

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Karmen GOLOB

**GLIVNA KOLONIZACIJA ČRNIKASTEGA (*Schoenus nigricans*) IN
RJASTEGA SITOVCIA (*S. ferrugineus*) NA CERKNIŠKEM JEZERU**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

**FUNGAL COLONIZATION OF BLACK BOGRUSH (*Schoenus
nigricans*) AND BROWN BOGRUSH (*S. ferrugineus*) ON THE LAKE
CERKNICA**

GRADUATION THESIS

University studies

Ljubljana, 2012

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

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

Komisija za oceno in zagovor:

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

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

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

Datum zagovora: 24. 5. 2012

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

Diplomsko delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Karmen GOLOB

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Dn
- DK 581.5(497.4 Cerknško jezero)(043.2)=163.6
- KG Cerknško jezero/sezonske spremembe/glivna kolonizacija/*Schoenus nigricans*/
S.ferrugineus
- AV GOLOB, Karmen
- SA GABERŠČIK, Alenka (mentorica)
- KZ SI-1000 Ljubljana, Večna pot 111
- ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
- LI 2012
- IN GLIVNA KOLONIZACIJA ČRNIKASTEGA (*Schoenus nigricans*) IN RJASTEGA
SITOVCA (*S. ferrugineus*) NA CERKNŠKEM JEZERU
- TD Diplomaska naloga (univerzitetni študij)
- OP IX, 39 str., 2 pregl., 13 sl., 57 vir.
- IJ sl
- JI sl/en
- AI Na presihajočem Cerknškem jezeru smo v sezoni 2008 preučevali sezonske spremembe rasti in glivno kolonizacijo črnikastega *Schoenus nigricans* in rjastega sitovca *S. ferrugineus*. Ugotavljali smo višino in bazalni premer rastlin. Spremembe rastnih parametrov so bile posledica okoljskih dejavnikov in razvoja rastlin. Glivno kolonizacijo v koreninskem sistemu smo potrdili pri obeh vrstah rastlin v rastni sezoni, vendar je bila njena intenziteta precej nizka. Ugotovili smo pristnost tako AM gliv kot DSE. Najvišja gostota glivne kolonizacije je bila pri obeh vrstah ob drugem vzorčenju, ki je bilo konec julija. Splošna intenziteta mikorize je bila pri črnikastem sitovcu precej višja kot pri rjastem. Analiza tal pa je pokazala, da so tla na Rešetu, kjer raste črnikasti sitovec, revnejša z mineralnimi hranili v primerjavi s tlemi na lokaciji Dujice, kjer raste rjasti sitovec.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn

DC 581.5(497.4 Cerknško jezero)(043.2)=163.6

CX Lake Cerknica/seasonal changes/fungal colonization/*Schoenus nigricans*/
S.ferrugineus

AU GOLOB, Karmen

AA GABERŠČIK, Alenka (supervisor)

PP SI-1000 Ljubljana, Večna pot 111

PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Biology

PY 2012

TI FUNGAL COLONIZATION OF BLACK BOGRUSH (*Schoenus nigricans*) AND
BROWN BOGRUSH (*S.ferrugineus*) ON THE LAKE CERKNICA

DT Graduation thesis (University studies)

NO IX, 39 p., 2 tab., 13 fig., 57 ref.

LA sl

AL sl/en

AB In 2008 we investigated seasonal changes of growth parameters and fungal colonization of two plant species: black bogrush *Schoenus nigricans* and brown bogrush *S. ferrugineus* on intermittent lake Cerknica. We measured shoot height and basal diameter of shoots. Changes of growth parameters were due to development of plants and consequence of environmental factors. We confirmed fungal colonization of the roots at both plant species but it was low. We also confirmed presence of AM fungi and DSE. The highest density of fungal colonization of the roots was present at the end of July for both plant species *S. nigricans* and *S. ferrugineus*. General intensity of mycorrhiza was a lot higher at *S. nigricans* as it was at *S. ferrugineus*. The analysis of soil indicated that growth location of black bogrush is poorer with nutrients in comparison to the soil of brown bogrushes growth location.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA	1
1.2 CILJI NALOGE	2
1.3 DELOVNE HIPOTEZE	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 GLIVNA KOLONIZACIJA	3
2.2 ARBUSKULARNA MIKORIZA	4
2.3 PRISOTNOST MIKORIZE V MOKRIŠČIH	5
2.4 PRISOTNOST MIKORIZE PRI OSTRIČEVKAH	7
2.5 TEMNO SEPTIRANI ENDOFITI (DSE)	8
3 METODE DELA	10
3.1 OBMOČJE RAZISKAV	10
3.1.1 Cerknško jezero	10
3.1.1.1 Lokacija Dujice	11
3.1.1.2 Lokacija Rešeto	11
3.1.2 Vodostaj	12
3.1.3 Barjanske združbe	14
3.1.3.1 Opis preučevanih rastlin	14
3.1.3.2 Modro stožkovje s črnikastim sitovcem	14
3.1.3.3 Modro stožkovje z rjastim sitovcem	15
3.2 TERENSKO DELO	15
3.3 LABORATORIJSKO DELO	16
3.3.1 Barvanje s tripan modrim	16
3.3.2 Vrednotenje kolonizacije z glivami	17
3.3.2.1 Mikorizni parametri	17
3.3.3 Statistična analiza	19
4 REZULTATI	20
4.1 ANALIZA TAL	20
4.2 VIŠINA RASTLIN	21
4.3 BAZALNI PREMER	22

4.4	GLIVNA KOLONIZACIJA.....	23
4.4.1	Frekvenca glivne kolonizacije (F%)	23
4.4.2	Splošna intenziteta glivne kolonizacije (M%).....	24
4.4.3	Gostota arbuskulov v koreninskem sistemu (A%).....	25
4.4.4	Gostota veziklov v koreninskem sistemu (V%)	26
4.4.5	Gostota svitkov v koreninskem sistemu (S%)	27
4.4.6	Gostota mikrosklerocijev v koreninskem sistemu (MS%)	28
5	RAZPRAVA.....	30
5.1	VIŠINA IN BAZALNI PREMER ČRNIKASTEGA TER RJASTEGA SITOVC	30
5.2	GLIVNA KOLONIZACIJA.....	30
6	SKLEPI	33
7	POVZETEK.....	34
8	LITERATURA.....	36
	ZAHVALA.....	40

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Opis stanja tal na Rešetu in Dujicah ob posameznih vzorčenjih.....	16
Preglednica 2: Rezultati analize tal za lokaciji Rešeto in Dujice. N=2	20

KAZALO SLIK

Slika 1: Vzorčni mesti na Cerknškem jezeru (1 – vzorčno mesto Dujice, 2 – vzorčno mesto Rešeto) (Vir: Atlas okolja).	12
Slika 2: Meritve višine vodostaja na Cerknškem jezeru (Gorenje jezero) za meseca julij in avgust 2008 (Vir: ARSO).	12
Slika 3: Meritve višine vodostaja na Cerknškem jezeru (Dolenje jezero) za meseca julij in avgust 2008 (Vir: ARSO).	13
Slika 4: Prikaz vegetacijskih enot na Cerknškem jezeru (Vir: Ortofoto, Geodetska uprava Republike Slovenije, 1997, cit. Po Martinčič in Leskovar, 2003).....	15
Slika 5: Višine črnkastega in rjastega sitovca (cm) v času vzorčenj: 7. 7. 2008, 28. 7. 2008 in 31. 8. 2008. Črke označujejo statistično značilne razlike (ANOVA test, $P < 0.05$) med posameznimi obdobji. $N=7$	21
Slika 6: Bazalni premer črnkastega in rjastega sitovca (mm) v času vzorčenj: 7. 7. 2008, 28. 7. 2008 in 31. 8. 2008. Črke označujejo statistično značilne razlike (ANOVA test, $P < 0.05$) med posameznimi obdobji. $N=7$	22
Slika 7: Frekvenca glivne kolonizacije ($F\%$) v koreninah črnkastega (siv pravokotnik) in rjastega sitovca (bel pravokotnik) ($N=5$). Vzorčenja so bila opravljena: 7. 7. 2008, 28. 7. 2008, 31. 8. 2008. Podatki so prikazani kot pravokotniki s 1. kvartilom, mediano in 3. kvartilom; ročaji z neizstopajočimi podatki, izstopajoči (*) in ekstremni (●). Črke označujejo statistično značilne (Kruskal-Wallis test, $P<0,05$) razlike med posameznimi obdobji.....	23
Slika 8: Splošna intenziteta glivne kolonizacije ($M\%$) v koreninah črnkastega (siv pravokotnik) in rjastega sitovca (bel pravokotnik) ($N=5$). Vzorčenja so bila opravljena: 7. 7. 2008, 28. 7. 2008, 31. 8. 2008. Podatki so prikazani kot pravokotniki s 1. kvartilom, mediano in 3. kvartilom; ročaji z neizstopajočimi podatki, izstopajoči (*) in ekstremni (●). Črke označujejo statistično značilne (ANOVA test, $P<0,05$) razlike med posameznimi obdobji.....	24
Slika 9: Gostota arbuskulov ($A\%$) v koreninah črnkastega (siv pravokotnik) in rjastega sitovca (bel pravokotnik) ($N=5$). Vzorčenja so bila opravljena: 7. 7. 2008, 28. 7. 2008, 31. 8. 2008. Podatki so prikazani kot pravokotniki s 1. kvartilom, mediano in 3. kvartilom; ročaji z neizstopajočimi podatki, izstopajoči (*) in ekstremni (●). Črke označujejo statistično značilne (Kruskal-Wallis test, $P<0,05$) razlike med posameznimi obdobji.	25
Slika 10: Gostota veziklov ($V\%$) v koreninah črnkastega (siv pravokotnik) in rjastega sitovca (bel pravokotnik) ($N=5$). Vzorčenja so bila opravljena: 7. 7. 2008, 28. 7. 2008, 31. 8. 2008. Podatki so prikazani kot pravokotniki s 1. kvartilom, mediano in 3. kvartilom; ročaji z neizstopajočimi podatki, izstopajoči (*) in ekstremni (●). Črke označujejo statistično značilne (ANOVA test, $P<0,05$) razlike med posameznimi obdobji.....	26

Slika 11: Gostota svitkov (S%) v koreninah črnkastega (siv pravokotnik) in rjastega sitovca (bel pravokotnik) (N=5). Vzorčenja so bila opravljena: 7. 7. 2008, 28. 7. 2008, 31. 8. 2008. Podatki so prikazani kot pravokotniki s 1. kvartilom, mediano in 3. kvartilom; ročaji z neizstopajočimi podatki, izstopajoči (*) in ekstremni (●). Črke označujejo statistično značilne (ANOVA (črnkasti sitovec) in Kruskal-Wallis (rjasti sitovec) test, $P < 0,05$) razlike med posameznimi obdobji. 27

Slika 12: Gostota mikrosklerocijev (MS%) v koreninah črnkastega (siv pravokotnik) in rjastega sitovca (bel pravokotnik) (N=5). Vzorčenja so bila opravljena: 7. 7. 2008, 28. 7. 2008, 31. 8. 2008. Podatki so prikazani kot pravokotniki s 1. kvartilom, mediano in 3. kvartilom; ročaji z neizstopajočimi podatki, izstopajoči (*) in ekstremni (●). Črke označujejo statistično značilne (ANOVA test, $P < 0,05$) razlike med posameznimi obdobji. 28

Slika 13: Vezikli (1), arbuskuli (2), svitek (3) in mikrosklerociji (4) v koreninah sitovca.. 29

1 UVOD

Cerkniško jezero je s svojim značajem nepredvidljivih poplavljanj in presihanj poseben ekosistem. Proučevani rastlini, črnikasti (*Schoenus nigricans*) in rjasti (*Schoenus ferrugineus*) sitovec, rasteta na območju, ki je občasno poplavljen ali na samem območju poplav.

Raziskave so pokazale, da ima menjava suhih in mokrih obdobj vpliv na rast in razvoj organizmov, ki tukaj živijo. Kolonizacija korenin z mikoriznimi glivami pri močvirskih rastlinah je bila potrjena v številnih raziskavah. Mikoriza, ki je mutualistična simbioza glive s koreninami rastline, ima pomembno vlogo pri mineralni prehrani rastlin. Kolonizacija rastlinskih korenin z glivo pa se med rastno sezono lahko spreminja, kar je odvisno od dejavnikov okolja, predvsem padavin in s tem povezano spremembo nivoja vode na mokrišču.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Cerkniško jezero je presihajoče kraško mokrišče, katerega nivo vode se sezonsko spreminja. Spreminjanje nivoja vode je dejavnik, ki vpliva na vse vitalne procese, ki se odvijajo v jezeru, tako na biotske kot abiotske. Jezero samo pa je življenjski prostor številnim organizmom (Gaberščik in sod., 2003). Študije procesov, ki so jih opravili na presihajočih mokriščih, so pokazale, da tako nivo vode, kot trajanje in obseg poplavljenega in sušnega obdobja, vplivajo na primarno produkcijo, življenjske cikle živali, mineralizacijo in dekompozicijo (Boulton in Brock, 2001). Barjanske vrste, kamor spadata vrsti *Schoenus nigricans* in *Schoenus ferrugineus*, pa tvorijo najbolj nenavadno skupino na presihajočem Cerknškem jezeru, saj predstavljajo vrste, ki sicer v Sloveniji uspevajo na nizkih barjih. Uspešnost rastlin v takem skrajnem okolju je odvisna od njihove sposobnosti premagovanja sprememb vodostaja.

Glivna kolonizacija je prisotna tudi pri rastlinah v vodnem okolju. Rastlina, ki je v simbiozi z glivo, ima več prednosti: boljšo absorpcijo hranil, bujnejšo rast, boljši pridelek in boljšo reprodukcijsko uspešnost. Arbuskularna mikoriza, ki je najpogostejši tip simbioze med rastlino in glivo, pa predstavlja možnost izboljšanja uspešnosti rastlin.

1.2 CILJI NALOGE

- spremljati sezonsko spreminjanje glivne kolonizacije pri črnkastem (*Schoenus nigricans*) in rjastem (*Schoenus ferrugineus*) sitovcu
- ugotoviti razlike v kolonizaciji korenin črnkastega (*Schoenus nigricans*) in rjastega sitovca (*Schoenus ferrugineus*) na dveh različnih lokacijah

1.3 DELOVNE HIPOTEZE

Predpostavili smo:

- da so v koreninah črnkastega (*Schoenus nigricans*) in rjastega sitovca (*Schoenus ferrugineus*) prisotne strukture, značilne za arbuskularno mikorizo in temno septirane endofite
- da se stopnja kolonizacije razlikuje v različnih obdobjih rastne sezone
- da se bo glivna kolonizacija spreminjala glede na hidrološke razmere in ontogenezni razvoj rastlin

2 PREGLED OBJAV

2.1 GLIVNA KOLONIZACIJA

Mikoriza je najpomembnejša mutualistična simbioza na Zemlji (Strack, 2003). Je simbiotsko združenje rastline in glive. Gliva od rastline dobi organski ogljik za svojo rast. Rastlina pa si s pomočjo glive, ki kolonizira njene korenine, poveča absorpcijsko površino, kar ji omogoči boljši prevzem vode in mineralov iz tal. Mikorizne glive v koreninskem sistemu rastline rastlino tudi ščitijo pred patogenimi organizmi in koreninskimi obžiralci. Ugotovili so tudi, da so mikorizne glive sposobne akumulirati težke kovine, kar jih uvršča med primerne kandidate za remediacijo onesnaženih okolij. Mikorizo pa uporabljajo tudi v gozdarstvu in kmetijstvu za izboljšanje pridelka (Dighton, 2009).

