y) so bile v sezoni 2005 najnižje (priloga A, slika A4).



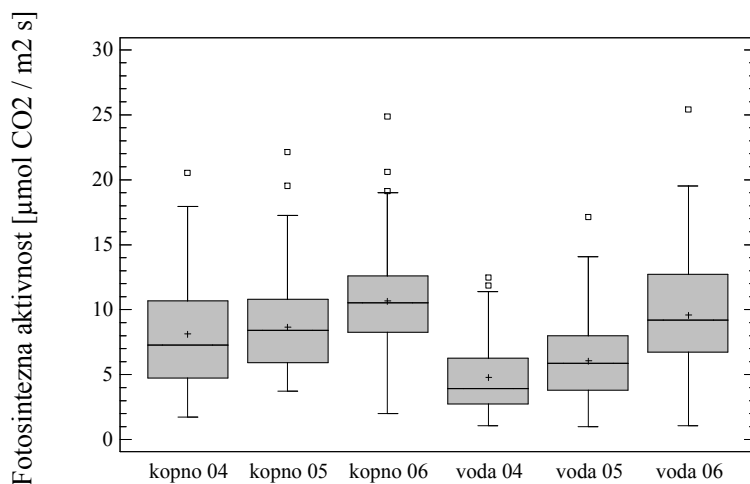
Slika 4.4: Potencialna fotokemična učinkovitost FS II (F_v/F_m) in dejanska fotokemična učinkovitost FS II (Y) pri šašu v rastni sezoni 2004–2006; ($n = 60-90$).

Figure 4.4: The potential photochemical efficiency of PS II (F_v/F_m) and the actual photochemical efficiency PS II (Y) of sedge in growth seasons 2004–2006; ($n = 60-90$).

4.2.2. Neto fotosinteza

Fotosintezna (FS) aktivnost je v povprečju nižja pri vodnih poganjkih trsta, razen v sezoni 2006, kjer so si vrednosti kopenskih in vodnih poganjkov bolj podobne kot v prejšnjih dveh sezonah (slika 4.5). Iz povprečij neto FS vidimo (priloga A, slika A5), da je bilo nekoliko več statistično značilnih razlik med vodnimi in kopenskimi poganjki pri opoldanskem merjenju v letih 2004 in 2006. V letu 2004 so bile zelo visoke opoldanske vrednosti pri kopenskih poganjkih trsta 26. julija, ki zelo izstopajo in so verjetno posledica težav z umiritvijo infrardečega plinskega analizatorja ali pa posledica nekoliko nižjega

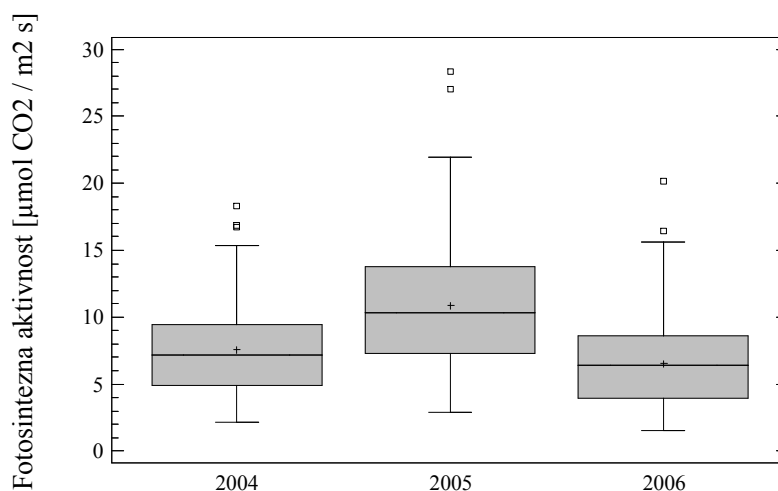
vodostaja kot v prvem delu sezone. Opazili smo tudi, da so vrednosti tekom dneva padale in bile največkrat najnižje v popoldanskem času. V letu 2005 so bile vrednosti neto fotosinteze višje v prvem delu sezone in so se počasi zniževale proti koncu sezone. Zadnjo sezono 2006 so bile pri kopenskih poganjkih največje vrednosti FS največkrat izmerjene zjutraj.



Slika 4.5: Intenziteta neto fotosinteze pri trstu v vodi in na kopnem v rastni sezoni 2004 –2006; (n = 120–190).

Figure 4.5: Intensity of net photosynthesis of reeds stands in terrestrial and aquatic habitat in growth seasons 2004–2006; (n = 120–190).

Na sliki 4.6 vidimo, da je bila fotosintezna aktivnost pri šašu najvišja v letu 2005, v preostalih dveh letih pa so si bile vrednosti podobne. V sezoni 2004 je pri zadnjih štirih meritvah opazno upadanje neto fotosinteze od jutra do večera, medtem ko je v preostalih dveh letih dnevni potek fotosinteze bolj neenakomerno razporejen, čeprav so se v zadnji sezoni največje vrednosti največkrat pojavile zjutraj (priloga A, slika A6).

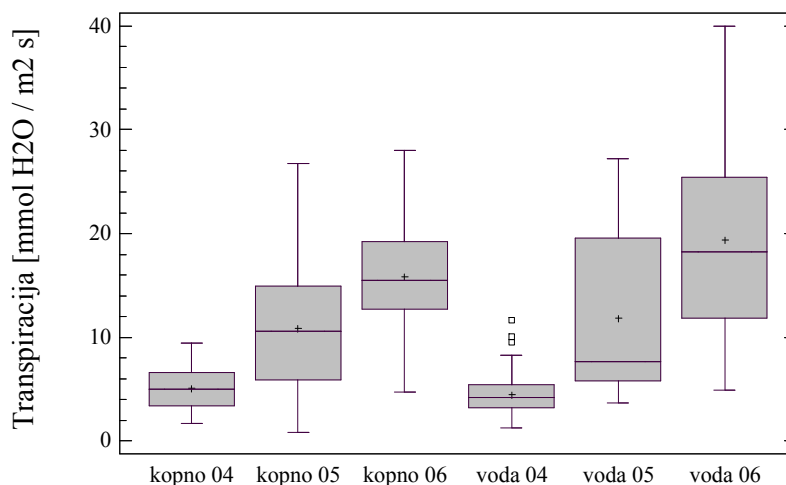


Slika 4.6: Intenziteta neto fotosinteze pri šašu v rastni sezoni 2004–2006; (n = 120–190).

Figure 4.6: Intensity of net photosynthesis of sedge in growth seasons 2004–2006; (n = 120–190).

4.2.3. Transpiracija

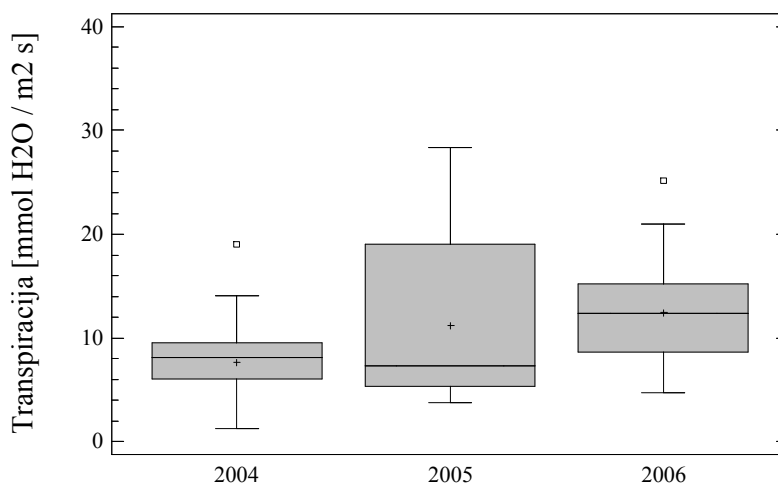
Pri trstu so bile vrednosti transpiracije tako pri kopenskih kot pri vodnih poganjkih vsako leto nekoliko višje (slika 4.7). Najvišje vrednosti so bile dosežene v letu 2006 pri vodnih poganjkih. Leta 2004 so vrednosti skozi celo sezono zelo malo varirale (priloga A, slika A7). Pri kopenskih poganjkih je v sezoni 2004 opaziti, da so bile, razen 30. junija, najvišje opoldanske vrednosti transpiracije. V sezoni 2005 se najvišje vrednosti tako pri kopenskih kot pri vodnih poganjkih pojavijo pri opoldanskih ali popoldanskih meritvah, opazno pa je tudi povišanje vrednosti transpiracije pri meritvah v zadnjem delu sezone (14. avgust in 2. september). Zadnje leto pa so bile najvišje vrednosti največkrat dosežene že dopoldan ali pa v času opoldanskih meritev.



Slika 4.7: Transpiracija pri trstu v vodi in na kopnem v rastni sezoni 2004–2006; (n = 60–75).

Figure 4.7: Transpiration reed stands in terrestrial and aquatic habitat in growth seasons 2004–2006; (n = 60–75).

Pri šašu se povprečne vrednosti transpiracije v sezonah 2004 in 2005 niso veliko razlikovale med seboj. Največji razpon vrednosti smo opazili v sezoni 2005, zadnjo sezono pa smo izmerili največje povprečne vrednosti transpiracije. Podobno kot pri trstu, so se vrednosti v letu 2004 malo spreminjale. Nizke vrednosti v primerjavi z drugimi so bile dosežene 7. junija zjutraj in 26. julija pri opoldanskih meritvah (priloga A, slika A8). Prav tako so leta 2005 opazne najvišje vrednosti pri zadnjih dveh meritvah (14. avgust in 2. september). V sezoni 2006 pa so jutranje vrednosti tiste, ki so bile najvišje.

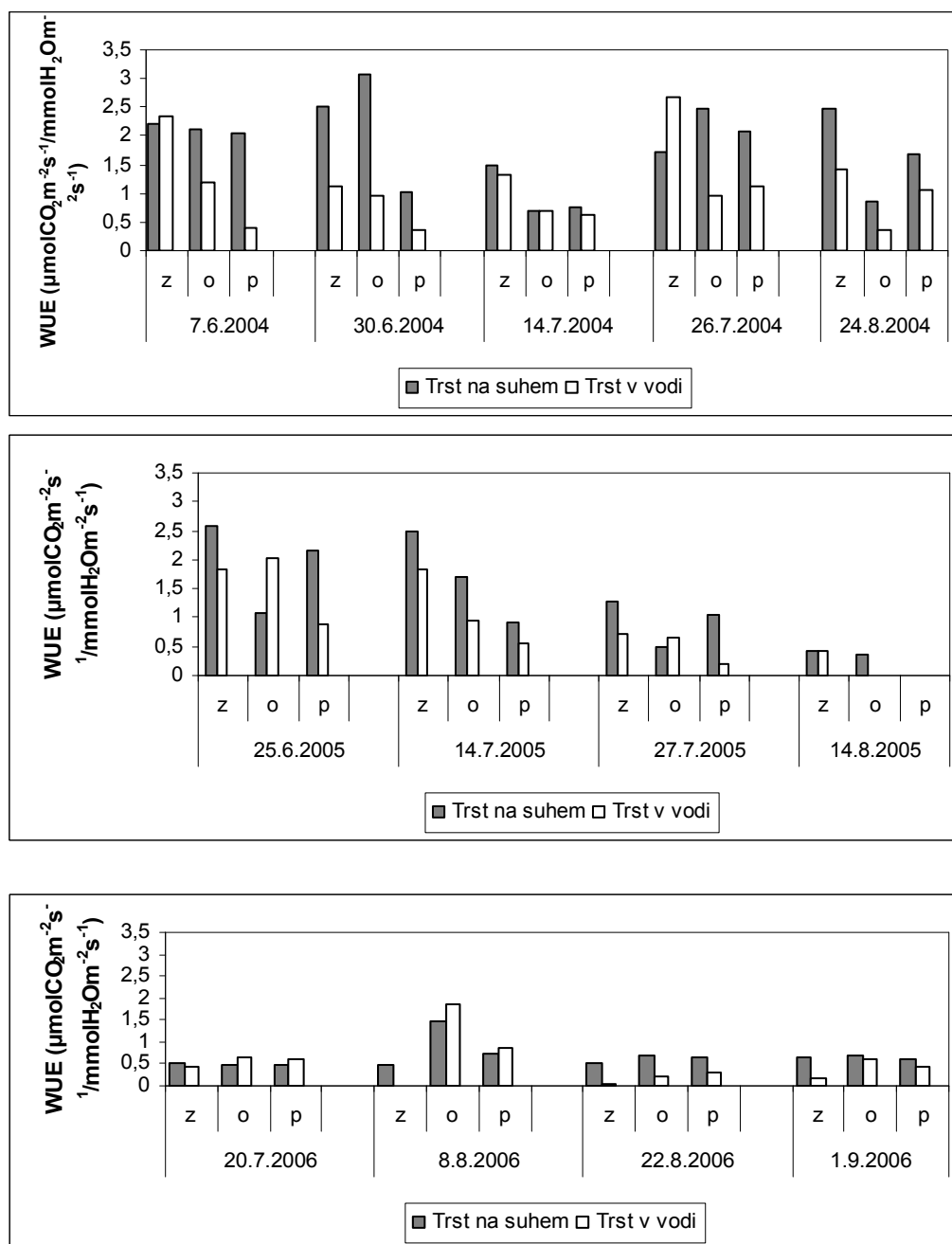


Slika 4.8: Transpiracija pri šašu v rastni sezoni 2004–2006; (n = 60–75).

Figure 4.8: Transpiration of sedge in growth seasons 2004–2006; (n = 60–75).

4.2.4. Učinkovitost izrabe vode (UIV)

V sezoni 2004 so bile višje vrednosti UIV izračunane pri kopenskih poganjkih z izjemo jutranje vrednosti 26. 7. 04 pri vodnih poganjkih, ki je bila v primerjavi z drugimi vrednostmi pri vodnih poganjkih visoka (slika 4.9). V sezoni 2005 so bile tudi višje vrednosti pri kopenskih poganjkih, v sezoni 2006 pa so bile vrednosti UIV nižje kot v ostalih dveh letih, izjema je bila opoldanska meritev 8. avgusta tako pri vodnih kot pri kopenskih poganjkih, vendar nismo zasledili velikih dnevnih in sezonskih nihanj med rezultati.

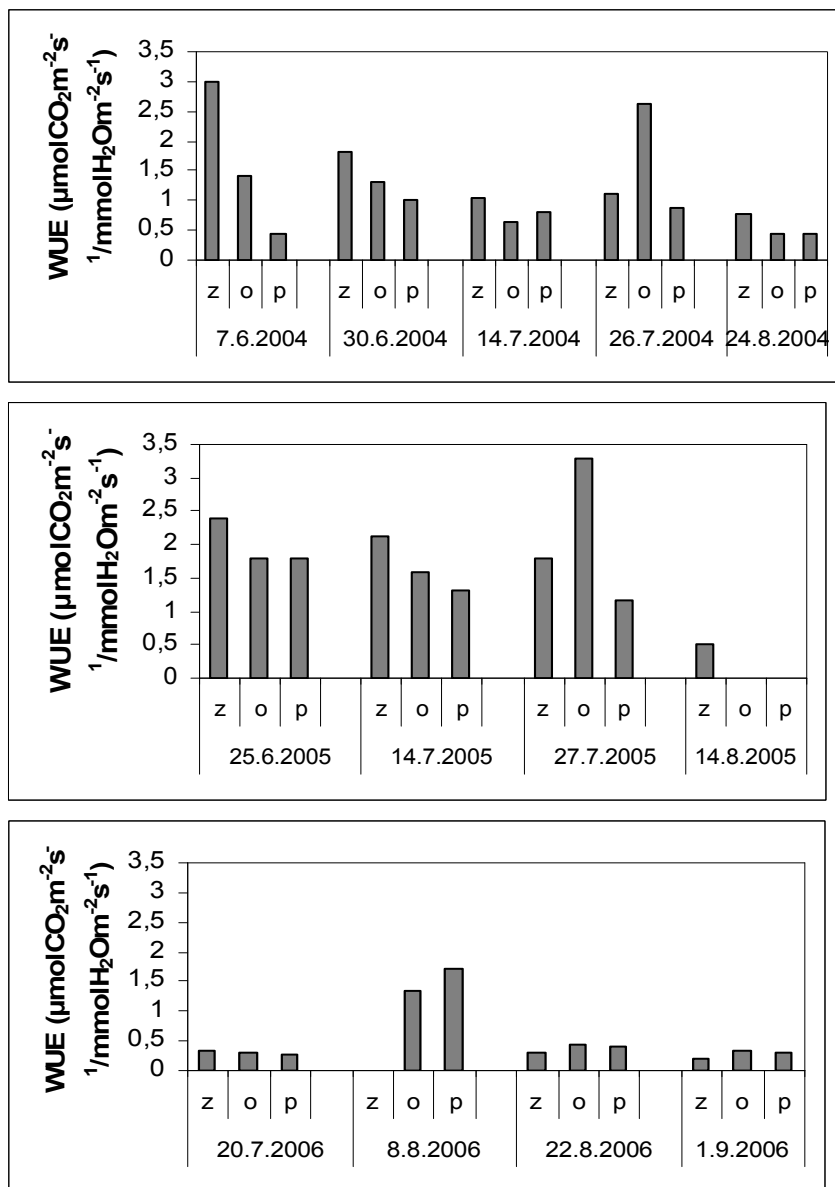


Slika 4.9: Učinkovitost izrabe vode pri trstu na kopnem in v vodi v rastni sezoni 2004–2006 zjutraj, opoldan, popoldan. Podatki so aritmetične sredine $\pm$ SD ($n = 5$); Anova; 95 % LSD metoda oz. Kruskal-Wallisov test.

Figure 4.9: Water use efficiency of reed stands in terrestrial and aquatic habitat in growth seasons 2004–2006 in the morning, at midday, in the afternoon. Data are averages $\pm$ SD ($n = 5$); Anova; 95 % LSD method or Kruskal-Wallis test.

