

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Daniela Myriam VENGUST

**SEZONSKA DINAMIKA RASTI IN GLIVNE  
KOLONIZACIJE PRI VISOKEM TRPOTCU NA  
OBMOČJU CERKNIŠKEGA JEZERA**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Daniela Myriam VENGUST

**SEZONSKA DINAMIKA RASTI IN GLIVNE KOLONIZACIJE PRI  
VISOKEM TRPOTCU NA OBMOČJU CERKNIŠKEGA JEZERA**

DIPLOMSKO DELO  
Univerzitetni študij

**SEASONAL DYNAMICS OF GROWTH AND FUNGAL  
COLONIZATION OF THE NARROWLEAF PLANTAIN IN THE AREA  
OF LAKE CERKNICA**

GRADUATION THESIS  
University studies

Ljubljana, 2016

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija biologije. Opravljeno je bilo na katedri za ekologijo rastlin oddelka za biologijo Biotehniške fakultete v Ljubljani, kjer so bili izvedeni tudi vsi poskusi in meritve.

Študijska komisija oddelka za biologijo je 18. 5. 2012 odobrila predlagano temo diplomske naloge z naslovom Sezonska dinamika rasti in glivne kolonizacije pri visokem trpotcu na območju Cerkniškega jezera. Tema je bila od senata podaljšana do 30. 9. 2016. Za mentorico diplomske naloge je imenovana prof. dr. Alenka Gaberščik in za recenzentko prof. dr. Katarina Vogel Mikuš.

Komisija za oceno in zagovor:

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

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

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

Datum zagovora: 26. 9. 2016

Podpisana izjavljam, da je naloga rezultat lastnega raziskovalnega dela. Izjavljam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Daniela Myriam VENGUST

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK 582.944.2(043.2)
KG	mikoriza/sezonska dinamika/visoki trpotec/Cerkniško jezero
AV	VENGUST, Daniela Myriam
SA	GABERŠČIK, Alenka (mentor)/ VOGEL MIKUŠ, Katarina (recenzent)
KZ	SLO, 1000 Ljubljana, Jamnikarjeva ulica 101
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
LI	2016
IN	SEZONSKA DINAMIKA RASTI IN GLIVNE KOLONIZACIJE PRI VISOKEM TRPOTCU NA PODROČJU CERKNIŠKEGA JEZERA
TD	Diplomska naloga (univerzitetni študij)
OP	X, 39 str., 2 pregl., 16 slik, 63 virov
IJ	sl
JI	sl/en
AI	V diplomskem delu smo na dveh rastiščih na območju Cerknškega jezera preučevali dinamiko rasti in glivno kolonizacijo pri koreninah visokega trpotca (lat. <i>Plantago altissima</i> ). Na območju Rešeta smo na dveh rastiščih, ki sta se razlikovali po vodostaju, opravili vzorčenja od maja do septembra. Merili smo dolžino, širino, površino, maso in število listov ter višino rastlin. Stopnjo glivne kolonizacije smo rastlinam določili po barvanju korenin s tripan modrim barvilom. Potrdili smo kolonizacijo z mikoriznimi glivami v vseh rastlinah na obeh rastiščih. V koreninskem sistemu so bile najbolj pogoste glivne strukture vezikli. Ob pričetku sezone so se na poplavljenem rastišču pojavile večje gostote glivnih struktur in tudi višji deleži vode v listih kot na suhi lokaciji. V septembru, po dolgi izpostavljenosti visokemu vodostaju, so bili deleži vode v listih najnižji. Gostota glivnih struktur je v septembru bila minimalna, verjetno zaradi dolgega hipoksičnega stanja v koreninah. Na suhi lokaciji so glivne strukture najbolj pogoste v juniju v fazi cvetenja, kar je bilo pričakovano. Pri ugotavljanju odnosov in odvisnosti med rastnimi parametri in glivno kolonizacijo smo prišli do spoznanja, da so nekateri rastni parametri v pozitivni odvisnosti s stopnjo glivne kolonizacije.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn

DC UDC 582.944.2(043.2)

CX mycorrhiza/seasonal dynamics/Narrowleaf plantain/Lake Cerknica

AU VENGUST, Daniela Myriam

AA GABERŠČIK, Alenka (supervisor)/VOGEL MIKUŠ, Katarina (reviewer)

PP SLO, 1000 Ljubljana, Jamnikarjeva ulica 101

PB University of Ljubljani, Biotechnical faculty, Department of Biology

PY 2016

TI SEASONAL DYNAMICS OF GROWTH AND FUNGAL COLONIZATION OF THE NARROWLEAF PLANTAIN IN THE AREA OF LAKE CERKNICA

DT Graduation thesis (university studies)

NO X, 39 pages, 2 tab., 16 fig., 63 ref.

LA sl

AL sl/en

AB The Graduation thesis is focused on the examination of the dynamics of growth and fungal colonization in the root system of the Narrowleaf plantain (*Plantago altissima*) at the area of Lake Cerknica. We compared two habitats, which varied according to their water levels. Sampling took place from May to September 2011. The measurements of growth parameters included length, width, surface, weight and number of leaves and height of the plant. The level of fungal colonization was determined by staining the roots with tripan blue. We have confirmed the colonization with mycorrhizal fungi in all plants at the both sites. The most common fungal structures of the root system were the vesicles. At the beginning of the flood period greater density of fungal structures and higher proportions of water in the leaves was seen as at the dry location. In September, after a long exposure to high water regime, there were the lowest levels of water in the leaves, compared to the rest of the growth season. The density of fungal structures was minimal in September, due to the long hypoxic state of the root system. At the dry location growth and fungal parameters were most pronounced in June, during the vegetative stage of flowering, which was expected. The relationships and dependencies between growth parameters and fungal colonization showed that some of the growth parameters are in positive correlation to the fungal colonization.

## KAZALO VSEBINE

<b>KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA .....</b>	<b>III</b>
<b>KEY WORDS DOCUMENTATION .....</b>	<b>IV</b>
<b>KAZALO PREGLEDNIC .....</b>	<b>VII</b>
<b>KAZALO SLIK .....</b>	<b>VIII</b>
<b>KAZALO PRILOG .....</b>	<b>IX</b>
<b>OKRAJŠAVE IN SIMBOLI.....</b>	<b>X</b>
<b>1 UVOD .....</b>	<b>11</b>
<b>2 NAMEN RAZISKAV.....</b>	<b>12</b>
2.1 CILJI .....	12
2.2 HIPOTEZE.....	12
<b>3 PREGLED OBJAV .....</b>	<b>13</b>
3.1 LASTNOSTI PRESIHAJOČIH MOKRIŠČ .....	13
3.2 LASTNOSTI RASTLIN V MOKRIŠČU .....	14
3.3 GLIVNA KOLONIZACIJA .....	14
<b>3.3.1 Vloga mikorize.....</b>	<b>14</b>
<b>3.3.2 Arbuskularna mikoriza .....</b>	<b>15</b>
<b>3.3.3 Temno septirani endofiti (DSE) .....</b>	<b>17</b>
<b>3.3.4 Vpliv poplavljenosti rastišča na stopnjo glivne kolonizacije.....</b>	<b>18</b>
3.4 MESTO RAZISKAV – CERKNIŠKO JEZERO (REŠETO) .....	19
<b>4 MATERIAL IN METODE DE LA.....</b>	<b>21</b>
4.1 VISOKI TRPOTEC.....	21
<b>4.1.1 Opis preiskovane vrste in spremljajočih vrst .....</b>	<b>21</b>
4.2 TERENSKO DELO .....	22
<b>4.2.1 Nabiranje vzorčnega materiala.....</b>	<b>22</b>
<b>4.2.2 Razmere na rastišču .....</b>	<b>22</b>
<b>4.2.3 Merjenje rastnih parametrov.....</b>	<b>24</b>
<b>4.2.4 Spremljanje parametrov glivne kolonizacije.....</b>	<b>24</b>
4.2.4.1 Priprava materiala in barvanje glivnih struktur.....	24
4.3 STATISTIČNA ANALIZA .....	27
<b>5 REZULTATI .....</b>	<b>28</b>
5.1 RASTNI PARAMETRI .....	28
5.2 GLIVNA KOLONIZACIJA .....	29
5.3 DELEŽI VODE V LISTIH .....	34
5.4 ODNOSI MED RASTNIMI PARAMETRI IN GLIVNO KOLONIZACIJO .....	35
<b>6 RAZPRAVA .....</b>	<b>37</b>
6.1 RASTNI PARAMETRI .....	37
6.2 GLIVNA KOLONIZACIJA .....	38
<b>6.2.1 Mikorizna frekvenca in intenziteta.....</b>	<b>38</b>
<b>6.2.2 Gostote glivnih struktur.....</b>	<b>39</b>
6.3 DELEŽI VODE V LISTIH .....	40

6.4	POVEZAVA RASTNIH PARAMETROV IN GLIVNE KOLONIZACIJE Z RAZMERAMI NA RASTIŠČU .....	41
<b>7</b>	<b>SKLEPI</b> .....	<b>43</b>
<b>8</b>	<b>POVZETEK</b> .....	<b>44</b>
<b>9</b>	<b>VIRI</b> .....	<b>46</b>
<b>ZAHVALA</b>		
<b>PRILOGE</b>		

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Mikorizni parametri za oceno in izračun obsega kolonizacije koreninskega sistema (prirejeno po Trouvelot in sod., 1986).....	26
Preglednica 2: Pogojni učinki (conditional effects) pridobljeni z redundantno analizo podatkov za izdelavo ordinacijskega diagrama (slika 17). Meja signifikance $p \leq 0,05$ .....	35



## KAZALO SLIK

Slika 1: Glavne strukture arbuskularne mikorize (povzeto po: IMBIO, Universität Bonn)	16
Slika 2: Visoki trpotec (foto: Hamar) .....	21
Slika 4: Satelitska slika Rešeta in označena mesta vzorčenja ( <a href="http://www.geopedia.si">http://www.geopedia.si</a> ) ....	23
Slika 5: Spremembe vodostaja Stržena v obdobju vzorčenja. Številke in puščice označujejo dneve vzorčenja po mesecih (1-maj, 2-junij, 3-julij, 4-september). Vir: ARSO.....	23
Slika 6: Shematski prikaz ocenjevanja arbuskularne mikorizne kolonizacije po metodi Trouvelot in sod. (1986) .....	25
Slika 7: Primer grafičnega prikaza v obliki škatel z brki. Oznake pomenijo $Q_1$ - 1. kvartil; $Q_3$ - 3. kvartil; Min- najmanjša vrednost; Max- največja vrednost; Me- mediana. ....	27
Slika 8: Primerjava povprečne dolžine listov [mm] glede na mesec in suho (S) ali poplavljen (P) lokacijo; n=10 .....	28
Slika 9: Primerjava mikorizne frekvence [F%] celotne rastline glede na mesec in suho (S) ali poplavljen (P) lokacijo; n=10 .....	29
Slika 10: Primerjava mikorizne intenzitete [M%] celotne rastline, glede na mesec in suho (S) ali poplavljen (P) lokacijo; n=10.. .....	30
Slika 11: Primerjava gostote arbuskulov [A%] celotne rastline, glede na mesec in suho (S) ali poplavljen (P) lokacijo; n=10.. .....	31
Slika 12: Primerjava gostote veziklov [V%] celotne rastline, glede na mesec in suho (S) ali poplavljen (P) lokacijo; n=10 .....	32
Slika 13: Primerjava gostote svitkov [S%] celotne rastline, glede na mesec in suho (S) ali poplavljen (P) lokacijo; n=10.. .....	33
Slika 14: Primerjava gostote mikrosklerocijev [MS%] celotne rastline, glede na mesec in suho (S) ali poplavljen (P) lokacijo; n=10.....	34
Slika 15: Primerjava deležev vode v listih vzorčnih rastlin [%], glede na mesec in suho (S) ali poplavljen (P) lokacijo; n=10. ....	35
Slika 16: Ordinacijski diagram redundantne analize rastnih parametrov, s katerimi razlagamo glivno kolonizacijo in pojavljanje posameznih mikoriznih struktur.....	36

## KAZALO PRILOG

### Priloga A:

Preglednica izmerjenih rastnih parametrov vseh vzorčevanj od maja do septembra na suhi in poplavljeni lokaciji

## OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

A %	gostota arbuskulov v koreninskem sistemu
AM	arbuskularna mikoriza
DSE	devteromicetni, septirani endofiti
F %	vrednost mikorizne frekvence glivnih endofitov
M %	vrednost splošne intenzitete glivnih endofitov
MS %	gostote mikrosklerocijev v koreninskem sistemu
S %	gostote svitkov v koreninskem sistemu
V %	gostote veziklov v koreninskem sistemu

## 1 UVOD

Rastline, ki uspevajo na območju presihajočih vodnih teles, so z različnimi strategijami dobro prilagojene na stresne dejavnike med rastjo. Glavni stresni dejavniki so spremembe vodne gladine ter izmenjavanje sušnih in mokrih obdobj, ki vplivajo na življenjsko združbo s spremembami v pretoku energije in kroženju snovi v habitatu. Vplive hidroloških sprememb lahko opazimo na rastni dinamiki rastlin, saj so te spremembe in vplivi gonilna sila procesov, a hkrati tudi postavljajo meje rasti (Gaberščik in Urbanc Berčič, 2003).

Prilagoditve rastlin na takšno spremenljivo okolje so lahko morfološke, anatomske, fiziološke in biokemijske, kar je znano od raziskav pri amfibijskih vrstah. Nas je zanimala prilagoditev na občasno poplavljanje travnikov s tvorbo mutualistične asociacije med koreninami rastlin in rizosfernimi glivami. S to glivno asociacijo naj bi rastline izboljšale privzem mineralnih hranil, kar je v stresnih razmerah in izpranih tleh lahko pomemben dejavnik.

Prisotnost glivnih endofitov v koreninah rastlin na občasno poplavljenih območjih dolgo ni bila raziskana, saj je prevladalo mnenje, da tvorba asociaciji z glivami ni mogoča oziroma nima vpliva rast in razvoj rastlin v presihajočih vodnih telesih. Številne raziskave so pokazale, da se glivne strukture, ki so se razvile pred dvigom vodne gladine, obdržijo in celo prestajajo krajša hipoksična obdobja.

Raziskovali smo glivno kolonizacijo pri visokem trpotcu (*Plantago altissima*), ki uspeva na območju Cerkniškega jezera predvsem na obrežju Rešeta. Vrsta je zelnata trajnica in hemikriptofit ter običajno uspeva na poplavljenih travnikih. Rastlina kaže na poplavljenih področjih tudi določene amfibijske značilnosti.

Terensko delo je potekalo v rastni sezoni od maja do septembra. Pri tem smo vzorčili po deset rastlin na obeh lokacijah z mesečnim razmikom. Izbrali smo dve lokaciji na gradientu voda/kopno, ki se razlikujeta po vodostaju.

## 2 NAMEN RAZISKAV

### 2.1 CILJI

Namen raziskovalnega dela je bil ugotoviti, kakšne so spremembe v rastni dinamiki rastlin ob prisotnosti endomikoriznih gliv v koreninah rastlin ter spremembe prisotnosti struktur te mutualistične asociacije glede na hidrološke spremembe na območju.

Preverili smo rastne parametre rastlin na dveh ločenih lokacijah ter prisotnost in gostoto struktur glivne kolonizacije. Prikazali smo razlike v rastni dinamiki rastlin na obeh lokacijah, v povezavi s hidrološkimi spremembami in prisotnostjo glivne kolonizacije.

### 2.2 HIPOTEZE

Kot izhodišče za raziskave smo postavili naslednje hipoteze:

- (1) Predvidevamo razlike v stopnji glivne kolonizacije v različnih delih rastne sezone.
- (2) Pričakujemo spremembe v rasti in razvoju visokega trpotca ob povečani glivni kolonizaciji.
- (3) Pričakujemo razlike v rasti in glivni kolonizaciji pri rastlinah, rastočih na rastiščih z različnim vodnim režimom.

### 3 PREGLED OBJAV

#### 3.1 LASTNOSTI PRESIHAJOČIH MOKRIŠČ

Presihajoča vodna telesa so tista, ki se vsaj občasno izsušijo, ali se njihov obseg močno zmanjša. Pri tem je pomembna tudi variabilnost vodostaja ter predvidljivost in trajanje sušnih in poplavnih obdobj (Boulton in Brock, 1999).

Mokrišča delimo na podlagi njihove geografske lege, zgodovine nastanka, velikosti, značilnosti tal ter kemizma in režima vode (Nilson in Orcutt, 1996). Presihajoča mokrišča imajo poleg specifičnega hidrološkega režima tudi posebno geološko podlago (Kranjc, 2002a).

Spremenljivke, ki vplivajo na hidrološki režim v mokriščih, so obdobja pojavljanja vode, frekvenca polnjenja in praznjenja, največja globina vode ter trajanje in površina poplav. Pri presihajočih mokriščih se mokra in suha obdobja izmenjujejo, vendar ne tako enakomerno kot v sezonskem mokrišču in voda lahko obstane tudi več mesecev (Boulton in Brock, 1999).

Spremembe vodnega režima nenehno vplivajo na proces sukcesije v biotopu, kar je razlog za razvoj značilne življenjske združbe, vključno z njeno floro (Gaberščik in Urbanc Beričič, 2003b).

Mokrišča so zelo učinkovita pri pretvorbi in kroženju snovi, kar je posledica presihanja vode, saj se nakopičene snovi v sedimentu ob izsušitvi zaradi prisotnosti kisika razgradijo (Dobson in Frid, 1998). Ob ponovni poplavljenosti pride do številnih sprememb lastnosti sedimenta. Najpomembnejše spremembe so v dinamičnosti dostopnosti hranil ter izmenjavi anaerobnih in aerobnih procesov (Boulton in Brock, 1999).

