

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Mateja MAGAJNA

**BIOINDIKACIJA TROPOSFERSKEGA OZONA S  
PLAZEČO DETELJO (*Trifolium repens* L.) SORTE  
'Regal' KLONOV NC-S IN NC-R V LJUBLJANI V  
LETU 2006**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2008

UNIVERZA V LJUBLJANI  
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA  
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Mateja MAGAJNA

**BIOINDIKACIJA TROPOSFERSKEGA OZONA S PLAŽEČO  
DETELJO (*Trifolium repens* L.) SORTE 'Regal' KLONOV NC-S IN  
NC-R V LJUBLJANI V LETU 2006**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

**BIOINDICATION OF TROPOSPHERIC OZONE BY WHITE  
CLOVER CULTIVAR 'Regal' (*Trifolium repens* L.), CLONES NC-S  
AND NC-R IN LJUBLJANA IN YEAR 2006**

GRADUATION THESIS

University studies

Ljubljana, 2008

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija agronomije. Opravljeno je bilo na Katedri za aplikativno botaniko, ekologijo in fiziologijo rastlin Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Poizkus je bil izveden na laboratorijskem polju Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete v Ljubljani. Meritve onesnažil zraka in vremenskih parametrov nam je posredovala Agencija Republike Slovenije za okolje.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Franca Batiča.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Ivan KREFT  
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

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

Član: prof. dr. Franci CELAR  
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, 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.

Mateja Magajna

## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Dn  
DK UDK 633.32:502.3:551.510.534(043.2)  
KG bioindikacija/troposferski ozon/plazeča detelja/*Trifolium repens*/fotooksidanti/  
onesnaževanje zraka  
KK AGRIS T01  
AV MAGAJNA, Mateja  
SA BATIČ, Franc (mentor)  
KZ SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101  
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo  
LI 2008  
IN BIOINDIKACIJA TROPOSFERSKEGA OZONA S PLAZEČO DETELJO  
(*Trifolium repens* L.) SORTE 'Regal' KLONOV NC-S IN NC-R V LJUBLJANI V  
LETU 2006  
TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)  
OP X, 30, [8] str., 1 pregl., 9 sl., 3 pril., 24 vir.  
IJ sl  
JI sl/en  
AI Onesnaženost ozračja s fotooksidanti, predvsem s troposferskim ozonom, predstavlja vse večji problem povsod po svetu. Že od leta 1995 je Slovenija vključena v mednarodni program ICP Vegetation, ki se ukvarja z vplivom fotooksidantov na kmetijske rastline in naravno vegetacijo. Naš poskus, ki je trajal od sredine maja pa do konca septembra v letu 2006, je del tega programa. Zaradi dobrih indikatorskih lastnosti je bila za spremljanje vplivov prizemnega ozona izbrana plazeča detelja (*Trifolium repens* 'Regal'). Mesto izpostavitve rastlin naravnim razmeram je bilo na poskusnem polju Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete v Ljubljani. Izvedba poskusa, ki zajema gojenje rastlin, vzdrževanje rastlin, opazovanje ozonskih poškodb na listih detelje ter vzorčenje biomase, je potekala po predpisanem protokolu ICP Vegetation. Preko ARSO smo dobili podatke o meritvah meteoroloških parametrov in polutantov zraka. Podatke ter rezultate poskusa smo obdelali in prikazali v obliki grafov. V istem letu je v Iskrbi pri Kočevski Reki potekal še en podoben poskus s plazečo deteljo. Tamkajšnje rezultate in ugotovitve smo primerjali z našimi. Koncentracije prizemnega ozona so bile v času trajanja poskusa na obeh lokacijah precej velike, zaradi česar je prišlo na listih detelje do vidnih poškodb v obliki belih peg. Poškodovanost listov je bila večja v Iskrbi. Poškodbe na poskusnih rastlinah nas opozarjajo, da troposferski ozon lahko vedno bolj ogroža tudi naravno vegetacijo in zmanjšuje pridelek ter kviri videz kmetijskih rastlin.

### KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn  
 DC UDC 633.32:502.3:551.510.534(043.2)  
 CX bioindication/tropospheric ozone/white clover/*Trifolium repens*/fotoksidants/air pollution  
 CC AGRIS T01  
 AU MAGAJNA, Mateja  
 AA BATIČ, Franc (supervisor)  
 PP SI – 1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101  
 PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy  
 PY 2008  
 TI BIOINDICATION OF TROPOSPHERIC OZONE BY WHITE CLOVER CULTIVAR 'Regal' (*Trifolium repens* L.), CLONES NC-S AND NC-R IN LJUBLJANA IN YEAR 2006  
 DT Graduation Thesis (University studies)  
 NO X, 30, [8] p., 1 tab., 9 fig., 3 ann., 24 ref.  
 LA sl  
 AL sl/en  
 AB Air pollution, caused by photooxidants, especially by tropospheric ozone, is proved to be one of the major problems in the world. Since 1995, Slovenia has been involved into international programme called ICP Vegetation, which examines the influence of photooxidants on crop plants and natural vegetation. The experiment, which lasted from the middle of May till the end of September in 2006, was a part of this programme. White clover (*Trifolium repens* 'Regal'), due to its good indicatory properties, was chosen to study the influence of the tropospheric ozone on crop plants. The experiment of exposing plants to natural conditions took place in the experimental field of the Agronomy Department Biotechnical Faculty, Ljubljana. The experiment, including growing of plants, the observations of ozone damages on clover plants and sampling of biomass, was carried out according to the protocol of ICP Vegetation. The measurements of meteorological parameters and air pollutants was provided by ARSO. Both, the data on meteorological parameters and air pollutants and the results of the experiments were carefully studied and shown as graphs. A similar experiment was carried out in the same year at the Iskrba site near Kočevska Reka. The concentrations of ozone were rather high, thus causing visible damages on white clover leaves, as white spots on leaves. The leaves at Iskrba were even more damaged. This proved that tropospheric ozone is a serious threat to natural vegetation, it can reduce the yield and ruin the outlook of the crop plants.

## KAZALO VSEBINE

	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</b>	<b>UVOD</b> .....	1
<b>2</b>	<b>PREGLED OBJAV</b> .....	4
2.1	ONESNAŽEVANJE ZRAKA V SLOVENIJI .....	4
2.1.1	<b>Kmetijstvo in onesnaževanje zraka</b> .....	5
2.2	OSZON .....	5
2.2.1	<b>Ozon v stratosferi in atmosferi</b> .....	6
2.2.1.1	Tvorba ozona v stratosferi .....	7
2.2.1.2	Tvorba ozona v troposferi .....	7
2.2.1.3	Ozonski potencial organskih spojin .....	8
2.3	FOTOOKSIDANTI .....	9
2.3.1	<b>Ukrepi za zmanjšanje predhodnikov fotooksidantov (prizemnega ozona)</b> .....	9
2.4	ZNAČILNI HODI KONCENTRACIJE PRIZEMNEGA OZONA .....	9
2.5	BIOINDIKACIJA PRIZEMNEGA OZONA .....	10
2.6	VPLIV POVEČANE KONCENTRACIJE OZONA NA RASTLINE .....	11
2.6.1	<b>Akutne in kronične poškodbe ozona pri rastlinah</b> .....	12
2.6.2	<b>Zaščita rastlin pred ozonom</b> .....	12
<b>3</b>	<b>MATERIAL IN METODE DELA</b> .....	13
3.1	MATERIAL .....	13
3.1.1	<b>Rastlinski material</b> .....	13
3.1.2	<b>Preostali material</b> .....	13
3.2	METODE DELA .....	13
3.2.1	<b>Lokacija izpostavitve</b> .....	13
3.2.2	<b>Osnovanje (ukoreninjenje) rastlin v rastlinjaku</b> .....	14
3.2.3	<b>Izpostavitev rastlin naravnemu okolju in njihova oskrba</b> .....	14
3.2.4	<b>Opazovanje poškodb troposferskega ozona na detelji</b> .....	14
3.2.5	<b>28 dnevna žetev detelje</b> .....	15
3.2.6	<b>Klimatske razmere in meritve polutantov</b> .....	16
3.3	OBDELAVA PODATKOV .....	16
3.3.1	<b>Opazovanja ozonskih poškodb na plazeči detelji</b> .....	16
3.3.2	<b>Meritve podnebni parametrov in zračnih onesnažil</b> .....	16
3.3.3	<b>Meritve biomase</b> .....	17
<b>4</b>	<b>REZULTATI</b> .....	18

4.1	REZULTATI MERJENJA ZRAČNIH POLUTANTOV IN METEOROLOŠKIH PARAMETROV .....	18
4.2	REZULTATI OPAZOVANJA OZONSKIH POŠKODB NA DETELJI.....	22
4.3	REZULTATI MERJENJA BIOMASE .....	23
<b>5</b>	<b>RAZPRAVA IN SKLEPI .....</b>	<b>25</b>
5.1	RAZPRAVA .....	25
5.2	SKLEPI .....	27
<b>6</b>	<b>POVZETEK.....</b>	<b>28</b>
<b>7</b>	<b>VIRI .....</b>	<b>29</b>
7.1	CITIRANI VIRI.....	29
7.2	DRUGI VIRI.....	30

**ZAHVALA**

**PRILOGE**

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1:	Vrednosti AOT 40 v juniju, juliju in avgustu za Ljubljano in Iskrbo v letu 2006
----------------	---



## KAZALO SLIK

- Slika 1: Povprečne dnevne koncentracije NO<sub>x</sub> in NO<sub>2</sub> od maja do septembra v Ljubljani leta 2006
- Slika 2: Koncentracije ozona izražene kot vrednosti AOT 40 (ppb.h) v času trajanja poskusa v Ljubljani v letu 2006
- Slika 3: Koncentracije ozona izražene kot vrednosti AOT 40 (ppb.h) v času trajanja poskusa v Ljubljani in Iskrbi v letu 2006
- Slika 4: Kumulativne vrednosti AOT 40 (ppb.h) in kritična meja za zmanjšanje pridelka pri kmetijskih rastlinah in naravni vegetaciji (3000 ppb.h), od maja do septembra v Ljubljani v letu 2006
- Slika 5: Povprečna dnevna temperatura zraka (°C) od maja do septembra v Ljubljani v letu 2006
- Slika 6: Povprečna dnevna relativna zračna vlaga (%) od maja do septembra v Ljubljani v letu 2006
- Slika 7: Poškodovanost listov odpornih (NC-R) in občutljivih (NC-S) klonov plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Regal') pri posameznih opazovanjih v Ljubljani v letu 2006
- Slika 8: Primerjava vrednosti AOT 40 s poškodovanostjo listov odpornih (NC-R) in občutljivih (NC-S) klonov plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Regal') v Ljubljani v letu 2006
- Slika 9: Povprečna biomasa odpornih (NC-R) in občutljivih (NC-S) klonov plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Regal') pri posameznih žetvah v Ljubljani v letu 2006

## KAZALO PRILOG

- PRILOGA A Meritve zračnih polutantov, vremenskih parametrov in vrednosti AOT 40 za Ljubljano v letu 2006
- PRILOGA B Vrednosti AOT 40 za Iskrbo pri Kočevski Reki v letu 2006
- PRILOGA C Povprečne vrednosti poškodovanosti listov in povprečna suha biomasa pri vseh štirih žetvah na ozon odpornih (NC-R) in na ozon občutljivih (NC-S) klonov plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Regal') pri vseh opazovanjih v Ljubljani v letu 2006

## OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

AOT 40	Seštevek koncentracij ozona v svetli polovici dneva, ki presegajo mejno vrednost 40 delcev na bilion (Accumulated over a treshhold of 40 parts per billion)
ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
CLRTAP	Konvencija o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja (Convention on Long-range Transboundary Air Pollution)
EDU	etilen diurea (N-(2-(2-okso-1-imidazolidionil)etil-N-fenilurea)
EMEP	Protokol o dolgoročnem financiranju programa za opazovanje in ovrednotenje emisije onesnaževalcev zraka na velike razdalje v Evropi (Protocol on Long-term Financing of the Cooperative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe)
GAW/WMO	Svetovni mednarodni program za spremljanje globalne onesnaženosti atmosfere na Zemlji, ki ga koordinira Svetovna meteorološka organizacija (Global Atmosphere Watch/World Meteorological Organisation)
ICP Vegetation	Mednarodno združeni program za ugotavljanje učinkov zračnih onesnažil na naravno rastje in poljščine (International Cooperative Programme on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops)
NC-R	North Carolina – Resistant (na ozon odporn klon plazeče detelje <i>Trifolium repens</i> 'Regal')
NC-S	North Carolina – Sensitive (na ozon občutljiv klon plazeče detelje <i>Trifolium repens</i> 'Regal')
OZN	Organizacija Združeni narodov (United Nations Organization)
UNECE	Ekonomске komisije Združenih narodov za Evropo (United Nations Economic Commission for Europe)
VOC	lahko hlapne organske spojine (Volatile Organic Compounds)
WGE	delovna skupina za učinke (Working Group on Effects)
WHO	Svetovna zdravstvena organizacija (World Health Organisation)

## 1 UVOD

Pojav propadanja narave je zajel vso Zemljo. S spreminjanjem kakovosti tal, voda in ozračja smo ljudje ogrozili svoj lasten obstoj. Škodljive posledice sežejo prek meja posameznih držav in pogosto zajamejo celotni biom (geografsko območje Zemlje z značilnimi podnebnimi in talnimi razmerami, značilnim rastlinstvom in živalstvom, ki je prilagojeno na dane razmere) (Tarman, 1999). To prikazuje primer iz leta 1960, ko so skandinavski znanstveniki sumili, da obstaja povezava med žveplovimi emisijami iz celinske Evrope ter zakisanjem jezer v Skandinaviji. Ugotovili so, da se polutanti lahko prenašajo na stotine kilometrov in onesnažijo zrak ter s tem ekosisteme daleč od svojega izvora. Na ta način je zaradi prinesenega onesnaženega zraka nastal kisli dež in povzročil zakisanje jezer.

