

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Metka PUNGERČAR

**RASTNI ODZIV NAVADNE KOSTREBE (*Echinochloa
crus-galli* (L.) PB.) NA POVEČANO KONCENTRACIJO
CO₂ V TLEH – IZKUŠNJE IZ ZAPLINJEVALNEGA
POSKUSA**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2010

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Metka PUNGERČAR

**RASTNI ODZIV NAVADNE KOSTREBE (*Echinochloa crus-galli* (L.)
PB.) NA POVEČANO KONCENTRACIJO CO₂ V TLEH – IZKUŠNJE
IZ ZAPLINJEVALNEGA POSKUSA**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**GROWTH RESPONSE OF COCKSPUR (*Echinochloa crus-galli* (L.)
PB.) TO THE INCREASED CONCENTRATION OF CO₂ IN THE
SOIL - EXPERIENCE FROM EXPERIMENTAL FUMIGATION**

GRADUATOIN THESIS
University studies

Ljubljana, 2010

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študija kmetijstvo in agronomija. Opravljeno je bilo na Laboratorijskem polju Biotehniške fakultete in na Katedri za aplikativno botaniko, ekologijo in fiziologijo rastlin Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je za mentorja diplomske naloge imenoval prof. dr. Dominika VODNIKA in za somentorico doc. dr. Ireno MAČEK.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Franc BATIČ
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: izr. prof. dr. Dominik VODNIK
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: doc. dr. Irena MAČEK
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: prof. dr. Lučka KAJFEŽ BOGATAJ
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Datum zagovora:

Naloga 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.

Metka Pungerčar

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK 631.433.53:581.14(043.2)
KG	ogljikov dioksid/CO ₂ v tleh/zaplinjevanje tal /povečana koncentracija CO ₂ / navadna kostreba/ <i>Echinochloa crus-galli</i> /fiziologija rastlin
KK	AGRIS F62
AV	PUNGERČAR, Metka
SA	VODNIK, Dominik (mentor), MAČEK, Irena (somentor)
KZ	SI – 1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška Fakulteta, Oddelek za agronomijo
LI	2010
IN	RASTNI ODZIV NAVADNE KOSTREBE (<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) PB.) NA POVEČANO KONCENTRACIJO CO ₂ V TLEH – IZKUŠNJE IZ ZAPLINJEVALNEGA POSKUSA
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	X, 27, [1] str., 2 pregl., 12 sl., 26 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	V nalogi smo izvedli lončni zaplinjevalni poskus s CO ₂ , v katerem smo povečali talno koncentracijo in posledično tudi flukse CO ₂ iz tal. V naslednji fazi smo v poskus vključili navadno kostrebo (<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) PB.), pri kateri smo spremljali rast in razvoj glede na dane plinske razmere. V okviru diplomske naloge smo v času od junija do septembra 2007 spremljali fenološki razvoj ter opravili meritve rasti rastlin, morfometrične meritve in meritve vsebnosti fotosinteznih pigmentov v rastlinah. Tedenske meritve so nam pokazale, da so se rastline na povečanje koncentracije CO ₂ odzvale s slabšo rastjo. Tok CO ₂ iz tal, ki smo ga merili z napravo Li-Cor 6400 (LiCor, ZDA) se je pri kontrolnih vzorcih gibal med 4 in 38,5 μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹ , pri zaplinjevanju pa med 110 in 236 μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹ . Torej v območju vrednosti, ki jih lahko izmerimo na naravnih izvirih CO ₂ (mofetah). Z zaplinjevanjem smo torej na nek način ustvarili umetno mofeto. Vrednosti SPAD oz. vsebnost fotosinteznih pigmentov, ki smo jih opravili z napravo SPAD-502 (Minolta; J) so bile pri povečani [CO ₂] večje kot pri kontroli. Rastline so večji masni delež korenin razvijale bližje površini tal. V raziskavi smo ugotovili, da povečana [CO ₂] negativno vpliva na rast in razvoj rastlin. Pridobljeni rezultati so dopolnitev obstoječega znanja o učinkih CO ₂ na rastline. Zanimivi so tudi zaradi izbranega načina zaplinjevanja (preko tal), kar je povsem nov pristop k raziskavam vpliva CO ₂ na rastline.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn
 DC UDC 631.433.53:581.14(043.2)
 CX carbon dioxide/soil CO₂/soil fumigation/carbon dioxide enrichment/cockspur/
Echinochloa crus-galli/plant physiology
 CC AGRIS F62
 AU PUNGERČAR, Metka
 AA VODNIK, Dominik (supervisor), MAČEK, Irena (co-supervisor)
 PP SI – 1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
 PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy
 PY 2010
 TI GROWTH RESPONSE OF COCKSPUR (*Echinochloa crus-galli* (L.) PB.) TO
 THE INCREASED CONCENTRATION OF CO₂ IN THE SOIL - EXPERIENCE
 FROM EXPERIMENTAL FUMIGATION
 DT Graduation thesis (university studies)
 NO X, 27, [1] p., 2 tab., 12 fig., 26 ref.
 LA sl
 AL sl/en
 AB We performed a pot CO₂ fumigation experiment in which we increased soil CO₂ concentration and consequently also CO₂ efflux from soil. In the next stage of the experiment we included cockspur (*Echinochloa crus-galli* (L.) PB.) seedlings, and monitored their growth and development in the given gas conditions. In the period from June to September 2007 we followed phenology, and performed measurements of growth, morphometry and concentration of photosynthetic pigments. As shown by the weekly measurements, plants reacted to the CO₂ increase by weaker growth. The CO₂ efflux was measured, daily with Li-Cor 6400 (Licor, USA) and varied in controls between 4 and 38.5 μmol CO₂ m⁻²s⁻¹ and, in fumigated samples between 110 and 236 μmol CO₂ m⁻²s⁻¹, thus reaching the range of values that can be also found in natural CO₂ springs (mofettes). Therefore, an artificial mofette was created. SPAD values (concentration of photosynthetic pigments) were higher in CO₂ enriched samples, compared to controls. In addition, a greater mass percentage of the roots was developed near the soil surface in fumigated plants. In this study we found that increased [CO₂] has a negative impact on plant growth and development. The results obtained supplement the existing knowledge on the effects of CO₂ on plants, which are interesting also because of the chosen mode of fumigation (soil fumigation). This is a new approach in research of CO₂ effects on plants.

KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna informacijska dokumentacija	III
Key word documentation	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VII
Kazalo slik	VIII
Okrajšave in simboli	IX
Slovarček	X
1 UVOD	1
1.2 NAMEN NALOGE	1
1.3 DELOVNA HIPOTEZA	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 CO ₂ V ATMOSFERI IN TLEH	3
2.2 CO ₂ V ATMOSFERI IN TLEH NA OBMOČJU MOFET	5
2.3 ZAPLINJEVANJE RASTLIN	8
3 MATERIALI IN METODE DELA	10
3.1 OBMOČJE IZVEDBE POSKUSA	10
3.2 MATERIAL	10
3.2.1 Opis izbrane rastlinske vrste	10
3.3 METODE DELA	10
3.3.1 Zasnova poskusa	10
3.3.2 Meritve	12
3.3.2.1 Meritve toka CO ₂ iz tal	12
3.3.2.2 Meritve poskusne rastline	12
3.3.2.3 Meritve vrednosti SPAD	13
3.3.2.4 Meritev korenin	14
3.3.3 Statistična obdelava podatkov	14
4 REZULTATI	15
4.1 TOK CO ₂ IZ TAL	15
4.2 RASTNI ODZIV NAVADNE KOSTREBE NA POVEČANO KONCENTRACIJO CO ₂ V TLEH	16
4.3 MERITEV KLOROFILA	17
4.4 KORENINE	18
5 RAZPRAVA IN SKLEPI	21
5.1 RAZPRAVA	21

5.1.1	Povečana koncentracija CO₂ v tleh	21
5.1.2	Odziv navadne kostrebe na talno zaplinjevanje s CO₂	22
5.2	SKLEPI	24
6	POVZETEK	25
7	VIRI	26
	ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Analitski podatki prinešenih vzorcev (pH, organska snov, teksturni razred...)	11
Preglednica 2: Vsebnost klorofila v listih izbranih rastlinskih vrst, rastočih na mofetah (Strmec, Slovenija) v območju nizke, srednje in visoke [CO ₂] (Pfanž in sod., 2004)	23

KAZALO SLIK

Slika 1:	Pet glavnih virov CO ₂ iz tal, glede na hitrost sproščanja v atmosfero in na zadrževalni čas ogljika v tleh (Kuzyakov, 2006: 427, cit. po Ogorevc, 2008: 9)	4
Slika 2:	Prikaz sezonskega toka talnega CO ₂ na mofeti Stavešinci. Podatki so predstavljeni za leto 2005 (modra) in leto 2006 (vijolična) na območjih, ki so različno obogatena z geogenim CO ₂ (majhna, srednja in velika) (Vodnik in sod., 2009)	6
Slika 3:	Osnovni oris zaplinjevalnega poskusa	11
Slika 4:	Meritev hitrosti toka talnega CO ₂ skozi ovratnik (Foto: Dominik Vodnik)	12
Slika 5:	Prikaz rasti iz dne 8. 8. 2007 (Foto: Dominik Vodnik)	13
Slika 6:	Klorofilmeter (SPAD Minolta)(Fotosintezni pigmenti, 2005)	13
Slika 7:	Tok CO ₂ iz tal v različnih obdobjih leta	15
Slika 8:	Prikaz višine rastlin navadne kostrebe (<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) PB.) v različnih terminih meritev	16
Slika 9:	Prikaz vsebnosti klorofila (SPAD vrednosti) v listih navadne kostrebe (<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) PB.) v različnih terminih meritev	17
Slika 10:	Skupna masa korenin navadne kostrebe (<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) PB.) na posamičen lonec. Prikazana so povprečja ± standardna napaka N=4	18
Slika 11:	Masa korenin navadne kostrebe (<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) PB.). Prikazana so povprečja ± standardna napaka, N=4. Zaradi manjših vrednosti je merilo na sliki 8, od globine 10-15 cm naprej prilagojeno za lažjo razvidnost grafa	19
Slika 12:	Delež korenin navadne kostrebe (<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) PB.) v različni globinah tal. Prikazani so odstotki od skupne koreninske mase	20

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

C₃ rastline	rastline s C ₃ fotosintezno presnovo
C₄ rastline	rastline s C ₄ fotosintezno presnovo
[CO₂]	koncentracija ogljikovega dioksida
FACE-poskusi	free air carbon dioxide enrichment poskusi- zaplinjevalni poskusi s povečano koncentracijo plina CO ₂ v odprtem prostoru
SPAD vrednosti	ocena vsebnosti klorofila

SLOVARČEK

HIPOKSIJA – pomanjkanje kisika

MOFETA – naravni izvir plinskega ogljikovega dioksida

1 UVOD

Ogljikov dioksid, CO₂, je nestrupen plin, ki nastaja pri izgorevanju snovi, katere vsebujejo ogljik, in pri trohnenju. Nastali CO₂ asimilirajo rastline, nekaj ga fizikalno in biološko vežejo oceani, preostali del pa ostane v ozračju. Atmosferski ogljik sprejemajo rastline med procesom fotosinteze, pri procesu dihanja pa ga rastline in živali vračajo nazaj v atmosfero.