Take simbioze so ključne v ekologiji in fiziologiji kopenskih rastlin in pomagajo rastlinam pri premagovanju biotskega (infekcija s patogeni) in abiotskega (pomanjkanje vode in hranil) stresa. Poznamo več tipov mikorize glede na filogenetsko pozicijo partnerjev in simbiotskih struktur. Ti so: arbuskularna mikoriza, ektomikoriza, erikoidna mikoriza in orhidejska mikoriza.

Arbuskularna mikoriza je najpogostejši tip mikorize v kopenskih ekosistemih. Organizmom, ki jo tvorijo, se poveča stopnja preživetja v stresnih razmerah, ki jih povzročijo pomanjkanje mineralnih hranil, predvsem fosforja (Smith in Read, 1997). Temno septirani endofiti (DSE) pa pogosto kolonizirajo korenine rastline v ekstremnih okoljskih razmerah in tvorijo z rastlino mutualistično povezavo, ki je funkcionalno enaka mikorizi (Jumpponen, 2001) in ima pomembno vlogo pri sintezi melanina, ki služi kot zaščita (Jumpponen in Trape, 1998). V primerjavi z kopenskimi rastlinami je kolonizacija rastlinskih korenin z AM in DSE, ki živijo v vodnih okoljih, še slabo poznana (Šraj-Kržič in sod., 2006). V člankih pogosto zasledimo AM kolonizacijo močvirskih rastlin v povezavi z vodnih gradientom tal. Millerjeva poroča o nizki AM kolonizaciji vodnih rastlin, ki pa naraste v sušnem obdobju, ko nivo vode upade (Miller, 2000). Zato ima AM kolonizacija rastlin, ki živijo v vodnih okoljih, negativno korelacijo z globino vode in trajanjem poplav.

2.2 ARBUSKULARNA MIKORIZA

Arbuskularna (AM) mikoriza je najpogostejša talna simbioza. Nastane med koreninami številnih vrst gostiteljskih rastlin in obligatorno simbiotskimi glivami iz reda Glomeromycota (Schüsler in sod., 2001). Samo ime »arbuskularna« je zaradi značilne strukture arbuskulov, ki se pojavljajo v kortikalnih celicah rastline, ter veziklov, ki se prav tako pojavljajo v teh celicah ali med njimi. AM mikorizo tvorijo trije pomembni deli: korenine, glivne strukture v celicah korenine in micelij v tleh. Micelij zna biti precej obsežen pod določenimi pogoji, vendar ne tvori nobenih vegetativnih pseudoparenhimatskih struktur, ki so običajne pri ektomikorizi. Nekaj vrst gliv tvori sporokarpe z omejeno količino sterilnega micelija. Večina vrst (80%) pa tvori tako vezikle kot arbuskule. Arbuskularne glive zrastejo v korteks korenine in tvorijo intercelularne hife, ki so razvejane v drevesaste strukture imenovane arbuskuli. Arbuskuli so odgovorni za izmenjavo hranil med gostiteljem in simbiontom. Prenašajo ogljikove hidrate iz rastline v glivo ter minerale (predvsem fosfate) in vodo iz glive v rastlino (Strack, 2003).

Arbuskularna mikoriza je prisotna tako pri golosemenkah in kritosemenkah kot pri praprotnicah, mahovih in lišajih. Samo nekaj vrst rastlin iz družin križnic, klinčnic, metlikovk in koprivovk ne tvori AM interakcij (Smith in Read, 1997). Glive, ki tvorijo AM mikorizo, se razmnožujejo nespolno, s tvorbo več jedrnih spor. Arbuskuli, ki so značilni za arbuskularno mikorizo in odgovorni za izmenjavo hranil, živijo 4–10 dni, potem pa jih rastlinska celica razgradi in s tem omogoči drugi glivni celici novo penetracijo v celico korteksa rastline ter novo tvorbo arbuskula.

Arbuskularna mikoriza rastlinam omogoča preživetje stresnih razmer, kot je pomanjkanje mineralnih hranil (Smith in Read, 1997). Fosfor, ki je zaradi svoje slabe topnosti omejujoči element pri rasti rastlin, AM glive sprostijo in pretvorijo v rastlini dostopno obliko (Kai in Zhiwei, 2006). Poleg fosforja AM glive v svojo gostiteljsko rastlino prenašajo še številna druga nemobilna mineralna hranila, kot so: ogljik, žveplo, baker, cink, bor (Smith in Gianzazzini-Pearson, 1998) in vodo. Aktivno vlogo imajo tudi pri prevzemu dušika, saj se s pomočjo glive lahko sprostijo v obliko, kakršno rastlina lahko uporabi (Hodge in sod., 2001). Rastline, ki tvorijo arbuskularno mikorizo so tudi bolj odporne proti infekcijam različnih koreninskih patogenov in proti nematodom.

2.3 PRISOTNOST MIKORIZE V MOKRIŠČIH

V nasprotju s kopenskimi ekosistemi je mikoriza pri rastlinskih združbah, ki naseljujejo močvirske ekosisteme, sporna, saj so mikorizne glive aerobne in niso sposobne preživeti v anoksičnih razmerah, kot so npr. močvirska tla (Miller, 2000). Vendar pa novejšje študije dokazujejo prisotnost arbuskularne mikorize v močvirskih habitatih.

Ob poplavah naj bi se stopnja glivne kolonizacije v koreninah barjanskih rastlin zmanjšala, saj gliva zahteva prezračena tla in ni prilagojena na vodna okolja (Mosse in sod., 1981). Vendar so mnoge študije pokazale, da imajo rastline, ki uspevajo na mokriščih, korenine kolonizirane z glivami (Miller, 1999). Ugotovili so, da je AM glivna kolonizacija odvisna tako od dejavnikov okolja, kot tudi od fenologije rastline. V rastni sezoni se na mokriščih nivo vode spreminja. Poleti je nižji zaradi manjše količine padavin ter izhlapevanja vode zaradi višjih temperatur. Nižji, kot je nivo vode, bolj so tla prezračena. Takšno stanje ugodno vpliva na (AM) glivno kolonizacijo korenin v času vrhunca rasti rastlin, ko so njene zahteve po mineralnih hranilih najvišje (Miller, 1999).

Študije o prisotnosti arbuskularne mikorize pri rastlinah, ki rastejo v mokriščih, v zadnjih letih naraščajo, saj so močvirska tla pogosto revna z mineralnimi hranili, še posebej fosforjem. In v takem ekosistemu so rastline, ki tvorijo simbiozo z glivo in so v kompeticiji z drugimi rastlinami, v prednosti pred rastlinami, ki niso mikorizne (Cornwell, 2001). Abiotski dejavniki, ki vplivajo na to, ali se bo arbuskularna mikoriza v določenem okolju razvila ter v kakšni meri bo prisotna, so predvsem: voda, mineralna hranila in razpoložljivost kisika (Read, 1991).

AM glive so obligatni aerobi. Začetne študije so domnevale, da bodo anoksične razmere preprečile preživetje AM gliv na območjih v visokim vodostajem. Raziskave so (Turner in Friese, 1998; Miller in Beaver, 1999) pokazale, da je mikoriza prisotna tudi v močvirjih z visokim vodostajem ter pri potopljenih jezerskih rastlinah. Obstajata dva mehanizma preživetja v takih razmerah. Prvi je ta, da določene vrste AM gliv zahtevajo manj kisika, kot so sprva predvidevali. Drugi je, da so AM glive zbrane okoli korenine rastline in dobijo kisik, ali neposredno iz korenine ali ga prestrežejo pri difuziji iz korenine v rizosfero. Čeprav lahko AM glive preživijo v anoksičnih razmerah, pa imajo poplave pogosto negativne učinke na kolonizacijo korenin z mikoriznimi glivami močvirskih rastlin.

Številne študije (Rickel, Sancho in Amanth, 1994; Stevens in Peterson, 1996), ki so vključevale mnogo vrst rastlin, ki uspevajo na mokriščih, so dokazale, da je kolonizacija rastlinskih korenin z glivami ter vrstna pestrost gliv (Miller in Beaver, 1999) veliko večja v sušnem obdobju, ko se mokrišče izsuši in je nivo vode nizek.

V različnih študijah je bilo tudi ugotovljeno, da je prisotnost mikorize bolj razširjena pri dvokaličnicah kot pri enokaličnicah, zaradi različnih strategij prevzemanja mineralnih snovi. Gledano morfološko zgradbo rastline, pa imajo enokaličnice bolj razširjeno aerenhimsko tkivo, še posebno v koreninah. To jim omogoča učinkovitejši transport kisika v korenine (Cornwell, 2001).

Kolonizacija rastlinskih korenin z mikoriznimi glivami se lahko preko rastne sezone rastline zelo spreminja, kar se odraža skozi fenološke spremembe rastline (Bohrer in sod., 2004). V mokriščih je sezonska dinamika kolonizacije rastlinskih korenin z mikorizno glivo močno odvisna tudi od sprememb vodnega režima. Ob poplavah običajno kolonizacija rastlinskih korenin z mikoriznimi glivami pade (Miller, 2000; Stevens in Peterson, 1996; Turner in Friese, 1998), vendar pa temu ni vedno tako (Bauer in sod., 2003).

Primarni abiotski faktorji, ki vplivajo na pogostnost in porazdelitev AM gliv v vodnih ekosistemih, so voda in razpoložljivost kisika in mineralnih hranil (Read, 1991). Ena od glavnih vlog AM gliv v koreninah rastline je povečan privzem fosforja (Smith in Read, 1997). AM glive igrajo pomembno vlogo pri vodnih rastlinah, vendar so manj pogoste kot pri kopenskih rastlinah. To razložimo s tem, da imajo vodne rastline slabše razvit koreninski sistem, ter da lahko sprejemajo mineralna hranila tudi preko poganjkov (Radhika in Rodrigues, 2007).

Organizmi, ki živijo v mokriščnih habitatih, so izpostavljeni anoksičnim razmeram v tleh, visokim ali nizkim koncentracijam mineralov in razpoložljivih mineralnih hranil ter poplavam (Bohrer in sod., 2004). Številne raziskave AM kolonizacije v mokriščih so dokazale, da imajo rastline, ki rastejo na sušnejših območjih mokrišča, bolj kolonizirane korenine z AM glivami, kot rastline, ki uspevajo na bolj mokrih in aerobnih območjih mokrišča (Stevens in Peterson, 1996; Turner in Friese, 1998).

Mikoriza v mokriščih ima vlogo pri kroženju fosforja (Cornwell in sod., 2001).

2.4 PRISOTNOST MIKORIZE PRI OSTRICEVKAH

Predstavniki ostričevk – šaši so pomembne pionirske rastline in pogosto prevladujejo v močvirskih, gorskih in arktičnih ekosistemih, kjer je stopnja mikorizacije v tleh zelo nizka ali pa je sploh ni. V preteklosti so mislili, da šaši ne tvorijo mikorize, vendar pa raziskave od leta 1987 dokazujejo, da je mikoriza v tej skupini rastlin močno razširjena. Prav zaradi teh študij družina ostričevk (*Cyperaceae*) ni več obravnavana kot družina, ki ne tvori mikorize (Muthukumar in sod., 2004).

Mikoriza je lahko pri rastlini prisotna le kratek čas (Meney in sod., 1993) rastne sezone, lahko pa je prisotna ves čas le-te (Muthukumar, 1996). Čeprav so učinki mikorize pri šaših slabo poznani, pa lahko sklepamo, da ima zaradi pogoste prisotnosti in razširjenosti te mutualistične povezave pomembno ekološko vlogo v naravnih okoljih.

V šaših se pogosto pojavljajo vezikli, hife in arbuskuli. Korist, ki jo ima rastlina z mikorizno povezavo, je odvisna od rodovitnosti tal in pH-ja. Topnost različnih mineralnih hranil, kot so fosfor, magnezij, cink, železo, baker in molibden je odvisna od pH-ja tal. Verjetnost, da bodo korenine rastlin kolonizirane z mikoriznimi glivami narašča z naraščajočim pH-jem tal (Brady, 1990).

Eden od mehanizmov prilagoditve rastlin v okoljih, ki so revna z mineralnimi hranili je tudi razporeditev rastlinske biomase med korenine in poganjke. S tem, ko šaši prerazporedijo več biomase v korenine, povečajo privzem mineralnih hranil. Veliko rastlin, vključno s travami, ki naseljujejo z mineralnimi hranili revna območja, poveča svojo biomaso korenin (Schippers in Olf, 2000).

Mineralizacija organskega dušika in fosforja v anorganskega poteka z aktivnostjo mikrobov. Ta aktivnost je upočasnjena v okoljih z nizkimi temperaturami. Šaši simultano privzamejo številne aminokisljine, kot so glicin, alanin, arginin, glutaminska in asparaginska kislina, ki se sproščajo ob dekompoziciji organske snovi (Chapin in sod., 1993; Kielland 1994; Raab in sod., 1999). Z neposredno absorpcijo koristnih aminokisljin šaši dobijo vir dušika v nemikoriznih razmerah.

Koreninski laski povečajo privzem mineralnih hranil in dokazano je bilo, da se gostota koreninskih laskov poveča v okoljih, kjer je koncentracija mineralnih hranil nizka.

Korenine šašev so kolonizirane s temno septiranimi endofiti (DSE) v okoljih, kjer se mikorizne glive ne razmnožujejo (Khon in Stasovski, 1990; Treu in sod., 1996). V visokogorskih habitatih so DSE prevladujoči glivni simbiont šašev, v manj ekstremnih okoljih pa je poleg DSE običajno prisotna še kolonizacija z AM glivami (Bledose in sod., 1990; Treu, 1996). DSE imajo sposobnost produkcije ekstracelularnih encimov, kot so lipaze, amilaze, laktaze in polifenol oksidaze, ki so nujne za razgradnjo detritnih makromolekul na manjše, uporabne podenote (Cladwell in sod., 2000). Takšna glivna aktivnost omogoča šašem dostop do dušika in fosforja v okoljih, kjer se mineralna hranila akumulirajo v organskih mlakah.

Pri črnkastem in rjastem sitovcu je bila ugotovljeno, da je kolonizacija korenine z AM glivami prisotna (Wang in Qui, 2006).

2.5 TEMNO SEPTIRANI ENDOFITI (DSE)

Temno septirani endofiti so skupina askomicetnih gliv, ki kolonizirajo korenine rastlin intracelularno ali intercelularno (Jumpponen, 2001). Do sedaj so jih odkrili že pri 600 rastlinskih vrstah različnih habitatov. Pojavljajo se tako v tropskih, arktičnih kot tudi v gorskih ekosistemih. Čeprav se temnoseptirani endofiti pogosto pojavljajo v koreninah rastlin in vzorcih tal, v katerih so bili preučevani iz različnih življenjskih okolij in jih je lahko izolirati iz gostiteljske rastline, je njihova ekološka vloga še vedno slabo poznana (Jumpponen in Trappe, 1998). Poskusi (Jumpponen in sod., 1998) pa dokazujejo, da lahko DSE izboljšajo prevzem fosforja pri rastlini.

