

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Katja JURAK

**SEZONSKE SPREMEMBE RASTI IN GLIVNE
KOLONIZACIJE NAVADNEGA TRSTA
(*Phragmites australis*) NA CERKNIŠKEM JEZERU**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2010

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Katja JURAK

**SEZONSKE SPREMEMBE RASTI IN GLIVNE KOLONIZACIJE
NAVADNEGA TRSTA (*Phragmites australis*)
NA CERKNIŠKEM JEZERU**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

**SEASONAL CHANGES AND FUNGAL COLONIZATION OF
COMMON REED (*Phragmites australis*) AT LAKE CERKNICA**

GRADUATION THESIS

University studies

Ljubljana, 2010

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija biologije. Opravljeno je bilo na Katedri za ekologijo in varstvo okolja Oddelka za biologijo na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani.

Študijska komisija Oddelka za biologijo je za mentorico diplomskega dela imenovala prof. dr. Alenko Gaberščik.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednica: doc. dr. Mateja GERM
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Članica: prof. dr. Alenka Gaberščik
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Članica: doc. dr. Katarina VOGEL-MIKUŠ
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Datum zagovora: 3.11.2010

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

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Katja JURAK

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	581.5:581.18(497.4Cerknško jezero)(043.2)=163.6
KG	Cerknško jezero/sezonske spremembe/ <i>Phragmites australis</i> /glivna kolonizacija/ fotokemična učinkovitost
AV	JURAK, Katja
SA	GABERŠČIK, Alenka, mentorica
KZ	SLO, 1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
LI	2010
IN	SEZONSKE SPREMEMBE RASTI IN GLIVNE KOLONIZACIJE NAVADNEGA TRSTA (<i>Phragmites australis</i>) NA CERKNŠKEM JEZERU
TD	Diplomska naloga (univerzitetni študij)
OP	IX, 36 str., 2 pregl., 13 sl., 1 pril., 62 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Na presihajočem kraškem mokrišču Cerknško jezero smo preučevali sezonske spremembe rasti in glivno kolonizacijo navadnega trsta <i>Phragmites australis</i> . V rastni sezoni 2009 smo ugotavljali višino rastlin, bazalni premer, število internodijev, listno površino, suho maso listov in suho maso stebel. Izmerili smo transpiracijo in učinkovitost izrabe sevanja. Spremembe rastnih parametrov so bile posledice razvoja rastline in sprememb vodostaja. Dejanska fotokemična učinkovitost je pokazala, da so bile rastline v stanju prehodnega stresa. Glivno kolonizacijo na koreninskem sistemu smo potrdili pri vseh izbranih rastlinah, vendar je bila njena intenziteta zelo nizka. Opazili smo, da se je večja gostota glivnih struktur pojavila v drugi polovici rastne sezone. Potrdili smo prisotnost temno septiranih endofitov, ki se je do konca rastne sezone povečevala. Statistična analiza je pokazala pozitivno korelacijo med intenziteto glivne kolonizacije in večino rastnih parametrov, ne pa tudi z izmerjeno fotokemično učinkovitostjo in transpiracijo.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn

DC 581.5:581.18(497.4Lake Cerknica)(043.2)=163.6

CX Lake Cerknica/seasonal changes/*Phragmites australis*/fungal colonization/
Photochemical efficiency

AU JURAK, Katja

AA GABERŠČIK, Alenka, supervisor

PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikerjeva 101

PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Biology

PY 2010

TI SEASONAL CHANGES AND FUNGAL COLONIZATION OF COMMON REED
(*Phragmites australis*) AT LAKE CERKNICA

DT Graduation thesis (University studies)

NO IX, 36 p., 2 tab., 13 fig., 1 ann., 62 ref.

LA sl

AL sl/en

AB In 2009 we investigated seasonal changes of growth parameters and fungal colonization of common reed *Phragmites australis* in the intermittent karst wetland Cerkniško jezero. We measured shoot height, basal diameter of shoots, number of shoot internodes, leaf area and dry mass of leaves and stems. We measured transpiration and light use efficiency. Changes of growth parameters were due to development of plants and changes of water level. The actual photochemical efficiency showed that the plants were under temporary stress. Fungal colonization of the root system was rather low. We found higher density of mycorrhizal structures in the second half of the growing season. We confirmed the presence of dark septated endophytes, which was increasing steadily through the growing season. Statistical analysis revealed positive correlation between fungal intensity and growth parameters, but no relation to photochemical efficiency and transpiration was obtained.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
1. UVOD	1
2. PREGLED OBJAV	2
2.1 CERKNIŠKO JEZERO	2
2.2 NAVADNI TRST <i>Phragmites australis</i>	3
2.3 MIKORIZA	3
2.3.1 Arbuskularna mikoriza	4
2.3.2 Temno septirani endofiti	5
2.4 FIZIOLOŠKI PARAMETRI	5
2.4.1 Fotosintezna aktivnost	5
2.4.2 Transpiracija	6
3. NAMEN RAZISKAV	7
3.1 HIPOTEZE	7
4. MESTO RAZISKAV	8
4.1 ZADNJI KRAJ	10
5. METODE DELA	12
5.1 TERENSKO DELO	12
5.1.1 Nabiranje vzorčnega materiala	12
5.1.2.Fiziološke meritve	12
5.2 LABORATORIJSKO DELO	13
5.2.1 Meritev rastnih parametrov	13
5.2.2 Glivna kolonizacija	144
5.2.2.1 Barvanje glivnih struktur v koreninskem sistemu	144
5.2.2.2 Vrednotenje kolonizacije z glivami	14

5.3 STATISTIČNA ANALIZA	15
6. REZULTATI	16
6.1 VIŠINA RASTLIN	16
6.2 BAZALNI PREMER	16
6.3 ŠTEVILO INTERNODIJEV	17
6.4 LISTNA POVRŠINA	18
6.5 SUHA MASA LISTOV IN STEBEL	19
6.6 FOTOKEMIČNA UČINKOVITOST PSII	20
6.7 TRANSPIRACIJA	21
6.8 GLIVNA KOLONIZACIJA	22
6.7 POVEZANOST MIKORIZE IN RASTNIH PARAMETROV	24
7. RAZPRAVA	26
7.1 RASTNI PARAMETRI	26
7.2 UČINKOVITOST IZRABE SEVANJA	26
7.3 TRANSPIRACIJA	27
7.4 GLIVNA KOLONIZACIJA	28
8. SKLEPI	30
9. POVZETEK	31
10. VIRI	32
ZAHVALA	
PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Opis lastnosti tal v času naše meritve v rastni sezoni 2009.....	10
Preglednica 2: Pearsonovi koeficienti korelacij med intenziteto glivne kolonizacije (M%) in rastnimi parametri vseh vzorcev (višina rastlin (V), bazalni premer (BP), število intenodijev (ŠI), listna površina (LP), suha masa listov (SmL), suha masa stebel (SmS), potencialna (F_v/F_m) in dejanska(Y) fotokemična učinkovitost,transpiracija (Tr)). * $p < 0,05$, $n = 40$	24

KAZALO SLIK

Slika 1: Vegetacijske enote na Cerknškem jezeru (Vir: Ortofoto, Geodetska uprava Republike Slovenije, 1997, cit. po Martinčič in Leskovar, 2003).....	9
Slika 2: Vzorčno mesto Zadnji kraj na Cerknškem mestu (Vir: ARSO)	10
Slika 3: Grafični prikaz razporeditve padavin od maja do avgusta 2009 izmerjene na merilnem mestu Cerknica. Označene so štiri meritve (↓) . Vir: ARSO.	11
Slika 4: Izmerjene višine navadnega trsta <i>Phragmites australis</i> v različnem času sezone v letu 2009. Različne črke nad stolpci pomenijo statistično značilno razliko ($p < 0,05$) med vzorčenji. Označena je standardna deviacija. $n=10$	16
Slika 5: Bazalni premeri navadnega trsta v različnem času sezone v letu 2009. Različne črke nad stolpci pomenijo statistično značilno razliko ($p < 0,05$) med vzorčenji. Označena je standardna deviacija. $n=10$	17
Slika 6: Število internodijev navadnega trsta v različnem času sezone v letu 2009. Različne črke nad stolpci pomenijo statistično značilno razliko ($p < 0,05$) med vzorčenji. Označena je standardna deviacija. $n=10$	17
Slika 7: Izmerjena listna površina navadnega trsta v različnem času sezone v rastni sezoni 2009. Različne črke nad stolpci pomenijo statistično značilno razliko ($p < 0,05$) med vzorčenji. Označena je standardna deviacija. $n=10$	18
Slika 8: Izmerjena suha masa listov in suha masa stebel navadnega trsta v različnem času sezone v letu 2009. Različne črke nad stolpci pomenijo statistično značilno razliko ($p < 0,05$) med vzorčenji. Označena je standardna deviacija. $n=10$	19
Slika 9: Dejanska fotokemična učinkovitost PSII (Y) navadnega trsta v različnem času sezone v letu 2009. Različne črke nad stolpci pomenijo statistično značilno razliko ($p < 0,05$) med vzorčenji. Označena je standardna deviacija. $n=10$	20
Slika 10: Spreminjanj transpiracije navadnega trsta v različnem času sezone v letu 2009. Različne črke nad stolpci pomenijo statistično značilno razliko ($p < 0,05$) med vzorčenji. Označena je standardna deviacija. $n=10$	21
Slika 11 : Frekvenca glivne kolonizacije(F%) in intenziteta glivne kolonizacije (M%) v koreninah navadnega trsta. Podatki so prikazani kot škatle s 1.kvartilom, mediano in	

3.kvartilom. Neizstopajoče podatke predstavljajo ročaji, ekstremne in izstopajoče podatke pa predstavlja znak (-).....	22
Slika 12: Gostota veziklov (V%) in gostota mikrosklerocijev (MS%) v koreninah navadnega trsta. Podatki so prikazani kot škatle s 1.kvartilom, mediano in 3.kvartilom. Neizstopajoče podatke predstavljajo ročaji, ekstremne in izstopajoče podatke pa predstavlja znak (-).	23
Slika 13: Vezikli in glivne hife (1) in mikrosklerociji (2) opaženi v koreninah navadnega trsta.	24

1. UVOD

Raziskave navadnega trsta so potekale na jezeru, ki je zdaj kopno, zdaj voda, ki je včasih vidno, včasih pa tudi nevidno. To je jezero, ki presiha, to je Cerknško jezero, edinstveno kraško mokrišče.

Različne študije procesov v mokriščih so pokazale, da hidrološke spremembe, izmenjavanje mokrih in suhih obdobij, v vegetacijskem obdobju vplivajo na rast in razvoj organizmov, ki tukaj živijo. Mikoriza, mutualistično združenje med rastlinskimi koreninami in glivami, je bila v preteklih raziskavah potrjena tudi pri mokriščnih rastlinah. Mikoriza ima pomembno vlogo pri prehrani rastlin in preživetju abiotičnega stresa. Glivna kolonizacija je lahko pod močnim vplivom sezonske dinamike, v mokriščih pa je prisoten še vpliv spremembe nivoja vode.

Navadni trst, *Phragmites australis*, je na območju Cerknškega jezera prevladujoča rastlinska vrsta. Zračno tkivo in razviti podzemni organi mu omogočajo strpnost do obsega in trajanja poplav. V rastni sezoni 2009 smo spremljali njegovo višino, bazalni premer, število internodijev, listno površino ter suho maso listov in suho maso stebel. Izmerili smo dejansko fotokemično učinkovitost in potencialno fotokemično učinkovitost ter transpiracijo. Želeli smo ugotoviti kakšna je glivna kolonizacija korenin navadnega trsta, saj je o tem malo podatkov iz naravnih rastišč. Preučevali smo sezonske spremembe rastnih in fizioloških parametrov ter glivne kolonizacije.

2. PREGLED OBJAV

2.1 CERKNŠKO JEZERO

Cerkniško jezero je presihajoče kraško mokrišče. Ramsarska konvencija opredeljuje mokrišče kot »Območja močvirij, nizkih barij, šotišč ali vode, naravnega ali umetnega izvora, stalna ali občasna, s stoječo ali tekočo vodo. Voda je sladka, polslana ali slana, vključno z območji obalnega morja, kjer voda ob osekah ne preseže globine šestih metrov«. Mokrišča sodijo med zelo produktivna območja na Zemlji. Obseg sprememb vodne gladine pa vpliva na produktivnost ekosistema (Boulton in Brock, 1999), po drugi strani pa lahko hidrološke spremembe predstavljajo stres tukajšnjim organizmom.

