

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Petra LESAR

**SPREMLJANJE UČINKOV TROPOSFERSKEGA  
OZONA S PLAZEČO DETELJO *Trifolium repens*  
'Regal'**

DIPLOMSKO DELO  
Univerzitetni študij

Ljubljana, 2007

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Petra LESAR

**SPREMLJANJE UČINKOV TROPOSFERSKEGA OZONA S  
PLAZEČO DETELJO *Trifolium repens* 'Regal'**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

**MONITORING OF TROPOSPHERIC OZONE BY WHITE CLOVER  
*Trifolium repens* 'Regal'**

GRADUATION THESIS

University studies

Ljubljana, 2007

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija agronomije. Opravljeno je bilo na Katedri za aplikativno botaniko, ekologijo in fizilogijo rastlin Oddelek za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, kjer so v laboratoriju bile opravljene vse meritve. Poizkus je bil izveden na EMEP postaji ARSO Iskrbe pri Kočevski Reki. 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, BF, Oddelek za agronomijo
- Član: prof. dr. Franc Batič  
Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za agronomijo
- Član: prof. dr. Lučka Kajfež – Bogataj  
Univerza v Ljubljani, BF, Oddelek za agronomijo

Datum zagovora:

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

Petra Lesar

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Dn  
DK UDK 504.054:661.94:633.322:632.11(043.2)  
KG Onesnaženost zraka/fotooksidanti/ozon/plazeča detelja/kmetijske rastline/bioindikacija  
KK AGRIS P01/T01  
AV LESAR, Petra  
SA BATIČ, Franc (mentor)  
KZ SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101  
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo  
LI 2007  
IN SPREMLJANJE UČINKOV TROPOSFERSKEGA OZONA S PLAZEČO DETELJO *Trifolium repens* 'Regal'  
TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)  
OP X, 36, [11] str., 2 pregl., 12 sl., 5 pril., 32 vir.  
IJ sl  
JI sl / en  
AI Raziskava je del mednarodnega projekta UNECE ICP Vegetation. Potekala je od junija do konca oktobra v letu 2006. Ukvarja se s preučevanjem škodljivih učinkov fotooksidantov na kmetijske rastline v Sloveniji in možnostjo njihovega sledenja z rastlinami. Od fotooksidantov je bila posebna pozornost posvečena troposferskemu ozonu, katerega koncentracija v prizemni plasti zraka vedno bolj narašča. Kot bioindikator smo uporabili na ozon odporne (NC-R) in na ozon občutljive klone (NC-S) plazeče detelje *Trifolium repens* 'Regal'. Plazeča detelja je bila izbrana zato, ker se je že v prejšnjih poskusih izkazala kot zelo dober kazalnik onesnaženosti zraka z ozonom. Za sledenje učinkov troposferskega ozona je bila izbrana merilna postaja Iskrba pri Kočevski Reki, kot primer ruralnega okolja. Prekursorji ozona prihajajo z daljinskim transportom. Koncentracije dušikovega monoksida so običajno majhne in zaradi tega tudi ni prisotnega glavnega porabnika ozona. To povzroča povečane koncentracije ozona in povečanje deleža vidnih poškodb na rastlinah. Po enotnem protokolu ICP Vegetation smo opazovali poškodbe na listih in vzorčili biomaso. Analize meteoroloških in drugih podatkov so bile izvedene s programom MS Excel 2007. Za primerjavo podatkov so bili uporabljeni podatki, pridobljeni na poskusnem polju v Ljubljani. V tej poskusni sezoni večjih ozonskih poškodb nismo zabeležili.

## KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn  
DK UDC 504.054:661.94:633.322:632.11(043.2)  
CX Air pollution/fotooxidants/ozone/*Trifolium repens*/white clover/agricultural plants/bioindication  
CC AGRIS P01/T01  
AU LESAR, Petra  
AA BATIČ, Franc (supervisor)  
PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101  
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy  
PY 2007  
TI MONITORING OF TROPOSPHERIC OZONE BY WHITE CLOVER *Trifolium repens* 'Regal'  
DT Graduation Thesis (University studies)  
NO X, 36, [11] p., 2 tab., 12 fig., 5 ann., 32 ref.  
LA sl  
AL sl / en  
AB The research is a part of an international UNECE programme ICP Vegetation. The experiment was carried out from June to middle of October in 2006. It dealt with impact of photooxidants on vegetation in Slovenia and possible monitoring methods with plants. Special attention has been focused on tropospheric ozone which concentrations are rapidly increasing. Resistant (NC-R) and sensitive (NC-S) clones of white clover *Trifolium repens* 'Regal' were used as bioindicators. White clover was chosen for its good results in previous experiment dealing with ozone air pollution. For monitoring ozone injuries was chosen experimental site Iskrba near Kočevske Reka, which represented an rural environment. Here the precursors of ozone are brought with long-range transboundary air pollution. The concentrations of nitrogen monoxide are very low so the ozone consumers are not present. That means, that higher concentrations of ozone induce more injuries on clover leaves. Following the standard ICP Vegetation programme leaf injuries and biomass were recorded. Analysis of biomass and leaf injuries was made by computer program MS Excel 2007. The results was compared with results of monitoring in Ljubljana. In experimental season 2006 no major injuries were detected.

## KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija	III
Key words documentation	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VII
Kazalo slik	VIII
Kazalo prilog	IX
Okrajšave in simboli	X
<b>1 UVOD</b>	<b>1</b>
<b>2 PREGLED OBJAV</b>	<b>4</b>
2.1 ONESNAŽEVANJE V SLOVENIJI	4
<b>2.1.1 Onesnaževanje zraka na območju Kočevske Reke</b>	<b>5</b>
2.2 VPLIV ONESNAŽENEGA ZRAKA NA RASTLINE	5
2.3 FOTOOKSIDANTI	6
2.4 OZON IN NJEGOVO NASTAJANJE	6
<b>2.4.1 Ozon v stratosferi – tanjšanje ozonskega ščita v stratosferi</b>	<b>6</b>
2.4.1.1 Nastajanje ozona v stratosferi	7
2.5 PRIZEMNI OZON (TROPOSFERSKI OZON)	7
<b>2.5.1 Nastajanje prizemnega ozona</b>	<b>7</b>
2.5.1.1 Ukrepi za zmanjševanje nastajanja prizemnega ozona	9
2.6 ZNAČILEN LETNI IN DNEVNI HOD KONCENTRACIJE OZONA	9
2.7 BIOINDIKACIJA – SPREMLJANJE ONESNAŽENJA ZRAKA Z RASTLINAMI	10
2.8 VPLIV OZONA NA RASTLINO	12
<b>2.8.1 Akutne in kronične reakcije rastlin na ozon</b>	<b>14</b>
<b>2.8.2 Vpliv ozona na presnovo rastline</b>	<b>15</b>
<b>2.8.3 Vpliv na fotosintezo</b>	<b>15</b>
<b>2.8.4 Vpliv na dihanje</b>	<b>15</b>
<b>2.8.5 Vpliv na produktivnost rastline</b>	<b>15</b>
<b>3 MATERIALI IN METODE DE LA</b>	<b>17</b>
3.1 MATERIALI	17
3.2 METODE DE LA	17
<b>3.2.1 Nastavitev in izvajanje poskusa</b>	<b>17</b>
3.2.1.1 Izbira poskusnega mesta	17
3.2.1.2 Izpostavitve poskusa naravnim razmeram	17
3.2.1.3 Opazovanje poškodb troposferskega ozona na rastlinah	18
3.2.1.4 Vzorčenje detelje	18
3.3 METEOROLOŠKI PODATKI	18
<b>3.3.1 Obdelava podatkov</b>	<b>19</b>
3.3.1.1 Opazovanje poškodovanosti listov	19
3.3.1.2 Meritve ozona in vremenskih spremenljivk	19
3.3.1.3 Meritve biomase	20
<b>4 REZULTATI</b>	<b>21</b>

4.1	REZULTATI MERJENJA VREMENSKIH SPREMENLJIVK, KI VPLIVAJO NA NASTANEK OZONA	21
4.2	REZULTATI POŠKODOVANOSTI LISTOV	23
4.3	REZULTATI MERJENJA BIOMASE	25
<b>5</b>	<b>RAZPRAVA IN SKLEPI</b>	<b>28</b>
5.1	RAZPRAVA	28
5.2	SKLEPI	30
<b>6</b>	<b>POVZETEK</b>	<b>31</b>
<b>7</b>	<b>VIRI</b>	<b>32</b>
	<b>ZAHVALA</b>	
	<b>PRILOGE</b>	

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1:	AOT40 vrednosti v obdobjih posameznih žetev v Iskrbi v letu 2006	22
Preglednica 2:	Povprečne mase odpornih (NC-R) in občutljivih (NC-S) klonov plazeče detelje <i>Trifolium repens</i> 'Regal' in S/R razmerje po posameznih žetvah v Iskrbi v letu 2006	26



KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Dnevni hodi koncentracij ozona v letu 2006 (Poročilo o..., 2006).	10
Slika 2: Dejavniki, ki vplivajo na reakcijo rastlin na povečane koncentracije ozona (Krupa in Manning, 1988: 112)	12
Slika 3: Shematični prikaz upornosti, ki nastopajo pri prehodu ozona v rastlino (Grünhage in sod., 1994:45)	14
Slika 4: Povprečne dnevne temperature zraka (°C) v Iskrbi in Ljubljani v letu 2006 (Meteorološki..., 2007)	21
Slika 5: Povprečna dnevna relativna zračna vlažnost (%) v Iskrbi in Ljubljani v letu 2006 (Meteorološki..., 2007)	22
Slika 6: AOT40 vrednosti za merilno postajo Iskrba in merilno postajo Ljubljana v letu 2006 (Meteorološki...,2007)	23
Slika 7: Poškodovanost listov odpornih (NC-R) in občutljivih (NC-S) klonov plazeče detelje <i>Trifolium repens</i> 'Regal' ob posameznih opazovanjih v Iskrbi v letu 2006	24
Slika 8: Primerjava AOT40 vrednosti s poškodovanostjo odpornih (NC-R) in občutljivih (NC-S) klonov plazeče detelje <i>Trifolium repens</i> 'Regal' v Iskrbi v letu 2006	24
Slika 9: Povprečna biomasa odpornih (NC-R) in občutljivih (NC-S) klonov plazeče detelje <i>Trifolium repens</i> 'Regal' pri posameznih žetvah v Iskrbi v letu 2006	26

## KAZALO PRILOG

- Priloga A: Meritve vremenskih spremenljivk, ozona in AOT40 vrednosti za Iskrbo v letu 2006
- Priloga B: Meritve vremenskih spremenljivk, ozona in AOT40 vrednosti za Ljubljano v letu 2006
- Priloga C: Povprečne vrednosti poškodovanosti in povprečne biomase na poskusnem mestu Iskrba
- Priloga D: Statistično obdelani podatki za maso suhega vzorca na posamezen lonec na poskusnem mestu Iskrba

## OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

AOT40	Akumulirana količina ozona, ki presega 40ppb ozona. Gre za vsoto razlik med urno koncentracijo ozona ter 40 ppb ozona vsako uro, ko je koncentracija ozona preseгла mejo 40 ppb, nakopičenega skozi svetli del dneva
CLRTAB	Konvencija o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja (Convention on Long-range Transboundary Air Pollution)
EMEP	Program za sledenje in ocenjevanje prenosa onesnažil na velike razdalje (European Monitoring and Evaluation Programme; Protocol on Long-term Financing of the Cooperative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long Range Transmission of Air Pollutants in Europe)
ICP Vegetation	Mednarodno usklajeni program za ugotavljanje učinkov onesnaženega zraka na naravno rastje in poljščine (International Cooperative Program on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops)
NC-S	North Carolina – Sensitive (na ozon občutljivi klone plazeče detelje <i>Trifolium repens</i> 'Regal')
NC-R	North Carolina – Resistant (na ozon odporni klone plazeče detelje <i>Trifolium repens</i> 'Regal')
NO <sub>x</sub>	Dušikovi oksidi
UNECE	Ekonomska komisija Združenih narodov za Evropo (United Nations Economic Commission for Europe)
VOC	Hlapne organske spojine (Volatile Organic Compounds)
WGE	delovna skupina za učinke (Working Group on Effects)
WGSR	delovna skupina za strategijo (Working Group on Strategies and Review)
WHO/ECEH – UNECE	koordinacijski center za proučevanje vplivov onesnaženega zraka na zdravje ljudi (Task Force on Health Aspects of Long-range Transboundary Air Pollution)

## 1 UVOD

Rastlinska sestava in pokrov določenega območja na zemeljski površini je rezultat koevolucije rastlin, živali, gliv in mikrobov v odvisnosti od naravnih danosti in človeka. Ekosistem je sestavljen iz neživega biotopa in življenjskih združb, biocenoz. Med njimi vladajo močno prepleteni odnosi, ki omogočajo obstoj uravnoveženega ekosistema, v katerem teče tok energije in krožijo snovi. Obstaja težnja po zagotavljanju ravnotežja, kar omogoča stabilnost ekosistema in s tem njegovo normalno delovanje. Ekosistem ima sposobnost kompenzacije manjših sprememb, ki nastajajo v okolju. Kadar so te spremembe prevelike, pride do porušitve razmerji, kar vodi v porušitev ravnotežja in ogrožen je obstoj ekosistema, s tem pa tudi ljudje, ki v njem živijo (Planinšek, 1997).

Z razvojem industrijskih tehnologij je primarni pomen kmetijstva zasenčen z drugimi panogami, ki še bolj bistveno spreminjajo naravne danosti. Danes imajo izredno velik posredni in neposredni vpliv na okolje promet, industrija, in splošna urbanizacija. Med te vplive prištevamo onesnaževanje zraka, vode in tal s snovmi, ki se pojavljajo v okolju v velikih koncentracijah in tako povzročajo negativne vplive na okolico. Posledica prometa je tvorba fotooksidantov, ki jih je zelo težko zaznavati, saj se ne akumulirajo. Klasična onesnažila, kot je SO<sub>2</sub>, se lahko kopičijo in tako omogočajo lažje določanje teh snovi v okolju. V kmetijstvu je zavest o negativnih učinkih še vedno zelo majhna, kar je posledica narave kmetijske proizvodnje. Vlagajo se veliki naporji za zagotavljanje dobrih razmer, pozabi pa se na tiste vplive, ki niso nadzorovani (Ministrstvo..., 2006).

Onesnaževanje okolja je že od začetka civilizacije tesno povezano z gospodarjenjem in življenjem v naravi. V Sloveniji k onesnaževanju prispevajo pomemben del industrijske dejavnosti in pridobivanje energije. Zaradi večanja onesnaženosti v naši državi prevladuje mnenje, da bodo po uspešni sanaciji onesnaževanja iz termoelektrarn, ki sproščajo v ozračje v največji meri žveplov dioksid, ostali tudi pri nas fotooksidanti kot glavna onesnažila v ozračju. Ozon, PAN (peroksi acetil nitrat) in drugi sekundarni polutanti, ki nastajajo v glavnem iz emisij onesnažil iz prometa, pa tudi iz industrijskih obratov (hlapni ogljikovodiki) in termoelektrarn, bodo v bodoče še naraščali (Planinšek, 1997). Tvorba fotooksidantov pa ni odvisna le od emisij njihovih prekurzorjev, to je onesnažil v zraku, iz katerih nastajajo (dušikovih oksidov, ogljikovega monoksida in hlapnih ogljikovodikov), ampak tudi od vremenskih razmer, kjer odločilno vpliva predvsem jakost ultravijoličnega sevanja (Krupa in Manning, 1988).

Fotooksidanti so sekundarna onesnažila, ki nastajajo daleč od virov nastajanja njihovih predhodnikov in pogosto povzročajo poškodbe na vegetaciji v ruralnem okolju (Krupa in Manning, 1989). Izvirajo iz emisij prometa, iz industrijskih obratov in termoelektrarn. V Sloveniji potekajo meritve ozona in nekaterih njegovih predhodnikov na izbranih mestih (Ljubljana, Zavodje, Kovk, Pokljuka, Iskrba, Celje, itd.), vendar je še vedno zelo malo znanega o učinkih na vegetacijo in pridelek (Ministrstvo..., 2006).

V 60. letih prejšnjega stoletja so skandinavski znanstveniki opazili spremembe v jezerih in rekah. Sestava vodne flore in favne se je začela hitro spreminjati, veliko živalskih in rastlinskih vrst pa je izginilo. Najhujše škodljive posledice so bile v južni Skandinaviji.