Presihanje in polnjenje mokrišča z vodo ugodno vpliva na biodiverzitetu območja, saj se v določenem obdobju ena vrsta razvije bolj uspešno in druga manj ter v drugem obdobju obratno. Te spremembe v vrstni sestavi, predvsem rastlinstva, vplivajo na sestavo tal, populacijo mikroorganizmov in živalske združbe (Wetzel, 2001).

Presihanje podpira razvoj amfibijskih rastlin in na predelih občasne poplavljenosti uspevajo tudi barjanske združbe ter združbe mokrotnih travnikov. Na pestrost rastlinske združbe presihajočega Cerkniškega jezera vplivajo tudi tla, ki se razlikujejo na različnih območjih po strukturi, pH in vsebnosti organskih snovi (Martinčič, 2003).

## 3.2 LASTNOSTI RASTLIN V MOKRIŠČU

Spremembe vodne gladine v presihajočih vodnih telesih vplivajo na abiotske in biotske komponente ekosistema. Za preživetje stresnih razmer so rastline na področju občasnega poplavljanja razvile različne strategije. Tem rastlinam zaradi njihove prilagodljivosti pripisujemo amfibijski značaj (Gaberščik in Urbanc Berčič, 2002).

Amfibijske rastline so sposobne rasti v dveh okoljih, suhem in vodnem (Hutchinson, 1975). Prilagoditve amfibijskih rastlin se nanašajo tako na prilagoditve razmeram v vodnem kot kopenskem okolju. Strategije razmnoževanja ter prilagoditve morfoloških in biokemijskih značilnosti omogočajo rast rastlin tako v vodnem kot v kopenskem okolju (Boulton in Brock, 2001).

Nekatere amfibijske rastline razvijejo spremenjeno morfologijo lista ali drugačne spremembe rastne oblike, medtem ko druge preživijo brez vidnih sprememb (Germ, 2002). Preobraženi vodni ali zračni listi se razlikujejo predvsem po obliki, velikosti (elongacija), morfologiji tkiv in gostoti listnih struktur. Te razlike omogočajo veliko fenotipsko plastičnost rastline, ki je ekološko pomembna, saj zagotavlja preživetje v presihajočih vodnih telesih (Maberly in Spence, 1989).

Rastline v poplavljenem okolju imajo v koreninskih tkivih pogosto primanjkljaj kisika, zato je ena od značilnih prilagoditev tvorba zračnega tkiva (aerenhim). Tvorba aerenhima poveča metabolno učinkovitost rastline, omogoča prezračevnost vseh rastlinskih organov in olajša notranji transport kisika (Jackson in Armstrong, 2008).

## 3.3 GLIVNA KOLONIZACIJA

### 3.3.1 Vloga mikorize

Pojem mikoriza opisuje različne mutualistične asociacije med rizosfernimi glivami in koreninami gostiteljske rastline. Mikoriza je koevolucijsko visoko razvit pojav in je prisoten v 80 % višjih rastlin. Poznamo vsaj sedem različnih tipov mikorize, ki se razlikujejo med seboj predvsem po glivnih partnerjih (Ascomycota, Basidiomycota in Glomeromycota), različnih taksonomskih skupinah gostiteljskih rastlin ter zelo specifičnih morfoloških vzorcih in strukturah. Prvotno ločimo ekto- in endomikorizo, saj se razlikujeta po tem, da pri endomikorizi glivne hife penetrirajo v notranjost celic koreninskega korteksa gostiteljske rastline (intracelularno), pri ektomikorizi pa se kopičijo glive iz zunanosti (Brundrett, 2002).

Pri ektomikorizi glive navadno tvorijo debel plašč ali glivni micelij okoli korenin. Pri tem nekaj hif micelija prodre tudi med kortikalne celice korenine. Glivne hife ne prebadajo kortikalne celice, temveč jih obdajajo z mrežo hif, imenovano Hartigova mreža. Pogosto je količina glivnega micelija tako velika, da je njegova skupna masa primerljiva z maso koreninskega sistema rastline. Ektomikorizo najdemo izključno pri drevesnih vrstah, vključno z golosemenkami in lesnimi kritosemenkami (Taiz in Zeiger, 2002).

Za razliko od ektotrofnih mikoriznih gliv, vezikularno-arbuskularne mikorizne glive pri endomikorizi ne tvorijo plašča glivnega micelija okoli korenine. Namesto tega se hife manj

kompaktno širijo tudi v korteks korenine in se raztezajo navzven v tla. Arbuskularna mikoriza predstavlja le majhen delež mase celotnega koreninskega sistema in običajno ne presega 10 % mase. Ta tip mikorize najdemo skoraj v vseh vrstah zelnatih kritosemenk (Brundrett, 2004).

Ločimo še različne tipe mikorize, kot so erikoidna, arbutoidna, monotropoidna, orhidejska in arbuskularna mikoriza. Glavne vloge mikorize lahko v grobem razdelimo na pomen pri rasti in razvoju rastlin ter na vpliv na ekosistem (Smith in Read, 1997).

Kolonizacija z mikoriznimi glivami znatno poveča privzem hranil, kar je rezultat povečane zaloge dostopnih hranil. To se doseže preko povečevanja volumna dostopnih tal in spreminjanja oblik hranil, ki so rastlini bolj dostopne. Nekatere ektomikorizne glive so sposobne razgraditi fenolne substance v tleh, ki sicer onemogočajo privzem določenih nutrientov (Pongrac in Regvar, 2007).

Velikokrat kolonizacija z mikoriznimi glivami nudi zaščito korenini pred nematodi in parazitskimi glivami. Glivni endofiti imajo po definiciji šibek pozitiven ali negativen vpliv na rastlino in ne povzročajo vidnih poškodb tkiv gostiteljske rastline. Pri prenosu hranil gre za pasiven in ne aktiven transport (Brundrett, 2006).

### 3.3.2 Arbuskularna mikoriza

Arbuskularne mikorizne (AM) glive so glive tal, debla *Glomeromycota*, ki tvorijo mutualistično razmerje z večino višjih rastlin. Prisotnost arbuskularno mikoriznih gliv se pojavlja pri gametofitih nekaterih mahov, pri praprotnicah ter krito- in golosemenkah (Schüssler in sod., 2001).

Fosilne najdbe dokazujejo, da so se AM-glive razvile že pred 475 milijoni let in prve kopenske rastline naj bi imele slabo razvit koreninski sistem. Tako so te najstarejše simbiotske glive imele pomembno vlogo pri prehodu rastlin na kopno. Zelo podobno časovno linijo evolucije arbuskularnih gliv dobimo s primerjavo sekvenc rDNA in pri izdelavi molekularne ure (Cairney, 2000).

Postopek naselitve AM-gliv v korenino rastline poteka postopoma v več korakih, preden lahko vzpostavijo stik z gostiteljsko rastlino. Prva faza kolonizacije se začne z razvojem ekstraradikalnih hif v tleh. Večje hife za prevajanje snovi se tvorijo s kalitvijo posebnih spor (propaguli), tanjše absorpcijske hife pa služijo privzemanju nutrientov (Smith in Read, 1997). Pri drugi fazi pride do stika ekstraradikalnih hif s korenino gostiteljske rastline in penetracijo hif. Ob stiku hif s korenino nastane zadebelitev hif, ki nato prodirajo v epidermalne celice korenine in se širijo z razraščanjem v zunanji korteks korenine. V zadnji fazi pride do proliferacije hif v korteksu in zaključna tvorba kolonije. Pri tem razraščanju razlikujemo dva tipa glede na obliko in smer razraščanja – Arum in Paris. Za tip Arum je značilna longitudinalna rast med gostiteljskimi celicami, tip Paris pa tvori hifne svitke v celicah in arbuskularne svitke v korteksu (Brundrett, 2002).

Za visoki trpotec je značilen tip Paris z večjim številom svitkov za povečevanje absorpcijske površine. Na morfologijo in strukture arbuskularne mikorize lahko rastlina vpliva z različnimi strategijami. Najbolj raziskana je strategija razvoja velikih intracelularnih zračnih



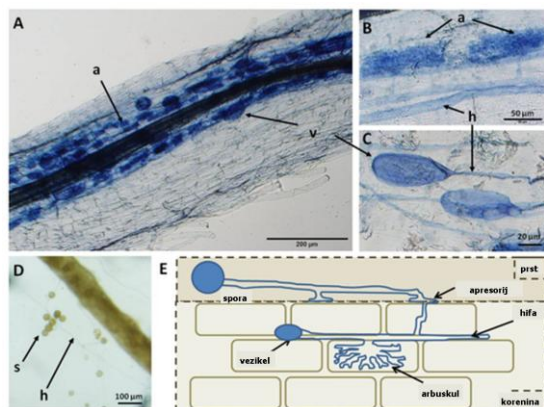
prostorov v korenini, kar omogoča lažji razvoj svitkov in drugih AM-struktur (Cavagnaro in sod., 2001).

Glavne strukture za izmenjavo hranil pri arbuskularni mikorizi so razvejani havstoriji, ki jih imenujemo arbuskuli. Ti nastajajo v celicah korteksa korenine s ponavljajočim se dihotomnim razvejanjem ali z vzporedno redukcijo debeline hif. Arbuskuli se pričnejo razvijati dva dni po penetraciji hif v kortikalne celice. Te strukture so kratkožive in propadejo v nekaj dneh (Brundrett, 2002).

Vezikli so založne strukture, sestavljeni iz lipidov in citoplazme. Nastajajo takoj po razvoju prvih arbuskulov z odebelitvijo intra- ali intercelularnih hif, vendar se naprej razvijejo tudi ko arbuskuli propadejo. V nekaterih primerih služijo tudi kot propaguli, ki omogočajo razvoj ekstraradikalnih hif (Pongrac in Regvar, 2007). Še ena založna struktura so spore, ki nastajajo kot zadebelitve intra- in ekstraradikalnih hif. Njihov razvoj je povezan s senescenco celotne mikorizne asociacije. Spore imajo debele stene in veliko število jeder, sicer so po strukturi podobni veziklom, saj so sestavljeni iz lipidov in citoplazme. Spore so najbolj pomembne strukture pri razločevanju različnih vrst arbuskularnih mikoriznih gliv, saj so lastnosti spor zelo uporaben taksonomski znak (Brundrett, 1996).

AM-glive proizvajajo gliko-protein glomalin, ki deluje kot lepilo. Odlaganje glomalina na delce tal vodi do kopičenja ogljika in stabilizacije tal (zmanjša erozijo tal), kar omogoča boljšo strukturo tal, posledično tudi večjo razpoložljivost vode v tleh. To je predvsem prednost na območjih, kjer spreminjanje razpoložljivosti vode predstavlja stres za rastline. Rastline z mikoriznimi simbionti lahko privzemajo več kovinskih hranil preko ekstraradikalnih hif, saj te zagotavljajo povečano površino za absorpcijo in tudi zmanjšajo razdaljo za difuzijo, s čimer se tudi povečuje absorpcijo nemobilnih hranil, kot sta fosfor in cink (Krishnakumar in sod., 2013).

Arbuskularne mikorizne glive prispevajo k izboljševanju bioloških in kemijskih lastnosti pri rastlinah v stresnih habitatih. Rastlino spodbujajo k zmanjševanju biomase lastnega koreninskega sistema, vendar hkrati povečujejo zmogljivost absorpcije nutrientov s proliferacijo hif v bolj oddaljene predele prsti in s tem neposredno povečajo absorpcijsko površino korenine (Mohammadi in sod., 2011). Rastlina pa glivo oskrbuje s fotosintezniimi produkti, ki so edini vir ogljika za glivo, gliva pa rastlini pomaga pri preživetju ob neugodnih abiotičnih in biotičnih dejavnikih (Smith in Read, 2008).



Slika 1: Glavne strukture arbuskularne mikorize (povzeto po: IMBIO, Universität Bonn)

### 3.3.3 Temno septirani endofiti (DSE)

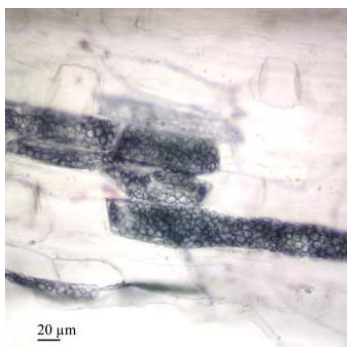
Temno septirani endofiti so asociacija amorfnih gliv, ki kolonizirajo koreninska tkiva intra- in intercelularno. Njihova povezava z gostiteljsko rastlino je lahko raznolika, nevtralna, parazitska in v nekaterih primerih celo patogene narave. Klasifikacija DSE-gliv je zapletena, ker je njihov izvor je polifiletski. Večino izoliranih DSE-gliv so uvrstili v red Pleosporales in v skupine, ki so sorodne redovoma Pezizales ali Leotiales (Jumpponen, 2001).

Morfologija DSE-gliv je podobna ektomikorizi, ektendomikorizi in psevdomikorizi. Kolonizacija s to glivno skupino je opisana pri več kot 600 rastlinskih vrstah iz 320 rodov in 100 družin (Jumpponen in Trappe, 1998).

DSE-glive tvorijo melanizirane strukture, kot so znotrajcelične ali zunajcelične hife in mikrosklerociji v korenini rastline. Razvijajo se kot sterilni septirani glivni endofiti (Jumpponen in Trappe, 1998). Hife teh gliv proizvajajo veliko melanina v celičnih stenah, kar poveča togost celičnih sten, krepi odpornost pred določenimi mikroorganizmi, daje zaščito pred poškodbami sevanja in izsušitvijo (Griffith, 1994). Hife se razraščajo po epidermisu gostiteljske rastline vzporedno s koreninsko osjo in zato navadno ne povzročajo poškodb koreninskega sistema. Pri penetraciji hif v zunanje kortikalne celice, se na površini občasno tvori hifni preplet ali delna Hartigova mreža. Ponekod se tvorijo intracelularni skupki kroglastih celic s tankimi stenami, imenovani mikrosklerociji (Jumpponen in Trappe, 1998).

V primerjavi z znanjem o AM-glivah je zelo malo znanega o funkcijah DSE-gliv (Jumpponen in Trappe, 1998). Vplivi in učinki kolonizacije DSE-gliv v rastlini zelo variirajo, od negativnih do pozitivnih, odvisno od vpletenih taksonov in rasti razmer. Do sedaj se kaže izboljšana rast gostiteljske rastline in povečana absorpcija hranilnih snovi (Linderman, 1988; Shivanna in sod., 1994; Vassilev in sod., 1996, 1997). DSE-glive so sposobne razčleniti večje polimerne oblike ogljika, dušika in fosforja, ki jih pogosto najdemo v rastlinskem dendritu in organski snovi v tleh (Currah in sod., 1993). Razčlenitev teh snovi poteka s pomočjo zunajceličnih encimov, ki jih glive tvorijo same (Haselwandter in Read, 1982).

Do sedaj so DSE-glive našli po celem svetu, vendar pogosto samo v povezavi z mikoriznimi glivami (Mandyam in Jumpponen, 2005). Ugotovljeno je bilo, da lahko preživijo v ekstremnih razmerah, saj so jih našli v zelo toplih ali v zelo hladnih območjih. Raziskave kažejo, da DSE-glive gostiteljski rastlini pomagajo preživeti abiotične strese (Read in Haselwandter, 1981).



Slika 2: Primer kolonizacije s temno septiranimi endofiti (foto: M. Vohnik)

### 3.3.4 Vpliv poplavljenosti rastišča na stopnjo glivne kolonizacije

Menjavanje poplav in suhih obdobij v presihajočih vodnih sistemih ima za posledico edinstveno floro, kjer veliko rastlinskih vrst kaže amfibijske značilnosti, kar jim omogoča preživetje v poplavljenih in suhih razmerah (Urbanc Berčič in sod., 2005). Spremembe vodostaja v rastlinah z amfibijskimi značajem spodbudijo razvoj različnih morfoloških, fizioloških in biokemijskih lastnosti, kakor tudi različne strategije razmnoževanja (Boulton in Brock, 2001). Vodni režim presihajočih mokrišč spodbuja izmenjavo anoksičnih in oksičnih razmer v sedimentu in vpliva na razpoložljivost hranil za rastline (Gaberščik in sod., 2003).

Arbuskularna mikoriza (AM) je najpogostejša vrsta simbioze med rastlinami in glivami v kopenskih ekosistemih, saj omogoča preživetje v stresnih razmerah (Smith in Read, 1997). AM-kolonizacija je prisotna tudi v rastlinskih vrstah, ki rastejo v jezerih in potokih (Clayton in Bagyaraj, 1984; Beck Nielsen in Madsen, 2001), močvirjih (Bohrer in sod., 2004), zmerno poplavljenih travnikih (Escudero in Mendoza, 2005) in nizkih barjih (Turner in Friese, 1998).

Raziskave kažejo, da je večina korenin močvirskih rastlin kolonizirana z endofitnimi in mikoriznimi glivami (Šraj Kržič in sod., 2006; Dolinar in sod., 2011b). Obseg glivne kolonizacije je odvisen od stopnje kolonizacije pred poplavami (Šraj Kržič in sod., 2009; Dolinar in Gaberščik, 2010). V suhem ustvarjene glivne strukture se lahko ohranijo v obdobju poplavljenosti (Miller in Sharitz, 2000) in se tudi razširijo z rastjo koreninskega sistema (Neto in sod., 2006). Preživetje glivnih struktur v koreninskem sistemu je mogoče zaradi dovoda kisika do korenin preko aerenhima rastline (Dickopp in sod., 2011). Nekatere glive preživijo tudi krajša obdobja v popolnoma hipoksičnih pogojih (Miller in Bever, 1999).

