

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN OBNOVLJIVE GOZDNE VIRE

Peter ŽELEZNIK

**VPLIV OZONA IN OSVETLJENOSTI NA RAZVOJ
KORENIN BUKVE (*FAGUS SYLVATICA* L.)**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

Ljubljana, 2006

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN OBNOVLJIVE GOZDNE VIRE

Peter ŽELEZNIK

**VPLIV OZONA IN OSVETLJENOSTI NA RAZVOJ KORENIN
BUKVE (*FAGUS SYLVATICA* L.)**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**INFLUENCE OF OZONE AND LIGHT ON GROWTH OF BEECH
(*FAGUS SYLVATICA* L.) ROOTS**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2006

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija gozdarstva. Opravljeno je bilo na Gozdarskem inštitutu Slovenije, kjer so bili vzorci korenin pripravljene in poslikani v Laboratoriju za gozdno fiziologijo in genetiko. Analiza slik je bila opravljena na laboratorijski računalniški opremi. Vzorci so bili nabrani na poskusni ploskvi projekta CASIROZ (raziskovalni projekt, podprt s strani Evropske skupnosti, 5. okvirni raziskovalni program, 2002-2006) v Kranzberger Forst, Nemčija.

Študijska komisija Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire je za mentorja diplomskega dela imenovala doc. dr. Hojko Kraigher, za recenzentko pa prof. dr. Majo Jurc.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Jurij DIACI
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za
gozdarstvo in obnovljive gozdne vire

Član: doc. dr. Hojka KRAIGHER
Gozdarski inštitut Slovenije

Član: prof. dr. Maja JURC
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za
gozdarstvo in obnovljive gozdne vire

Datum zagovora: 1.9.2006

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela

Peter Železnik

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Dn
DK GDK 181.36:176.1 *Fagus sylvatica* L.:111.105+114 (043.2)
KG ozon/izpostavljenost svetlobi/bukev (*Fagus sylvatica* L.)/drevesne korenine/WinRHIZO
KK
AV ŽELEZNIK, Peter
SA KRAIGHER, Hojka (mentor)
KZ SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakultete, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire
LI 2006
IN VPLIV OZONA IN OSVETLJENOSTI NA RAZVOJ KORENIN BUKVE (*FAGUS SYLVATICA* L.)
TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP VIII, 45 str., 10 pregl., 26 sl., 0 pril., 31 vir.
IJ sl
JI sl/en

AL V okviru evropskega projekta CASIROZ (raziskovalni projekt, podprt z strani Evropske komisije v okviru 5. okvirnega raziskovalnega programa, 2002-2006) je bila analizirana arhitektura korenine triletnih bukev (*Fagus sylvatica* L.) s poskusne ploskve v Kranzberg Forst v Nemčiji. Skupno smo pregledali koreninske sisteme 89 drevesc, izpostavljenih dvema svetlobnima režimoma (trajna direktna sončan osvetlitev in trajna zasenčenost pod odraslimi drevesi) ter dvema koncentracijah ozona (normalna in do dvakratno povečana). Drevesca smo izkopali, koreninske sisteme očistili in jih slikali z optičnim čitalcem. Digitalne slike smo analizirali s programsko opremo WinRHIZO. Pridobljene podatke smo uredili v tri razrede po premeru korenin (razred 1: 0-1 mm; razred 2: 1-2 mm; razred 3: 2 in več mm) in izračunali še dodatne izvedene kazalce – specifično dolžino korenin (SRL), specifično površino korenin (SRA) in število vršičkov na dolžino korenin (TL). Urejene podatke smo statistično analizirali. Rezultati so pokazali značilne razlike v parametrih med režimoma osvetlitve, vpliv koncentracije ozona pa je bil značilen le pri vzorcih pod direktno sončno svetlobo. Pri osnovnih parametrih (dolžina, površina in volumen korenin ter število koreninskih vršičkov) je bil vpliv ozona opazen le v razredu 1 (pri dolžini tudi v primeru celotne dolžine korenin). Pri kazalcu TL je vpliv ozona značilen samo v debelinskem razredu 2. Kazalca SRL in SRA sta izkazovala značilne razlike zaradi vpliva ozona pri vzorcih pod direktno sončno svetlobo.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn
DC FDC 181.36:176.1 *Fagus sylvatica* L.:111.105+114 (043.2
CX ozone/exposure to the light/beechn (*Fagus sylvatica* L.)/tree roots/WinRHIZO
AU ŽELEZNIK, Peter
AA KRAIGHER, Hojka (mentor)
PP SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Forestry and
renewable Forest Resources
PY 2006
TI INFLUENCE OF OZONE AND LIGHT ON GROWTH OF BEECH (*FAGUS SYLVATICA*
L.) ROOTS
DT Graduation Thesis (University studies)
NO VII, 45 p., 10 tab., 26 fig., 0 ann., 31 ref.
LA sl
AL sl/en

AB In the frame of project CASIROZ (research project, supported by the European Commission under the 5th RTD Framework Programme, 2002-2006) we analyzed root architecture of three years old beech (*Fagus sylvatica* L.) trees, growing in containers on research plot in Kranzberger Forst (Germany). All together we analysed 89 trees, growing in two light regimes (direct sunlight and constant shade under mature beech trees) and under two ozone concentrations - normal and doubled. Young trees were excavated, their roots were cleaned. Digitized pictures of roots were taken with scanner and later analyzed with WinRHIZO. Gathered data were classified by root diameter in three classes (class 1: 0-1 mm; class 2: 1-2 mm; class 3: 2 and more mm). Three derived root indexes were calculated – specific root length (SRL), specific root area (SRA) and number of root tips per root length (TL). Statistical analysis was performed. Results showed significant impact of light regimes on roots in all cases. Influence of ozone was significant only with plants, fully exposed to sun; in case of basic parameters in diameter class 1. In case of indexes Index TL showed significant difference between samples in diameter class 2. With SRL and SRA, significant differences were discovered because of different ozone concentrations.

KAZALO VSEBINE

Kazalo VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK.....	VIII
1 UVOD.....	2
1.1 DELOVNE HIPOTEZE.....	3
2 PREGLED OBJAV.....	4
2.1 VPLIV OZONA.....	4
2.2 METODE PRIPRAVE KORENIN.....	5
2.3 KORENINSKI PARAMETRI	7
2.4 O BUKVI.....	8
3 MATERIAL IN METODE	9
3.1 RASTNE RAZMERE SADIK	10
3.2 PRIPRAVA SADIK	10
3.3 IZVAJANJE ANALIZE DIMENZIJ KORENIN.....	11
3.4 PROGRAMSKO ORODJE WINRHIZO	12
4.1 PODATKI	14
5 REZULTATI	17
5.1 OSNOVNI KORENINSKI PARAMETRI.....	19
5.1.1 ŠTEVILO KORENINSKIH VRŠIČKOV	19
5.1.2 DOLŽINA KORENIN.....	22
5.1.3 POVRŠINA KORENIN	25
5.1.4 VOLUMEN KORENIN	28
5.1.5 RASTLINSKA SUHA TEŽA	31
5.2 IZVEDENI PARAMETRI.....	32
5.2.1 SPECIFIČNA DOLŽINA KORENIN (SRL).....	32

5.2.2 SPECIFIČNA POVRŠINA KORENIN (SRA)	33
5.2.3 VRŠIČKI NA DOLŽINO KORENIN (TL)	34
6 RAZPRAVA IN SKLEPI	37
7 POVZETEK	41
8 VIRI	42
ZAHVALA	46

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Pomen in poimenovanje vzorcev med obdelavo podatkov	14
Preglednica 2: Rezultati statistične analize koreninskih parametrov.....	17
Preglednica 3: Rezultati analize števila koreninskih vršičkov (prikazane mediane).....	19
Preglednica 4: Rezultati analize razlik v dolžini korenin (prikazane mediane)	22
Preglednica 5: Rezultati analize razlik v površini korenin med vzorci (prikazane mediane)..	25
Preglednica 6: Rezultati analize razlik v volumnu korenin (prikazane mediane).....	28
Preglednica 7: Rezultati analize razlik v suhi teži korenin (prikazane mediane)	31
Preglednica 8: Rezultati analize razlik v specifični dolžini korenin (prikazane mediane)....	32
Preglednica 9: Rezultati analize razlik v specifični površini korenin (prikazane mediane)..	33
Preglednica 10: Rezultati analize razlik kazalca TL	34

KAZALO SLIK

Slika 1: Značilna akutna poškodba asimilacijskega aparata (vir: Casiroz, 2005).....	5
Slika 2: FACOS – sistem odrov v drevesnih krošnjah (vir: Casiroz, 2006).....	9
Slika 3: Digitalni posnetek korenin, pripravljen na analizo z WinRHIZO	13
Slika 4: Mediane celotnega števila vršičkov po vzorcih s centili	20
Slika 5: Mediane števila vršičkov debelinskega razreda 1 s centili.....	20
Slika 6: Mediane števila vršičkov debelinskega razreda 2 s centili.....	21
Slika 7: Mediane števila vršičkov debelinskega razreda 3 s centili.....	21
Slika 8: Mediane celotne dolžine po poskusnih blokih s centili.....	23
Slika 9: Mediane dolžine korenin razreda 1 s centili.....	23
Slika 10: Mediane dolžine korenin razreda 2 s centili.....	24
Slika 11: Mediane dolžine korenin razreda 3 s centili.....	24
Slika 12: Mediane celotne površine korenin po poskusnih blokih s centili.....	26
Slika 13: Mediane površine korenin razreda 1 s centili	26
Slika 14: Mediane površine korenin razreda 2 s centili	27
Slika 15: Mediane površine korenin razreda 3 s centili	27
Slika 16: Mediane celotnega volumna po blokih s centili.....	29
Slika 17: Mediane volumna razreda 1 po blokih s centili	29
Slika 18: Mediane volumna razreda 2 po blokih s centili	30
Slika 19: Mediane volumna razreda 3 po blokih s centili	30
Slika 20: Mediane suhe teže po blokih s centili.....	31
Slika 21: Mediane SRL po blokih s centili	32
Slika 22: Mediane SRA s centili	33
Slika 23: Mediane kazalca TL s centili.....	35
Slika 24: Mediane kazalca TL v razredu 1 s centili.....	35
Slika 25: Mediane kazalca TL v razredu 2 s centili.....	36
Slika 26: Mediane kazalca TL v razredu 3 s centili.....	36

»Ali veš, da drevesa govorijo? Pogovarjajo se med seboj. Tebi govorijo, če jim prisluhneš. Beli človek tega ne razume. Ne zdi se mu vredno, da bi poslušal Indijance. Bojim se, da tudi drugim glasovom narave ne bo prisluhnil. Mene samega so drevesa veliko naučila: včasih kaj o vremenu, včasih kaj o živalih, včasih kaj o Veliki skrivnosti.«

Hodeči Bizon (Tatanga Mani) 1871-1967

1 UVOD

Človeštvo se vedno bolj sooča s posledicami izrednega tehnološkega napredka v 20. stoletju in brezskrbnega ter neusmiljenega izkoriščanja naravnih virov. Znanstveniki svarijo, da se raven polucije na Zemlji vztrajno bliža točki brez povratka, ko bodo spremembe naravnih življenjskih sistemov, predvsem njihova degradacija, postale nepovratne in usodne za prihodnost življenja na Zemlji.

Ozon (posebna alotropska oblika kisika) je trajno prisoten v Zemljinem ozračju. Na višini 20 – 30 km tvori ozonsko plast ali ozonski ščit, ki prestreza različne življenju nevarne dele kratkovalovnega sončnega sevanja. V zadnjih desetletjih je prišlo do kritičnega zmanjševanja ozonskega ščita, predvsem zaradi izpustov velikih količin klora in broma v atmosfero v različnih kemičnih spojinah. Prihodnost ozonskega ščita ni več tako črna kot pred desetletji, saj smo v zadnjih letih uspeli zmanjšati izpuste polutantov do te mere, da se lahko pričakuje normalizacija stanja do sredine 21. stoletja (UK Stratospheric Ozone Measurements, 2006).

V nasprotju s stratosfero pa se koncentracije ozona v troposferi stalno povečujejo. Od odkritja ozona v 2. polovici 19. stoletja se je do danes koncentracija ozona iz povprečnih 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na istem mestu povečala za faktor 2 (Haagen-Smit, 1992; cit. po Batič in sod., 1999). Najvišje koncentracije prizemnega ozona nastajajo nad urbanimi območji, medtem ko ozon v nenaseljene predele večinoma pride s pomočjo daljinskega transporta po zraku. Izven urbanih območij so koncentracije ozona ponavadi nižje, saj je sproščanje snovi, ki so osnova za tvorbo ozona, razmeroma majhno. Podatki monitoringa koncentracije troposferskega ozona kažejo, da so se maksimalne koncentracije troposferskega ozona v Severni Ameriki in Evropi v zadnjih letih zmanjšale (Ashmore, 2005), vendar pa se letna povprečna koncentracija vztrajno viša, predvsem zaradi porasta emisij v hitro razvijajočih se državah Azije, Južne Amerike in Afrike. Prognoze kažejo, da bo svetovni porast emisij presegel dobrodejni učinek zmanjšanja emisij fotoreagentov v Severni Ameriki in Evropi (Ashmore, 2005).

Ozon nastaja v fotokemičnih reakcijah iz fotooksidantov, katerih vir so kemične reakcije med dušikovimi oksidi, ogljikovodiki in ogljikovim oksidom. Koncentracija teh snovi v troposferi se večja zaradi človekovega delovanja, glavni vir sta industrija in promet.

Medtem ko se živa bitja na občasne majhne koncentracije troposferskega ozona sčasoma lahko prilagodijo z nevtralizacijo ozona z različnimi zaščitnimi snovmi, pa jim dolgotrajna povečana koncentracija troposferskega ozona škoduje (Batič in sod., 1999).

Namen diplomske naloge je bil opazovati vpliv ozona pri različni osvetljenosti na rast in razvoj korenin bukve. Iz namena smo oblikovali naslednje cilje:

- spoznavali bomo vplive osvetljenosti in povišane koncentracije ozona na rast korenin bukve,
- seznanili se bomo z uporabo različnih indeksov in metod ugotavljanja rasti korenin kot kazalcev stresa,
- preučili bomo problematiko definicije drobnih korenin,
- spoznali se bomo s programsko opremo WinRHIZO za izvajanje kvantitativnih meritev korenin,
- spoznavali bomo rast in razvoj korenin bukve.