Na mednarodni ravni se s temi problemi (zakisanje ipd.) ukvarja Organizacija združenih narodov (OZN). Leta 1972 je OZN organizirala konferenco v Stockholmu (Konferenca Združenih narodov o človekovem okolju), kjer so sprejeli načelo, da morajo države poskrbeti, da s svojo dejavnostjo ne povzročajo okoljske škode zunaj svojih meja. Dne 13.11.1979 je bila v Ženevi sprejeta, znotraj UNECE (United Nations Economic Commission for Europe, Ekonomska komisija Združenih narodov za Evropo) konvencija (dogovor) o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja (angl. kratica CLRTAP, Convention on Long-range Transboundary Air Pollution), ki velja od leta 1983. Osnova za pripravo in podpis konvencije izhaja iz programa EMEP, ki se je začel izvajati v okviru Ekonomske komisije za Evropo že leta 1977. Z EMEP protokolom pa je leta 1984 program EMEP postal pravno-formalno sestavni del konvencije. Konvencija spada med glavne mednarodne sporazume na področju varstva zraka. Podpisnice te konvencije so se obvezale, da bodo zmanjševale in preprečevale nadaljnje spreminjanje podnebnih razmer. Oblikovala je osem protokolov:

- Protokol o dolgoročnem financiranju programa za opazovanje in ovrednotenje emisije onesnaževalcev zraka na velike razdalje v Evropi (EMEP). Sestavljen v Ženevi, dne 28.9.1984. Veljaven od 1988.
- Protokol za 30–odstotno zmanjšanje onesnaženja zraka z žveplom. Sestavljen leta 1985. Veljaven od 1987.
- Protokol o dušikovih oksidih (NO<sub>x</sub>) in sorodnih snoveh. Sestavljen leta 1988. Veljaven od 1991.
- Protokol o lahko hlapnih ogljikovodikih (VOC). Sestavljen leta 1991. Veljaven od 1997.
- Protokol o ponovnem zmanjšanju žveplovih emisij. Sestavljen leta 1994. Veljaven od 1998.
- Protokol o obstojnih organskih onesnažilih. Sestavljen leta 1998. Veljaven od 2003.
- Protokol o težkih kovinah. Sestavljen leta 1998. Veljaven od 2003.

- Protokol o zmanjšanju zakisovanja, evtrofikacije in prizemnega ozona (Gothenburg Protocol). Sestavljen leta 1999. Veljaven od 2005.

Slovenija je leta 1992 postala pravna naslednica množice mednarodnih pogodb bivše Jugoslavije, med njimi tudi konvencije CLRTAP in protokola EMEP. Nosilec dejavnosti v zvezi z konvencijo je postalo Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije, Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije. Meritve meteoroloških parametrov in polutantov pa pri nas izvaja Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO). V okviru EMEP sta bili zgrajeni dve merilni postaji, in sicer na Krvavcu ter v Iskrbi pri Kočevski Reki. Sta regionalni postaji (locirani na neobremenjenem področju, proč od lokalnih virov onesnaženja) za spremljanje tako imenovanega ozadja onesnaženosti zraka za širše področje v Evropi. Na obeh postajah se izvaja monitoring prizemnega ozona ter drugih polutantov. 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. Ta protokol je bil ratificiran leta 1998. Istega leta pa je tudi podpisala protokola o težkih kovinah in obstojnih organskih onesnaževalcih. Gothenburški protokol pa Slovenijo zavezuje, da do leta 2010 zmanjša skupne letne emisije dušikovih oksidov na največ 45 kt, žveplovih dioksidov na 27 kt, hlapne organske snovi (VOC) na 40 kt in amoniak na 20 kt, pri čemer se upoštevajo vsi viri onesnaženja.

EMEP je v podporo drugim aktivnostim v okviru Konvencije, kot so priprava strategije za zmanjšanje emisije (priprava novih protokolov), spremljanje stanja v zvezi z veljavnimi emisijskimi protokoli, ocene škodljivih učinkov ter uvajanje novih tehnologij za zmanjšanje onesnaženosti zraka (Planinšek, 1997).

Aprila 1981 je bila v okviru Konvencije ustanovljena delovna skupina za učinke (WGE, Working Group on Effects), ki proučuje škodljive učinke za zdravje ljudi in okolje, ki jih povzročajo polutanti onesnaženega zraka na velike razdalje. Poudarek je predvsem na učinkih onesnažil, kot so žveplove spojine, dušikovi oksidi, ozon in težke kovine. WGE sestavlja šest mednarodnih kooperativnih programov (ICP, International Cooperative Programmes), ki se ukvarjajo s škodljivimi učinki na okolje (gozdovi, reke in jezera, materiali, kmetijske rastline in naravna vegetacija, celoten ekosistem ter kartiranje in modeliranje kritičnih obremenitev z onesnaževalci zraka). V okviru WGE je tudi koordinacijski center za proučevanje vplivov onesnaženega zraka na zdravje (Task Force on Health), ki je v sodelovanju z WHO (World Health Organisation).

Moje diplomsko delo je vključeno v enega izmed naštetih programov WGE, in sicer program ICP Vegetation. Program ICP Vegetation spremlja vplive zračnih polutantov na izbranih sortah kmetijskih in samoniklih rastlin v državah znotraj UNCE regije, vključujoč Evropo, ZDA in Kanado. Program izvajamo po protokolu, ki je predpisan za sledenje učinkov fotooksidantov na rastline (Eksperimental protocol for monitoring the incidences of ozone injury on vegetation). Zaradi boljšega spremljanja vplivov ozona v širšem evropskem prostoru želita koordinator in vodstvo v Bruslju, da se za poskus uporabljajo iste vrste poskusnih rastlin, zato priporočajo sorte plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Regal') (Batič in sod., 1999). Plazeča detelja je dober bioindikator prisotnosti povečane koncentracije troposferskega ozona in ni zahtevna za gojenje. Kljub temu pa se ponekod

pojavnajo težave zaradi premeščanja rastline v različna podnebna okolja. Koordinacijski center v Angliji (ICP Vegetation Coordination Centre, Centre for Ecology and Hydrology, Bangor, UK) skrbi za pridelavo in pošiljanje semen in sadik ter koordinira izvedbo poskusa v Evropi (Batič in sod., 1999). Namen programa:

Ugotoviti dolgoročno kritično koncentracijo fotooksidantov ter njihov vpliv na zmanjšanje biomase določenih rastlinskih vrst (Batič in sod., 1999).

Določiti geografski obseg povečane koncentracije ozona znotraj UNECE regije z identifikacijo območij s koncentracijami ozona, ki je dovolj velika, da povzroči zmanjšanje pridelka pri občutljivih vrstah rastlin (Batič in sod., 1999).

Namen mojega diplomskega dela je nadaljevanje spremljanja učinkov troposferskega ozona s plazečo deteljo *Trifolium repens* 'Regal' na poskusnem mestu Ljubljana, v letu 2006. Na koncu našega poskusa je bilo potrebno vse rezultate in ugotovitve posredovati koordinacijskemu centru ICP Vegetation, saj je moje delo pomembno za raziskavo tega programa.

## 2 PREGLED OBJAV

### 2.1 ONESNAŽEVANJE ZRAKA V SLOVENIJI

Onesnažila zraka so lahko naravnega oziroma biogenega (emisije iz gozdov, morja, delujočih vulkanov ipd.) ali antropogenega (industrija, promet, termoelektrarne ipd.) izvora (Kazalci..., 2004). Na kakovost zraka največ vplivajo emisije snovi v zrak v posamezni državi. Del onesnaženosti je tudi posledica daljinskega transporta onesnažil na velike razdalje prek meja, kar velja predvsem za ozon in delce (Kazalci..., 2004). Koncentracije zračnih polutantov so odvisne tudi od klimatskih značilnosti, meteoroloških pojavov, fizikalno-kemijskih procesov pretvorbe snovi v zraku in topografije. Kljub temu, da se emisije onesnažil zmanjšujejo, onesnaženost zraka še vedno škodljivo vpliva na zdravje ljudi, na ekosisteme in povzroča poškodbe na materialih (Kazalci..., 2004).

Mrežo meritev onesnaženosti zraka v Sloveniji sestavljajo avtomatska merilna mreža stalnih ekološko-meteoroloških postaj državne mreže za spremljanje kakovosti zraka (DMKZ), ki jo vodi Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO), ter avtomatske merilne mreže, v katerih izvajajo meritve drugi izvajalci (TE Šoštanj, TE Trbovlje, mestne občine Ljubljana, Maribor, Celje, Krško). Mreža je gostejša na območjih v bližini večjih virov onesnaženosti zraka. V krajih, ki niso zajeti v okviru stalnih mrež, potekajo občasne meritve onesnaženosti zraka z avtomatsko mobilno ekološko-meteorološko postajo in z difuznimi vzorčevalniki. Na območjih, ki so oddaljena od velikih virov emisije, delujeta postaja Iskrba in Krvavec, ki merita ozadje onesnaženosti zraka in sta vključeni v mednarodni mreži EMEP in WMO-GAW (World Meteorological Organisation- Global Atmospheren Watch) (Kakovost zraka..., 2007).

Na avtomatskih merilnih postajah merijo onesnažila v zraku (žveplov dioksid, dušikovi oksidi, ogljikov monoksid, ozon, delci PM<sub>10</sub> (delci z aerodinamičnim premerom 10µm) in delci PM<sub>2,5</sub> (delci z aerodinamičnim premerom 2,5µm), lahko hlapni ogljikovodiki, težke kovine) in meteorološke parametre (padavine, temperatura zraka, zračni tlak, relativna vlažnost zraka, smer in hitrost vetra, globalno sončno sevanje). Merilniki avtomatskih meritev delujejo stalno in nam dajejo tekoče urne podatke, ki so takoj dostopni javnosti, preko teleteksta ter internetne strani ARSO. Za vsako koledarsko leto ARSO izdela tudi mesečne biltene in poročilo o kakovosti zraka v Sloveniji.

V preteklosti je v Sloveniji, zaradi takratne industrije in načina pridobivanja električne energije, prevladovalo klasično onesnaženje zraka, to je onesnaženje s prašnimi delci in žveplovim dioksidom. Onesnaženje je bilo omejeno na doline in kotline okoli industrijskih obratov in termoelektrarn, kot so Zasavje, Mežiška dolina ter Šaleška kotlina. Danes kot glavna onesnažila v ozračju prevladujejo fotooksidanti (predvsem ozon), ki nastajajo iz emisij prometa, industrijskih obratov ter termoelektrarn. Vendar pa njihova tvorba ni odvisna samo od emisij njihovih predhodnikov temveč tudi od vremenskih razmer, predvsem jakosti ultravijoličnega sevanja, ki se zaradi tanjšanja ozonske plasti v stratosferi samo še povečuje.

Največji vir predhodnikov ozona v Sloveniji je promet (Kazalci..., 2004). V obdobju 1990–2004 je bil največji delež izpustov predhodnikov ozona dosežen v letih 1996 ter

1997. To velja v največji meri pripisati povečani rabi motornih goriv, predvsem zaradi nižjih cen in povečani gostoti motornega prometa. Zaradi uvedbe vozil s katalizatorji in vozil z dizelskim motorjem ter strožjimi emisijskih standardov za vozila, so se izpusti predhodnikov ozona po letu 1997 zmanjševali (Kazalci..., 2006).

Na obcestnih merilnih mestih so koncentracije ozona manjše, ker ta hitro reagira z dušikovim monoksidom iz izpušnih plinov. Kraji z naraščajočo nadmorsko višino in odprtim reliefom imajo vse bolj značilnosti proste atmosfere, kjer je na eni strani majhen neposredni vpliv emisij predhodnikov ozona, na drugi strani pa je močnejše ultravijolično sevanje sonca. To se kaže v manjših maksimalnih koncentracijah ozona, medtem ko je raven povprečnih koncentracij večja kot v nižjih predelih (Kakovost zraka..., 2007).

Najbolj onesnaženo območje zaradi ozona je Primorska, predvsem zaradi prenosa ozona na velike razdalje iz italijanske Padske nižine, kjer nastajajo največje količine ozona. Sicer se pojavljajo povečane koncentracije ozona tako v urbanih središčih, kot tudi na podeželju ter v višjih legah (Kazalci..., 2006).

V Sloveniji se največje koncentracije ozona pojavljajo v času od aprila do septembra, najmanjše pa so pozimi (Mikuš, 2003).

### **2.1.1 Kmetijstvo in onesnaževanje zraka**

Kmetijstvo je ena izmed najstarejših človekovih dejavnosti in je močno povezano z razvojem človeške civilizacije. Razvoj in razmah kmetijske dejavnosti pomeni hkrati tudi prvi večji vpliv človeka na okolje (fizično spreminjanje naravnih ekosistemov). Kasneje je primarni pomen kmetijstva prekrit z drugimi panogami, ki bistveno še bolj spreminjajo naravne danosti (zrak, voda in tla). To so predvsem industrija, promet in splošna urbanizacija, ki imajo velik posreden ter neposreden vpliv tudi na kmetijstvo (Batič in sod., 1999).

Proučevanje vpliva onesnažil v zraku na kmetijske rastline je bilo dolgo zanemarjeno in podcenjeno. Vzrok je izhajal iz tega, da je bilo kmetijstvo določenega območja v največji meri odvisno predvsem od rodovitnosti tal in preskrbe z vodo. V Evropi so začeli z usklajenim in obsežnejšim spremljanjem vplivov zračnih polutantov na kmetijske rastline šele v zadnjem desetletju (Batič in sod., 1999).

Fotooksidanti imajo velik vpliv na pridelke številnih kmetijskih rastlin, kot so zmanjšanje pridelkov ter učinki na morfološko - anatomske, fiziološke in biokemične nivoje (Batič in sod., 1999).

## **2.2 OZON**

Ozon je posebna alotropska oblika kisika s tremi atomi kisika v molekuli (Batič in sod., 1999). V plinasti obliki je moder, v tekoči je temno vijoličasto moder in v trdi obliki črn (Leksikoni..., 1982). Ima značilen oster vonj, kar pomeni tudi njegovo ime v grščini (gr. ozein – vonjati, dišati) (Batič in sod., 1999). Je termično nestabilen oziroma neobstojeen saj zlahka razpade na kisik (pri sobni temperaturi počasi, pri višji pa hitreje) zaradi česar je



izredno reaktiven in močan oksidant. Nastaja v zraku iz kisika pod vplivom ultravijoličnih žarkov in razelektritev (blisk) (Leksikon..., 2000).