Cerkniško jezero ni niti jezero, niti kopenski ekosistem. Izmenjujeta se presihanje in polnjenje, ki sta posledica klimatskih, hidroloških in geomorfoloških značilnosti območja. Prevladujoča kamnina je karbonat, ki je na predelih bruhalnikov in ponorov v topni obliki kalcijevega karbonata, na nekaterih predelih pa prehaja v manj topen magnezijev karbonat. (Gaberščik in Urbanc-Berčič, 2003). Nivo vode je odvisen od količine in letne razporeditve padavin (Gaberščik in Urbanc-Berčič, 2001, Zupančič, 2003). Boulton in Brock (1999) sta kot glavne spremenljivke vodnega režima navedla pojavljanje vode, frekvenco in trajanje poplavljanja, obseg poplav ter trajanje poplav. Spremembe vodostaja pomembno vplivajo na abiotske in biotske procese - mineralizacija, kroženje snovi ter na produktivnost organizmov. Izmenjave mokrih in suhih obdobj močno upočasnijo sukcesijo in ekosistem vzdržujejo med mladostjo in zrelostjo (Gaberščik in sod, 2003), saj izsuševanje polja pospeši aerobno razgradnjo organskih snovi (Urbanc-Berčič in sod., 1999; Gaberščik in Urbanc-Berčič, 2000). Primarna produkcija na jezeru je zelo spremenljiva in odvisna od vodnega režima, saj se ob ponovnem poplavljanju sproščajo hranilne snovi, ki omogočijo bujno rast primarnim producentom. Tako se v ekosistemu kopiči kemično vezana energija, ki je produkt pretvorbe sončne energije.

Uspeh rastlin v tem skrajnem okolju je odvisen od njihove sposobnosti premagovanja sprememb vodostaja. Rastline imajo različne strategije preživetja, morfološko, fiziološko in biokemijsko plastičnost; kozmopolitski značaj ali tvorijo trajne stadije (Germ in Gaberščik, 2003).

Večji del jezerske površine pokriva močvirska vegetacija in vegetacija mokrotnih travnikov. Trstišča, ki tvorijo obsežne enovrstne sestoje, so do sedaj najbolj raziskana, saj je navadni trst (*Phragmites australis*) prevladujoč predstavnik vegetacije na Cerknškem jezeru.

2.2 NAVADNI TRST *Phragmites australis*

Navadni trst (*Phragmites australis*) je kozmopolitska trajnica, ki jo uvrščamo med visoke trave. Je zelo razširjena vrsta značilna za ekotone med kopenskim in vodnim okoljem, pojavlja se v sladki vodi in somornici (Mauchamp in Methy, 2004). Ima močno koreniko, ki najpogosteje seže v globino 10-30 cm, korenine pa se lahko razrastejo do večje globine. Zraste lahko do višine 4 m in zaradi visoke pokrovnosti zasenči nižje rastline. Najpogosteje se poleg navadnega trsta pojavljajo močvirski lakota *Galium palustre*, vodna meta *Mentha aquatica*, navadna pijavčnica *Lysimachia vulgaris* in navadna krvenka *Lythrum salicaria*. Gaberščik in sod. (2000) so v triletni meritvi primarne produkcije navadnega trsta ugotovili, da je produkcija zaradi rastiščnih razmer (predvsem vodnega režima) spremenljiva. Dokazano je bilo, da globoka voda omejuje preskrbo koreninskega sistema s kisikom (Armstrong in sod., 1990; cit. Gaberščik in Urbanc-Berčič, 2003), pomanjkanje kisika pa upočasni razvojne procese. Pagter in sod. (2005) pa menijo, da ima trst dobro razvite prilagoditve na poplave, da je dobro prilagojen za rast v mokriščih, da po eni strani lahko raste v precej globoki vodi, lahko pa prenaša tudi sušna obdobja, ko vode primanjkuje. Glede na vodostaj in z njim povezano dostopnost do kisika, se na obrobju jezera pojavlja "terestrični trst", na poplavljenih delih pa raste "litoralni trst" (Gaberščik in sod., 2000).

Pri navadnem trstu na Cerknškem jezeru sta Dolinar in Gaberščik (2010) mikorizno kolonizacijo zaznali skozi celotno rastno sezono.

2.3 MIKORIZA

Mikoriza je mutualistično združenje med koreninami rastlin in glivo, ki je prisotno pri skoraj vseh kopenskih rastlinah. Ima pomembno vlogo pri prehrani rastlin in preživetju v abiotičnem stresu (Smith in Read, 1997).

V preteklosti so redko raziskovali pojav mikorize v mokriščih, v zadnjem času pa so v številnih mokriščih bile ugotovljene kolonizacije rastlinskih korenin z mikoriznimi glivami (Šraj-Kržič in sod., 2006; Ray in Inouye, 2006; Šraj-Kržič in sod., 2009; Dolinar in Gaberščik, 2010). Sezonska dinamika in spreminjanje nivoja vode v rastni sezoni močno vplivata na mikorizno kolonizacijo rastlinskih korenin, kar se lahko odraža v fenoloških spremembah (Bohrer in sod., 2004).

2.3.1 Arbuskularna mikoriza

Arbuskularna mikoriza (AM) je najpogostejši tip sožitja med rastlino in talno glivo, saj je prisotna pri 80% rastlinskih vrstah (Smith in Read, 1997). Tvorijo obligatno simbiozo, saj rastlina glivo oskrbi z ogljikovimi hidrati, gliva pa rastlini omogoča privzem slabo mobilnih elementov (Müller in sod., 2002). Med njimi je najpomembnejši element fosfor (Smith in Read, 1997). Oblikovanje mikoriznih združenj lajša sprejem fosforja preko hif ali z organskimi kislinami mikoriznih gliv, ki vezan fosfor sprostijo in ga pretvorijo v dostopno obliko za gostiteljico (Kai in Zhiwei, 2006). AM je tako povezana z boljšo rastjo gostiteljske rastline, s toleranco na sušo in slanost, omogoča sinergijske interakcije z drugimi koristnimi mikroorganizmi, izboljšuje strukturo rizosfere (Akhtar in sod., 2008) ter zmanjša škodo, ki jo povzročajo patogeni mikroorganizmi (Smith in Read, 1997; Beaugard in sod., 2008). AM lahko zmanjša privzem kovin v rastlinske korenine z vezavo kovin na hitin in melanin v celični steni glive ali pa glive shranijo kovine v obliki granul v svojo citoplazmo (Vogel - Mikuš in sod., 2006). Audet in Charest (2006) sta ugotovila, da AM pomaga privzemati in akumulirati esencialne kovine pri majhnih koncentracijah kovin v tleh, pri velikih koncentracijah kovin v tleh pa glive omejijo njihov privzem in translokacijo. Vogel-Mikuš in sod. (2005) v tleh s previsokimi koncentracijami cinka, kadmija in svinca niso potrdili glivne kolonizacije, kar kaže na propad glive v onesnaženem okolju.

AM tvorijo samo glive iz debla Glomeromycota (Schüsler in sod., 2001). AM prepoznamo po neseptiranih hifah, veziklih in arbuskulih. Arbuskuli so drevesaste kratkotrajne oblike, ki so pogosto odsotne ali težko vidne (Brundrett, 2004). Vezikli so z debelimi stenami strukture različnih oblik (jajčaste, ovalne, kroglaste), ki vsebujejo obilo lipidov in predstavljajo

pomemben organ za skladiščenje založnih snovi. Služijo tudi kot propaguli v koreninah (Smith in Read, 1997).

Menjave mokrih in suhih obdobj so eden od glavnih dejavnikov, ki vplivajo na AM kolonizacijo v mokriščih (Miller, 2000; Ray in Inouye, 2006; Šraj-Kržič in sod., 2006). AM kolonizacija rastlin mokrišč negativno korelira z globino vode ali trajanjem poplav (Miller, 2000). Šraj-Kržič in sod. (2006) menijo, da AM kolonizacija lahko zmanjšuje vodni stres.

2.3.2 Temno septirani endofiti

Kolonizacijo s temno septirani endofiti (DSE) so opisali pri več kot 600 rastlinskih vrstah, ki se pojavljajo v tropskih, arktičnih in gorskih življenjskih okoljih. DSE so raznolika skupina anamorfni askomicetnih gliv, ki kolonizirajo koreninska tkiva intra- in intercelularno.

Melanin daje zaščito (Jumponnen in Trappe, 1998) in temno obarvanost septiranim hifam. Posamezne hife običajno rastejo v depresiji med sosednjimi epidermalnimi celicami in lahko kolonizirajo prostor med celicami skorje vzdolž glavne koreninske osi (Currah in sod., 1993). Hife sčasoma preidejo v zunanje celice skorje, pri tem pa ne povzročajo izkrivljenosti ali drugih poškodb koreninskega sistema gostiteljske rastline (O'Dell et al., 1993). Hife na površini tvorijo hifne preplete, Hartigovo mrežo, mikrosklerocije (Jumponnen in Trappe, 1998) ali razširjevalne propagule (Currah in sod., 1993). Pogosteje se pojavljajo pri starejšem koreninskem sistemu in pogosto hkrati z AM in ektomikorizo. Delujejo kot mutualistične glive, ki sodelujejo pri pridobitvi hranil in vode v neugodnih razmerah (Jumponnen in Trappe, 1998). Pripada jim pomembna ekološka vloga, zaradi pogostosti v različnih naravnih razmerah, globalne razširjenosti in različnih vplivov na gostitelja (Mandyam in Jumponnen, 2005).

2.4 FIZIOLOŠKI PARAMETRI

2.4.1 Fotosintezna aktivnost

Na fotosintezno aktivnost rastline vplivajo razmere v okolju, temperatura, sevanje, gostota toka fotonov fotosintezno aktivnega spektra sevanja (PPFD), dostopnost hranil in vode ter

drugi okoljski dejavniki (Trošt-Sedej, 2005). Mauchamp in Méthy (2004) sta ugotovila, da na fotosistem 2 (PSII) vplivajo tudi poplave in glede na trajanje ter stopnjo poplav, kaže PSII različne odzive. Ugotovljeno je bilo, da so učinki kratkotrajnih sprememb okoljskih parametrov reverzibilni in ne povzročajo nepopravljivih poškodb (Mauchamp in Méthy, 2004; Šraj-Kržič in Gaberščik, 2005), saj sta slednji avtorici pri amfibijskih rastlinah na Cerkniškem jezeru izmerili optimalne vrednosti potencialne fotokemične učinkovitosti (F_v/F_m) v različnih okoljih. Pri navadnem trstu *Phragmites australis* so bile vrednosti F_v/F_m prav tako blizu optimalne 0.83, dejanska fotokemična učinkovitost pa je bila raznolika in je odražala posledice kratkotrajnega stresa (Mauchamp in Méthy, 2004).

2.4.2 Transpiracija

Transpiracija je proces, pri katerem voda v plinasti obliki izhaja iz rastlin v atmosfero. Je difuzijski proces, ki je odvisen od velikosti lista, od vetrovnosti in od odprtosti listnih rež (Trošt-Sedej, 2005). Stopnja transpiracije je odvisna tudi od pritiska zračne vlage na površini lista in od pritiska zračne vlage v atmosferi (Cronk in Fennessy, 2001). Ko so rastline izpostavljene vodnemu stresu, zmanjšajo stomatalno prevodnost za vodno paro in s tem upočasnijo transpiracijo (Pagter in sod., 2005). Podnebni dejavniki, kot so temperatura zraka in sončno sevanje, so pomembni regulatorji transpiracije, saj sodelujejo z razpoložljivostjo vode ter s fiziološkim in fenološkim statusom rastline (Gazal in sod., 2006). Manjše samozasenčenje trav vpliva na povečano sevanje in višjo temperaturo. V takšnih razmerah so stopnje transpiracije visoke in lahko delujejo kot mehanizem za hlajenje (Ramírez in sod., 2006).

3. NAMEN RAZISKAV

V rastni sezoni leta 2009 (maj-september) smo spremljali okoljske parametre, predvsem spremembe vodostaja in vremenske razmere, rastne parametre ter izbrane fiziološke parametre pri navadnem trstu. Na koreninskem sistemu smo spremljali tudi spremembe v stopnji glivne kolonizacije.

3.1 HIPOTEZE

Predpostavili smo, da:

- Pričakujemo, da bodo rastline v rastni sezoni postopno pridobivale višino, listno površino, maso listov in stebel, proti koncu rastne sezone pa pričakujemo manjši porast ali celo upad.
- Glivna kolonizacija se bo spreminjala zaradi okoljskih razmer in ontogeneznega razvoja.
- V razmerah nižjega vodostaja in večje prezračenosti tal pričakujemo večjo glivno kolonizacijo.

