

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA

Nataša DOLINAR

**PRIMARNA PROIZVODNJA, RAZGRADNJA IN
GLIVNA KOLONIZACIJA IZBRANIH
RASTLINSKIH VRST NA PRESIHAJOČEM
CERKNIŠKEM JEZERU**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Ljubljana, 2013

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA

Nataša DOLINAR (TADINA)

**PRIMARNA PROIZVODNJA, RAZGRADNJA IN GLIVNA
KOLONIZACIJA IZBRANIH RASTLINSKIH VRST NA
PRESIHAJOČEM CERKNIŠKEM JEZERU**

DOKTORSKA DISERTACIJA

**PRIMARY PRODUCTION, DECOMPOSITION AND FUNGAL
COLONIZATION OF SELECTED PLANT SPECIES IN LAKE
CERKNICA**

DOCTORAL DISSERTATION

Ljubljana, 2013

Na podlagi Statuta Univerze v Ljubljani ter po sklepu senata Biotehniške fakultete in sklepa Senata Univerze z dne 29. 9. 2008 je bilo potrjeno, da kandidatka izpolnjuje pogoje za neposreden prehod na doktorski Univerzitetni podiplomski študij bioloških in biotehniških znanosti ter opravljanja doktorata znanosti s področja biologije. Senat Univerze v Ljubljani je na predlog Biotehniške fakultete in študijske komisije Oddelka za biologijo dne 12. 11. 2009 odobril temo doktorske disertacije z naslovom Primarna proizvodnja, razgradnja in glivna kolonizacija izbranih rastlinskih vrst na presihajočem Cerknškem jezeru. Za mentorico je imenoval prof. dr. Alenko Gaberščik.

Doktorsko delo je bilo opravljeno na Oddelku za biologijo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani. Laboratorijski del raziskav je bil opravljen v laboratorijih Katedre za ekologijo in varstvo okolja ter Katedre za fiziologijo rastlin, Oddelek za biologijo, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Marjana REGVAR
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

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

Član: prof. dr. Mitja KALIGARIČ
Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Oddelek za biologijo

Datum zagovora: 4. 7. 2013

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

Nataša Dolinar,
univ. dipl. biologinja

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Dd
DK UDK 581.5:502:582.542(497.4 Cerknško jezero)(043.3)=163.6
KG presihajoče mokrišče/spremembe vodostaja/*Phragmites australis*/primarna proizvodnja/razgradnja/glivna kolonizacija
AV DOLINAR (TADINA), Nataša, univ. dipl. biol.
SA GABERŠČIK, Alenka (mentor)
KZ SI-1000 Ljubljana, Večna pot 111
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Podiplomski študij bioloških in biotehniških znanosti, področje biologije
LI 2013
IN PRIMARNA PROIZVODNJA, RAZGRADNJA IN GLIVNA KOLONIZACIJA IZBRANIH RASTLINSKIH VRST NA PRESIHAJOČEM CERKNIŠKEM JEZERU
TD Doktorska disertacija
OP XVI, 102 str., 21 pregl., 40 sl., 19 pril., 161 vir.
IJ sl
JI sl/en
AI Spremembe vodostaja pomembno vplivajo na življenjske združbe in procese na Cerknškem jezeru. V okviru doktorske disertacije smo preučevali vpliv sprememb vodostaja na primarno proizvodnjo, razgradnjo in glivno kolonizacijo vrste *Phragmites australis* ter nekaterih drugih vrst. Nadzemna biomasa *P. australis* dosega na Cerknškem jezeru vrednosti od 200 do 1600 g/m² in je povezana predvsem z jesenskim in spomladanskim vodostajem. Visok vodostaj v jesenskem času skrajša rastno sezono, kar pomeni manjše akumuliranje fotosintatov v podzemne rizome, ki na začetku naslednje rastne sezone omogočajo novo rast. V spomladanskem času pa z vodo zaliti mladi poganjki porabijo veliko energije za hitro rast v višino, saj šele nad vodo razvijejo asimilacijske površine. Razgradnja *P. australis* je bila najhitrejša v vodi ($k_{\text{steblo}}=0,049$; $k_{\text{listi}}=0,385$) in najpočasnejša na suhem ($k_{\text{steblo}}=0,024$; $k_{\text{listi}}=0,050$) ter je potekala značilno različno glede na število dni, ko so bili vzorci v vodi. Glivna kolonizacija korenin navadnega trsta je upadla, ko so bile korenine zalite z vodo. Zabeležili smo sezonsko težnjo naraščanja obsega in intenzitete glivne kolonizacije proti koncu sezone. Obseg glivne kolonizacije se navadno poveča, kadar ima rastlina povečane potrebe po hranilih, kar je pri vrsti *P. australis* tudi jeseni, ko se fotosintati akumulirajo v rizomih. Glivno kolonizacijo smo našli tudi v koreninah vrst *Phalaris arundinacea*, *Carex elata*, *Senecio paludosus*, *Schoenus nigricans*, *Schoenus ferrugineus*, *Plantago altissima* in *Leucosium aestivum*, ne glede na hidrolški gradient. Z nizko glivno kolonizacijo korenin je najbolj izstopal *C. elata*, kar je verjetno povezano s specifično morfologijo enoceličnih koreninskih laskov, ki se pojavljajo pri tej vrsti.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dd
DC UDC 581.5:502:582.542(497.4 Cerknško jezero)(043.3)=163.6
CX intermittent wetland/water level changes/*Phragmites australis*/primary production/decomposition/fungal colonization
AU DOLINAR (TADINA), Nataša
AA GABERŠČIK, Alenka (supervisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Večna pot 111
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Postgraduate Study of Biological and Biotechnical Sciences, Field: Biology
PY 2013
TI PRIMARY PRODUCTION, DECOMPOSITION AND FUNGAL COLONIZATION OF SELECTED PLANT SPECIES IN LAKE CERKNICA
DT Doctoral dissertation
NO XVI, 102 p., 21 tab., 40 fig., 19 ann., 161 ref.
LA sl
AL sl/en
AB Water level changes have a great influence on Lake Cerknica's biota and processes. Within the postgraduate research framework we studied the effect of water level changes on primary production, decomposition and fungal colonization of *Phragmites australis* and some other species. Aboveground biomass of *P. australis* ranged from 200 to 1600 g/m² and was influenced by autumn and spring water level. High autumn water level shortens the growing season which affects nutrient accumulation into underground rhizomes. High spring water level accelerates the growth of *P. australis* culms without leaves on the submerged part of the culm. Decomposition rate of *P. australis* was the fastest when litter was placed into water ($k_{\text{culms}}=0,049$; $k_{\text{leaves}}=0,385$), and the slowest when litter was dry ($k_{\text{culms}}=0,024$; $k_{\text{leaves}}=0,050$) and was significantly correlated with number of days when samples were submerged. Fungal root colonization was reduced when roots were submerged, otherwise an increasing trend toward the end of growing season was observed. The extent of fungal root colonization was usually the greatest in time of largest plant needs for nutrients, which was in line with *P. australis* autumn accumulation into rhizomes. Fungal root colonization was also observed in species *Phalaris arundinacea*, *Carex elata*, *Senecio paludosus*, *Schoenus nigricans*, *Schoenus ferrugineus*, *Plantago altissima* and *Leucojum aestivum*, but the hydrologic gradient appeared to have no effect. Fungal root colonization was especially low in *C. elata*, which was probably because of its specific one-cell root hair morphology.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VIII
KAZALO SLIK	X
KAZALO PRILOG	XIV
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	XVI
1 UVOD	1
2 PREGLED OBJAV	2
2.1 Značilnosti presihajočih mokrišč	2
2.1.1 Hidrološke značilnosti	2
2.1.2 Razmere v presihajočih mokriščih	3
2.2 Primarna proizvodnja v mokriščih	4
2.2.1 Vpliv hidroloških značilnosti mokrišč na primarno proizvodnjo	5
2.2.2 Rast in razvoj navadnega trsta	6
2.3 Razgradnja v mokriščih	8
2.3.1 Dejavniki razgradnje	8
2.3.2 Potek razgradnje v mokriščih	9
2.3.3 Makro- in mikronutrienti v procesu razgradnje	9
2.3.4 Preučevanje razgradnje in s tem povezani problemi	11
2.4 Glivna kolonizacija v mokriščih	12
2.4.1 Mikoriza, endofiti ali paraziti?	12
2.4.2 Endofitske glive v rastlinskih koreninah, njihove značilnosti in ekološka vloga	14
2.4.3 Mikorizne glive, njihove značilnosti in ekološka vloga	16
2.4.4 Posebnosti glivne kolonizacije v mokriščih	18
3 MATERIAL IN METODE	21
3.1 Mesto raziskav	21
3.1.1 Značilnosti Cerknškega polja in jezera	21
3.1.2 Posegi v vodostaj Cerknškega jezera v 20. stoletju	24
3.1.3 Vegetacija Cerknškega jezera	25
3.1.4 Opis vzorčnih mest	27
3.2 Primarna proizvodnja navadnega trsta	28
3.2.1 Vzorčenje biomase navadnega trsta	28
3.2.2 Vodostaji in temperatura v preučevanih letih	29
3.2.3 Statistična analiza	31

3.3	Razgradnja rastlinskega materiala	32
3.3.1	Izvedba poskusa razgradnje navadnega trsta in togega šaša.....	32
3.3.2	Izračun parametrov razgradnje	33
3.3.3	Elementna analiza rastlinskega ostanka z rentgensko fluorescenčno spektrometrijo	34
3.3.4	Statistična analiza	34
3.4	Glivna kolonizacija	35
3.4.1	Vzorčenje in vodostaj	35
3.4.2	Ocena glivne infekcije	36
3.4.3	Fiziološke meritve.....	38
3.4.4	Statistična analiza	39
4	REZULTATI	40
4.1	Primarna proizvodnja navadnega trsta v odvisnosti od okoljskih dejavnikov.....	40
4.1.1	Biomasa in rastni parametri navadnega trsta	40
4.1.2	Vpliv okoljskih dejavnikov na biomaso navadnega trsta	44
4.2	Razgradnja navadnega trsta in togega šaša in povezava z vodostajem.....	50
4.2.1	Razgradnja stebel in listov navadnega trsta na različnih mikrolokacijah glede na vodne razmere	50
4.2.2	Razgradnja togega šaša.....	54
4.2.3	Primerjava hitrosti razgradnje navadnega trsta in togega šaša	55
4.2.4	Vpliv vodostaja na razgradnjo navadnega trsta	56
4.2.5	Elementna analiza navadnega trsta in togega šaša pred in po razgradnji	57
4.3	Glivna kolonizacija v odvisnosti od sprememb vodostaja	60
4.3.1	Glivna kolonizacija navadnega trsta in vpliv vodostaja	60
4.3.2	Sezonsko spremljanje glivne kolonizacije trstične pisanke.....	68
4.3.3	Glivna kolonizacija vrst izbranih glede na hidrološki gradient	69
5	RAZPRAVA IN SKLEPI	72
5.1	Primarna proizvodnja navadnega trsta.....	72
5.1.1	Primerjava primarne proizvodnje navadnega trsta glede na vzorčno mesto	72
5.1.2	Primerjava rastnih parametrov navadnega trsta glede na vzorčno mesto	73
5.1.3	Vpliv vodostaja in temperature na biomaso navadnega trsta	74
5.2	Razgradnja navadnega trsta in togega šaša	76
5.2.1	Upad suhe mase	76
5.2.2	Vpliv vodostaja na razgradnjo navadnega trsta	77
5.2.3	Koncentracije elementov pred in po razgradnji navadnega trsta in togega šaša	78
5.3	Glivna kolonizacija	80
5.3.1	Prisotnost glivne kolonizacije v koreninah navadnega trsta	80
5.3.2	Vpliv vodostaja in sezonske spremembe glivne kolonizacije navadnega trsta	80
5.3.3	Glivna kolonizacija izbranih vrst glede na hidrološki gradient	82

5.4	Sklepi.....	84
6	POVZETEK (SUMMARY)	86
6.1	Povzetek	86
6.2	Summary	88
7	VIRI.....	91
	ZAHVALA	
	PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Klasifikacija občasnih mokrišč glede na predvidljivost in trajanje poplav. Povzeto po Boulton in Brock, 1999: 150 in Yavercovski in sod., 2004: 13	2
Preglednica 2: Primarna proizvodnja različnih tipov mokrišč ter primarna proizvodnja navadnega trsta (<i>Phragmites australis</i>)	4
Preglednica 3: Mesečne konstante razgradnje za različna mokrišča in rastlinske vrste	12
Preglednica 4: Primerjava in značilnosti mikoriznih, parazitskih in endofitskih odnosov med glivami in rastlinami. Povzeto po Brundrett, 2004: 477	13
Preglednica 5: Razdelitev endofitskih gliv glede na kriterije gostitelja. Povzeto po Rodriguez in sod., 2009: 315	15
Preglednica 6: Značilnosti tal na posameznih vzorčnih mestih. N=3. Različne črke označujejo statistično značilne razlike med lokacijami. NZ ni značilnih razlik	27
Preglednica 7: Rastni parametri navadnega trsta v letih 2007-2011. DU Dujice, GJ Gorenje Jezero, ZK Zadnji kraj. N=5, podatki so povprečja \pm SD. Različne črke označujejo statistično značilne razlike. NZ – ni značilno	41
Preglednica 8: Pearsonovi korelacijski koeficienti med rastnimi parametri navadnega trsta za vsa vzorčna mesta skupaj. N=75. * označuje statistično značilno korelacijo.....	42
Preglednica 9: Pearsonovi korelacijski koeficienti med rastnimi parametri navadnega trsta na vzorčnem mestu Dujice. N=25. * označuje statistično značilno korelacijo. S sivo so označene korelacije, ki so značilne samo za Dujice	42
Preglednica 10: Pearsonovi korelacijski koeficienti med rastnimi parametri navadnega trsta na vzorčnem mestu Gorenje Jezero. N=25. * označuje statistično značilno korelacijo. S sivo barvo so označene korelacije, ki so značilne samo za Gorenje Jezero	43
Preglednica 11: Pearsonovi korelacijski koeficienti med rastnimi parametri navadnega trsta na vzorčnem mestu Zadnji kraj. N=25. * označuje statistično značilno korelacijo. S sivo barvo so označene korelacije, ki so značilne samo za Zadnji kraj	43
Preglednica 12: Vodostaji za posamezen letni čas (J-jesen, Z-zima, Pom-pomlad, Pol-poletje) in biomasa na Gorenjem Jezeru ter Zadnjem kraju uvrščeni v 5 razredov (desno)	44
Preglednica 13: Koeficienti linearne regresije za biomaso navadnega trsta na Gorenjem Jezeru	49

Preglednica 14: Koeficienti linearne regresije za biomaso navadnega trsta na Zadnjem kraju.....	50
Preglednica 15: Mesečne konstante stopnje razgradnje k za končni upad biomase. Različne črke označujejo statistično značilne razlike (primerjava glede na razmere na mikrolokaciji)	55
Preglednica 16: Razpolovni časi za posamezni rastlinski material. Različne črke označujejo statistično značilne razlike	56
Preglednica 17: Spearmanovi koeficienti korelacije med konstantami stopnje razgradnje k ter številom dni, ko so bili vzorci potopljeni. $N=60$ za navadni trst, $N=20$ za togi šaš, * označuje $p<0,05$. NZ – ni značilno.....	56
Preglednica 18: Koncentracije posameznih elementov v rastlinskih vzorcih pred razgradnjo. $N=4$, podatki so povprečja \pm SD. Različne črke označujejo statistično različne podatke. NZ – ni značilno.....	58
Preglednica 19: Rastni parametri preučevanih trstov leta 2008. $N=5$, podatki so povprečja \pm SD. Med podatki z različnimi črkami so statistično značilne razlike.....	60
Preglednica 20: Spearmanovi koeficienti korelacije med parametri glivne kolonizacije in povprečnim 7-dnevnim vodostajem pred vzorčenjem. $N=65$, * označuje $p<0,05$	67
Preglednica 21: Parametri glivne kolonizacije (mediane) vrst izbranih glede na hidrološki gradient. Vrstni red v tabeli odraža pojavljanje rastlinskih vrst glede na spremembe vodostaja na Cerknškem jezeru, za primerjavo so dodani Ellenbergovi indeksi okoljskih parametrov. 10 največ, 1 najmanj, x nima vpliva, / ni podatka	70

KAZALO SLIK

Slika 1: Model, ki prikazuje glavne vplive na povečanje ali zmanjšanje rasti dreves v obrežnih poplavnih gozdovih. Povzeto po Mitsch in Gosselink, 2007: . + pozitiven vpliv, - negativen vpliv	5
Slika 2: Shematski prikaz razvoja navadnega trsta od faze shranjevanja zalog v rizome do faze največje nadzemne biomase. S celo črto so prikazane mediane povprečnih mesečnih vodostajev, z zgornjo in spodnjo prekinjeno črto pa največje in najmanjše vrednosti povprečnih mesečnih vodostajev na merilni postaji Gorenje Jezero od leta 1954 do leta 2010.....	7
Slika 3: Model odnosov med rastlinami in mikoriznimi glivami glede na dostopnost dušika in fosforja v tleh. Povzeto po Johnson, 2010: 636. C ogljik, N dušik, P fosfor, ↑ večje, ↓ manjše	17
Slika 4: Zemljevid Cerknškega jezera s poudarjenimi nekaterimi hidrološkimi značilnostmi (povzeto po Podrobnejši načrt upravljanja..., 2009: 36). ● izvir, ■ estavelna področja, ■ ponorna področja; ● vzorčna mesta: 1 Dujice, 2 Gorenje Jezero, 3 Zadnji kraj in 4 Rešeto	22
Slika 5: Razpon vodostajev za vsak dan v letu, predstavljeni v obliki škatel z ročaji. Merilno mesto na Gorenjem Jezeru. N=65. Podatki Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO). ° prikazuje osamelce	23
Slika 6: Razpon vodostaja v posameznem letu na merilnem mestu Gorenje Jezero od 1954 do 2010 (brez leta 1961). N=365. Podatki ARSO. ° prikazuje osamelce, * prikazuje ekstremne osamelce	23
Slika 7: Povprečni letni vodostaji na merilnem mestu Gorenje Jezero po približno desetletnih obdobjih.....	24
Slika 8: Dendrogram letnih vodostajev (metoda povprečne povezanosti), z dopisanimi rangiranimi vodostaji za posamezen letni čas (J-jesen, Z-zima, Pm-pomlad, Pl-poletje) na levi strani. Intenziteta sive barve ustreza stopnjam 1-5 (razlaga v besedilu na strani 30). V krepko označenih letih je potekalo vzorčenje biomase navadnega trsta.....	30
Slika 9: Razpon povprečnih mesečnih temperatur izmerjenih na vremenski postaji Postaji od leta 1986 do 2010. N=25. ° prikazuje osamelec (<i>outlier</i>),*ekstremni osamelec	31
Slika 10: Vodostaj na merilnem mestu Gorenje Jezero v času poskusa razgradnje z označenimi datumi posameznih vzorčenj.....	33
Slika 11: Vodostaj na merilnem mestu Gorenje jezero leta 2008 z datumi vzorčenja korenin navadnega trsta za preučevanje glivne kolonizacije	35

Slika 12: Vodostaj na merilnem mestu Gorenje jezero leta 2009 z datumi vzorčenja korenin navadnega trsta za preučevanje glivne kolonizacije	36
Slika 13: Nadzemna biomasa navadnega trsta v letih 1986, 1987, 1997, 2002-2011 na vzorčnih mestih Dujice, Gorenje Jezero in Zadnji kraj. N=5, podatki so povprečja ± SD. Razlike v biomasi so statistično opredeljene za leta 2007-2011. Različne črke označujejo statistično različne podatke	40
Slika 14: Leta, v katerih je potekalo vzorčenje nadzemne biomase navadnega trsta, razporejena v dendrogram (metoda povprečne povezanosti) (levo)	44
Slika 15: Biomasa navadnega trsta na Gorenjem Jezeru v odvisnosti od povprečnega vodostaja v aprilu. Dodana je linearna trendna črta, katere enačba je v spodnjem desnem kotu. N=10	45
Slika 16: Biomasa navadnega trsta na Gorenjem Jezeru v odvisnosti od povprečnega vodostaja v juniju. Dodana je linearna trendna črta, katere enačba je v spodnjem desnem kotu. N=10	46
Slika 17: Biomasa navadnega trsta na Zadnjem kraju v odvisnosti od povprečnega vodostaja v decembru. Dodana je linearna trendna črta, katere enačba je v spodnjem desnem kotu. N=10	47
Slika 18: Biomasa navadnega trsta na Zadnjem kraju v odvisnosti od povprečnega vodostaja v maju. Dodana je linearna trendna črta, katere enačba je v spodnjem desnem kotu. N=10.....	47
Slika 19: Biomasa navadnega trsta na Gorenjem Jezeru v odvisnosti od povprečne temperature v oktobru. Dodana je linearna trendna črta, katere enačba je v spodnjem desnem kotu. N=10	48
Slika 20: Biomasa navadnega trsta na Gorenjem Jezeru v odvisnosti od povprečne temperature v marcu. Dodana je linearna trendna črta, katere enačba je v spodnjem desnem kotu. N=10	48
Slika 21: Upad suhe mase stebel (zgoraj) in listov (spodaj) navadnega trsta v treh okoljih glede na vodne razmere. N=4. Različne črke označujejo statistično značilne razlike, NZ – ni značilno	51
Slika 22: Spremembe v konstanti stopnje razgradnje k za razgradnjo stebel navadnega trsta v suhih, izmenjujoče se suhih/mokrih ter mokrih razmerah. Puščice označujejo dan vzorčenja. Črke označujejo značilno različne konstante stopnje razgradnje v posameznih razmerah (suhih, izmenjujoče se suhih/mokrih, mokrih) za obdobje med dvema vzorčenjema. NZ – ni značilnih razlik. — - vzorci na suhem, - - - - vzorci v vodi	52
Slika 23: Spremembe v konstanti stopnje razgradnje k pri razgradnji listov navadnega trsta v suhih, izmenjujoče se suhih/mokrih ter mokrih razmerah. Puščice označujejo dan vzorčenja. Črke označujejo značilno različne konstante	

stopnje razgradnje v posameznih razmerah (suhih, izmenjujoče se suhih/mokrih, mokrih) za obdobje med dvema vzorčenjema. NZ – ni značilnih razlik. — - vzorci na suhem, - - - - vzorci v vodi	53
Slika 24: Upad suhe mase togega šaša v suhih razmerah. N=4.....	54
Slika 25: Spremembe v koeficientu k za razgradnjo togega šaša v suhih razmerah	55
Slika 26: Delež začetne mase posameznih elementov po 120 dneh razgradnje na treh mikrolokacijah. N=4. Različne črke označujejo statistično značilne razlike. Črke a, b, c označujejo statistično značilne razlike pri steblu, črke x, y, z pa pri listih navadnega trsta	59
Slika 27: Glivne strukture opažene v koreninah navadnega trsta: zgoraj levo koloniziran fragment (11. 9. 2008, Dujice); zgoraj sredina arbuskul (19. 8. 2008, Zadnji kraj); zgoraj desno vezikli (29. 7. 2008, Zadnji kraj); spodaj levo mikrosklerociji (10. 6. 2008, Gorenje Jezero); spodaj desno svitek (29. 7. 2008, Gorenje Jezero).....	61
Slika 28: Sezonske spremembe v deležu koloniziranih fragmentov (F %) korenin navadnega trsta na vzorčnih mestih Dujice, Gorenje Jezero in Zadnji kraj. N=5. Različne črke pri posameznih vzorčnih mestih označujejo statistično značilne razlike med datumi. Črke a, b, c opisujejo značilne razlike na Dujicah, črke m, l na Gorenjem Jezeru, črke x, y, z na Zadnjem kraju. ° prikazuje osamelce, * prikazuje ekstremne osamelce	62
Slika 29: Intenziteta glivne kolonizacije (M %) korenin navadnega trsta na vzorčnih mestih Dujice, Gorenje Jezero in Zadnji kraj. N=5. ° prikazuje osamelce, * prikazuje ekstremne osamelce	63
Slika 30: Intenziteta glivne kolonizacije v delu fragmenta z glivno kolonizacijo (m %) korenin navadnega trsta na vzorčnih mestih Dujice, Gorenje Jezero in Zadnji kraj. N=5. ° prikazuje osamelce, * prikazuje ekstremne osamelce	63
Slika 31: Gostota arbuskulov (A %) v koreninah navadnega trsta na vzorčnih mestih Dujice, Gorenje Jezero in Zadnji kraj. N=5. ° prikazuje osamelce, * prikazuje ekstremne osamelce	64
Slika 32: Gostota arbuskulov (a %) v delu fragmenta z glivno kolonizacijo pri navadnem trstu na vzorčnih mestih Dujice, Gorenje Jezero in Zadnji kraj. N=5. Različne črke pri posameznih vzorčnih mestih označujejo statistično značilne razlike med datumi. ° prikazuje osamelce, * prikazuje ekstremne osamelce.....	64
Slika 33: Frekvenca glivne kolonizacije (F %) korenin navadnega trsta. N=10. Med datumi z različnimi črkami so statistično značilne razlike. ° prikazuje osamelce	65
Slika 34: Intenziteta glivne kolonizacije (M %) korenin navadnega trsta. N=10. ° prikazuje osamelce, * prikazuje ekstremne osamelce	66

Slika 35: Intenziteta glivne kolonizacije v delu fragmenta z glivno kolonizacijo (m %) korenin navadnega trsta. N=10. Različne črke pri posameznih vzorčnih mestih označujejo statistično značilne razlike med datumi. * prikazuje ekstremne osamelce	66
Slika 36: Frekvenca glivne kolonizacije (F %) korenin navadnega trsta v odvisnosti od povprečnega vodostaja 7 dni pred vzorčenjem. N=65	67
Slika 37: Intenziteta glivne kolonizacije (M %) korenin trstične pisanke. N=10. Različne črke označujejo statistično značilne razlike med datumi. ° prikazuje osamelec	68
Slika 38: Intenziteta glivne kolonizacije v delu fragmenta z glivno kolonizacijo (m %) korenin navadnega trsta. N=10. Različne črke označujejo statistično značilne razlike med datumi. ° prikazuje osamelec	69

KAZALO PRILOG

- Priloga A1 Hidrološke razmere v letih vzorčenja nadzemne biomase navadnega trsta
- Priloga A2 Povprečna mesečna temperatura na vremenski postaji Postojna v letih vzorčenja nadzemne biomase navadnega trsta
- Priloga B Korelacijski koeficienti med biomaso navadnega trsta in povprečno mesečno temperaturo, mesečnimi vodostaji in spremembami vodostaja na preučevanih vzorčnih mestih za vsa preučevana leta (N=12, značilne korelacije, kjer je $p < 0,05$, so označene z *)
- Priloga C1 Pearsonovi korelacijski koeficienti med povprečnimi mesečnimi vodostaji in biomaso navadnega trsta brez podatkov za 1997 in 2003. N=10. Značilne korelacije, kjer je $p < 0,05$, so označene z *
- Priloga C2 Spearmanovi korelacijski koeficienti med biomaso in številom sprememb vodostaja brez podatkov za 1997 in 2003. N=10
- Priloga C3 Pearsonovi korelacijski koeficienti med povprečno mesečno temperaturo in biomaso navadnega trsta brez podatkov za 1997 in 2003. N=10. Značilne korelacije, kjer je $p < 0,05$, so označene z *
- Priloga D Durbin-Watsonov preizkus za linearno regresijo nadzemne biomase in okoljskih dejavnikov na Gorenjem Jezeru in Zadnjem kraju
- Priloga E Spremembe v konstanti stopnje razgradnje k za razgradnjo stebel navadnega trsta v suhih, izmenjujoče se suhih/mokrih ter mokrih razmerah. Črke označujejo značilno različne konstante stopnje razgradnje v posameznih razmerah (suhih, izmenjujoče se suhih/mokrih, mokrih) za obdobje med dvema vzorčenjema. NZ – ni značilnih razlik. Podatki so povprečja \pm SD. N=4
- Priloga F Koncentracije elementov v steblih in listih navadnega trsta in togem šašu po 4 mesecih razgradnje na mikrolokacijah z različnimi razmerami. N=4. Različne črke označujejo statistično značilne razlike. NZ – ni značilno
- Priloga G Sezonsko spremljanje glivne kolonizacije korenin navadnega trsta leta 2008 na vzorčnih mestih Dujice, Gorenje Jezero in Zadnji kraj; gostota veziklov v celem (V %) in koloniziranem delu fragmenta (v %), gostoti svitkov v celem (S %) in koloniziranem delu fragmenta (s %), gostoti mikrosklerocijev v celem (MS %) in koloniziranem delu fragmenta (ms %) N=5. ° prikazuje osamelce, * prikazuje ekstremne osamelce
- Priloga H Statistično značilne razlike v rastnih in mikoriznih parametrih med vzorčnimi mesti Dujice, Gorenje Jezero in Zadnji kraj za vse datume. Različne črke označujejo statistično značilne razlike, kjer je $p < 0,05$

- Priloga I1 Rastni parametri in posamezni fiziološki parametri preučevanih trstov (N=10, med podatki z različnimi črkami so statistično značilne razlike)
- Priloga I2 Sezonsko spremljanje glivne kolonizacije korenin navadnega trsta na Zadnjem kraju leta 2009, gostota veziklov v celem (V %) in koloniziranem delu fragmenta (v %) ter mikrosklerocijev v celem (MS %) in koloniziranem delu fragmenta (ms %) (N=10; med datumi z različnimi črkami so statistično značilne razlike), gostote arbuskulov in svitov so bile 0 %. ° prikazuje osamelce, * prikazuje ekstremne osamelce
- Priloga J Gostota arbuskulov in veziklov v celem (A %, V %) in koloniziranem delu fragmenta (a %, v %) korenin navadnega trsta v odvisnosti od povprečnega vodostaja 7 dni pred vzorčenjem. Spearmanovi korelacijski koeficienti za te parametre so podani v Preglednici 20. N=65. Dodana je linearna trendna črta z enačbo podano v spodnjem levem kotu
- Priloga K1 Rastni parametri in posamezni fiziološki parametri preučevanih rastlin trstične pisanke (N=10, med podatki z različnimi črkami so statistično značilne razlike)
- Priloga K2 Sezonsko spremljanje glivne kolonizacije trstične pisanke leta 2009. N=10; med datumi z različnimi črkami so statistično značilne razlike. ° prikazuje osamelce, * prikazuje ekstremne osamelce
- Priloga L Glivna kolonizacija *Schoenus ferrugineus* in *S. nigricans*. N=10; med datumi z različnimi črkami so statistično značilne razlike. ° prikazuje osamelce, * prikazuje ekstremne osamelce
- Priloga M1 Rastni in fiziološki parametri vrst z območja Cerknškega jezera izbranih za preučevanje glivne kolonizacije
- Priloga M2 Glivna kolonizacija rastlinskih vrst izbranih glede na hidrološki gradient. N=10. ° prikazuje osamelce, * prikazuje ekstremne osamelce

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

DNK	deoksiribonukleinska kislina
DSE	temno septirani endofiti
SS	suha snov
XRF	rentgenska fluorescenca

1 UVOD

Presihajoče Cerkniško jezero je zaradi svojih hidrogeoloških značilnosti edinstveno v svetovnem merilu in predstavlja dober model za preučevanje delovanja ekosistema v hitro spreminjajočih se hidroloških razmerah. Do nedavnega bolj predvidljive spremembe dandanes izgubljajo svoj sezonski značaj. Nepredvidljivost je tako dodaten dejavnik, ki zapleta odnose med neživim in živim okoljem v ekosistemu Cerkniškega jezera, zaradi česar je dobro poznavanje njegovega delovanja še pomembnejše.

Hidrološke značilnosti so ključni dejavnik, ki določajo in oblikujejo življenjske združbe v vseh mokriščih. Nivo vode v času rastne sezone ter trajanje in obseg poplav in sušnih obdobij vplivajo na primarno proizvodnjo, razgradnjo in življenjske cikle organizmov v teh ekosistemih. V okviru doktorskega dela smo ekosistemske procese v presihajočem Cerkniškem jezeru preučevali z vidika spreminjanja vodostaja. Pri tem smo se osredotočili na dva poglobljena procesa, ki v ekosistemih določata kroženje in prenos hranil: primarno proizvodnjo in razgradnjo. Kot dodaten vidik smo preučili še glivno kolonizacijo korenin rastlin, saj so glive organizmi, katerih vloga je tudi v mokriščih vedno bolj prepoznavna in predstavljajo pomemben člen v kroženju hranil in pretoku energije. Pri delu smo si postavili naslednje hipoteze:

- Spremembe vodostaja so glavni okoljski dejavnik, ki vpliva na primarno proizvodnjo navadnega trsta, s primerjavo primarne proizvodnje v različnih letih in med vzorčnimi mesti z različnimi spremembami vodostaja bomo ta vpliv lahko natančneje opredelili.
- Razgradnja rastlinskega materiala je na vzorčnih mestih z različnimi spremembami vodostaja različna.
- Glivna kolonizacija korenin rastlin je prisotna v različnih habitatih Cerkniškega jezera, spremembe vodostaja pa vplivajo na pogostost in morfologijo glivne kolonizacije.

2 PREGLED OBJAV

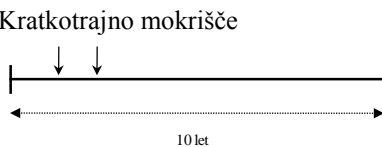
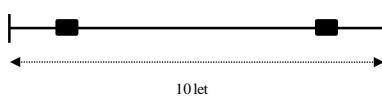
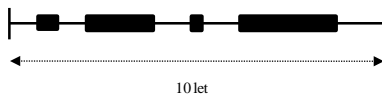
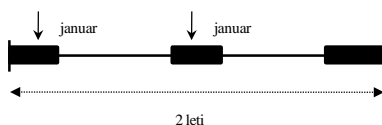

2.1 ZNAČILNOSTI PRESIHAJOČIH MOKRIŠČ

2.1.1 Hidrološke značilnosti

Naravna trajno poplavljena mokrišča so redka, skoraj v vseh mokriščih prihaja do manjših ali večjih, bolj ali manj pogostih, daljših ali krajših poplav (Mitsch in Gosselink, 2007). Hidrološke značilnosti občasnih mokrišč najbolje opišemo, če jih opredelimo s stališča predvidljivosti in trajanja poplav (Boulton in Brock, 1999), kot je prikazano v Preglednici 1.

Preglednica 1: Klasifikacija občasnih mokrišč glede na predvidljivost in trajanje poplav. Povzeto po Boulton in Brock, 1999: 150 in Yavercovski in sod., 2004: 13

Table 1: Classification scheme for temporary wetlands considering predictability and duration of flooding (based on Boulton and Brock, 1999: 150; Yavercovski et al., 2004: 13)

Režim poplavljanja	Predvidljivost in trajanje poplav
<p>Kratkotrajno mokrišče</p> 	<p>Mokrišče se napolni med nepredvidljivim dežjem in hitro presahne. Nekajdnevne poplave redko omogočajo obstoj makroskopskih vodnih združb</p>
<p>Občasno mokrišče</p> 	<p>Mokrišče je suho 9 od 10 let, posamezne nepredvidljive poplave lahko trajajo nekaj mesecev</p>
<p>Presihajoče mokrišče</p> 	<p>Izmenjujejo se mokra in suha obdobja, vendar redkeje kot v sezonskih mokriščih. Poplavljeni je lahko več mesecev ali let</p>
<p>Sezonsko mokrišče</p> 	<p>Mokra in suha obdobja se sezonsko in predvidljivo izmenjujejo, kar omogoča, da makroskopske živalske in rastlinske združbe zaključijo vodne faze življenjskega cikla</p>
<p>Skoraj trajno mokrišče</p> 	<p>Kljub spremembam vodostaja so poplave predvidljive. V 9 od 10 let je dotok vode večji kot odtok. Večina organizmov ni prilagojenih na izsušitev</p>

Spremembe vodostaja so glavna gonilna sila, ki vpliva na fizikalne, kemijske in biološke značilnosti presihajočih mokrišč. Zmenjevanje mokrih in sušnih obdobj ima velik vpliv tako na procese povezane s hranili, kot sta primarna proizvodnja in razgradnja, kot na življenjsko združbo (Boulton in Brock, 1999).

2.1.2 Razmere v presihajočih mokriščih

Ko tla v mokriščih zalije voda, se razvijejo anoksične razmere. Voda izpodrine zrak in zalije prostore med delci tal, difuzija kisika v vodi pa je približno 10000-krat manjša. V nekaj urah do nekaj dneh so razmere hipoksične (manj kot 2 mg O₂/l) in nato anoksične. Biogeokemično kroženje elementov je v anoksičnih razmerah drugačno, rezultat transformacij dušika, žvepla, železa, mangana, ogljika in fosforja pa so lahko toksične spojine (Mitsch in Gosselink, 2007). Kljub temu kisik iz poplavljenih tal navadno ne izgine v celoti. Vrhnja plast tal ostane oksidirana, debelina te plasti pa je neposredno odvisna od izmenjave kisika na gladini vode, proizvodnje kisika zaradi fotosinteze alg v vodi in porabe kisika zaradi aerobnih mikrobov (Keddy, 2010). V zalitih sedimentih se kisik pojavlja tudi v koreninski rizosferi. Mokriščne rastline imajo razvito aerenhimatsko tkivo, ki omogoča prezračevanje rizomov, s čemer ohranjajo ugodne razmere tudi v koreninah (Cronk in Fennessy, 2001; Dickopp in sod, 2011). Z radialnim izhajanjem iz korenin pa je koncentracija kisika večja tudi v njihovi rizosferi (Sasikala in sod., 2009).

V občasnih mokriščih se poplavna in sušna obdobja večkrat zamenjajo, prav tako pa tudi oksične in anoksične razmere v tleh (Boulton in Brock, 1999). Ponavljajoče se oksidacije lahko povzročijo bistvene spremembe predvsem v kroženju fosforja. Z večkratnim izmenjevanjem poplav in suš pride do t.i. staranja mineralov, ko je vedno več amorfnih železovih oksihidroksidov v kristalni obliki, kar pomeni, da je njihova kapaciteta za vezavo ortofosfata zmanjšana (Baldwin in sod., 2000). Po drugi strani pa ponavljajoče se poplavljanje in izsuševanje sedimentov vpliva na združbo mikroorganizmov, ki ob prisotnosti kisika fosfor hitro veže v biomaso, ob izsušitvi in ponovnem zalitju z vodo pa se ta fosfor spet sprosti v vodo (Boulton in Brock, 1999).

2.2 PRIMARNA PROIZVODNJA V MOKRIŠČIH

Primarna proizvodnja mokrišč je odvisna od več dejavnikov: predvsem tipa mokrišča in vegetacije, pa tudi hidroloških značilnosti, klime, tipa tal in dostopnosti hranil. Mokrišča, ki dobijo dodatna hranila s poplavljanjem ali z dotokom s kmetijskih površin, so bolj produktivna, kot tista, ki dobijo hranila le z deževnico. Primarna proizvodnja mokrišč je v primerjavi z drugimi naravnimi ekosistemi med višjimi, primerljiva je lahko celo z agrarnimi sistemi. Mokrišča z emergentno vegetacijo so navadno med najbolj produktivnimi, kar sta Rocha in Goulden (2009) pripisala večji učinkovitosti izrabe ogljika kot pri rastlinah iz drugih ekosistemov. Vrednosti za primarno proizvodnjo nekaterih mokrišč so podane v Preglednici 2.

Preglednica 2: Primarna proizvodnja različnih tipov mokrišč ter primarna proizvodnja navadnega trsta (*Phragmites australis*)

Table 2: Primary productivity of different types of wetlands and primary productivity of *Phragmites australis*

tip mokrišča/prevladujoča vrsta	nadz. biomasa (g SS/m ² leto)	podz. biomasa (g SS/m ² leto)	vir
šotno barje severne zemljepisne širine		100-2000	
sladkovodno mokrišče		900-5500	Mitsch in Gosselink, 2007
slano mokrišče	130-3700		
mangrove	1270-5400		
<i>Phragmites australis</i>			
jezero Fertó (Madžarska)	1950 ± 792	2803 ± 987	
delta Donave (Romunija)	2590 ± 230	4090 ± 757	
jezero Comana (Romunija)	4165 ± 750	11178 ± 5694	Brix in sod., 2001
jezero Tåkern (Švedska)	338 ± 53	4525 ± 1710	
Slotermeer (Nizozemska)	1305 ± 122	3577 ± 538	
Blejsko jezero (Slovenija)	1040	3640	Gaberščik-Kopušar in Martinčič, 1982
Cerkniško jezero (Slovenija)	133-700*	2400**	Gaberščik in sod., 2000

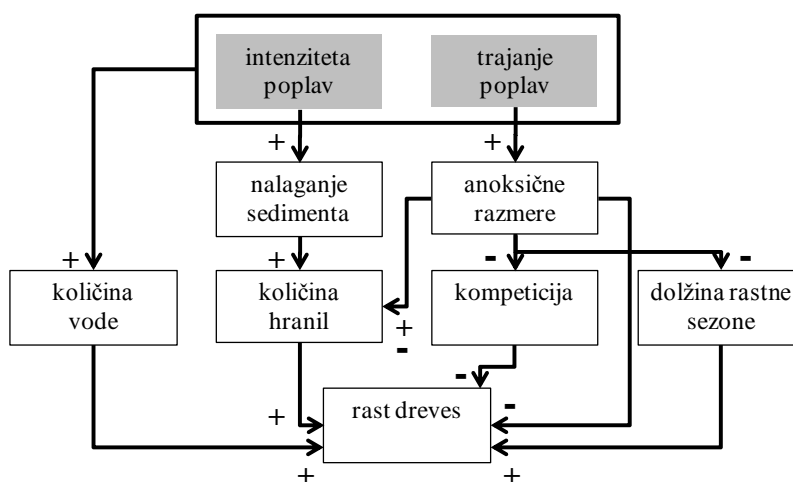
* Nadzemna biomasa na različnih lokacijah v letih 1986, 1987 in 1997, podatki so podrobneje obravnavani v doktorski disertaciji.

**Vzorčenje leta 2011 na Zadnjem kraju.

Merjenje primarne proizvodnje je pomembno z vidika razumevanja in vrednotenja ekosistemskih funkcij (Dolar in sod., 2010; Dolar in sod., 2011a) saj so od primarne proizvodnje odvisni vsi heterotrofni organizmi. S spremljanjem primarne proizvodnje lahko preučujemo sezonske in prostorske spremembe rasti (na primer Asaeda in sod., 2002) ali primerjamo različna mokrišča med sabo (na primer Hoeltje in Cole, 2009). S poznavanjem dinamike primarne proizvodnje lahko prepoznamo tiste gonilne in omejitvene dejavnike, ki najbolj spodbujajo ali zavirajo rast primarnih producentov (na primer McCormick in sod., 2010). Kot dejavnik, ki ima največji vpliv, so v številnih raziskavah označili prav hidrološke značilnosti mokrišča (na primer Edwards in sod., 2003; Hudon in sod., 2005; Smith in Brock, 2007).

2.2.1 Vpliv hidroloških značilnosti mokrišč na primarno proizvodnjo

Trajanje in frekvenca poplav kot hidrološka dejavnika imata največji vpliv na primarno proizvodnjo mokrišča. Dotok vode navadno pomeni dodatna hranila ali pripomore k izmenjavi raztopljenih hranil ter s tem vpliva na primarno proizvodnjo, daljše poplave pa lahko vodijo v anoksične razmere v tleh, ki lahko za rastline predstavljajo stres (Cronk in Fennessy, 2001). Vendar je treba upoštevati, da gre pri vplivih hidrološkega režima na mokrišča za zapleten splet pozitivnih in negativnih povratnih zank, ki sta jih v svojem modelu predstavila že Mitsch in Rust (1984, cit. po Mitsch in Gosselink, 2007) (Slika 1).



Slika 1: Model, ki prikazuje glavne vplive na povečanje ali zmanjšanje rasti dreves v obrežnih poplavnih gozdovih. Povzeto po Mitsch in Gosselink, 2007: 152. + pozitiven vpliv, - negativen vpliv
Figure 1: A model showing the main effects on tree growth in riparian flood forests. Mitsch and Gosselink, 2007: 152. + positive effect, - negative effect

Model kaže, da večja intenziteta poplav po eni strani pomeni več vode in več odloženega sedimenta in s tem hranil, kar pozitivno vpliva na rast, po drugi strani pa daljše trajanje poplav lahko pomeni anoksične razmere v območju korenin, kar lahko pozitivno ali negativno vpliva na dostopnost hranil, skrajša rastno sezono in negativno vpliva na kompeticijo, kar se odrazi na manjši rasti. Vplivi tako lahko samostojno ali v skupnem delovanju pomenijo hkrati prednosti in slabosti za primarno proizvodnjo mokrišča (Mitsch in Gosselink, 2007). V splošnem velja, da so mokrišča z izrazitimi cikličnimi spremembami vodostaja (t.i. »pulzirajoča mokrišča«) navadno tudi najproduktivnejša (Boulton in Brock, 1999).

Primarno proizvodnjo mokrišč lahko opišemo tudi s stališča pretočnosti. Mokrišča, v katerih voda stoji, so manj produktivna kot bolj pretočna mokrišča (Mitsch in Gosselink, 2007). Zvezo med pretočnostjo in primarno proizvodnjo lahko ponazorimo z negativno kvadratno funkcijo – nizko primarno proizvodnjo imajo mokrišča na obeh skrajnostih: zelo suha ali zelo mokra, z malo sezonskimi spremembami, visoko primarno proizvodnjo pa imajo mokrišča s srednjo količino vode, ki se glede na sezono spreminja (Cronk in Fennessy, 2001).