Pri fotosintezi v rastlinah se CO₂ pretvori v enostavne sladkorje, škrob in celulozo. Večina ogljika se seveda spet sprosti, ko rastlina propade, nekaj pa ga ostane ujetega v obliki mineraliziranih organskih snovi in humusa (Ravnik, 1997).

Molekula CO₂ podobno kot vodna molekula absorbira infrardeče žarke, vidno svetlobo pa prepušča. Zaradi tega veliko toplotnih žarkov, ki jih oddaja Zemlja, atmosfera zadrži in ponovno vrne proti površju. Naraščanje vsebnosti CO₂ v ozračju zato povzroča naraščanje temperature zemeljske površine ali tako imenovan povečan učinek tople grede. Splošno znano je, da se koncentracija okoljskega oz. atmosferskega CO₂ v svetovnem merilu nenehno povečuje. Na začetku 19. stoletja je koncentracija atmosferskega CO₂ znašala približno 280 ppm. Danes ta vrednost znaša 386,3 ppm (CDIAC ..., 2010). Po nekaterih ocenah pa naj bi koncentracija atmosferskega CO₂ do leta 2075 znašala že približno 700 ppm (Godbold in sod., 2006). Največja krivca za to sta industrija oz. promet, ki z rabo fosilnih goriv sproščata velike količine CO₂ v atmosfero. Velik del pri povečevanju koncentracije CO₂ v zraku ima pa tudi kmetijstvo, kjer zaradi spremenjene rabe tal prihaja do sproščanja velikih količin CO₂ zaradi hitrejše mineralizacije humusa.

V povezavi s kroženjem ogljika in s problemom globalnih okoljskih sprememb potekajo v svetu intenzivna proučevanja dinamike kroženja ogljika v različnih ekosistemih. V večini biotopov pomemben člen ogljikovega cikla predstavlja tok tega plina iz tal v atmosfero, pri čemer je glavni vir CO₂ avtotrofno in heterotrofno dihanje tal. Dinamika toka CO₂ iz tal je pomembna za neto izmenjavo ogljika med ekosistemom in atmosfero, določajo pa jo biotski in abiotski dejavniki okolja (cit. po Marinič, 2009: 1).

1.2 NAMEN NALOGE

Vplive povečanih [CO₂] na rastline, druge organizme in ekosistem na splošno lahko proučujemo v zaplinjevalnih poskusih. Veliko pa se lahko o odzivu na povečane [CO₂] naučimo z raziskavami na rastiščih, kjer so rastline izpostavljene naravno povečani koncentraciji CO₂ (Pfanz in sod., 2004). To so tako imenovani naravni izviri CO₂ ali mofete.

Namen naše diplomske naloge je bil simulirati mofeto (naravni izvir CO₂) z zaplinjevanjem preko tal. Preveriti smo želeli rastni odziv izbrane rastline navadne kostrebe (*Echinochloa crus-galli* (L.) PB.) na vzpostavljen plinski režim.

1.3 DELOVNA HIPOTEZA

V okviru naloge smo predvidevali da:

- bomo z dovajanjem primerne količine čistega CO₂ v spodnje horizonte tal (0,5 m) lahko vzpostavili v tleh podobno [CO₂] kot jo lahko najdemo na srednje do močno izpostavljenih delih mofet,
- bomo lahko potek zaplinjevanja uspešno spremljali z meritvami toka CO₂ iz tal,
- se bodo poskusne rastline na močno povečano [CO₂] odzvale s slabšo rastjo,
- se bo v primeru zaplinjevanih rastlin spremenila razporeditev korenin v talnem profilu. Pričakujemo, da bodo rastline večji masni delež korenin razvijale bližje površini tal.

2 PREGLED OBJAV

2.1 CO₂ V ATMOSFERI IN TLEH

Tok CO₂ iz tal je pomemben dejavnik pri kroženju ogljika in eden glavnih pokazateljev izmenjave tega plina med tlemi in atmosfero. Odvisen je od nastajanja CO₂ v tleh in njegovega sproščanja v atmosfero (Vodnik in sod., 2009). Dejavniki, ki vplivajo na difuzijo talnega CO₂, so fizikalne in kemične lastnosti tal, vsebnost vode v tleh, temperatura tal ter veter na površini tal (Hillel, 1998; Jassal in sod., 2005). Največkrat je tok v pozitivni povezavi z vsebnostjo vode v tleh, temperaturo tal, vsebnostjo organske snovi v tleh, količino hranil v tleh, mikrobno aktivnostjo in s prisotnostjo rastlin (Xu in Qi, 2001; Kuzyakov, 2006).

V večini tal je dihanje glavni vir CO₂, zato lahko pogosto opazimo povezavo med tokom CO₂ in dejavniki, ki spodbujajo biološki nastanek CO₂ v tleh (Vodnik in sod., 2009).

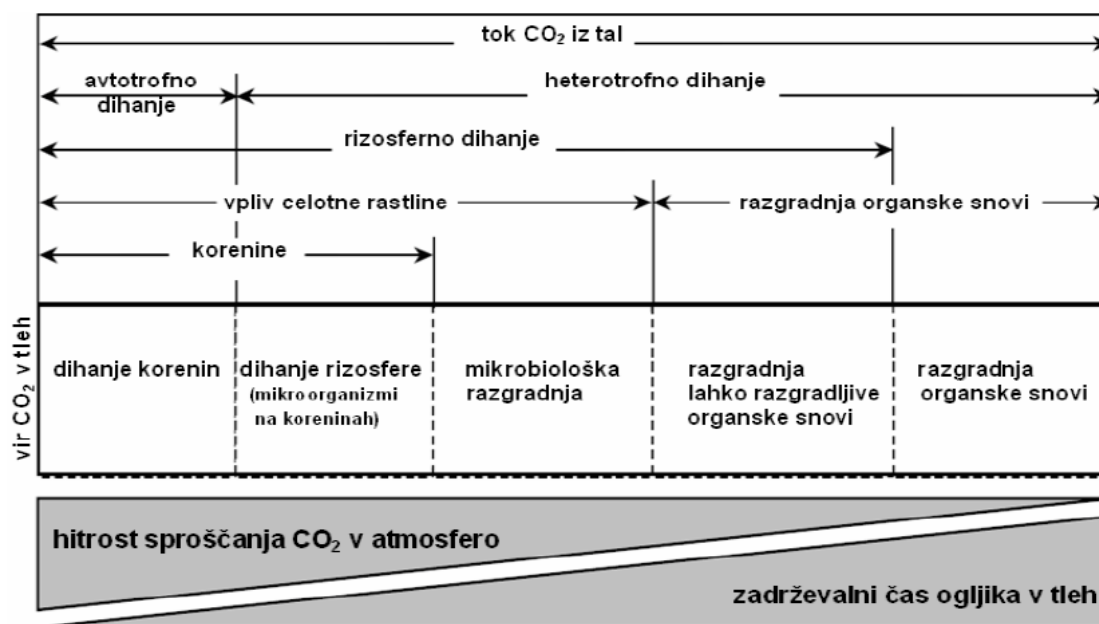
Kuzyakov (2006), navaja pet glavnih virov CO₂ iz tal, glede na hitrost sproščanja v atmosfero in na zadrževalni čas ogljika v tleh.

Ti so naslednji:

1. mikrobiološka razgradnja organske snovi v tleh, pogosto imenovana tudi bazalno dihanje,
2. mikrobiološka razgradnja lahko razgradljive organske snovi,
3. mikrobiološka razgradnja mrtvih rastlin,
4. aktivnost (dihanje) rizosfere, dela tal, ki je v vplivnem območju korenin,
5. dihanje avtotrofov (npr. dihanje korenin rastlin).

V prvih štirih primerih so vir CO₂ talni mikroorganizmi, zato to označimo kot dihanje mikrobov oziroma dihanje heterotrofov (bakterije, glive, aktinomicete, protozoa in makrofavna). Zadnji vir CO₂ predstavlja dihanje avtotrofnih organizmov (korenine rastlin, alge, kemolitotrofi, fotolitotrofi) (Kuzyakov, 2006) (Slika 1).

Dihanje tal (avtotrofno in heterotrofno) je močno odvisno od temperature, razpoložljivosti vlage, mikrobne in rastlinske aktivnosti ter vsebnosti organskega ogljika v tleh glede na njegovo stopnjo razgradljivosti (Vodnik in sod., 2009).



Slika 1: Pet glavnih virov CO₂ iz tal, glede na hitrost sproščanja v atmosfero in na zadrževalni čas ogljika v tleh (Kuzjakov, 2006: 427, cit. po Ogorevc, 2008: 9)

Difuznost talnega CO₂ narašča s temperaturo, saj je takrat dihanje večje in s tem posledično večji tudi tok CO₂ iz tal. Narašča tudi s povečevanjem deleža zračnih por v tleh, kar pa je odvisno od gostote tal in vsebnosti vode v tleh (Hillel, 1998; Jassal in sod., 2005). Na difuznost pa ne vpliva globina tal (Jassal in sod., 2005). V razmerah, ki omogočajo lažjo difuzijo CO₂ v tleh, je tudi tok CO₂ iz tal povečan (Stoyan in sod., 2000; Xu in Qi, 2001). Tok CO₂ iz tal se pogosto spreminja s časom, zato govorimo o sezonskem in tudi dnevnem nihanju toka (Xu in Qi, 2001).

Kot primer vrednosti, ki jih v povprečju dosega tok CO₂ iz tal, lahko navedemo pregledno študijo Bahna in sod. (2008), ki so povzeli rezultate raziskav dihanja tal na 20 evropskih travniških. Od tega je bilo deset travnikov, osem pašnikov in dve travišči, kjer nista uporabljeni ne košnja ne paša. Vrednosti so od 1,9 do 15,9 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, dihanje tal pri 10°C je bilo od 0,3 do 5,5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, ocena za letni tok CO₂ travniških tal pa je bila od 58 do 1988 g C m⁻² leto⁻¹ oz. v povprečju 1108 g C m⁻² leto⁻¹. Največje vrednosti so bile ugotovljene na območju Alp, najmanjše pa visoko na severu.

Talna [CO₂] se navadno giblje v intervalu od 0.1 do 1.5 % (v/v), mnogo večje koncentracije in tokove CO₂ iz tal pa lahko pričakujemo na območjih z geogenimi viri ogljikovega dioksida npr. na mofetah. Kot navajajo Pfanž in sod. (2004), so te koncentracije lahko tudi 100 % CO₂ (u/v).

