

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Katja JANŠA

**SPREMLJANJE UČINKOV TROPOSFERSKEGA OZONA S
PLAZEČO DETELJO (*Trifolium repens* 'Regal') KLONOV NC-S IN
NC-R NA KRVAVCU V LETU 2001**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**MONITORING OF TROPOSPHERIC OZONE BY WHITE CLOVER
(*Trifolium repens* 'Regal') CLONES NC-S AND NC-R ON KRVAVEC
IN 2001**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2009

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija agronomije. Opravljeno je bilo na Biotehniški fakulteti, Oddelek za agronomijo, Katedra za aplikativno botaniko, ekologijo, fiziologijo rastlin in informatiko.

Študijska komisija oddelka za agronomijo je za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Franca BATIČA.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Katja Vadnal
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: prof. dr. Franc Batič
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: prof. dr. Zalika Črepinšek
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisana se strinjam z objavo svojega diplomskega dela v polnem tekstu na strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je delo, ki sem ga oddala v elektronski obliki, identično tiskani verziji.

Katja JANŠA

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Dn
DK UDK 504.5:546.214:632.11:633.322(043.2)
KG fotooksidanti/plazeča detelja/ozon/ozonske poškodbe/onesnaženost zraka/Krvavec
KK AGRIS P40
AV JANŠA, Katja
SA BATIČ, Franc (mentor)
KZ SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
LI 2009
IN SPREMLJANJE UČINKOV TROPOSFERSKEGA OZONA S PLAZEČO DETELJO (*Trifolium repens* 'Regal') KLONOV NC-S IN NC-R NA KRVAVCU V LETU 2001
TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP IX, 30 str., 1 pregl., 14 sl., 4 pril., 36 vir.
IJ sl
JI sl/en
- AI Raziskava je bila del mednarodnega projekta UNECE ICP Vegetation. Potekala je od sredine junija do sredine septembra na Krvavcu v letu 2001. Monitoring ozonskih poškodb smo izvajali na občutljivih in odpornih klonih plazeče detelje *Trifolium repens* 'Regal' in nekaterih drugih indikatorskih rastlinah: tobaku, njivskem osatu, škrbinki in navadnem glavincu. Na poskusnem polju smo izpostavili 10 loncev z odpornim in 10 z občutljivim klonom detelje ter 9 loncev z ostalimi indikatorskimi rastlinami. V skladu z ICP Vegetation protokolom smo tedensko spremljali koncentracijo ozona in vremenske parametre ter ozonske poškodbe na listih. Biomasa klonov detelje smo spremljali v intervalu 28 dni. Naša domneva je bila, da velika koncentracija ozona nad gozdno mejo (na Krvavcu) močno vpliva na pojav vidnih poškodb in zmanjšanje biomase poskusne rastline, ter da je škodljivi vpliv večji kot v dolinah. Rezultati tekom poskusa so pokazali tudi do 40 odstotno poškodovanost listov (indeks listne poškodovanosti ILP) občutljivega klona detelje ob povečanih koncentracijah ozona, tromesečni pridelek občutljivega klona detelje (S) pa je bil 43,7 odstotkov manjši od pridelka odpornega klona (R); na odporni klon ozon ni znatno vplival; v dolini (Ljubljani in Iskrbi) je bil istega leta negativni vpliv ozona manjši. Rezultati potrjujejo postavljeno domnevo.

KEY WORDS DOCUMENTATION

- DN Dn
DC UDC 504.5:546.214:632.11:633.322(043.2)
CX photooxidants/air pollution/white clover/ozone injury/ozone/bioindication
CC AGRIS P40
AU JANŠA, Katja
AA BATIČ, Franc (supervisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
PB University of Ljubljana, Biotechnical faculty, Department of agronomy
PY 2009
TI MONITORING OF TROPOSPHERIC OZONE BY WHITE CLOVER (*Trifolium repens* 'Regal') CLONES NC-S AND NC-R ON KRVAVEC IN 2001
DT Graduation Thesis (University studies)
NO IX, 30 p., 1 tab., 14 fig., 4 ann., 36 ref.
LA sl
AL sl/en
- AB Our research was part of the UNECE program ICP Vegetation. The experiment was carried out from mid June to mid September on Krvavec in the year 2001. Ozone injury monitoring was carried out on resistant and sensitive clones of white clover *Trifolium repens* 'Regal' and some other indicator plants such as Tobacco, Creeping thistle, Common sowthistle and Brownray knapweed. On the experiment field 10 pots of resistant, 10 pots of sensitive clones of white clover and 9 pots of other indicator plants were exposed to ambient conditions. Ozone concentration measurements, ozone injury monitoring on leaves and biomass measurements were made according to ICP Vegetation protocol. Measurements of the white clover biomass were done every 28 days. Our assumption was, that high concentrations of ozone above the timber line (on Krvavec) have greater influence on appearance of the visible ozone injuries and the biomass reduction of the white clover clones and that the harmful influence is stronger in comparison with the valley. 40 percent of ozone leaf injury (leaf injury index ILP) of the sensitive white clover clone was determined and the 43,7 percent of the difference in biomass between sensitive and resistant clones; the resistant clone was hardly influenced by ozone. In lowland sites such as Ljubljana and Iskrba smaller influence of ozone was observed in the same year. The results confirmed our assumptions.

KAZALO VSEBINE

Ključna dokumentacijska informacija	III
Key words documentation	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo slik	VII
Kazalo prilog	VIII
Kkrajšave in simboli	IX
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA IN NAMEN DELA	1
1.2 DELOVNI HIPOTEZI	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 OSNOVNE ZNAČILNOSTI GORSKEGA PODNEBJA	3
2.2 SPLOŠNO O OZONU	4
2.3 OZON V STRATOSFERI	4
2.4 OZON V TROPOSFERI	4
2.5 KEMIZEM NASTANKA OZONA	5
2.5.1 V stratosferi	5
2.5.2 V prizemni plasti troposfere	6
2.5.3 Ozonski potencial organskih spojin	7
2.6 LETNI IN DNEVNI HOD KONCENTRACIJE OZONA	7
2.7 BIOINDIKATORSKE RASTLINE	8
2.8 PREHOD OZONA V RASTLINO	9
2.9 VPLIV OZONA NA RASTLINE	10
2.10 KRITIČNI MEJI KONCENTRACIJE OZONA	12
3 MATERIAL IN METODE	13
3.1 MATERIAL	13
3.2 METODE	13
3.2.1 Izpostavitve rastlin naravnim razmeram	14
3.2.2 Tedenska opazovanja poškodb / bolezni na indikatorskih rastlinah	15
3.2.3 Vzorčenje bimase klonov plazeče detelje	15
3.2.4 Meteorološki podatki	16
4 REZULTATI	17
4.1 METEOROLOŠKI PODATKI	17
4.2 VIDNE OZONSKE POŠKODBE	18
4.3 BIOMASA	20
5 RAZPRAVA IN SKLEPI	22

5.1	RAZPRAVA.....	22
5.1.1	Vidne ozonske poškodbe.....	22
5.1.2	Biomasa.....	24
5.1.3	Ukrepi za zmanjševanje predhodnikov fotooksidantov (troposferskega ozona).....	25
5.2	SKLEPI.....	26
6	POVZETEK.....	27
7	VIRI.....	28

ZAHVALE

PRILOGE

KAZALO SLIK

Slika 1: Ozonske poškodbe – kloroze - na listih plazeče detelje.	10
Slika 2: Poskusna parcela na Krvavcu, 2001.	14
Slika 3: Shematični prikaz razporeditve loncev na poskusni parceli na Krvavcu, 2001.	15
Slika 4: Vrednosti temperature in AOT40 v času izvajanja poskusa na Krvavcu v vegetacijski sezoni 2001.	17
Slika 5: Vrednosti relativne zračne vlage in AOT40 v času izvajanja poskusa na Krvavcu.	17
Slika 6: Vrednosti globalnega sevanja in AOT40 v času izvajanja poskusa na Krvavcu.	18
Slika 7: Primerjava dnevnih koncentracij ozona (AOT40) z listnimi poškodbami plazeče detelje za Krvavec.	19
Slika 8: Primerjava trodnevnih akumuliranih koncentracij ozona (AOT40) z listnimi poškodbami plazeče detelje za Krvavec.	19
Slika 9: Primerjava dnevnih koncentracij ozona (AOT40) z biomaso plazeče detelje za Krvavec.	20
Slika 10: Primerjava akumuliranih koncentracij ozona (AOT40) za tromesečno obdobje z biomaso plazeče detelje za Krvavec.	21

KAZALO PRILOG

- Priloga A: Primerjava dnevni koncentracij ozona (AOT40) s poškodovanostjo listne površine plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Regal')
- Priloga B: Primerjava dnevni koncentracij ozona (AOT40) z izmerjeno biomaso plazeče detelje za poskusna mesta Iskrba, Ljubljana in Krvavec, sezona 2001
- Priloga C: Pridobljeni podatki: stopnja ozonske poškodbe, število (poškodovanih in vseh) listov, indeks listne poškodovanosti ILP in biomasa plazeče detelje za vsak lonec na dan opazovanja / žetve
- Priloga D: Količina padavin in AOT40 v času izvajanja poskusa

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

ABA	rastlinski hormon:nh abscizinska kislina (abscisic acid)
AOT40	Seštevek pozitivnih razlik med vrednostmi urnih koncentracij ozona v svetlem delu dneva in vrednostjo 40 ppb (Accumulated dose over a threshold of 40 ppb)
ppb	delcev na milijardo (parts per bilion; enota za masni in volumski delež topljenca v raztopini)
RuBP karboksilaza	ribuloza-1,5-bifosfat karboksilaza/oksigenaza (Rubisco); ima ključno vlogo pri vezavi CO ₂ pri fotosintezi
VOC	hlapne organske spojine (Volatile Organic Compounds)
CLRTAP	konvencija (dogovor) o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja (Convention on Long range Transboundary Air Pollution)
WGE	delovna skupina za učinke (Working Group on Effects)
ICP Vegetation	Mednarodni program o učinkih onesnaževanja zraka na naravno vegetacijo in kmetijske rastline (International Cooperative Programme on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops)
UNECE	Gospodarska komisija Združenih narodov za Evropo (United Nations Economic Commission for Europe)

1 UVOD

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA IN NAMEN DELA

Rastline so kot primarni producenti pomemben gradnik ekosistema, saj zagotavljajo dobršen del pretoka snovi in energije. Na njih deluje kompleksen splet fizikalnih, kemijskih in bioloških dejavnikov. Med slednje spada tudi človek, ki od svojega učlovečenja aktivno spreminja in si prilagaja svoje bivalno okolje. Hote ali nehote je vpliv človeka razmeroma hitro prekoračil ožino bivalnega okolja in postal globalen.

Z industrijsko revolucijo je razvoj presegel krhke meje trajnostnega gospodarjenja z okoljem, kar je vodilo v obremenjevanje in onesnaževanje globalnega okolja. Eno vidnejših in bolje preučeni je področje onesnaževanja in obremenjevanja zraka. V šestdesetih letih preteklega stoletja so se zaradi razvoja težke industrije v ozračju močno povečale koncentracije žveplovega dioksida in drugih polutantov. Dandanes se bodisi zaradi propada industrijskih obratov bodisi zaradi tehnoloških izboljšav situacija v modernem svetu izboljšuje, saj so se marsikje koncentracije žveplovih oksidov v zraku zmanjšale. Po drugi strani pa še vedno ostajajo problem fotooksidanti, še posebej ozon. Koncentracije ozona, zaradi naraščajoče obremenitve ozračja zaradi prometa, ostajajo velike ali pa so celo v porastu. Ozon ima številne negativne vplive na zdravje ljudi in živali, ter povzroča poškodbe na naravni in polnaravni vegetaciji. Analize zmanjšanja pridelkov za Evropo kažejo na 4,625 milijarde evrov izgube na leto. V Sloveniji je v letu 2000 izguba zaradi ozona znašala 5 milijonov evrov (Batič in Turk, 2007). Dodatna težava obremenitve ozračja z ozonom je, da vpliv ozona ni omejen zgolj na mesta nastajanja ozona, pač pa segajo le-ti preko državnih meja.

Kritično stanje prekomejne onesnaženosti zraka je botrovalo nastanku Konvencije o prekomejnem razširjanju onesnaženega zraka na velike razdalje (CLRTAP). V okviru te konvencije obstajajo delovne skupine in programi, ki spremljejo učinke onesnaženega zraka in snujejo strategije zmanjševanja le tega. V okviru delovne skupine WGE (Working group on effects) se izvaja program ICP Vegetation (International Cooperative Programme on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops) (Harmes in sod., 2007), v sklopu katerega je potekala tudi naša raziskava.

Naše delo je potekalo v sklopu programa ICP Vegetation, ki se ukvarja s spremljanjem učinkov ozona na kmetijske rastline in naravno vegetacijo. Po enotnem protokolu se izvaja sledenje učinkov ozona na rastline po celotni Evropi. Zaradi domnevno dobrih indikatorskih lastnosti in možnosti gojenja v različnih podnebjih je bila izbrana plazeča detelja (*Trifolium repens* 'Regal'). Pri indikatorski rastlini se na listih, ob povečanih

koncentracijah ozona, pojavljajo nekroze, obenem pa se zmanjša tudi produkcija biomase. V preteklih raziskavah se je pokazalo, da plazeča detelja zaradi mezofitskega značaja pogosto ni najbolj primeren pokazatelj ozonskih poškodb.

Poskus se izvaja z za ozon občutljivimi (NR-S) in proti ozonu odpornimi (NR-R) kloni plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Regal') od leta 1996 po vseh krajih Evrope, ki so vključeni v ICP Vegetation program. Efekt ozona se določa kot odstotek zaradi ozona poškodovanih listov in kot razmerje med težo suhe biomase občutljivega in odpornega klona. Sistem obeh klonov je bil izbran, ker imata ob nizkih koncentracijah ozona oba podobno biomaso pridelka, pri višjih koncentracijah ozona pa se ta zmanjša le pri občutljivem klonu (Heagle in sod., 1995).

V Sloveniji je bilo opravljenih že precej tovrstnih raziskav spremljanja učinkov troposferskega ozona po različnih krajih, namen moje diplomske naloge pa je bil ugotoviti škodljive vplive ozona v gorskem okolju, kjer tovrstna raziskava še ni bila izvedena.