Kmalu so tudi odkrili razlog za omenjene spremembe - kisli dež in zakisljevanje, ki je na skandinavskih tleh (ta so že po naravi kislja) hitro napredovalo. Gospodarska škoda zaradi tega pojava je hitro naraščala. Kar nekaj časa pa so potrebovali, da so ugotovili, da je poglavitni vzrok za kisli dež veliko onesnaževanje zraka v zahodni in srednji Evropi. Škodljive snovi lahko potujejo z zračnimi tokovi več tisoč kilometrov in nato padejo na tla ter povzročijo škodo v okolju (O&P Bilten, 2000). Problem je možno učinkovito reševati le na osnovi tesnejšega mednarodnega sodelovanja. Pravne temelje za mednarodno ukrepanje za zmanjšanje onesnaževanja je postavila prva konferenca OZN o okolju, ki je bila leta 1972 v Stockholmu, s sprejetjem načela, da morajo države poskrbeti, da s svojo dejavnostjo ne povzročajo okoljske škode zunaj svojih meja. Konec leta 1979 je bila v Ženevi podpisana prva okoljska konvencija, in sicer Konvencija o čezmejnem onesnaževanju zraka na velike razdalje (angl. kratica CLRTAP, Convention on Long-range Transboundary Air Pollution), v veljavo pa je stopila leta 1983. S to konvencijo so se države pogodbenice samo načelno zavezale, da bodo zmanjševale onesnaževanje (O&P Bilten, 2000).

Količinsko in rokavno so obveznosti določene v protokolih. Prvi protokol h konvenciji je bil podpisan leta 1984, in sicer je bil to tako imenovani protokol EMEP, ki je določil mednarodno spremljanje onesnaženosti zraka, zbiranje podatkov o emisijah in numerično modeliranje transporta onesnaženja. Protokol za 30-odstotno zmanjšanje onesnaževanja zraka z žveplom je bil podpisan leta 1985. Čez tri leta je sledil dušikov protokol in nato leta 1991 protokol VOC (hlapni ogljikovodiki). V 80. letih in v začetku 90. let je bil v Sloveniji velik poudarek na sanaciji kakovosti zraka v mestih, ki so bila močno obremenjena z onesnaženim zrakom. Šlo je za vrsto ukrepov: nadomeščanje premoga in mazuta z zemeljskim plinom, širjenje daljinskega ogrevanja, varčevanje z energijo, gradnja mestnih obvoznic itd. Čeprav takratna država ni podpisala žveplovega protokola, je bilo v slovenske razvojne načrte vključeno tudi določilo za pripravo projektov čistilnih naprav za žveplov dioksid pri naših termoelektrarnah na premog. Z aktom o notifikaciji nasledstva konvencij OZN je Republika Slovenija 6. julija 1992 postala pravna naslednica množice mednarodnih pogodb bivše Jugoslavije, med njimi tudi konvencije CLRTAP in protokola EMEP. Še v letu 1992 se je tudi aktivno vključila v delo teles konvencije in v pogajanja o drugem žveplozem protokolu. Nosilec dejavnosti v zvezi s konvencijo je postalo Ministrstvo za okolje in prostor RS, Hidrometeorološki zavod RS. Zgrajeni sta bili dve merilni postaji EMEP, na Krvavcu in v Iskrbi pri Kočevski Reki. Skladno s priporočili EMEP so bile nastavljene evidence emisij škodljivih snovi v zrak. Leta 1994 je Slovenija podpisala drugi žveplov protokol in s tem sprejela obveznost zmanjšanja emisij žveplovega dioksida za 45, 60 oz. 70 odstotkov do let 2000, 2005 oz. 2010 glede na stanje v letu 1980. Konec leta 1994 je vlada sprejela vrsto uredb, ki urejajo področje onesnaževanja in onesnaženosti zraka. Protokol je bil ratificiran leta 1998 in s slovensko ratifikacijo je bil izpolnjen pogoj zadostnega števila ratifikacij (16), da je protokol postal veljaven. Slovenija ni ostala le pri prevzemanju obveznosti, temveč je vztrajno zmanjševala emisije SO<sub>2</sub>, najbolj s pogonom prve odžvepljevalne naprave na bloku 4 Termoelektrarne Šoštanj leta 1995. Leta 1998 je Slovenija podpisala tudi protokola o težkih kovinah in obstojnih organskih onesnaževalcih (O&P Bilten, 2000).

Izvršilno telo Konvencije o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja je 30. novembra 1999 sprejelo tudi Protokol o zmanjševanju zakisljevanja, evtrofikacije in prizemnega ozona (Göteborgski protokol); Göteborgski protokol določa najnižje dovoljene vrednosti emisij (zgornje meje emisij) za vsako nacionalno pogodbenico za štiri glavne skupine onesnažil, odgovornih za zakisovanje, evtrofikacijo in prizemni ozon: žveplov dioksid, dušikove okside, hlapne organske snovi in amoniak; te zgornje meje morajo biti dosežene do leta 2010. Izvajanje Göteborgskega protokola bo prispevalo k doseganju ciljev Evropske skupnosti na področju varstva okolja in zdravja ljudi (O&P Bilten, 2000)

Göteborgski protokol o zmanjševanju zakisovanja, evtrofikacije in prizemnega ozona obvezuje Republiko Slovenijo, da do leta 2010 zmanjša skupne letne emisije dušikovih oksidov na največ 45 kt in žveplovih oksidov na 27 kt, upošteva vse vire onesnaževanja (Ministrstvo...,2006).

Leta 1980 je bila v okviru Konvencije ustanovljena tudi skupina WGE (Working Group on Effects), ki predstavlja enega izmed osnovnih ogrožij pri kontroli in zmanjševanju škodljivega vpliva na zdravje ljudi in naravo, ki ga povzroča onesnaževanje zraka na velike razdalje (Programme UNECE, 2007). Skupina se ukvarja z zbiranjem podatkov o vplivu velikih onesnaževalcev zraka na zdravje ljudi in okolje, predvsem učinke onesnažil, kot so žveplove spojine, dušikovi oksidi, ozon in pa težke kovine. Skupina WGE vsebuje tudi šest mednarodnih kooperativnih programov (International Cooperative Programmes, ICP), kamor spada tudi program ICP Vegetation, v okviru katerega je potekala naša raziskava.

Naše delo je, kot že prej rečeno, temeljilo na programu ICP Vegetation. Program ICP Vegetation se ukvarja s spremljanjem vpliva fotooksidantov na kmetijske rastline in naravno vegetacijo. Po enotnem protokolu se izvaja sledenje učinkov fotooksidantov na rastline po celotni Evropi. Zaradi dobrih indikatorskih lastnosti in možnosti gojenja v različnih klimah, je bila za sledenje ozona izbrana plazeča detelja (*Trifolium repens* 'Regal'), pri kateri se ob povečanih koncentracijah ozona na zgornji strani listov pojavijo vidne poškodbe v obliki belih peg (Batič in sod., 1999). Seveda pa je potrebno poudariti, da idealne indikatorske rastline ni, težave pa so nastopile tudi pri izbrani plazeči detelji, saj ne moremo predvideti sprememb, ki bodo nastale, ko bomo rastlino premestili v različna podnebna okolja.

Cilj diplomskega dela je nadaljevanje sledenja učinkov troposferskega ozona s plazečo deteljo *Trifolium repens* 'Regal' v ruralnem okolju, kot je to poskusno mesto Iskrba. Za tovrstno raziskavo je potrebno večletno opazovanje poškodb, moja diplomska naloga pa zajema opazovanje v letu 2006 in se s tem vključuje v raziskavo.

## 2 PREGLED OBJAV

### 2.1 ONESNAŽEVANJE V SLOVENIJI

Onesnaževanje okolja so, ne glede na to ali gre za onesnaževanje ali onesnaženost, škodljivi vplivi ali učinki posegov v okolje, ki zmanjšujejo nevtralizacijsko in regeneracijsko sposobnost okolja, možnost njegove rabe in izkoriščanja ter škodijo materialom (Zakon o varstvu okolja, 1993).

Na področju kakovosti zraka lahko tudi v Sloveniji od leta 2005 zaznamo spremembe. Koncentracije žveplovega dioksida so presegle mejne vrednosti le še okrog termoelektrarne Šoštanj in na merilnem mestu v Krškem. V Krškem so se koncentracije po zaustavitvi proizvodnje celuloze v tovarni VIPAP avgusta 2006 močno znižale, tako da so bile od tedaj dalje med najnižjimi v Sloveniji. Koncentracije dušikovega dioksida v letu 2006 niso nikjer presegle mejnih vrednosti. Višje so bile na mestnih merilnih mestih (v Mariboru sta bili zabeleženi najvišja urna in povprečna letna koncentracija). Pri svincu in ogljikovem monoksidu so bile koncentracije nizke. Podobno je z benzenom, ki smo ga merili le v Ljubljani in Mariboru. Konec leta 2005 so se precej spremenile emisijske razmere v Zasavju s pričetkom delovanja odžveplovalne naprave v Termoelektrarni Trbovlje. To je prispevalo k močnemu znižanju koncentracij žveplovega dioksida v njeni okolici, tako da v letu 2006 prvič niso prekoračile mejnih vrednosti. Tudi v Šoštanju se razmere še nadalje izboljšujejo s povečevanjem kapacitete odžveplovalne naprave. Pri ostalih onesnaževalih pa ni bilo bistvenih sprememb pri emisiji niti glede kakovosti zunanjega zraka (Poročilo o..., 2006).

Povečane koncentracije prizemnega ozona so velik problem varstva zraka tako v Evropi kot tudi v Sloveniji. Posebej prizadeta so alpska območja zaradi občutljivih gozdnih ekosistemov. Povečan ozon v troposferi je problem regionalnega obsega, ki ga je možno reševati predvsem z načrtnim zmanjševanjem emisij dušikovih oksidov in hlapnih organskih spojin, ter s sodelovanjem vseh držav v Evropi. Tako bo na pojav fotokemijskega smoga vplivalo pri nas ne le zmanjšanje emisij dušikovih oksidov in hlapnih organskih spojin v državi, ampak zlasti zmanjšanje emisij v Italiji, od koder prinese k nam pogosto zračne mase, bogate s prekursorji ozona. V Sloveniji je glavni vir dušikovih oksidov, ki povzročajo nastajanje prizemnega ozona, promet in daljinski transport, največ iz Italije (Ministrstvo..., 2006).

Meritve ozona in njegovih predhodnikov kažejo, da so občasne koncentracije fotooksidantov zelo velike in presegajo prag za nastanek poškodb na vegetaciji in vplivajo na zdravje ljudi (Planinšek, 1997).

Podatke o onesnaženosti zraka je potrebno redno pošiljati po dogovorjenih postopkih v podpisanih in ratificiranih konvencijah na Evropsko agencijo za okolje, EMEP center na Norveškem, UNECE in Eurostat. V Sloveniji so skladno z zakonom o varstvu okolja informacije o stanju onesnaženosti zraka javne. Statistično obdelani podatki so objavljeni v mesečnih in letnih poročilih, ki so dostopna na spletnih straneh Agencije RS za okolje (Onesnaženost..., 2006).

### 2.1.1 Onesnaževanje zraka na območju Kočevske Reke

Merilna postaja Iskrba pri Kočevski Reki se nahaja na planoti na nadmorski višini okrog 500 m, v južnem delu Slovenije, v bližini meje s Hrvaško. Okolica je slabo poseljena, obdajajo jo obširni gozdovi. V pasu 50 km okoli postaje ni večjih virov zračnih onesnažil. Postaja je namenjena spremljanju kislih usedlin, težkih kovin v okolju ter fotokemijskega smoga večjega obsega. Koncentracije SO<sub>2</sub> in HNO<sub>3</sub> so v Iskrbi majhne, koncentracije sulfatnega aerosola in NH<sub>3</sub> pa so primerljive s tistimi v centralni Evropi. Primerjava podatkov o kakovosti padavin med Iskrbo in osmimi podeželskimi lokacijami (Mašun, Jezersko, Bled, Portorož, Lokve, Vojsko, Podkraj, Slap), ki ležijo v okviru 100x100 km mreže EMEP-a, kaže, da so letne povprečne koncentracije ionov v padavinah z Iskrbe manjše v primerjavi z drugimi lokacijami. To pomeni, da je merilna postaja v "čistem" okolju in da ni bistvenih vplivov lokalnih virov onesnaženega zraka na sestavo padavin (Planinšek, 1997).

### 2.2 VPLIV ONESNAŽENEGA ZRAKA NA RASTLINE

Polutanti so stresni dejavniki, ki povzročajo škodljive spremembe na rastlinah. Fitotoksičen vpliv ozona je odvisen od cele množice biotičnih in abiotičnih dejavnikov, ki vplivajo na rastlino. Stadij rasti, prehranjenost rastlin, intenziteta sončnega obsevanja, temperatura in relativna vlažnost ozračja in tal so samo nekateri dejavniki, ki pomembno vplivajo na sprejem ozona v rastline (Tremonia in sod., 1978).

Dobro je znano, da je občutljivost rastlin na zračna onesnažila največja pri optimalnih rastnih razmerah (Heggstad in Bennett, 1984).

Relativna zračna vlaga, svetloba, temperatura ali suša lahko vplivajo na prevodnost lista in s tem na notranjo vsebnost ozona in tako vplivajo na učinek dane koncentracije ozona na fotosintezo ali rast ali pa na oboje (Reich in Amundson, 1985).

Na rastlinah se zaradi onesnaženega zraka pojavljajo različna znamenja (simptomi) in le malo je takih, pri katerih lahko z gotovostjo najdemo povzročitelja. Podobna znamenja poškodb kot ozon lahko povzročajo tudi patogeni in fiziološke spremembe. Prav zato moramo biti zelo pazljivi, ko poskušamo določiti vzroke poškodb. Gre za velik razpon, od najmanjših, izraženih le na ravni celice, do propada celotnega organizma.

Zelo pogosta posledica delovanja zračnih onesnažil je razgradnja klorofila, kateri sledi razgradnja kloroplastov. Posledica zmanjšane vsebnosti klorofila v rastlini so kloroze. Pogosto gre za srebrnkaste, modrikaste in rjavkaste pege, ki so lahko tudi diagnostičen znak za določeno vrsto onesnažila. Pri tem onesnažilu so kloroze različno obarvane pri različnih vrstah rastlin (Taylor, 1984).

Klorozam pogosto sledijo nekroze, saj večje koncentracije onesnažil ne vodijo le v razgradnjo klorofila, ampak celotnega tkiva. Tudi obarvanost nekroz je lahko pomemben diagnostični znak, kadar opazujemo prisotnost določene vrste onesnažil v okolju (Heggstad in Bennett, 1984).



## 2.3 FOTOOKSIDANTI

Fotooksidanti so sekundarna onesnažila, ki nastajajo večkrat daleč od virov prekursorjev in v podeželskem okolju pogosto povzročajo poškodbe na vegetaciji (Krupa in Manning, 1988). Vpliv fotooksidantov so najprej opazili v ZDA, kjer so ugotovili vidne poškodbe in upad pridelka na številnih kmetijskih rastlinah (Krupa in Manning, 1988), šele kasnejša tudi na nekaterih drevesnih vrstah (Frederick, 1993).

Fotokemični procesi povzročajo tvorbo ali razgradnjo mnogih plinskih komponent atmosfere. Med fotooksidanti je ozon najpomembnejši v pomenu neugodnega vpliva na zdravje ljudi in ekosisteme. V določenih razmerah ozon in peroksiacetil nitrati (PAN) nastajajo v zadostnih količinah, da so škodljivi za vegetacijo (Taylor, 1984).

## 2.4 OZON IN NJEGOVO NASTAJANJE

Ozon (gr. ozein - dišati), trikisik  $O_3$  je alotropska modifikacija kisika, ki v molekuli vsebuje tri kisikove atome. Čisti ozon je plin modre barve, utekočinjen je temnomoder. Koncentriran ozon je eksploziven in ima močan neprijeten vonj. Je neobstojen, pri sobni temperaturi počasi, pri višji pa še hitreje razpada na molekulo navadnega kisika in na atomski kisik (monokisik  $O$ ), zato je zelo močan oksidant. V manjših koncentracijah učinkuje osvežilno, v večjih povzroča glavobol. Ozon nastaja pri ucinkovanju ultravijoličnih in radoaktivnih žarkov na kisik. V višjih plasteh zemeljskega ozračja nastaja zaradi delovanja sončnih ultravijoličnih žarkov na zrak in pri atmosferskem električnem razelektrenju. Neznatne količine ozona nastajajo tudi pri nekaterih kemijjskih reakcijah, kot npr. pri počasni oksidaciji vlažnega belega fosforja na zraku (Slovenski kemijski..., 2007).

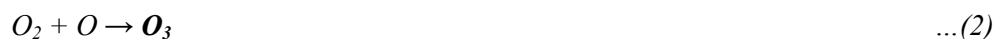
### 2.4.1 Ozon v stratosferi – tanjšanje ozonskega ščita v stratosferi

Ozon je atmosferski plin, ki v stratosferi (v višini 20 – 30 km) tvori ozonsko plast ali ozonski ščit. Ta je zelo pomemben za absorpcijo organizmom nevarnega kratkovalovnega UV-B sevanja. Nastanek ozonskega ščita je v evoluciji organizmom omogočil naseljevanje kopenskih življenjskih prostorov in jih še danes varuje pred nevarnim kratkovalovnim sončnim sevanjem. Zaradi antropogenega povečevanja koncentracije klorofluorogljikovodikov v stratosferi se manjša koncentracija ozona v ozonskem ščitu. Kako hitro se bo nadaljeval ta proces, je odvisno od ukrepov za zmanjševanje porabe in emisije sintetičnih klorofluorogljikovodikov ali CFC-cjev (uporabnih v hladilni tehniki, čistilih, proizvodnji penastih snovi, potisnih plinih v sprejih), iz katerih se pri razgradnji sproščajo klor, brom in fluor.