4. MESTO RAZISKAV

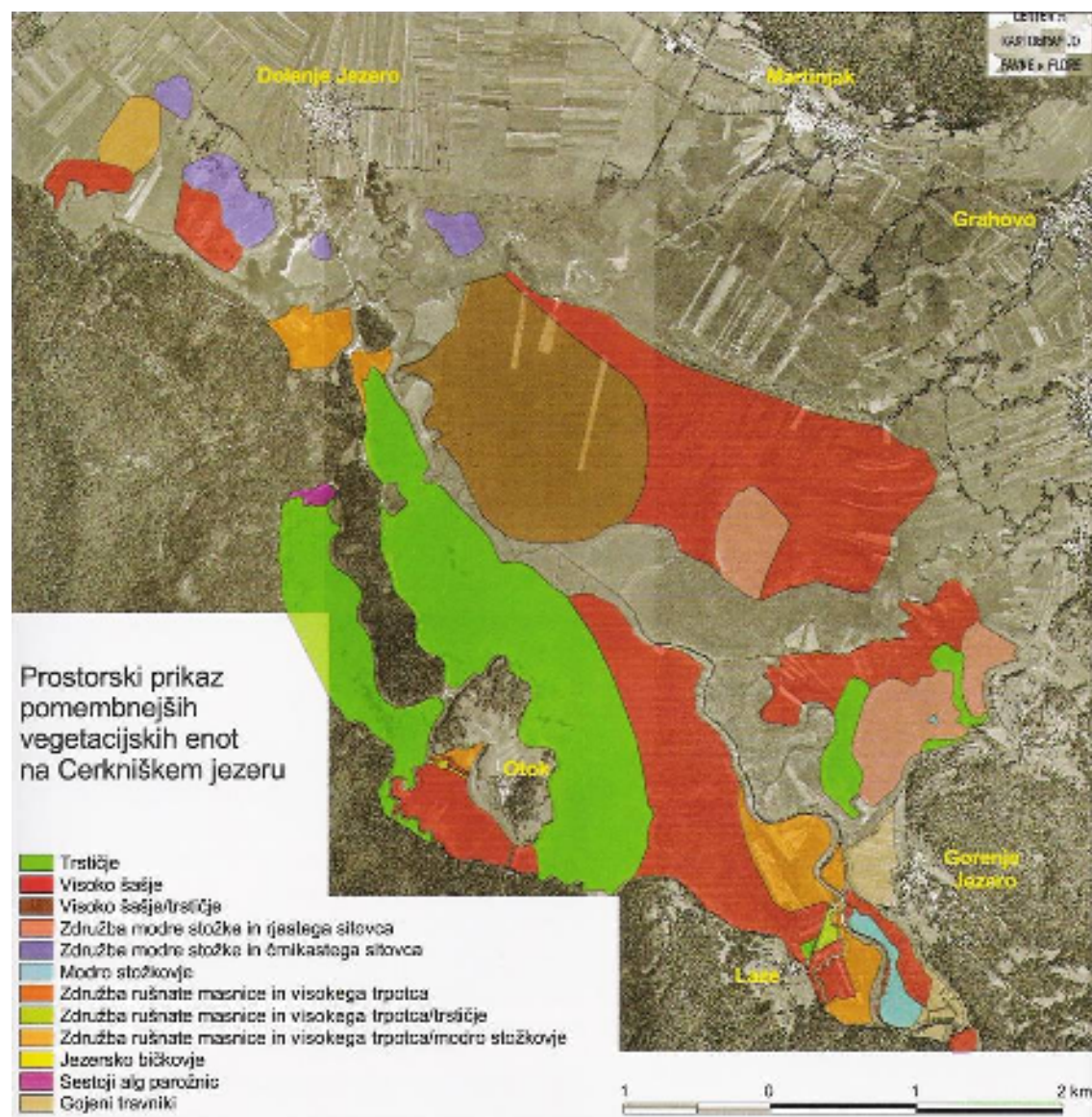
Presihajoče Cerkniško jezero (45°45'N 14°20'E; 549 m n.v.) se nahaja na dnu Cerkniškega polja in je edinstven kraški pojav. Cerkniško jezero je, zaradi geografske lege, preplet značilnosti mediteranske, gorske in zmerne kontinentalne klime. Glavne klimatske značilnosti tega območja se odražajo pri porazdelitvi povprečne letne temperature zraka in povprečne letne višine padavin. Po skupni letni količini padavin spada širše območje Cerkniškega jezera v bolj namočen del Slovenije (Zupančič, 1995). Glavni vzrok za tako velike količine padavin je lega, neposredno za razmeroma visokim grebenom Javornikov (Zupančič, 2002).

Za Cerkniško jezero je značilna izmenjava suhih in mokrih obdobj. Suho obdobje se začne na začetku poletja, jezero pa se napolni zopet med jesenskim deževjem (Gaberšček in Urbanc - Berčič, 2003). Med deževnim obdobjem se voda zbira iz višje ležečih kraških polj in neposredno iz padavin (Krajnc, 2002). Voda bruha tudi iz številnih jam na robu polja in iz odprtin na dnu polja. Postopoma se nivo vode zvišuje in v nekaj dneh poplavi celotno območje, proces sušenja pa poteka počasneje.

Raziskave Gaberščikove in sod. (2002) so pokazale, da je pojavljanje rastlinskih vrst odvisno od vodnega režima v določenem letu. Normalne poplave omogočajo največjo raznolikost habitatov in bogastvo združb. Habitati so odvisni od obsega sprememb vodnega režima, lastnosti tal in drugih dejavnikov. Na območju Cerkniškega jezera so zastopane naslednje združbe:

- Vodne združbe (sestoji alg parožnic, združbe bleščečega dristavca, nitastolistnega dristavca, združba češljastega dristavca in navadne smrečice, ter združba rmanca in rumenega blatnika)
- Amfibijske združbe (združba prave potočarke in iglaste site, združba širokolistne koščice)
- Barjanske združbe in združbe mokrotnih travnikov (modro stožkovje s črnikavim in rjastim sitovcem, modro stožkovje, združba rušnate masnice in visokega trpotca)
- Močvirske združbe

Močvirske združbe se pojavljajo na območjih, kjer voda ne preseže globine dveh metrov, traja pa do dva meseca. Največje površine porašča navadni trst *Phragmites australis*, tudi v Zadnjem kraju, ki je bil naše vzorčno mesto. Jezersko bičkovje se pojavlja v predelih, kjer je plitva voda prisotna večino vegetacijske sezone. V osrednjem delu jezera prevladujejo sklenjene površine togega šaša. Ožji ali širši pasovi ob počasi tekočih potokih so poraščeni s trstično pisanko, sestoji močvirske site pa se pojavljajo v ozkem obrežnem pasu le nekaterih pritokov. Obrežno šašje, kljunasto šašje in vodno presličje je razvito le na maloštevilnih manjših površinah (Martinčič in Leskovar, 2002, Gabersčik in sod., 2003).



Slika 1: Vegetacijske enote na Cerknškem jezeru (Vir: Ortofoto, Geodetska uprava Republike Slovenije, 1997, cit. po Martinčič in Leskovar, 2003)

4.1 ZADNJI KRAJ

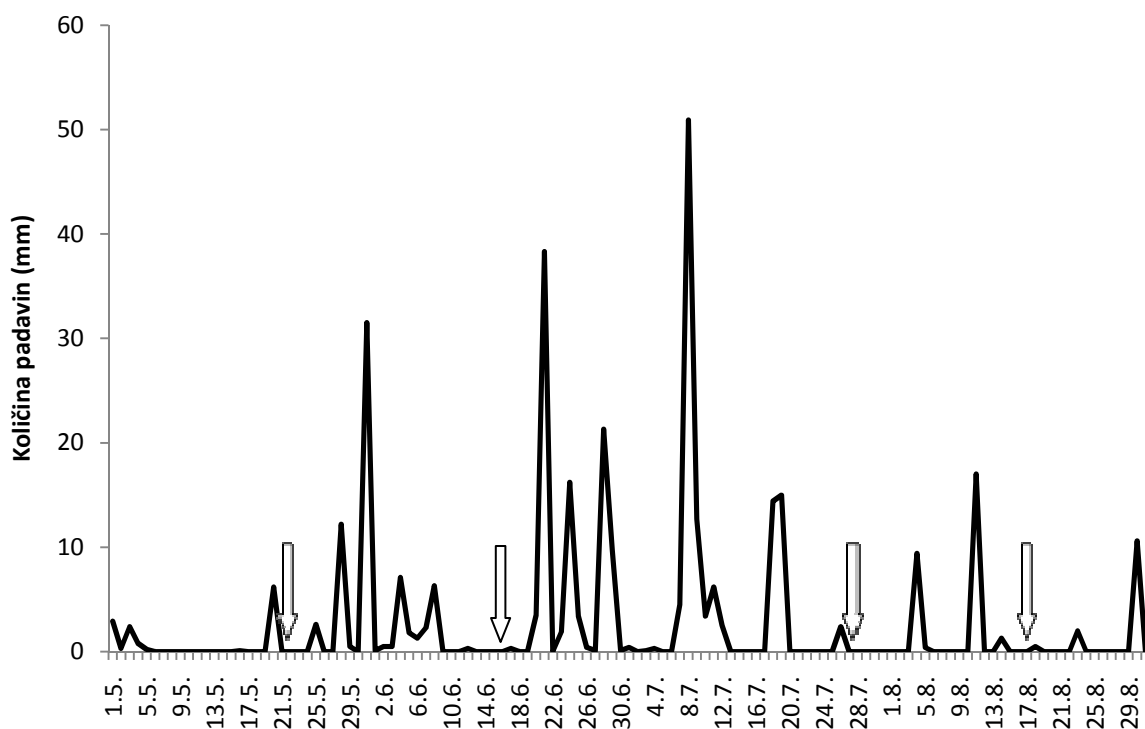
Zadnji kraj ob vasi Otok se nahaja na zahodnem obrobju polja, odmaknjen od potoka Stržen. Je skoraj 2 km dolg in 0,3-0,5 km širok zaliv. Tu se voda najdlje zadržuje, iz številnih estavel, skalnih razpok ter požiralnikov zadnja odteče, ob naraščanju jezera pa se iz odprtih v tleh in v skalnem robu napolni. Tla so muljasta, peščena, na predelih estavel in požiralnikov pa skalnata. Voda je na vzorčnem mestu presahnila že v času naše prve meritve, kasneje tudi na širšem območju, vendar so bila tla na našem vzorčnem mestu v celotni rastni sezoni vlažna. Pri raziskavi kemizma vode Cerknškega jezera je najbolj izstopajoča lokacija bila Zadnji kraj, kjer so izmerili najnižjo količino TP (fosfor) in TN (dušik) (Gaberščik in Urbanc-Berčič, 2002).



Slika 2: Vzorčno mesto Zadnji kraj na Cerknškem mestu (Vir: ARSO)

21.5.	15.6.	27.7.	17.8.
Z vodo nasičena tla	Vlažna tla	Vlažna tla	Vlažna tla, površina tal osušena

Preglednica 1: Opis lastnosti tal v času naše meritve v rastni sezoni 2009.



Slika 3: Grafični prikaz razporeditve padavin od maja do avgusta 2009 izmerjene na merilnem mestu Cerknica. Označene so štiri meritve (↓) . Vir: ARSO.

5. METODE DELA

Raziskava je zahtevala terensko in laboratorijsko delo. Vzorčenja in meritve ekofizioloških parametrov smo opravili štirikrat v rastni sezoni od maja do avgusta (20.5., 15.6., 27.7., 17.8.2009) na vzorčnem mestu v Zadnjem Kraju.

5.1 TERENSKO DELO

5.1.1 Nabiranje vzorčnega materiala

Na izbrani lokaciji smo na večjem območju z enakimi rastnimi razmerami naključno izbrali 10 rastlin vrste *Phragmites australis*, jih označili in izvedli fiziološke meritve. Nato smo vsako rastlino previdno izkopali, tako da se je koreninskega sistema držala prst, in jo spravili v plastično vrečko.

5.1.2. Fiziološke meritve

Fiziološke meritve smo izvedli ob sončnem vremenu v opoldanskem času, ko je vrednost fotonskega fluksa fotosintetsko aktivnega spektra sevanja (PPFD) presegala $1200 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Spremljali smo tudi ostale abiotске dejavnike: temperaturo zraka in relativno zračno vlažnost. Merili smo potencialno in dejansko fotokemično učinkovitost (modulacijski fluorometer OS - 500, Opti-Sciences, Tyngsboro, MA, ZDA) ter transpiracijo (Model SC-1, Decagon).

Potencialno fotokemično učinkovitost PSII (F_v/F_m) smo izmerili na listih, ki smo jih za 20 minut s posebnimi ščipalkami zatemnili in nato osvetlili s saturacijskim pulzom bele svetlobe (PPFD~8000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$; trajanje 0,8 s). Fluorescentni signal pred osvetlitvijo imenujemo minimalna (F_0), po osvetlitvi pa maksimalna (F_m) fluorescenca temotno adaptiranega vzorca. Razliko med F_0 in F_m imenujemo variabilna fluorescenca (F_v). Količnik F_v/F_m , ki predstavlja zmogljivost PSII je hkrati merilo stresa. Vrednosti med 0,8-0,83 so značilne za vitalne rastline. Dejansko fotokemično učinkovitost PSII (Y) smo merili pri danih svetlobnih razmerah. Na list smo namestili ščipalko, ki ga je pod kotom 60° osvetlila s pulzom saturacijske bele svetlobe (PPFD~9000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$; trajanje 0,8 s). Dejansko fotokemično

učinkovitost izrazimo kot Yield (Y) s količnikom variabilne ($F_m - F_s$) in maksimalne (F_m) fluorescence osvetljenega vzorca.

5.2 LABORATORIJSKO DELO

V laboratoriju smo izmerili rastne parametre preučevanih rastlin in pripravili vzorce korenin za kasnejše preučevanje mikorize.

5.2.1 Meritev rastnih parametrov

Z metrom smo izmerili višino stebela. S kljunastim merilom smo izmerili bazalni premer na najnižji točki nadzemnega dela, vendar ne na nodiju. Prešteli smo število internodijev. Nato smo liste ločili od stebel, stebela pa razrezali in jih zavili v aluminijasto folijo. Z areametrom smo izmerili listno površino listov in jih nato zavili v aluminijasto folijo. Po končanem delu za vse paralelke smo vse vzorce, spravljene v aluminijastih folijah, za najmanj 24 ur dali sušiti v sušilnik (UNB400 Memmert, Nemčija) na 105 °C. Z miligramsko tehtnico (Sartorius Analytic, SA LK-008) smo stehali suho maso listov in stebel.