Kolonizacija rastlinske korenine z DSE se prične tako, da površinska hifa najprej raste med epidermalnimi celicami korenine in kolonizira prostor med celicami korteksa vzdolž glavne osi korenine. Sčasoma prodre v notranjost zunanjih celic korteksa (Stoyke in Currah, 1991) in se razširja vzporedno z osjo korenine iz ene celice v drugo (Currah in sod., 1993). Med intracelularno kolonizacijo kortikalnih celic tvorijo endofiti skupine okroglih ali posamičnih okroglih celic z debelo steno, ki jim pravimo sklerociji, mikroskerociji ali sklerocijska telesa.

V hifah DSE je prisoten melanin. Melanin se večinoma razvije pri rastlinah, ki živijo v neugodnih življenjskih okoljih, saj preprečuje talnim živalim objedanje korenin in mikrobno razgradnjo le-teh. Prav tako ščiti hife pred ekstremnimi temperaturami in sušo (Jumpponen in Trappe, 1998).

3 METODE DELA

Raziskava je obsegala terensko in laboratorijsko delo v rastni sezoni 2008.

3.1 OBMOČJE RAZISKAV

3.1.1 Cerknško jezero

Cerkniško jezero je presihajoče jezero. Izmenjujejo se sušna in mokra obdobja, kar se odraža v edinstveni sestavi rastlinskih združb, uravnavanju pretoka energije ter kroženju snovi v tem jezeru (Gaberščik in Urbanc – Berčič, 2003). Ker se izmenjujejo mokra in suha obdobja ter nihanja vodne gladine, so rastline razvile različne morfološke, fiziološke, biokemijske in reprodukcijske značilnosti, da lahko preživijo v takšnih pogojih (Urbanc – Berčič in sod., 2005). Na rastišču se zaradi občasnih poplavljanj izmenjujejo anoksične in oksične razmere v sedimentih, kar vpliva na razpoložljivost mineralnih hranil za rastlino (Gaberščik in sod., 2003). Matična podlaga je karbonat, večinoma apnenec, ki ponekod prehaja v dolomit (Gospodarič in Habič, 1974). Klimatske, hidrološke in geomorfološke značilnosti območja, kot so kraški značaj, velika količina padavin, obsežno povodje ter topnost kamninske podlage pa omogočajo presihanje in polnjenje jezera.

Na območju Cerknškega jezera se mešajo vplivi sredozemskega in celinskega podnebja. Povprečna letna temperatura je $-1,5^{\circ}\text{C}$ v januarju in $17,5^{\circ}\text{C}$ v juliju. Povprečne letne padavine pa so za to območje 1700 mm, s padavinskim maksimumom v novembru (Zupančič, 2003). Ta predel spada med bolj namočene dele Slovenije glede na skupno letno količino padavin.

Cerkniško jezero je tipično kraško presihajoče jezero. Ima 80% kraških in 15% površinskih dotokov (Kranjc, 1986), odtok pa je v celoti kraški. Običajno se jezero pojavi dvakrat letno, spomladi in pozno jeseni oz. pozimi, dno pa je dobra dva meseca na leto suho. Povprečno ima jezero vodo dobrih devet mesecev na leto (Kranjc, 2003).

Jezero napajajo številni pritoki, močno obremenjeni s hranili, kar je posledica človekovega delovanja. Predvsem visoke so koncentracije fosforja in dušika. Ob nizkem vodostaju so nekateri pritoki močno onesnaženi, s hranili pa so obremenjeni tudi izviri kraških pritokov, kar pomeni, da onesnaženje v Cerknško jezero prihaja tudi podzemno. Močvirska vegetacija, s katero je poraščeno Cerknško polje, deluje kot naravni čistilni sistem, saj

porablja hranila in zadržuje strupene snovi (Gaberščik in Urbanc – Berčič, 2001), ki prihajajo v jezero s pritoki, ki se spirajo s kmetijskih površin (Gaberščik in Urbanc – Berčič, 2003).

Rastline smo nabirali na dveh različnih lokacijah Cerknškega jezera: na lokaciji Dujice, kjer smo vzorčili rjasti sitovec (*Schoenus ferrugineus*), ter na lokaciji Rešeto, kjer smo vzorčili črnkasti sitovec (*Schoenus nigricans*) (Slika 1).

3.1.1.1 Lokacija Dujice

Lokacija Dujice leži na jugovzhodnem delu Cerknškega jezera blizu vasi Goričice. To območje je na obrobju vsakoletnih poplav, tla so šotna, debela do 2 m, revna z mineralnimi snovmi in izrazito kislim pH-jem (5-6) (Martinčič, 2002).

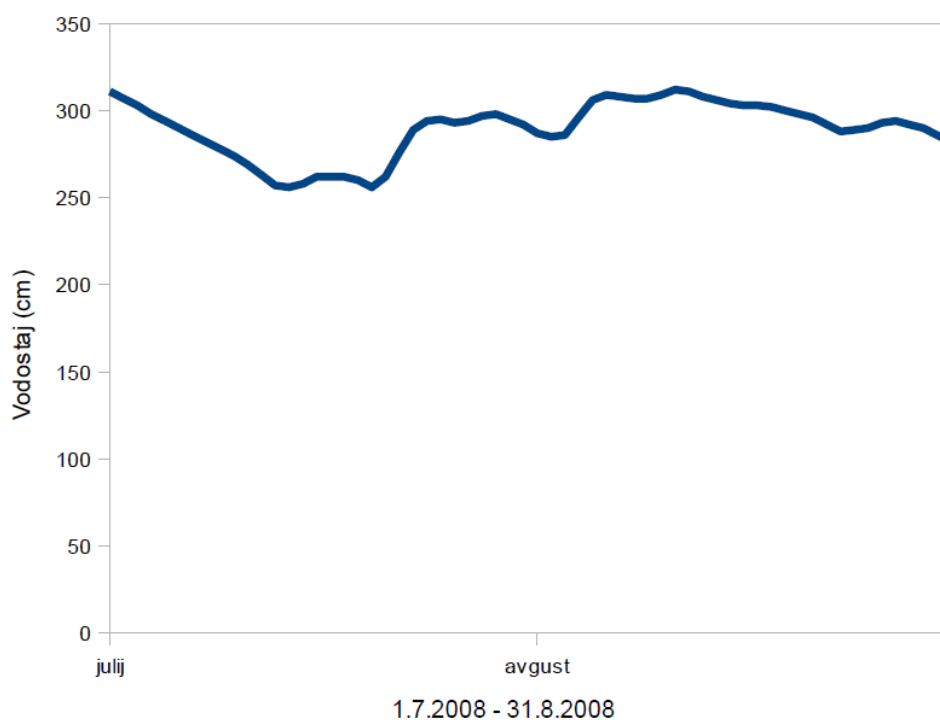
3.1.1.2 Lokacija Rešeto

Lokacija Rešeto leži na severozahodnem delu Cerknškega jezera blizu vasi Dolenje jezero. Rešeto zavzema približno 6 ha površine in je sestavljeno iz 35 ponikev v naplavini ter šestih požiralnikov v skali (Kranjc, 2003). Območje je poplavljenno ob visokem vodostaju, ob začetku vegetacijskega obdobja suho, poleti pa močno izsušeno (Martinčič in Leskovar, 2003).



Slika 1: Vzorčni mesti na Cerknškem jezeru (1 – vzorčno mesto Dujice, 2 – vzorčno mesto Rešeto) (Vir: Atlas okolja).

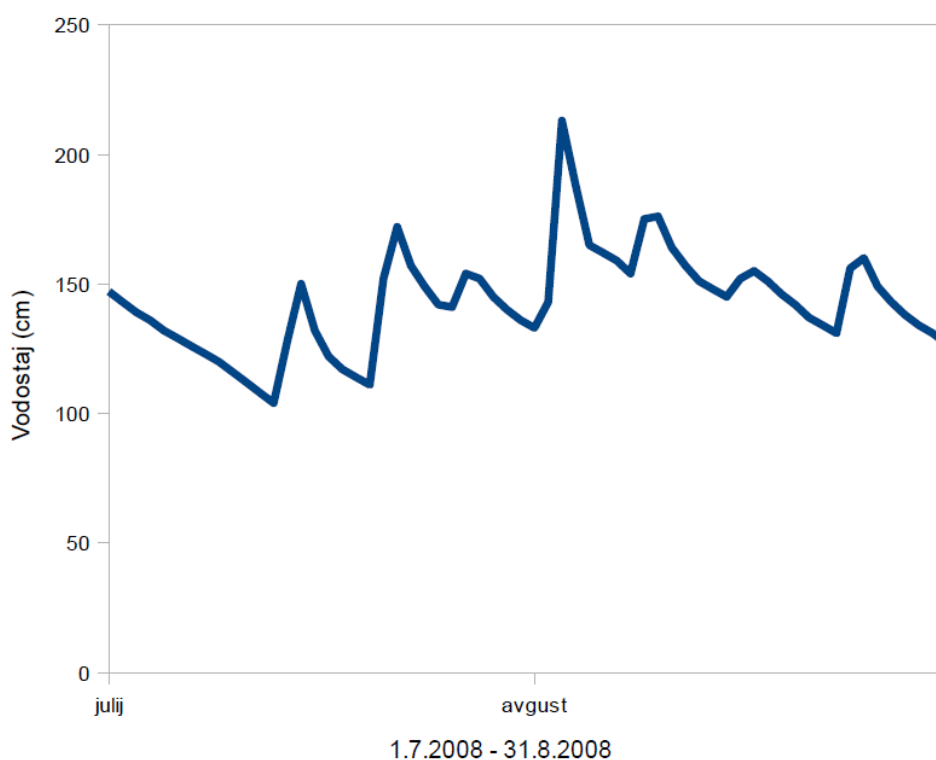
3.1.2 Vodostaj



Slika 2: Meritve višine vodostaja na Cerknškem jezeru (Dolenje jezero) za meseca julij in avgust 2008 (Vir: ARSO).

V mesecu juliju je vodostaj Cerknškega jezera, merjen na merilni postaji Dolenje jezero, v obdobju 1. 7. 2008 – 14. 7. 2008 postopoma upadal, sledilo je kratko obdobje mirovanja do 20. 7. 2008, nato pa se je gladina jezera začela višati. V mesecu juliju smo opravili dve vzorčenji. Vodostaj Cerknškega jezera je na dan prvega vzorčenja (7. 7. 2008) imel višino 286 cm, ob drugem vzorčenju (28. 7. 2008) pa je višina vodostaja znašala 297 cm (Slika 2).

V mesecu avgustu je vodostaj Cerknškega jezera, merjen na merilni postaji Dolenje jezero, do 12. 8. 2008 postopoma naraščal, nato pa počasi začel padati. Proti koncu meseca je v obdobju 24. 8. 2008 – 28. 8. 2008, sledil kratek dvig vodostaja, nato pa je ta zopet začel padati. Na dan vzorčenja (31. 8. 2008) je vodostaj dosegel višino 282 cm (Slika 2).



Slika 3: Meritve višine vodostaja na Cerknškem jezeru (Gorenje jezero) za meseca julij in avgust 2008 (Vir: ARSO).

Vodostaj Cerknškega jezera, merjen na merilni postaji Gorenje jezero, je v prvi polovici meseca postopoma upadal, nato pa smo v drugi polovici meseca zabeležili dve nagli povišanji vodne gladine, z vrhoma vodostajev 150 cm na dan 15. 7. 2008 in 172 cm na dan 22. 7. 2008, ki jima je sledil tudi padec le-te. V juliju smo opravili dve vzorčenji. Višina

vodostaja je na dan prvega vzorčenja (7. 7. 2008) znašala 126 cm, na dan drugega vzorčenja (28. 7. 2008) pa 152 cm (Slika 3).

V avgustu je vodostaj Cerknškega jezera, merjen na merilni postaji Gorenje jezero, nihal. Zabeležili smo štiri maksimume vodostajev in sicer: 213 cm na dan 3. 8. 2008, 176 cm na dan 10. 8. 2008, 155 cm na dan 17. 8. 2008 ter 160 cm na dan 25. 8. 2008. Tem maksimumom je sledil postopen padec vodostaja. Na dan našega vzorčenja (31. 8. 2008) je vodostaj dosegel višino 127 cm (Slika 3).

3.1.3 Barjanske združbe

Barjanske združbe živijo na obrobju poplavnega območja. Ta območja so večinoma brez površinske vode. Združbe so tako poplavljenе le ob visokih vodah, vendar je za njihov obstoj potrebna zadostna vlažnost podlage. Predstavniki mokrotnih travnikov so združbe modrega stožkovja, rušnate masnice in visokega trpotca (Martinčič in Leskovar, 2003).

3.1.3.1 Opis preučevanih rastlin

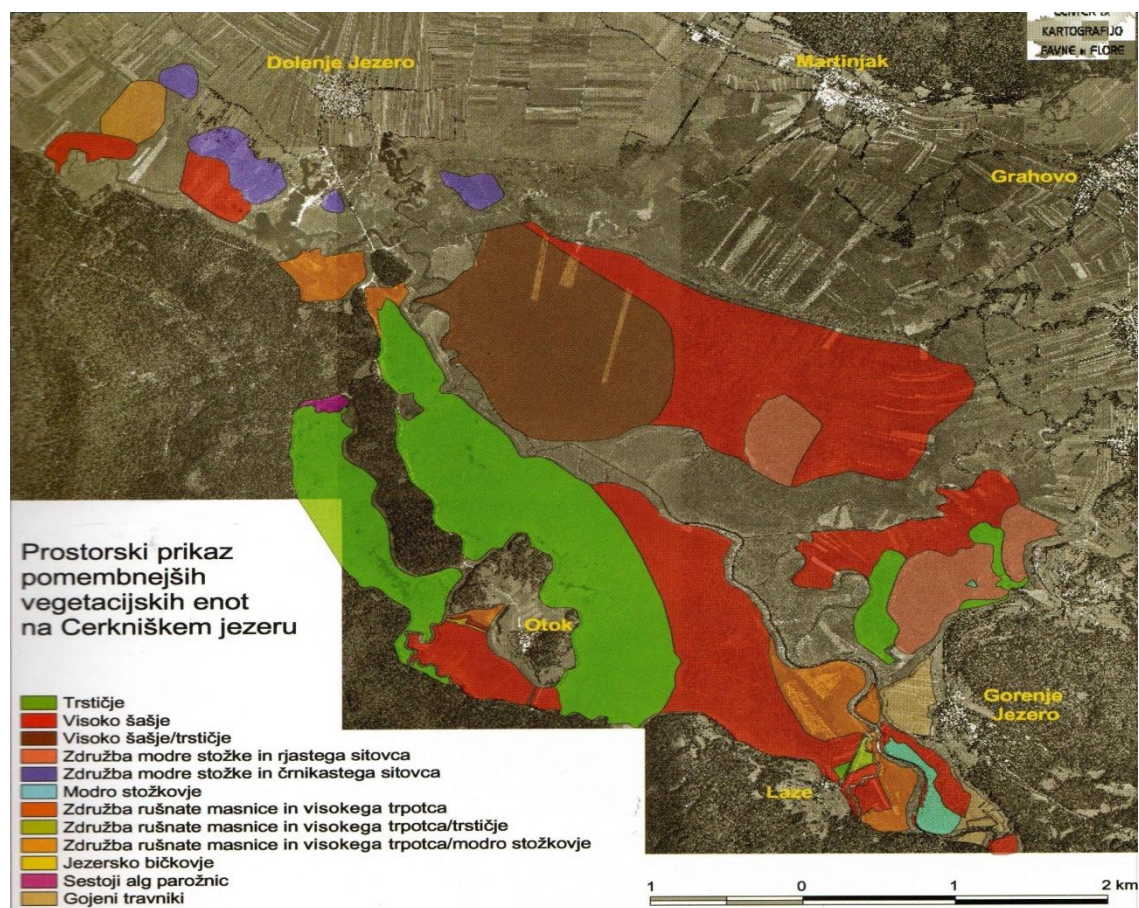
Sitovec spada v družino ostričevk (Cyperaceae). To so zelnate trajnice, redkeje enoletnice, ki so podobne travam. Sitovci so do 50 cm visoke rastline, imajo okrogla stebila in ščetinaste liste. Socvetje je glavičasto in ima pokončne, zgoščene črno- ali rdečerjave klaske. Rastišča črnikastega sitovca (*Schoenus nigricans*) so gozdna in travniška močvirja, nizka barja in vlažna glinasta tla od nižine do subalpinskega pasu. Vedno se pojavlja na mokriščih. Rjasti sitovec (*Schoenus ferrugineus*) pa raste na travniških močvirjih ter nizkih barjih od nižine do montanskega pasu (Martinčič in sod., 1999).