#### 2.4.1.1 Nastajanje ozona v stratosferi

V stratosferi poteka množica fotokemičnih reakcij, v katerih sta udeležena  $O_3$  in  $O_2$ . Z razgradnjo ozona se najbolj spreminja prodiranje UV-B (ultravijoličnega B sevanja) do biosfere, ker je absorpcija UV-B spektralnega dela v stratosferi neposredno odvisna od debeline ozonske plasti (Frederick, 1993). UV-B je sevanje valovnih dolžin od 280 do 320 nm. Absorpcija svetlobe zaradi ozona povzroča naraščanje temperature z nadmorsko višino v stratosferi. V tem območju prihaja do fotodisociacije  $O_3$  in  $O_2$ , kar povzroča še druge

kemične reakcije, v katerih nastaja in se razgrajuje  $O_3$ , skupno pa to vodi do končne koncentracije  $O_3$  v stratosferi. Ozon torej nastaja s fotolizo molekul kisika (reakcija 1), atomarni kisik nato reagira z molekulo kisika v ozon (reakcija 2).



Za to reakcijo je potrebna svetloba valovne dolžine 242 nm v UV-C področju svetlobnega sevanja (sevanje od 200 do 280 nm) (Krupa in Manning 1988). Znanstvena ocena dokazuje, da je bilo stratosferskega ozona v letih 1997 – 2001 od 3 – 6% manj kot v letih pred 1980 (UNEP, 2002). Poleg naravnega razpada ozona, ki tudi poteka v stratosferi, se je ta proces povečal v zadnji polovici 20 stoletja zaradi plinov, predvsem flouorkloroogljikov in dušikovih oksidov ter snovi, ki vsebujejo bromine (Blumthaler in Ambach, 1990). Obnovitev ozonske plasti bo počasnejša zaradi učinka emisije toplogrednih plinov (Weatherhead in sod., 2000). Po nekaterih podatkih naj bi se ozonska plast obnovila na debelino pred leti 1970 do leta 2050, če bodo države upoštevale Montrealski protokol (UNEP, 2002).

## 2.5 PRIZEMNI OZON (TROPOSFERSKI OZON)

Ko omenimo ozon, ponavadi pomislimo na ozonski ščit v stratosferi in le malokdo pomisli, da ozon lahko nastaja tudi v troposferi. Izvor tega ozona je lahko naraven in antropogen. Običajno se je nahajal v prizemni plasti v sledovih. V zadnjih 100 letih pa je njegova povprečna letna koncentracija narasla za faktor 2. Povprečna letna koncentracija ozona v prizemnih plasteh troposfere narašča zaradi antropogenih vplivov, emisij snovi, iz katerih nastaja ozon (lahkohlapni ogljikovodiki, ogljikov oksid in dušikovi oksidi, ki izhajajo predvsem iz prometa in industrije...). To so predhodniki (prekursorji) ozona. Povečana koncentracija prizemnega ozona povzroča poškodbe na živih bitjih, ogroža njihovo zdravje in zmanjšuje prirastek kmetijskih in samoniklih rastlin (Krupa in Manning, 1989). Tako lahko povzamemo: ozon, ki se nahaja v stratosferi, ščiti življenje na Zemlji, če pa se v povečani koncentraciji nahaja v troposferi, ga ogroža.

### 2.5.1 Nastajanje prizemnega ozona

Velik problem predstavljajo povečane koncentracije ozona v troposferi, ki so posledica naravnih vplivov in vplivov človeka. Ozon prihaja v troposfero iz stratosfere predvsem ob nevihtah ali pa nastaja v troposferi pri fotolizi dušikovega dioksida in v prisotnosti ogljikovodikov. Troposferski ozon predstavlja približno 10 % vsega ozona v zemeljski atmosferi in vzdržuje ravnotežje med nekaterimi sestavinami zraka. Zaradi povečanih antropogenih virov ogljikovodikov, dušikovih oksidov in ogljikovega monoksida se je koncentracija prizemnega ozona v Evropi v zadnjih sto letih podvojila. Za srednjo Evropo velja, da so povprečne dnevne koncentracije na podeželju med 20 in 40 ppb, v hribih na višinah nad 1000 m pa med 30 in 50 ppb (Onesnaženost..., 2000).

V naravi v prizemni plasti troposfere ozon običajno nastaja po drugačni poti. Tu je v normalnih razmerah predhodnik ozona dušikov dioksid, ki pri fotolizi razpade v atomarni

kisik in dušikov monoksid (reakcija 3), pri tem sodeluje modrovijolična svetloba vidnega dela svetlobnega spektra valovne dolžine 420 nm. Atomarni kisik nato zreagira v ozon z molekularnim kisikom in še inertnim tretjim udeležencem te reakcije, imenovanim M (npr.: dušik), ki služi za odvod energije (reakcija 4).



Nastali dušikov monoksid pa je v povratni reakciji porabnik ozona (reakcija 5) (Krupa in Manning, 1988).



Glede na razmere v zraku nastane po reakcijah (3) in (5) fotokemijsko ravnotežje,

$$[O_3] = K[NO_2]/[NO] \quad \dots(6)$$

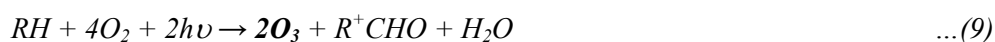
ki določa koncentracijo ozona. Ta je proporcionalna konstanti K in koncentracijskemu razmerju med NO<sub>2</sub> in NO (Tremonia in sod., 1978). Velikost konstante K je odvisna od jakosti sevanja in od razmerja hitrostnih konstant reakcij (3), (4), (5). Dušikov dioksid je definiran tudi kot fitotoksični kemični oksidant, ker tudi sam v velikih količinah negativno vpliva na živi svet (Taylor 1984).

V onesnaženem zraku zaradi emisij prometa ter industrije nastaja ozon še na sledeče načine:

1. tvorba ozona se prične s stimulacijo s sončno svetlobo, ki povzroči tvorbo peroksi-radikalov iz hlapnih organskih spojin (VOC). Ti radikali povzročijo pretvorbo dušikovega oksida v dušikov dioksid (reakcija 7), ki po sončnem obsevanju postane donor reaktivnih kisikovih atomov. Rezultat je tvorba ozona (reakcija 8):



2. nastanek ozona pri oksidaciji ogljikovodikov (RH) (reakcija 9):



3. nastanek ozona iz ogljikovega monoksida (CO) (reakcija 10):



#### 2.5.1.1 Ukrepi za zmanjševanje nastajanja prizemnega ozona

Danes je zelo aktualno ekopolitično vprašanje, s katerimi ukrepi bomo lahko zmanjšali sproščanje predhodnikov fotooksidantov, da bi se s tem uspešno borili proti tvorbi fotooksidantov. Med take ukrepe spadajo: zmanjševanje emisije snovi, iz katerih nastajajo

fotooksidanti, enostransko zmanjševanje emisije ogljikovodikov ter enostransko zmanjševanje emisije dušikovih oksidov. Oksidacijski procesi z antropogenimi ogljikovodiki v troposferi zelo pospešujejo nastajanje fotooksidantov. Zato so ukrepi za zmanjševanje emisije ogljikovodikov učinkovito sredstvo zmanjševanja obremenjenosti okolja s fotooksidanti. Ravno tako so nezaželeni tudi različni reakcijski produkti dušikovih oksidov. Po drugi strani pa so prostorsko gledano, lahko razpoložljivi dušikovi oksidi limitirajoči faktor pri tvorbi fotokemičnega ozona.

V Evropi so zaradi velikih koncentracij ozona dopolnili upravne akte in izvedli poskuse zmanjševanja emisij predhodnikov ozona. Omejitve prometa je pokazala, da se je koncentracija dušikovega dioksida zmanjšala za 30 %, koncentracija ozona pa za 5 – 10 %. Na podlagi tega lahko sklepamo, da je samo prepoved prometa ob neugodnih sezonskih obdobjih verjetno premalo.

Kot vemo, nastaja troposferski ozon v vrsti fotokemičnih reakcij ali pa ga od drugod prinesejo zračne mase, tudi iz razdalje več kot 100 km. Poleg avtohtono nastalega ozona lahko ozon prispe tudi s transportom zraka od drugod. Zato morajo biti izvedeni učinkoviti ukrepi na nivoju celotne države, regije ali več sosednjih držav. Ukrepe in omejitve pa je nesmiselno izvajati šele ob prekoračitvah mejne koncentracije ozona in drugih fotooksidantov. Ker je koncentracija ozona zelo odvisna od sončnega sevanja, temperature zraka in vetra, je najustreznejše ukrepanje zelo pomembna dobra vremenska napoved (prognoza). Preventivni ukrepi morajo zajeti poleg prometa tudi sežigalnice, petrokemijsko industrijo, velike emitente topil ali drugih snovi, ki povzročajo nastajanje ozona.

## 2.6 ZNAČILEN LETNI IN DNEVNI HOD KONCENTRACIJE OZONA

Koncentracije prizemnega ozona imajo svoj značilen letni in dnevni hod, ki je odvisen od množice dejavnikov, predvsem pa od pripravljenosti predhodnikov, njihovih koncentracij, jakosti sončnega sevanja ter temperature zraka. Letni hod koncentracij ozona ima maksimalne vrednosti poleti in minimalne pozimi. Ta hod je posebno izrazit v gosto naseljenih predelih. V višje ležečih krajih je letni hod ozona slabše izražen. Naravna tvorba ozona je pričakovano maksimalna v zgodnji pomladi. Do nihanj koncentracije prihaja zaradi lokalne tvorbe ozona in transporta iz urbanih centrov, kar vodi do fotokemičnega fenomena, ki ima maksimum nekje v poletju in zgodaj jeseni (Legge in sod., 1995).

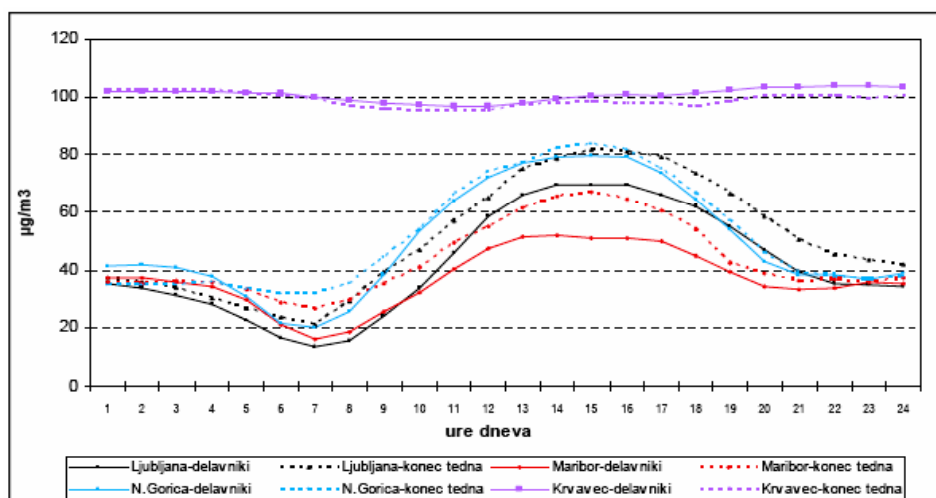
Letni hod je bil v Sloveniji v letu 2006 zaradi vpliva sončnega obsevanja in temperature zraka na kemijske reakcije, pri katerih se razvija ozon, precej izrazit z višjimi koncentracijami poleti in nižjimi pozimi (Poročilo o..., 2006).

Dnevni potek koncentracij ozona ima dve različici. Poleg običajne, ki se pojavlja v naseljenih in območjih s "čistim" zrakom, poznamo še nov nenormalen tip dnevnega poteka ozona. Meteorološki parametri, ki so tesno povezani z velikimi koncentracijami ozona čez dan, so (Heggstad in Bennett, 1984):

- okoliške temperature v območju 25 – 35 °C,
- velika svetlobna jakost,

- majhna relativna zračna vlaga z nič ali malo padavinami,
- mirni dnevi z majhnim ali zmernim vetrom (0 – 15 km/h).

Značilni dnevni hod koncentracij ozona pri nas v letu 2006 (slika 1), na merilnih mestih v nižinskih krajih kaže izrazit maksimum okrog 14. ure, ko ima prevladujoč vpliv sončno obsevanje in najvišje temperature zraka v tem času. Na više ležečih odprtih legah (Krvavec) je ta hod neizrazit (Poročilo o..., 2006).



Slika 1: Dnevni hodi koncentracij ozona v letu 2006 (Poročilo o..., 2006).

## 2.7 BIOINDIKACIJA – SPREMLJANJE ONESNAŽENJA ZRAKA Z RASTLINAMI

Pri ugotavljanju in spremljanju onesnaženosti zraka postaja vedno bolj očitno, da je poleg fizikalnih in kemijskih meritev onesnažil v zraku, potrebno poznati in registrirati tudi učinke, ki jih imajo te snovi na živi svet. Zato se vedno pogosteje uporabljajo živa bitja kot kazalnik neugodnih vplivov okolja. Poznamo rastline, ki ob spremembah, ki nastanejo v okolju, izginejo ali pa se pojavijo v povečanem številu. Te rastline imenujemo indikatorske rastline. Primer rastlin, ki ob povečanju onesnažil v ozračju izginejo, so lišaji in v primeru zelo onesnaženega zraka govorimo o lišajski praznini (Treshow, 1970). Nekatere rastline s svojim množičnim pojavljanjem kažejo na prisotnost težkih kovin v ozračju in so jih sposobne kopičiti v večjih količinah.

Bioindikatorski organizmi izvednotijo izmerjene koncentracije onesnažil, saj kvalitativno in kvantitativno odražajo njihov učinek. Motnje, ki slabijo rastline, slabijo tudi človekovo zdravje, zato lahko sklepamo, da s spremljanjem propadanja rastlin opozarjamo tudi na nevarnosti slabšanja kvalitete človekovega življenja. Spremenjene življenjske razmere, ki v okolju nastanejo zaradi onesnaževanja, vplivajo na rast in razvoj rastlin. Zelo pomembno je tudi to, da spremljamo razvoj in odziv rastline v okolju, kjer rastlina dejansko živi in raste. Tak način opazovanja ima določene prednosti in slabosti v primerjavi z opazovanjem rastlin v laboratorijih, ki poskušajo posnemati naravne razmere. Izvajanje poskusov v kontroliranih razmerah, laboratoriju, nedvomno omogoča večji nadzor nad vsem dogajanjem v okolici, vendar se s tem načinom oddaljujemo od glavnega problema, ki ga

poskušamo razjasniti, to je vplivu okolja. Številni dejavniki vplivajo na rastline in za te so značilne tudi določene interakcije, ki so mogoče le v naravnih razmerah, zato je prenašanje ugotovljenih rezultatov iz laboratorija na naravno okolje dostikrat zgrešeno.

Glavni problemi, ki se pojavijo v laboratoriju in jih moramo upoštevati, če rezultate posplošujemo tudi v naravnem okolju, so:

1. posnemanje koncentracij ozona v laboratoriju predstavlja problem zaradi značilnega dnevnega poteka ozona, ki ga ne moremo dovolj natančno simulirati,
2. trajanje delovanja povzroča različne stopnje poškodb, na katere vplivajo običajno dolgotrajne, majhne koncentracije ozona, ki so dodaten problem v poskusu,
3. medsebojen vpliv različnih onesnažil in ostalih dejavnikov okolja je običajno zelo specifičen,
4. starost rastlin pomembno vpliva na odzive na okolje,
5. preskrbljenost rastlin in delovanje ostalih stresnih dejavnikov kot so vreme, bolezni, itd.

Pri vsem tem je pomembno tudi to, da se rastlina dovolj specifično odziva na spremembe, da se negativni učinek pri ponovitvah ponovi, da se občutljivost pokaže že pri majhnih koncentracijah in da na splošno rastlino lahko gojimo v standardnih razmerah (Posthumus, 1984).

Kot primerno merilo za onesnaženost okolja in s tem posledično ugotavljanje obremenjenosti uporabljamo bioindikatorje, ki jih razdelimo na kazalce, testerje in monitorje (Batič in Macarol, 1994).