2.2 CO₂ V ATMOSFERI IN TLEH NA OBMOČJU MOFET

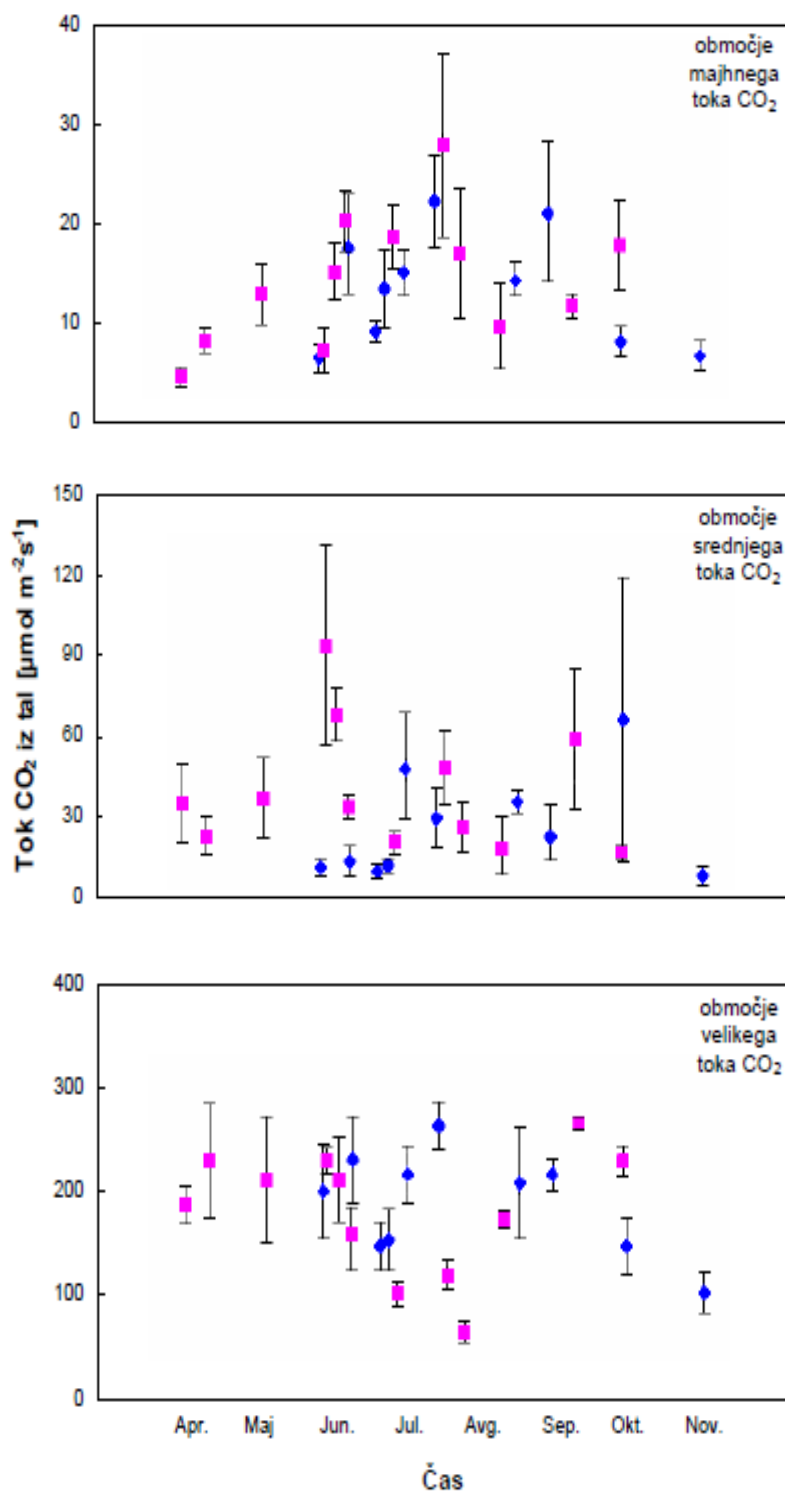
Naravni izviri, ki jih imenujemo tudi mofete, nastajajo na mestih, kjer so bila v preteklosti ali sedanjosti vulkansko aktivna. Za nastajanje CO₂ so potrebne karbonatne kamnine, ki se v zemeljski notranjosti pri visoki temperaturi in pod visokim tlakom talijo. Tako nastali CO₂ lahko ostane ujet v podzemnih bazenih, lahko pa preko večjih ali manjših lukenj, razpok prihaja na površje (Pfanž in sod., 2004).

Mofete in mokri izviri CO₂ so zelo razširjeni, najdemo jih domala po vsem svetu. Pojavljajo se v vzhodni Nemčiji, na Islandiji, v severovzhodni Sloveniji, na vzhodnem Češkem, Madžarskem, v Romuniji, Španiji, Grčiji, na Portugalskem, v Avstriji, v centralni Franciji ter v centralni in severni Italiji (Pfanž in sod., 2004).

O povezavi med koncentracijo CO₂ v tleh in njegovim tokom iz tal poročajo Vodnik in sod. (2009). Raziskave, ki so bile opravljene v ožjem območju naravnega izvira CO₂ v Stavešincih (SV Slovenija), so potekale skozi dve rastni sezoni (2005, 2006) in so temeljile na podlagi meritev fluksov, [CO₂] v tleh (globina 20 cm), vlage ter vode v tleh. Ugotovljena je bila velika korelacija med [CO₂] v tleh in fluksi.

Območja različnih obogatitev CO₂ so označili kot nizka, srednja in visoka stopnja CO₂. Na območjih visoke stopnje CO₂ je CO₂ izrinil kisik iz tal in ustvarile so se hipoksične razmere. Povprečni dnevni tok CO₂ je v območju majhne obogatitve variiral med 4,6 in 27,9 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, na območju srednje obogatitve so bile te vrednosti med 6,1 in 92,4 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, na območju velike obogatitve CO₂ pa med 68 in 268,2 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (glej sliko 2). Na območju velike [CO₂] je bila rast rastlin zavrta, vlaga v zgornjih plasteh zemlje je ostala večja kot na mestih normalne [CO₂], kjer so bile rastline višje, večja pa je bila tudi transpiracija vode.

Za območje z majhno [CO₂] je bilo moč s pomočjo temperature tal pojasniti več kot 60% variabilnosti toka CO₂. Ta povezava je podobna rezultatu drugih raziskav na območjih brez geogenih virov CO₂. Po drugi strani na ožjem območju mofete (srednje in velike [CO₂]) temperatura ni imela bistvenega vpliva na tok CO₂.



Slika 2: Prikaz sezonskega toka talnega CO₂ na mofeti Stavešinci. Podatki so predstavljeni za leto 2005 (modra) in leto 2006 (vijolična) na območjih, ki so različno obogatena z geogenim CO₂ (majhna, srednja in velika) (Vodnik in sod., 2009)

Povečana talna in atmosferska [CO₂] na območju mofet vpliva na rast in razvoj rastlin. V več raziskavah ob naravnih izviroh, ki ponujajo vpogled v dolgoročne učinke CO₂ na rastline in njihovo potencialno prilagoditev (npr. na spremenjeno vsebnost hranil v listih skozi daljšo dobo) (Tuba in sod., 2003), je bilo ugotovljeno, da močno povečana [CO₂] zavira rast in vpliva na fenološki razvoj rastlin. Rastline, ki so rastle ob vrelih, so bile manjše, pozneje so cvetele ali sploh ne, njihova rastna doba se je skrajšala in staranje listov je bilo hitrejše.

Talni CO₂ in O₂ sta v obratnem sorazmerju, kar pomeni, da je v tleh pri mofetah manj kisika. Ta primanjkljaj vodi v zmanjšanje razpoložljivosti mineralnih hranil zaradi zakasnjene mineralizacije in redoks reakcij, ki potekajo v tleh. Poleg tega pa ima lahko škodljiv vpliv na rast korenin in na njihovo presnovo (Maček in sod., 2005). Nekatere vrste se na povečanje talne [CO₂] odzivajo z razvojem korenin ob površini oz. v zgornjih plasteh tal. S spremenjeno zgradbo korenin oz. z manj učinkovito zgradbo za privzem hranil zaradi spremenjenih anatomskih značilnosti je prikrajšana celotna rastlina. To se med drugim lahko kaže v manjši koncentraciji elementov, kot so fosfor, kalij in žveplo v listih rastlin (Maček, 2004).

Neposredna bližina izvirov je redko porasla z vegetacijo, oz. te sploh ni. Rast rastlin je pod vplivom zračnega in verjetno bolj pomembnega talnega CO₂ v koreninski plasti močno inhibirana. Z oddaljenostjo od vrecev se inhibitorni učinek CO₂ zmanjšuje in višina rastlin se večja. V predhodnih raziskavah je bilo pokazano, da je rast negativno pogojena s [CO₂] v tleh (Pfanž in sod., 2004, Vodnik in sod., 2006). Meritve talne koncentracije plinov se zato lahko uporabljajo za določitev plinskega režima in izpostavitve posameznih rastlin na območju mofete.

Poleg učinkov CO₂ na procese v tleh je, vsaj za najbolj izpostavljene dele rastišča oz. obdobja, ko se zaradi mirnega ozračja vzpostavijo tudi v atmosferi velike koncentracije tega plina, moč pričakovati tudi neposreden učinek CO₂ na procese v nadzemnih delih (fotosinteza in transpiracija) (Pfanž in sod., 2004).

2.3 ZAPLINJEVANJE RASTLIN

Dinamika povečevanja koncentracije atmosferskega CO₂ bo v prihodnosti odvisna tudi od vnosa in zadrževanja ogljika v rastlinski biomasi in v organski snovi tal (Pfanzen in sod., 2004). V ta namen so bili izvedeni in se še izvajajo mnogi poskusi, kjer na rastiščih z raznovrstno vegetacijo izpostavljeno navadnim okoljskim koncentracijam atmosferskega CO₂ in povečanim koncentracijam atmosferskega CO₂ preučujejo vključevanje ogljika v biomaso in talno organsko snov. V teh poskusih se okolje s povečano koncentracijo atmosferskega CO₂ vzpostavlja z zaplinjevalnim sistemom FACE (Free Air Carbon Dioxide Enrichment). FACE sistem deluje tako, da preko velikega števila cevčic v atmosfero vbrizgava čisti CO₂ v količinah, ki v končni fazi pomenijo na preučevani površini željeno koncentracijo. Ta sistem je zelo uporaben, saj omogoča večletno spremljanje učinkov CO₂ in tudi oceno kopičenja ogljika v tleh (Godbold in sod., 2006).

Do sedaj so z uporabo FACE metode na vpliv povečanega CO₂ dokazali manjše povečanje pridelka kulturnih rastlin (5-7% riž in 8% pšenica). Na podlagi prejšnjih raziskav v laboratoriju je bil odziv manjši od pričakovanega. Nekateri so celo domnevali, da bi proizvodnjo hrane glede na zmanjšanje donosa kot posledico podnebnih sprememb lahko izravnali s povečanim izkoristkom zaradi povečane [CO₂] (Ainsworth in Long, 2005).

Kot zanimivost pogledimo dognanje enega izmed FACE poskusov, to je vrsta zaplinjevalnega sistema, kjer v komorah z dovajanjem CO₂ simulirajo območje mofete (Pfanzen in sod., 2004).