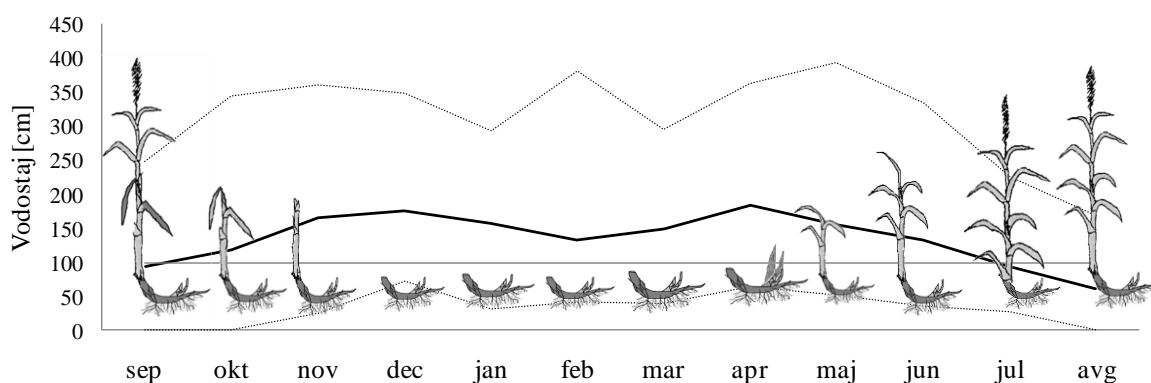
2.2.2 Rast in razvoj navadnega trsta

Navadni trst (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) je globalno razširjena trajnica iz družine trav. Pogost je v raznolikih mokriščih kot so močvirja, jezerski litorali, bregovi rek in estuarijev, kjer lahko uspeva v območjih – conah glede na plimovanje, valovanje, koncentracijo soli v vodi in v tleh ter redoks razmere v tleh (Clevering in Lissner, 1999).

Ekosistemi z navadnim trstom imajo navadno veliko nadzemno biomaso in letno primarno proizvodnjo. Vrednosti največjih biomas, ki jih navadni trst doseže v nekaterih evropskih mokriščih, so prikazane v Preglednici 2. Vrednosti primarne proizvodnje in vzorci rasti skozi sezono se med mokrišči lahko zelo razlikujejo, kar je deloma posledica različnih fenotipskih prilagoditev rastlin na lokalne okoljske dejavnike (Vretare in sod., 2001), deloma posledica genetske variabilnosti med populacijami (Brix in sod., 2001).

Letna neto proizvodnja nadzemne biomase je navadno v dobri korelaciji z največjo biomaso nadzemnih delov (Asaeda in sod., 2002). Letna neto nadzemna proizvodnja za navadni trst naj bi bila 3 do 15 % višja kot največja nadzemna biomasa, do izgub prihaja zaradi odmiranja poganjkov, odpadanja listov in prehranjevanja rastlinojedih živali. Podzemno proizvodnjo je veliko težje oceniti, saj korenine in rizomi različno hitro in v različnih časih rastejo in odmirajo, snovi se konstantno prenašajo med poganjki in rizomi, pa tudi, ker sta respiracija in akumulacija škroba in sladkorja odvisni od starosti rizomov (Asaeda in sod., 2006).

Za hitro rast in razvoj navadnega trsta v spomladanskem času je ključnega pomena biomasa rizomov. Z večjo biomaso rizomov je povezan večji bazalni premer mladih poganjkov (Mook in van der Toorn, 1982). Z večjim bazalnim premero, imajo poganjki več možnosti, da v mokrišču, ki je zalito z vodo, ostanejo celi in tvorijo liste nad vodno gladino. Še posebej za Cerkniško jezero je značilno, da se razvoj trsta začne pozno v rastni sezoni in še velikokrat pod vodo (Slika 2). V ugodnih razmerah pa lahko ostanejo rastline aktivne še pozno v jesen, ko poteka shranjevanje zalog v rizome (Asaeda in sod., 2011).



Slika 2: Shematski prikaz razvoja navadnega trsta od faze shranjevanja zalog v rizome do faze največje nadzemne biomase. S celo črto so prikazane mediane povprečnih mesečnih vodostajev, z zgornjo in spodnjo prekinjeno črto pa največje in najmanjše vrednosti povprečnih mesečnih vodostajev na merilni postaji Gorenje Jezero od leta 1954 do leta 2010

Figure 2: Diagram of *P. australis* development from the phase of accumulation of nutrients into rhizomes to the phase of peak biomass. Unbroken line depicts median monthly average water level, lower and upper broken lines depict minimal and maximal monthly average water level from 1954 to 2010 at Gorenje Jezero measuring station

2.3 RAZGRADNJA V MOKRIŠČIH

Razgradnja rastlinskega materiala je sklop fizikalnih, kemičnih in bioloških procesov, v katerih se odpadli rastlinski material razgradi na CO₂, vodo in mineralna hranila. Gre za ključni proces v večini ekosistemov, količina CO₂, ki se vrne v atmosfero zaradi razgradnje pa predstavlja pomemben del v globalnem kroženju ogljika (Lambers in sod., 2008). Za mokrišča je značilno, da imajo makrofiti, še posebej emergentni, veliko primarno proizvodnjo, vendar le manjši del te rastlinske biomase neposredno izkoristijo rastlinojede živali, medtem ko velik del vstopi v proces razgradnje ali je ostane nerazgrajene (Longhi in sod., 2008). Rastlinska razgradnja je eden slabše preučeni procesov v mokriščih, čeprav predstavlja ključno povratno zanko, preko katere se hranila vračajo v kroženje. Merjenje razgradnje in preučevanje sprememb v vsebnosti hranil v opadu je pomembno za ovrednotenje funkcije ekosistema in primerjave različnih ekosistemov (Fennessy in sod., 2008).

2.3.1 Dejavniki razgradnje

Na razgradnjo vplivajo številni dejavniki, najpomembnejši pa so temperatura, frekvenca poplav in sestava rastlinskega materiala (Zawislanski in sod., 2001). Visoke temperature, pogoste poplave in rastlinski material z visokim deležem topnih snovi navadno pomenijo hitro razgradnjo (Brinson in sod., 1981).

2.3.1.1 Vpliv hidroloških značilnosti mokrišča na razgradnjo

Sezonska poplavna in sušna obdobja so pogosta v naravnih mokriščih, pojav pa je poznan tudi v umetnih mokriščih z reguliranimi poplavami. V slednjih je razgradnja bolje preučena, saj nerazgrajena biomasa predstavlja problem za upravljanje. Raziskave kažejo, da izmenjujoče se mokre – suhe razmere razgradnjo pospešijo (Bedford, 2005), saj spodbujajo rast mikroorganizmov (Battle in Golladay, 2001), predvsem je mikroba aktivnost povečana ob ponovnem poplavljanju, vzrok temu pa je najverjetneje povečana količina hranil (predvsem fosforja) v vodi (Boulton in Brock, 1999). Pomemben dejavnik pri poplavljanju mokriščnih tal je tudi vsebnost kisika. Večina raziskav potrjuje hipotezo, da je razgradnja hitrejša v oksičnih kot anoksičnih razmerah (Battle in Golladay, 2001). Anoksične razmere so verjetno tudi razlog, da je razgradnja v stalno zalitih mokriščih počasnejša (Ryder in Horwitz, 1995).

2.3.2 Potek razgradnje v mokriščih

Proces razgradnje rastlinskega materiala se v mokriščih začne z izločanjem topnih organskih in anorganskih snovi takoj po stiku odpadlega rastlinskega materiala z vodo. Do hitrih izgub pride v prvih 24 urah, čemur sledi upočasnjeno izločanje skozi daljše obdobje (Brinson in sod., 1981). Glede na ostale dejavnike razgradnje, kot so temperatura, turbulenca ali vrsta rastline, se lahko v prvih 24 urah izgubi do 25 % prvotne suhe mase materiala (Webster in Benfield, 1986). Rastlinski material nato v nekaj dneh kolonizirajo različni mikroorganizmi, med prvimi so lahko glive, šele nato bakterije (Van Ryckegem in sod., 2006), pri razgradnji vodnih makrofitov pa so navadno najprej prisotne bakterije, v naslednjih fazah pa lahko prevladujejo glive ali bakterije (Komínková in sod., 2000). Mikrobní kolonizaciji sledi fragmentacija zaradi delovanja mehanskih procesov, v tekočih vodah zaradi toka ali abrazije, v mokriščih zaradi premeščanja (Wallis in Raulings, 2011). Drobljenje razkrajajočega rastlinskega materiala opravijo tudi nevretenčarji, ki preferenčno izbirajo in se hranijo z listi koloniziranimi z mikrobi (Webster in Benfield, 1986).

Za razliko od drugih ekosistemov lahko v mokriščih prihaja do razgradnje, še preden odmrli rastlinski material pade na tla. Razgradnja helofitov se pogosto začne, ko odmrli rastlina še stoji (Van Ryckegem in sod., 2007). Pri navadnem trstu lahko ta faza traja od nekaj tednov do več mesecev, v tem času pa pride do kolonizacije s saprofitskimi mikrobnimi združbami (Gessner, 2001). Še posebej glive so dobro prilagojene na izmenjujoča se mokra – suha obdobja, ki so značilna za to okolje (Kuehn in sod., 1998). Meritve mikrobne respiracije prav tako kažejo, da v času, ko se odmrli rastlinski material še drži rastline, pride do znatne mineralizacije (Kuehn in sod., 1999), Bärlocher (1997) pa je ugotovil, da se razgradnja 80 % rastlinskega materiala začne že na rastlini, pri čemer imajo glavno vlogo glive.

2.3.3 Makro- in mikronutrienti v procesu razgradnje

Pri razgradnji mikrobna združba v procesu dihanja porablja organski ogljik in ga oddaja kot CO₂ oziroma CH₄, če so razmere anoksične. Pri tem se dušik in fosfor vežeta v mikrobno biomaso, razmerji C:N in C:P pa se v času zmanjšujeta. Hranila se prav tako imobilizirajo iz okolice, saj jih mikrobne združbe tudi privzemajo, kar se opazi kot dvig vsebnosti hranil v razpadajočem materialu (Bridgham in Lamberti, 2009). Privzem iz

okolice je za mikrobnno združbo nujen, saj so za njeno rast koncentracije N in P v rastlinskem opadu prenizke. Do prehoda na neto mineralizacijo pride, ko se razmerje C:hranila v opadu približa razmerju v mikrobnni biomasi. Ti razmerji sta približno 15:1 za C:N in 60:1 za C:P, razen če gre za substrat z visoko koncentracijo spojin s kompleksno strukturo, potem naj bi bili razmerji C:N 20:1 do 30:1 in C:P 200:1 do 300:1 (Cleveland in Liptzin, 2007).

Za razliko od dušika in fosforja, sta koncentraciji kalcija in magnezija v mikrobnni biomasi in razpadajočem materialu enaki, kar pomeni, da se privzemata približno enako hitro kot organski ogljik (Bridgham in Richardson, 2003). Fosfor po drugi strani pa je dobro topen in se pri razgradnji hitro izluži (Bridgham in Lamberti, 2009).

V različnih raziskavah so ugotovili, da pri razgradnji rastlinskega materiala tako v mokriščih kot v drugih ekosistemih prihaja do akumulacije mikroelementov v razpadajočem materialu. Koncentracije nekaterih elementov kot so baker, železo, cink, svinec, nikelj idr. lahko tudi za večstokrat ali večtisočkrat presežejo začetno koncentracijo (Zawislanski in sod., 2001; Windham in sod., 2004; Du Laing in sod., 2006), večanja deleža teh elementov pa ne moremo pripisati samo manjšanju mase rastlinskega opada (Du Laing in sod., 2006). Do akumulacije pride predvsem v biofilmu mikrobnne združbe (Schaller in sod., 2011). V prvih fazah razgradnje se izlužijo vodotopne spojine, kot so sladkorji in aminokisljine, v naslednji fazi – procesu humifikacije pa se izlužijo huminske in fulvo kisline, ki pospešijo remobilizacijo kovin iz sedimentov (Wang in Mulligan, 2009). Nadaljnje kopičenje kovinskih elementov in njihovih ionov je odvisno od mnogih dejavnikov, med drugim od lastnosti rastlinskega materiala (predvsem vsebnosti lignina, celuloze, polifenolov, tanina, dušika in fosforja) (Du Laing in sod., 2006) in okoljskih dejavnikov (pH, hranila) (Batty in Younger, 2007). Večja količina kovin in njihovih ionov lahko rast mikrobnne združbe tudi zavira, v odgovor pa mikroorganizmi izločajo eksopolisaharide, ki zaradi svojih funkcionalnih skupin in velike površine, kovine in kovinske ione imobilizirajo (Schaller in sod., 2011). Nekateri mikroorganizmi kovine in njihove ione tudi kopičijo (Purchase in sod., 2009). Vse to vodi v visoko koncentracijo kovin in njihovih ionov v razpadajočem rastlinskem materialu (Schaller in sod., 2011).

2.3.4 Preučevanje razgradnje in s tem povezani problemi

Proces razgradnje v naravnih ekosistemih se najpogosteje preučuje z uporabo mrežastih vrečk iz različnih materialov in različnih velikosti (*litter bag* metoda), ki so napolnjene s suhim rastlinskim materialom (Webster in Benfield, 1986). Iz razlike suhe mase pred in po razgradnji se s pomočjo eksponentnega modela izračuna konstanto stopnje razgradnje k (Jenny in sod. 1949) (več v poglavju Material in metode). Vendar ima ta metoda nekatere pomanjkljivosti, ki jih je pri interpretaciji rezultatov potrebno upoštevati.

Na rezultate poskusa razgradnje vplivamo že, ko nabereimo rastlinski material in ga v laboratoriju posušimo, v nekaterih primerih tudi narežemo na manjše kose. Pri tem zanemarimo dejstvo, da razgradnja lahko poteka tudi, ne da bi rastlinski material odpadel, kar je pogosto pri travah in njim podobnim vrstah (Van Ryckegem in sod., 2007). S tem, ko rastlinski material posušimo v sušilniku, ga steriliziramo in porušimo prisotno mikrobno združbo (Bärlocher, 1997). Z izbiro velikosti odprtih mrežastih vrečk neposredno vplivamo na proces fragmentacije in združbo nevretenčarjev, ki skozi premajhne luknjice (1 mm ali manj) ne morejo do rastlinskega materiala, skozi prevelike (5 mm ali več) pa se izgubljajo delci rastlinskega materiala (Bedford, 2004).

Pomanjkljivosti eksponentnega modela, ki se uporablja za izračun konstante razgradnje, sta prepoznala že Webster in Benfield (1986). Modelu očitata, da ne opiše dovolj dobro naravnega procesa, ki je pod vplivom številnih spremenljivk, ki v modelu niso upoštevane (na primer temperature). Model prav tako predpostavlja, da je stopnja razgradnje konstantna, kar ne drži popolnoma, saj se v procesu razgradnje lastnosti rastlinskega materiala spreminjajo, prav tako pa imajo med drugim velik vpliv sezonske spremembe (Webster in Benfield, 1986). Kljub temu je model dovolj dober in enostaven za uporabo v časovnih okvirih večine raziskav, ki trajajo od nekaj mesecev do nekaj let (Bridgham in Lamberti, 2009). Nekaj stopenj razgradnje različnih mokriščnih vrst z upoštevanimi velikostmi odprtih vrečk je predstavljenih v Preglednici 3.

Preglednica 3: Mesečne konstante stopnje razgradnje za različna mokrišča in rastlinske vrste

Table 3: Monthly decomposition rates for different wetlands and plant species

rastlinska vrsta	del rastline	mokrišče	velikost odprtin (mm)	mesečna konst. razgr. k	vir
	list	jezerski litoral	4	0,153	Gessner, 2000
	steblo			0,045	
<i>Phragmites australis</i>	list	morski estuarij	5	0,27	Lobão Lopes in sod., 2011
	steblo in list skupaj	brakično mokrišče		0,033	Wallis in Raulings, 2011
		– na suhem			
		– na mokrem		0,072	
	steblo in list skupaj	mokrišče z umetnimi zimskimi poplavami	5 0,25	0,132 0,084	Bedford, 2004
<i>Phragmites australis</i>	steblo in list skupaj			0,081	
<i>Carex riparia</i>	nadzemni deli	evtrofno mokrišče	2	0,084	Longhi in sod., 2008
<i>Nuphar luteum</i>	nadzemni deli			0,456	
<i>Salvinia natans</i>	cela rastlina			0,123	

2.4 GLIVNA KOLONIZACIJA V MOKRIŠČIH

2.4.1 Mikoriza, endofiti ali paraziti?

Dosedanje raziskave so pokazale, da ima večina, verjetno pa kar vse rastlinske vrste glivne simbionte, ki imajo lahko velik vpliv na ekološke značilnosti, sposobnost preživetja in evolucijo rastlin (Rodriguez in sod., 2009).

Glivni endofiti so glive, ki naseljujejo rastline, ne da bi kadarkoli povzročali kakršnekoli vidne simptome obolevnosti (Brundrett, 2006). Kljub temu, da glivni endofiti lahko naseljujejo tako nadzemne kot podzemne dele rastlin, so v koreninah najštevilnejši, saj so korenine ponor ogljika v rastlinah, zagotavljajo hranila tako rastlini kot simbiontom, prav tako pa so korenine v tesnem stiku z okoljem, ki je poseljen z najrazličnejšimi mikroorganizmi (Schulz, 2006).

Poleg glivnih endofitov naseljujejo rastlinske korenine še mikorizne glive. To so predstavniki debela gliv Glomeromycota, ki so v simbiozi z do 90 % kopenskih rastlinskih vrst (Smith in Read, 1997). Od endofitskih gliv se razlikujejo v treh poglavitnih lastnostih, ki so značilne za mikorizo, ne pa tudi za endofite: (1) mikorizne glive tvorijo razvejane strukture za izmenjavo – arbuskule, (2) njihov razvoj je usklajen z rastlino, ter (3) tako glivni kot rastlinski partner imata prednosti zaradi izmenjave hranil (Brundrett, 2006). Tudi glivni endofiti imajo lahko za rastline številne prednosti, vendar so lahko tudi latentni patogeni, ki v določenih fazah rasti ali če je rastlina pod stresom, spremenijo svoj mutualistični značaj (Hyde in Soyong, 2008). Če za endofitske glive ne moremo reči, da so mikorizne, pa so mikorizne glive del svojega časa v rastlinskem gostitelju lahko tudi endofitske in lahko več let preživijo v gostiteljevih koreninah, ne da bi potekala intenzivna rast ali prenos hranil (Brundrett, 2006).

Razen endofitskih in mikoriznih gliv najdemo v rastlinskih koreninah tudi parazitske glive, vendar o njih v okviru tega dela ne bomo podrobneje pisali, saj smo se pri raziskovalnem delu osredotočili na glivne povezave z zdravimi rastlinskimi koreninami. Nekaterne razlike med mikoriznimi, parazitskimi in endofitskimi glivami so zbrane v Preglednici 4.

Preglednica 4: Primerjava in značilnosti mikoriznih, parazitskih in endofitskih gliv v odnosu do rastlin. Povzeto po Brundrett, 2004: 477

Table 4: A comparison and characteristics of mycorrhizal, parasitic and endophytic fungi-plant relations. Brundrett, 2004: 477

kriterij	mikorizne glive	parazitske glive	endofitske glive
morfologija	specializirane hife v specializiranih rastlinskih organih	specializirane hife	relativno nespecializirane
razvoj	sinhroniziran	pogosto sinhroniziran	nesinhroniziran
vpliv na glivo	obligatna potreba po hranilih rastline	gliva obligatno ali fakultativno odvisna od rastline	gliva zmerno odvisna od rastline
vpliv na rastlino	majhna ali velika korist	majhna ali velika škoda	majhna korist ali majhna škoda
prenos hranil	sinhroniziran, gliva je velik ponor	aktiven ali pasiven, gliva je majhen ali velik ponor	pasiven, gliva ni velik ponor

2.4.1.1 Problemi s prepoznavanjem in razvrščanjem gliv v koreninah

Razločevanje med endofitskimi glivami in mikorizno kolonizacijo v rastlinskih koreninah je pogosto težavno, še posebej, če so rastline kolonizirane z obojimi. Identifikacija s pomočjo morfologije nam lahko pove več o tipih in kategorijah glivne kolonizacije le takrat, kadar lahko prepoznamo tipične strukture, ki pa niso nujno vedno prisotne (Brundrett, 2006). Glavna značilnost mikorizne kolonizacije je, da je razvita v mladih koreninah, saj je za razvoj mikorize potrebna rast korenin (Brundrett, 2004), medtem ko endofitska kolonizacija ni omejena na mlade zdrave korenine. V večini primerov tudi DNK analiza ne da dovolj informacij o sami kolonizaciji, saj lahko izoliramo DNK tako mikoriznih kot endofitskih gliv, ne vemo pa, katere so prevladovale (Brundrett, 2006).

2.4.2 Endofitske glive v rastlinskih koreninah, njihove značilnosti in ekološka vloga

V preteklosti so bile endofitske glive na podlagi sorodstvenih povezav, taksonomije, rastlinskih gostiteljev in ekoloških funkcij razdeljene v dve skupini: C-endofiti (*clavicipitaceous*), ki se pojavljajo v nekaterih travah ter NC-endofiti (*non-clavicipitaceous*), ki jih najdemo v nevaskularnih rastlinah, praprotnicah, golosemenkah in kritosemenkah (Rodriguez in sod., 2009). Podrobnejša analiza je pokazala, da se glive iz te skupine po ekoloških in drugih značilnosti tako razlikujejo, da jih lahko razdelimo na tri razrede, pri čemer se glive iz razreda 2 in 4 pojavljajo tudi oz. izključno v koreninah (Preglednica 5, stran 15), zato bomo te tudi podrobneje opisali.

Glive iz razreda 2 pripadajo debloma Ascomycota ali Basidiomycota, kolonizirajo korenine, stbla in liste, najdemo pa jih pri skoraj vseh rastlinah v močno stresnih okoljih (Rodriguez in sod., 2009), pri katerih pogosto vplivajo na povečanje nadzemne in/ali podzemne biomase, verjetno preko indukcije sinteze rastlinskih hormonov (Tudzynski in Sharon, 2002) ali jih do neke mere ščitijo pred rastlinskimi patogeni (Campanile in sod., 2007).

Preglednica 5: Razdelitev endofitskih gliv glede na kriterije gostitelja. Povzeto po Rodriguez in sod., 2009: 315

Table 5: Fungal endophytic classes based on symbiotic criteria. Based on Rodriguez et al., 2009: 315

Kriterij	C-endofiti		NC-endofiti	
	razred 1	razred 2	razred 3	razred 4
obseg gostiteljev	ozek	širok	širok	širok
tkiva, ki jih kolonizirajo	poganjki in rizomi	poganjki, korenine in rizomi	poganjki	korenine
kolonizacija v rastlini	obsežna	obsežna	omejena	obsežna
diverziteta v rastlini	nizka	nizka	visoka	neznana
prenos	vertikalen in horizontalen	vertikalen in horizontalen	horizontalen	horizontalen
izboljšanje preživetja	ni vezano na tip habitata	ni vezano na tip habitata, pa tudi v točno določenih habitatih	ni vezano na tip habitata	ni vezano na tip habitata

Glive iz razreda 4 prepoznamo po temno melaniziranih septah, po čemer so dobile tudi ime temnoseptirani endofiti (DSE – *dark septate endophytes*) (Rodriguez in sod., 2009). Pojavljajo se samo v koreninah, temno melanizirane pa so tako inter- in intracelularne hife kot tudi mikrosklerociji – skupki okroglih celic z debelo steno, ki imajo najverjetneje vlogo založnega organa ali vegetativnega razmnoževanja (Mandyam in Jumpponen, 2008). DSE ne veljajo za patogene, saj so bili vedno opaženi na zdravih koreninskih laskih. Pogosti so predvsem v stresnih okoljih, vendar se pojavljajo v praktično vseh ekosistemih (Rodriguez in sod., 2009).

Pozitivni vplivi endofitov na rastline so zelo raznoliki, na primer indukcija obrambnih metabolitov proti patogenom (Friesen in sod., 2011), endofitsko izločanje fitohormonov (Chen in sod., 2010), mobilizacija nutrientov iz rizosfere (Mandyam in sod., 2012), vpliv na spremembe metabolizma (Jallow in sod., 2004), kar vse lahko vodi v povečano odpornost na bolezni (Lou in sod., 2011), izboljšano rast gostitelja (Ernst in sod., 2003) ali toleranco na abiotske strese (Khidir in sod., 2010).

Podrobneje je bila preučena tudi ekološka vloga DSE. Čeprav imajo lahko na rastlinskega gostitelja tudi negativne vplive (Mandyam in Jumpponen, 2005), lahko tvorijo mutualistične povezave s podobno funkcijo kot mikorizne glive (Jumpponen,

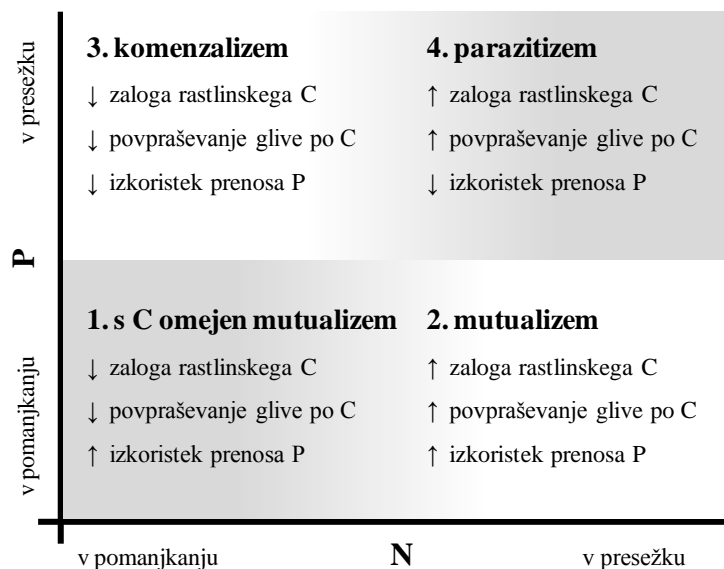
2001). Meta-analiza, ki jo je naredil Newsham (2011), ni pokazala nobenih negativnih vplivov na rastline, pozitivni pa so se izrazili kot povečana nadzemna in podzemna biomasa, ter povečana vsebnost dušika in fosforja. Avtor predvideva, da kljub odsotnosti specializiranih stičnih površin za prenos hranil do teh vplivov pride zaradi povečane zaščite pred patogeni, sinteze fitohormonov ali mineralizacije organskih dušikovih spojin v rizosferi. Slednje podpira tudi največ raziskav, ki kažejo, da DSE še posebej, ko koreninam primanjkuje anorganskega dušika, pozitivno vplivajo na rast rastlin, najverjetneje z mineralizacijo organskih spojin, kot so beljakovine, peptidi in aminokisliline v rizosferi. Za razliko od tega pa pozitivni učinki kolonizacije z DSE niso opazni, kadar je dovolj dostopnega anorganskega dušika. Raziskave kažejo, da DSE prav tako povečajo privzem fosforja (Newsham, 2011).

2.4.3 Mikorizne glive, njihove značilnosti in ekološka vloga

Mikoriza se lahko pojavlja kot ektomikoriza, kjer je glivni partner zunaj rastline, ali endomikoriza, kjer del glive naseljuje notranjost korenin (Smith in Read, 1997). Pri slednji ločimo orhidejno, erikoidno in arbuskularno mikorizo. Slednja je verjetno najbolj razširjena oblika simbioze na splošno (Fitter, 2005), čeprav so lahko odnosi med rastlino in mikoriznimi glivami tudi parazitski (Johnson, 2010). Za to obliko mikorize so značilne posebne strukture – arbuskuli, ki so glavna mesta za izmenjavo hranil. Gre za razvejitve hife, ki nastanejo tako, da se posamezen odrastek hife večkrat dihodomno cepi (Smith in Read, 1997). So zelo kratkožive strukture z življenjsko dobo do približno deset dni, kar omogoča konstantno prilagajanje rastline in glive na rast v območjih z največ dostopnimi hranili (Parniske, 2008). Nekatero mikorizne glive tvorijo tudi založne strukture – vezikle, iz katerih gliva kasneje črpa hranila za rast in reprodukcijo (Bonfante in Genre, 2010). Visoka alokacija hranil v vezikle je še posebej očitna v razmerah, ko je v tleh dovolj dostopnega fosforja in rastlina ni odvisna od glive (Denison in Kiers, 2011). Mikorizne glive lahko glede na tip in vrsto tvorijo tudi svitke, katerih funkcija ni znana, glede na veliko površino, ki jo imajo, pa je najverjetneje izmenjava hranil, še posebej ogljika (Smith in Smith, 1997).

Mikorizne glive imajo največji vpliv na vitalnost rastlin preko izboljšane privzema in prenosa hranil, še posebej fosforja, in vode zaradi obsežnega zunajkoreninskega micelija, kar je najbolj očitno v razmerah z omejeno dostopnostjo hranil (Parniske,

2008). Johnson (2010) je predlagala model, ki glede na dostopnost fosforja in dušika opredeljuje odnose med glivo in rastlino vse od parazitizma do mutualizma (Slika 3).



Slika 3: Model odnosov med rastlinami in mikoriznimi glivami glede na dostopnost dušika in fosforja v tleh. Povzeto po Johnson, 2010: 636. C ogljik, N dušik, P fosfor, ↑ večje, ↓ manjše

Figure 3: A model of plant-mycorrhiza interactions based on nitrogen (N), phosphorus (P) and carbon (C) supply, ↑ higher, ↓ lower. Based on Johnson, 2010: 636

Model predpostavlja, da je vloga arbuskularne mikorize odvisna od interakcije med dostopnostjo dušika in fosforja ter zalogo in povpraševanjem ogljika med rastlino in glivo (Johnson, 2010). Model predvideva štiri možnosti: (1) kadar sta dušik in fosfor v pomanjkanju, je privzem ogljika zmanjšan, ker pomanjkanje dušika omejuje fotosintezo; (2) v primeru zadostne količine dušika in pomanjkanja fosforja sta rastlina in gliva v izrazitem mutualističnem razmerju; (3) kadar je fosfor v presežku, rastlina od mikorize nima koristi, prav tako zaradi pomanjkanja dušika ni prenosa ogljika; (4) v primeru presežka fosforja in dušika pa sta rastlina in gliva v parazitskem odnosu, v katerem se ogljik prenaša od rastline h glivi, prenos fosforja v obratni smeri pa ne poteka.

2.4.3.1 Mikorizne glive in razgradnja

Mikorizne glive imajo vlogo tudi pri razgradnji. Hodge in sod. (2001) so ugotovili, da lahko dušik privzemajo direktno iz organskega materiala v procesu razgradnje in jo tako pospešujejo. Aristizabal in sod. (2004) so arbuskularno-mikorizne glive opazili tudi v razkrajajočih se listih vrst *Myrica parvifolia*, *M. pubescens* in *Paepalanthus* sp., kjer so poleg hif opazili tudi vezikle in arbuskulom podobne strukture. Pri primerjavi razgradnje nadzemnih in podzemnih delov rastlin, ki so bile kolonizirane z mikoriznimi glivami s tistimi, ki niso bile, so Urcelay in sod. (2011) ugotovili, da je razgradnja nadzemnih delov koloniziranih rastlin hitrejša kot nekoloniziranih, kar pa ni bilo opaziti pri razgradnji korenin. Hitrejšo razgradnjo koloniziranih rastlin so opisali tudi Schädler in sod. (2010), kar so pripisali višji koncentraciji fosforja, dušika in ostalih elementov v nadzemnih delih rastlin, ki so imele korenine kolonizirane z arbuskularno-mikoriznimi glivami.

2.4.4 Posebnosti glivne kolonizacije v mokriščih

Rastline v mokriščih so kolonizirane tako z glivnimi endofiti (Bärlocher, 2006; Weishampel in Bedford, 2006), kot z mikoriznimi glivami (Bohrer in sod., 2004; Šraj-Kržič in sod., 2006; Ipsilantis in Sylvia, 2007; Dolinar in sod., 2011b), vendar se večina raziskav osredotoča na arbuskularno-mikorizne glive.

Mikorizni kolonizaciji rastlin v mokriščih dolgo niso pripisovali posebnega pomena, v nekaterih mokriščih je tudi niso opazili (Thormann in sod., 1999) ali pa so označili nekatere mokriščne vrste, npr. iz rodu šašev, kot nemikorizne (Muthukumar in sod., 2004). Vendar novejša raziskava kažejo, da je arbuskularna mikoriza precej pogosta tudi v mokriščih. V nekaterih mokriščih so kolonizirane vse ali večina vrst, ki so jih preučili (na primer Kandalepas in sod., 2010; Stevens in sod., 2010), prisotna je tudi v koreninah potopljenih makrofitov (Šraj-Kržič in sod., 2009) in v slanih mokriščih (Welsh in sod., 2010), korenine kolonizirane z mikoriznimi glivami pa so našli celo 100 cm globoko v tleh (Taniguchi in sod., 2012).

2.4.4.1 Vpliv poplavljanja na mikorizno kolonizacijo

Mnoge mokrišče rastline se na pomanjkanje kisika odzovejo z razvojem specializiranega aerenhimatskega tkiva, ki omogoča transport kisika od poganjkov h koreninam, kar vodi v oksigenacijo rizosfere (Dickopp in sod., 2011). Preživetje mikoriznih gliv v anoksičnih razmerah je možno tudi, če prisotne glive potrebujejo manj kisika, kot so prvotno predvidevali, ali če so glive zgoščene ob koreninah, od koder neposredno ali z difuzijo dobijo kisik (Miller in Bever, 1999).

Poplavljanje vpliva na obseg mikorizne kolonizacije, kar pa je odvisno od stopnje kolonizacije pred poplavljanjem. Če je kolonizacija v koreninah vzpostavljena, se je tudi ob poplavljanju zmožna ohraniti in širiti z rastočim koreninskim sistemom (Neto in sod., 2006), prav tako se število spor mikoriznih gliv v poplavljenih tleh ne zmanjša (Miller in Sharitz, 2000). Kljub temu pa teh rezultatov ne moremo posploševati, saj avtorji poročajo tudi o zmanjšanju mikorizne kolonizacije ob poplavljanju (García in Mendoza, 2008; Dolinar in Gaberščik, 2010).

Dostopnost kisika vpliva tudi na spremembe v morfologiji in gostoti posameznih struktur. Ipsilantis in Sylvia (2007) sta opazila zmanjšanje pogostosti svitkov, arbuskulov in veziklov zaradi poplavljanja pri vrsti *Panicum hemitomon*, pri vrsti *Typha latifolia* pa je kolonizacija praktično izginila, čeprav Ray in Inouye (2006) pri slednji poročata samo o zmanjšanju kolonizacije zaradi poplavljanja. Rod *Typha* je z obsežnim aerenhimatskim tkivom zelo učinkovit pri aeraciji rizosfere, kar omogoča glivno kolonizacijo tudi pri vodnih rastlinah, pri čemer naj bi večji zračni prostori omogočali razvoj arbuskulov in manjši razvoj svitkov (Nielsen in sod., 2004). Podobno poročata tudi Smith in Smith (1997), ki sta ugotovila, da je, kadar je več dostopnega kisika, več arbuskulov, kadar ga je manj, pa več svitkov.

Ena najpomembnejših ekoloških vlog mikorize je povečana preskrba rastlin s fosforjem, vendar je v mokriščih dostopnost hranil, še posebej pa fosforja, odvisna od spleta številnih dejavnikov, ki lahko prikrijejo neposredne koristi mikorizne simbioze. V kopenskih ekosistemih je mikorizna kolonizacija pogosto nižja v tleh, kjer je na voljo veliko fosforja, kar so potrdile tudi raziskave na mokriščnih rastlinah (Stevens in Peterson, 2007). Tudi glede na model (Slika 2), ki ga predpostavlja Johnson-ova (2010), mutualistične povezave v razmerah z dovolj dostopnega fosforja niso verjetne. Povezava med fosforjem in mikorizno kolonizacijo postane bolj kompleksna v

anoksičnih tleh in mokriščih s spreminjajočim se nivojem vode, saj prihaja do sprememb v mobilnosti in topnosti fosforja (Baldwin in sod., 2000), vpliva pa lahko tudi časovno neusklajena potreba rastlin po fosforju s količino fosforja v tleh, še posebej, če so v mokrišču zelo visoke ali nizke koncentracije fosforja (Carvalho in sod., 2001).

3 MATERIAL IN METODE

3.1 MESTO RAZISKAV

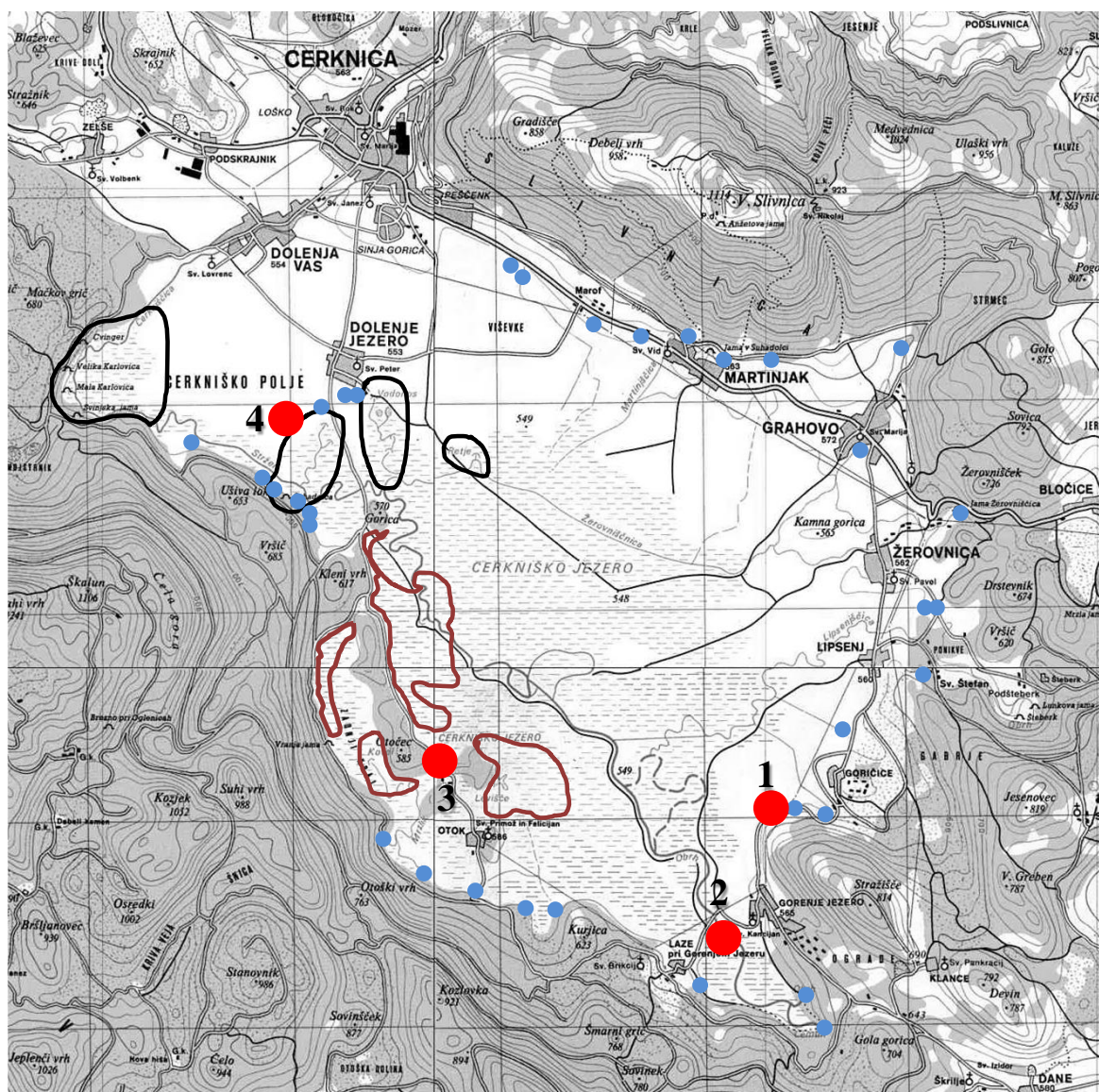
3.1.1 Značilnosti Cerknškega polja in jezera

Cerkniško polje leži v osrednjem delu Notranjskega podolja, približno 50 km dolge in 7 km široke depresije, ki leži ob idrijski prelomnici. Polje omejujejo Javorniki na jugozahodni in Slivnica na severovzhodni strani ter Loško polje na jugovzhodni in Planinsko polje na severozahodni strani (Kranjc, 2003a). Cerknško polje je ob večjih padavinah poplavljeno, v njegovem osrednjem in južnem delu nastane Cerknško jezero (Slika 3). Dno polja obsega približno 38 km², v primeru ekstremnih poplav je lahko 27 km² polja poplavljenega. V času rednih poplav je v jezeru 19 000 000 m³ vode (Kranjc, 2003b).

3.1.1.1 Hidrološke in klimatske značilnosti Cerknškega polja in jezera

Povodje Cerknškega jezera obsega 475 km². Dotoki na Cerknško polje so vsi razen Cerknšičice kraški in na polje pritekajo iz severne, vzhodne in južne smeri, glavčina pa iz vzhodnega in jugovzhodnega obrobja Cerknškega polja (Slika 4). Glavni vodotok Cerknškega jezera je Stržen oz. Obrh ob izviru. Površinskih odtokov na Cerknškem jezeru ni, vsa voda odteka skozi ponore na zahodni in severni strani Cerknškega polja. Največji ponori so jame Velika in Mala Karlovica ter Svinjska jama v Jamskem zalivu na severozahodu Cerknškega polja (Kranjc, 2003b). Na zahodnem robu Cerknškega polja, na območju Zadnjega kraja in med Drvošcem in Goričico se nahaja več območij estavel, ponorov, ki vodo požirajo, ko je nivo vode nižji in bruhajo, ko je nivo vode višji od požiralnika.

Jezero, ki del leta prekriva dno Cerknškega polja, je posledica razlik v pritoku in odtoku vode. Največji pritok na Cerknško polje znaša 211 m³/s, medtem ko je največji odtok 90 m³/s. Razlika med pritokom in odtokom povzroči nastanek jezera, katerega površina zaradi dokaj ravnega naplavinskega dna polja niha med 0 in 27,3 km². Pri 546 m n. v. ga skoraj ni, pri 550 m n. v., ki jo dosega večino let, obsega 20,3 km², pri izjemni višini 553,17 m n. v. pa prekrije čez 30 km² površine. Povprečna letna višina jezerske gladine je 550 m n. v. (20 km²) in povprečno trajanje jezera slabe pol leta (Kranjc, 2003b).

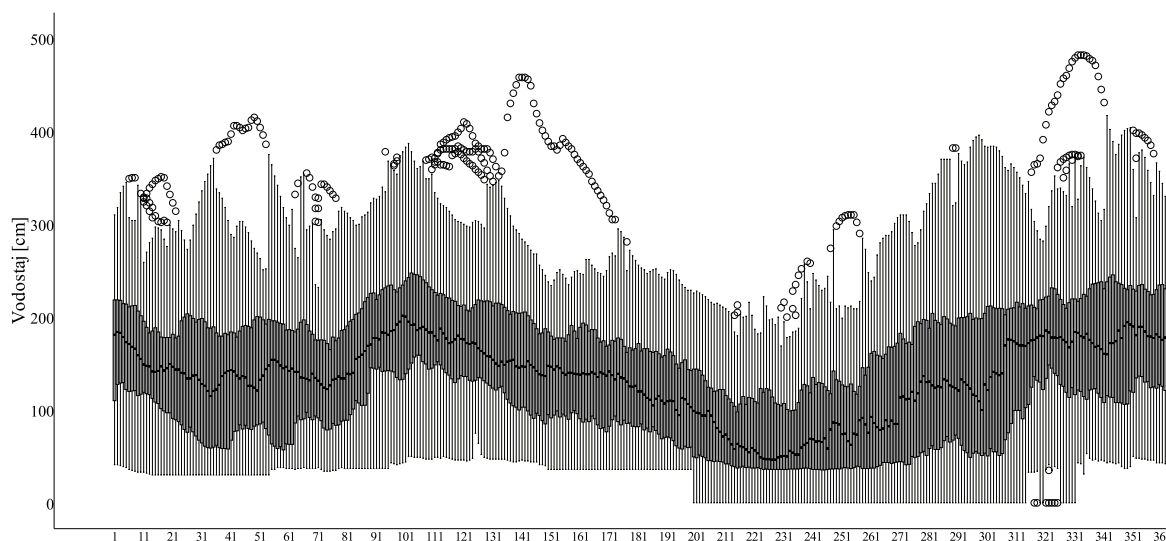


Slika 4: Zemljevid Cerkniskega jezera s poudarjenimi nekaterimi hidrološkimi značilnostmi (povzeto po Podrobnejši načrt upravljanja..., 2009: 36). ● izvir, ■ estavelna področja, ■ ponorna področja; ● vzorcna mesta: 1 Dujice, 2 Gorenje Jezero, 3 Zadnji kraj in 4 Rešeto

Figure 4: Map of Lake Cerknica with specific hydrological characteristics (based on Podrobnejši načrt upravljanja..., 2009: 36). ● stream source, ■ estavel area, ■ sink area; ● sampling locations: 1 Dujice, 2 Gorenje Jezero, 3 Zadnji kraj and 4 Rešeto

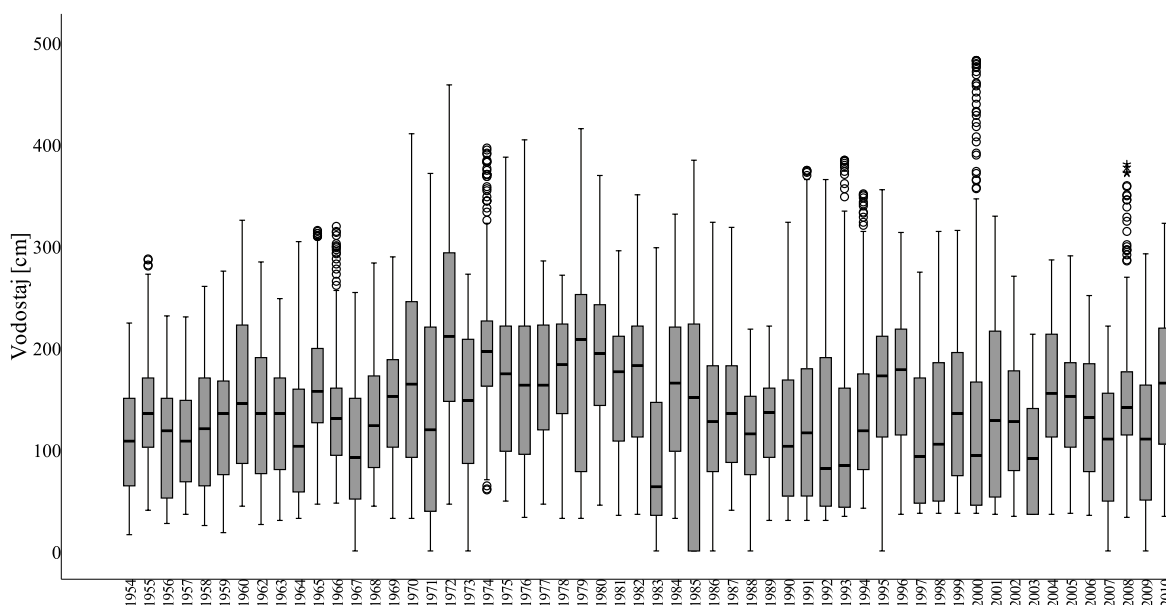
Vodni režim jezera je odvisen od padavin na širšem območju (1700 – 1800 mm) ter potencialne evapotranspiracije na polju (750 mm) in sosednjih območjih. Padavine so dokaj enakomerno porazdeljene čez celo leto. Izstopata dva padavinska maksimuma, novembra in junija ter zimski minimum januarja in februarja (Zupančič, 2003). Cerknisko polje je navadno poplavljenno spomladi zaradi taljenja snega v širšem zaledju in pozno jeseni zaradi padavinskega viška (Slika 5). V povprečju je dva meseca na leto

dno polja suho, večji del leta pa poplavljeno (Kranjc 2003b), vendar izmerjeni vodostaji kažejo, da so sezonske spremembe v višini vodne gladine lahko zelo velike (Slika 5), vodostaj v posameznih letih pa zelo variabilen (Slika 6).