1.2 DELOVNI HIPOTEZI

- Povečane koncentracije troposferskega ozona na Krvavcu (1740 m n.m.) povzročajo vidne poškodbe in upad pridelka plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Regal').
- Onesnaženje z ozonom je v višjih legah - na Krvavcu (1740m n.m.) - izrazitejše kot v nižinah (v urbanem ali ruralnem okolju) in predstavlja velik problem za kmetijske rastline.

2 PREGLED OBJAV

2.1 OSNOVNE ZNAČILNOSTI GORSKEGA PODNEBJA

Diplomsko delo se je izvajalo na Krvavcu pod meteorološko postajo na 1740 m nadmorske višine. Po višini omenjeno območje sega v gorski pas (natančneje zgornji del gorskega pasu od 1500 do 1600/1800m n.m.) oziroma v subalpinski pas (1600/1800 do 2000m n.m). Vegetacija je zaradi odsotnosti gozda bolj slična vegetaciji v subalpinskem pasu.

Za podnebje v goratih predelih so na splošno značilne nizke temperature, ki se z nadmorsko višino nižajo, z njo pa se manjša tudi absolutna zračna vlaga. Temperaturne spremembe so na isti višini nad tlemi mnogo večje in hitrejše kot v dolini (Broder in Gygax, 1985). V zelo kratkem času na primer lahko pride do nevihte iz prej popolnoma jasnega; temperature pa se v nekaj urah lahko tudi poleti spuste od ekstremno visokih do temperatur pod ničlo. Povprečne dnevne temperature zraka so se na Krvavcu od junija do konca septembra v obdobju 16 let (1991-2006) gibale med 8-14°C. Absolutni maksimumi so bili v istih mesecih za posamezno leto med 18-27°C, absolutni minimumi pa od -2 do 5°C (Podnebje – Krvavec, 2006).

Temperatura zraka je v gorah nižja kot nad morjem, zato gore prejmejo več padavin. Topel in vlažen zrak se ob gorah začne dvigovati. Ob dvigovanju se hladi in s tem lahko zadrži manj vlage. Zaradi tega so v hribih in gorah v popoldanskem času pogoste plohe in nevihte. Povprečna količina padavin na Krvavcu od 1991 do 2006 (junij do september) je bila okoli 70-270 mm.

Zračni pritisk se z višino manjša, kot posledica tega se dvigajoči zrak širi (postaja redkejši); zaradi redkosti pa tudi hladnejši, saj redek zrak lahko absorbira manj toplote. Hladen zrak je sposoben absorbirati manj vlage, zato se ob nižjih temperaturah iz zraka izloča vlaga (Mountains ..., 2008). Povprečna relativna zračna vlaga je bila v letih 1991 do 2006 poleti (junij do september) na Krvavcu ob 14. uri okoli 55-90 % (Podnebje – Krvavec, 2006).

Poleg vlage in temperatur na značilnost gorskega podnebja vpliva tudi sevanje z močnim deležem ultravijolične in infrardeče svetlobe. Tla in rastline se tako podnevi ogrejejo bolj kot zrak (Hegi in sod., 1980).

Zaradi temperaturnih razlik in posledičnih sprememb tlaka zračnih mas v dolini in v goratih predelih, se zračne mase gibajo (veter); ponoči se hladnejši zrak spušča iz goratih predelov ob pobočju navzdol, ker je težji, podnevi po sončnem vzhodu pa pride do obrata in se ob pobočju dviga topel zrak iz doline – iz mest (Roth, 1992). To gibanje prinese onesnažen zrak iz dolin v višje predele.

2.2 SPLOŠNO O OZONU

Ozon je posebna alotropska oblika kisika, ki ima v molekuli 3 atome kisika, O₃. V plinasti obliki je modre barve, utekočinjen je temnomoder, v trdi obliki pa črn. Ima močan, neprijeten vonj, od koder tudi njegovo ime (gr. ozein – vonjati, dišati). Je neobstoječ; pri sobni temperaturi počasi, pri višji pa hitreje razpade na molekulo navadnega kisika O₂ in atom kisika O. Zaradi tega je zelo reaktiven in močan oksidant (zelo hitro reagira na površini listov). V manjših koncentracijah deluje osvežilno, v večjih pa povzroča glavobol. Ob trajnejšem delovanju lahko povzroča draženje očesne sluznice in oteženo dihanje, kot tudi dihalne bolezni (astma, pljučnica, bronhitis). Nastaja v zraku iz kisika pod vplivom ultravijoličnih žarkov in razelektritev (blisk) (Leksikon..., 1982, 2000; Kazalci ..., 2006).

2.3 OZON V STRATOSFERI

Ozon se na Zemlji nahaja tako v troposferi, prvih 10 km nadmorske višine, kot tudi v stratosferi, ozračje od 10 do 50 km nad zemeljsko površino. V stratosferi je kar 90% vsega Zemeljinega ozona. Na višini 20 do 30 km je plast, kjer so koncentracije ozona večje. Imenujemo jo ozonski ščit ali ozonosfera. V tej plasti se vpija za žive organizme nevarno kratkovalovno ultravijolično sevanje Sonca: sevanje valovnih dolžin < 290 nm popolnoma vpija, sevanje 290 do 320 nm pa močno oslabi. Ozonski ščit je v evoluciji organizmov omogočil naseljevanje kopenskih življenjskih prostorov in jih še danes varuje pred nevarnim sevanjem. Vendar pa se zaradi antropogenega sproščanja klorofluorogljikovodikov ali CFC-jev (nahajajo se v hladilnih napravah, čistilih, sprejih, penastih snoveh) in brom vsebujočih halogenskih ogljikovodikov ali halonov (v gasilnih aparatih) ozonosfera tanjša. CFC-ji in haloni praktično nespremenjeni dospejo do stratosfere, kjer se vežejo v klornitrate. Nad Antarktiko pa se zgodaj spomladi zaradi mraza tvorijo ledeni oblaki, 'na katere se vežejo' dušikove spojine, ki tako niso dostopne CFC-jem. Ti se tako namesto v klornitrate vežejo v molekule klora. Te neprestano razgrajujejo ozon, kar vodi do nastanka ozonskih lukenj. Podobno delujejo iz halonov nastale molekule broma, le da jih je manj. Ocenjujejo, da lahko vsak atom klora ali broma razkroji nekaj deset tisoč ali celo sto tisoč molekul ozona. V celotnem Zemljinem ozračju se je količina ozona v nekaj desetletjih zmanjšala za 6 %. Kot posledica tega prihaja v troposfero vse več nevarnega UV-C (<280 nm) in UV-B sevanja (280 do 320 nm). Za žive organizme najnevarnejše je sevanje valovne dolžine 260 nm, ki povzroča mutacije (Batič in sod., 1999; Rakovec, 2000).

2.4 OZON V TROPOSFERI

Ozon sodi med fotooksidante. To so sekundarna onesnažila (polutanti), ki nastajajo v onesnaženem ozračju pod vplivom svetlobe (ob sončnem, toplem vremenu) iz primarnih

onesnažil (predhodnikov), predvsem iz dušikovih oksidov NO_x , ogljikovega monoksida CO in hlapnih ogljikovodikov (VOC).

Po naravni poti pride v troposfero le nezatna količina ozona. Ta prihaja s prodorom stratosferskega ozona v nižje plasti ali nastaja iz predhodnikov, ki jih proizvajajo rastline. To so predvsem alkani, lahko tudi terpeni, ki jih sprošča razno grmičevje, iglavci in listavci, posebno pri višjih temperaturah zraka. Večina ozona v zraku pa je antropogenega izvora, saj največ predhodnikov pride v zrak z izpušnimi plini iz prometa, veliko pa tudi z industrijo in energetiko. Zaradi prometa in industrije se je v prizemni plasti povprečna letna koncentracija ozona v 100 letih povečala za faktor 2.

Za razliko od primarnih onesnažil zraka, kot so žveplov dioksid, fluorovodik, dim, saje, ipd., sekundarna onesnažila velikokrat nastajajo daleč od vira predhodnikov; predhodniki namreč z zračnimi masami pripotujejo tudi do 100 km daleč. Tako sekundarna onesnažila povzročajo poškodbe tudi na vegetaciji izven urbanega okolja, v ruralnem okolju, kjer je naravno malo predhodnikov ozona (Guderian, 1985; Krupa in Manning, 1988). Poleg tega so razdalje, ki jih lahko prepotuje sam ozon, od nekaj sto do tisoč kilometrov. Nad naše kraje doteka v večini primerov s severozahodnimi in jugozahodnimi vetrovi iz Zahodne Evrope in severnega dela Italije (Orešnik, 1995). Hkrati pa je v troposferi relativno stabilen; njegova življenjska doba je okrog 10 dni (Hough in Derwent, 1990).

Poleg ozona so v zraku najbolj pogosti fotooksidanti še aldehidi R^+CHO , peroksiacetilnitrat PAN ($\text{CH}_3(\text{O})\text{O}_2\text{NO}_2$), višji oksidi dušika, ketoni, različni organski peroksidi, ter na plinske in trdne delce vezane anorganske in organske kisline.

Velike koncentracije ozona se pojavljajo ob lepem vremenu: majhni relativni zračni vlažnosti, veliki intenziteti sevanja in visokih temperaturah zraka (Batič in sod., 1999; Kazalci ..., 2006; Rakovec, 2000).

2.5 KEMIZEM NASTANKA OZONA

Kemizem nastanka ozona opisujejo Batič in sod. (1999).

2.5.1 V stratosferi

Ozon se tvori s fotolizo **molekul kisika** O_2 (reakcija 1). Pride do nastanka atomarnega kisika, ki nato reagira z molekulo kisika v ozon (reakcija 2). Za to reakcijo je potrebna svetloba valovne dolžine 242 nm v UV-C področju. Svetloba te valovne dolžine se večinoma absorbira v stratosferski ozonski plasti in le v manjši meri dospe v nižje atmosferske plasti.



2.5.2 V prizemni plasti troposfere

- V naravi v normalnih razmerah je v prizemni plasti predhodnik ozona **dušikov dioksid** NO_2 . Ta pri fotolizi - potrebna je modrovijolična svetloba vidnega dela svetlobnega spektra valovne dolžine 420 nm - razpade v atomarni kisik O in dušikov oksid NO (reakcija 3). Atomarni kisik reagira z molekularnim kisikom in inertnim tretjim udeležencem M, ki služi za odvod energije, v ozon (reakcija 4). Nastali dušikov oksid pa je v povratni reakciji porabnik ozona (reakcija 5).



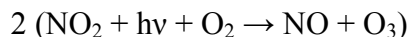
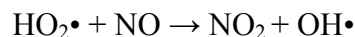
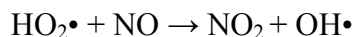
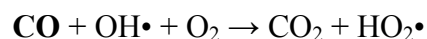
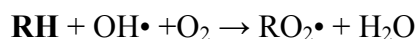
Po reakcijah 3 in 5 nastane fotokemijsko ravnotežje (enačba 6), ki določa koncentracijo ozona. Ta je proporcionalna konstanti K in koncentracijskemu razmerju med NO_2 / NO . Velikost konstante K je odvisna od intenzitete sevanja in razmerij hitrostnih konstant reakcij 3, 4 in 5.



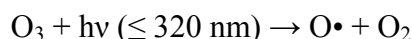
- V onesnaženem zraku se večina prizemnega ozona tvori v fotokemični oksidaciji **ogljikovodikov** RH (reakcija 7) in **ogljikovega monoksida** CO (reakcija 8). Iz ogljikovodikov nastaja več ozona, saj so le ti reaktivnejši od ogljikovega monoksida.



Razgradnja organskih spojin - ogljikovodikov RH in ogljikovega monoksida CO pa poteka tudi preko $\text{OH}\cdot$ radikala, ki je v atmosferi najagresivnejši radikal. Ob tej razgradnji se sam porablja in povzroči nastanek novih t.j. peroksi radikalov $\text{RO}_2\cdot$ ali $\text{HO}_2\cdot$. Ti sami so premalo reaktivni, da bi reagirali s primesmi v zraku, zato zadostuje že najmanjša koncentracija NO, ki z izredno selektivno reakcijo pretvori $\text{HO}_2\cdot$ radikale nazaj v $\text{OH}\cdot$ radikale, ob čemer nastaja NO_2 , predhodnik ozona (reakcije 9).



OH• radikali pa nastajajo ob sončnem in vlažnem vremenu (fotoliza ozona s kratkovalovnim sevanjem) (reakciji 10).



2.5.3 Ozonski potencial organskih spojin

Ozonski potencial je količina ozona, ki lahko nastane iz predhodnikov v zraku. Je še slabo raziskan, znani so le podatki za reakcijsko hitrost OH• radikalov. Reakciji, ki jih začne OH• radikal, izredno hitro sledijo reakcije, ki dajo več peroksi radikalov HO₂•, dokler se reakcija ne ustavi na stabilnih medproduktih, kot so aldehidi in ketoni.

Pri razgradnji kompleksnih ogljikovodikov (npr. aromati) lahko v reakcijah z OH• radikalom nastane več peroksi radikalov. Do zelo hitrega nastanka ozona pride tako v neposredni bližini močnih virov emisij ogljikovodikov, ki jih lahko poleti opazujemo v časovnem intervalu ene ure. V daljšem časovnem intervalu se lahko delno oksidacijski produkti oksidirajo naprej, tako da je nazadnje za oksidacijski potencial določujoče le skupno število razpoložljivih organsko vezanih vodikovih atomov (Batič in sod., 1999).

2.6 LETNI IN DNEVNI HOD KONCENTRACIJE OZONA

Letni hod koncentracije ozona ima maksimalne vrednosti poleti in minimalne pozimi. Ta hod je posebno izrazit v gosto naseljenih predelih. Na območjih s čistim zrakom, v gorskem svetu, je letni hod ozona razmeroma slabo izražen. Občasno opazimo veliko koncentracijo ozona, ki jo povzroči transport stratosferskega ozona s prodori višjih zračnih plasti v troposfero do prizemnih plasti troposfere. To je ozon naravnega izvora.

Pri **dnevnem hodu** je prvi manjši porast ozona v dopoldanskih urah. K povečevanju prispeva dotok ozona iz višjih zračnih plasti v prizemne plasti, saj se zaradi dopoldanskega zviševanja temperatur prizemne plasti zraka dvigujejo. Popoldan (nekje od 12h-19h) je dosežen glavni dnevni maksimum k čemur največ prispevajo kemijske in fotokemijske reakcije. V tem času ozon nastaja iz dušikovega dioksida (nastalega iz NO, ki se je sprostil

ob jutranji prometni konici), ogljikovodikov ter ogljikovega oksida. Če je prisotna vegetacija, ta sprošča ogljikovodike, ki dodatno vplivajo na večjo koncentracijo ozona. Popoldanska prometna konica prispeva k velikim koncentracijam dušikovega oksida, ki porablja ozon, poleg tega pa se zmanjšujeta sončno sevanje in temperatura zraka s tem pa tudi količina ozona. Le ta doseže minimum pred sončnim vzhodom.