Pri dolgotrajnih študijah, izvedenih na travnišču trpežne ljuljke, opremljenih z zaplinjevalnimi sistemi FACE, je bila opažena izrazita stimulacija listne fotosinteze zaradi povečanega CO₂. Stimulacija je bila največja v času košnje, v najtoplejšem delu leta in ob dobri oskrbi z dušikom. Opažena učinka pri gojenju rastlin na povečani [CO₂] sta povečana koncentracija nestrukturiranih ogljikovih hidratov v listih in povečano C:N razmerje v tleh. Še pomembnejši odziv na povečan CO₂ pa predstavlja vedno večje vnašanje C v tla preko koreninskih izločkov in odmiranja korenin, kar vodi do povečanja mikrobne biomase. Tudi v sušnem delu leta se lahko mikrobna biomasa v tleh poveča zaradi vlažnosti, ki je posledica manjših izgub vode zaradi povečanega CO₂. Kot posledica povečane mikrobne aktivnosti se lahko v tleh zmanjša dostopnost N zaradi hitre mikrobne reciklaže N. V ugovor tej razlagi obstaja kar nekaj dokazov, ki dokazujejo zmanjšanje mikrobnega razkroja na travnikih, ki so bili izpostavljeni povečani [CO₂]. Povečan CO₂ naj bi, zaradi povečane rasti rastlin, zmanjšal količino dostopnega N za mikrobno delovanje in omogočal večje kopičenje C v tleh. Rezultati različnih eksperimentov, izvajanih na travniščih, kažejo, da se izločanje C v takih razmerah poveča. Na rastišču trpežne ljuljke, ki je bilo redno košeno, so določili in izračunali vrednost izločenega C v tla. V času dveh let, kolikor naj bi trajal poskus, se je v tla, ki so bila izpostavljena normalnim [CO₂] izločilo 458 g m⁻² C in 779 g m⁻² tam, kjer je bila povečana [CO₂]. Raziskave so pokazale, da se je velik del tega

dodatnega C uskladiščil v podzemno koreninsko biomaso (Jones in Donnely, 2004, cit. po Plestenjak, 2006:14).

Neposredno povečan atmosferski CO₂ vpliva na nadzemne dele rastline, preko njih pa tudi na korenine in mikorizne glive. Na rastlinah lahko povzroča fiziološke spremembe, kot so transpiracija, izboljšana učinkovitost izrabe vode, povečana fotosinteza in izboljšana izraba mineralnih hranil (Drake in sod., 1997, cit. po Maček, 2004; Muray in sod., 1997, cit. po Maček, 2004).

Raziskave učinkov CO₂ na rastline potekajo po vsem svetu. Gre za zaplinjevalne poskuse, v katerih se preučuje predvsem odgovor rastlin na podvojeno sedanjo atmosfersko [CO₂]. V našem poskusu pa smo spremljali rast navadne kostrebe (*Echinochloa crus-galli* (L.) PB.) pri umetno povečani [CO₂] v tleh. V kolikor nam je znano takšnih poskusov, kjer bi zaplinjevali tla, do sedaj še ni bilo.

3 MATERIALI IN METODE DELA

3.1 OBMOČJE IZVEDBE POSKUSA

Zaplinjevalni poskus smo izvedli leta 2007 na laboratorijskem polju BF.

3.2 MATERIAL

Pri izvedbi poskusa smo uporabili 4 lonce prostornine 500 litrov, premera 93/81 cm in višine 82 cm (500 l, 2r = 93/81 cm, h = 82 cm), plastične cevi (9/3 in 6/3 mm) ter plinsko jeklenko s CO₂. Za vzorčno rastlinsko vrsto smo izbrali navadno kostrebo (*Echinochloa crus-galli* (L.) PB.).

3.2.1 Opis izbrane rastlinske vrste

Echinochloa crus-galli spada v družino ozkolistnih plevelov. Je šopasto razrasla enoletna rastlina, ki zraste v povprečju do 150 cm v višino. Steblo je pogosto poleglo in se ukoreninja, golo in gladko, listna kožica popolnoma reducirana, listne ploskve ploske, široke do 20 mm, gole in raskave. Socvetje podaljšano prstasto, vejice poševno štrleče, trirobo, dolgo ščetinastodlakave in raskave, klaski dolgi 3-3,5 mm, enostransko nameščeni na približno 1 mm dolgih pecljih. Gornja ogrinjalna pleva je razločno izbočena, tako dolga kot klasek, pokrita bodičkami in ščetinastimi dlakami, krovna pleva jalovega antecija je po strukturi enaka, z 0,3-3 cm dolgo reso, redko brez nje. Razmnožuje se s semeni (zelo močno semeni). Je termofilna rastlina, prija pa ji tudi vlaga. Spada med C₄ rastline, najbolj pogosto pa jo najdemo kot plevel med koruzo (Martinčič in sod., 1999).

Za navadno kostrebo smo se odločili z razlogom manjšega tveganja pri izvedbi poskusa, saj je to rastlina, ki se neverjetno dobro prilagodi vsakršnim razmeram in ima veliko sposobnost regeneracije. Glavni razlog pa je bil, da raste v ožjem območju naravnega izvira CO₂ v Stavešincih (SV Slovenija) in da so na njej že bile opravljene nekatere raziskave o odzivu na velike [CO₂] (Vodnik in sod., 2002, Maček in sod., 2005).

3.3 METODE DELA

3.3.1 Zasnova poskusa

Poskus smo zasnovali na laboratorijskem polju BF, kjer smo na manjši površini vkopali lonce, vanje položili sloj drenaže peska oz. gramoza, uredili cevi za dovajanje CO₂ (glej sliko 2) in jih zasuli z zemljo.

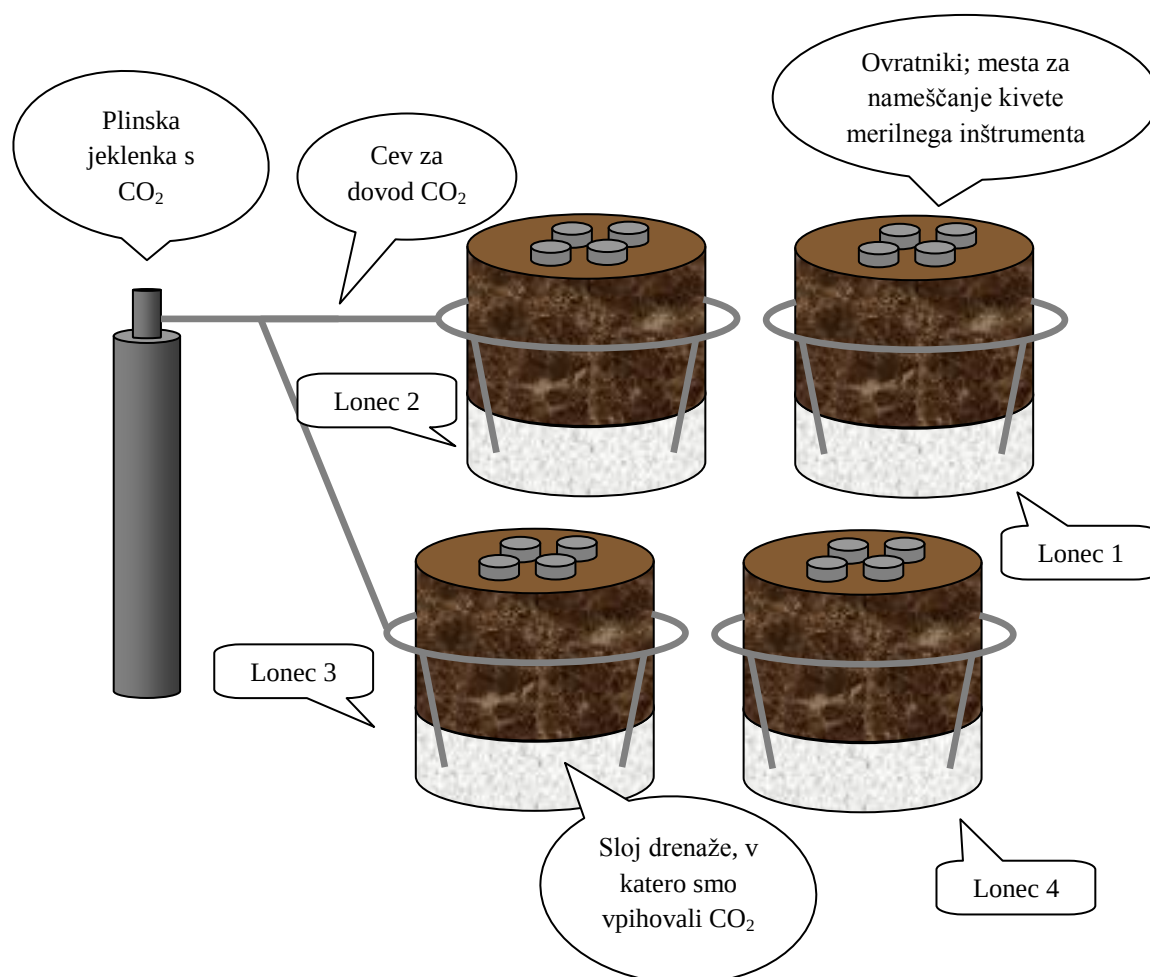
Tla, s katerimi smo napolnili lonce, so imela naslednje fizikalno-kemijske značilnosti (Preglednica 1).

Preglednica 1: Analitski podatki prinešenih vzorcev (pH, organska snov, teksturni razred...)

ph	P ₂ O ₅ AL CaCl ₂ ---mg/100g---	K ₂ O AL	org.snov %	C %	pesek %	melj grobi %	melj fini %	melj skup. %	glina %	tekst. razred %
7,4	20,3	12,5	3,9	2,3	34,8	15,3	32,2	47,5	17,7	I
7,1	2,5	5,8	1,1	0,6	25,8	14,7	35,9	50,6	23,6	MI
7,4	8,0	7,5	2,6	1,5	31,9	15,6	34,0	49,6	18,5	I

Na koncu smo v vsak lonec namestili po 4 PVC ovratnike premera 10 cm in višine 5 cm, tako da smo jih za ca. 3 cm vkopali v tla. Na te ovratnike smo ob meritvah toka CO₂ iz tal nameščali kiveto merilnega inštrumenta.

Kot poskusno rastlino smo uporabili navadno kostrebo, ki smo jo posejali 21. 6. 2007. V vsak lonec smo dali 1,5 g semena.



Slika 3: Osnovni oris zaplinjevalnega poskusa

Kontrolo zaplinjevanja smo izvajali ročno, z zapiranjem in odpiranjem ventila na jeklenki, na podlagi izmerjenega fluksa, ki smo ga držali v območju, najbolj značilnem za mofeto.

3.3.2 Meritve

3.3.2.1 Meritve toka CO₂ iz tal

Meritve toka CO₂ iz tal so bile izvedene z aparatom Li-Cor 6400 (LiCor, ZDA). Z aparatom meritve izvajamo tako, da najprej izmerimo tarčno vrednost [CO₂] nad ovratnikom, tako da komora za merjenje leži ob ovratniku. Nato komoro postavimo na ovratnik in upoštevamo višino ovratnika. Aparat s prečrpavanjem zmanjša [CO₂] v komori in nato meri čas, ki je potreben, da se koncentracija znotraj komore izenači s tarčno vrednostjo. Tako lahko izračunamo hitrost toka talnega CO₂ skozi ovratnik. Hkrati z meritvami toka CO₂ smo merili tudi temperaturo tal s sondo (Omega Engineering Inc. Stamford, ZDA), ki je priključena na Li-Cor 6400.