Slika 5: Razpon vodostajev za vsak dan v letu, predstavljeni v obliki škatel z ročaji. Merilno mesto na Gorenjem Jezeru. N=65. Podatki Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO). ° prikazuje osamelce

Figure 5: Boxplots represent water level ranges for each day of the year. Measuring station at Gorenje Jezero. N=65. Data from Slovenian Environment Agency (ARSO). ° represents outliers



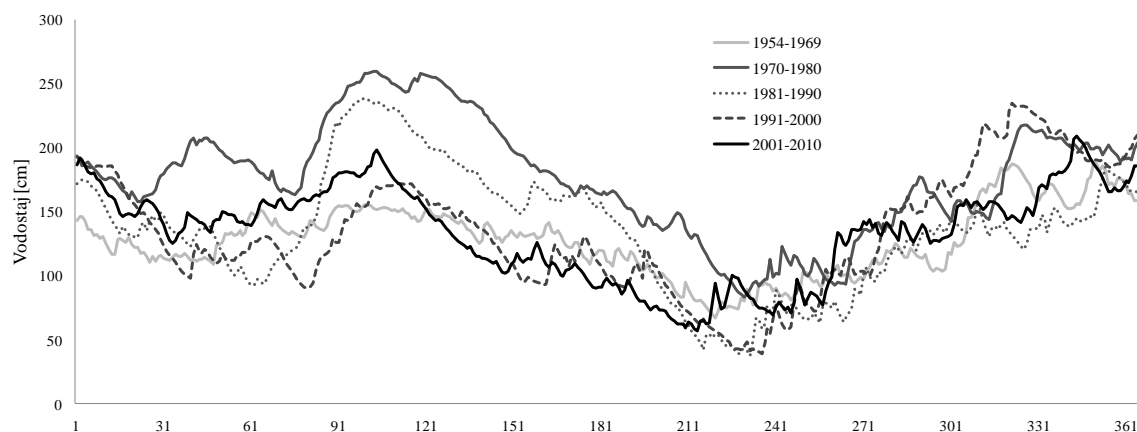
Slika 6: Razpon vodostaja v posameznem letu na merilnem mestu Gorenje Jezero od 1954 do 2010 (brez leta 1961). N=365. Podatki ARSO. ° prikazuje osamelce, * prikazuje ekstremne osamelce

Figure 6: Boxplots represent water level range in individual years, from year 1954 to 2010 (without 1961). N=365. Data from ARSO. ° represents outliers, * represents extreme outliers

3.1.2 Posegi v vodostaj Cerkniškega jezera v 20. stoletju

V preteklosti so se pojavljale različne ideje in interesi glede rabe Cerkniškega polja in jezera, ki so segale vse od popolne osušitve do stalne ojezeritve Cerkniškega polja. Posledice nekaterih posegov se še danes kažejo v spremembah vodostaja Cerkniškega jezera. V dvajsetih letih prejšnjega stoletja je bilo opravljenih nekaj melioracij in delnih regulacij na delih vodotokov Stržen, Žerovniščica, Lipsenjščica, Tresenc in Goriški potok. Hkrati so naredili nekatere posege na odtokih, med drugim: znižanje ponorov v Veliko in Malo Karlovico, razstrelitev nekaterih sifonov, širjenje in nižanje podzemeljskih strug idr. S temi posegi so omilili poplave, pospešili odtekanje srednjih in velikih vod in osušili površine ob strugah. V štiridesetih letih prejšnjega stoletja so z regulacijami nadaljevali ter izkopali nekaj novih strug, pred požiralnikom Rešeto pa so naredili jez, za katerim je ob suši ostalo majhno jezero (Smrekar, 2003).

V petdesetih letih 19. stoletja so prevladovale ideje o stalni ojezeritvi Cerkniškega polja. Narejenih je bilo še več jezov za umetne ribje rezervate v sušnem obdobju, ki svojo vlogo ohranjajo še danes. Cerkniško jezero je bilo namenjeno tudi razvoju turizma, zato so v letih 1968 in 1969 zabetonirali vhod v Malo Karlovico in delno zabetonirali vhod v Veliko Karlovico ter postavili zapornico pri vhodu v požiralnik Rakovski mostek, leta 1970 pa so zatesnili posamezne požiralnike v Jamskem zalivu (Smrekar, 2003). Načrt popolne zatesnitve so nato opustili, kljub temu pa je bila voda spomladi leta 1972 izjemno visoka. Višje vode kot običajno so se pojavljale še vsaj naslednjih nekaj let (Slika 7).



Slika 7: Povprečni letni vodostaji na merilnem mestu Gorenje Jezero po približno desetletnih obdobjih

Figure 7: Average yearly water level at Gorenje Jezero measuring station in approximately 10-year intervals

V osemdesetih letih je bila še vedno prisotna ideja o stalni ojezeritvi ne samo z vidika turizma temveč tudi za pridobivanje električne energije. Vendar projekti niso stekli, v devetdesetih letih pa so se že pojavile prve naravovarstene ideje o vračanju Cerknškega jezera v naravno hidrološko stanje. V ta namen so odstranili zgornji del betonskega čepa v Mali Karlovinci in podrli zadrževalnik vode na umetni strugi pred Ponikvo, za delovanje zapornice pa izdelali pravilnik o odpiranju in zapiranju (Smrekar, 2003). Leta 2002 je bil na širšem območju Cerknškega polja ustanovljen Notranjski regijski park, v okviru projekta LIFE pa je stekla renaturacija nekaterih vodotokov (Podrobnejši načrt upravljanja, 2009).

3.1.3 Vegetacija Cerknškega jezera

Na Cerknškem jezeru rastlinske združbe odražajo presihajoči značaj jezera. Prisotne so vodne združbe (npr. združba bleščečega dristavca, navadne smrečice itd.), amfibijske združbe (združba prave potočarke in oglaste site ter združbo širokolistne koščice), močvirske združbe (npr. trstičevje, togo šašje, sestoji trstične pisanke), barjanske združbe in združbe mokrotnih travnikov (npr. modro stožkovje s črnkastim sitovcem, modro stožkovje z rjastim sitovcem, združba rušnate masnice in visokega trpotca) (Martinčič in Leskovar, 2003). V nadaljevanju so na kratko predstavljene značilnosti združb, katerih predstavniki so obravnavani v doktorski disertaciji.

3.1.3.1 Trstičevje

Trstičevje (*Phragmitetum australis* Schmale 1939) pokriva približno tretjino Cerknškega polja, predvsem osrednji in zahodni del. Zaradi specifičnih razmer na Cerknškem jezeru je prisotno v različnih oblikah. Na Zadnjem kraju navadni trst pogosto začinja svoj razvoj še pod vodo. Ko voda upade, se razvije močvirska oblika te združbe s predstavniki, ki v vodi ne uspevajo. Razvoj trsta drugje lahko že od začetka poteka na kopnem, vendar ostaja vezan na visok nivo talne vode. V osrednjem delu navadni trst prodira v druge rastlinske združbe in se tako pojavlja skupaj s predstavniki nekaterih drugih združb (Martinčič in Leskovar, 2003). Na jugovzhodnem obrobju polja, predvsem na območju Dujic, pa poteka intenzivno zaraščanje s posameznimi brezami (*Betula pendula*), smrekami (*Picea abies*) in bori (*Pinus sylvestris*).

3.1.3.2 Togo šašje in sestoji trstične pisanke

Visoko šašje (*Caricetum elatae* W. Koch 1926), od tega v glavnem togi šaš (*Carex elata* All.), pokriva večje predele predvsem na osrednjem delu Cerknškega jezera in skupaj z navadnim trstom predstavlja glavnino primarne proizvodnje na Cerknškem jezeru. Večino površin, kjer prevladuje togi šaš, ob upadu vode kosijo, zato ne uspeva v značilnih visokih kupih (Martinčič in Leskovar, 2003).

Sestoji trstične pisanke najdemo predvsem v širših ali ožjih pasovih ob počasi tekočih pritokih in ponikvah. Trstična pisanka je lahko primešana tudi togemu šašju ali navadnemu trstu.

3.1.3.3 Barjanske združbe in združbe mokrotnih travnikov

Združba modro stožkovje s črnkastim sitovcem (*Schoeno nigricantis-Molinietum caeruleae* Martinčič 1991) se pojavlja na severnem obrobju Cerknškega jezera, ki je ob višji vodi še lahko poplavljen, poleti pa se tla izsušijo. Najopaznejši predstavnik z visoko pokrovnostjo je črnkasti sitovec.

Na nekaterih drugih robnih delih, predvsem na območju Dujic, se pojavlja združba rušnate masnice z rjastim sitovcem, ki z osuševanjem rastišča in kopičenjem humusa izgublja barjanski značaj in prehaja v združbe razreda *Molinio-Arrhenatheretea*, kar je opazno tudi na območju Cerknškega jezera. Rjasti sitovec ima v tem predelu visoko pokrovnost in daje združbi značilen izgled.

Na obrobni delih se med združbami mokrotnih travnikov pojavlja združba rušnate masnice in visokega trpotca (*Deschampsio-Plantaginetum altissimae* Ilijanić 1979). Ti travniki so lahko občasno poplavljeni, nivo talnice pa je vedno visok. Združba je vrstno zelo pestra, vrstna sestava pa se razlikuje glede na stopnjo vlažnosti tal (Martinčič in Leskovar, 2003).

3.1.4 Opis vzorčnih mest

3.1.4.1 Dujice

Na vzorčnem mestu Dujice (Slika 4, oznaka 1) je potekalo vzorčenje navadnega trsta za preučevanje primarne proizvodnje in glivne kolonizacije ter vzorčenje rjastega sitovca (*Schoenus ferrugineus*) za preučevanje glivne kolonizacije korenin. Rastišče v zadnjih letih precej spreminja svojo podobo, saj so vedno bolj opazne mlade rastline drevesnih vrst, ki zaraščajo prehodno barje in trstišče. Tla na tem vzorčnem mestu so stalno vlažna, če ne nasičena z vodo, vendar nikoli poplavljeni. pH tal je kisel, tla pa izmed vseh vzorčnih mest vsebujejo največ organskih snovi in imajo največji delež dušika, po čemer se tudi značilno razlikujejo (Preglednica 6).

Preglednica 6: Značilnosti tal na posameznih vzorčnih mestih. N=3. Različne črke označujejo statistično značilne razlike med vzorčnimi mesti. NZ ni značilnih razlik

Table 6: Soil characteristics at sampling sites. N=3. Different letters mean statistically significant differences among locations. NZ not significant

	pH	P ₂ O ₅ [mg/100g]	K ₂ O [mg/100g]	org. snov [%]	C [%]	C:N	N skup. [%]
Dujice	6,0±0,3 ^a	12,7±2,3 ^b	11,2±0,9 ^{NZ}	43,1±1,7 ^c	25,0±1,0 ^b	11,6±0,2 ^a	2,2±0,1 ^c
Gorenje Jezero	6,1±0,4 ^a	23,6±8,6 ^c	13,0±0,6 ^{NZ}	24,1±3,3 ^b	14,0±1,9 ^b	13,5±1,1 ^b	1,0±0,2 ^b
Zadnji kraj	6,2±0,3 ^a	3,0±1,5 ^a	8,1±3,3 ^{NZ}	6,6±1,6 ^a	3,8±0,9 ^a	11,7±0,4 ^a	0,3±0,1 ^a
Rešeto	7,0±0,1 ^b	2,9±1,8 ^{ab}	8,3±2,8 ^{NZ}	10,8±3,7 ^a	6,3±2,2 ^a	20,5±3,4 ^c	0,3±0,1 ^a

3.1.4.2 Gorenje Jezero

Na vzorčnem mestu Gorenje Jezero je potekalo vzorčenje navadnega trsta za preučevanje primarne proizvodnje, vzorčenje korenin navadnega trsta in togega šaša (*Carex elata*) za preučevanje glivne kolonizacije ter poskus razgradnje navadnega trsta in togega šaša. Za poskus razgradnje smo znotraj tega vzorčnega mesta izbrali tri mikrolokacije v sestoji navadnega trsta, kjer so bile zagotovljene stalno mokre (jarek z vodo v sestoji), izmenjujoče se suhe/mokre (ravnica, kjer se nivo vode spreminja) in stalno suhe razmere (sestoj na višji legi na Gorenjem Jezeru). Sestoj navadnega trsta se na Gorenjem Jezeru nahaja ob Obrhu, zato so tla vedno vsaj vlažna, voda, ki se razlije iz

jezera, pa ne doseže večje višine. Togi šaš obrašča obrežni pas ob strugi in je večkrat tudi zalit. Tla v tem sestoju vsebujejo največ fosfata (P_2O_5), kar je verjetno posledica bližnjih kmetijskih površin (Preglednica 6).

3.1.4.3 Zadnji kraj

Na Zadnjem kraju je potekalo vzorčenje navadnega trsta za preučevanje primarne proizvodnje in glivne kolonizacije korenin. Sestoji navadnega trsta pokrivajo večje predele od zaliva ob polotoku Drvošec do osrednjega dela jezera. Spremembe vodostaja so za navadni trst tu najbolj izrazite. Trst pogosto začne svoj razvoj pod vodo ali pa ga tekom spomladanske rasti večkrat zalije voda.

Tla na Zadnjem kraju so zelo zbita, peščena, z najnižjo vsebnostjo fosfata, organskih snovi ter najnižjim deležem ogljika in dušika (Preglednica 6), po čemer se tudi značilno razlikujejo do tal na drugih vzorčnih mestih.

3.1.4.4 Rešeto

Na območju Rešeta je potekalo vzorčenje različnih vrst za preučevanje glivne kolonizacije. Gre za območje požiralnikov, ob katerih se nahajajo mokrotni travniki. pH tal je na tem vzorčnem mestu nekoliko višji, v tleh pa je malo organske snovi in majhen delež ogljika in dušika (Preglednica 6).

3.2 PRIMARNA PROIZVODNJA NAVADNEGA TRSTA

3.2.1 Vzorčenje biomase navadnega trsta

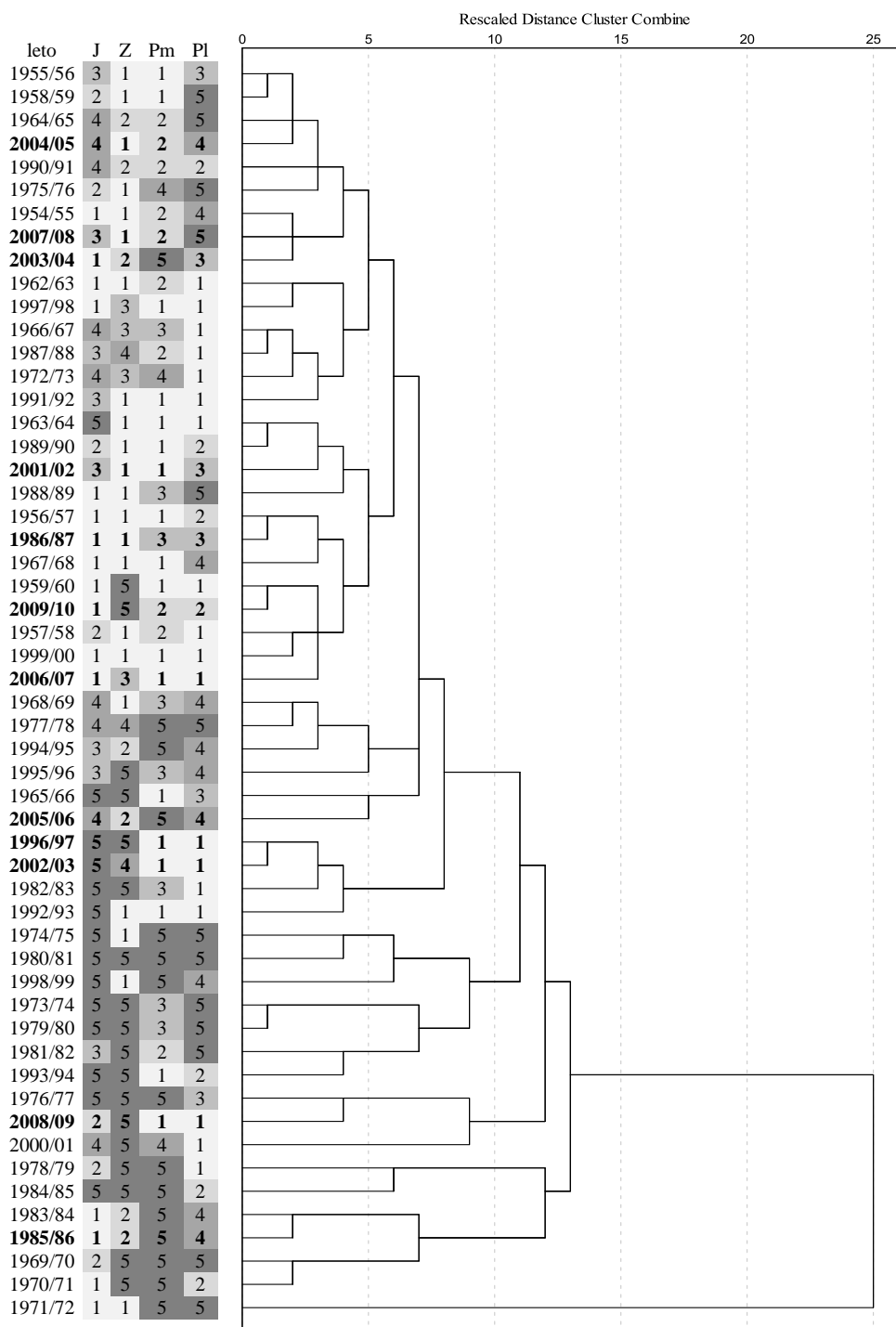
Vzorčenje nadzemne biomase navadnega trsta za raziskovalni del doktorske disertacije je bilo izvedeno od leta 2007 naprej, v letih 1986, 1987, 1997, 2002 – 2006 pa so bili vzorci vzeti v okviru drugih raziskav. Ker je metoda dovolj enostavna in je bilo vzorčenje vsakič ponovljeno na enak način, smo pri interpretaciji nekaterih vplivov uporabili biomaso iz vseh let, pri natančnejši primerjavi še drugih podatkov na izbranih vzorčnih mestih pa nize podatkov od leta 2007 naprej.

Vzorčenje je v večini let potekalo na treh vzorčnih mestih, Dujice, Gorenje Jezero in Zadnji kraj, z izjemo let 2004, 2005 in 2006, ko je bilo vzorčno mesto Dujice izpuščeno. Za preučevanje biomase navadnega trsta smo uporabili metodo, pri kateri vzorčimo rastline, ko dosežejo višek biomase (Cronk in Fennessy, 2001). Po tej metodi v delu rastne sezone, za katerega sklepamo, da vegetacija doseže največjo biomaso, naključno izberemo nekaj vzorčnih ploskev in na njih porežemo vse osebke izbrane rastlinske vrste. Rastlinski material posušimo in stehtamo, vrednost primarne proizvodnje pa izrazimo v g suhe mase m^{-2} leto⁻¹. Pri preučevanju biomase navadnega trsta smo izbrali 5 kvadratov v velikosti 0,5x0,5 m na posameznem vzorčnem mestu, poganjke navadnega trsta odrezali tik nad tlemi, nato pa smo v laboratoriju posameznim rastlinam izmerili dolžino, bazalni premer, izmerili listno površino ter zabeležili prisotnost oz. odsotnost socvetja. Rastline smo nato posušili v sušilniku (Sterimatic ST-11, Instrumentaria, Zagreb) na 105 °C in stehtali z miligramsko tehtnico (Sartorius).

3.2.2 Vodostaji in temperatura v preučevanih letih

3.2.2.1 Vodostaji v preučevanih letih

Analiza vodostajev temelji na nizih podatkov, ki smo jih pridobili od Agencije RS za okolje. Vodostaji so se v letih, ko imamo podatke za primarno proizvodnjo, zelo razlikovali (predstavljeni so v prilogi A1), za lažjo umestitev v daljše časovno obdobje pa smo jih predstavili v obliki dendrograma (Slika 8) skupaj s preostalimi leti, v katerih je bil izmerjen vodostaj (od leta 1954 naprej). Ker je za rast trsta pomemben že vodostaj iz pretekle jeseni, smo kot letne vodostaje upoštevali podatke od septembra preteklega leta do septembra tistega leta, ko je bila vzorčena biomasa. Za lažjo interpretacijo dendrograma so dodani rangi za vodostaj v posameznem letnem času. Rangi od 1 do 5 tako predstavljajo razpon med minimalnim in maksimalnim povprečnim vodostajem za posamezni letni čas.



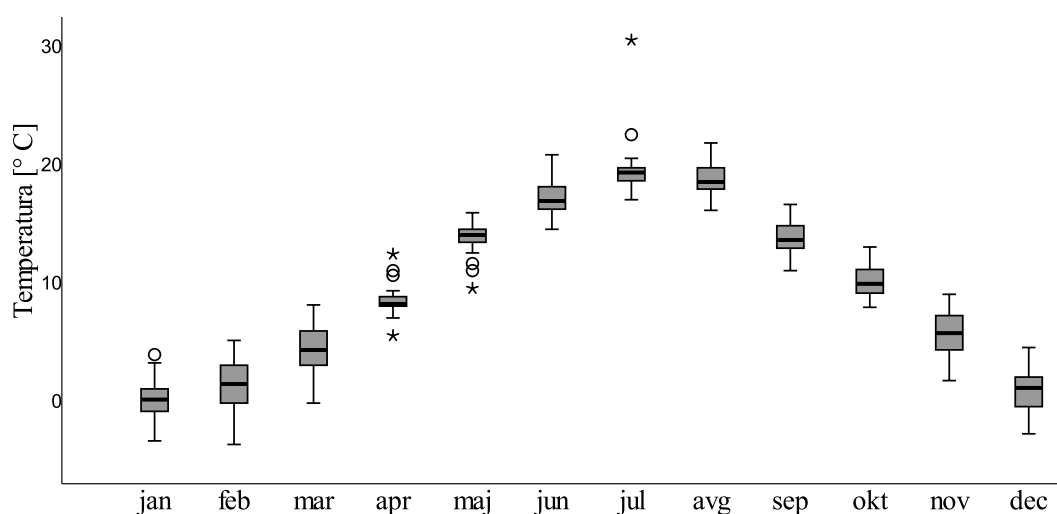
Slika 8: Dendrogram letnih vodostajev (metoda povprečne povezanosti), z dopisanimi rangiranimi vodostaji za posamezen letni čas (J-jesen, Z-zima, Pm-pomlad, Pl-poletje) na levi strani. Intenziteta sive barve ustreza stopnjam 1-5 (razlaga v besedilu na strani 29). V krepko označenih letih je potekalo vzorčenje biomase navadnega trsta

Figure 8: Dendrogram for yearly water level (average linkage method) with water level ranges (1-5) for seasons (J-autumn, Z-winter, Pm-spring, Pl-summer). Gray scale corresponds to ranges 1-5 (explanation in text, p. 29). In the bolded years the aboveground biomass of *P. australis* was sampled

Predvidevali smo, da na nadzemno biomaso navadnega trsta vplivajo tudi nenadni dvigi vodostaja. Tako smo ob pregledu podatkov za vodostaj prešteli vse nenadne dvige vodostaja, ki smo ga opredelili kot dvig vodostaja za 0,8 m v 5 dneh, če je vodostaj že bil visok vsaj 1 meter, saj so šele pri tej višini tla v sestojih navadnega trsta že nasičena z vodo. Pri preučevanju vpliva dvigov vodostaja smo upoštevali tako celoletno število nenadnih dvigov kot dvige v posameznih letnih časih.

3.2.2.2 Temperatura v preučevanih letih

Pri preučevanju povezav nadzemne biomase navadnega trsta z okoljskimi parametri smo upoštevali tudi podatke o temperaturi izmerjene na najbližji vremenski postaji Postojna. Podatke smo pridobili od Agencije RS za okolje. Slika 9 prikazuje mesečne razpone za obdobje od 1986 do 2010. Povprečne mesečne temperature za posamezna leta, v katerih smo vzorčili nadzemno biomaso navadnega trsta so podane v Prilogi A2.



Slika 9: Razpon povprečnih mesečnih temperatur izmerjenih na vremenski postaji Postaji od leta 1986 do 2010. N=25. ° prikazuje osamelce,*ekstremne osamelce

Figure 9: Boxplots represent range of average monthly temperatures measured at Postojna from 1986 to 2010. ° represents outliers, * represents extreme outliers

3.2.3 Statistična analiza

Z enosmerno Anovo smo primerjali rezultate primarne proizvodnje in rastne parametre navadnega trsta med različnimi vzorčnimi mesti. Ker se podatki za biomaso med leti

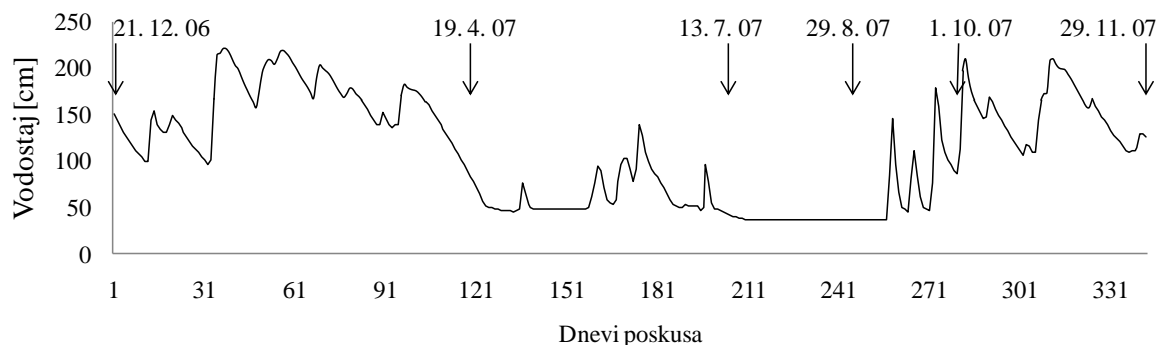
zelo razlikujejo, smo to variabilnost skušali pojasniti z okoljskimi dejavniki, predvsem z vodostajem in temperaturo na najbližji vremenski postaji Postojna. Linearno povezavo med biomaso in temperaturo smo iskali za trstišča z vseh treh vzorčnih mest – Dujice, Gorenje Jezero in Zadnji kraj, med biomaso in vodostajem pa samo na vzorčnih mestih, ki sta stalno ali občasno poplavljeni – Gorenje Jezero in Zadnji kraj. Za preučevanje povezav med biomaso in okoljskimi dejavniki smo uporabili Pearsonove oz. Spearmanove korelacije ter linearno regresijo. Pri izračunu modela z linearno regresijo smo vključili vodostaje in temperature za vse mesece ter število nenadnih dvigov vodostaja in z uporabo metode postopnega vključevanja (*stepwise*) dobili model, ki je vključeval samo značilne vplive. Za veljavnost modela smo upoštevali Durbin-Watsonovo statistiko, ki je bila okrog 2. Vse teste smo naredili s programom SPSS 19.0.

3.3 RAZGRADNJA RASTLINSKEGA MATERIALA

3.3.1 Izvedba poskusa razgradnje navadnega trsta in togega šaša

Leta 2007 smo raziskali razgradnjo dveh rastlinskih vrst, ki imata na območju Cerknškega jezera največjo biomaso – navadnega trsta in togega šaša. Za preučevanje razgradnje rastlinskega materiala smo uporabili metodo vrečk za steljo (*litter bag* metoda) (Webster in Benfield, 1986). Uporabili smo plastične mrežaste vrečke dimenzije 20 x 40 cm z odprtiniami približno 1 x 1 mm. Napolnili smo jih s po 10 g stebel navadnega trsta, 2 g listov navadnega trsta in 5 g listov togega šaša. Pripravili smo po 88 vrečk s stebli in listi navadnega trsta ter 32 vrečk s togim šašom. Za preučevanje razgradnje navadnega trsta smo izbrali 3 mikrolokacije na območju Gorenjega Jezera z različnimi vodnimi razmerami: pretežno suho mikrolokacijo, mikrolokacijo s pogostejšim izmenjevanjem mokrih in suhih razmer ter pretežno poplavljeno mikrolokacijo. Na posamezni mikrolokaciji smo pritrdili po 28 vrečk, pripravljenih za 7 vzorčenj tekom leta s po 4 ponovitvami. Vrečke s šašom smo pustili le na suhi mikrolokaciji, saj se tudi na Cerknškem jezeru pojavlja le tam, kjer do sprememb vodostaja ne prihaja. Ena paralelka z vsakim od rastlinskih materialov je ostala shranjena v laboratoriju. Na vseh mikrolokacijah smo vrečke pustili v sestoji navadnega trsta, povezane s plastificirano žico in pritrjene v tla. Tako so se lahko premikale, vendar so ostale bolj ali manj pri tleh in na istem mestu. Ker smo želeli preučiti predvsem vpliv sprememb vodostaja na razgradnjo, so časovni intervali

pobiranja vzorcev neenakomerni, saj smo vzorčili ob večjih dvigih in upadih vodostaja (Slika 10). Poskus smo pričeli 21. 12. 2006, prvo vzorčenje je bilo po 120 dnevih (19. 4. 2007), drugo po 205 dnevih (13. 7. 2007), tretje po 252 dnevih (29. 8. 2007), četrto po 280 dnevih (1. 10. 2007) ter peto po 334 dnevih od začetka poskusa (29. 11. 2007).



Slika 10: Vodostaj na merilnem mestu Gorenje Jezero v času poskusa razgradnje z označenimi datumi posameznih vzorčenj

Figure 10: Water level at Gorenje Jezero measuring station at time of the decomposition experiment with sampling dates emphasized

3.3.2 Izračun parametrov razgradnje

Po vsakem vzorčenju smo vrečke z rastlinskim materialom v laboratoriju odprli in pregledali ter izločili morebitne nevretenčarje in tujke. Nato smo ga posušili, suho maso pa izrazili kot odstotek začetne suhe mase rastlinskega materiala. Za primerjavo razgradnje med mikrolokacijami ali rastlinami smo izračunali konstanto stopnje razgradnje k po eksponentni enačbi:

$$m_t = m_0 \cdot e^{-kt} \quad \dots(1)$$

kjer je m_t suha masa po razgradnji, m_0 suha masa na začetku razgradnje in t čas razgradnje izražen v mesecih (Jenny in sod., 1949). Konstanta stopnje razgradnje k nam pove, koliko gramov materiala se razgradi v enem mesecu. S pomočjo konstante k lahko izračunamo tudi razpolovni čas $t_{\frac{1}{2}}$ za posamezni rastlinski material po enačbi:

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln\left(\frac{1}{2}\right)}{-k} \quad \dots(2)$$

ki nam pove, koliko časa je potrebno, da v procesu razgradnje ostane le še polovica rastlinske biomase (Schlesinger in Hasey, 1981).

3.3.3 Elementna analiza rastlinskega ostanka z rentgensko fluorescenčno spektrometrijo

Vzorci, shranjeni v laboratoriju in vzorce, pridobljene po prvem vzorčenju, smo uporabili tudi za določitev koncentracij nekaterih elementov. Tako smo v sodelovanju z Inštitutom Jožef Stefan naredili elementno analizo s pomočjo rentgensko fluorescenčne spektrometrije (Markowicz, 1993). Rentgensko fluorescenco (XRF) atomov v vzorcu vzbujamo z rentgenskim sevanjem rentgenske cevi ali radioizotopom. Jakosti karakterističnih črt posameznih elementov merimo s pomočjo rentgenskega spektrometra s polprevodniškim detektorjem. Iz merjenega spektra sklepamo na prisotnost elementa v vzorcu (kvalitativna analiza), iz jakosti spektralnih črt pa določimo koncentracijo odgovarjajočih elementov v vzorcu (kvantitativna analiza). Na ta način smo v posušeni in zmletih vzorcih stebel in listov navadnega trsta ter listih togega šaša določili koncentracije kalija, kalcija, mangana, železa, kroma, cinka, broma in stroncija.

3.3.4 Statistična analiza

S pomočjo enosmerne Anove smo pri podatkih o razgradnji trsta in koncentraciji elementov ugotavljali, ali obstajajo med različnimi mikrolokacijami (suha, izmenjujoče se suha/mokra, mokra) značilne razlike v upadu suhe mase in koncentracijah elementov. Z Levenovim testom smo preverili homogenost varianc, za ugotavljanje, med katerimi mikrolokacijami so razlike, pa smo glede na izid Levenovega testa naredili LSD post-hoc primerjavo, če so bile variance med skupinami podobne, oziroma Tamhane T2 post-hoc primerjavo, če so bile značilno različne.

Mesečno konstanto stopnje razgradnje k smo izračunali tako za posamezne intervale vzorčenja kot za celotni čas poskusa. Izračunali smo tudi razpolovni čas za posamezne vzorce. Da bi ugotovili, ali obstaja povezava med posameznimi konstantami stopnje razgradnje in številom dni, ko so bili vzorci pod vodo, smo uporabili Spearmanov koeficient korelacije.

Rezultate koncentracij elementov po razgradnji na različnih mikrolokacijah smo prikazali kot deleže začetne mase tako, da smo upoštevali tudi upad mase vzorca zaradi razgradnje in sicer po enačbi:

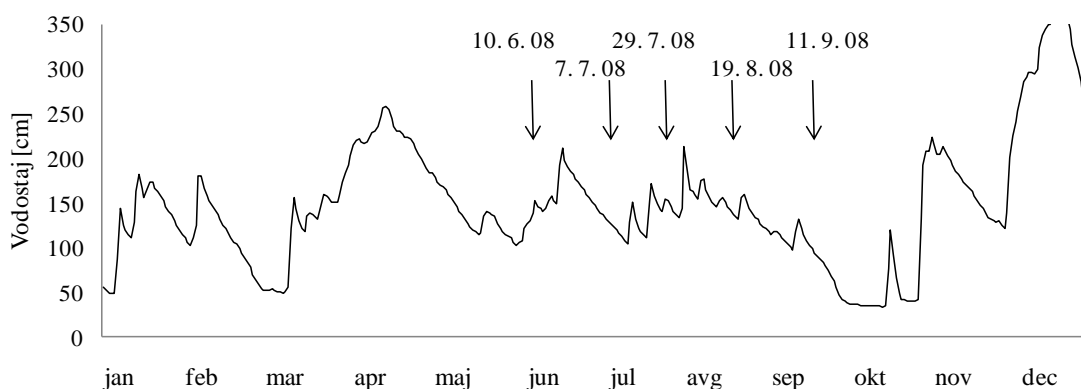
$$\% \text{ začetne mase elementa} = \frac{\textit{konc}_{kon} \times \textit{SM}_{kon}}{\textit{konc}_{zač} \times \textit{SM}_{zač}} \quad \dots(3)$$

kjer sta $\textit{konc}_{zač}$ in \textit{konc}_{kon} koncentraciji, ki smo ju izmerili v vzorcih pred poskusom razgradnje in po štirih mesecih razgradnje v različnih razmerah na mikrolokacijah; ter $\textit{SM}_{zač}$ in \textit{SM}_{kon} suhi masi vzorcev pred poskusom razgradnje in po štirih mesecih razgradnje v različnih razmerah na mikrolokacijah. Za vse teste smo uporabili statistični program SPSS 19.0.

3.4 GLIVNA KOLONIZACIJA

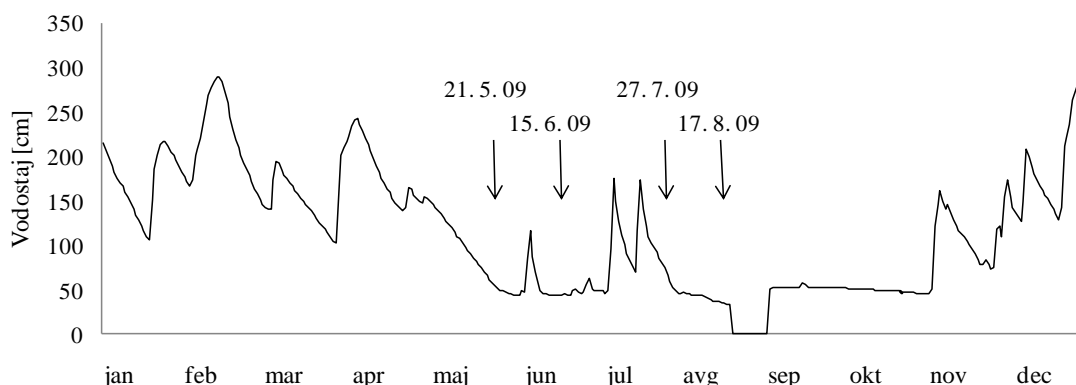
3.4.1 Vzorčenje in vodostaj

V letih 2008 in 2009 smo ugotavljali glivno kolonizacijo korenin navadnega trsta skozi rastno sezono in vpliv vodostaja, leta 2008 na vzorčnih mestih Dujice, Gorenje Jezero in Zadnji kraj, leta 2009 samo na vzorčnem mestu Zadnji kraj. Vodostaja za leti 2008 in 2009 z datumi vzorčenja prikazujeta Sliki 11 in 12. Leta 2009 smo prav tako raziskali sezonske spremembe v glivni kolonizaciji trstične pisanke (*Phalaris arundinacea* L.), nabrane na Rešetu na iste dneve kot navadni trst. Spremembe vodostaja na rastišču trstične pisanke niso bile izrazite.



Slika 11: Vodostaj na merilnem mestu Gorenje jezero leta 2008 z datumi vzorčenja korenin navadnega trsta za preučevanje glivne kolonizacije

Figure 11: Water level at Gorenje Jezero measuring station in 2008 with dates of *P. australis* root sampling marked by arrows



Slika 12: Vodostaj na merilnem mestu Gorenje jezero leta 2009 z datumi vzorčenja korenin navadnega trsta za preučevanje glivne kolonizacije

Figure 12: Water level at Gorenje Jezero measuring station in 2009 with dates of *P. australis* root sampling marked by arrows

Leta 2008 je bila izvedena še raziskava glivne kolonizacije dveh vrst sitovca, rjastega sitovca (*Schoenus ferrugineus* L.) nabranega na Dujicah in črnkastega sitovca (*S. nigricans* L.) nabranega na Rešetu, leta 2009 pa glivna kolonizacija togega šaša nabranega na Zadnjem kraju ter močvirskega grinta (*Senecio paludosus* L.), velikega trpotca (*Plantago altissima* L.) in velikega poletnega zvončka (*Leucojum aestivum* L.) nabrane na Rešetu.

Pri vzorčenju korenin za oceno glivne kolonizacije smo izkopali posamezne rastline z nekaj prsti, ki smo jih nato v vrečkah prinesli v laboratorij. Tam smo pod tekočo vodo spirali prst s korenin, dokler ni ostal popolnoma očiščen koreninski sistem izbrane vrste. Dobro oprane korenine s koreninskimi laski smo shranili v 70 % alkohol, kjer so počakale na barvanje.

3.4.2 Ocena glivne infekcije

3.4.2.1 Priprava in pregled vzorcev korenin

Za barvanje smo uporabili metodo, kot sta jo opisala Phillips in Hayman (1970). Korenine iz alkohola smo oprali z vodo, jih dali v široke epruvete in zaprli ustja z mrežastimi zamaški. V epruvete smo nalili 10 % KOH in jih za 20 do 30 minut postavili v sušilnik na 90 °C. Korenine smo nato sprali z destilirano vodo, dolili barvilo tripan modro ter epruvete vrnili za 15 minut na 90 °C v sušilnik. Barvilo smo nato odlili in

korenine znova sprali z vodo. Obarvane korenine smo narezali na približno 1 cm dolge segmente. Iz vzorca smo naključno izbrali 30 segmentov in jih pogledali pod svetlobnim mikroskopom (Olympus CX41, Olympus, Hamburg, Nemčija), opremljenim s kamero Colorview II CCD (Soft Imaging System, Münster, Nemčija), pri tem smo uporabili računalniški program Cell Olympus Imaging Software.

3.4.2.2 Izračun parametrov glivne kolonizacije

Stopnjo glivne kolonizacije smo ocenili po metodi, kot so jo opisali Trouvelot in sod. (1986). Posamezen fragment smo glede na splošno glivno kolonizacijo uvrstili v enega izmed šestih razredov, pri čemer je razred 0 pomenil 0 % kolonizacije, razred 1 manj kot 1 %, razred 2 med 1 in 10 % kolonizacije, razred 3 med 10 in 50 % kolonizacije, razred 4 med 50 in 95 % ter razred 5 nad 95 % kolonizacije. Ocenili smo tudi gostoto arbuskulov, veziklov, svitkov in mikrosklerocijev, struktur temno-septiranih endofitov. Znotraj vsakega razreda smo fragmentu pripisali še vrednosti 0, 1, 2 ali 3, glede na to ali je bila posamezna struktura prisotna, oz. ali je bila njena gostota majhna, srednja ali velika. Iz teh ocen smo izračunali posamezne parametre glivne kolonizacije:

- Frekvenca glivne kolonizacije (delež koloniziranih fragmentov) F %:

$$F \% = \frac{n_k}{n} \times 100 \quad \dots(4)$$

- Splošna intenziteta glivne kolonizacije M %:

$$M \% = \frac{(95n_{>95} + 70n_{51-95} + 30n_{11-50} + 5n_{1-10} + n_{<1})}{n} \quad \dots(5)$$

- Intenziteta glivne kolonizacije v koloniziranih delih fragmenta m %:

$$m \% = \frac{M}{F} \times 100 \quad \dots(6)$$

- Gostota arbuskulov v koreninskem sistemu A %:

$$A \% = \frac{aM}{100} \quad \dots(7)$$

- Gostota arbuskulov v delu skorje z glivno kolonizacijo a %:

$$a \% = \frac{(100mA_3 + 50mA_2 + 10mA_1)}{100} \quad \dots(8)$$

Gostote v celotnem koreninskem sistemu in v delu z glivno kolonizacijo smo izračunali tudi za vezikle, svitke in mikrosklerocije ter tako dobili še parametre V %, v %, S %, s %, MS % in ms % po enakih enačbah, kot sta (7) in (8).

3.4.3 Fiziološke meritve

Na rastlinah izbranih za vzorčenje korenin smo najprej izmerili nekatere fiziološke parametre, s katerimi smo potrdili njihovo vitalnost (rezultati v Prilogah II, K1, M1). Izmerili smo transpiracijo preučevanih rastlin s porometrom AP4 (Delta-T Devices Ltd, UK), ki meri stopnjo difuzije vode skozi listno površino. Fotokemično učinkovitost fotosistema II smo izmerili z modulacijskim fluorometrom OS-500 (Opti-Sciences, Tyngsboro, MA, ZDA). Potencialno fotokemično učinkovitost fotosistema II (F_v/F_m) smo izmerili na listih, ki smo jih za 20 minut s ščipalkami zatemnili in nato osvetlili s saturacijskim pulzom bele svetlobe (PPFD 8000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$; 0,8 s). Fluorescentni signal pred osvetlitvijo imenujemo minimalna (F_0), po osvetlitvi pa maksimalna (F_m) fluorescenca temotno adaptiranega vzorca. Razliko med F_0 in F_m imenujemo variabilna fluorescenca (F_v). Količnik F_v/F_m , ki predstavlja zmogljivost fotosistema II je hkrati merilo stresa. Pri vitalnih rastlinah so vrednosti F_v/F_m med 0,8-0,83. Dejansko fotokemično učinkovitost fotosistema II (Y) smo merili pri danih svetlobnih razmerah. Na list smo namestili ščipalko, ki ga je pod kotom 60° osvetlila s pulzom saturacijske bele svetlobe (PPFD~9000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$; 0,8 s). Dejansko fotokemično učinkovitost izrazimo kot yield (Y) s količnikom variabilne (F_m-F_s) in maksimalne (F_m) fluorescence osvetljenega vzorca (Schreiber in sod., 1995).