V čistih ruralnih območjih, kamor sodi tudi Krvavec, so edini vir predhodnikov ozona ogljikovodiki, ki jih izločajo rastline. Z oksidacijo le teh se tvorijo peroksi radikali, ti pa pretvarjajo NO v NO₂, ki je predhodnik ozona (reakcija 9). Z višanjem temperature se povečuje sproščanje ogljikovodikov iz rastlin in pretvorba NO v NO₂. Vendar je NO v naravi malo in je tudi tvorba ozona manjša in dnevni hod manj izrazit. Ker pa v čista ruralna območja z zračnimi masami prihaja ozon iz urbanih področij, srednja dnevna koncentracija pogosto preseže koncentracijo v urbanih področjih. Poleg tega je odsoten glavni porabnik ozona dušikov oksid, ki je v urbanih področjih prisoten. Ozon v naravi lahko porabljajo le tla in rastlinske površine (listi) (Batič in sod., 1999).

Če primerjamo dnevne hode na Krvavcu in v Ljubljani ob poletnih dnevih (ko so povečane koncentracije ozona posledica lokalnega onesnaženja), opazimo časovni zamik med največjo koncentracijo ozona v Ljubljani in na Krvavcu (medtem ko je v Ljubljani največja vrednost dosežena okrog poldneva, je na Krvavcu šele pozno popoldne ali zvečer med 18 in 21 uro). Del ozona, ki je nastal v Ljubljani podnevi, pride do Krvavca proti večeru. Vzrok je v tem, da je poleti je višina, do katere se mešajo prizemne zračne mase večja kot sicer in doseže merilno postajo na Krvavcu (1740 m n.m.); vetrovi, ki čez dan pihajo po pobočju navzgor, prinesejo onesnažila. Ponoči pa piha veter navzdol in ne poteka mešanje zraka iz dolin in ni dotoka NO. Razgradnja ozona zato ponoči ne poteka in koncentracija ozona tudi ponoči ostane velika, po sončnem vzhodu (obratu vetra) pa počasi upada do 9 oz. 12 ure, ko je dosežen minimum. Značilnost povprečnega dnevnega hoda skozi celo leto na merilni postaji Krvavec je, da koncentracije ozona tudi ponoči ne padejo pod 40 ppb., kakor na ravninskih postajah, kjer poteka razgradnja ozona z NO (Orešnik, 1995).

2.7 BIOINDIKATORSKE RASTLINE

Bioindikatorji so organizmi, ki s svojimi življenjskimi funkcijami odražajo vplive okolja. Za ugotavljanje onesnaženosti zraka jih je dobro uporabljati poleg fizikalnega in kemijskega merjenja onesnažil. Na delovanje škodljive snovi se odzivajo s spremembo biokemične zgradbe, motnjo v fizioloških procesih, spremembo v rasti in razmnoževanju, razširjenostjo, z vidno poškodbo itd. Pri ugotavljanju vidnih poškodb na listih rastlinskih bioindikatorjev moramo biti zelo pozorni, da ne pride do zamenjave s poškodbami, ki so posledica drugih stresnih dejavnikov. To so neživi ali abiotski dejavniki (zmrzal, pomanjkanje ali presežek mineralnih snovi v prsti, suša, toča, ipd.) ter živi ali biotski dejavniki (rastlinojede živali: žuželke, polži, pršice ipd.) Bioindikacija je primerna, ker se lahko izvaja tudi na območjih, kjer je težko zagotoviti stalne meritve onesnažil in ne

zahteva dragih merilnih inštrumentov. Izvaja se lahko praktično povsod (možna gojitev nekaterih vrst in sort rastlin, občutljivih za določen dejavnik) (Batič in sod., 1999). Bioindikacijo je primerno izvajati na prostem, saj so le tu v popolnosti prisotni vsi zunanji dejavniki, in je tako rezultat bolj zanesljiv; v laboratoriju težko simuliramo vse zunanje dejavnike; določene interakcije so mogoče le v naravi. Kot indikatorje zračnih onesnažil, ki pokažejo specifične vplive, se uporabljajo: lišaji (največ epifitski), mahovi, praprotnice. Poleg teh se uporablja tudi višje rastline iz naravne vegetacije in kmetijske rastline, na primer plazeča detelja (*Trifolium repens* L.), ki pokaže prisotnost ozona z vidnimi poškodbami na listih.

2.8 PREHOD OZONA V RASTLINO

Ker ozon vstopa preko listnih rež, je njegov vpliv odvisen predvsem od **stomatarne upornosti** (omejenega prehoda prek listnih rež). Rastlina ob zelo majhni relativni zračni vlagi, zaradi potencialne nevarnosti izgube vode, zapre reže. V zmerni klimi se to dogaja sredi dneva (okoli 12h). Ravno ob teh razmerah pa se pojavljajo največje koncentracije ozona, v času visokih temperatur in majhne relativne zračne vlage. V razmerah ugodnih za tvorbo ozona je rastlina z zaprtimi režami tako zaščitena. Najbolj občutljiva za vstop ozona je pri relativno majhni svetlobni jakosti, zmerni temperaturi in veliki relativni vlagi, ko ima reže odprte. Na stomatarno prevodnost pa poleg relativne zračne vlage, svetlobne jakosti in temperature vplivajo še vlažnost tal, hidratacija rastline (preskrbljenost rastline z vodo), hormoni (ABA), koncentracija CO₂ znotraj rastline in ontogenetsko stanje (starost) rastline (Benton in sod., 1995).

Poleg stomatarne upornosti vstop ozona omejuje tudi **upornost mejne plasti zraka ali aerodinamična upornost**. To je plast zraka tik nad površino rastline. Na njeno zmanjšanje vplivata veter ali pa segrevanje rastline, ki povzroča konvekcijo. Nastopa še **kutikularna upornost**, saj ozon v manjši meri prehaja tudi direktno preko kutikule. Ob zmanjševanju relativne zračne vlage (suša) se ta povečuje. Zadnji, **mezofilna in rezidualna upornost**, pa sta povezani z onesnaženim zrakom, ki je prešel v rastlino. Mezofilna upornost nastopi ob kopičenju onesnažila v medceličnem prostoru, rezidualna pa ob pojavu le tega znotraj celice.

Difuzija ozona v rastlino je sorazmerna s koncentracijskim gradientom ozona med okolico in rastlino ter obratno sorazmerna z vsemi upornostmi, ki na tej poti nastopajo (Legge in sod., 1995).

2.9 VPLIV OZONA NA RASTLINE

V rastline ozon vstopa prek listnih rež. Ker je topen v vodi, se zlahka absorbira v notranjosti rastline. V rastlini sproži oksidacijo številnih sestavnih delov in tako se porušijo procesi, ki so prej normalno potekali.

Po vstopu skozi listne reže najprej preide membrane celic zapiralk listnih rež, listne sredice in membrane celic okoliškega tkiva. Poškoduje fosfolipide in beljakovine membran, ter moti presnovne procese (sintezo maščobnih kislin, beljakovin, ogljikovih hidratov,...). Zaradi poškodovanosti membran se spremeni selektivna prepustnost le teh. Voda začne vdirati v celice, kar od zunaj izgleda kot z vodo nabrekla mesta (prve opazne poškodbe na listih). Kasneje elektroliti in organske snovi začno izhajati iz celic in celice začno odmirat. To opazimo po nekaj urah od nastanka z vodo nabreklih mest. Pri zelnatih rastlinah te poškodbe izgledajo kot do 2 mm velike ostro definirane obledele pikice - kloroze na površini listov (slika 1) ali/kasneje kot rjave pike, če/ko tkivo odmre - nekroze. Gre za poškodovanost manjših ali večjih skupin celic na več mestih (običajno lista). Te pikice se kasneje združijo. Običajno so prizadete le klorofil-vsebujoče celice (Treshow, 1984).



Slika 1: Ozonske poškodbe - kloroze - na listih plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Menna') (foto: Batič, 2009).

V nekaterih primerih pa rastline s pomočjo popravljalnih mehanizmov prvotne poškodbe, z vodo nabrekla mesta, popravijo. Poškodbe se lahko tudi takoj pokažejo kot obsežnejša nekrotična mesta na površini listov, 'bronzing' pozlatitev ali 'silvering' posrebrnitev. Pri nekaterih rastlinah poškodbe, čeprav so prisotne, na zunaj niso opazne (Batič in sod., 1999).

Zaradi ozona tilakoide kloroplastov in klorofil razpadejo. Fotosinteza v rastlini je zato zmanjšana (ozon oksidira SH skupine proteina RuBP karboksilaze, ki je odgovorna za vezavo CO₂, s tem pa tudi količino fotosintatov).

Poskusi podpirajo domnevo, da delovanje ozona enako ali pa še bolj prizadene korenine kot zgornji del rastline. Zaradi manjše produkcije fotosintatov v rastlini in transporta teh v korenine, je porušeno tudi simbiotsko razmerje z mikoriznimi glivami (pri metuljnicah so manjši noduli,...), ker dobijo manj hranil/fotosintatov, posledično pa tudi rastline manj mineralov in vode od glive. Manj fotosintatov direktno ali indirektno vpliva na manjšo rast rastlin in količino pridelka.

Rastline imajo na ozon lahko **akutne** ali **kronične reakcije**. Akutne se pojavijo po večurnem ali nekajdnevem delovanju velike koncentracije ozona; izjemno velika koncentracija ni nevarna, saj se ob takih razmerah reže zapro. Pri akutnih reakcijah pride do običajnih točkastih znamenj in ne vplivajo nujno na zmanjšanje pridelka. Kronične poškodbe pa se pojavijo po nekaj tednih, mesecih ali celo celem življenju izpostavljenosti občasno povečanim koncentracijam ozona. Te nujno vodijo v zmanjšanje pridelka, nevarno pa je, ker so zunanji znaki tu včasih odsotni (Krupa in Manning, 1988; Grünhage in sod., 1994).

Na manjše koncentracije prizemnega ozona so rastline v evoluciji razvile **odpornost**; nekatere bolj (plazeča detelja NC-R), nekatere manj (plazeča detelja NC-S). Za nevtralizacijo ozona idr. fotooksidantov so razvile zaščitne snovi kot so: askorbinska kislina, fenoli, tioli, poliamini, glutation, antociani, karotenoidi, idr., ki delujejo kot lovilci radikalov, ter obsežne encimske sisteme, ki proste radikale in ozon uničijo.

Potek, obseg in mesta poškodb so odvisni od vrste, starosti, razvojne stopnje rastline, koncentracije, trajanja, pogostosti pojavljanja ozona, pa tudi od vrste biotičnih dejavnikov (patogeni, žuželke, mikoriza, gliste, vezava dušika, alelopatija) in abiotičnih: temperature, vlage zraka, jakosti sevanja, hitrosti vetra, od količine CO₂, prehranjenosti, tipa, strukture tal idr.. Najprej so poškodovani vrhnji/gornji listi na svoji gornji površini, ker so najbolj izpostavljeni ozonu. Poškodbe se pojavijo med listnimi žilami in žilicami, žile in žilice pa ostanejo nepoškodovane (Batič in sod., 1999).

2.10 KRITIČNI MEJI KONCENTRACIJE OZONA

Vrednost AOT40 predstavlja seštete koncentracije ozona čez dan nad pragom 40 ppb. Mejna koncentracija 40 ppb je bila predlagana na delavnici projekta ICP Crops v Veliki Britaniji, leta 1992. Ugotovili so povezavo med koncentracijo ozona 30-40 ppb in zmanjšanjem pridelka. Vendar so kot mejo določili 40 ppb, saj je koncentracija 30 ppb preblizu koncentraciji ozona, ki je sicer prisotna v troposferi.

Ločimo dve kritični meji (Jurkovnik, 2001):

- Kritična meja za zmanjšanje pridelka:
5300 ppb.h nad 40 ppb akumuliranega ozona med svetlimi urami dneva (obdobje največjega dotoka ozona v rastlino) v obdobju treh mesecev, ko so rastline najbolj občutljive za ozon (vegetacijsko obdobje). Za naše območje so to junij, julij in avgust.
- Kritična meja za vidne poškodbe:
700 ppb.h nad 40 ppb akumuliranega ozona med svetlimi urami dneva, v obdobju treh zaporednih dni.

3 MATERIAL IN METODE

3.1 MATERIAL

- indikatorske rastline:

<i>Trifolium repens</i> 'Regal' (NC-S)	plazeča detelja (na O ₃ občutljivi klon)
<i>Trifolium repens</i> 'Regal' (NC-R)	plazeča detelja (na O ₃ odporni klon)
<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	njivski osat
<i>Centaurea jacea</i> L. (S)	navadni glavinec (na O ₃ občutljivi klon)
<i>Centaurea jacea</i> L. (R)	navadni glavinec (na O ₃ odporni klon)
<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill.	hrapava škrbinka
<i>Nicotiana tabacum</i> 'BEL W3	navadni tobak (na O ₃ občutljivi kultivar)
- plastični lonci: 29 loncev po 1liter in 2 x 29 loncev po 15 litrov (29 z drenažnimi odprtini v dnu)
- namakalne vrvice (za črpanje vode) 3x 29 kosov
- Mešanica prsti za sajenje lončnic s primešano vrtno prstjo Metro mix 200 in umetno gnojilo (počasi sproščajoče)
- 10 % raztopina kloroksa
- Limacid
- Ograja
- Papirnate vrečke za shranjevanje vzorcev
- Potovalna hladilna torba
- Tehnica
- Sušilnik (za sušenje na 30°C)
- Računalnik

3.2 METODE

Poskus smo izvajali po mednarodnem protokolu ICP Vegetation (Experimental Protocol for the 2001 Season – Mills in sod., 2001), ki določa način gojitve in vzdrževanja indikatorskih rastlin, identifikacijo vidnih ozonskih in drugače povzročenih poškodb (poškodbe žuželk, polžev, ptičev,...) na plazeči detelji. Predpisuje tudi neobvezni del opazovanja poškodb drugih indikatorskih rastlin (naravna vegetacija, druge kmetijske rastline), navaja stalno izpostavljenost rastlin ozonu in meritve biomase v določenih presledkih in po možnosti tudi dodatne meritve fizioloških parametrov.