Poleg AM-gliv so temno septirani endofiti (DSE) pogosti kolonizatorji rastlinskih korenin v ekstremnih okoljih (Jumpponen, 2001). Za razliko od vloge AM in DSE glivne kolonizacije pri kopenskih rastlinah, so te asociacije gliv in rastlin v vodnem okolju slabo raziskane. Raziskave so pokazale, da so učinki poplav na kolonizacijo močvirskih rastlin z arbuskularno mikorizo (AM) močno povezani z globino vode ter izmenjavo in trajanjem

poplavnih in sušnih obdobj. Kolonizacija z arbuskularnimi glivami je bila najnižja na območjih stalne poplavljenosti in največja tam, kjer pride do sezonskega sušenja območja. Kljub temu je bila kolonizacija prisotna v vseh koreninskih vzorcih (Miller, 2000).

Eden od razlogov za manjšo prisotnost mutualističnih asociacij pri vodnih rastlinah je, da lahko vodne rastline absorbirajo hranila tudi preko poganjkov in listov in ne samo skozi koreninski sistem (Hutchinson, 1975).

### 3.4 MESTO RAZISKAV – CERKNIŠKO JEZERO (REŠETO)

Cerkniško jezero se nahaja na Cerkniskem polju, ki leži v depresiji, vzdolž Idrijskega preloma (Kranjc, 2002a).

Na območju Rešeta so zaradi izmenjave manj topnega dolomita in bolj topnega apnenca prisotni številni požiralniki. Bregovi so gosto poraščeni z rastlinami, dno pa je muljasto. Ko vodostaj pade pod 100 cm, je večina rastlin na suhem bregu. Obrobje poplavnega območja naseljujejo združbe mokrotnih travnikov, kot sta združba modro-stožkovje in združba rušnate masnice in visokega trpotca (Gaberščik in sod., 2003).

Cerkniško polje je na prehodnem območju med dinarsko in alpsko regijo. Po fitogeografski in geografski delitvi spada v dinarsko regijo. Vplivi sredozemskega in hkrati zmerno celinskega podnebja povzročajo veliko padavin (1700 mm na leto), in se razlikuje od padavinskega režima v severovzhodni Sloveniji (Zupančič, 2003).

Med običajnim poplavljanjem nivo vode doseže med 547,5 in 550 m nadmorske višine. To stanje se večinoma pojavi dvakrat letno, in sicer spomladi in pozno jeseni. Pri takšnem nivoju je obseg poplavljenosti Cerkniskega polja in s tem velikost Cerkniskega jezera do 27 km<sup>2</sup> (Kranjc, 2002a).

Presihajoče Cerknisko jezero je edinstven kraški pojav, ki ni niti jezero, niti kopenski ekosistem. Območje jezera je poplavljenost del leta in se običajno poleti skoraj popolnoma izsuši (Gaberščik in sod., 2003).

Raven vode na območju Cerkniskega jezera je predvsem odvisna od količine in letne razporeditve padavin (Gaberščik in Urbanc Berčič, 2001; Zupančič, 2003). Med deževnim obdobjem se zbira voda, ki prihaja iz višje ležečih kraških polj in tudi neposredno iz padavin na Cerkniskem polju (Kranjc, 2002a). Voda prihaja tudi iz številnih jam na robu polja. Te vode se združujejo v široko strugo potoka Stržen, ki vijuga preko polja. Raven vode se tako postopoma dviguje in voda v le nekaj dneh poplavi celotno območje (Gaberščik in sod., 2003).

Jezero se napaja iz več pritokov. Med pomembnejšimi so površinski pritok Cerknishčice in štirje kraški pritoki (Žerovniščica, Martinjščica, Lipsenjščica in Obrh). Glavni kraški pritoki

izvirajo na oddaljenih območjih v Loški dolini in na Bloški planoti, od kjer tečejo pod zemljo in se ponovno pojavijo na Cerkniškem polju (Gospodarič in Habič, 1974).

Proces presihanja Cerkniškega jezera je nekoliko daljši. V povprečno treh do štirih tednih voda počasi odteka iz jezera preko požiralnikov, ponikev, ponorov, estavel, vrtač, grezi in rup. Odtok Cerkniškega jezera je v celoti kraški. Največje ponikve najdemo v osrednjem delu polja, od Rešeta preko Vodonosa, Sitarice, Retij do Velike, Srednje in Male Ponikve (Kranjc 1986 in 2002a).

Izmenjava suhih in poplavljenih obdobj, povezana z ekstremnimi nihanji vodostajev, močno vpliva na procese mineralizacije in posledično na vse žive organizme v biotopu (Gaberščik in Urbanc Berčič, 2003a).

Gosta vegetacija jezera deluje kot ponor za hranila, ki se v njem zadržujejo. Dolgoletne raziskave so pokazale relativno visoko vsebnost hranil, predvsem dušika in fosforja v površinskih pritokih Cerkniškega jezera. Ko je območje poplavljen, se hranila hitro vključijo v biomaso primarnih proizvajalcev, zato obremenitev s hranili iz onesnaženih pritokov predstavlja zanemarljiv vir onesnaževanja za jezero. Analize so pokazale negativno razmerje med nivojem vode in vsebnostjo hranil površinskih tokov Cerkniščice in Martinjščice, ki prinašajo večino hranil iz kmetijskega okolja v jezero. Zaradi zmanjšane učinkovitosti samočiščenja ob presihanju je kakovost vode primarnega pomena. Poleg pritokov je kakovost vode odvisna še od več drugih dejavnikov, kot so odtoki, stopnja dekompozacije, kolonizacija makrofitov, temperatura ter količina in porazdelitev padavin (Gaberščik in Urbanc Berčič, 2001).

## 4 MATERIAL IN METODE DELA

### 4.1 VISOKI TRPOTEC

#### 4.1.1 Opis preiskovane vrste in spremljajočih vrst

Za predmet raziskav smo izbrali rastlinsko vrsto visoki trpotec (lat. *Plantago altissima*).

Visoki trpotec (lat. *Plantago altissima*) spada v družino trpotčevk (lat. Plantaginaceae) in uspeva na poplavljenih travnikih na jugu in jugozahodu Slovenije. Je zelnata trajnica in hemikriptofit, ki cveti od maja do julija (Martinčič in sod., 2007).

Rastlina ima vodoravno koreniko, iz katere rastejo ozki pokončni listi suličaste oblike, ki na dnu tvorijo rozeto. Višina rasti sega od 50–70 cm visoko. Socvetje je gosto, posamezni cvetovi so štiricvetni, vendar bolj neopazni. Venčni in čašni listi so prosojni, samo prašnice so bele barve (Stergaršek in sod., 2009).

Na Cerkniškem jezeru sodi visoki trpotec med rastlinske vrste z amfibijskim značajem, čeprav se ta značaj kaže le na rastiščih v globljih predelih jezera. Na drugih manj poplavljenih predelih pa kaže značilnosti običajnih močvirskih ali traviščnih vrst (Martinčič, 2003).



Slika 2: Visoki trpotec (foto: Hamar)

Visoki trpotec raste v združbi rušnate masnice in visokega trpotca. To je združba vlažnih travišč, ki so večkrat letno poplavljena, nivo talnice pa skozi leto ostaja visok. Značilna je tudi košnja za steljo, po navadi v poznem poletju, enkrat letno. Združba je razširjena na manjših površinah na obrobju jezera in njeno ohranjanje je odvisno od ekstenzivne rabe, saj se s košnjo prepreči zaraščanje s pionirskimi lesnimi vrstami (Ilijanić, 1979).

Značilne vrste za združbo rušnate masnice in visokega trpotca so rušnata masnica (lat. *Deschampsia caespitosa*), visoki trpotec (lat. *Plantago altissima*) in zdravilna strašnica (lat.

*Sanguisorba officinalis*). Združba si pogosto deli habitat z združbo modro stožkovje (lat. *Molinietum caeruleae*), kjer poleg prevladujoče modre stožke najdemo še močvirski svišč (lat. *Gentiana pneumonanthe*), proseni šaš (lat. *Carex panicea*), navadno krvenko (lat. *Lythrum salicaria*) in navadno pijavčnico (lat. *Lysimachia vulgaris*) (Martinčič in Leskovar, 2002).

Območje Cerknškega jezera spada v dinarsko fitogeografsko področje, čeprav je le malo vrst, ki to na tem območju potrjujejo. Vodna in močvirska flora je srednjeevropska in ne dinarska ali submediteranska, kot bi glede na lego pričakovali. Razlog za to je dejstvo, da se floristične in vegetacijske spremembe veliko počasneje dogajajo v močvirskih biotopih kot v kopenskih (Wraber, 1969).

Vrste, ki dajejo območju bolj južne ali submediteranske značilnosti, so visoki trpotec (lat. *Plantago altissima*), panonski osat (lat. *Cirsium pannonicum*), ilirski meček (lat. *Gladiolus illyricus*) in drugi, ki združujejo vrste vlažnih travišč od Istre do Neretve (Horvat in sod., 1974).

## 4.2 TERENSKO DELO

Terensko delo je potekalo v rastni sezoni 2011 na Cerknškem jezeru, in sicer na dveh vzorčnih mestih na območju Rešeta. Vzorčenje smo opravili v štirih mesecih od maja do septembra.

### 4.2.1 Nabiranje vzorčnega materiala

Na obeh vzorčnih mestih smo naključno izbrali 10 rastlin in jih izkopal z lopato. Pri tem smo poskušali zajeti rastlino s celotnim koreninskim sistemom. Rastline smo shranili v vrečkah iz jute in jih takoj odpeljali v laboratorij za merjenje rasti parametrov in pripravo korenin za barvanje glivnih struktur.

### 4.2.2 Razmere na rastišču

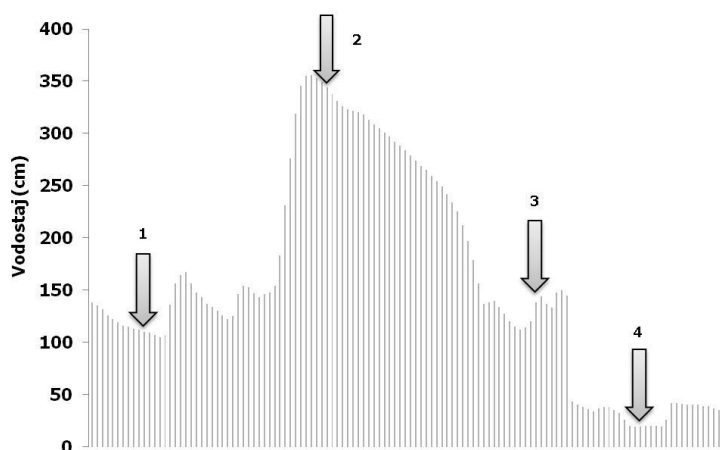
Vzorčni mesti sta se razlikovali po vodostaju. Lokacija 1 je bila na travniku na pobočju ponikve, lokacija 2 pa nekoliko višje (oddaljena ca. 50 m).



Slika 3: Satelitska slika Rešeta in označena mesta vzorčenja (<http://www.geopedia.si>)

V maju in juniju smo nabrali po 10 rastlin na obeh lokacijah. V septembru ni bilo rastlin na suhem območju zaradi košnje travniškega obrežja.

V vseh dnevih vzorčenja ni bilo padavin. Meseca maja je bila ob vzorčenju temperatura 24,9 °C pri sončnem vremenu in zračni vlažnosti 25 %. V juniju je bilo podobno toplo z 24,1 °C, vendar je bila vlažnost 49 % z rahlo oblačnostjo. Julijski terenski dan je bil precej hladen s 15,3 °C in tudi oblačen s 63-% vlažnostjo. Meseca septembra je bilo ponovno toplejše vreme pri 27,2 °C z dokaj jasnim nebom in vlažnostjo ozračja 50 %.



Slika 4: Spremembe vodostaja Stržena v obdobju vzorčenja. Številke in puščice označujejo dneve vzorčenja po mesecih (1 – maj, 2 – junij, 3 – julij, 4 – september). Vir: ARSO



## LABORATORIJSKO DELO

### 4.2.3 Merjenje rastnih parametrov

V laboratoriju smo rastline takoj premerili. Za rastne parametre smo prešteli nadzemne dele pri vsaki rastlini. To je bilo število listov, popkov in cvetov. Nato smo stehali celotno rastlino ter ločeno podzemne in nadzemne dele, da smo dobili svežo maso posameznih delov rastline. Izmerili smo povprečno širino in dolžino listov vsake rastline ter izmerili skupno površino nadzemnih delov. Nadzemne dele smo po merjenju sušili v sušilniku (Memmert, Nemčija) pri 105 °C in nato ponovno tehtali suho maso za izračun deleža vode v nadzemnih delih. Po odvzemu koreninskih laskov za ugotavljanje prisotnosti glivnih struktur smo tudi korenino posušili v sušilniku za izračun deleža vode v celotni rastlini.

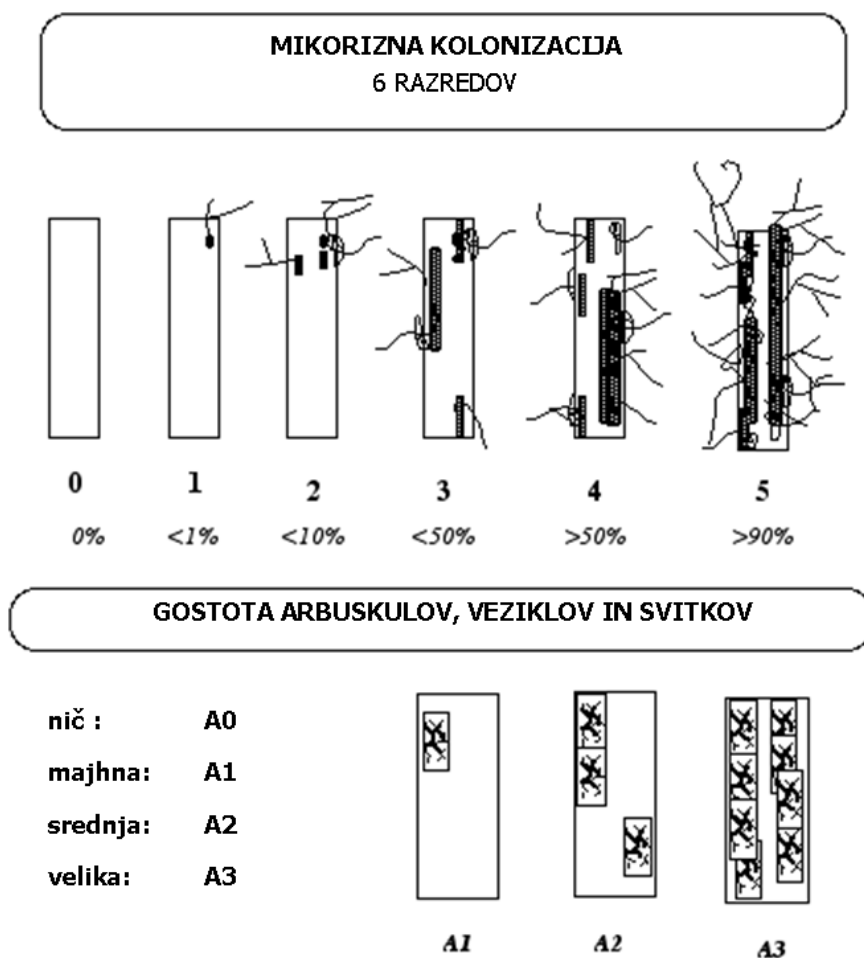
### 4.2.4 Spremljanje parametrov glivne kolonizacije

#### 4.2.4.1 Priprava materiala in barvanje glivnih struktur

Opazovanje glivnih struktur pod svetlobnim mikroskopom nam omogoča selektivno barvanje hitina, ki je sestavina celičnih sten simbiotske glive. To smo dosegli s postopkom po Philipsu in Haymanu (1970) s tripan modrim barvilom. Na terenu smo vzorčili celotno rastlino in nato v laboratoriju vzeli del koreninskega sistema in ga sprali pod tekočo in destilirano vodo. Korenine smo razporedili v označene epruvete in jih prelili z 10-% KOH, ki smo ga pripravili iz 1 litra destilirane vode in 100 gramov KOH (Merck) ter jih v sušilniku 20 minut segrevali pri 90 °C. Nato smo iz epruvet odlili 10-% KOH in korenine večkrat sprali pod tekočo vodo. V epruvete smo nalili 0,05-% barvilo tripan modro, ki smo ga pripravili iz 40 gramov destilirane vode, 40 gramov mlečne kisline (Kemika), 80 gramov glicerola (Kemika) in 0,08 gramov tripan modrega (Fluka) in jih sušili v sušilniku 15 minut pri 90 °C. Iz terminalnih delov korenin smo pripravili mikroskopske preparate. Na vsako objektno stekelce smo položili po 15 segmentov, dolgih približno 2 cm, nanje kanili nekaj laktoglicerola in jih prekrili s krovnikom. Preparirane koreninske laske smo pregledovali pod svetlobnim mikroskopom (Carl Zeiss, Nemčija) pri 100- in 400-kratni povečavi.