Kazalci so organizmi, ki se v ekosistemu že nahajajo. Najbolj znani so epifitski lišaji, v ta namen lahko uporabimo tudi drevje. V splošnem je izmera izraznosti bioindikatorjev težavna, sklepanje na dozo onesnažil pa v večini primerov neizvedljivo. Testerji so praviloma v laboratoriju preizkušeni testni organizmi. Njihov odziv na dozo onesnažil je znan, tudi relacija glede ne nevarnost za zdravje človeka je ponavadi ugotovljena.

Monitorji so organizmi, ki kvantitativno in kvalitativno odražajo škodljive snovi v okolju. Primer takega biomonitorja na povečane koncentracije ozona sta občutljiva sorta tobaka (*Nicotina tabacum* 'Bel W3') in plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Regal').

O pasivni bioindikaciji govorimo, kadar analiziramo stanje v ekosistemu in uporabljamo v njem že prisotne organizme; pri aktivni bioindikaciji pa v ekosisteme, ki jih želimo analizirati, vnašamo testne organizme-monitorje (Reich in Admundson, 1985).

Rastline se zelo različno odzivajo na stres. Stres prenašajo (toleranca) ali pa se ga izognejo (avoidanca). Drugi način je pogostejši, čeprav je pri rastlinah izogib stresu pogosto prekrit (npr. odpadanje listov, zasmolitev brstov, zapiranje listnih rež, itd.) (Batič, 1997).

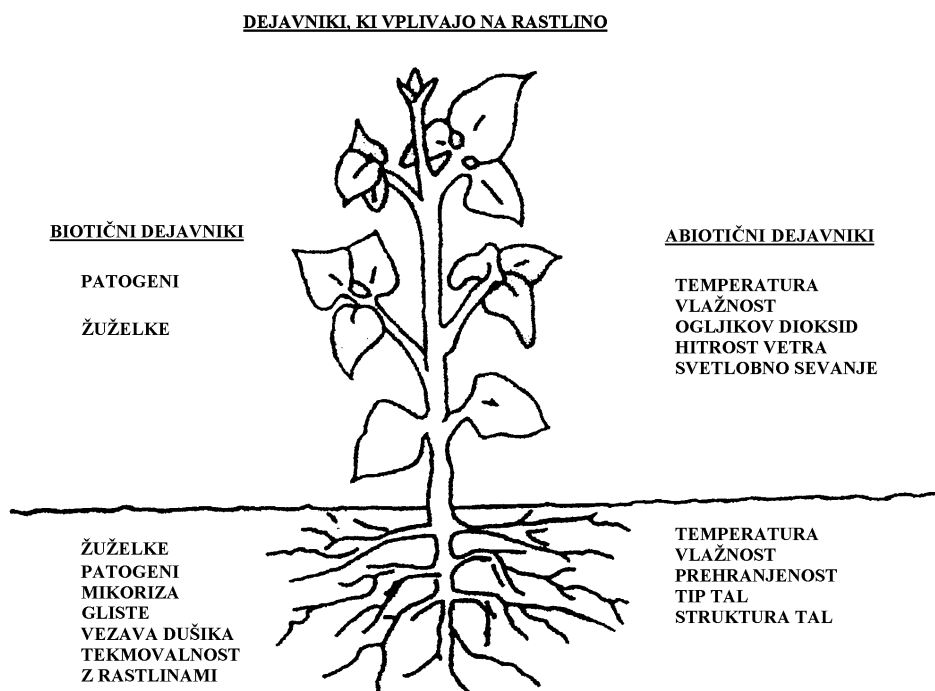
Za sledenje učinkov troposferskega ozona na rastline se poleg vidnih poškodb na rastlinah spremljajo spremembe biomase, fotosinteza, vsebnosti fotosintetskih pigmentov vsebnost

spojin, ki kažejo na stresno stanje, itd. Tudi drevesa zelo dobro kažejo spremembe, kot je pojevanje rastne moči, zaradi zračnega onesaženja.

Danes je vedno več rastlin, ki so že genetsko bolj odporne proti različnim stresnim razmeram. Ena izmed možnosti zmanjšanja poškodb zaradi onesaženega zraka je selekcija tolerantnih in zmerno odpornih vrst in sort kulturnih, gozdnih, zelenjavnih in okrasnih rastlin ter poljščin. Sorte poljščin poskušajo vzgojiti v območjih, ki so relativno bolj onesažena z ozonom z željo, da bi bile vzgojene sorte bolj tolerantne na onesaženje kot pa sorte, vzgojene v relativno čistih območjih (Reich in Admundson, 1985).

## 2.8 VPLIV OZONA NA RASTLINO

Fitotoksičen vpliv ozona je odvisen od cele množice biotičnih in abiotičnih dejavnikov, ki vplivajo na rastline. Nekateri izmed teh dejavnikov so prikazani na sliki 2 (Krupa in Manning, 1988).



Slika 2: Dejavniki, ki vplivajo na reakcijo rastlin na povečane koncentracije ozona (Krupa in Manning, 1988: 112)

Glavna pot ozona, preko katere vstopa v rastline so reže (Wieser in Havranek, 1993). Na stomatarno prevodnost rastlin vplivajo številni dejavniki, ki jih delimo na zunanje in notranje. K zunanjim štejemo relativno vlažnost zraka, vlažnost tal, temperaturo in svetlobo. V skupino notranjih dejavnikov pa prištevamo hidraturu, rastlinske hormone, koncentracijo CO<sub>2</sub> v notranjosti rastline in ontogenetsko stanje rastline. Relativna vlažnost zraka ima vpliv na odpiranje rež in s tem neposredno vpliva na pojavljanje ozonskih poškodb pri rastlinah. Lahko je rastlina dobro preskrbljena z vodo in je njena hidratura

100 %, vendar rastlina ob majhni relativni zračni vlagi zapre reže zaradi potencialne nevarnosti izgube vode. Tako rastline sredi dneva v zmernih klimatskih razmerah zaprejo reže. To je zelo pomembno za razumevanje vpliva ozona na rastline, za katerega je značilno, da se v največjih koncentracijah pojavlja ravno v času visokih temperatur in majhne relativne vlažnosti zraka. Zapiranje rež je torej neke vrste zaščita rastlin pred ozonom. Rastline so najbolj občutljive na ozon pri relativno majhnih svetlobnih jakostih, zmernih temperaturah in veliki relativni vlažnosti zraka, kar je posledica odprtosti rež v omenjenih razmerah (Benton in sod., 1995).

Poleg stomatarne upornosti regulirajo vstop ozona v rastlino še aerodinamična, kutikularna, mezofilna in rezidualna upornost rastline (Grünhage in sod., 1994).

Aerodinamična upornost je upornost mejne plasti in je lahko zelo velika v primeru majhnega gibanja zračnih tokov v neposredni bližini rastline. Na zmanjšanje upornosti vpliva veter in segrevanje rastlinskih delov, kar poveča konvekcijo.

Plinaste snovi v manjši meri prehajajo tudi skozi kutikulo. Kutikularna upornost se povečuje z zmanjševanjem relativne vlažnosti zraka.

Mezofilna upornost nastopi v medceličnem prostoru in se povečuje ob kopičenju onesnažila v notranjosti rastline.

Rezidualna upornost pa se pojavi ob prehodu onesnažila skozi celične stene in membrane v notranjost rastline.

$$F(O_3) = \frac{\text{potencial}_1 - \text{potencial}_2}{R_{\text{atmosfera}} + R_{\text{rastline}}} \quad \dots(11)$$

$\text{potencial}_1$  = koncentracija ozona na merilni višini

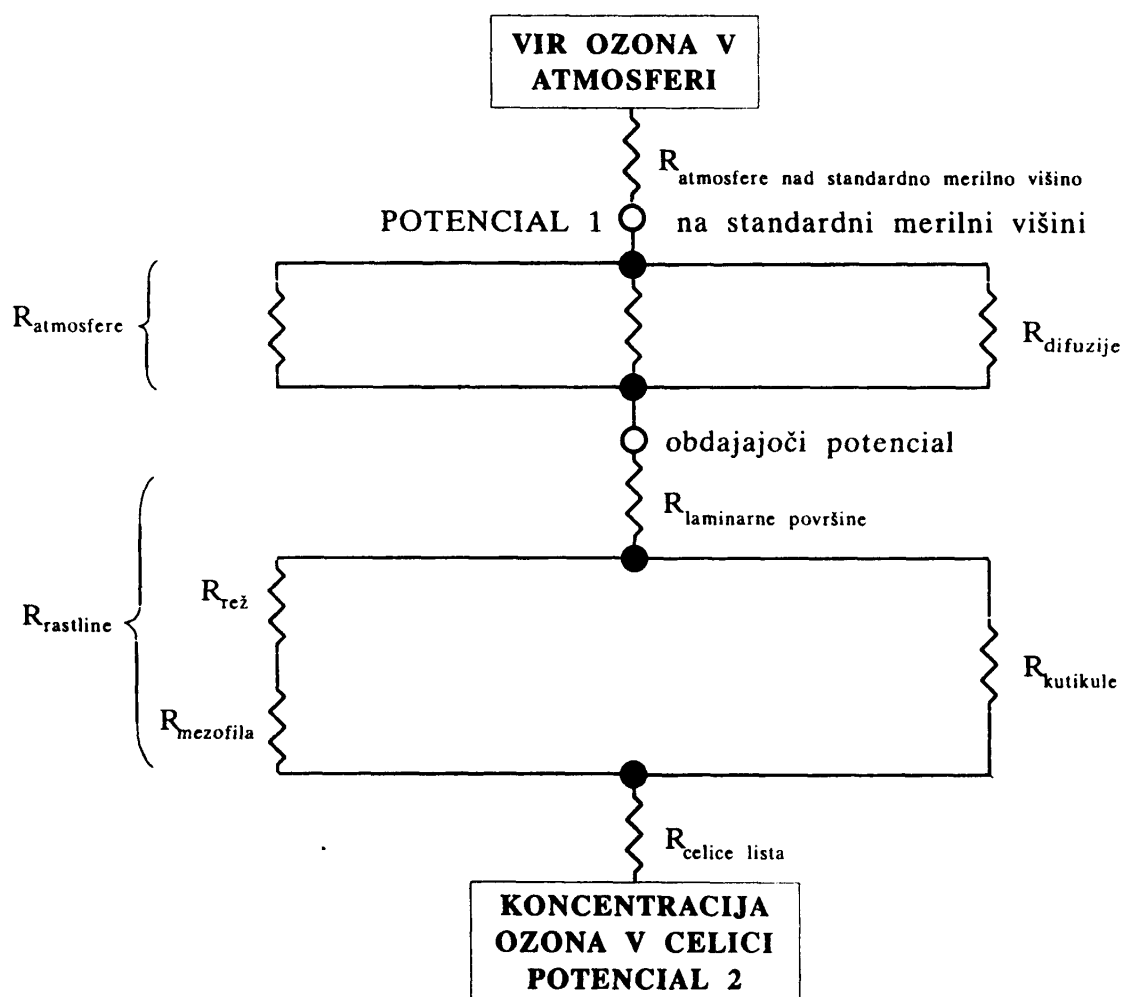
$\text{potencial}_2$  = koncentracija ozona v notranjosti lista

$R_{\text{atmosfera}}$  = upornost atmosfere

$R_{\text{rastline}}$  = upornost rastline

Difuzija ozona je torej odvisna sorazmerno od koncentracijskega gradienta med okolico in rastlino, ter obratno sorazmerna z vsemi upornostmi, ki na tej poti nastopajo (Legge in sod., 1995) (enačba 11).





Slika 3: Shematični prikaz upornosti, ki nastopajo pri prehodu ozona v rastlino (Grünhage in sod., 1994:45)

### 2.8.1 Akutne in kronične reakcije rastlin na ozon

Pri akutnih reakcijah gre za hitre spremembe v fizioloških in biokemičnih procesih rastlin. V ustreznih razmerah te spremembe pogosto vodijo do vidnih znamenj, to je listnih poškodb (Krupa in Manning, 1988). Na rastlinah z velikimi listi se simptomi ozonskih poškodb kažejo kot kloroze (so rezultat pigmentacije ali propada klorofila) na zgornji površini listov, poleg tega pa lahko pride tudi do pigmentacije. Pokažejo se drobni madeži in pikice, pride do svetljenja-beljenja listov in tvorbe nekroz na obeh straneh listov (Krupa in Manning, 1988). Pojavlja se tudi prezgodnje staranje, ki povzroči zgodnjo izgubo listov in plodov. Akutne poškodbe so ponavadi povzročene z relativno velikimi urnimi koncentracijami ozona, ki trajajo en dan ali pa se pojavljajo več dni zapored. Akutne poškodbe se pojavijo pri zmerno velikih koncentracijah ozona, toda ne pri največjih (Krupa in Manning, 1988). Najpogosteje pride do tega pojava zaradi zaprtja rež pri velikih koncentracijah ozona, ki se pojavi kot varovalna reakcija na stres. Običajno so maksimalne vrednosti pretoka ozona iz ozračja v rastline v času dneva, ko so koncentracije ozona nekje v srednjem razredu in ne dosežajo največjih možnih vrednosti (Grünhage in sod., 1994).

Kronične poškodbe so posledica izpostavitve rastlin ozonu za več tednov, mesecev, celo rastno dobo ali celo celoten življenjski cikel. Kronične poškodbe se pojavljajo pri relativno majhnih urnih koncentracijah ozona s periodičnimi, vmesnimi, velikimi variabilnimi vrednostmi. Kronične poškodbe povzročajo nastanek pikic in madežev, majhnih nekrotičnih pikic zaradi odmrtja palisadnih celic, ki so sivkaste ali rjave, lahko pa preidejo v temnejše ali svetlejše odtenke. Pojavijo se lahko tudi majhne okrogle točkice, kjer je nekaj palisadnih celic odmrlo ali pa so prizadete, pokažejo se kot bele, črne, rdeče ali rdeče-vijolične točke (Krupa in Manning, 1988). Medtem ko akutni odzivi lahko ali pa ne vodijo do zmanjšane rasti in pridelka, kronične reakcije kažejo listne kloroze, ovirano rast, odpadanje listov, ovirano cvetenje, odpadanje cvetov, zmanjšano biomaso in ekonomičnost pridelka (Krupa in Manning, 1988). Kronični učinki so torej pomembni, ker se vplivi na rast in biomaso lahko pojavijo brez spremljevalnih vidnih listnih poškodb.

### **2.8.2 Vpliv ozona na presnovo rastline**

Zaradi ozona pride v celici do oksidacije številnih sestavnih delov in tako se porušijo procesi, ki so prej normalno potekali.

### **2.8.3 Vpliv na fotosintezo**

Vpliv ozona je nedvomno inhibitoren, saj pride do razpada kloroplastov in klorofila. Posledica razpada klorofila pa je poleg vidnih poškodb tudi zmanjšana fotosinteza. Za vse rastline  $P_n$  (neto fotosinteza) strogo določa akumulacijo suhe snovi in tako neposredno vpliva na rast rastlin. Nihanje  $P_n$  je lahko prvi znak delovanja plinskih onesnažil na rast rastlin. Tudi že zelo majhne koncentracije ozona povzročajo upad  $P_n$ . Upad fotosinteze, ki je bil posledica izpostavitve majhnim koncentracijam ozona, se je pojavil pri rastlinah, ki niso kazale klasičnih vidnih poškodb, povezanih z akutnimi izpostavitvami (Reich in Amundson, 1985). Inhibirana je fotofosforilizacija z zmanjšanjem elektronskega transporta. Različno odporne sorte tobaka so prav tako pokazale zmanjšan elektronski transport, vendar so bile bolj odporne sorte sposobne vzpostaviti prvotno stanje (Treshow, 1970).

### **2.8.4 Vpliv na dihanje**

Vpliv ozona na dihanje je lahko zelo različen: lahko ga inhibira ali stimulira. V primeru izpostavljenosti listov tobaka (*Nicotiana tabacum* L.) ozonu je prišlo do inhibicije dihanja v mitohondrijih (Larcher, 1994), medtem ko pri fižolu (*Phaseolus vulgaris* L.) sprva ni bilo spremembe, po 24-ih urah pa se je pojavila stimulacija dihanja. Narasla je vsebnost ATP-ja (Larcher, 1994).

### **2.8.5 Vpliv na produktivnost rastline**

Do zmanjšanja rasti in pridelka pride kot posledica poškodovanosti rastlinskega tkiva, ki je fotosintetsko aktivno. Fotosintati so nujni za normalno rast in njihovo zmanjšanje vodi v zmanjšano rast rastlin. Poškodovanost listov je pri nekaterih raziskavah povsem korelirala z zmanjšanjem biomase in pridelka. Ravno tako so dokazali, da je to posledica ozona in da

se vpliv poveča ob prisotnosti žveplovega dioksida. Ozon vpliva na zmanjšanje pridelka tudi zaradi zmanjšanja števila semen v klasu ali stroku in zmanjšanja teže posameznega semena (Conklin in sod, 1996). Pomemben vpliv ima ozon tudi na korenine (Benton in sod, 1995). Zračno onesnaženje zmanjša asimilacijo ogljika in inhibira translokacijo metabolitov v koreninski sistem. Posledica je zmanjšanje mikorize pri tankih koreninah, kajti glive v tem primeru ne dobijo potrebne organske hrane od gostiteljske rastline. Rastlina dobi zato manj vode in mineralnih snovi od glive. Predpostavljamo lahko, da redukcija energetske bogatih organskih substanc v koreninah inhibira simbiotsko razmerje med mikroorganizmi kot je *Rhizobium* in gostiteljsko rastlino. Takšne razmere lahko spodbujajo razvoj patogenih gliv. Vsi ti dejavniki nedvomno negativno vplivajo na rast in razvoj ter s tem tudi produktivnost rastlin (Heggstad in Bennett, 1984).