Priprava vzorcev za pregled glivne kolonizacija

Vsaki rastlini smo pri stiku s tlemi odrezali nadzemni del od podzemnega. Nekaj prsti iz okolice korenin smo zavili v aluminijasto folijo, ostalo prst pa smo previdno sprali z vodovodno vodo in nazadnje še z destilirano vodo. Večje korenine smo zavili v aluminijasto folijo, korenine z najtanjšimi koreninskimi laski pa so predstavljale vzorce za določanje mikorizne kolonizacije, shranili smo jih v kozarce s 70% etanolom.

5.2.2 Glivna kolonizacija

5.2.2.1 Barvanje glivnih struktur v koreninskem sistemu

Tripan modro selektivno barva hitin, ki sestavlja celično steno simbiotske glive, in omogoča opazovanje glivnih struktur pod svetlobnih mikroskopom. Postopek barvanja smo povzeli po metodi Philips in Hayman (1970). Koreninski sistem rastline smo dobro sprali z vodovodno vodo in zatem še z destilirano vodo. Narezali smo ga v večje fragmente in položili v 16 mm široke epruvete. Fragmente smo prelili z 10% KOH (100g KOH in 1000 ml destilirane vode) in epruvete zatesnili s tilom. Tako pripravljene vzorce smo 30 minut segrevali v sušilniku na 90 °C. Nato smo 10% KOH odlili iz epruvet in korenine vsaj trikrat dobro sprali pod tekočo vodovodno vodo. V epruvete s spranimi fragmenti smo nato nalili 0,05% raztopino tripan modrega (40 g destilirane vode, 40 g mlečne kisline, 80 g glicerola in 0,08 g tripan modrega) in jih segrevali v sušilniku 15 minut pri 90°C. Nato smo barvilo tripan modro odlili in fragmente trikrat sprali pod tekočo vodovodno vodo in na koncu še z destilirano vodo. Tako pripravljene vzorce smo hranili v hladilniku.

5.2.2.2 Vrednotenje kolonizacije z glivami

Na obarvanih koreninah smo naključno izbrali 30 odsekov dolgih približno 1 cm. Položili smo jih na objektno stekelce, nanje kanili laktoglicerol in jih prekrili s krovnim stekelcem. Tako pripravljene vzorce smo pregledali pod svetlobnim mikroskopom, jih fotografirali z digitalno kamero in obdelali z računalniškim programom.

Glivno kolonizacijo smo ocenili po metodi, ki so jo opisali Trouvelot in sod. (1986). Pri vsakem odseku korenine smo na osnovi šest stopenjske lestvice ocenili stopnjo mikorizne kolonizacije (0 %, <1 %, < 10%, < 50 %, > 50 %, > 95 %), na osnovi štiri stopenjske lestvice pa gostoto mikoriznih struktur (hife, vezikle in arbuskule ter strukture DSE: hife in mikrosklerocije). Oceno vsakega segmenta smo sproti zapisovali v ocenjevalno tabelo in izračunali mikorizno frekvenco ter druge mikorizne parametre. Mikorizna frekvenca predstavlja frekvenco fragmentov z glivo in je povezana s številom in homogenostjo razporeditve AM propagulov v zemlji.

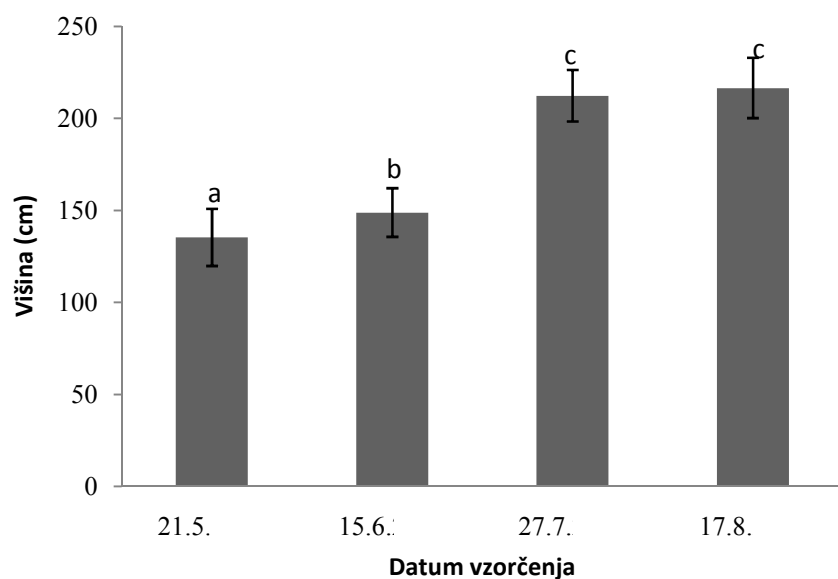
5.3 STATISTIČNA ANALIZA

Iz meritev rastnih parametrov smo izračunali povprečne vrednosti in standardne deviacije. Za izris grafov in tabel smo uporabili Microsoft Office Excel 2007. Podatke o glivni kolonizaciji smo predstavili v obliki škatel z ročaji (boxplot). Koeficient korelacij smo ugotavljali s pomočjo programskega paketa R (R Development Core Team, 2009). Povezanost med intenziteto glivne kolonizacije in rastnimi parametri smo ugotavljali s pomočjo Pearsonovega korelacijskega koeficienta. Verjetnosti značilnih razlik smo označili kot * $p < 0,05$.

6. REZULTATI

6.1 VIŠINA RASTLIN

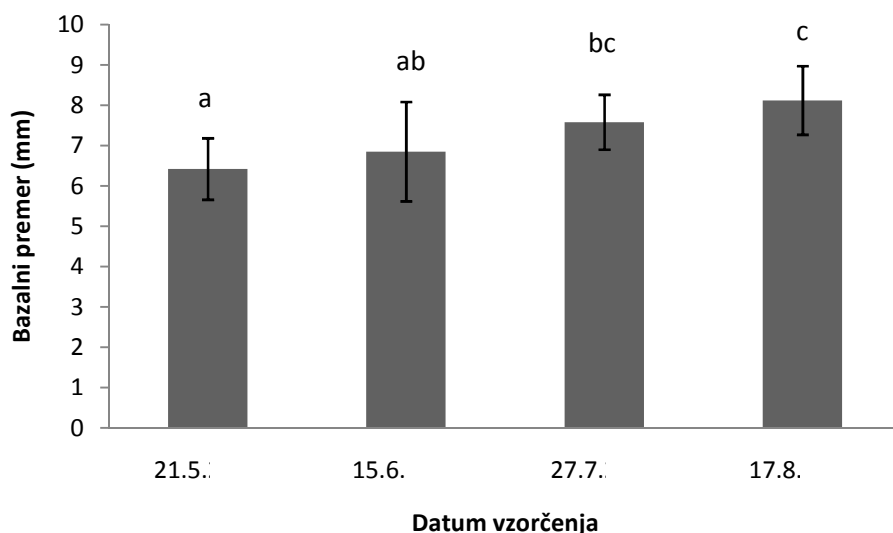
Ob prvem vzorčenju so bile rastline v povprečju visoke 135 cm, tri tedne kasneje pa se je višina rastlin povečala za skoraj 15 cm. Proti koncu julija so rastline dosegle višino 212 cm, ki se do zadnjega vzorčenja v avgustu ni bistveno spremenila.



Slika 4: Izmerjene višine navadnega trsta *Phragmites australis* v različnem času sezone v letu 2009. Različne črke nad stolpci pomenijo statistično značilno razliko ($p < 0,05$) med vzorčenji. Označena je standardna deviacija. $n=10$

6.2 BAZALNI PREMER

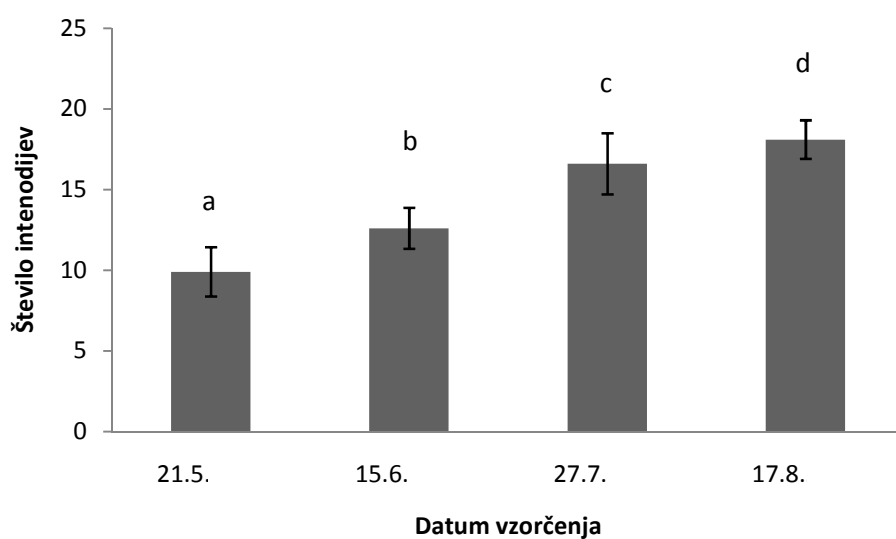
Bazalni premeri vseh merjenih rastlin so se skozi rastno sezono povečevali. Tako smo ob prvem vzorčenju rastlinam izmerili 6,4 mm bazalnega premera, pri drugi in četrti meritvi smo zabeležili približno sedem odstotkov povečan premer, kar štirinajst odstotkov pa se je bazalni premer povečal med drugim in tretjim vzorčenjem.



Slika 5: Bazalni premeri navadnega trsta v različnem času sezone v letu 2009. Različne črke nad stolpci pomenijo statistično značilno razliko ($p < 0,05$) med vzorčenji. Označena je standardna deviacija. $n=10$

6.3 ŠTEVILO INTERNODIJEV

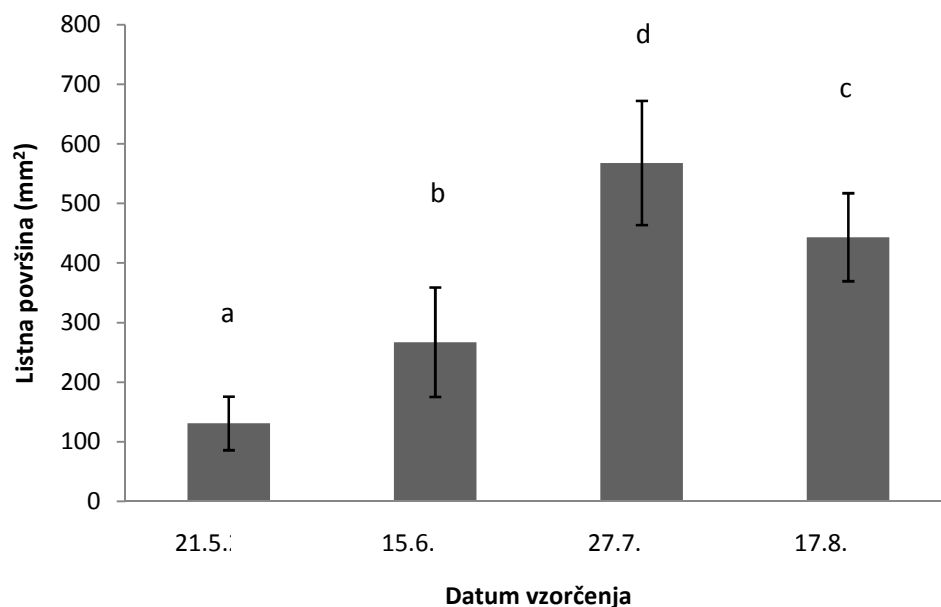
Število internodijev se je v rastni sezoni konstantno povečevalo. V mesecu maju so rastline imele 10 internodijev, v juniju in avgustu se je število le-teh povečalo za tri oziroma dva. V juliju smo opazili največji porast števila internodijev, saj smo jih pri rastlinah prešteli kar štiri več.



Slika 6: Število internodijev navadnega trsta v različnem času sezone v letu 2009. Različne črke nad stolpci pomenijo statistično značilno razliko ($p < 0,05$) med vzorčenji. Označena je standardna deviacija. $n=10$

6.4 LISTNA POVRŠINA

Ob prvi meritvi smo izmerili 130 cm² listne površine, ki se je do druge meritve dvakrat povečala. V juliju, ko smo izvedli tretjo meritev, so bile listne površine največje. Proti koncu rastne sezone, v mesecu avgustu, se je listna površina zmanjšala.