Za ocenjevanje kolonizacije smo uporabili metodo po Trouvelot in sod. (1986). Ta temelji na opazovanju 30 naključno izbranih koreninskih odsekov s svetlobnim mikroskopom (Carl Zeiss, Nemčija), obarvanih s tripan modrim barvilom. Pri vsakem odseku smo ocenili stopnjo mikorizne kolonizacije, na osnovi 6-stopenjske lestvice, pri kateri razred 0 predstavlja 0-% kolonizacijo, razred 1 do 1-% kolonizacijo, razred 2 od 1 do 10-% kolonizacijo, razred 3 od 10 do 50-% kolonizacijo, razred 4 od 50 do 90-% kolonizacijo in razred 5 več kot 90-% kolonizacijo. Iskali smo tipične strukture arbuskularnih gliv: hife, vezikle, arbuskule in strukture temno septiranih gliv: hife in mikrosklerocije. Gostoto teh struktur smo ugotavljali na podlagi 4-stopenjske lestvice in s tako dobljenimi ocenami ovrednotili kolonizacijo tako kvantitativno kot kvalitativno (predvsem prisotnost arbuskulov kaže na funkcionalno izmenjavo hranil med simbiotoma). Vrednost mikorizne frekvence

glivnih endofitov (F %) predstavlja frekvenco fragmentov z glivo in je povezana s številom in homogenostjo razporeditve AM-propagulov v tleh. Splošna intenziteta glivnih endofitov (M %) pove, kolikšen delež skorje celotnega koreninskega sistema je koloniziran z glivnimi endofiti. Gostota arbuskulov (A %), gostota veziklov (V %), gostota svitkov (S %) ter gostota mikrosklerocijev (MS %) v koreninskem sistemu so kvalitativne ocene *in situ*. Podatke smo vnesli v program MycoCalc in dobili številčne vrednosti posameznih parametrov, ki smo jih statistično obdelali.



Slika 5: Shematski prikaz ocenjevanja arbuskularne mikorizne kolonizacije po metodi Trouvelot in sod. (1986)

Na osnovi podatkov smo z računalniškim programom MycoCalc izračunali naslednje arbuskularno mikorizne parametre:

- intenziteto mikorize v koloniziranih koreninskih odsekih – m (%);
- gostoto arbuskulov v delu skorje z mikorizno infekcijo – a (%);
- gostoto veziklov v delu skorje z mikorizno infekcijo – v (%);
- gostoto svitkov v delu skorje z mikorizno infekcijo – s (%).

Intenziteta mikorize v koloniziranih koreninskih segmentih – m (%) – pomeni kolonizacijo koreninskega sistema, kadar je glivnega inokuluma v zemlji malo (F % je nizek).

$$m \% = M * (\text{število vseh korenin}) / (\text{število mikoriznih korenin}) = M * 100 / F$$

Gostota arbuskulov v delu skorje z mikorizno infekcijo – a (%) – je delež arbuskulov v koloniziranih delih koreninskega sistema.

$$a \% = (100 mA3 + 50 mA2 + 10 mA1) / 100$$

Gostota veziklov v delu skorje z mikorizno infekcijo – v (%) – je delež veziklov v koloniziranih delih koreninskega sistema.

$$v \% = (100 mV3 + 50 mV2 + 10 mV1) / 100$$

Gostota svitkov v delu skorje z mikorizno infekcijo – s (%) – je delež svitkov v koloniziranih delih koreninskega sistema.

$$s \% = (100 mS3 + 50 mS2 + 10 mS1) / 100$$

Za izračun in oceno obsega kolonizacije koreninskega sistema smo uporabili formule spodnje preglednice (Preglednica 1).

Preglednica 1: Mikorizni parametri za oceno in izračun obsega kolonizacije koreninskega sistema (prirejeno po Trouvelot in sod., 1986)

- F % Mikorizna frekvenca glivnih endofitov.  
Predstavlja frekvenco fragmentov z glivo in odraža razpoložljivost propagulov glivnih endofitov v tleh.  
 $F \% = (\text{št. mikoriznih korenin} / \text{št. vseh korenin}) * 100$
- M % Splošna intenziteta glivnih endofitov.  
Pove, kolikšen delež skorje celotnega koreninskega sistema je koloniziran z glivnimi endofiti.  
 $M \% = (95 n5 + 70 n4 + 30 n3 + 5 n2 + n1) / \text{št. vseh korenin}$   
n5 = št. koreninskih fragmentov, razvrščenih v razred 5, n4 = št. koreninskih fragmentov, razvrščenih v razred 4 ...
- A % Gostota arbuskulov v koreninskem sistemu  
je kvalitativna ocena *in situ*.  
 $A \% = a * (M / 100)$
- MS % Gostota mikrosklerocijev v koreninskem sistemu  
je kvalitativna ocena *in situ*.  
 $MS \% = ms * (M / 100)$
- V % Gostota veziklov v koreninskem sistemu  
je kvalitativna ocena *in situ*.  
 $V \% = v * (M / 100)$
- S % Gostota svitkov v koreninskem sistemu  
je kvalitativna ocena *in situ*.  
 $S \% = s * (M / 100)$

### 4.3 STATISTIČNA ANALIZA

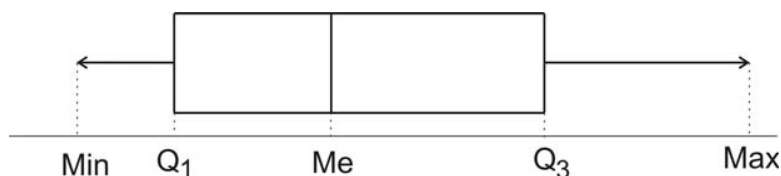
Za statistično obdelavo podatkov smo uporabili program za redundantno analizo Canoco za Windows. Nekatere grafe smo tudi izrisali v MS Excelu 2007.

Razlike med vzorčenji smo testirali z ANOVA testom (analiza variance) pri normalni porazdelitvi podatkov. S tem testom skupno varianco med množicami podatkov razcepimo na posamezne komponente, da preverimo, ali so razlike med vzorci razložljive kot statistična odstopanja znotraj iste populacije.

Pri nenormalni porazdelitvi podatkov smo različnost testirali s Kruskal-Wallisovim testom. To je neparametrična metoda za testiranje. Uporabljamo jo, kadar vrednosti niso enakomerno porazdeljene. Ta metoda se uporablja za primerjanje dveh ali več neodvisnih vzorcev z enakimi ali različnimi velikostmi vzorcev.

Glivne strukture smo grafično prikazali v obliki škatel z brki (whiskers plot ali box-plot), kjer so vrednosti predstavljene kot 1. kvartil ( $Q_1$ ), mediana (Me) in 3. kvartil ( $Q_3$ ). Poleg kvartilov potrebujemo še najmanjšo (Min) in največjo vrednost (Max) med podatki za izris grafikona kvartilov, s katerim nazorno prikazujemo razpršenost podatkov (razpon). S krogi se označuje izstopajoče podatke, z zvezdico pa se prikazuje osamelce (outliers).

Za izris škatel z brki smo uporabili program Past 3 verzija 3.12 za operacijski sistem Windows.



Slika 6: Primer grafičnega prikaza v obliki škatel z brki. Oznake pomenijo  $Q_1$  – 1. kvartil;  $Q_3$  – 3. kvartil; Min – najmanjša vrednost; Max – največja vrednost; Me – mediana.

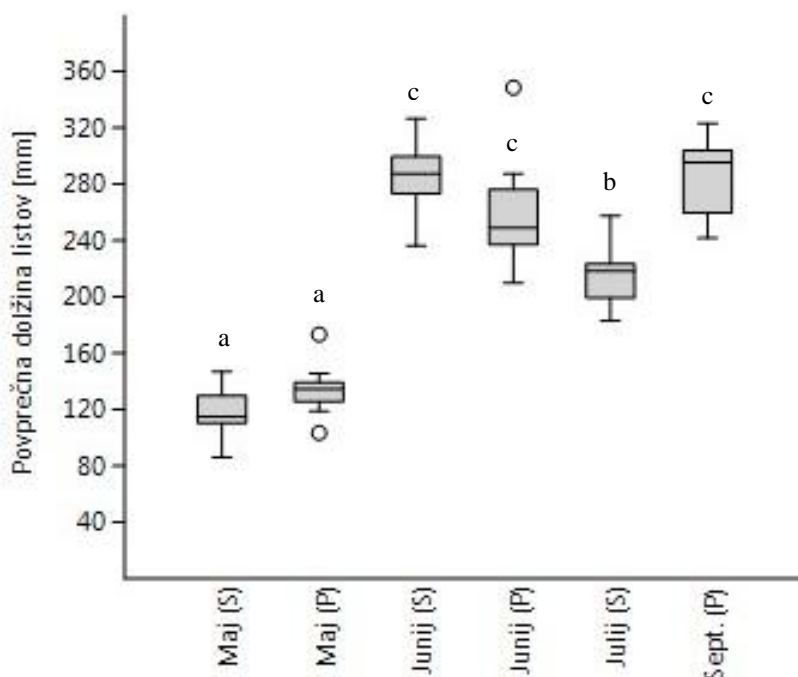
Povezanost med glivno kolonizacijo in rastnimi ter fiziološkimi parametri smo izračunali s pomočjo Spearmanovega korelacijskega koeficienta. Ta statistični kazalec prikazuje neparametrsko stopnjo povezanosti dveh spremenljivk oziroma predstavlja kakovost opisa povezanosti med spremenljivkama, ki jo napravi določena funkcija.

## 5 REZULTATI

### 5.1 RASTNI PARAMETRI

Izmerili smo rastne parametre nadzemnih delov rastlin za primerjavo posameznih primerkov in primerjavo lokacij. Pri listih smo izmerili njihovo maso, število, dolžino, širino in skupno listno površino. V fazi cvetenja smo zabeležili število popkov in cvetov. Liste smo nato tudi posušili za izmeritev suhe mase in izračun deleža vode v listih. Pri podzemnih organih smo stekali koreniko s koreninami in tudi posebej korenine z laski. Zabeležili smo tudi maso celotne rastline ter nato vse dele posušili za izmeritev suhe mase celotne rastline in izračun deleža vode v celotni rastlini. Preglednica izmerjenih rastnih parametrov vseh vzorčenj od maja do septembra na suhi in poplavljeni lokaciji se nahaja v prilogi (Priloga A).

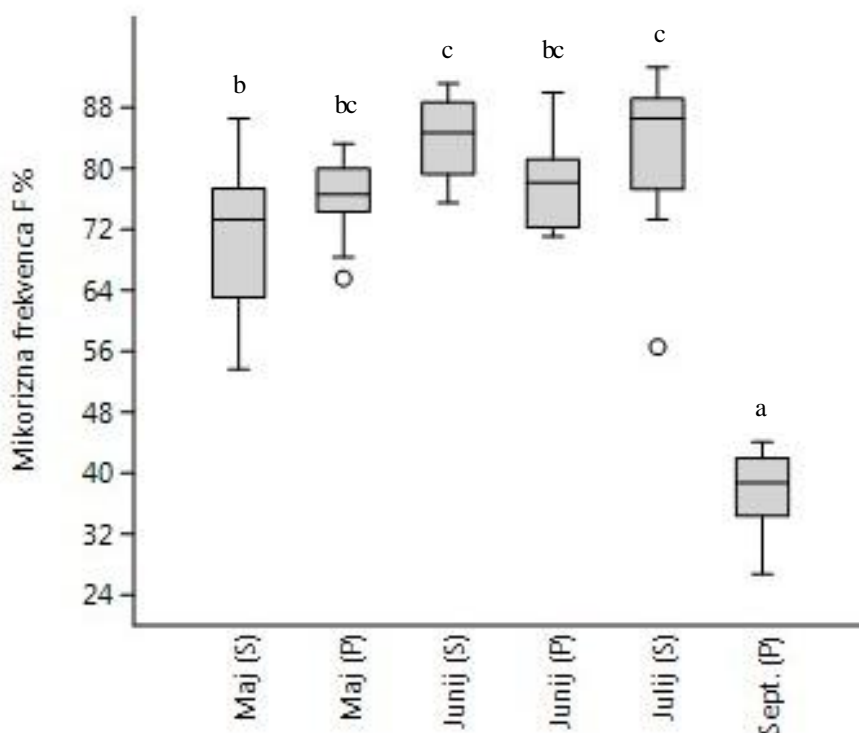
Spremembe v dolžini listov so najbolj izrazite na poplavljeni lokaciji. Izstopa tudi podaljševanje listov v juniju in septembru. Najmanjše dolžine listov so bile izmerjene v maju na obeh lokacijah. Največje razlike v dolžini listov so razvidne, če primerjamo podatke med mesecem majem in ostalimi meseci vzorčenja. Značilnih razlik med vzorci obeh lokacij v maju in juniju ni, kakor tudi pri primerjavi obeh junijskih vzorčenj z vzorci poplavljenе lokacije v septembru. Pri vzorcih julija so značilne razlike vidne (Slika 7).



Slika 7: Primerjava povprečne dolžine listov [mm] glede na mesec in suho (S) ali poplavljeno (P) lokacijo;  $n = 10$ . Rezultati so podani v obliki škatle z brki, kjer sredinska črta škatle prikazuje mediano, zgornji del je 3. kvartil, spodnji del je 1. kvartil in ročice so najmanjše in največje vrednosti podatkov. Izstopajoči podatki so označeni s krožcem (o). Različne črke nad stolpci pomenijo statistične značilne razlike ( $p \leq 0,05$ , ANOVA).

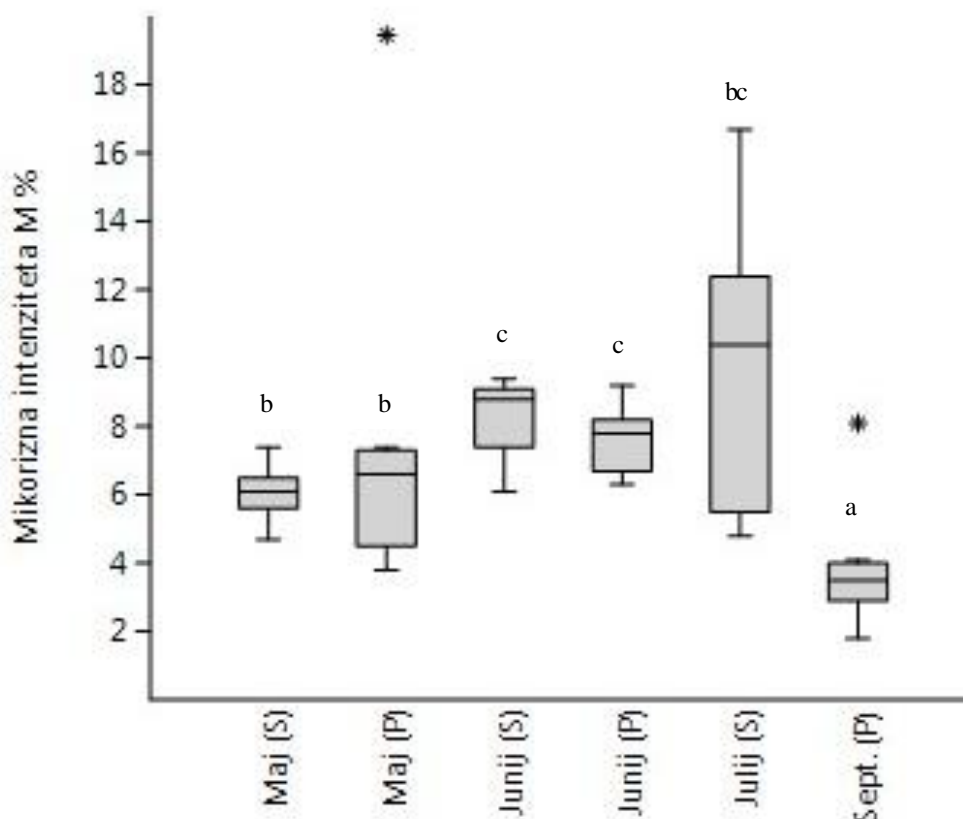
## 5.2 GLIVNA KOLONIZACIJA

Frekvenca mikorize je povečana v mesecu juniju in juliju. Zmanjšane frekvence mikorize se pojavijo meseca septembra. Značilne razlike pri frekvenci mikorize so vidne pri vzorcih meseca septembra v primerjavi z vsemi ostalimi vzorčenji. Edina vzorca, ki se še značilno razlikujeta med seboj, sta suhi lokaciji v maju in juniju. Preostali vzorci ne prikazujejo značilnih razlik (Slika 8).



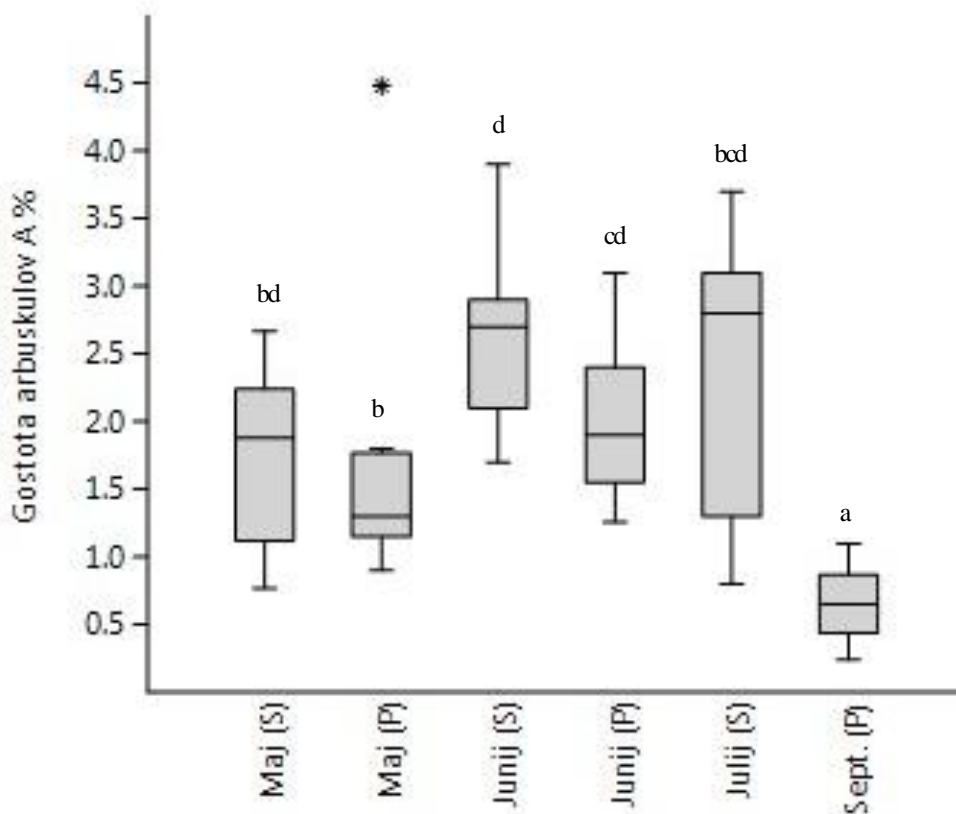
Slika 8: Primerjava mikorizne frekvence [F %] celotne rastline glede na mesec in suho (S) ali poplavljeno (P) lokacijo;  $n = 10$ . Rezultati so podani v obliki škatle z brki, kjer sredinska črta škatle prikazuje mediano, zgornji del je 3. kvartil, spodnji del je 1. kvartil in ročice so najmanjše in največje vrednosti podatkov. Izstopajoči podatki so označeni s krožcem (o). Različne črke nad stolpci pomenijo statistične značilne razlike ( $p \leq 0,05$ , ANOVA).