3.4.4 Statistična analiza

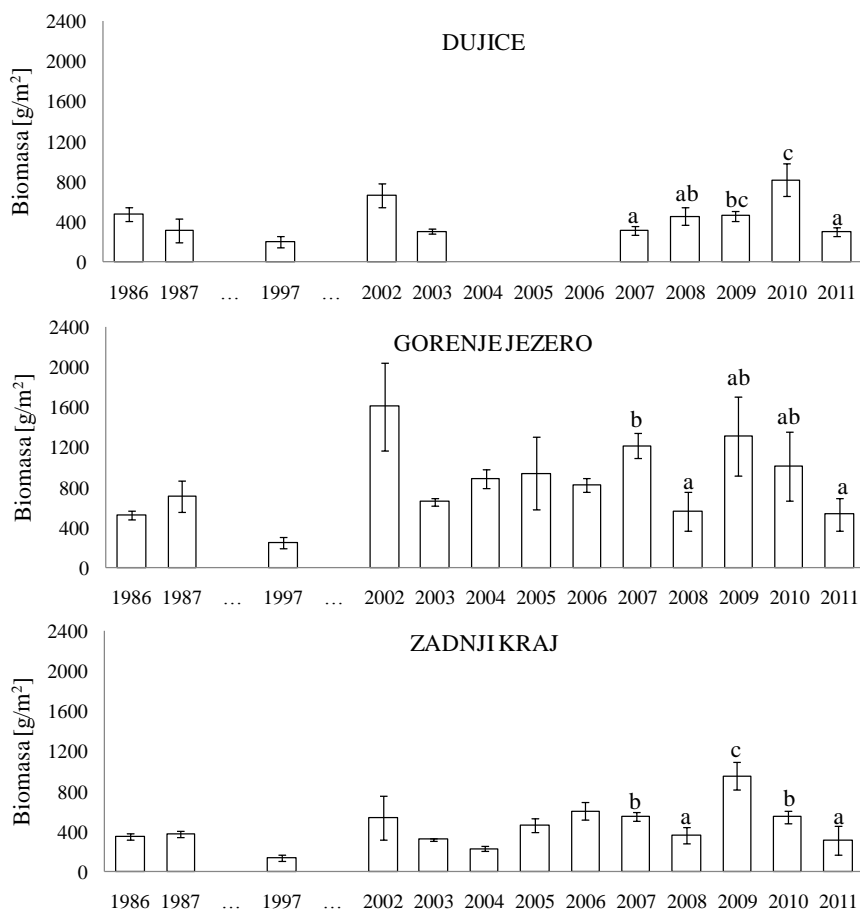
Rezultate glivne kolonizacije smo zaradi velike razpršenosti prikazali v obliki škatel z ročaji (boxplotov). Z uporabo Anove smo iskali statistično značilne razlike med različnimi vzorčenji v isti sezoni oziroma pri navadnem trstu tudi med vzorčnimi mesti. Razlike med skupinami smo poiskali z LSD testom oziroma Tamhane T2 testom, kadar je Levenov test pokazal, da so variance med izbranimi skupinami nehomogene. Da bi ugotovili, ali obstaja povezava med glivno kolonizacijo in vodostajem, smo izračunali Spearmanov koeficient korelacije med posameznimi parametri glivne kolonizacije in povprečnim vodostajem v preteklih sedmih dneh pred vzorčenjem. Za vse teste smo uporabili statistični program SPSS 19.0.

4 REZULTATI

4.1 PRIMARNA PROIZVODNJA NAVADNEGA TRSTA V ODVISNOSTI OD OKOLJSKIH DEJAVNIKOV

4.1.1 Biomasa in rastni parametri navadnega trsta

Nadzemna biomasa navadnega trsta se je v preučevanih letih zelo razlikovala (Slika 13). Razlike so statistično opredeljene samo za leta 2007 – 2011, ko imamo popolne podatke za vsa vzorčna mesta. Na vseh vzorčnih mestih je opaziti veliko variabilnost med posameznimi leti, razlika med najnižjo in najvišjo izmerjeno biomaso je lahko tudi dvo- ali večkratna.



Slika 13: Nadzemna biomasa navadnega trsta v letih 1986, 1987, 1997, 2002-2011 na vzorčnih mestih Dujice, Gorenje Jezero in Zadnji kraj. N=5, podatki so povprečja ± SD. Razlike v biomaso so statistično opredeljene za leta 2007-2011. Različne črke označujejo statistično različne podatke

Figure 13: Aboveground biomass of *P. australis* in 1986, 1987, 1997, 2002-2011 at sampling sites Dujice, Gorenje Jezero and Zadnji kraj. N=5, columns are average ± SD. Statistical significance is determined for years 2007-2011. Data not sharing the same letter are statistically significant

Primerjava biomase in rastnih parametrov navadnega trsta med vzorčnimi mesti od leta 2007 naprej (Preglednica 7) pokaže, da se sestoji trsta na preučevanih vzorčnih mestih med seboj precej razlikujejo. Nadzemna biomasa trsta z Dujic je navadno najnižja ali pa primerljiva z biomaso trsta z Zadnjega kraja, kljub temu, da gostota sestoja na Dujicah navadno ni najmanjša. Nadzemna biomasa na Dujicah je manjša predvsem na račun nižje višine posameznih rastlin in manjšega bazalnega premera.

Sestoj navadnega trsta z največjo biomaso se nahaja na Gorenjem Jezeru, kjer posamezne rastline navadno dosežejo tudi največjo višino v primerjavi z drugima dvema vzorčnima mestoma, kljub enako velikemu bazalnemu premeru, kot ga imajo rastline na Zadnjem kraju. Rastline na Zadnjem kraju so tistim z Gorenjega Jezera podobne tudi po višini, vendar je gostota tega sestoja toliko nižja, da po nadzemni biomaso navadno komaj preseže biomaso sestoja na Dujicah.

Preglednica 7: Rastni parametri navadnega trsta v letih 2007-2011. DU Dujice, GJ Gorenje Jezero, ZK Zadnji kraj. N=5, podatki so povprečja ± SD. Različne črke označujejo statistično značilne razlike. NZ – ni značilno

Table 7: *P. australis* growth parameters in years 2007-2011. DU Dujice, GJ Gorenje Jezero, ZK Zadnji kraj. N=5, data is average ± SD. Data not sharing the same letter are statistically significant. NZ – not significant

	vzorčno mesto	biomasa [g]	gostota [št. rastlin/m ²]	% cvetočih	listni indeks [m ² /m ²]	višina [cm]	baz. premer [mm]
2007	DU	310±44 ^a	40±4 ^a	44±12 ^a	1,2±0,2 ^a	113±6 ^a	4,1±0,4 ^a
	GJ	1215±121 ^c	75±5 ^b	54±4 ^a	2,6±0,3 ^b	205±18 ^c	6,4±0,3 ^b
	ZK	548±41 ^b	42±6 ^a	76±13 ^b	1,4±0,1 ^a	180±11 ^b	6,3±0,5 ^b
2008	DU	453±83 ^{ab}	63±8 ^b	68±18 ^{NZ}	3,3±0,4 ^b	116±12 ^a	4,0±0,3 ^a
	GJ	562±191 ^b	44±13 ^a	58±16 ^{NZ}	2,1±0,7 ^a	174±19 ^b	5,5±0,3 ^b
	ZK	363±84 ^a	38±8 ^a	68±19 ^{NZ}	1,9±0,4 ^a	160±18 ^b	5,2±0,3 ^b
2009	DU	456±47 ^a	94±13 ^{NZ}	40±6 ^{NZ}	3,3±0,4 ^a	113±8 ^a	4,4±0,2 ^a
	GJ	1312±395 ^c	109±37 ^{NZ}	43±10 ^{NZ}	6,5±2,1 ^b	188±13 ^c	6,1±0,4 ^b
	ZK	953±143 ^b	98±12 ^{NZ}	50±18 ^{NZ}	4,5±1,0 ^a	172±9 ^b	6,4±0,2 ^b
2010	DU	811±163 ^a	92±18 ^b	63±20 ^{NZ}	2,5±0,5 ^b	140±5 ^a	4,4±0,1 ^a
	GJ	1010±345 ^b	103±23 ^b	42±27 ^{NZ}	1,8±0,6 ^a	186±27 ^b	5,4±0,3 ^b
	ZK	546±63 ^a	44±6 ^a	60±7 ^{NZ}	1,5±0,2 ^a	178±11 ^b	5,6±0,6 ^b
2011	DU	295±46 ^a	54±6 ^{NZ}	34±9 ^a	0,9±0,2 ^{NZ}	112±20 ^a	3,6±0,4 ^a
	GJ	529±167 ^b	61±23 ^{NZ}	58±18 ^b	1,0±0,4 ^{NZ}	166±17 ^b	4,4±0,3 ^b
	ZK	308±146 ^a	49±13 ^{NZ}	30±19 ^a	0,8±0,4 ^{NZ}	121±17 ^a	4,2±0,5 ^{ab}

Primerjava biomase in izmerjenih rastnih parametrov navadnega trsta ne glede na vzorčno mesto pokaže, da so biomasa in rastni parametri med seboj močno povezani (Preglednica 8). Sestoji z večjo biomaso imajo tudi večjo gostoto, listni indeks, posamezni poganjki so večji ter z večjim bazalnim premerom. Vendar so med vzorčnimi mesti razlike pri deležu cvetočih rastlin in gostoti. Značilno pozitivne povezave, ki smo jih opazili samo na vzorčnem mestu Dujice (Preglednica 9), kažejo, da je z večjo biomaso/gostoto rastlin večji tudi delež cvetočih rastlin, listni indeks in bazalni premer.

Preglednica 8: Pearsonovi korelacijski koeficienti med rastnimi parametri navadnega trsta za vsa vzorčna mesta skupaj. N=75. * označuje statistično značilno korelacijo

Table 8: Pearson correlation coefficients for growth parameters of *P. australis* from all sampling sites combined. N=75. * marks a statistically significant correlation

		biomasa	gostota	% cvetočih	listni ind.	višina
gostota	Pears. kor. koef.	0,745*				
	p	0,000				
% cvetočih	Pears. kor. koef.	0,097	-0,203			
	p	0,406	0,081			
listni ind.	Pears. kor. koef.	0,706*	0,694*	0,047		
	p	0,000	0,000	0,690		
višina	Pears. kor. koef.	0,655*	0,130	0,401*	0,240*	
	p	0,000	0,267	0,000	0,038	
baz. prem.	Pears. kor. koef.	0,605*	0,153	0,292*	0,383*	0,836*
	p	0,000	0,189	0,011	0,001	0,000

Preglednica 9: Pearsonovi korelacijski koeficienti med rastnimi parametri navadnega trsta na vzorčnem mestu Dujice. N=25. * označuje statistično značilno korelacijo. S sivo so označene korelacije, ki so značilne samo za Dujice

Table 9: Pearson correlation coefficients among growth parameters of *P. australis* from Dujice. N=25. * marks a statistically significant correlation. Data with grey background are significant only for Dujice

		biomasa	gostota	% cvetočih	listni ind.	višina
gostota	Pears. kor. koef.	0,761*				
	p	0,000				
% cvetočih	Pears. kor. koef.	0,545*	0,235			
	p	0,005	0,258			
listni ind.	Pears. kor. koef.	0,518*	0,686*	0,473*		
	p	0,008	0,000	0,017		
višina	Pears. kor. koef.	0,699*	0,349	0,488*	0,214	
	p	0,000	0,087	0,013	0,304	
baz. prem.	Pears. kor. koef.	0,467*	0,429*	0,323	0,455*	0,577*
	p	0,019	0,032	0,115	0,022	0,003

Na drugih dveh vzorčnih mestih povezava med biomaso in deležem cvetočih rastlin ni bila značilna, je pa na Gorenjem Jezeru (Preglednica 10) značilno negativna povezava med deležem cvetočih rastlin in gostoto. Povezava med cvetenjem in višino je opazna tudi pri sestoji trsta na Zadnjem kraju (Preglednica 11). Delež cvetočih rastlin je namreč naraščal z bazalnim premerom.

Preglednica 10: Pearsonovi korelacijski koeficienti med ravnimi parametri navadnega trsta na vzorčnem mestu Gorenje Jezero. N=25. * označuje statistično značilno korelacijo. S sivo barvo so označene korelacije, ki so značilne samo za Gorenje Jezero

Table 10: Pearson correlation coefficients among growth parameters of *P. australis* from Gorenje Jezero. N=25. * marks a statistically significant correlation. Correlations on grey background are significant only for Gorenje Jezero

		biomasa	gostota	% cvetočih	listni ind.	višina
gostota	Pears. kor. koef.	0,774*				
	p	0,000				
% cvetočih	Pears. kor. koef.	-0,121	-0,463*			
	p	0,565	0,020			
listni ind.	Pears. kor. koef.	0,753*	0,621*	-0,218		
	p	0,000	0,001	0,295		
višina	Pears. kor. koef.	0,554*	0,079	0,407*	0,224	
	p	0,004	0,707	0,044	0,281	
baz. prem.	Pears. kor. koef.	0,569*	0,127	-0,096	0,483*	0,558*
	p	0,003	0,546	0,647	0,015	0,004

Preglednica 11: Pearsonovi korelacijski koeficienti med ravnimi parametri navadnega trsta na vzorčnem mestu Zadnji kraj. N=25. * označuje statistično značilno korelacijo. S sivo barvo so označene korelacije, ki so značilne samo za Zadnji kraj

Table 11: Pearson correlation coefficients among growth parameters of *P. australis* from Zadnji kraj. N=25. * marks a statistically significant correlation. Correlations on grey background are significant only for Zadnji kraj

		biomasa	gostota	% cvetočih	listni ind.	višina
gostota	Pears. kor. koef.	0,852*				
	p	0,000				
% cvetočih	Pears. kor. koef.	0,211	-0,208			
	p	0,312	0,317			
listni ind.	Pears. kor. koef.	0,886*	0,848*	0,159		
	p	0,000	0,000	0,447		
višina	Pears. kor. koef.	0,540*	0,048	0,769*	0,367	
	p	0,005	0,818	0,000	0,071	
baz. prem.	Pears. kor. koef.	0,768*	0,381	0,580*	0,595*	0,866*
	p	0,000	0,060	0,002	0,002	0,000

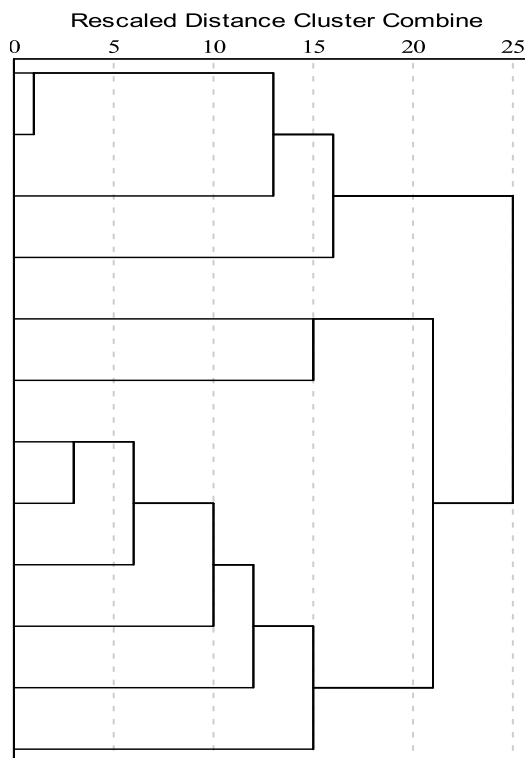
4.1.2 Vpliv okoljskih dejavnikov na biomaso navadnega trsta

Variabilnost v biomasu navadnega trsta med posameznimi leti smo skušali razložiti z vplivom okoljskih dejavnikov. Preučili smo vpliv temperature in spreminjanja vodostaja na biomaso navadnega trsta. Pri tem smo iz analize izključili leti 1996/97 in 2002/03, ker smo po pregledu podatkov ugotovili (Preglednica 12 in Slika 14), da je izjemno visok vodostaj na začetku rastne sezone najverjetneje povezan z nizko biomaso, ki smo jo izmerili v teh dveh letih in se drugi morebitni vplivi (vodostaj v drugih mesecih, temperatura) niso izrazili. Rezultati linearnih korelacij med nadzemno biomaso in vodostajem, spremembami vodostaja in temperaturo z vsemi upoštevanimi leti so predstavljeni v Prilogi B.

Preglednica 12: Vodostaji za posamezen letni čas (J-jesen, Z-zima, Pom-pomlad, Pol-poletje) in biomaso na Gorenjem Jezeru ter Zadnjem kraju uvrščeni v 5 razredov (desno)

Table 12: Water level and aboveground biomass at Gorenje Jezero and Zadnji kraj ranged into 5 classes (J-autumn, Z-winter, Pom-spring, Pol-summer) (right)

leto	vodostaji				biomaso	
	J	Z	Pom	Pol	GJ	ZK
1996/97	5	5	1	1	1	1
2002/03	5	4	1	1	2	2
2008/09	2	5	1	1	4	5
2006/07	1	3	1	1	4	3
2001/02	3	1	1	3	5	3
2005/06	4	2	5	4	3	3
2003/04	1	2	5	3	3	1
2007/08	3	1	2	5	2	2
1986/87	1	1	3	3	4	2
2009/10	1	5	2	2	3	3
1985/86	1	2	5	4	1	2
2004/05	4	1	2	4	3	2



Slika 14: Leta, v katerih je potekalo vzorčenje nadzemne biomase navadnega trsta, razporejena v dendrogram (metoda povprečne povezanosti) (levo)

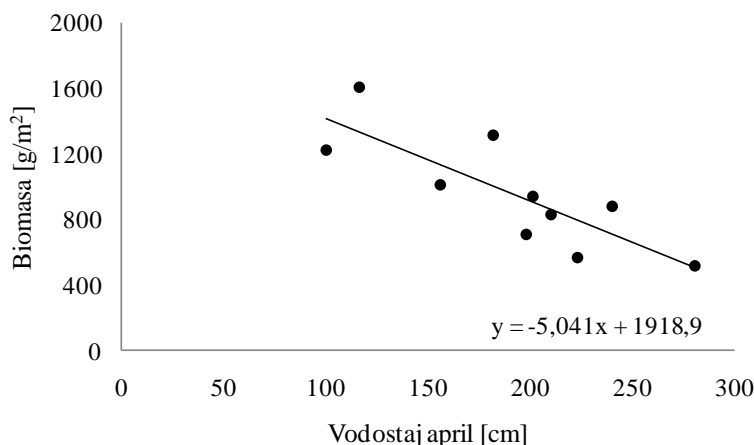
Figure 14: Dendrogram of the years in which aboveground biomass of *P. australis* was sampled (Average Linkage method) (left)

4.1.2.1 Linearna povezanost vodostaja in nadzemne biomase navadnega trsta

Korelacije med vodostajem in biomaso so izračunane samo za Gorenje Jezero in Zadnji kraj, kjer prihaja do izrazitih sprememb vodostaja. Linearna povezanost povprečnega mesečnega vodostaja z nadzemno biomaso je bila izračunana za vse mesece od septembra preteklega leta do avgusta v letu, ko smo vzorčili biomaso. Vsi koeficienti linearnih korelacij so predstavljeni v Prilogi C1.

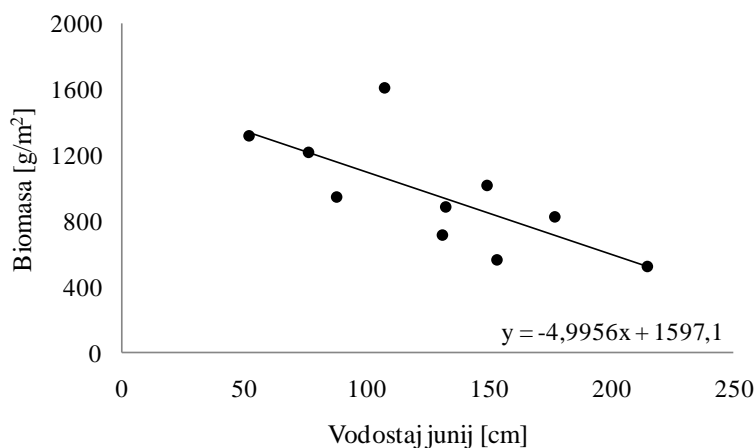
Gorenje Jezero

Rezultati so pokazali, da je z biomaso navadnega trsta na Gorenjem Jezeru povezan vodostaj aprila (Pearsonov kor. koef. $-0,812$; $p=0,004$) in junija (Pearsonov kor. koef. $-0,716$; $p=0,020$), in sicer večji kot je vodostaj aprila (Slika 15) ali junija (Slika 16), nižja bo končna biomasa. Do sedaj izmerjen razpon povprečnega mesečnega vodostaja v mesecu aprilu je od 60 cm do 360 cm, mediana je 180 cm. Razpon vodostaja v mesecu juniju je od 30 cm do 330 cm, mediana je 130 cm.



Slika 15: Biomasa navadnega trsta na Gorenjem Jezeru v odvisnosti od povprečnega vodostaja v aprilu. Dodana je linearna trendna črta, katere enačba je v spodnjem desnem kotu. N=10

Figure 15: *P. australis* biomass at Gorenje Jezero in dependence on average monthly water level in april. A linear trend line is added, with equation shown in lower right corner. N=10



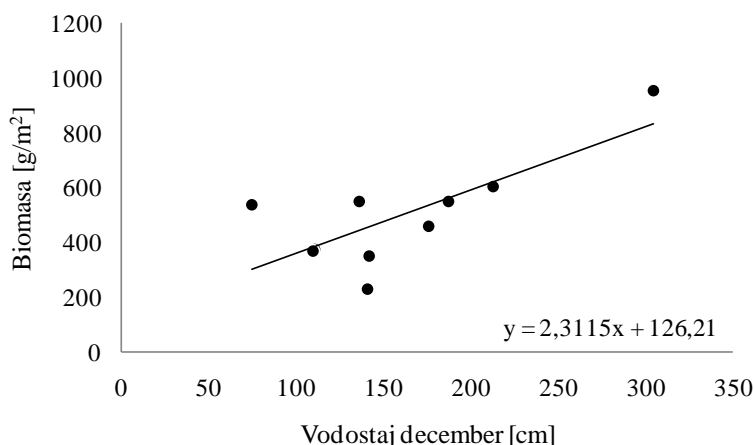
Slika 16: Biomasa navadnega trsta na Gorenjem Jezeru v odvisnosti od povprečnega vodostaja v juniju. Dodana je linearna trendna črta, katere enačba je v spodnjem desnem kotu. N=10

Figure 16: *P. australis* biomass at Gorenje Jezero in dependence on average monthly water level in June. A linear trend line is added, with equation shown in lower right corner. N=10

Zadnji kraj

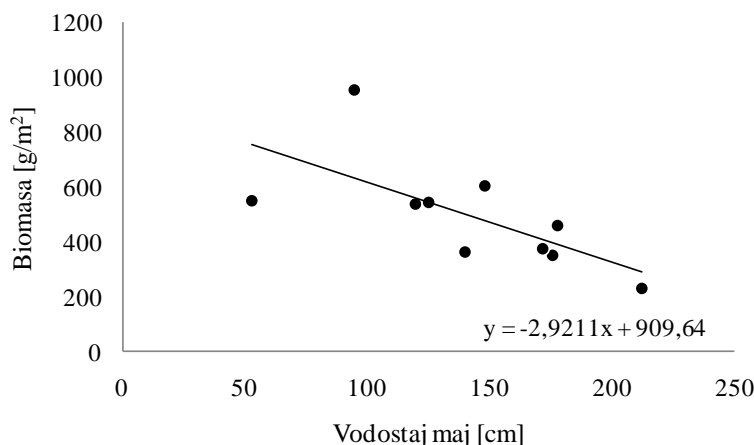
Na Zadnjem kraju je biomasa značilno povezana z vodostajem decembra (Pearsonov kor. koef. 0,757; $p=0,011$) in maja (Pearsonov kor. koef. -0,678; $p=0,031$). Visok vodostaj decembra je povezan z višjo biomaso navadnega trsta na Zadnjem kraju v naslednji rastni sezoni (Slika 17, stran 47), visok vodostaj v maju pa je povezan z nižjo biomaso trsta (Slika 18, stran 47), podobno kot smo ugotovili za aprilski in junijski vodostaj na Gorenjem Jezeru. Rezultati s korelacijskimi koeficienti za vse mesece so v Prilogi C1. Do sedaj izmerjen razpon povprečnega mesečnega vodostaja v mesecu decembru je od 70 cm do 350 cm, mediana je 180 cm. Razpon vodostaja v mesecu maju je od 50 cm do 390 cm, mediana je 160 cm.

Sklepali smo, da lahko na biomaso navadnega trsta vplivajo tudi nenadne spremembe vodostaja, kot so opredeljene v poglavju 3.2.2.1. V letih vzorčenja nadzemne biomase navadnega trsta smo jih opazili od ene (leta 2003) do šest (leta 1987) nenadnih sprememb vodostaja, vendar značilnih linearnih povezav nismo opredelili (rezultati v Prilogi C2).



Slika 17: Biomasa navadnega trsta na Zadnjem kraju v odvisnosti od povprečnega vodostaja v decembru. Dodana je linearna trendna črta, katere enačba je v spodnjem desnem kotu. N=10

Figure 17: *P. australis* biomass at Zadnji kraj in dependence on average monthly water level in december. A linear trend line is added, with equation shown in lower right corner. N=10



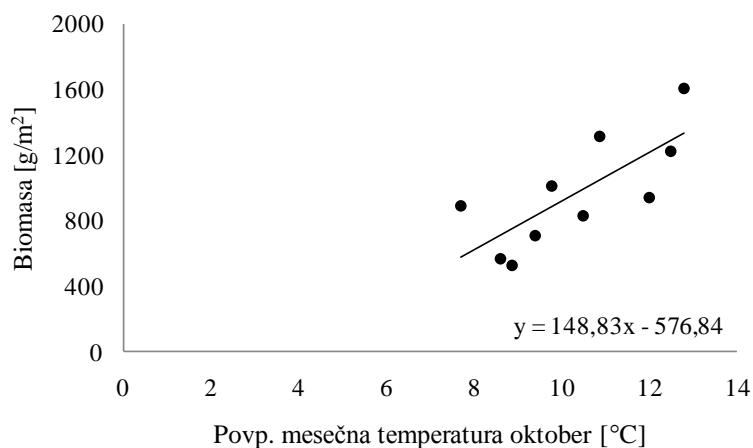
Slika 18: Biomasa navadnega trsta na Zadnjem kraju v odvisnosti od povprečnega vodostaja v maju. Dodana je linearna trendna črta, katere enačba je v spodnjem desnem kotu. N=10

Figure 18: *P. australis* biomass at Zadnji kraj in dependence on average monthly water level in may. A linear trend line is added, with equation shown in lower right corner. N=10

4.1.2.2 Linearna povezanost temperature in nadzemne biomase navadnega trsta

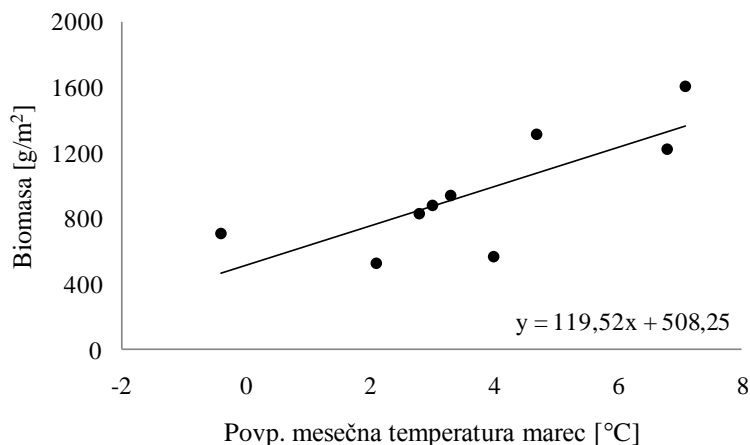
Povezanost temperature in biomase smo preučevali na vseh treh vzorčnih mestih. Ugotovili smo, da je biomasa navadnega trsta na Gorenjem Jezeru značilno pozitivno povezana s temperaturo v mesecih oktober preteklega leta (Pearsonov kor. koef. 0,755; $p=0,012$) in marec (Pearsonov kor. koef. 0,767; $p=0,016$), medtem ko na drugih dveh

vzorčnih mestih in v drugih mesecih značilne linearne povezave ni bilo (rezultati v Prilogi C3). Višja temperatura v mesecih oktober (Slika 19) in marec (Slika 20) je povezana z višjo končno nadzemno biomaso navadnega trsta.



Slika 19: Biomasa navadnega trsta na Gorenjem Jezeru v odvisnosti od povprečne temperature v oktobru. Dodana je linearna trendna črta, katere enačba je v spodnjem desnem kotu. N=10

Figure 19: *P. australis* biomass at Gorenje Jezero in dependence on average monthly temperature in October. A linear trend line is added, with equation shown in lower right corner. N=10



Slika 20: Biomasa navadnega trsta na Gorenjem Jezeru v odvisnosti od povprečne temperature v marcu. Dodana je linearna trendna črta, katere enačba je v spodnjem desnem kotu. N=10

Figure 20: *P. australis* biomass at Gorenje Jezero in dependence on average monthly temperature in March. A linear trend line is added, with equation shown in lower right corner. N=10

4.1.2.3 Ugotavljanje vpliva vodostaja in temperature z linearno regresijo

Gorenje Jezero

Pri izračunu modela smo kot spremenljivke uporabili povprečne mesečne vodostaje in temperature od septembra preteklega leta do avgusta tekočega leta ter nenadne dvige vodostaja (vse in za posamezne letne čase). V modelu za napoved biomase navadnega trsta na Gorenjem Jezeru je kot edina spremenljivka z značilnim vplivom ostal vodostaj za mesec april. Tako iz rezultatov analize (Preglednica 13, ostali rezultati linearne regresije za vzorčni mesti Gorenje jezero in Zadnji kraj so v Prilogi D) lahko zapišemo naslednji model:

$$Biomasa_{GJ} = 1968 - 5 \times vod_{apr} \quad \dots(9)$$

Ker je v modelu kot značilna spremenljivka ostal samo povprečni aprilski vodostaj, podobno kot pri linearni korelaciji, je rezultat skoraj enak linearni premici s Slike 15, le da je tam vrednost presečišča 1919. Model (9) tako pravi, da je biomasa navadnega trsta pri vodostaju aprila 0 cm 1986 g in je za vsak cm vode več manjša za 5 g.

Preglednica 13: Koeficienti linearne regresije za biomaso navadnega trsta na Gorenjem Jezeru

Table 13: Linear regression coefficients for *P. australis* biomass at Gorenje Jezero

	Nestandardizirani koeficienti		Standardizirani koeficienti		
	B	SE	Beta	t	p
konstanta	1967,826	276,487		7,117	0,000
vodostaj - april	-5,223	1,370	-0,822	-3,812	0,007

Zadnji kraj

V modelu za napoved biomase navadnega trsta na Zadnjem kraju so kot spremenljivke z značilnim vplivom naslednje: decembrski in aprilski vodostaj ter novembrska temperatura (Preglednica 14). Model nadzemne biomase navadnega trsta na Zadnjem kraju lahko tako zapišemo kot:

$$Biomasa_{ZK} = 767 + 3 \times vod_{dec} - 3 \times vod_{apr} - 45 \times T_{nov} \quad \dots(10)$$

Vrednost presečišča 767 nam pove, da bi pri vodostaju decembra in aprila 0 cm in temperaturi novembra 0 °C biomasa navadnega trsta ob koncu rastne sezone znašala 767 g. Ta vrednost bi bila višja za 3 g za vsak cm vode decembra več in nižja za 3 g za vsak cm vode aprila več. Prav tako je biomasa nižja za 45 g za vsako °C novembra več.

Preglednica 14: Koeficienti linearne regresije za biomaso navadnega trsta na Zadnjem kraju

Table 14: Linear regression coefficients for *P. australis* biomass at Zadnji kraj

	Nestandardizirani koeficienti		Standardizirani koeficienti		
	B	SE	Beta	t	Sig.
konstanta	766,607	97,923		7,829	0,001
vodostaj - december	2,854	0,263	0,928	10,863	0,000
vodostaj - april	-2,587	0,333	-0,700	-7,760	0,001
temperatura - november	-44,934	11,164	-0,369	-4,025	0,010

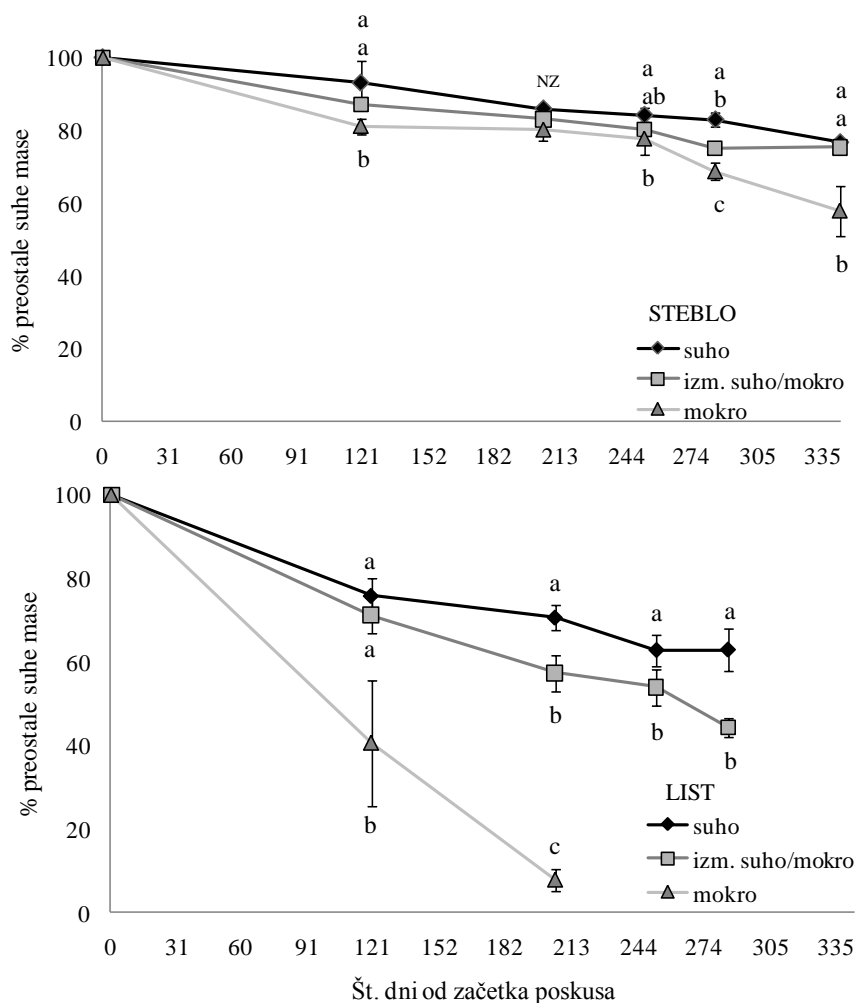
4.2 RAZGRADNJA NAVADNEGA TRSTA IN TOGEGA ŠAŠA IN POVEZAVA Z VODOSTAJEM

4.2.1 Razgradnja stebel in listov navadnega trsta na različnih mikrolokacijah glede na vodne razmere

Vrečke z odmrlo biomaso smo izpostavili na treh mikrolokacijah znotraj sestoja navadnega trsta na Gorenjem Jezeru: (a) na mikrolokacijo, za katero smo predvidevali, da bo vse leto suha (brez poplav), (b) na mikrolokacijo v bližino vodotoka, kjer smo pričakovali pogoste poplave z vmesnimi suhimi obdobji (izmenjujoče se suhe in mokre razmere) in (c) na mikrolokacijo, za katero smo pričakovali, da bo večinoma poplavljena.

Primerjava razgradnje navadnega trsta v različnih razmerah je pokazala, da prisotnost vode na mestu izpostavitve značilno vpliva na upad suhe mase med razgradnjo (Slika 21 zgoraj, stran 51). Upad suhe mase stebra je bil najpočasnejši v suhih razmerah in se je v štirih vzorčenjih razlikoval od upada suhe mase v mokrih razmerah. Upad suhe mase v izmenjujoče se suhih in mokrih razmerah je bil občasno bolj podoben upadu v suhih razmerah (pri prvem in zadnjem vzorčenju), občasno pa upadu v mokrih razmerah (pri tretjem vzorčenju). V mokrih razmerah je bil upad suhe mase stebra najhitrejši.

Upad suhe mase listov navadnega trsta je bil prav tako najpočasnejši v suhih in najhitrejši v mokrih razmerah (Slika 21 spodaj). Na mokrem je bil upad suhe mase listov tako hiter, da od tretjega vzorčenja dalje materiala v vrečkah ni bilo več moč ločiti od drobnih delcev, ki so se nabirali tudi na vrečki ali pa rastlinskega materiala v vrečki sploh ni bilo več. Upad suhe mase v izmenjujočih se razmerah je bil od drugega vzorčenja naprej značilno drugačen od upada suhe mase listov v suhih in mokrih razmerah.

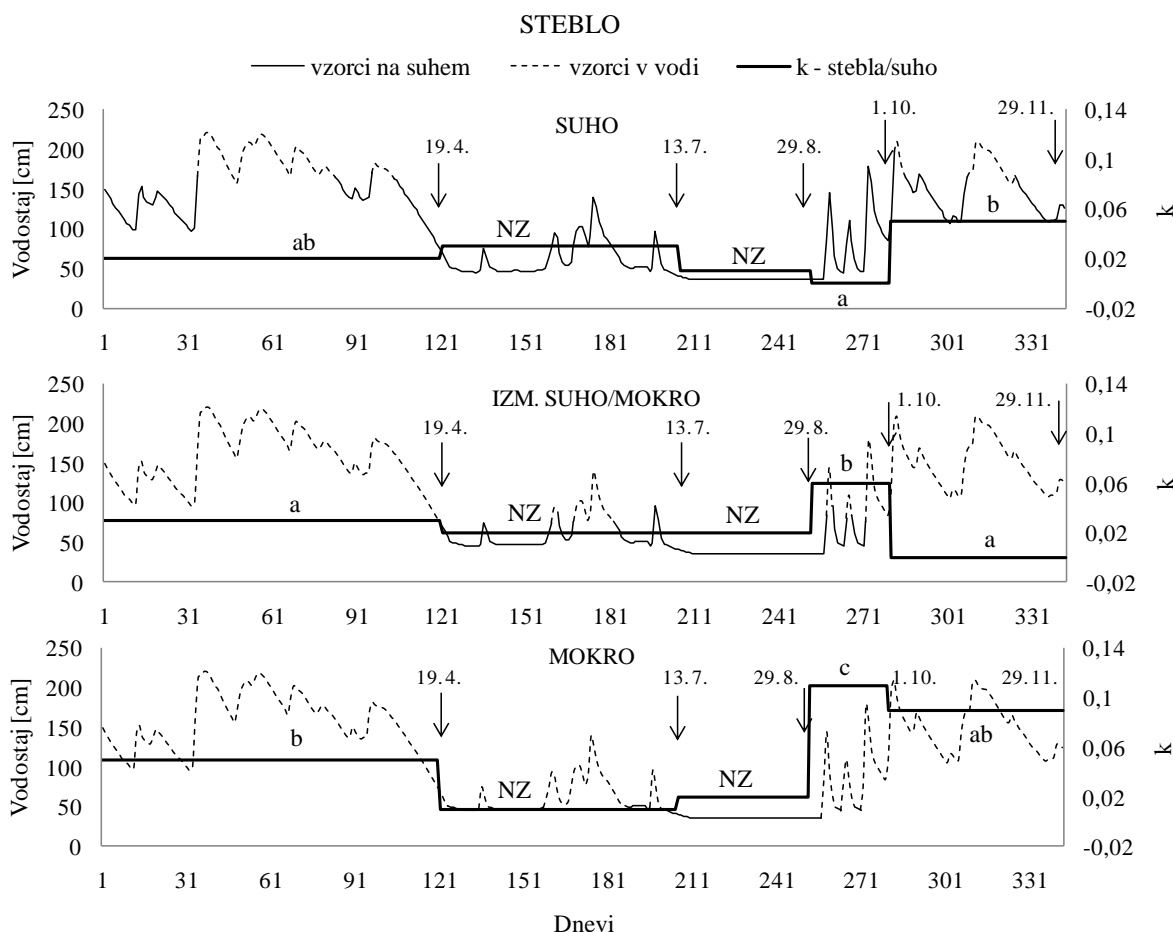


Slika 21: Upad suhe mase stebel (zgoraj) in listov (spodaj) navadnega trsta v treh okoljih glede na vodne razmere. N=4. Različne črke označujejo statistično značilne razlike, NZ – ni značilno

Figure 21: Dry mass loss of *P. australis* culms (upper figure) and leaves (lower figure) during decomposition under three water conditions. N=4. Data not sharing the same letter are statistically significant, NZ – not significant

Iz upada suhe mase smo za posamezna vzorčenja izračunali mesečne konstante stopnje razgradnje k , ki povedo, koliko g rastlinskega materiala se razgradi v enem mesecu (natančneje v poglavju 3.3.2). Konstante stopnje razgradnje k so na Slikah 22 (steblo) in

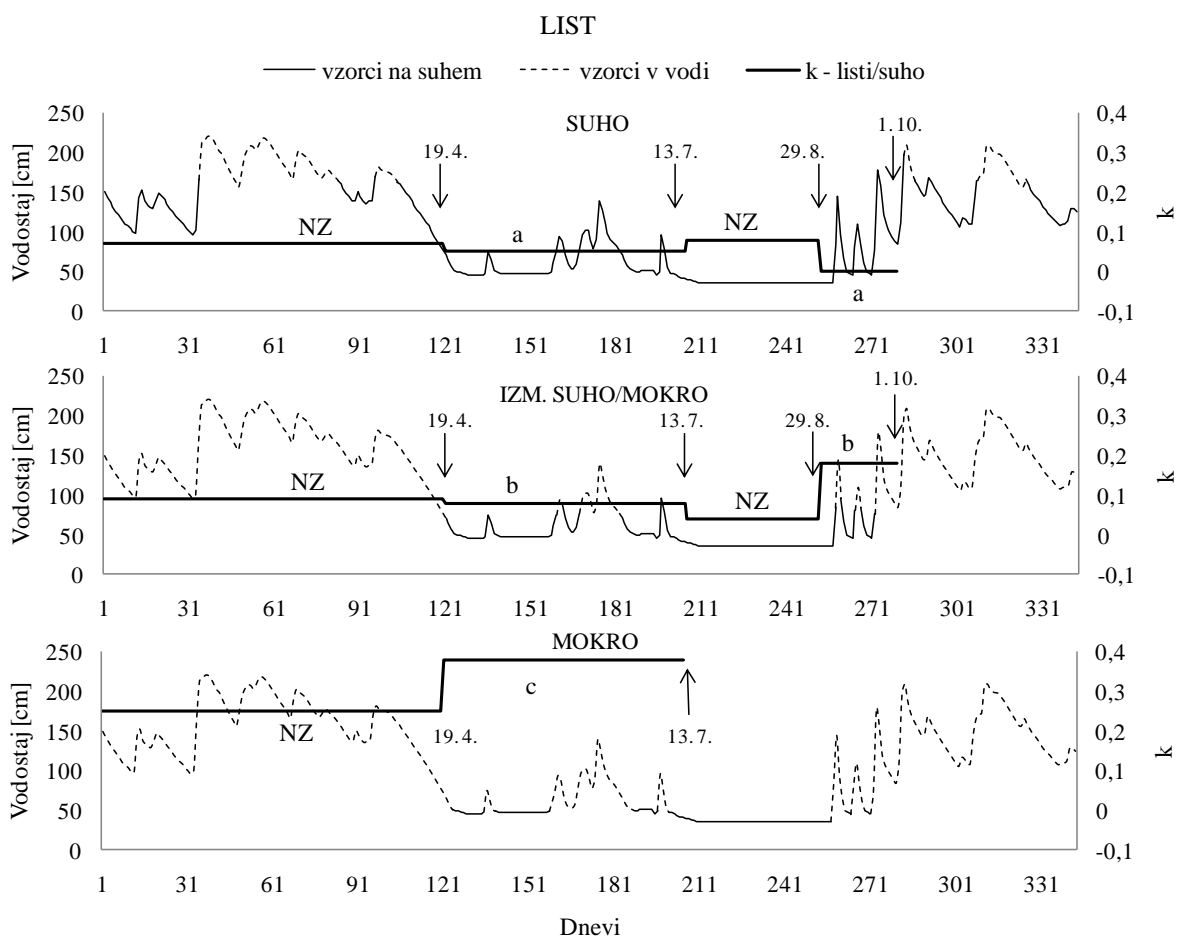
23 (list) predstavljene skupaj z vodostajem, na katerem je označeno, kdaj so bili vzorci na suhem (cela črta) in kdaj na mokrem (črtkana črta). Ugotovili smo namreč, da so bili na suhem mestu vzorci ob najvišjem vodostaju vsaj kratek čas zaliti z vodo in obratno – vzorci za preučevanje razgradnje v mokrih razmerah so bili ob najnižjem vodostaju na suhem. Podatki so številčno v tabeli predstavljeni tudi v Prilogi E.



Slika 22: Spremembe v konstanti stopnje razgradnje k za razgradnjo stebel navadnega trsta v suhih, izmenjujoče se suhih/mokrih ter mokrih razmerah. Puščice označujejo dan vzorčenja. Črke označujejo značilno različne konstante stopnje razgradnje v posameznih razmerah (suhih, izmenjujoče se suhih/mokrih, mokrih) za obdobje med dvema vzorčenjema. NZ – ni značilnih razlik. — - vzorci na suhem, - - - - vzorci v vodi

Figure 22: Changes in decomposition rate k for *P. australis* culms during the decomposition experiment under dry conditions, alternating dry/wet conditions and wet conditions. Arrows point to the day of sampling. Different letters mean statistically significant decay rates for a period between two samplings among different water level conditions (dry, alt. wet and dry, wet). NZ – not significant. — - samples are dry, - - - - samples are wet

Konstanta stopnje razgradnje stebel navadnega trsta se ni bistveno spreminjala, manjši dvigi in padci stopnje razgradnje pa navadno sovpadajo z dvigi ali spusti vodostaja v enakem obdobju. Razgradnja je bila spomladi in poleti najpočasnejša, razen v mokrih razmerah, ko je bila spomladi značilno hitrejša kot poleti (Slika 22). Najočitnejše razlike v stopnji razgradnje je moč opaziti v jesenskem času, ko je v izmenjujoče se suhih in mokrih razmerah značilno večja kot v suhih in v mokrih značilno večja kot v ostalih vodnih razmerah. V času zimske razgradnje je bila stopnja razgradnje v suhih in mokrih razmerah višja kot v izmenjujoče se suhih/mokrih razmerah.