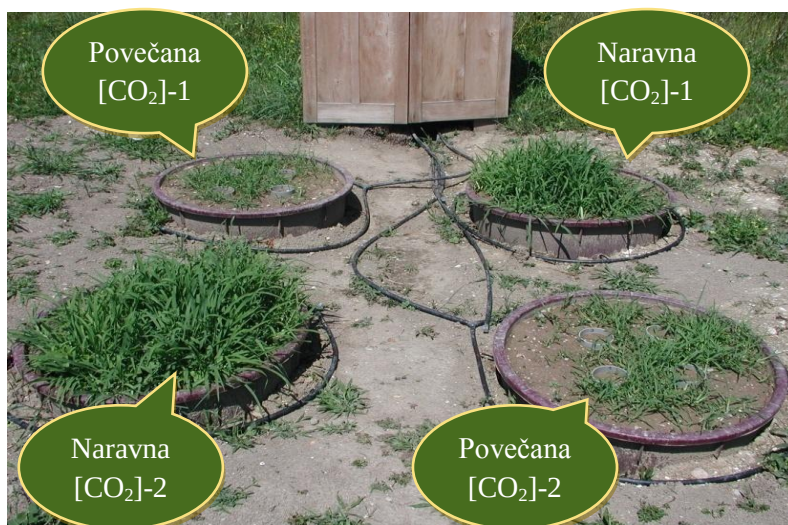


Slika 4: Meritev hitrosti toka talnega CO₂ skozi ovratnik (Foto: Dominik Vodnik)

3.3.2.2 Meritve poskusne rastline

Vznik kostrebe je bil 29. 6. 2007, z meritvami pa smo pričeli dober mesec kasneje, natančneje 25. 7. 2007. Tekom meritev smo poskušali izvedeti, kakšen bo rastni odziv navadne kostrebe na vzpostavljen plinski režim.

Tedensko smo izvajali meritve višine rastlin, in sicer tako, da smo v vsakem loncu naključno izbrali 20 rastlin in njihovo višino izmerili s pomočjo ravnila.



Slika 5: Prikaz rasti iz dne 8. 8. 2007 (Foto: Dominik Vodnik)

3.3.2.3 Meritve vrednosti SPAD

Opravili smo tudi nekaj meritev vsebnosti fotosinteznih pigmentov z napravo SPAD – 502 (Minolta; J), ki omogoča hitro in neinvazivno meritev (lista ne poškodujemo). Posamezna meritev je opravljena v nekaj sekundah in majhna površina, na kateri merimo, omogoča, da lahko meritve opravljamo tudi na rastlinah z drobnimi listi. Naprava SPAD vsebuje dva vira svetlobe (650 in 940 nm) in detektor, ki meri prepustnost (transmisijo) svetlobe skozi list. Izmerjene vrednosti (t.i. vrednosti SPAD) so ocena vsebnosti klorofila.



Slika 6: Klorofilometer (SPAD Minolta) (Fotosintezni pigmenti, 2005)

3.3.2.4 Meritev korenin

Vse skupaj smo zaključili z meritvami korenin, kjer smo po žetvi nadzemnega dela (14. 9. 2007), v posameznem loncu naredili po štiri izvrtke premera 10 cm do globine 25 cm. Posamičen izvrtek smo delili na pet delov različnih globin (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 in 20-25 cm). Iz vsakega vzorca smo korenine sprali, jih posušili ter tehtali.

3.3.3 Statistična obdelava podatkov

Za statistično obdelavo podatkov in grafične prikaze smo uporabili program Excel. Vse rezultate meritev smo obdelali z metodami opisne statistike (povprečja, standardna napaka).

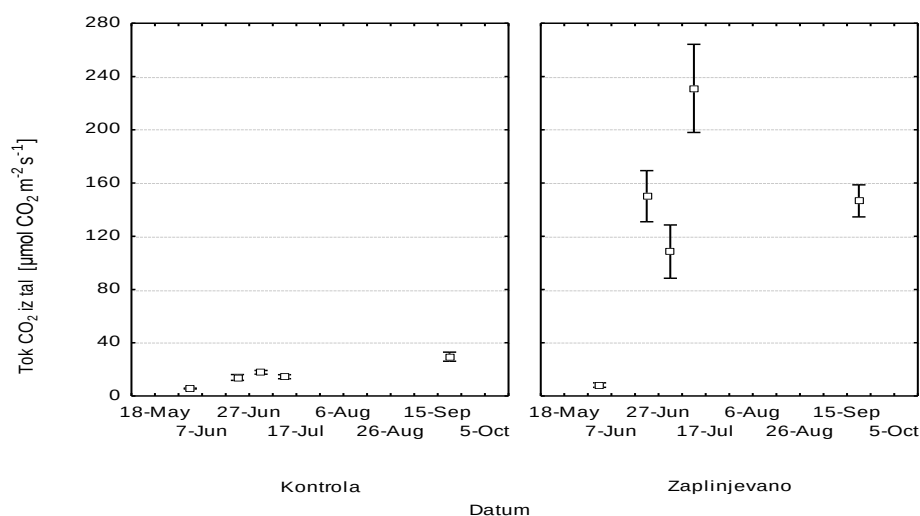
4 REZULTATI

4.1 TOK CO₂ IZ TAL

Meritve toka CO₂ smo izvajali od junija do septembra. Prvi datum meritve 5. 6. 2007, predstavlja stanje pred zaplinjevanjem, zato se vrednost fluksov pri kontroli in zaplinjevanju ne razlikuje.

Vrednosti toka pri kontrolnih vzorcih se gibljejo med 4 in 38,5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Prve štiri meritve nakazujejo sezonski vzorec hitrosti toka CO₂ iz tal. Preseneti nas relativno velik tok izmerjen septembra.

Pri zaplinjevanju opazimo veliko variabilnost vrednosti toka CO₂. Merjene vrednosti se gibljejo med 110 in 236 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ in so v območju vrednosti, ki jih lahko izmerimo na mofetah. Tu ne moremo govoriti o sezonskem vzorcu toka CO₂, saj bi morali zaplinjevanje, ki smo ga izvajali ročno, bolj natančno regulirati.



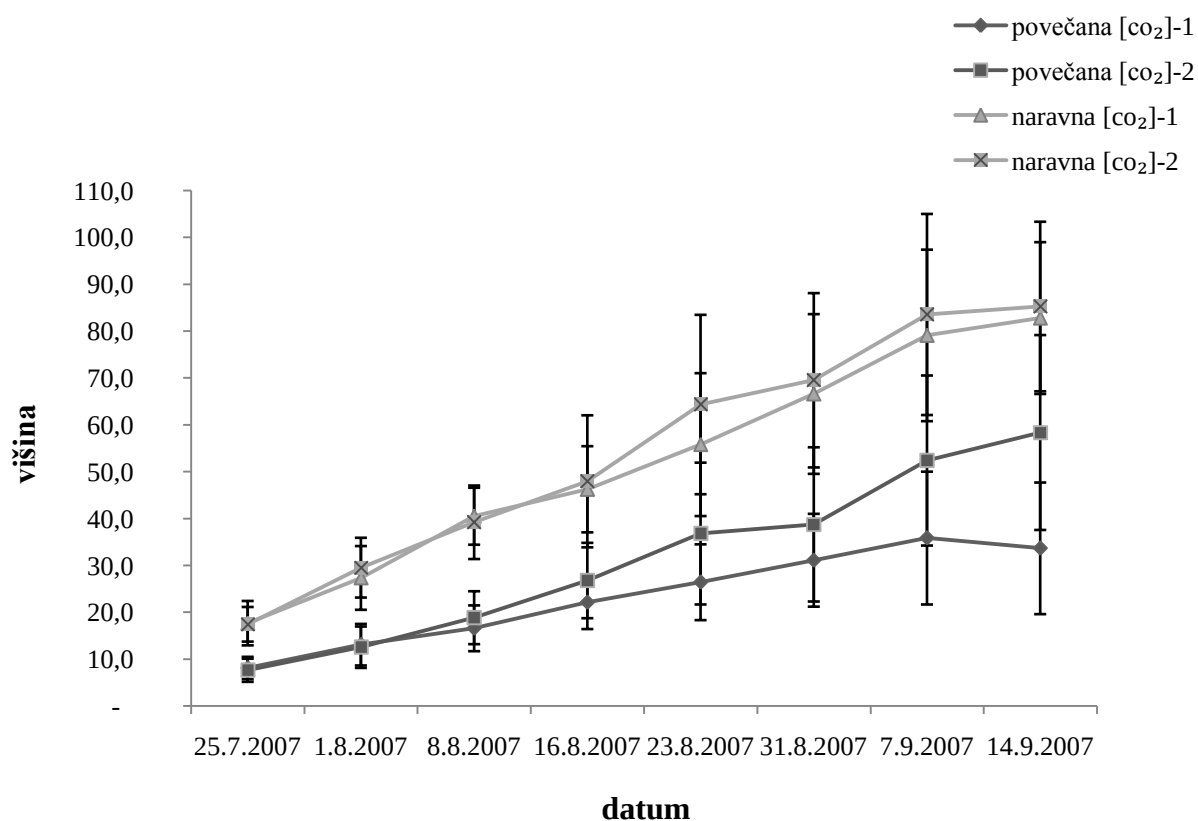
Slika 7: Tok CO₂ iz tal v različnih obdobjih leta

4.2 RASTNI ODZIV NAVADNE KOSTREBE NA POVEČANO KONCENTRACIJO CO₂ V TLEH

Redne tedenske meritve so nam pokazale, da so se rastline na povečanje [CO₂] odzvale s slabšo rastjo.

Pri vsaki meritvi smo iz posameznega lonca naključno izbrali 20 rastlin, nato pa povprečno višino grafično predstavili (slika 4). Višina zaplinjevanih rastlin se tekom obdobja, v katerem smo izvajali meritve, giblje od 7,5 pa vse do 58,5 cm, pri naravni [CO₂] pa so bile rastline visoke od 17,5 in 85,5 cm (povprečje začetne in končne meritve).

V povprečju so rastline pri povečani [CO₂] tedensko na rast pridobile med 4 in 8 cm na teden tudi po samem izgledu pa so bile slabše kot rastline pri naravni [CO₂], ki so na rasti pridobivale hitreje in so v povprečju na teden zrastle tudi do 10 cm in več.



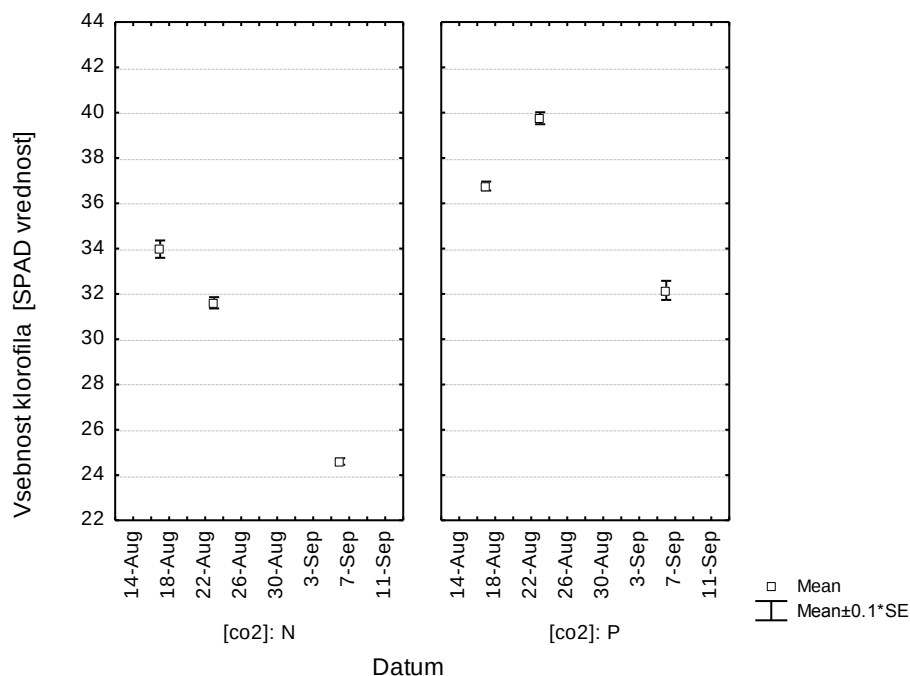
Slika 8: Prikaz višine rastlin navadne kostrebe (*Echinochloa crus-galli* (L.) PB.) v različnih terminih meritev

4.3 MERITEV VSEBNOSTI KLOROFILA

V naslednji meritvi smo na podlagi SPAD vrednosti ocenjevali vsebnost klorofila v listih.