1.1 DELOVNE HIPOTEZE

V skladu z namenom in cilji diplomske naloge smo si postavili tri delovne hipoteze:

- različna osvetljenost osebkov bukve vpliva na produkcijo asimilatov in s tem na rast korenin,
- povišana količina troposferskega ozona v okolici osebkov vpliva na fotosintezo ter na produkcijo asimilatov in posledično na rast korenin,
- različna osvetljenost osebkov bukve in različna koncentracija troposferskega ozona v njihovi bližini ima lahko sinergijske učinke na razvoj korenin.

2 PREGLED OBJAV

Vpliv troposferskega ozona na rast in razvoj nadzemnih delov rastlin je bil v zadnjih desetletjih veliko preučevan. Različni avtorji so ugotovili, da je povzročitelj večine poškodb, ki jih pripisujemo delovanju različnih fotooksidantov, ozon (glej Batič in sod., 1999). Vpliv ozona na podzemna rastlinska tkiva pa je slabo preučen predvsem zaradi težje dostopnosti korenin in relativno slabega poznavanja procesov v rizosferi.

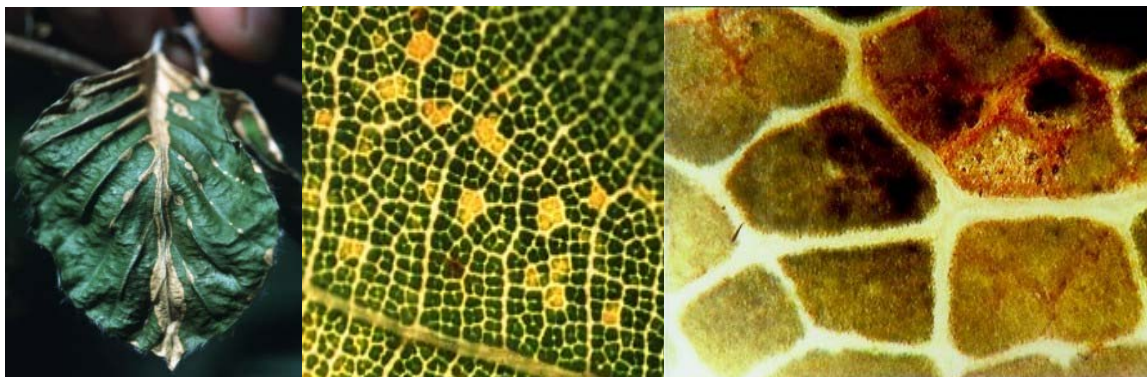
2.1 VPLIV OZONA

Ob vstopu ozona v liste lista reagira z vodo in tvori proste radikale, H_2O_2 ter hidroksilne ione. Te visoko reaktivne spojine lahko nato oksidirajo proteine in fosfolipide celičnih membran, s tem pa povečajo permeabilnost membran in tako direktno zavirajo fotosintezo (Topa in sod., 2004). Manjša intenziteta fotosinteze pomeni manj sintetiziranih organskih snovi za rastlino, poleg tega pa se njihova poraba še poveča zaradi sinteze antioksidantov in regeneracije celičnih membran. Listna tkiva se zaradi poškodb tudi hitreje starajo, kar povzroči dodaten padec v učinkovitosti fotosintetskih procesov (*ibid.*).

Različne drevesne vrste na zmanjšanje asimilacije reagirajo različno, reakcija je odvisna od genetske naravnosti, letnega časa, letne klime ipd. za vse vrste pa je značilno, da se zaradi ozona v splošnem zmanjšuje prirastek tkiv oz. rastlinske biomase. Herbinger s sodelavci (2005) poroča, da na jakost vpliva ozona močno vpliva tudi starost dreves. V njihovi raziskavi, opravljeni na odraslih drevesih in sadikah, katere smo raziskovali tudi mi, so ugotovili več značilnih razlik pri raznih fizioloških in biokemičnih parametrih, ne glede na to, da so drevesa rasla v enakih klimatskih pogojih. Poleg tega je pri odraslih drevesih izražena močnejša blažilna sposobnost ob ozonskem stresu, kajti na voljo imajo velike skladiščne organe (deblo, debele veje in korenine), ki zagotavljajo zadostne zaloge hrane in obrambnih snovi za obnovo poškodovanih tkiv. Nadalje so opazili različno občutljivost na ozon pri senčnih in sončnih listih ter med odraslimi in mladimi

drevesi. Posamezne drevesne vrste so različno občutljive na povečane koncentracije ozona (Bortier in sod., 1999). Pionirske vrste (breze, topoli ipd.) so zaradi svojega intenzivnejšega metabolizma bolj občutljive od klimaksnih vrst (bukev).

Poskus, ki ga je na mladikah bukve opravljala Thomas s sodelavci (2006) je pokazal, da je povečana količina ozona vplivala na listno površino, relativno vsebnost vode v listih, rast poganjkov, biomaso korenin in povzročila zmanjševanje koncentracije škroba v drevescih. Meritve so izvajali 3 leta, drevesca pa so bila na koncu stara 4 leta. Muzika (2004) je s sodelavci opazoval razvoj tekočega prirastka temeljice v bukovih gozdovih Karpatov, v predelih, ki so ali so bile v preteklosti močno obremenjene s prekoračitvami mejnih koncentracij ozona, žveplovega dioksida in dušikovega dioksida. Poroča o zmanjševanju prirastka temeljnice v zadnjih desetletjih. Poleg tega se upadanje prirastka nadaljuje tudi tam, kjer so se koncentracije polutantov močno zmanjšale. Različni polutanti lahko na drevje vzajemno delujejo sinergistično ali pa se njihov vpliv pomnožuje. Vpliv polutantov je verjetno dolgoročen.



Slika 1: Značilna akutna poškodba asimilacijskega aparata (vir: Casiroz, 2005)

2.2 METODE PRIPRAVE KORENIN

Pri pregledu literature smo se poleg primerjanja rezultatov različnih raziskav usmerili tudi na primerjanje metod priprave korenin za analize.

Bakker (1999) v svojem članku navaja protokol priprave korenin, ki je podoben našemu. Pred pripravo so bili vzorci shranjeni do 3 mesece pri temperaturi 1⁰C. Nato je sledilo izpiranje z vodo, kjer so uporabljali dvoje sit z mrežo 2 in 4 mm. Korenine so nato še za kratek čas pustili v stoječi vodi. Zanimale so jih je korenine s premeri do 2 mm. Ločevali so tudi mrtve od živih korenin. Dolžino so določali po okularni metodi intersektov po Tennantu (1975, cit. po Bakker, 1999). Dolžina se je ugotavljala pod stereolupo in sicer se šteje, kolikokrat korenine presekajo črte merilne mreže. Za meritev suhe teže so korenine sušili pri temperaturi 105 ⁰C dokler se njihova teža ni ustalila. Avtor tudi omenja problem izgube in poškodovanja rastlinskega materiala med pripravo korenin. Med pripravo naj bi tako izgubili do 20% celotne teže korenin in do 25% dolžine korenin. Napake so nastale zaradi izgube koreninskega materiala pri izpiranju skozi sita; zaradi izgub med namakanjem in prebiranjem s finim orodjem; izgubo teže med shranjevanjem; precenjevanja teže zaradi slabo očiščenih korenin in tudi zaradi nepravilne identifikacije živih in mrtvih korenin.

Brunner in sod. (2002) so pri raziskovanju stanja korenin v odvisnosti od talnega pH vzorce za analizo pripravili tako, da so vzorce presejali skozi sito z mrežo velikosti 1cm in sprali pod vodo, s čimer so odstranili talni substrat. Korenine so nato prebrali ročno in sicer v dva velikostna razreda: grobe korenin s premerom od 1 do 5 mm in fine korenine s premeri do 1mm. Suho težo so izmerili po tridnevem sušenju korenin pri temperaturi 60 ⁰C.

Majdi in Andersson (2005) sta vzorce po zajemu 3 mesece hranila v plastičnih vrečkah pri temperaturi -18 ⁰C. Vzorce sta nato čez noč namakala v vodi, da so se razmočili. Preostalo zemljo sta ročno spirala skozi sita in korenine smreke nato razdelila v 3 debelinske razrede (premer do 1 mm, od 1 do 2mm, od 2 do 5mm). Za ugotavljanje suhe teže sta korenine sušila 24 ur pri 70 ⁰C. Ostali raziskovalci so uporabljali podobne metode.

2.3 KORENINSKI PARAMETRI

Različni avtorji trdijo, da so parametri, ki temeljijo na stanju finih korenin, še slabo raziskani in bi v take raziskave bilo vredno vložiti več truda. Predvsem so problem definicije in mejne vrednosti parametrov ter ponavadi majhno število poskusnih osebkov. Raziskave koreninskih parametrov lahko predstavljajo pomemben, zanesljiv in ekonomičen način pridobivanja informacij o stanju okolja v gozdu in o vplivih našega gospodarjenja. Npr. koncentracija hranil v koreninah je po mnenju nekaterih raziskovalcev (Persson in sod., 1995, cit. po Brunner in sod., 2002) boljši indikator stanja tal kot koncentracija hranil v listih (Kraigher, 1991).

Osnovni parametri, ki smo jih opazovali v naši raziskavi, so v literaturi precej omenjeni. V literaturi se za osnovne koreninske parametre pojavlja izraz »velikost korenin«, vendar avtorji (Hodge, 2004) svarijo pred posploševanjem izraza na samo nekaj parametrov, saj so koreninski sistemi rastlin visoko specializirani organi, po zgradbi izredno heterogeni, saj se nahajajo v heterogenem mediju – zemlji. Meritve npr. koreninske biomase niso nujno pokazatelji celotne absorptivne površine koreninskega sistema, spremembe v arhitekturi koreninskega sistema pa se lahko pojavijo brez spremembe v celotni biomasi (Hodge, 2004).

Poleg raziskav osnovnih parametrov se v zadnjem času intenzivno razvijajo izvedeni parametri. Eissenstat in Caldwell sta uvedla (1988, cit. po Hodge, 2004) izvedeni parameter **specifična dolžina korenin** (*specific root length* – SRL). Gre za razmerje med dolžino korenin in njihovo maso. Parameter se uporablja za prognoziranje zmožnosti reagiranja koreninskih sistemov na povečanje hranil v tleh. Specifična dolžina korenin se spreminja s premerom (čeprav je odvisna tudi od gostote tkiva) in se uporablja kot nadomestek za premer. V osnovi pomeni večja vrednost parametra večjo zmožnost reagiranja na spremembe v okolju, vendar so nekatere raziskave pokazale ravno nasprotno. Leuschner in sod. (2004) uporabljajo še **specifično površino korenin** (*root specific surface area* – SRA; površina v cm² na suho težo v gramih). Omenjajo še **indeks površine finih**

korenin (*fine root area index* – FRAI; površina korenin v m² na površino tal v m²) – pod izrazom fine korenine mislimo na korenine s premeri manjšimi od 2 mm. **Gostoto finih korenin** (*fine root density* – FRD) izračunamo kot količnik med suho težo korenin in volumnom zemlje vzorcev. Robek z sodelavci (2001) je uporabljal kazalec TL – **število koreninskih vršičkov na dolžino korenin**.

V raziskavi smo uporabili izvedene parametre, ki smo jih glede na naravo podatkov lahko uporabili v obeh svetlobnih režimih in tako vrednosti parametrov primerjali med sabo.

2.4 O BUKVI

Bukev (*Fagus sylvatica* L.) je že dolgo poznana kot vrsta z zelo široko ekološko amplitudo prilagojenosti na razmere v okolju. Odzivnost bukve na ozon glede na druge drevesne vrste je raziskoval Bortier z sodelavci (1999). Počasneje rastoče drevesne vrste, kot je bukev, so na povečane koncentracije ozona manj občutljive.

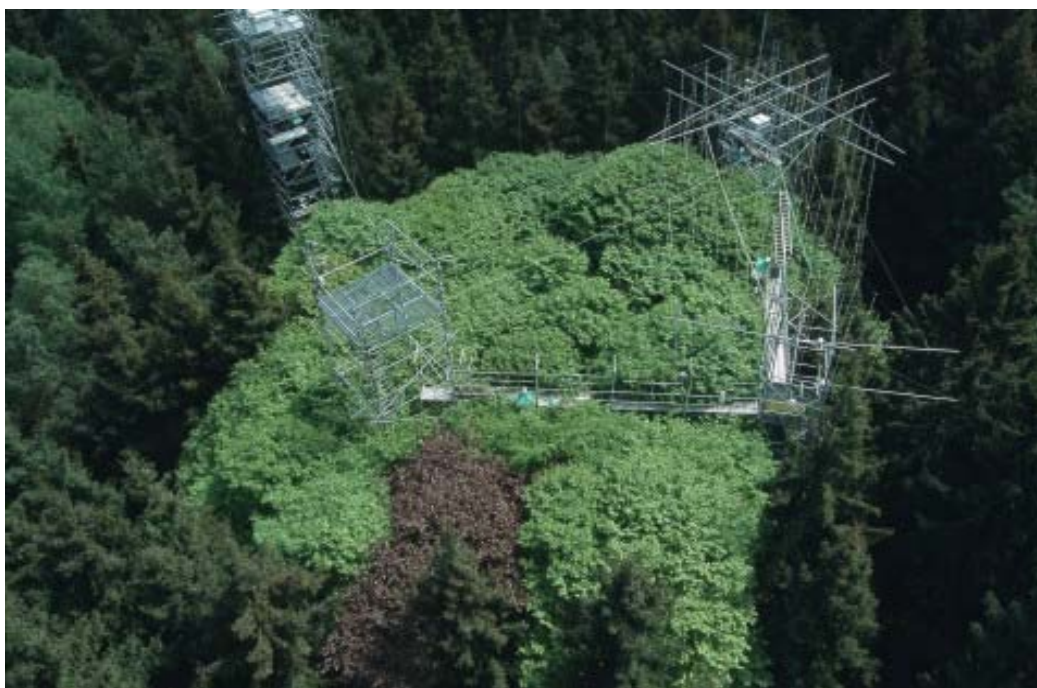
Bukev v idealnih pogojih razvije tipičen srčast koreninski sistem. V takem sistemu glavna korenina s starostjo izgublja na pomenu ali celo odmre, stranske korenine pa pridobivajo na pomenu. V krogu okoli debla se korenine razraščajo navpično ali poševno navzdol, stranske korenine pa se raztezajo izven horizontalne projekcije krošnje (Pučko, 2003).

Gostota tankih korenin pri bukvi je v enakih razmerah 3-4 krat večja kot pri redečem boru (*Pinus sylvestris*). Od iglavcev ima bukev glede gostote podoben koreninski sistem sistemu duglazije, med listavci pa ima gostejši sistem le lipa (Köstler in sod., 1964, cit. po Pučko, 2003). Gostota tankih korenin je največja na humusnih tleh, najmanjša pa na mineralnih tleh. Strober in sod. (2000, cit. po Pučko, 2003) so izračunali težo manj kot 1mm debelih korenin v 1 cm globoki plasti na globini od 1 do 5 cm, ki znaša 16,3 g/m².