### 3 MATERIALI IN METODE DELA

#### 3.1 MATERIALI

Za spremljanje učinkov troposferskega ozona smo izbrali na ozon občutljive in na ozon odporne klone plazeče detelje *Trifolium repens* 'Regal'. Plazečo deteljo smo posadili v 15 l posode. Na vsakem poskusnem polju je bilo izpostavljenih 20 posod z odpornimi in 20 posod z občutljivimi kloni.

#### 3.2 METODE DELA

##### 3.2.1 Nastavitev in izvajanje poskusa

Raziskava je potekala v Iskrbi od junija do sredine oktobra v letu 2006 po navodilih iz protokola ICP Vegetation 2006 (Ozone..., 2006). Sam protokol določa način gojitve in vzdrževanja rastlin ter predpisuje obvezen in neobvezen del opazovanja nastanka poškodb, meritve biomase v določenih časovnih presledkih in po možnosti še dodatne meritve fizioloških parametrov indikatorskih rastlin v poskusu in analize njihovih organov.

##### 3.2.1.1 Izbira poskusnega mesta

Iskrba pri Kočevski Reki je primer ruralnega okolja. Prekursorji ozona prihajajo v območje večinoma z daljinskim transportom. Koncentracije dušikovega monoksida so običajno majhne in zaradi tega tudi ni prisotnega glavnega porabnika ozona. To povzroča povečane koncentracije ozona in povečanje deleža vidnih poškodb na rastlinah.

##### 3.2.1.2 Izpostavitvev poskusa naravnim razmeram

Klone plazeče detelje *Trifolium repens* 'Regal' smo dobili iz koordinacijskega centra za ICP Vegetation iz Bangor-ja v Veliki Britaniji. Potaknjence občutljivih in odpornih klonov smo vsadili v lonce in jih vzgojili v rastlinjaku. Po preteku 28 dnevne rasti v nadzorovanem okolju (velika zračna vlaga, zaščita pred močno svetlobo), smo razvite klone presadili v večje, 15 l lonce. Tem smo na dnu izvrtali luknje, da smo skozi lahko napeljali stenje, po katerih so rastline črpale vodo iz spodnjega dela lonca, ki je bil nekakšen rezervoar. V 20 loncev smo posadili po tri rastlinice občutljivih klonov in v 20 loncev po tri rastlinice odpornih klonov. Po ukoreninjenju smo klone plazeče detelje izpostavili naravnim razmeram, in sicer 5.6.2006. Lonce smo nato zakopali v zemljo in jih razporedili tako, da smo dobili štiri vrste po deset loncev. V vrsti sta si izmenično sledila občutljiv in odporen klon. Vrste so bile med seboj oddaljene približno en meter, razdalja v vrsti med lonci pa je znašala pol metra. Med potekom raziskave so velik problem predstavljali polži, zato smo za zaščito rastlin pred njimi uporabili limacid (Mesurol granulat, Limax). Med vegetacijsko dobo je bilo potrebno tudi dodato zalivanje, saj je sušno obdobje v letu 2006 trajalo od začetka junija do sredine julija.

### 3.2.1.3 Opazovanje poškodb troposferskega ozona na rastlinah

Opazovanje in beleženje poškodb je potekalo enkrat tedensko. Posebej pozorni smo bili na liste, ki so kazali znake poškodb ozona. Listne poškodbe se kažejo kot kloroze na zgornji strani lisov, ki se lahko razvijejo v drobne madeže in pike. Iz nastalih poškodb pa ščasoma nastanejo nekroze na obeh straneh listov, posledica pa je lahko zmanjšanje rasti in pridelka.

Pri vsakem klonu detelje posebej smo zabeležili stopnjo poškodovanosti listov na loncu. Pri določanju stopnje poškodovanosti listov smo uporabljali naslednjo skalo:

- |   |  |
|---|--|
| 0 | ni poškodb   |
| 1 | zelo rahle poškodbe; pojav prvih simptomov             |
| 2 | rahle poškodbe, 1-5 % listov z rahlimi poškodbami      |
| 3 | zmerne poškodbe, 5-25 % listov je poškodovanih         |
| 4 | močne poškodbe, 25-90 % listov je poškodovanih         |
| 5 | popolna poškodovanost, 90-100 % listov je poškodovanih |

### 3.2.1.4 Vzorčenje detelje

Po protokolu smo pri detelji vzorčili nadzemni del biomase (listi, stoloni, cvetovi). Biomaso smo poželi vsakih 28 dni. Pri vsakem loncu smo rastline tako s škarjami porezali približno 5 cm nad površino zemlje v loncu ter vzorce shranili v papirnate vrečke, na katerih je bila označena številka vzorca in datum. Prav tako pa smo poželi tudi tista stebela detelje, ki so rastle izven lonca. Po končani žetvi smo odstranili tudi vse poškodovane liste, da jih pomotoma ne bi zamenjali za novo nastale poškodbe v naslednjih opazovanjih; teh listov pa seveda nismo dodali k požeti biomasi. Shranjene vzorce smo nato posušili na 30 °C do stalne teže vzorcev. Za vsako žetev posebej smo stehali tudi suho težo vzorcev. V Iskrbi smo tako opravili 4 žetve.

## 3.3 METEOROLOŠKI PODATKI

Vse meritve meteoroloških spremenljivk in podatke o ozonu za leto 2006 za Iskrbo in Ljubljano nam je posredovala Agencija Republike Slovenije za okolje.

Glede klimatskih razmer je bilo v letu 2006 v primerjavi z dolgoletnimi povprečji na obeh lokacijah kar nekaj odstopanj. Povprečna temperatura zraka je bila višja od dolgoletnega povprečja na obeh lokacijah. Do 1 °C topleje je bilo na Kočevskem, v Ljubljani pa za več kot 1,5 °C. Tudi povprečna najnižja temperatura je bila povsod nad dolgoletnim povprečjem. V začetku junija, ko smo rastline izpostavili naravnim razmeram, je bilo vreme precej hladno, tudi padavine so bile pogoste. V drugi polovici meseca nas je zajel prvi vročinski val. Povprečna mesečna temperatura je tako povsod preseгла dolgoletno povprečje, večinoma je bila tudi pomembno višja od njega. Dolgoletnemu povprečju padavin so se približala le nekatera območja, na Kočevskem pa je padla manj kot četrtnina padavin dolgoletnega povprečja. Skoraj polovica države je imela tudi za petino več sončnega vremena kot običajno. Julija je bila povprečna mesečna temperatura v nižinskem

svetu najvišja od sredine minulega stoletja. Padavin je povsod primanjkovalo, v Iskrbi je bilo v juliju potrebno zalivati rastline na poskusnem polju. Avgust je bil neobičajno hladen, oblačen in deževen. Padavine so povsod presegle dolgoletno povprečje, bilo je tudi nekaj močnejših neviht s točo. September je bil opazno toplejši kot običajno, sončnega vremena je bilo opazno več v Ljubljanski kotlini. Na Kočevskem je bilo obilo padavin. Oktobrska temperatura je v večjem delu države preseгла dolgoletno povprečje za 2 do 3°C. Dežja je v primerjavi z dolgoletnim povprečjem močno primanjkovalo, sončnega vremena pa je bilo precej več kot običajno.

Za ozon smo poleg omenjenih podatkov izračunali še AOT40 dnevne vrednosti. Meja 40 ppb (pars per bilion by volume = delec na tisoč delcev na volumen) je bila predlagana na delavnici projekta ICP Crops (danes ICP Vegetation) v Veliki Britaniji leta 1992. Ugotovljena je bila povezava 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 normalno prisotna v troposferi.

Ločimo dve kritični meji ozona:

1. kritična meja za poljščine. To je 3000 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 na ozon (vegetacijsko obdobje). Za naše območje je to junij, julij in avgust;
2. kritična meja za vidne poškodbe. To je 700 ppb.h nad 40 ppb akumuliranega ozona med svetlimi urami dneva v obdobju treh zaporednih dni.

### 3.3.1 Obdelava podatkov

Podatke z opazovanj v Iskrbi smo obdelali z računalniškim programom MS Excel 2007. Rezultat prvih izračunov so bile povprečne vrednosti poškodovanosti listov občutljivih in odpornih klonov za vsako opazovanje in nato še izračuni AOT40. Te podatke smo nato prikazali v grafih in preglednicah ki sledijo. Za primerjavo smo uporabili meteorološke podatke iz opazovalnega mesta Ljubljana.

#### 3.3.1.1 Opazovanje poškodovanosti listov

Dobljene podatke o poškodovanosti občutljivih in odpornih klonov plazeče detelje smo za vsako opazovanje posebej analizirali z računalniškim programom MS Excel 2007. Poškodovanost listov smo preračunali v povprečno vrednost. Rezultate smo prikazali v obliki slik, ki smo jih narisali z omenjenim programom.

#### 3.3.1.2 Meritve ozona in vremenskih spremenljivk

Z Agencije RS za okolje smo dobili urne podatke za O<sub>3</sub>, temperaturo zraka in relativno zračno vlago. Z računalniškim programom MS Excel 2007 smo jih preračunali v dnevna povprečja.

Za ozon smo z istim računalniškim programom izračunali AOT40. AOT40 je akumulirana količina ozona, ki presega 40 ppb ozona. Gre za vsoto razlik med urno koncentracijo ozona, ter 40 ppb ozona za vsako uro, ko je koncentracija ozona presegla mejo 40 ppb, nakopičenega skozi svetli del dneva.

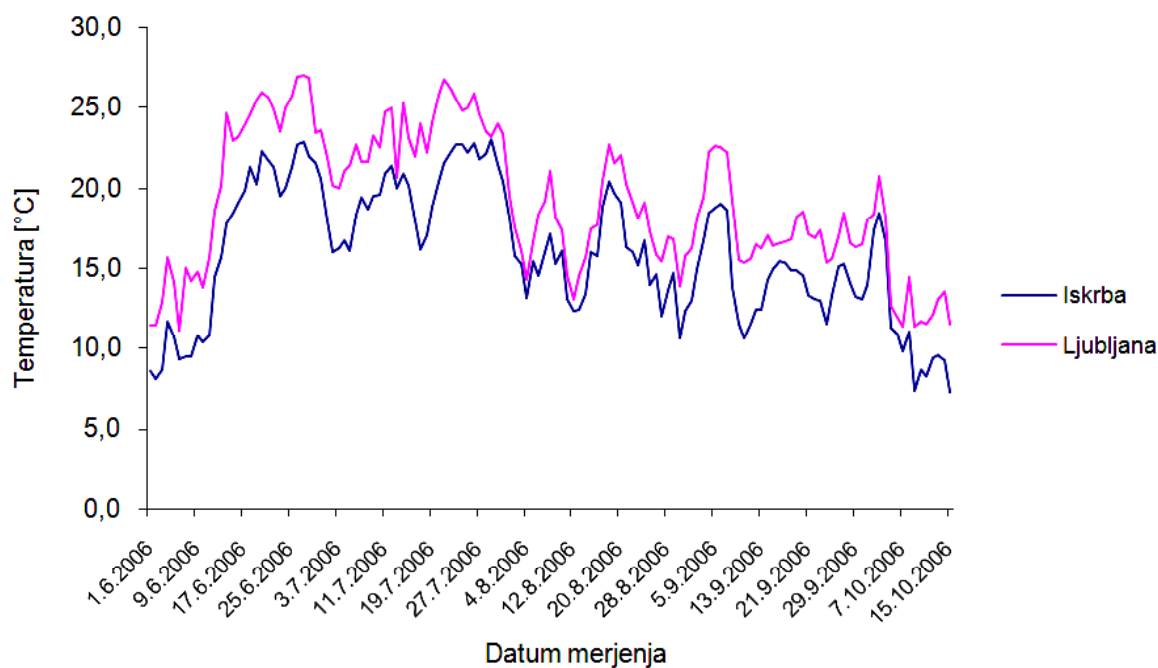
### 3.3.1.3 Meritve biomase

Dobljene podatke smo z računalniškim programom MS Excel 2007 preračunali v povprečne vrednosti za občutljive in odporne klone za vsako žetev posebej. Dobljene rezultate smo grafično predstavili z istim programom.

## 4 REZULTATI

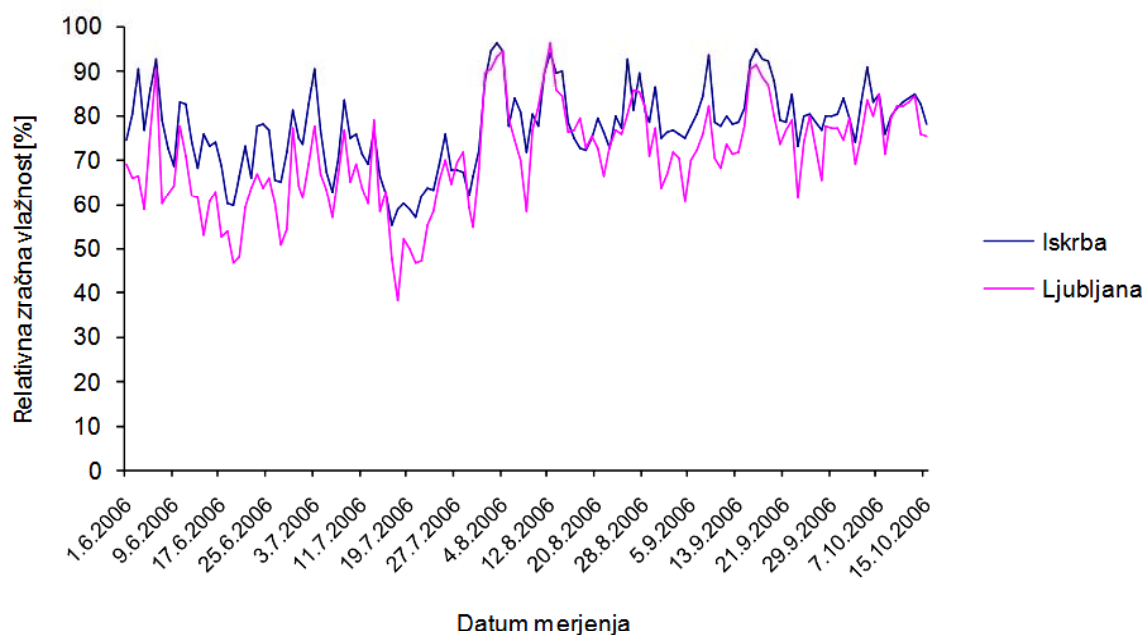
### 4.1 REZULTATI MERJENJA VREMENSKIH SPREMENLJIVK, KI VPLIVAJO NA NASTANEK OZONA

Iz slike 4 je razvidno, da so bile povprečne dnevne temperature zraka v Iskrbi nižje od povprečnih dnevni temperatur zraka v Ljubljani. Najvišje povprečne dnevne temperature so bile v Iskrbi zabeležene v prvi polovici avgusta, v Ljubljani pa v drugi polovici junija. Na sliki 4 pa so prikazani podatki povprečne dnevne relativne zračne vlažnosti, prav tako za merilno postajo Iskrba in merilno postajo Ljubljana. Iz prikazanih podatkov je razvidno, da je bila povprečna dnevna relativna zračna vlažnost najmanjša v času najvišjih povprečnih dnevni temperatur na obeh merilnih mestih. Razvidno je tudi, da je povprečna dnevna relativna zračna vlažnost na merilni postaji Iskrba nekoliko večja, kar lahko povežemo z dejstvom, da gre pri omenjeni merilni postaji za primer neurbanega okolja.