Vrednosti SPAD so pri naravni [CO₂] tekom meritev variirale od 24,5 do 34. Pri povečani [CO₂] pa so bile vse vrednosti SPAD nad 30. Največja se pojavi pri drugi meritvi ko doseže skoraj 40. Opravili smo tri meritve. Pri posamezni smo ovrednotili po deset rezultatskih vrednosti.

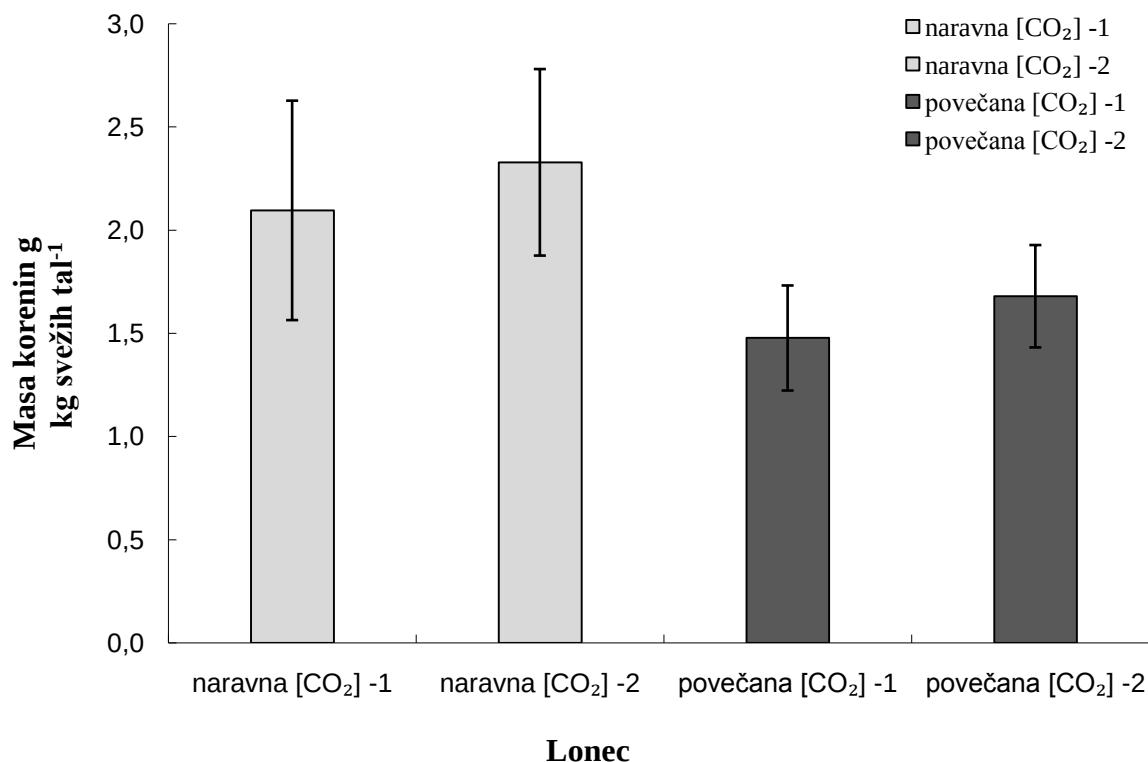
Kot lahko vidimo na grafu so višje vrednosti dosegale rastline, ki so bile izpostavljene povečani [CO₂].



Slika 9: Prikaz vsebnosti klorofila (SPAD vrednosti) v listih navadne kostrebe (*Echinochloa crus-galli* (L.) PB.) v različnih terminih meritev

4.4 KORENINE

Tehtanje korenin je pokazalo, da je masa korenin v loncih z naravno [CO₂] večja kot pri loncih s povečano [CO₂]. Povprečna vrednost mase pri naravni [CO₂] je med 2,10 in 2,30 g/kg svežih tal. Pri povečani [CO₂] pa se vrednosti gibljejo med 1,5 in 1,7 g/kg svežih tal.

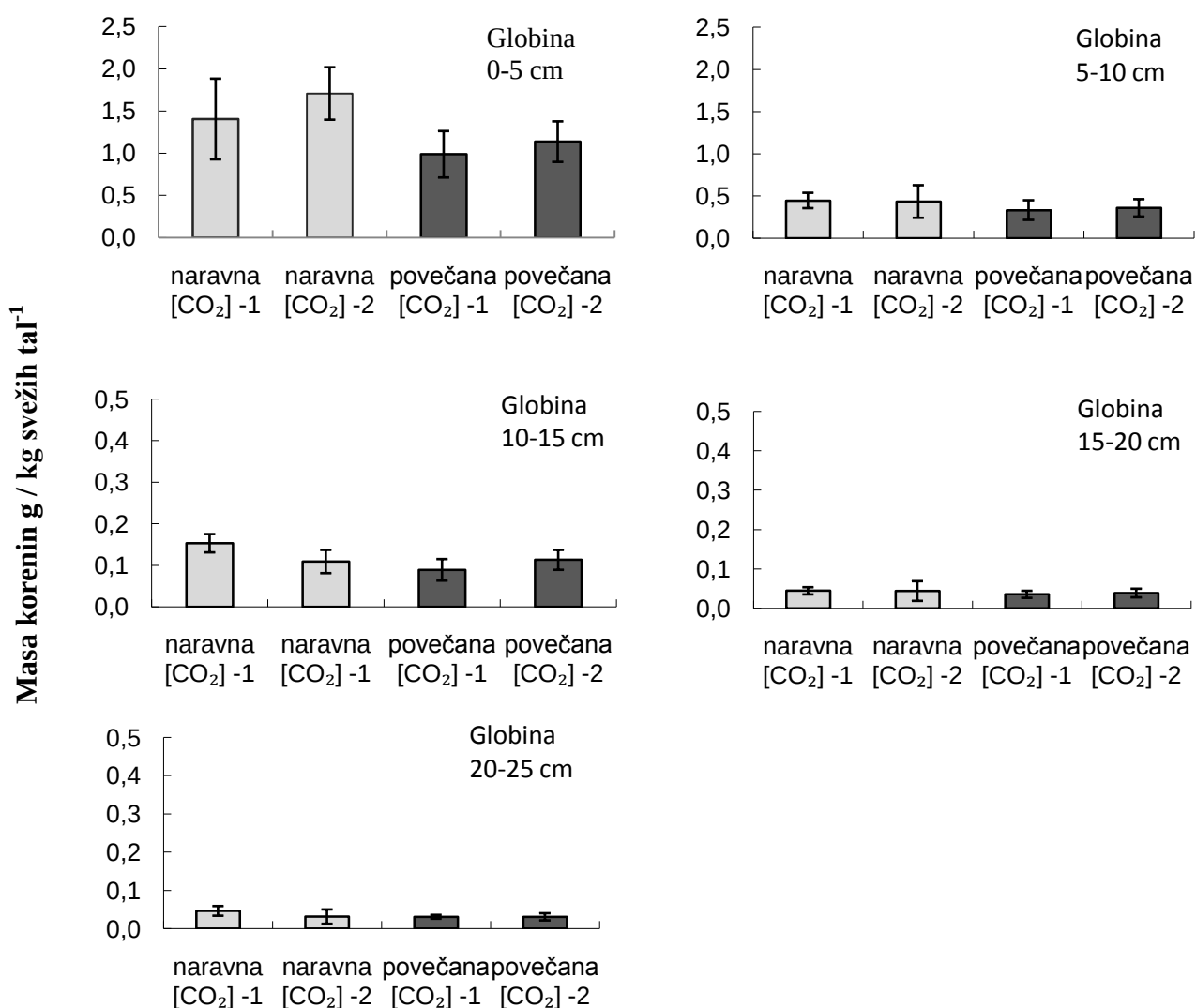


Slika 10: Skupna masa korenin navadne kostrebe (*Echinochloa crus-galli* (L.) PB.) na posamičen lonec. Prikazana so povprečja ± standardna napaka N=4

Naj predstavimo še skupni graf mase korenin po različnih globinah.

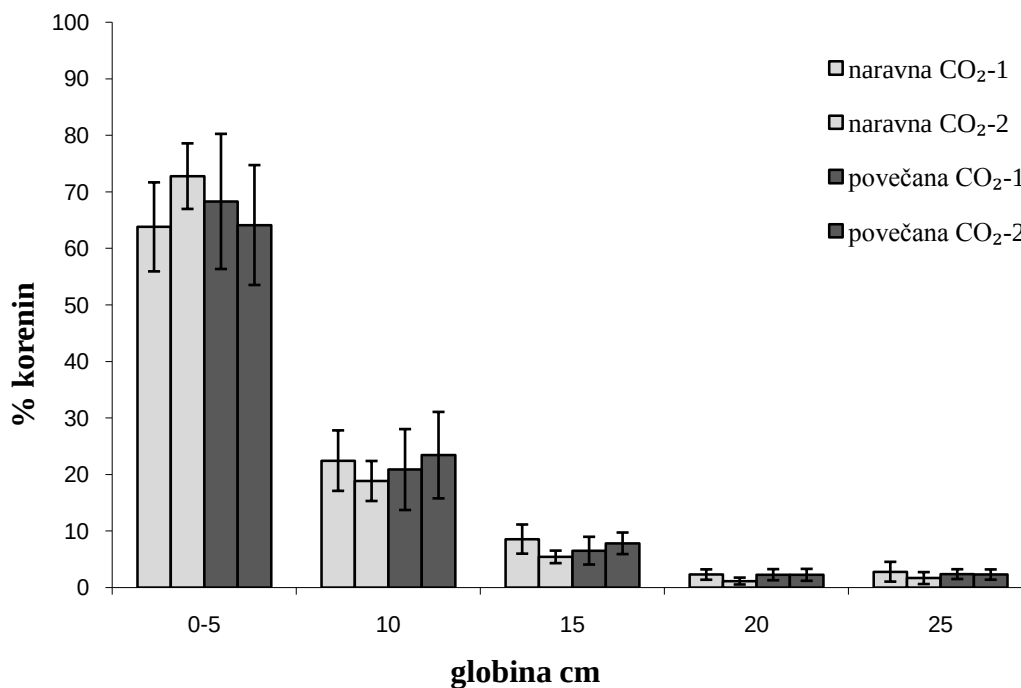
Kot smo pričakovali in je tudi razvidno iz grafa, se največji delež pojavlja na globinah 0 - 5 cm in 5 - 10 cm. Predvsem na globini 0 - 5 cm pa je tudi lepo vidna razlika med povečano in naravno [CO₂]. Pri ostalih globinah je delež precej manjši tako da so razlike skoraj neopazne.