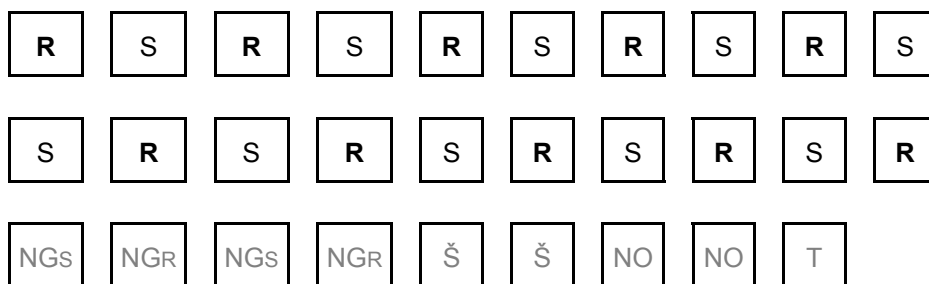
3.2.1 Izpostavitve rastlin naravnim razmeram

Poskusne rastline, vrste *Trifolium repens* 'Regal', smo dobili na koordinacijskem centru v Veliki Britaniji. Po osemindvajsetdnevni rasti v rastlinjaku, smo jih presadili v večje lonce in izpostavili na poskusno parcelo.

Izpostavitve: V 29 (15 litrskih) loncev s po tremi vrvicami, po katerih lahko rastline črpajo vodo iz spodnjega lonca, smo nasuli zemljo z gnojilom, pri tem pa pazila na enakomerno razporeditev vrvic v zemlji. V vsakega od 29 loncev smo posadili po 3 sadike. V 20 loncev sadike plazeče detelje (10 loncev z odpornim klonom in 10 z na ozon občutljivim klonom), v 4 lonce sadike navadnega glavinca (2 lonca z odpornim, ter 2 z občutljivim klonom), v 2 sadike škrbinke, v 2 lonca sadike njivskega osata in v en lonec eno sadiko tobaka (slika 2). Lonce s sadikami smo vstavili v lonce z vodo, ki je oskrbovala rastline tekom poskusa, ter vkopali v zemljo. S tem, ko smo lonce vkopali, smo preprečili pretirana temperaturna nihanja v koreninskem delu. Vkopali smo jih v tri vrste z medvrstno razdaljo okoli pol metra in razdaljo v vrsti 25 cm (slika 2). Ker je bila poskusna parcela na pašniku, smo jo pred živalmi zaščitili z ograjo. Proti polžem smo uporabili limacide; proti insektom in glivam pa rastlin nismo tretirali. Zalivanje zaradi zadostne količine vode skozi vso rastno sezono ni bilo potrebno.



Slika 2: Poskusna parcela na Krvavcu, 2001.



Slika 3: Shematični prikaz razporeditve loncev na poskusni parceli na Krvavcu, 2001; (prvi 2 vrsti: plazeča detelja, R-odporni klon, S-občutljivi klon; tretja vrsta: NGR-navadni glavinec odporni klon, NGS-navadni glavinec občutljivi klon, Š-škrbinka, NO-njivski osat, T-tobak).

3.2.2 Tedenska opazovanja poškodb / bolezni na indikatorskih rastlinah

Enkrat na teden smo v vsakem loncu plazeče detelje prešteli zdrave in od ozona poškodovane liste in določili odstotek poškodovanih listov v loncu ali indeks listne poškodovanosti ILP (enačba 1):

$$\% ILP = (\text{št. poškodovanih listov v loncu}) \times 100 / \text{število vseh listov v loncu} \quad \dots(1)$$

Hkrati smo ocenili stopnjo od ozona poškodovane listne površine na posameznem listu ter glede na to določili stopnjo poškodovane listne površine pri posameznem loncu (pril. A).

Stopnja poškodovane listne površine:

- 1 - rahlo poškodovana listna površina
- 2 - zmerno poškodovana listna površina
- 3 - močno poškodovana listna površina

Vidne ozonske poškodbe smo opazovali tudi na ostalih indikatorskih rastlinah; preko teh smo lažje zasledovali pojav vidnih ozonskih poškodb pri plazeči detelji.

Na vseh rastlinah smo hkrati opazovali tudi druge poškodbe in obolenja.

3.2.3 Vzorčenje bimase klonov plazeče detelje

Žetev je potekala vsakih 28 dni. Prva je bila opravljena 28 dni po sajenju. Potek žetve: v vsakem loncu posebej smo odrezali glavne, stranske poganjke in cvetove nad robom lonca (približno 10 cm nad površino zemlje); nerazvitih listov nismo rezali. Požeti rastlinski deli posameznega lonca so predstavljali vzorec. Tako smo dobili 20 vzorcev plazeče detelje, ki smo jih spravili v stehtane papirnate vrečke, ter primerno označili. Ostalim indikatorskim rastlinam nismo vrednotili biomase. Vzorce smo posušili pri 30°C do stalne teže in določili težo vsakega vzorca.

3.2.4 Meteorološki podatki

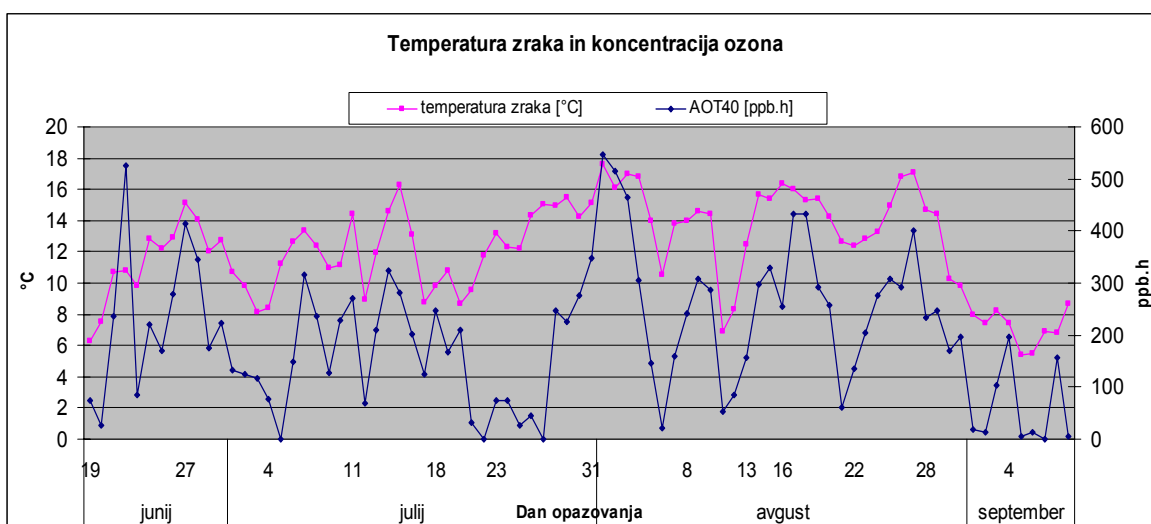
Koncentracija ozona, temperatura zraka, relativna zračna vlaga, gostota energijskega toka sevanja in količina padavin so bili izmerjeni na meteorološki postaji Krvavec.

4 REZULTATI

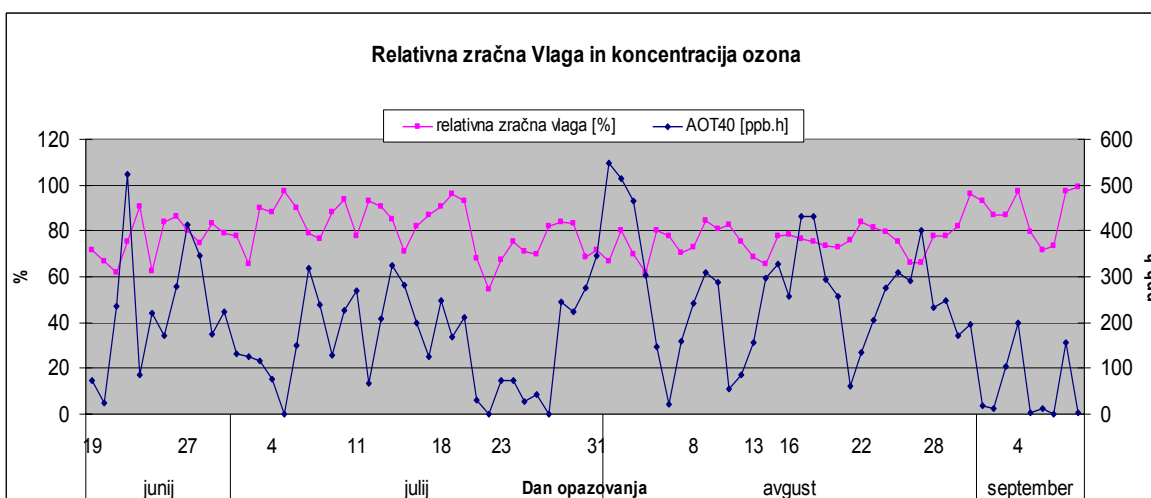
4.1 METEOROLOŠKI PODATKI

Povečane koncentracije ozona so bile v času poskusa v korelaciji s povišano temperaturo. Ob povečanih koncentracijah ozona je bila temperatura zraka med okoli 15 do maksimalno 18°C (slika 4).

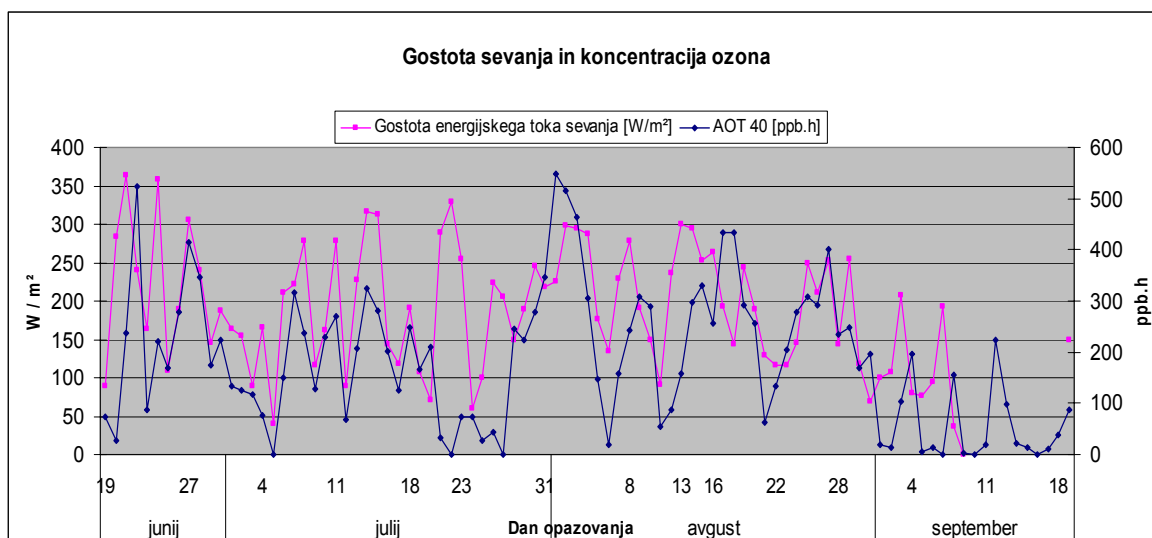
Relativna zračna vlaga v času povečanih koncentracij ozona ni padla pod 60 % (slika 5). Gostota sevanja je tekom poskusa nihalo od manj kot 50 do nad 350 W/m² (21.in 24. junija) (slika 6).



Slika 4: Vrednosti temperature in AOT40 v času izvajanja poskusa na Krvavcu v vegetacijski sezoni 2001.



Slika 5: Vrednosti relativne zračne vlage in AOT40 v času izvajanja poskusa na Krvavcu v vegetacijski sezoni 2001.



Slika 6: Vrednosti gostote energijskega toka sevanja in AOT40 v času izvajanja poskusa na Krvavcu v vegetacijski sezoni 2001.

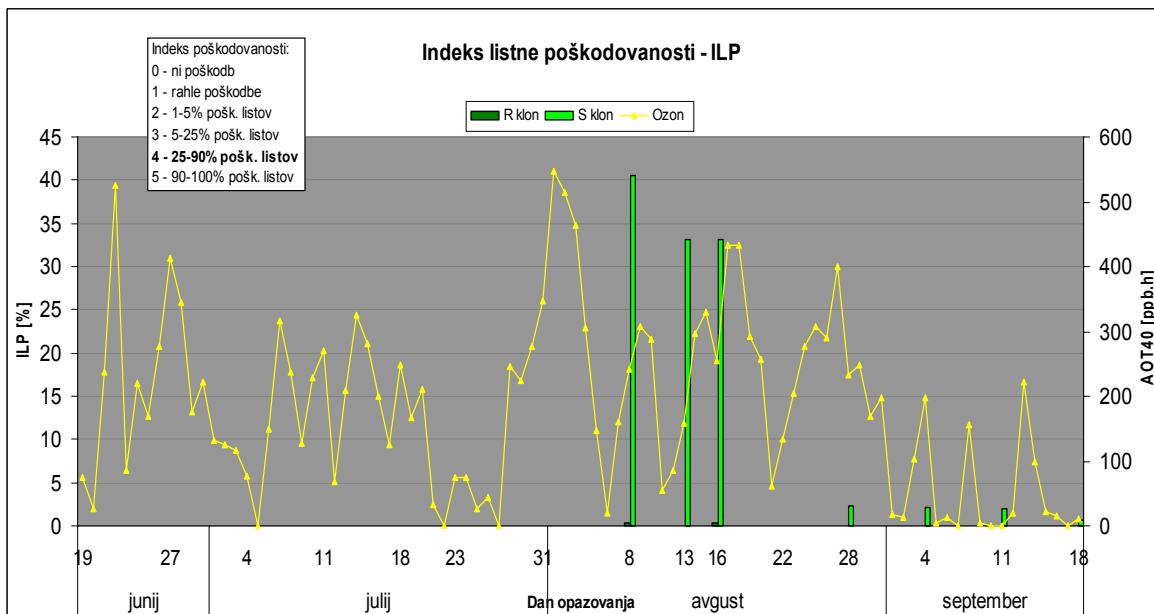
4.2 VIDNE OZONSKE POŠKODBE

Indeks listne poškodovanosti - ILP prikazuje povprečni delež poškodovanih listov na loncu pri odpornem (R) oziroma občutljivem (S) klonu detelje ob posameznem dnevu opazovanja; pri dnevni (slika 7) in trodnevni koncentracijah ozona (slika 8).