V primerjavi s težo celega drevesa je teža koreninskega sistema majhna. Pri starosti 90 let predstavlja koreninski sistem le 13% celotne teže drevesa, kar je posledica majhnega deleža debelih in velikega deleža zelo tankih korenin (Kutschera in Lichtenegger, 2002, cit. po Pučko, 2003). Mlade bukvice v našem poskusu, stare 3 leta, so imele jasno oblikovano glavno korenino, iz katere so rasle stranske.

3 MATERIAL IN METODE

Praktični del diplomske naloge smo opravili v Laboratoriju za gozdno fiziologijo in genetiko Gozdarskega inštituta Slovenije (GIS) in sicer na sadikah bukve (*Fagus sylvatica* L.), v sklopu evropskega projekta CASIROZ (Casiroz, 2006). Na raziskovalni ploskvi v Kranzberg Forst pri Freisingu (Nemčija) je bil v okviru projekta postavljen ti. Free Air Canopy Ozone Exposure System (FACOS), s katerim odraslim bukovim drevesom dovajajo podvojeno količino troposferskega ozona (Železnik in sod., v tisku). Projekt je bil zasnovan za preučevanje dolgotrajnega učinka troposferskega ozona na odrasla drevesa bukve v srednjeevropskih sestojnih razmerah.



Slika 2: FACOS – sistem odrov v drevesnih krošnjah (vir: Casiroz, 2006)

3.1 RASTNE RAZMERE SADIK

Vse sadike so rasle v 20 zabojnikih globine 34 cm. V zabojniku je bilo 6 rastlin v 30 dm³ zemljine z raziskovalne ploskve. Zemlja je bila v zabojniku razporejena tako, da so bili posnemani talni horizonti. Zadnjih 5 cm pri dnu je bilo zapolnjenih z drenažnim materialom, čisto na dnu pa je bila inertna plastična mreža debeline okrog 3 mm (Železnik in sod., v tisku). Zabojniki so bili dve vegetacijski sezoni na prostem. 10 zabojnikov je bilo izpostavljenih soncu v sončnih delih krošenj odraslih dreves, in sicer na poskusnih stolpih na višini 25 m (Herbinger in sod., 2005), 10 pa je bil v senci na tleh pod drevesi. Nadalje so znotraj obeh skupin (blokov) 30 sadik izpostavili normalni koncentraciji ozona (koncentracija, običajna za raziskovalno ploskev), 30 sadik pa dvakratni normalni koncentraciji (povečana koncentracija ni presegala 150 ppb, s čimer so preprečili akutne poškodbe). Ozon je bil umetno dodajan le v drugem primeru. Zemljo v zabojnikih, izpostavljenih soncu, so ves čas poskusa ohranjali primerno vlažno, zalivani so jih ročno. Zabojnikov v senci niso zalivali (Železnik in sod., v tisku). Prav tako v zabojnikih niso pleli, zato so bile poleg bukvic prisotne še mnoge druge rastline, še posebej v zabojnikih na soncu (*ibid.*).

3.2 PRIPRAVA SADIK

Vzorci so bili v septembru 2004 izkopani in v plastičnih vrečah transportirani v Slovenijo, kjer smo jih do začetka obdelave hranili v hladilniku pri temperaturi 3 do 5 °C.

Pri izvajanju kvantitativnih meritev na koreninah se srečujemo z mnogimi problemi. Korenine so sestavni del rizosfere in so z ostalo materijo v tleh močno povezane. Ob čiščenju koreninskih sistemov ne vemo, kako močno so korenine povezane z talnim substratom in jih z nepredvidnim ravnanjem hitro poškodujemo ali celo uničimo. Korenine je potrebno kar najhitreje prenesti v laboratorij, kjer jih pripravimo za analizo. Poleg tega je potrebno paziti tudi na dolžino hranjenja korenin v hladilnikih, saj so korenine živo tkivo, ki ob ločitvi od rastline pri

neprimernem shranjevanju začne propadati. Tako smo se trudili, da smo očiščene korenine poslikali v čim krajšem času. Priprava korenin je zelo destruktivna in lahko med njo znatno poškodujemo korenine vzorca – odstraniti je namreč potrebno ves talni substrat, tako da ostanejo le korenine (Železnik, 2004).

Obdelava korenin se je začela z zajemanjem štirih vzorcev zemlje s sondo. V vzorcih smo opazovali prisotnost sklerocijev glive *Cenococcum geophilum* (FR). Zemljo smo začeli s korenin odstranjevati tako, da smo vsebino vsake vreče (tj. zabojnika) posebej spirali pod tekočo vodo skozi tri cedila z velikostjo mrež od 1 do 0,5mm. Tako očiščene korenine smo potem v stoječi vodi s pomočjo pincete, igle in čopiča previdno očistili preostalega talnega substrata in jih do začetka slikanja z optičnim čitalcem hranili v hladilniku v vodi pri temperaturi 3 do 5 °C, da se niso izsušile. Po opravljenem slikanju smo v mikroskopirnici opravili analizo prisotnosti mikoriznih gliv na koreninah. Sveže korenine smo stehali, jih 48 ur sušili v sušilniku pri temperaturi 80 °C in nato ponovno stehali. Suho težo smo ugotavljali za celotne koreninske sisteme.

Vzorci, rastoči pod zastorom krošenj, so bili v splošnem manjši, zato smo pri njih analizirali celotne koreninske sisteme bukev. Vzorci, trajno izpostavljeni soncu, pa so bili precej večji, zaradi tega pa smo pri njih izvedli analizo treh stranskih korenin na globini 5 do 10 cm ter treh stranskih korenin na globini 15 do 30 cm.

3.3 IZVAJANJE ANALIZE DIMENZIJ KORENIN

Standarden sistem za avtomatsko analizo dimenzij korenin in koreninskih sistemov je opremljen z zmogljivim optičnim čitalcem in potrebno programsko opremo za analizo slik. V Laboratoriju za gozdno fiziologijo in genetiko na (GIS) uporabljamo avtomatski sistem za obdelavo slik kanadskega proizvajalca Régent Instruments. Sestavlja ga zmogljiv osebni računalnik in optični čitalec Epson STD 1600+. Optični čitalec ima dodano tudi enoto za prosojnice. Poseben pokrov je dvignjen nad površino čitalca, tako da na čitalec lahko polagamo prirejene pladnje iz

prosojne plastike z vzorci korenin. Korenine slikamo potopljene v vodi. Pred vdorom moteče stranske svetlobe so pladnji dodatno zaščiteni z okvirjem iz polprosojne črne plastike. Sistem poganja programska oprema WinRHIZO v okolju Windows 98 (Železnik, 2004).

Očiščene koreninske sisteme smo slikali z optičnim čitalcem in digitalne slike kasneje analizirali s programsko opremo. Rezultate analize smo uredili in zbrali v Excelovi datoteki.

3.4 PROGRAMSKO ORODJE WINRHIZO

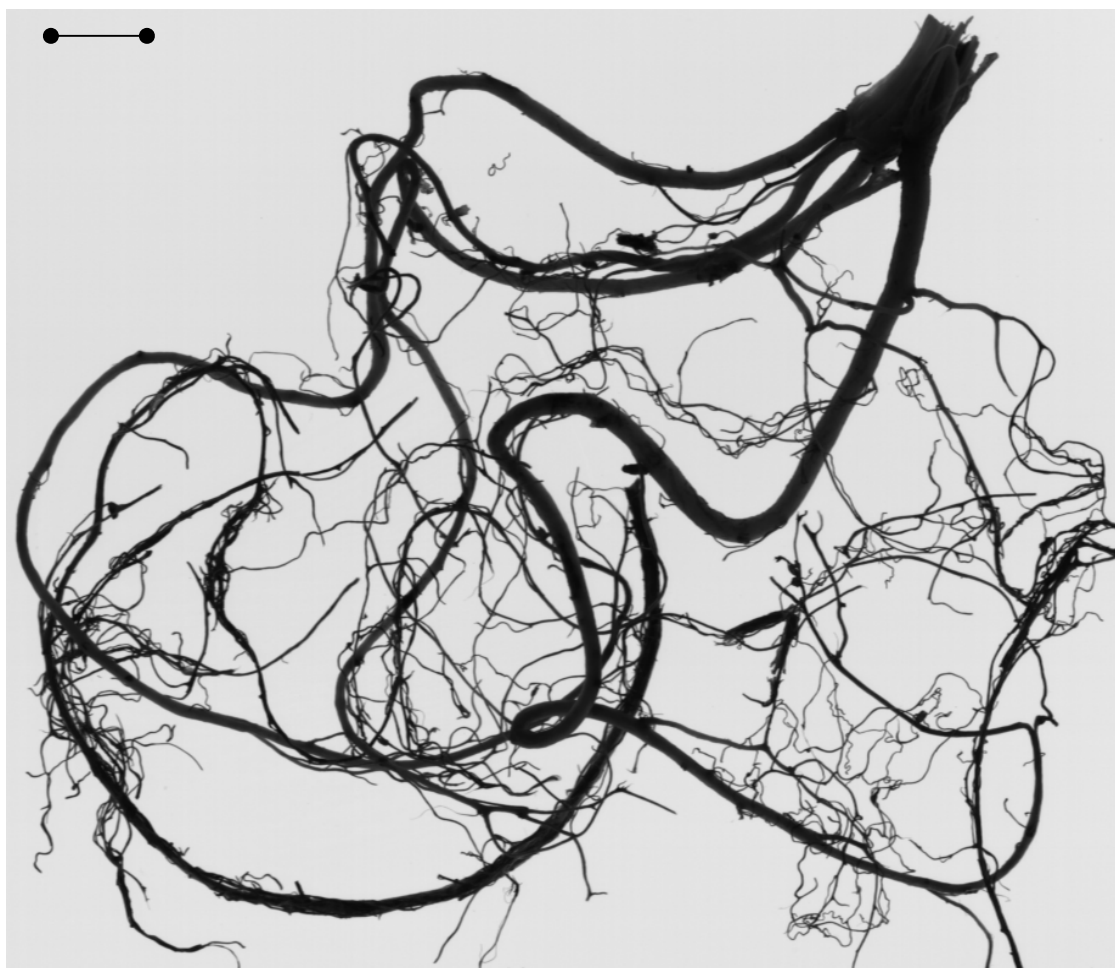
Pri analizi digitalnih posnetkov korenin smo uporabljali program WinRHIZO, verzija 2002c. Z uporabljeno verzijo lahko izvajamo širok spekter meritev na digitalnih posnetkih korenin, bodisi iz talnih vzorcev bodisi celotnih koreninskih sistemov (mladike, nelesne rastline). WinRHIZO omogoča analizo celotne slike ali selektivno analizo, pri kateri dele slike poljubno izločimo ali vključimo v analizo (Železnik, 2004). Osnova je razločevanje osnovnih enot digitalne slike – osnovnih točk ali pikslov. Tako se program na osnovi algoritmov odloča kateri piksli na sliki pripadajo korenini, kateri pa ostalim elementom slike.

Programska oprema omogoča izvajanje veliko različnih meritev, nas pa so zanimale predvsem naslednje:

- površina korenin v dotiku z zemljo
- volumen korenin
- dolžina korenin
- število koreninskih vršičkov

Vzorec, namenjen slikanju, mora biti čim bolj očiščen. Zrnca zemlje, odpadlo lubje s korenin ipd., zmanjšajo natančnost rezultatov analize. V tem pogledu je priprava vzorcev za slikanje lahko bolj destruktivna kot priprava vzorcev za ročno štetje in meritve. WinRHIZO namreč izvaja osnovne meritve na črnobelih slikah in tako ne

loči med korenino in delci zemlje, sprijetimi s korenino. Manjše tujke v vzorcu, ki jih nismo odstranili, lahko pred analizo izločimo, ponavadi pa tudi nastavimo prag ločljivosti objektov, ki jih računalnik pri analizi avtomatično izloči iz nje. Prav tako je možno nastavljati prag občutljivosti računalnika na sive tone, tj. področja na sliki, ki niso popolnoma bela ali črna (zasedena z objekti). Tako lahko iz analize v naprej izločimo dele nelesnih rastlin, hife gliv ipd. (Železnik, 2004).



Slika 3: Digitalni posnetek korenin, pripravljen na analizo z WinRHIZO (merilo: 2 cm)

4. STATISTIČNA ANALIZA

4.1 PODATKI

Podatke, pridobljene s programom WinRHIZO smo razdelili v 4 skupine (bloke). Analizirali smo 89 vzorcev: 30 vzorcev Sonce 1xO₃, 30 vzorcev Sonce 2xO₃, 15 vzorcev Senca 1xO₃ in 14 vzorcev Senca 2xO₃. Ostala drevesca, ki so bila vključena v projekt Casiroz, so bila uporabljena v drugih analizah znotraj projekta, nekaj sadik pa je med poskusom propadlo.

Preglednica 1: Pomen in poimenovanje vzorcev med obdelavo podatkov

Poimenovanje	Poimenovanje v stat. analizi	Pomen poimenovanja
Sonce 1xO ₃	11	vzorci na soncu + normalna konc. ozona
Sonce 2xO ₃	12	Vzorci na soncu + povečana konc. ozona
Senca 1xO ₃	01	Vzorci v senci + normalna konc. ozona
Senca 2xO ₃	02	Vzorci v senci + povečana konc. ozona

Podatki za trajno zasenčene vzorce veljajo za celotne koreninske sisteme sadik, za razliko od podatkov za vzorce, izpostavljene direktnemu sončnemu obsevanju, ki smo jih pridobili z analizo 6 lateralnih korenin na dveh globinah. Za takšen postopek smo se odločiti zaradi dimenzij koreninskih sistemov drevesc izpostavljenih soncu, njihovega večjega števila in omejenega števila delovnih ur, namenjenih obdelavi vzorcev. Zavedamo se, da smo s tem povzročili določeno napako pri rezultatih analize vzorcev izpostavljenih soncu, saj je bilo včasih težko določiti 3 lateralne korenine na določeni globini zaradi heterogenosti razrasti koreninskih sistemov.