Gostota mikorize je povečana v suhem obdobju meseca julija in zmanjšana na poplavljenem območju v septembru. Značilne razlike v intenziteti mikorize so vidne v primerjavi med suhima lokacijama v maju in juniju, med majskimi vzorci in poplavljeno lokacijo junija ter suho lokacijo julija. Pri vseh vzorcih se pojavijo značilne razlike v primerjavi z vzorci iz poplavljene lokacije v septembru (Slika 9).



Slika 9: Primerjava mikorizne intenzitete [M %] celotne rastline glede na mesec in suho (S) ali poplavljeno (P) lokacijo; n = 10. Rezultati so podani v obliki škatle z brki, kjer sredinska črta škatle prikazuje mediano, zgornji del je 3. kvartil, spodnji del je 1. kvartil in ročice so najmanjše in največje vrednosti podatkov. Izjemno izstopajoči podatki so označeni z zvezdico (\*). Različne črke nad stolpci pomenijo statistične značilne razlike ( $p \leq 0,05$ , Kruskal-Wallisov test).

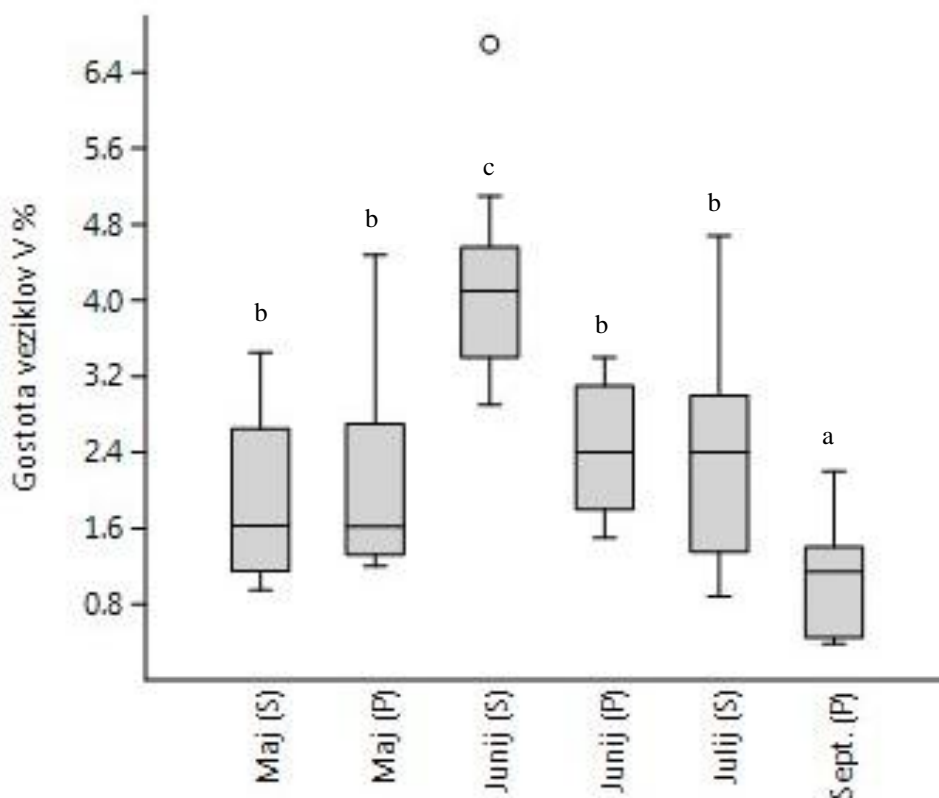
Gostota arbuskulov se večja od maja do julija. Na poplavljeni lokaciji je gostota arbuskulov v koreninskem sistemu splošno manjša kot na suhi lokaciji. Značilne razlike v gostoti arbuskulov so razvidne med poplavljeno lokacijo v maju in suho lokacijo v juniju ter med obema lokacijama v juniju. Vsi vzorci na poplavljeni lokaciji se razlikujejo v primerjavi s suho lokacijo v istem mesecu. Izstopajo vzorci poplavljenе lokacije v septembru, saj je gostota v primerjavi z ostalimi meseci veliko manjša (Slika 10).



Slika 10: Primerjava gostote arbuskulov [A %] celotne rastline, glede na mesec in suho (S) ali poplavljeno (P) lokacijo;  $n = 10$ . Rezultati so podani v obliki škatle z brki, kjer sredinska črta škatle prikazuje mediano, zgornji del je 3. kvartil, spodnji del je 1. kvartil in ročice so najmanjše in največje vrednosti podatkov. Izjemno izstopajoči podatki so označeni z zvezdico. Različne črke nad stolpci pomenijo statistične značilne razlike ( $p \leq 0,05$ , Kruskal-Wallisov test).

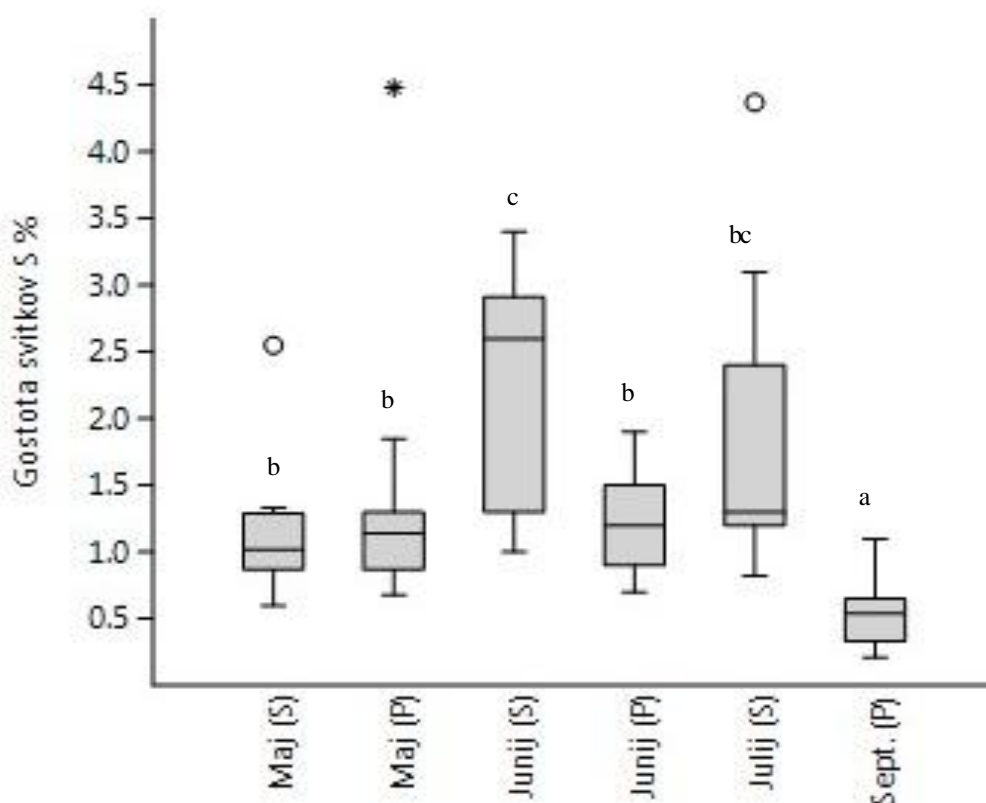
Največja gostota veziklov je v mesecu junij na suhi lokaciji. Najnižja gostota je v rastlinah na poplavljenem rastišču septembra. Značilne razlike v gostoti veziklov so razvidne, če primerjamo majska vzorčenja s suho lokacijo v juniju in če te junijske vzorce iz suhe lokacije primerjamo s poplavljeno lokacijo junija ter z ostalimi vzorci v juliju in septembru. Tudi primerjava poplavljenih lokaciji v juniju in septembru prikazuje značilne razlike (Slika 11).





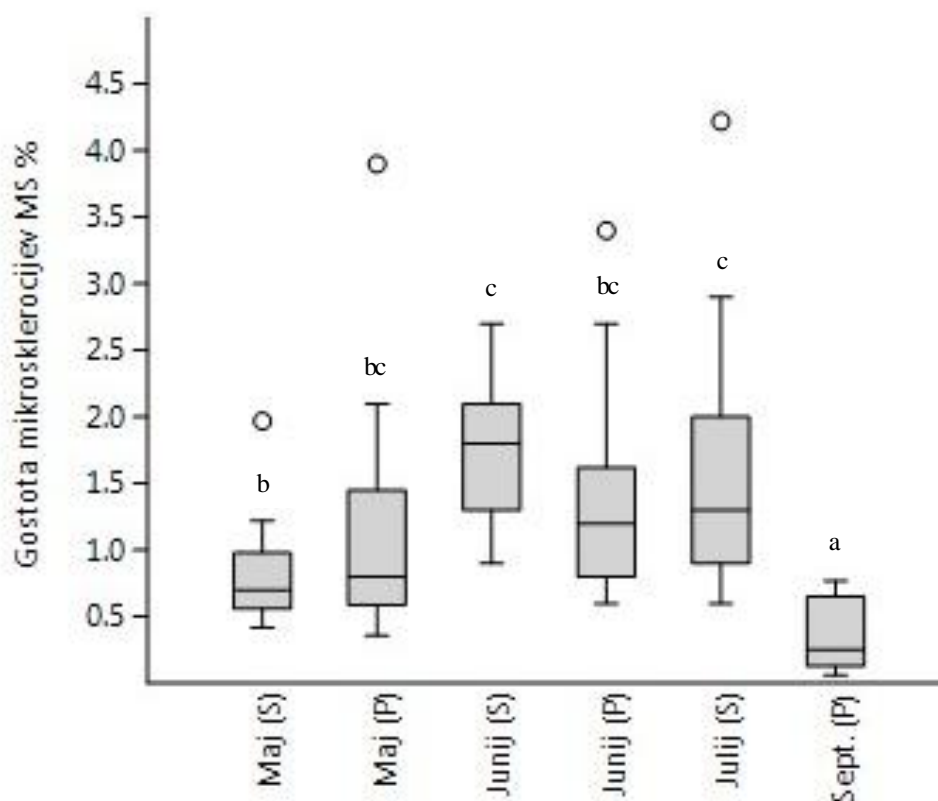
Slika 11: Primerjava gostote veziklov [V %] celotne rastline, glede na mesec in suho (S) ali poplavljeno (P) lokacijo;  $n = 10$ . Rezultati so podani v obliki škatle z brki, kjer sredinska črta škatle prikazuje mediano, zgornji del je 3. kvartil, spodnji del je 1. kvartil in ročice so najmanjše in največje vrednosti podatkov. Izstopajoči podatki so označeni s krožcem (o). Različne črke nad stolpci pomenijo statistične značilne razlike ( $p \leq 0,05$ , Kruskal-Wallisov test).

Gostota svitkov je splošno nizka in se poveča na suhi lokaciji v poletnih mesecih junija in julija. Svitki so redki meseca septembra v poplavljenih koreninskih sistemih. Značilne razlike v gostoti svitkov se pojavijo pri primerjavi majskih vzorcev obeh lokacij z vzorci suhe lokacije v juniju ter primerjave suhe lokacije v juniju s poplavljeno lokacijo v juniju. Pri primerjavi vseh podatkov iz maja, junija in julija z vzorci iz meseca september se pri vseh pojavijo značilne razlike (Slika 12).



Slika 12: Primerjava gostote svitkov [S %] celotne rastline, glede na mesec in suho (S) ali poplavljeno (P) lokacijo; n = 10. Rezultati so podani v obliki škatle z brki, kjer sredinska črta škatle prikazuje mediano, zgornji del je 3. kvartil, spodnji del je 1. kvartil in ročice so najmanjše in največje vrednosti podatkov. Izstopajoči podatki so označeni s krožcem (o). Izjemno izstopajoči podatki pa z zvezdico (\*). Različne črke nad stolpci pomenijo statistične značilne razlike ( $p \leq 0,05$ , Kruskal-Wallisov test).

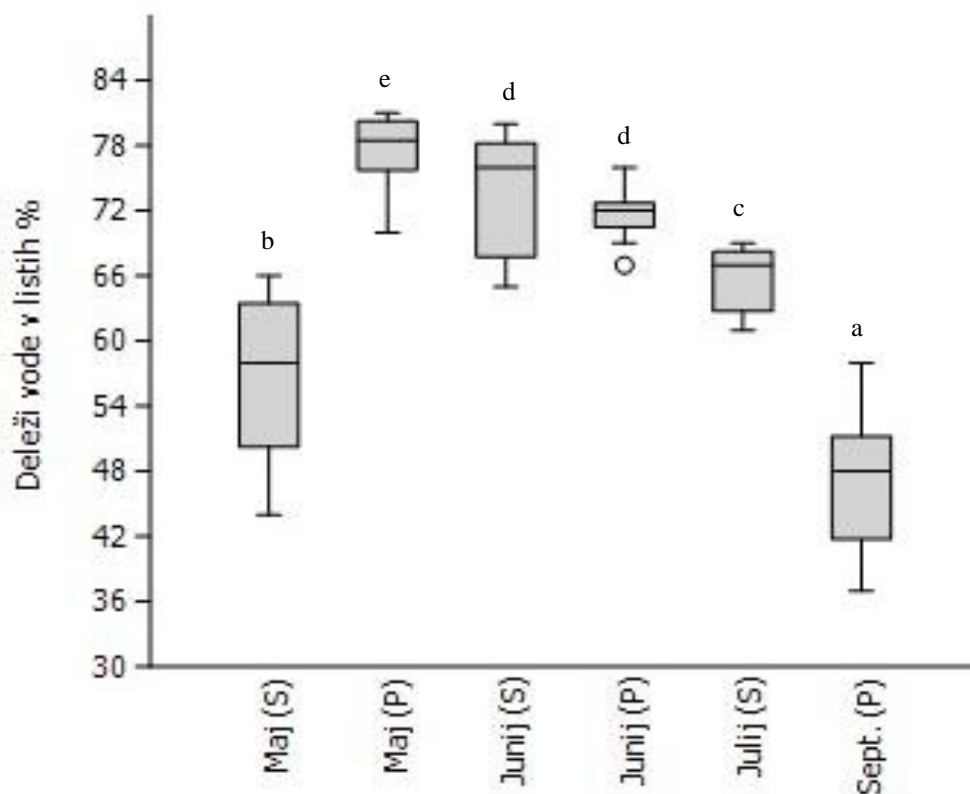
Gostota mikrosklerocijev je majhna v vseh vzorcih in se pojavlja samo posamično v poletnih mesecih. V gostoti mikrosklerocijev so značilne razlike razvidne pri primerjavi vzorcev s suhe lokacije v maju z vzorci s suhe lokacije v juniju in juliju. Pri primerjavi vseh podatkov iz maja, junija in julija z vzorci iz meseca septembra se pri vseh pojavijo značilne razlike (Slika 13).



Slika 13: Primerjava gostote mikrosklerocijev [MS %] celotne rastline glede na mesec in suho (S) ali poplavljen (P) lokacijo;  $n = 10$ . Rezultati so podani v obliki škatle z brki, kjer sredinska črta škatle prikazuje mediano, zgornji del je 3. kvartil, spodnji del je 1. kvartil in ročice so najmanjše in največje vrednosti podatkov. Izstopajoči podatki so označeni s krožcem (o). Različne črke nad stolpci pomenijo statistične značilne razlike ( $p \leq 0,05$ , Kruskal-Wallisov test).

### 5.3 DELEŽI VODE V LISTIH

Deleži vode so bili najvišji v maju na poplavljenem rastišču in v juniju na suhi lokaciji. Najmanjše deleže smo izmerili septembra. Deleži vode v listih se značilno razlikujejo med seboj pri primerjavi vseh vzorcev, razen pri primerjavi suhe in poplavljene lokacije v juniju (Slika 14).