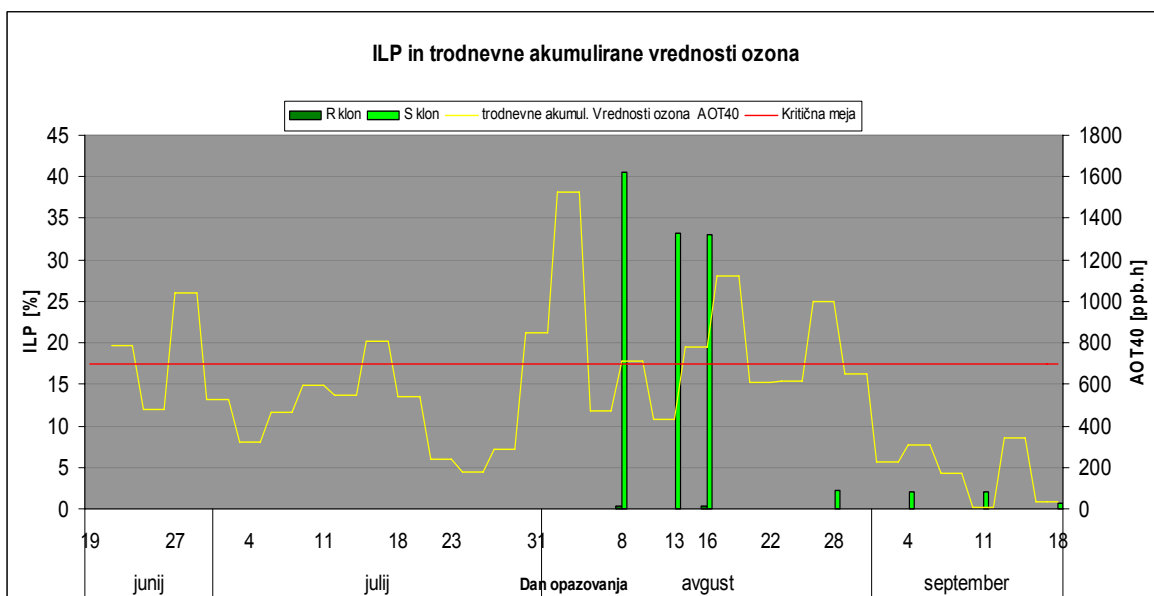
Takoj po izpostavitvi rastlin 19. junija pa vse do konca julija, na listih detelje nismo opazili ozonskih poškodb, kljub temu, da je v tem času koncentracija ozona štirikrat presegla kritično vrednost 700 ppb.h v treh zaporednih dnevih (22. julija je bila dnevna koncentracija AOT40 525 ppb.h, akumulirana trodnevna koncentracija 26-28. junija pa 1037 ppb.h).

Večja koncentracija ozona se je zopet pojavila okrog 1. avgusta in je več dni zapored krepko presegala mejno vrednost 700 ppb.h v treh zaporednih dnevih (1.-3. avgusta je bila izmerjena akumulativna vrednost nad 1500 ppb.h, v tem času je bila dosežena največja dnevna koncentracija ozona 547 ppb.h). Po tem velikem porastu koncentracij smo opazili prve ozonske poškodbe (8. avgusta). Pri občutljivem klonu je bilo poškodovanih do 40 % listov. Poškodbe so bile do naslednje žetve (16. avgusta) seveda prisotne. Pri rastlinah občutljivega klona so bile poškodbe izrazite, pri rastlinah odpornega klona pa komaj prisotne.

Kasneje smo poškodbe še opazili, a v manjši meri in le pri občutljivem klonu, čeprav je bila koncentracija ozona še vedno velika in je dvakrat presegla mejno vrednost 700 ppb.h (16.-18. avgusta je akumulativna koncentracija AOT40 znašala 1121; 25.-27. avgusta pa 1000 ppb.h).

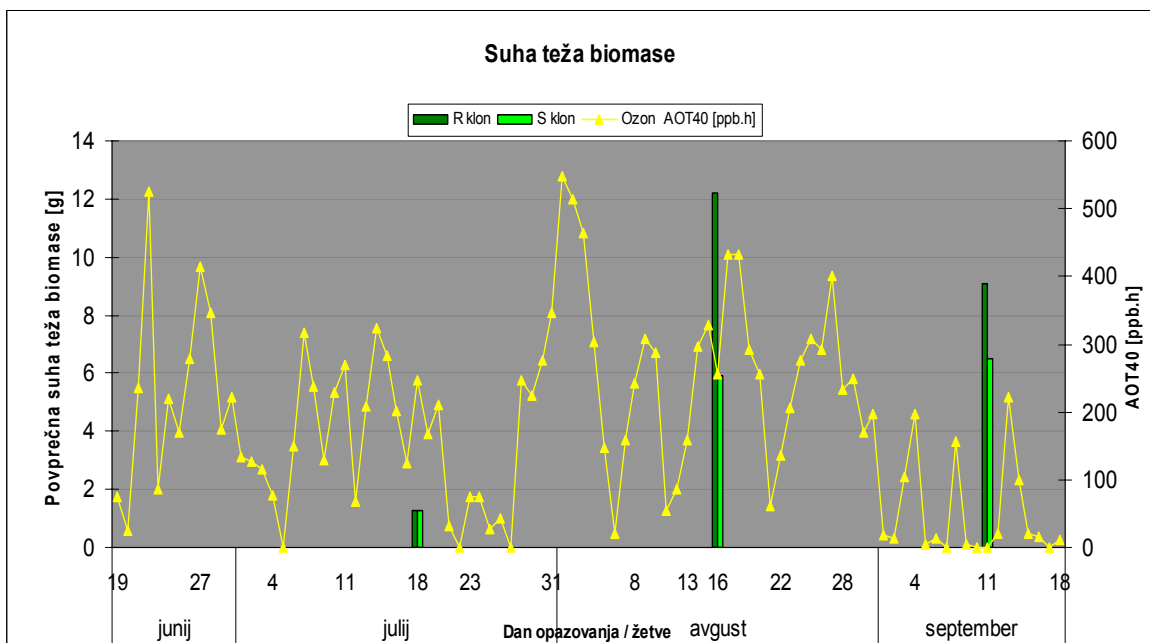


Slika 7: Primerjava dnevnih koncentracij ozona (AOT40) z listnimi poškodbami plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Regal'; R-odporni klon, S-občutljiv klon) za Krvavec, sezona 2001.



Slika 8: Primerjava trodnevni akumuliranih koncentracij ozona (AOT40) z listnimi poškodbami plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Regal'; R-odporni klon, S-občutljiv klon) za Krvavec, sezona 2001.

4.3 BIOMASA



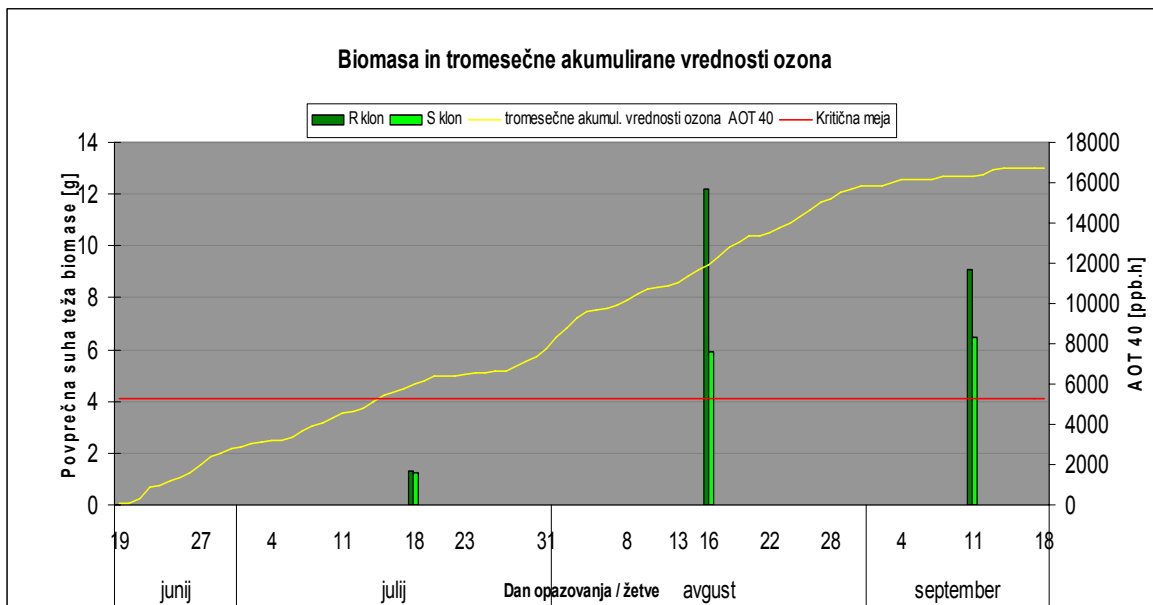
Slika 9: Primerjava dnevni koncentracij ozona (AOT40) z biomaso plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Regal'; R-odpornen klon, S-občutljiv klon) za Krvavec, sezona 2001.

Ker so krave popasle večino prve biomase, je v diplomski nalogi nismo upoštevali. Ob drugi žetvi je bila povprečna biomasa odpornega (R) klona 12,2 g, biomasa občutljivega (S) klona pa 5,49 g. Ob tej žetvi je bila biomasa S klona 55% manjša od biomase R klona; njuno razmerje pa 0,49.

Pri zadnji žetvi je bil prirast odpornega klona 9,10 g, prirast občutljivega klona pa 6,50 g. Prirast občutljivega klona pri tej žetvi je bil 28,6 % manjši od prirasta odpornega klona; razmerje je bilo 0,71.

Povprečno je bila biomasa občutljivega (S) klona 43,7 % manjša od biomase odpornega (R) klona; tromesečno razmerje biomas S in R klona pa 0,6 (slika 9).

Slika 10 prikazuje preseženo kritično mejo ozona za zmanjšanje pridelka. Ta meja je 5300 ppb.h (nad 40 ppb akumuliranega ozona med svetlimi urami dneva) v obdobju 3 mesecev.



Slika 10: Primerjava akumuliranih koncentracij ozona (AOT40) za tromesečno obdobje z biomaso plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Regal'; R-odporen klon, S-občutljiv klon) za Krvavec, sezona 2001.

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

V Sloveniji je bilo v sklopu ICP Vegetation programa opravljenih že precej raziskav o škodljivem vplivu ozona na vegetacijo, predvsem v ruralnih in urbanih središčih. Tudi naša raziskava je potekala v okviru tega programa, v njej pa smo se osredotočili na problematiko v gorskem področju. V ta namen in zaradi neposredne bližine meteorološke postaje smo za lokacijo poskusa izbrali Krvavec.

Znano je, da so v alpskih dolinah poleg žveplovih, dušikovih spojin in težkih kovin, fotooksidanti med najbolj pomembnimi onesnažili zraka. Povečane koncentracije ozona v alpskih dolinah je bilo zaznati že v začetku 50tih (Smidt, 1996).

Zaradi velike intenzitete sevanja (ki je potrebno za nastanek fotooksidantov) v alpskem svetu ob prisotnosti predhodnikov ozon nastaja v še večjih koncentracijah kot sicer v ruralnih območjih. Meteorološka merilna postaja na Krvavcu, na višini 1740 m n.m., je od Ljubljane oddaljena manj kot 30 km. V poletnem času je dotok ozona in predhodnikov iz Ljubljane in okolice zaradi mešanja zraka, velik. Poleg tega dotekajo ozon in predhodniki (VOC in NO_x) z zračnimi masami tudi iz Zahodne Evrope in severnega dela Italije (Orešnik, 1995). Največja izmerjena koncentracija ozona v enem dnevu je bila v letu 2001 tako 547 ppb.h, kar je precej nad kritično mejo 40 ppb.h. V Ljubljani je bila istega dne izmerjena koncentracija 423 ppb.h, v Iskrbi, ruralnem okolju, pa 344 ppb.h. Ker pa je v gorskem svetu tudi relativno velika zračna vlaga in so povprečne dnevne temperature srednje, so listne reže večidel časa odprte. Tako so rastline praktično ves čas izpostavljene izjemno velikim koncentracijam ozona.

Kritični meji ozona (po ICP Crops) 700 ppb.h in 5300 ppb.h sta pa mojemu mnenju odvisni tudi od drugih parametrov. Ob visoki temperaturi in majhni zračni vlagi so listne reže namreč zaprte in tudi velike koncentracije ozona ne prizadenejo škode rastlinam. Po novejših podatkih CRLTAP konvencija definira kot kritično vrednost za poljščine, naravno in polnaravno vegetacijo akumulirano v treh mesecih, vrednost AOT40 3000 ppb.h. (Harmes in sod., 2007).

5.1.1 Vidne ozonske poškodbe

Poškodbe ozona smo opazili šele šest tednov po izpostavitvi rastlin, čeprav so koncentracije ozona do tega časa že štirikrat presegle kritično koncentracijo za pojav vidnih poškodb v treh zaporednih dnevih (slika 7). V tem času sta bili relativna zračna vlaga in temperatura zraka podobni avgustovski, ko so bile reže odprte (relativna zračna

vлага ni padla pod 60%, temperatura pa ni presegla 18°C). Če so bile listne reže v tem času odprte, bi bolj zagotovo pokazale meritve prevodnosti listnih rež. Ob odprtih listnih režah bi bilo pričakovati vidne ozonske poškodbe v tem obdobju. Vendar je bila v tem času morda preskrbljenost tal z vlago nezadostna zaradi majhne količine padavin (priloga D). Morda so bile poškodbe prisotne, a na zunaj niso bile opazne, kar je možno pri nekaterih rastlinah (Batič in sod., 1999). To bi lahko ugotovili iz **razlike v biomasi občutljivega in odpornega klona**, vendar so prvi pridelek tik pred žetvijo popasle krave. Kasnejši podatki kažejo, da je imel ozon večji vpliv pri zmanjšanju prirastka kot pri nastanku vidnih poškodb! Občutljivi klon je imel bistveno manjšo biomaso. Tudi biokemijske analize vsebnosti zaščitnih snovi (antioksidantov: askorbinske kisline ABA, α tokoferola; raznih barvil,...) bi pokazale, ali je bil vpliv ozona škodljiv. Možno je, da se poškodbe niso pojavile, ker so bile velike koncentracije ozona v tem obdobju kratkotrajne. Bolj uničujoče za rastline so dolgo trajajoče povečane koncentracije ozona (Smidt, 1996).