Zaradi načina vzorčenja smo morali pred statistično analizo izvesti korekcijo podatkov. WinRHIZO podatki za korenine drevesc na soncu smo morali popraviti po sledeči formuli (Železnik in sod. 2006):

$$X_{sun-tot} = X_{sun-6} \cdot \left(\frac{St_{sun} \cdot V_{sha-aver}}{V_{sun-6} \cdot St_{sha-aver}} \right)$$

Legenda:

$X_{sun-tot}$ - vrednost parametra x za celotno korenino vzorca na soncu

X_{sun-6} - vrednost parametra x za 6 lat. korenin vzorca na soncu

St_{sun} - suha teža vzorca na soncu

V_{sun-6} - delni volumen vzorca na soncu

$V_{sha-aver}$ - povprečna vrednost volumna za vzorce v senci

$St_{sha-aver}$ - povprečna vrednost suhe teže za vzorce v senci

Formula temelji na predpostavki, da je med suho težo in volumnom koreninskih sistemov mladih drevesc, gojenih v zabojnikih, linearna povezava. Prav tako med vsemi ostalimi parametri korenin obstaja močna pozitivna korelacija.

V formulo vstavljamo posamezne vrednosti parametrov koreninskih sistemov drevesc izpostavljenih soncu in jih primerjamo z razmerjem povprečja suhih tež in volumnov trajno zasenčenih drevesc. Povprečni volumen ($V_{sha-aver}$) in povprečno suho težo trajno zasenčenih korenin ($St_{sha-aver}$) smo izračunali za vsako koncentracijo ozona posebej.

Podatke pridobljene z analizo slik koreninskih sistemov smo statistično obdelali s statističnim programskim paketom SigmaStat 3.11 za Windows (Systat Software, Inc.) na osebem računalniku v operacijskem sistemu Microsoft Okna XP.

Ker se je izkazalo, da se podatki ne porazdeljujejo normalno ali pa variance vzorcev niso bile homogene, za preizkus razlik nismo mogli uporabiti parametričnih testov (SigmaPlot, 2004). Neparametrični testi nam sicer ne morejo predočiti jakosti razlik med vzorci, vendar nas je zaradi narave podatkov (del jih je bil vzorčen), predvsem zanimalo ali razlike med vzorci obstajajo. Podatke smo tako analizirali s Kruskal-Wallisovim testom razlik med vzorci. Ta test pove le ali razlike med vzorci so ali ne, zato smo izvedli še parne multiple primerjave po Dunnovi metodi, s katerimi smo podrobneje preučili razlike med posameznimi pari blokov

(SigmaPlot, 2004). Hipoteze smo sprejemali s tveganjem največ 5%. Takšen rezultat smo označili z zvezdico - *. Pri tveganju 1% smo rezultat označili z dvema zvezdicama - **, pri tveganju 0,1% ali manj pa s tremi zvezdicami - ***. Razlike med svetlobnima režimoma so bile v splošnem vedno značilne. Ponekod smo neznčilne razlike označili tudi z ⁰, v kolikor tak rezultat ni bil v skladu z našimi pričakovanji. Za razlike med koncentracijama ozona znotraj svetlobnega režima smo predvidevali da niso različne, zato smo značilne razlike označevali.

5 REZULTATI

Vplive faktorjev smo preizkušali za osnovne parametre in za nekatere izvedene parametre. Vrednosti vseh parametrov smo, tam kjer je to bilo mogoče, predstavili tudi po debelinskih razredih. Po razredih razdeljene parametre smo označili s prvo črko imena parametra in številko debelinskega razreda. Debelinske razrede smo oblikovali glede na premer korenin, in sicer kot je objavljeno v literaturi (Olszyk in sod., 2001; Leuschner in sod. 2004):

Razred 1 - 0 do 1 mm premera (najfinejše korenine),

Razred 2 - 1 do 2 mm premera (fine korenine),

Razred 3 - 2 in več mm premera (grobe korenine).

V **Preglednici 2** so zbrani rezultati statistične analize parametrov korenin bukve. Predstavljamo mediano in značilnost razlik med vzorci vrednosti osnovnih parametrov, vrednosti parametrov po debelinskih razredih in izbranih izvedenih parametrov. Rezultati statistične analize so razdeljeni na rezultate testa razlik Kruskal- Wallis (K-W) med štirimi bloki in rezultate testa razlik z Dunnovimi primerjavami parov. V razpredelnicah predstavljamo mediane, ker so tako predstavljeni rezultati statistične analize s SigmaPlot.

Na grafu rezultatov so predstavljene mediane blokov s pripadajočimi centili – 5., 10., 25., 75., 90. in 95. 5. in 95. sta prikazana v kolikor ne sovpadata z 10. in 90. centilom.

Preglednica 2: Rezultati statistične analize koreninskih parametrov (mediane in značilnost razlik med njimi)

Parametri	Vzorci				Rezultati statistične analize	
	Senca 1xO3	Senca 2xO3	Senca 1xO3	Senca 2xO3	Značilnost K-W	Dunn
	01	02	11	12		
Suha teža (g)	2,478	1,498	7,235	6,601	***	
Dolžina (cm)	1881,178	1037,855	9801,62	5716,5	***	11-12*
D 1	1674,956	938,145	9295,73	5325,5	***	11-12*
D 2	83,285	53,547	471,537	346,84	***	
D 3	23,844	22,618	28,713	31,624	Razlike niso značilne (P=0,586)	
Površina (cm ²)	263,788	165,474	1192,85	763,87	***	
P 1	161,033	89,756	837,975	517,46	***	11-12*
P 2	33,765	22,073	188,685	143,43	***	
P 3	27,813	22,338	26,468	24,912	Razlike niso značilne (P=0,522)	
Volumen (cm ³)	2,835	2,001	10,946	8,247	***	
V 1	1,832	1,006	8,585	5,647	***	11-12*
V 2	1,146	0,755	6,025	4,773	***	
V 3	3,28	2,93	1,408	1,549	**	01-02 ⁰ ; 02-11 ⁰ ; 02-12 ⁰ ; 11-12 ⁰
Vršički	5307	2429	22334,2	15200	***	
Vr 1	5262	2411,5	22236,7	15112	***99	
Vr 2	31	12	83,539	64,072	***	
Vr 3	6	3	0	4,793	Razlike niso značilne (P = 0,240)	
SRL	770,373	690,078	1342,32	947,26	***	11-12*; 01-12 ⁰
SRA	111,903	106,25	159,57	121,74	***	11-12*; 01-12 ⁰
TL	2,644	2,624	2,635	2,722	Razlike niso značilne (P=0,966)	
TL 1	2,915	2,914	2,793	2,86	Razlike niso značilne (P=0,966)	
TL 2	0,382	0,273	0,216	0,2	***	01-11*; 01-12*; 02-11 ⁰ ; 02-12 ⁰ ; 11-12 ⁰
TL 3	0,196	0	0	0	Razlike niso značilne (P=0,244)	

5.1 OSNOVNI KORENINSKI PARAMETRI

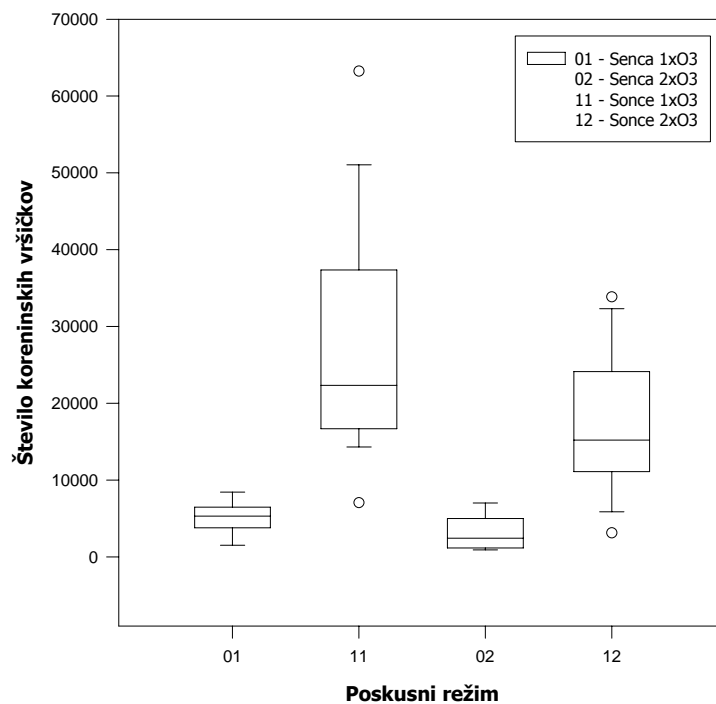
5.1.1 ŠTEVILO KORENINSKIH VRŠIČKOV

Večina koreninske komunikacije se opravi preko drobnih korenin, katerih številčnost lahko v grobem predstavlja število koreninskih vršičkov. Najbolj aktivne so najfinejše korenine (debelinski razred 1 oz. Vr 1), zato jih je tudi največ. Delež vršičkov v ostalih dveh razredih je bil v primerjavi z razredom 1 zanemarljiv, saj je bilo v razredu 1 kar 99% vseh vršičkov.

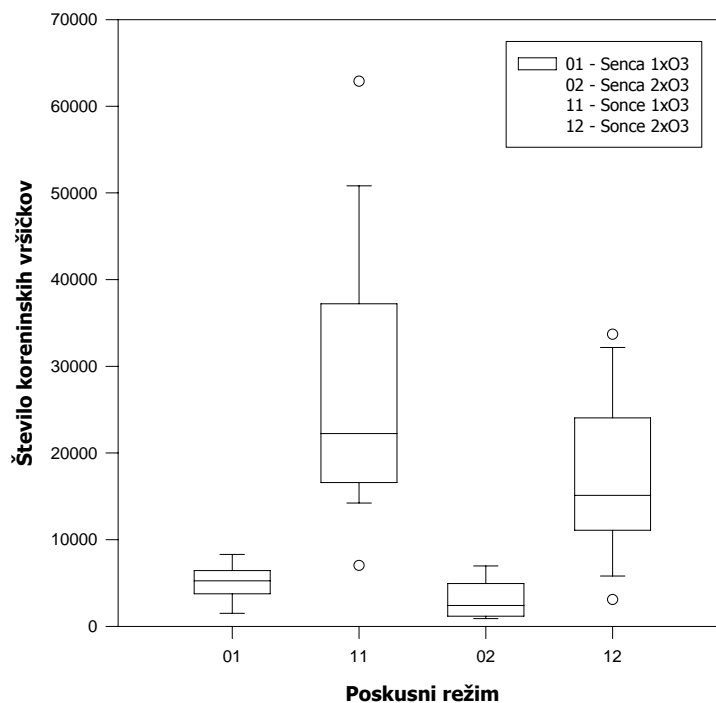
Preglednica 3: Rezultati analize števila koreninskih vršičkov (prikazane mediane)

Parametri	Vzorci				Razlike med vzorci
	01	02	11	12	
Vršički	5307,000	2429,000	22334,246	15200,415	***
Vr 1	5262,000	2411,500	22236,669	15112,281	***
Vr 2	31,000	12,000	83,539	64,072	***
Vr 3	6,000	3,000	0,000	4,793	

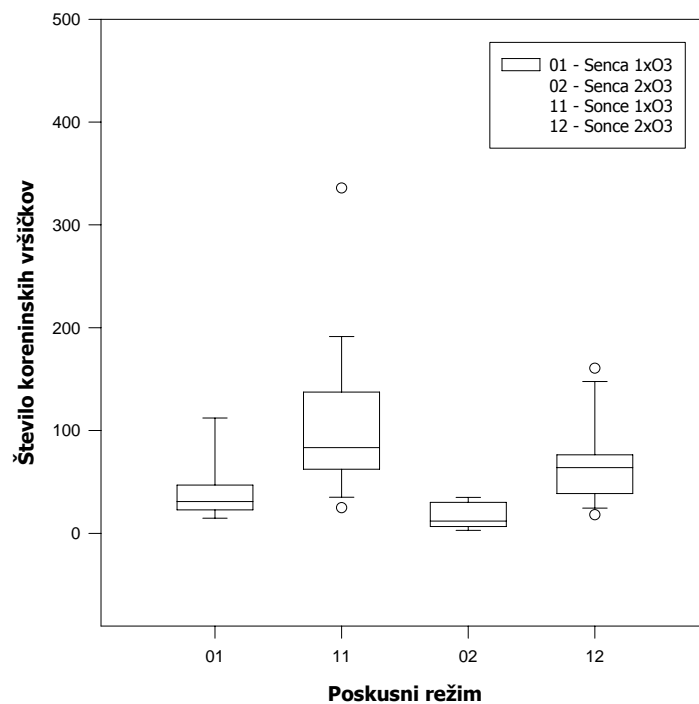
Število koreninskih vršičkov je občutno večje pri rastlinah izpostavljenih soncu (Slike 4,5,6,7). Prav tako je pri koreninah drevesc izpostavljenih soncu, opazna večja variabilnost v številu vršičkov. Vpliv ozona je opazen, še posebej pri bukvicah, izpostavljenih soncu. Število koreninskih vršičkov (Slika 4) je bilo pri bukvicah podvrženim dvojni koncentraciji ozona, manjše od tistih pri normalni koncentraciji, vendar te razlike niso značilne. V razredu 3 gre pri rastlinah na soncu verjetno za napako vzorčenja. Ker smo analizirali le 6 lateralnih korenin na dveh globinah, smo sistematično izločevali korenine največjih premerov (glavne korenine nismo upoštevali). Kasnejša pretvorba z našo formulo te pomanjkljivosti ni pokrila, kjer v vzorcih nismo zaznali nobenih vršičkov v razredu 3.