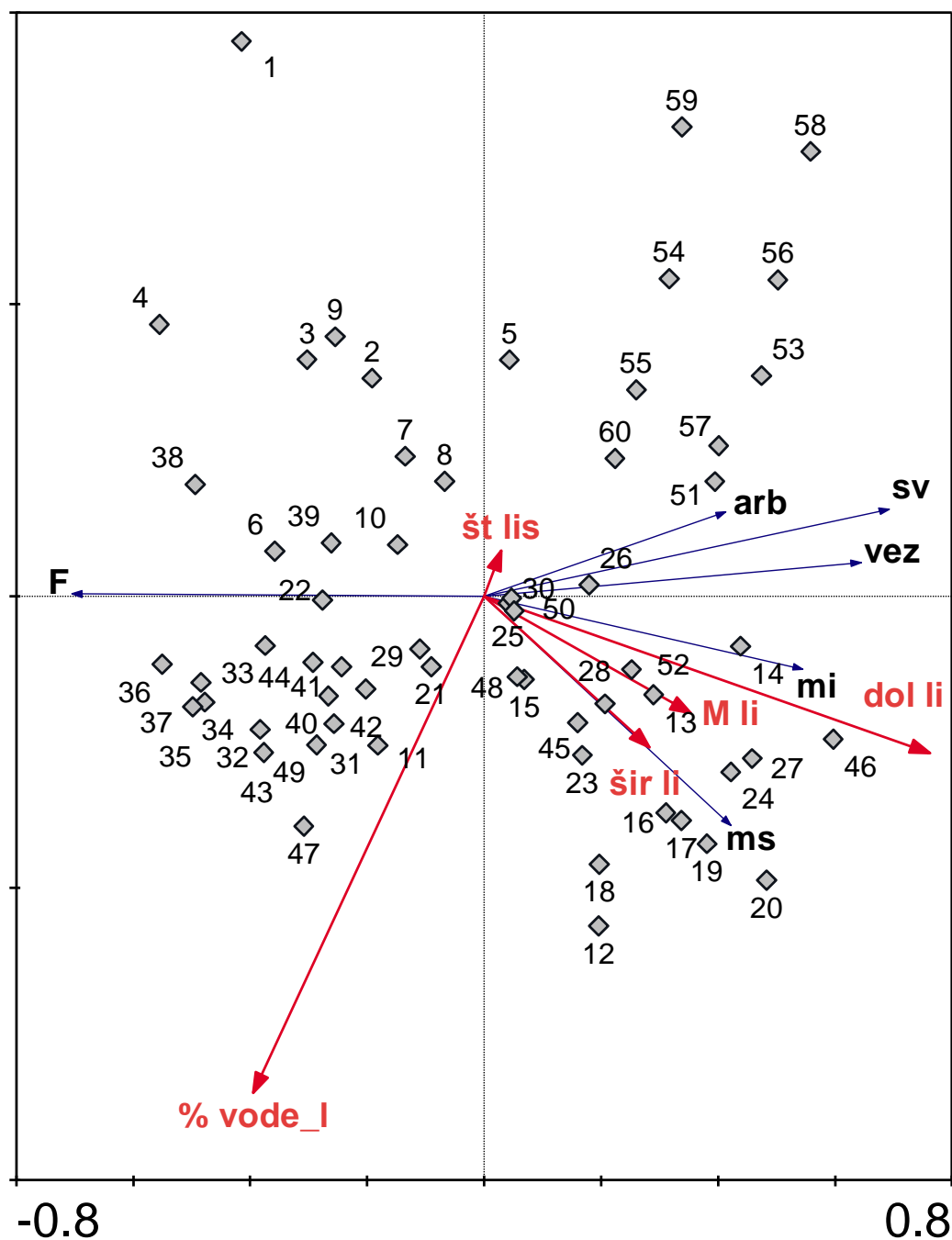
Slika 14: Primerjava deležev vode v listih vzorčnih rastlin [%] glede na mesec in suho (S) ali poplavljeno (P) lokacijo;  $n = 10$ . Rezultati so podani v obliki škatle z brki, kjer sredinska črta škatle prikazuje mediano, zgornji del je 3. kvartil, spodnji del je 1. kvartil in ročice so najmanjše in največje vrednosti podatkov. Izstopajoči podatki so označeni s krožcem (o). Različne črke nad stolpci pomenijo statistične značilne razlike ( $p \leq 0,05$ , Kruskal-Wallisov test).

#### 5.4 ODNOSI MED RASTNIMI PARAMETRI IN GLIVNO KOLONIZACIJO

V ordinacijskem diagramu iz redundantne analize je razvidno, da so deleži vode pozitivno povezani s frekvenco mikorize in negativno povezani z ostalimi glivnimi strukturami. Rastni parametri širine, mase, dolžine in število listov so pozitivno povezani z glivnimi strukturami in obratno sorazmerno s frekvenco mikorize. Vzorci se grupirajo v ločene skupine po mesecih vzorčenja, predvsem izrazito to prikazujejo prvo in zadnje vzorčenje (Preglednica 1, Slika 15).

Preglednica 2: Pogojni učinki (conditional effects), pridobljeni z redundantno analizo podatkov za izdelavo ordinacijskega diagrama (Slika 17). Meja signifikance  $p \leq 0,05$ .

Spremenljivka (variabla)	% razložene variance (Lambda $\lambda$ )	p – signifikanca
Dolžine listov	21	0,001
Delež vode v listih	7	0,007
Širina listov	5	0,011
Število listov	3	0,043
Masa listov	4	0,013



Slika 15: Ordinacijski diagram redundantne analize rastnih parametrov, s katerimi razlagamo glivno kolonizacijo in pojavljanje posameznih mikoriznih struktur. Rastni parametri (rdeče puščice) predstavljajo dolžine listov (dol li), širine listov (šir li), število listov (št lis), mase listov (M li) in deleže vode v listih (% vode\_l). Glivna kolonizacija in mikorizne strukture so na diagramu označene (modre puščice) z malimi črnimi okrajšavami; arbuskuli (arb), svitki (sv), vezikli (vez), mikrosklerociji (ms), frekvenca mikorize (F) in intenziteta mikorize (mi). Štirikotniki predstavljajo posamezne vzorce po vrstnem redu nabiranja in lokaciji; maj suho (1–10), maj poplavljeno (11–20), junij suho (21–30), junij poplavljeno (31–40), julij suho (41–50) in september poplavljeno (51–60).

## 6 RAZPRAVA

V diplomskem delu smo proučevali sezonsko dinamiko rasti in glivne kolonizacije pri visokem trpotcu (lat. *Plantago altissima*) na dveh rastiščih z različnim vodnim režimom. Zanimale so nas predvsem razlike v rasti na poplavljenem in suhem rastišču glede na prisotnost ali odsotnost glivne kolonizacije v koreninskem sistemu rastlin. Pri tem smo primerjali 14 rastnih parametrov in 6 parametrov glivne kolonizacije na obeh rastiščih. S statističnimi analizami smo ugotavljali statistično signifikantne razlike med vzorčenji in lokacijama ter jih proučevali in grafično prikazali.

### 6.1 RASTNI PARAMETRI

Pri rastnih parametrih je izrazito izstopal podatek o dolžini listov. Ob pričetku vzorčenja v mesecu maju se na poplavljenem rastišču pojavljajo daljši listi v povprečju, kot na suhem travniku. To je verjetno prilagodljivost za preživetje stresnih razmer na območju občasnega poplavljanja. Rastlinam, ki uporabljajo takšne strategije, pripisujemo amfibijski značaj (Gaberščik in Urbanc Berčič, 2002).

V mesecu juniju je povprečna dolžina listov na obeh rastiščih bolj ali manj enaka in ne kaže izrazitih razlik. Razlog za bolj izenačeno rast listov je verjetno fenološka faza rastline, saj je v tem obdobju bila v fazi cvetenja. Vendar se je na poplavljenem rastišču pojavilo povprečno več cvetov na rastlino kot na suhem rastišču. Za to je verjetno vzrok pospešeno razmnoževanje v slabših okoljskih razmerah, da rastlina zagotovi preživetje vrste (Boulton in Brock, 2001).

V juliju smo zaradi visoke vode lahko vzorčili le na suhem rastišču, saj so bile rastline na poplavljenem rastišču popolnoma potopljene in nedostopne. Dolžina listov, ki so rasli po fazi cvetenja, je bila manjša, vendar se je zato povečalo povprečno število listov na posamezno rastlino. Tukaj lahko sklepamo, da se rastlina v ugodnih razmerah bolj širi površinsko kot v višino zaradi izpodrivanja drugih rastlin oziroma tekmovalnosti na rastišču.

Ob zadnjem vzorčenju v septembru smo lahko nabirali vzorčni material zgolj na poplavljenem rastišču zaradi košnje površin okoli Rešeta. Pri teh vzorcih se je pokazalo pri vseh rastlinah izrazito podaljševanje listov, ki je preseglo tudi dolžine najbolj bujne rasti v mesecu juniju. To je znano kot elongacija listov, ki se pojavlja pri procesu etiolacije rastline. To je proces, do katerega prihaja zaradi delnega ali popolnega pomanjkanja svetlobe. Nekatere amfibijske rastline v vodi razvijejo spremenjeno morfologijo lista ali drugačne spremembe, kot so preobraženi vodni ali zračni listi, podaljšanje velikosti listov (elongacija) ali sprememba gostote listnih struktur. Te spremembe omogočajo veliko fenotipsko plastičnost rastlin, ki je ekološko pomembna, saj zagotavlja preživetje v presihajočih vodnih telesih (Maberly in Spence, 1989).

## 6.2 GLIVNA KOLONIZACIJA

### 6.2.1 Mikorizna frekvenca in intenziteta

Pri primerjavi mikorizne frekvence med rastišči so se pojavili zanimivi rezultati predvsem pri prvem vzorčenju maja. V nasprotju s pričakovanji je bila povprečna frekvenca mikorize na poplavljenem rastišču celo malenkost večja od te na suhem rastišču. Pričakovali smo prisotnost arbuskularne mikorize tudi na poplavljenem območju, saj je ta tip mikorize najpogostejša vrsta simbioze med rastlinami in glivami, ki omogoča preživetje v stresnih razmerah (Smith in Read, 1997). Znano je, da so kolonizirane tudi rastlinske vrste, ki rastejo na zmerno poplavljenih travnikih (Escudero in Mendoza, 2005) in nizkih barjih (Turner in Friese, 1998).

Pri vzorčnih rastlinah junija smo pri primerjavi opazili, da se je frekvenca mikorize na suhem rastišču še povečala. V juniju se frekvenca mikorize na poplavljenem območju v primerjavi s suho lokacijo ni spremenila in je primerljiva s frekvenco mikorize iz meseca maja. To lahko razložimo tako, da je obseg glivne kolonizacije odvisen od stopnje kolonizacije pred poplavami (Šraj Kržič in sod., 2009; Dolinar in Gaberščik, 2010), saj se v suhem ustvarjene glivne strukture lahko ohranijo v obdobju poplavljenosti (Miller in Sharitz, 2000). V juniju je bila rastlina v fazi cvetenja, kar je lahko tudi razlog za tako visoko frekvenco mikorize v koreninskem sistemu, saj je potreba po hranilih v tej fenološki fazi največja.

Po cvetenju je v juliju ostala frekvenca mikorize na suhem rastišču približno enaka, kot je bila v času cvetenja. Žal, nismo mogli vzorčiti na poplavljenem rastišču, saj so bile rastline popolnoma potopljene in nedostopne.

V septembru je bila na poplavljenem območju frekvenca mikorize zelo zmanjšana. Podobno kažejo raziskave, da so učinki poplav na kolonizacijo močvirskih rastlin z arbuskularno mikorizo močno povezani z globino vode ter izmenjavo in trajanjem poplavljenih in sušnih obdobjih (Miller, 2000).

Rezultati primerjave intenzitete mikorize so bile v maju brez večjih razlik med lokacijama. To pomeni, da so imele rastline na mokri lokaciji kljub poplavljenosti celotnega koreninskega sistema glivno kolonizacijo in prisotne mikorizne strukture.

V juniju so se pojavila manjša nihanja pri gostoti mikorize na poplavljeni lokaciji, medtem ko se je intenziteta mikorize povečala na suhem travniku v času cvetenja.

Največje razlike so se ponovno pokazale v mesecu juniju, kjer je bila gostota mikoriznih struktur izrazito visoka na suhi lokaciji. Kar je povezano s tem, da so bile razmere za rast in razvoj na suhi lokaciji optimalne skozi celotno sezono.

Pri vzorčnih rastlinah iz poplavljenega območja v septembru je bila intenziteta mikorize minimalna in mikorizne strukture so bile le redko prisotne v koreninskih celicah. Pri vzorcih iz meseca septembra je bila faza poplavljenosti predolga za preživetje glivne kolonizacije. Pomembna je ugotovitev, da je preživetje kopenskih rastlin ob poplavah možna le do določene mere. Na stalno poplavljenega območja so prilagojene le vodne rastline, ki lahko

absorbirajo hranila tudi preko poganjkov in listov in ne samo skozi koreninski sistem, kar bi lahko bil eden od razlogov za manjšo prisotnost mutualističnih asociacij z glivnimi kolonijami (Hutchinson, 1975).

### 6.2.2 Gostote glivnih struktur

Arbuskuli so glavne strukture za izmenjavo pri arbuskularni mikorizi, zato je njihova prisotnost v celicah koreninskega sistema pokazatelj za aktivno mikorizo. V naših vzorčenjih smo večjo gostoto arbuskulov našli v koreninskih laskih rastlin, ki so uspevale na suhi lokaciji ne glede na mesec vzorčenja. Prisotnost arbuskulov smo lahko videli pri vzorcih poplavljenih lokacij, vendar je bila gostota struktur znatno manjša kot pri suhi lokaciji.

Gostota arbuskulov je na suhi lokaciji iz meseca v mesec naraščala in dosegla vrh ob fazi cvetenja in takoj po njej. V juliju je bila gostota v nekaterih vzorcih visoka, v drugih pa so strukture že začele propadati. Nekateri raziskave dokazujejo, da so arbuskularne strukture kratkožive in da propadejo v nekaj dneh (Brundrett, 2002). Zato lahko sklepamo, da se te strukture stalno znova razvijajo, saj so pri prenosu hranil nujno potrebne.

Na poplavljeni lokaciji v septembru so bile strukture arbuskulov po dolgi izpostavljenosti visokemu vodostaju le minimalno prisotne. To lahko razložimo s tem, da je preživetje glivnih struktur v koreninskem sistemu mogoče le zaradi dovoda kisika do korenin preko aerenhima rastline (Dickopp in sod., 2011). Nekateri glive preživijo tudi krajša obdobja v popolnoma hipoksičnih razmerah (Miller in Bever, 1999), vendar le do določene mere. Po daljšem obdobju poplavljenosti in hipoksičnih razmer propadejo.

Pri pregledovanju vzorcev je bila prisotnost veziklov največja od vseh mikoriznih struktur. Kar je povezano s tem, da so vezikli založne strukture, sestavljeni iz lipidov in citoplazme. Te strukture nastajajo takoj po razvoju prvih arbuskulov z odebelitvijo intra- ali intercelularnih hif, vendar se naprej razvijejo tudi, ko arbuskuli propadejo (Pongrac in Regvar, 2007). To se sklada tudi z rezultati gostote veziklov v koreninskem tkivu naših vzorcev. Ob pričetku rastne sezone v maju je bila prisotnost veziklov na obeh rastiščih približno enako visoka. V fazi cvetenja v juniju se pojavljajo prve očitne razlike v gostoti veziklov glede na lokacijo. Na poplavljenem rastišču se je gostota veziklov bolj ali manj ohranila, medtem ko se je število svitkov na suhi lokaciji izrazito povečala. Tukaj predvidevamo, da vezikli dobro prenašajo krajša obdobja poplavljenosti, vendar v času stresnih razmer ni razvoja novih založnih struktur. Podobno kot že pri ostalih strukturah se v mesecu septembru na poplavljeni lokaciji prisotnost veziklov zelo zmanjša.

Gostota svitkov je bila splošno večja na suhi lokaciji, samo pri prvem vzorčenju meseca maja je bila na poplavljenem rastišču enaka kot na suhem. Najvišjo gostoto svitkov smo izmerili v juniju ob cvetenju rastlin na travniku. Na poplavljenem rastišču se je gostota postopoma zmanjševala in v septembru so svitki po dolgi izpostavljenosti vodi skoraj



popolnoma izginili iz koreninskih celic vzorčnih rastlin. Za visoki trpotec je značilen tip mikorize Paris z večjim številom svitkov za povečevanje absorpcijske površine.

Na morfologijo in strukture arbuskularne mikorize lahko rastlina vpliva z različnimi strategijami. Najbolj raziskana je strategija razvoja velikih intracelularnih zračnih prostorov v korenini, kar olajša razvoj svitkov in drugih AM-struktur (Cavagnaro in sod., 2001). Mogoče so intracelularni zračni prostori tudi razlog za daljšo zmožnost preživetja v hipoksičnih pogojih ob poplavih.

Prisotnost DSE-struktur je bila splošno nizka v vseh koreninah rastlin. Zanimiv je bil le rezultat prvega vzorčenja, kjer je bila gostota mikrosklerocijev na poplavljenem rastišču povprečno enkrat večja kot na suhem travniku. Verjetno gre tukaj za spontani odziv na stresne razmere, saj je iz raziskav znano, da DSE-glive pomagajo gostiteljski rastlini preživeti abiotske strese (Read in Haselwandter, 1981). Raziskovalci so dokazali, da so DSE-strukture, poleg arbuskularnih gliv, pogosti kolonizatorji rastlinskih korenin v ekstremnih okoljih (Jumpponen, 2001; Jumpponen in Trappe, 1998; Currah in sod., 1993).

Pri preostalih vzorčenjih je bila gostota mikrosklerocijev večja na rastlinah, ki so na suhem območju. Pri drugem vzorčenju v juniju je bila gostota na poplavljenem območju v povprečju enaka kot mesec prej. V septembru se mikrosklerociji v celicah koreninskega sistema skoraj niso več pojavili. V fazi cvetenja je bila na suhem rastišču gostota mikrosklerocijev največja, vendar to težko interpretiramo, saj je v primerjavi z znanjem o AM-glivah zelo malo znanega o funkcijah DSE-gliv (Jumpponen in Trappe, 1998). Do sedaj se kaže zaradi prisotnosti DSE izboljšana rast gostiteljske rastline in povečana absorpcija hranilnih snovi (Vassilev in sod., 1997).

### 6.3 DELEŽI VODE V LISTIH

Pri primerjavi med lokacijama z različnim vodnim režimom izmerjeni podatki niso ustrezali našim pričakovanjem. Pričakovali smo višje deleže vode v tkivih vzorčnih rastlin na poplavljeni lokaciji, kot na suhem rastišču (Jackson in Armstrong, 2008).