Prve poškodbe smo opazili 8. avgusta po velikem porastu ozona (1. avgusta je bilo izmerjeno kar 547 ppb.h) (slika 7). Te so se pojavile v relativno kratkem času v velikem obsegu (v manj kot enem tednu se je pri S klonu pojavilo okoli 40% poškodovanih listov). Verjetno je šlo za akutne poškodbe, ki se pojavijo po večurnem ali nekajdnevem delovanju velike koncentracije ozona (Krupa in Manning 1988; Grünhage in sod., 1994). Temperatura zraka v tem času ni presegla 18°C in zračna vlaga ni padla pod 60% (sliki 3 in 4). Listne reže so bile tako ob velikih koncentracijah ozona verjetno odprte vsaj večji del časa.

Znano je, da so mlade rastline (in mladi listi) bolj sposobne popraviti poškodbe in da sintetizirajo več zaščitnih snovi. To potrjuje tudi naš poskus. Poškodbe se po izpostavitvi niso pojavile, kasneje pa šele tretji teden po prvi žetvi in drugi teden po drugi žetvi, kljub velikim koncentracijam ozona v tem času (AOT40 >700 ppb.h (slika 7)). Kljub vsemu mnogi poskusi (Kovk 1995, Žalec in Ljubljana 1998, Iskrba 2006, Rakičan 2006, Iskrba 2007) kažejo drugačne rezultate. V teh poskusih so se poškodbe pojavile bodisi takoj po izpostavitvi, bodisi takoj po žetvi (Bienelli, 1997; Jurkovnik, 2001; Lesar, 2007; Veberič, 2008; Batič in Turk, 2006).

V drugem delu poskusa (po žetvi 16. avgusta) bi, glede na velike koncentracije ozona, relativno zračno vlago nad 60%, temperaturo zraka med 12 in 18 °C, ravno tako pričakovala več poškodb.

Tekom poskusa smo, v skladu s pričakovanji, poškodbe opazili le pri občutljivem klonu, pri odpornem klonu pa so bile te neznatne (slika 7).

Zaradi lažjega spremljanja pojava ozonskih poškodb na plazeči detelji, smo opazovali tudi indikatorske rastline. Že prvi teden po izpostavitvi smo na glavincu (*Centaurea jacea*) in tobaku (*Nicotiana tabacum* 'BEL W3') opazili pojave poškodb podobne ozonskim. Na osatu (*Cirsium arvense*), hrapavi škrbinki (*Sonchus asper*) in plazeči detelji jih v tem času nismo

beležili. Poleg ozonskih poškodb so se na rastlinah pojavile tudi poškodbe zaradi insektov, pomanjkanja K v zemlji, virusnih obolenj, poškodbe zaradi polžev in drugo. Nekatere od teh poškodb je bilo težko ločiti od ozonskih. Zlasti poškodbe mehkoškožne stenice (*Halticus apterus* Linnaeus) so ozonskim zelo podobne (Mikuš, 2003). V zadnjem delu poskusa, predvsem po zadnji žetvi 11. septembra, morda ni šlo za ozonske poškodbe. V času ozonskih poškodb bi bilo na rastlinah zaradi zmanjšane odpornosti pričakovati več ostalih poškodb in obolenj, vendar tega nismo opazili.

5.1.2 Biomasa

Za kakovost spremljanja ozona s pomočjo plazeče detelje je še bolj kot razlika v listni poškodovanosti odpornega in občutljivega klona pomembna razlika med biomasama občutljivega in odpornega klona (Chevone in sod., 1998). Pri našem poskusu je bila dobljena biomasa občutljivega klona kar 44 % manjša od biomase odpornega klona, kar je skoraj polovica (razmerje med tromesečno NC-S / NC-R biomaso je bilo 0,56). Podatki raziskav v Evropi od 1996 do 2006 so pokazali največji vpliv ambientalnega ozona na plazečo deteljo v Grčiji in Italiji, kjer je bilo ugotovljeno > 30 % zmanjšanje pridelka (povprečno tromesečno razmerje < 0,7). Rezultati v Sloveniji pa presenetljivo niso pokazali vpliva ozona na biomaso (razmerje >1,0) (Hayes in sod., 2007). Pri naši raziskavi je bil škodljivi vpliv ozona močnejši kot je povprečno v najbolj onesnaženih državah Evrope. Veliko onesnaženost bi bilo pričakovati tudi v drugih višjeležečih predelih Slovenije, ki ležijo v bližini večjih mest. Istega leta sta bili v nižini v mestih Iskrba (ruralno okolje) in Ljubljana (urbano okolje) opravljeni enaki raziskavi. Ti sta pokazali manjši vpliv ozona na biomaso detelje kot je bil ugotovljen v našem primeru (Krvavec >1700 m n.m.). V Iskrbi je bilo ugotovljeno 1%, v Ljubljani pa 8 % zmanjšanje biomase občutljivega klona detelje v primerjavi z odpornim (Džuban, 2002) (priloga B).

Biomasa prve žetve je bila v naši raziskavi popašena, vendar se naj po mnenju Mills-a in sod. (2000) v raziskavah ne bi upoštevala. V nekaterih raziskavah se je namreč pokazalo, da je bila biomasa pri prvi žetvi manjša kot pri naslednji. Vzrok za to naj bi bila počasna prilagoditev rastlin na gojenje zunaj zaprtih prostorov. V tretji in naslednjih žetvah pa naj bi se biomasa po mnenju Fumigalli-ja in sod. (2003) zmanjševala, bolj kot zaradi ozona, zaradi obnovitvene sposobnosti detelje zaradi rednega prikrajševanja stolonov. Do podobnih rezultatov sta prišla Džuban (2002) in Veberič (2008). Tudi pri naši raziskavi je bila suha biomasa prve žetve najnižja (vendar popašena), biomasa druge žetve največja in tretje manjša. Kljub temu bi bilo za potrditev hipoteze potrebnih več žetev. Biomasa tretje žetve je bila manjša morda zgolj zaradi končevanja rastne sezone.

Vpliv ozona na zmanjšanje biomase je bil največji v sredini poskusa: od sredine julija do sredine avgusta; pridelek S klona je bil v tem obdobju 55% manjši kot pridelek R klona. To je bilo tudi pričakovati, saj so bile takrat izmerjene največje koncentracije ozona.

Iz meritev stomatarne prevodnosti lahko sklepamo, kakšen je bil dejanski prehod ozona v rastlino, iz tega pa kakšen bo škodljivi vpliv ozona na biomaso. Vendar podatki raziskav v Evropi 1990-2006 kažejo, da je povezava med tromesečnim AOT40 in tromesečno NC-S/NC-R biomaso večja, kot povezava med tokom ozona v rastlinsko odejo in tromesečno NC-S/NC-R biomaso (Hayes in sod., 2007). Škodljivi vpliv ozona lahko torej dovolj dobro predvidevamo že iz samih podatkov o koncentraciji AOT40. Mejna tromesečna akumulirana vrednost AOT40, to je 5300 ppb.h, ki povzroči upad pridelka, je bila pri naši raziskavi precej presežena; znašala je okoli 17000 ppb.h. Upad pridelka je bil torej pričakovano velik; 44 % (razmerje med tromesečno NC-S / NC-R je bilo 0.6).

5.1.3 Ukrepi za zmanjševanje predhodnikov fotooksidantov (troposferskega ozona)

Primerno bi bilo izvajati preventivne ukrepe za zmanjševanje predhodnikov fotooksidantov. Pri ozonu bi zaradi transporta na velike razdalje morali ukrepi zajemati večje območje ene ali celo več držav skupaj. Primeren ukrep bi bil, da bi ob dnevih z velikim sevanjem, visoko temperaturo in majhno zračno vlago omejili izpuščanje predhodnikov ozona (predvsem NO_x in ogljikovodikov) v zrak, kolikor in kjer je to mogoče. Za ta ukrep bi bilo potrebno spremljati vremensko napoved. Omejitev prometa je pokazala, da se je koncentracija dušikovega dioksida zmanjšala za 30%, koncentracija ozona pa za 5 do 10%.

Da bi se v splošnem zmanjšala količina izpuščenih predhodnikov v zrak, bi bilo potrebno delovanje na področju prometa (uporaba katalizatorjev, manj ogljikovodikov, CO, NO_x), zmanjšanje prometa z večjimi subvencijami javnih prevoznih sredstev, delovanje na področju termoelektrarn (izboljšanje gorilnikov, uporaba katalizatorjev...manj NO_x), sežigalnic, petrokemijske industrije, velikih emitentov topil ali drugih snovi in drugo (Batič in sod., 1999). Narašča tudi koncentracija metana, ki se sprošča iz močvirij, farm, rudnikov in drugih virov, ki tudi lahko prispeva k nastanku ozona.

V namen zmanjševanja onesnaženosti zraka in preprečevanja širjenja onesnaženja preko državnih meja, so bili v okviru konvencije CLRTAP sprejeti številni protokoli. Ti vključujejo tudi določitve o zmanjševanju onesnaženja zraka z ozonom in njegovimi predhodniki. Tudi politika varstva zraka v Evropski uniji je sprejela 2 pomembni smernici in sicer o zgornji meji emisij štirih škodljivih snovi v zrak (NEC smernica) in smernico, ki postavlja ostre meje emisijskih koncentracij velikih kurilnih naprav (LCP). Tudi z zmanjševanjem emisij toplogrednih plinov, predvsem CO₂, ki ga predpisuje kjotski protokol, se bo vzporedno zmanjšalo onesnaženje z NO_x in VOC (Hrček, 2003).

K prispevanju čistega zraka v gorskem svetu morda prispeva tudi Alpska konvencija, ki vključuje prometni protokol. Ta poziva k opustitvi gradenj cest višjega reda v čezalpskih smereh, zato pa izboljšanje železniškega in kombiniranega prometa. Nakazuje tudi uvedbo posebnih dajatev za težka vozila in internalizacijo stroškov za okolje (Lobnik, 2003).

5.2 SKLEPI

- Onesnaženje s troposferskim ozonom na Krvavcu je povzročilo vidne poškodbe na občutljivem klonu plazeče detelje *Trifolium repens* 'Regal'
- in 44 odstotno zmanjšanje biomase občutljivega klona v primerjavi z odpornim klonom, kar pomeni precejšnjo ekonomsko izgubo.
- V višjih legah nad gozdno mejo (Krvavec 1740 m n.m.) se je pokazal večji škodljivi vpliv ozona na biomaso plazeče detelje kot v dolinah (Ljubljani in Iskrbi), v istem letu. Škodljivi vpliv je bil celo večji kot v najbolj onesnaženih državah Evrope (Grčija, Italija).
- Onesnaženje s troposferskim ozonom je verjetno v večini višje ležečih predelov, ki ležijo v bližini večjih mest, zaskrbljujoče in predstavlja problem za kmetijske rastline in velik okoljski problem.

6 POVZETEK

Večje količine ozona v višjih legah (goratih predelih) so vzrok za raziskavo o njegovem vplivu na rast in razvoj izbranih indikatorskih rastlin. V Slovenskem gorskem svetu tovrstni vpliv ozona doslej še ni bil preučen.

Namen diplomske naloge je bil ugotoviti v kolikšni meri ozon na Krvavcu (1700 m n.m. - zgornji montanski pas) vpliva na rast pomembne kmetijske rastline plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Regal'). Raziskava je bila vključena v mednarodni program ICP Vegetation in je sledila predpisani metodologiji.

Na poskusnem polju smo izpostavili 10 loncev z na ozon odpornim in 10 z na ozon občutljivim klonom plazeče detelje ter 9 loncev z ostalimi indikatorskimi rastlinami: tobakom, njivskim osatom, škrbinko in navadnim glavincem. Indikatorske rastline smo opazovali zaradi lažjega spremljanja pojava ozonskih poškodb na plazeči detelji. Škodljivi vpliv ozona smo spremljali na podlagi tedenskega opazovanja tipičnih ozonskih poškodb na listih izbranih rastlin in meritev biomase plazeče detelje vsakih 28 dni; vsega skupaj trikrat (julija, avgusta in septembra). Podatke o količini ozona in ostale meteorološke parametre smo dobili z meteorološke postaje Krvavec.

Rezultati so pokazali 44 odstotno zmanjšanje biomase občutljivega klona plazeče detelje (tromesečno povprečje) zaradi ozona v primerjavi z odpornim klonom. V avgustu je bilo tudi veliko vidnih poškodb na listih občutljivega klona detelje, medtem ko jih je bilo v ostalih mesecih malo. Na odporni klon detelje, po pričakovanju, ozon ni imel večjega vpliva.

Ugotovljen vpliv ozona na biomaso je bil v nižini, v mestih Iskrba in Ljubljana v istem letu, manjši. Škodljivi vpliv ozona na rast plazeče detelje v gorskem svetu se je pokazal kot zelo močan, večji kot v nižini in celo močnejši kot v najbolj onesnaženih državah Evrope (Grčija, Italija).