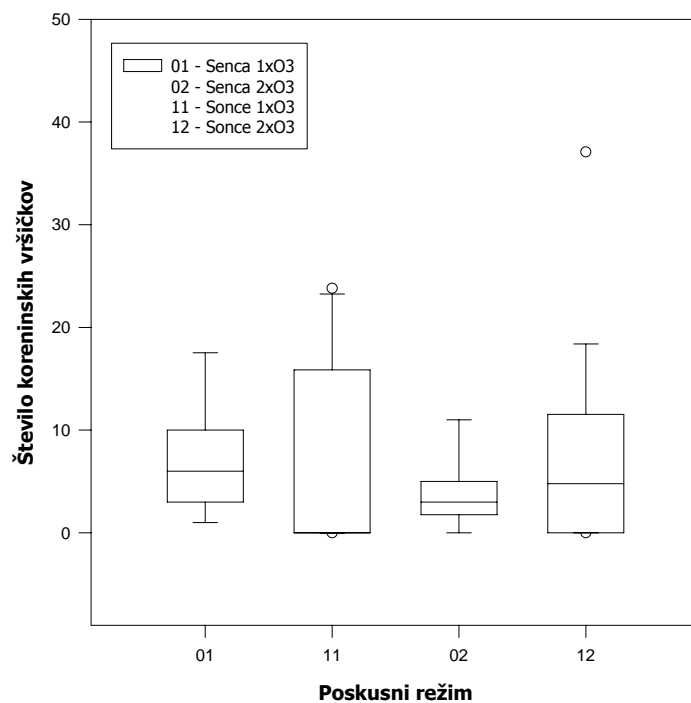
Slika 4: Mediane celotnega števila vršičkov po vzorcih s centili



Slika 5: Mediane števila vršičkov debelinskega razreda 1 s centili



Slika 6: Mediane števila vršičkov debelinskega razreda 2 s centili



Slika 7: Mediane števila vršičkov debelinskega razreda 3 s centili

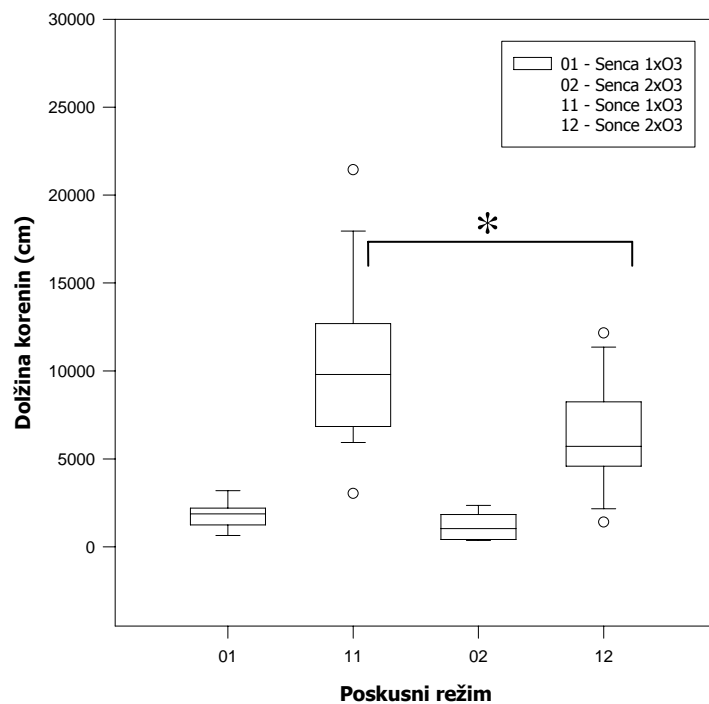
5.1.2 DOLŽINA KORENIN

Analiza podatkov je pokazala značilne razlike med štirimi bloki. Razen značilnih razlik med vzorci obeh svetlobnih režimov, se je za značilno izkazala razlika med vzorci različnih koncentracij ozona pri bukvicah izpostavljenih soncu. Večina dolžine korenin (99 %) pripada najtanjšim koreninam, ki so v debelinskem razredu 1 (D 1).

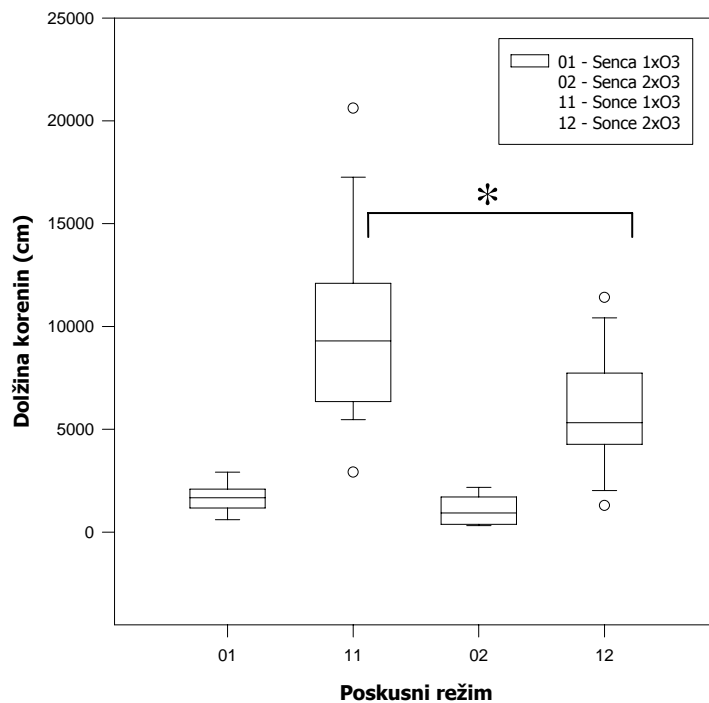
Preglednica 4: Rezultati analize razlik v dolžini korenin (prikazane mediane)

Parametri	Vzorci				Razlike med vzorci
	01	02	11	12	
Dolžina (cm)	1881,178	1037,855	9801,620	5716,458	***; 11-12*
D 1	1674,956	938,145	9295,733	5325,527	***; 11-12*
D 2	83,285	53,547	471,537	346,840	***
D 3	23,844	22,618	28,713	31,624	značilne (P=0,586)

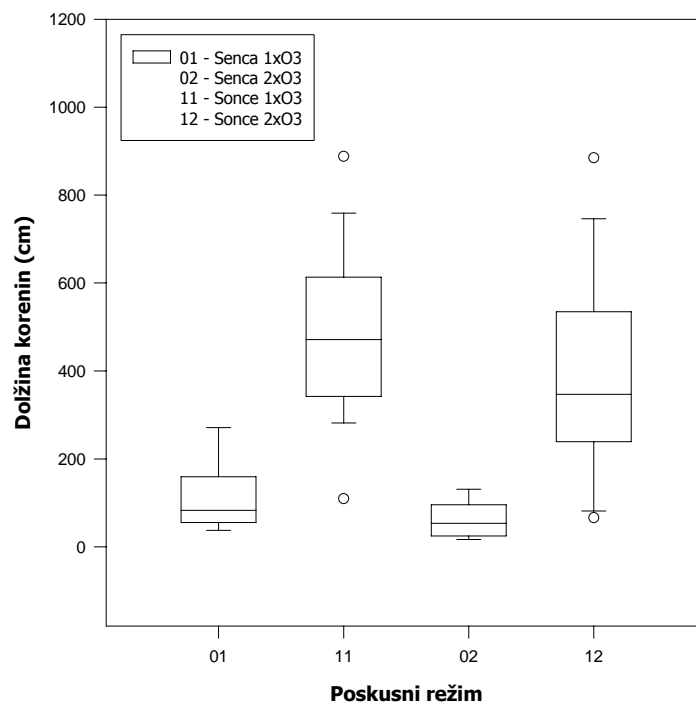
Vpliv ozona je opazen pri drevescih izpostavljenih soncu, in sicer je pri povečani koncentraciji ozona dolžina korenin značilno manjša (Sliki 8 in 9). Nadaljnja analiza je pokazala, da je dolžina korenin manjša v debelinskem razredu 1. Razlike v dolžini korenin pri senčnih bukvicah so neznatne. Prav tako je variabilnost dolžine pri trajno zasenčenih rastlinah veliko manjša kot pri rastlinah izpostavljenih soncu. Razlike med poskusnimi bloki v 3. razredu niso značilne, ponovno opazimo le večjo variabilnost dolžin bukvic izpostavljenih soncu. Podatki v debelinskih razredih 2 in 3 ne izkazujejo značilnih razlik zaradi vpliva ozona (Sliki 10 in 11).



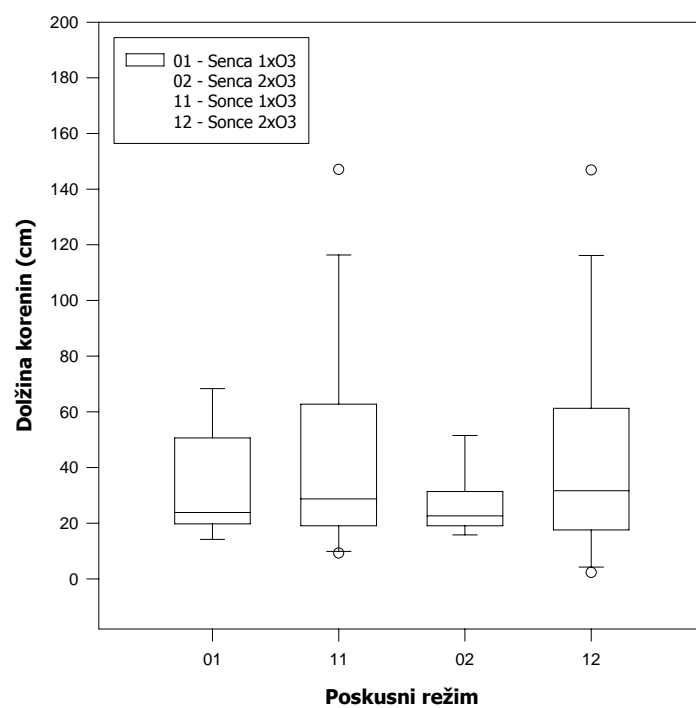
Slika 8: Mediane celotne dolžine po poskusnih blokih s centili



Slika 9: Mediane dolžine korenin deb. razreda 1 s centili



Slika 10: Mediane dolžine korenin deb. razreda 2 s centili



Slika 11: Mediane dolžine korenin deb. razreda 3 s centili

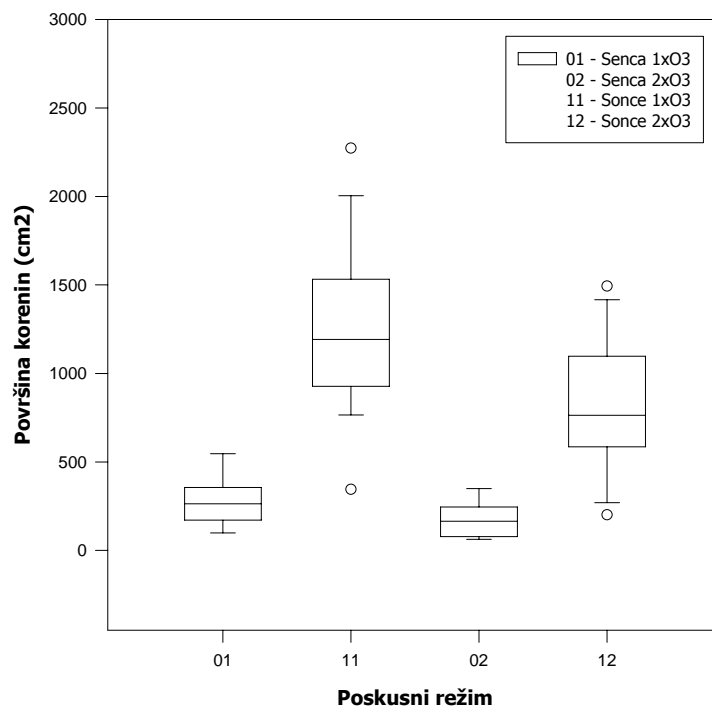
5.1.3 POVRŠINA KORENIN

Med vzorci vseh štirih blokov obstajajo značilne razlike in sicer so značilne razlike med svetlobnima režimoma. Vpliv ozona je značilen le pri bukvicah izpostavljenih soncu, in sicer med vzorci debelinskega razreda 1 (Preglednica 5, Slika 13). Debelinski razred 1 je pri površini predstavljal 90 % vse površine.

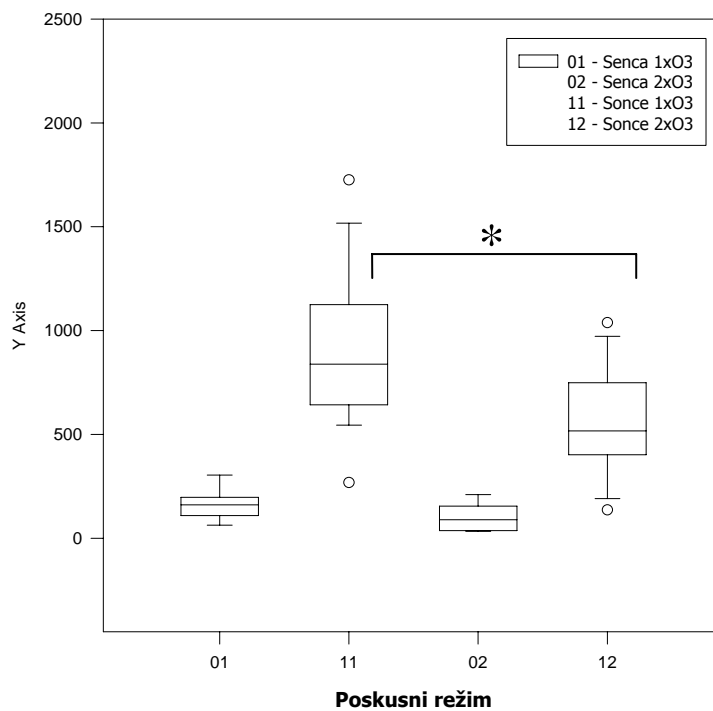
Preglednica 5: Rezultati analize razlik v površini korenin med vzorci (prikazane mediane)

Parametri	Vzorci				Razlike med vzorci
	01	02	11	12	
Površina (cm ²)	263,788	165,474	1192,848	763,871	***
P 1	161,033	89,756	837,975	517,463	***; 11-12*
P 2	33,765	22,073	188,685	143,426	***
P 3	27,813	22,338	26,468	24,912	Razlike med vzorci niso bile značilne (P=0,522)

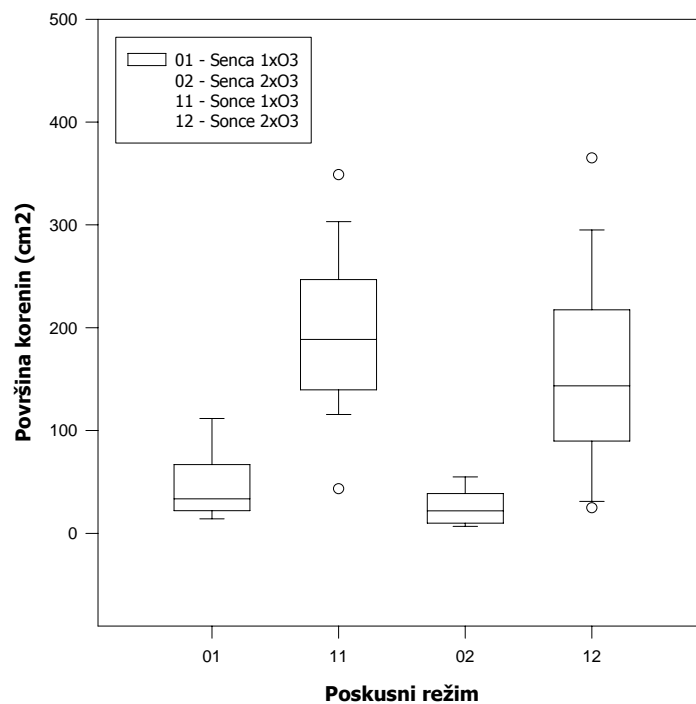
V ostalih debelinskih razredih razlik nismo opazili (Slike 14, 15 in 16). Rezultati debelinskega razreda 3 (slika 16) so zelo homogeni, kar je najverjetneje rezultat našega vzorčenja.