Pri prvem vzorčenju maja so bili deleži vode v listih rastlin na suhi lokaciji med 50 in 65 %, kar je normalno za rastlino v začetnem stadiju razvoja. Po naših pričakovanjih so bili deleži vode v listih na poplavljeni lokaciji večji.

V juniju so se pojavili nepričakovani rezultati. V primerjavi lokacij so bili deleži vode manjši na poplavljenem področju kot na suhi lokaciji. Znano je, da tudi poplavljenost, ne samo suša, zmanjša privzem vode v rastlino zaradi propada drobnih korenin (Larcher, 2003).

Julija so se deleži vode v listih rastlin na suhem rastišču zmanjšali iz 80 % na 60 %, kar bi lahko bilo povezano z visokimi temperaturami v poletnih mesecih, vendar je bila povprečna temperatura v juliju zgolj 17,4 °C. Verjetno je imela rastlina po fazi cvetenja manjšo

potrebo po vodi, predvsem ob razmeroma nizkih temperaturah in visoki zračni vlagi (Maberly in Spence, 1989).

Pri zadnjem vzorčenju septembra so bili na poplavljeni lokaciji deleži vode v listih vzorčnih rastlin ponovno nižji, kot smo pričakovali glede na dolgo obdobje poplave. Deleži so se gibali okoli 45 %, kar so najnižji rezultati od vseh povprečnih meritev deležev vode v listih. To je bilo verjetno deloma tudi povezano z visokimi temperaturami v septembru, ki so v povprečju dosegle 27,6 °C.

#### 6.4 POVEZAVA RASTNIH PARAMETROV IN GLIVNE KOLONIZACIJE Z RAZMERAMI NA RASTIŠČU

Za primerjavo odnosov med rastnimi parametri in glivno kolonizacijo smo uporabili redundančno analizo podatkov, s katero lahko prikažemo pozitivne in negativne odvisnosti med posameznimi spremenljivkami. Rezultate analize smo prikazali z ordinacijskim diagramom rastnih parametrov, s katerimi razlagamo glivno kolonizacijo in pojavljanje posameznih mikoriznih struktur. Na diagramu tudi natančno vidimo, kako so posamezni vzorci umeščeni v medsebojne odvisnosti parametrov.

Pri analizi sta izstopala rastna parametra dolžine listov in deleži vode v listih. Kolonizacija z glivnimi strukturami je bila največja ob prisotnosti najvišje rastočih listov. Relacija med intenzivnostjo rasti listov in intenziteto mikoriznih struktur je smiselna, saj je ob povečani dostopnosti hranil možen bujnejši razvoj rastlinskih tkiv. Potrebno je upoštevati, da je rastlina v juniju bila v fazi cvetenja in takrat potrebuje več mineralnih hranil.

Drugi ekstrem je bilo vzorčenje meseca septembra, kjer je situacija ravno obratna, saj je kljub veliki dolžini listov minimalna prisotnost glivne kolonizacije. Razlog za ta paradoks je v dejstvu, da oba parametra tukaj nista bila odvisna en od drugega, ampak sta verjetno bila posledica dolgotrajnega visokega vodostaja. Podaljševanje listov v septembru je bilo posledica dolgotrajne poplavljenosti, saj je to primer elongacije listov, ki se pojavlja pri procesu etiolacije rastline za zagotavljanje preživetja rastline v globlji vodi (Maberly in Spence, 1989).

Minimalna prisotnost glivnih struktur pri vzorčnih rastlinah v mesecu septembru je bila verjetno posledica dolgotrajnega pomanjkanja kisika v koreninskem sistemu, ki se pojavi v daljšem obdobju poplave rastišča. Glivne strukture so bile predvsem vezikli, ki predstavljajo založne strukture glivne kolonizacije in niso pokazatelj aktivne mikorize. Tako v tem primeru septembra ne moremo govoriti o odvisnosti med rastnimi parametri in glivno kolonizacijo, saj je bilo povečanje enega parametra in zmanjšanje drugega verjetno povzročeno od zunanjega dejavnika, visokega vodostaja.

Ob višjih deležih vode v listih je bila prisotna tudi večja intenziteta mikorize in gostota glivnih struktur v celicah koreninskega sistema. Najbolj izrazito se je ta povezava pokazala pri povečani gostoti arbuskulov in svitkov ob povečanih deležih vode v listih. Najvišje

vrednosti so bile izmerjene v fazi cvetenja v juniju na obeh lokacijah. Kar je smiselno, saj arbuskularne mikorizne glive prispevajo k izboljševanju bioloških in kemijskih lastnosti pri rastlinah v stresnih habitatih in povečuje zmogljivost absorpcije nutrientov in vode ter neposredno povečajo absorpcijsko površino korenine (Mohammadi in sod., 2011). Zaradi povečane potrebe rastline po vodi in hranilih v fazi cvetenja je večja prisotnost glivne kolonizacije zelo logična in tudi dobrodošla.

Tudi pri tem razmerju se izključuje mesec september, saj so zaradi dolgega obdobja poplavljenosti glivne strukture, z izjemo založnih struktur, propadle.

Razporeditev posameznih vzorcev na grafičnem prikazu redundančne analize kaže združevanje po datumih vzorčenja in tudi po lokaciji, kar nakazuje, da se odvisnosti in neodvisnosti med parametri nanašajo na vse vzorce v posameznem nizu.

## 7 SKLEPI

Predvidevali smo razlike v stopnji glivne kolonizacije v različnih delih rastne sezone. Te razlike smo ugotavljali s pomočjo primerjave mikorizne frekvence (F %) in intenzitete mikorize (M %) v posameznih mesecih vzorčenja. Mikorizna frekvenca od maja do julija narašča in dosega najvišje vrednosti v obdobju cvetenja rastline in neposredno po tem obdobjem. Iz tega lahko sklepamo, da se ob ugodnih razmerah tudi glivna kolonizacija bolj intenzivno razvija, pri tem pa imajo pomembno vlogo tudi potrebe dostopnosti partnerja v mutualistični asociaciji. Intenziteta mikorize je bila najbolj izrazita v juniju in juliju. Iz tega lahko razberemo, da je tudi gostota mikorize v posameznih delih korenin največja v fazi med in neposredno po cvetenju. To rastlini omogoča večjo absorpcijo hranil in vode v obdobju cvetenja, kar se kaže v bujnejši rasti in večjem številu cvetov.

Pričakovali smo spremembe v rasti in razvoju visokega trpotca ob povečani glivni kolonizaciji. Ob povečani glivni kolonizaciji so bile vidne tudi spremembe v rasti in razvoju visokega trpotca. To se je kazalo, kot prej omenjeno, v povečanem številu cvetov pri višji intenziteti in frekvenci mikorize. Tudi razvoj listov posamezne rastline je bil povečan ob povečani glivni kolonizaciji v koreninskem sistemu rastline. Pri posameznih mikoriznih strukturah smo opazili težnjo boljše rasti in razvoja rastlin ob večji prisotnosti arbuskulov in veziklov v celicah koreninskih laskov. Povečano prisotnost mikoriznih struktur v fazi cvetenja smo zabeležili na obeh vzorčnih lokacijah, na suhem in na poplavljeni lokaciji.

Pričakovali smo razlike v rasti in glivni kolonizaciji pri rastlinah, rastočih na rastiščih z različnim vodnim režimom. Za ugotavljanje razlik v rasti in v glivni kolonizaciji pri rastlinah, rastočih na rastiščih z različnim vodostajem, smo upoštevali vse podatke rastnih parametrov kakor tudi frekvenco mikorize in gostote posameznih mikoriznih struktur v koreninskem sistemu. Pri rastnih parametrih je v vseh mesecih najbolj izstopala dolžina listov na poplavljeni lokaciji z izrazitim podaljševanjem listov, predvsem po daljšem obdobju poplavljenosti območja v septembru. Ta pojav je znana prilagoditev rastlin z amfibijskimi značilnostmi, in sicer gre za elongacijo listov ob stresnih razmerah zaradi visokega vodostaja.

Glivna kolonizacija je bila pri prvem vzorčenju meseca maja na obeh rastiščih prisotna v enaki meri. Mikorizna intenziteta in frekvenca sta celo bili rahlo povečani na rastlinah, ki rastejo na poplavljenem rastišču, kakor tudi gostota veziklov in mikrosklerocijev. V ostalih mesecih vzorčenja se je prisotnost glivne kolonizacije na poplavljenem območju občutno zmanjšala, vendar so bile strukture arbuskulov še vedno prisotne, kar kaže na aktivno mikorizo. Šele v septembru, po daljšem obdobju poplavljanja, se število mikoriznih struktur in s tem tudi frekvenca mikorize močno zmanjšata. Glivna kolonizacija se sicer v rastlinah na poplavljenem rastišču od maja do julija postoma zmanjšuje, kar je znak za to, da med obdobjem poplav nove mikorizne strukture verjetno ne nastajajo, ampak da se lahko obdržijo na suhem ustvarjene strukture kljub stresnim razmeram.

## 8 POVZETEK

Rastline, ki uspevajo na območju presihajočih vodnih teles, se soočajo z različnimi izzivi in stresnimi razmerami v obdobju rasti. Poslužujejo se različnih strategiji in mehanizmov za preživetje ekstremnih razmer. Za ugotavljanje vpliva teh razmer na dinamiko rasti in razvoja glivne kolonizacije smo izbrali območje Cerknškega jezera. Na dveh rastiščih, ki sta se razlikovali po vodostaju, smo v rastni sezoni 2011 preučevali dinamiko rasti in glivno kolonizacijo pri visokem trpotcu (*Plantago altissima*).

Vzorčenja so potekala od maja do septembra na območju Rešeta na Cerknškem jezeru. Na terenu smo na suhi in poplavljeni lokaciji nabrali po 10 vzorčnih rastlin, vključno s koreninskim sistemom in rizosferno prstjo. V laboratoriju smo opravili meritve rastnih parametrov in si zabeležili dolžino, širino, površino, maso in število listov in drugih rastlinskih organov. Najbolj spremenljiva je bila povprečna dolžina listov. Po teh meritvah smo strukture v sušilniku tudi posušili, da smo lahko izračunali deleže vode v posameznih rastlinskih organih. Največje razlike v deležih vode smo izmerili pri listih rastlin.

Največje dolžine listov so se pojavile v fazi cvetenja v juniju na suhem in poplavljenem rastišču ter v septembru po daljšem obdobju poplavljenosti rastlin. Povečana rast listov v juniju je bila povezana z večjo prisotnostjo glivne kolonizacije, medtem ko je bila elongacija v septembru rezultat dolgotrajnega visokega vodostaja.

Delež vode v listih je bil najvišji ob prvem vzorčenju v maju na rastlinah, ki so uspevale na poplavljeni lokaciji – verjetno zaradi nenadne spremembe v vodostaju. Nepričakovano pa so bili vsi kasnejši deleži vode v listih na poplavljeni lokaciji znatno manjši kot deleži vode v listih na suhem rastišču. Verjetno je razlog za to propad drobnih korenin in slabši privzem vode.

Za ugotavljanje prisotnosti glivne kolonizacije smo vsem rastlinam po barvanju korenin s tripan modrim določili stopnjo glivne kolonizacije. Strukture, ki smo jih spremljali, so bili arbuskuli, vezikli, svitki in mikrosklerociji. Potrdili smo kolonizacijo z mikoriznimi glivami v vseh rastlinah na obeh rastiščih. Izračunali smo tudi frekvenco in intenziteto mikorize v celotnem koreninskem sistemu. V koreninskem sistemu so bile najbolj pogoste strukture vezikli, ki delujejo kot založne strukture arbuskularne mikorize. Vse glivne strukture so bile v koreninskem sistemu rastlin v večji meri prisotne in so se razvile na suhi lokaciji v mesecu juniju, na višku rastne sezone, v fazi cvetenja. Prisotnost in gostota glivnih struktur je bila na rastlinah, ki so se razvile na poplavljenem rastišču manjša kot tistih na suhi lokaciji, z izjemo prvega vzorčenja v maju, kjer je pri vseh strukturah gostota večja na poplavljenem rastišču. Raven gostote glivne kolonizacije na rastlinah, ki so uspevale na poplavljenem rastišču, v celotni rastni sezoni več ne preseže stanja v maju. Tako lahko sklepamo, da je obseg glivne kolonizacije na tem rastišču odvisen od stopnje kolonizacije pred poplavami. Istočasno pa prisotnost v kasnejših mesecih dokazuje, da se v suhem ustvarjene glivne strukture lahko ohranijo v obdobju poplavljenosti. To lahko rastlina vzdržuje le do določene

mere hipoksičnosti, kar tudi dokazujejo rezultati gostote glivnih struktur v septembru na poplavljenem rastišču, kjer so glivne strukture v koreninskem sistemu prisotne le še v majhnem številu.

Pri ugotavljanju odnosov in odvisnosti med ravnimi parametri in glivno kolonizacijo smo prišli do spoznanja, da so nekateri ravnimi parametri v pozitivni odvisnosti od prisotnosti glivne kolonizacije. Vendar so pri tem pomembne razmere na rastišču, saj se rastline lahko s stresnimi dejavniki okolja uspešno spopadajo le določen čas.

## 9 VIRI

- Beck-Nielsen D., Madsen T.V. 2001. Occurrence of vesicular–arbuscular mycorrhiza in aquatic macrophytes from lakes and streams. *Aquatic Botany*, 71: 141–148
- Bohrer K.E., Friese C.F., Amon J.P. 2004. Seasonal dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi in differing wetland habitats. *Mycorrhiza*, 14: 329–337
- Boulton A.J., Brock M.A. 1999. Processes and management. V: *Australian Freshwater Ecology*. Glen Osmond, Glenagles Publishing: 149-167
- Boulton, A.J., Brock, M.A. 2001. Processes and Management. V: *Australian Freshwater Ecology*. Glen Osmond, Gleneagles Publishing: 141–175
- Brundrett C. M. 2006. Understanding the roles of multifunctional mycorrhizal and endophytic fungi. V: *Microbial root endophytes*. Schulz B., Boyle C., Sieber T. N. (eds.), Berlin, Springer-Verlag: 281-293
- Brundrett M. 1996. Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture. Australian Centre for International Agricultural Research. Archive Arbuscular Mycorrhizas 1996: <https://archive.is/Fx2Qx> (16. 2. 2016)
- Brundrett M. 2002. Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. *New Phytologist*, 154: 275-305
- Brundrett M. 2004. Diversity and classification of mycorrhizal associations. *Biological review*, 79: 473-495
- Cairney JWG. 2000. Evolution of mycorrhiza system. *Naturwissenschaften*, 87: 467-475
- Cavagnaro T.R., Gao L.L., Smith F.A., Smith S.E. 2001. Morphology of arbuscular mycorrhizas is influenced by fungal identity. *New Phytologist*, 151: 469-475
- Clayton J.S., Bagyaraj D.J. 1984. Vesicular–arbuscular mycorrhizas in submerged aquatic plants of New Zealand. *Aquatic Botany*, 19: 251–262
- Currah R.S., Tsuneda A., Murakami S. 1993. Morphology and ecology of *Phialocephala fortinii* in roots of *Rhododendron brachycarpum*. *Canadian Journal of Botany*, 71: 1639–1644
- Dickopp J., M. Kazda, H. Čížkova 2011. Differences in rhizome aeration of *Phragmites australis* in a constructed wetland. *Ecological Engineering*, 37: 1647–1653
- Dobson M., Frid C. 1998. *Ecology of Aquatic Systems*. Essex, Longman: 11-33
- Dolar N., Šraj N., Pongrac P., M. Regvar & A. Gaberščik, 2011b. The presence of mycorrhiza in different habitats of an intermittent aquatic ecosystem. V: *Water and Nutrient Management in Natural and Constructed Wetlands*. Vymazal, J. (eds.), Dordrecht, Springer: 299–308
- Escudero V., Mendoza R., 2005. Seasonal variation of arbuscular mycorrhizal fungi in temperate grasslands along a wide hydrological gradient. *Mycorrhiza*, 15: 291–299

- Gaberščik A., Urbanc-Berčič O. 2001. Reed dominated intermittent Lake Cerknica as a sink for nutrients. V: Transformations of Nutrients in Natural and Constructed Wetlands. J. Vymazal (ed.), Leiden, Backhuys Publishers: 225-234
- Gaberščik A., Urbanc-Berčič O. 2003a. Kakovost vode v jezeru in njegovih pritokih. V: Jezero, ki izginja – Monografija o Cerkniskem jezeru. Gaberščik A. (ur.). Ljubljana, Društvo ekologov Slovenije: 45-49
- Gaberščik A., Urbanc-Berčič O. 2003b. Ekosistem, ki ga ustvarja igra vode. V: Jezero, ki izginja – Monografija o Cerkniskem Jezeru. Gaberščik A. (ur.). Ljubljana, Društvo ekologov Slovenije: 44-49
- Gaberščik A., Urbanc-Berčič O., Kržič N., Kosi G., Brancelj A. 2003. The intermittent Lake Cerknica: Various faces of the same ecosystem. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 8: 159-168
- Germ M., 2002. Močvirska spominčica in lasastolistne vodna zlatca v spremenljivem okolju. V: Jezero, ki izginja – Monografija o Cerkniskem Jezeru. Gaberščik A. (ur.). Ljubljana, Društvo ekologov Slovenije: 107-115
- Gospodarič R., Habič P. 1974. Postojna. Inštitut za Raziskovanje Krasa (SAZU). Speleološke raziskave Cerkniskega Jezera: 1 str.
- Griffith G.W., Hedger J.N. 1994. The breeding biology of biotypes of the witches broom pathogen of cacao, *Crinipellis perniciosus*. *Heredity* 72: 278-289
- Haselwandter K., Read D.J. 1982. The significance of root-fungus associations in two *Carex* species of high-alpine plant communities. *Oecologia* 53: 352–354
- Horvat I., Glavač V., Ellenberg H., 1974. Vegetation Südeuropas. Stuttgart, Geobotanica Selecta IV: 768 str.
- Hutchinson, G.E. 1975. A treatise on limnology. Vol. 3. Limnological botany. New York, Wiley: 660 str.
- Ilijanić L., 1979. Die Vegetationsverhältnisse des Sees von Cerknica. Sumpf-, Moor-, und Wiesenvegetation. *Acta carsologica*, VIII, 2: 166-200
- Jackson M. B., Armstrong W. 2008. Formation of aerenchyma and the processes of plant ventilation in relation to soil flooding and submergence. *Plant Biology*, 1: 274-287
- Jumpponen A. 2001. Dark septate endophytes – are they mycorrhizal? *Mycorrhiza*, 11: 207–211
- Jumpponen A., Trappe J.M. 1998. Dark- septate endophytes: a review of facultative biotrophic root- colonizing fungi. *New Phytologist*, 140: 295-310
- Kranjc A. 1986. The Lake of Cerknica and its floods. *Geografski zbornik*, 25: 75-116
- Kranjc A. 2002a. Hidrološke značilnosti. V: Jezero, ki izginja – Monografija o Cerkniskem jezeru. Gaberščik A. (ur.). Ljubljana, Društvo ekologov Slovenije: 26-38
- Kranjc A. 2003a. Geologija in geomorfologija. V: Jezero, ki izginja – Monografija o Cerkniskem jezeru. Gaberščik A. (ur.). Društvo ekologov Slovenije, Ljubljana: 18-25