### 2.2.1 Ozon v stratosferi in atmosferi

Ozon se nahaja v troposferi (do višine 10 km nadmorske višine) kot tudi v stratosferi (sega od 10 do 50 km nad zemeljsko površino).

Kar 90 % vsega atmosferskega ozona na Zemlji je v stratosferi (Rakovec, 2000). Na višini 20 do 30 km je plast večje koncentracije ozona (ozonski ščit), ki vpija nevarno kratkovalovno ultravijolično sevanje Sonca (absorbira sevanje dolžin, ki so manjše od 290 nm, sevanje v območju valovnih dolžin 290 – 320 pa močno oslabi). Zaradi tega tej plasti pravimo tudi ozonosfera. Ozonski ščit je v evoluciji organizmom omogočil naseljevanje kopenskih življenjskih prostorov in jih še danes varuje pred nevarnim sevanjem (Batič in sod., 1999). Vendar pa se zaradi antropogenega sproščanja (in kasnejše razgradnje v stratosferi) klorofluorogljikovodikov ali CFC-jev (nahajajo v hladilnih tehnikah, čistilih, sprejih, penastih snoveh) in brom vsebujočih halogenskih ogljikovodikov (haloni) (v gasilnih aparatih) povečuje število prostih klorovih in bromovih atomov. Ti se ne vežejo v stabilnejše spojine, temveč ostajajo v stratosferi prosti in tako neprestano razgrajujejo ozon, kar vodi do nastanka ozonskih lukenj. Ocenjujejo, da lahko vsak atom klora ali broma razkroji nekaj deset tisoč ali celo nekaj sto tisoč molekul ozona (Rakovec, 2000). Danes je vse močnejše postopno zmanjševanje ozona predvsem nad Antarktiko, poleg tega pa se je v zadnjih desetletjih v celotnem ozračju preko vse Zemlje količina ozona zmanjšala za 6 %. Zaradi tega prihaja do povečanega UV-B (valovne dolžine 280 – 320 nm) in UV-C (valovne dolžine < 280 nm) sevanja pri tleh. Kot posledice lahko zaznamo okvare dedne snovi živih organizmov, zmanjšanje intenzivnosti fotosinteze in posledično manjši prirastek, pri ljudeh poškodbe oči in kože, sončne opekline, nastanek kožnega raka itd (Batič in sod., 1999).

Troposfera vsebuje 10 % vsega ozona v zemeljski atmosferi. Izvor troposferskega ozona (prizemni ozon) je lahko naraven ali antropogen. Ozon naravnega izvora nastaja s prodori stratosferskega ozona v troposfero. Antropogeno pa nastaja v vrsti fotokemičnih reakcij iz predhodnikov (prekurzorjev) ozona (hlapni ogljikovodiki, ogljikovi oksidi in dušikovi oksidi) v onesnaženem zraku ali pa ga od drugod prinesejo zračne mase, tudi iz razdalje več 100 km (Batič in sod., 1999). Zaradi takega načina nastanka ga uvrščamo med fotooksidante. Običajno se je nahajal v prizemni plasti v sledovih. V zadnjih 100 letih pa je njegova povprečna letna koncentracija narasla za faktor 2 zaradi povečanja prometa in industrije, kjer se nahajajo predhodniki ozona (Batič in sod., 1999). Povečane količine ozona so običajno omejene na manjša območja in so zato lokalni ali regionalni problem (Rakovec, 2000). Visoke koncentracije se pojavljajo v lepem vremenu ob nizki zračni vlažnosti, povišani temperaturi in večjem sončnem sevanju. Ta ozon je sam po sebi agresiven, obenem pa je tudi posredni znak, da je zrak onesnažen še z drugimi nenaravnimi snovmi (Rakovec, 2000). Prizemni ozon lahko že pri nizkih koncentracijah povzroča zdravstvene težave, kot so draženje očesne sluznice, oteženo dihanje in razvoj dihalnih bolezni (astma, pljučnica, bronhitis) pri otrocih in starejših. Povzroča tudi poškodbe na rastlinah (zmanjšuje prirastek kmetijskih in samoniklih rastlin) in ekosistemih (Kazalci..., 2006).

Tako lahko povzamemo, da ozon, ki se nahaja v stratosferi ščiti življenje na Zemlji, povečana koncentracija prizemnega ozona v troposferi pa ga ogroža (Batič in sod., 1999).

#### 2.2.1.1 Tvorba ozona v stratosferi

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



#### 2.2.1.2 Tvorba ozona v troposferi

V naravi v prizemni plasti troposfere je predhodnik ozona dušikov dioksid ( $\text{NO}_2$ ), ki pri fotolizi razpade v atomarni kisik (O) in dušikov oksid (NO), pri čemer je potrebna modrovijolična svetloba vidnega dela svetlobnega spektra valovne dolžine 420 nm (reakcija 3). Atomarni kisik zreagira z molekularnim kisikom in inertnim tretjim udeležencem (M), ki služi za odvod energije, v ozon (reakcija 4). Nastali dušikov oksid pa je v povratni reakciji porabnik ozona (reakcija 5).



Po reakcijah (3 in 5) nastane fotokemijsko ravnotežje (enačba 6), ki določa koncentracijo ozona. Ta je proporcionalna konstanti K in koncentracijskemu razmerju med  $\text{NO}_2 / \text{NO}$ . Velikost konstante K je odvisna od intenzitete sevanja in razmerij hitrostnih konstant reakcij (3, 4 in 5).



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



V troposferi potekajo še naslednje kemijske reakcije v katerih nastane ozon:

- Reakcije z nemetanskimi ogljikovodiki in z dušikovim oksidom

Sinteza ozona in drugih fotooksidantov iz dušikovega oksida je možna le tedaj kadar so prisotni ogljikovodiki, ki se razgradijo in dajejo proste peroksi radikale.

- Reakcije z metanom

Od ogljikovodikov najmanj učinkovit predhodnik ozona, ker počasi reagira z OH radikali.

- Reakcije z klorom

Med fotodisociacijo klora v troposferi nastajajo radikali klora, ki lahko cepijo ogljikovodike. Pri tem nastanejo prosti organski radikali ali radikali kloriranih ogljikovodikov.

- Reakcije z kloriranimi ogljikovodiki

Razgradnja le teh poteka tudi preko OH radikalov.

Pri teh reakcijah direktna oksidacija z zračnim kisikom ni mogoča, zato poteka s pomočjo katalizatorjev (dušikovi oksidi ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_x$ ), hidroksilni radikali ( $\text{OH}$ ), peroksi radikali ( $\text{HO}_2$ ,  $\text{RO}_2$ )). V atmosferi je najagresivnejši radikal  $\text{OH}$ , ki pospešuje razgradnjo organskih snovi v zraku, pri čemer se sam porablja, nastanejo pa novi peroksi radikali ( $\text{HO}_2$  ali  $\text{RO}_2$ ). Vendar so ti radikali premalo reaktivni, da bi sami reagirali s primesmi v zraku, zato zadostuje že najmanjša koncentracija  $\text{NO}$  v atmosferi, ki z izredno selektivno reakcijo pretvori peroksi radikale v  $\text{OH}$  radikale. Pri tem se pretvori reducent dušikov oksid ( $\text{NO}$ ) v oksidanta dušikov dioksid ( $\text{NO}_2$ ) (reakcija 9). Dušikov dioksid pa ob sončnem obsevanju postane donor reaktivnih kisikovih atomov čemur v naslednjih reakcijah sledi ponovna tvorba ozona (glej reakciji 3 in 4).  $\text{OH}$  nastajajo v fotokemični reakciji, kratkovalovna fotoliza naravnega ozona, pri sončni svetlobi v vlažni atmosferi.



### 2.2.1.3 Ozonski potencial organskih spojin

Ozonski potencial je količina ozona, ki lahko nastane iz predhodnikov v zraku. Je še slabo raziskan, znani so le podatki za reakcijsko hitrost  $\text{OH}$  radikalov. Reakciji, ki jo začne radikal  $\text{OH}$  izredno hitro sledijo reakcije, ki dajo več peroksi radikalov  $\text{HO}_2$ , dokler se

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

## 2.3 FOTOOKSIDANTI

Fotooksidanti so snovi, ki v toplem sončnem vremenu nastajajo v fotokemičnih reakcijah (oksidacijski procesi) iz svojih predhodnikov (ogljikovodiki – hlapne organske spojine, dušikovi oksidi ( $\text{NO}_x$ ), ogljikov oksid (CO)) v onesnaženem zraku. Te človek izpušča v zrak z industrijo in prometom (Ottovi, dizelski, letalski motorji). So sekundarni polutanti ali sekundarna onesnažila. Pogosto so to aldehidi ( $\text{R}^+\text{CHO}$ ), prizemni ozon in peroksi acetilnitrat ali PAN ( $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})\text{O}_2\text{NO}_2$ ). So zelo reaktivne snovi in v organizmih reagirajo s snovmi pri katerih nastanejo nestabilni, močno reaktivni produkti, kot so radikali, peroksidi in druge strupene snovi za živa bitja (Batič in sod., 1999).

### 2.3.1 Ukrepi za zmanjšanje predhodnikov fotooksidantov (prizemnega ozona)

Poleg avtohtono nastalega ozona lahko ozon prispe tudi s transportom zraka od drugod. Zato morajo biti izvedeni učinkoviti ukrepi in omejitve na nivoju celotne države, regije ali več sosednjih držav. Le te je smiselno izvajati že pred prekoračitvami mejnih koncentracij ozona in drugih fotooksidantov. Koncentracija ozona je zelo odvisna od klimatskih parametrov (sončnega sevanja, temperature zraka, vetra), zato je za najustreznejše ukrepanje zelo pomembna dobra vremenska napoved. Poleg te pa morajo preventivni ukrepi zajeti tudi promet (uporaba katalizatorjev), termoelektrarne (izboljšanje gorilnikov, katalizatorji), sežigalnice, petrokemijsko industrijo, velike emitente topil ali drugih snovi, ki povzročajo nastajanje ozona.

## 2.4 ZNAČILNI HODI KONCENTRACIJE PRIZEMNEGA OZONA

Koncentracije snovi iz katerih se tvori ozon, intenzivnost sončnega sevanja, temperatura zraka, relativna zračna vlaga ter hitrost in smer vetra so dejavniki, ki vplivajo na nastajanje ozona preko dneva in leta.

- Letni hod koncentracije prizemnega ozona

Ta hod je še posebno izrazit v gosto naseljenih predelih, v višjih legah, kjer je čist zrak pa je slabo izražen. Maksimalne vrednosti ima poleti in minimalne pozimi.

- Dnevni hod koncentracije prizemnega ozona

Poleg običajnega dnevnega hoda koncentracij ozona v naseljenih območjih in območjih z čistim zrakom lahko nastopi še nov nenormalen dnevni hod koncentracij ozona.

V urbanih območjih ima dobro izražen maksimum v zgodnjih popoldanskih urah, minimum pa pred sončnim vzhodom. Zaradi povečanega sončnega sevanja in s tem višjih dnevni temperatur v dopoldanskem času, pride do konvekcijskega mešanja (razgradnje) stabilnih prizemnih zračnih plasti v smeri od tal navzgor, tako prinese ozon iz višje ležečih v prizemne zračne plasti. To je glavni vzrok za večje koncentracije ozona v dopoldanskem času. Maksimalni porast koncentracija ozona v opoldanskem in popoldanskem času pa izhaja iz fotokemijskih reakcij iz predhodnikov ozona (v tem času je velika koncentracija dušikovega dioksida, ki je donor atomarnega kisika iz katerega nastaja ozon). Poleg kemijskih reakcij povzročajo tvorbo ozona tudi biogeni ogljikovodiki, ki jih oddaja vegetacija zelenih površin v mestu in razpolagajo s precejšnim ozonskim potencialom. Kasneje, ko pojema intenziteta sončnega sevanja in pada temperatura zraka (obnem koncentracija dušikovega oksida naraste, ki je porabnik ozona), pa koncentracija ozona pada, ki doseže minimum pred sončnim vzhodom.

V predele s čistim zrakom prispe ozon s transportom zraka iz urbanih območij. Tu je lahko srednja dnevna koncentracija ozona večja kot v mestih, zaradi konstantno majhne koncentracije porabnikov ozona v ozračju (npr. NO). Zaradi majhne koncentracije dušikovega oksida lahko nastane le malo dušikovega dioksida, zato je izvor povečane koncentracije ozona predvsem oksidacija biogenih ogljikovodikov (emitira jih rastlinje). Oksidacija le teh omogoča oksidacijo dušikovega oksida v dušikov dioksid, kar omogoča tudi avtohtono tvorbo ozona. Z naraščajočo temperaturo zraka v naravi narašča sproščanje biogenih ogljikovodikov. Vendar je avtohtona tvorba ozona manjša kot v naseljenih območjih, zaradi malo predhodnikov.

Netipični dnevni hod je dnevni hod koncentracije ozona z dvema dobro izraženima maksimumoma. Prvi maksimum se pojavi podobno kot pri dnevnem hodu v naseljenih območjih v zgodnjih popoldanskih urah in ima enake meteorološke, kemijske ter fotokemijske osnove. Drugi maksimum pa nastopi v nočnih urah, najpogosteje v drugi polovici noči, zaradi transporta ozona s horizontalnimi ali vertikalnimi zračnimi tokovi (meteorološki vzrok). To lahko povzroči vetrni sistem, ki je omejen na določeno mesto ter najbližjo okolico (npr. vzgornik) (Batič in sod., 1999).