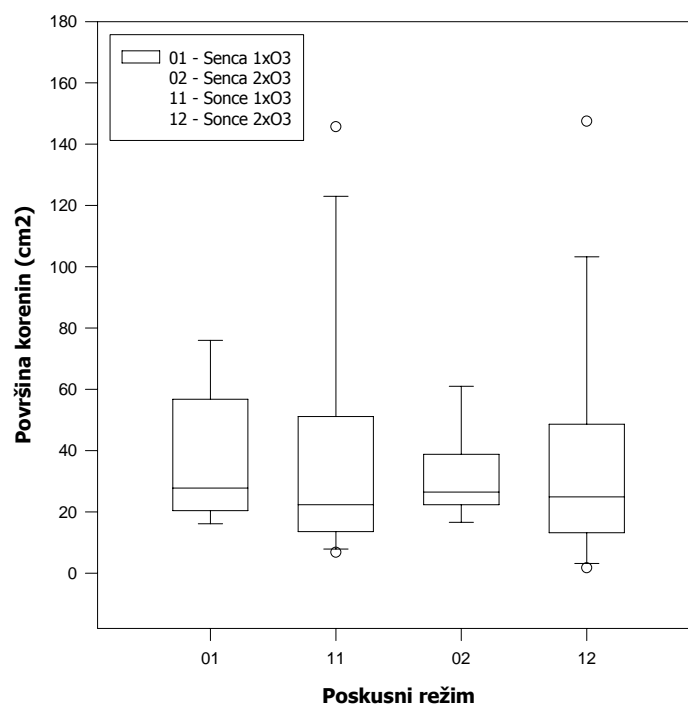
Slika 12: Mediane celotne površine korenin po poskusnih blokih s centili



Slika 13: Mediane površine korenin deb. razreda 1 s centili



Slika 14: Mediane površine korenin deb. razreda 2 s centili



Slika 15: Mediane površine korenin deb. razreda 3 s centili

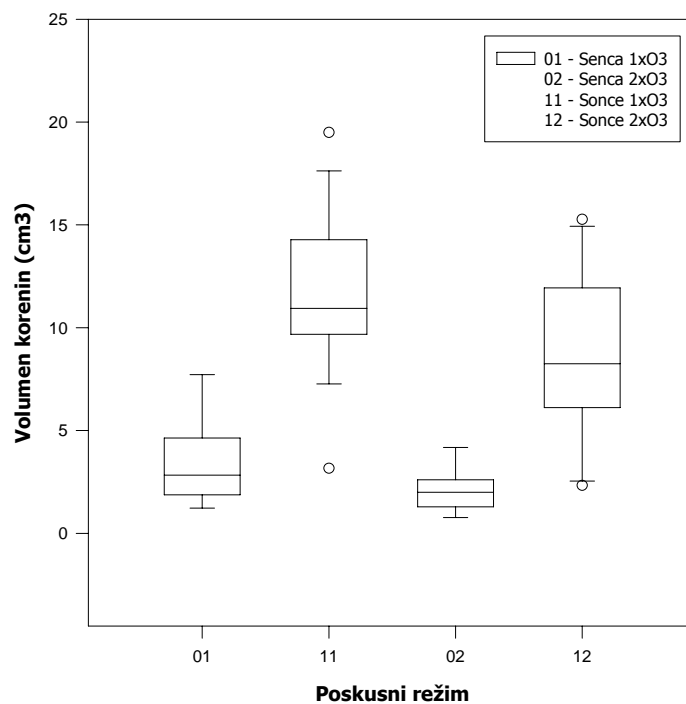
5.1.4 VOLUMEN KORENIN

Volumen korenin nakazuje podobno razporeditev kot ostali trije parametri. WinRHIZO na digitalnih posnetkih korenin direktno šteje in meri samo število vršičkov, premere in dolžine. Površino in volumen pa smo izračunali po algoritmih iz izmerjenih parametrov. Volumen korenin je funkcija premera in dolžine in nosi napake osnovnih meritev (Preglednica 6).

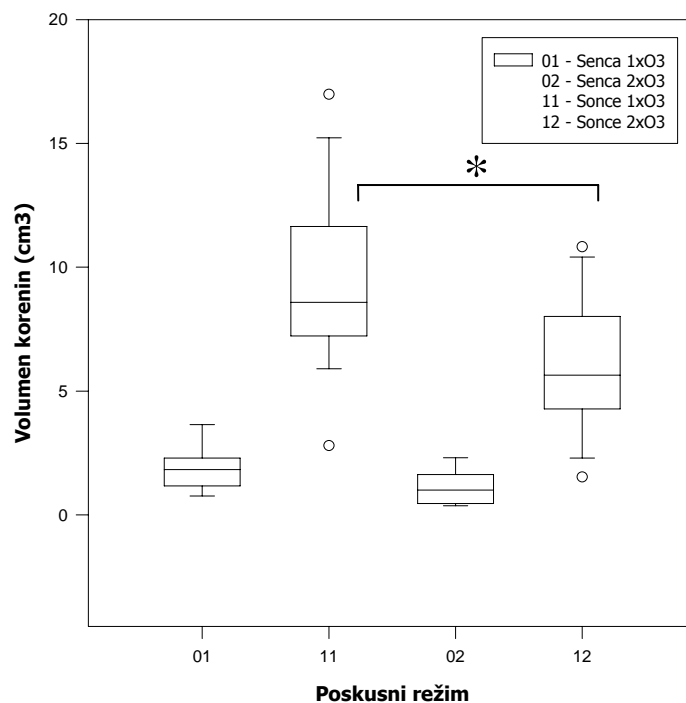
Preglednica 6: Rezultati analize razlik v volumnu korenin (prikazane mediane)

Parametri	Vzorci				Razlike med vzorci
	01	02	11	12	
Volumen (cm ³)	2,835	2,001	10,946	8,247	***
V 1	1,832	1,006	8,585	5,647	***; 11-12*
V 2	1,146	0,755	6,025	4,773	***
V 3	3,280	2,930	1,408	1,549	**; ⁰ 01-02 ⁰ ; 02-11 ⁰ ; 02-12 ⁰ ; 11-12 ⁰

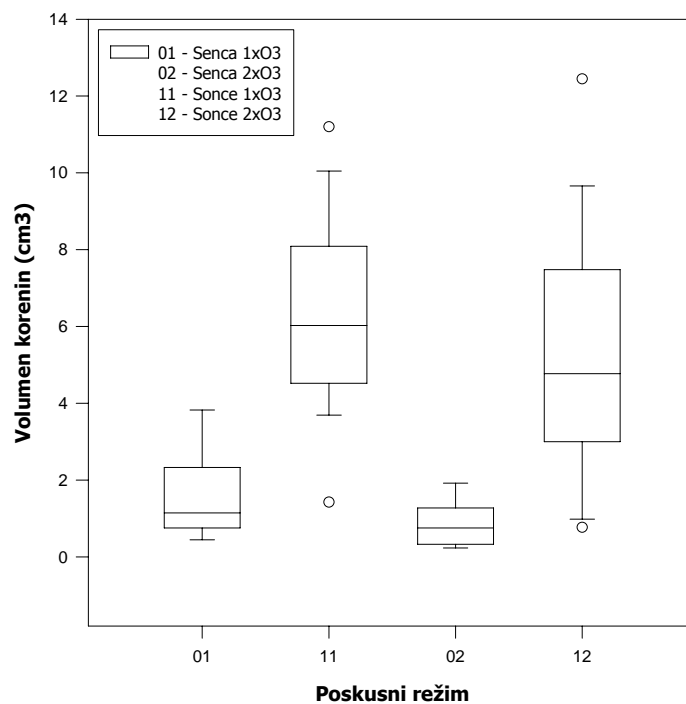
Odkrili smo značilne razlike med vzorci svetlobnih režimov. Razlike znotraj blokov so bile značilne samo pri bukvicah izpostavljenih soncu, v debelinskem razredu 1. Volumni korenin bukvic izpostavljenih soncu so znatno večji od volumnov trajno zasenčenih bukvic v senci (Slika 16). Prav tako je variabilnost znotraj režima mnogo večja pri rastlinah, izpostavljenih soncu. V debelinskem razredu 3 je slika obrnjena (Slika 19), kar je najverjetneje rezultat vzorčenja lateralnih korenin na dveh globinah pri koreninah rastlin na soncu, pri katerem nismo vključili najdebelejše – glavne - korenine v vzorčenje. Pri vzorcih na soncu tako v debelinskem razredu 3 WinRHIZO večkrat ni mogel izračunati volumna, kar se je odrazilo v majhni srednji vrednosti.



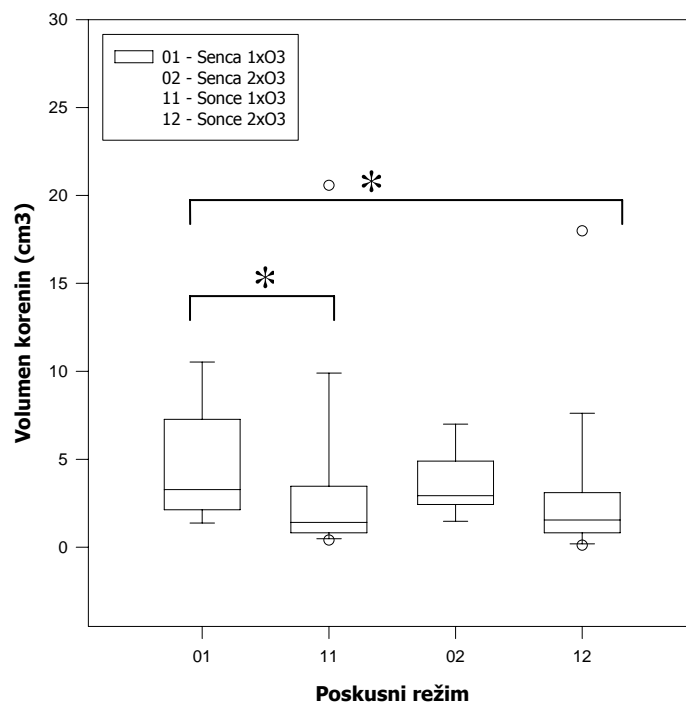
Slika 16: Mediane celotnega volumna po blokih s centili



Slika 17: Mediane volumna deb. razreda 1 po blokih s centili



Slika 18: Mediane volumna deb. razreda 2 po blokih s centili



Slika 19: Mediane volumna deb. razreda 3 po blokih s centili

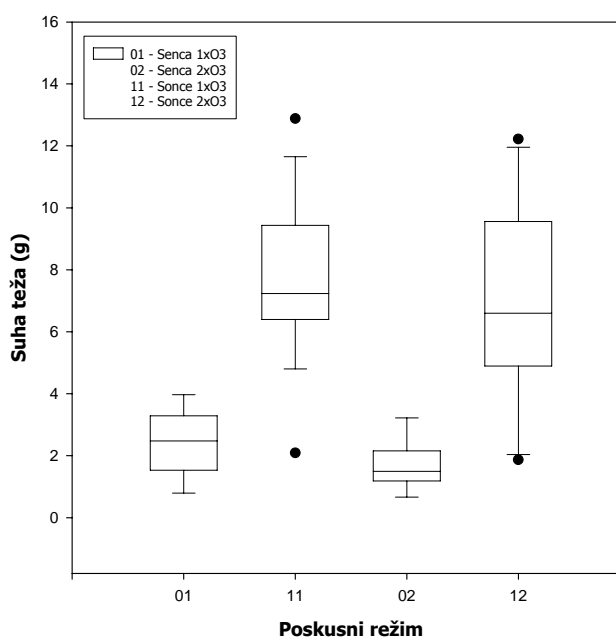
5.1.5 RASTLINSKA SUHA TEŽA

Statistična analiza suhe teže za cele bukvice je pokazala značilno razliko med vzorci z $P = <0,001$. Nadaljnja analiza podatkov je pokazala, da so značilne razlike ($P = \leq 0,05$) v primerjavah med dvema vzorcema iz različnih svetlobnih režimov, razlik med vzorcema znotraj svetlobnega režima oz. vpliva različne koncentracije ozona pa nismo zaznali, čeprav smo zaznali razlike med vzorci. Pri rastlinah, izpostavljenih dvojni koncentraciji ozona, so v splošnem suhe teže manjše kot pri rastlinah, izpostavljenih enkratni koncentraciji ozona (Preglednica 7).

Preglednica 7: Rezultati analize razlik v suhi teži korenin (prikazane mediane)

Parametri	Vzorci				Razlike med vzorci
	01	02	11	12	
Suha teža (g)	2,478	1,498	7,235	6,601	***

Ponovno je bila variabilnost v suhi teži pri rastlinah, izpostavljenih soncu, večja kot pri rastlinah v senci (Slika 20). Obratno je variabilnost pri trajno zasenčenih bukvicah večja pri običajni koncentraciji ozona.



Slika 20: Mediane suhe teže po blokih s centili

5.2 IZVEDENI PARAMETRI

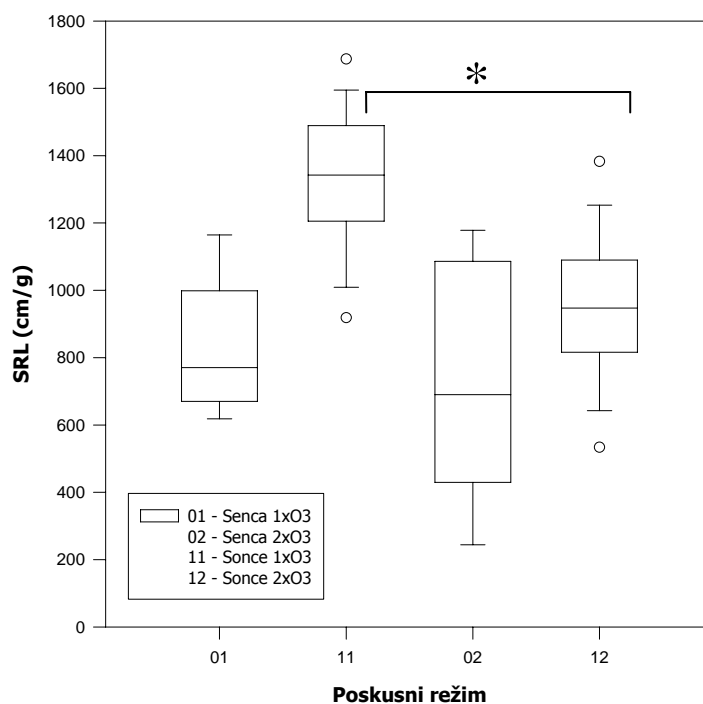
5.2.1 SPECIFIČNA DOLŽINA KORENIN (SRL)

Specifična dolžina korenin je definirana kot količnik med dolžino korenin in njihovo suho težo. Preizkus razlik je pokazal značilne razlike med vzorci. Značilna je razlika med obema blokoma bukvic, rastočih na soncu. Med bloki 01, 02 in 12 nismo odkrili razlik (Preglednica 8).