3.1.3.2 Modro stožkovje s črnikastim sitovcem

Ta združba prekriva velike površine obrobnih predelov Cerknškega jezera. Ob visoki vodi, je večji del poplavljen, vendar pa se tla večinoma izsušijo do začetka vegetacijske sezone, v poletnih mesecih pa so močno izsušena. Črnikasti sitovec *Schoenus nigricans* ima visoko pokrovno vrednost in daje združbi značilen izgled. Vrsta je značilna za združbe nizkih barij (Martinčič, 2001).

3.1.3.3 Modro stožkovje z rjastim sitovcem

Na območju Cerknškega jezera tvori rjasti sitovec *Schoenus ferrugineus* velike sestoje pri Dolenji vasi, največje strnjene površine pa prekriva v predelu Dujice (Slika 4) ter daje združbi zaradi visoke pokrovnosti značilen fizionomski izgled. Združba se pojavlja na obrobju, do koder seže vodostaj jezera. Rastišča so poplavljeni le zgodaj spomladi in jeseni, v vegetacijskem obdobju pa so običajno brez vode. Vrsta je značilna za združbe nizkih barij (Martinčič, 2001).



Slika 4: Prikaz vegetacijskih enot na Cerknškem jezeru (Vir: Ortofoto, Geodetska uprava Republike Slovenije, 1997, cit. Po Martinčič in Leskovar, 2003)

3.2 TERENSKO DELO

Vzorčenje smo v rastni sezoni 2008 opravili trikrat (7. 7. 2008, 28. 7. 2008, 31. 8. 2008), na dveh različnih vzorčnih mestih: Rešeto in Dujice. Rastline so v času prvega in drugega vzorčenja cvetele, ob tretjem vzorčenju pa plodile. Na vsaki lokaciji smo z lopato izkopal po pet vzorcev rastline, na lokaciji Dujice pet vzorcev rjastega sitovca (*Schoenus ferrugineus*) ter na lokaciji Rešeto pet vzorcev črnkastega sitovca (*Schoenus nigricans*).

Rastline smo izkopal tako, da se je koreninskega sistema še držala prst. Šope izkopanih rastlin smo nato vsakega posebej shranili v svojo polivinilasto vrečko ter vsak vzorec označili s številko. Rastline smo prinesli v laboratorij za nadaljnje raziskave.

Preglednica 1: Opis stanja tal na Rešetu in Dujicah ob posameznih vzorčenjih

Datum vzorčenja	Rešeto	Dujice
07. 07. 2008	tla prezračena	tla prezračena
28. 07. 2008	tla delno poplavljenjena	tla zelo namočena
31. 08. 2008	tla prezračena	tla prezračena

3.3 LABORATORIJSKO DELO

V laboratoriju smo ločili korenine od preostale rastline. Od nadzemnih delov rastlin smo iz vsakega vzorca vzeli deset stebel in izmerili njihovo višino (od dela, ki smo ga odrezali od korenine, do končnega dela socvetja). Izbranim stebлом smo izmerili tudi premer. Premer posameznega stebela smo merili pet centimetrov od dela, kjer smo ga odrezali od korenine.

Korenine smo najprej temeljito sprali s tekočo, nato pa še z destilirano vodo. Shranili smo jih v 70% etanolu.

3.3.1 Barvanje s tripan modrim

Za opazovanje glivnih struktur pod svetlobnim mikroskopom smo uporabili metodo barvanja z tripan modro po metodi Philips in Hyman (1970). Fiksirane korenine smo najprej vzeli iz alkohola, jih dali v epruvete ter pokrili z mrežastimi pokrovčki, skozi katere smo lahko dolivali in odlivali kemikalije in vodo. Nadalje smo jih sprali s tekočo, nato pa še z destilirano vodo. V epruvete smo potem nalili 10% KOH (100 g KOH in 1000 ml destilirane vode) in jih v sušilniku segrevali 45 min pri 90°C. Nato smo iz epruvet odlili 10% KOH in koreninice trikrat sprali pod tekočo vodo. V epruvete smo nato dolili 0,05% tripan modro (40 g destilirane vode, 40 g mlečne kisline, 80 g glicerola in 0,08 g tripan modrega) in koreninice segrevali v sušilniku 15 minut pri 90°C. Nato smo odlili tripan modro in koreninice še trikrat sprali pod tekočo vodo. Vzorce smo v vodi shranili v hladilniku.

3.3.2 Vrednotenje kolonizacije z glivami

Glivno kolonizacijo v obarvanih koreninah smo ocenjevali po metodi Trouvelot in sod. (1986). Iz vsakega vzorca smo naključno izbrali 30 koreninskih delčkov, dolgih približno 1 cm. Naredili smo mikroskopske preparate, in sicer tako, da smo koreninske delčke položili na objektno stekelce, nanje kanili laktoglicerol in pokrili s krovnim stekelcem. Tako pripravljene preparate smo pregledali pod svetlobnim mikroskopom (Carl Zeiss KF2), jih fotografirali pod svetlobnim mikroskopom (Olympus CX41), ki je opremljen z digitalno kamero (Olympus XC30) in obdelali z računalniškim programom CELL A.

Pri vsakem koreninskem fragmentu smo ocenili splošno stopnjo mikorizne kolonizacije na osnovi šest stopenjske lestvice, gostoto struktur (arbuskuli, svitki, vezikli ter strukture DSE: hife in mikrosklerociji) pa na osnovi štiristopenjske lestvice po Trouvelot in sod. (1986).

Na podlagi podatkov smo z računalniškim programom Mycocalc izračunali naslednje parametre mikorizne kolonizacije:

- mikorizno frekvenco – F (%)
- splošno intenziteto mikorize – M (%)
- intenziteto mikorize v koloniziranih koreninskih odsekih – m (%)
- gostoto arbuskulov v delu skorje z mikorizno kolonizacijo – a (%)
- gostoto arbuskulov v koreninskem sistemu – A (%)
- gostoto svitkov v delu skorje z mikorizno kolonizacijo – s (%)
- gostoto svitkov v koreninskem sistemu – S (%)
- gostoto veziklov v delu skorje z mikorizno kolonizacijo – v (%)
- gostoto veziklov v koreninskem sistemu – V (%)
- gostoto mikrosklerocijev v delu skorje z mikorizno kolonizacijo – ms (%)
- gostoto mikrosklerocijev v koreninskem sistemu – MS (%)

3.3.2.1 Mikorizni parametri

Mikorizna frekvenca:

$$F\% = (\text{število mikoriznih korenin} / \text{število vseh korenin}) * 100 \quad \dots(1)$$

Splošna in intenziteta mikorize:

$$M\% = (95n_5 + 70n_4 + 30n_3 + 5n_2 + n_1) / \text{število vseh korenin} \quad \dots(2)$$

(n_1, n_2, \dots, n_5 – število odsekov z gostoto mikorizne kolonizacije v posameznih razredih)

Intenziteta mikorize v koloniziranih koreninskih odsekih (ko je F(%) nizek):

$$m\% = M * (\text{število vseh korenin}) / (\text{število mikoriznih korenin}) = M * 100 / F \quad \dots(3)$$

Gostota arbuskulov v koreninskem sistemu:

$$A\% = a * (M / 100) \quad \dots(4)$$

Gostota arbuskulov v delu skorje z mikorizno kolonizacijo:

$$a\% = (100 m_{A3} + 50 m_{A2} + 10 m_A) / 100 \quad \dots(5)$$

Gostota svitkov v koreninskem sistemu:

$$S\% = s * (M / 100) \quad \dots(6)$$

Gostota svitkov v delu z mikorizno kolonizacijo:

$$s\% = (100 m_{S3} + 50 m_{S2} + 10 m_S) / 100 \quad \dots(7)$$

Gostota veziklov v koreninskem sistemu:

$$V\% = v * (M / 100) \quad \dots(8)$$

Gostota veziklov v delu skorje z mikorizno kolonizacijo:

$$v\% = (100 m_{V3} + 50 m_{V2} + 10 m_V) / 100 \quad \dots(9)$$

Gostota mikrosklerocijev v koreninskem sistemu:

$$MS\% = ms * (M / 100) \quad \dots(10)$$

Gostota mikrosklerocijev v delu skorje z mikorizno kolonizacijo:

$$ms\% = (100 m_{MS3} + 50 MS2 + 10 MS) / 100 \quad \dots(11)$$

3.3.3 Statistična analiza

Iz meritev rastnih parametrov smo izračunali povprečne vrednosti in standardni odklon. Narisali smo grafe v programu SPSS 17.0. Podatke o glivni kolonizaciji smo predstavili v obliki škatel z ročaji (box-plot). Za to smo prav tako uporabili program SPSS 17.0. Za računanje statistično značilne razlike smo podatke transformirali in v primeru normalne porazdelitve uporabili ANOVA test. Če pa porazdelitev po transformaciji podatkov ni bila normalna, smo za računanje statistično značilne razlike uporabili netransformirane vrednosti in naredili Kruskal-Wallisov test. Za izris grafov vrednosti vodostaja smo uporabili program Open Office Calc ter za tabele program Open Office Writer.

4 REZULTATI

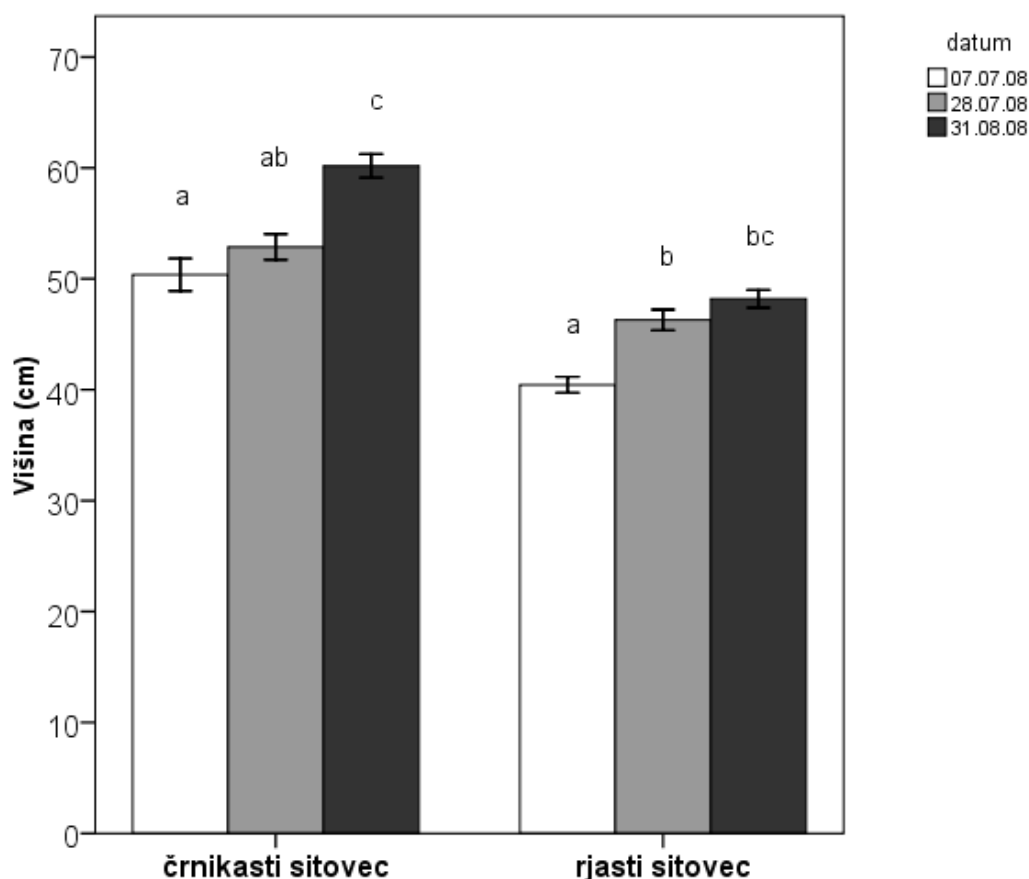
4.1 ANALIZA TAL

Preglednica 2: Rezultati analize tal za lokaciji Rešeto in Dujice. N=2

	pH (CaCl₂)	P₂O₅ (mg/100g)	K₂O (mg/100g)	org. snov (%)	C (%)	CN (raz.)	N skup. (%)
Dujice	6,03	12,7	11,2	43,1	24,96	11,56	2,16
Rešeto	6,95	2,85	8,25	10,8	6,25	20,5	0,3

Analiza vzorcev tal, ki smo jih vzeli na lokacijah Dujice in Rešeto v letu 2009, kaže, da je pH tal na lokaciji Dujice nižji od pH-ja tal na lokaciji Rešeto (Preglednica 2). Vsebnost fosfatov ter kalijevega oksida v tleh (mg/100g) pa je na lokaciji Dujice precej višja kot na Rešetu. Prav tako vsebujejo tla na lokaciji Dujice več organske snovi, ogljika ter nitratov, kot tla na lokaciji Rešeto.