## 2.5 BIOINDIKACIJA PRIZEMNEGA OZONA

Poleg fizikalnih in kemijskih meritev onesnažil v zraku je dobro poznati tudi vplive, ki jih imajo te snovi na živi svet (Treshow, 1970). Zato se vedno pogosteje uporablja metoda (bioindikacija), kjer so vključeni živi organizmi (bioindikatorji), ki so kazalci stanja v okolju. Bioindikacija je metoda, ki ne zahteva dragih merilnih inštrumentov, je primerna za območja kjer je težko zagotoviti stalne meritve onesnažil in je možna na mestih kjer bioindikator ni razširjen (možna gojitev nekaterih vrst in sort rastlin, občutljivih za določen dejavnik) (Batič in sod., 1999). Priporočljiva je izvedba bioindikacije na prostem, kjer je vpliv okolja. Številni dejavniki vplivajo na rastline in za te so značilne določene interakcije, ki so mogoče le v naravnih razmerah (Jurkovnik, 2001). S spremljanjem negativnih učinkov onesnažil pri bioindikatorskih rastlinah obenem opozarjamo na nevarnost možnih posledic za zdravje ljudi in drugih organizmov.

Bioindikatorji so organizmi, ki s svojimi življenjskimi funkcijami (presnovo, videzom, zgradbo, rastjo, razmnoževanjem in razširjenostjo) odražajo vplive okolja (Batič in sod., 1999). Pogosto jih uporabljamo tudi pri ugotavljanju in spremljanju onesnažil v okolju. Pri njih opazujemo odziv na delovanje škodljive snovi na različnih ravneh kot so spremembe v biokemični zgradbi, motnje v fizioloških procesih, spremembe v rasti in razmnoževanju ter spremembe pri značilnih vidnih poškodbah. Pri ugotavljanju vidnih poškodb na listih rastlinskih bioindikatorjev moramo biti zelo pozorni, da ne pride do zamenjave s poškodbami, ki so posledica drugih stresnih dejavnikov. To so neživi ali abiotski dejavniki (zmrzal, pomanjkanje ali presežek mineralnih snovi v prsti, suša, toča ipd.) ter živi ali biotski dejavniki (rastlinojede živali: žuželke, polži, pršice ipd.) (Batič in sod., 1999).

Kot indikatorje zračnih onesnažil, ki pokažejo specifične vplive, se uporabljajo: lišaji (največ epifitski), mahovi, praprotnice. Poleg teh se uporablja tudi naravna vegetacija in kmetijske rastline (Bienelli, 1997).

Za ugotavljanje prisotnosti in vpliva povečane koncentracije ozona sta se v letu 2006 v Sloveniji uporabljali dve indikatorski rastlini kot sta plazeča detelja (*Trifolium repens* L.) in navadni glavinec (*Centaurea jacea* L.) (ICP Vegetation..., 2006).

## 2.6 VPLIV POVEČANE KONCENTRACIJE OZONA NA RASTLINE

Ozon sam ali v sodelovanju z drugimi polutanti spreminja vrstno sestavo naravnih rastlinskih združb, zmanjšuje pridelek in kviri videz gojenih rastlin. Potek, obseg in mesta poškodb so odvisni od vrste in sorte rastline, njihove razvojne stopnje, od koncentracije, trajanja, pogostosti obdobja povečane koncentracije ozona in časa pojavljanja teh obdobja glede na rastno obdobje ter od drugih razmer na rastišču, še posebej od vlažnosti zraka. Praviloma se pojavlja v časovnih presledkih in v takih presledkih posledično nastajajo poškodbe na vseh rastlinah (Batič in sod., 1999).

Fitotoksičen vpliv ozona na rastline je povezan z biotičnimi (patogeni, škodljivci, stadij rasti idr.) in abiotičnimi (temperatura in relativna vlažnost ozračja in tal, hitrost vetra, intenziteta sončnega sevanja, prehranjenost itd.) dejavniki.

Rastline so na ozon najbolj občutljive pri relativno majhni svetlobni jakosti, zmernih temperaturah in veliki relativni vlažnosti zraka, ker imajo v omenjenih razmerah odprte reže, skozi katere ozon najlažje vstopa. Tako so najprej poškodovane celice zapiralke listnih rež in celice listne sredice. Vpliva na biosintezo maščobnih kislin, beljakovin in maščob, ki so gradniki celičnih membran, poškoduje pa tudi že zgrajene membrane. Posledice so motnje v delovanju membran, to je v transportu vode in snovi ter v vzdrževanju turgorja. Od tod tudi videz začetnih poškodb, kot z vodo nabreklih mest. Kasneje pride do puščanja elektrolitov in organskih spojin iz celice. Ob nadaljevanju stresa celica uplahne in propade. Nastanejo značilne poškodbe v obliki točkastih obledelih mest – kloroz (propad klorofila), ki kasneje preidejo v rdečkasto rjave nekroze, ki predstavljajo mesta odmrlega tkiva (Batič in sod., 1999). Poškodbe se najprej pojavijo na zgornjih (starejših) listih, saj so ti najbolj izpostavljeni ozonu. Poškodovana je zgornja površina lista (v velikosti manj kot 1 mm), medtem ko listne žile in žilice niso poškodovane.

Posledice delovanja ozona so tudi motnje v prilagajanju na ekstremne vremenske razmere (mraz) in druge strese iz okolja (povečana dovzetnost za razvoj bolezni, večja ranljivost ob napadih škodljivcev). Spremembe se pojavijo tudi v poteku fizioloških procesov, kot so fotosinteza, dihanje, transpiracija, kar posledično vpliva na rast in produktivnost rastlin. Navzven se to odraža z vidnimi poškodbami in izgubo listov ter posledično manjšim pridelkom. Omenjene fiziološke poškodbe se lahko pojavijo tudi brez zunaj vidnih znakov (Batič in sod., 1999).

### **2.6.1 Akutne in kronične poškodbe ozona pri rastlinah**

Do akutnih poškodb pride že po nekaj urah ali dnevih izpostavljenosti rastlin zelo velikim koncentracijam ozona. Običajno pride do smrti celic, simptomi pa se kažejo v obliki rumeno rjavih do temno rjavih obarvanih peg. Ta vrsta poškodb je redka v Evropi (Innes in sod., 2001).

Kronične poškodbe se razvijejo bolj počasi, po nekaj dneh ali tednih, pri dolgotrajnih majhnih koncentracijah ozona. Posledica so rahle kloroze, pigmentacija, prezgodnje staranje listov in prezgodnje odpadanje le teh. Poškodbe se pojavljajo pogosto pri občutljivih gozdnih vrstah in naravni vegetaciji in sicer v Centralni in Severni Evropi (Innes in sod., 2001).

### **2.6.2 Zaščita rastlin pred ozonom**

Najpomembnejši način obvladovanja onesnaženosti zraka je zmanjševanje emisij v okolje. To je pri dandanašnjemu načinu življenja zelo težko doseči, vendar moramo skrb za okolje, v katerem živimo v prihodnosti postaviti na pravo mesto (Jurkovnik, 2001).

V evoluciji so se rastline prilagodile na prisotnost občasnih manjših količin prizemnega ozona in drugih fotoooksidantov, ki so naravnega izvora. Fotoooksidante, ki prodrejo v celice, nevtralizirajo z različnimi zaščitnimi snovmi (askorbinska kislina, glutation, tioli, poliamini, fenoli, antociani, stesni proteini, karotenoidi idr.), ki delujejo kot lovilci radikalov, in z encimskimi sistemi, ki uničujejo proste radikale. S tem preprečujejo verižne destrukcije (oksidacijo) membran in drugih sestavnih delov citoplazme (npr. kloroplast) (Batič in sod., 1999). Organski radikali nastanejo kot posledica vstopa ozona v notranjost celičnega tkiva. So nestabilni, močni, reaktivni produkti, ki so organizmom škodljivi.

Preko selekcije pa smo do danes pridobili že nekaj gensko bolj odpornih rastlin proti ozonu (krompir, bombaž, lucerna, sladkorna pesa in fižol) (Jurkovnik, 2001).

Za zaščito pred onesnažili poznamo tudi nekatera kemična sredstva (fungicid Benomyl, spojina EDU) (Jurkovnik, 2001).

### 3 MATERIAL IN METODE DELA

Znotraj programa ICP Vegetation obstaja protokol (Experimental protocol for monitoring the incidences of ozone injury on vegetation 2006) po katerem smo izvedli naš poskus. Protokol določa način gojitve in vzdrževanja indikatorskih rastlin, indentifikacijo vidnih ozonskih poškodb in drugače povzročenih poškodb (poškodbe žuželk, polžev, ptičev...), predpisuje neobvezen del opazovanja poškodb drugih rastlin (naravna vegetacija, kmetijski pridelki), navaja stalno izpostavljenost rastlin ozonu s časovnimi presledki in meritve biomase ter po možnosti tudi dodatne meritve fizioloških procesov v rastlinah in analize njihovih organov.

#### 3.1 MATERIAL

##### 3.1.1 Rastlinski material

V našem poskusu smo za bioindikacijo troposferskega ozona uporabili potaknjence indikatorske rastline, na ozon občutljive ('NC- S') in na ozon odporne klone ('NC- R') plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Regal'), ki smo jih dobili od koordinacijskega centra iz Bangor-ja v Angliji.

##### 3.1.2 Preostali material

- plastični lonci (11 in 15 l) z drenažnimi odprtinami v dnu
- namakalne vrvice
- mešanica prsti za sajenje lončnic s primešano vrtno prstjo in umetno gnojilo (počasi sproščajoče)
- 10 % raztopina kloroksa
- velike škarje
- papirnate vrečke za shranjevanje vzorcev
- tehtnica
- zvezek za vodenje poskusa
- monitoring oprema (računalnik)

#### 3.2 METODE DELA

##### 3.2.1 Lokacija izpostavitve

Poskus je potekal v Ljubljani od sredine maja do konca septembra v letu 2006. Mesto izpostavitve je bilo na poskusnem polju Biotehniške fakultete, Oddelka za agronomijo. Gre za urbano okolje, kjer je stalen dotok dušikovih oksidov (glavni porabnik ozona) in je zaradi tega možnost nastanka ozona manjša ter manjši delež vidnih poškodb na detelji.

Kot navaja protokol ICP Vegetation je parcela, kjer se je izvajal naš poskus ležala 200 m stran od glavnih cest in 50 m od infrastrukture. Obenem se je nahajala na taki lokaciji, kjer so bile možne stalne meritve meteoroloških parametrov in meritve polutantov zraka.



Za zaščito proti ptičem, zajcem in ostalim živalim, ki se hranijo z deteljo je bila poskusna parcela ograjena. Okoli nje pa se je razširjal pas nepokošene trave, ki je preprečeval dostop raznega prahu do detelje.

### 3.2.2 Osnovanje (ukoreninjenje) rastlin v rastlinjaku

Po prejetju potaknjencev iz koordinacijskega centra smo te posadili v litrske lonce, napolnjene z mešanico prsti in umetnega gnojila ter jih ukoreninili v rastlinjaku.

### 3.2.3 Izpostavitvev rastlin naravnemu okolju in njihova oskrba

Po preteku 28 dni smo ukoreninjene potaknjence različnih klonov iz rastlinjaka presadili v petnajst litrske lonce. Plazeča detelje raste s stoloni, ki se ukoreninjajo, zato je potrebna tako velika površina lonca. Ta zadošča tudi za tri do pet mesečno rast detelje brez presajanja v večje lonce. Na dnu loncev smo naredili luknje skozi katere smo napeljali namakalne vrvice, po katerih so kasneje rastline črpale vodo iz vodnega rezervoarja oziroma spodnjega lonca. Tako pripravljene rastline smo izpostavili naravnim razmeram na našo poskusno parcelo, in sicer 12.5.2006. Ta dan predstavlja tudi prvi dan poskusa. Nato je sledilo 28 dnevno osnovanje rastlin pred 1 žetvijo.

Lonce z rezervoarjem smo pogreznili v tla (zmanjšuje segrevanje) in jih razporedili v štiri vrste (A, B, C, D) po deset loncev, kjer sta si izmenično sledila občutljiv in neobčutljiv klon detelje. Razdalja med vrstami je znašala en meter, razdalja med lonci v vrsti pa pol metra.

D     S R S R S R S R S R

C     R S R S R S R S R S

B     S R S R S R S R S R

A     R S R S R S R S R S

Za zaščito pred polži smo za mlade rastlinice uporabili limacid (Mesurol granulat, Limax). Kasneje so nam predstavljale večji problem navadne pršice (*Tetranychus urticae* Koch), katere smo zatirali z akaracidom (Vertimec). Opažene so bile tudi listne uši (*Nearctaphis bakeri* Cowen), listni zavrtači (*Liriomyza trifolii* Burgess), škržati (*Cicadella viridis* Linnaeus) in stenice (*Halticus apterus* Linnaeus), vendar niso ogrožali detelje v taki meri, da bi tretirali s posebnimi kemičnimi sredstvi. Redno smo odstranjevali tudi plevel iz loncev. Po potrebi smo detelje tudi dodatno zalivali.

### 3.2.4 Opazovanje poškodb troposferskega ozona na detelji

Vidne ozonske poškodbe smo opazovali in ocenjevali enkrat tedensko na isti dan in tudi pred vsako žetvijo rastlin.

Simptomi se najprej kažejo na zgornjih listih, saj so ti najbolj izpostavljeni ozonu. Tipične poškodbe listov plazeče detelje so točkaste belo do blede rumene kloroze, ki kasneje lahko preidejo v rjavo rdeče nekroze (Batič in sod., 1999). Gre za enakomerne poškodbe po celotni listni ploskvi, ki se kažejo v obliki belih pikic in se nahajajo med stranskimi listnimi žilami ter so manj goste ob glavnih listnih žilah.

Za vsak lonec smo ocenjevali stopnjo poškodovanosti listov s pomočjo naslednje lestvice:

0	ni poškodb
1	zelo neznatne poškodbe; pojav prvih simptomov
2	neznatne poškodbe; 1–5 % listov z neznatnimi poškodbami
3	zmerne poškodbe; 5–25 % poškodovanih listov
4	močne poškodbe; 25–50 % poškodovanih listov
5	zelo močne poškodbe; 50–90 % poškodovanih listov
6	popolna poškodovanost; 90–100 % poškodovanih listov

Poleg lestvice ocenjevanja ozonskih poškodb smo za vsak lonec z deteljo še dodatno zabeležili naslednje parametre:

H	zdrava
S	zakrnela
D	bolna
I	poškodbe žuželk
SL	poškodbe polžev
A	poškodbe živali
V	viroze

Poleg poskusnih rastlin smo v bližini poskusne parcele opazovali tudi morebitne poškodbe ozona na avtohtonih rastlinah, ki pa jih nismo zasledili.