Pri šašu je v sezoni 2004–2005 opaziti najvišje vrednosti UIV zjutraj, medtem ko sta bili ostali dve vrednosti (opoldan in popoldan) praviloma nižji, razen 26. julija 2004 in 27.

julija 2005, ko sta opoldanski vrednosti zelo izstopali (slika 4.10). V sezoni 2006 so se zopet pojavile zelo nizke vrednosti, izjema je bil zopet 8. avgust z najvišjimi vrednostmi.



Slika 4.10: Učinkovitost izrabe vode pri šašu v rastni sezoni 2004–2006 zjutraj, opoldan, popoldan. Podatki so aritmetične sredine ± SD (n = 5); enosmerna Anova; 95 % LSD metoda oz. Kruskal-Wallisov test.

Figure 4.10: Water use efficiency of sedge in growth seasons 2004–2006 in the morning, at midday, in the afternoon. Data are averages ± SD (n = 5); Anova; 95 % LSD method or Kruskal-Wallis test.

4.3. POVEZANOST ABIOTSKIH DEJAVNIKOV IN FIZIOLOŠKIH PARAMETROV RASTLIN

S pomočjo izračunavanja Pearsonovih koeficientov korelacije smo ugotavljali povezave med fiziološkimi značilnostmi rastlin in abiotскими dejavniki. Fotosinteza (FS) je bila pri trstu na kopnem značilno pozitivno povezana s transpiracijo (TR) in vlago, negativno pa s temperaturo (T) (preglednica 4.1). Prav tako smo značilno negativno povezanost določili med potencialno fotokemično učinkovitostjo (Fv/Fm) in T ter vodostajem, značilna pozitivna povezanost pa je bila ugotovljena med (Fv/Fm) in vlago. Dejanska fotokemična učinkovitost (Y) je bila značilno negativno povezana s TR in vodostajem. Pri transpiraciji je bila tudi ugotovljena značilna negativna povezanost z Y in pozitivna z vodostajem.

Preglednica 4.1: Povezanost med fiziološkimi parametri rastlin: FS, potencialna fotokemična učinkovitost PSII (Fv/Fm), dejanska fotokemična učinkovitost PSII (Y), TR in med abiotскими dejavniki: temperatura (T), vlaga in vodostaj pri trstu na kopnem. Pearsonova korelacija: nz (neznačilno) $p > 0,05$; * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$, *** $p \leq 0,001$.

Table 4.1: Correlations between physiological parameters of plants: FS, potential photochemical efficiency of PSII (Fv/Fm), actual photochemical efficiency of PSII (Y), TR and abiotic parameters: temperature (T), relative humidity and water level of terrestrial reeds. Pearson correlation: ns (not significant) $p > 0,05$; * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$, *** $p \leq 0,001$.

	Fv/Fm		Y		TR		T		vlaga		vodostaj	
	p	r	p	r	p	r	p	r	p	r	p	r
FS	nz (0,37)		nz (0,78)		**	0,22	**	-0,23	*	0,19	nz (0,16)	
Fv/Fm			nz (0,06)		nz (0,86)		**	-0,24	**	0,23	*	-0,18
Y					*	-0,21	nz (0,90)		nz (0,44)		**	-0,23
TR							nz (0,65)		nz (0,40)		*	0,19
T									***	-0,73	**	-0,23
vlaga											nz (0,12)	

Pri trstu, ki je uspeval v vodi, je bila fotosinteza značilno pozitivno povezana s T, TR in vodostajem in negativno povezana z vlago in dejansko fotokemično učinkovitostjo (preglednica 4.2). Fv/Fm je bila značilno pozitivno povezana z vlago in negativno z vodostajem. Značilno pozitivno povezavo pri TR smo ugotovili s fotosintezo in vodostajem in negativno z Y. Y je bila značilno negativno povezana kar s tremi parametri: FS, TR in vodostajem in pozitivno z vlago.

Preglednica 4.2: Povezanost med fiziološkimi parametri rastlin: FS, potencialna fotokemična učinkovitost PSII (Fv/Fm), dejanska fotokemična učinkovitost PSII (Y), TR in med abiotičnimi dejavniki: temperatura (T), vlaga in vodostaj pri trstu v vodi. Pearsonova korelacija: nz $p > 0,05$; * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$.

Table 4.2: Correlations between physiological parameters of plants: FS, potential photochemical efficiency of PSII (Fv/Fm), actual photochemical efficiency of PSII (Y), TR and abiotic parameters: temperature (T), relative humidity and water level of reeds in the water. Pearson correlation: ns (not significant) $p > 0,05$; * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$.

	Fv/Fm		Y		TR		T		vlaga		vodostaj	
	p	r	p	r	p	r	p	r	p	r	p	r
FS	nz (0,16)		***	-0,46	***	0,39	*	0,17	***	-0,48	***	0,30
Fv/Fm			nz (0,51)		nz (0,71)		nz (0,31)		***	0,43	*	-0,19
Y					***	-0,53	nz (0,93)		*	0,18	***	-0,35
TR							nz (0,72)		nz (0,34)		***	0,30
T									***	-0,43	*	-0,18
vlaga											*	-0,18

Pri šašu smo ugotovili najmanj korelacijskih povezav med abiotičnimi dejavniki in fiziološkimi značilnostmi (preglednica 4.3). Značilna pozitivna povezanost je bila pri FS ugotovljena samo med TR in vodostajem. Pri TR smo ugotovili samo značilno negativno povezanost s T in pri Y prav tako negativno povezavo z vlago.

Preglednica 4.3: Povezanost med fiziološkimi parametri rastlin: fotosinteza, potencialna fotokemična učinkovitost PSII (Fv/Fm), dejanska fotokemična učinkovitost PSII (Y), transpiracija, in med abiotičnimi dejavniki: temperatura (T), vlaga in vodostaj pri šašu. Pearsonova korelacija: nz $p > 0,05$; * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$.

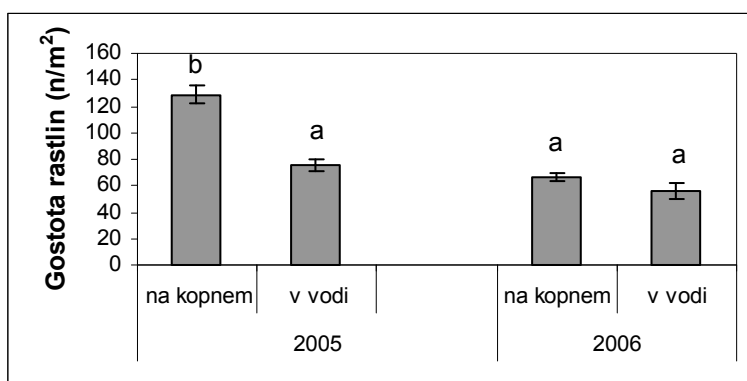
Table 4.3: Correlations between physiological parameters of plants: photosynthesis, potential photochemical efficiency of PSII (Fv/Fm), actual photochemical efficiency of PSII (Y), transpiration and abiotic parameters: temperature (T), relative humidity and water level of sedge. Pearson correlation: ns (not significant) $p > 0,05$; * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$.

	Fv/Fm		Y		TR		T		vlaga		vodostaj	
	p	r	p	r	p	r	p	r	p	r	p	r
FS	nz (0,79)		nz (0,30)		**	0,22	nz (0,18)		nz (0,30)		***	0,35
Fv/Fm			nz (0,60)		nz (0,64)		nz (0,47)		nz (0,07)		nz (0,06)	
Y					nz (0,56)		nz (0,29)		**	-0,24	nz (0,55)	
TR							***	-0,32	nz (0,51)		nz (0,73)	
T									***	-0,72	*	-0,18
vlaga											nz (0,25)	

4.4. INDIKATORJI PRODUKTIVNOSTI

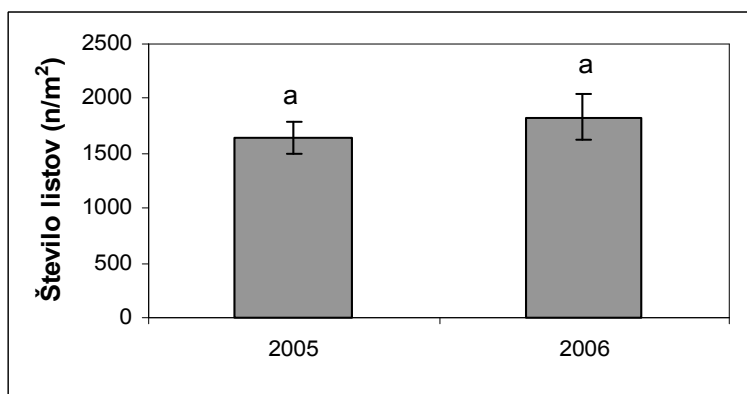
4.4.1. Gostota rastlin

V letu 2005 in 2006 smo pri trstu, ki je uspeval na kopnem ugotovili večjo gostoto rastlin na m^2 v primerjavi s trstom, ki je uspeval v vodi. Značilno največja gostota rastlin trsta je bila v letu 2005 na kopnem (129 n/m^2) (slika 4.11). Pri šašu pa smo nekoliko večjo gostoto listov izmerili v zadnji sezoni 2006, vendar med obema sezonama ni bilo statistično značilnih razlik (slika 4.12).



Slika 4.11: Gostota rastlin pri trstu na kopnem in v vodi v rastni sezoni 2005–2006; različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p \leq 0,05$; Anova; 95% LSD metoda oz. Kruskal-Wallisov test.

Figure 4.11: Density of plants in reed stands in terrestrial and aquatic habitat in growth seasons 2005–2006; letters indicate differences between sampling sites ($p \leq 0,05$); Anova; 95% LSD method or Kruskal-Wallis test.

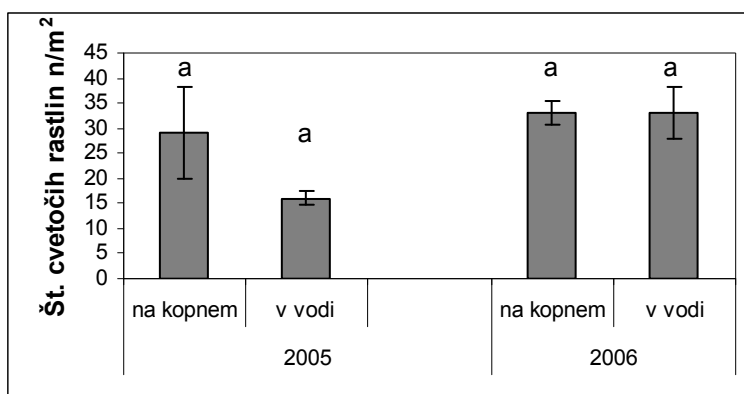


Slika 4.12: Število listov pri šašu v rastni sezoni 2005–2006; različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p \leq 0,05$; Anova; 95 % LSD metoda oz. Kruskal-Wallisov test.

Figure 4.12: The number of leaves of sedge in growth seasons 2005–2006; letters indicate differences between sampling sites ($p \leq 0,05$); Anova; 95 % LSD method or Kruskal-Wallis test.

4.4.2. Število cvetočih rastlin

V obeh sezonah ni bilo ugotovljenih statistično značilnih razlik med številom cvetočih rastlin pri trstu, ki je uspeval na kopnem in v vodi (slika 4.13). Prvo leto je nekoliko več rastlin cvetelo med poganjki, ki uspevajo na kopnem, v letu 2006 pa smo tako pri trstu v vodi kot na kopnem prešteli enako število cvetov.

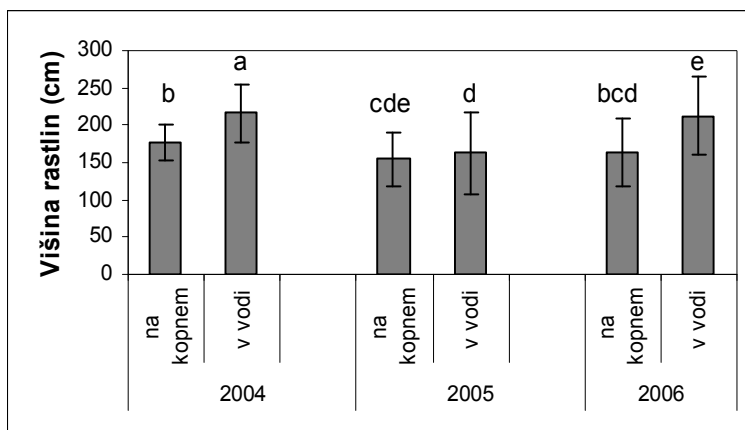


Slika 4.13: Število cvetočih rastlin pri trstu na kopnem in v vodi v rastni sezoni 2005–2006; različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p \leq 0,05$; Anova; 95 % LSD metoda oz. Kruskal-Wallisov test.

Figure 4.13: The number of flowers in reeds from in terrestrial and aquatic habitat in growth seasons 2005–2006; letters indicate differences between sampling sites ($p \leq 0,05$); Anova; 95 % LSD method or Kruskal-Wallis test.

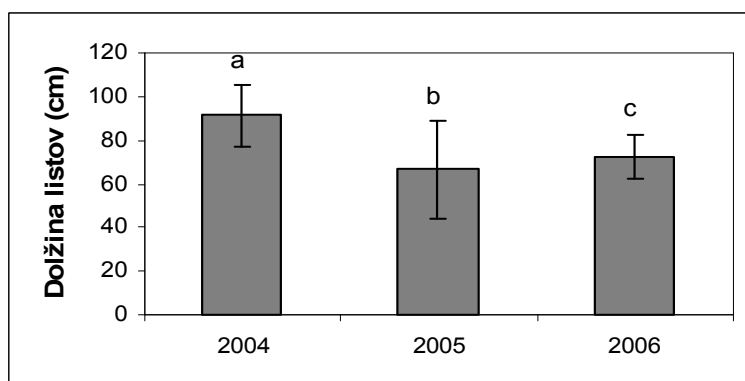
4.4.3. Višina trsta in dolžina listov pri šašu

Pri primerjanju višine rastlin trsta so bile ugotovljene statistično značilne razlike med posameznimi sezonami in med rastlinami, ki uspevajo na kopnem in v vodi (slika 4.14). Značilno najvišji je bil v vseh treh sezonah trst, ki je uspeval v vodi. Najvišje vrednosti v vseh treh sezonah smo izmerili v prvi sezoni 2004 na obeh rastiščih (voda, kopno) in najnižje vrednosti v drugi sezoni 2005. Do podobnih rezultatov smo prišli pri merjenju dolžine listov pri šašu (slika 4.15). Najvišje vrednosti smo izmerili v prvi in najnižje v drugi sezoni. Med vsemi tremi leti so opazne statistično značilne razlike med dolžinami listov.



Slika 4.14: Višina rastlin pri trstu na kopnem in v vodi v rastni sezoni 2004–2006. Podatki so aritmetične sredine $\pm$ SD ($n = 40\text{--}125$); Anova; 95 % LSD metoda oz. Kruskal–Wallisov test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p \leq 0,05$.

Figure 4.14: Shoot height of reeds from terrestrial and aquatic habitat in growth seasons 2004–2006. Data represent the arithmetic mean $\pm$ SD ($n = 40\text{--}125$); Anova; 95 % LSD method or Kruskal–Wallis test. Letters indicate differences between sampling sites ($p \leq 0,05$).

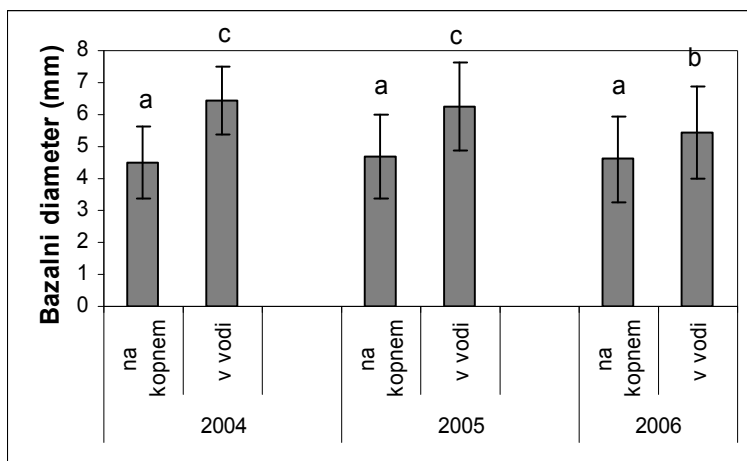


Slika 4.15: Dolžina listov pri šašu v rastni sezoni 2004–2006. Podatki so aritmetične sredine $\pm$ SD ($n = 116/1626/1832$); Anova; 95 % LSD metoda oz. Kruskal–Wallis test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p \leq 0,05$.

Figure 4.15: Leaves length of sedge in growth seasons 2004–2006. Data represent the arithmetic mean $\pm$ SD ($n = 116/1626/1832$); Anova; 95 % LSD method or Kruskal–Wallis test. Letters indicate differences between sampling sites ($p \leq 0,05$).

4.4.4. Bazalni diamater

Značilno večje vrednosti v širini bazalnega diametra so bile izmerjene pri rastlinah, ki so uspevale v vodi v vseh treh sezonah (slika 4.16). Med posameznimi rastišči so bile zopet ugotovljene statistično značilne razlike.

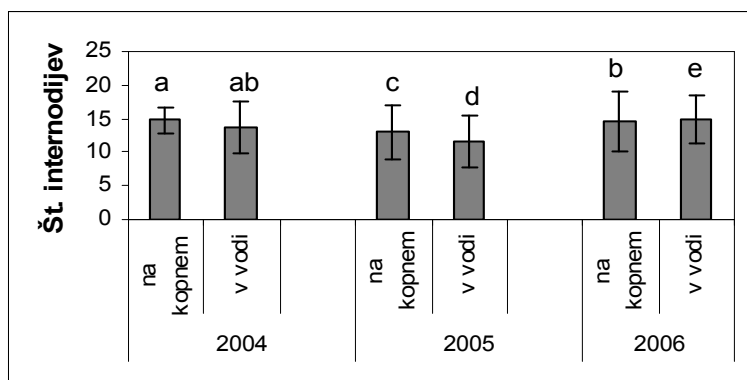


Slika 4.16: Bazalni diameter pri trstu na kopnem in v vodi v rastni sezoni 2004–2006. Podatki so aritmetične sredine $\pm$ SD ($n = 40\text{--}125$); Anova; 95 % LSD metoda oz. Kruskal-Wallisov test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p \leq 0,05$.