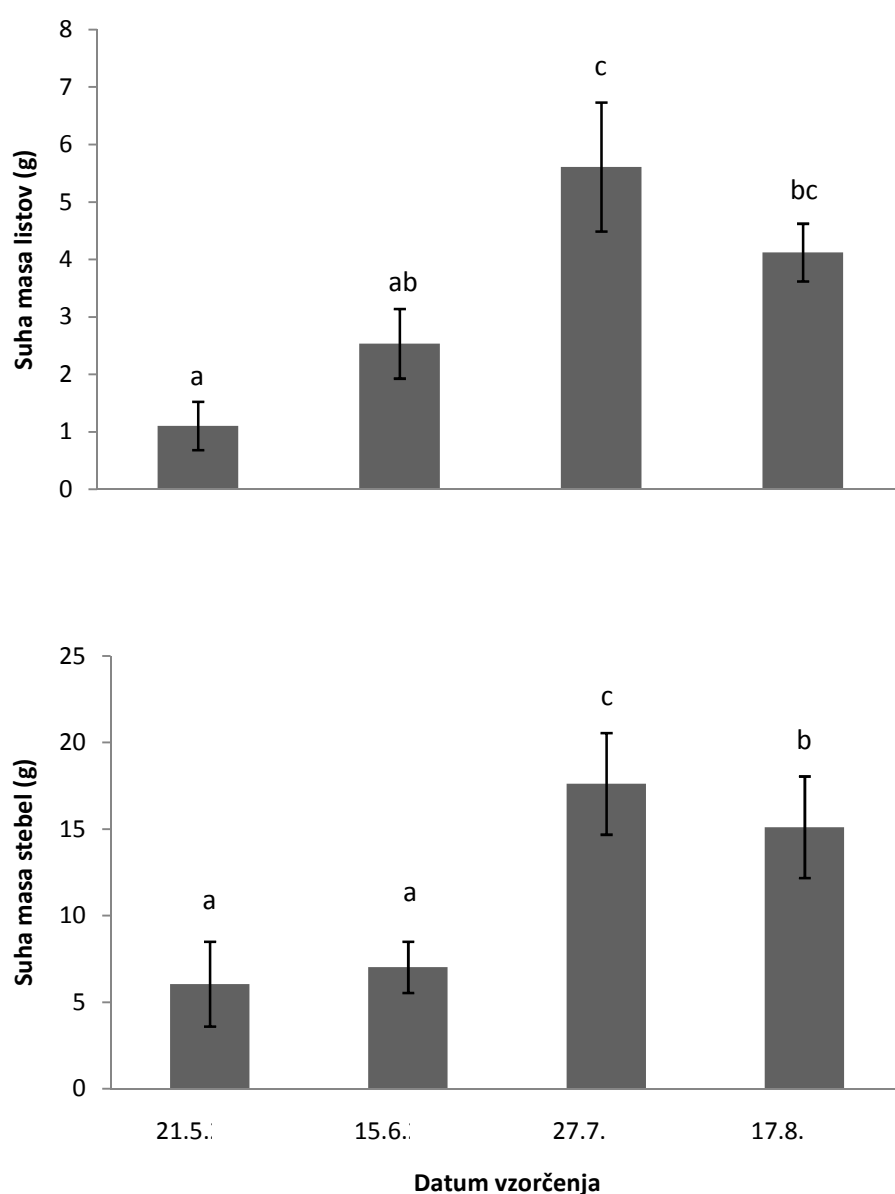


Slika 7: Izmerjena listna površina navadnega trsta v različnem času sezone v rastni sezoni 2009. Različne črke nad stolpci pomenijo statistično značilno razliko ($p < 0,05$) med vzorčenji. Označena je standardna deviacija. $n=10$

6.5 SUHA MASA LISTOV IN STEBEL

Suha masa listov se je v začetku rastne sezone povečevala, v juliju je dosegla maksimum, v avgustu pa se je suha masa listov zmanjšala.

Suha masa stebel ob prvi in drugi meritvi se ni bistveno razlikovala. Veliko povečanje smo zaznali ob tretji meritvi, saj se je suha masa stebel, glede na prvo meritev, povečala za skoraj trikrat. Ob tretji meritvi je bila suha masa stebel nekoliko manjša.

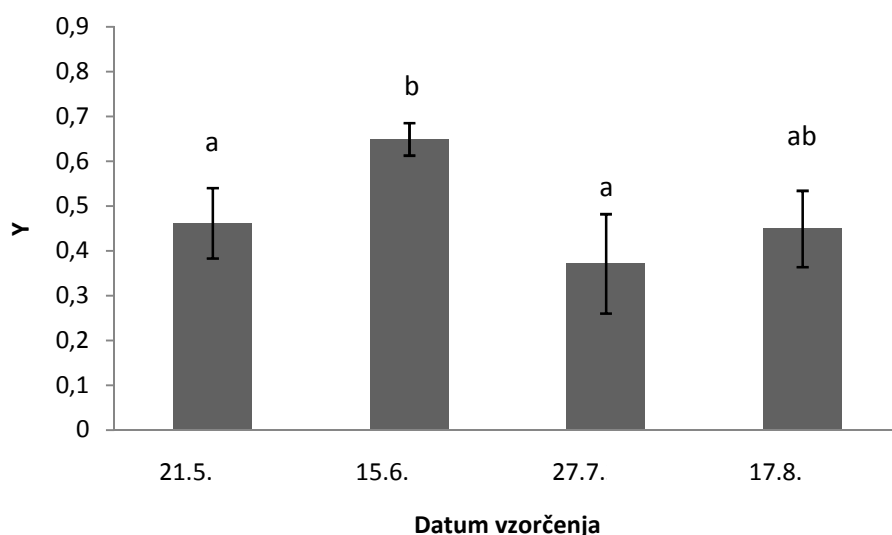


Slika 8: Izmerjena suha masa listov in suha masa stebel navadnega trsta v različnem času sezone v letu 2009. Različne črke nad stolpci pomenijo statistično značilno razliko ($p < 0,05$) med vzorčenji. Označena je standardna deviacija. $n=10$

6.6 FOTOKEMIČNA UČINKOVITOST PSII

Naši vzorci se pri merjenju potencialne fotokemične učinkovitosti (F_v/F_m) niso bistveno razlikovali. Vrednosti potencialne fotokemične učinkovitosti so bile blizu teoretični maksimalni vrednosti 0,83 in niso imele statistično značilnih razlik.

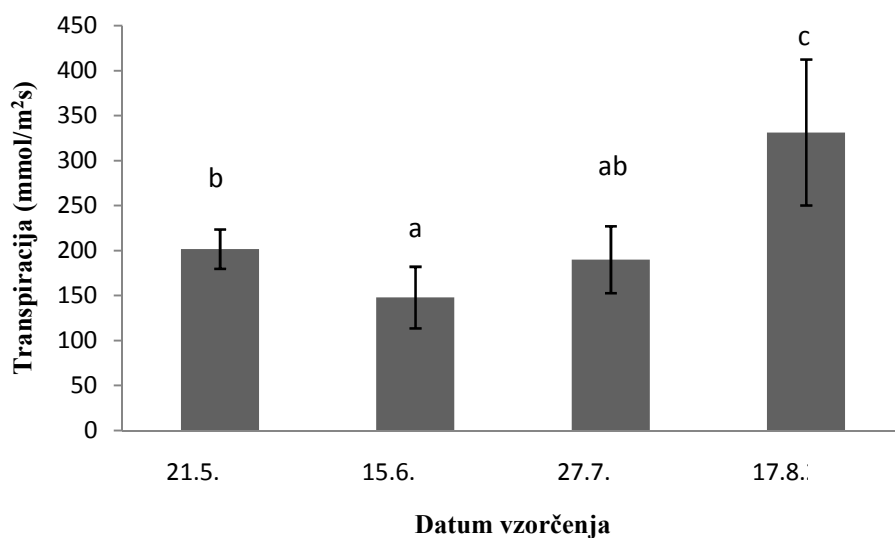
Vrednosti dejanske fotokemične učinkovitosti (Y) so precej nihale. Največjo vrednost dejanske fotokemične učinkovitosti smo dobili ob drugi meritvi nekoliko manjšo v mesecu avgustu. Med podobno nizkimi vrednostmi v maju in juliju nismo opazili statistično značilnih razlik.



Slika 9: Dejanska fotokemična učinkovitost PSII (Y) navadnega trsta v različnem času sezone v letu 2009. Različne črke nad stolpci pomenijo statistično značilno razliko ($p < 0,05$) med vzorčenji. Označena je standardna deviacija. $n=10$

6.7 TRANSPIRACIJA

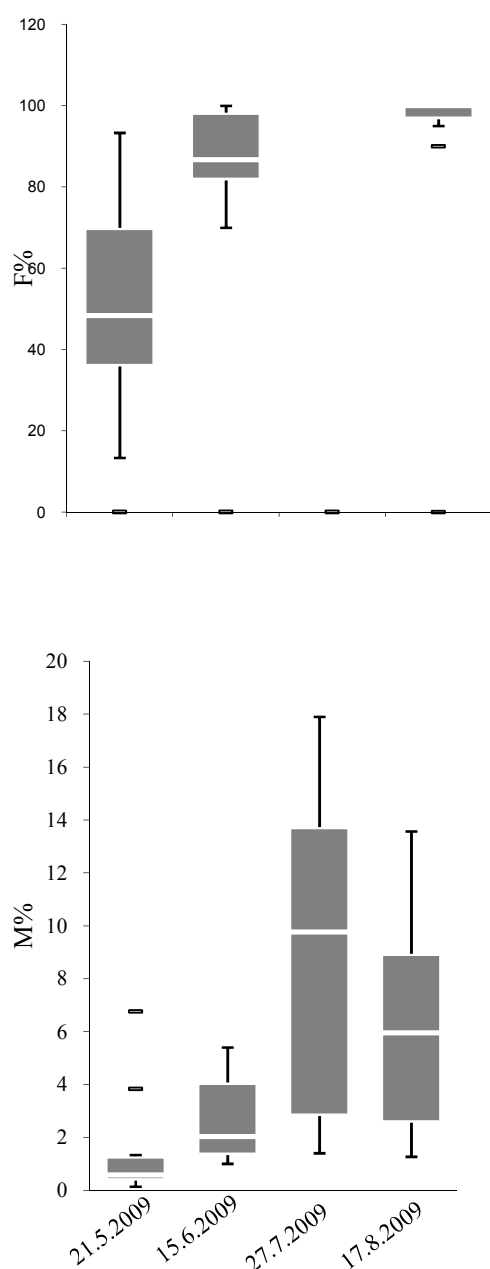
Vrednosti transpiracije so se v mesecu maju gibale okoli 200 mmol/m²s, ob naslednji meritvi pa so se znižale za četrtno in se v mesecu juliju spet dvignile na 190 mmol/m²s. Maksimalno vrednost transpiracije (331 mmol/m²s) smo izmerili v avgustu.



Slika 10: Spreminjanj transpiracije navadnega trsta v različnem času sezone v letu 2009. Različne črke nad stolpci pomenijo statistično značilno razliko ($p < 0,05$) med vzorčenji. Označena je standardna deviacija. $n=10$

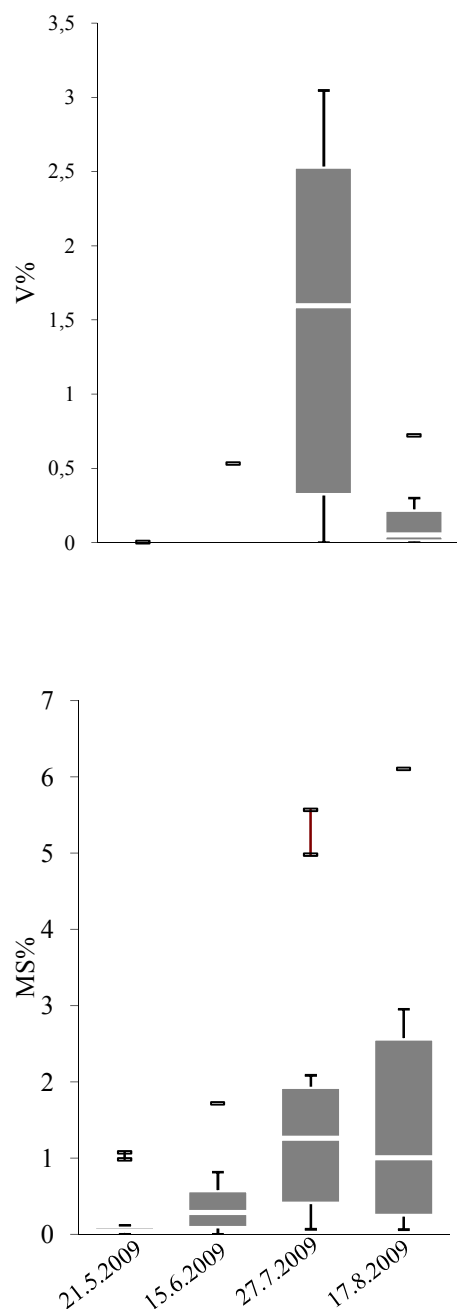
6.8 GLIVNA KOLONIZACIJA

Glivna kolonizacija je bila potrjena pri vseh vzorcih (slika 11). Frekvenca glivne kolonizacije (F%) in intenziteta glivne kolonizacije (M%) sta se skozi sezono spreminjali. F% je bila najnižja v začetku rastne sezone, nato se je v juniju povečala, v juliju je dosegla maksimum in v avgustu je malo padla. M% je sledila trendu frekvence glivne kolonizacije, vendar ni dosegla visokih vrednosti.