### 3.2.5 28 dnevna žetev detelje

Bela detelja sama po sebi raste zelo hitro. Z rezjo na vsakih 28 dni smo povzročili rast novih listov in s tem tudi nove ozonske poškodbe.

28 dni po izpostavitvi rastlin na prosto smo najprej poželi vrsto A in B, nato pa čez 14 dni še vrsto C in D. Vse skupaj smo (v razmiku 14 dni med vrstama A, B ter C, D) ponavljali toliko časa, da smo imeli na koncu štiri žetve vseh vrst. Po rezi vsakega lonca smo škarje razkužili z 10 % raztopino kloroksa, da smo preprečili širjenje morebitnih virusov iz rastline na rastlino. Nadzemni del rastlinske biomase (liste, cvetove, stolone) smo porezali na približno 7 cm nad površino zemlje v loncu ter dali v papirnate vrečke (ločeno po loncih), ki smo jih primerno označili. Obenem smo po vsaki rezi odstranili vse poškodovane liste, da nismo zamenjali z novo nastalimi poškodbami v naslednjih opazovanjih; teh nismo dodali k ostali biomasi. Sledilo je sušenje na 30 °C do stalne teže,

nato pa smo stehali posušeno biomaso na dve decimalki natančno. Podatek o suhi teži nam je pokazal kako se je le ta spreminjala zaradi vpliva ozona na prirast rastlin.

### 3.2.6 Klimatske razmere in meritve polutantov

Vpliv podnebnih parametrov čez dan je tesno povezan z velikimi koncentracijami ozona. To so temperatura zraka v območju 25-35°C, velika svetlobna intenziteta, majhna relativna zračna vlaga z nič ali majhno količino padavin, mirni dnevi z majhnim ali zmernim vetrom 0-15 km/h (Heggstad in Bennet, 1984). Posledično se bo zaradi teh parametrov povečal procent poškodovane listne ploskve in število poškodovanih listov.

Vremenske podatke za temperaturo zraka, relativno zračno vlago, sevanje, padavine, hitrost in smer vetra ter za onesnažila v zraku (ozon, žveplov dioksid, dušikov dioksid in dušikov oksid) nam je posredovala Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO).

Vremenske podatke in koncentracije onesnažil ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) smo ponazorili po dnevih in v urnih povprečjih. Za ozon smo izračunali še dnevne vrednosti AOT 40 ppb (seštevek koncentracij ozona v svetli polovici dneva, ki presegajo mejno vrednost 40 ppb oziroma delcev na bilion).

Poznamo dve kritični meji ozona nad mejo 40 ppb.

1. Kritična meja za zmanjšanje pridelka pri kmetijskih rastlinah in naravni vegetaciji, predstavlja 3000 ppb.h nad 40 ppb akumuliranega ozona med svetlimi urami dneva v obdobju treh mesecev, ko so rastline najbolj občutljive na ozon. Za naše območje je to junij, julij in avgust.
2. Kritična meja za vidne poškodbe, predstavlja 700 ppb.h nad 40 ppb akumuliranega ozona med svetlimi urami dneva v obdobju treh zaporednih dni.

### 3.3 OBDELAVA PODATKOV

Vse podatke smo obdelali in prikazali v obliki grafov z računalniškim programom Microsoft Excel.

#### 3.3.1 Opazovanja ozonskih poškodb na plazeči detelji

Podatke za tedenska opazovanja poškodb, občutljivih in odpornih klonov detelje, smo preračunali v povprečno stopnjo poškodovanosti listov. Za vsako opazovanje smo izračunali tudi povprečno standardno deviacijo. Rezultate smo prikazali v obliki grafov z zgoraj omenjenim programom.

#### 3.3.2 Meritve podnebnih parametrov in zračnih onesnažil

Podatke, ki nam jih je posedovala Agencija Republike Slovenije za okolje, za podnebne parametre ter zračna onesnažila smo preračunali v dnevna povprečja. Podatke dnevnih povprečij za ozon smo najprej pretvorili iz enote  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  v enoto ppb ( $\text{ppb} = (\mu\text{g}/\text{m}^3) / 2$ ) in

nato preračunali v dnevne vrednosti AOT 40. AOT 40 vrednosti smo izračunali tako, da smo seštevali urno koncentracijo ozona, ki je presegala 40 ppb svetlega dela dneva, od 6 do 19 ure. Dobljene vrednosti smo prikazali grafično v obdobju našega opazovanja.

### **3.3.3 Meritve biomase**

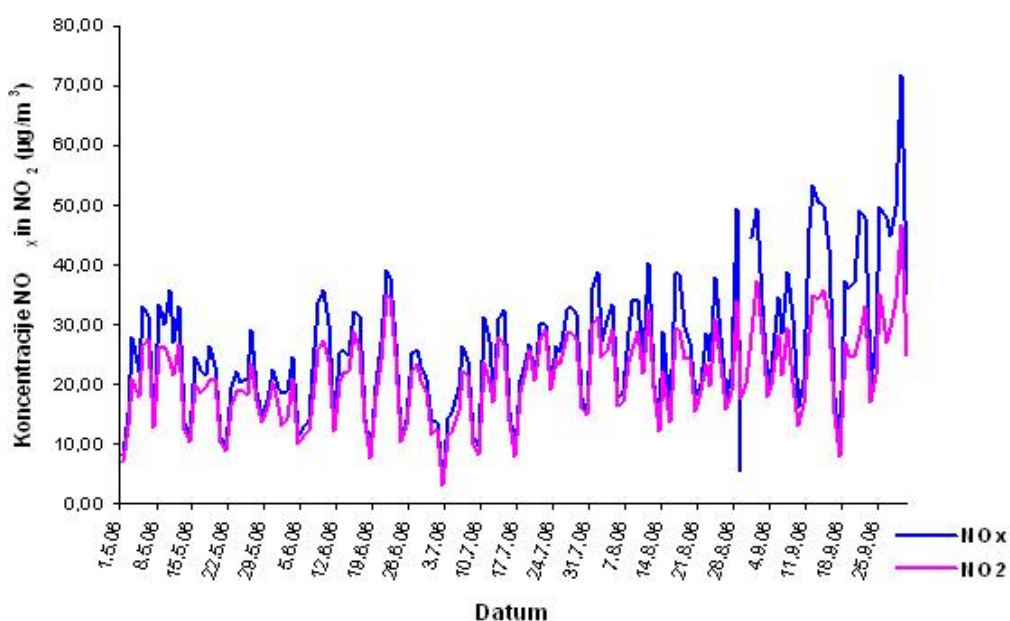
Podobno kot za podatke poškodb smo tudi za biomaso (suho težo) izračunali povprečno vrednost ter standardno deviacijo za občutljive in odporne klone, in sicer za vsako žetev posebej. Dobljene rezultate smo prikazali še grafično.

## 4 REZULTATI

Podatke o meritvah meteoroloških parametrov in polutantov zraka v Ljubljani za leto 2006 smo dobili preko Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO), kjer so podatki statistično obdelani v mesečnih in letnih poročilih.

Za primerjavo rezultatov smo uporabili podatke iz poskusnega mesta Iskrba pri Kočevski Reki, kjer je to leto potekal še en poskus z plazečo deteljo (*Trifolium repens* 'Regal') (Lesar, 2007).

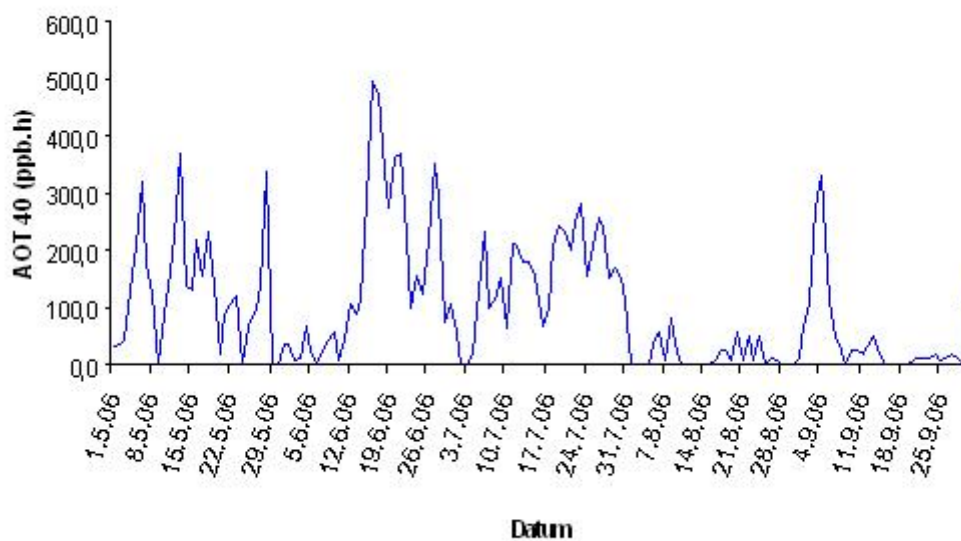
### 4.1 REZULTATI MERJENJA ZRAČNIH POLUTANTOV IN METEOROLOŠKIH PARAMETROV



Slika 1: Povprečne dnevne koncentracije  $\text{NO}_x$  in  $\text{NO}_2$  od maja do septembra v Ljubljani leta 2006 (Podatki..., 2007)

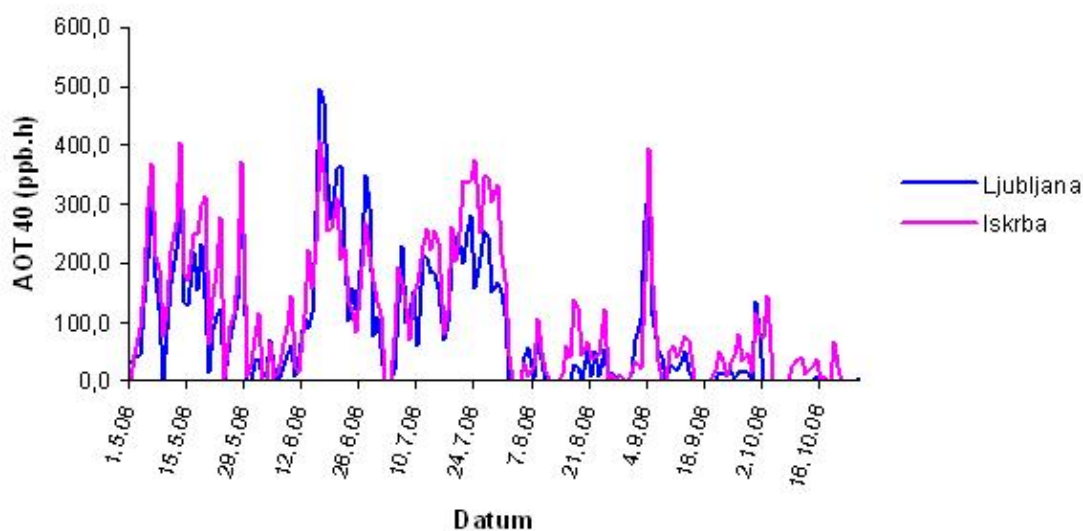
Pri nastajanju in porabljanju ozona sodelujejo dušikovi oksidi in jih zato označujemo kot predhodnike in porabnike ozona. K njihovim emisijam največ prispeva promet.

Iz slike 1 lahko razberemo, da je bila v Ljubljani koncentracija dušikovih oksidov ( $\text{NO}_x$ ) nekoliko večja od koncentracije dušikovih dioksidov ( $\text{NO}_2$ ), oziroma je bila koncentracija predhodnikov ozona nekoliko manjša kot koncentracija porabnikov. Iz tega sledi manjša tvorba ozona.



Slika 2: Koncentracije ozona izražene kot vrednosti AOT 40 (ppb.h) v času trajanja poskusa v Ljubljani v letu 2006 (Podatki..., 2007)

Povprečne dnevne koncentracije ozona smo preračunali v dnevne vrednosti AOT 40, ki ponazarjajo seštevek koncentracij ozona nad 40 ppb v svetlem obdobju dneva. V Ljubljani so bile največje vrednosti AOT 40 v sredini junija. Nekoliko manjše a še vedno visoke so bile tudi v začetku maja, skoraj cel julij ter v začetku septembra.



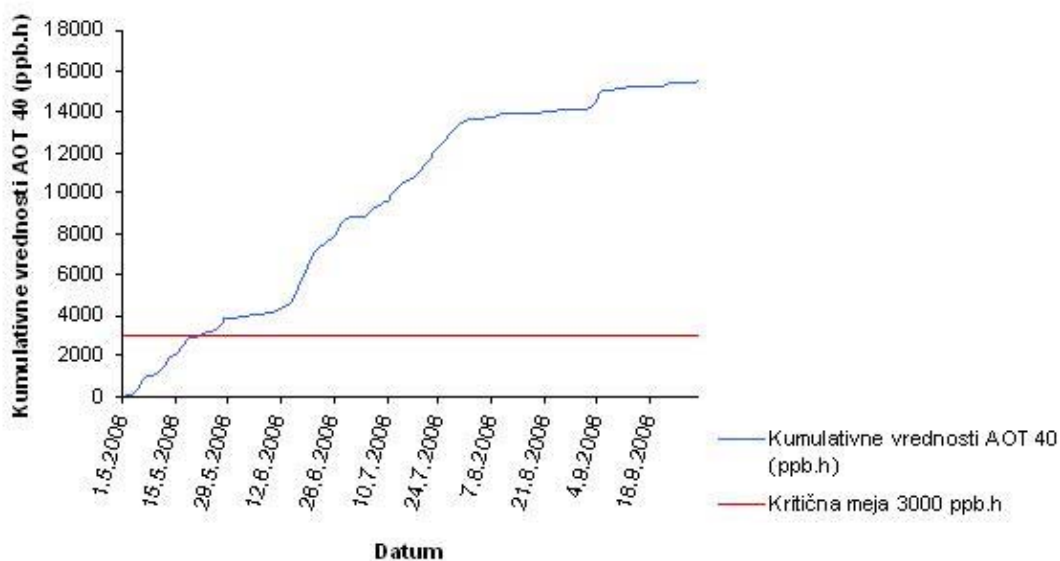
Slika 3: Koncentracije ozona izražene kot vrednosti AOT 40 (ppb.h) v času trajanja poskusa v Ljubljani in Iskrbi v letu 2006 (Podatki..., 2007)

Slika 3 prikazuje, da so bile vrednosti AOT 40 na obeh poskusnih mestih podobne, vendar s to razliko, da so bile skoraj vedno nekoliko večje v Iskrbi.