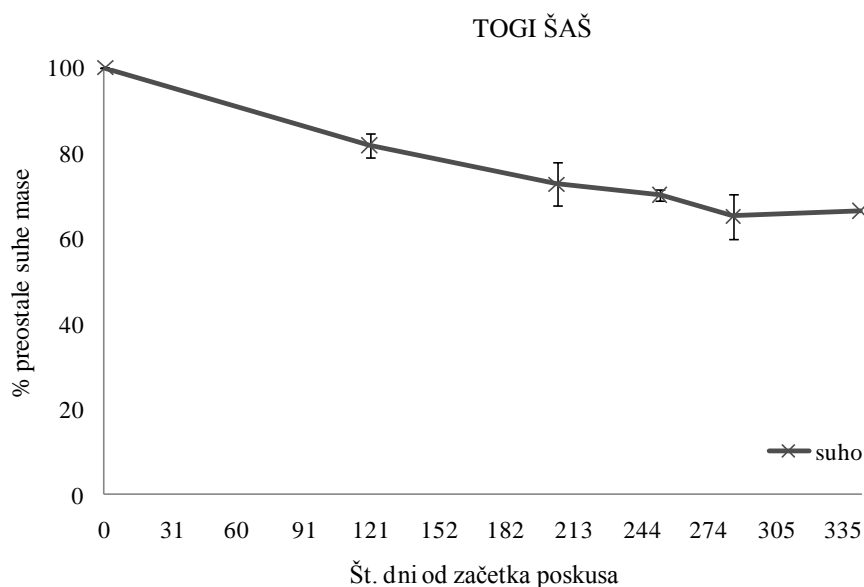
Slika 23: Spremembe v konstanti stopnje razgradnje k pri razgradnji listov navadnega trsta v suhih, izmenjujoče se suhih/mokrih ter mokrih razmerah. Puščice označujejo dan vzorčenja. Črke označujejo značilno različne konstante stopnje razgradnje v posameznih razmerah (suhih, izmenjujoče se suhih/mokrih, mokrih) za obdobje med dvema vzorčenjema. NZ – ni značilnih razlik. — - vzorci na suhem, - - - - vzorci v vodi

Figure 23: Changes in decomposition rate k for *P. australis* leaves during the decomposition experiment under dry conditions, alternating dry/wet conditions and wet conditions. Arrows point to the day of sampling. Different letters mean statistically significant decay rates for a period between two samplings among different water level conditions (dry, alt. wet and dry, wet). NZ – not significant. — - samples are dry, - - - - samples are wet

Konstanta stopnje razgradnje listov navadnega trsta (Slika 23) je bila skozi celotno obdobje poskusa višja kot pri steblih. V spomladanskem času se razgradnja listov glede na vodne razmere ni značilno razlikovala, na začetku poletja pa je naraščala od mikrolokacije s suhimi do mikrolokacije z mokrimi razmerami. Razgradnja listov v mokrih razmerah je bila tako hitra, da so se listi razgradili že do sredine poletja. V jesenskem času je bila razgradnja listov v izmenjujoče se suhih/mokrih razmerah še vedno hitrejša kot v suhih razmerah.

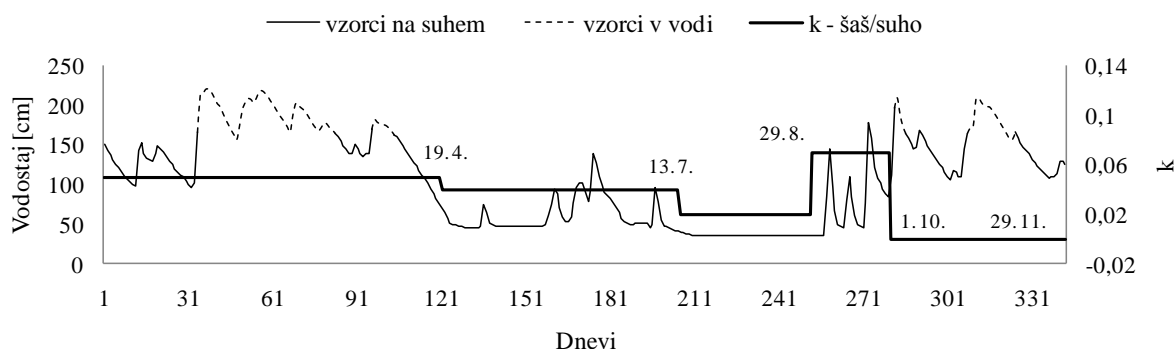
4.2.2 Razgradnja togega šaša

Razgradnja listov togega šaša je potekala precej enakomerno čez celo leto (Slika 24), le pri zadnjem vzorčenju smo opazili rahel dvig v preostali biomasi, do česar je verjetno prišlo zaradi nalaganja detrita na vzorce. Konstanta stopnje razgradnje k se je čez leto le malo spreminjala, večjo stopnjo razgradnje je moč opaziti v jesenskem času (Slika 25).



Slika 24: Upad suhe mase togega šaša v suhih razmerah. N=4

Figure 24: Dry mass loss of *C. elata* during decomposition in dry conditions. N=4



Slika 25: Spremembe v koeficientu k za razgradnjo togega šaša v suhih razmerah

Figure 25: Changes in decomposition rate k for *C. elata* during decomposition in dry conditions

4.2.3 Primerjava hitrosti razgradnje navadnega trsta in togega šaša

Konstante stopnje razgradnje smo izračunali tudi za celotno trajanje poskusa in jih primerjali med rastlinami oz. deli rastlin glede na posamezne razmere (Preglednica 15). Konstante stopnje razgradnje vseh izpostavljenih vzorcev se med seboj značilno razlikujejo v posameznih razmerah. Listi navadnega trsta se v vseh razmerah najhitreje razgradijo, listi togega šaša se razgradijo malo počasneje, najpočasneje pa stebela navadnega trsta. Podobno prikazujejo tudi rezultati za razpolovni čas (Preglednica 16, stran 56).

Preglednica 15: Mesečne konstante stopnje razgradnje k za končni upad biomase. Različne črke označujejo statistično značilne razlike (primerjava med vrstami/deli rastline)

Table 15: Monthly decomposition rate at the end of the experiment. Data not sharing the same letter are statistically significant (comparison among plant species/parts)

konstanta stopnje razgradnje (meseč ⁻¹)	suho	izmenjujoče se suho/mokro	mokro
navadni trst – steblo	0,024±0,001 ^a	0,025±0,002 ^a	0,049±0,01 ^a
navadni trst – list	0,050±0,008 ^c	0,088±0,006 ^b	0,385±0,300 ^b
togi šaš	0,036±0,005 ^b	/	/

Preglednica 16: Razpolovni časi za posamezni rastlinski material. Različne črke označujejo statistično značilne razlike

Table 16: Half-life periods of specific decomposing litter. Data not sharing the same letter are statistically significant

razpolovni čas (meseči)	suho	izmenjujoče se mokro/suho	mokro
navadni trst – steblo	29,5±1,1 ^a	27,7±1,8 ^a	14,7±3,5 ^a
navadni trst – list	14,2±2,6 ^c	7,9±0,5 ^b	1,8±0,2 ^b
togi šaš	19,4±3,3 ^b	/	/

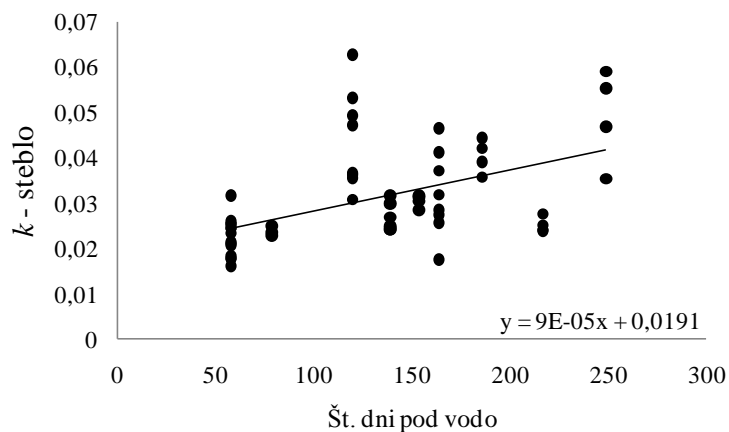
4.2.4 Vpliv vodostaja na razgradnjo navadnega trsta

Zaradi variabilnosti vodostaja nismo mogli zagotoviti, da bi bili vzorci na mikrolokaciji, kjer nismo predvideli poplav, res celo obdobje na suhem in vzorci na mikrolokaciji, kjer smo predvideli stalno poplavljenost res celo obdobje namočeni, saj so bili vzorci nameščeni znotraj istega sestoja trsta. Vendar nam to omogoča, da na še en način opredelimo vpliv vodostaja na stopnjo razgradnje, saj smo število dni, ko so bili vzorci res namočeni, lahko ocenili iz podatkov o razliki med višinami mikrolokacij. Tako smo ocenili, koliko dni so bili posamezni vzorci od začetka poskusa do vzorčenja potopljeni, in s pomočjo linearnih korelacij določili morebitno povezanost (Preglednica 17). Rezultati so pokazali značilno pozitivno linearno povezavo med razgradnjo in trajanjem potopljenosti stebel in listov navadnega trsta (Sliki 26 in 27, stran 57).

Preglednica 17: Spearmanovi koeficienti korelacije med konstantami stopnje razgradnje k ter številom dni, ko so bili vzorci potopljeni. N=60. * označuje $p<0,05$

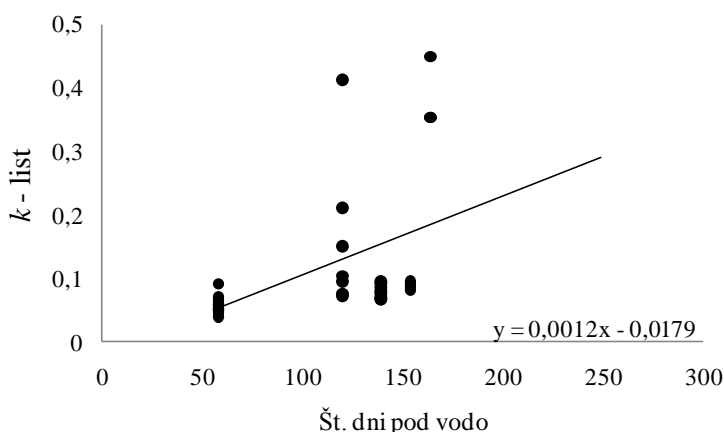
Table 17: Spearman correlation coefficients between number of days when samples were submerged and decomposition rates k . N=60. Significant correlations, where $p<0,05$ are marked by *

	konst. stopnje razgradnje k	število dni pod vodo
navadni trst - steblo	Spearman. koef. kor.	0,542*
	p	0,000
navadni trst - list	Spearman. koef. kor.	0,717*
	p	0,000



Slika 26: Koeficient stopnje razgradnje k za stebila navadnega trsta v odvisnosti od števila dni, ko so bili vzorci potopljani. Dodana je linearna trendna črta, katere enačba je zapisana v spodnjem desnem kotu

Figure 26: Decomposition rates k for *P. australis* culms in dependence on the number of days of submergence. A linear trend line is added, with its equation shown in the lower right corner



Slika 27: Koeficient stopnje razgradnje k za liste navadnega trsta v odvisnosti od števila dni, ko so bili vzorci potopljani. Dodana je linearna trendna črta, katere enačba je zapisana v spodnjem desnem kotu

Figure 27: Decomposition rates k for *P. australis* culms in dependence on the number of days of submergence. A linear trend line is added, with its equation shown in the lower right corner

4.2.5 Elementna analiza navadnega trsta in togega šaša pred in po razgradnji

V suhem rastlinskem materialu pred in po 4 mesecih razgradnje na različnih mikrolokacijah smo določili koncentracije posameznih elementov. Začetne koncentracije elementov K, Ca, Mn, Fe, Cr, Zn, Br in Sr v rastlinskem materialu pred

razgradnjo so podane v Preglednici 18. Vsebnost posameznih elementov se pri togem šašu in steblih ter listih navadnega trsta značilno razlikuje. V togem šašu je značilno večja koncentracija kalija in železa kot v steblih ali listih navadnega trsta. Koncentracije ostalih elementov so pri togem šašu bolj podobne tistim v listih kot v steblih navadnega trsta. V listih navadnega trsta so koncentracije K, Ca, Mn, Zn in Sr nekajkrat višje kot v steblih in so tudi značilno različne.

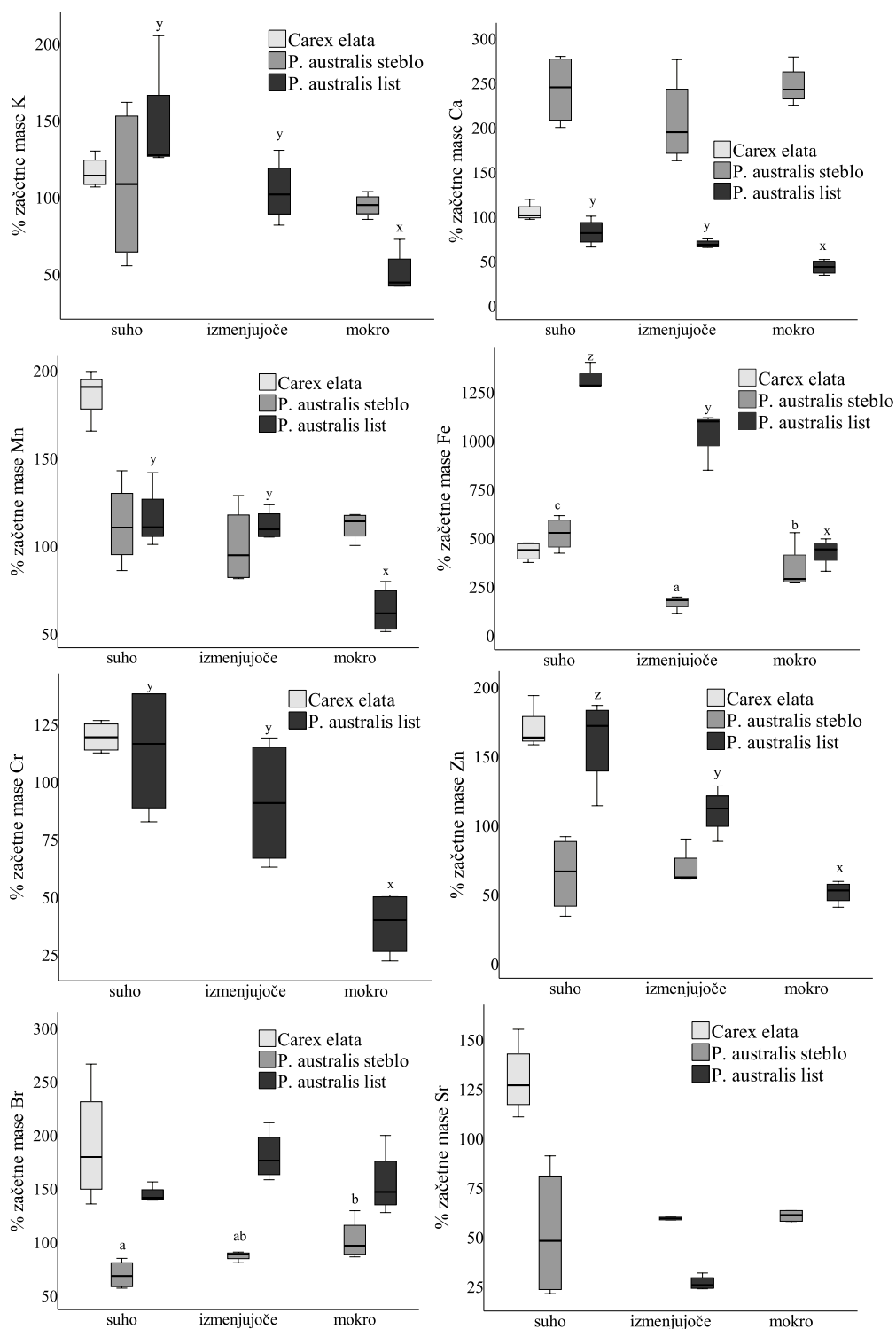
Preglednica 18: Koncentracije posameznih elementov v rastlinskih vzorcih pred razgradnjo. N=4, podatki so povprečja ± SD. Različne črke označujejo statistično različne podatke. NZ – ni značilno

Table 18: Element concentrations in plant samples before decomposition. N=4, data is average ± SD. Data not sharing the same letter are statistically significant. NZ – not significant

	Koncentracija [mg/kg]							
	K	Ca	Mn	Fe	Cr	Zn	Br	Sr
<i>Carex elata</i>	2203±502 ^c	9865±1502 ^b	137±29 ^a	1194±221 ^b	38±4 ^{NZ}	17±4 ^a	8±2 ^{NZ}	13±3 ^a
<i>P. austr.</i> – steblo	166±21 ^a	630±104 ^a	83±9 ^a	121±27 ^a	/	20±2 ^a	15±2 ^{NZ}	20±3 ^a
<i>P. austr.</i> – list	1370±193 ^b	10145±942 ^b	474±111 ^b	295±67 ^a	58±26 ^{NZ}	36±13 ^b	19±2 ^{NZ}	44±8 ^b

Iz podatkov o koncentracijah posameznih elementov v vzorcih pred in po štirih mesecih razgradnje smo izračunali deleže začetne mase elementov po enačbi (3), zapisani v poglavju 3.3.4 in jih v obliki boxplotov prikazali na Sliki 26 (stran 59), koncentracije elementov v materialu po razgradnji pa so podane v Prilogi F.

Pri analizi elementov v vzorcih po štirih mesecih razgradnje na različnih mikrolokacijah smo pri K, Ca, Mn, Fe, Zn in Br opazili deleže začetne mase elementov večje od 100 %, še posebej v vzorcih iz suhe mikrolokacije, kar pomeni, da je prišlo do kopičenja teh elementov v razkrajajočem rastlinskem materialu. V steblih navadnega trsta je bilo nakopičenega 2x več Ca kot pred razgradnjo ne glede na različne mikrolokacije. V listih je bilo nakopičenega več K, Fe, Zn in Br, pri čemer so deleži začetne mase K, Fe in Zn tudi značilno različni glede na mikrolokacijo. Značilno različne deleže na posameznih mikrolokacijah (vendar brez kopičenja) smo opazili tudi pri Ca, Mn in Cr pri listih, ter Br pri steblih. Deleži začetne mase elementov v rastlinskem materialu togega šaša so za K in Fe bolj podobni deležem, ki smo jih opazili v steblih navadnega trsta v suhih razmerah. Za elemente Ca, Cr, Zn in Br so deleži v togem šašu bolj podobni deležem, ki smo jih opazili v listih navadnega trsta v suhih razmerah.



Slika 28: Delež začetne mase posameznih elementov po 120 dneh razgradnje na treh mikrolokacijah. N=4. Različne črke označujejo statistično značilne razlike. Črke a, b, c označujejo statistično značilne razlike pri steblo, črke x, y, z pa pri listih navadnega trsta

Figure 28: % change in element mass from start to 120 days of decomposition at three microlocations. N=4. Data not sharing the same letter are statistically significant. Letters a, b, c mark statistical significance for *P. australis* culms; letter x, y, z mark statistical significance for *P. australis* leaves

4.3 GLIVNA KOLONIZACIJA V ODVISNOSTI OD SPREMENB VODOSTAJA

4.3.1 Glivna kolonizacija navadnega trsta in vpliv vodostaja

4.3.1.1 Sezonsko spremljanje glivne kolonizacije navadnega trsta na vzorčnih mestih Dujice, Gorenje Jezero in Zadnji kraj leta 2008

Leta 2008 smo korenine navadnega trsta vzorčili petkrat v sezoni. V Preglednici 19 so predstavljeni rastni parametri naključno izbranih primerkov navadnega trsta. Opaziti je moč, da so bile izbrane rastline vedno večje, vendar največjo višino in suho maso dosežejo različno hitro. Sestoj na vzorčnem mestu Dujice in Zadnji kraj imata najvišje vrednosti od tretjega vzorčenja naprej (konec julija), medtem ko je sestoj na Gorenjem Jezeru največjo višino dosegel že v začetku julija 2008.

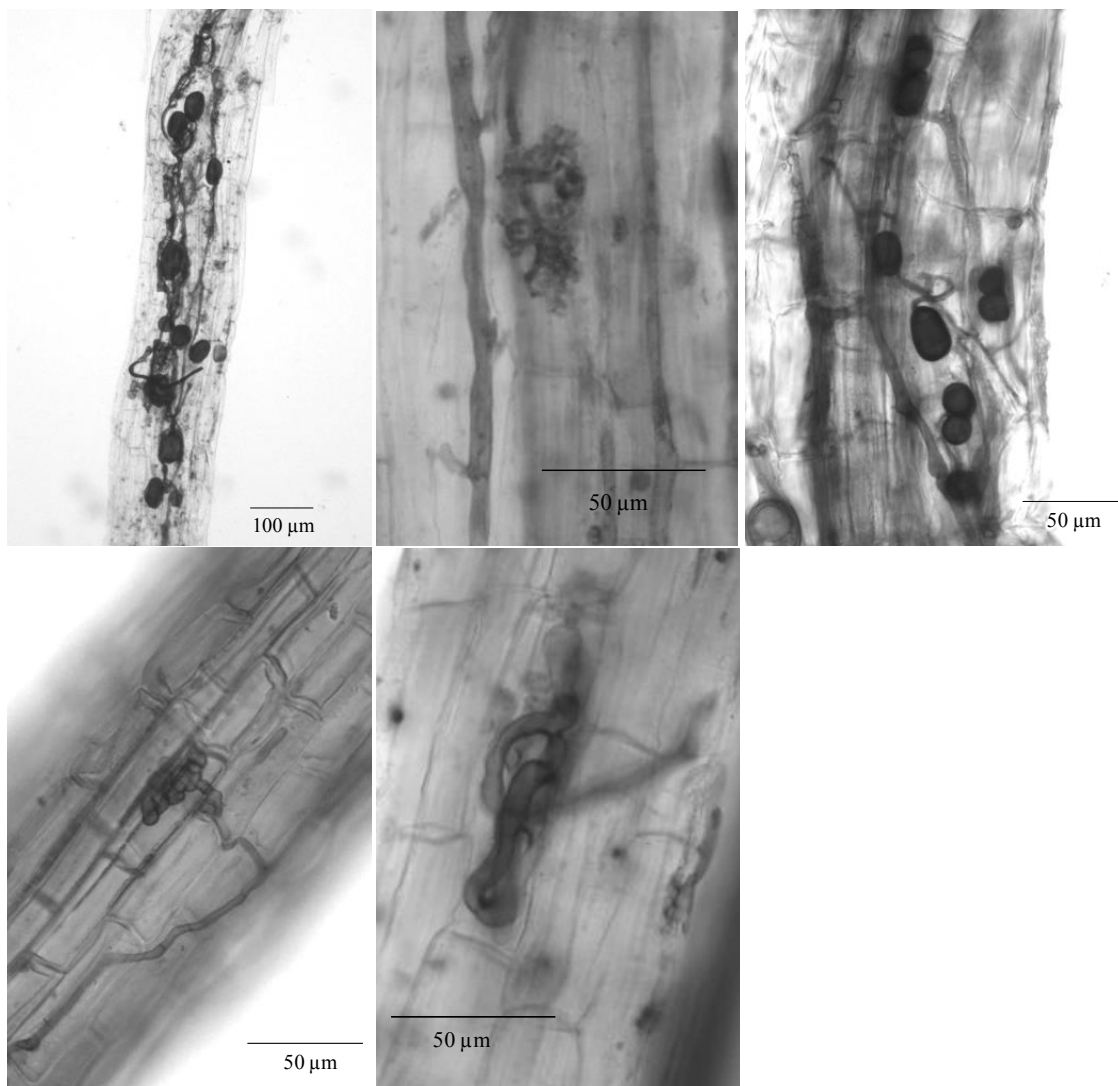
Preglednica 19: Rastni parametri preučevanih trstov leta 2008. N=5, podatki so povprečja ± SD. Med podatki z različnimi črkami so statistično značilne razlike

Table 19: Growth parameters of the individual plants studied for fungal root colonization in 2008. N=5, data is average ± SD. Data not sharing the same letter are statistically significant

	datum vzorčenja	višina (cm)	baz. prem. (mm)	listna površina (cm ²)	suha masa (g)
Dujice	10. 6.	71±4 ^a	5±1	190±40 ^a	4±1 ^a
	7. 7.	123±16 ^b	4±1	399±100 ^{ab}	8±2 ^{ab}
	29. 7.	173±28 ^c	5±1	537±89 ^b	15±4 ^c
	19. 8.	172±20 ^c	6±1	411±74 ^b	13±4 ^c
	11. 9.	155±21 ^c	5±1	344±159 ^{ab}	11±5 ^{bc}
Gorenje Jezero	10. 6.	122±22 ^a	7±1	228±56 ^a	7±2 ^a
	7. 7.	255±37 ^b	8±1	573±70 ^c	22±5 ^{bc}
	29. 7.	224±22 ^b	7±1	457±114 ^b	19±5 ^b
	19. 8.	240±38 ^b	7±2	443±137 ^{bc}	23±12 ^{bc}
	11. 9.	225±46 ^b	8±1	449±89 ^b	28±4 ^c
Zadnji kraj	10. 6.	133±9 ^a	7±1	354±91 ^a	11±3 ^a
	7. 7.	162±11 ^b	7±1	522±54 ^{bc}	15±2 ^b
	29. 7.	224±14 ^d	7±1	588±100 ^c	20±4 ^c
	19. 8.	205±11 ^c	7±1	542±132 ^{bc}	19±3 ^{bc}
	11. 9.	227±11 ^d	7±1	425±63 ^{ab}	19±3 ^{bc}

V koreninah navadnega trsta smo na vseh treh vzorčnih mestih našli strukture gliv (Slika 29). Kljub relativno visokemu deležu kolonizacije F % (Slika 30) pa je bila

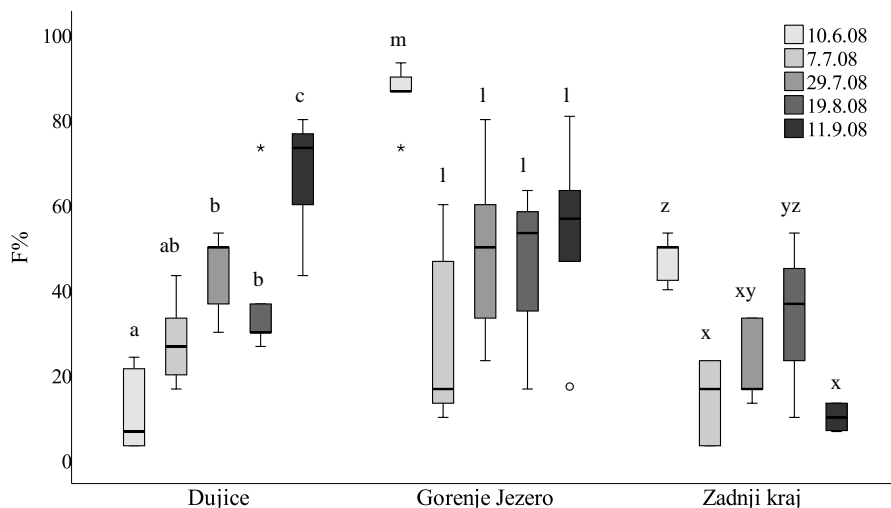
splošna intenziteta glivne kolonizacije M % (Slika 31) v preučevanih fragmentih navadno nizka, zato je podana tudi intenziteta glivne kolonizacije v koloniziranem delu fragmenta (m %) (Slika 32). Najpogostejše strukture so bili arbuskuli (A %, a %) (Sliki 33, 34), vezikli, svitki in mikrosklerociji so predstavljali od 0 do 5 % glivne kolonizacije, zato so rezultati za gostote teh struktur (V %, v %, S %, s %, MS %, ms %) grafično prikazani v Prilogi G.



Slika 29: Glivne strukture opažene v koreninah navadnega trsta: zgoraj levo koloniziran fragment (11. 9. 2008, Dujice); zgoraj sredina arbuskul (19. 8. 2008, Zadnji kraj); zgoraj desno vezikli (29. 7. 2008, Zadnji kraj); spodaj levo mikrosklerociji (10. 6. 2008, Gorenje Jezero); spodaj desno svitek (29. 7. 2008, Gorenje Jezero)

Figure 29: Fungal structures observed in *P. australis* roots: top left – colonized root fragment (11. 9. 2008, Dujice); top middle – arbuscule (19. 8. 2008, Zadnji kraj); top right – vesicles (29. 7. 2008, Zadnji kraj); bottom left – microsclerotia (10. 6. 2008, Gorenje Jezero); bottom right – hyphal coil (29. 7. 2008, Gorenje Jezero)

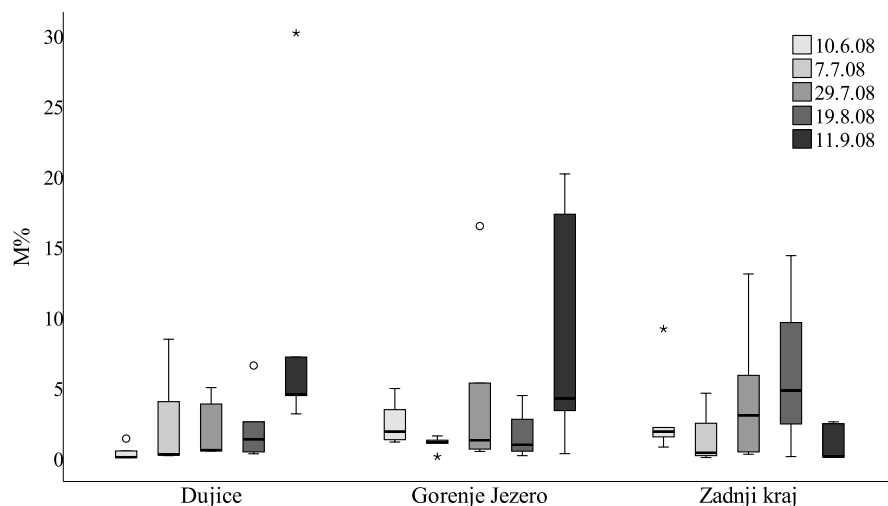
Delež koloniziranih fragmentov F % je skozi rastno sezono na vzorčnem mestu Dujice naraščal (Slika 28). Na vzorčnem mestu Gorenje Jezero je bil F % pri prvem vzorčenju značilno večji od ostalih vzorčenj, podobno tudi na Zadnjem kraju, le da je tu pri zadnjem vzorčenju spet nižji.



Slika 30: Sezonske spremembe v deležu koloniziranih fragmentov (F %) korenin navadnega trsta na vzorčnih mestih Dujice, Gorenje Jezero in Zadnji kraj. N=5. Različne črke pri posameznih vzorčnih mestih označujejo statistično značilne razlike med datumi. Črke a, b, c opisujejo značilne razlike na Dujicah, črki m, l na Gorenjem Jezeru, črke x, y, z na Zadnjem kraju. ° prikazuje osamelce, * prikazuje ekstremne osamelce

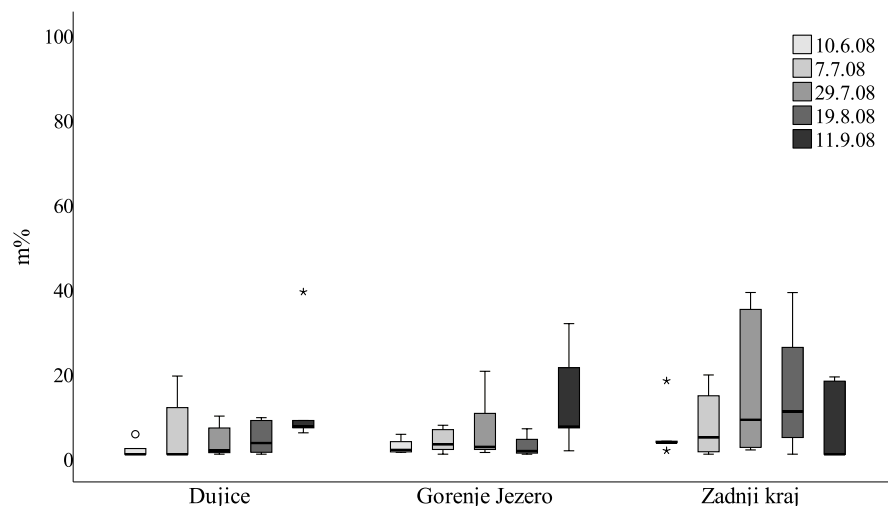
Figure 30: Seasonal changes in fungal root colonization frequency (F %) in *P. australis* roots at Dujice, Gorenje Jezero and Zadnji kraj. N=5. Data not sharing the same letter are statistically significant. Letters a, b, c mark statistical significance at Dujice, letters m, l at Gorenje Jezero, letters x, y, z at Zadnji kraj. ° represent outlier, * represent extreme outliers

Spremembe v intenziteti glivne kolonizacije v celotnem (M %, Slika 31) in koloniziranem delu fragmenta (m %, Slika 32) niso bile značilne skozi rastno sezono, vendar je proti koncu rastne sezone vseeno moč opaziti težnjo naraščanja.



Slika 31: Intenziteta glivne kolonizacije (M %) korenin navadnega trsta na vzorčnih mestih Dujice, Gorenje Jezero in Zadnji kraj. N=5. ° prikazuje osamelce, * prikazuje ekstremne osamelce

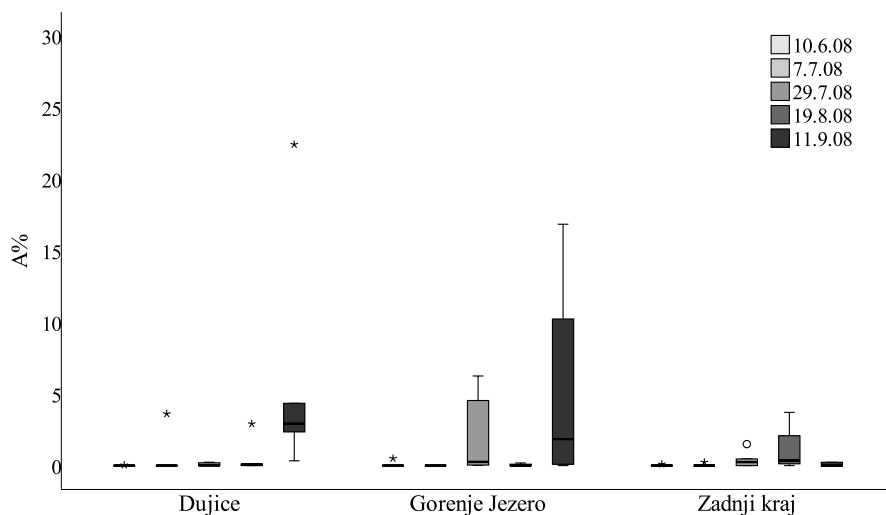
Figure 31: Fungal root colonization intensity (M %) in *P. australis* roots at Dujice, Gorenje Jezero and Zadnji kraj. N=5. ° represent outlier, * represent extreme outliers



Slika 32: Intenziteta glivne kolonizacije v delu fragmenta z glivno kolonizacijo (m %) korenin navadnega trsta na vzorčnih mestih Dujice, Gorenje Jezero in Zadnji kraj. N=5. ° prikazuje osamelce, * prikazuje ekstremne osamelce

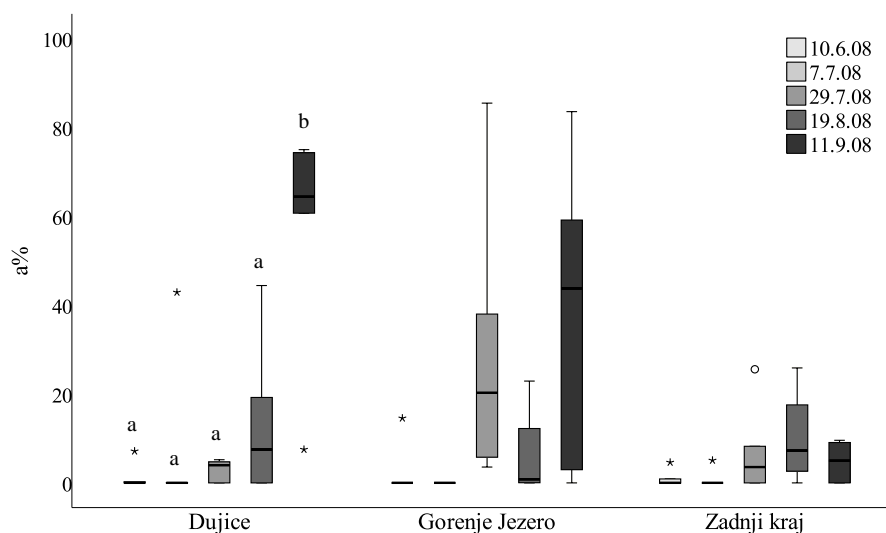
Figure 32: Fungal root colonization intensity in the colonized part of the fragment (m %) in *P. australis* roots at Dujice, Gorenje Jezero and Zadnji kraj. N=5. ° represent outlier, * represent extreme outliers

Tudi nekateri drugi parametri so proti koncu sezone večji kot na začetku, na primer gostote arbuskulov (Sliki 33, 34) in svitkov, ostali parametri pa se med rastno sezono zelo spreminjajo (Priloga G).



Slika 33: Gostota arbuskulov (A %) v koreninah navadnega trsta na vzorčnih mestih Dujice, Gorenje Jezero in Zadnji kraj. N=5. ° prikazuje osamelce, * prikazuje ekstremne osamelce

Figure 33: Arbuscule abundance (A %) in *P. australis* roots at Dujice, Gorenje Jezero and Zadnji kraj. N=5. ° represent outliers, * represent extreme outliers



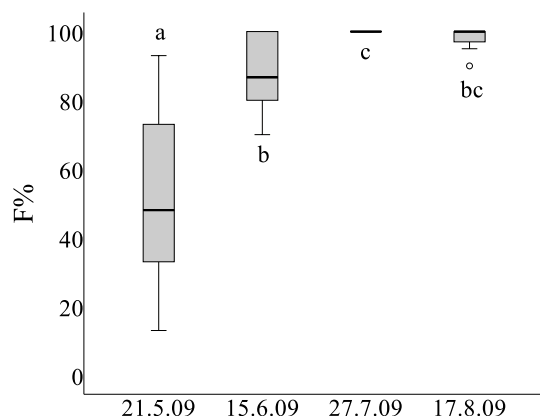
Slika 34: Gostota arbuskulov (a %) v delu fragmenta z glivno kolonizacijo pri navadnem trstu na vzorčnih mestih Dujice, Gorenje Jezero in Zadnji kraj. N=5. Različne črke pri posameznih vzorčnih mestih označujejo statistično značilne razlike med datumi. ° prikazuje osamelce, * prikazuje ekstremne osamelce

Figure 34: Arbuscule abundance in the colonized part of the fragment (a %) in *P. australis* roots at Dujice, Gorenje Jezero and Zadnji kraj. N=5. Data not sharing the same letter are statistically significant. ° represent outlier, * represent extreme outliers

Rezultate za glivno kolonizacijo in rastne parametre smo primerjali tudi med vzorčnimi mesti, vendar so bile razlike značilne v glavnem samo pri rastnih parametrih, pri glivni kolonizaciji pa le pri parametrih F % in v % (rezultati v Prilogi H).

4.3.1.2 Sezonsko spremljanje glivne kolonizacije navadnega trsta na Zadnjem kraju leta 2009

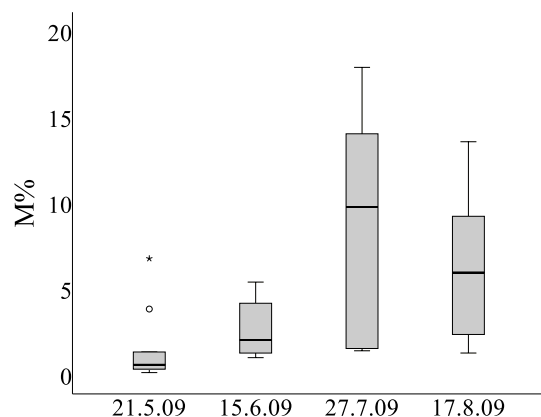
Glivna kolonizacija korenin navadnega trsta na Zadnjem kraju je bila leta 2009 podobna kot leta 2008, le da nismo opazili arbuskulov in svitkov. Frekvenca glivne kolonizacije (Slika 35) je bila najnižja pri prvem vzorčenju, do konca poletja je značilno narasla.



Slika 35: Frekvenca glivne kolonizacije (F %) korenin navadnega trsta. N=10. Med datumi z različnimi črkami so statistično značilne razlike. ° prikazuje osamelce

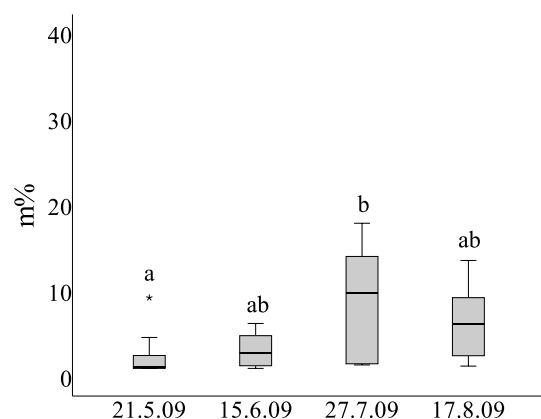
Figure 35: Fungal root colonization frequency (F %) in *P. australis* roots at Zadnji kraj. N=10. Data not sharing the same letter are statistically significant. ° represent outliers

Skozi rastno sezono sta naraščali tudi intenziteta glivne kolonizacije v celem (M %, Slika 36) in v koloniziranem delu fragmenta (m %, Slika 37). Pri slednjem je bilo naraščanje tudi statistično značilno. Gostote veziklov in mikrosklerocijev so bile zelo nizke, od 0 do 5 % v celem fragmentu (V %, MS %) oz. od 0 do 30 % v koloniziranem delu fragmenta (v %, ms %). Gostota veziklov je bila v času tretjega vzorčenja značilno večja v primerjavi z ostalimi vzorčenji. Rezultati skupaj z rastnimi parametri preučevanih rastlin so v prilogah I1 in I2.



Slika 36: Intenziteta glivne kolonizacije (M %) korenin navadnega trsta. N=10. ° prikazuje osamelce, * prikazuje ekstremne osamelce

Figure 36: Fungal root colonization intensity (M %) in *P. australis* roots at Zadnji kraj. N=10. ° represent outlier, * represent extreme outliers



Slika 37: Intenziteta glivne kolonizacije v delu fragmenta z glivno kolonizacijo (m %) korenin navadnega trsta. N=10. Različne črke pri posameznih vzorčnih mestih označujejo statistično značilne razlike med datumi. * prikazuje ekstremne osamelce

Figure 37: Fungal root colonization intensity in the colonized part of the fragment (m %) in *P. australis* roots at Zadnji kraj. N=10. Data not sharing the same letter are statistically significant. * represent extreme outliers

4.3.1.3 Vpliv vodostaja na glivno kolonizacijo navadnega trsta

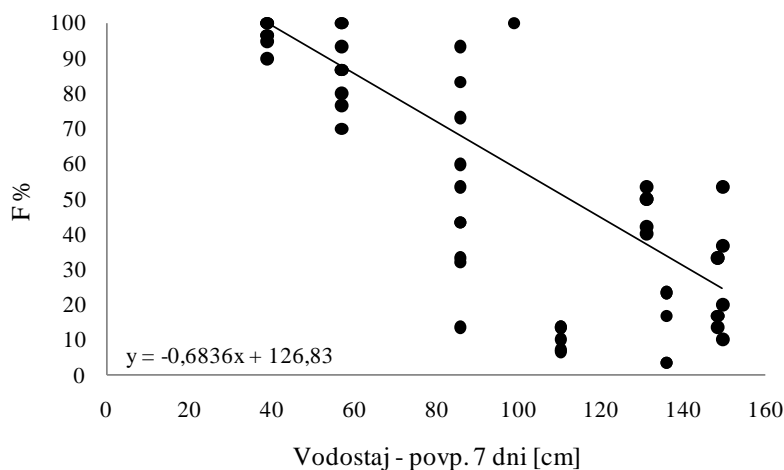
Da bi opredelili vpliv vodostaja na glivno kolonizacijo korenin navadnega trsta, smo primerjali podatke o glivni kolonizaciji na Zadnjem kraju, kjer so spremembe vodostaja najizrazitejše za leti 2008 in 2009 skupaj, in jih s pomočjo linearnih korelacij povezali s

povprečnim sedemdnevni vodostajem pred vzorčenjem (Preglednica 20). Opazili smo, da je nižji vodostaj povezan z večjo frekvenco glivne kolonizacije in obratno (Slika 38).

Preglednica 20: Spearmanovi koeficienti korelacije med parametri glivne kolonizacije in povprečnim 7-dnevnim vodostajem pred vzorčenjem. N=65, * označuje $p < 0,05$

Table 20: Spearman's correlation coefficients for fungal colonization parameters and average 7-day waterlevel prior to sampling. N=65, significant correlations, where $p < 0,05$ are marked by *

		F %	M %	m %	A %	a %	V %	v %	MS %	ms %
7-dnevni	Spearmanov									
povprečni	koef. kor.	-0,65*	-0,13	0,22	0,58*	0,57*	0,38*	0,47*	-0,19	-0,06
vodostaj	p	0,000	0,292	0,078	0,000	0,000	0,002	0,000	0,132	0,633



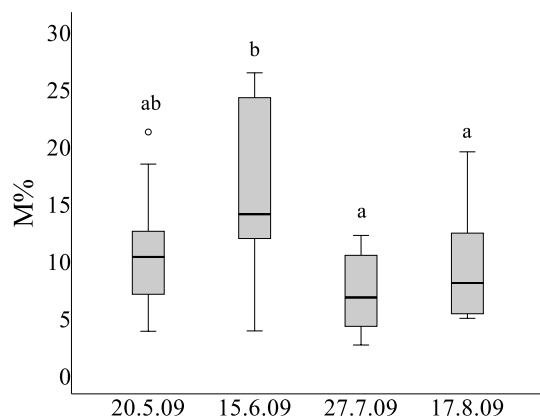
Slika 38: Frekvenca glivne kolonizacije (F %) korenin navadnega trsta v odvisnosti od povprečnega vodostaja 7 dni pred vzorčenjem. N=65

Figure 38: Fungal root colonization frequency (F %) in *P. australis* roots in dependence on average 7-day waterlevel prior to sampling. N=65

Intenziteta glivne kolonizacije v celem fragmentu (M %) in koloniziranem delu fragmenta (m %) z vodostajem ni bila značilno povezana. Značilno pozitivno povezavo pa smo opazili pri gostoti arbuskulov, vendar menimo, da rezultat zaradi nizkih vrednosti opaženih gostot in pogostih vrednosti 0, ni zanesljiv. Grafično predstavljene značilne linearne povezave med vodostajem in med parametri glivne kolonizacije A %, a %, V % in v % so v Prilogi J. Med vodostajem in gostoto mikrosklerocijev (MS %, ms %) ni značilnih linearnih povezav.