Slika 4: Povprečne dnevne temperature zraka (°C) v Iskrbi in Ljubljani v letu 2006 (Meteorološki..., 2007)





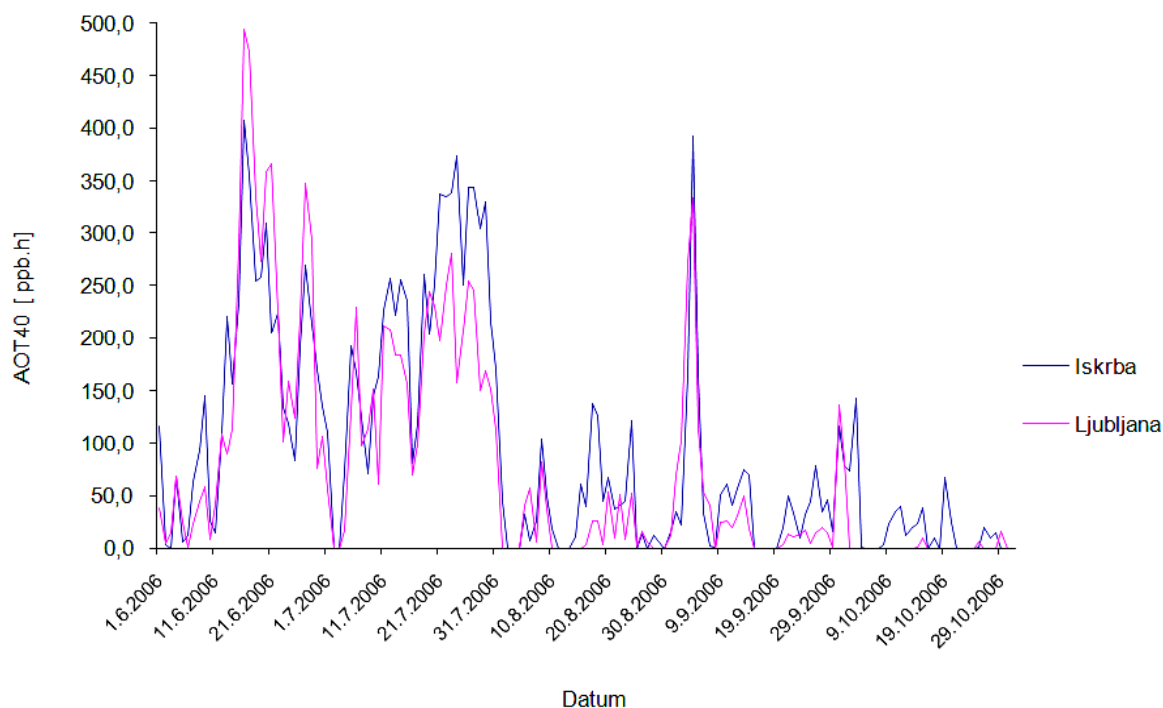
Slika 5: Povprečna dnevna relativna zračna vlažnost (%) v Iskrbi in Ljubljani v letu 2006 (Meteorološki..., 2007)

Preglednica 1: AOT40 vrednosti v obdobjih posameznih žetev v Iskrbi v letu 2006

Žetev	Datum	AOT40 [ ppb.h ]
1	14.6. – 9.7.	4603
2	10.7. – 13.8.	5906
3	14.8. – 10.9.	1707
4	11.9. – 8.10.	1020
Skupaj	14.6. – 8.10.	13237

Iz preglednice 1 lahko razberemo, da je bila vrednost AOT40 v Iskrbi največja med prvo in drugo žetvijo.

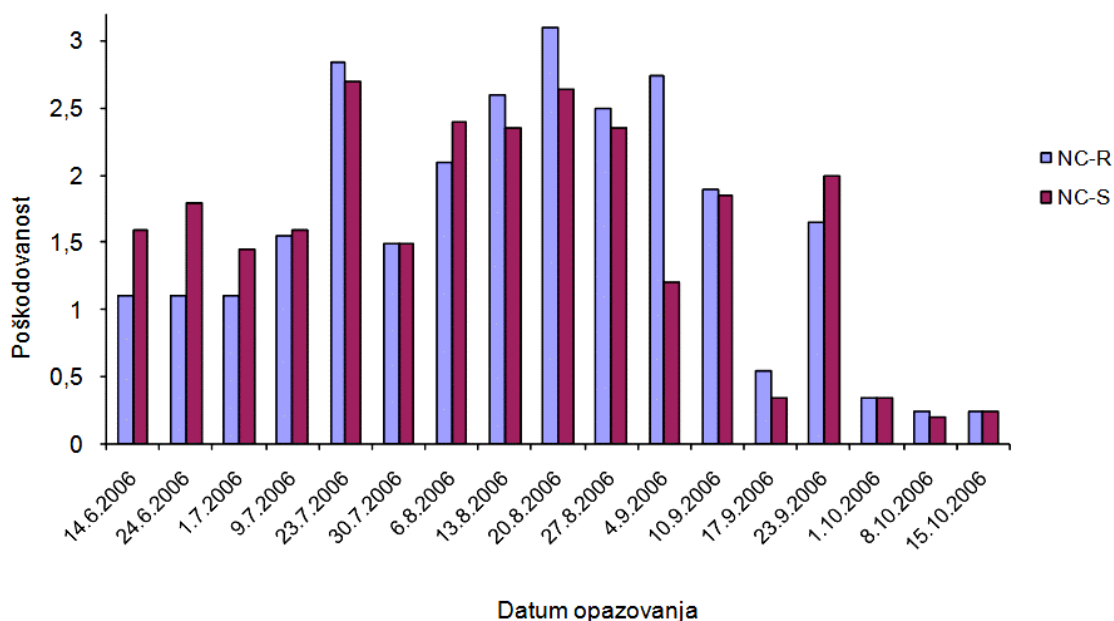
Na delovnem seminarju UNECE v Kuopiu leta 1996 je bilo sklenjeno, da se za kritično mejo AOT40 za poljščine, akumulirano v treh mesecih, postavi vrednost 3000 ppb.h. Ta vrednost je bila krepko presežena v Iskrbi. Za prva tri obdobja znašajo vrednosti akumuliranega AOT40 v Iskrbi 12216 ppb.h.



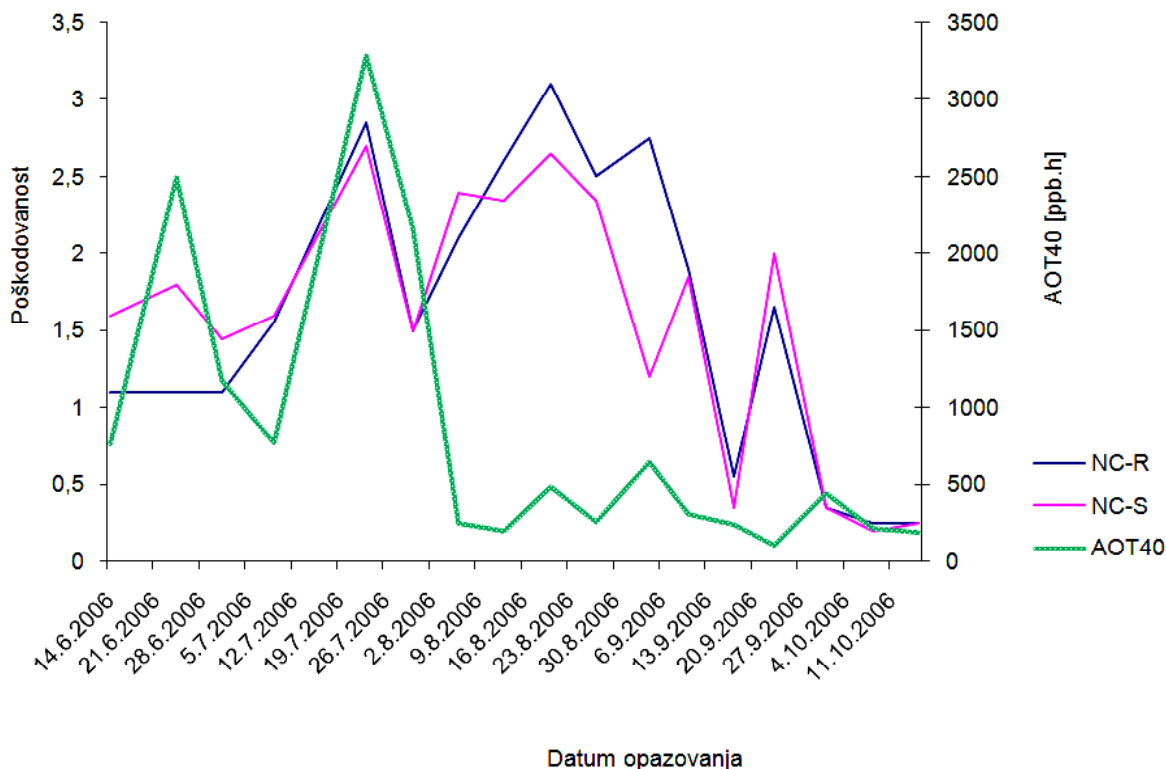
Slika 6: AOT40 vrednosti za merilno postajo Iskrba in merilno postajo Ljubljana v letu 2006 (Meteorološki...,2007)

#### 4.2 REZULTATI POŠKODOVANOSTI LISTOV

Prve poškodbe so se na klonih plazeče detelje v Iskrbi pojavile hitro po izpostavitvi v naravne razmere. Najbolj je naraščala poškodovanost občutljivih klonov, kar je razvidno iz povprečne poškodovanosti listov za posamezno opazovanje. Največji obseg poškodb je bil zabeležen v mesecu juliju in avgustu, ko so bile velike tudi vrednosti AOT40 in povprečna dnevna temperatura. Zaradi nepravilnega ocenjevanja poškodb lahko v rezultatih zasledimo, da je pri nekaterih opazovanjih povprečna poškodovanost listov odpornih klonov večja kot povprečna poškodovanost občutljivih klonov. Iz tega lahko sklepamo, da gre za napačno ocenjevanje poškodb oziroma so te poškodbe nastale zaradi drugih dejavnikov, najverjetneje zaradi žuželk, kar je obrazloženo v nadaljevanju.



Slika 7: Poškodovanost listov odpornih (NC-R) in občutljivih (NC-S) klonov plazeče detelje *Trifolium repens* 'Regal' ob posameznih opazovanjih v Iskrbi v letu 2006



Slika 8: Primerjava AOT40 vrednosti s poškodovanostjo odpornih (NC-R) in občutljivih (NC-S) klonov plazeče detelje *Trifolium repens* 'Regal' v Iskrbi v letu 2006

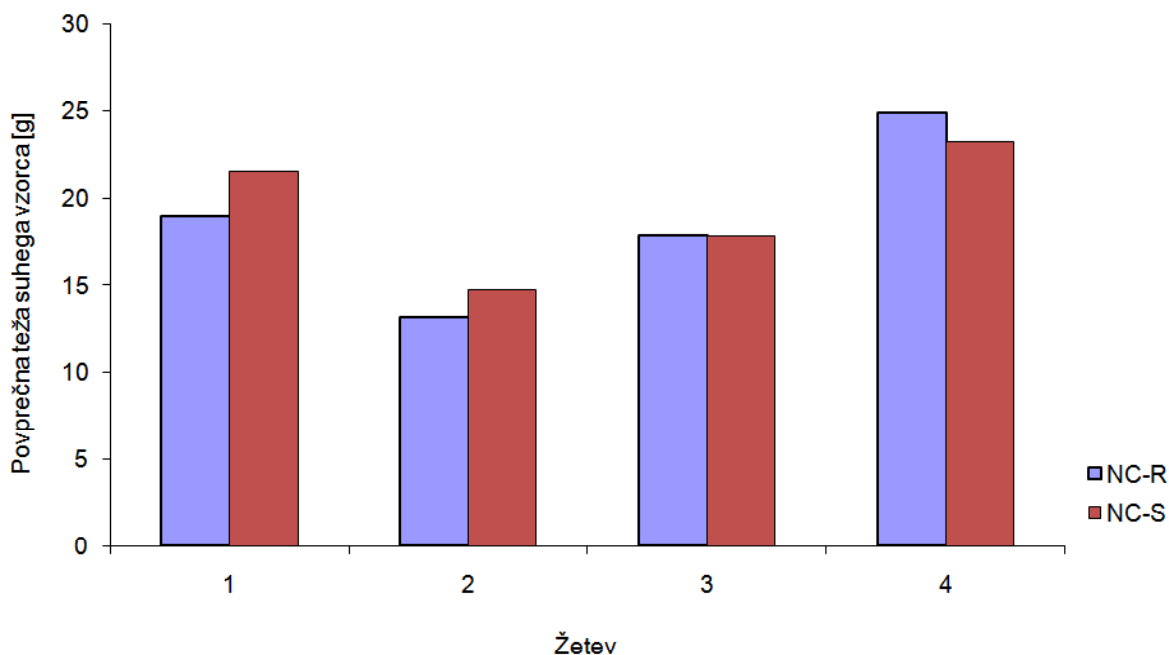
V začetku junija 2006, ko smo klone izpostavili naravnim razmeram, so bile koncentracije ozona že precej velike. Od 14.6. pa do prve žetve 9.7. je bila vsota akumuliranega AOT40 v Iskrbi 4603 ppb.h (preglednica 1). V tem obdobju smo že lahko opazili prve znake poškodovanosti, ki so bili kar precej izraziti, kar lahko povežemo z visoko vsoto akumuliranega AOT40. Julija so se vrednosti AOT40 močno povečale, s tem pa se je povečala tudi povprečna poškodovanost listov detelje. Konec avgusta je vrednost AOT40 v Iskrbi močno padla (slika 9), vendar smo še vedno zabeležili veliko poškodovanost listov, kar lahko upravičimo s tem, da gre za neurbano okolje, kamor ozon prihaja z daljinskim transportom. Koncentracije dušikovega monoksida so običajno majhne in zaradi tega tudi ni prisotnega glavnega porabnika ozona. To povzroča povečane koncentracije ozona in povečanje deleža vidnih poškodb na rastlinah. Možno pa je tudi, da so poškodbe tako obsežne zaradi napačnega ocenjevanja poškodb, ki so bile lahko posledica suše ali pa drugih dejavnikov, denimo sesajočih žuželk.

Največja vsota akumuliranega AOT40 je bila v Iskrbi zabeležena od sredine julija do sredine avgusta in sicer je znašala 5906 ppb.h (preglednica 1). Koncentracije ozona so bile najmanjše v mesecu septembru in v začetku oktobra, saj znaša vsota za Iskrbo 1020 ppb.h.

#### 4.3 REZULTATI MERJENJA BIOMASE

Žetev biomase je bila izvedena po navodilih protokola ICP Vegetation 2006. Na poskusnem polju smo imeli štirideset loncev, razdeljenih v štiri vrste po deset loncev. Po 14 dnevih od izpostavitve klonov naravnim razmeram, smo poželi prvi dve vrsti loncev ter biomaso zavrgli. Nato smo čez naslednjih 14 dni opravili žetev tretje in četrte vrste ter vzorce posušili in stehali. Nato smo čez 14 dni zopet poželi prvo in drugo vrsto, posušili vzorce in jih stehali. Tako smo nadaljevali ves čas našega poskusa. V Iskrbi so bile opravljene štiri žetve in sicer:

- 9.7., 13.8., 10.9., 8.10.,



Slika 9: Povprečna biomasa odpornih (NC-R) in občutljivih (NC-S) klonov plazeče detelje *Trifolium repens* 'Regal' pri posameznih žetvah v Iskrbi v letu 2006

Preglednica 2: Povprečne mase odpornih (NC-R) in občutljivih (NC-S) klonov plazeče detelje *Trifolium repens* 'Regal' in S/R razmerje po posameznih žetvah v Iskrbi v letu 2006

ŽETEV	ISKRBA		
	NC-R	NC-S	S/R
1	18,92	21,54	1,14
2	13,1	14,74	1,12
3	17,8	17,82	1
4	24,88	23,27	0,93
skupaj	74,7	77,37	1,0475

#### Legenda

NC-R – povprečna biomasa odpornih klonov (g)

NC-S – povprečna biomasa občutljivih klonov (g)

S/R – razmerje med biomaso občutljivih in biomaso odpornih klonov

V Iskrbi je bil največji prirast pri zadnji žetvi (slika 10). Lahko rečemo, da so se pokazale pričakovane razlike med biomaso občutljivih in odpornih klonov plazeče detelje. V preglednici 2 vidimo, da je povsod, razen pri četrti žetvi ob posameznih žetvah biomasa občutljivih klonov povsod večja od biomase odpornih klonov. Razmerja S/R nam pokažejo razlike v biomasi med odpornimi in občutljivimi kloni. V povprečju se je biomasa zmanjšala največ za 7 %.

## 5 RAZPRAVA IN SKLEPI

### 5.1 RAZPRAVA

Cilj diplomskega dela »Spremljanje učinkov troposferskega ozona s plazečo deteljo *Trifolium repens* 'Regal'« je bil s pomočjo odziva preizkušenega bioindikatorja spremljati letni potek koncentracij ozona v Iskrbi.