4.2 VIŠINA RASTLIN



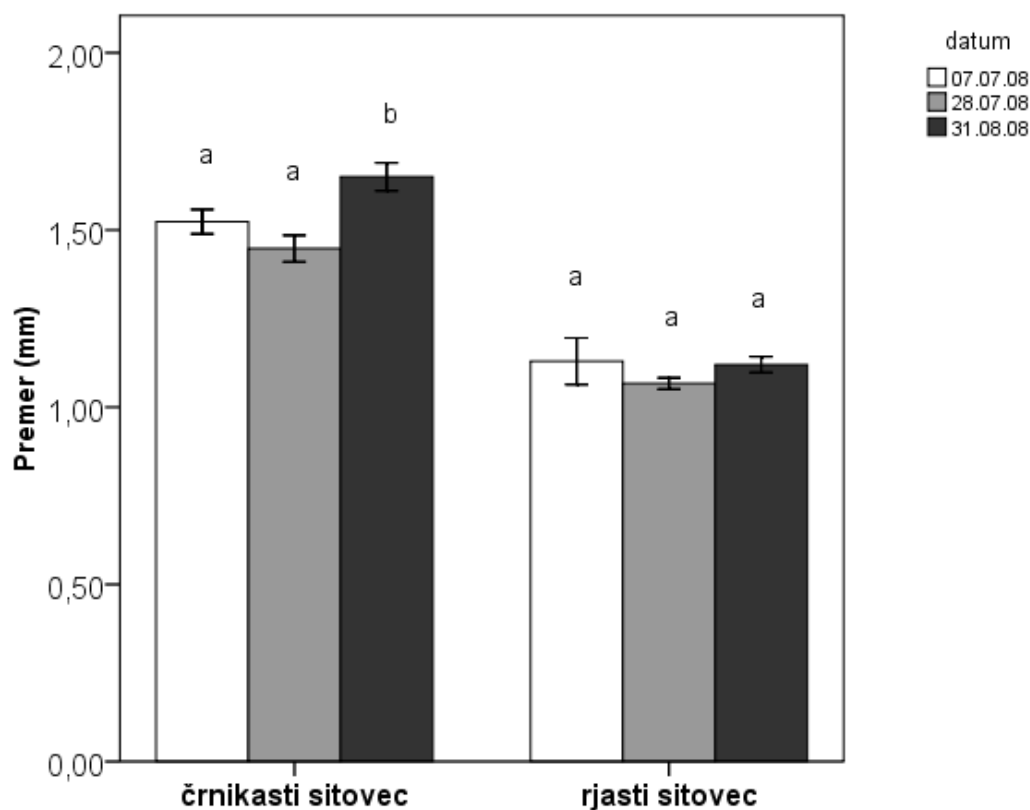
Slika 5: Višine črnkastega in rjastega sitovca (cm) v času vzorčenja: 7. 7. 2008, 28. 7. 2008 in 31. 8. 2008. Črke označujejo statistično značilne razlike (ANOVA test, $P < 0.05$) med posameznimi obdobji. $N=7$

V času prvega vzorčenja (7.7.2008) so bile rastline črnkastega sitovca povprečno visoke 50,4 cm, v času drugega vzorčenja (28. 7. 2008) 52,9 cm ter na dan tretjega (31. 8. 2008) 60,2 cm. Povprečna višina rastlin se je med prvim in drugim vzorčenjem povišala za 2,5 cm, v času med drugim in tretjim vzorčenjem pa so rastline povprečno zrasle še za 7,3 cm. Statistično značilnih razlik v povprečni višini rastlin med prvim in drugim vzorčenjem ni bilo, so pa bile med tretjim in drugim vzorčenjem ter med tretjim in prvim vzorčenjem (Slika 5).

Povprečna višina rjastega sitovca pa je ob času prvega vzorčenja (7. 7. 2008) znašala 40,4 cm, v času drugega vzorčenja (28. 7. 2008) 46,3 cm ter v času tretjega vzorčenja (31. 8. 2008) 48,2 cm. Povprečna višina rastlin rjastega sitovca se je od prvega do drugega vzorčenja povišala za 5,9 cm, do tretjega vzorčenja pa so rastline povprečno zrasle še za

dotatnega 1,9 cm. Statistično značilne razlike v višini rastlin so bile pri meritvah med prvim in drugim vzorčenjem ter med prvim in tretjim vzorčenjem. Med drugim in tretjim vzorčenjem višine rastlin statistično značilnih razlik ni bilo (Slika 5).

4.3 BAZALNI PREMER



Slika 6: Bazalni premer črnkastega in rjastega sitovca (mm) v času vzorčenj: 7. 7. 2008, 28. 7. 2008 in 31. 8. 2008. Črke označujejo statistično značilne razlike (ANOVA test, $P < 0.05$) med posameznimi obdobji. $N=7$

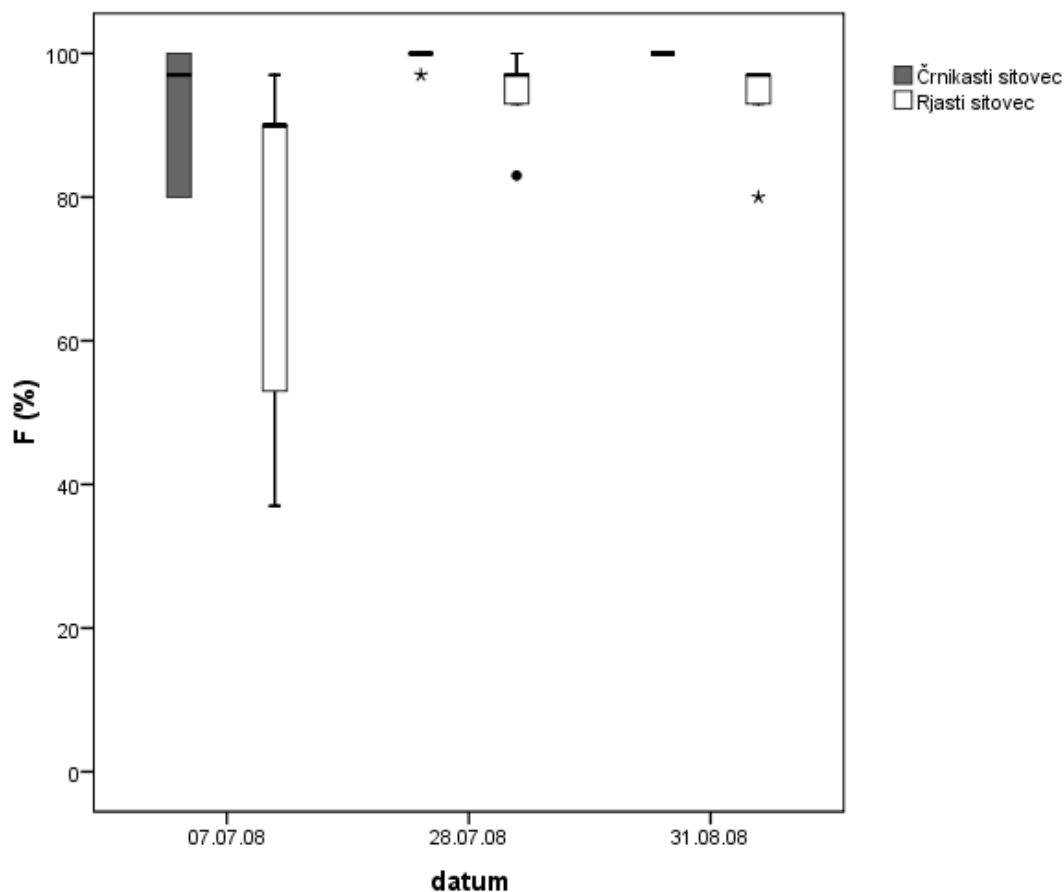
Povprečni bazalni premer rastlin črnkastega sitovca je na dan prvega vzorčenja (7. 7. 2008) znašal 1,52 mm, na dan drugega vzorčenja (28. 7. 2008) 1,45 mm ter na dan tretjega vzorčenja (31. 8. 2008) 1,65 mm. Bazalni premer črnkastega sitovca se med prvim (7. 7. 2008) in drugim (28. 7. 2008) vzorčenjem ni bistveno razlikoval, v času tretjega vzorčenja pa smo opazili razliko, saj se je od prvega vzorčenje povprečno razlikoval za 0,17 mm, od drugega vzorčenja pa za 0,2 mm (Slika 6).

Povprečni bazalni premer rastlin rjastega sitovca je na dan prvega vzorčenja (7. 7. 2008) znašal 1,13 mm, na dan drugega vzorčenja (28. 7. 2008) 1,07 mm ter na dan tretjega

vzorčenja (31. 8. 2008) 1,12 mm. Med posameznimi obdobji vzorčenj pri meritvah bazalnega premera rjastega sitovca ni bilo statistično značilnih razlik (Slika 6).

4.4 GLIVNA KOLONIZACIJA

4.4.1 Frekvenca glivne kolonizacije (F%)



Slika 7: Frekvenca glivne kolonizacije (F%) v koreninah črnkastega (siv pravokotnik) in rjastega sitovca (bel pravokotnik) (N=5). Vzorčenja so bila opravljena: 7. 7. 2008, 28. 7. 2008, 31. 8. 2008. Podatki so prikazani kot pravokotniki s 1. kvartilom, mediano in 3. kvartilom; ročaji z neizstopajočimi podatki, izstopajoči (*) in ekstremni (●). Črke označujejo statistično značilne (Kruskal-Wallis test, $P < 0,05$) razlike med posameznimi obdobji.

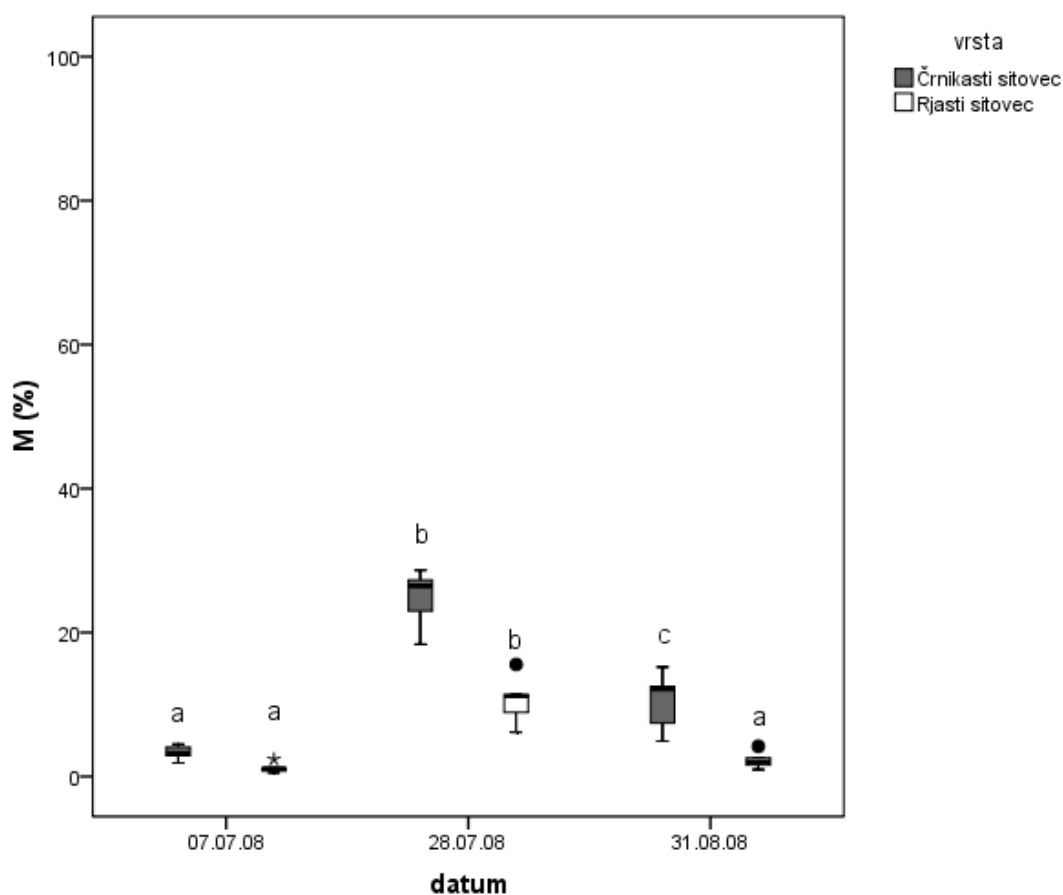
Frekvenca glivne kolonizacije (F%), je bila pri črnkastem sitovcu med ~ 80% in 100%. Vendar je bila vrednosti mediane F% pri prvem vzorčenju 7. 7. 2008 ~ 97%, pri drugem in tretjem vzorčenju 28. 7. 2008 in 31. 8. 2008 pa je bila vrednost mediane obeh meritev F% 100%.

Pri rjastem sitovcu je bila F% nekoliko nižja kot pri črnkastem. Gibala se je med ~ 54% in ~ 98%. Mediana posameznih meritev F% rjastega sitovca je pri prvem vzorčenju 7. 7.

2008 imela vrednost ~ 90%, pri drugem in tretjem vzorčenju 28. 7. 2008 in 31. 8. 2008 pa je bila njena vrednost F% ~ 98% (Slika 7).

Med posameznimi vzorčenji, tako pri črnkastem kot pri rjastem sitovcu v F%, statistično značilnih razlik ni bilo.

4.4.2 Splošna intenziteta glivne kolonizacije (M%)

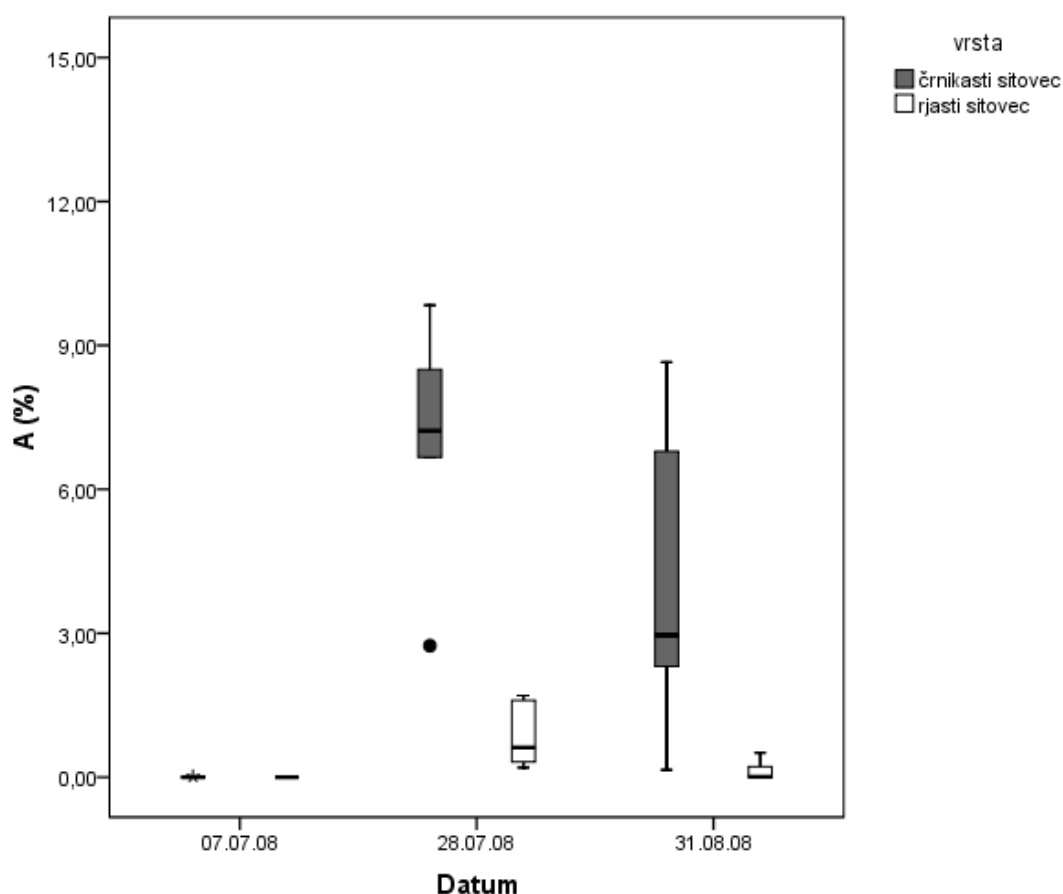


Slika 8: Splošna intenziteta glivne kolonizacije (M%) v koreninah črnkastega (siv pravokotnik) in rjastega sitovca (bel pravokotnik) (N=5). Vzorčenja so bila opravljena: 7. 7. 2008, 28. 7. 2008, 31. 8. 2008. Podatki so prikazani kot pravokotniki s 1. kvartilom, mediano in 3. kvartilom; ročaji z neizstopajočimi podatki, izstopajoči (*) in ekstremni (●). Črke označujejo statistično značilne (ANOVA test, $P < 0,05$) razlike med posameznimi obdobji.