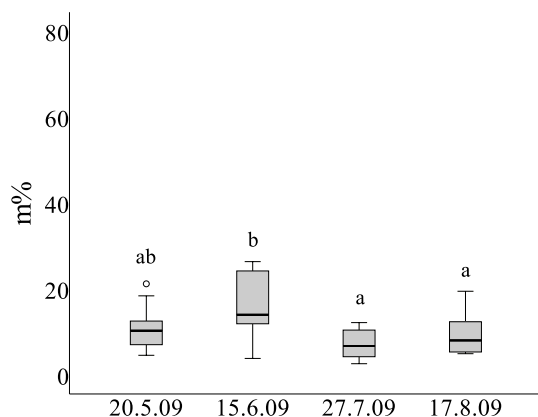
4.3.2 Sezonsko spremljanje glivne kolonizacije trstične pisanke

Za spremljanje glivne kolonizacije korenin skozi rastno sezono smo si izbrali tudi trstično pisanke na vzorčnem mestu Rešeto, do koder območje poplavljanja Cerknškega jezera v večini let ne sega več. Pri preučevanju glivne kolonizacije korenin trstične pisanke smo ugotovili, da so bili v času vseh vzorčenj kolonizirani vsi pregledani koreninski fragmenti ($F \% = 100$), vendar je bila splošna intenziteta glivne kolonizacije razmeroma nizka, od 5 do 25 % (Slika 39), največja pa je bila pri junijskem vzorčenju. Opazili smo zelo malo arubskulov ($A \% < 1$), veziklov ($V \% < 5$) in mikrosklerocijev ($MS \% < 5$), največ je bilo opaziti svitkov ($S \% < 15$). Vrednosti $MS \%$ in $ms \%$ so bile proti koncu sezone značilno večje, vrednosti $S \%$ in $s \%$ pa so proti koncu rastne sezone značilno upadle (rezultati skupaj z rastnimi parametri so v Prilogah K1 in K2).



Slika 39: Intenziteta glivne kolonizacije (M %) korenin trstične pisanke. N=10. Različne črke označujejo statistično značilne razlike med datumi. ° prikazuje osamelec

Figure 39: Fungal root colonization intensity (M %) in *P. arundinacea* roots. N=10. Data not sharing the same letter are statistically significant. ° represents outlier



Slika 40: Intenziteta glivne kolonizacije v delu fragmenta z glivno kolonizacijo (m %) korenin navadnega trsta. N=10. Različne črke označujejo statistično značilne razlike med datumi. ° prikazuje osamelec

Figure 40: Fungal root colonization intensity in the colonized part of the fragment (m %) in *P. arundinacea* roots. N=10. Data not sharing the same letter are statistically significant. ° represents outlier

4.3.3 Glivna kolonizacija vrst izbranih glede na hidrološki gradient

V letih 2008, 2009 in 2010 smo preučili glivno kolonizacijo še nekaterih rastlinskih vrst na območju Cerknškega jezera, kjer do rednih poplav ne prihaja, vrste pa se pojavljajo od bolj mokrih do manj mokrih travnikov. Rezultatom v Preglednici 21 so za primerjavo dodani še rezultati za navadni trst in trstično pisanko, ki so že predstavljeni v poglavjih 4.3.1.2 in 4.3.2), vendar samo rezultati za sredino rastne sezone. Za glivno kolonizacijo rjastega in črnkastega sitovca je bilo opravljenih več vzorčenj v sezoni, v preglednici pa so samo rezultati za sredino rastne sezone. Vsi rezultati sezonske dinamike glivne kolonizacije korenin rjastega in črnkastega sitovca so v Prilogi L, podrobnejši rezultati glivne kolonizacije togega šaša, močvirskega grinta, visokega trpotca in velikega poletnega zvončka pa v prilogah M1 in M2.

Preglednica 21 prikazuje glivno kolonizacijo vrst, ki se pojavljajo na hidrološkem gradientu glede na opažen obseg sprememb vodostaja – od navadnega trsta, ki raste na območju z največjimi spremembami, do združbe mokrotnih travnikov na območju Rešeta in združb na območju Dujic, kjer sprememb vodostaja oz. poplav ni. V Preglednici 21 so dopisani tudi Ellenbergovi indeksi (Ellenberg, 1992) za vlažnost, bazičnost tal in hranila, čeprav se indeks za vlažnost ne ujema z našimi opažanji o pojavljanju rastlin na Cerknškem jezeru. Najbolj izstopa trstična pisanka, ki se na

Cerkniškem jezeru pojavlja v združbi z navadnim trstom tudi na lokacijah, kjer so spremembe vodostaja izrazite.

Preglednica 21: Parametri glivne kolonizacije (mediane) vrst izbranih glede na hidrološki gradient. Vrstni red v tabeli odraža pojavljanje rastlinskih vrst glede na spremembe vodostaja na Cerknškem jezeru, za primerjavo so dodani Ellenbergovi indeksi okoljskih parametrov. 10 največ, 1 najmanj, x nima vpliva, / ni podatka

Table 21: Fungal root colonization parameters (median values) of plant species growing in a hydrological gradient. The sequence in the table represents the order of appearance considering water level fluctuations. Environmental indices according to Ellenberg et al. (1992) are added. 10 most, 1 least, x no influence, / no data

indeksi po Ellenbergu*	<i>Phragm. australis</i>	<i>Phalaris arundin.</i>	<i>Carex elata</i>	<i>Senecio palud.</i>	<i>Schoenus nigricans</i>	<i>Leucojum aestivum</i>	<i>Schoenus ferrugin.</i>	<i>Plantago altissima</i>
vlažnost	10	8	10	9	9	9	8	/
bazičnost tal	7	7	x	x	9	7	7	/
hranila	7	7	5	6	2	8	2	/
vzorčno mesto	Zadnji kraj	Rešeto	Zadnji kraj	Rešeto	Rešeto	Rešeto	Dujice	Rešeto
združba	trstičevje	sestoji trstične pisanke	togo šašje	togo šašje	modro stožkovje s črnkastih sitovcem	združba rušnate masnice in visokega trpotca	modro stožkovje z rjastim sitovcem	združba rušnate masnice in visokega trpotca
datum	julij 2009	julij 2009	avgust 2010	julij 2010	julij 2008	maj 2010	julij 2008	julij 2010
glivna kolonizacija								
F %	100	100	1,7	79,6	100	100	96,7	100
M %	9,8	6,8	0,1	3,1	13,3	92,7	4,4	28,6
m %	9,8	6,8	1,8	4,5	13,3	92,7	4,6	29,1
A %	0	0	0	0,1	4,4	0	0,2	0,2
a %	0	0	0	2,1	35,7	0	5	0,8
V %	1,6	0,3	0	0	4,5	70,9	0,4	6,7
v %	13,6	5,9	0	0	33,6	76,7	6	22,6
S %	0	1,8	0,01	0,2	0,3	7,7	0,1	4
s %	0	31,9	1,9	8,8	3,2	8,2	2,9	13
MS %	1,3	0,8	0,01	0,1	3,3	6,2	1,4	0,9
ms %	13	13,1	0,2	2,3	25,4	6,9	33,9	3

*Ellenberg s sod., 1992

Pri večini preučevanih vrst smo opazili visoke deleže koloniziranih fragmentov (F %), razen pri koreninah togega šaša, kjer je bilo koloniziranih manj kot 2 % vseh pregledanih fragmentov. Kljub visokemu F % pa je bila intenziteta glivne kolonizacije

navadno zelo nizka (okrog 10 % ali manj). Izstopa veliki poletni zvonček, kjer je bila intenziteta glivne kolonizacije skoraj 93 % in visoki trpotec s skoraj 29 %. Pri večini vrst je bilo zelo malo ($A \% < 5$) ali nič prisotnih arbuskulov. Tudi veziklov smo pri večini vrst opazili zelo malo ($V \% < 7$), pri čemer spet zelo izstopa veliki poletni zvonček z vrednostjo $V \%$ skoraj 71. Tudi svitkov in mikrosklerocijev je bilo največ opaziti pri velikem poletnem zvončku ($S \% 7,7$; $MS \% 6,2$), pri ostalih vrstah so bile vrednosti nižje.

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 PRIMARNA PROIZVODNJA NAVADNEGA TRSTA

Navadni trst je kozmopolitski helofit, ki je prilagojen na raznolike okoljske razmere (Clevering in sod., 2001). Navadno predstavlja večji del primarne proizvodnje mokriščnega ekosistema, kar so pripisali klonalni rasti in veliki fenotipski plastičnosti (Santamaría, 2002). Nadzemna biomasa navadnega trsta na Cerknškem jezeru je v primerjavi z objavljenimi podatki drugih raziskav (Preglednica 2; Thevs in sod., 2007) med nižjimi, primerljiva je z biomaso navadnega trsta v severneje ležečih mokriščih. Vendar so tudi med tremi izbranimi vzorčnimi mesti na območju Cerknškega jezera v primarni proizvodnji lahko nekajkratne razlike, prav tako med posameznimi, celo zaporednimi ravnimi sezonami.

5.1.1 Primerjava primarne proizvodnje navadnega trsta glede na vzorčno mesto

Na Dujicah in Zadnjem kraju sestoji navadnega trsta v večini let dosega najmanjšo nadzemno biomaso. Vzrok je lahko v sestavi tal (globoka organska tla na Dujicah oz. zbita, peščena tla z nizko zadrževalno kapaciteto vode na Zadnjem kraju) in v vodnem režimu. Vpliv sestave tal na rast navadnega trsta so preučili Wang in sod. (2006), ki niso našli nobenega vpliva tal na biomaso, višino in razvejanost navadnega trsta. Po drugi strani pa je Howard (2010) ugotovila, da se posamezni genotipi navadnega trsta različno odzivajo na različna tla in tako nekateri genotipi bolje uspevajo v organskih, drugi pa v peščenih tleh.

Sklepamo, da nizka nadzemna biomasa sestoji navadnega trsta na Dujicah in Zadnjem kraju ni toliko povezana s tipom tal, ampak z drugimi dejavniki. Na Dujicah se razmere za rast trsta spreminjajo, saj je v preteklosti navadni trst prodiral v barjanske združbe (Martinčič in Leskovar, 2003), v letih naših vzorčenj biomase pa je bilo opaziti, da vanj prodirajo predvsem lesne vrste, ki jim ustrezajo sedanje, vedno bolj suhe razmere. Predvidevamo, da se bo ta del Cerknškega jezera ob nadaljevanju spreminjanja vodnih razmer sčasoma zarastel z nemokriščnimi rastlinami. Na Zadnjem kraju so razen sestave tal lahko pomemben dejavnik tudi velike spremembe vodostaja, katerih vpliv na nadzemno biomaso je podrobneje razčlenjen v poglavju 5.1.2.

Najvišje vrednosti nadzemne biomase smo zabeležili na Gorenjem Jezeru. Sestoj trsta na tem vzorčnem mestu se namreč ne nahaja neposredno na litoralnem delu Cerknškega jezera, temveč ob jarku, ki se napaja z vodo iz Obrha in je tako zaščiten pred nenadnimi dvigi vodostaja in sušami.

5.1.2 Primerjava rastnih parametrov navadnega trsta glede na vzorčno mesto

Ugotovili smo, da so biomasa in posamezni rastni parametri navadnega trsta med seboj močno linearno povezani. Če kot spremenljivke ne upoštevamo vzorčnega mesta, so sestoji z večjo biomaso bolj gosti, z višjimi posameznimi rastlinami, ki imajo večji bazalni premer in večji listni indeks, biomasa sestoja pa ni v linearni povezavi z deležem cvetočih rastlin.

Pri upoštevanju vzorčnega mesta kot spremenljivke smo opazili nekatere posebnosti. Na Dujicah je bila biomasa navadnega trsta pozitivno povezana z deležem cvetočih rastlin. Na podlagi tega in pa dejstva, da je biomasa navadnega trsta na tem vzorčnem mestu zelo nizka, sklepamo, da neugodne razmere, kot so izsuševanje in posledično prodiranje lesnih vrst na rastišče, otežujejo vegetativno razmnoževanje z rizomi, v ugodnejših letih pa se zato poveča delež cvetočih rastlin. Povezavo med cvetenjem in neugodnimi razmerami – še posebej sušnimi razmerami v spomladanskem času – so ugotovili tudi Alvarez in sodelavci (2005).

Po drugi strani pa je biomasa navadnega trsta na Gorenjem Jezeru v negativni korelaciji z deležem cvetočih rastlin. Ob upoštevanju, da je biomasa na tem vzorčnem mestu navadno največja, je to lahko posledica samoomejevanja populacije zaradi velike gostote, kot sta jo opazila Mook in van der Toorn (1982) ali pa zelo ugodnih razmer za širjenje trsta z vegetativnim razmnoževanjem.

Pozitivna povezanost bazalnega premera navadnega trsta in deleža cvetočih rastlin je značilna samo za vzorčno mesto Zadnji kraj. Glede na značilno povezavo med bazalnim premerom in biomaso navadnega trsta sklepamo, da je tudi na tem vzorčnem mestu, podobno kot na Dujicah, sestoj navadnega trsta pod večjim vplivom okoljskih omejitev – v tem primeru verjetno velikih sprememb vodostaja, zaradi česar ima spolno razmnoževanje večji pomen.

5.1.3 Vpliv vodostaja in temperature na biomaso navadnega trsta

Izrazito variabilnost nadzemne biomase med preučevanimi leti smo pripisali spremembam vodostaja in temperaturam, avtorji kot druge dejavnike navajajo še vplive insektov ali požige in košnjo kot človeška dejavnika (van der Toorn in Mook, 1982), ki pa jih v naši raziskavi nismo opazili. Pri pregledu biomase navadnega trsta po posameznih letih smo opazili, da leti 1997 in 2003 z najnižjo biomaso na dveh vzorčnih mestih hkrati sovpadata z izrazito visokim vodostajem v jesenskem času preteklega leta. Ker je znano, da takrat navadni trst akumulira v rizomih dušik (Tylová in sod., 2008) in ogljikove hidrate (Tursun in sod., 2011), shranjene snovi pa rastlinam omogočijo začetek rasti v spomladanskem času (Karunaratne in sod., 2004), izjemno visok vodostaj v jesenskem času skrajša rastno sezono, zaradi česar se v rizome shrani manj zalog. Ker se ta vpliv izrazi že na začetku sezone, je v nadaljevanju težko izluščiti preostale vplive vodostaja in temperature, zato smo leti 1997 in 2003 iz nadaljnjih analiz linearnih korelacij in regresije tudi izključili.

5.1.3.1 Linearna povezanost vodostaja in nadzemne biomase navadnega trsta

Linearne korelacije med nadzemno biomaso in povprečnimi vodostaji v posameznih mesecih so pokazale, da je večji vodostaj v spomladanskih in zgodnjepoletnih mesecih (aprila in junija na Gorenjem Jezeru, maja na Zadnjem kraju) povezan z nižjo biomaso navadnega trsta na koncu rastne sezone. Takrat so poganjki navadnega trsta najbolj občutljivi na visoke vodostaje. Pretekle raziskave so pokazale, da v primeru zalitja mladi poganjki niti ne zrastejo nad vodno gladino (Armstrong in sod., 1999), v naši raziskavi pa smo opazili, da se poganjki na zalitje z vodo odzovejo s hitro rastjo v višino, pri čemer tvorijo stebela z manjšim bazalnim premerom ter manj listov na dnu stebela. Vretare in sod. (2001) so pri preučevanju rasti navadnega trsta v različno globoki vodi ugotovili, da rastline, ki začnejo rasti v globoki vodi (70 cm), tvorijo manj stebel, ki so višja in počasneje rastejo, razmerje med nadzemno in podzemno biomaso pa je v primerjavi z rastlinami iz plitvejši vode bolj v prid nadzemni biomaso, kar pomeni manjšo alokacijo hranil v rizome in manjšo biomaso na koncu sezone, kar smo opazili tudi v naši raziskavi.

Na Zadnjem kraju je z biomaso navadnega trsta značilno povezan tudi visok vodostaj decembra v preteklem letu. Sklepamo, da stoječa voda v sestoji trsta na Zadnjem kraju (nad 100 cm vodostaja) v zimskih mesecih zamrzne in premikanje ledu zlomi pokončna

stebila. Višje kot je voda, višje so zlomljena stebila, kar pomeni boljše prezračevanje rizomov skozi odprtine (Armstrong in sod., 1992) namesto anoksičnih razmer v z vodo zalitih rizomih. Rast trstov je večja, kadar v tleh ni anoksičnih razmer (Weisner in Graneli, 1989).

Izračuni linearnih korelacij niso pokazali značilnih povezav med nenadnimi spremembami vodostaja in biomaso, čeprav sklepamo, da bi ta vidik prav tako lahko vplival na rast navadnega trsta. Pri navadnem trstu je namreč opisano fenotipsko plastično prilagajanje na nivo vode, pri čemer rastline, ki rastejo v razmerah s spreminjajočo se vodno gladino nikoli niso optimalno prilagojene na nivo vode (Vretare in sod., 2001), White in Ganf (2002) pa sta ugotovila, da lahko hitre spremembe vodne gladine vplivajo na vitalnost navadnega trsta tudi preko zmanjšanega dostopa kisika v rizome.

5.1.3.2 Linearna povezanost temperature in nadzemne biomase navadnega trsta

Linearne povezave med temperaturo in biomaso so značilno pozitivne za meseca oktober in marec, kar spet kaže na ključni obdobji za rast navadnega trsta. Oktobra poteka intenzivno shranjevanje asimilatov v rizome, pri čemer višje temperature pomenijo podaljšano sezono za fotosintezo, marca pa začetek rasti, ki se pri višjih temperaturah hitreje začne (Lambers in sod., 2008).

5.1.3.3 Ugotavljanje vpliva vodostaja in temperature z linearno regresijo

Pri preučevanju odnosov med okoljskimi parametri in biomaso navadnega trsta s pomočjo linearne regresije smo še z drugo statistično metodo preverili, kateri vplivi so najizrazitejši, pri čemer smo v analizo vključili vse razpoložljive okoljske dejavnike (vodostaj, temperaturo, nenadne spremembe vodostaja) ter biomaso navadnega trsta iz preteklega leta, statistični program pa je za model izbral samo tiste, ki so značilno prispevale k razlagi vzročnih povezav. Pri modelu za Gorenje Jezero ima edini vpliv (negativni) na biomaso aprilski vodostaj, pri modelu za Zadnji kraj pa ima decembrski vodostaj pozitiven vpliv, aprilski negativnega ter novembrske temperature prav tako negativen vpliv. Kljub temu, da so višje oktobrske temperature ugodne za biomaso trsta, kot so pokazale linearne korelacije, se do novembra proces akumuliranja hranil v rizome zaključijo, ob visokih temperaturah v pozni jeseni pa smo opazili celo rast mladih

poganjkov iz rizomov. Le-ti seveda ob prihajajoči zimi ne morejo preživeti, porabljena hranila pa se poznajo kot nižja biomasa v naslednji rastni sezoni.

Za natančnejše poznavanje vplivov na biomaso navadnega trsta bi bilo nujno upoštevati tudi vsakoletne spremembe podzemne biomase, saj lahko rizomi navadnega trsta dosegaajo nekajkrat večjo biomaso kot poganjki (Brix in sod., 2001), vendar zaradi zelo razvejane rasti in velikih globin, ki jih rizomi navadnega trsta dosegaajo, obsežnejše vzorčenje ni smiselno, še posebej v sestojih z omejenimi površinami in na zavarovanem območju, kot je Cerknško jezero.

5.2 RAZGRADNJA NAVADNEGA TRSTA IN TOGEGA ŠAŠA

5.2.1 Upad suhe mase

Razgradnja stebel in listov navadnega trsta poteka izrazito različno hitro. Medtem ko se večina biomase listov razgradi v naslednji rastni sezoni, je razpolovni čas za stebela večji od enega leta oziroma celo skoraj tri leta za suho mikrolokacijo. To pomeni, da se v določenem trenutku v sestoju navadnega trsta nahaja razpadajoči material lahko tudi deset let starih rastlin. Na samem mestu je to moč opaziti kot debelo plast zlomljenih stebel, vendar bi bilo treba preveriti, če gre v resnici za tako star material. Razlog za tako počasno razgradnjo stebel navadnega trsta so verjetno vodoodbojne diafragme v nodijih ter debela voščena kutikula na stebelu (Armstrong in Armstrong, 1988), zaradi česar voda v notranjost trsta ne prodre še več mesecev po namočitvi (Gessner, 2000). Prav tako vsebuje navadni trst veliko silicija (14 ± 2 mg/g suhe mase), ki mu daje strukturno oporo za veliko manjši energetski vložek kot lignin ali celuloza (Schoelynck in sod., 2010).

Razgradnja listov zaradi morfoloških, fizioloških in biokemijskih lastnosti, kot so razmerje hranil C:N:P, veliko število listnih rež in majhen delež opornega tkiva, poteka razmeroma hitro (Webster in Benfield, 1986). Rastlinski material togega šaša je po svoji zgradbi bližje listom navadnega trsta, vendar prav tako vsebuje veliko silicija (podatek za vrsto *Carex cinica* je 24,4 mg/g suhe mase v listih; Cornelis in sod., 2011), zaradi česar je razgradnja verjetno počasnejša.

Konstante stopenj razgradnje navadnega trsta in togega šaša so primerljive s predhodnimi raziskavami, čeprav se malo raziskav osredotoča na razlike v razgradnji stebel in listov navadnega trsta. Gessner (2000) ločeno obravnava celo razgradnjo listnih nožnic navadnega trsta, ki lahko predstavljajo do 25 % suhe teže stebela. V primeru, da je v poskusu razgradnje listna nožnica ostala s stebлом (kot je tudi v tej raziskavi), lahko prispeva k navidezno višji stopnji razgradnje stebela navadnega trsta, saj je stopnja razgradnje listnih nožnic primerljiva s stopnjo razgradnje listov. Razgradnja samih stebel navadnega trsta naj bi se pravzaprav intenzivneje začela šele približno 6 mesecev po tem, ko padejo na tla, ko naj bi nevretenčarska združba dobila dostop do parenhima v stebelu (Gessner, 2001).

Pri razgradnji navadnega trsta nismo upoštevali, da odmrle rastline lahko še dolgo časa ostanejo pokončne, še posebej stebela, ki smo jih tudi na Cerkniškem jezeru v sestoji navadnega trsta redno opazali še naslednjo rastno sezono. Pri razgradnji v zraku so prisotne druge mikrobne združbe, prevladujejo predvsem glive (Kuehn in sod., 1998), takšna razgradnja je tudi počasnejša, kot v stiku s tlemi (Hietz, 1992). Zato in pa ker v poskusu nismo ločili listnih nožnic od stebel, so konstante stopenj razgradnje za stebela izmerjene v tem poskusu verjetno previsoke. Po drugi strani pa velikost odprtin (1x1 mm) na izbranih vrečkah za razgradnjo pomeni, da pri razgradnji najverjetneje ni sodelovala nevretenčarska združba, zaradi česar so konstante stopenj razgradnje navadnega trsta iz te raziskave podobne drugim (na primer Gessner, 2000).

5.2.2 Vpliv vodostaja na razgradnjo navadnega trsta

S primerjavo konstant stopenj razgradnje navadnega trsta za posamezna obdobja razgradnje glede na vodne razmere smo opazili, da je razgradnja potekala hitreje v mokrih razmerah kot v suhih ali izmenjujoče se suhih/mokrih razmerah. Slednje velja za stebela navadnega trsta v spomladanskem in jesenskem času, za liste pa v poletnem času. Da je razgradnja v vodi hitrejša, so pokazali tudi rezultati linearnih korelacij med stopnjo razgradnje in številom dni, ko so bili vzorci v vodi. Do podobnih ugotovitev so prišli tudi drugi avtorji, na primer Kelley in Jack (2002), Wallis in Raulings (2011). Razgradnja rastlinskega materiala je v vodi hitrejša predvsem zaradi izluževanja mineralov in lažjega fragmentiranja zaradi omočitve rastlinskega materiala (Langhans in Tockner, 2006). V anoksičnih razmerah lahko razgradnja v vodnem okolju poteka tudi počasneje (Webster in Benfield, 1986).

Poseben primer razgradnje predstavlja razgradnja v izmenjujoče se suhih/mokrih razmerah. Stopnji razgradnje navadnega trsta na Cerknškem jezeru se v suhih in izmenjujočih se razmerah pri steblih nista značilno razlikovali, pri listih pa, v obeh primerih pa je bila razgradnja v izmenjujočih se razmerah počasnejša od razgradnje v vodi. Avtorji navajajo, da je razlog za to izmenjevanje nevretenčarskih združb, pri čemer se pri spremembah vodostaja ne uspe dobro vzpostaviti ne vodna ne kopenska nevretenčarska združba (Collinson in sod., 1995), po drugi strani pa je bila v raziskavi, ki sta jo opravila Battle in Golladay (2001) razgradnja v izmenjujočih se razmerah hitrejša kot v stoječi vodi, ker je spreminjanje vodne gladine ohranjalo oksične razmere.

Stopnje razgradnje se navadno med samim poskusom zelo spreminjajo in vrednosti ob koncu poskusa ne odražajo razmer med poskusom (Webster in Benfield, 1986). Tudi v naši raziskavi so se pri spremljanju razgradnje skozi leto pokazale nekajkratne spremembe v stopnji razgradnje. Večinoma je stopnja razgradnje upadla v poletnem času in narasla v jesenskem času (predvsem pri steblih navadnega trsta in togem šašu, listi so se tekom poletja večinoma že razgradili) s prvim jesenskim dvigom vodostaja, kar pa je lahko posledica tudi tega, da je v prvih šestih mesecih razgradnje stebel zelo počasna (Gessner, 2000).

5.2.3 Koncentracije elementov pred in po razgradnji navadnega trsta in togega šaša

Koncentracije elementov v rastlinah odražajo razmere, v katerih uspevajo, večinoma pa na koncentracijo vpliva količina posameznih elementov v okolju (sedimentu) in okoljski dejavniki, predvsem pH (Batty in Younger, 2007). Koncentracije elementov v rastlinah navadno merijo v okoljih, ki so obremenjena z odplakami iz tovarn, rudnikov ali s kmetijskih površin. Presenetljivo so koncentracije nekaterih kovin v rastlinah iz obremenjenih okolij primerljive s koncentracijami, ki smo jih izmerili v navadnem trstu in togem šašu na Cerknškem jezeru. Windham in sod. (2003) so v navadnem trstu iz težkimi kovinami zmerno obremenjenega mokrišča izmerili zelo podobne koncentracije Zn v listih in steblih in približno 100-krat nižje koncentracije Cr v listih, približno 300-krat manjše koncentracije Cr pa so izmerili tudi Vymazal in sod. (2009) v listih navadnega trsta iz čistilnih naprav. Batty in Younger (2007) sta prav tako preučevala spremembe v koncentracijah elementov tekom razgradnje navadnega trsta na obremenjenih območjih v odvisnosti od pH. Izmerjene začetne vrednosti Fe, Mn, Zn in

Ca so skoraj enake kot v tej raziskavi, koncentracija K pa je nekajkrat višja. Koncentraciji Fe in Sr v navadnem trstu iz Cerknškega jezera sta prav tako primerljivi z vrednostmi izmerjenimi v sestoji trsta iz urbanega predela na Siciliji (Bonanno, 2011). Objavljenih podatkov o koncentracijah Br v navadnem trstu nismo našli.

Elementi merjeni v raziskavi, ki so za rastline večinoma esencialni, so v večjih koncentracijah lahko toksični. Zato jih preferenčno akumulirajo v listih (Windham in sod., 2003), še posebej, če jih rastline pasivno privzemajo preko korenin (Jadia in Fulekar, 2009). Tudi v naši raziskavi so bile izmerjene koncentracije elementov navadno bistveno večje v listih kot v steblih, glede na raziskave drugih avtorjev pa bi podobne koncentracije kot v listih našli tudi v rizomih navadnega trsta (Vymazal in sod., 2009; Bonanno, 2011).

Pri analizi vsebnosti elementov K, Ca, Mn, Fe, Cr, Zn, Br in Sr v suhem rastlinskem materialu na začetku poskusa in po 4 mesecih razgradnje smo pri vseh elementih, razen Sr v trstu opazili večje koncentracije. Ko smo jih preračunali na maso vzorca pred in po 4 mesecih razgradnje, se je pokazalo, da je pri večini elementov vsaj na suhi mikrolokaciji prišlo do kopičenja. Najmanjšo stopnjo kopičenja elementov je bilo opaziti v vzorcih listov v vodi.

Kopičenje kovin v rastlinskem materialu med razgradnjo je opisano tudi v drugih raziskavah. V raziskavi Windham in sod. (2004) se je koncentracija Zn in Cr v listih po enem letu razgradnje podeseterila. Du Laing in sod. (2006) so opisali okrog 5x večje koncentracije Zn, Pb in Cu v listih ter okrog 10x večje koncentracije Cd, Cr in Ni v listih, medtem ko je prišlo do bistveno manjšega kopičenja teh elementov v steblih (največ Pb in Ni – okrog 5x, ostalo pa manj kot 5x). Vzroke za kopičenje elementov na razpadajočem rastlinskem materialu so avtorji pripisali različnim dejstvom. V steblih, predvsem pa listih navadnega trsta se lahko zadrži veliko finih delcev iz sedimenta, kar je najverjetneje vzrok za dvig koncentracij kmalu po začetku razgradnje (Zawislanski in sod., 2001; Windham in sod., 2003; Du Laing in sod., 2006). Vendar pa je koncentracija elementov v razpadajočem materialu pogosto višja kot v samem sedimentu. Vzrok za kopičenje elementov je lahko tudi delovanje mikrobne združbe, kar sta na primeru razgradnje in kopičenja Fe pri različnih pH ugotovila tudi Batty in Younger (2007). V raziskavi je po 6 mesecih dekompozicije pri primerljivem pH kot na Cerknškem jezeru (6,5) prišlo do 10-kratnega povečanja koncentracije Fe, podvojene koncentracije Mn in Ca, 5-kratne koncentracije Zn, koncentracija K pa je ostala na enakem nivoju. Ne glede

na pH (od 3 do 6,5), je bilo kopičenje nekaterih elementov, še posebej Fe, enako, kar je najverjetneje posledica biološke aktivnosti (Batty in Younger, 2007), ko nekateri mikroorganizmi izločajo eksopolisaharide, ki te elemente imobilizirajo (Schaller in sod., 2011) ali jih kopičijo (Purchase in sod., 2009).

5.3 GLIVNA KOLONIZACIJA

5.3.1 Prisotnost glivne kolonizacije v koreninah navadnega trsta

Glivno kolonizacijo navadnega trsta smo opazili na vseh vzorčnih mestih, kjer je bila prisotna ne glede na trenutne ali pretekle vodne razmere, razlike so bile le v stopnji kolonizacije in gostoti struktur. Na navadnem trstu so do sedaj našli več kot 300 glivnih taksonov, vendar je bolj pogostih navadno samo nekaj vrst (Neubert in sod., 2006). Prisotnost arbuskularno-mikoriznih gliv v koreninah navadnega trsta so potrdili Cooke in Lefor (1998) in Oliveira in sod. (2001), čeprav v poplavljenih razmerah arbuskularna mikoriza ni bila vedno prisotna (Wirsel, 2004). V koreninah navadnega trsta so prav tako opazili hife in strukture temno-septiranih endofitov (Wu in sod., 2009).

5.3.2 Vpliv vodostaja in sezonske spremembe glivne kolonizacije navadnega trsta

Glivna kolonizacija navadnega trsta leta 2008 se glede na vzorčno mesto ni značilno razlikovala, kljub temu, da so si vzorčna mesta glede na razmere v tleh precej različna. Večje razlike smo opazili med vzorčenji skozi rastno sezono, kjer smo v glavnem opazili težnjo naraščanja frekvence in intenzitete glivne kolonizacije (podobno leta 2009 samo na Zadnjem kraju). Na Gorenjem jezeru in Zadnjem kraju smo po prvem vzorčenju opazili upad glivne kolonizacije, ki je nato spet narasla pri naslednjih vzorčenjih. Ker je ta sprememba opazna le pri glivni frekvenci, pri intenziteti glivne kolonizacije in abundancah posameznih struktur pa ne, smo sklepali, da jo je povzročil nenaden dvig vodostaja, pri čemer zaradi neugodnih razmer ni prišlo do kolonizacije novih koreninskih laskov z glivami, kot sta opazila tudi Ray in Inouye (2006).

Intenziteta glivne kolonizacije je bila na vseh vzorčnih mestih leta 2008 največja ob koncu rastne sezone, konec avgusta ali septembra, v vseh primerih pa je bila zelo nizka.

Na vseh vzorčnih mestih smo opazili strukture značilne za arbuskularno mikorizo, gostota arbuskulov, veziklov in svitkov se je prav tako večala proti koncu rastne sezone. Pri opaženih spremembah v glivni kolonizaciji skozi rastno sezono je težko opredeliti, katere spremembe so posledica sprememb vodostaja in katere drugih dejavnikov, predvsem fenoloških faz rastlinskega gostitelja (Koide, 1991). Podobno so v raziskavi sezonskih sprememb glivne kolonizacije v slanem mokrišču ugotovili tudi Carvalho in sod. (2001). Predvidevamo, da so sezonske spremembe glivne kolonizacije na Gorenjem Jezeru in Zadnjem kraju, kjer se vodostaj spreminja, bolj povezane z vodostajem, na Dujicah pa s fenologijo navadnega trsta.

5.3.2.1 Vpliv vodostaja na glivno kolonizacijo korenin navadnega trsta

Vpliv vodostaja na glivno kolonizacijo korenin navadnega trsta smo podrobneje preučili z iskanjem značilnih linearnih povezav med glivno kolonizacijo trsta na Zadnjem kraju za leti 2008 in 2009 skupaj in povprečnim sedemdnevnim vodostajem pred vzorčenjem. Rezultati so potrdili, da je ob dvigu vodostaja res prišlo do zmanjšanja glivne kolonizacije, vendar samo deleža koloniziranih korenin, pri gostoti arbuskulov in veziklov pa smo ugotovili pozitivne linearne povezave. Vendar, ker so bile predvsem vrednosti opaženih arbuskulov izrazito nizke, iz tega ni moč sklepati, da je v resnici prišlo do povečanja gostote arbuskulov zaradi poplavljanja. Večja gostota veziklov, ki so založne strukture (Bonfante in Genre, 2010) v primeru višjega vodostaja pa lahko kaže na spremenjeno aktivnost gliv kot prilagoditev na novo nastale razmere.

Dosedanje raziskave, ki so preučevale vpliv vodostaja na prisotnost mikoriznih ali endofitskih gliv, so prav tako pogosto dale nasprotujoče si rezultate. Tla zalita z vodo imajo lahko za posledico manjšo stopnjo glivne kolonizacije (Miller, 2000; Ray in Inouye, 2006; Stevens in sod., 2011), spremembo v tipu kolonizacije (Šraj-Kržič in sod., 2006) ali v vrstni sestavi (Wang in sod., 2011) v primerjavi z nezalitim tlemi v istem mokrišču, lahko pa do sprememb sploh ne pride (Bauer in sod., 2003). Prav tako ni razjasnjeno, ali poteka kolonizacija novih koreninskih laskov v poplavljenih tleh, ali se ob zalitju tal z vodo samo ohrani, medtem ko se je razvila v z vodo nezalitim tleh (Miller in Sharitz, 2000). Rezultati glivne kolonizacije korenin navadnega trsta s Cerknškega jezera kažejo na to, da so glive bolj abundantne, kadar tla niso zalita z vodo, ob poplavljanju pa v koreninskem sistemu mirujejo.

5.3.2.2 Sezonske spremembe glivne kolonizacije navadnega trsta in trstične pisanke

Dosedanje raziskave so velikokrat pokazale, da je glivna kolonizacija najobsežnejša takrat, ko ima rastlina dodatne zahteve po hranilih (Koide, 1991). Običajno je to v času cvetenja ali plodenja (Bohrer in sod., 2004), pri navadnem trstu pa najverjetneje tudi v jesenskem času, ko intenzivno kopiči zaloge v rizomih, kar kaže naraščanje frekvence in intenzitete proti koncu rastne sezone v naši raziskavi. V drugih raziskavah so pogosto opazili največji obseg glivne kolonizacije spomladi, ko poteka intenzivna vegetativna rast (Bajwa, 2001; Welsh in sod., 2010). Na Cerknškem jezeru je začetek rasti zelo odvisen od vodostaja in je v primeru visokega vodostaja lahko zakasnen, kot je bil tudi leta 2008 in 2009. Zato je bilo prvo vzorčenje možno šele, ko je vodostaj upadel, do takrat pa so bile rastline že zelo visoke in je o stopnji glivne kolonizacije v fazi začetne rasti težko sklepati. Kolonizacija je lahko intenzivnejša tudi v fazah, kot so cvetenje (Likar in sod., 2009), plodenje ali senescenca (Escudero in Mendoza, 2005), kar smo opazili tudi pri spremljanju glivne kolonizacije trstične pisanke, pri kateri je bila intenziteta glivne kolonizacije najvišja v času cvetenja. Kljub temu je Miller-jeva (2000) opazila, da lahko v času najintenzivnejše rasti pride tudi do znižanja mikorizne kolonizacije, zato lahko zaključimo, da je prisotnost glivne kolonizacije splet številnih dejavnikov, med najpomembnejšimi pa so dostopnost hranil in vode (Gaur in Kaushik, 2011).

5.3.3 Glivna kolonizacija izbranih vrst glede na hidrološki gradient

V raziskavi glivne kolonizacije vrst na območju Cerknškega jezera smo preučili tudi korenine rastlin, katerih pojavljanje je omejeno glede na vlažnost tal in obseg sprememb vodostaja. Vključili smo rastline, ki uspevajo na rastiščih z obsežnimi spremembami vodostaja do nikoli poplavljenih rastišč. Glivno kolonizacijo korenin pri amfibijskih rastlinah iz presihajočih ekosistemov so potrdili že Šraj-Kržič in sod. (2006) in Šraj-Kržič in sod. (2009), vendar so bili kopni poganjki bolj kolonizirani kot vodni poganjki istih vrst. V naši raziskavi povezav med gradientom vodostaja in glivno kolonizacijo nismo opazili, saj so bile stopnje kolonizacije pri rastlinah iz poplavnih območij podobne kot pri rastlinah s kopnih rastišč. Vrste trstična pisanka, togi šaš, močvirski grint, črnikasti in rjasti sitovec, visoki trpotec ter veliki poletni zvonček iz različnih habitatov na območju Cerknškega jezera so bile vse kolonizirane z glivami, izstopal je le togi šaš z izjemno majhno frekvenco glivne kolonizacije in le izjemoma opaženimi

svitki in mikrosklerociji. Na koreninah te vrste smo podobno kot tudi v predhodnih raziskavah opazili enocelične koreninske laske, ki naj bi pri nekaterih vrstah rodu *Carex*, še posebej mokriščnih, nastali zaradi anoksičnih razmer, hkrati pa so povezane z odsotnostjo glivne kolonizacije (Miller in sod., 1999), vendar pa se opažene strukture in glivna kolonizacija ne izključujeta (Muthukumar in sod., 2004).

Raziskave glivne kolonizacije v mokriščnih ekosistemih so redke, velikokrat so poročali, da so zaradi specifičnih razmer mokriščne rastline razmeroma redko kolonizirane z glivami (Anderson in sod., 1984), čeprav so prvi viri, ki navajajo mikorizo tudi pri kateri od zgoraj naštetih vrst že iz sedemdesetih let. Mejstrik (1972) se je v svoji raziskavi osredotočil na glivno kolonizacijo združbe *Molinetum caeruleae*, v kateri izmed 55 preučevanih vrst znakov mikorizne kolonizacije ni našel le pri 9 vrstah, med drugimi je kot mikorizno vrsto navedel tudi rjasti sitovec. V meta-analizi mikorizne kolonizacije britanske flore sta Harley in Harley (1987) navedla veliko vrst tudi iz naše raziskave, na primer trstično pisanko, črnkasti in rjasti sitovec ter veliki poletni zvonček, pri katerih so avtorji prišli do nasprotujočih zaključkov, saj nekateri viri vrste navajajo kot mikorizne, drugi pa kot nemikorizne. Med drugimi je bila kot nemikorizen opisan tudi togi šaš. V novejših virih je od rastlinskih vrst iz naše raziskave moč najti samo trstično pisanko, pri kateri so Bauer in sod. (2003) ter Bohrer in sod. (2004) opazili mikorizno kolonizacijo.

5.4 SKLEPI

Spremembe vodostaja so glavni okoljski dejavnik, ki vpliva na primarno proizvodnjo navadnega trsta.

Primarna proizvodnja navadnega trsta na Cerknškem jezeru znaša od 300 do 1500 g SS/m² na leto, vendar so razlike med vzorčnimi mesti zelo velike. Z analizo večletnih podatkov o vodostaju Cerknškega jezera in temperaturi, smo ugotovili, da oba okoljska dejavnika vplivata na primarno proizvodnjo navadnega trsta. Višja temperatura oktobra in marca pomeni večjo nadzemno biomaso navadnega trsta na koncu rastne sezone. Tudi vpliv vodostaja na primarno proizvodnjo se pozna že od pretekle jeseni, ko je izjemno visok vodostaj povezan z zelo nizkimi vrednostmi nadzemne biomase navadnega trsta na koncu rastne sezone. Visok vodostaj aprila, maja in junija je prav tako povezan z nižjo nadzemno biomaso. Na vzorčnem mestu Zadnji kraj, kjer so spremembe vodostaja bolj izrazite, pa ima pomemben vpliv še visok vodostaj decembra, ki je povezan z višjo biomaso na koncu rastne sezone. Zaradi pogostega pojavljanja izjemnih vodostajev, kot so suše v navadno mokrem delu leta in prisotnost visoke vode v navadno suhem delu leta, sklepamo, da so spremembe vodostaja glavni okoljski dejavnik, ki vpliva na primarno proizvodnjo navadnega trsta.

Razgradnja rastlinskega materiala je na vzorčnih mestih z različnimi spremembami vodostaja različna.

Razgradnja navadnega trsta poteka na območjih z različnimi spremembami vodostaja značilno različno hitro. Najpočasnejša je v suhem okolju, kjer znaša konstanta stopnje razgradnje stebel 0,024 g/mesec ter listov 0,05 g/mesec, najhitrejša pa v vodnem, kjer znaša konstanta stopnje razgradnje stebel 0,05 g/mesec ter listov 0,39 g/mesec. Stopnja razgradnje v okolju z izmenjujoče se mokrimi in suhimi razmerami je glede na vrednosti med stopnjo razgradnje v suhem in mokrem okolju in znaša za stebela 0,03 g/mesec ter za list 0,09 g/mesec. Spremembe vodostaja predstavljajo tudi pomembno dinamiko pri vezavi in sproščanju mikrohranil iz detrita v organizme.

Glivna kolonizacija korenin rastlin je prisotna v različnih habitatih Cerknškega jezera, glede na okoljske razmere pa se razlikuje pogostost in morfoloija glivne kolonizacije.

Glivna kolonizacija korenin navadnega trsta na Cerknškem jezeru je prisotna ne glede na hidrološke razmere. Vpliv sprememb vodostaja ni zelo izrazit, v primeru zalitja korenin z vodo smo opazili predvsem manjšo frekvenco glivne kolonizacije in večjo pogostost pojavljanja veziklov. Glivno kolonizacijo smo prav tako opazili pri vrstah trstična pisanka, togi šaš, močvirski grint, črnkasti in rjasti sitovec, veliki trpotec in veliki poletni zvonček na gradientu voda-kopno. Frekvenca in intenziteta glivne kolonizacije ter gostote posameznih glivnih struktur so bile pri teh vrstah zelo raznolike. Predvidevamo, da so bolj odražale specifične lastnosti posamezne preučevane vrste kot hidrološke razmere.

6 POVZETEK (SUMMARY)

6.1 POVZETEK

Za presihajoče Cerknško jezero so značilne hitre spremembe vodne gladine, ki določajo in oblikujejo tudi življenjske združbe. Cerknško jezero kot mokrišni ekosistem predstavlja dober model za preučevanje delovanja ekosistema v hitro spreminjajočih se hidroloških razmerah. V okviru doktorskega dela smo skušali opredeliti vpliv sprememb vodostaja na kroženje hranil. V ta namen smo več let spremljali primarno proizvodnjo največjega primarnega producenta – navadnega trsta (*Phragmites australis*), razgradnjo navadnega trsta in togega šaša (*Carex elata*) ter glivno kolonizacijo navadnega trsta na območjih z različnimi spremembami vodostaja. Preučevali smo tudi sezonske spremembe glivne kolonizacije korenin navadnega trsta in trstične pisanke (*Phalaris arundinacea*) ter glivno kolonizacijo vrst togega šaša, močvirskega grinta (*Senecio paludosus*), črnkastega sitovca (*Schoenus nigricans*), rjastega sitovca (*Schoenus ferrugineus*), visokega trpotca (*Plantago altissima*) in velikega poletnega zvončka (*Leucojum aestivum*), ki se pojavljajo vse od poplavnega območja do nikoli zalitih mokriščnih travnikov.

Pri raziskovalnem delu smo uporabili različne metode. Primarno proizvodnjo navadnega trsta smo spremljali z večletnim merjenjem največje nadzemne biomase (Cronk in Fennessy, 2001) na vzorčnih mestih z različnimi spremembami vodostaja. Za ugotavljanje vpliva sprememb vodostaja na stopnjo razgradnje smo uporabili t.i. *litter bag* metodo (Webster in Benfield, 1986), kjer smo rastlinski material navadnega trsta in togega šaša v mrežastih plastičnih vrečkah izpostavili različnim vodnim razmeram in spremljali upad suhe mase približno 1 leto. V vzorcih pred razgradnjo in po 4 mesecih razgradnje smo z XRF metodo (Markowicz, 1993) ugotavljali vsebnosti elementov K, Ca, Mn, Fe, Cr, Zn, Br in Sr. Pri spremljanju glivne kolonizacije korenin smo uporabili metodo barvanja, kot sta jo opisala Phillips in Hayman (1970). V vzorcih koreninskih fragmentov smo določili frekvenco in intenziteto glivne kolonizacije ter abundance struktur značilnih za arbuskularno mikorizo in temno septirane endofite po Trouvelot s sod. (1986).

Večletno spremljanje nadzemne biomase navadnega trsta je pokazalo, da je primarna proizvodnja v različnih obdobjih rastne sezone različno povezana s spremembami vodostaja. Na primarno proizvodnjo imajo vpliv predvsem izjemno visoki vodostaji. Nadzemna biomasa navadnega trsta na koncu rastne sezone je bila nižja, kadar je bil

jeseni in/ali spomladi visok vodostaj, medtem ko vodostaj v zimskem in poletnem času ni imel tako očitnega vpliva. Za rast in akumuliranje biomase navadnega trsta je pomembna tudi temperatura. Ugotovili smo, da višje temperature jeseni in spomladi pomenijo bolj ugodne razmere za rast in posledično več nadzemne biomase na koncu rastne sezone. Iz tega sklepamo, da sta za uspešnost navadnega trsta ključni dve obdobji v letu, in sicer jesen pred naslednjo rastno sezono in pomlad. V jesenskem času ob zaključku predhodne rastne sezone ostane navadni trst aktiven še dolgo po plodenju, saj akumulira hranila v podzemne rizome, ki omogočajo hiter začetek rasti naslednje pomladi. Spomladi pa nizek vodostaj in visoke temperature predstavljajo ugodne razmere za rast in razvoj navadnega trsta. Na visok vodostaj v spomladanskem času se navadni trst odzove z rastjo v višino, pri čemer na delu stebela pod vodo ne tvori listov in ima tako do konca sezone manjšo asimilacijsko površino.