Figure 4.16: The basal culm diameter of reeds from terrestrial and aquatic habitat in growth seasons 2004–2006. Data represent the arithmetic mean $\pm$ SD ($n = 40\text{--}125$); Anova; 95 % LSD method or Kruskal-Wallis test. Letters indicate differences between sampling sites ($p \leq 0,05$).

4.4.5. Število internodijev

Število internodijev je malo variralo v opazovanih sezonah, čeprav smo ugotovili statistično značilne razlike med posameznimi sezonami in rastišči. Najmanjše število internodijev smo prešteli v sezoni 2005.



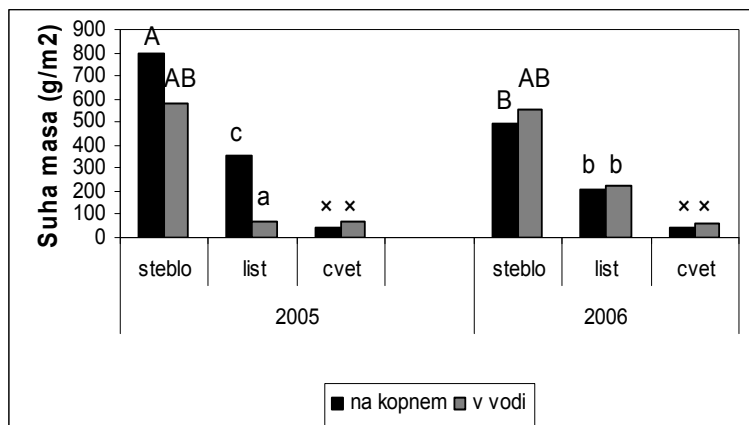
Slika 4.17: Število internodijev pri trstu na kopnem in v vodi v rastni sezoni 2004 –2006. Podatki so aritmetične sredine $\pm$ SD ($n = 40\text{--}125$); Anova; 95 % LSD metoda oz. Kruskal-Wallisov test. Različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p \leq 0,05$.

Figure 4.17: Number of internodes in reeds from terrestrial and aquatic habitat in growth seasons 2004 –2006. Data represent the arithmetic mean $\pm$ SD ($n = 40\text{--}125$); Anova; 95 % LSD method or Kruskal – Wallis test. Letters indicate differences between sampling sites ($p \leq 0,05$).

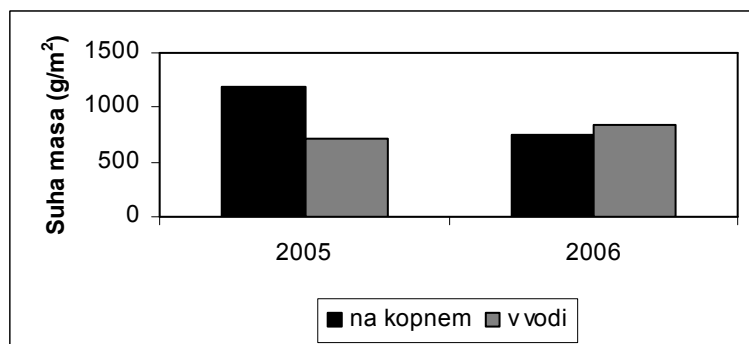
4.4.6. Suha masa trsta in šaša

Največji delež suhe mase je pri trstu pripadal stebelu (slika 4.18). Suha masa stebela na kopnem je bila v letu 2005 značilno večja od suhe mase na kopnem 2006. V vodi so bile v obeh letih vrednosti podobne. Vendar pa smo opazili, da je bila suha masa stebela v vodi leta 2006 nekoliko večja kot na kopnem. Suha masa listov v vodi je bila v sezoni 2005 nižja in statistično različna od listov na kopnem, v sezoni 2006 pa nekoliko višja od suhe mase listov na kopnem. Pri suhi masi cvetov ni bilo opaziti statistično značilnih razlik. V obeh sezonah so imeli nekoliko večjo suho maso cvetovi v vodi. Večje razlike v skupni suhi masi smo opazili v prvi sezoni, medtem ko leta 2006 ni bilo večjih razlik med skupno suho maso trsta, ki je uspeval na kopnem in v vodi.

a)



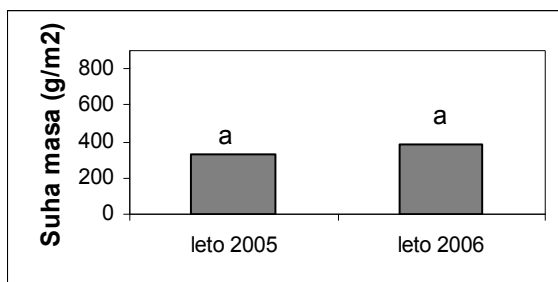
b)



Slika 4.18: Suha masa steblov, listov in cvetov (a) in skupna suha masa pri trstu na kopnem in v vodi (b) v rastni sezoni 2005–2006. Anova; 95 % LSD metoda oz. Kruskal-Wallisov test. Različne oznake označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ (A,B – steblo; a,b,c – list; x – cvet).

Figure 4.18: Dry mass of stems, leaves and flowers (a) and the total dry mass of reeds (b) from terrestrial and aquatic habitat in growth seasons 2005–2006. Anova; 95 % LSD method or Kruskal-Wallis test. Letters indicate differences between sampling sites ($p \leq 0,05$).

Suha masa listov pri šašu je bila nekoliko višja v sezoni 2006, vendar razlika ni bila statistično značilna (slika 4.19). Pri šašu v vseh treh opazovanih sezonah nismo opazili faze cvetov, zato lahko sklepamo, da se je njegov razvoj že predhodno zaključil.

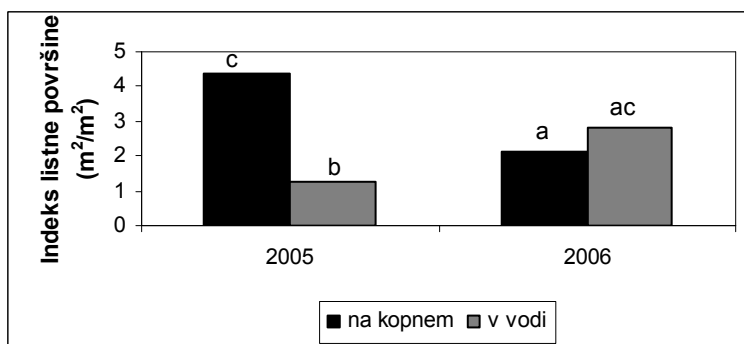


Slika 4.19: Suha masa listov pri šašu v rastni sezoni 2005–2006. Anova; 95 % LSD metoda oz. Kruskal-Wallisov test. Različne oznake označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$.

Figure 4.19: Dry mass of leaves of sedge in growth seasons 2005–2006. Anova; 95 % LSD method or Kruskal-Wallis test. Letters indicate differences between sampling sites ($p \leq 0,05$).

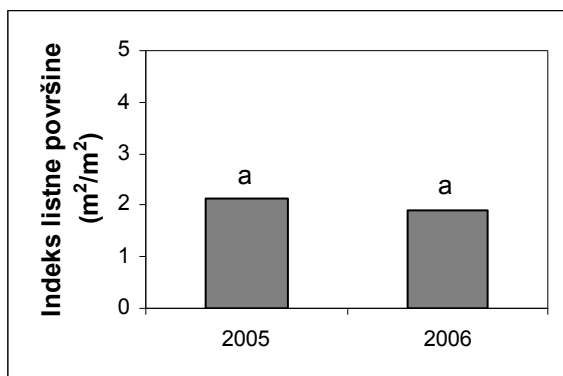
4.4.7. Indeks listne površine

Največji indeks listne površine je imel trst na kopnem v letu 2005, sledi trst v vodi in na kopnem 2006, najmanjši listni indeks pa je imel trst v vodi v sezoni 2005. Pri šašu se vrednosti obeh let med seboj niso veliko razlikovale in med njima ni bilo statističnih razlik, medtem ko smo pri trstu v prvi sezoni opazili statistično značilne razlike.



Slika 4.20: Indeks listne površine pri trstu na kopnem in v vodi v rastni sezoni 2005–2006. Anova; 95 % LSD metoda oz. Kruskal-Wallisov test. Različne oznake označujejo statistično značilno razliko pri $p \leq 0,05$.

Figure 4.20: Specific leaf area reeds from terrestrial and aquatic habitat in growth seasons 2005–2006. Anova; 95 % LSD method or Kruskal-Wallis test. Letters indicate differences between sampling sites ($p \leq 0,05$).



Slika 4.21: Indeks listne površine pri šašu v rastni sezoni 2005–2006. Anova; 95 % LSD metoda oz. Kruskal-Wallisov test. Različne oznake označujejo statistično značilno razliko pri $p \leq 0,05$.

Slika 4.21: Specific leaf area of sedge in growth seasons 2004–2006. 95 % LSD method or Kruskal-Wallis test. Letters indicate differences between sampling sites ($p \leq 0,05$).

5. RAZPRAVA

Močvirja predstavljajo pomemben ekosistem z edinstvenimi habitati, ki jih naseljujejo številni organizmi. Prispevajo tudi k ohranitvi globalne biodiverzitete in so pod zaščito evropskih in svetovnih konvencij in zakonodaje. V prejšnjem stoletju je bilo veliko močvirij degradiranih, predvsem zaradi stopnjevanja kmetijstva in slabega upravljanja z vodami. Za naravna močvirja, kot je Cerknško jezero, so značilna velika sezonska nihanja nivoja vode – lahko so popolnoma poplavljeni v določenih delih leta, občasno pa presihajo. Toleranca oziroma občutljivost na ta dva ekstrema imata odločilno vlogo pri razporeditvi vrst (Pagter in sod., 2005). Močvirske rastline so prilagojene na različne globine vode in conacija emergentnih močvirskih makrofitov je v glavnem posledica morfoloških in fizioloških prilagoditev. S prilagoditvami se rastline izognejo pomanjkanju O₂ zaradi poplav in razvijejo sposobnosti, da prenesejo podaljšana obdobja suše. Pomanjkanje vode neugodno vpliva na rast in metabolizem mnogih rastlin, njihovi odgovori pa so odvisni od obsega in trajanja stresa, genotipa rastline, razvojnega stadija in okoljskih dejavnikov.

5.1. MERITVE AKTIVNOSTI PREISKOVANIH VRST

5.1.1. Fotokemična učinkovitost kot odraz stresa pri rastlinah

Fotosintezni aparat, še posebej FSII, je občutljiv na različne okoljske strese. Poškodba FSII je pogosto prvi dokaz stresa v listih. Fluorescenca nam da vpogled v sposobnost rastline, da tolerira okoljski stres in hkrati tudi v obseg, do katerega stres poškoduje FS aparat. Parametra, ki se najbolj pogosto uporabljata sta potencialna (Fv/Fm) in dejanska (Y) fotokemična učinkovitost FSII kot najbolj zanesljiva indikatorja fotoinhibicije pri rastlinah (Li in sod., 2004). Znižanje potencialne učinkovitosti nam pokaže dejanski (nepovratni) stres pri rastlinah, znižanje dejanske fotokemične učinkovitosti pa trenutni stres. V ugodnih razmerah fluorescenca predstavlja od 2 do 4 % ekscitacijske energije, v stresnih razmerah pa se delež oddane energije v obliki fluorescence bistveno poveča (Trošt - Sedej, 2005).

Vrednosti potencialne fotokemične učinkovitosti, tako pri trstu kot pri šašu, so bile v vseh treh sezonah blizu vrednosti 0,83 in so se malo spreminjale, zato lahko sklepamo, da

spremembe vodostaja ne povzročajo nepovratnih poškodb fotosinteznega aparata pri vrstah, ki uspevajo v spremenljivem okolju. Björkman in Demming sta poročala (1987), da F_v/F_m za rastlino brez fotoinhibicije znaša med 0,8 in 0,83. V poskusih, kjer so bile sadike trsta izpostavljene poplavam, ki so trajale različno dolgo, so pri kontrolnih rastlinah izmerili vrednosti F_v/F_m znotraj vrednosti 0,75–0,85 (Mauchamp in Méthy, 2004). Do podobnih zaključkov so prišli tudi drugi avtorji (Šraj, 2007; Robe in Griffiths 2000; Waldhoff in sod., 2002). Visoke vrednosti odražajo nemoten transport elektronov in visoko fotokemično učinkovitost, vrednosti F_v/F_m nižje od 0,72 pa odražajo fotooksidativne poškodbe FSII.

Padeč F_v/F_m je lahko tudi posledica pomanjkanja vode. Vrednost F_v/F_m pri fižolu je v poskusu močno upadla samo takrat, kadar je rastlina dobila zelo malo vode in ko je vodni potencial listov znašal $-1,9$ Mpa. Sklepali so, da je vpliv vodnega stresa na FSII verjetno posledica zaprtja listnih rež zaradi pomanjkanja vode v tleh v daljšem obdobju. Tudi v raziskavi Pagterja in sod. (2005) je dejanska fotokemična učinkovitost značilno upadla, ko so bile rastline izpostavljene pomanjkanju vode. Pri zaprtju listnih rež v suhih listih je delež CO_2 v kloroplastih upadel. Posledično v C_3 rastlinah oksigenacija ribuloze 1,5 bifosfata narašča in postane glavni ponor za elektrone in zaradi tega upade tudi dejanska fotokemična učinkovitost. V našem primeru so bile v sezoni 2006 julija in v začetku avgusta rastline izpostavljene najnižjemu nivoju vode, vendar jezero v raziskovanem obdobju ni nikoli presahnilo, tako da rastline niso bile podvržene suši. Dejanska fotokemična učinkovitost je bila v primerjavi s prejšnjima sezonama nižja tako pri vodnih kot pri kopenskih poganjkih, kar je lahko posledica nižjega vodostaja predvsem pri vodnih poganjkih in zaprtja listnih rež. Saltmarsh in sod. (2006) poročajo, da jutranje vrednosti F_v/F_m v prvih sedmih dneh, ko so bile rastline izpostavljene pomanjkanju vode, niso pokazale značilnih razlik pri navadnem trstu in pri vrsti *Cladium mariscus* (navadna rezika). Navadna rezika je imela povprečno jutranjo vrednost F_v/F_m 0,82 in navadni trst 0,81. Posledice fotoinhibicije so se kazale kot nekoliko nižje popoldanske vrednosti, 0,79 za vrsto *C. mariscus* in 0,78 za navadni trst. Posledice pomanjkanja vode so se pri navadnem trstu pokazale prej kot pri navadni reziki. Proti koncu poskusa so se številni listi pri trstu zavihali navzgor. Ponovno namakanje je bilo učinkovito pri obeh vrstah in je odpravilo motnje FSII (Saltmarsh in sod., 2006). Pri togem šašu v našem primeru je bila

dejanska fotokemična učinkovitost v letu 2006 nekoliko višja kot v ostalih dveh letih, iz česar lahko sklepamo, da je togi šaš dobro prilagojen na uspevanje v spremenljivem okolju.

Dinka in sod. (2008) so v svojih raziskavah prišli do zaključkov, da so meritve Fv/Fm pri trstu blizu optimalne vrednosti in to nam kaže na dober fiziološki status lista, kar smo ugotovili tudi v naši raziskavi. Znižanje Fv/Fm v Cerknškem jezeru oktobra 2005 nam pove, da je prišlo do poškodb v reakcijskem centru FSII (Dinka in sod., 2008). To je lahko posledica visokega nivoja vode med sezono, kar prepreči oksidativne procese v koreninah trsta (White in Ganf, 2002) ali pozne sezone, ko se začne staranje. Podobno bi lahko sklepali v našem primeru. Leta 2005 v obdobju raziskav, ko je bilo več vode kot leta 2004, so bile vrednosti Y nižje, vendar višje kot leta 2006, ko je bil nivo vode najnižji. Tudi Mauchamp in Methy (2004) sta poročala, da je bila Fv/Fm trsta prizadeta zaradi potopitve in je kazala spremenljiv nivo okrevanja, ki je bil odvisen od trajanja in stopnje potopitve. Dejanska fotokemična učinkovitost FSII je bila na splošno nižja kot Fv/Fm, kar je bila posledica začasnega stresa med opoldansko depresijo. Učinek kratkotrajne fotoinhibicije naj bi bil reverzibilen (Mauchamp in Méthy, 2004).

5.1.2. Fotosinteza

Fiziološki in biokemijski procesi, kot je FS, imajo hiter odziv na spremembe v okoljskih dejavnikih, medtem ko se rast in razmnoževanje, ki sta končna produkta FS, počasneje odzivata na okoljske spremembe. Zato je FS eden izmed procesov, kjer se prilagoditve na okoljske razmere hitro zazna (Lessmann in sod, 2001).

V naši raziskavi na Cerknškem jezeru so bile v povprečju najnižje vrednosti FS tako pri kopenskih kot pri vodnih poganjkih navadnega trsta v prvih dveh sezonah 2004 in 2005, ko je bil v času meritev vodostaj nekoliko višji kot zadnjo sezono. Zalitje tal z vodo vodi do zmanjšanja izmenjave plinov med koreninami in atmosfero, kar lahko povzroči anoksične razmere okoli korenin. Pomanjkanje kisika v tleh lahko vodi do motenj fotosinteznih funkcij pri večini vrst. Polno razviti listi imajo ponavadi največjo FS in pri nekaterih zelnatih rastlinah začne kapaciteta FS kmalu upadati in postane vse manjša, ko se rastlina

začne starati. Nižje vrednosti FS v drugem delu sezone 2005 lahko zato pripišemo dokaj visokemu vodostaju (Larcher, 2003).