Preglednica 8: Rezultati analize razlik v specifični dolžini korenin (prikazane mediane)

Parametri	Vzorci				Razlike med vzorci
	01	02	11	12	
SRL	770,373	690,078	1342,315	947,261	***; 11-12*; 01-12 ⁰

Na specifično dolžino korenin vpliva osvetlitev rastlin (Slika 21), v primeru bukvic, izpostavljenih soncu, pa tudi koncentracija ozona. Rastline, ki smo jim dovajali podvojeno naravno koncentracijo ozona imajo nižjo SRL. Variabilnost podatkov je večja pri trajno zasenčenih bukvicah.



Slika 21: Mediane specifične dolžine korenin (SRL) po blokih s centili

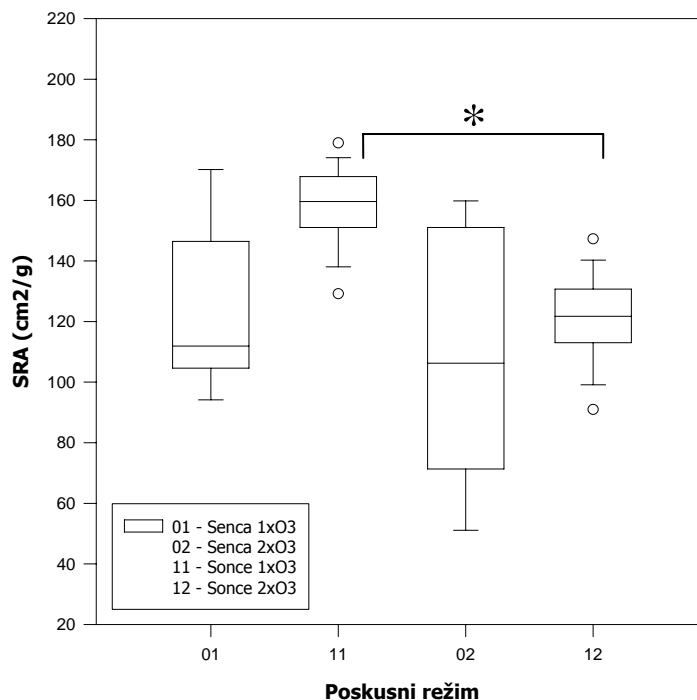
5.2.2 SPECIFIČNA POVRŠINA KORENIN (SRA)

Specifična površina korenin je definirana kot količnik med površino korenin in njihovo suho težo. Preizkus razlik je pokazal značilne razlike med vzorci in sicer smo opazili značilne razlike v specifični površini korenin med obema blokoma rastlin, izpostavljenih soncu (Preglednica 9).

Preglednica 9: Rezultati analize razlik v specifični površini korenin (prikazane mediane)

Parametri	Vzorci				Razlike med vzorci
	01	02	11	12	
SRA	111,903	106,250	159,570	121,735	***; 11-12*; 01-12 ⁰

Na sliki 22 vidimo porazdelitev vrednosti vzorcev po poskusnih režimih. Označena je značilna razlika med vzorci, izpostavljenih soncu. Variabilnost vrednosti trajno zasenčenih rastlin je, za razliko od osnovnih parametrov, tu občutno večja kot pri rastlinah, izpostavljenih soncu.



Slika 22: Mediane specifične površine korenin (SRA) s centili

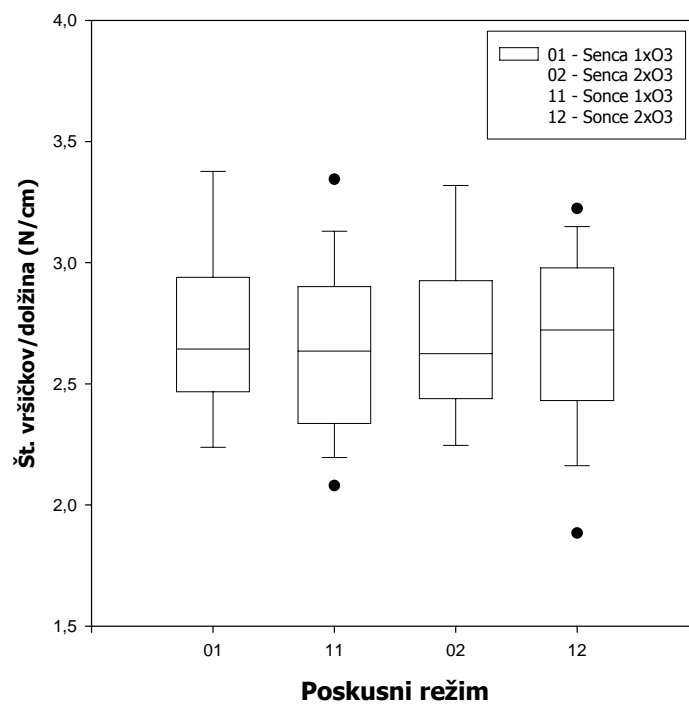
5.2.3 VRŠIČKI NA DOLŽINO KORENIN (TL)

Kazalec TL je bil predlagan in prvič uporabljen v raziskavi vpliva gospodarjenja z gozdom na gozdna tla in s tem na drevesne korenine (Robek, 2001), kjer se je dobro obnesel kot kazalnik talnega stresa. Rezultati analize so pokazali le malo razlik med vzorci, pa še te so bile značilne samo v debelinskem razredu 2 (Preglednica 10).

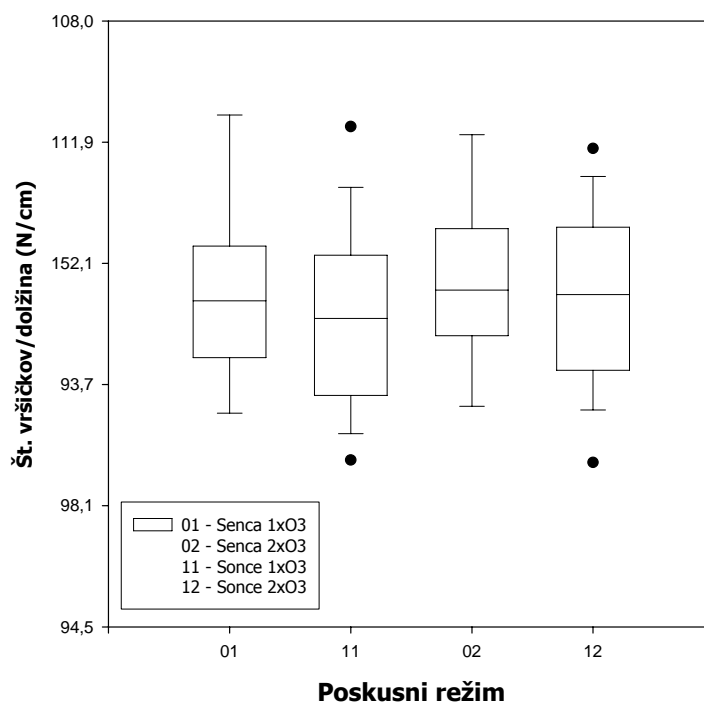
Preglednica 10: Rezultati analize razlik kazalca TL

Parametri	Vzorci				Razlike med vzorci
	01	02	11	12	
TL	2,644	2,624	2,635	2,722	Razlike niso značilne (P=0,966)
TL 1	2,915	2,914	2,793	2,860	Razlike niso značilne (P=0,966)
TL 2	0,382	0,273	0,216	0,200	***;02-11 ⁰ ; 02-12 ⁰
TL 3	0,196	0,000	0,000	0,000	Razlike niso značilne (P=0,244)

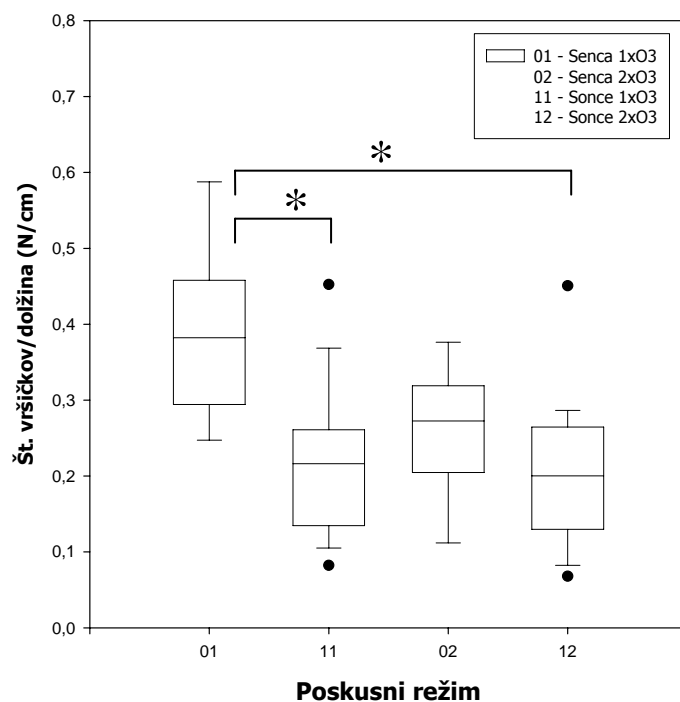
Na sliki 23 lahko vidimo da v vrednostih kazalca TL ne opazimo očitnih razlik med bloki. Grafi srednjih vrednosti TL po debelinskih razredih pa prikažejo drugačno sliko. V razredih 1 in 3 (Sliki 24 in 26) opazimo neznačilne razlike med bloki. Značilne razlike so med nekaterimi bloki debelinskega razreda 2 (slika 25).



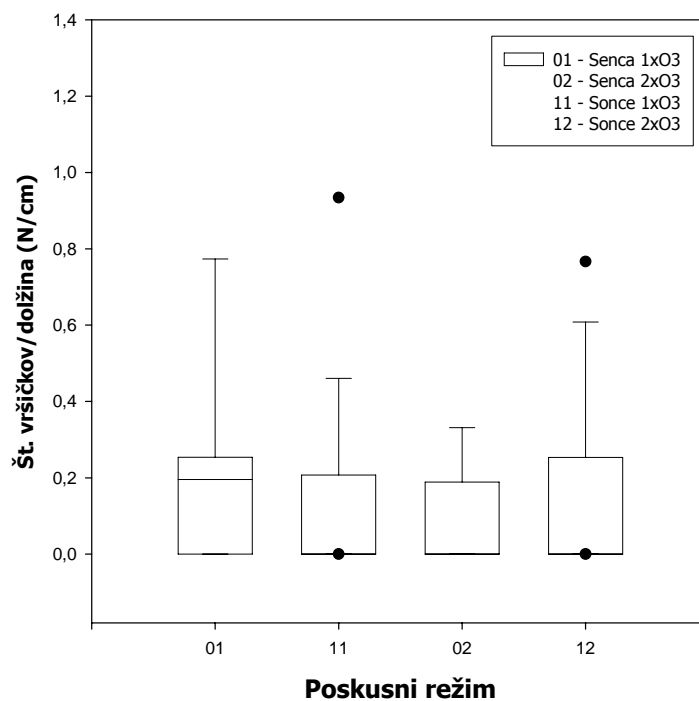
Slika 23: Mediane kazalca TL s centili



Slika 24: Mediane kazalca TL v deb. razredu 1 s centili



Slika 25: Mediane kazalca TL v deb. razredu 2 s centili



Slika 26: Mediane kazalca TL v deb. razredu 3 s centili

6 RAZPRAVA IN SKLEPI

6.1 RAZPRAVA

Navkljub raziskavam v zadnjih 50. letih so danes kratko- in dolgoročni učinki troposferskega ozona na gozdne ekosisteme še vedno relativno slabo določeni in ovrednoteni (Andersen 2003). Veliko nejasnosti izvira iz nezadostnega razumevanja sprememb v koreninah rastlin, izpostavljenih ozonu in vplivov teh sprememb na tokove ogljika v in iz talnega ekosistema. Law s sod. (cit. po Andersen 2003) ocenjuje, da 76% ekosistemske respiracije v odraslem gozdu *Pinus ponderosa* Laws. izvira iz korenin in mikrobne respiracije v tleh. Boljše poznavanje procesov v rastlinskih koreninah, in posledično sprememb v talnem ekosistemu je nujno za razumevanje vpliva ozona na gozdne ekosisteme (*ibid.*).

Raziskave kažejo, da je negativnih učinkov povečanih koncentracij troposferskega ozona na rastline veliko (Renaud in sod., 1995). Raziskovalci v splošnem poročajo o pešanju asimilacije dreves. Topa s sod. (2004) poročajo o zmanjšanju celotne biomase sadik sladkornega javorja (*Acer saccharum* Marsh.) pri povečani koncentraciji ozona. Thomas s sod. (2005) poroča o zmanjšani listni površini in vsebnosti vode v listih, manjši rasti poganjkov in zmanjšanem kopičenju biomase v koreninah. Dolgoletno zračno onesnaženje s troposferskim ozonom in ostalimi industrijskimi polutanti dokazano zmanjšuje letne temeljnične prirastke (Muzika s sod., 2004). V močno onesnaženem okolju so zaznali upadanje temeljničnega prirastka celo za 50%. Karnosky s sod. je v poskusih, trajajočih zadnjih 15 let dognal, da se je neto primarna produkcija *Populus tremuloides* Michx. v povprečju zmanjšala za 23 do 29 % (Karnosky in sod., 2005).

Poskus opisan v diplomski nalogi z mladimi bukovimi drevesci v zabojnikih, je bil zasnovan z namenom natančnejše razjasnitve vpliva ozona na rast mladih drevesc v različnih svetlobnih pogojih. V reakciji mladih drevesc bukve in odraslih bukovih dreves so bile odkrite značilne fiziološke in biokemične razlike (Herbinger in sod., 2005), kar moramo upoštevati pri uporabi v raziskavi pridobljenih podatkov. Prav

tako je bila večina raziskav o vplivu ozona do sedaj opravljena na mladih drevesih v kontroliranih pogojih raziskovalnih komor, zato so naši rezultati pomembni, saj so drevesca rasla v naravnem okolju v razmerah delno kontroliranih naravnih pogojev (Baumgarten in sod., 2000). V poskus tako obdržimo širok spekter naravnih dejavnikov, npr. tekmecev in patogenov, ki rezultate naredijo bolj realne (CASIROZ, 2005).