Preglednica 1: Vrednosti AOT 40 v juniju, juliju in avgustu za Ljubljano in Iskrbo v letu 2006

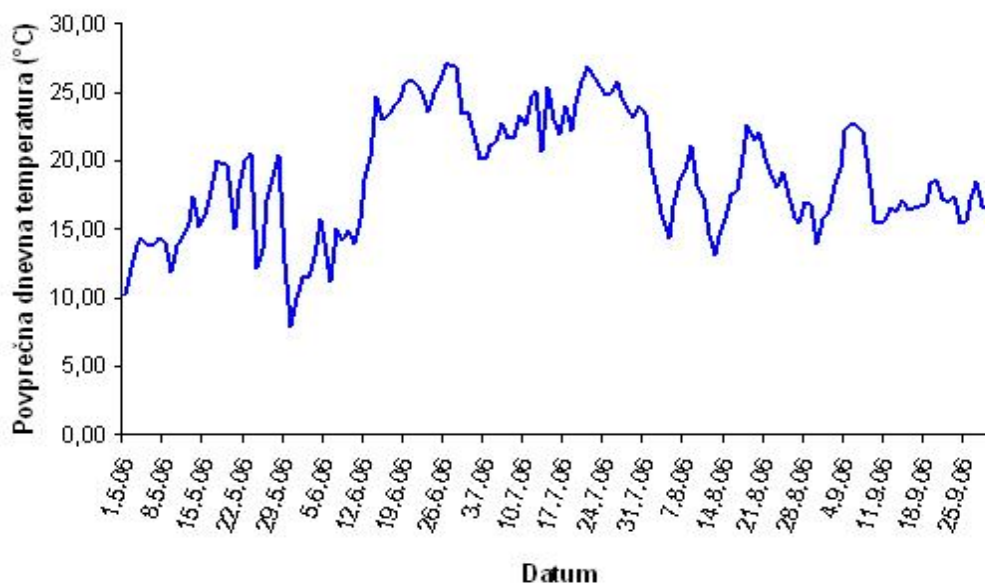
Mesec	AOT 40 Ljubljana	AOT 40 Iskrba
Junij	4883,4	4602,5
Julij	4830,7	6503,7
Avgust	492,3	1063,4
Skupaj	10206,4	12169,6

Kritična meja AOT 40 za poljščine oziroma zmanjšanje pridelka znaša 3000 ppb.h, v obdobju treh mesecev (junij, julij in avgust), ko so rastline najbolj občutljive na ozon. Ta meja je bila zelo prekoračena v Ljubljani, kot tudi v Iskrbi, s to razliko, da je bila vsota AOT 40 nekoliko večja v Iskrbi. Iz tega lahko predvidevamo, da je bilo zmanjšanje pridelka v Iskrbi večje kot pa v Ljubljani.

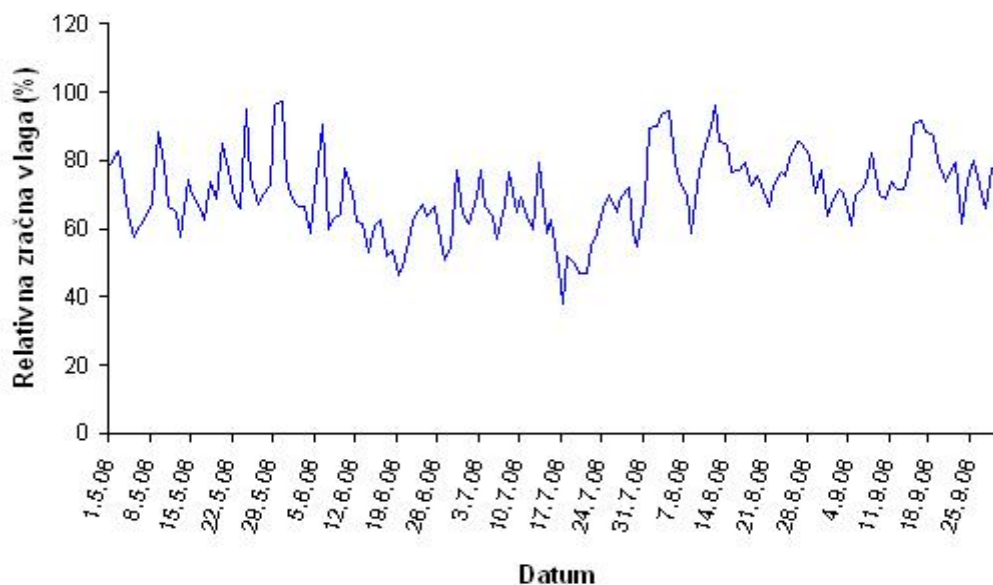


Slika 4: Kumulativne vrednosti AOT 40 (ppb.h) in kritična meja za zmanjšanje pridelka pri kmetijskih rastlinah in naravni vegetaciji (3000 ppb.h), od maja do septembra v Ljubljani v letu 2006 (Podatki..., 2007)

Kritična meja 3000 ppb.h za zmanjšanje pridelka pri kmetijskih rastlinah in naravni vegetaciji, je bila v Ljubljani, v času trajanja poskusa, presežena 21.5.2006. Približno po enem tednu od tega dneva smo na listih detelje opazili prve poškodbe, zaradi katerih se je začelo tudi zmanjšanje pridelka.



Slika 5: Povprečna dnevna temperatura zraka (°C) od maja do septembra v Ljubljani v letu 2006 (Podatki..., 2007)

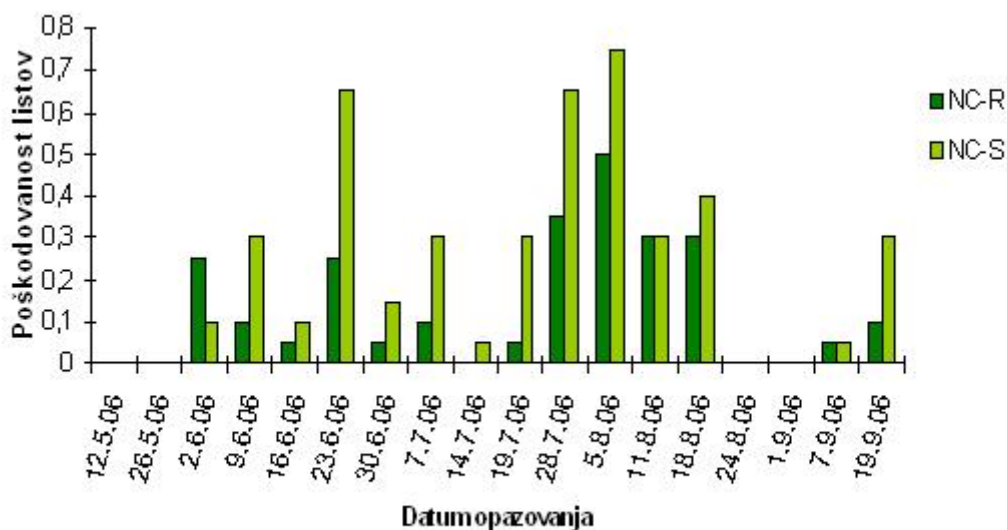


Slika 6: Povprečna dnevna relativna zračna vlaga (%) od maja do septembra v Ljubljani v letu 2006 (Podatki..., 2007)

Najvišje povprečne dnevne temperature so bile v drugi polovici junija in julija. Povprečna dnevna relativna zračna vlaga pa je bila takrat najmanjša. Če primerjamo med seboj slike 2, 5 in 6 lahko vidimo, da so bile vrednosti AOT 40 večje, tam kjer so bile višje dnevne temperature ter manjša dnevna zračna vlaga.

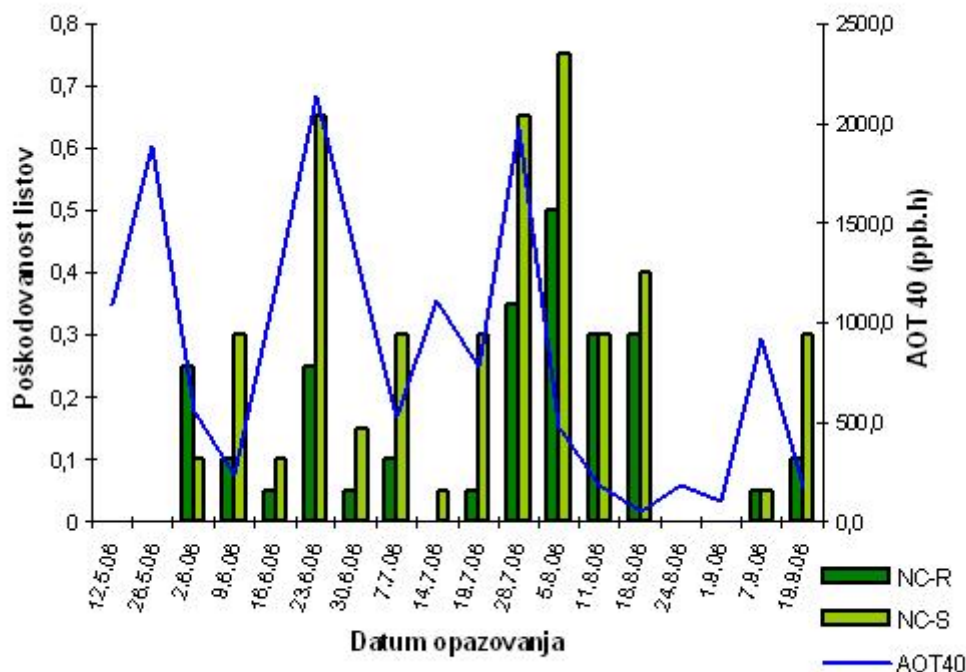


#### 4.2 REZULTATI OPAZOVANJA OZONSKIH POŠKODB NA DETELJI



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

Na začetku opazovanja, takoj po izpostavitvi rastlin naravnim razmeram, še ni bilo opaziti poškodb. Kasneje, ko so se poškodbe začele pojavljati, se je izkazalo, da so bili najbolj prizadeti občutljivi kloni detelj, kar je bilo tudi za pričakovati. Največje poškodbe so bile junija, julija ter avgusta.

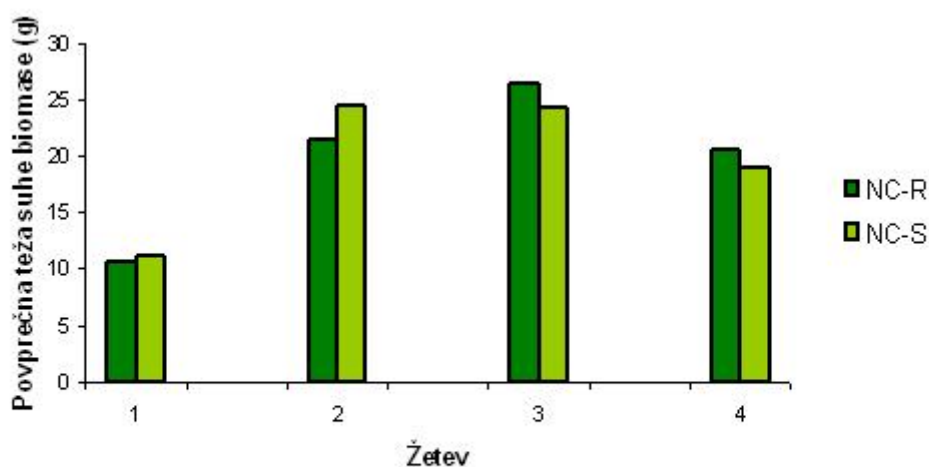


Slika 8: Primerjava vrednosti AOT 40 (Podatki..., 2007) s poškodovanostjo listov odpornih (NC-R) in občutljivih (NC-S) klonov plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Regal') v Ljubljani v letu 2006

Z opazovanjem poškodb na detelji smo začeli sredi maja 2006, ko so bile koncentracije ozona že kar velike, vendar poškodb še ni bilo opaziti. Verjetno rastline še niso imele dovolj razvite listne površine na katero bi lahko ozon vplival. Največje vrednosti AOT 40 so bile v sredini junija in na koncu julija, čemur je bila poškodovanost listov tudi primerna. Avgusta so bile koncentracije ozona najmanjše, vendar je bila v tem obdobju ponekod še vidna poškodovanost. Septembra, ko je poskus šel proti koncu, so poškodbe in koncentracije ozona sovpadale.

#### 4.3 REZULTATI MERJENJA BIOMASE

Biomaso smo poželi po navodilih, ki so navedena v protokolu za ICP Vegetation 2006. Na poskusnem mestu smo imeli rastline izpostavljene v štirih vrstah (A, B, C, D) po deset loncev. Po izpostavitvi rastlin naravnim razmeram smo po 28 dneh najprej poželi vrsti A in B, nato pa čez 14 dni še vrsti C in D. Žetev vrst (A, B skupaj in C, D skupaj) smo nato nadaljevali v razmaku 14 dni. Na koncu smo dobili štiri žetve vsake vrste oziroma štiri žetve na ozon odpornega ('NC- R') in občutljivega ('NC- S') klona plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Regal'). Žetve so bile opravljene: 9.6., 7.7., 5.8. in 1.9. Po vsaki žetvi vsake vrste smo porezano biomaso posušili ter stehali.



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

Kot je razvidno iz slike 9 so se pri vseh štirih žetvah pokazale razlike v biomasi med odpornimi in občutljivimi kloni plazeče detelje. Pri prvi in drugi žetvi je bila biomasa občutljivih klonov večja od odpornih klonov, pri tretji in četrti žetvi pa manjša. Najmanjši prirast biomase je bil pri prvi žetvi. Vzrok temu je lahko počasna začetna rast rastlin. Največji prirast biomase pa je bil pri tretji žetvi. Verjetno so k temu prispevale ugodne vremenske razmere.