Na splošno je obseg stomatalnih/nestomatalnih fotosinteznih odzivov na reducirane razmere v tleh povezan z intenziteto teh odgovorov in z občutljivostjo vrst na poplave (Li in sod., 2004). FSII je precej odporen na pomanjkanje vode ali na poplave. Poškodbe FSII zaradi teh stresov so sekundarni odraz motenj v metabolizmu rastline. Raziskave pri trajnih in občasnih poplavah pri različnih vrstah, med drugim tudi pri širokolistnem rogozu *Typha latifolia*, so pokazale, da je prišlo zaradi nizkega redoks potenciala do poškodb korenin, do zmanjšanja vodnega potenciala v listih in posledičnočasne redukcije neto FS (Pezeshki, 2001; Larcher, 2003). Proti koncu eksperimenta je bilo opaziti povečanje FS aktivnost. Začetne redukcije po zalitju tal z vodo so značilne za vrste, ki so tolerantne na poplave. Pripišemo jih lahko omejitvi difuzije zaradi zaprtja listnih rež in motenj metabolizma (Li in sod., 2004). V sezoni 2006 so bile vrednosti FS pri trstu na kopnem in v vodi nekoliko večje kot v prvih dveh sezonah. Li in sod. (2004) so ugotovili, da pri rastlinah, ki so zelo odporne na poplave, izboljšanje delovanja rež in obnova Rubisca lahko pripelje do zvišanja neto FS. To se je verjetno zgodilo tudi v našem primeru, ker so bile vrednosti vodostaja v začetku meritev leta 2006 zelo nizke, nato pa je sledilo povišanje vodostaja.

Največje vrednosti FS smo tako pri navadnem trstu kot pri togem šašu največkrat izmerili pri dopoldanskih meritvah, iz česar lahko sklepamo, da so bile v dopoldanskem času že večinoma ugodne razmere za nemoteno FS. Za večino C3 rastlin je temperaturni optimum med 15°C–30°C, širina optimuma pa je vrstno specifična. Pri temperaturi nad optimalnimi razmerje CO₂ in O₂ upade, zniža se karboksilacijska učinkovitost encima RuBP karboksilaze/oksigenaze in pride do inhibicije fotokemičnega procesa, kar ima za posledico hitro znižanje FS (Larcher, 2003).

Pri navadnem trstu je FS konstantna znotraj večjega razpona – celo ko se pojavi milejši stres. Saltmarsh in sod. (2006) so opazili, da majhne spremembe v nivoju vode niso vplivale na spremembe Fv/Fm, vendar so povzročile povečanje asimilacije CO₂ in stomatarne prevodnosti. Do podobnih ugotovitev smo prišli pri meritvah FS pri togem šašu v sezoni 2005, čeprav je bil takrat vodostaj celotno sezono sorazmerno visok. Vrednosti FS

so bile leta 2005 največje, medtem ko se vrednosti dejanske potencialne učinkovitosti za šaš med vsemi tremi sezonami niso dosti razlikovale. Močvirske vrste, ki so pogosto podvržene poplavam, so prilagojene na nizek nivo O_2 v tleh in pogosto premagajo pomanjkanje z difuzijo iz zračnih v podzemne organe in v okolico korenin. Pagter in sod. (2005) so prišli do ugotovitev, da so bili fotosintezni parametri pri trstu precej nemoteni, tudi kadar je bila razpoložljivost vode zelo nizka. Sklepali so, da je prišlo do zmanjšane asimilacije CO_2 predvsem zaradi zaprtja listnih rež in ne zaradi biokemijskih sprememb, kar kaže na to, da je fotosintezni aparat odporen na vodni stres in ostane nepoškodovan. Pozitivna reakcija trsta na izsušitev tal in odnos med FS in relativno vsebnostjo vode kaže, da trajno nasičenje tal z vodo ni optimalno za to vrsto (Saltmarsh in sod., 2006). To smo lahko ugotovili tudi v naši raziskavi, ker smo izmerili največje vrednosti FS v sezoni 2006, ko je bil vodostaj v prvem delu sezone najnižji, hkrati pa se FS ni znižala tudi proti koncu avgusta, ko je bil dosežen padavinski maksimum za to leto in je vodostaj narastel.

Poleg znižanih aktivnosti in količin Rubisca so upadanje FS pod vodnim stresom v drugih raziskavah prištevali zmanjšani sposobnosti za fotofosforilacijo (Pagter in sod., 2005; Pezeshki, 2001) in inhibiciji sinteze ribuloze bifosfata, kar se nanaša tudi na nižjo vsebnost ATP, kar je posledica izgube ATP-sintaze. Vsebnost klorofila *a* je bila značilno reducirana, medtem ko se vrednosti klorofila *b* niso značilno spremenile, kar je kazalo na večjo občutljivost klorofila *a* (Pezeshki, 2001).

5.1.3. Transpiracija

Voda izhlapeva iz celotne zunanje površine rastline in iz vseh notranjih površin, ki pridejo v stik z zrakom. Pri zadostni preskrbi z vodo se intenzivnost transpiracije poveča z zmanjševanjem relativne zračne vlažnosti in z naraščanjem temperature (Larcher, 2003). S spreminjanjem *T* se eksponentno spreminja tudi saturacijski pritisk vodne pare in relativna zračna vlažnost in s tem deficit vlažnosti. S povečanjem *T* pa se večja tudi *T* lista in s tem evaporacija vode iz notranjosti lista. Dobro merilo oddajanja vode je stomatarna prevodnost, ki je v linearni povezavi s transpiracijo. Herbst in Kappen (1999) sta ugotovila, da je stomatarna prevodnost pri trstu dosegla maksimalne vrednosti poleti opoldan, ko so bile *T* najvišje, zračna vlaga pa najnižja. Upadu prevodnosti proti koncu poletja sledi

ponoven porast proti koncu rastne sezone, ker so listne reže postale bolj toge in so ostale bolj ali manj konstantno odprte. To je lahko tudi razlog za visoke vrednosti TR pri naših zadnjih dveh meritvah pri trstu in šašu v sezoni 2005. Leta 2004 in 2005 so bile največje vrednosti TR izmerjene pri opoldanskih oziroma popoldanskih meritvah, ko se je v večini primerov povečevala T in zmanjševala zračna vlaga ter večala odprtost rež. Zaradi neomejene količine dostopne vode in zaradi specifičnih fizioloških lastnosti trsta je oddajanje vode zelo veliko. Zaradi dopoldanskega zviševanja intenzitete sevanja, T in zniževanja zračne vlage se koncentracijski gradient hitro večja. Listne reže so že kmalu dopoldne polno odprte in stomatarna prevodnost doseže svoj vrh že v dopoldanskih urah in se opoldne začne že zniževati. Večje oddajanje vode je verjetno tudi vzrok manjšim opoldanskim depresijam (Silan, 2008), ki smo jih opazili predvsem v prvem delu zadnje sezone tako pri navadnem trstu kot pri togem šašu.

Pri trstu so tudi ugotovili, da je bila stopnja transpiracije učinkovito kontrolirana s pomočjo listih rež. Vrednosti transpiracije v letu 1992, ki je bilo toplo in suho, so bile pogosto okoli 10 mm dan^{-1} , v sezoni 1993, ki je bila mrzla in mokra, pa skoraj za polovico manjše. Povprečna prevodnost trsta 5 cm s^{-1} v tej raziskavi je presegla vrednosti večine drugih vegetacijskih tipov, tudi v okoliščinah, kjer je veliko vode. Vrednosti, izmerjene v močvirju, kjer prevladuje rogoz *Typha* sp., so bile le okoli 2 cm s^{-1} . Pri nekaterih šaših, ki so uspevali na območju z veliko vode, so se pojavile celo večje vrednosti, kot pri trstu, tudi do 10 cm s^{-1} (Herbst in Kappen, 1999). Visoke vrednosti TR pri trstu se ujemajo tudi z drugimi predhodnimi raziskavami. Ugotovljeno je bilo tudi, da je delež transpiracije skoraj linearno odvisen od relativne vlage, naklon krivulje pa je bil odvisen od sezonsko spreminjajoče se občutljivosti rež.

Ko so rastline izpostavljene vodnemu stresu, se pore hitro zaprejo in pride do upada stomatarne prevodnosti, upočasnijo se transpiracija in pride do znižanja asimilacije CO_2 (Pagter in sod, 2005). Stomatarna prevodnost in FS pri vrsti *Typha domingensis* (rogoz) sta upadli kot odziv na redoks potencial tal. Tako premalo kot preveč vode lahko predstavlja stres za rastlino in lahko povzroči zapiranje listnih rež (Larcher, 2003). V zadnji sezoni 2006 smo predvsem pri vodnih poganjkih trsta opazili precejšen dvig TR proti koncu sezone, ko se je nivo vode po daljšem obdobju nizkega vodostaja ponovno povišal. Do

podobnih rezultatov so prišli Salthmarsh in sod. (2006), ki so ugotovili, da je prevodnost pri trstu upadla, ko je bil dalj časa izpostavljen suši. Popolno okrevanje je dosegel prvi dan po ponovnem zalitju z vodo.

5.1.4. Učinkovitost izrabe vode

Učinkovitost izrabe vode (UIV) je kvantitativna mera za neposredno izmenjavo plinov v listu. Privzem CO_2 poteka skozi pore, obenem pride do izmenjave vodne pare iz celice v okolico. Če rastlina prevzema CO_2 , mora nujno oddati vodo in ko želi reducirati izgubo vode, pride do redukcije privzema CO_2 . UIV se spreminja vedno, ko pride do sprememb v dejavnikih, ki vplivajo na difuzijo. Ko so listne reže popolnoma odprte, je privzem CO_2 omejen bolj kot TR zaradi difuzijske upornosti znotraj lista. Ugoden kompromis med privzemom CO_2 in potrošnjo vode je pri C3 rastlinah dosežen, ko so pore le deloma odprte. Ko so pore skoraj zaprte UIV hitro upade, ker je privzem CO_2 omejen bolj kot TR. Oddajanje vode lahko še vedno poteka skozi kutikulo (Larcher, 2003).

V naravi na razmerje UIV vplivajo različni okoljski dejavniki. V zgodnjih jutranjih urah UIV ponavadi doseže svoj vrh, dokler je zrak še vedno vlažen in FS pri jasni svetlobi doseže svoj maksimum. Med dnevom z naraščajočo T listov in z upadanjem zračne vlage ter s pojavom premikanja zračnih mas je evaporacija povečana in razmerje FS/TR se zniža (Larcher, 2003). Do znižanja razmerja FS/TR pride tudi proti koncu rastne sezone. Kapaciteta FS se znižuje med ontogenetskim razvojem rastline in zato se zmanjša tudi razmerje UIV. Pri mnogih rastlinah se pojavi upad UIV že v času cvetenja, najkasneje pa v fazi nastajanja plodov. Stres tudi vpliva na redukcijo UIV (Larcher, 2003). Tudi v naši raziskavi smo prišli do podobnih rezultatov. Pri šašu in trstu je bila v prvih dveh sezonah UIV večinoma res najvišja zjutraj. Opazili smo tudi, da so imeli kopenski poganjki pri navadnem trstu največkrat višje vrednosti kot vodni. Navadnemu trstu, ki je uspeval v vodi, ni bilo potrebno tako varčevati z vodo, kot trstu na kopnem. Najnižje vrednosti tako pri togem šašu kot pri navadnem trstu v vodi in na kopnem so bile izračunane zadnjo sezono, ko so imele rastline v prvih dveh meritvah na razpolago najmanj vode, pri zadnjih dveh pa je vodostaj narastel, a vrednosti UIV se niso dosti spremenile. Pagter in sod. (2005) so prišli do spoznanj, da lahko visoka notranja učinkovitost izrabe vode in

sposobnost vzdrževanja nekaterih funkcij FS pod resnim vodnim stresom prispevata k preživetju trsta v suhih pogojih. Če upoštevamo njegove prilagoditve na poplave, se zdi, da je trst zelo dobro prilagojen na rast v močvirjih z velikim obsegom nihanja nivoja vode. Odstotek asimilacije CO₂ in prevodnost por sta se zmanjšala v taki meri, da je notranja učinkovitost izrabe vode narasla, kar je kazalo na učinkovito izkoriščanje CO₂ pri rastlinah z vodnim stresom.

5.1.5. Primarna produkcija rastlin

Morfološke in anatomske lastnosti omogočajo navadnemu trstu veliko primarno produkcijo in velik fotosintezni izkoristek. Ho (1979) ugotavlja, da lahko v optimalnih pogojih z dovolj vlage in nutrienti trst pretvori v biomaso poganjkov do 3,5 % globalne radiacije oz. do 7,7 % PAR.

Navadni trst je dolgoživeča vrsta, ki je odvisna predvsem od podzemnih rezervnih organov, da lahko osvaja prostrana močvirja in preživi neugodna obdobja. Izgradnja rezervnih tkiv pri takih rastlinah je genetsko določena. Veliko število emergentnih amfibijskih vrst potrebuje za uspešno rast in razvoj izpostavitve vodi ali vsaj plitvo poplavljeno zemljo. Fenotipska plastičnost še dodatno omogoči mlademu trstu, da preživi številne rastne sezone v neprimernih pogojih (Mauchamp in sod., 2001). Trst raste zelo dobro v precej globoki vodi, toda lahko tolerira tudi sušo (Pagter in sod., 2005).

V sezoni 2005 smo določili višjo gostoto navadnega trsta na suhem na Cerknškem jezeru (129 rastlin/m²). Do podobnih ugotovitev je prišel Nzobandora leta 2002 na Gorenjem jezeru (124 rastlin/m²). V drugi sezoni smo pri trstu na kopnem prešteli skoraj polovico manj rastlin (66/m²). Vzrok je verjetno nižji vodostaj v prvem delu sezone 2006. Tudi Gaberščik-Kopušar in Martinčič sta v raziskavi trsta na Blejskem jezeru (1979-1980) izmerila nekoliko nižje vrednosti – v povprečju 45 rastlin/m².

Trst, ki je uspeval v vodi, je imel v obeh letih nižjo gostoto kot na kopnem, in vrednosti pa se niso veliko razlikovale (76 rastlin/m² in 56 rastlin/m²). White in sod. (2002) so dokazali, da se trst prilagodi na globoko vodo s fenotipsko plastičnostjo - s prerazporeditvijo

biomase in spremembo morfologije. Stebel je bilo v globoki vodi manj, vendar so kljub temu pomagala obdržati pozitivno bilanco ogljika in učinkovito izmenjavo plinov med zračnimi in podzemnimi deli. Na degradiranih območjih in v globoki vodi jezera Fertő (Madžarska) so izmerili povprečno 85 in 20 rastlin/m². Nasprotno, visoka gostota na vitalnih mestih jezera je znašala od 110 rastlin/m² do 51 rastlin/m² leta 2005. Gostota trsta na degradiranih območjih jezera Kis-Balaton (Madžarska) je znašala od 35–90 rastlin/m² in se je značilno razlikovala od mest, kjer je uspeval vitalnejši trst (od 150–200 rastlin/m²) (Dinka in sod., 2008). Pri togem šašu se je število listov malo spreminjalo, nekaj večje število listov smo prešteli v bolj suhi sezoni 2006.

Pri navadnem trstu na Cerkniškem jezeru smo izmerili bazalni diameter med 4–7 mm; višje vrednosti so bile izmerjene pri trstu v vodi. Meritve leta 2002 na Gorenjem jezeru so pokazale podobne rezultate (4–6 mm) (Nzobandora, 2003). Podobne vrednosti so dobili na območjih jezera Kis-Balaton in Fertő (od 3–7 mm), medtem ko je imel trst iz vitalnih območij jezera Fertő in Kis-Balaton bazalni diameter od 7–11 mm. Poganjki trsta na Cerkniškem jezeru, ki so uspevali v vodi, so imeli višji bazalni diameter

Indeks listne površine nam da podatke o m² listne površine na m² tal. Suha masa listov in indeks listne površine na Cerkniškem jezeru nam pokažeta nižje vrednosti v sezoni 2006 pri kopenskih poganjkih, ko je bil vodostaj nekoliko nižji, čeprav pa se je pri vodnih poganjkih indeks listne površine povečal v zadnji sezoni. Pri šašu so bile vrednosti v obeh sezonah zelo podobne. Pomanjkanje vode pri trstu vpliva na redukcijo listne površine in listne biomase zaradi zmanjšanja produkcije novih listov, povečanega odpadanja listov in zmanjšanja velikosti listov. Produkcija in rast listov sta bili zelo občutljivi na razpoložljivost vode in sta se zmanjšali, ko je bila rastlina izpostavljena že precej blagemu pomanjkanju vode (Pagter in sod., 2005; Saltmarsh in sod., 2006). Nižja rast zaradi povišanega vodnega stresa je lahko posledica nižjega turgorskega pritiska v celicah. Številne raziskave nam tudi kažejo, da je redukcija v rasti rastlin zaradi pomanjkanja vode povezana z znižanjem fotosintezne aktivnosti.

Trst vzdrži pomanjkanje vode ali sušo relativno dolgo časa. Pomanjkanje vode povzroči znižanje rasti in znižanje asimilacije CO₂, tako odstotek rasti kot odstotek asimilacije CO₂

pa se obnovita v nekaj dneh po ponovnem zalitju zemlje z vodo. Listi trsta propadejo, kadar pride do prevelikega stresa in rastlina lahko odvrže liste kot odgovor na stres (Salthmarsh in sod., 2006). Do podobnih ugotovitev smo prišli tudi sami, ker smo v zadnji sezoni res opazili znižanje suhe mase trsta na kopnem, kar je res lahko posledica nekoliko nižjega vodostaja, vendar pa se je suha masa trsta v vodi nekoliko povečala, kar je lahko tudi posledica velikega povišanja vodostaja proti koncu sezone. Sprememba vodostaja pa ni imela velikega vpliva na suho maso pri šašu. Značilno nižji trst z nižjo suho maso je uspeval na degradiranih območjih jezera Fertő in Kis-Balaton v primerjavi z mesti, kjer je uspeval vitalen trst na teh dveh območjih (Dinka in sod., 2008).