Spremembe vodostaja vplivajo tudi na razgradnjo navadnega trsta in togega šaša. Razgradnja je potekala najhitreje v vodnih in najpočasneje v suhih razmerah. Tudi v predhodnih raziskavah razgradnje v mokriščih so ugotovili, da je razgradnja v vodi najhitrejša, če pri tem ne nastanejo anoksične razmere. V tem primeru je razgradnja v izmenjujoče se vodnem in suhem okolju hitrejša, kljub temu, da se težje vzpostavijo mikrobne in nevretenčarske združbe. Pri preučevanju koncentracij kovin v razpadajočem rastlinskem materialu smo v glavnem opazili kopičenje kovin v materialu. Ugotovili smo, da so vsebnosti nekaterih težkih kovin v razpadajočem rastlinskem materialu precej velike in primerljive z bolj obremenjenimi mokrišči, kot je Cerkniško jezero. Deloma do kopičenja kovin med razgradnjo pride zaradi odlaganja finih delcev sedimenta na rastlinski material, deloma pa zaradi biološke aktivnosti mikroorganizmov.

Na glivno kolonizacijo navadnega trsta vplivajo tako vodostaj kot sezonske spremembe v potrebah rastlin po hranilih. Pri zalitju korenin navadnega trsta z vodo smo opazili zmanjšanje glivne kolonizacije, kar so opazili tudi v številnih predhodnih raziskavah. Skozi rastno sezono je glivna kolonizacija navadnega trsta praviloma naraščala in imela največji obseg na koncu rastne sezone. Glivna kolonizacija trstične pisanke je dosegla najvišje vrednosti v času cvetenja. Glive imajo za rastline pomembno vlogo pri pridobivanju hranil, kar se najbolj izrazi v času povečanih potreb po hranilih. To se je pokazalo tudi v naši raziskavi. Glivna kolonizacija korenin navadnega trsta pa je še enkrat potrdila, da kako velik pomen ima jesensko obdobje za vitalnost sestoja.

Pregled korenin togega šaša, močvirskega grinta, črnkastega in rjastega sitovca, visokega trpotca in velikega poletnega zvončka je pri vseh potrdil prisotnost glivne kolonizacije. Predvidevamo, da imajo na prisotnost in inteziteto glivne kolonizacije večji vpliv kot sam hidrološki gradient specifične lastnosti posamezne vrste, saj so bile tako na poplavnih tleh, ki naj bi za glivno združbo bila najmanj ugodna, kot na višje ležečih tleh skoraj vse pregledane korenine kolonizirane. Z nizko stopnjo kolonizacije je izstopal le togi šaš.

6.2 SUMMARY

The main characteristics of the intermittent Lake Cerknica are its frequent water level fluctuations which have a great impact on lake biota. Lake Cerknica as a wetland ecosystem represents a good model for studying the functioning of a frequently disturbed ecosystem. The aim of doctoral thesis research was to determine the effect of water level changes on nutrient cycling, especially the effect that water level fluctuations have on primary production, decomposition and fungal root colonization. For this purpose, the aboveground primary production of the area's largest primary producer – *Phragmites australis* was monitored for several years, decomposition of *P. australis* and *Carex elata* litter was researched and fungal root colonization of *P. australis* from locations with different water level fluctuations was determined. Seasonal changes of fungal root colonization was also determined on roots of *P. australis* and *Phalaris arundinacea*. Fungal root colonization of plants occurring on a gradient from locations with largest water level fluctuations to locations constantly dry, was determined. The investigated plant species were *Carex elata*, *Senecio paludosus*, *Schoenus nigricans*, *S. ferrugineus*, *Plantago altissima* and *Leucojum aestivum*.

For the research work several methods were used. Primary production of *P. australis* at locations with different water level fluctuations was determined for several years by harvesting the aboveground parts at peak biomass (Cronk and Fennessy, 2001). A litter bag method (Webster and Benfield, 1986) was used to measure the decomposition rate of *P. australis* and *C. elata* litter at locations with different water level fluctuatsins over a period of one year. Concentrations of elements K, Ca, Mn, Fe, Cr, Zn, Br and Sr was measured in samples before and during decomposition using an XRF method (Markowicz, 1993). Fungal root colonization was determined by staining root hairs

according to Phillips and Hayman (1970) and determining the frequency of infection, fungal colonization intensity and the abundance fungal structures according to Trouvelot et al. (1986).

Aboveground biomass of *P. australis* correlated with water level in certain months, especially in previous year's autumn and spring. Extremely high water level proved to have the largest effect. Low primary production at the end of a growing season was correlated to high autumn and spring water level. Winter and summer water level showed no correlation, except at Zadnji kraj, where water level fluctuations are largest and high water level in december was positively correlated with aboveground biomass of *P. australis*. Ambient temperature is also a factor in primary production showing an effect in the same period. Higher autumn and spring temperatures usually mean larger plant biomass at the end of a growing season. Through these data it can be concluded that there are two crucial periods for growth of *P. australis*, the previous season's autumn and current season's spring. In the autumn *P. australis* remains photosynthetically active long after seeding, accumulating the assimilates into underground rhizomes which provide energy for development in the next year's spring. And in spring, low water level and high temperatures enable a quick start in the development. On the other hand, when water level in spring is high, the stored nutrients are used for fast culm growth and no leaves form on the submerged part of the culm. In the end of the season the assimilation area is smaller than usual and the plant stores less nutrients.

Water level changes also affect decomposition of *P. australis* and *C. elata*. Decomposition is fastest when litter is submerged, and slowest when litter is dry. Similar findings were made by other authors, who concluded that wetland decomposition is fastest in water if conditions remain oxic, otherwise it is fastest in an environment with frequent exchanges of wet and dry periods. The results for metal concentrations in decomposing litter show accumulation of most of the elements measured. Our findings show, that metal concentrations in litter from Lake Cerknica can be quite high and are comparable to wetlands in urbanized and industrialized areas. Metal accumulation on plant litter takes place in part because fine sediment particles attach to the litter, in part because of microbial activity.

The results for fungal root colonization of *P. australis* show the effects of water level fluctuations as well as seasonal changes. When the sampled roots were flooded with water less fungal colonization could be observed, a finding commonly observed in

previous studies. During the growing season fungal root colonization of *P. australis* showed an increasing trend and was the largest in autumn. Fungal root colonization of *P. arundinacea* was largest during flowering. Fungi have an important role in plant mineral acquisition which becomes the most evident in time of elevated nutrient needs. We confirmed that in our study. The seasonal dynamics of fungal root colonization once again point to a critical autumn period important for general fitness of *P. australis*.

Fungal root colonization was also present in *Carex elata*, *Senecio paludosus*, *Schoenus nigricans*, *S. ferrugineus*, *Plantago altissima* and *Leucojum aestivum*. There was no obvious trend in the extent of fungal colonization in respect with hydrologic gradient, therefore we suspect that characteristics of individual plant species are a more important factor for fungal root colonization.

7 VIRI

- Alvarez M. G., Tron F., Mauchamp A. 2005. Sexual versus asexual colonization of *Phragmites australis*: 25-year reed dynamics in a Mediterranean marsh, southern France. *Wetlands*, 25, 3: 639-647
- Anderson R. C., Liberta A. E., Dickman L. A. 1984. Interaction of vascular plants and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi across a soil moisture-nutrient gradient. *Oecologia*, 64: 111-117
- Aristizábal C., Rivera E. L., Janos D. P. 2004. Arbuscular mycorrhizal fungi colonize decomposing leaves of *Myrica parviflora*, *M. pubescens* and *Paepalanthus* sp. *Mycorrhiza*, 14: 221-228
- Armstrong J., Afreen-Zobayed F., Blyth S., Armstrong W. 1999. *Phragmites australis*: effects of shoot submergence on seedling growth and survival and radial oxygen loss from roots. *Aquatic Botany*, 64: 275-289
- Armstrong J., Armstrong W. 1988. *Phragmites australis* – A preliminary study of soil-oxidizing sites and internal gas transport pathways. *New Phytologist*, 108: 373-382
- Armstrong J., Armstrong W., Beckett P. M. 1992. Venturi- and humidity-induced pressure flows enhance rhizome aeration and rhizosphere oxidation. *New Phytologist*, 120: 197-207
- Asaeda T., Baniya M. B., Rashid M. H. 2011. Effect of floods on the growth of *Phragmites japonica* on the sediment bar of regulated rivers: a modelling approach. *International Journal of River Basin Management*, 9: 211-220
- Asaeda T., Hung Nam L., Hietz P., Tanaka N., Karunaratne S. 2002. Seasonal fluctuations in live and dead biomass of *Phragmites australis* as described by a growth and decomposition model: implications of duration of aerobic conditions for litter mineralization and sedimentation. *Aquatic Botany*, 73: 223-239
- Asaeda T., Manatunge J., Roberts J., Ngoc Hai D. 2006. Seasonal dynamics of resource translocation between the aboveground organs and age-specific rhizome segments of *Phragmites australis*. *Environmental and Experimental Botany*, 57: 9-18
- Bajwa R., Yaqoob A., Javaid A. 2001. Seasonal Variation in VAM in Wetland Plants. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 4, 4: 464-470
- Baldwin D. S., Mitchell A. M., Rees G. N. 2000. The effects of in situ drying on sediment-phosphate interactions in sediments from an old wetland. *Hydrobiologia*, 431: 3-12
- Bärlocher F. 1997. Pitfalls of traditional techniques when studying decomposition of vascular plant remains in aquatic habitats. *Limnetica*, 13, 2: 1-11
- Bärlocher F. 2006. Fungal Endophytes in Submerged roots. V: *Soil Biology*, volume 9, *Microbial Root Endophytes*. Schulz B., Boyle C., Sieber T. N. (eds.). Berlin Heidelberg, Springer Verlag: 179-190

- Battle J. M., Golladay S. W. 2001. Hydroperiod Influence on Breakdown of Leaf Litter in Cypress-gum Wetlands. *The American Midland Naturalist*, 146: 128-145
- Batty L. C., Younger P. L. 2007. The effect of pH on plant litter decomposition and metal cycling in wetland mesocosms supplied with mine drainage. *Chemosphere*, 66: 158-164
- Bauer C. R., Kellogg C. H., Bridgham S. D., Lamberti G. A. 2003. Mycorrhizal colonization across hydrologic gradients in restored and reference freshwater wetlands. *Wetlands*, 23, 4: 961-968
- Bedford A. P. 2004. A modified litter bag design for use in lentic habitats. *Hydrobiologia*, 529: 187-193
- Bedford A. P. 2005. Decomposition of *Phragmites australis* litter in seasonally flooded and exposed areas of a managed reedbed. *Wetlands*, 25, 3: 713-720
- Bohrer K. E., Friese C. F., Amon J. P. 2004. Seasonal dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi in differing wetland habitats. *Mycorrhiza*, 14: 329-337
- Bonanno G. 2011. Trace element accumulation and distribution in the organs of *Phragmites australis* (common reed) and biomonitoring applications. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74: 1057-1064
- Bonfante P., Genre A. 2010. Mechanisms underlying beneficial plant-fungus interactions in mycorrhizal symbiosis. *Nature Communications*, 1, 48:1-11
- Boulton A. J., Brock, M. A. 2001. *Australian Freshwater Ecology: Processes and Management*. Glen Osmond, Gleneagles Publishing: 300 str.
- Bridgham S. D., Lamberti G. A. 2009. Ecological Dynamics III: Decomposition in Wetlands. V: *The Wetlands Handbook*, 1st edition. Maltby E., Barker T. (eds.). Chichester, Blackwell Publishing Ltd: 326-345
- Bridgham S. D., Richardson C. J. 2003. Endogenous versus exogenous nutrient control over decomposition in North Carolina peatlands. *Biogeochemistry*, 65: 151-178
- Brinson M. M., Lugo A. E., Brown S. 1981. Primary productivity, Decomposition and Consumer Activity in Freshwater Wetlands. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 12: 123-161
- Brix H., Sorrell B. K., Lorenzen B. 2001. Are *Phragmites*-dominated wetlands a net source or net sink of greenhouse gases? *Aquatic Botany*, 69, 2-4: 313-324
- Brundrett M. C. 2004. Diversity and classification of mycorrhizal associations. *Biological Reviews*, 79: 473-495
- Brundrett M. C. 2006. Understanding the Roles of Multifunctional Mycorrhizal and Endophytic Fungi. V: *Soil Biology*, volume 9, Microbial Root Endophytes. Schulz B., Boyle C., Sieber T. N. (eds.). Berlin Heidelberg, Springer Verlag: 281-298

- Campanile G., Ruscelli A., Luisi N. 2007. Antagonistic activity of endophytic fungi towards *Diplodia corticola* assessed by in vitro and in planta test. *European Journal of Plant Pathology*, 117: 237-246
- Carvalho L. M., Caçador I., Martins-Loução M. A. 2001. Temporal and spatial variation of arbuscular mycorrhizas in salt marsh plants of the Tagus estuary (Portugal). *Mycorrhiza*, 11: 303-309
- Chen X. M., Dong H. L., Hu K. X., Sun Z. R., Chen J., Guo S. X. 2010. Diversity and Antimicrobial and Plant-Growth-Promoting Activities of Endophytic Fungi in *Dendrobium loddigesii* Rolfe. *Journal of Plant Growth Regulation*, 29: 328-337
- Cleveland C. C., Liptzin D. 2007. C:N:P stoichiometry in soil: is there a »Redfield ratio« for the microbial biomass? *Biogeochemistry*, 85: 235-252
- Clevering O. A., Brix H., Lukavská J. 2001. Geographic variation in growth responses in *Phragmites australis*. *Aquatic Botany*, 69: 89-108
- Clevering O. A., Lissner J. 1999. Taxonomy, chromosome numbers, clonal diversity and population dynamics of *Phragmites australis*. *Aquatic Botany*, 64: 185-208
- Collinson N. H., Biggs J., Corfield A., Hodson M. J., Walker D., Whitfield M., Williams P. J. 1995. Temporary and permanent ponds: an assessment of the effects of drying out on the conservation value of aquatic macroinvertebrate communities. *Biological Conservation*, 74: 125-133
- Cooke J. C., Lefor M. W. 1998. The Mycorrhizal Status of Selected Plant Species from Connecticut Wetlands and Transition Zones. *Restoration Ecology*, 6, 2: 214-222
- Cornelis J.-T., Delvaux B., Georg R. B., Lucas Y., Ranger J., Opfergelt S. 2011. Tracing the origin of dissolved silicon transferred from various soil-plant systems towards rivers: a review. *Biogeosciences*, 8: 89-112
- Cronk J. K., Fennessy M. S. 2001. *Wetland plants: biology and ecology*. Boca Raton, Lewis Publishers: 462 str.
- Denison R. F., Kiers E. T. 2011. Life Histories of Symbiotic Rhizobia and Mycorrhizal Fungi. *Current Biology*, 21: 775-785
- Dickopp J., Kazda M., Čížková H. 2011. Differences in rhizome aeration of *Phragmites australis* in a constructed wetland. *Ecological Engineering*, 37: 1647-1653
- Dolinar N., Gabeščík 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
- Dolinar N., Šraj N., Gaberščik A. 2011a. Water Regime Changes and the Function of an Intermittent Wetland. V: *Water and Nutrient Management in Natural and Constructed Wetlands*. Vymazal J. (ed.). Dordrecht Heidelberg London New York, Springer: 251-262

- Dolinar N., Šraj N., Pongrac P., Regvar M., Gaberščik A. 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. (ed.). Dordrecht Heidelberg London New York, Springer: 299-308
- Du Laing G., Van Ryckegem G., Tack F. M. G., Verloo M. G. 2006. Metal accumulation in intertidal litter through decomposing leaf blades, sheaths and stems of *Phragmites australis*. Chemosphere, 63: 1815-1823
- Edwards A. L., Lee D. W., Richards J. H. 2003. Responses to a fluctuating environment: effects of water depth on growth and biomass allocation in *Eleocharis cellulosa* Torr. (Cyperaceae). Canadian Journal of Botany, 81, 9: 964-975
- Ellenberg H., Weber H. E., Düll R., Wirth V., Werner W., Paulissen D. 1992. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. 2. ed. Scripta Geobotanica 18: 1-258
- Ernst M., Mendgen K. W., Wirsal S. G. R. 2003. Endophytic Fungal Mutualists: Seed-Borne *Stagonospora* Spp. Enhance Reed Biomass Production in Axenic Microcosms. Molecular Plant Microbe Interaction, 16: 580-587
- Escudero V., Mendoza R. 2005. Seasonal variation of arbuscular mycorrhizal fungi in temperate grasslands along a wide hydrologic gradient. Mycorrhiza, 15:291-299
- Fennessy M. S., Rokosch A., Mack J. J. 2008. Patterns of plant decomposition and nutrient cycling in natural and created wetlands. Wetlands, 28, 2: 300-310
- Fitter A. H. 2005. Darkness visible: reflections on underground ecology. Journal of Ecology, 93: 231-243
- Friesen M. L., Porter S. S., Stark S. C., von Wettberg E. J., Sachs J. L., Martinez-Romero E. 2011. Microbially mediated plant functional traits. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 42: 23-46
- Gaberščik A., Urbanc-Berčič O., Martinčič A. 2000. The influence of water level fluctuation on the production of reed stands (*Phragmites australis*) on intermittent lake Cerknško jezero. In: Proceedings of the International Workshop and 10th Macrophyte Group Meeting IAD-SIL. Cristofor S., Sarbu A., Aadamescu M. (eds.). Editura Universității din București: 29-33
- Gaberščik-Kopušar A., Martinčič A. 1982. Produktivnost vrste *Phragmites communis* Trin. na Blejskem jezeru. Biološki vestnik, 30, 1: 25-44
- García I. V., Mendoza R. E. 2008. Relationships among soil properties, plant nutrition and arbuscular mycorrhizal fungi-plant symbioses in a temperate grassland along hydrologic, saline and sodic gradients. FEMS Microbiology Ecology, 63, 3: 359-371
- Gaur S., Kaushik P. 2011. Influence of Edaphic Factors on Distribution of Mycorrhiza Associated with Medicinal Plants in Indian Central Himalayas. Journal of Biological Sciences, 11, 5: 349-358
- Gessner M. O. 2000. Breakdown and nutrient dynamics of submerged *Phragmites* shoots in the littoral zone of a temperate hardwater lake. Aquatic Botany, 66: 9-20

- Gessner M. O. 2001. Mass loss, fungal colonisation and nutrient dynamics of *Phragmites australis* leaves during senescence and early aerial decay. *Aquatic Botany*, 69: 325-339
- Harley J. L., Harley E. L. 1987. A check-list of mycorrhiza in the british flora. *New Phytologist*, 105: 1-102
- Hietz P. 1992. Decomposition and nutrient dynamics of reed (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) litter in Lake Neusiedl, Austria. *Aquatic Botany*, 43: 211-230
- 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
- Hoeltje S. M., Cole C. A. 2009. Comparison of Function of Created Wetlands of Two Age Classes in Central Pennsylvania. *Environmental Management*, 43: 597-608
- Howard R. J. 2010. Intraspecific Variation in Growth of Marsh Macrophytes in Response to Salinity and Soil Type: Implications for Wetland Restoration. *Estuaries and Coasts*, 33: 127-138
- Hudon C., Gagnon P., Jean M. 2005. Hydrological factors controlling the spread of common reed (*Phragmites australis*) in the St. Lawrence River (Québec, Canada). *Ecoscience*, 12, 3: 347-357
- Hyde K. D., Soyong K. 2008. The fungal endophyte dilemma. *Fungal Diversity*, 33: 163-173
- Ipsilantis I., Sylvia D. M. 2007. Interactions of assemblages of mycorrhizal fungi with two Florida wetland plants. *Applied Soil Ecology*, 35: 261-271
- Jadia C. D., Fulekar M. H. 2009. Phytoremediation of heavy metals: Recent techniques. *African Journal of Biotechnology*, 8, 6: 921-928
- Jallow M. F. A., Dugassa-Gobena D., Vidal S. 2004. Indirect interaction between an unspecialized endophytic fungus and a polyphagous moth. *Basic and Applied Ecology*, 5: 183-191
- Jenny H., Gessel S. P., Bingham F. T. 1949. Comparative study of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions. *Soil science*, 68, 6: 419-432
- Johnson N. C. 2010. Resource stoichiometry elucidates the structure and function of arbuscular mycorrhizas across scales. *New Phytologist*, 185: 631-647
- Jumpponen A. 2001. Dark septate endophytes – are they mycorrhizal? *Mycorrhiza*, 11: 207-211
- Kandalepas D., Stevens K. J., Shaffer G. P., Platt W. J. 2010. How Abundant are Root-Colonizing Fungi in Southeastern Louisiana's Degraded Marshes? *Wetlands*, 30: 189-199
- Karunaratne S., Asaeda T., Yutani K. 2004. Age-specific seasonal storage dynamics of *Phragmites australis* rhizomes: a preliminary study. *Wetlands Ecology and Management*, 12: 343-351

- Keddy P. A. 2010. Wetland Ecology: Principles and Conservation. 2nd edition. New York, Cambridge University Press: 497 str.
- Kelley R. H., Jack J. D. 2002. Leaf litter decomposition in an ephemeral karst lake (Chaney Lake, Kentucky, U.S.A.). *Hydrobiologia*, 482: 41-47
- Khidir H. H., Eudy D. M., Porrás-Alfaro A., Herrera J., Natvig D. O., Sinsabaugh R. L. 2010. A general suite of fungal endophytes dominate the roots of two dominant grasses in a semiarid grassland. *Journal of Arid Environments*, 74: 35-42
- Koide R. T. 1991. Tansley Review No. 29. Nutrient Supply, Nutrient Demand and Plant Response to Mycorrhizal Infection. *New Phytologist*, 117, 3: 365-386
- Komínková D., Kuehn K. A., Büsing N., Steiner D., Gessner M. O. 2000. Microbial biomass, growth, and respiration associated with submerged litter of *Phragmites australis* decomposing in a littoral reed stand of a large lake. *Aquatic Microbial Ecology*, 22: 271-282
- Kranjc A. 2003a. Geologija in geomorfologija. V: Jezero, ki izginja: Monografija o Cerknškem jezeru. Gaberščik A. (ur.). Ljubljana, Društvo ekologov Slovenije: 18-25
- Kranjc A. 2003b. Hidrološke značilnosti. V: Jezero, ki izginja: Monografija o Cerknškem jezeru. Gaberščik A. (ur.). Ljubljana, Društvo ekologov Slovenije: 26-37
- Kuehn K. A., Churchill P. F., Suberkropp K. 1998. Osmoregulatory responses of fungi inhibiting standing litter of the freshwater emergent macrophyte *Juncus effusus*. *Applied and environmental microbiology*, 64, 2: 607-612
- Kuehn K. A., Gessner M. O., Wetzel R. G., Suberkropp K. 1999. Decomposition and CO₂ evolution from standing litter of the emergent macrophyte *Erianthus giganteus*. *Microbial ecology*, 38: 50-70
- Lambers H., Chapin F. S., Pons T. L. 2008. Plant physiological ecology. 2nd edition. New York, Springer: 604 str.
- Langhans S. D., Tockner K. 2006. The role of timing, duration and frequency of inundation in controlling leaf litter decomposition in a river-floodplain ecosystem (Tagliamento, northeastern Italy). *Oecologia*, 147: 501-509
- Likar M., Regvar M., Mandic-Mulec I., Stres B., Bothe H. 2009. Diversity and seasonal variations of mycorrhiza and rhizosphere bacteria in three common plant species at the Slovenian Ljubljana Marsh. *Biology and Fertility of Soils*, 45, 6: 573-583
- Lobão Lopes M., Martins P., Ricardo F., Rodrigues A. M., Quintino V. 2011. In situ experimental decomposition studies in estuaries: A comparison of *Phragmites australis* and *Fucus vesiculosus*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 92: 573-580
- Longhi D., Bartoli M., Viaroli P. 2008. Decomposition of four macrophytes in wetland sediments: Organic matter and nutrient decay and associated benthic processes. *Aquatic Botany*, 89, 3: 303-310

- Lou B., Wang A., Lin C., Xu T., Zheng X. 2011. Enhancement of defense responses by oligandrin against *Botrytis cinerea* in tomatoes. *African Journal of Biotechnology*, 10, 21: 11442-11449
- Mandyam K., Fox C., Jumpponen A. 2012. Septate endophyte colonization and host responses of grasses and forbs native to a tallgrass prairie. *Mycorrhiza*, 22: 109-119
- Mandyam K., Jumpponen A. 2005. Seeking the elusive function of the root-colonising dark septate endophytic fungi. *Studies in Mycology*, 53: 173-189
- Mandyam K., Jumpponen A. 2008. Seasonal and temporal dynamics of arbuscular mycorrhizal and dark septate endophytic fungi in a tallgrass prairie ecosystem are minimally affected by nitrogen enrichment. *Mycorrhiza*, 18: 145-155
- Markowicz A. A. 1993. X-ray physics. V: *Handbook of X-Ray Spectrometry*. Van Grieken R.E., Markowicz A.A. (eds.). New York, Marcell Dekker Inc.: 1-74
- Martinčič A., Leskovar I. 2003. Vegetacija. V: *Jezero, ki izginja: Monografija o Cerknškem jezeru*. Gaberščik A. (ur.). Ljubljana, Društvo ekologov Slovenije: 80-96
- McCormick M. K., Kettenring K. M., Baron H. M., Whigham D. F. 2010. Spread of invasive *Phragmites australis* in estuaries with differing degrees of development: genetic patterns, Allee effects and interpretation. *Journal of Ecology*, 98: 1369-1378
- Mejstrik V. K. 1972. Vesicular-arbuscular mycorrhizas of the species of a *Molinietum coeruleae* L. I. association: the ecology. *New Phytologist*, 71: 883-890
- Miller R. M., Smith C. I., Jastrow J. D., Bever J. D. 1999. Mycorrhizal status of the genus *Carex* (Cyperaceae). *American Journal of Botany*, 86, 4: 547-553
- Miller S. P. 2000. Arbuscular mycorrhizal colonization of semi-aquatic grasses along a wide hydrologic 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, 6:738-748
- Mitsch W. J., Gosselink J. G. 2007. *Wetlands*. 4th edition. Hoboken, John Wiley & Sons Inc.: 582 str.
- Mook J. H., van der Toorn, J. 1982. The Influence of Environmental Factors and Management on Stands of *Phragmites australis*. II. Effects on Yield and Its Relationships with Shoot Density. *Journal of Applied Ecology*, 19, 2: 501-517
- Muthukumar T., Udaiyan K., Shanmughavel P. 2004. Mycorrhiza in sedges – an overview. *Mycorrhiza*, 14: 65-77

- Newsham K. K. 2011. A meta-analysis of plant responses to dark septate root endophytes. *New Phytologist*, 190: 783-793
- Neto D., Carvalho L. M., Cruz C., Martins-Loução M. A. 2006. How do mycorrhizas affect C and N relationships in flooded *Aster tripolium* plants? *Plants and Soil*, 279: 51-63
- Neubert K., Mendgen K., Brinkmann H., Wirsel S. G. R. 2006. Only a few fungal species dominate highly diverse mycofloras associated with the common reed. *Applied and environmental microbiology*, 72, 2: 1118-1128
- Nielsen K. B., Kjølter R., Olsson P. A., Schweiger P. F., Andersen F. Ø., Rosendhal S. 2004. Colonisation and molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the aquatic plants *Littorella uniflora* and *Lobelia dortmanna* in southern Sweden. *Mycological Research*, 108, 6: 616-625
- Oliveira R. S., Dodd J. C., Castro P. M. L. 2001. The mycorrhizal status of *Phragmites australis* in several polluted soils and sediments of an industrialised region of Northern Portugal. *Mycorrhiza*, 10: 241-247
- Parniske M. 2008. Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. *Nature Reviews Microbiology*, 6: 763-775
- Phillips J. M., Hayman D. S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55: 158-161
- Podrobnejši načrt upravljanja za projektno območje presihajoče Cerknško Jezero. 2009. Notranjski regijski park, Cerknica, 257 str.
- Purchase D., Scholes L. N. L., Revitt D. M., Shutes R. B. E. 2009. Effects of temperature on metal tolerance and the accumulation of Zn and Pb by metal-tolerant fungi isolated from urban runoff treatment wetlands. *Journal of Applied Microbiology*, 106: 1163-1174
- 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
- Rocha A. V., Goulden M. L. 2009. Why is marsh productivity so high? New insights from eddy covariance and biomass measurements in a *Typha* marsh. *Agricultural and forest meteorology* 149: 159-168
- Rodriguez R. J., White Jr. J. F., Arnold A. E., Redman R. S. 2009. Fungal endophytes: diversity and functional roles. *New Phytologist*, 182: 314 - 330
- Ryder D. S., Horwitz P. 1995. Seasonal water regimes and leaf litter processing in a wetland on the Swan Coastal Plain, Western Australia. *Marine and Freshwater Research*, 46, 7: 1077-1084
- Santamaría L. 2002. Why are most aquatic plants widely distributed? Dispersal, clonal growth and small-scale heterogeneity in a stressful environment. *Acta Oecologica*, 23: 137-154

- Sasikala S., Tanaka N., Wah Wah H. S. Y., Jinadasa K. B. S. N. 2009. Effects of water level fluctuation on radial oxygen loss, root porosity, and nitrogen removal in subsurface vertical flow wetland mesocosms. *Ecological Engineering*, 35: 410-417
- Schädler M., Brandl R., Kempel A. 2010. »Afterlife« effects of mycorrhization on the decomposition of plant residues. *Soil Biology & Biochemistry*, 42: 521-523
- Schaller J., Brackhage C., Mkandawire M., Dudel E. G. 2011. Metal/metalloid accumulation/remobilization during aquatic litter decomposition in freshwater: A review. *Science of the Total Environment* 409: 4891-4898
- Schlesinger W. H., Hasey M. M. 1981. Decomposition of Chaparral Shrub Foliage: Loses of Organic and Inorganic Constituents from Deciduous and Evergreen Leaves. *Ecology*, 62, 3: 762-774
- Schoelynck J., Bal K., Backx H., Okruszko T., Meire P., Struyf E. 2010. Silica uptake in aquatic and wetland macrophytes: a strategic choice between silica, lignin and cellulose? *New Phytologist*, 186: 385-391
- Schreiber U., Bilger W., Neubauer C. 1995. Chlorophyll fluorescence as a nonintrusive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. V: *Ecophysiology of Photosynthesis*. Schulze E. D., Caldwell M. M. (eds.). Berlin – Heidelberg – New York, Springer Verlag: 49-70
- Schulz B. 2006. Mutualistic Interactions with Fungal Root Endophytes. V: *Soil Biology, volume 9, Microbial Root Endophytes*. Schulz B., Boyle C., Sieber T. N. (eds.). Berlin – Heidelberg, Springer Verlag: 261-278
- Smith R. G. B., Brock M. A. 2007. The ups and downs of life on the edge: the influence of water level fluctuations on biomass allocation in two contrasting aquatic plants. *Plant Ecology*, 188: 103-116
- Smith S. E., Read D. J. 1997. *Mycorrhizal Symbiosis*. 2nd edition. San Diego, London, Academic Press:
- Smith F. A., Smith S. E. 1997. Structural diversity in (vesicular)-arbuscular mycorrhizal symbioses. *New Phytologist*, 137: 373-388
- Smrekar A. 2003. Gospodarski načrti in posegi. V: *Jezero, ki izginja: Monografija o Cerknškem jezeru*. Gaberščik A. (ur.). Ljubljana, Društvo ekologov Slovenije: 276-287
- Stevens K. J., Peterson R. L. 2007. Relationships among Three Pathways for Resource Acquisition and their Contribution to Plant Performance in the Emergent Aquatic Plant *Lythrum salicaria* (L.). *Plant Biology*, 9, 6: 758-765
- Stevens K. J., Wellner M. R., Acevedo M. F. 2010. Dark septate endophyte and arbuscular mycorrhizal status of vegetation colonizing a bottomland hardwood forest after a 100 year flood. *Aquatic Botany*, 92: 105-111

- Stevens, K. J., Wall C. B., Janssen J. A. 2011. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on seedling growth and development of two wetland plants, *Bidens frondosa* L., and *Eclipta prostrata* (L.) L., grown under three levels of water availability. *Mycorrhiza*, 21: 279-288
- 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
- Šraj-Kržič N., Pongrac P., Regvar M., Gaberščik A. 2009. Photon-harvesting efficiency and arbuscular mycorrhiza in amphibious plants. *Photosynthetica*, 47, 1: 61-67
- Taniguchi T., Usuki H., Kikuchi J., Hirobe M., Miki N., Fukuda K., Zhang G., Wang L., Yoshikawa K., Yamanaka N. 2012. Colonization and community structure of root-associated microorganisms of *Sabina vulgaris* with soil depth in a semiarid desert ecosystem with shallow groundwater. *Mycorrhiza*, 6: 419-428
- Thevs N., Zerbe S., Gahlert F., Mijit M., Succow M. 2007. Productivity of reed (*Phragmites australis* Trin. ex Steud.) in continental-arid NW China in relation to soil, groundwater, and land-use. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 81: 62-68
- Thormann M. N., Currah R. S., Bayley S. E. 1999. The mycorrhizal status of the dominant vegetation along a peatland gradient in southern boreal Alberta, Canada. *Wetlands*, 19, 2: 438-450
- Toorn van der J., Mook J. H. 1982. The Influence of Environmental Factors and Management on Stands of *Phragmites australis*. I. Effects of Burning, Frost and Insect Damage on Shoot Density and Shoot Size. *Journal of Applied Ecology*, 19, 2: 477-499
- Trouvelot A., Kough J. L., Gianinazzi-Pearson V. 1986. Mesure du taux de mycorrhization VA d'un système racinaire. Recherches et méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. V: Mycorrhizae: Physiology and Genetics. Gianinazzi-Pearson V., Gianinazzi S. (eds.). Paris, INRA Press: 216-222
- Tudzynski B., Sharon A. 2002. Biosynthesis, biological role and application of fungal phytohormones. V: The mycota X. Industrial application. Osiewacz H. D. (ed.). Berlin, Springer Verlag: 183-212
- Tursun N., Seyithanoglu M., Uygur F. N., Elibuyuk I. O., Elibuyuk E. A. 2011. Seasonal dynamics of soluble carbohydrates in rhizomes of *Phragmites australis* and *Typha latifolia*. *Flora – Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 206, 8: 731-735
- Tylová E., Steinbachová L., Votrubová O., Gloser V. 2008. Phenology and autumnal accumulation of N reserves in belowground organs of wetland helophytes *Phragmites australis* and *Glyceria maxima* affected by nutrient surplus. *Environmental and Experimental Botany*, 63: 28-38
- Urcelay C., Vaieretti M. V., Pérez M., Díaz S. 2011. Effects of arbuscular mycorrhizal colonisation on shoot and root decomposition of different plant species and species mixtures. *Soil Biology & Biochemistry*, 43: 466-468

- Van Ryckegem G., Gessner M. O., Verbeken A. 2007. Fungi on Leaf Blades of *Phragmites australis* in a Brackish Tidal Marsh: Diversity, Succession and Leaf Decomposition. *Microbial Ecology*, 53: 600-611
- Van Ryckegem G., Van Driessche G., Van Beeumen J. J., Verbeken A. 2006. The Estimated Impact of Fungi on Nutrient Dynamics During Decomposition of *Phragmites australis* Leaf Sheaths and Stems. *Microbial Ecology*, 52: 564-574
- Vretare V., Weisner S. E. B., Strand J. A., Graneli W. 2001. Phenotypic plasticity in *Phragmites australis* as a functional response to water depth. *Aquatic Botany*, 69: 127-145
- Vymazal J., Kröpfelová L., Švehla J., Chrastný V., Štíhová J. 2009. Trace elements in *Phragmites australis* growing in constructed wetlands for treatment of municipal wastewater. *Ecological engineering*, 53: 303-309
- Wallis E., Raulings E. 2011. Relationship between water regime and hummock-building by *Melaleuca ericifolia* and *Phragmites australis* in a brackish wetland. *Aquatic Botany*, 95: 182-188
- Wang Q., Wang C. H., Zhao B., Ma Z. J., Luo Y. Q., Chen J. K., Li B. 2006. Effects of growing conditions on the growth of and interactions between salt marsh plants: implications for invasibility of habitats. *Biological Invasions*, 8: 1547-1560
- Wang S., Mulligan C. N. 2009. Enhanced mobilization of arsenic and heavy metals from mine tailings by humic acid. *Chemosphere*, 74: 274-279
- Wang Y., Huang Y., Qiu Q., Xin G., Yang Z., Shi S. 2011. Flooding greatly affects the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi communities in the roots of wetland plants. *PloS ONE*, 6, 9: e24512
- Webster J. R., Benfield E. F. 1986. Vascular plant breakdown in freshwater ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17: 567-594
- Weishampel P. A., Bedford B. L. 2006. Wetland dicots and monocots differ in colonization by arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytes. *Mycorrhiza*, 16: 495-502
- Weisner S. E. B., Graneli W. 1989. Influence of substrate conditions on the growth of *Phragmites australis* after a reduction in oxygen transport to below-ground parts. *Aquatic Botany*, 35: 71-80
- Welsh A. K., Burke D. J., Hamerlynck E. P., Hahn D. 2010. Seasonal analyses of arbuscular mycorrhizae, nitrogen-fixing bacteria and growth performance of the salt marsh grass *Spartina patens*. *Plant Soil*, 330: 251-266
- White S. D., Ganf G. G. 2002. A comparison of the morphology, gas space anatomy and potential for internal aeration in *Phragmites australis* under variable and static water regimes. *Aquatic Botany*, 73: 115-127
- Windham L., Weis J. S., Weis P. 2003. Uptake and distribution of metals in two dominant salt marsh macrophytes, *Spartina alterniflora* (cordgrass) and *Phragmites australis* (common reed). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 56: 63-72

- Windham L., Weis J. S., Weis P. 2004. Metal dynamics of plant litter of *Spartina alterniflora* and *Phragmites australis* in metal-contaminated salt marshes. Part 1: Patterns of decomposition and metal uptake. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 23, 6: 1520-1528
- Wirsel S. G. R. 2004. Homogenous stands of a wetland grass harbour diverse consortia of arbuscular mycorrhizal fungi. *FEMS Microbiology Ecology*, 48: 129-138
- Wu Y., Liu T., He X. 2009. Mycorrhizal and dark septate endophytic fungi under the canopies of desert plants in Mu Us Sandy Land of China. *Frontiers of Agriculture in China*, 3, 2: 164-170
- Yavercovski N., Grillas P., Paradis G., Thiéry A. 2004. Biodiversity and conservation issues. A. Habitats. V: Mediterranean Temporary Pools. Volume 1 – Issues relating to conservation functioning and management. Grillas P., Gauthier P., Yavercovski N., Perennou C. (eds.). Le Sambuc, Station biologique de la Tour du Valat: 11-17
- Zawislanski P. T., Chau S., Mountford H., Wong H. C., Sears T. C. 2001. Accumulation of Selenium and Trace Metals on Plant Litter in a Tidal Marsh. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 52: 589-603
- Zupančič B. 2003. Klima. V: Jezero, ki izginja: Monografija o Cerknškem jezeru. Gaberščik A. (ur.). Ljubljana, Društvo ekologov Slovenije: 4-18

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem moji mentorici prof. dr. Alenki Gaberščik za obsežno pomoč in sodelovanje pri nastanku tega dela ter za obilico podpore, zaupanja in razumevanja, ki mi ga je naklonila skozi dolga leta zaposlitve.

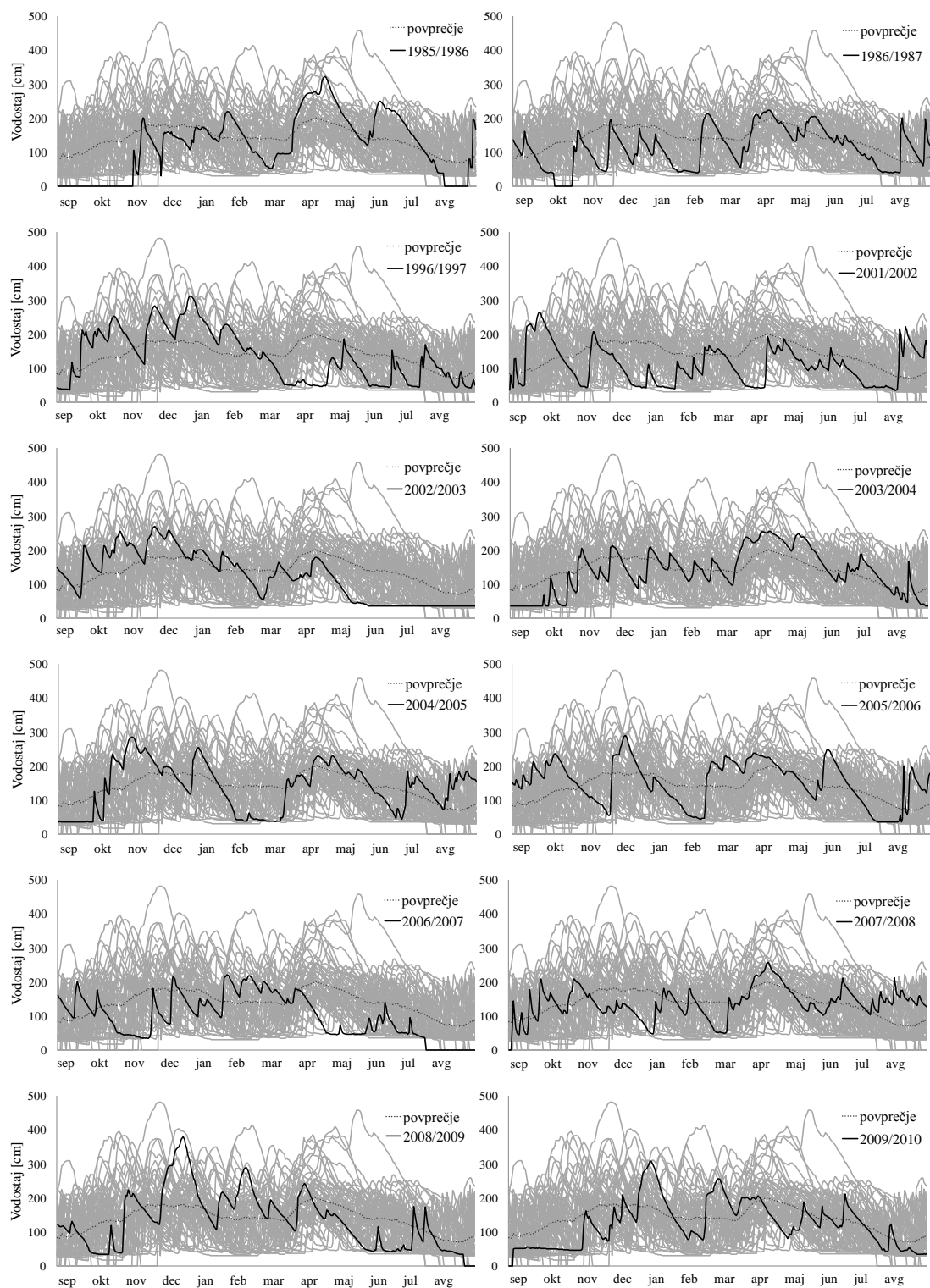
Hvala tudi vsem sodelavcem na Katedri za ekologijo in varstvo okolja, brez vaše strokovne pomoči in mnenja bi doktorat ne bil, takšen kot je, brez sproščenih pogovorov pa tudi ostalo delo ne bi bilo tako zabavno. Hvala tudi sodelavcem s Katedre za botaniko in fiziologijo rastlin, še posebej Pauli za pomoč pri prvih korakih v svet mikorize.

Nenazadnje pa gre še posebna zahvala možu Matjažu, za vsestransko pomoč, razumevanje in veliko konstruktivne kritike.