Zaradi razgibanega terena in naravnih danosti naše dežele Slovenije so za poskusna mesta izbrani kraji, ki naj bi kar najbolj lahko predstavljali razmere glede onesnaženosti ozračja s troposferskim ozonom. Merilna postaja Iskrba je bila izbrana kot primer ruralnega okolja. Ozon prihaja v območje večinoma z daljinskim transportom. Koncentracije dušikovega monoksida so običajno majhne in zaradi tega tudi ni prisotnega glavnega porabnika ozona. To povzroča povečane koncentracije ozona in povečanje deleža vidnih poškodb na rastlinah. Za primerjavo podatkov pa smo izbrali Ljubljano, ki predstavlja primer urbanega okolja, kjer je stalni dotok dušikovih oksidov in s tem relativno manjša tvorba ozona. Rezultati so v letu 2006 pokazali, da so koncentracije ozona dosegale zelo podobne vrednosti, tako v Iskrbi kot v Ljubljani. Kot prikazuje slika 5, so bile vrednosti AOT40 zelo podobne na obeh lokacijah in si enakomerno sledijo. Povprečne dnevne temperature so bile v Ljubljani višje, obratno pa je bilo z relativno vlago, ki presega vrednosti v Ljubljani. Zanimivo je, da so bile vrednosti akumuliranega AOT40 na obeh lokacijah zelo podobne. V prejšnjih letih, kot navajajo avtorji diplomskih del na vpliv različnih onesnažil na kmetijske rastline (Džuban, 2002), so bile vrednosti AOT40 vedno višje na poskusnem mestu Iskrba, kot na poskusnem mestu Ljubljana.

Pri vrednotenju poškodb v Iskrbi lahko zaznamo precej visoko stopnjo poškodovanosti. Najverjetnejši vzroki za to se lahko skrivajo v različnih dejavnikih. Eden teh je zagotovo suša, ki je v Iskrbi trajala od začetka junija pa tja do sredine julija. V sušnem obdobju so rastline zaprle listne reže in tako je bil vstop ozona v rastlino onemogočen. Poškodbe v tem primeru niso nastajale, možno pa je, da so bile poškodbe rastlin zaradi suše zamenjane s poškodbami ki jih povzroča ozon. Drugi dejavnik so lahko žuželke, ki povzročajo podobne poškodbe na listih rastlin in jih težko ločimo od poškodb ozona. Predvsem so te poškodbe lahko posledica napada pršic (*Acarine*) ali drugih sesajočih žuželk. Ker je v Ljubljani isto leto potekala enaka raziskava in je diplomsko delo iz tega področja v pripravi, smo izvedeli, da je bila stopnja poškodovanosti listov v Ljubljani precej manjša. To lahko povežemo z nižjo relativno zračno vlažnostjo. Možno je, da so rastline zato, da se ne bi izsušile zaprle listne reže in dodaten dotok ozona v rastlino je bil tako onemogočen. Zanimivo je tudi, da so precej velike vrednosti poškodovanosti listov navedene tudi pri odpornih klonih, predvsem na poskusnem mestu v Iskrbi.

Na nastanek troposferskega ozona imajo velik vpliv vremenske razmere. Prav zaradi tega je zelo težko določiti rastlino, ki se bo zelo dobro odzivala na povečane koncentracije troposferskega ozona. Detelja *Trifolium repens* 'Regal' je v začetku raziskovanja kazala zelo dobre rezultate. Vedeti pa moramo, da je lahko primerna za sledenje učinkov troposferskega ozona na nekem velikem, podnebno izenačenem območju, težave pa

nastopijo, ko isto rastlino izpostavimo drugačnim naravnim razmeram. Sledenje učinkov troposferskega ozona z deteljo *Trifolium repens* 'Regal' se je izkazalo za neučinkovito predvsem v sušnih obdobjih leta. Ker gre za mezofilno rastlino, rastlina v sušnem obdobju zapre listne reže, vstop ozona v rastlino je onemogočen in do vidnih poškodb tako ne pride. Iz tega lahko sklepamo, da detelja *Trifolium repens* 'Regal' ni najboljši indikator onesnaženosti zraka s troposferskim ozonom.

Poudariti moramo tudi, da je bilo ocenjevanje poškodb v poskusni sezoni zelo subjektivno in je najverjetneje tudi vzrok za tako različne rezultate na poskusnih mestih. Poškodbe zaradi troposferskega ozona so hitro zamenljive s poškodbami žuželk in drugih vremenskih dejavnikov. Zato je pri nadzorovanju poskusa potreben strokovni nadzor in pa izkušnost opazovalca. Vsi rezultati, ki smo jih dobili so torej lahko vprašljivi in iz njih ne moremo sklepati zaključkov. Za bolj reprezentativne podatke pa bi bilo potrebno poskus izvajati več let in pa pod strokovnim nadzorom. Ugotovili smo, da bi bilo za natančno statistično obdelavo potrebno precej več in tudi bolj natančnih podatkov. Iz podatkov ki so na razpolago, ni mogoče opraviti natančne statistične obdelave, s katero bi lahko dejansko sklepali povezave med parametri.

Ker se mnogo gospodarsko pomembnih rastlin prav tako občutljivo odziva na prekomerne koncentracije ozona, lahko to v primeru povečanega onesnaževanja z ozonom pomeni velike gospodarske izgube zaradi manjših pridelkov. V okviru ICP Vegetation programa se zbirajo podatki o vplivu ozona na številne kmetijske rastline. Med najbolj občutljive kmetijske rastline štejejo pšenica, krompir, sladkorna pesa, stročnice in grozdje. V posebnem poročilu Centra za ekologijo in hidrologijo iz Bangorja (Ozone..., 2006), so prikazani izračuni ekonomskih izgub zaradi zmanjšanja pridelka posameznih poljščin zaradi vplivov ozona. Za Slovenijo za leto 1990 ocenjujejo izgube v višini 11,2 milijona evrov. Do leta 2010 naj bi se stanje nekoliko izboljšalo in bi izgube bile okoli 9 milijonov evrov. Vendar pa so kljub temu zmanjšanju izgube še vedno ogromne, kar bi lahko bilo zadostno opozorilo, da je potrebno danes iskati rešitve za boljši jutri.

Na podlagi rezultatov lahko zaključimo, da so koncentracije ozona dovolj velike, da lahko škodljivo vplivajo na rast in razvoj rastlin. Zaradi podnebnih in zemljepisnih posebnosti, kjer se nahaja merilno mesto Iskrba in merilno mesto Ljubljana ne moremo zagotovo trditi, da je onesnaženost z ozonom v podeželskih območjih večja kot v mestih. Prav zaradi teh razlik se v Sloveniji že kar nekaj let izvaja večje število podobnih poskusov. Zelo pomembno je, da se ti poskusi ponavljajo več let, saj lahko na istih mestih prihaja do različnih odzivov na ozon. Namen pa je seveda pridobiti čim večje število podatkov, ki nam predstavljajo prerez dogajanja v ozračju skozi več let in kakšen je končni vpliv na rastline. K boljšim rezultatom bi zagotovo pripomogli še boljši meteorološki podatki, bolj natančna in strokovno podprta opazovanja rastlin ter ocenjevanje poškodb, in pa verjetno tudi izvajanje poskusa v enakih časovnih obdobjih ter ocene poškodovanosti enega opazovalca za vse lokacije. V mnogih podeželskih območjih prihaja do močnih obremenitev okolja zaradi daljinskega transporta onesnažil, dodatno pa je v zadnjih letih prišlo tudi do povečanja tranzitnega prometa in s tem do povečanja koncentracij dušikovih oksidov. Predvsem bi bile potrebne še redne meritve dušikovih oksidov (NO<sub>x</sub>). Glavna dva

iz skupine dušikovih oksidov, NO in NO<sub>2</sub>, sta glavni vzrok za nastanek ozona in z velikim povečevanjem prometa v zadnjih letih, so se močno povečale tudi koncentracije ozona. Zato bi v Sloveniji bila zelo potrebna mreža merilnih postaj, ki bi merila omenjeno vrsto onesnaženosti. Tako bi se lahko lažje spremljalo in opozarjalo na stanje onesnaženosti in potrebne zaščitne ukrepe. Pri tem pa je pomembno, da se v take projekte vključuje tudi javnost. Konec koncev smo ljudje tisti, ki vplivamo na količino onesnažil v zraku.

## 5.2 SKLEPI

1. Meritve ozona in AOT40 vrednosti nam kažejo, da je onesnaženost zrak z ozonom v Sloveniji zelo velika.
2. Kloni plazeče detelje *Trifolium repens* 'Regal', s katerimi smo spremljali učinke troposferskega ozona, se niso izkazali za dober indikator onesnaženosti zraka z ozonom.
3. Meritve biomase so pokazale, da se je biomasa zmanjšala za približno 7 %, kar bi lahko pomenilo precejšnje ekonomske izgube.
4. Zaradi mnogih dejavnikov, ki vplivajo na ocenjevanje in nastajanje poškodb, bi bilo potrebno izvesti večje število poskusov na različnih poskusnih mestih ter z različnimi kmetijskimi rastlinami.



## 6 POVZETEK

Velike koncentracije fotooksidantov, predvsem ozona, v prizemni plasti zraka vplivajo na znatno zmanjšanje rasti rastlin tako gozdnih kot kmetijskih, zato ne preseneča število raziskav opravljenih v zadnjih letih na tem področju. Te raziskave so bile v Sloveniji do sedaj opravljene predvsem na bioindikatorskih kmetijskih rastlinah in sicer na občutljivih sortah tobaka *Nicotina tabacum* 'Bel-W3', 'Bel-B', 'Bel-C' ter plazeči detelji *Trifolium repens* 'Menna', *T. repens* 'NC-R', 'NC-S' in le v manjši meri tudi na naravni vegetaciji.

Za izvedbo naloge je bila izbrana lokacija Iskrba pri Kočevski Reki kot primer ruralnega področja z malo prometa in kamor predvsem z daljinskim transportom dotekajo večje koncentracije ozona. Za primerjavo rezultatov pa je bila izbrana Ljubljana, kot primer mestnega okolja, s stalnim dotokom dušikovih oksidov in zato manjšo možnostjo nastanka ozona. Raziskava je potekala na podlagi protokola UNECE ICP Vegetation 2006 od začetka junija, pa vse do sredine oktobra. Sledenje učinkov troposferskega ozona smo izvedli s kloni plazeče detelje *Trifolium repens* 'Regal', ki so se že v prejšnjih poskusih izkazali kot zelo dober pokazatelj povečanja koncentracije ozona. Na poskusnem mestu v Iskrbi smo naravnim razmeram izpostavili 20 loncev odpornih in 20 loncev občutljivih klonov. Tedensko smo nato opazovali poškodbe na vsakem loncu ter jih vrednotili po vnaprej določeni skali poškodb. Vsakih 28 dni smo poželi biomaso rastlin, vzorce posušili in nato stehali. Po končanem poskusu smo z Agencije Republike Slovenije dobili podatke o meritvah vremenskih spremenljivk in koncentracijo ozona. Podatke smo dodatno obdelali s programom MS Excel 2007. Rezultati so pokazali precej veliko onesnaženost z ozonom tako v Iskrbi kot tudi v Ljubljani. Tudi vrednosti AOT40 so bile na obeh lokacijah zelo velike (preglednica 1). Vrednosti kritične meje za poljščine so bile na obeh lokacijah močno presežene, ne samo v obdobju treh mesecev, temveč pogosto že po enem mesecu.

Kmalu po izpostavitvi rastlin naravnim razmeram smo lahko opazili že prve znake poškodovanosti. Izkazalo se je, da so bili v veliki meri poškodovani tudi odporni kloni. Pokazalo se je tudi, da poškodbe, ki jih povzročajo povečane koncentracije ozona vplivajo na zmanjšanje biomase. Dejanski vpliv velikih koncentracij ozona na zmanjšanje biomase nam pokaže S/R razmerje, pri katerem pa ne moremo z gotovostjo trditi, pri katerem klonu je dejansko zmanjšanje biomase bolj izrazito. Zmanjšanje biomase občutljivih klonov lahko opazimo le pri četrti žetvi, ko je bila biomasa občutljivih klonov zmanjšana za 7 %.

## 7 VIRI

- Batič F. 1997. Bioindikacija in stresna fiziologija – princip pri ekosistemskih raziskavah gozdnih ekosistemov. V: Znanje za gozd. Zbornik ob 50. obletnici Gozdarskega Inštituta Slovenije. 1997. Ljubljana, GIS: 93-102
- Batič F., Macarol B. 1994. Delovanje onesnaženega zraka na rastline na območju ljubljanskih občin. Ljubljana, BF, Oddelek za agronomijo: 9 str.
- Batič F., Celar F., Ciglar R., Milevoj L., Vičar M. 1999. Bioindikacija prizemnega ozona. Ljubljana, Zavod republike Slovenije za šolstvo: 168 str.
- Benton J., Fuhrer J., Gimeno B. S., Skarby L., Balls G., Palmer-Brown D., Roadknight C., Sanders G. 1995. ICP-Crops and critical levels of ozone for injury development. V: International workshop: Exceedances of critical loads and levels. Vienna, November 22-24, 1995: 1-5
- Blumthaler M., Ambach W. 1990. Indication of increasing solar ultraviolet-B radiation flux in alpine regions. *Science*, 248: 206–208
- Conklin P.L., Williams E.H., Last R.L. 1996. Environmental stress sensitivity of an ascorbic acid deficient *Arabidopsis* mutant. *Proceedings of the National Academy of Science U.S.A.*, 93: 9970–9974
- 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.
- Frederick J.E. 1993. UV sunlight reaching the Earth's surface: a review of recent research. *Photochemistry Photobiology*, 57: 175-178
- 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
- Heggstad H.E., Bennett J.H. 1984. Impact of atmospheric pollution on agriculture. V: Air pollution and plant life. Treshow M. (ed.). New York, John & Sons: 357-397
- Krupa S.V., Manning W.J. 1988. Atmospheric ozone: Formation and effects on vegetation. *Environmental Pollution*, 50: 101-137
- Larcher W. 1994. *Ökophysiologie der Pflanzen*. Auflage. Stuttgart, Ulmer Verlag: 394 str.
- 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, November 22-24, 1995: 192 – 205

"Meteorološki podatki". 2007. Ljubljana, ARSO  
(izpis iz baze podatkov)

Ministrstvo za okolje in prostor. December 2006. Operativni program zmanjševanja emisij toplogrednih plinov do leta 2012.

[http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/okolje/varstvo\\_okolja/operativni\\_programi/op\\_toplogredni\\_plini2012.pdf](http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/okolje/varstvo_okolja/operativni_programi/op_toplogredni_plini2012.pdf)

O&P Bilten, januar 2000, MOP.

[http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/publikacije/bilteni/b2\\_21.pdf](http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/publikacije/bilteni/b2_21.pdf)

Onesnaženost zraka v letu 2000. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, 2002.

[http://www.rzs-hm.si/pripravili\\_smo/porocila/zrak\\_letna.html](http://www.rzs-hm.si/pripravili_smo/porocila/zrak_letna.html) (10. jun. 2002)

Onesnaženost zraka v letu 2006. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, 2007.

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

Ozone sub-programme, experimental protocol for monitoring the incidences of ozone injury on vegetation 2006, Bangor, UK, WGE, Working Group on Effects, ICP Vegetation: 21 str.

Planinšek A. 1997. Onesnaženost zraka v Sloveniji v letu 1996. Ljubljana. Ministrstvo za okolje in prostor, Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije: 148 str.

Poročilo o kakovosti zraka 2006. Agencija RS za okolje.

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

Posthumus A.C. 1984. Monitoring levels and effects of air pollutants. Air pollution and plant life. Treshow M. (ed.). New York, John Wiley & Sons: 73-97

Programme UNECE. 2007.

<http://icpvegetation.ceh.ac.uk> (maj 2007)

Reich P.B., Admundson R.G. 1985. Ambient levels of ozone reduce net photosynthesis in tree and crop species. Science, 230: 566–570

Slovenski kemijski portal 2007.

<http://www.kemija.org/index.php?option=content&task=view&id=25>

Taylor C.O. 1984. Organismal responses of higher plants to atmospheric pollutants: Photochemical and other. V: Air pollution and plant life. Treshow M. (ed.). New York, John Wiley & Sons: 215-239

Tremonia M., Ista J.R., Alaerts G. 1978. Pollution de l'air par l'ozone: formation, detection et effets sur les plantes. Revue de l'Agriculture, 31, 3: 455-464

Treshow M. 1970. Environment and plant response. New York, McGraw-Hill: 422 str.

Turk B., Bienelli A., Džuban T., Turza J., Mikuš T., Krivic M., Kopusar N., Batič F. 1999. Ozone injury in white clover experiment carried out in Slovenia. V: Critical levels for ozone – Level II. Fuhrer J., Achermann B. (eds.). Environmental Documentation, 115: 249-251

UNEP, 2002. Executive Summary. Final of UNEP/WMO Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002. Prepared by the Scientific Assessment Panel of the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. UNEP, Nairobi (released 23 August 2002).

Weatherhead E.C., Reinsel G.C., Tiao G.C., Jackman C.H., Bishop L. Hollandsworth S.M., DeLuisi F.J., Keller T., Ottmans S.J., Fleming E.L., Wuebbles D.J., Kerr J.B., Miller A.J., Herman J., McPeters R., Nagatani R.M., Frederick J.E. 2000. Detecting the recovery of total column ozone. J. Geophys. Res., 105: 22.