7 VIRI

- Batič F. 2009. "Ozonske poškodbe – kloroze". Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Katedra za aplikativno botaniko, ekologijo, fiziologijo rastlin in informatiko (osebni vir, april 2009)
- Batič F., Turk B. 2006. Strokovne podlage za izvajanje Konvencije CLRTAP in Programa ICP-Vegetation v Sloveniji v letu 2006-2007. Poročilo za leto 2006. Ljubljana, BF, Oddelek za agronomijo: 26 str.
- Batič F., Turk B. 2007. Strokovne podlage za izvajanje Konvencije CLRTAP in Programa ICP-Vegetation v Sloveniji v letu 2006-2007. Poročilo za leto 2007 in končno poročilo projekta. Ljubljana, BF, Univerza v Ljubljani: 35 str.
- Batič F., Celar F., Ciglar R., Milevoj L., Vičar M. 1999. Bioindikacija prizemnega ozona. Priročnik za npravoslovne krožke in interesne dejavnosti v šoli. 1. natis. Ljubljana, Zavod republike Slovenije za solstvo: 167 str.
- Benton J., Fuhrer J., Gimeno B. S., Skärby L., Ball G., Palmer-Brown D., Roadknight C., Sadler G. 1995. ICP-Crops and critical levels of ozone for injury development. V: International workshop: Exceedances of critical loads and levels, Vienna, Österreich, 22-24 nov. 1995. UN-ECE, CLRTAP, UBA&IIASA: 1-5
- Bienelli A. 1997. Vpliv fotooksidantov na rast in razvoj izbranih vrst kmetijskih rastlin na območju Zasavja. Diplomsko delo. Ljubljana, BF, Oddelek za agronomijo: 87 str.
- Broder B., Gygas H. A. 1985. Influence of locally induced wind systems on the effectiveness of nocturnal dry deposition of ozone. *Atmospheric Environment*, 19: 1627-1637
- Chevone B., Manning W., Varbanov A., Krupa S. 1998. Relating ambient ozone concentrations to adverse biomass responses of white clover. A case study. *Environmental Pollution*, 103: 103-108
- Džuban T. 2002. Indikacijske vrednosti klonov plazeče detelje *Trifolium repens* 'Regal' ('NC-S', 'NC-R') za sledenje fotooksidantov v Sloveniji. Diplomsko delo. Ljubljana, BF, Oddelek za agronomijo: 43 str.
- Fumigalli I., Mignanego L., Mills G. 2003. Ozone biomonitoring with clover clones: yield loss and carryover effect under high ambient ozone levels in northern Italy. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 95: 119-128
- Grünhage L., Dammgen U., Haenel H. D., Jäger H. J. 1994. Response of a grassland ecosystem to air pollutants: III-The chemical climate: Vertical flux densities of gaseous species in the atmosphere near the ground. *Environmental Pollution*, 85: 43-49
- Guderian R. 1985. Formation, transport, control and effects on plants. V: Air pollution by photochemical oxidant. Ecological studies. Guderian R. (ed.). Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag: 463-477
- Harmes H., Mills G., Hayes F., Jones L., Norris D., Fuhrer J. 2007. Air pollution and vegetation. ICP Vegetation annual report 2006/2007. Bangor, University of Wales, UK: 37 str.

- Hayes F., Mills G., Harmens H., Norris D. 2007. Evidence of Widespread Ozone Damage to Vegetation in Europe (1990-2006). Programme Coordination Centre for the ICP Vegetation, CEH Bangor, UK: 26 str.
- Heagle A. S., Miller J. E., Chevone B. I., Dreschel T. W., Manning W. J., McCool P. M., Lynn Morrison C., Neely G. E., Rebbeck J. 1995. Response of a white clover indicator system to tropospheric ozone at eight locations in the United States. *Water, Air and Soil Pollution*, 85: 1373-1378
- Hegi G., Merxmüller H., Reisinger H. 1980. Alpska flora. Wraber T. (prev.). Ljubljana, DZS: 223 str.
- Hough A. M., Derwent R. G. 1990. Changes in the global concentration of tropospheric ozone due to human activities. *Nature*, 344: 645-648
- Hrček D. 2003. Zmanjševanje emisij – pozitiven proces za Alpe. V: Slovenski Alpski svet in Alpska konvencija. Lah A. (ur.). Ljubljana, Svet za varstvo okolja Republike Slovenije: 68-72
- Jurkovnik M. 2001. Metode ugotavljanja vpliva onesnažil iz prometa na kmetijske rastline. Diplomsko delo. Ljubljana, BF, Oddelek za agronomijo: 35 str.
- Kazalci okolja 2005. 2006. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor-Agencija Republike Slovenije za okolje: 242 str.
- Krupa S. V., Manning W. J. 1988. Atmospheric ozone: Formation and effects on vegetation. *Environmental Pollution*, 50: 101-137
- Legge A. H., Grünhage L., Nosal M., Jäger H.J., Krupa S. V. 1995. Ambient ozone and adverse crop response: An evaluation of North American and European data as they relate to exposure indices and critical levels. V: International workshop: Exceedances of critical loads and levels, Vienna, Österreich, 22-24 nov. 1995. UN-ECE, CLRTAP, UBA&IIASA: 1-35
- Leksikon Cankarjeve založbe. 2000. 3.izdaja. Ljubljana, Cankarjeva založba: 1216 str.
- Leksikon Cankarjeve založbe. Okolje. 1982. 2.izdaja. Ljubljana, Cankarjeva založba: 275 str.
- Lesar P. 2007. Spremljanje učinkov troposferskega ozona s plazečo deteljo *Trifolium repens* 'Regal'. Diplomsko delo. Ljubljana, BF, Oddelek za agronomijo: 33 str.
- Lobnik F. 2003. Odnos do slovenskega alpskega sveta. V: Slovenski Alpski svet in Alpska konvencija. Lah A. (ur.). Ljubljana, Svet za varstvo okolja Republike Slovenije: 5-8
- Mikuš T. 2003. Primerjava poškodb na listih klonov plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Regal') povzročenih od sesajočih škodljivcev in ozona. Diplomsko delo. Ljubljana, BF, Oddelek za agronomijo: 90 str.
- Mills G., Hayes F., Fuhrer J., Gimeno B., Temmerman L. de. 2001. ICP Vegetation. Experimental Protocol for the 2001 Season. ICP on effects of air pollution on natural vegetation and crops. WGE CLRTAP UNECE, UK: 24 str.
- Mills G., Ball G., Hayes F., Fuhrer J., Skärby L., Gimeno B., Temmerman L., Heagle A. 2000. Development of a multi-factor model for predicting the effects of ambient ozone on the biomass of white clover. *Environmental Pollution*, 109: 542-553
- Mountains – Mountains Homework Help. 2008. Woodlands Junior School

http://translate.google.si/translate?hl=sl&langpair=en|sl&u=http://www.woodlands-junior.kent.sch.uk/Homework/mountains/climate.htm&prev=/translate_s%3Fhl%3Ds1%26q%3Dgorska%2Bklima%26tq%3Dmountain%2Bclimate%26sl%3Ds1%26tl%3Den (19. mar. 2009)

Orešnik K. 1995. Obnašanje ozona na merilni postaji Krvavec v obdobju od leta 1991 do leta 1994. Diplomsko delo. Ljubljana, FKKT: 55 str.

Podnebje – Krvavec. 2006.

<http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/Krvavec06.pdf> (18. mar. 2009)

Rakovec J. 2000. Ozon in ozonska luknja. V: Zdravje in okolje. Kakovost okolja in življenja konec 20. stoletja. Lah A. (ur.). Ljubljana, Svet za varstvo okolja Republike Slovenije: 27-29

Roth G. D. 1992. Vremenoslovje za vsakogar: kaj moramo vedeti o vremenu. Ljubljana, DZS: 263 str.

Smidt S. 1996. The ozone situation in alpine valleys. V: Exceedance of critical loads and levels. Knoflacher M., Schneider J., Soja G. (eds.). Vienna, Umweltbundesamt: 90-96

Treshow M. 1984. Diagnosis of air pollution effects and mimicking symptoms. V: Air pollution and plant life. Treshow M. (ed.). New York, John Wiley & Sons: 97-133

Veberič S. 2008. Vpliv troposferskega ozona na nastanek poškodb in izbrane fiziološke procese pri indikatorski rastlini plazeča detelja (*Trifolium repens* 'Regal'). Diplomsko delo. Ljubljana, BF, Oddelek za agronomijo: 32 str.

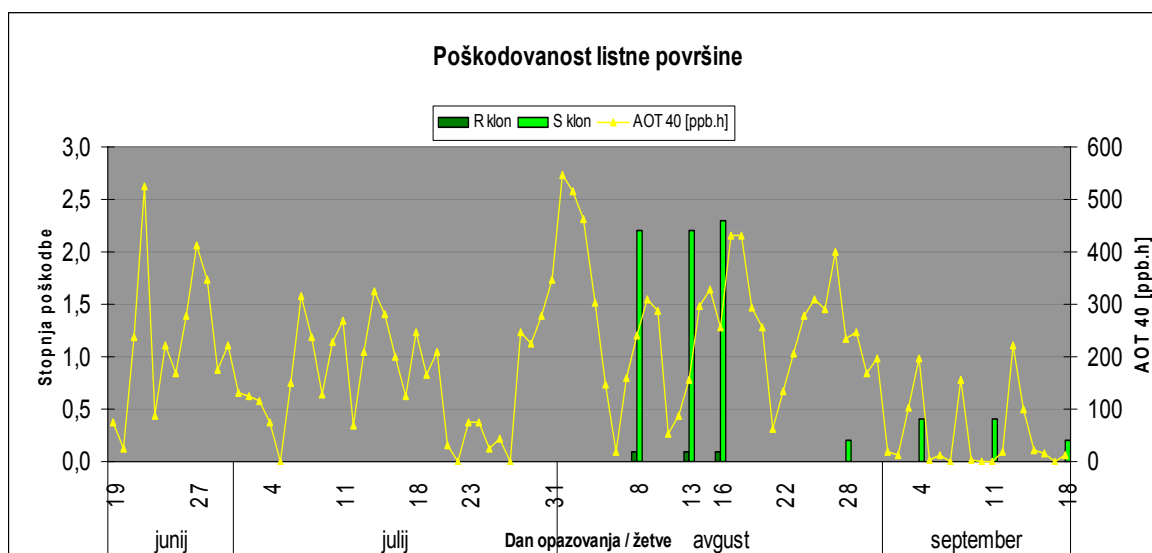
ZAHVALE

MIHA hvaležna sem ti za pomoč, ves čas nastajanja diplome, ko si mi stal ob strani in pomagal kadar koli sem te prosila!!

Marko hvala ti za vse stvari, ki sem jih doživela s teboj.

PRILOGA A

Primerjava dnevnih koncentracij ozona (AOT40) s poškodovanostjo listne površine plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Regal'; R-odporen klon, S-občutljiv klon) za Krvavec, sezona 2001



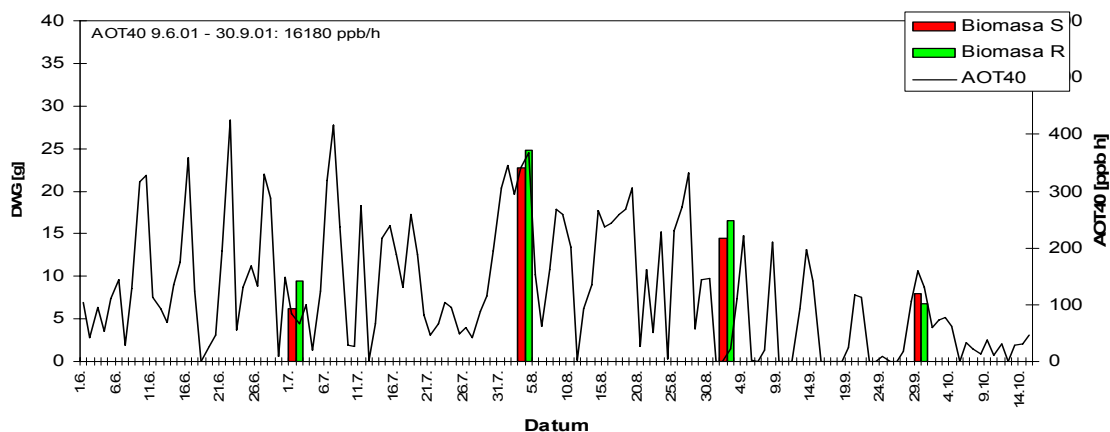
Drugi pristop k ocenjevanju ozonskih poškodb je pregledovanje poškodovane listne površine. Pri posameznem listu smo ocenili stopnjo poškodovanosti njegove površine od 1 rahlo do 3 močno poškodovana. Glede na to smo ocenili stopnjo poškodovane listne površine pri posameznem loncu (slika 10).

Rezultati so podobni tistim, kjer smo ocenjevali odstotek poškodovanih listov v loncu t.j. indeksu listne poškodovanosti – ILP (slika 7).

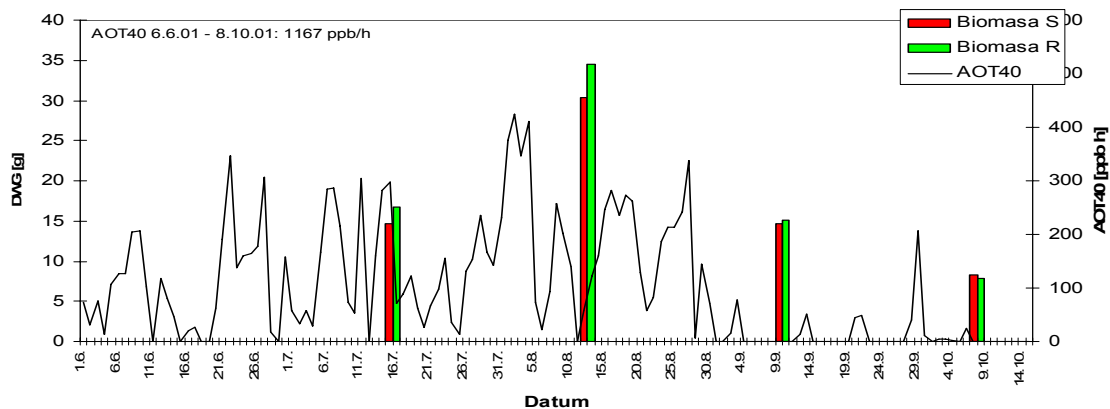
PRILOGA B

Primerjava dnevni koncentracij ozona (AOT40) z izmerjeno biomaso plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Regal'; R-odporen klon, S-občutljiv klon) za poskusna mesta Iskrba, Ljubljana (Džuban, 2002 str.34) in Krvavec, sezona 2001

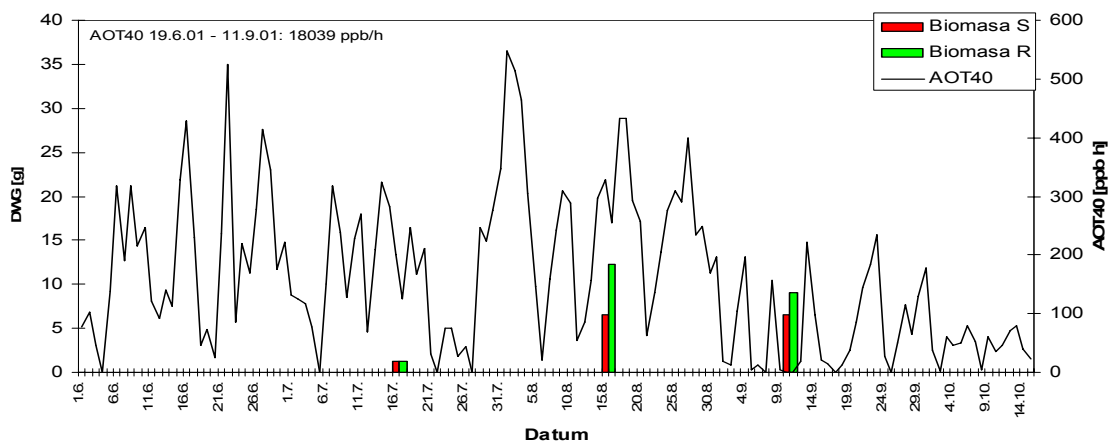
Iskrba 2001 - biomasa



Ljubljana 2001 - biomasa



Krvavec 2001 - biomasa



PRILOGA C

Pridobljeni podatki: stopnja ozonske poškodbe, število (poškodovanih in vseh) listov ter indeks listne poškodovanosti ILP in biomasa plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Regal'; R-odporen klon, S-občutljiv klon) za vsak lonec na dan opazovanja / žetve. Krvavec, sezona 2001