- Krishnakumar S., Balakrishnan N., Muthukrishnan R., Ramesh Kumar S. 2013. Myth and mystery of soil mycorrhiza: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 8, 38: 4706-4717
- Larcher W. 2003. *Physiological Plant Ecology. Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups*. Berlin, Springer: 513 str.
- Linderman R.G. 1988. Mycorrhizal interactions with the rhizosphere microflora: the mycorrhizosphere effect. *Phytopathology*, 78: 366–371
- Maberly S.C., Spence D.H.N., 1989. Photosynthesis and photorespiration in freshwater organisms: amphibious plants. *Aquatic Botany*, 34: 267-286
- Mandyam K., Jumpponen A. 2005. Abundance and possible functions of the root-colonising dark septate endophytic fungi. V: *The Missing Lineages: Phylogeny and ecology of endophytic and other enigmatic root-associated fungi*. Summerbell, R. Currah, R.S. and Sigler L. (eds.), 53: 173-189.
- Martinčič A. 2003. Praprotnice in semenke. V: *Jezero, ki izginja - Monografija o Cerkniskem jezeru*. Gaberšič A. (ur.). Ljubljana, Društvo ekologov Slovenije: 73-79
- Martinčič A., Leskovar I. 2002. Vegetacija. V: *Jezero, ki izginja - Monografija o Cerkniskem jezeru*. Gaberšič A. (ur.). Ljubljana, Društvo ekologov Slovenije: 81-94
- Martinčič A., Wraber T., Jogan N., Ravnik V., Podobnik A., Turk B., Vreš B., Frajman B., Strgulc-Krajšek S., Trčak B., Bačič T., Fischer M.A., Eler K., Surina B. 2007. *Mala flora Slovenije*, Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 967 str.
- Miller S.P. 2000. Arbuscular mycorrhizal colonization of semi-aquatic grasses along a wide hydrological gradient. *New Phytologist*, 145: 145-155
- Miller, S. P., Bever J.D. 1999. Distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in stands of the wetland grass *Panicum hemitomon* along a wide hydrologic gradient. *Oecologia*, 199: 586–592
- Miller, S.P., Sharitz R.R. 2000. Manipulation of flooding and arbuscular mycorrhiza formation influences growth and nutrition of two semiaquatic grass species. *Functional Ecology*, 14: 738–748
- Mohammadi K., Khalesro S., Sohrabi Y., Heidari G. 2011. A review: Beneficial Effects of the Mycorrhizal Fungi for plant Growth. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, 9: 310-319
- Neto D.L., Carvalho M., C. Cruz, M. A. Martins-Loucao 2006. How do mycorrhizas affect C and N relationships in flooded *Aster tripolium* plants? *Plants and Soil*, 279: 51–63
- Nilsen, E.T., Orcutt, D.M. 1996. *The physiology of plants under stress: abiotic factors*. New York, Wiley: 689 str.
- Pongrac P., Regvar M. 2007. Kraljestvo podzemnih bonsajev ali kaj so arbuskularno mikorizne glive? Dodatno študijsko gradivo pri predmetu simbioze in parazitizmi. Ljubljana, Katedra za fiziologijo rastlin, Oddelek za biologijo, Biotehniška fakulteta: 30 str.

Vengust D. Sezonska dinamika rasti in glivne kolonizacije pri visokem trpotcu na območju Cerkniskega jezera. Dipl. delo. Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, 2016

---

- Read D.J., Haselwandter K. 1981. Observations on the mycorrhizal status of some alpine plant communities. *New Phytology*, 88: 341–352
- Schüssler A., Schwarzott D., Walker C. 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research*, 105, 12: 1413-1421
- Shivanna M.B., Meera M.S., Hyakumachi M. 1994. Sterile fungi from zoyziagrass rhizosphere as plant growth promoters in spring wheat. *Canadian Journal of Microbiology*, 40: 637–644
- Smith S., Read D.J. 1997. *Mycorrhizal symbiosis*. 2nd edition, London, Academic Press: 433 str.
- Smith S.E. in Read D.J. 2008. *Mycorrhizal symbiosis*, 3rd edition, London, Academic Press: 800 str.
- Stergaršek J., Vasilevska T., Drobnič S., Vončina Gnezda M., Schein V., Likar I. 2009. Cvet skrivnosti. Vodnik po rastlinskem svetu Cerkniskega jezera in okolice. 1. izdaja. Cerknica, Notranjski regijski park: 165 str.
- Šraj-Kržič N., Pongrac P., Klemenc M., Kladnik A., Regvar M., Gaberščik A., 2006. Mycorrhizal colonisation in plants from intermittent aquatic habitats. *Aquatic Botany*, 85: 331-336
- Taiz L. in Zeiger E., 2002. *Mineral Nutrition. V: Plant Physiology*. 3rd edition. Thomas Lazar (ed.). Sunderland, Sinauer Associates: 67-86
- Turner S.D., Friese C.F., 1998. Plant-mycorrhizal community dynamics associated with a moisture gradient within a rehabilitated prairie fen. *Restoration Ecology*, 6: 44–51
- Urbanc-Berčič, O., Kržič, N., Rudolf, M., Gaberščik, A., Germ, M., 2005. The effect of water level fluctuation on macrophyte occurrence and abundance in the intermittent Lake Cerknica. *V: Natural and Constructed Wetlands: Nutrients, Metals and Management*. Vymazal, J. (ed.). Leiden, Backhuys Publishers: 312–320
- Vassilev N., Fenice M., Federici F. 1996. Rock phosphate solubilization with gluconic acid produced by immobilized *Penicillium variable* P16. *Biotechnology Techniques*, 10: 584–588
- Vassilev N., Vassileva M., Azcon R. 1997. Solubilization of rock phosphate by immobilized *Aspergillus niger*. *Bioresource Techniques*, 59: 1-4
- Wetzel R. G. 2001. *Limnology. Lake and River Ecosystems*. 3rd edition. San Diego, Academic Press: 826 str.
- Wraber, M., 1969. Pflanzengeographische Stellung und Gliederung Sloweniens. *Vegetatio*, 17, 6: 176-199
- Zupančič B. 2003. *Klima. V: Jezero, ki izginja - Monografija o Cerkniskem jezeru*. Gaberščik A. (ur.). Ljubljana, Društvo ekologov Slovenije: 4-18

---

## ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici prof. dr. Alenki Gaberščik za potrpežljivost med nastajanjem diplome, za razumevanje in vse koristne nasvete. Najlepša hvala tudi za hiter pregled diplomskega dela in strokovne pripombe.

Zahvaljujem se predsednici komisije prof. dr. Mateji Germ in recenzentki prof. dr. Katarini Vogel Mikuš za njun čas in strokovnost pri pregledovanju diplomskega dela.

Zahvaljujem se Draganu za vso tehnično pomoč ter Katji Klančnik in Luciji Verdnik za nasvete pri pripravi in pregledovanju mikoriznih vzorcev.

Za hiter in strokovno opravljen pregled »protiplagiatorstva« v knjižnici se zahvaljujem Barbari Černač in Lučki Glavač. Najlepša hvala tudi Zdenki Repanšek Tavčar iz referata za študente za vsa leta potrpljenja in hitrih rešitev.

Kristini Sepčič pa hvala za vso podporo v vseh nemogočih situacijah, v katerih sem se znašla v času študija.

Najlepša hvala moji družini za potrpežljivost in razumevanje v času študija in mojemu partnerju za podporo v vseh teh letih.

Hvala profesorju Christophu Bornhauserju, ki me je s svojimi predavanji navdušil za biologijo že v srednji šoli.

Najlepša hvala vsem, ki so kakor koli pripomogli k nastanku diplomskega dela in mi s svojo družbo polepšali študijska leta.

## PRILOGE

### Priloga A:

Preglednica izmerjenih rastnih parametrov vseh vzorčenj od maja do septembra na suhi in poplavljeni lokaciji

Vzorčenje	Lokacija	Masa rastline (g)	Masa listov (g)	Masa korenin z laski (g)	Masa korenike s koreninami (g)	Skupna površina nadzemnih delov (mm <sup>2</sup> )	Število listov	Število popkov	Število cvetov	Povprečna dolžina listov (mm)	Povprečna širina listov (mm)	Suha masa celotne rastline (g)	Suha masa listov (g)	Delež vode v celotni rastlini (%)	Delež vode v listih (%)
maj	suho	6,11	2,48	0,86	3,63	382	4	0	0	126,1	12,2	2,77	1,39	0,440	44%
maj	suho	4,79	2,35	0,96	2,55	343	5	0	0	130,1	4,3	1,42	0,82	0,651	65%
maj	suho	3,38	1,59	0,61	1,15	272	5	0	0	104,4	3,5	1,01	0,54	0,660	66%
maj	suho	6,51	4,08	1,06	3,03	355	5	0	0	114,2	8,4	2,49	1,56	0,618	62%
maj	suho	7,23	3,19	1,11	2,81	570	10	0	0	110,5	8,3	3,53	1,55	0,514	51%
maj	suho	23,66	8,47	4,37	12,65	1049	10	0	0	147,2	13,6	7,55	3,54	0,582	58%
maj	suho	7,98	3,63	1,25	3,1	613	9	0	0	115	9,2	2,81	1,52	0,581	58%
maj	suho	18,89	7,22	3,89	7,67	1227	12	2	0	130,6	10,7	5,21	3,51	0,514	51%
maj	suho	9,93	6,64	0,84	4,37	687	12	1	0	86,3	8,5	4,66	3,42	0,485	48%
maj	suho	6,93	3,37	0,61	2,93	631	9	2	0	113	8,7	3,8	1,24	0,632	63%
maj	poplavljeno	5,54	2,96	1,26	1,32	399	4	0	0	173,5	8,25	3,21	0,61	0,794	79%
maj	poplavljeno	3,58	2,01	0,84	0,72	266	4	0	0	145,7	7,25	1,38	0,38	0,811	81%
maj	poplavljeno	2,64	1,54	0,59	0,51	225	4	0	0	136	6,75	0,91	0,35	0,773	77%
maj	poplavljeno	2,62	1,63	0,41	0,57	204	4	0	0	128,75	7,25	0,87	0,32	0,804	80%
maj	poplavljeno	2,1	1,33	0,34	0,42	180	3	0	0	139,33	7,67	0,66	0,25	0,812	81%
maj	poplavljeno	2,16	1,23	0,27	0,63	196	3	0	0	134,67	9,33	1,04	0,27	0,780	78%
maj	poplavljeno	2,01	1,23	0,4	0,36	177	4	0	0	119	6	0,98	0,24	0,805	80%
maj	poplavljeno	4,91	2,49	0,61	1,78	299	4	0	0	125,75	8	2,63	0,74	0,703	70%
maj	poplavljeno	3,09	1,3	0,81	0,96	199	6	0	0	103,6	3,8	1,18	0,36	0,723	72%
maj	poplavljeno	4,89	2,86	1,16	1,01	371	6	0	0	134,5	6,16	1,58	0,63	0,780	78%
junij	suho	8,8	6,74	0,66	1,35	609	4	0	1	236,25	13	3,82	1,51	0,776	78%
junij	suho	15,54	10,37	1,86	3,12	1559	9	1	0	257,44	13,6	4,81	2,11	0,797	80%
junij	suho	12,83	5,36	2,61	4,65	567	3	1	0	299,66	14	3,71	1,71	0,681	68%
junij	suho	6,28	4,92	0,45	0,87	615	4	1	2	291	12	3,01	1,73	0,648	65%
junij	suho	10,54	8,59	0,79	1,15	969	5	2	0	279,4	14,8	3,97	2,81	0,673	67%
junij	suho	12,67	8,03	1,49	3,05	935	6	1	15	282	11,6	4,11	1,96	0,756	76%
junij	suho	5,14	3,86	0,44	0,75	540	3	1	0	287,6	11,6	1,89	0,92	0,762	76%
junij	suho	6,39	5,21	0,61	0,58	639	4	1	19	273,5	12,5	2,69	1,1	0,789	79%
junij	suho	9,08	6,56	0,87	1,58	737	4	1	12	312	13,25	2,87	1,58	0,759	76%
junij	suho	11,13	5,91	2,44	2,67	1014	4	1	0	326,75	15	3,66	1,54	0,739	74%
junij	poplavljeno	16,23	12,63	0,95	2,48	1264	8	2	18	241,62	15,37	5,2	4,2	0,667	67%
junij	poplavljeno	9,04	6,4	0,76	1,89	961	4	2	21	237,3	15,3	1,96	1,85	0,711	71%
junij	poplavljeno	14,04	9,57	1,09	3,28	1154	6	2	9	223,83	16,5	4,5	2,36	0,753	75%
junij	poplavljeno	11,05	6,98	1,48	2,49	970	5	2	15	210,2	13,6	4,11	1,96	0,719	72%
junij	poplavljeno	11,92	7,49	1,51	2,92	868	4	1	0	287,5	13	4,41	2,06	0,725	72%

junij	poplavljeno	11,71	7	1,02	3,63	742	3	1	7	348,66	11,6	4,38	2,03	0.710	71%
junij	poplavljeno	11,75	7,94	1,13	2,59	864	3	1	0	276,3	20,6	4,08	1,89	0.762	76%
junij	poplavljeno	9,75	6,68	0,25	2,77	734	4	1	12	259	11,5	3,78	1,84	0.725	72%
junij	poplavljeno	8,91	5,99	1,06	1,85	612	3	1	17	249,3	18,3	3,29	1,65	0.725	72%
junij	poplavljeno	7,73	4,32	0,64	2,74	598	3	1	2	246,3	11,6	3,12	1,35	0.688	69%
julij	suho	25,07	12,24	4,43	8,47	1740	9	0	0	242,4	14,4	8,45	4,51	0.632	63%
julij	suho	5,38	3,04	0,96	1,4	500	4	0	0	183,25	13,5	1,81	0,98	0.678	68%
julij	suho	10,97	5,95	1,87	3,17	1072	9	0	0	199,55	11,44	3,72	1,89	0.682	68%
julij	suho	12,96	6,26	2,19	4,55	1002	12	0	0	183,1	8,3	4,5	2,12	0.661	66%
julij	suho	10,2	7	1,26	1,88	1035	5	0	0	257,8	15	3,77	2,65	0.621	62%
julij	suho	6,12	4,05	0,6	1,51	886	6	0	0	219,83	12,6	1,98	1,58	0.610	61%
julij	suho	7,08	4,23	0,52	2,37	945	8	0	0	223,5	8,75	2,71	1,31	0.690	69%
julij	suho	6,57	3,53	1,03	2,02	703	6	0	0	218,3	11,16	2,85	1,12	0.683	68%
julij	suho	5,07	2,91	0,95	1,24	535	4	0	0	204,5	13,25	2,14	0,91	0.687	69%
julij	suho	7,1	3,77	1,33	2,01	656	5	0	0	211,2	11,6	2,8	1,3	0.655	66%
september	poplavljeno	15,18	7,33	1,91	5,78	1044	5	0	0	304	14,8	5,51	3,65	0.502	50%
september	poplavljeno	22,26	12,13	2,11	7,9	1697	7	0	0	323,3	16,14	7,4	5,12	0.578	58%
september	poplavljeno	13,37	7,23	1,51	4,55	835	5	0	0	299,4	12	5,15	3,85	0.467	47%
september	poplavljeno	11,9	6,35	0,81	4,68	749	6	0	0	241,8	9,6	5,1	3,46	0.455	46%
september	poplavljeno	13,74	7,83	1,08	4,77	840	5	0	0	280,8	12,4	5,12	3,97	0.493	49%
september	poplavljeno	9,33	5,33	1,03	2,93	641	4	0	0	295,7	13,75	3,98	3,1	0.418	42%
september	poplavljeno	13,16	8,61	0,65	3,88	993	5	0	0	312,8	13	5,4	4,35	0.495	49%
september	poplavljeno	7,32	4,88	0,37	2,07	602	4	0	0	285,5	12	3,75	3,08	0.369	37%
september	poplavljeno	7,55	4,36	0,46	2,7	519	4	0	0	242,25	10	3,43	2,57	0.411	41%
september	poplavljeno	7,46	4,81	0,42	2,21	662	4	0	0	259,8	13,5	3,92	2,15	0.553	55%