Rezultati raziskave se s predhodno objavljenimi rezultati ujemajo. Vpliv ozona na bukova drevesca v senci ni bil značilen, kar je v skladu z objavami (CASIROZ, 2005). Razlog najverjetneje leži v samem poskusu. Drevesa v senci so rasla na svetlobnem minimumu, saj niso nikoli dalj časa bila izpostavljena polni svetlobi. V takih razmerah se njihov metabolizem upočasni. Transpiracija in asimilacija sta minimalni, s tem pa je vdor ozona v samo rastlino zelo omejen.

Vpliv osvetljenosti ima na suho težo rastlin v poskusu značilen vpliv. Koncentracija ozona na suho težo nima značilnega vpliva, vendar je opazen trend upadanja suhe teže rastlin, izpostavljenih dvojni koncentraciji ozona, kar je rezultat manjše asimilacije zaradi poškodb rastlin, nastalih zaradi povečanih koncentracij ozona.

Vpliv ozona na sadike bukve v poskusu smo dokazali tudi v primeru osnovnih koreninskih parametrov, kjer smo značilne razlike odkrili pri drevescih, izpostavljenih soncu, kjer povečana koncentracija ozona na arhitekturo korenin deluje negativno. Najtanjše korenine so praviloma tudi najbolj aktivne in jih je največ. Pregitzer s sod. (1997) navaja, da po njegovih raziskavah predstavljajo več kot 80% skupne dolžine korenin korenine s premerom manjšim od 1 mm. To lahko potrdimo, kajti v našem primeru imamo v debelinskem razred 1 (<1mm premera) kar 99% skupne dolžine korenin, poleg tega pa prav tako 99% vseh zaznanih koreninskih vršičkov in več kot 90% vse površine korenin. Razlika lahko izhaja iz razlik med koreninskimi sistemi raziskovanih vrst, iz razlik med koreninskimi sistemi različno starih osebkov iste vrste ter zaradi različne metodologije meritev

koreninskih sistemov. Pregitzer je raziskave opravljal na sladkornem javorju (*Acer saccharum* Marsh.) in ameriškem jesenu (*Fraxinus americana* L.), v našem poskusu pa smo raziskovali korenine bukve, katere velik delež koreninskega sistema predstavljajo ravno fine korenine.

Pri izvedenih parametrih smo pričakovali podobno sliko kot pri osnovnih, kar smo potrdili pri specifični dolžini (SRL) in specifični površini (SRA). Pri kazalcu TL v splošnem nismo odkrili značilnih razlik, razen v debelinskem razredu 2, kjer je bil kazalec TL v senčnem bloku pri normalni koncentraciji ozona značilno večji od ostalih treh blokov poskusnih režimov. Kazalec TL je bil razvit v namene zaznavanja talnih motenj zaradi gospodarjenja z gozdom, tj. destrukcije tal zaradi vožnje gospodarskih strojev po gozdnih tleh. V našem primeru takšnih motenj ni bilo, zato lahko sklepamo, da je kazalec TL dober pokazatelj mehanskih motenj v tleh. Povečane koncentracije ozona vplivajo na obseg asimilacije v rastlinah, kar pa ima celosten vpliv na vse proporce koreninske arhitekture v tleh.

Zastavljene cilje ob snovanju te naloge smo izpolnili. Izvedeni kazalci, s katerimi smo se ukvarjali, so se v splošnem izkazali za dobre. V literaturi so različni kazalci sicer dokaj dobro opisani, je pa še vedno problem z njihovimi mejnimi vrednostmi. Zaradi tega je bila naša raziskava šele začetek daljšega raziskovanja in odkrivanja skrivnosti življenja korenin.

Pokazalo se je, da je bila razdelitev korenin po debelinskih stopnjah v predstavljeni raziskavi smotrna. Debelinski razred 1 je vsekakor najpomembnejši debelinski razred korenin, saj so korenine v njem najbolj aktivne in predstavljajo večino koreninskega telesa. Glede na delež korenin v razredu 1 bi bilo potrebno premisliti ali bi razred delili na ožje razrede. Delitev bi bila smiselna vsaj na dva razreda (premeri od 0 do 0,5 cm in od 0,5 do 1 cm). Prav tako bi se tudi pri koreninah z večjimi premeri kazalo razmisliti ali dosedanja razdelitev na razred 2 in 3 zadostuje našim potrebam in ali ni mogoče takšna razdelitev preveč ohlapna.

Uporaba programske opreme WinRHIZO je postala med izdelavo diplomske naloge rutinsko opravilo. Sama oprema se je izkazala kot zelo uporabno orodje za raziskave rizosfere.

6.2 SKLEPI

Delovne hipoteze lahko delno potrdimo.

Zagotovo smo potrdili, da različna osvetljenost vpliva na asimilacijo in s tem na rast in razvoj korenin. Tega ne moremo trditi le za podatke debelinskega razreda 3 vseh štirih poskusnih režimov, ki niso izkazovali značilnega vpliva različne osvetljenosti. To pojasnjujemo z napako, ki ne nastala pri vzorčenju korenin (zaradi vzorčenja pri korenin, izpostavljenih soncu, v vzorec nismo nikoli vzeli najdebelejših korenin).

Delno smo potrdili hipotezo, da povečana koncentracija ozona negativno deluje na rastlinske korenine. To nam je uspelo dokazati le za mlade bukve, izpostavljenih soncu. Močno izražene vplive ozona smo zaznali v debelinskem razredu 1 (korenine, tanjše od 1 mm), le pri kazalcu TL v debelinskem razredu 2. V splošnem se je pokazal trend zmanjševanja razlik med vzorci zaradi vpliva ozona z večanjem premera korenin. Učinki ozona na trajno zasenčene rastline so bili neznačilni in slabo opazni. Domnevamo, da je temu tako zaradi zmanjšane aktivnosti zasenčenih rastlin.

V prihodnosti je potrebno optimizirati metode izkopavanja vzorcev in priprave korenin za slikanje, saj sta to najbolj zamudna dela procesa.

Ponovno smo potrdili, da je programska oprema WinRHIZO s pripadajočim čitalcem zelo uporabna za raziskave rizosfere. V kolikor bo možno, bi bilo potrebno preizkušanje indeksov in metod ugotavljanja rasti korenin kot kazalcev stresa nadaljevati.

7 POVZETEK

V okviru evropskega projekta CASIROZ je bila analizirana arhitektura korenine triletnih bukev (*Fagus sylvatica* L.) s poskusne ploskve v Kranzberg Forst v Nemčiji. Skupno smo pregledali koreninske sisteme 89 drevesc, ki so rasla v dveh svetlobnih režimih (na soncu in v senci) ter ob dveh koncentracijah ozona (normalna in do dvakratno povečana).

Drevesca smo izkopali, koreninske sisteme očistili in slikali z optičnim čitalcem. Digitalne slike smo analizirali s programsko opremo WinRHIZO. Pridobljene podatke smo uredili v tri razrede po premeru korenin (razred 1: 0-1 mm; razred 2: 1-2 mm; razred 3: 2 in več mm) in izračunali še dodatne izvedene kazalce – specifično dolžino korenin (SRL), specifično površino korenin (SRA) in število vršičkov na dolžino korenin (TL). Urejene podatke smo statistično analizirali.

Rezultati so pokazali značilne razlike v parametrih med režimoma osvetlitve, vpliv koncentracije ozona pa je bil značilen le pri vzorcih na soncu. Pri osnovnih parametrih je bil vpliv ozona opazen le v razredu 1 (pri dolžini tudi v primeru celotne dolžine korenin), pri kazalcu TL pa samo v razredu 2. Kazalca SRL in SRA sta izkazovala značilne razlike zaradi vpliva ozona pri vzorcih na soncu. V razredu 1 in 2 kazalec TL ne izkazuje razlik, kar nakazuje, da tla med poskusom niso utrpela mehanskih poškodb (uporaba zabojnikov).

8 VIRI

Andersen C. P. (2003) Source-sink balance and carbon allocation below ground in plants exposed to ozone (Tansley review). *New Phytologist*, 157: 213-228.

Ashmore M. R. 2005. Assessing the future global impacts of ozone on vegetation. *Plant, Cell and Environment* 28: 949-964

Bakker M. R. 1999. Fine-root parameters as indicators of sustainability of forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 122: 7-16

Batič F., Celar F., Ceglar R., Milevoj L., Vičar M. 1999. Bioindikacija prizemnega ozona, interdisciplinarni pristop. 1. natis. Ljubljana, Zavod Republike Slovenije za šolstvo: 167 str.

Baumgarten M., Werner H., Häberle K.-H., Emberson L. D., Fabian P., Matyssek R. 2000. Seasonal ozone response of mature beech trees (*Fagus Sylvatica*) at high altitude in the Bavarian forest (Germany) in comparison with young beech grown in the field and in phytotrons. *Environmental pollution*, 109: 431-442

Bortier K., De Temmerman L., Ceulemans R. 1999. Effects of ozone exposure in open-top chambers on poplar (*Populus nigra*) and beech (*Fagus sylvatica*): a comparison. *Environmental Pollution*, 109: 509-516

Brunner I., Brodbeck S., Walthert L. 2002. Fine root chemistry, starch concentration, and »vitality« of subalpine conifer forests in relation to soil pH. *Forest Ecology and Management*, 165: 75-84

CASIROZ: Ozone impact on forest trees: results, conclusions and recommendations of the experiment at »Kranzberg Forst«. Proceedings of the

CASIROZ session at the UN/ECE workshop: »Critical levels of ozone: further applying and developing the flux-based concept«. Oberburgl, Austria, 15.-19.11. 2005. S. l., s. n: 50 str.

Casiroz Homepage.

<http://www.casiroz.de/> (7.2.2006)

Herbinger K., Then Ch., Löw M., Haberer K., Alexous M., Koch N., Ramele K., Heerdt C., Grill D., Rennenberg H., Häberle K.-H., Matyssek R., Tausz M., Wieser G. 2005. Tree age dependence and within-canopy variation of leaf gas exchange nad antioxidative defence in *Fagus sylvatica* under experimental gree-air ozone exposure. *Environmental Pollution*, 137: 476-482

Hogde A. 2004. The plastic plant: root responses to heterogenous supplies of nutrients. *New Phytologist*, 162: 9-24

Karnosky D. F., Pregitzer K. S., Zak D. R., Kubiske M. E., Hendrey G. R., Weinstein D., Nosal M., Percy K. E. 2005. Scaling ozone responses of forest trees to the ecosystem level in changing climate. *Plant, Cell and Environment*, 28: 965-981

Kraigher H. 1991. Mineralna prehrana mikoriznih smrek na Pohorju: magistrsko delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 126 str.

Leuschner C., Hertel D., Schmid I., Koch O., Muhs A., Hölscher D. 2004. Stand fine root biomass and fine root morphology in old-growth beech forests as a function of precipitation and soil fertility. *Plant nad Soil*, 285: 43-56

Majdi H., Andersson P. 2005. Fine root production and turnover in a Norway spruce stand in northern Sweden: Effects of nitrogen and water manipulation. *Ecosystems*, 8:191 - 199

Muzika R. M., Guyette R. P., Zielonka T., Liebhold A. M. 2004. The influence of O³, NO² and SO² on growth of *Picea abies* and *Fagus sylvatica* in the Carpathian Mountains. *Environmental Pollution*, 130: 65-71

Olszyk D. M., Johnson M. G., Phillips D. L., Seidler R. J., Tingey D. T., Watrud L. S. 2001. Interactive effects of CO₂ and O₃ on a ponderosa pine plant/litter/soil mesocosm. *Environmental Pollution*, 115: 447-462

Pregitzer K. S., Kubiske M. E., Yu C. K., Hendrick R. L. 1997. Relationships among root branch order, carbon and nitrogen in for temperate species. *Oecologia*, 111: 302-308

Pučko M. 2003. Določanje tipov ektomikorize sadik v bukovem provenienčnem poskusu: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 70 str.

Renaud J. P., Allarg G., Mauffette Y. 1995. Effects of ozone on yield, growth and root starch concentrations of two alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars. *Environmental pollution*, 95, 3: 273-281

Robek R., Kraigher H., Košir B. 2001. Tree root development in compacted soils due to logging operations. V: Forest operations and environmental protection: forest and society: the role of research: proceedings of a Symposium organized by IUFRO group 3.11.00 at the XXI IUFRO Congress 7-12 August 2000, Kuala Lumpur, Malaysia. Parkano, Finnish Forest Research Institute: 23-32.

SigmaPlot 9.01 z integriranim SigmaStat 3.11: Users Guide. 2004. Systat Software: 92 str.

Thomas V. F. D., Braun S., Flückiger W. 2006. Effects of simultaneous ozone exposure and nitrogen loads on carbohydrate concentrations, biomass, growth and nutrient concentrations of young beech trees (*Fagus sylvatica*). Environmental Pollution: v tisku

Topa M. A., McDermitt D. J., Yun S.-C., King P. S. 2004. Do elevated ozone and variable light alter carbon transport to roots in sugar maple? New Phytologist, 162: 173-186

UK Stratospheric Ozone Measurements.

<http://www.airquality.co.uk/archive/ozone/> (7.2.2006)

Železnik P. 2004. Računalniško podprte metode izvajanja kvantitativnih meritev v rizijski sferi. Ljubljana, Gozdarski vestnik, 62, 4: 224-228

Železnik P., Hrenko M., Then C., Grebenc T., Kraigher H. 2006. CASIROZ: Root parameters and types of ectomycorrhiza of young beech plants exposed to different ozone and light regimes. Plant Biology: v tisku.

ZAHVALA

Veliko je ljudi, ki so tako ali drugače prispevali svoj delež k nastajanju te naloge. Najprej seveda ne smem pozabiti svojih staršev, ker so mi pomagali da razprem peruti in poletim. Pa Maje, Eve in Nejca ker brez njih te naloge zagotovo še ne bi bilo. Velika zahvala gre Hojki Kraigher, ker je verjela v moje sposobnosti in mi ponudila roko ko sem jo potreboval. In potem vmes še ni izgubila živcev, ker sem včasih res nemogoč. Recenzentki Maji Jurc se toplo zahvaljujem za vse pripombe, predvsem pa za pripravljenost pregledati nalogo v zelo kratkem času. Ne smem pozabiti ekipe Oddelka za gozdno fiziologijo in genetiko na Gozdarskem inštitutu Slovenije – Tine, Melita, Tadeja, Barbara, Jana, Marjana, Gregor – ter ostali sodelavci, ki si, ko se zadeve včasih ne premaknejo naprej, vzamejo čas in malo pomodrujejo z mano.