Vrednosti splošne intenzitete mikorize so se v času vzorčenj spreminjale skozi rastno sezono. Pri črnkastem sitovcu so bile te vrednosti višje kot pri rjastem. Vrednosti so se pri črnkastem sitovcu skozi rastno sezono gibale med ~ 2,5% in ~ 28%. Svoj maksimum pa so dosegle na dan vzorčenj 28. 7. 2008. Pri rjastem sitovcu so se te vrednosti gibale med ~ 1% in ~ 11,5%. Najvišje pa so prav tako bile na dan vzorčenj 28. 7. 2008 (Slika 8).

Znotraj posamezne vrste pa so bile razlike vrednosti splošne intenzitete mikorize pri črnkastem sitovcu med vsemi tremi vzorčenji, ki smo jih opravili 7. 7. 2008 in 28. 7. 2008 in 31. 8. 2008 statistično različne. Pri rjastem sitovcu v M% med prvim (7. 7. 2008) in zadnjim (31. 8. 2008) vzorčenjem statistično značilnih razlik ni bilo, medtem ko so bile razlike med prvim (7. 7. 2008) in drugim (28. 7. 2008) ter drugim (28. 7. 2008) in tretjim (31. 8. 2008) vzorčenjem statistično različne (Slika 8).

4.4.3 Gostota arbuskulov v koreninskem sistemu (A%)



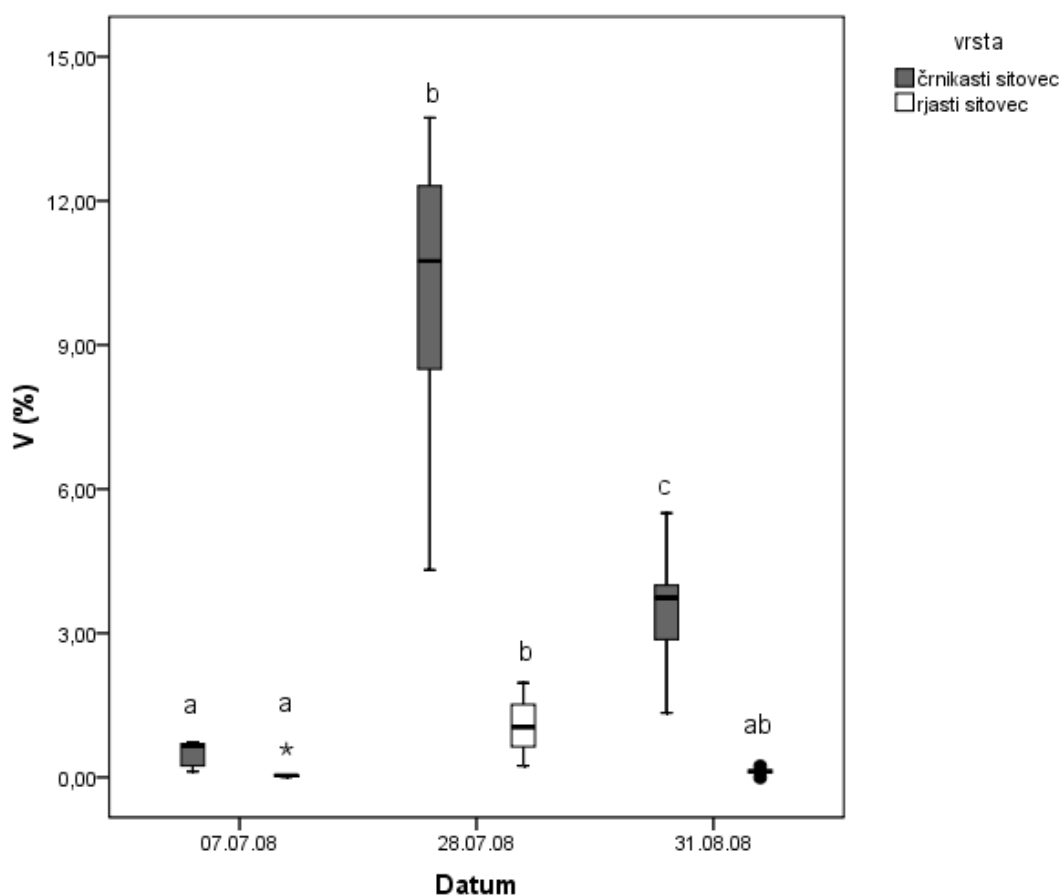
Slika 9: Gostota arbuskulov (A%) v koreninah črnkastega (siv pravokotnik) in rjastega sitovca (bel pravokotnik) (N=5). Vzorčenja so bila opravljena: 7. 7. 2008, 28. 7. 2008, 31. 8. 2008. Podatki so prikazani kot pravokotniki s 1. kvartilom, mediano in 3. kvartilom; ročaji z neizstopajočimi podatki, izstopajoči (*) in ekstremni (●). Črke označujejo statistično značilne (Kruskal-Wallis test, $P < 0,05$) razlike med posameznimi obdobji.

Arbuskuli so bili v koreninskem sistemu črnkastega in rjastega sitovca prisotni le ob drugem (28.7.2008) in tretjem (31.8.2008) vzorčenju. Njihova gostota je bila pri črnkastem sitovcu na oba datuma vzorčenj višja kot pri rjastem. Vrednosti A% so se pri

črnkastem sitovcu gibale med ~ 2,3% ter ~8,8%. Pri rjastem sitovcu pa so bile vrednosti A% nižje in sicer do ~ 1,6% (Slika 9).

Znotraj posamezne vrste v rastni sezoni 2008 pri rjastem in črnkastem sitovcu med posameznimi datumi vzorčenja A% statistično značilnih razlik ni bilo (Slika 9).

4.4.4 Gostota veziklov v koreninskem sistemu (V%)



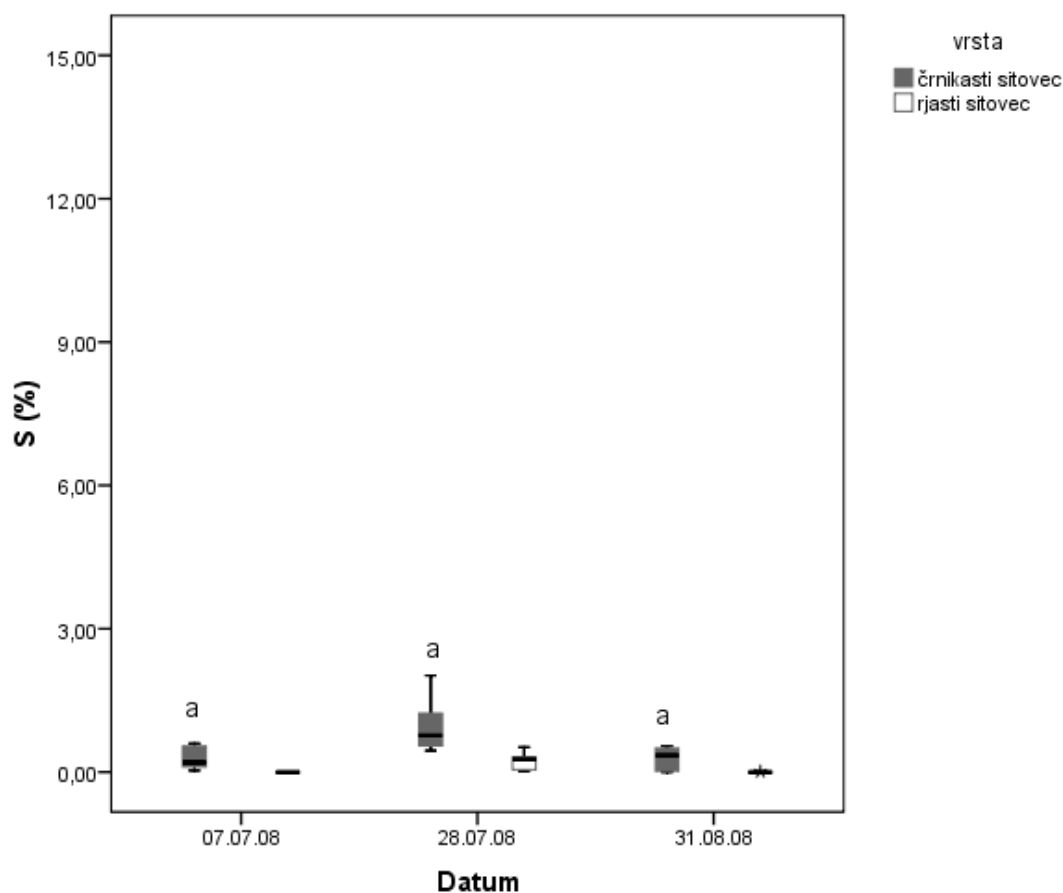
Slika 10: Gostota veziklov (V%) v koreninah črnkastega (siv pravokotnik) in rjastega sitovca (bel pravokotnik) (N=5). Vzorčenja so bila opravljena: 7. 7. 2008, 28. 7. 2008, 31. 8. 2008. Podatki so prikazani kot pravokotniki s 1. kvartilom, mediano in 3. kvartilom; ročaji z neizstopajočimi podatki, izstopajoči (*) in ekstremni (●). Črke označujejo statistično značilne (ANOVA test, $P < 0,05$) razlike med posameznimi obdobji.

Gostota veziklov v koreninskem sistemu (V%) je bila v rastni sezoni pri črnkastem sitovcu pri vseh vzorčenjih višja kot v koreninskem sistemu rjastega sitovca. Njene vrednosti so se pri črnkastem sitovcu gibale med ~ 0,1% in ~ 12,5%, pri rjastem pa so bile nižje, in sicer med ~ 0,1% in ~ 1,5%. Tako pri črnkastem kot pri rjastem sitovcu je bila

gostota svitkov v koreninskem sistemu v rastni sezoni najvišja na dan drugega vzorčenja 28. 7. 2008.

Znotraj posamezne vrste so bile pri črnkastem sitovcu razlike v V% med vsemi tremi vzorčenji (7. 7. 2008, 28. 7. 2008 in 31. 8. 2008) statistično značilne. Pri rjastem sitovcu so bile razlike v V% med prvim (7. 7. 2008) in drugim (28. 7. 2008) vzorčenjem statistično značilne, medtem ko med drugim (28. 7. 2008) in tretjim (31. 8. 2008) ter prvim (7. 7. 2008) in tretjim (31. 8. 2008) vzorčenjem v V% statistično značilnih razlik ni bilo.

4.4.5 Gostota svitkov v koreninskem sistemu (S%)



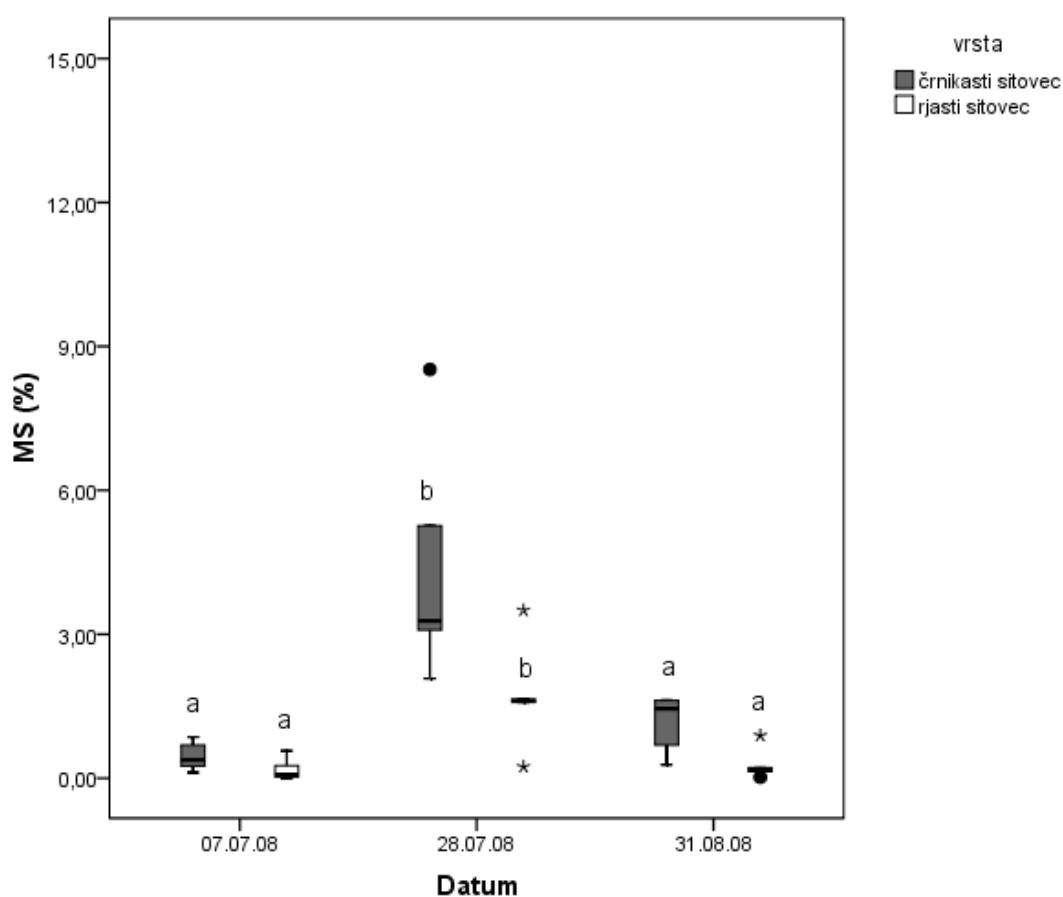
Slika 11: Gostota svitkov (S%) v koreninah črnkastega (siv pravokotnik) in rjastega sitovca (bel pravokotnik) (N=5). Vzorčenja so bila opravljena: 7. 7. 2008, 28. 7. 2008, 31. 8. 2008. Podatki so prikazani kot pravokotniki s 1. kvartilom, mediano in 3. kvartilom; ročaji z neizstopajočimi podatki, izstopajoči (*) in ekstremni (●). Črke označujejo statistično značilne (ANOVA (črnkasti sitovec) in Kruskal-Wallis (rjasti sitovec) test, $P < 0,05$) razlike med posameznimi obdobji.