Zakon o varstvu okolja. Ur. l. RS št. 32 – 1351/93

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mojim domačim, ker so mi omogočili študij in me pri tem nenehno podpirali.

Vsem, ki so mi pri izvedbi diplomske naloge kakorkoli pomagali, se najlepše zahvaljujem.

Za koristne nasvete, usmerjanje pri izdelavi naloge in ostalo pomoč se iskreno zahvaljujem mentorju prof. dr. Francu Batiču.

Hvala Klemnu Elerju za nesebično pomoč pri statistični obdelavi podatkov.

Hvala Gabrijelu Leskovcu za vso pomoč na terenu in pri laboratorijskem delu.

Hvala Agenciji Republike Slovenije za okolje za posredovanje podatkov o meritvah onesnažil in mikroklimatskih dejavnikov.

Igor, hvala za spodbude ter potrpljenje.

## PRILOGA A

### Meritve vremenskih spremenljivk, ozona in AOT40 vrednosti za Iskrbo v letu 2006

Meritve vremenskih spremenljivk, ozona in AOT40 vrednosti za Iskrbo v letu 2006 (T – povprečna dnevna temperatura zraka v °C; RZV – povprečna relativna zračna vlažnost zraka v %; AOT40 – vsota urnih koncentracij ozona nad 40 ppb v svetlem delu dneva v ppb.h).

Datum	Povprečna dnevna temperatura [°C]	Povprečna dnevna vlaga [%]	AOT40 [ppb.h]
1.6.2006	8,625	74,417	117,0
2.6.2006	8,100	80,375	3,8
3.6.2006	8,671	90,583	0,0
4.6.2006	11,700	76,667	67,8
5.6.2006	10,696	85,625	6,7
6.6.2006	9,342	92,583	11,7
7.6.2006	9,458	79,167	63,4
8.6.2006	9,525	72,708	93,6
9.6.2006	10,792	68,542	145,5
10.6.2006	10,408	82,917	26,0
11.6.2006	10,833	82,500	14,2
12.6.2006	14,496	73,875	110,1
13.6.2006	15,717	68,250	220,8
14.6.2006	17,838	76,042	156,8
15.6.2006	18,525	73,167	234,9
16.6.2006	19,171	74,167	407,2
17.6.2006	19,867	68,625	355,2
18.6.2006	21,367	60,208	254,0
19.6.2006	20,296	59,958	258,3
20.6.2006	22,379	66,375	309,3
21.6.2006	21,771	73,083	205,2
22.6.2006	21,329	65,833	224,1
23.6.2006	19,558	77,708	134,3
24.6.2006	20,079	78,042	118,8
25.6.2006	21,321	76,667	83,5
26.6.2006	22,758	65,708	192,1
27.6.2006	22,883	65,125	269,4
28.6.2006	22,013	71,625	213,6
29.6.2006	21,596	81,250	170,2
30.6.2006	20,638	74,875	135,4
1.7.2006	18,000	73,458	109,9
2.7.2006	16,029	82,625	0,0
3.7.2006	16,254	90,375	0,0
4.7.2006	16,775	76,500	72,6
5.7.2006	16,150	67,417	191,9
6.7.2006	18,400	62,958	167,1
7.7.2006	19,438	70,542	124,2
8.7.2006	18,704	83,417	70,6
9.7.2006	19,546	74,833	144,9
10.7.2006	19,604	75,833	164,2

se nadaljuje

nadaljevanje

Datum	Povprečna dnevna temperatura [°C]	Povprečna dnevna vlaga [%]	AOT40 [ppb.h]
11.7.2006	20,950	71,250	226,6
12.7.2006	21,446	69,292	257,6
13.7.2006	20,079	76,542	222,2
14.7.2006	20,979	66,542	255,6
15.7.2006	20,188	62,542	236,4
16.7.2006	18,017	55,333	80,0
17.7.2006	16,183	58,875	118,8
18.7.2006	17,092	60,375	261,1
19.7.2006	18,875	59,000	203,3
20.7.2006	20,425	57,250	251,6
21.7.2006	21,642	61,958	337,5
22.7.2006	22,283	63,583	334,9
23.7.2006	22,754	63,250	338,6
24.7.2006	22,733	69,125	374,3
25.7.2006	22,275	75,958	251,2
26.7.2006	22,800	67,917	343,3
27.7.2006	21,842	67,833	344,3
28.7.2006	22,188	67,333	304,2
29.7.2006	23,075	61,917	330,5
30.7.2006	21,529	66,542	216,5
31.7.2006	20,467	72,167	170,0
1.8.2006	18,125	87,750	44,5
2.8.2006	15,796	94,458	0,0
3.8.2006	15,304	96,417	0,0
4.8.2006	13,196	94,458	0,0
5.8.2006	15,433	77,542	32,4
6.8.2006	14,583	83,917	7,8
7.8.2006	16,063	80,792	25,6
8.8.2006	17,221	71,958	104,7
9.8.2006	15,338	80,083	49,9
10.8.2006	16,154	77,500	18,6
11.8.2006	13,129	89,542	0,0
12.8.2006	12,329	93,917	0,0
13.8.2006	12,446	89,500	0,0
14.8.2006	13,383	90,292	11,6
15.8.2006	16,021	78,333	60,5
16.8.2006	15,821	75,125	39,4
17.8.2006	18,888	72,708	137,7
18.8.2006	20,479	72,208	127,1
19.8.2006	19,746	74,792	45,0
20.8.2006	19,142	79,333	66,5
21.8.2006	16,346	76,250	36,7
22.8.2006	15,996	72,792	40,5
23.8.2006	15,258	79,833	44,8
24.8.2006	16,792	77,333	121,8
25.8.2006	13,992	92,833	0,3
26.8.2006	14,667	81,167	13,5
27.8.2006	12,050	89,542	0,0
28.8.2006	13,671	80,542	12,1

se nadaljuje

nadaljevanje

Datum	Povprečna dnevna temperatura [°C]	Povprečna dnevna vlaga [%]	AOT40 [ppb.h]
29.8.2006	14,767	78,292	6,6
30.8.2006	10,621	86,500	0,3
31.8.2006	12,346	75,000	15,7
1.9.2006	12,971	76,125	35,3
2.9.2006	14,971	76,917	22,6
3.9.2006	16,804	76,000	165,9
4.9.2006	18,521	74,750	393,0
5.9.2006	18,825	77,625	164,3
6.9.2006	19,038	80,167	33,2
7.9.2006	18,696	84,333	1,9
8.9.2006	13,838	93,500	0,6
9.9.2006	11,546	78,458	50,4
10.9.2006	10,671	77,417	60,7
11.9.2006	11,533	79,792	41,0
12.9.2006	12,442	77,958	57,3
13.9.2006	12,400	78,375	74,6
14.9.2006	14,342	81,708	69,8
15.9.2006	14,954	92,333	0,0
16.9.2006	15,471	95,083	0,0
17.9.2006	15,346	92,667	0,0
18.9.2006	14,908	92,167	0,0
19.9.2006	14,883	88,042	0,0
20.9.2006	14,604	78,875	19,5
21.9.2006	13,346	78,708	49,1
22.9.2006	13,083	84,750	33,2
23.9.2006	13,038	73,208	10,3
24.9.2006	11,521	79,792	31,8
25.9.2006	13,317	80,250	44,4
26.9.2006	15,104	78,667	77,6
27.9.2006	15,296	76,667	34,0
28.9.2006	14,033	80,042	45,9
29.9.2006	13,233	80,000	16,4
30.9.2006	13,071	80,500	116,6
1.10.2006	13,996	83,750	77,7
2.10.2006	17,408	79,292	73,1
3.10.2006	18,458	73,833	143,2
4.10.2006	16,667	83,000	1,6
5.10.2006	11,279	91,208	0,0
6.10.2006	10,850	82,833	0,0
7.10.2006	9,821	84,583	0,0
8.10.2006	11,008	76,000	3,4
9.10.2006	7,321	80,000	24,0
10.10.2006	8,642	81,542	34,5
11.10.2006	8,283	82,958	40,2
12.10.2006	9,417	83,833	12,0
13.10.2006	9,575	84,958	19,6
14.10.2006	9,267	82,417	24,0
15.10.2006	7,279	78,208	37,8



## PRILOGA B

### Meritve vremenskih spremenljivk, ozona in AOT40 vrednosti za Ljubljano v letu 2006

Meritve vremenskih spremenljivk, ozona in AOT40 vrednosti za Iskrbo v letu 2006 (T – povprečna dnevna temperatura zraka v °C; RZV – povprečna relativna zračna vlažnost zraka v %; AOT40 – vsota urnih koncentracij ozona nad 40 ppb v svetlem delu dneva v ppb.h).

Datum	Povprečna dnevna temperatura [°C]	Povprečna dnevna vlaga [%]	AOT40 [ppb.h]
1.6.2006	11,46	68,92	38,73
2.6.2006	11,49	66,17	4,28
3.6.2006	12,97	66,58	14,68
4.6.2006	15,73	58,63	68,55
5.6.2006	14,15	75,63	24,70
6.6.2006	11,16	90,50	0,65
7.6.2006	15,04	60,00	24,08
8.6.2006	14,25	62,63	44,33
9.6.2006	14,87	64,04	58,65
10.6.2006	13,88	77,75	9,05
11.6.2006	15,76	70,79	41,55
12.6.2006	18,65	61,83	108,78
13.6.2006	20,22	61,39	89,55
15.6.2006	23,01	60,75	286,58
16.6.2006	23,25	62,83	493,70
17.6.2006	23,98	52,50	472,95
18.6.2006	24,58	53,79	334,93
19.6.2006	25,51	46,75	273,18
20.6.2006	25,95	48,33	359,43
21.6.2006	25,67	59,21	366,90
22.6.2006	24,93	63,92	223,68
23.6.2006	23,57	66,88	101,75
24.6.2006	24,98	63,79	158,53
25.6.2006	25,76	66,08	123,80
26.6.2006	27,00	60,33	221,35
27.6.2006	27,04	50,71	348,10
28.6.2006	26,89	54,25	293,35
29.6.2006	23,43	77,38	76,18
30.6.2006	23,63	64,25	106,95
1.7.2006	21,92	61,46	55,63
2.7.2006	20,19	68,96	0,00
3.7.2006	20,06	77,50	0,00
4.7.2006	21,12	66,67	17,03
5.7.2006	21,40	63,50	131,58
6.7.2006	22,74	57,00	229,05
7.7.2006	21,67	66,88	98,00
8.7.2006	21,70	76,50	114,63
9.7.2006	23,32	65,21	151,35

se nadaljuje

nadaljevanje

Datum	Povprečna dnevna temperatura [°C]	Povprečna dnevna vlaga [%]	AOT40 [ppb.h]
10.7.2006	22,55	69,13	60,48
11.7.2006	24,73	63,83	212,83
12.7.2006	25,03	60,33	208,73
13.7.2006	20,71	79,09	184,08
14.7.2006	25,32	58,47	183,90
15.7.2006	23,10	62,83	156,33
16.7.2006	21,99	47,77	69,53
17.7.2006	24,02	38,20	99,68
18.7.2006	22,26	52,29	205,08
19.7.2006	24,09	49,83	244,48
20.7.2006	25,81	46,88	231,13
21.7.2006	26,83	47,13	197,70
22.7.2006	26,21	55,17	250,80
23.7.2006	25,58	58,57	280,60
24.7.2006	24,83	65,69	157,60
25.7.2006	24,98	69,88	207,63
26.7.2006	25,86	64,71	254,30
27.7.2006	24,61	69,42	245,30
28.7.2006	23,55	71,91	150,75
29.7.2006	23,20	59,33	168,18
30.7.2006	24,01	54,91	151,25
31.7.2006	23,40	68,25	113,10
1.8.2006	19,56	89,54	0,00
2.8.2006	17,57	90,50	0,00
3.8.2006	16,11	93,29	0,00
4.8.2006	14,33	94,58	0,00
5.8.2006	16,69	79,21	40,63
6.8.2006	18,45	74,42	56,80
7.8.2006	19,25	70,17	6,53
8.8.2006	21,09	58,50	82,13
9.8.2006	18,21	76,50	36,58
10.8.2006	17,43	81,96	0,00
11.8.2006	14,60	89,71	0,00
12.8.2006	13,08	96,42	0,00
13.8.2006	14,56	85,83	0,00
14.8.2006	15,73	84,33	0,00
15.8.2006	17,50	76,21	0,00
16.8.2006	17,75	76,79	3,85
17.8.2006	20,50	79,58	26,45
18.8.2006	22,69	72,58	25,43
19.8.2006	21,56	75,38	4,00
20.8.2006	22,07	72,79	53,85
21.8.2006	20,25	66,42	9,20
22.8.2006	19,12	73,13	50,50
23.8.2006	18,13	76,50	8,05
24.8.2006	19,14	75,63	52,35
25.8.2006	17,37	80,46	2,30
26.8.2006	15,92	85,54	15,58
27.8.2006	15,50	85,33	6,03

se nadaljuje

nadaljevanje

Datum	Povprečna dnevna temperatura [°C]	Povprečna dnevna vlaga [%]	AOT40 [ppb.h]
28.8.2006	17,00	81,53	0,00
29.8.2006	16,88	70,88	0,00
30.8.2006	13,89	77,00	0,00
31.8.2006	15,78	63,58	12,05
1.9.2006	16,31	66,83	69,23
2.9.2006	18,15	71,75	103,35
3.9.2006	19,48	70,58	272,40
4.9.2006	22,21	60,83	333,58
5.9.2006	22,65	70,00	113,63
6.9.2006	22,53	72,08	53,13
7.9.2006	22,22	75,71	40,63
8.9.2006	19,20	82,17	0,00
9.9.2006	15,59	70,29	24,25
10.9.2006	15,40	68,42	25,60
11.9.2006	15,61	73,50	19,95
12.9.2006	16,54	71,33	30,50
13.9.2006	16,33	71,75	49,50
14.9.2006	17,14	77,79	18,13
15.9.2006	16,44	90,71	0,00
16.9.2006	16,64	91,38	0,00
17.9.2006	16,71	88,83	0,00
18.9.2006	16,89	87,00	0,00
19.9.2006	18,28	80,00	0,00
20.9.2006	18,55	73,75	3,98
21.9.2006	17,17	76,63	14,03
22.9.2006	16,94	79,13	11,33
23.9.2006	17,43	61,42	13,65
24.9.2006	15,38	74,08	16,88
25.9.2006	15,65	80,00	5,23
26.9.2006	17,05	72,63	15,33
27.9.2006	18,45	65,75	19,33
28.9.2006	16,65	77,63	15,18
29.9.2006	16,38	77,21	1,15
30.9.2006	16,53	77,00	136,73
1.10.2006	18,06	74,46	83,25
2.10.2006	18,38	79,20	0,00
3.10.2006	20,75	69,29	0,38
4.10.2006	18,14	75,17	0,00
5.10.2006	12,69	83,38	0,00
6.10.2006	11,98	79,75	0,00
7.10.2006	11,43	84,88	0,00
8.10.2006	14,54	71,33	0,00
9.10.2006	11,44	79,21	0,00
10.10.2006	11,74	82,13	0,00
11.10.2006	11,60	82,21	0,00
12.10.2006	12,15	82,75	0,00
13.10.2006	13,13	84,50	0,00
14.10.2006	13,58	75,67	1,03
15.10.2006	11,53	75,38	10,05

## PRILOGA C

### Povprečne vrednosti poškodovanosti in povprečne biomase na poskusnem mestu Iskrba

Povprečne vrednosti poškodovanosti in povprečne biomase odpornih (NC-R) in občutljivih (NC-S) kolonv plazeče detelje *Trifolium repens* 'Regal' ob posameznih opazovanjih v Iskrbi v letu 2006.

Opazovanje	Datum	Žetve	Povprečna poškodovanost		Biomasa [g]	
			NC-R	NC-S	NC-R	NC-S
1	14.6.2006		1,1	1,6		
2	24.6.2006		1,1	1,8		
3	1.7.2006		1,1	1,45		
4	9.7.2006	1	1,55	1,6	18,92	21,54
5	23.7.2006		2,85	2,7		
6	30.7.2006		1,5	1,5		
7	6.8.2006		2,1	2,4		
8	13.8.2006	2	2,6	2,35	13,1	14,74
9	20.8.2006		3,1	2,65		
10	27.8.2006		2,5	2,35		
11	4.9.2006		2,75	1,2		
12	10.9.2006	3	1,9	1,85	17,8	17,82
13	17.9.2006		0,55	0,35		
14	23.9.2006		1,65	2		
15	1.10.2006		0,35	0,35		
16	8.10.2006	4	0,25	0,2	24,88	23,27
17	15.10.2006		0,25	0,25		

## PRILOGA D

### Statistično obdelani podatki za maso suhega vzorca na posamezen lonec na poskusnem mestu Iskrba

Biomasa in njeni standardni odkloni za poskusno mesto Iskrba v letu 2006