## 5 RAZPRAVA IN SKLEPI

### 5.1 RAZPRAVA

V Sloveniji se pretežno ukvarjamo z živinorejo, zato večji del kmetijskih površin pokriva travinja. Tam zaradi ugodnih podnebnih razmer dobro uspeva plazeča detelja (*Trifolium repens* L.), tako v visokogorju kot tudi v nižini. Ravno zaradi tega je plazeča detelja kot bioindikator tipična predstavnica travniške vegetacije pri nas. Izkazalo pa se je, da plazeča detelja ravno ni najboljši bioindikator ozona v območjih, kjer je podnebje bolj vroče in suho. V takih razmerah detelja zapre listne reže, ozon ne more prodreti v rastlino in s tem ne pride do vidnih poškodb na listih. Povzamemo lahko, da plazeča detelja ni najbolj primerna rastlina za bioindikacijo troposferskega ozona pri vseh udeležencih ICP Vegetation programa.

Troposferski ozon nastaja pod vplivom predhodnikov ozona in klimatskih parametrov. Poskusno polje Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete v Ljubljani predstavlja mestno okolje, kjer je dotok dušikovih oksidov (glavni porabnik ozona) stalen zaradi prometa, kar pomeni, da je tu koncentracija porabnikov ozona večja od koncentracije predhodnikov (slika 1) in zaradi tega je tvorba ozona tudi manjša. Iskrba pri Kočevski Reki pa je ruralno okolje kamor ozon večinoma prihaja z daljinskim transportom. Tu je prometa manj in s tem tudi dušikovega oksida oziroma porabnika ozona, zato je tvorba ozona večja. Slika 3 dokazuje, da je bila tvorba ozona nekoliko večja v Iskrbi kot v Ljubljani, kljub temu, da so si bile vrednosti AOT 40 na obeh poskusnih mestih podobne. Znano je, da se velike koncentracije ozona pojavljajo ob lepih, mirnih dnevih z visoko temperaturo zraka (25-35°C), intenzivnim sončnim sevanjem in majhno relativno zračno vlago. Take vremenske razmere in s tem tudi največje vrednosti AOT 40 so bile v Ljubljani v sredini junija. Velike vrednosti AOT 40 so bile še na začetku maja, julija ter na začetku septembra.

Glede na rezultate iz preteklih raziskav o vplivu troposferskega ozona na plazečo deteljo (*Trifolium repens* L.) na istih poskusnih mestih kot leta 2006 (Džuban, 2001), smo ugotovili, da so bile vrednosti AOT 40 prav tako nekoliko večje na poskusnem mestu Iskrba, kot na poskusnem mestu Ljubljana. Vendar pa se te razlike v koncentracijah ozona med urbanim in ruralnim okoljem vedno bolj spreminjajo oziroma postajajo podobne zaradi vse večjega onesnaženja ozračja tudi na podeželju (Jurkovnik, 2001). V Ljubljani, leta 2000 (Džuban, 2001) in leta 2001 (Džuban, 2002) so bile prav tako izmerjene največje koncentracije troposferskega ozona v mesecu juniju in juliju, kot leta 2006. V tem času so bile opažene tudi največje poškodbe na listih detelje.

Iz diplomskega dela (Lesar, 2007), ki je zajemal podobno raziskavo v letu 2006 v Iskrbi, smo razbrali, da je bila stopnja poškodovanosti listov detelje v Ljubljani manjša kot pa v Iskrbi. Najbolj verjeten razlog tiči v tem, da je bilo poskusno mesto v Ljubljani izpostavljeno manjšim koncentracijam ozona, kot pa poskusno mesto v Iskrbi. Vemo tudi, da je bila v Ljubljani relativna zračna vlažnost manjša ter temperature zraka višje, zaradi česar bi lahko rastline zaprle svoje listne reže in s tem onemogočile dostop ozona v rastline. Pomembno pa je tudi dobro prepoznavanje ozonskih poškodb, saj lahko kaj hitro zamenjamo z podobnimi poškodbami, ki jih povzročajo žuželke in drugi vremenski dejavniki. Na obeh poskusnih mestih, ko smo rastline izpostavili naravnim razmeram, so

bile koncentracije ozona že dovolj velike. V tem obdobju je do začetnih poškodb prišlo samo v Iskrbi, medtem ko jih v Ljubljani še nismo zasledili. Verjetno so rastline v Ljubljani rabile malo več časa za osnovanje listne biomase na prostem, da bi bila izpostavljena učinkom ozona. Kasnejša poškodovanost je v večini sovpadala z vrednostim AOT 40 (slika 8). V Ljubljani so bili najbolj poškodovani občutljivi kloni detelje, v Iskrbi pa so bile opažene večje poškodbe tudi pri odpornih klonih.

Na prirast detelje so v Ljubljani vplivali različni dejavniki, kot so vremenske razmere, koncentracije ozona, rastna faza rastlin, rastlinski škodljivci in bolezni ter založenost lončnega medija z hranili potrebnim rastlinam. Prirast biomase je bil najmanjši po prvi žetvi. K temu je verjetno pripomoglo začetno osnovanje (ukoreninjenje, prilagoditev naravnim razmeram) rastlin ter počasnejša začetna rast rastlin. V tem času so bile tudi koncentracije ozona že velike. Največji prirast biomase je bil po tretji žetvi. Detelja je bila v polni fazi cvetenja. Koncentracije ozona so bile še velike, a manjše kot v obdobju pred drugo žetvijo, ko so bile največje. Tudi vremenske razmere so bile nekoliko ugodnejše v tem času (večja relativna zračna vlaga, več padavin). Nato je sledila še četrta žetev z manjšim prirastom, ker je detelja prehajala v fazo po cvetenju. Kljub temu, da so bili občutljivi kloni veliko bolj prizadeti, je bila njihova prirast biomase po prvi in drugi žetvi večja od prirasta biomase odpornih klonov. Namreč znano je, da je pojavljanje poškodb pri občutljivih klonih relativno neodvisno od prirastka biomase. Razlike so se pojavile najverjetneje zaradi neizenačene rasti med kloni, saj je bila v nekaterih loncih opažena manjša rast plazeče detelje.

Od škodljivcev plazeče detelje nam je večji problem predstavljala navadna pršica (*Tetranychus urticae* Koch). Največ poškodb v obliki rumenih pikic na listih (posledice sesanja) je bilo opaziti junija ter julija. V tem času se pršice tudi najbolj pojavljajo. Zatirali smo jih z akaracidom Vertimec.

V obdobju treh mesecev (junij, julij in avgust) so rastline najbolj občutljive na ozon. Za to obdobje je bila na obeh lokacijah kritična meja AOT 40 za zmanjšanje pridelka pri kmetijskih rastlinah in naravni vegetaciji (3000 ppb.h) močno prekoračena. V Ljubljani je ta vrednost znašala 10206,4 ppb.h, v Iskrbi pa je bila nekoliko višja in sicer 12169,6 ppb.h. Iz tega sledi, da pričakujemo tudi večje zmanjšanje pridelka v Iskrbi kot v Ljubljani. V celotnem obdobju trajanja našega poskusa v Ljubljani, je bila ta meja prekoračena 21.5.2006, torej že na začetku poskusa. Posledično je s tem povezano tudi zmanjševanje pridelka.

Opazovanje in ocenjevanje vidnih ozonskih poškodb na listih plazeče detelje terja veliko pozornost in poznavanje poškodb, saj lahko kaj hitro pride do zamenjave s poškodbami, ki so posledica drugih dejavnikov (biotskih in abiotskih). Do nepravilnosti pri ocenjevanju ozonskih poškodb prihaja predvsem zato, ker se opazovalci v raziskavah pogosto menjavajo. Ravno zaradi tega so tovrstna ocenjevanja poškodb lahko nekoliko subjektivna. Dobljeni rezultati so tako dvomljivi in z njimi ne moremo podati zanesljivih zaključkov. Dobro bi bilo, če bi imeli manjšo skupino ljudi, ki bi imeli za to področje ustrezno znanje in usposobljenost. Sam poskus pa bi bilo potrebno izvajati vsako leto oziroma več let zaporedoma in v istem časovnem obdobju, da bi tako dobili boljši vpogled na dogajanje v ozračju in njegov vpliv na okolje.

## 5.2 SKLEPI

- Plazeča detelja se kot bioindikator ni najboljše izkazala v suhih in vročih podnebjih, zato v takih področjih ni najboljša rastlina za bioindikacijo troposferskega ozona.
- Znano je, da so koncentracije ozona na podeželju v povprečju dvakrat večje kot pa v mestih. Kljub temu pa so v poletnih mesecih velike tudi v mestih, zaradi česar so primerljive z podeželskimi.
- Iz dobljenih podatkov in rezultatov lahko sklepamo, da so koncentracije troposferskega ozona v Sloveniji že dovolj velike, da lahko škodujejo rastlinam.
- Glede na podobne raziskave iz preteklih let in glede na našo raziskavo v letu 2006, na poskusnem mestu v Ljubljani, lahko razberemo, da se največje koncentracije troposferskega ozona in posledično tudi največje poškodbe na plazeči detelji pojavljajo v mesecih junij ter julij.
- Da bi prišli do čim bolj optimalnih rezultatov pri ocenjevanju poškodb troposferskega ozona na plazeči detelji, bi tovrstne raziskave morali opravljati ljudje, ki imajo na tem področju že izkušnje in pridobljeno znanje. Na ta način bi dobili bolj realne rezultate in zaključke. Dobra bi bila tudi razširitev raziskave v smislu večjega števila poskusnih mest na različnih lokacijah z različnimi rastlinskimi bioindikatorji in boljše ter večje število merilnih postaj (obširnejše meritve klimatskih parametrov ter polutantov).

## 6 POVZETEK

V zemeljski atmosferi se nahajata dve obliki ozona. Ozonska plast v stratosferi zadržuje nevarno ultravijolično sevanje sonca ter varuje organizme na zemlji. Ozon v prizemni plasti troposfere pa ogroža zdravje ljudi in živali, povzroča poškodbe ter zmanjšuje pridelek naravnih in kmetijskih rastlin. Nastaja iz predhodnikov ozona (lahko hlapni ogljikovodiki, ogljikov oksid, dušikovi oksidi), katerih izvor je predvsem promet ter industrija. Zrak pa ga lahko prenaša tudi daleč na okoli. Ker se koncentracije prizemnega ozona vedno bolj povečujejo in postaja to problem po vsem svetu, izvaja WGE v okviru Konvencije o onesnaževanju zraka na velike razdalje (CLRTAP), mednarodni program ICP Vegetation. Gre se za raziskavo o vplivu zračnih onesnažil (predvsem troposferskega ozona) na naravno vegetacijo ter kmetijske rastline. V to raziskavo je Slovenija vključena že od leta 1995. V okviru te raziskave je tudi moja diplomska naloga, ki temelji na spremljanju vpliva troposferskega ozona v letu 2006.

Poskus je potekal po navodilih programa ICP Vegetation, od sredine maja do konca septembra v letu 2006. Vpliv troposferskega ozona smo ugotavljali s kloni plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Regal'), občutljivimi na ozon ('NC- S'), in kloni, neobčutljivimi na ozon ('NC- R'). Je glavna poskusna rastlina pri vseh udeležencih ICP Vegetation programa v Evropi. Rastline smo izpostavili na poskusnem polju Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete v Ljubljani. To je urbano okolje, kjer je veliko prometa in s tem tudi stalen dotok dušikovih oksidov, ki so glavni porabniki ozona. Zaradi tega naj bi bile koncentracije ozona manjše kot pa v ruralnem okolju, kjer je prometa manj. Nastale ozonske poškodbe smo opazovali ter ocenjevali enkrat tedensko. Te so se pojavljale predvsem na zgornjih listih v obliki belih pikic. Na vsakih 28 dni smo izvajali tudi žetev rastlin, saj smo z novimi listi zagotovili nastanek novih poškodb in obenem merili prirastek rastlin. Opravljene so bile štiri žetve. Ker na nastanek ozona vplivajo tudi vremenski parametri in zračni polutanti, smo podatke zanje dobili od Agencije Republike Slovenije za okolje, ki izvaja tovrstne meritve. Te podatke ter rezultate poskusa smo na koncu primerno obdelali ter prikazali v obliki grafov z računalniškim programom Microsoft Excel.

V letu 2006 je v Iskrbi pri Kočevski Reki potekal še en podoben poskus s plazečo deteljo. Gre za ruralno okolje kamor ozon prihaja predvsem z daljinskim transportom in kjer je manj prometa (manj porabnikov ozona). Tamkajšnje rezultate smo primerjali z našimi v Ljubljani ter ugotovili, da so bile koncentracije ozona na obeh poskusnih mestih velike in podobne oziroma v Iskrbi so bile malo večje. Vrednosti kritične meje AOT 40 za poljščine so bile na obeh lokacijah močno presežene, kar vodi do zmanjšanja pridelka. Ozonske poškodbe na detelji so bile v Iskrbi večje. V Ljubljani so bili najbolj poškodovani listi občutljivih klonov detelje, v Iskrbi pa je bilo ravno obratno. Vpliv ozona smo lahko zasledili tudi na prirastu rastlin. Ta je bil manjši ob večjih koncentracijah ozona.

Iz tovrstnih poskusov lahko vidimo, da so koncentracije prizemnega ozona v Sloveniji že dovolj velike in da predstavljajo grožnjo naravni vegetaciji in kmetijskim rastlinam. Nevarnost preti tudi ljudem in drugim organizmom. Troposferski ozon večinoma nastaja zaradi onesnaženja ozračja, ki ga človek povzroča z prometom in industrijo. V prihodnje bi bilo potrebno onesnaževanje zmanjševati, vendar menim, da ljudje kljub že prisotnim posledicam, na prvo mesto postavljajo še vedno sebe in svoje potrebe ne pa okolja.