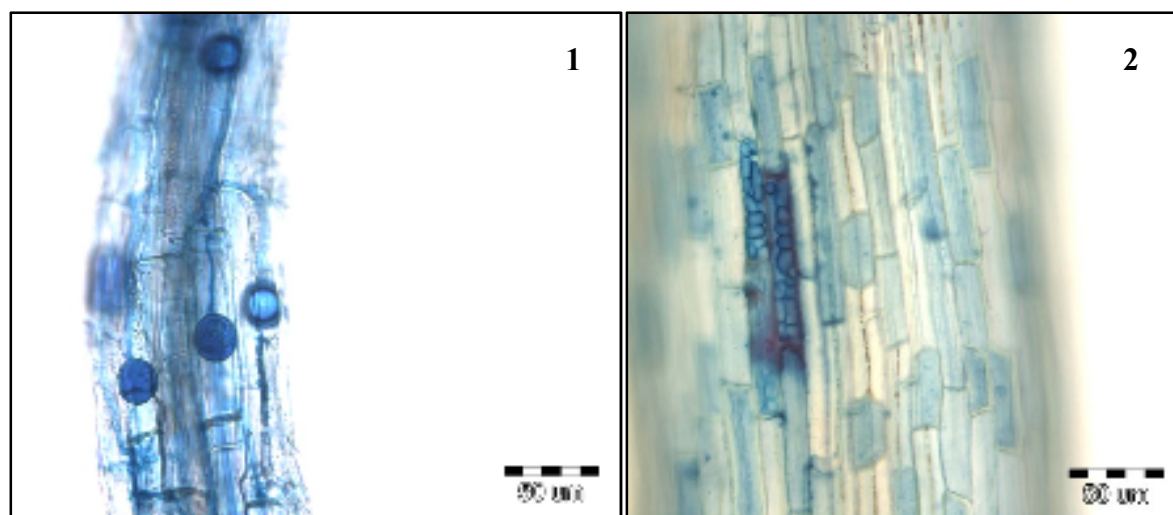


Slika 11 : Frekvenca glivne kolonizacije(F%) in intenziteta glivne kolonizacije (M%) v koreninah navadnega trsta. Podatki so prikazani kot škatle s 1.kvartilom, mediano in 3.kvartilom. Neizstopajoče podatke predstavljajo ročaji, ekstremne in izstopajoče podatke pa predstavlja znak (-).

Glivne strukture niso bile prisotne v celotni rastni sezoni, niti niso bile prisotne pri vseh vzorcih. V maju in juniju smo opazili le nekaj veziklov, pri naslednjih vzorčenjih pa se je njihovo število značilno povečalo. Gostota temno septiranih endofitov oziroma njihovih struktur, mikrosklerocijev (MS%), je bila večja kot gostota veziklov (V%). Največjo gostoto mikrosklerocijev smo ocenili proti koncu rastne sezone.



Slika 12: Gostota veziklov (V%) in gostota mikrosklerocijev (MS%) v koreninah navadnega trsta. Podatki so prikazani kot škatle s 1.kvartilom, mediano in 3.kvartilom. Neizstopajoče podatke predstavljajo ročaji, ekstremne in izstopajoče podatke pa predstavlja znak (-).



Slika 13: Vezikli in glivne hife (1) in mikrosklerociji (2) opaženi v koreninah navadnega trsta.

6.7 POVEZANOST MIKORIZE IN RASTNIH PARAMETROV

Intenziteta glivne kolonizacije (M%) vseh združenih vzorcev ima pozitivno korelacijo z višino, številom intenodijev, listno površino, suho maso listov in s suho maso stebel. V pozitivnem medsebojnem razmerju so tudi vsi rastni parametri ter transpiracija, medtem ko fotosintetski parametri po večini kažejo negativne korelacije. Najnižje negativne korelacije smo zaznali pri dejanski fotokemični učinkovitosti.

	M%	V	BP	ŠI	LP	SmL	SmS	F _v /F _m	Y	Tr
M%	1,00									
V	0,49*	1,00								
BP	0,24	0,74*	1,00							
ŠI	0,44*	0,93*	0,68*	1,00						
LP	0,50*	0,85*	0,46*	0,78*	1,00					
SmL	0,53*	0,87*	0,51*	0,79*	0,95*	1,00				
SmS	0,52*	0,94*	0,69*	0,84*	0,86*	0,92*	1,00			
F _v /F _m	-0,05	-0,32	-0,35	-0,27	-0,23	-0,24	-0,33	1,00		
Y	-0,20	-0,44	-0,18	-0,29	-0,40	-0,39	-0,48	0,28	1,00	
Tr	0,07	0,49*	0,32*	0,45*	0,33*	0,25	0,35*	0,00	-0,27	1,00

Preglednica 2: Pearsonovi koeficienti korelacij med intenziteto glivne kolonizacije (M%) in rastnimi parametri vseh vzorcev (višina rastlin (V), bazalni premer (BP), število intenodijev (ŠI), listna površina (LP), suha masa listov (SmL), suha masa stebel (SmS), potencialna (F_v/F_m) in dejanska (Y) fotokemična učinkovitost, transpiracija (Tr)). * p < 0,05, n = 40

Izračuni korelacij za meritve v posameznih mesecih večinoma niso pokazali značilnih povezav. Rezultati analize so v prilogah.

7. RAZPRAVA

7.1 RASTNI PARAMETRI

Rastni parametri so sledili pričakovanim trendom. Navadni trst *Phragmites australis* je helofit in je zelo strpen na spremembe vodostaja. Pri ublažitvi stresa zaradi poplav mu pomaga posebno zračno tkivo v steblih in koreninah, aerenhim (Engloner in Papp, 2006), preko katerega si rastlina prezračuje lastna podzemna tkiva (Brix, 1996). Eden od pomembnih procesov na Cerkniškem jezeru je proizvodnja biomase. Na tem območju je navadni trst vodilni primarni producent (Martinčič in Leskovar, 2003). Temu v prid kažejo naši rezultati: sezonsko naraščajoči bazalni premeri in število internodijev. Listna površina, suha masa listov ter suha masa stebel so do viška rastne sezone, ko so rastline bile najbolj vitalne, konstantno naraščali. Nižje vrednosti teh parametrov v avgustu so posledica staranja rastlin. Navadni trst je primerna rastlina za čistilne naprave, saj tvori večjo biomaso kot drugi makrofiti (Vymazal in Kröpfelová, 2005; Vymazal in sod., 2009) in v veliki meri zagotavlja kisik in odstranjuje onesnaževalce (Huang in sod., 2010). V splošnem velja, da spremembe vodostaja vplivajo na potencial produktivnosti ekosistema (Boulton in Brock, 1999, cit. po Gaberščik in sod. 2003). Raziskave Gaberščikove in sod. (2003) so pokazale, da je variabilnost primarne produkcije in število rastlin lahko več kot 50%. Dolinarjeva in sod. (2010) so poudarili, da na biomaso navadnega trsta, poleg vodostaja, vplivajo tudi letne temperature. Temperatura ima pomembno vlogo v celotnem ciklu rastlin, saj vpliva na fotosintezo, transpiracijo, ter na rast in razvoj.

7.2 UČINKOVITOST IZRABE SEVANJA

V naravnem okolju so rastline motene z različnimi tipi stresa, kot so suša (Colom in Vazzana, 2003), UV-B radiacija (Gaberščik in sod., 2002), razpoložljivost CO₂ in fotoinhibicija (Šraj - Kržič in Gaberščik, 2005). V presihajočih sistemih, kot je Cerkniško jezero, ima velik vpliv tudi menjava mokrih in suhih obdobj. Daljše poplavljanje lahko povzroči poškodbo fotosinteznega aparata in navsezadnje tudi propad listov (Vartapetian in Jackson, 1997).

Fotokemična učinkovitost služi kot merilo pojavljanja stresa pri rastlinah. Vrednosti potencialne fotokemične učinkovitosti se pri vitalnih rastlinah gibljejo okoli teoretičnega

maksimuma 0,83. Razpon 0,8-0,83 kaže na to, da rastline niso pod stresom (Schreiber in sod., 1995). Dejanska fotokemična učinkovitost je glede na razmere na rastišču manjša ali enaka potencialni. Vrednosti manjše od optimuma kažejo na to, da so rastline izpostavljene stresu.

Naši rezultati potencialne fotokemične učinkovitosti so bili blizu teoretični maksimalni vrednosti 0,83 in ne kažejo, da bi rastline bile pod stresom. Vrednosti dejanske fotokemične učinkovitosti pa so bile precej nižje, kar kaže na prisotnost različnih stopenj začasnega stresa. Morda so stres predstavljale vremenske razmere, saj je v obdobju pred prvim in tretjim merjenjem bilo več dežja in posledično je vodostaj Cerkniškega jezera bil višji. Na našem vzorčnem mestu ni bilo površinske vode, zaradi padavin pa so bila tla delno nasičena z vodo ali vlažna. To lahko povzroči motnje v dovodu kisika (White in Ganf, 2002) oziroma anoksičnost, ki je možen vzrok nizke dejanske fotokemične učinkovitosti. Rastline imajo razviti dve strategiji, lahko se stresu izognejo ali pa ga tolerirajo (Armstrong in sod., 1999). Naši rezultati kažejo na to, da rastline odražajo stresne razmere na rastišču preko nizke dejanske fotokemične učinkovitosti, in sovпада z ugotovitvijo Mauchamp in Méthy (2004), da je učinek kratkotrajnega stresa reverzibilen.

7.3 TRANSPIRACIJA

Transpiracija se sezonsko spreminja glede na razmere na rastišču in vitalnost rastline. Na začetku rastne sezone je bilo dovolj padavin, zato rastlinam ni bilo potrebno varčevati z vodo. Kasneje je bilo manj padavin in višje temperature, kar je povzročilo opoldansko zapiranje por in zmanjšanje transpiracije (Pagter in sod., 2005). S povečanjem dnevnih temperatur se je povečala tudi temperatura lista in s tem evaporacija vode iz notranjosti lista. Stomatalna prevodnost je v linearni povezavi s transpiracijo, zato je dobro merilo oddajanja vode. Največje vrednosti stomatalne prevodnosti pri navadnem trstu sta Herbst in Kappen (1999) izmerila poleti opoldan, ko so bile temperature najvišje in zračna vlaga najnižja. Na suhem rastišču in pri visoki jakosti sevanja trst uporablja svoje zaloge vode za ohranjanje turgorja (Anda in Boldizsar, 2006). Proti koncu rastne sezone rastline niso bile več vitalne, listne reže so postale bolj toge in konstantno odprte. To je povzročilo vrh transpiracije v mesecu avgustu. Po ugotovitvah Herbst in Kappena (1999) je strmina transpiracijske krivulje odvisna ravno od sezonskih razlik v občutljivosti rastlinskih rež. Dolinarjeva in sod. (2009) so potrdili

povezanost med globino vode in transpiracijo, saj so višje stopnje transpiracije izmerili v nizki vodi in obratno v globoki vodi.

7.4 GLIVNA KOLONIZACIJA

Menjavanje mokrih in suhih obdobji na Cerkniške jezeru vpliva na rast in razmnoževanje rastlinskih vrst, kot tudi na glivno kolonizacijo. Millerjeva (2000) meni, da poplavljanje zmanjšuje glivno kolonizacijo, Bauer (2003) pa pravi, da to ne drži vedno. Glivna kolonizacija omogoča učinkovito izrabo hranil in lahko zmanjša učinke vodnega stresa (Šraj-Kržič in sod., 2006).