Če na primer primerjamo maso korenin v sloju od 0 - 5 cm z maso na globini 20 – 25 cm opazimo da so te vrednosti desetkrat manjše.



Slika 11: Masa korenin navadne kostrebe (*Echinochloa crus-galli* (L.) PB.). Prikazana so povprečja ± standardna napaka, N=4. Zaradi najmanjših vrednosti je merilo na sliki 8, od globine 10 - 15 cm naprej prilagojeno za lažjo razvidnost grafa

Prikazali smo tudi koliko odstotkov od skupne mase odpade na korenine v posameznem sloju. Vidimo, da največji delež dosega na globini 0 - 5, kjer se pojavlja okoli 70% korenin, na globini 10 cm zavzemajo vrednosti nekoliko nad 20%, pri 15 cm je ta vrednost že okoli 10%, korenine na globini 20 in 25 cm pa k skupni masi prispevajo zelo malo.



Slika 11: Delež korenin navadne kostrebe (*Echinochloa crus-galli* (L.) PB.) v različnih globinah tal. Prikazani so odstotki od skupne koreninske mase

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

Poskus za diplomsko nalogo smo zasnovali na dejstvu, da kljub številnim raziskavam učinkov CO₂ na rastline, ki potekajo po vsem svetu, po našem vedenju še nihče ni izvedel poskusa zaplinjevanja tal. V zaplinjevalnih poskusih, ki jih izvajajo, se proučuje predvsem odgovor rastlin na podvojeno sedanje [CO₂]. Naš namen pa je bil v tleh vzpostaviti plinski režim, ki bi bil podoben na mofetah.

V poskusu, ki smo ga izvedli, nas je torej zanimalo kakšen bo rastni odziv izbrane rastlinske vrste pri umetno povečani [CO₂] v tleh.

5.1.1 Povečana koncentracija CO₂ v tleh

Vrednosti toka CO₂ iz tal se v naši raziskavi pri kontrolnih, nezaplinjevanih vzorcih gibljejo med 4 in 38,5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Zanimiva je primerjava teh vrednosti s tokovi, ki jih za travišča brez geogenih virov CO₂ navajajo drugi avtorji. Maestre in Cortina (2003) sta tok CO₂ merila na polsušnih mediteranskih tleh. Vrednosti so nihale med 0,17 in 0,31 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Te vrednosti se zelo ujemajo z vrednostmi tokov, ki naj bi veljalo za globalno travinje (0,29 do 0,31 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) (Raich in Schlesinger, 1992). Večji tok CO₂ iz tal lahko izmerimo na travnikih zmerne pasu, kjer je razpoložljivost vode večja (Bahn in sod., 2008). Bahn in sod. (2008) so v Evropskem prostoru tako zabeležili vrednosti za maksimalno dihanje tal na travniku med 9,5 in 15,9 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. V podobnem območju so tudi vrednosti dihanja gojenega travnika v Ščavniški dolini (Vodnik in sod., 2009). V tem primeru se vrednosti približajo tistim, ki smo jih izmerili v naši raziskavi.

Večje vrednosti smo pričakovali na vzorcih, ki smo jih zaplinjevali. Tok CO₂ je dosegal vrednosti do 236 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Pri raziskavi, ki so jo v Stavešincih opravili Vodnik in sod. (2009), so se vrednosti toka na območju, ki ni bilo obogateno z geogenim CO₂ gibale med 4,6 in 27,9 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, na območju srednje obogatitve so bile te vrednosti med 6,1 in 92,4 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, na območju, ki je bilo zelo obogateno z geogenim CO₂ pa so te vrednosti segale do 268,2 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Razliko v vrednostih so pripisovali temu, da so izpusti geogenega CO₂ na območju velike obogatitve zelo veliki, z oddaljevanjem od glavnih virov pa se zmanjšujejo. Pričakovati je, da je v tem primeru CO₂, ki ga sproščajo tla rezultat respiratorne aktivnosti talnih mikroorganizmov in korenin.

V našem primeru smo torej z zaplinjevanjem dosegli vrednosti toka CO₂, ki so v območju vrednosti, izmerjenih na mofeti. Tok je bil zelo variabilen, kar gre pripisovati ročni kontroli jeklenke, predvsem pa, da smo potrebovali kar nekaj časa preden smo na podlagi izmerjenih fluksov simulirali mofeto z zaplinjevanjem preko tal.

5.1.2 Odziv navadne kostrebe na talno zaplinjevanje s CO₂

Povečana talna in atmosferska [CO₂] na območju mofet vpliva na rast in razvoj rastlin. V več raziskavah ob naravnih izvirih, ki ponujajo vpogled v dolgoročne učinke CO₂ na rastline in njihovo prilagoditev, je bilo ugotovljeno, da močno povečana [CO₂] zavira rast in vpliva na fenološki razvoj rastlin. Rastline, ki so rastle ob vrelih, so bile manjše, pozneje so cvetele ali sploh ne, njihova rastna doba se je skrajšala in staranje listov je bilo hitrejše (Tuba in sod., 2003).

Višina zaplinjevanih rastlin v našem poskusu se je tekom rastne sezone v povprečju gibala okoli 27,5 cm, pri naravni [CO₂] pa so bile rastline v povprečju velike 54 cm. Opazili smo, da so se rastline na povečano [CO₂] odzvale s slabšo rastjo. Podobne ugotovitve navajajo tudi Pfanž in sod. (2004), kjer ovrednotijo meritve rastline travniški mačji rep (*Phleum pratense*). Navajajo, da so bile rastline najnižje neposredno ob povečani [CO₂], najvišje pa na lokaciji, kjer je bila stopnja CO₂ najnižja. Navajajo tudi, da se ta podobnost pojavlja med ostalimi C₃ in C₄ rastlinami, med drugim tudi pri navadni kostrebi (*Echinochloa crus-galli*), ki je bila naša raziskovana rastlina. Prav tako so raziskavo na kostrebi (*Echinochloa crus-galli*) v Stavešincih opravili Vodnik in sod. (2002), kjer je bila povprečna višina na območju z visoko [CO₂] 16 cm na območju z nižjo [CO₂] pa 66 cm. Vidimo, da so vrednosti zelo podobne naši raziskavi in da vpliv povečane [CO₂] negativno vpliva na rast rastline.

Talni CO₂ in O₂ sta v obratnem sorazmerju, kar pomeni, da je v tleh ob mofetah manj kisika. Ta primanjkljaj vodi v zmanjšanje razpoložljivosti mineralnih hranil zaradi zakasnjene mineralizacije in redoks reakcij, ki potekajo v tleh. Poleg tega pa ima lahko škodljiv vpliv na rast korenin in na njihovo presnovo (Maček in sod., 2005, Maček, 2004).

V naslednji meritvi smo na podlagi SPAD vrednosti ocenjevali vsebnost klorofila v listih. Ocena vsebnosti klorofila nam omogoča, da posredno sklepamo na fotosintetsko sposobnost lista. Na primer debelejši listi imajo ponavadi več klorofila in zato boljšo sposobnost fotosinteze kot tanjši listi. Vrednosti SPAD so tudi pokazatelj prepustnosti lista za fotosintetsko aktivno svetlobo, saj je prepustnost močno odvisna od količine klorofila na enoto listne površine. Torej lahko sklepamo ne le na količino klorofila ampak tudi na njegovo gostoto. Vrednosti SPAD se lahko odzovejo tudi na stresne dejavnike. Tiste rastline, ki med sušo obdržijo višje vrednosti SPAD, jo bolje prenašajo.

Pri raziskavi, izvedeni v Stavešincih (SV Slovenija), so ugotovili, da je bila vsebnost klorofila pri navadni kostrebi (*Echinochloa crus-galli*) v območju velike [CO₂] za približno 25 % manjša kot na območju majhne [CO₂] (Vodnik in sod., 2002). Podobno raziskavo so opravili tudi Pfanž in sod. (2004). Vsebnost klorofila je bila pri visokih [CO₂] pri vseh merjenih rastlinah manjša.

Preglednica 2: Vsebnost klorofila v listih izbranih rastlinskih vrst, rastočih na mofetah (Strmec, Slovenija) v območju nizke, srednje in visoke [CO₂] (Pfanž in sod., 2004)

Rastlinska vrsta	Nizka [CO ₂]	Srednja [CO ₂]	Visoka [CO ₂]
Travniški mačji rep (<i>Phleum pratense</i>)	31,5 ± 3,7	28,9 ± 2,5	27,1 ± 3,3
Pasja trava (<i>Dactylis glomerata</i>)	35,9 ± 1,8	25,3 ± 4,5	27,2 ± 2,0
Travniški lisičji rep (<i>Alopecurus pratensis</i>)	38,9 ± 1,2	31,3 ± 3,0	24,4 ± 4,2
Navadni regrat (<i>Taraxacum officinale</i>)	40,5 ± 1,8	32,8 ± 1,2	30,9 ± 2,7
Trepetlika (<i>Populus tremula</i>)	35,1 ± 2,0	32,9 ± 1,8	29,4 ± 3,4

Rezultati naših meritev klorofila so presenetljivi, saj smo dobili ravno obratno od pričakovanega. Vrednosti SPAD so bile pri povečani [CO₂] višje kot pri naravni [CO₂]. Razlog k temu gre ponovno iskati pri ročnem reguliranju zaplinjevanja.

Poglejmo še odziv korenin na talno zaplinjevanje. Kot smo domnevali, so največji delež dosežale na globini 0 - 5 cm, kjer se pojavlja okoli 70% korenin, na globini 10 cm zavzemajo vrednosti nekoliko nad 20%, pri 15 cm je ta vrednost že okoli 10%, na globini 20 in 25 cm pa je delež korenin še komajda opazen. Opazimo tudi, da so rastline, ki so bile izpostavljene povečani [CO₂], razvile manjšo skupno biomaso.

V zaplinjevalnih poskusih drugod je znano, da so se korenine pri povišani [CO₂] najbolj razvile v zgornjem horizontu tal (Van Vuuren in sod., 1997; Arnone in sod., 2000). Vendar naj omenim, da tega nismo mogli primerjati z našo raziskavo, kajti povsod opravljajo zaplinjevanje od zgoraj, mi pa smo zaplinjevali tla. Tudi pri naravnih izviri CO₂ je pogosto opaziti, da korenine v glavnem rastejo v zgornjem sloju tal. Največja gonilna sila pri distribuciji korenin in pri njihovi življenjski dobi je najverjetneje povečanje hipoksije in vlažnosti tal (Pfanž in sod., 2004).