Datum opazovanja / žetve:										19.6.2001
Št. lonca:	R klon				S klon				ILP [%]	
	Stopnja ozonske poškodbe	št. pošk. listov	št. vseh listov	ILP [%]	Stopnja ozonske poškodbe	št. pošk. listov	št. vseh listov	ILP [%]		
1	0	0	b.p.	0	0	0	b.p.	0		
2	0	0	b.p.	0	0	0	b.p.	0		
3	0	0	b.p.	0	0	0	b.p.	0		
4	0	0	b.p.	0	0	0	b.p.	0		
5	0	0	b.p.	0	0	0	b.p.	0		
6	0	0	b.p.	0	0	0	b.p.	0		
7	0	0	b.p.	0	0	0	b.p.	0		
8	0	0	b.p.	0	0	0	b.p.	0		
9	0	0	b.p.	0	0	0	b.p.	0		
10	0	0	b.p.	0	0	0	b.p.	0		
Sr. vred.	0,00				0,00					

Datum opazovanja / žetve:										27.6.2001
Št. lonca:	R klon				S klon				ILP [%]	
	Stopnja ozonske poškodbe	št. pošk. listov	št. vseh listov	ILP [%]	Stopnja ozonske poškodbe	št. pošk. listov	št. vseh listov	ILP [%]		
1	0	0	b.p.	0	0	0	b.p.	0		
2	0	0	b.p.	0	0	0	b.p.	0		
3	0	0	b.p.	0	0	0	b.p.	0		
4	0	0	b.p.	0	0	0	b.p.	0		
5	0	0	b.p.	0	0	0	b.p.	0		
6	0	0	b.p.	0	0	0	b.p.	0		
7	0	0	b.p.	0	0	0	b.p.	0		
8	0	0	b.p.	0	0	0	b.p.	0		
9	0	0	b.p.	0	0	0	b.p.	0		
10	0	0	b.p.	0	0	0	b.p.	0		
Sr. vred.	0,00				0,00					

se nadaljuje

nadaljevanje

Datum opazovanja / žetve:										4.7.2001
Št. lonca:	R klon					S klon				
	Stopnja ozonske poškodbe	št. pošk. listov	št. vseh listov	ILP [%]		Stopnja ozonske poškodbe	št. pošk. listov	št. vseh listov	ILP [%]	
1	0	0	19	0		0	0	5	0	
2	0	0	36	0		0	0	13	0	
3	0	0	10	0		0	0	20	0	
4	0	0	28	0		0	0	15	0	
5	0	0	39	0		0	0	15	0	
6	0	0	26	0		0	0	13	0	
7	0	0	40	0		0	0	19	0	
8	0	0	20	0		0	0	15	0	
9	0	0	23	0		0	0	18	0	
10	0	0	9	0		0	0	15	0	
Sr. vred.	0,00					0,00				

Datum opazovanja / žetve:										11.7.2001
Št. lonca:	R klon					S klon				
	Stopnja ozonske poškodbe	št. pošk. listov	št. vseh listov	ILP [%]		Stopnja ozonske poškodbe	št. pošk. listov	št. vseh listov	ILP [%]	
1	0	0	40	0		0	0	7	0	
2	0	0	58	0		0	0	24	0	
3	0	0	19	0		0	0	35	0	
4	0	0	43	0		0	0	30	0	
5	0	0	53	0		0	0	23	0	
6	0	0	39	0		0	0	21	0	
7	0	0	53	0		0	0	32	0	
8	0	0	24	0		0	0	21	0	
9	0	0	40	0		0	0	31	0	
10	0	0	13	0		0	0	23	0	
Sr. vred.	0,00					0,00				

Datum opazovanja / žetve:										18.7.2001
Št. lonca:	R klon					S klon				
	Stopnja ozonske poškodbe	št. pošk. listov	št. vseh listov	ILP [%]	1. žetev biomasa [g]	Stopnja ozonske poškodbe	št. pošk. listov	št. vseh listov	ILP [%]	1. žetev biomasa [g]
1	0	0	14	0	1	0	0	3	0	
2	0	0	54	0	3	0	0	16	0	1
3	0	0	32	0	1	0	0	12	0	
4	0	0	28	0	1	0	0	15	0	1
5	0	0	29	0	1	0	0	7	0	
6	0	0	23	0		0	0	15	0	1
7	0	0	31	0	1	0	0	11	0	
8	0	0	11	0		0	0	11	0	
9	0	0	17	0		0	0	12	0	
10	0	0	21	0	1	0	0	36	0	2
Sr. vred.	0,00				1,29	0,00				1,25

se nadaljuje

nadaljevanje

Datum opazovanja / žetve: 23.7.2001									
Št. lonca:	R klon				S klon				
	Stopnja ozonske poškodbe	št. pošk. listov	št. vseh listov	ILP [%]	Stopnja ozonske poškodbe	št. pošk. listov	št. vseh listov	ILP [%]	
1	0	0	19	0	0	0	1	0	
2	0	0	33	0	0	0	4	0	
3	0	0	20	0	0	0	9	0	
4	0	0	13	0	0	0	16	0	
5	0	0	24	0	0	0	7	0	
6	0	0	32	0	0	0	5	0	
7	0	0	26	0	0	0	12	0	
8	0	0	28	0	0	0	10	0	
9	0	0	17	0	0	0	11	0	
10	0	0	14	0	0	0	10	0	
Sr. vred.	0,00				0,00				

Datum opazovanja / žetve: 31.7.2001									
Št. lonca:	R klon				S klon				
	Stopnja ozonske poškodbe	št. pošk. listov	št. vseh listov	ILP [%]	Stopnja ozonske poškodbe	št. pošk. listov	št. vseh listov	ILP [%]	
1	0	0	44	0	0	0	6	0	
2	0	0	70	0	0	0	17	0	
3	0	0	38	0	0	0	32	0	
4	0	0	44	0	0	0	41	0	
5	0	0	60	0	0	0	21	0	
6	0	0	64	0	0	0	14	0	
7	0	0	59	0	0	0	33	0	
8	0	0	34	0	0	0	25	0	
9	0	0	48	0	0	0	34	0	
10	0	0	49	0	0	0	34	0	
Sr. vred.	0,00				0,00				

Datum opazovanja / žetve: 8.8.2001									
Št. lonca:	R klon				S klon				
	Stopnja ozonske poškodbe	št. pošk. listov	št. vseh listov	ILP [%]	Stopnja ozonske poškodbe	št. pošk. listov	št. vseh listov	ILP [%]	
1	0	0	124	0	2	2	6	30	
2	0	0	200	0	2	12	40	30	
3	0	0	90	0	2	30	60	50	
4	0	0	105	0	2	16	80	20	
5	0	0	150	0	2	10	50	20	
6	0	0	150	0	2	7	45	15	
7	0	0	150	0	2	24	80	30	
8	0	0	85	0	2	28	55	50	
9	0	0	110		3	60	75	80	
10	1	3	70	4	3	68	85	80	
Sr. vred.	0,10			0,40	2,20			40,50	

se nadaljuje

nadaljevanje

Datum opazovanja / žetve:										13.8.2001
Št. lonca:	R klon				S klon					
	Stopnja ozonske poškodbe	št. pošk. listov	št. vseh listov	ILP [%]	Stopnja ozonske poškodbe	št. pošk. listov	št. vseh listov	ILP [%]		
1	0	0	b.p.	0	2	3	9	33		
2	0	0	b.p.	0	2	23	56	41		
3	0	0	b.p.	0	2	35	95	37		
4	0	0	b.p.	0	2	20	105	19		
5	0	0	b.p.	0	2	15	55	27		
6	0	0	b.p.	0	2	20	67	30		
7	0	0	b.p.	0	2	33	102	32		
8	0	0	b.p.	0	2	24	94	26		
9	0	0	b.p.	0	3	47	102	46		
10	1	b.p.	b.p.	b.p.	3	41	99	41		
Sr. vred.	0,10			b.p.	2,20			33,20		

Datum opazovanja / žetve:											16.8.2001
Št. lonca:	R klon					S klon					
	Stopnja ozonske poškodbe	št. pošk. listov	št. vseh listov	ILP [%]	2. žetev biomasa [g]	Stopnja ozonske poškodbe	št. pošk. listov	št. vseh listov	ILP [%]	2. žetev biomasa [g]	
1	0	0	165	0	12	3	3	12	25	0,4	
2	0	0	230	0	16	2	25	65	38	4	
3	0	0	150	0	9	2	42	100	42	8	
4	0	0	170	0	12	2	25	110	23	9	
5	0	0	200	0	14	2	20	80	25	4	
6	0	0	210	0	13	2	26	80	33	5	
7	0	0	215	0	15	2	42	115	37	8	
8	0	0	190	0	9	2	31	110	28	7	
9	0	0	200	0	13	3	52	125	42	7	
10	1	4	115	3	9	3	47	125	38	7	
Sr. vred.	0,10			0,30	12,20	2,30			33,10	5,94	

Datum opazovanja / žetve:										22.8.2001
Št. lonca:	R klon				S klon					
	Stopnja ozonske poškodbe	št. pošk. listov	št. vseh listov	ILP [%]	Stopnja ozonske poškodbe	št. pošk. listov	št. vseh listov	ILP [%]		
1	0	0	b.p.	0	0	0	b.p.	0		
2	0	0	b.p.	0	0	0	b.p.	0		
3	0	0	b.p.	0	0	0	b.p.	0		
4	0	0	b.p.	0	0	0	b.p.	0		
5	0	0	b.p.	0	0	0	b.p.	0		
6	0	0	b.p.	0	0	0	b.p.	0		
7	0	0	b.p.	0	0	0	b.p.	0		
8	0	0	b.p.	0	0	0	b.p.	0		
9	0	0	b.p.	0	0	0	b.p.	0		
10	0	0	b.p.	0	0	0	b.p.	0		
Sr. vred.	0,00				0,00					

se nadaljuje

nadaljevanje

Datum opazovanja / žetve:										28.8.2001
Št. lonca:	R klon					S klon				
	Stopnja ozonske poškodbe	št. pošk. listov	št. vseh listov	ILP [%]		Stopnja ozonske poškodbe	št. pošk. listov	št. vseh listov	ILP [%]	
1	0	0	b.p.	0		0	0	b.p.	0	
2	0	0	b.p.	0		0	0	b.p.	0	
3	0	0	b.p.	0		0	0	b.p.	0	
4	0	0	b.p.	0		0	0	b.p.	0	
5	0	0	b.p.	0		0	0	b.p.	0	
6	0	0	b.p.	0		0	0	b.p.	0	
7	0	0	b.p.	0		0	0	b.p.	0	
8	0	0	b.p.	0		0	0	b.p.	0	
9	0	0	b.p.	0		1	4	41	10	
10	0	0	b.p.	0		1	4	30	13	
Sr. vred.	0,00					0,20			2,30	

Datum opazovanja / žetve:										4.9.2001
Št. lonca:	R klon					S klon				
	Stopnja ozonske poškodbe	št. pošk. listov	št. vseh listov	ILP [%]		Stopnja ozonske poškodbe	št. pošk. listov	št. vseh listov	ILP [%]	
1	0	0	150	0		1	1	10	10	
2	0	0	140	0		1	4	90	4	
3	0	0	150	0		0	0	140	0	
4	0	0	150	0		0	0	140	0	
5	0	0	160	0		0	0	100	0	
6	0	0	150	0		0	0	85	0	
7	0	0	140	0		0	0	120	0	
8	0	0	140	0		0	0	115	0	
9	0	0	140	0		1	5	140	4	
10	0	0	120	0		1	4	140	3	
Sr. vred.	0,00					0,40			2,10	

Datum opazovanja / žetve:										11.9.2001
Št. lonca:	R klon					S klon				
	Stopnja ozonske poškodbe	št. pošk. listov	št. vseh listov	ILP [%]	3. žetev biomasa [g]	Stopnja ozonske poškodbe	št. pošk. listov	št. vseh listov	ILP [%]	3. žetev biomasa [g]
1	0	0	225	0	10	1	4	51	8	1
2	0	0	200	0	8	1	4	120	3	5
3	0	0	230	0	9	0	0	222	0	8
4	0	0	254	0	10	0	0	263	0	8
5	0	0	310	0	12	0	0	190	0	5
6	0	0	246	0	9	0	0	188	0	6
7	0	0	210	0	8	0	0	240	0	8
8	0	0	234	0	8	0	0	295	0	7
9	0	0	260	0	11	1	11	265	4	8
10	0	0	210	0	6	1	12	220	5	9
Sr. vred.	0,00				9,10	0,40			2,00	6,50

se nadaljuje

nadaljevanje

Datum opazovanja / žetve: 18.9.2001										
Št. lonca:	R klon					S klon				
	Stopnja ozonske poškodbe	št. pošk. listov	št. vseh listov	ILP [%]		Stopnja ozonske poškodbe	št. pošk. listov	št. vseh listov	ILP [%]	
1	0	0	b.p.	0		0	0	b.p.	0	
2	0	0	b.p.	0		0	0	b.p.	0	
3	0	0	b.p.	0		0	0	b.p.	0	
4	0	0	b.p.	0		0	0	b.p.	0	
5	0	0	b.p.	0		0	0	b.p.	0	
6	0	0	b.p.	0		0	0	b.p.	0	
7	0	0	b.p.	0		0	0	b.p.	0	
8	0	0	b.p.	0		0	0	b.p.	0	
9	0	0	b.p.	0		1	11	310	4	
10	0	0	b.p.	0		1	9	275	3	
Sr. vred.	0,00					0,20			0,70	

PRILOGA D

Količina padavin in AOT40 v času izvajanja poskusa na Krvavcu v vegetacijski sezoni 2001