Pomemben dejavnik za obstoj in uspešnost vrste je tudi število cvetočih rastlin. Rezultati so pokazali, da je bila zadnja sezona v primerjavi z letom 2005 nekoliko bolj uspešna za rast trsta, ker je bil delež cvetočih rastlin enak na obeh habitatih (voda, kopno).

Kot odgovor na trajno povečanje globine vode so mnogi helofiti (navadni trst, rogoz *Typha domingensis*, ostrica *Cyperus vaginatus* ...) podvrženi morfološkim prilagoditvam, kjer lahko pride do podaljšanja stebela ali listov in do podaljšanja internodijev, da obdržijo emergentno rastlino pri življenju, in tudi do povečanja zračnih prostorov, da povečajo prenos plinov (Dinka in sod., 2008; White in sod., 2002, Mauchamp in sod., 2001). Trst v takih primerih razporedi več asimilatov v izgradnjo stebel in tako producira manj daljših stebel, s čimer vzdržuje pozitivno ravnotežje ogljika in efektiven transport plinov med emergentnimi in podzemnimi deli stebel. Višina stebel pri trstu, ki je uspeval v vodi, je bila tudi v našem primeru res v vseh treh sezonah nekoliko višja v primerjavi s kopenskimi poganjki. Morfološka adaptacija potrebuje čas, da se pojavi. Kjer se okoljske spremembe pojavljajo hitreje, kot je potrebno, da se rastlina na te razmere prilagodi, se morfološke prilagoditve ne pojavijo in rastlina vzdržuje vmesno morfologijo. Čas, ki je potreben za morfološke prilagoditve je odvisen od številnih dejavnikov, vendar so pri vrsti *Eleocharis cellulosa* (sita) opazili, da je trajalo tri tedne, da so se izrazile morfološke lastnosti, ki so ustrezale novim razmeram. Zanimivo je tudi dejstvo, da rastline potrebujejo dlje, da se prilagodijo na prehod iz plitve v globoko vodo kot obratno (Deegan in sod., 2007).

Podaljšanje poganjkov, ki vzpostavi kontakt z zrakom, je dobro poznan prilagoditveni odziv pri rastlinah, odpornih na poplave, kar obnovi ali celo pospeši rast in stimulira cvetenje in produkcijo semen. Pri rodovih, kot so dresen *Polygonum*, zlatica *Ranunculus* in kislica *Rumex*, so opazili podaljšanje poganjkov med poplavami. Fitohormon etilen je eden izmed regulatorjev rasti in razvoja rastlin. Sodeluje pri stimulaciji podaljšanja poganjkov in listnih pecljev, pri programirani celični smrti med formacijo aerenhima in pri začetku formiranja adventivnih korenin (Blom in sod., 1996; (Mauchamp in Méthy, 2004). Pri trstu so opazili podaljšanje stebela med delno potopitvijo, čeprav možen vpliv etilena ni bil raziskan.

5.1.6. Ekosistemske storitve Cerknškega jezera

Močvirja, kamor uvrščamo tudi Cerknško jezero, značilno vplivajo na hidrološki cikel in na zaloge vode. Ekosistemske storitve so izhodišča za varstvo narave in upravljanje s Cerknškim jezerom. Hidrološke storitve, ki so povezane s Cerknškim jezerom, so številne. Jezero vpliva na *regulacijo klime*. Vpliv bližine Cerknškega jezera se v okoliških krajih najmočneje odraža pri povprečnih maksimalnih temperaturah, predvsem v zimskem času, ki so nekoliko višje kot v višje ležečih krajih. Temperaturno ugodnejše razmere omogočajo nekaterim organizmom daljšo sezono (Zupančič, 2003). Temperature vplivajo tudi na izhlapevanje vode, ki je v močvirjih večje kot v drugih ekosistemih, in s tem na *vodno bilanco*. Za jezero samo je značilno pospešeno kroženje snovi, kar so odkrili tudi v drugih sistemih, kjer se vodna gladina pogosto spreminja (Boulton in Brock, 1999). Velik pomen jezera je pri *regulaciji vodnega toka*. Močvirja na kopnem so pomembna za zalogo vode v času poplav in pogosto prispevajo rezervo vode med suhim obdobjem. Močvirja z visoko stopnjo evapotranspiracije vplivajo na zmanjšanje vodnega toka vzdolž rečne struge (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Pomembna funkcija močvirij je tudi *regulacija poplav* – zmanjšanje ali preprečitev poplav oziroma vpliv na povečanje poplav. Hkrati močvirja vplivajo tudi na *kontrolno onesnaževanja in detoksifikacije*. V času, ko je Cerknško jezero poplavljeno, bogata močvirska vegetacija deluje kot naravni čistilni sistem, ki sproti porablja hranila in zadržuje strupene snovi (Gaberščik in Urbanc Berčič, 2003). V preteklosti so predvsem poudarjali velik pomen *produkcijskih storitev* (ribolov), ki pa se je danes nekoliko znižal. Vzroke lahko iščemo v onesnaževanju jezera in zaledja,

neustreznem reguliranju pritokov, številnih posegih v požiralnike in v nepravilnem gospodarjenju z ribami (Povž, 2003). Ne smemo pozabiti tudi na funkcijo jezera kot pomembnega *habitata za vodne in kopenske vrste* ter območja, kjer lahko ljudje najdejo veliko *kulturnih storitev* (rekreacija, turizem ...) (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Veliko ekosistemov, kjer prevladuje človek, na regionalnem in globalnem nivoju, postaja preobremenjenih in nefunkcionalnih. Storitve, ki nam jih dajo ti sistemi, so zelo pomembne za blaginjo ljudi. Zaradi stresa postajajo ekosistemi močno degradirani in zato so nesposobni za oskbo z različnimi storitvami na istem nivoju kot v preteklosti.

Degradacija ekosistema se bo nadaljevala pod pritiski povečanih potreb ljudi, razen če ne bomo uporabili strategij, ki bodo pomagale doseči zdravje in popolnost ekosistemov. To je tudi eden glavnih ciljev, poudarjen v deklaraciji o Okolju in razvoju v Riu. Države naj bi sodelovale v duhu globalnega partnerstva s ciljem ohranjanja, varovanja in obnovitve zdravja in neokrnjenosti ekosistemov. Pokazatelji »zdravja« ekosistema so: organizacija sistema (raznolikost in številne interakcije med komponentami sistema); vitalnost (aktivnost, metabolizem in primarna produkcija); prožnost ekosistema (ugotavlja se kot sposobnost sistema, da vzdržuje strukturo in funkcijo ob prisotnosti stresa) ter odsotnost znakov stresa (Rapport in sod., 1998). Zdrav sistem naj bi bil stabilen in vzdržljiv, ohrani organizacijo in avtonomijo skozi čas in se po stresnem dejanju vrne nazaj v prvotno stanje.

Do podobnih ugotovitev smo prišli tudi z raziskovanjem vrst *Phragmites australis* in *Carex elata* na Cerknškem jezeru. Obe prevladujoči vrsti sta dobro prilagojeni na uspevanje v spremenljivem okolju presihajočega ekosistema. Funkcionalna plastičnost pomaga predvsem trstu preživeti neugodne razmere tako v času poplav kot takrat, ko se vodostaj zniža. V času suše rastline z aktivno regulacijo transpiracije vplivajo na vodni krog. Glede na proučevanje vitalnosti močvirskega ekosistema skozi primarno produkcijo in merjenje fotosintezne aktivnosti, transpiracije in fotokemične učinkovitosti lahko sklepamo tudi na prožnost ekosistema, kjer uspevata navadni trst in togi šaš. Vnos energije s pomočjo obeh preiskovanih vrst v Cerknško jezero je večinoma nemoten, obe vrsti pa omogočata, da je ob njunem razpadu energija dostopna tudi drugim organizmom.

5.1.7. Naravovarstveni vidik

Posegi v rečnih strugah na Cerkniškem jezeru v preteklosti so pripeljali do hitrejšega odtekanja vode skozi požiralnike in odtočne kanale in posledično povzročili povečanje sušnega obdobja na jezeru. Iz tega vidika je obnovitev vodotokov na Cerkniškem jezeru pomembna, ker bo vplivala na povišanje nivoja podtalnice in pomagala obnoviti habitatne tipe na tem področju, vključno z rastišči obravnavanih vrst. Da bi ohranili pestrost rastlinskih združb Cerkniškega jezera, moramo poskrbeti za ohranitev takih razmer, ki so jim do sedaj omogočale največ uspevanja (Martinčič in Leskovar, 2002). Navsezadnje je obnovitev potrebna in nujna tudi za zagotovitev ugodnih razmer za rast močvirske vegetacije, kamor sodita tudi navadni trst in togi šaš. Travnike, kjer uspeva šaš, lahko ohranimo tudi z redno košnjo enkrat letno v poznem poletju, ne smemo pa jih gnojiti. Ob opuščanju košnje se bodo mokrotni travniki začeli zaraščati s pionirskimi lesnimi vrstami (Martinčič in Leskovar, 2002). Vpliv košnje pri trstu in sežiganja v zimskem času so raziskovali Rolletschek in sod. (2000). Ugotovili so, da lahko odstranitev starih bilk lahko poslabša zračenje podzemnih organov, predvsem v času poplav. Posledica je pojav hipoksičnih pogojev in motenj v metabolnih procesih v podzemnih organih ter povečana ranljivost za dodatne stresne faktorje.

Cilj obnovitve močvirij je izboljšanje stanja ekosistemov, ki so bili degradirani ali uničeni. Primarni cilj projektov obnove močvirij je obnovitev in povečanje koristi močvirij s ponovno vzpostavitvijo naravnih ekoloških procesov. Nekatere funkcije močvirij lahko samo delno vzpostavimo s procesi obnove ali jih le posnemamo, toda različne metode obnove ne povrnejo vedno maksimalnih ekoloških koristi (Millennium ecosystem assessment, 2005). Že v preteklosti so ugotovili, da so vzdrževanje, zavarovanje in obnovitev močvirij spodbujali zaradi številnih hidroloških storitev močvirij. Vzdrževanje hidrološkega režima močvirij in njegove naravne spremenljivosti je potrebno zaradi vzdrževanja ekoloških lastnosti močvirij, vključno z njegovo biodiverzitetjo. Spremembe v hidrologiji vplivajo na močvirja. Poplave so naravni pojav, ki je pomemben za vzdrževanje ekoloških funkcij močvirij (npr. služijo za transport raztopljenih in suspendiranih delcev in hranil v močvirja) in še posebej za vzdrževanje mnogih storitev, ki oskrbijo milijone ljudi.

Veliko močvirij zmanjša uničevalne lastnosti poplav in izgube teh močvirij povečajo nevarnost, da se poplave pojavijo.

S predlaganimi renaturacijami reguliranih vodotokov na Cerknškem jezeru se bo spremenil vodni režim v obdobju nizkih vod, ko je dotok vode na območju jezera manjši od odtokov v ponore in požiralnike. S podaljševanjem poti vode in povečevanjem vodne površine ter volumna vode v strugah pritokov se bo podaljšal čas odtoka v podzemlje oz. zadrževalni čas vode (projekt Life ...2006). Glede na večjo zadrževalno sposobnost vode bo to ugodno vplivalo na uspevanje navadnega trsta in togega šaša.

Uspešnosti obeh preiskovanih vrst je indikator okoljskih razmer v določenem letu. S spremljanjem izbranih vrst vidimo, v katero smer spremembe potekajo. Uspešnost rastlin nam kaže, v katero smer se sistem spreminja in ali bi lahko z renaturacijami vodotokov izboljšali rastne razmere na območju Cerknškega jezera. Sestoji togega šaša in navadnega trsta predstavljajo obsežne habitate različnim drugim organizmom in zato bi neugodne razmere za obe vrsti pomenile spremembo združb v celoti.

6. ZAKLJUČKI

- Sestoji navadnega trsta in togega šašja omogočajo pomembne ekosistemske storitve in predstavljajo obsežne habitate drugim organizmom, zato so z naravovarstvenega vidika izredno pomembni.

Naše triletno raziskave kažejo veliko prožnost obeh vrst pri odzivih na spremembe vodostaja, kar pomeni nemotene ekosistemske storitve (vnos energije in kroženje vode), vključno z ustreznostjo habitatov za ostale vrste.

- Dosedanja analiza vodostajev na Cerkniškem jezeru kaže na vedno večjo nepredvidljivost sprememb v posameznem letu. Domnevamo, da bodo te spremembe spremenile potencial obeh vrst kot nosilcev pretoka energije in kroženja vode, kar bo vplivalo na celoten ekosistem.

V času raziskav smo ugotovili, da spreminjanje vodostaja sicer ni bilo tipično periodično, vendar so si bile sezone med seboj razmeroma podobne. Navadni trst in togi šaš v času raziskav (2004–2006) nista bila izpostavljena ekstremnim razmeram (suša, pretirane poplave). Potencial rastlin kot nosilcev pretoka energije in kroženja vode se ni dosti spreminjal in ni bilo opaziti večjih odstopanj med posameznimi leti.

- Predvidevamo, da se bosta obe vrsti odzivali na razmere v določenem letu in nam pokazali, v katero smer spremembe potekajo.

Vsi merjeni parametri so pokazali, da so bile razmere v vseh treh letih razmeroma ugodne za obe vrsti. Zaradi premajhnih razlik v razmerah med leti, smeri sprememb ni bilo mogoče določiti.

- Trstičevje in visoko šašje imata pomembno vlogo pri vnosu energije v ekosistem.

FSII je pri navadnem trstu odporen na pomanjkanje vode ali na poplave. Trst, ki je uspeval na kopnem, in tudi trst v vodi sta bolje izkoristila svetlobno energijo v času nizkega vodostaja, kar odraža negativna korelacija med vodostajem in fotokemično učinkovitostjo FSII, medtem ko pri togem šašu korelacija ni bila značilna. Dejanska fotokemična učinkovitost FSII je bila pri trstu v vodi v povprečju višja kot pri trstu na kopnem, pri šašu pa ni bilo opaziti večjih sprememb med sezonami. Vrednosti potencialne fotokemične učinkovitosti se niso značilno razlikovale med seboj (vseskozi so bile nad 0,8, kar je teoretični maksimum), iz česar lahko sklepamo, da rastline v času meritev niso bile podvržene nepovratnemu stresu. Meritve fotokemične učinkovitosti so pokazale, da je bilo vodno rastišče pri trstu bolj ugodno za sprejem in pretvorbo svetlobne energije.

Nivo fotosinteze odraža neposredne razmere na rastišču. Pri trstu v vodi in pri šašu smo ugotovili značilno pozitivno korelacijo med vodostajem in fotosintezo, medtem ko pri trstu na kopnem povezava ni bila značilna. V povprečju višje vrednosti FS so bile izmerjene pri trstu, ki je uspeval na kopnem v prvih dveh sezonah (7 in $6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) v primerjavi s trstom v vodi, medtem ko v zadnji sezoni ni bilo opaznih razlik med trstom v vodi in na kopnem ($10 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$).

Vsi preiskovani parametri kažejo pomembno vlogo navadnega trsta in togega šaša pri vnosu energije v sistem in odražajo razmere v različnih sezonah. Suha masa trsta na kopnem je znašala v povprečju 1194 g/m^2 (leto 2005) in nekoliko manj v letu 2006 (748 g/m^2). Nekoliko nižjo primarno produkcijo je imel trst, ki je uspeval v vodi (720 g/m^2 in 838 g/m^2). Vrednosti pri togem šašu se niso dosti spreminjale in so znašale v povprečju 333 g/m^2 in 383 g/m^2 v sezoni 2005 in 2006.

- Trstičevje in visoko šašje imata pomembno vlogo pri kroženju vode.

Razlike v vrednostih transpiracije so bile ugotovljene med posameznimi leti, med posameznimi rastišči pa večjih odstopanj ni bilo. Pozitivna korelacija med transpiracijo in vodostajem je bila ugotovljena pri trstu na kopnem in v vodi, medtem ko pri šašu povezava ni bila značilna. Povprečne vrednosti pri trstu na suhem so znašale 5 , 11 in $16 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ in pri trstu v vodi 4 , 12 in $20 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ v posameznih sezonah 2004-2006.

- Učinkovitost izrabe vode je zaradi presihanja vodostaja pomemben dejavnik, ki vpliva na uspešnost združb trstičevja in visokega šašja.

Ugotovili smo, da je v bolj sušnih razmerah pri trstu večja učinkovitost izrabe vode, ker mora rastlina omejiti izgube vode bolj kot v razmerah, ko je vode dovolj. Najnižje vrednosti tako pri šašu kot pri trstu so bile izračunane zadnjo sezono, ko so imele rastline v prvih dveh meritvah na razpolago najmanj vode, pri zadnjih dveh pa je vodostaj narastel, a vrednosti UIV se niso dosti spremenile.

- Predvidevamo, da se razlike v okoljskih razmerah odražajo tudi v habitusu rastline.

Pri primerjavi višine rastlin (stebel) v posameznih letih so opazne razlike pri trstu na kopnem (176 cm; 154 cm; 163 cm) in v vodi (216 cm; 162 cm; 212 cm), kjer je uspeval v povprečju višji trst. Povprečna dolžina listov pri togem šašu je bila najmanjša v času nekoliko višjega vodostaja leta 2005 (91 cm; 66 cm; 72 cm). Ostali merjeni parametri pri togem šašu so bili v obeh letih, ko smo jih merili (2005, 2006), podobni. Pri trstu smo opazili razlike v habitusu kot posledico višjega vodostaja: podaljšanje stebela, internodijev, večji bazalni diameter.

7. POVZETEK

Spreminjanje vodnega režima ima velik vpliv na celotno biocenozo območja Cerknškega jezera. V presihajočih vodnih telesih ponavadi prevladuje pestra močvirska vegetacija. Prevladujoči močvirski vrsti, ki smo jima posvetili največ pozornosti v naši raziskavi, sta bili navadni trst *Phragmites australis* in togi šaš *Carex elata*. Poglavitni namen naloge je bil, da dobimo vpogled v vlogo dveh prevladujočih rastlinskih vrst pri pretoku energije in kroženju vode v odvisnosti od spremenljivega vodnega režima. Poudariti smo želeli tudi ekosistemske storitve in naravovarstveni pomen Cerknškega jezera za nemoten potek procesov, ki tam potekajo.