5.2 SKLEPI

Na podlagi rezultatov, ki smo jih dobili v naši raziskavi, smo prišli do naslednjih sklepov:

- z dovajanjem primerne količine čistega CO₂ v spodnje horizonte tal, smo v tleh vzpostavili podobno [CO₂] kot jo lahko najdemo na srednje do močno izpostavljenih delih mofet.
- potek zaplinjevanja smo uspešno spremljali z meritvami toka CO₂ iz tal. Pri povečani [CO₂] je dosegal vrednost, ki jo lahko izmerimo na naravni mofeti, pri naravni [CO₂] pa je ta vrednost variirala med 4 in 38,5 μmol m⁻²s⁻¹.
- poskusna rastlina se je na povečano [CO₂] odzvala s slabšo rastjo.
- kot smo pričakovali so rastline večji masni delež korenin razvijale bližje površini tal.

Hipotezo, da povečana [CO₂] negativno vpliva na rast in razvoj rastlin smo potrdili. Prav tako smo potrdili tudi hipotezo, da tok CO₂ dosega višje vrednosti pri povečani [CO₂]. Hipoteze o tem ali je CO₂ vplival na deleže korenin v zgornjem horizontu nismo mogli potrditi. Za to bi bila vsekakor potrebna bolj natančna regulacija zaplinjevanja. Naj omenim tudi, da je ocena biomase precej težavna, saj se pri čiščenju korenin najbolj tanke preprosto izperejo. Če bi imeli več vzorcev, bi se variabilnost verjetno zmanjšala in bi mogoče videli več razlik. Napaka je bila še večja pri visoki [CO₂], saj je tam bila biomasa korenin manjša in zato je vsaka izgubljena koreninica prinesla večji delež k napaki.

6 POVZETEK

Vplive povečanih koncentracij CO₂ na rastline, druge organizme in ekosistem na splošno lahko proučujemo v zaplinjevalnih poskusih. Veliko pa se lahko o odzivu na povečane [CO₂] naučimo z raziskavami na rastiščih, kjer so rastline izpostavljene naravno povečani [CO₂]. To so tako imenovani naravni izviri CO₂ ali mofete.

V diplomski nalogi smo želeli simulirati mofeto (naravni izvir CO₂) z zaplinjevanjem preko tal. Preveriti smo želeli rastni odziv navadne kostrebe (*Echinochloa crus-galli* (L.) PB.) na vzpostavljen plinski režim. Predpostavili smo, da bomo z dovajanjem primerne količine čistega CO₂ v spodnje horizonte v tleh lahko vzpostavili podobno [CO₂] kot jo najdemo na srednje do močno izpostavljenih mofetah. Predpostavili smo tudi, da se bodo rastline na povečano [CO₂] odzvale s slabšo rastjo.

Zaplinjevalni poskus smo izvedli leta 2007 na laboratorijskem polju BF, kjer smo na manjši površini vkopali 4 lonce, vanje položili sloj drenaže peska oz. gramoza, uredili cevi za dovajanje CO₂ in jih zasuli z zemljo. V dva lonca smo dovajali CO₂, ostala dva pa sta služila kotroli. Meritve, ki smo jih izvajali na navadni kostrebi (*Echinochloa crus-galli* (L.) PB.), so potekale v obdobju od junija do septembra 2007. Pri rastlini smo opravili meritve toka CO₂ z aparatom LI-Cor 6400 (LiCor ZDA), spremljali njeno rast, opravili pa smo tudi nekaj meritev vsebnosti fotosinteznih pigmentov z napravo SPAD – 502 (Minolta; J.). Na koncu smo opravili še meritve korenin. Iz vsakega vzorca smo korenine sprali, jih posušili ter tehtali.

Ugotovili smo, da se je tok pri kontrolnih vzorcih gibal med 4 in 38,5 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Tok CO₂ pri zaplinjevanih rastlinah je bil zelo variabilen, kar smo pripisali nenatančnemu zaplinjevanju, saj smo jeklenko regulirali ročno. Redne tedenske meritve so nam pokazale, da so se rastline na povečanje [CO₂] odzvale s slabšo rastjo. Rezultati naših meritev klorofila so bili presenetljivi, saj smo dobili ravno obratno od pričakovanega. Vrednosti SPAD so bile pri povečani [CO₂] višje kot pri naravni [CO₂]. Razlog k temu smo ponovno iskali pri ročnem reguliranju zaplinjevanja. Kot smo domnevali, so korenine največji delež dosegale na globini 0 - 5 cm, kjer se je pojavljalo okoli 70% korenin, na globini 10 cm so zavzemale vrednosti nekoliko nad 20%, pri 15 cm je bila ta vrednost že okoli 10%, na globini 20 in 25 cm pa je bil delež korenin še komajda opazen.

Hipotezo, da povečana [CO₂] negativno vpliva na rast in razvoj rastlin, smo potrdili. Prav tako smo potrdili tudi hipotezo, da tok CO₂ dosega višje vrednosti pri povečani [CO₂]. Hipoteze o tem, ali je CO₂ vplival na deleže korenin v zgornjem horizontu, nismo mogli potrditi. Za to bi bila vsekakor potrebna bolj natančna regulacija zaplinjevanja. Naj omenim tudi, da je ocena biomase precej težavna, saj se pri čiščenju korenin najbolj tanke preprosto izperejo. Če bi imeli več vzorcev, bi se variabilnost verjetno zmanjšala in bi mogoče videli več razlik. Napaka je bila še večja pri visoki [CO₂], saj je tam bila biomasa korenin manjša in zato je vsaka izgubljena koreninica prinesla večji delež k napaki.

7 VIRI

- Ainswort E., Long S. 2005. What have we learned from 15 years of Free-Air CO₂ Enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO₂. *New Phytologist*, 165, 2: 351-372
- Arnone J.A., Zaller J.G., Spehn E.M., Niklaus P.A., Wells C.E., Körner C. 2000. Dynamics of root systems in native grasslands: effects of elevated atmospheric CO₂. *New Phytologist*, 147: 73-86
- Bahn M., Rodeghiero M., Anderson-Dunn M., Dore S., Gimeno C., Drösler M., Williams M., Ammann C., Berniger F., Flechard C., Jones S., Balzardo M., Kumar S., Newesly C., Priwitzer T., Raschi A., Siegwolf R., Susiluoto S., Tenhunen J., Wolfahrt G., Cernusca A. 2008. Soil Respiration in European Grasslands in Relation to Climate and Assimilate Supply. *Ecosystems*, 11: 1352-1367
- CDIAC Carbon Dioxide Information Analysis Center.
http://cdiac.ornl.gov/pns/current_ghg (08.11.2010)
- Fotosintezni pigmenti. 2005.
<http://web.bf.uni-lj.si/ag/botanika/gradiva/VAJA%204.pdf> (20. sept. 2010)
- Godbold D.L. Hoosbeek M.R., Lukac M., Cotrufo F.M., Janssens I.A., Ceulemans R., Polle A., Velthorst E.J., Scarasia-Mugnozza G., De Angelis P., Miglietta F., Peressotti A. 2006. Mycorrhizal hyphal turnover as dominant process for carbon input into soil organic matter. *Plant and Soil*, 281: 15-24
- Hillel D., 1998. *Environmental Soil Physics*. San Diego, Academic press: 771 str.
- Jassal R.S., Black A., Novak M., Morgenstern K., Nesic Z., Gaumon-Guay D. 2005. Relationship between soil CO₂ concentrations and forest-floor CO₂ effluxes. *Agricultural and Forest Meteorology*, 130: 176-192
- Kuzyakov Y. 2006. Sources of CO₂ efflux from soil and Review of partitioning methods. *Soil Biology & Biochemistry*, 38: 425-448
- Maček I. 2004. Odziv korenin izbranih kmetijsko pomembnih vrst na naravno povečano koncentracijo CO₂. Doktorska disertacija. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 105 str.
- Maček I. 2005. Root respiration response to high CO₂ concentrations in plants from natural CO₂ springs. *Environmental and Experimental Botany*, 54: 90-99
- Maestre F.T., Cortina J. 2003. Small-scale spatial variation in soil CO₂ efflux in a Mediterranean Semiarid steppe. *Applied Soil Ecology*, 23: 199-209

- Marinič A. 2009. Sproščanje CO₂ iz tal zaraščajočih kraških pašnikov. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 39 str.
- Martinčič A., Wraber T., Jogan N., Podobik A., Ravnik V., Turk B., Vreš B. 1999. Mala flora Slovenije: ključ za določanje praprotnic in semenk. Ljubljana. Tehniška založba Slovenije: 845 str.
- Ogorevc B. 2008. Vpliv vode v tleh na tok geogenega CO₂ iz tal v atmosfero. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 39 str.
- Pfanz H., Vodnik D., Wittman C., Aschan G., Raschi A. 2004. Plants and Geothermal CO₂ Exhalations-Survival in and Adaptation to the high CO₂ Environment. Progress in Botany, 65: 449-538
- Plestenjak G. 2006. Zaloge glomalina na rastiščih z naravno povečano koncentracijo CO₂. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 39 str.
- Raich J.W., Schlesinger W.H. 1992. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. Tellus, 44B: 81-99
- Ravnik M. 1997. Topla greda: podnebne spremembe, ki jih povzroča človek. Ljubljana. Knjiga: 119 str.
- Stoyan H., De.Polli H., Bohm S., Robertson G.P., Paul E.A. 2000. Spatial heterogeneity of soil respiration and related properties at plant scale. Plant and soil, 222: 203-214
- Tuba Z., Raschi A., Lanini G.M., Nagy Z., Helyes L., Vodnik D., Sanità di Toppi L. 2003. Plants response to elevated dioxide. V: Sanità di Toppi L., Pawlik-Skawronska B. (eds.). Abiotic Stress in Plants. 2003. Kluwer Academic Publishers: 157-204
- Van Vuuren M.M.I., Robinson D., Fitter A.H., Chasalow S.D., Williamson L., Raven J.A. 1997. Effects of elevated atmospheric CO₂ and soil water availability on root biomass, root length, and N, P and K uptake by wheat. New Phytologist, 135: 455-465
- Vodnik D., Pfanz H., Maček I., Kastelec D., Lojen S., Batič F. 2002. Photosynthesis of cocksfoot [Echinochloa crus-galli (L.) Beauv.] at sites of naturally elevated CO₂ concentration. Photosynthetica, 40: 575-579
- Vodnik D., Kastelec D., Pfanz H., Maček I., Turk B. 2006. Small-scale spatial variation in soil CO₂ concentrations in a natural carbon dioxide spring and some related plant responses. Geoderma, 133: 309-319
- Vodnik D., Videmšek U., Pintar M., Maček I., Pfanz H. 2009. The characteristics of soil CO₂ fluxes at a site with natural CO₂ enrichment. Geoderma, 150: 32-37
- Xu M., Qi Y. 2001. Soil surface CO₂ efflux and its spatial and temporal variations in young ponderosa pine plantation in northern California. Global Change Biology, 7: 667-677

ZAHVALA

Najprej iskrena hvala za vso pomoč pri strokovnem vodenju in izdelavi naloge mentorju prof. dr. Dominiku Vodniku ter somentorici doc. dr. Ireni Maček.

Največja zahvala gre mojima staršema, ter preostalim članom družine, ki so me v času študija vseskozi spodbujali in mi stali ob strani.

Zahvaljujem se tudi vsem prijateljem. Res ste bili pravi »cukrčki« ko sem vas potrebovala.

Prav posebej se zahvaljujem tebi, moj sonček, ker si verjel da zmorem, tudi takrat, ko je bilo težko.

Še enkrat hvala vsem!