Glivna kolonizacija je bila ugotovljena pri vseh rastlinah (slika 9), vendar se je sezonsko zelo razlikovala. O sezonskih spremembah glivne kolonizacije so že poročali nekateri avtorji (Bohrer in sod., 2004; Li in sod., 2005; Dolinar in Gaberščik, 2010). Tako kot Sigüenza in sod. (1996), smo tudi mi vrh mikorizne aktivnosti našli poleti, v mesecu juliju. Na splošno pa je bila glivna kolonizacija nizka, saj je intenziteta glivne kolonizacije (M%) bila v razponu od 1% do 14%. Tako nizko vrednost M% sta pri navadnem trstu opazili tudi Dolinarjeva in Gaberščikova (2010). Navadni trst *Phragmites australis* sodi med enokaličnice, ki so po ugotovitvah Cornwella in sod. (2001) manj mikorizne od dvokaličnic. Ipsilantis in Sylvia (2007) sklepata, da na mikorizno kolonizacijo vplivajo kompleksne interakcije med arbuskularno mikoriznimi glivami, rastlinsko vrsto, nivojem vode in razpoložljivim fosforjem (P). V tleh z veliko P vlada negativno razmerje med koncentracijo P in AM kolonizacijo, pozitivno razmerje pa je v tleh z nizko koncentracijo P (Khan, 1975, cit. po Dolinar in Gaberščik, 2010; Ipsilantis in Sylvia, 2007). Menjava mokrih in suhih obdobji ima velik vpliv na razpoložljivost ortofosforja ($P-PO_4$, ena od oblik fosforja). $P-PO_4$ se absorbira iz delcev tal v začetku suhega obdobja, nadaljnja suša pa znižuje absorpcijo P. Pretekle raziskave kažejo na nizko koncentracijo P na Zadnjem Kraju (Gaberščik in sod., 2003; Dolinar in Gaberščik, 2010). To bi lahko pozitivno vplivalo na glivno kolonizacijo, vendar mi tega nismo mogli potrditi. Pri skupni analizi vseh vzorcev smo ugotovili pozitivne korelacije intezitete glivne kolonizacije z višino rastlin, številom internodijev, listno površino, suho maso listov in suho maso stebel (Preglednica 2). To je verjetno posledica dejstva, da z rastjo narašča možnost kolonizacije, tudi zaradi večje aktivnosti rastlin. Pri analizi posameznih vzorcev značilnih

povezav nismo določili. Vzrok za to je verjetno dejstvo, da so se razmere v tleh pred meritvami precej spreminjale, na kar kaže tudi odsotnost arbuskulov, ki so znak aktivne mikorize. Pri analizi prve in tretje meritve smo opazili pozitivno povezanost intenzitete glivne kolonizacije in dejanske fotokemične učinkovitosti, tako kot je to ugotovil Dunham in sod. (2003, cit. po Ray in Inouye, 2006). Na pozitivne korelacije med glivno kolonizacijo in rastjo bi lahko vplivali tudi mikroelementi (npr.: baker, cink, mangan, železo), ki prispevajo k boljši mineralni prehrani rastlin. Vogel-Mikuš in sod. (2006) so potrdili največjo frekvenco glivne kolonizacije v reproduktivni periodi, v fazi cvetenja, ko rastlina potrebuje več esencialnih elementov za nastanek kvalitetnih semen. V naši nalogi smo največjo frekvenco glivne kolonizacije potrdili v juliju, v času bujnega cvetenja, vendar kot razlog ne moremo navesti privzem mikroelementov iz tal. Tako kot za P, bi tudi za nekatere mikroelemente morali opraviti analizo prisotnosti elementov v tkivih in v tleh. Lahko bi opravili tudi meritve pH tal, saj se z večanjem vrednosti pH zmanjša dostopnost cinka (Vogel-Mikuš in sod., 2005).

Sezonske spremembe kolonizacije s temno septiranimi endofiti (DSE) so manj raziskane kot AM. Pri nekaterih vrstah se je kolonizacija DSE pojavila hkrati z AM (Jumponnen in Trappe, 1998; Muthukumar in sod., 2006; Šraj-Kržič in sod, 2006; Dolinar in Gaberščik, 2010). V celotni rastni sezoni smo opazili prisotnost temno septiranih endofitov oziroma njihovih struktur, mikrosklerocijev (slika 10, 11). Največja gosotota mikrosklerocijev je bila proti koncu rastne sezone, kar sovпада z raziskavo Dolinarjeve in Gaberščikove (2010), v kateri je eden od vrhov bil tudi v avgustu. Li in sod. (2005) so potrdili sezonsko nihanje kolonizacije z DSE, kot vzrok pa navedli relativno vlažnost in število sončnih ur.

8. SKLEPI

- *Pričakujemo, da bodo rastline postopno pridobivale višino, listno površino, maso listov in stebel, proti koncu rastne sezone pa pričakujemo manjši porast ali celo upad.*

Rastline so do julija konstantno povečevale svojo višino, bazalni premer, število internodijev, ter maso listov in stebel. Pri zadnji meritvi v avgustu smo zabeležili nižje izmerjene rastne parametre. Rastline proti koncu rastne sezone niso bile več vitalne, listi so kazali znake staranja in so odpadali, kar se kaže v manjši suhi masi.

- *Glivna kolonizacija se bo spreminjala zaradi okoljskih razmer in ontogeneznega razvoja.*

Glivno kolonizacijo smo potrdili ob vseh vzorčenjih, vendar je njena intenziteta bila zelo nizka. Glivne strukture so bile v začetku rastne sezone maloštevilne, kasneje se je povečalo predvsem število veziklov. Povečano glivno kolonizacijo lahko povežemo s fazo intenzivnega cvetenja.

- *V razmerah nižjega vodostaja in večje prezračenosti tal pričakujemo povečano glivno kolonizacijo.*

Vrh glivne kolonizacije smo potrdili v drugi polovici rastne sezone, ko so tla bila manj namočena. Ugotavljali smo tudi prisotnost temno septiranih endofitov in potrdili največjo gostoto njihovih struktur, mikrosklerocijev, na koncu rastne sezone. Tudi gostota veziklov, značilnih struktur glivne kolonizacije, je bila največja v drugi polovici rastne sezone.

9. POVZETEK

Cerkniško jezero z menjavanjem mokrih in suhih obdobj lahko vpliva na rast navadnega trsta in pojavljanje mikorizne kolonizacije. Nekatere raziskave kažejo nizko stopnjo glivne kolonizacije v mokriščih, vendar lahko presihajoč sistem predstavlja ugodne razmere za razvoj mikorize. Temeljni namen naloge je bil spremljati spremembe rasti navadnega trsta *Phragmites australis* v rastni sezoni 2009 in ugotavljati pojavljanje in obseg glivne kolonizacije. Pričakovali smo spremembe v rasti in glivni kolonizaciji, zaradi sezonskih sprememb v povezavi z razpoložljivostjo vode. Opazili smo naraščanje višine rastlin, bazalnega premera in število internodijev. Listna površina je do sredine sezone, ko je dosegla vrh, konstantno naraščala, ob zadnjem vzorčenju pa je upadla. Suha masa listov in stebel je imela enak trend kot izmerjene listne površine. Z analizo povezanosti smo potrdili pozitivne medsebojne korelacije rastnih parametrov. Kljub stalni vlažnosti tal, ima navadni trst veliko biomaso, saj mu aerenhim in druge lastnosti omogočajo preživeti v razmerah poplavljanja. Potencialna fotokemična učinkovitost ni pokazala, da bi rastline bile v stresu, dejanska fotokemična učinkovitost pa se je sezonsko spreminjala in je odražala kratkotrajen, a reverzibilen stres. Transpiracija je sledila sezonskim spremembam in vitalnosti rastlin. Ko so rastline bile vitalne in dobro preskrbljene z vodo je bila transpiracija relativno nižja, glede na sredino rastne sezone, ko so bile temperature visoke in padavin manj. Vzporedno s staranjem rastlin se je povečevala tudi transpiracija, verjetno zaradi povečane togosti listnih rež. Glivna kolonizacija je bila potrjena pri vseh rastlinah, vendar se je intenziteta sezonsko spreminjala. Potrdili smo tudi prisotnost temno septiranih endofitov (DSE). Največjo gostoto glivnih struktur smo našli v obliki veziklov. Gostota struktur DSE, mikrosklerocijev, je bila višja kot gostota veziklov in se je proti koncu rastne sezone povečevala. Občasna nasičenost tal z vodo in kratkoživost glivnih struktur sta možna razloga za nizko intenziteto glivne kolonizacije navadnega trsta. Obenem pa je navadni trst enokaličnica, ki ima zaradi narave koreninskega sistema nižjo glivno kolonizacijo. Intenziteta glivne kolonizacije pri posameznih vzorcih ni bila pozitivno povezana z izmerjenimi rastnimi parametri, kar najbrž lahko pripišemo spremenljivosti razmer.

10. VIRI

- Akhtar M.S. in Siddiqui Z.A. 2008. Arbuscular mycorrhizal fungi as potencial bioprotectants against plant pathogens. V: *Mycorrhizae: Sustainable Agriculture and Forestry*. Siddiqui Z.A., Akhtar M.S., Futai K. (ur.). Springer, 61-97
- Anda A. in Boldizsár A. 2006. Microclimate and transpiration of reedbeds on lakeshores with changing water levels. *Acta Agronomica Hungarica*, 51: 39-47
- Armstrong J., Afreen Zobayed F., Blyth S., Armstrong W. 1999. *Phragmites australis*: effects of shoot submergence on seedling growth and survival and radial oxygen loss from roots. *Aquatic Botany*, 64: 275-289
- Armstrong W., Armstrong J., Beckett P.M. 1990. Neasurent and modelling of oxygen release from roots of *Phragmites australis*. V: *Constructed Wetlands in Water Pollution Control*. Cooper P.F., in Findlander B.C. (ur.). Pergamon Press, str. 41-52
- Audet P., Charest C. 2006. Effects of AM colonization on »wild zobacco« plants grown in zinc-contaminated soil. *Mycorrhiza*, 16: 227-283
- Bauer C.R., Kellog C.H., Bridham S.D., Lamberti G.A. 2003. Mycorrhizal colonisation across hydrologic gradients in restored and reference freshwater wetlands. *Wetlands*, 23: 961-968
- Beauregard M.S., Hamel C., St.-Arnaud M. 2008. Arbuscular mycorrhizal fungi communities in major intensive north american grain produstions. V: *Mycorrhizae: Sustainable Agriculture and Forestry*. Siddiqui Z.A., Akhtar M.S., Futai K. (ur.). Springer, 135-157
- Bohrer K.E., Friese C.F., Amon J.P. 2004. Seasonal dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi in differing wetland habitats. *Mycorrhiza*, 14: 329-339
- Boulton A.J., Brock M.A. 1999. *Freshwater ecology*, Geneagles Publishing, 149-166
- Brix H., Sorrell B.K., Schierup H.-H. 1996. Gas fluxes achieved in situ convenctive flow in *Phragmites australis*. *Aquatic Botany*, 54: 151-163
- Brundrett M. 2004. Diversity and classification of mycorrhizal associations. *Biological Reviews*, 79: 473-495
- Colom M.R., Vazzana C. 2003. Photosynthesis and PSII functionality of drought-resistant and drought-sensitive weeping lovegrass plants. *Environmental Experimental Botany*, 49: 135-144
- Cornwell W.K., Bedford B.L., Chapin C.T. 2001. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in a phosphorus-poor wetland and mycorrhizal response to phosphorus fertilization. *American Journal of Botany*, 88: 547-550

- Cronk J.K., Fennessy M.S. 2001. Wetland plant: biology and ecology. London, Lewish Publisher: str. 462
- Currah R.S., Tsuneda A., Murakami S. 1993. Morphology and ecology of *Phialocephala fortinii* in roots of *Rhododendrom brachycarpum*. Canadian Journal of Botany, 71: 1639-1644
- Dolinar N. in Gabešćik A. 2010. Mycorrhizal colonization and growth of *Phragmites australis* in an intermittent wetland. Aquatic Botany, 93: 93-98
- Dolinar N., Rudolf M., Šraj N., Gaberšćik A. 2010. Environmental changes effect ecosystem services of the intermittent Lake Cerknica. Ecological Complexity, 7 : 403-409
- Dunham R., Ray A.M., Inouye R.S. 2003.. Growth, physiology, and chemistry og mycorrhizal and nonmycorrhizal *Typha latifolia* seedlings. Wetlands, 24: 890-896
- Engloner A.I., Papp M. 2006. Vertical differences in *Phragmites australis* culm anatomy a water depth gradient. Aquatic Botany, 85: 137-146
- Gaberšćik A., Urbanc-Berćić O. 2001. Reed dominated intermittent Lake Cerknško jezero as a sink for nutrients. V: Transformations of Nutrients in Natural and Constructed Wetlands. Vymazal J.(ur.). Baskhuys Publishers, eiden, The Netherlands, 225-234
- Gaberšćik A., Urbanc-Berćić O. 2003. Ekosistemi, ki ga ustvarja igra vode. V: Jezero, ki izginja – Monografija o Cerknškem jezeru. Gaberšćik A. (ur.). Društvo ekologov Slovenije, str. 50-58
- Gaberšćik A., Urbanc-Berćić O. 2003. Kakovost vode v jezeru in njegovih pritokih. V: Jezero, ki izginja – Monografija o Cerknškem jezeru. Gaberšćik A. (ur.). Društvo ekologov Slovenije, str. 45-49
- Gaberšćik A., Urbanc-Berćić O., Kržić N., Kosi G., Brancelj A. 2003. The intermittent Lake Cerknica: Various faces of the same ecosystem. Lakes Reserv. Res. Manage, 8: 159-168
- Gaberšćik A., Urbanc-Berćić O., Martinćić A. 2000. The influence of water level fluctuations on the production of reed stands (*Phragmites australis*) on intermittent lake Cerknško jezero. V: Proceedings of the International Workshop and 10th Macrophyte Group Meeting IAD-SIL (ur.: Christopher S., Sarbu A.M., Adamescu), Danube Delta, Romania, 29–34
- Gazal M.R., Scott R.L., Goodrich C.D., Williams G.D.2006. Controls on transpiration in a semiarid riparian cottonwood forest. Agricultural and Forest Meteorology, 137: 56–67
- Germ M., Gaberšćik A. 2003. Comparison of aerial and submerged leaves in two amphibious species, *Myosotis scorpioides* and *Rannunculus trichophyllus*. Photosynthetica, 41: 91-96