PRILOGE

PRILOGA A1

Hidrološke razmere v letih vzorčenja nadzemne biomase navadnega trsta



PRILOGA B

Korelacijski koeficienti med biomaso navadnega trsta in povprečno mesečno temperaturo, mesečnimi vodostaji in spremembami vodostaja za vsa preučevana leta (N=12, značilne korelacije, kjer je $p < 0,05$, so označene z *)

	povprečna mesečna temperatura	vzorčno mesto		
		Dujice	Gorenje Jezero	Zadnji kraj
september	Pearsonov kor. koef.	0,417	0,239	0,384
	p	0,264	0,454	0,218
oktober	Pearsonov kor. koef.	0,173	0,716	0,545
	p	0,656	0,009*	0,067
november	Pearsonov kor. koef.	-0,241	0,016	-0,074
	p	0,532	0,961	0,819
december	Pearsonov kor. koef.	0,014	-0,005	0,119
	p	0,972	0,988	0,712
januar	Pearsonov kor. koef.	0,095	0,148	0,017
	p	0,823	0,665	0,960
februar	Pearsonov kor. koef.	0,031	0,386	0,138
	p	0,941	0,241	0,685
marec	Pearsonov kor. koef.	0,176	0,436	0,173
	p	0,676	0,180	0,612
april	Pearsonov kor. koef.	0,131	0,616	0,710
	p	0,757	0,044*	0,014*
maj	Pearsonov kor. koef.	0,205	0,210	0,484
	p	0,627	0,535	0,132
junij	Pearsonov kor. koef.	0,014	0,245	0,133
	p	0,973	0,467	0,696
julij	Pearsonov kor. koef.	0,178	0,312	0,492
	p	0,673	0,350	0,125
avgust	Pearsonov kor. koef.	-0,022	0,072	0,138
	p	0,959	0,834	0,685

povprečni mesečni vodostaj		vzorčno mesto	
		Gorenje Jezero	Zadnji kraj
september	Pearsonov kor. koef.	0,339	0,288
	p	0,281	0,365
oktober	Pearsonov kor. koef.	-0,212	-0,260
	p	0,509	0,415
november	Pearsonov kor. koef.	-0,236	-0,209
	p	0,460	0,515
december	Pearsonov kor. koef.	-0,159	0,340
	p	0,622	0,280
januar	Pearsonov kor. koef.	-0,422	-0,187
	p	0,172	0,560
februar	Pearsonov kor. koef.	0,207	0,395
	p	0,518	0,204
marec	Pearsonov kor. koef.	0,262	0,422
	p	0,411	0,172
april	Pearsonov kor. koef.	-0,190	0,014
	p	0,554	0,966
maj	Pearsonov kor. koef.	-0,234	-0,319
	p	0,465	0,312
junij	Pearsonov kor. koef.	-0,229	-0,138
	p	0,475	0,670
julij	Pearsonov kor. koef.	-0,324	-0,235
	p	0,304	0,462
avgust	Pearsonov kor. koef.	0,020	-0,116
	p	0,952	0,719

spremembe vodostaja		vzorčno mesto	
		Gorenje Jezero	Zadnji kraj
vse	Spearmanov kor. koef.	0,326	0,505
	p	0,301	,094
jeseni	Spearmanov kor. koef.	0,156	-0,101
	p	0,629	0,754
pozimi	Spearmanov kor. koef.	0,478	0,533
	p	0,116	0,074
spomladi	Spearmanov kor. koef.	0,051	0,051
	p	0,874	0,874
poleti	Spearmanov kor. koef.	-0,186	0,190
	p	0,562	0,554

PRILOGA C1

Pearsonovi korelacijski koeficienti med povprečnimi mesečnimi vodostaji in biomaso navadnega trsta brez podatkov za 1997 in 2003. N=10. Značilne korelacije, kjer je $p < 0,05$, so označene z *

	povprečni mesečni vodostaj	biomasa	
		Gorenje Jezero	Zadnji kraj
september	Pears. kor. koef.	0,511	0,433
	p	0,131	0,212
oktober	Pears. kor. koef.	0,176	0,071
	p	0,627	0,845
november	Pears. kor. koef.	0,066	0,086
	p	0,856	0,813
december	Pears. kor. koef.	0,127	0,757*
	p	0,726	0,011
januar	Pears. kor. koef.	-0,174	0,125
	p	0,630	0,730
februar	Pears. kor. koef.	0,339	0,542
	p	0,338	0,105
marec	Pears. kor. koef.	0,024	0,258
	p	0,947	0,471
april	Pears. kor. koef.	-0,812*	-0,445
	p	0,004	0,198
maj	Pears. kor. koef.	-0,585	-0,678*
	p	0,076	0,031
junij	Pears. kor. koef.	-0,716*	-0,550
	p	0,020	0,100
julij	Pears. kor. koef.	-0,505	-0,383
	p	0,137	0,275
avgust	Pears. kor. koef.	-0,113	-0,273
	p	0,756	0,445

PRILOGA C2

Spearmanovi korelacijski koeficienti med biomaso in številom sprememb vodostaja brez podatkov za 1997 in 2003. N=10

spremembe vodostaja		biomasa	
		Gorenje Jezero	Zadnji kraj
vse	Spearm. kor. koef.	-0,026	0,267
	p	0,943	0,456
jeseni	Spearm. kor. koef.	0,342	-0,020
	p	0,334	0,956
pozimi	Spearm. kor. koef.	0,242	0,369
	p	0,501	0,294
spomladi	Spearm. kor. koef.	0,038	0,038
	p	0,917	0,917
poleti	Spearm. kor. koef.	-0,629	-0,180
	p	0,051	0,619

PRILOGA C3

Pearsonovi korelacijski koeficienti med povprečno mesečno temperaturo in biomaso navadnega trsta brez podatkov za 1997 in 2003. N=10. Značilne korelacije, kjer je $p < 0,05$, so označene z *

povprečna mesečna temperatura		vzorčno mesto		
		Dujice	Gorenje Jezero	Zadnji kraj
september	Pears. kor. koef.	0,164	-0,110	0,132
	p	0,725	0,763	0,715
oktober	Pears. kor. koef.	0,046	0,755*	0,537
	p	0,921	0,012	0,110
november	Pears. kor. koef.	-0,010	0,267	0,133
	p	0,983	0,455	0,713
december	Pears. kor. koef.	-0,191	-0,230	-0,041
	p	0,682	0,523	0,910
januar	Pears. kor. koef.	-0,027	0,129	-0,027
	p	0,959	0,741	0,944
februar	Pears. kor. koef.	-0,003	0,601	0,235
	p	0,996	0,087	0,543
marec	Pears. kor. koef.	0,450	0,767*	0,403
	p	0,370	0,016	0,283
april	Pears. kor. koef.	-0,526	0,402	0,580
	p	0,284	0,284	0,102
maj	Pears. kor. koef.	0,247	0,276	0,612
	p	0,637	0,472	0,080
junij	Pears. kor. koef.	0,257	0,474	0,305
	p	0,622	0,198	0,425
julij	Pears. kor. koef.	-0,117	0,128	0,416
	p	0,826	0,743	0,266
avgust	Pears. kor. koef.	0,205	0,296	0,408
	p	0,697	0,439	0,276

PRILOGA D

Durbin-Watsonov preizkus za linearno regresijo nadzemne biomase in okoljskih dejavnikov na Gorenjem Jezeru in Zadnjem kraju

Gorenje Jezero

	Vsota kvadratov odklonov	df	Mean Square	F	p
Regresija	706660,9	1	706660,9	14,5	0,007 ^a
Ostanek	340381,3	7	48625,9		
Skupaj	1047042,2	8			

R	R ²	Prilagojeni R ²	SE	Durbin-Watson
0,822 ^a	0,675	0,628	220,5	2,29

Zadnji kraj

	Vsota kvadratov odklonov	df	Mean Square	F	p
Regresija	342056,1	3	114018,7	49,3	0,000 ^a
Ostanek	11557,1	5	2311,4		
Skupaj	353613,2	8			

R	R ²	Prilagojeni R ²	SE	Durbin-Watson
0,984 ^a	0,967	0,948	48,1	1,43

PRILOGA E

Spremembe v konstanti stopnje razgradnje k za razgradnjo stebel navadnega trsta v suhih, izmenjujoče se suhih/mokrih ter mokrih razmerah. Črke označujejo značilno različne konstante stopnje razgradnje v posameznih razmerah (suhih, izmenjujoče se suhih/mokrih, mokrih) za obdobje med dvema vzorčenjema. NZ – ni značilnih razlik. Podatki so povprečja \pm SD. N=4

	konstanta stopnje razgradnje k				
STEBLO	19.4.	13.7.	29.8.	1.10.	29.11.
suho	0,019 \pm 0,017 ^{ab}	0,031 \pm 0,009 ^{NZ}	0,015 \pm 0,015 ^{NZ}	-0,002 \pm 0,022 ^a	0,046 \pm 0,006 ^b
izm. suho/mokro	0,035 \pm 0,003 ^a	0,017 \pm 0,009 ^{NZ}	0,021 \pm 0,013 ^{NZ}	0,062 \pm 0,012 ^b	-0,001 \pm 0,01 ^a
mokro	0,053 \pm 0,007 ^b	0,005 \pm 0,029 ^{NZ}	0,021 \pm 0,038 ^{NZ}	0,115 \pm 0,032 ^c	0,093 \pm 0,062 ^{ab}

LIST	19.4.	13.7.	29.8.	1.10.
suho	0,071 \pm 0,014 ^{NZ}	0,052 \pm 0,006 ^a	0,076 \pm 0,039 ^{NZ}	-0,009 \pm 0,073 ^b
izm. suho/mokro	0,087 \pm 0,015 ^{NZ}	0,083 \pm 0,011 ^b	0,041 \pm 0,051 ^{NZ}	0,185 \pm 0,048 ^b
mokro	0,0246 \pm 0,115 ^{NZ}	0,385 \pm 0,055 ^c		

TOGI ŠAŠ	19.4.	13.7.	29.8.	1.10.	29.11.
suho	0,051 \pm 0,003	0,042 \pm 0,011	0,024 \pm 0,038	0,069 \pm 0,015	-0,010 \pm 0,032

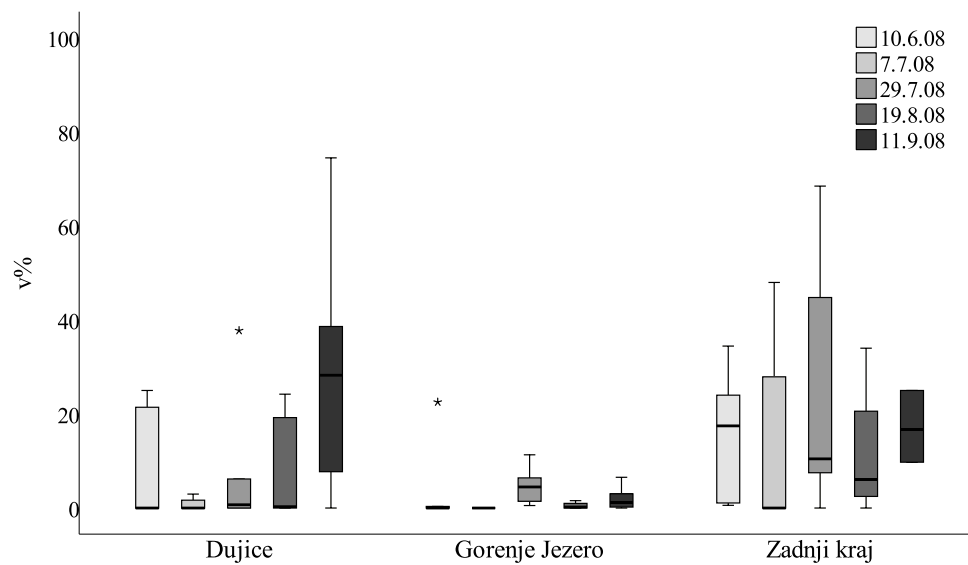
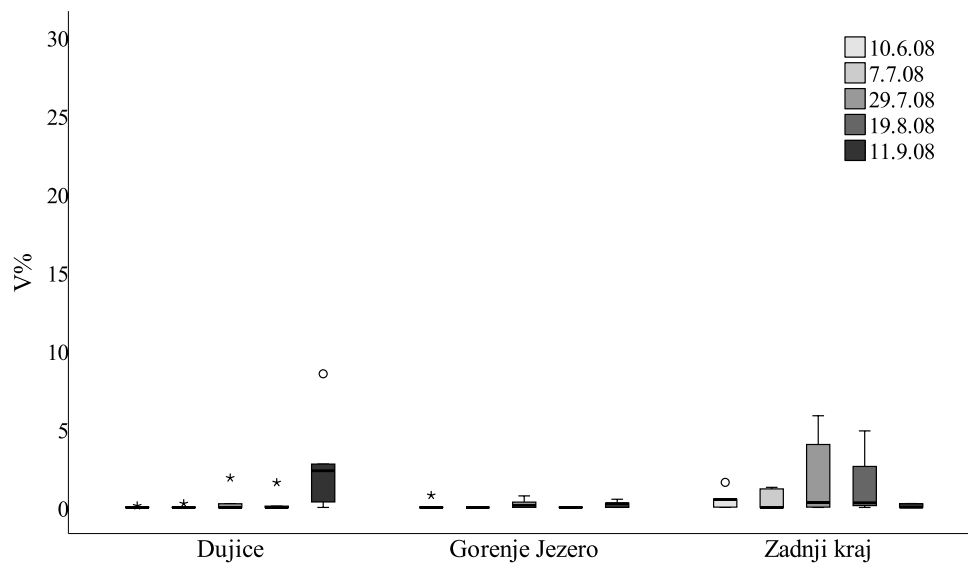
PRILOGA F

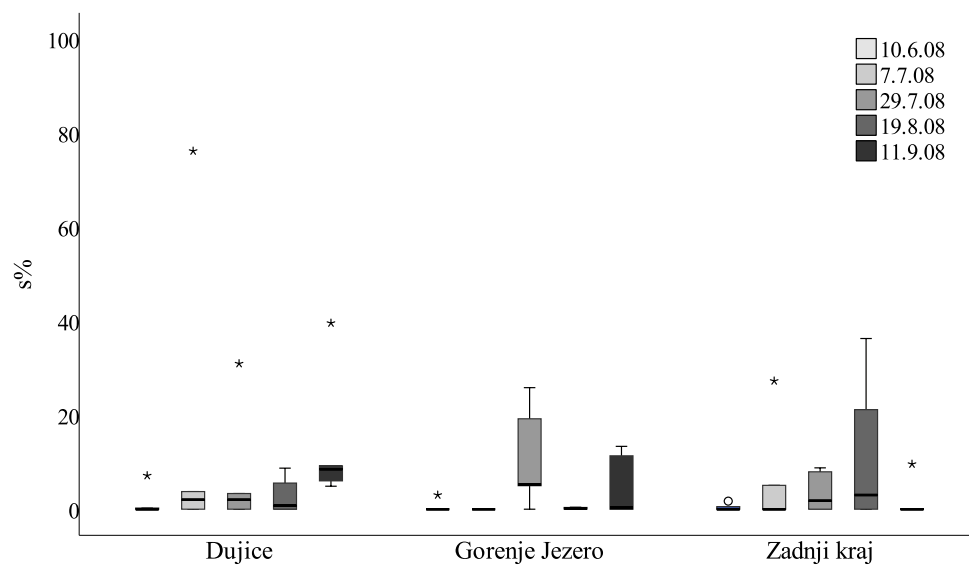
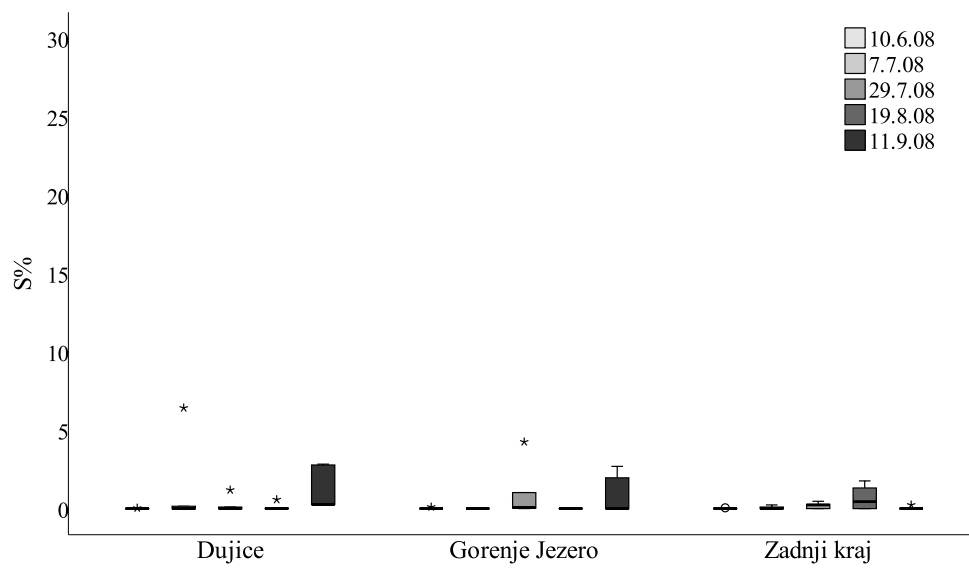
Koncentracije elementov v steblih in listih navadnega trsta in togem šašu po 4 mesecih razgradnje na mikrolokacijah z različnimi razmerami. N=4. Različne črke označujejo statistično značilne razlike. NZ – ni značilno

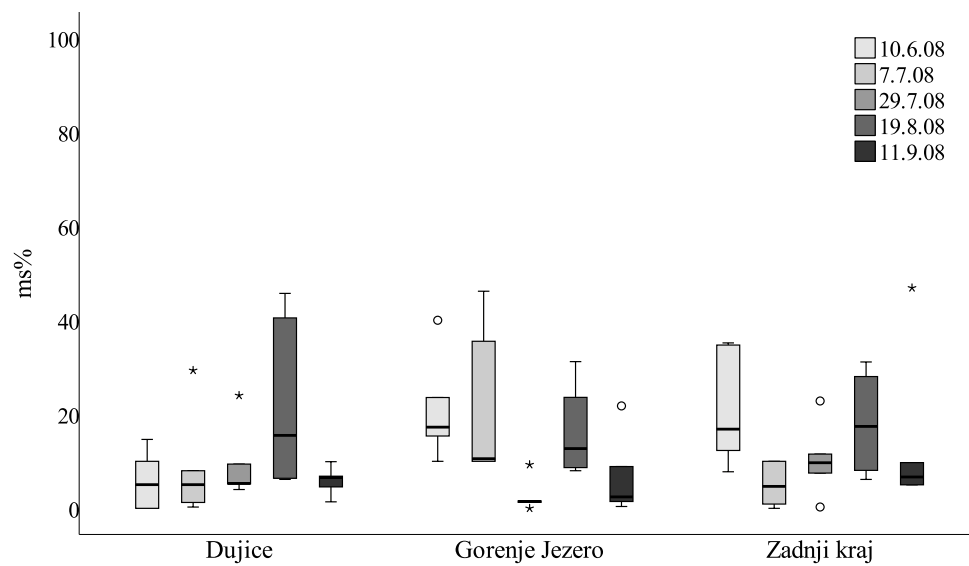
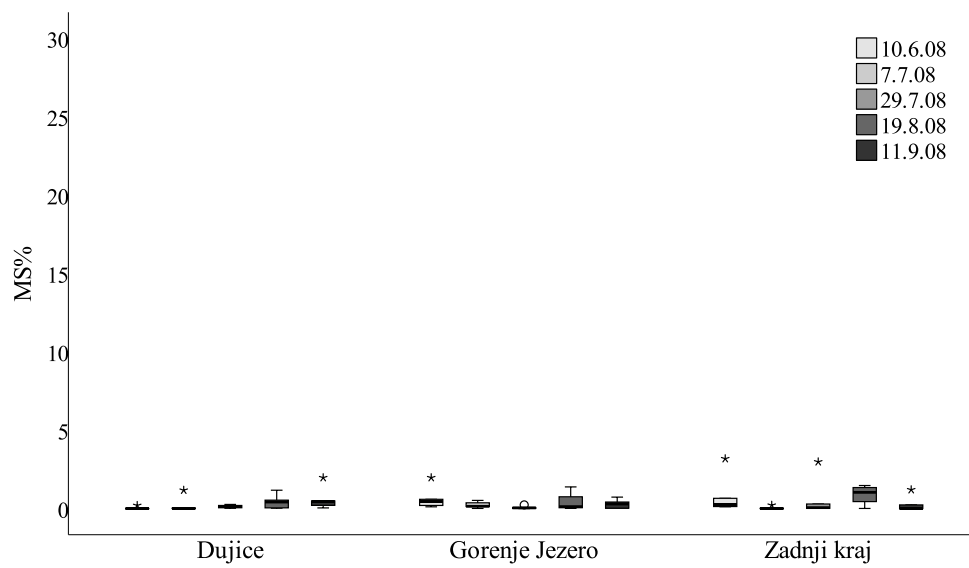
		koncentracije elementov po razgradnji [ppm]							
		K	Ca	Cr	Mn	Fe	Zn	Br	Sr
steblo	suho	193±93 ^{NZ}	1638±273 ^{NZ}	29±5 ^{NZ}	100±21 ^{NZ}	678±112 ^c	14±6 ^{NZ}	11±2 ^a	11± ^{NZ}
	izm. suho/ mokro	/	1490±362 ^{NZ}	31±8 ^{NZ}	114±8 ^{NZ}	228±52 ^a	16±4 ^{NZ}	15±1 ^a	13±0,2 ^{NZ}
	mokro	193±15 ^{NZ}	1913±178 ^{NZ}	86±22 ^{NZ}	721±111 ^{NZ}	416±21 ^b	/	19±4 ^b	15±1 ^{NZ}
list	suho	2633±705 ^{NZ}	10895±1952 ^{NZ}	86±22 ^{NZ}	721±111 ^{NZ}	5120±269 ^b	77±16 ^b	36±2 ^a	/
	izm. suho/ mokro	1998±396 ^{NZ}	9805±597 ^{NZ}	74±23 ^{NZ}	743±57 ^{NZ}	4230±625 ^b	56±9 ^a	49±6 ^a	16±2
	mokro	1708±494 ^{NZ}	10618±2004 ^{NZ}	54±20 ^{NZ}	739±157 ^{NZ}	3047±618 ^a	46±7 ^a	73±15 ^b	/
šaš	suho	3118±280	12550±1201	56±3	311±24	6238±687	35±4	19±6	21±3

PRILOGA G

Sezonsko spremljanje glivne kolonizacije korenin navadnega trsta leta 2008 na vzorčnih mestih Dujice, Gorenje Jezero in Zadnji kraj; gostota veziklov v celem (V %) in koloniziranem delu fragmenta (v %), gostoti svitkov v celem (S %) in koloniziranem delu fragmenta (s %), gostoti mikrosklerocijev v celem (MS %) in koloniziranem delu fragmenta (ms %) N=5. ° prikazuje osamelce, * prikazuje ekstremne osamelce







PRILOGA H

Statistično značilne razlike v rastnih in mikoriznih parametrih med vzorčnimi mesti Dujice, Gorenje Jezero in Zadnji kraj za vse datume. Različne črke označujejo statistično značilne razlike, kjer je $p < 0,05$

	Dujice	Gorenje Jezero	Zadnji kraj
višina	a	b	b
bazalni premer	a	b	b
listna površina	a	ab	b
Suha masa	a	b	b
F %	a	a	b
M %			
m %			
A %			
a %			
V %			
v %	ab	a	b
S %			
s %			
MS %			
ms %			

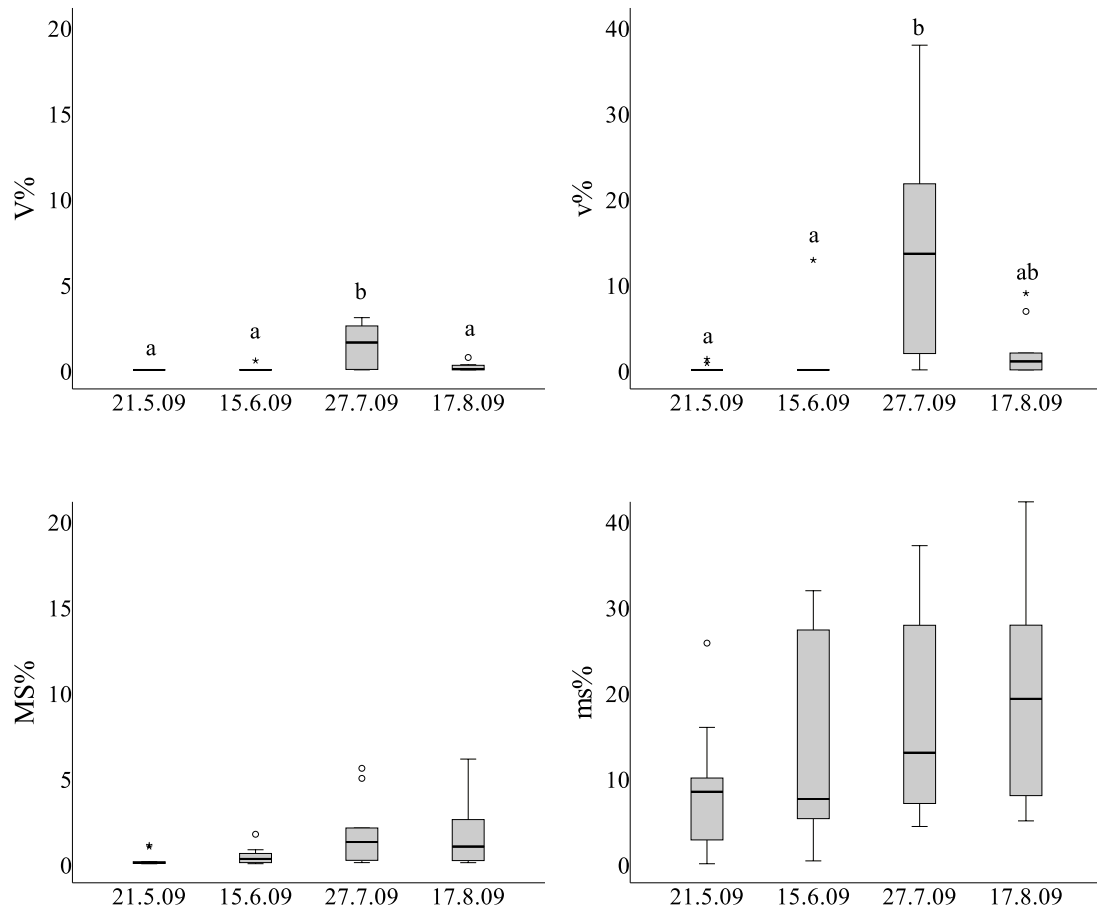
PRILOGA I1

Rastni parametri in posamezni fiziološki parametri preučevanih trstov (N=10, med podatki z različnimi črkami so statistično značilne razlike)

	višina (cm)	baz. premer (mm)	listna površina (cm ²)	suha masa (g)	Fv/Fm	Y	transpiracija
21. 5. 09	135±16 ^a	6±1 ^a	131±45 ^a	7±3 ^a	0,83±0,03	0,46±0,08	201,6±21,8
15. 6. 09	150±13 ^b	7±1 ^{ab}	267±92 ^b	10±2 ^a	0,84±0,02	0,65±0,04	147,8±34,2
27. 7. 09	212±14 ^c	8±1 ^{bc}	568±104 ^d	23±4 ^c	0,81±0,04	0,37±0,11	189,9±37,1
17. 8. 09	217±16 ^c	8±1 ^c	443±74 ^c	19±3 ^b	0,82±0,02	0,45±0,09	331,1±81,0

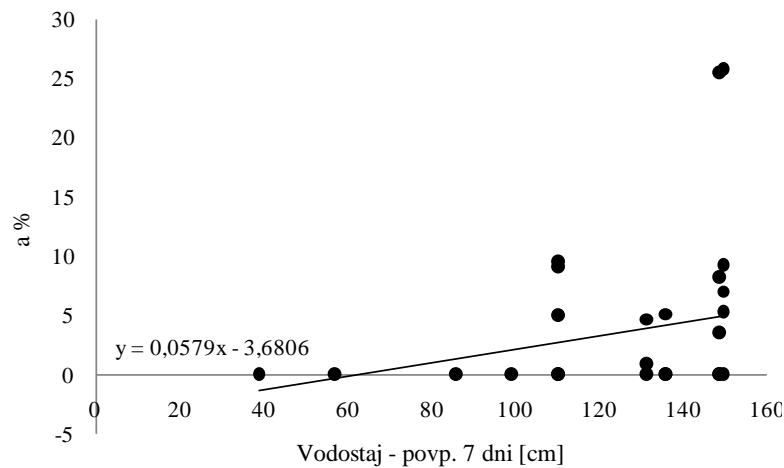
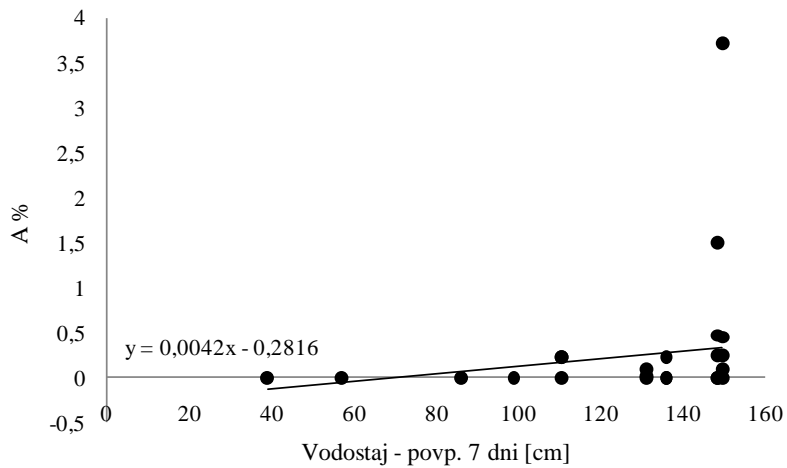
PRILOGA I2

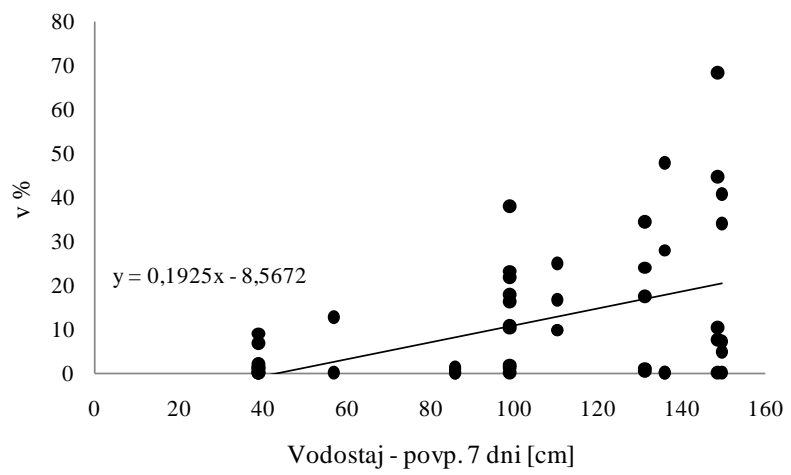
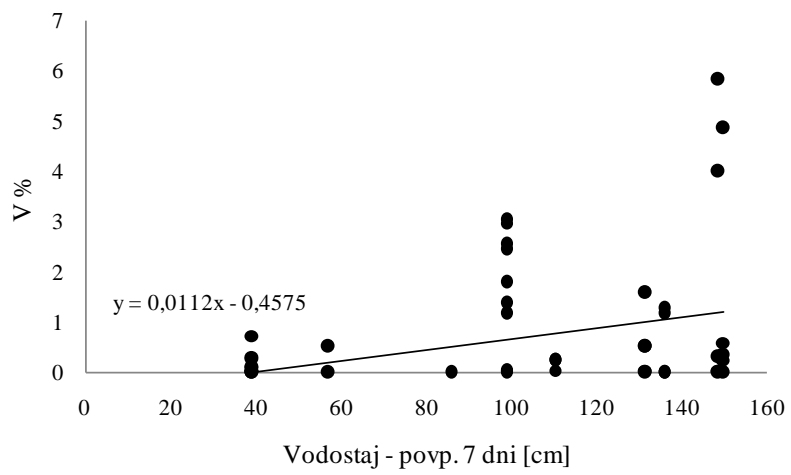
Sezonsko spremljanje glivne kolonizacije korenin navadnega trsta na Zadnjem kraju leta 2009, gostota veziklov v celem (V %) in koloniziranem delu fragmenta (v %) ter mikrosklerocijev v celem (MS %) in koloniziranem delu fragmenta (ms%) (N=10; med datumi z različnimi črkami so statistično značilne razlike), gostote arbuskulov in svitov so bile 0 %. ° prikazuje osamelce, * prikazuje ekstremne osamelce



PRILOGA J

Gostota arbuskulov in veziklov v celem (A %, V %) in koloniziranem delu fragmenta (a %, v %) korenin navadnega trsta v odvisnosti od povprečnega vodostaja 7 dni pred vzorčenjem. Spearmanovi korelacijski koeficienti za te parametre so podani v Preglednici 20. N=65. Dodana je linearna trendna črta z enačbo podano v spodnjem levem kotu





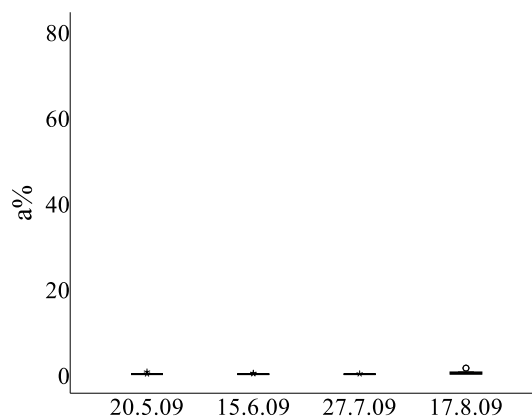
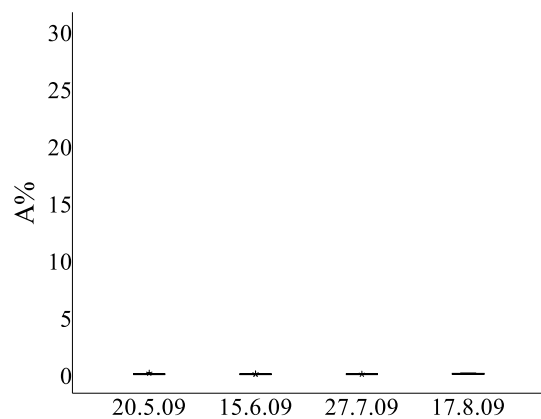
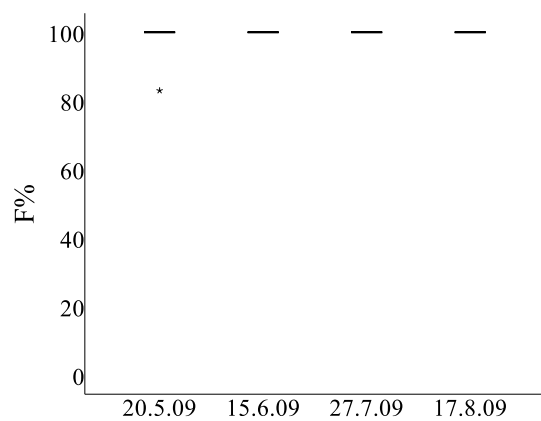
PRILOGA K1

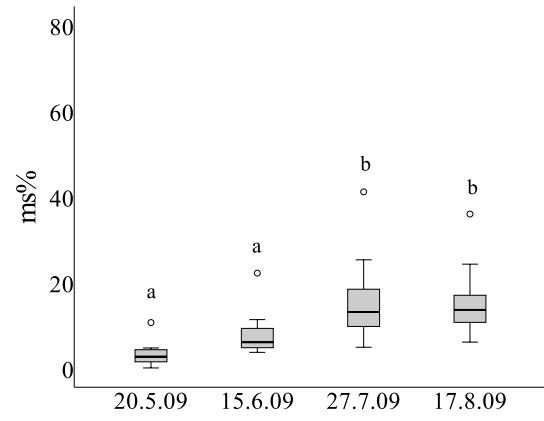
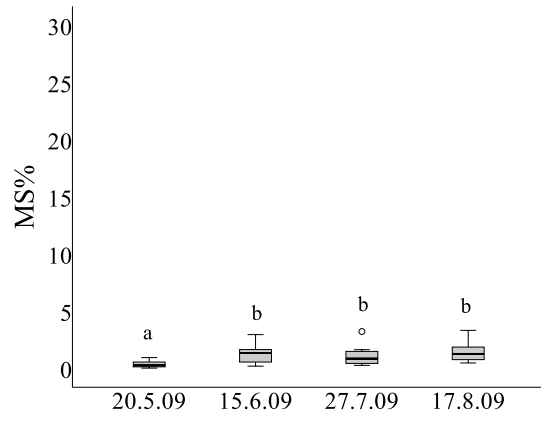
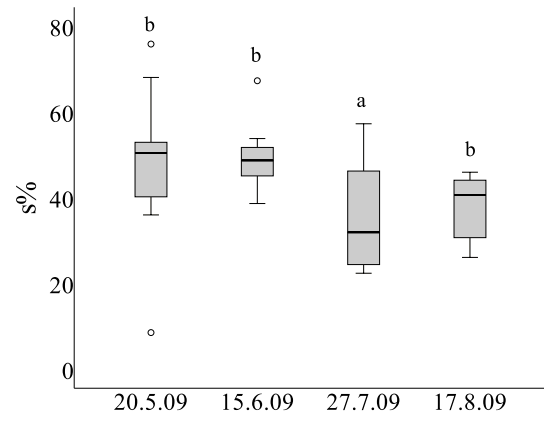
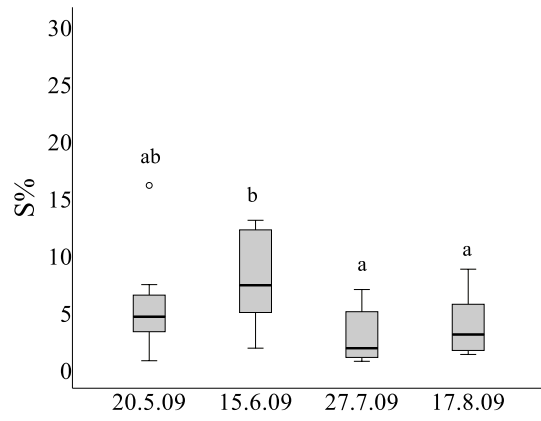
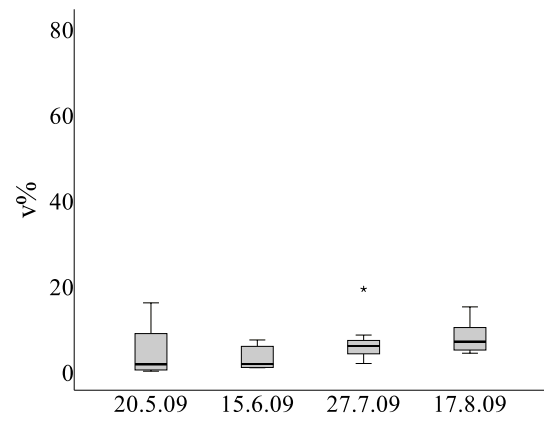
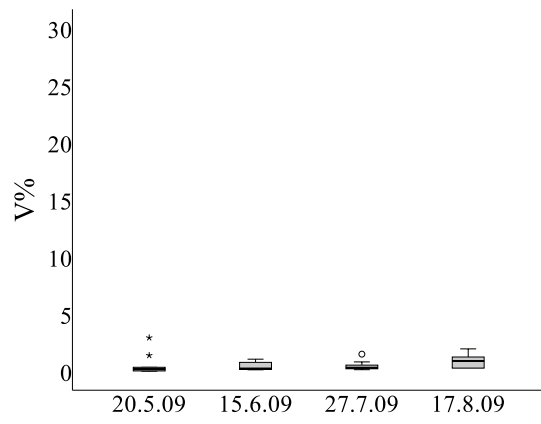
Rastni parametri in posamezni fiziološki parametri preučevanih rastlin trstične pisanke
(N=10, med podatki z različnimi črkami so statistično značilne razlike)

	višina (cm)	baz. premer (mm)	listna površina (cm ²)	suha masa (g)	Fv/Fm	Y	transpiracija
20. 5. 09	51±60 ^a	4±1	85±12 ^b	1,3±0,4 ^a	0,81±0,03	0,56±0,07	191,6±55,9
15. 6. 09	111±14 ^b	4±1	60±13 ^a	1,9±0,4 ^b	0,83±0,02	0,47±0,09	150,5±80,4
27. 7. 09	130±9 ^c	3±1	67±13 ^a	2,5±0,4 ^c	0,79±0,04	0,29±0,08	87,3±43,3
17. 8. 09	139±8 ^c	4±1	57±17 ^a	2,4±0,5 ^c	0,77±0,03	0,26±0,07	123,3±29,5

PRILOGA K2

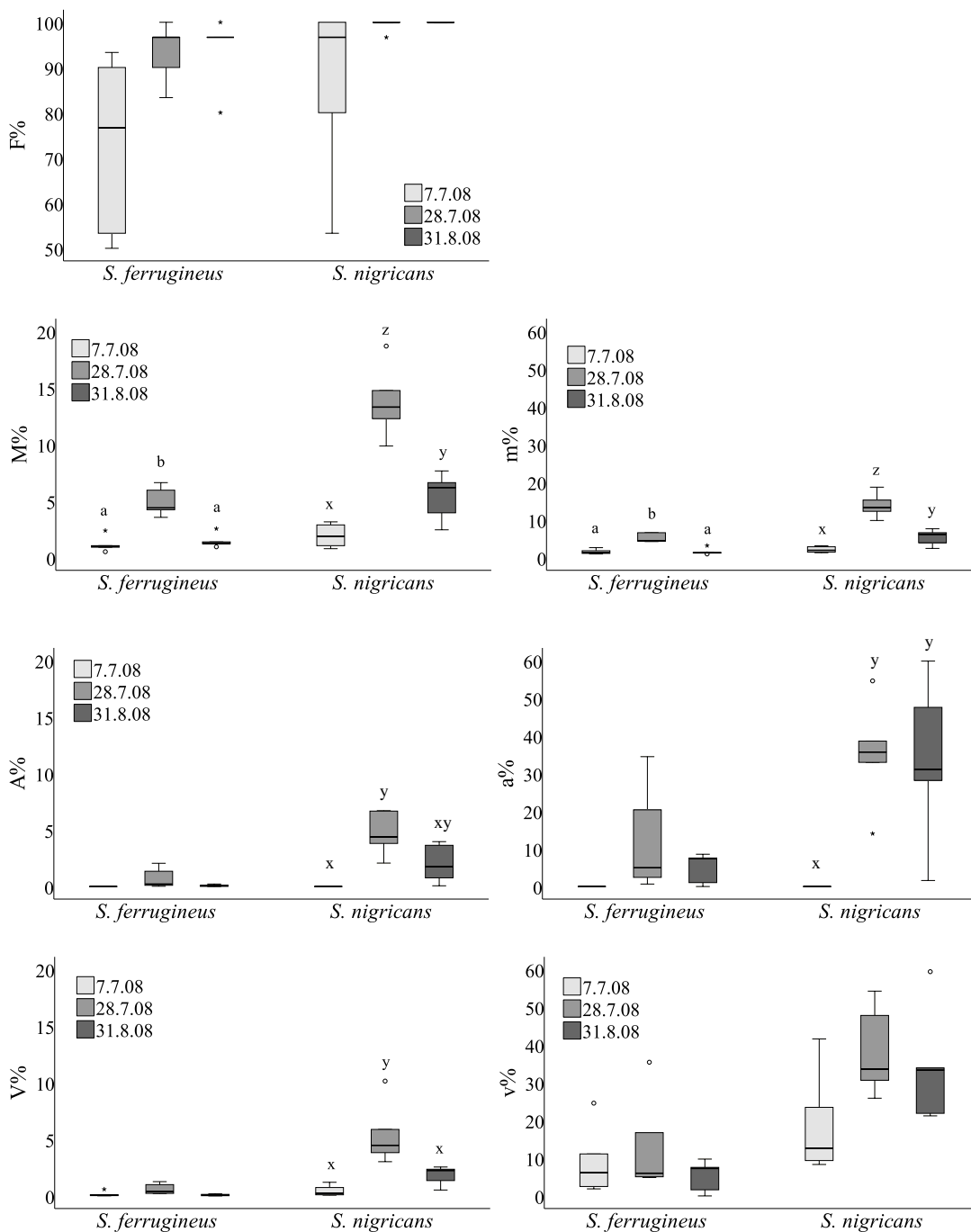
Sezonsko spremljanje glivne kolonizacije trstične pisanke leta 2009. N=10; med datumi z različnimi črkami so statistično značilne razlike. ° prikazuje osamelce, * prikazuje ekstremne osamelce

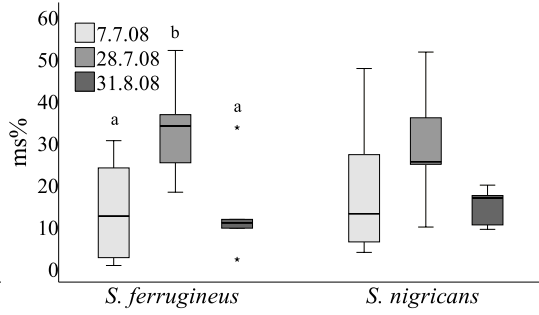
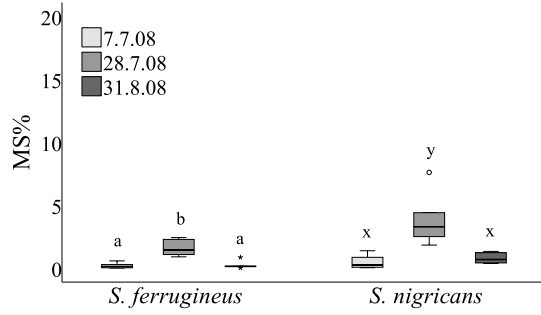
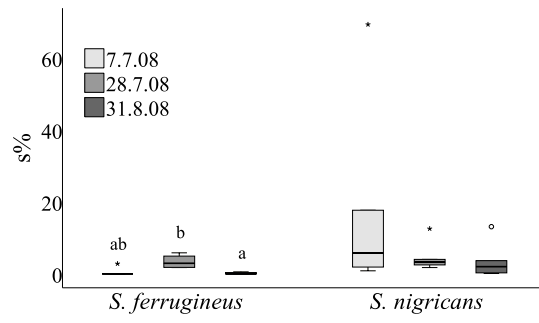
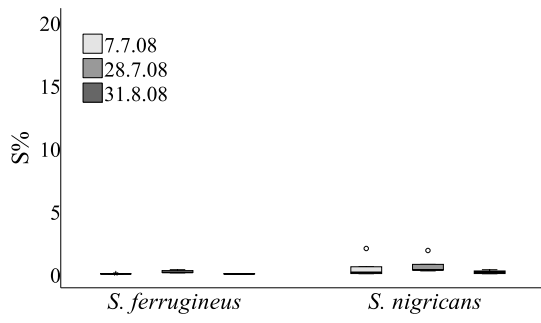




PRILOGA L

Glivna kolonizacija *Schoenus ferrugineus* in *S. nigricans*. N=10; med datumi z različnimi črkami so statistično značilne razlike. ° prikazuje osamelce, * prikazuje ekstremne osamelce





PRILOGA M1

Rastni in fiziološki parametri vrst z območja Cerknškega jezera izbranih za preučevanje
glivne kolonizacije

	višina (cm)	baz. premer (mm)	suha masa (g)	Fv/Fm	Y	transpiracija
<i>Carex elata</i>	/	/	3,3±1,2	0,68±0,07	0,50±0,05	124,8±49,8
<i>Senecio paludosus</i>	158±6	8±2	15,0±4,1	0,84±0,04	0,36±0,17	59,3±22,8
<i>Plantago altissima</i>	60±12	2±0,4	1,7±0,4	0,85±0,02	0,42±0,15	158,9±57,0
<i>Leucjum aestivum</i>	77±16	31±5*	7,8±2,0	0,74±0,06	0,43±0,12	124,9±30,4

*premer čebulice

PRILOGA M2

Glivna kolonizacija rastlinskih vrst izbranih glede na hidrološki gradient. N=10. ° prikazuje osamelce, * prikazuje ekstremne osamelce