Vpliv presihanja na aktivnost rastlin in primarno produkcijo navadnega trsta in togega šaša smo spremljali v treh zaporednih rastnih sezonah v letih 2004–2006. Meritve so potekale na vzorčnem mestu Gorenje jezero, na južnem delu Cerknškega jezera. Izbrali smo si dve lokaciji, kjer uspeva navadni trst–lokacijo, kjer trst večino časa raste v z vodo nasičenih tleh, in lokacijo, kjer je bil trst poplavljen do različnih višin. Togi šaš uspeva v z vodo nasičenih tleh in je samo občasno poplavljen.

V času raziskav so potekale meritve različnih fizioloških dejavnikov. Merili smo fotokemično učinkovitost FSII, ki je merilo uspešnosti sprejema svetlobne energije in stresa pri rastlinah (Li in sod., 2004). Fotosintezno aktivnost rastlin smo merili preko privzemanja CO₂, transpiracijo pa na podlagi spremembe relativne zračne vlažnosti. Izračunali smo učinkovitost izrabe vode (UIV) kot razmerje med asimilacijo CO₂ in porabo vode oz. transpiracijo. Pri ugotavljanju uspešnosti primarne produkcije rastlin smo pri trstu izmerili naslednje dejavnike: velikost in gostoto rastlin, število internodijev, bazalni diameter stebila, število cvetočih rastlin. Pri šašu smo izmerili velikost in gostoto listov. Pri obeh rastlinah smo izračunali indeks listne površine in suho maso rastlin ob koncu posameznih sezon. Spremljali smo tudi abiotske dejavnike – fotosintezno aktivno sevanje (PAR), vlažnost zraka in temperaturo v sestojih raziskovanih vrst.

Naše triletno raziskave kažejo veliko prožnost obeh vrst pri odzivih na spremembe vodostaja, kar pomeni nemotene ekosistemske storitve (vnos energije in kroženje vode), vključno z ustreznostjo habitatov za ostale vrste.

V času raziskav smo ugotovili, da spreminjanje vodostaja sicer ni bilo tipično periodično, vendar so si bile sezone med seboj razmeroma podobne. Navadni trst in togi šaš v času raziskav (2004–2006) nista bila izpostavljena ekstremnim razmeram (suša, pretirane poplave). Potencial rastlin kot nosilcev pretoka energije in kroženja vode se ni dosti spreminjal in ni bilo opaziti večjih odstopanj med posameznimi leti.

FSII je pri navadnem trstu odporen na pomanjkanje vode ali na poplave. Trst, ki je uspeval na kopnem, in tudi trst v vodi sta bolje izkoristila svetlobno energijo v času nizkega vodostaja, kar odraža negativna korelacija med vodostajem in fotokemično učinkovitostjo FSII, medtem ko pri togem šašu korelacija ni bila značilna. Dejanska fotokemična učinkovitost FSII je bila pri trstu v vodi v povprečju višja kot pri trstu na kopnem, pri šašu pa ni bilo opaziti večjih sprememb med sezonami. Vrednosti potencialne fotokemične učinkovitosti se niso značilno razlikovale med seboj (vseskozi so bile nad 0,8, kar je teoretični maksimum), iz česar lahko sklepamo, da rastline v času meritev niso bile podvržene nepovratnemu stresu. Meritve fotokemične učinkovitosti so pokazale, da je bilo vodno rastišče pri trstu bolj ugodno za sprejem in pretvorbo svetlobne energije.

Nivo fotosinteze odraža neposredne razmere na rastišču. Pri trstu v vodi in pri šašu smo ugotovili značilno pozitivno korelacijo med vodostajem in fotosintezo, medtem ko pri trstu na kopnem povezava ni bila značilna. V povprečju višje vrednosti FS so bile izmerjene pri trstu, ki je uspeval na kopnem v prvih dveh sezonah (7 in $6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$) v primerjavi s trstom v vodi, medtem ko v zadnji sezoni ni bilo opaznih razlik med trstom v vodi in na kopnem ($10 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$).

Vsi preiskovani parametri kažejo pomembno vlogo navadnega trsta in togega šaša pri vnosu energije v sistem in odražajo razmere v različnih sezonah. Suha masa trsta na kopnem je znašala v povprečju 1194 g/m^2 (leto 2005) in nekoliko manj v letu 2006 (748 g/m^2). Nekoliko nižjo primarno produkcijo je imel trst, ki je uspeval v vodi (720 g/m^2 in

838 g/ m²). Vrednosti pri togem šašu se niso dosti spreminjale in so znašale v povprečju 333 g/m² in 383 g/m² v sezoni 2005 in 2006.

Razlike v vrednostih transpiracije so bile ugotovljene med posameznimi leti, med posameznimi rastišči pa večjih odstopanj ni bilo. Pozitivna korelacija med transpiracijo in vodostajem je bila ugotovljena pri trstu na kopnem in v vodi, medtem ko pri šašu povezava ni bila značilna. Povprečne vrednosti pri trstu na suhem so znašale 5, 11 in 16 mmol H₂O m⁻²s⁻¹ in pri trstu v vodi 4, 12 in 20 mmol H₂O m⁻²s⁻¹ v posameznih sezonah 2004–2006.

Ugotovili smo, da je v bolj sušnih razmerah večja učinkovitost izrabe vode, ker mora rastlina omejiti izgube vode bolj kot v razmerah, ko je vode dovolj. Najnižje vrednosti tako pri šašu kot pri trstu so bile izračunane zadnjo sezono, ko so imele rastline v prvih dveh meritvah na razpolago najmanj vode, pri zadnjih dveh pa je vodostaj narastel, a vrednosti UIV se niso dosti spremenile.

Pri primerjavi višine rastlin (stebel) v posameznih letih so opazne razlike pri trstu na kopnem (176 cm; 154 cm; 163 cm) in v vodi (216 cm; 162 cm; 212 cm), kjer je uspeval v povprečju višji trst. Povprečna dolžina listov pri togem šašu je bila najmanjša v času nekoliko višjega vodostaja leta 2005 (91 cm; 66 cm; 72 cm). Ostali merjeni parametri pri togem šašu so bili v obeh letih, ko smo jih merili (2005, 2006), podobni. Pri trstu smo opazili razlike v habitusu kot posledico višjega vodostaja: podaljšanje stebela, internodijev, večji bazalni diameter.

Vsi merjeni parametri so pokazali, da so bile razmere v vseh treh letih razmeroma ugodne za obe vrsti. Zaradi premajhnih razlik v razmerah med leti, smeri sprememb ni bilo mogoče določiti.

8. SUMMARY

Water level fluctuations have an important role on biocenosis of the Lake Cerknica with prevailing wetland vegetation. We studied two very abundant species on the lake *Phragmites australis* and *Carex elata*. The aim of our research was to examine the role of *Phragmites australis* and *Carex elata* in through flow of energy and water cycling in relation to intermittent water regime. On the basis of this research we wanted to point out the selected ecosystem services and nature conservation aspects of this unique ecosystem.

The influence of intermittence on activity and primary production was measured during three seasons (2004 - 2006). Our research had been performed on the south part of the lake at Gorenje jezero. We monitored common reed growing in terrestrial and in aquatic habitat and sedge growing in terrestrial habitat.

We measured different physiological parameters. The activity of studied species was monitored measuring photochemical efficiency of PSII, indicating the presence of stress, photosynthesis and transpiration rate. On the basis of the latter two we calculated water use efficiency. At the end of the season we performed growth analysis. In *Phragmites australis* we measured height and density of plants, number of internodes, basal diameter and the number of flowering plants, while in *Carex elata* we measured the length and number of leaves. In both we determined leaf area index and dry mass of aboveground plant parts. During field measurements we monitored abiotic parameters such as photosynthetically active radiation (PAR), relative humidity and air temperature.

Three years studies revealed great plasticity of both species to water level fluctuations, that assure undisturbed ecosystem services (input of energy and water cycling), including habitats for other species.

During our research water level fluctuations did not showed normal pattern, but all three seasons were similar without extremes. Therefore common reed and sedge were not exposed to extreme conditions (drought, long floods). The potential of plants for through

flow of energy and water cycling was not changing and little difference comparing three seasons was observed.

PSII in reeds is quite resistant to water deficit and floods. Terrestrial reed, as well as reed in water exhibited higher light use efficiency during low water level as revealed by negative correlation between photochemical efficiency of PSII and water level. In sedge no difference comparing three seasons were found. Values of potential photochemical efficiency of PSII were not significantly different (near 0.8 which is theoretical maximum), that revealed that plants were not under irreversible stress. The results showed that littoral is more favorable for reed growth than terrestrial habitat.

The level of photosynthesis express growth conditions at the certain time. In littoral reed and in sedge we calculated positive correlation among photosynthesis and water level, while in terrestrial reed the correlation was not significant. Higher values of photosynthesis in terrestrial reed in comparison to littoral reed were measured (7 in $6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) in first two seasons, while in last season no differences were detected ($10 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

All measured parameters reflected important role of reed and sedge in energy input. Dry mass of terrestrial reed was in average 1194 g/m^2 (year 2005) and somewhat less in 2006 (748 g/m^2). Lower production was measured in littoral reed (720 g/m^2 and 838 g/m^2 , respectively). The values in sedge were in average 333 g/m^2 and 383 g/m^2 .

The differences in transpiration rate occurred among different seasons. Positive correlation between transpiration rate and water level was established in both terrestrial and aquatic reeds, while it was not significant in sedge. Average values in terrestrial reed were 5, 11 and $16 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ while in littoral reed 4, 12 and $20 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ in seasons 2004-2006.

The results showed that water use efficiency increased under lower water availability. The lowest values in sedge and reeds were calculated for 2006, since plants were water limited at the beginning of growth season. Even though the water level increased latter in the season UIV values remained the same.

The habitus of plants differed among years and locations. The height of terrestrial reed was 176 cm, 154 cm and 163 cm while littoral reed was higher 216 cm, 162 cm and 212 cm. Leaf of sedge were the shortest under higher water level in 2005 (91 cm; 66 cm; 72 cm). In littoral reed an increase in number of internodes and basal diameter was detected.

All measured parameters showed that all three seasons were relatively favourable for both species examined.

9. VIRI

- Armstrong J., Armstrong W. 1991. A convective through-flow of gases in *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steud. Aquatic botany, 39: 75-88
- Barbier E. B., Acreman M. C., Knowler D. 1996. Economic valuation of wetlands: A guide for policy makers and planners. Ramsar Convention Bureau, Gland, Switzerland.
- Björkman O., Demming B. 1987. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. Planta, 170: 489-504
- Bloom C. W. P. M., Voesenek L. A. C. J. 1996. Flooding: the survival strategies of plants. Tree, 11, 7: 290-295
- Boulton A. J., Brock M. A. 1999. Freshwater ecology. Geneagles Publishing: 149-166
- Bowes G., Beer S. 1987. Physiological plant processes: photosynthesis. In: Aquatic plants for water treatment and resource recovery. Ed.: K. R. Reedy and W. H. Smith. Magnolia publishing Inc.: 311-335
- Clevering O. A., Lissner J. 1999. Taxonomy, chromosome numbers, clonal diversity and population dynamics of *Phragmites australis*. Aquatic botany, 64: 185-208
- Costanza R., d ' Arge R., de Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 387: 253-260
- Costanza R. 2003. Social goals and the valuation of natural capital. Enviromental Monitoring and Assessment, 86: 19-28
- Cronk J.K., Fennessy M.S. 2001. Wetland plants: biology and ecology. London, Lewish publisher: 462 str.
- Čížkova H., Strand J. A., Lukavska J. 1996. Factors associated with reed decline in an eutrophic fishpond, Rožmberk (South Bohemia, Czech Republic). Folia Geobotanica Phytotaxonomica, 31: 73-84
- Deegan B., M. White S., D., Ganf G., G. 2007. The influence of water level fluctuations on the growth of four emergent macrophyte species. Aquatic botany, 86: 309-315
- Dinka M., Ágosto-Szabó E., Urbanc-Berčič O., Gaberščik A., Šraj-Kržič N., Germ M. 2008. Reed stands conditions at selected wetlands in Slovenia and Hungary. (v tisku)
- Drew M.C., Lynch J.M. 1980. Soil anaerobiosis, microorganisms, and root function. Annual Review of Phytopathology, 18: 37-66
- Engloner A.I., Papp M. 2006. Vertical differences in *Phragmites australis* culm anatomy along a water depth gradient. Aquatic botany, 85: 137-146
- Gaberščik-Kopušar A., Martinčič A. 1982: Produktivnost vrste *Phragmites communis* Trin. na Blejskem jezeru. Biološki vestnik, 30: 25-44
- Gaberščik A., Urbanc - Berčič O. 1996. Monitoring approach to evaluate water quality of intermitten Lake Cerknica. Water science and Technology, 33, 4/5: 357-362
- Gaberščik A., Urbanc - Berčič O. 2001. The influence of water table fluctuation on nutrient in the rhizosphere on nutrient dynamics in the rhizosphere of common reed (*Phragmites australis*). Water science and Technology, 44, 11/12: 245-250
- Gaberščik A., Urbanc - Berčič O. 2003 a. Kakovost vode v jezeru in njegovih pritokih. V: Jezero, ki izginja: monografija o Cerknškem jezeru. Gaberščik. A. (ur.). Ljubljana, Društvo ekologov Slovenije: 45-49

- Gaberščik A., Urbanc - Berčič O. 2002 b. 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., Urbanc - Berčič O., Kržič N., Kosi G., Breclj A. 2003. The intermitten Lake Cernica: Various faces of the same ecosystem. Lakes and Reservoirs: Research and Management, 8: 159-168
- Gaberščik A. 2003. Mokrišča in njihova vloga v pokrajini = Wetlands and their role in the landscape. V: Zbornik prispevkov. (Razprave in raziskave, 10). Dobravec J. (ur.), Mencinger A (ur.). Bled, Triglavski narodni park: 21-28
- Gaberščik A. 2006. Koliko je vredna narava? Delo (Ljubljana), 48, 68: 18
- Gaberščik A., Šraj-Kržič N. 2006. Cerkniško jezero – ramsarsko mokrišče. Proteus, 8, 68: 342 – 354
- Grimmet R. F. A. 1989. Important Bird Areas in Europe. Cambridge, ICBP Technical Publisher, no. 9
- Haslam, S. M. 1972. Biological flora of the British Isles *Phragmites communis* Trin. Journal of Ecology, 60: 585-610
- 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
- Ho Y.B. 1979. Shoot development and production studies of *Phragmites australis* (Cav) Trin. ex Steudel in Scottish lakes. Hydrobiologia, 64: 215-222
- Holmes N.T.H. 1999. British river macrophytes – perceptions and uses in the 20th century. Aquatic conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 9: 535-539.
- Ishi J., Kadono Y. 2002. Factors influencing seed production of *Phragmites australis*. Aquatic Botany, 72, 2:129-141.
- Jogan N., Bačič T., Frajman B., Leskovar I., Naglič D., Podobnik A., Rozman B., Strgulc-Krajšek S., B. Trčak B. 2001. Gradivo za atlas flore Slovenije = Materials for the atlas of flora of Slovenia. Miklavž na Dravskem polju, Center za kartografijo favne in flore: 443 str.
- Koppitz H. 2004. Effects of flooding on the amino acid and carbohydrate patterns of *Phragmites australis*. Limnologia, 34: 37-47
- Kranjc A. 1986. The lake Cerknica and its floods. Geografski zbornik, 25: 75-116
- Kranjc A. 2003. Geologija in geomorfologija. V: Jezero, ki izginja. Monografija o Cerkniškem jezeru. Gaberščik A. (ur.). Ljubljana, Društvo Ekologov Slovenije: 18-26
- Lakatos G., Grigorszky I., Biro P. 1998. Reed-periphyton complex in the littoral of shallow lakes. Verh. International Verein. Limnology, 26: 1852-1856
- Larcher W. 2003. Physiological Plant Ecology: Ecophysiological and Stress physiology of Functional Groups. 4th Edition. Berlin, Heilderberg, Springer: 506 str.
- Leith H., Whittaker R. (ur.) 1975. Primary productivity of the biosphere. Berlin, Heidelberg, New York, Springer
- Lessmann J. M., Brix. H., Bauer. V., Clevering O. A., Comin F. A. 2001. Effects of climatic gradients on the photosynthetic responses of four *Phragmites australis* populations. Aquatic botany, 69: 109-126
- Li S., Pezeshki S. R., Goodwin S. 2004. Effects of soil moisture regimes on photosynthesis and growth in cattail (*Typha latifolia*). Acta Oecologica, 25: 17-22