- 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
- Huang J., Wang S., Yan L., Zhong Q. 2010. Plant photosynthesis and its influence on removal efficiencies in constructed wetlands. *Ecological Engineering*, 36: 1037-1043
- Ipsilantis I. in Sylvia D.M. 2007. Interactions of assemblages of mycorrhizal fungi with two Florida wetland plants. *Applied Soil Ecology*, 35: 261-271
- Jumpponen A. in Trappe J.M. 1998. Dark septate endophytes: a review of facultative biotrophic root-colonizing fungi. *New Phytologist*, 140:295-310
- Kai W., Zhiwei Z.W. 2006. Occurrence of arbuscular mycorrhizas and dark septate endophytes in hydrophytes from lakes and streams in Southwest China. *Int. Rev. Hydrobiol.* 91:29-37
- Khan A.G. 1975. In: Sanders F.E., Mosse B., Tinker P.B. Growth effects of vesicular arbuscular mycorrhiza on crops in field. *Endomycorrhizas*. Academic Press, 419-436
- Kranjc A. 2002. Hidrološke značilnosti. V: Jezero, ki izginja-Monografija o Cerknškem jezeru. Gaberščik A. (Ur.). Društvo ekologov Slovenije, Ljubljana, str. 26-38
- Li L., Yang A., Zhao Z. 2005. Seasonality of arbuscular mycorrhizal symbiosis and dark septate endophytes in a grassland side in southwest China. *FEMS Microbiology Ecology*, 54: 367-373
- Mandyam K. in Jumpponen A. 2005. Seeking the elusive function of the root-colonising dark septate endophytic fungi. *Studies in Mycology*, 53: 173-189
- Martinčič A., Leskovar I. 2002. Vegetacija. V: Jezero, ki izginja-Monografija o Cerknškem jezeru. Gaberščik A. (Ur.). Društvo ekologov Slovenije, Ljubljana, str. 81-96
- Mauchamp A. in Méthy M. 2004. Submergence-induced damage of photosynthetic apparatus in *Phragmites australis*. *Environmental and Experimental Botany*, 51: 227-235.
- Miller S.P. 2000. Arbuscular mycorrhizal colonization of semi-aquatic grasses along a wide hydrologic gradient. *New Phytologist*, 145: 145-155
- Müller J.L., Bennett R.N., García-Garrido J.M., Piché Y., Vierheilig H. 2002. Reduced arbuscular mycorrhizal root colonization in *Tropaeolum majus* and *Carica papaya* after jasmonic acid application can not be attributed to increased glucosinolate levels. *Journal of Plant Physiology*, 159: 517-523
- Muthukumar M., Senthilkumar M., Rajangam M., Udaivan K. 2006. Arbuscular mycorrhizal morphology and dark septate fungal associations in medical and aromatic plants of Western Ghats, Southern India. *Mycorrhiza*, 17: 11-24
- Pagter M., Bragato C., Brix H. 2005. Tolerance and physiological responses of *Phragmites australis* to water deficit. *Aquatic Botany*, 81: 285-299

- Philips J.M., Hayman D.S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Trans.Br. Mycol.Soc. 55: 158-160
- Ramírez A.D., Valladares F., Blasco A., Bellot J. 2006. Assessing transpiration in the tussock grass *Stipa tenacissima* L.: the crucial role of the interplay between morphology and physiology. Acta Oecologica, 30: 386-398
- Ray A.M. in Inouye R.S. 2006. Effects of water-level fluctuations on the arbuscular mycorrhizal colonization of *Typha latifolia* L. Aquatic Botany, 84: 210-216
- Schrieber U., Bilger W., Neubauer C. 1995. Chlorophyll fluorescence as a noninvasive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. In: Ecophysiology of photosynthesis. Schulze E.D., Caldwell M.M. (eds.), Springer Verlag, Berlin - Heidelberg, New York: 49-61
- Schüßler A., Schwarzott D., Walker C. 2001. A new fungal phylum, the *Glomeromycota*: phylogeny and evolution. Mycological Research, 12: 1413-1421
- Sigüenza C., Espejel I., Allen E.B. 1996. Seasonality of mycorrhizae in coastal sand dunes of Baja California. Mycorrhiza, 6: 151-157
- Smith S.E., Read D.J. 1997. Mycorrhizal Symbiosis, second edition. Academic Press, London, UK.
- Šraj-Kržič N. in Gabersčik A. 2005. Photochemical efficiency of amphibious plants in an intermittent lake. Aquatic Botany, 83: 281-288
- Šraj-Kržič N., Pongrac P., Klemenc M., Kladnik A., Regvar M., Gabersčik A. 2006. Mycorrhizal colonisation in plants from intermittent aquatic habitats. Aquatic Botany, 85, 331-336
- Šraj-Kržič N., Pongrac P., Regvar M. in Gabersčik A. 2009. Photon-harvesting efficiency and arbuscular mycorrhiza in amphibious plants. Photosynthetica, 47: 61-67
- Trošt-Sedej T. 2005. Ekologija rastlin: priročnik za vaje. Študentska založba.
- Trouvelot A., Kough J.L., Gianinazzi-Pearson V. 1986. Mesure de taux de mycorhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. In: Gianinazzi-Pearson V., Gianinazzi S. (Eds.). Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhizae. INRA Press, Paris, Francija, 217-221
- Urbanc-Berčič O. in Gabersčik A. 2004. The relationship of the processes in the rhizosphere of common reed *Phragmites australis*, (cav.) trin. Ex steudel to water fluctuation. International Review of Hydrobiology, 89: 500-507

- Vartapetian B.B. in Jackson M.B. 1997. Plant adaptations to anaerobic stress. *Annals of Botany*, 79: 3-20
- Vogel-Mikuš K., Drobne D., Regvar M. 2005. Zn, Cd and Pb accumulation and arbuscular mycorrhizal colonisation of pennycress *Thlaspi praecox* Wulf. (Brassicaceae) from vicinity of a lead mine and smelter in Slovenia. *Environmental Pollution*, 133: 233-242
- Vogel-Mikuš K., Pongrac P., Kump P., Nečemer M., Regvar M. 2006. Colonisation of a Zn, Cd and Pb hyperaccumulator *Thlaspi praecox* Wulfen with indigenous arbuscular mycorrhizal fungal mixture induces changes in heavy metal and nutrient uptake. *Environmental Pollution*, 139: 362-371
- Vymazal J. in Kröpfelová L. 2005. Growth of *Phragmites australis* and *Phalaris arundinacea* in constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic. *Ecological Engineering*, 25: 606-621
- Vymazal J., Kröpfelová L., Švehla J., Chrastný V., Štichová J. 2009. Trace elements in *Phragmites australis* growing in constructed wetlands for treatment of municipal wastewater. *Ecological Engineering*, 35: 303-309
- 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
- Zupančič B. 1995. Klimatografija Slovenije – Padavine, Ljubljana, Hidrometeorološki zavod RS
- Zupančič B. 2003. Klima. V: Jezero, ki izginja-Monografija o Cerkniškem jezeru. Gaberščik A. (Ur.). Društvo ekologov Slovenije, Ljubljana, str. 4-18

ZAHVALA

Zahvaljujem se svoji mentorici prof. dr. Alenki Gaberščik za potrpežljivost, nasvete in za dobro voljo, tudi takrat, ko so se stvari malo zapletle.

Zahvaljujem se doc.dr. Katarini Vogel-Mikuš za hitro recenzijo in korektne popravke.

Hvala Nataši za napotke pri laboratorijskem delu in Draganu za tehnično pomoč.

Hvala Špeli za pomoč pri izdelavi diplome in hvala Andreji za družbo in pomoč pri praktičnem delu diplome.

Hvala vsem sošolcem za zanimive trenutke na predavanjih, popestritve na vajah in zabavo na terenskih dnevih.

Simona, hvala za kavice, čaje in za spodbudo pri marsikaterem izpitu.

Katja, Monika in Živa, hvala za vso pomoč pri študiju! Brez vas bi moje študentsko življenje bilo obarvano sivo, tako pa smo ga z neskončno dolgimi kosili, sprehodi, pogovori, potovanji in zabavami pisano obarvali.

Hvala botri Vesni za vso pomoč in navdih pri študiju.

Mami, Lea in Špela, hvala za vso vsestransko pomoč. Hvala za potrpežljivost in spodbudo v trenutkih, ko sem bila v težavah.

Matjaž, hvala, ker si me spodbujal in verjel vame.

PRILOGE

	M%	V	BP	ŠI	LP	SmL	SmS	F _v /F _m	Y	Tr
M%	1,00									
V	-0,30	1,00								
BP	0,16	0,81*	1,00							
ŠI	-0,49	0,57	0,48	1,00						
LP	-0,15	0,73*	0,63*	0,39	1,00					
SmL	-0,16	0,82*	0,78*	0,61	0,88*	1,00				
SmS	-0,15	0,83*	0,84*	0,66*	0,78*	0,93*	1,00			
F _v /F _m	-0,36	0,03	-0,08	0,31	-0,05	-0,20	0,08	1,00		
Y	0,56	0,22	0,40	0,12	0,22	0,15	0,23	0,15	1,00	
Tr	-0,06	0,51	0,41	0,06	0,70*	0,46	0,41	0,14	0,15	1,00

Preglednica 1: Pearsonovi koeficienti korelacij med mikorizno intenziteto (M%) in rastnimi parametri (višina rastlin (V), bazalni premer (BP), število intenodijev (ŠI), listna površina (LP), suha masa listov (SmL), suha masa stebel (SmS), potencialna (F_v/F_m) in dejanska(Y) fotokemična učinkovitost,transpiracija (Tr)) prvega vzorca, 21.5.2009. * p < 0,05, n = 10

	M%	V	BP	ŠI	LP	SmL	SmS	F _v /F _m	Y	Tr
M%	1,00									
V	-0,24	1,00								
BP	-0,20	0,55	1,00							
ŠI	-0,50	0,46	0,24	1,00						
LP	0,46	0,33	-0,21	0,07	1,00					
SmL	0,48	0,09	-0,16	-0,44	0,35	1,00				
SmS	0,63*	0,10	0,22	-0,44	0,28	0,84*	1,00			
F _v /F _m	0,04	-0,63	-0,82	-0,39	-0,14	-0,04	-0,39	1,00		
Y	-0,02	-0,09	0,12	-0,44	-0,11	0,32	0,43	-0,16	1,00	
Tr	0,31	0,08	-0,13	-0,03	0,52	-0,01	-0,15	0,15	-0,40	1,00

Preglednica 2: Pearsonovi koeficienti korelacij med mikorizno intenziteto (M%) in rastnimi parametri (višina rastlin (V), bazalni premer (BP), število intenodijev (ŠI), listna površina (LP), suha masa listov (SmL), suha masa stebel (SmS), potencialna (F_v/F_m) in dejanska(Y) fotokemična učinkovitost,transpiracija (Tr)) drugega vzorca, 15.6.2009. * p < 0,05, n = 10

	M%	V	BP	ŠI	LP	SmL	SmS	F _v /F _m	Y	Tr
M%	1,00									
V	0,01	1,00								
BP	-0,20	0,62	1,00							
ŠI	-0,03	0,70*	0,32	1,00						
LP	-0,01	0,76*	0,27	0,45	1,00					
SmL	-0,06	0,70*	0,25	0,35	0,98*	1,00				
SmS	-0,04	0,87*	0,70*	0,44	0,72*	0,75*	1,00			
F _v /F _m	0,47	-0,39	-0,30	-0,62	-0,03	0,00	-0,30	1,00		
Y	0,35	0,02	-0,26	0,15	-0,05	0,06	0,18	0,01	1,00	
Tr	0,02	0,26	0,09	0,04	0,46	0,50	0,29	0,40	0,06	1,00

Preglednica 3: Pearsonovi koeficienti korelacij med mikorizno intenziteto (M%) in rastnimi parametri (višina rastlin (V), bazalni premer (BP), število intenodijev (ŠI), listna površina (LP), suha masa listov (SmL), suha masa stebel (SmS), potencialna (F_v/F_m) in dejanska(Y) fotokemična učinkovitost,transpiracija (Tr)) tretjega vzorca, 27.7.2009. * p < 0,05, n = 10

	M%	V	BP	ŠI	LP	SmL	SmS	F _v /F _m	Y	Tr
M%	1,00									
V	-0,28	1,00								
BP	-0,08	0,89*	1,00							
ŠI	-0,06	0,83*	0,91*	1,00						
LP	-0,64	-0,15	-0,27	-0,45	1,00					
SmL	-0,40	0,66*	0,40	0,28	0,43	1,00				
SmS	-0,22	0,96*	0,87*	0,82*	-0,17	0,62	1,00			
F _v /F _m	-0,18	-0,18	-0,10	-0,07	0,50	0,28	-0,19	1,00		
Y	-0,01	-0,02	0,06	0,21	-0,25	-0,34	-0,23	-0,08	1,00	
Tr	-0,49	-0,07	-0,32	-0,37	0,52	0,26	-0,20	0,02	0,02	1,00

Preglednica 4: Pearsonovi koeficienti korelacij med mikorizno intenziteto (M%) in rastnimi parametri (višina rastlin (V), bazalni premer (BP), število intenodijev (ŠI), listna površina (LP), suha masa listov (SmL), suha masa stebel (SmS), potencialna (F_v/F_m) in dejanska(Y) fotokemična učinkovitost,transpiracija (Tr)) četrtega vzorca, 18.8.2009. * p < 0,05, n = 10