Gostota svitkov (S%) je bila v koreninskem sistemu črnkastega sitovca večja kot v koreninskem sistemu rjastega sitovca pri vseh vzorčenjih. Vrednosti S% so se pri

črnkastem sitovcu gibale med ~ 0,1% in ~ 1,25%, pri rjastem pa so bili svitki prisotni samo pri drugem vzorčenju na dan 28. 7. 2008, kjer je bila njihova vrednost mediane ~ 0,28%. Pri obeh vrstah pa je bila gostota svitkov v koreninskem sistemu rastline največja pri drugem vzorčenju na dan 28. 7. 2008.

Znotraj posamezne vrste tako pri črnkastem, kot pri rjastem sitovcu med posameznimi meritvami S% v rastni sezoni statistično značilnih razlik ni bilo.

4.4.6 Gostota mikrosklerocijev v koreninskem sistemu (MS%)

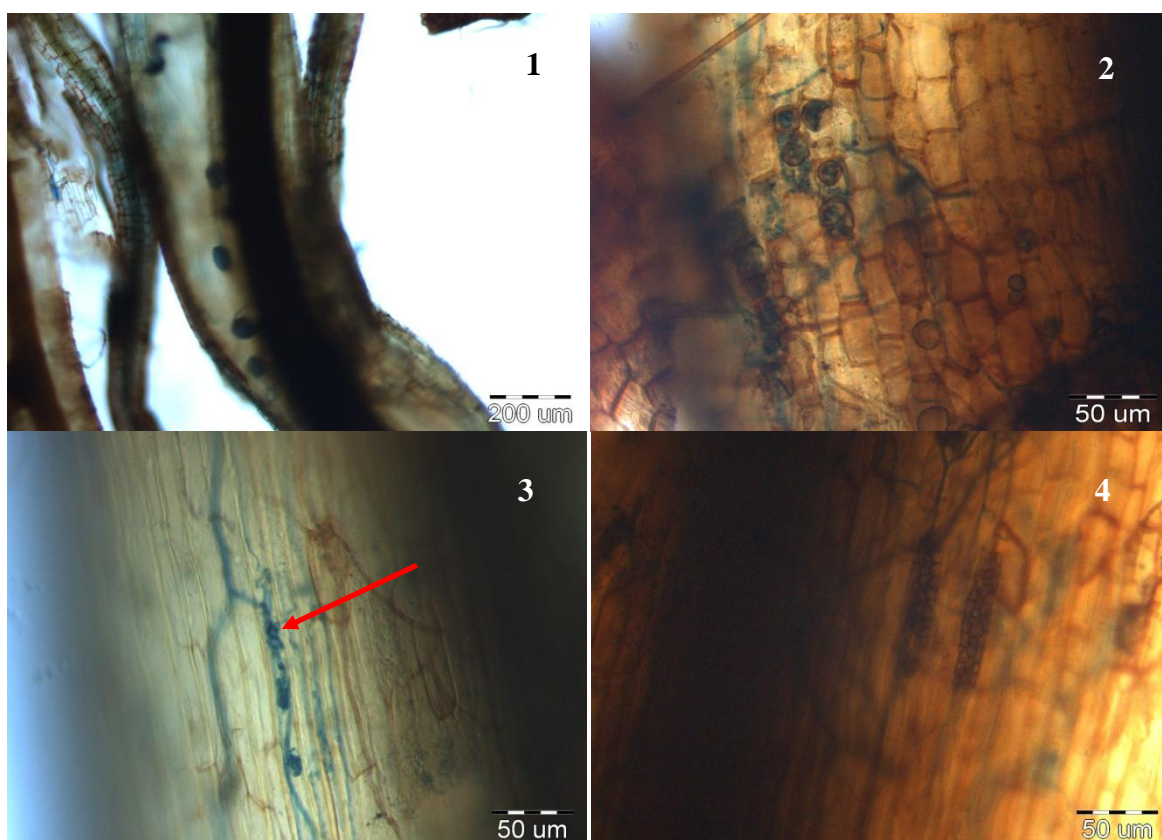


Slika 12: Gostota mikrosklerocijev (MS%) v koreninah črnkastega (siv pravokotnik) in rjastega sitovca (bel pravokotnik) (N=5). Vzorčenja so bila opravljena: 7. 7. 2008, 28. 7. 2008, 31. 8. 2008. Podatki so prikazani kot pravokotniki s 1. kvartilom, mediano in 3. kvartilom; ročaji z neizstopajočimi podatki, izstopajoči (*) in ekstremni (●). Črke označujejo statistično značilne (ANOVA test, $P < 0,05$) razlike med posameznimi obdobji.

Mikrosklerociji so bili prisotni tako pri črnkastem, kot pri rjastem sitovcu pri vseh treh vzorčenjih med rastno sezono. Vrednosti MS% so bile pri črnkastem sitovcu skozi rastno sezono višje kot pri rjastem. Pri črnkastem sitovcu so se vrednosti MS% gibale med ~

0,2% in ~ 5,3%. Pri rjastem pa med ~ 0,1% in ~ 1,6%. Pri obeh rastlinah je bila prisotna največja gostota mikrosklerocijev v koreninskem sistemu pri drugem vzorčenju 28. 7. 2008.

Znotraj posamezne vrste so bile, tako pri črnikastem, kot pri rjastem sitovcu med prvim (7. 7. 2008) in drugim (28. 7. 2008) ter drugim (28. 7. 2008) in tretjim (31. 8. 2008) vzorčenjem v S% razlike statistično značilne. Medtem, ko pri obeh vrstah med prvim (7. 7. 2008) in tretjim (31. 8. 2008) vzorčenjem statistično značilnih razlik ni bilo.



Slika 13: Vezikli (1), arbuskuli (2), svitek (3) in mikrosklerociji (4) v koreninah sitovca.

5 RAZPRAVA

Cerkniško jezero je edinstven ekosistem. Nima lastnosti pravih jezer pa tudi močvirij ne. Je presihajoče kraško mokrišče. Presihanje in polnjenje jezera omogočajo posebne klimatske, hidrološke in geomorfološke značilnosti območja. Celotno območje Cerknškega jezera štejeemo v dinarsko fitogeografsko območje. Flora Cerknškega jezera z območja, ki je občasno poplavljen ali pa je na samem obrobju poplav, je izredno pestra.

5.1 VIŠINA IN BAZALNI PREMER ČRNIKASTEGA TER RJASTEGA SITOVCIA

Bazalni premer se med rastno sezono ni bistveno spreminjal tako pri črnkastem, kot pri rjastem sitovcu. Pri črnkastem sitovcu se je povečal med prvim in zadnjim vzorčenjem. Bil pa je večji, kot pri rjastem, ki je bil približno enak ob vseh treh vzorčenjih.

Višina črnkastega in rjastega sitovca se je skozi rastno sezono povečevala. Rastline črnkastega sitovca pa so bile višje od rastlin rjastega, saj so bile konec avgusta v povprečju visoke 60,2 cm, medtem ko so rastline rjastega sitovca dosegle višino 48 cm.

Biomasa se je tako rastlinam črnkastega in rjastega sitovca preko rastne sezone povečevala.

5.2 GLIVNA KOLONIZACIJA

Glivna kolonizacija je bila ugotovljena pri vseh rastlinah (Slika 13), vendar se je razlikovala glede na obdobje, v katerem so bili vzorci pobrani ter glede na lokacijo oz. vrsto. Vrhunec glivne kolonizacije je bil konec julija tako pri črnkastem (*Schoenus nigricans*), kot pri rjastem (*S. ferrugineus*) sitovcu. Intenziteta glivne kolonizacije M% je bila pri črnkastem sitovcu v razponu od 2,5% do 28%, pri rjastem pa je bila nekoliko nižja od 1% do 11,6%.

Vodostaj Cerknškega jezera je bil leta 2008 na obeh lokacijah najvišji v času našega drugega vzorčenja, ki je bilo konec julija. Takrat so bila tla na obeh lokacijah nasičena z vodo (Preglednica 1). Vendar pa je bila takrat pri obeh vrstah sitovca tudi največja

intenziteta glivne kolonizacije. Prav tako je bila takrat ugotovljena tudi največja gostota veziklov, arbuskulov, svitkov in temno septiranih endofitov pri obeh vrstah. To je sicer v nasprotju z ugotovitvijo Millerjeve (2000), ki je v svojih raziskavah ugotovila, da poplavljanje zmanjša AM glivno kolonizacijo v koreninah rastline, saj so AM glive obligatorni aerobi. V obdobju upadanja nivoja vode pa se le-ta poveča, saj so takrat tla bolj prezračena s kisikom, kar ugodno vpliva na AM kolonizacijo korenin rastline. Vendar pa Bauer (2003) pravi, da to ne drži vedno. Tudi Wetzel in van der Valk (1996) pravita, da vlažnost tal na kolonizacijo rastlinskih korenin z mikoriznimi glivami nima tolikšnega vpliva, kot se je sprva mislilo, saj sta v svojih raziskava potrdila visoko kolonizacijo korenin z mikoriznimi glivami pri močvirskih rastlinah kljub visokemu nivoju vode v tleh. Kolonizacija korenin z mikoriznimi glivami pa je pri močvirskih rastlinah poleg dejavnikov okolja odvisna še od številnih drugih dejavnikov, kot so: sestava tal, vrsta rastline in njene potrebe po mineralnih hranilih ter od vrste glive in njene abudance (Brundrett 1991).

Primarni abiotski dejavniki, ki vplivajo na abudanco in distribucijo AM gliv v koreninah rastline, so: količina vode v tleh ter razpoložljivost mineralnih hranil in kisika. V tleh, ki imajo veliko fosforja, prevladuje negativno razmerje med koncentracijo fosforja ter AM kolonizacijo. V tleh, kjer je koncentracija fosforja nizka, pa je to razmerje pozitivno (Khan, 1975, cit. po Dolinar in Gaberščik, 2010). To smo potrdili tudi v naši raziskavi, saj so tla na lokaciji Rešeto, kjer raste črnkasti sitovec, veliko revnejša s fosfati kot tla na lokaciji Dujice. Prav tako pa vsebujejo tla na Rešetu v primerjavi s tlemi na Dujicah tudi manj kalija, dušika, ogljika ter organskih snovi. Kolonizacija črnkastega sitovca z mikoriznimi glivami je bila na Rešetu v celi rastni sezoni zato precej višja kot kolonizacija rjastega sitovca na Dujicah.

Enokaličnice, kamor spadata tudi rjasti in črnkasti sitovec, imajo večjo količino aerenhima v koreninah kot dvokaličnice (Crawford, 1989). Rastline z več aerenhimskega tkiva, ki rastejo v tleh, ki so revna s hranili ter pogosto anoksična, so v prednosti pred rastlinami, ki imajo aerenhima manj, saj je preko aerenhima omogočen transport kisika v koreninske vršičke in tako omogočena aerobna respiracija v koreninskih celicah in glivnem miceliju. Prav tako pa kisik, ki se sprošča iz korenine v rizosfero, omogoča aerobno dekompozicijo

ob korenini (Crawford, 1989). To bi lahko bil razlog nizke intenzitete glivne kolonizacije pri naših vzorcih rjastega in črnkastega sitovca v rastni sezoni 2008.

Gostota arbuskulov, veziklov in svitkov je bila pri vseh vzorčenjih črnkastega in rjastega sitovca precej nizka. Svoj maksimum je pri obeh vrstah dosegla konec julija, vendar je bila pri črnkastem sitovcu precej višja kot pri rjastem. V študijah je bilo ugotovljeno, da se vezikulo-arbuskularna kolonizacija v koreninah rastline poveča v določenem obdobju življenjskega cikla rastline, ko so potrebe po mineralnih hranilih povečane. To je običajno čisto na začetku ter v sredini rastne sezone (Bohrer in sod., 2004, Likar in sod., 2009), ko rastlina cveti in potrebuje več esencialnih elementov za nastanek semen. Gostota DSE, katerih ekologija še ni čisto raziskana, je bila v koreninah črnkastega in rjastega sitovca prav tako nizka. Najvišje vrednosti DSE so se pojavile pri obeh vrstah ob drugem vzorčenju, konec julija. Pri črnkastem sitovcu so bile skozi celotno obdobje, v katerem smo vzorčili, te vrednosti višje kot pri rjastem. Kolonizacija korenin z DSE naj bi bila bolj pogosta pri starejših delih koreninskega sistema (Robertson, 1954; Livingston in Blaschke, 1984, cit. po Jumpponen, 1998), saj predvidevajo, da naj bi DSE reciklirali mineralna hranila iz odmrlih in starajočih se koreninskih celic in jih vračali v aktivne dele korenin. Številni avtorji pa poročajo tudi o širokem spektru encimskih aktivnosti, ki naj bi jih imeli DSE (Caldwell in sod., 2000; Currah in Tsuneda, 1993; Fernando in Currah, 1995, cit. po Jumpponen, 2001).

6 SKLEPI

- *pričakujemo, da bodo v koreninah črnikastega (Schoenus nigricans) in rjastega sitovca (Schoenus ferrugineus) prisotne strukture značilne za arbuskularno mikorizo in temno septirani endofiti*

V rastlinah črnikastega in rjastega sitovca so bile prisotne strukture značilne za arbuskularno mikorizo (arbuskuli in vezikli). Arbuskuli so se pri obeh rastlinah pojavili pri drugem in tretjem vzorčenju, ko so bile rastline na višku svoje rasti.

- *da so razlike v kolonizaciji v različnih časih rastne sezone*

Potrdili smo razlike v kolonizaciji v različnih časih rastne sezone. Kolonizacija rastlin z mikoriznimi glivami se je najprej povečala in dosegla vrhunec na sredini rastne sezone, proti koncu pa je zopet upadla. Na lokaciji Rešeto je bila kolonizacija rastlin z glivami višja kot na lokaciji Dujice skozi vso rastno sezono, kar pripisujemo temu, da do tla na lokaciji Rešeto veliko revnejša s fosfati in ostalimi minerali.

- *da se bo glivna kolonizacija spreminjala glede na hidrološke razmere in ontogenetski razvoj*

Glivna kolonizacija je bila prisotna ob vseh vzorčenjih. Ob prvem vzorčenju je bila nižja, ob drugem je bilo število arbuskulov, veziklov, svitkov in mikrosklerocijev pri obeh vrstah najvišje, ob tretjem pa je zopet upadlo. Povečano glivno kolonizacijo korenin vzorčenju lahko povežemo s fazo intenzivnega cvetenja.

7 POVZETEK

Namen našega dela je bil, da ugotovimo, ali so v koreninah črnkastega (*Schoenus nigricans*) in rjastega (*S. ferrugineus*) sitovca prisotne glivne strukture značilne za AM ter DSE glivno kolonizacijo. Ugotoviti smo tudi želeli, v katerem obdobju rastne sezone je glivna kolonizacija največja ter primerjati glivno kolonizacijo v koreninah črnkastega in rjastega sitovca na dveh različnih lokacijah.