- Martinčič A., Leskovar I. 2003. Vegetacija. V: Jezero, ki izginja. Gaberščik, A. (ur.). Ljubljana: Društvo Ekologov Slovenije, 81-95
- Mauchamp A., Blanch S., Grillas, P. 2001. Effects of submergence on the growth of *Phragmites australis* seedlings. Aquatic Botany, 69: 147-164
- Mauchamp A., Méthy M. 2004. Submergence-induced damage of photosynthetic apparatus in *Phragmites australis*. Environmental and experimental Botany, 51: 227-235
- Mészáros I., Veres S., Dinka M., Lakatos G. 2003. Variations in leaf pigment and photosynthetic activity of *Phragmites australis* in healthy and die-back reed stands of Lake Fertő/Neusiedlersee. Hydrobiologia, 506-509: 681-686
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and human well-being: Wetlands and water Synthesis. Washington, DC, World Resources Institute
- Notranjski regijski park.
<http://www.notranjski-park.si/>. (27.1.2008)
- Projekt LIFE 06 NAT/SLO/000069 Presihajoče Cerkniško jezero. 2006. Cerknica, Notranjski regijski park
- Novice Notranjskega regijskega parka. 2007, 1, 1
- Nzobandora M. 2003. Sezonske spremembe produktivnosti trsta (*Phragmites australis*) na Cerkniškem jezeru: diplomska naloga (Biotehniška fakulteta). Ljubljana, samozal.
- Odlok o Notranjskem regijskem parku. Ur. l. RS št. 35208-1/2002
- Owen O.S., Chairs D.D., Reganold J.P. 1998. Natural resource conservation. 7th ed. Prentice Hall.
- Ögren E., 1988. Photoinhibition of photosynthesis in willow leaves under field condition. Planta, 175: 229-236
- Pagter M., Bragato C., Brix H. 2005. Tolerance and physiological responses of *Phragmites australis* to water deficit. Aquatic botany, 81: 285 – 299
- Park C. 2001. Environment: principles and applications. London, New York, Routledge
- Pezeshki S.R. 2001. Wetland plant responses to soil flooding. Environmental and Experimental Botany, 46: 299-312
- Povž M. 2003. Ribe in ribištvo. V: Jezero, ki izginja. Gaberščik, A. (ur.). Ljubljana, Društvo Ekologov Slovenije: 201-207
- Rapport D. J., Costanza R., McMichael A. J. 1998. Assessing ecosystem health. Tree, 13, 10: 397-402
- Rolletschek H. 1997. Gradients of nutrients, dissolved oxygen and sulfide in wave-protected and unsheltered stands of *Phragmites australis*. International Review of Hydrobiology, 82: 329-339
- Rolletschek H., Rolletschek A., Hartendorf H., Kohl H. G. 2000. Physiological consequences of mowing and burning of *Phragmites australis* stands for rhizome ventilation and amino acid metabolism. Wetland Ecology, 8: 427-437
- 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

- Silan D. 1999. Stomatarna difuzijska prevodnost trsta (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel) na Cerknškem jezeru: magistrsko delo (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo). Ljubljana, samozal.
- Salthmarsh A., Mauchamp A., Rambal S. 2006. Contrasted effects of water limitation on leaf functions and growth of two emergent co-occurring plant species, *Cladium mariscus* and *Phragmites australis*. Aquatic botany, 84: 191-198
- Skoberne, P. 2004. Pregled mednarodnih organizacij in predpisov s področja varstva narave 2004: priročnik. Ljubljana, MOPE: 186 str.
- Šmid P. 1975: Evaporation from a reedswamp. Journal of Ecology, 63: 299-309
- Šraj N. 2007. Tekmovalne prednosti makrofitov v presihajočih vodnih telesih: doktorska naloga (Biotehniška fakulteta). Ljubljana, samozal.
- Toorn Van Der J., Mook J., H. 1982: The influence of environmental factors and management on stands of *Phragmites australis*. Effects of burning, frost and insect damage on shoot density and shoot size. Journal of Applied Ecology, 19: 477-499
- Trošt-Sedej T. 2005. Ekologija rastlin: priročnik za vaje. Ljubljana, Študentska založba: 81 str.
- Urbanc-Berčič O. 2003. Razpoložljivost nutrientov v rizosferi trstnih sestojev (*Phragmites australis*) v odvisnosti od vodnega režima v presihajočem Cerknškem jezeru: doktorska naloga (Biotehniška fakulteta). Ljubljana, samozal.
- Waldhoff D., Furch B., Junk W. J. 2002. Fluorescence parameters, chlorophyll concentration and anatomical features as indicators for flood adaptation of an abundant tree species in Central America: *Symmeria paniculata*. Environmental Experimental Botany, 48: 225-235
- White S. D., Ganf G. G. 2002. A comparison of the morphology, gas space anatomy and potential for internal aeration in *Phragmites australis* under variable and static water regimes. Aquatic botany, 73:115-127
- Woodward T. R., Wui Y. S. 2001. The economic value of wetland services: a meta-analysis. Ecological Economics, 31: 257-270
- Zacharias I., Dimitriou E., Koussouris T. 2003. Developing sustainable water management scenarios by using thorough hydrologic analysis and environmental criteria. Journal of Environmental Management, 69: 401-412
- Zupančič B. 2003. Klima. V: Jezero, ki izginja. Gaberščik, A. (ur.). Ljubljana, Društvo Ekologov Slovenije: 5-17.

ZAHVALA

Najlepša hvala mentorici prof. dr. Alenki Gabersčik za vso njeno pomoč in spodbudo pri nastajanju magistrske naloge.

Članoma komisije, doc. dr. Davorinu Tome in prof. dr. Boštjanu Anku, se zahvaljujem za kritičen strokovni pregled naloge in za nasvete, ki so pomagali izboljšati nalogo.

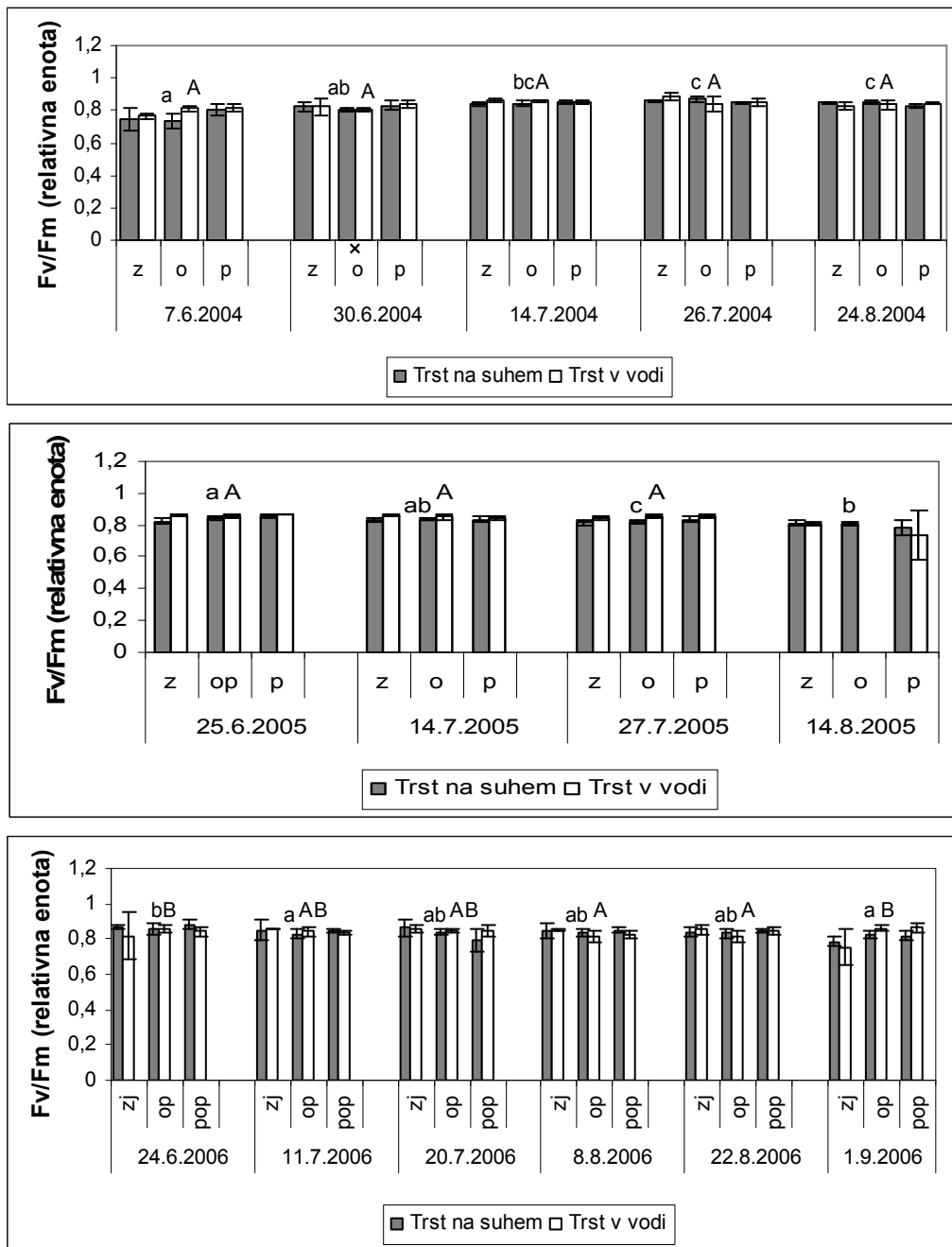
Hvala mladima raziskovalkama Nini Šraj, ki mi je od vsega začetka pomagala pri težavah z meritvami na terenu, in Nataši Tadina za vso pomoč pri statistični obdelavi naloge. Prav tako hvala Metki in Katarini za reševanje računalniških problemov in oblikovanje naloge. Rada bi se zahvalila tudi vsem tistim, ki ste mi kakorkoli pomagali pri nastajanju naloge, pa čeprav samo s spodbudnimi besedami.

Hvala tudi domačim za pomoč na terenu, potrpežljivost in razumevanje.

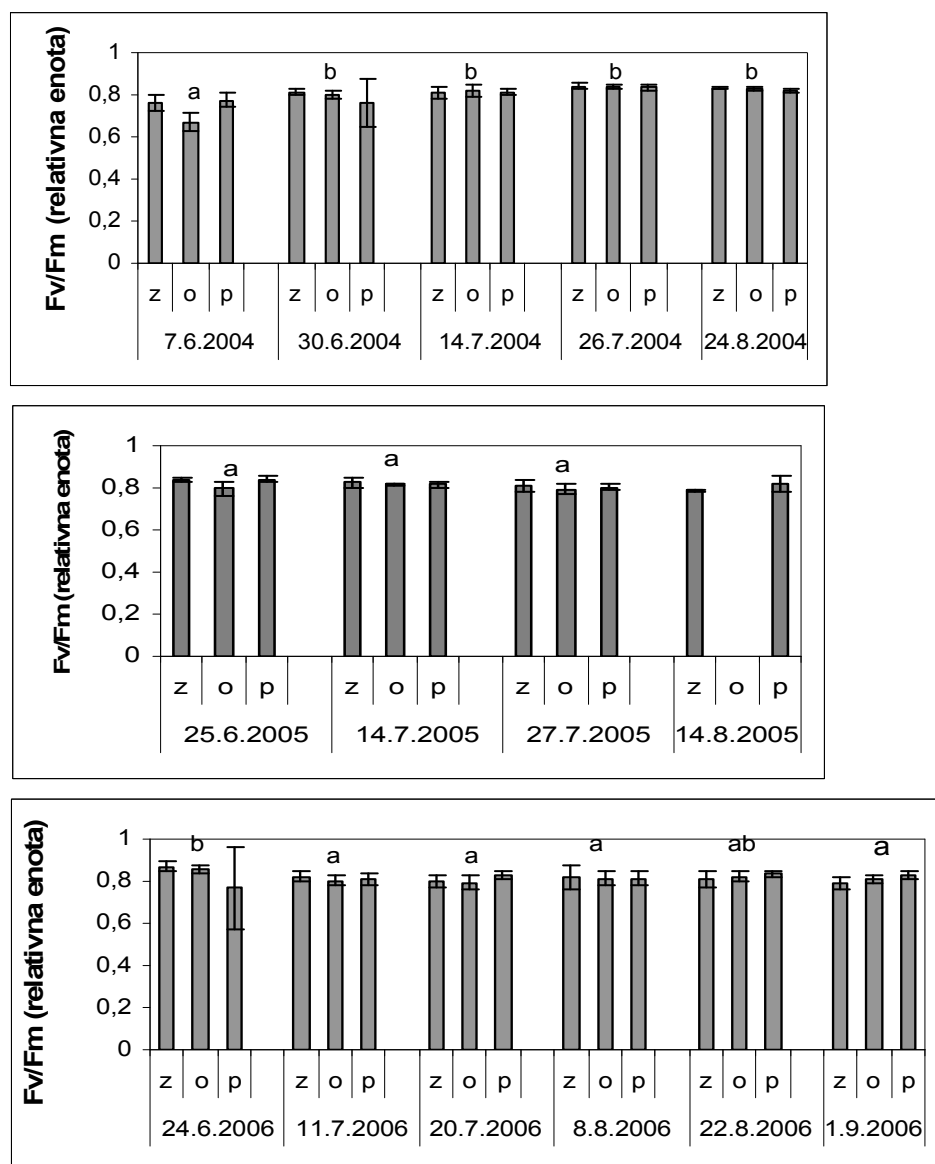
PRILOGE

Priloga A

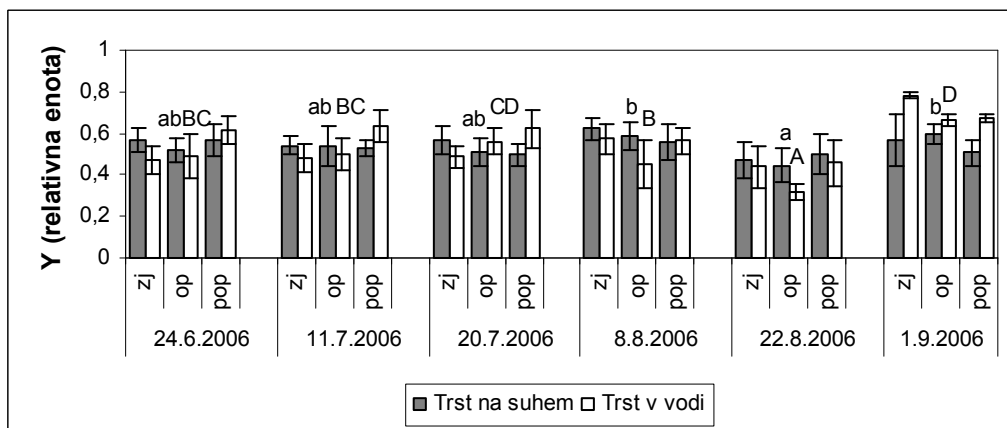
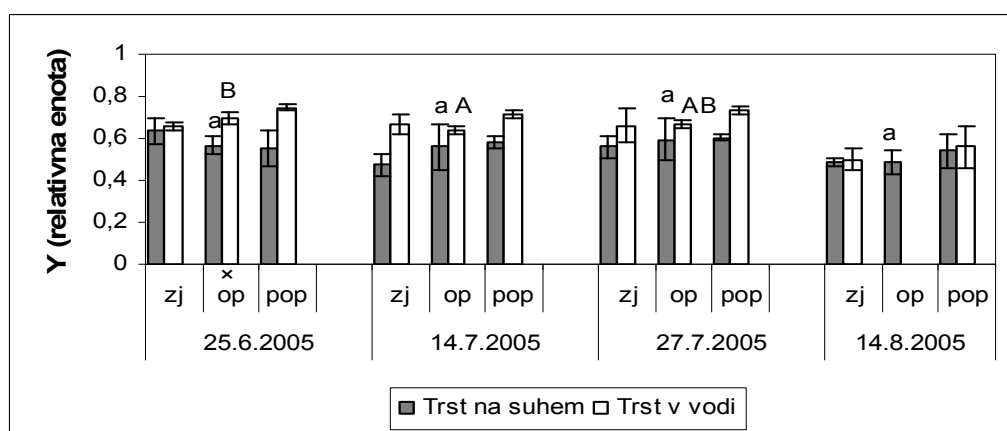
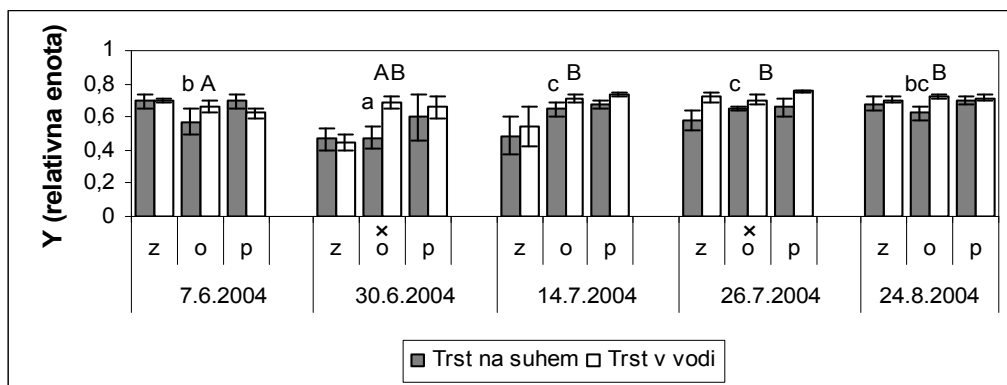
Fiziološki parametri rastlin



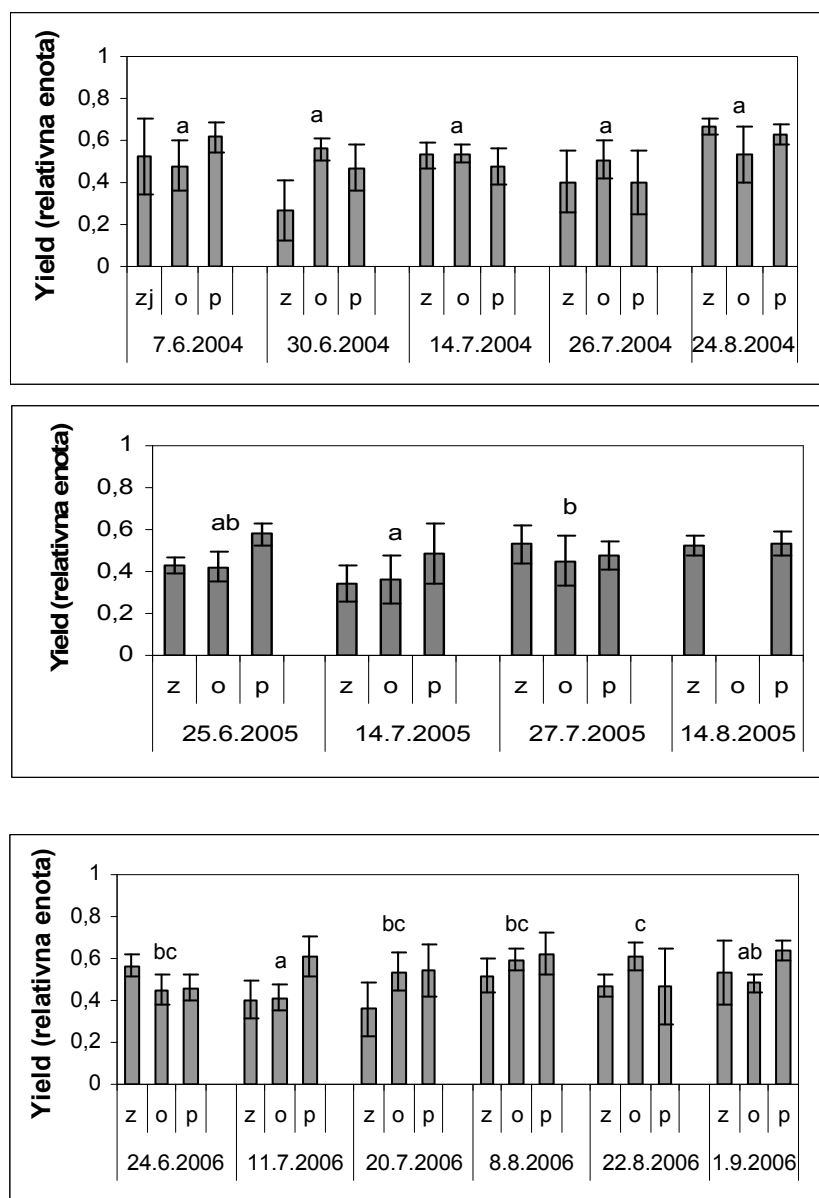
Slika A1: Potencialna fotokemična učinkovitost PSII (Fv/Fm) pri trstu na kopnem in v vodi v rastni sezoni 2004–2006 zjutraj, opoldan, popoldan. Podatki so aritmetične sredine $\pm$ SD ($n = 5$); različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ za opoldanske vrednosti (A,B – trst v vodi; a,b – trst na suhem). $\times$ označuje statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ za opoldanske vrednosti med kopnimi in vodnimi poganki pri trstu za posamezen datum vzorčenja.



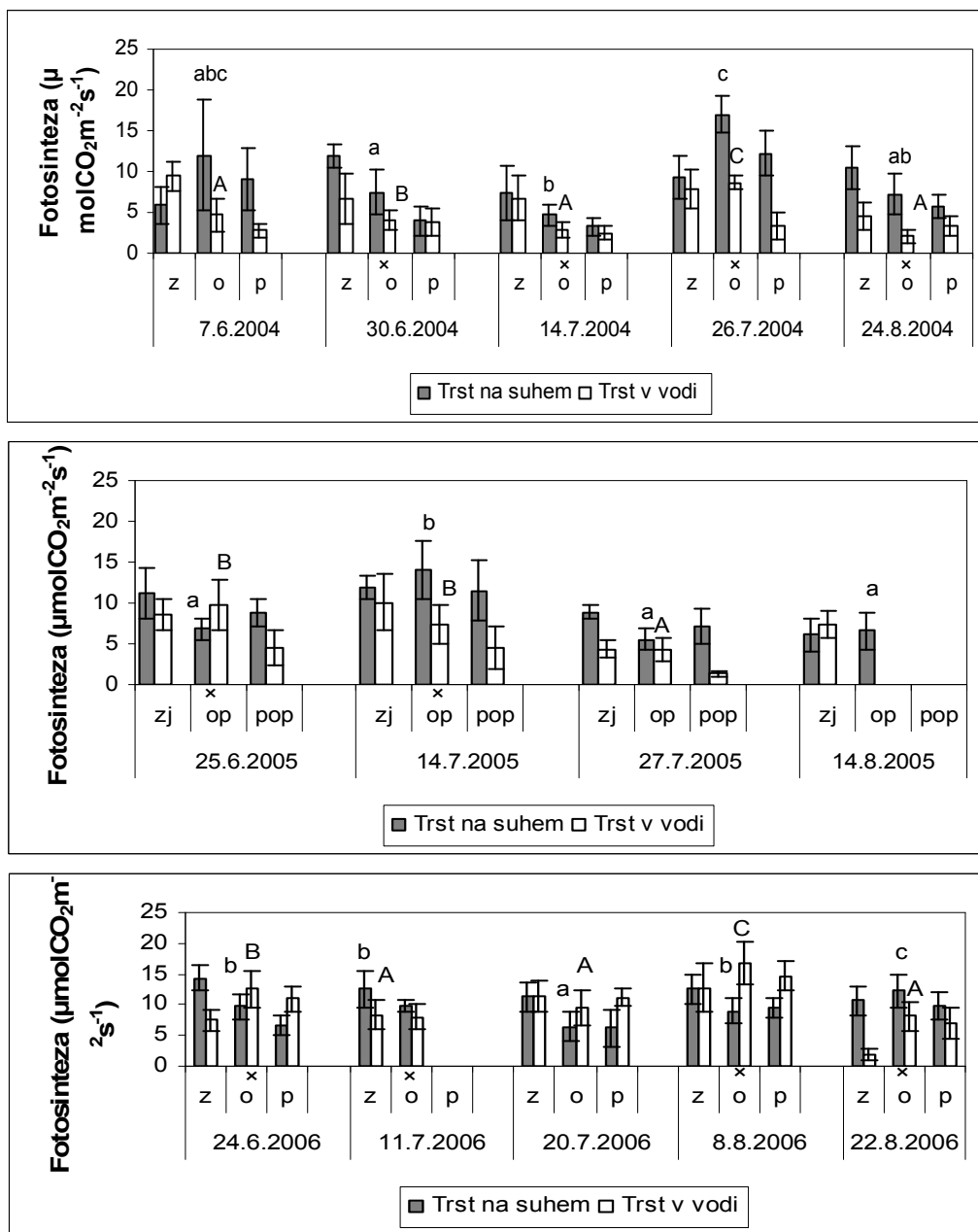
Slika A2: Potencialna fotokemična učinkovitost PSII (Fv/Fm) pri šašu v rastni sezoni 2004–2006 zjutraj, opoldan, popoldan. Podatki so aritmetične sredine $\pm$ SD ($n = 5$); različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ za opoldanske vrednosti.



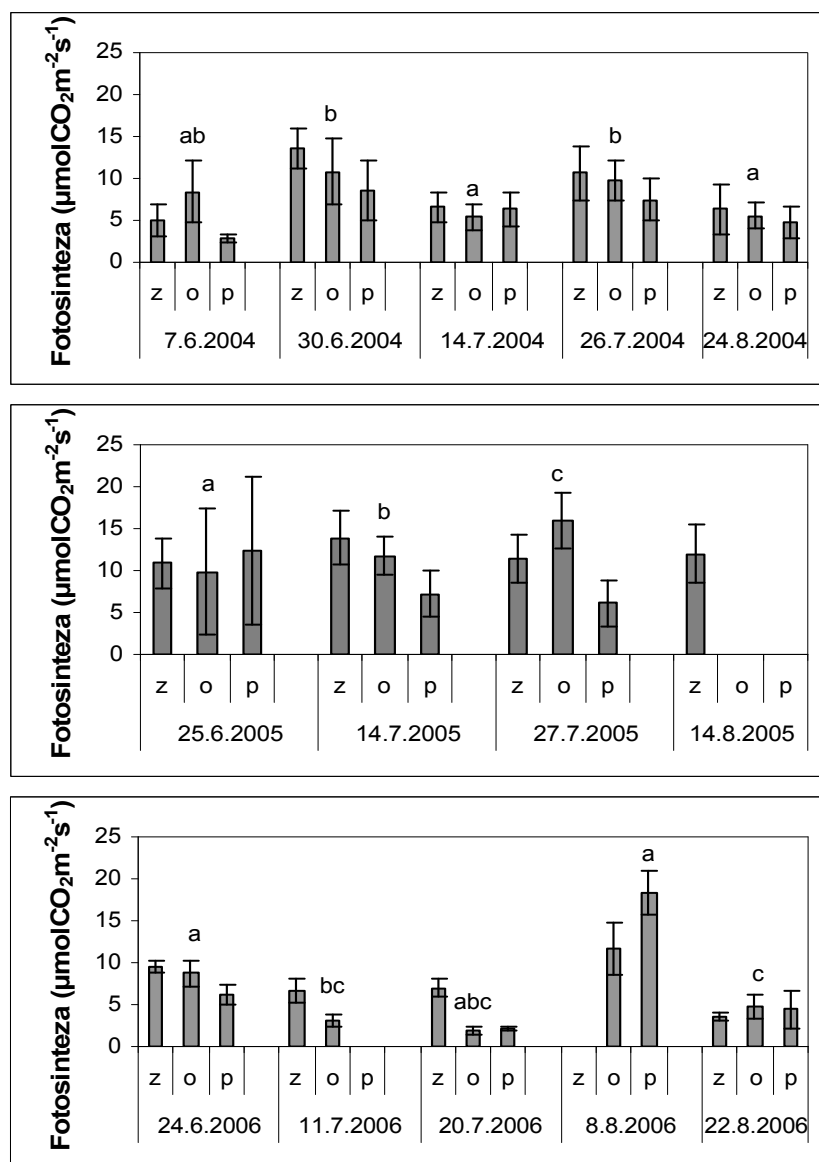
Slika A3: Dejanska fotokemična učinkovitost PSII (Fv/Fm) pri trstu na kopnem in v vodi v rastni sezoni 2004–2006 zjutraj, opoldan, popoldan. Podatki so aritmetične sredine $\pm$ SD ($n = 5$); različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ za opoldanske vrednosti (A,B,C,D – trst v vodi; a,b,c – trst na suhem). $\times$ označuje statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ za opoldanske vrednosti med kopnimi in vodnimi poganki pri trstu za posamezen datum vzorčenja.



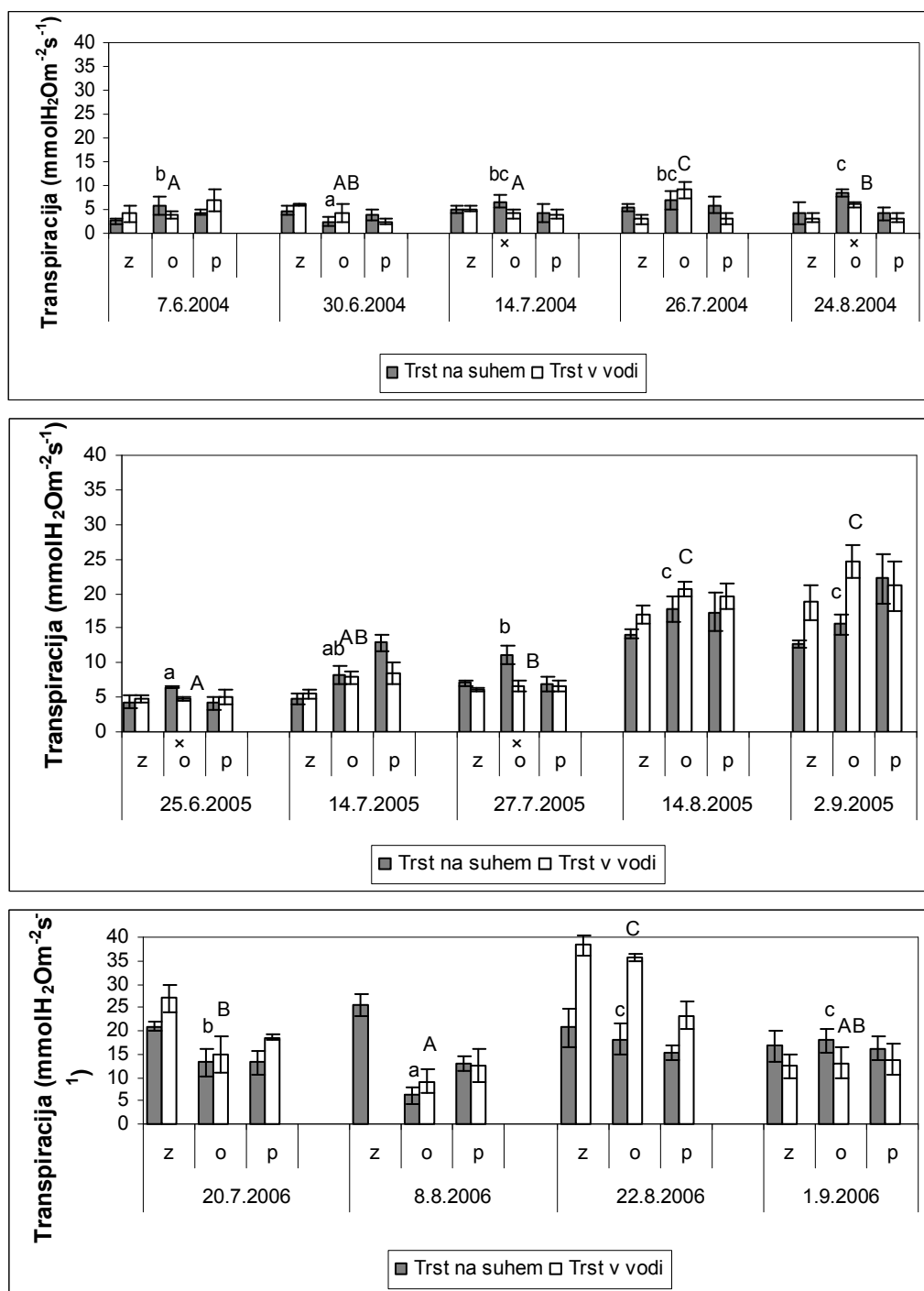
Slika A4: Dejanska fotokemična učinkovitost PSII (Fv/Fm) pri šašu v rastni sezoni 2004–2006 zjutraj, opoldan, popoldan. Podatki so aritmetične sredine $\pm$ SD ($n = 5$); različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ za opoldanske vrednosti.



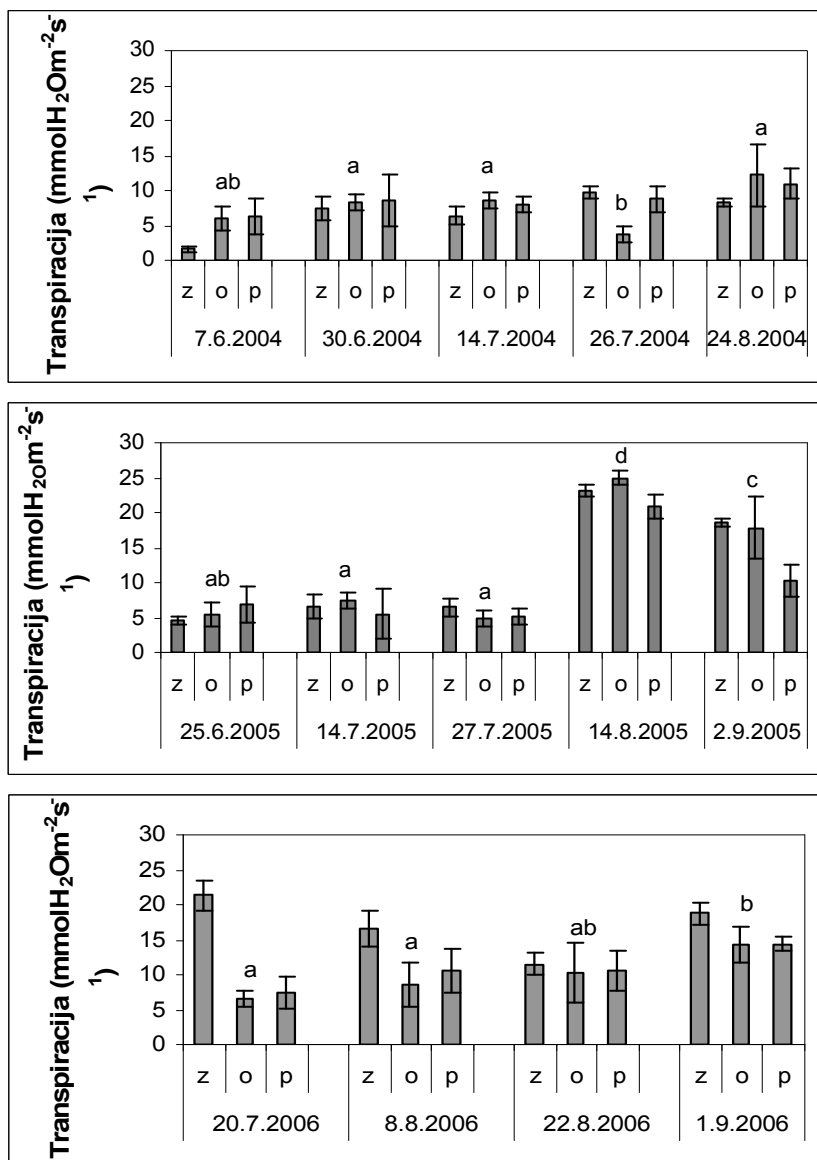
Slika A5: Neto fotosinteza pri trstu na kopnem in v vodi v rastni sezoni 2004–2006 zjutraj, opoldan, popoldan. Podatki so aritmetične sredine $\pm$ SD ($n = 5-10$); različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ za opoldanske vrednosti (A,B,C – trst v vodi; a,b,c – trst na suhem). $\times$ označuje statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ za opoldanske vrednosti med kopnimi in vodnimi poganjki pri trstu za posamezen datum vzorčenja.



Slika A6: Neto fotosinteza pri šašu v rastni sezoni 2004–2006 zjutraj, opoldan, popoldan. Podatki so aritmetične sredine $\pm$ SD ($n = 5-10$); različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ za opoldanske vrednosti.



Slika A7: Transpiracija pri trstu na kopnem in v vodi v rastni sezoni 2004–2006 zjutraj, opoldan, popoldan. Podatki so aritmetične sredine $\pm$ SD ($n = 5$); različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ za opoldanske vrednosti (A,B,C – trst v vodi; a,b,c – trst na suhem); $\times$ označuje statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ za opoldanske vrednosti med kopnimi in vodnimi poganjki pri trstu za posamezen datum vzorčenja.



Slika A8: Transpiracija pri šašu v rastni sezoni 2004 – 2006 zjutraj, opoldan, popoldan. Podatki so aritmetične sredine $\pm$ SD ($n = 5$); različne črke označujejo statistično značilno razliko pri $p < 0,05$ za opoldanske vrednosti.