V rastni sezoni 2008 smo v približno enomesečnih presledkih opravili tri vzorčenja: v juliju in avgustu na lokaciji Rešeto, kjer smo vzorčili črnkasti sitovec (*Schoenus nigricans*) in na lokaciji Dujice, kjer smo vzorčili rjasti (*S. ferrugineus*) sitovec. Vzorce rastlin smo prenesli v laboratorij, kjer smo jim izmerili rastne parametre (višino in bazalni premer stbla). Korenine pa smo obarvali s tripan modrim ter po metodi Trouvelot in sod. (1986) s pomočjo svetlobnega mikroskopa ocenili stopnjo glivne kolonizacije. Rezultate smo obdelali v programu SPSS 17.0, kjer smo izračunali povprečne višine in bazalne premere stebel, ter rezultate predstavili v grafični obliki kot pravokotnike z ročaji (box-plot), za statistično značilne razlike pa smo uporabili ANOVA in Kruskal-Wallis test.

Ugotovili smo, da se je višina rastlin pri obeh vrstah povečevala, bazalni premer pa je bil v obdobju vzorčenja pri obeh vrstah približno enak. Glivna kolonizacija z AM glivami ter DSE je bila potrjena tako pri črnkastem, kot pri rjastem sitovcu, vendar se je njena stopnja preko sezone spreminjala.

Intenziteta glivne kolonizacije črnkastega in predvsem pa rjastega sitovca je bila nizka. Sitovec spada k enokaličnicam, ki imajo običajno nižjo glivno kolonizacijo kot dvokaličnice.

Največja stopnja glivne kolonizacije korenin je bila pri obeh vrstah opažena pri drugem vzorčenju, ki je bilo konec julija, ko je bil nivo vode glede na ostali dve vzorčenji najvišji. To nam kaže, da v našem primeru na glivno kolonizacijo korenin nasičenost tal z vodo ni imela tolikšnega vpliva. Splošna intenziteta mikorize je bila na lokaciji Dujice, kjer raste rjasti sitovec, precej nižja kot na lokaciji Rešeto, kjer raste črnkasti. To sovпада z dejstvom, da so tla na Rešetu veliko revnejša s fosfati, dušikom, kalijem in organskimi

snovmi v primerjavi s tlemi na Dujicah. Rastlinam v takšnih razmerah, kot je pomanjkanje mineralnih hranil, glivna kolonizacija omogoči boljši prevzem le-teh.

8 LITERATURA

<http://www.arso.si/>

<http://plants.ifas.ufl.edu/node/406>

Bauer C.R., Kellogg C.H., Bridgham S.D., Lamberty G.A. 2003. Mycorrhizal colonization across hydrologic gradients in restored and reference freshwater wetlands. *Wetlands*, 23: 961–968

Bledose C., Klein P., Bliss L.C. 1990. A survey of mycorrhizal plants on Truelove lowland, Devon Island, N.W.T., Canada. *Canadian Journal of Botany*, 68: 1848–1856

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. 2001. *Australian Freshwater Ecology. Processes and Management*. Gleneagles Publishing, Glen Osmond, Australia, pp. 149–167

Brady N.C. (1990) *The nature and properties of soils*. 10th edition. Macmillan, New York.

Brundrett M. 1991. Mycorrhizas in Natural Ecosystems. In M. Begon, A.H. Fitter, A. Macfadyen (ur.). *Advances in Ecological Research*, Volume 21. Academic Press, London, UK, pp. 171–277

Brundrett M.C., Abbott L.K. 1994. Mycorrhizal fungus propagules in the jarrah forest. I. Seasonal study of inoculum levels. *New Phytologist*, 127: 539–546

Chapin F.S., Moilanen L., Kielland K. 1993. Preferential use of organic nitrogen for growth by a non-mycorrhizal sedge. *Nature*, 361: 150–153

Cornwell W.K., Bedford B.L., Chapin C.T. 2001. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in a phosphorus-poor wetland and mycorrhizal response to phosphorus fertilization. *American Journal of Botany*, 88(10): 1824–1829

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

Dighton J. 2009. Mycorrhizae. *Encyclopedia of Microbiology*, third edition. Schaechter M. (Ur.). Academic Press, str. 153–162

Dolinar N., Gaberščik A. 2010. Mycorrhizal colonization and growth of *Phragmites australis* in an intermittent wetland. *Aquatic Botany*, 93: 93–98

Dolinar N., Rudolf M., Šraj N., Gaberščik A. 2010. Environmental changes affect ecosystem services of the intermittent Lake Cerknica. *Ecological Complexity*, 7: 403–409

Fester T., Strack D., Hause B., 2001. Reorganization of tobacco root plastids during

arbuscule development. *Planta*, 213: 864–868

Gaberščik A., Urbanc-Berčič O., Kržič N., Kosi G., Brancelj A., 2003. The intermittent lake Cerknica - Various faces of the same ecosystem. *Lakes & reservoirs. Research and management* 8: 159–168

Gaberščik A., Urbanc – Berčič O. 2003. Ekosistem, ki ga ustvarja igra vode. V: *Jezero, ki izginja – Monografija o Cerknškem jezeru*. Gaberščik A. (Ur.). Društvo ekologov Slovenije, str. 50–58

Gaberščik A., Urbanc – Berčič O. 2003. Kakovost vode v jezeru in njegovih pritokih. V: *Jezero, ki izginja – Monografija o Cerknškem jezeru*. Gaberščik A (Ur.). Društvo ekologov Slovenije, str. 45–50

Hause B., Fester T. 2005. Molecular and cell biology of arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Planta*, 221: 184–196

Hodge A., Campbell C.D., Fitter A.H. 2001. An arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen directly from organic material. *Nature*, 413: 297–299

Iljanić, L., 1979. Die Vegetationsverhältnisse des Sees von Cerknica. Sumpf-, Moor-, und Wiesen-vegetation. *Acta carsol.*, VIII/2, 166–200

Jayachandran K., Shetty K.G. 2003. Growth response and phosphorus uptake by arbuscular mycorrhizae of wet prairie sawgrass. *Aquatic Botany*, 76: 281–290

Jupponen A., Trappe J.M. 1998. Dark septate endophytes: a review of facultative biotrophic root – colonizing fungi. *New Phytologist*, 140: 295–310

Jupponen A. 2001. Dark septate endophytes – are they mycorrhizal? *Mycorrhiza*, 11: 207–211

Kai W., Zhiwei Z.W. 2006. Occurrence of arbuscular mycorrhizas and dark septate endophytes in hydrophytes from lakes and streams in Southwest China. *International Review of Hydrobiology* 91: 29–37

Khon L.M., Stasovski E., 1990. The mycorrhizal status of plants at Alexandra Fiord, Ellesmere Island, Canada, a high arctic site. *Mycologia*, 82: 23–35

Kielland K. 1994. Amino acid absorption by arctic plants: implications for plant nutrition and nitrogen cycling. *Ecology*, 75: 2373–2383

Kranjc A. 2003. Hidrološke značilnosti. V: *Jezero, ki izginja – Monografija o Cerknškem jezeru*. Gaberščik A. (Ur.). Društvo ekologov Slovenije, Ljubljana, str. 26–38

Martinčič A., Leskovar I. 2003. Vegetacija. V: *Jezero, ki izginja – Monografija o Cerknškem jezeru*. Gaberščik A. (Ur.). Društvo ekologov Slovenije, Ljubljana, str. 81–96

Martinčič A. 2003. Praprotnice in semenke. V: *Jezero, ki izginja – Monografija o*

Cerkniškem jezeru. Gaberščik A. (Ur.). Društvo ekologov Slovenije, Ljubljana, str. 73–80

Martinčič A., Wraber T., Jogan N., Ravnik V., Podobnik A., Turk B., Vreš B. 1999. Mala flora Slovenije – Ključ za določanje praprotnic in semenk. Tehniška založba Slovenije, Ljubljana, str. 684–693

Meney K.A., Dixon K.W., Scheltema M., Pate A.S. 1993. Occurrence of vesicular mycorrhizal fungi in dryland species of Restionaceae and Cyperaceae from south-west Western Australia. *Australian Journal of Botany* 47: 773–737

Miller S.P. 2000. Arbuscular mycorrhizal colonisation of semi – aquatic grasses along a wide hydrologic gradient. *New Phytologist*, 145: 145–155

Miller S.P., Beaver J.D. 1999. Distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in stands of wetland grass *Panicum hemitomon* along a wide hydrologic gradient. *Oecologia*, 119: 586–592

Mosse B., Stribley D.P., LeTacon F. 1981. Ecology of mycorrhizas and mycorrhizal fungi. In: Alexander M., ed. *Advances in microbial ecology*. New York, USA: Plenum Press, 137–210

Muthukumar T., Udaiyan K., Manian S., 1996. Vesicular-arbuscular mycorrhiza in tropical sedges of southern India. *Biology and fertility of soils* 22: 96–100

Muthukumar T., Udaiyan K., Shanmughavel P., 2004. Mycorrhiza in sedges – an overview. *Mycorrhiza*, 14: 65–77

Raab T.K., Lipson D.A., Monson R.K., 1996. Soil amino acid utilization among species of the Cyperaceae: plant and soil processes. *Ecology*, 80: 2408–2419

Radhika K.P., Rodrigues B.F. 2007. Arbuscular Mycorrhizae in association with aquatic and marshy plant species in Goa, India. *Aquatic Botany*, 84: 291–294

Ray A.M., Inouye R.S. 2006. Effects of water-level fluctuations on the arbuscular mycorrhizal colonization of *Typha latifolia* L. *Aquatic Botany*, 84: 210–216

Read D.J. 1991. Mycorrhizas in ecosystems. *Experientia* 47: 311–400

Rickerl D.H., Sancho F.O., Ananth S. 1994. Vesicular-arbuscular endomycorrhizal colonization of wetland plants. *Journal of Environmental Quality*, 24: 913–916

Sanders I.R., Fitter A.H. 1992. The ecology and functioning of vesicular – arbuscular mycorrhizas in co – existing grassland species. I. Seasonal patterns of mycorrhizal occurrence and morphology. *New Phytologist*, 120: 517–524

Schüssler A., Schwarzott D., Walker C. 2001. A new fungal phylum, the *Glomeromycota*: phylogeny and evolution. *Mycological Research*, 12: 1413–1421

Schippers P., Olf H. 2000. Biomass partitioning, architecture and turnover of six

herbaceous species from habitats with different nutrient supply. *Plant Ecology*, 149: 219–231

Smith S.E., Read D.J. 1997. *Mycorrhizal symbiosis*, second edition. Academic Press, London, UK.

Stevens K.J., Peterson R.L. 1996. The effect of wather gradient on the vesicular-arbuscular mycorrhizal status of *Lythrum salicaria* L. (purple loosestrife). *Mycorrhiza*, 6: 99–104

Strack D., Fester T., Hause B., Schliemann W. and Walter M.H. 2003. Arbuscular mycorrhiza: biological, chemical and molecular aspects. *Journal of Chemical Ecology*, 1995–1979

Šraj – Kržič N., Pongrac P., Klemenc M., Kladnik A., Regvar M., Gaberščik A. 2006. Mycorrhizal colonisation in plants from internittent aqatic habitats. *Aquatic Botany*, 85, 4: 331–336

Treu R., Laursen G.A., Stephenson S.L., Landolt J.C., Densmore R. 1996. Mycorrhizae from Denali National Park and Preserve, Alaska. *Mycorrhiza*, 6: 21–29

Trouvelot A., Kough J.L., Gianinazzi – Pearson V. 1986. Mesure de taux de mycorhization VA d'un systeme radiculaire. Recherche de methodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. V: Physiological and genetical aspects of mycorrhizae. 1986. Gianinazzi – Pearson, V., Gianinazzi, S. (Ur.). Paris, INRA press: 217–221

Turner S.D., Friese C.F. 1998. Plant mycorrhizal community dynamics associated with moisture gradient within a rehabilitated prairie fen. *Resoration ecology*, 6: 44–51

Urbanc-Berčič O., Kržič N., Rudolf M., Gaberščik A., Germ M., 2005. The effect of wather level fluctuation on macrophyte occerrence and abudance in the intermittent Lake Cerknica. In: Vymazal, J. (Ed.), *Natural and Constructed Wetlands: Nutrients, metals and Management*. Backhuys publishers, Leiden, pp. 312–320

Zupančič B. 2003. *Klima. Jezero, ki izginja – Monografija o Cerknškem jezeru*. Gaberščik A. (Ur.). Društvo ekologov Slovenije, Ljubljana, str. 4–18

Wang B., Qui Y.-L. 2006. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza*, 16: 299–363

Wetzel P.R., van der Valk A.G. 1996. Vesicular – arbuscular mycorrhizae in prairie pothole wetland vegetation in Iowa and North Dakota, *Canadian Journal of Botany* 74: 883–890

ZAHVALA

Zahvaljujem se svoji mentorici prof. dr. Alenki Gaberščik za prijaznost, dobro voljo in pozitivno naravnost v vsakem trenutku, svojega obiska pri njej. Hvala tudi za hiter pregled diplomskega dela.

Hvala doc. dr. Katarini Vogel-Mikuš za hitro recenzijo ter vse strokovne nasvete in predloge.

Hvala Nataši Dolinar za pomoč in svetovanje pri laboratorijskem delu, doc. dr. Mateji Germ za pregled diplomskega dela in koristne pripombe ter Draganu za tehnično pomoč.

Hvala Alojziji Drnovšek za lektorski pregled diplomskega dela.

Barbari, Andreji in Darji, brez katerih moja študentska leta ne bi bila tako mavrično obarvana, kot so bila. Barbari še posebno hvala za pomoč in spodbudo pri izdelavi diplome. Vsem trem pa iskrena hvala za vse lepe trenutke, ki smo jih preživele skupaj. Dolga kosila, potovanja, žuri, pogovori v neskončnost, skupna učenja, taborjenja, neprespane noči, trenutki sreče in žalosti... Hvala, da ste ta del študentskega življenja delile in še delite z menoj.

Hvala Petri, Heleni I. in Almi za ves čas, ki smo ga preživele skupaj: od kavic, potovanj, sprehodov, izletov, pogovorov,...Vsekakor ste vse obogatile in popestrile moje življenje.

Zahvaljujem se tudi vsem ostalim čudovitim in zabavnim ljudem, ki sem jih spoznala skozi študij, z njimi delila pot ter se od njih veliko naučila. Z nekaterimi smo skupaj potovali, nekateri so mi bili mentorji in sodelavci, z nekaterimi smo samo skupaj preživljali prosti čas, taborili, terenili,... ampak vedno pa mi je in mi je bilo v njihovi družbi zakon! Nastja, Barbara B., Vesna P., Mojca H., Špela K., Iva, Anamarija, Helena B., Anita, Manica, Ivana, Tina J., Tina S., Brina, Nina R. Danijela, Katja K., Katja L., Nadja, Alenka super ste!

Hvala moji mami, ki mi je omogočila študij in me ob tem podpirala.

Hvala mami Micki, Viki, Heleni, Urošu in Staši za vso podporo, pomoč in nasvete med študijem.

Tomaž, posebna zahvala pa gre tebi, ki si me skozi ves študij spodbujal, podpiral in verjel vame (čeprav na trenutke že skoraj obupal) ter mi stal ob strani ob vseh mojih odločitvah.