## 7 VIRI

### 7.1 CITIRANI VIRI

- Batič F., Celar F., Ciglar R., Milevoj L., Vičar M. 1999. Bioindikacija prizemnega ozona. Priročnik za naravoslovne krožke in interesne dejavnosti v šoli. 1. natis. Ljubljana, Zavod republike Slovenije za šolstvo: 168 str.
- Bienelli A. 1997. Vpliv fotooksidantov na rast in razvoj izbranih vrst kmetijskih rastlin na območju Zasavja. Diplomsko naloga. Ljubljana, BF, Oddelek za biologijo: 87 str.
- Džuban T. 2001. Izvrednotenje indikacijskih vrednosti klonov plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Regal') za sledenje fotooksidantov v Sloveniji. Raziskovalna naloga. Ljubljana, BF, Oddelek za agronomijo: 49 str.
- 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.
- Heggestad H. E., Bennett J. H. 1984. Impact of atmospheric pollution on agriculture. V: Air pollution and plant life. Treshow M. (ed.). New York, John Wiley & Sons: 357 – 397
- ICP vegetation experimental protokol for monitoring the incidences of ozone injury on vegetation 2006. 2006. Natural Environment Research Council, UK, Working Group on Effects of the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution: 28 str.
- Innes J.L., Skelly J.M., Schaub M. 2001. Ozone and broadleaved species. A guide to the identification of ozone-induced foliar injury. Ozon, Laubholz-und Krautpflanzen. Ein Führer zum Bestimmen von Ozonsymptomen. Bern, Stuttgart, Wien, Haupt : 136 str.
- Jurkovnik M. 2001. Metode ugotavljanja vpliva onesnažil iz prometa na kmetijske rastline. Diplomsko delo. Ljubljana, BF, Oddelek za agronomijo: 98 str.
- Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2006. junij 2007. Agencija RS za okolje  
<http://www.arso.gov.si/zrak/> (2.4.2008)
- Kazalci okolja 2003. 2004. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor–Agencija Republike Slovenije za okolje: 154 str.
- Kazalci okolja 2005. 2006. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor–Agencija Republike Slovenije za okolje: 242 str.
- Leksikon Cankarjeve založbe. 2000. 3. izdaja. Ljubljana, Cankarjeva založba: 1216 str.
- Leksikoni Cankarjeve založbe. Okolje. 1982. 2. izdaja. Ljubljana, Cankarjeva založba: 275 str.



Lesar P. 2007. Spremljanje učinkov troposferskega ozona s plazečo deteljo *Trifolium repens* 'Regal'. Diplomsko delo. Ljubljana, BF, Oddelek za agronomijo: 33 str.

Mikuš T. 2003. Primerjava poškodb na listih klonov plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Regal') povzročenih od sesajočih škodljivcev in ozona. Diplomsko delo. Ljubljana, BF, Oddelek za agronomijo: 98 str.

Planinšek A. 1997. Onesnaženost zraka v Sloveniji v letu 1996. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije: 146 str.

"Podatki meteoroloških parametrov in polutantov zraka v Ljubljani in Iskrbi za leto 2006". 2007. Ljubljana. Agencija RS za okolje (izpis iz baze podatkov)

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

Tarman K. 1999. Ekologija. Učbenik za strokovne in tehniške gimnazije. 1. natis. Ljubljana, Državna založba Slovenije: 132 str.

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

## 7.2 DRUGI VIRI

Air pollution and vegetation. ICP vegetation annual report 2006/2007. 2007. Bangor, UK, Centre for Ecology and Hydrology: 37 str.

Lešnjak M., Kovač M. Implementacija programa EMEP v Sloveniji. Agencija RS za okolje <http://www.arso.gov.si/zrak/> (2.4.2008)

O&P Bilten. januar 2000. Ministrstvo za okolje in prostor [http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/publikacije/bilteni/b01\\_20.pdf](http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/publikacije/bilteni/b01_20.pdf) (2.4.2008)

Review and assessment of air pollution effects and their recorded trends. 2004. Natural Enviroment Research Council, United Kingdom, Working Group on Effects of the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution: 56 str.

## **ZAHVALA**

Za idejo o temi diplomske naloge, strokovno literaturo, koristne nasvete in pomoč pri izdelavi diplomske naloge, se lepo zavalujem mentorju prof. dr. Francu Batiču.

Zahvaljujem se tudi Gabrijelu Leskovcu in Borisu Turku za pomoč na terenu in začetno obdelavo podatkov.

Hvala tudi vsem ostalim na Katedri za aplikativno botaniko, ekologijo in fiziologijo rastlin, ki so mi priskočili na pomoč.

Prijateljici Petri se zahvaljujem za pomoč pri končni ureditvi in lektoriranju diplomske naloge.

Hvala mojemu Toniju za pozitivno energijo, spodbudo in potrpljenje.

Hvala tudi staršema za vsestransko pomoč pri študiju.

## PRILOGA A

Meritve zračnih polutantov, vremenskih parametrov in vrednosti AOT 40 za Ljubljano v letu 2006

Datum	Povprečna dnevna koncentracija NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Povprečna dnevna koncentracija NO <sub>x</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Povprečna dnevna temperatura (°C)	Povprečna dnevna relativna zračna vlažnost (%)	AOT 40 (ppb.h)	Kumulativne vrednosti AOT 40 (ppb.h)
01.05.06	7,24	8,32	10,26	78,63	31,7	31,7
02.05.06	13,06	15,2	12,1	82,67	39,6	71,3
03.05.06	20,92	27,85	13,84	76,29	42,9	114,2
04.05.06	17,79	22,3	14,32	64,29	131,6	245,8
05.05.06	26,47	32,97	13,77	58,13	205,6	451,4
06.05.06	27,58	31,52	13,8	60,88	317,1	768,5
07.05.06	12,93	13,78	14,31	63,29	177,4	945,9
08.05.06	26,04	33,28	14,05	67,92	122,6	1068,5
09.05.06	26,45	30,23	11,9	88,67	1,4	1069,9
10.05.06	24,16	35,82	13,81	78,75	86,9	1156,8
11.05.06	21,72	27,1	14,2	66,71	164,6	1321,4
12.05.06	26,84	32,98	15,5	64,71	223,1	1544,5
13.05.06	12,51	13,8	17,4	57,63	366,3	1910,8
14.05.06	10,47	11,23	15,25	74,29	136,2	2046,9
15.05.06	20,09	24,45	16,05	70,08	130,4	2177,3
16.05.06	18,5	22,54	17,76	65,54	219,2	2396,5
17.05.06	19,26	21,52	19,97	62,58	155,6	2552,1
18.05.06	20,67	26,57	19,69	73,5	230,2	2782,3
19.05.06	20,97	23,18	19,82	68,58	140,6	2923
20.05.06	10,55	11,23	15,03	85,21	16,5	2939,5
21.05.06	8,99	9,92	17,86	76,92	85	3024,5
22.05.06	16,32	19,37	20,03	68,79	108,3	3132,8
23.05.06	18,95	22,09	20,56	65,83	121,8	3254,6
24.05.06	19,15	20,45	12,09	95,25	1,5	3256,1
25.05.06	18,26	21,08	13,51	75,29	69,7	3325,8
26.05.06	23,46	29,15	17,1	66,88	102,1	3427,9
27.05.06	17,42	18,93	19,31	69,71	138,3	3566,2
28.05.06	13,76	14,75	20,45	72,75	336,3	3902,4
29.05.06	16,13	17,36	12,53	96,38	0	3902,4
30.05.06	20,21	22,47	7,88	96,96	0	3902,4
31.05.06	16,29	19,5	9,95	74,63	35,1	3937,5
01.06.06	13,21	18,58	11,46	68,92	38,7	3976,2
02.06.06	14,33	18,85	11,49	66,17	4,3	3980,5
03.06.06	20,93	24,6	12,97	66,58	14,7	3995,2
04.06.06	10,05	11,29	15,73	58,63	68,6	4063,7
05.06.06	11,25	12,97	14,15	75,63	24,7	4088,4
06.06.06	12,2	13,89	11,16	90,5	0,6	4089,1
07.06.06	17,52	22,62	15,04	60	24,1	4113,1

se nadaljuje

nadaljevanje

08.06.06	25,94	33,55	14,25	62,63	44,3	4157,5
09.06.06	27,35	35,83	14,87	64,04	58,7	4216,1
10.06.06	24,14	30,13	13,88	77,75	9,1	4225,2
11.06.06	12,12	13,88	15,76	70,79	41,6	4266,7
12.06.06	20,27	25,26	18,65	61,83	108,8	4375,5
13.06.06	21,88	25,92	20,22	61,39	89,6	4465
14.06.06	22,2	24,83	24,7	53,13	114,5	4579,5
15.06.06	28,87	32,21	23,01	60,75	286,6	4866,1
16.06.06	25,96	31,58	23,25	62,83	493,7	5359,8
17.06.06	13,71	14,38	23,98	52,5	473	5832,8
18.06.06	7,74	8,36	24,58	53,79	334,9	6167,7
19.06.06	18,01	19,75	25,51	46,75	273,2	6440,9
20.06.06	23,97	26,94	25,95	48,33	359,4	6800,3
21.06.06	35,02	39,18	25,67	59,21	366,9	7167,2
22.06.06	34,68	37,89	24,93	63,92	223,7	7390,9
23.06.06	25,05	27,14	23,57	66,88	101,8	7492,6
24.06.06	10,34	11,13	24,98	63,79	158,5	7651,1
25.06.06	13,15	13,96	25,76	66,08	123,8	7774,9
26.06.06	22,22	25,17	27	60,33	221,4	7996,3
27.06.06	23,29	25,96	27,04	50,71	348,1	8344,4
28.06.06	20,69	23,14	26,89	54,25	293,4	8637,7
29.06.06	18,94	20,91	23,43	77,38	76,2	8713,9
30.06.06	11,69	13,57	23,63	64,25	107	8820,9
01.07.06	12,41	13,71	21,92	61,46	55,6	8876,5
02.07.06	3,2	3,95	20,19	68,96	0	8876,5
03.07.06	11,56	14,38	20,06	77,5	0	8876,5
04.07.06	11,92	15,12	21,12	66,67	17	8893,5
05.07.06	15,68	19,28	21,4	63,5	131,6	9025,1
06.07.06	22,07	26,39	22,74	57	229,1	9254,1
07.07.06	21,62	24	21,67	66,88	98	9352,1
08.07.06	10,06	11,31	21,7	76,5	114,6	9466,8
09.07.06	8,19	9,79	23,32	65,21	151,4	9618,1
10.07.06	23,72	31,37	22,55	69,13	60,5	9678,6
11.07.06	20,25	27,4	24,73	63,83	212,8	9891,4
12.07.06	17,03	18,88	25,03	60,33	208,7	10100,1
13.07.06	27,97	30,9	20,71	79,09	184,1	10284,2
14.07.06	26,75	32,31	25,32	58,47	183,9	10468,1
15.07.06	14,2	15,66	23,1	62,83	156,3	10624,4
16.07.06	8,04	8,53	21,99	47,77	69,5	10694
17.07.06	18,55	20,76	24,02	38,2	99,7	10793,6
18.07.06	22,17	23,91	22,26	52,29	205,1	10998,7
19.07.06	25,97	26,6	24,09	49,83	244,5	11243,2
20.07.06	20,67	21,3	25,81	46,88	231,1	11474
21.07.06	27,2	30,02	26,83	47,13	197,7	11672
22.07.06	29,13	30,21	26,21	55,17	250,8	11922,8
23.07.06	19,04	20,1	25,58	58,57	280,6	12203,4
24.07.06	24,38	26,25	24,83	65,69	157,6	12361
25.07.06	23,32	25,44	24,98	69,88	207,6	12568,6
26.07.06	28,56	32,33	25,86	64,71	254,3	12822,9

se nadaljuje

nadaljevanje

27.07.06	28,65	33	24,61	69,42	245,3	13068,2
28.07.06	27,58	31,82	23,55	71,91	150,8	13219
29.07.06	16,13	17,91	23,2	59,33	168,2	13387,2
30.07.06	14,81	15,17	24,01	54,91	151,3	13538,4
31.07.06	29,97	36,18	23,4	68,25	113,1	13651,5
01.08.06	31,17	38,85	19,56	89,54	0	13651,5
02.08.06	24,47	27,06	17,57	90,3	0	13651,5
03.08.06	25,42	30,79	16,11	93,29	0	13651,5
04.08.06	29,2	33,34	14,33	94,58	0	13651,5
05.08.06	16,54	17,72	16,69	79,21	40,6	13692,1
06.08.06	16,98	18,78	18,45	74,42	56,8	13748,9
07.08.06	23,75	28,94	19,25	70,17	6,5	13755,5
08.08.06	25,89	33,97	21,09	58,5	82,1	13837,6
09.08.06	28,84	34,45	18,21	76,5	36,6	13874,2
10.08.06	21,98	24,28	17,43	81,96	0	13874,2
11.08.06	32,4	40,38	14,6	89,71	0	13874,2
12.08.06	19,29	20,13	13,08	96,42	0	13874,2
13.08.06	12,2	13,47	14,56	85,83	0	13874,2
14.08.06	22,16	28,7	15,73	84,33	0	13874,2
15.08.06	13,87	14,54	17,5	76,21	0	13874,2
16.08.06	29,3	38,66	17,75	76,79	3,8	13878
17.08.06	29,2	38,63	20,5	79,58	26,5	13904,5
18.08.06	24,31	29,87	22,69	72,58	25,4	13929,9
19.08.06	24,28	27,07	21,56	75,38	4	13933,9
20.08.06	15,46	18,09	22,07	72,79	53,9	13987,7
21.08.06	18,84	20	20,25	66,42	9,2	13996,9
22.08.06	23,46	28,52	19,12	73,13	50,5	14047,4
23.08.06	19,73	24,12	18,13	76,5	8,1	14055,5
24.08.06	30,81	37,87	19,14	75,63	52,4	14107,8
25.08.06	23,59	28,01	17,37	80,46	2,3	14110,1
26.08.06	15,92	17,7	15,92	85,54	15,6	14125,7
27.08.06	19,01	22,59	15,5	85,33	6	14131,7
28.08.06	34,09	49,35	17	81,53	0	14131,7
29.08.06	17,7	5,58	16,88	70,88	0	14131,7
30.08.06	19,97		13,89	77	0	14131,7
31.08.06	28,5	44,64	15,78	63,58	12,1	14143,8
01.09.06	37,26	49,48	16,31	66,83	69,2	14213
02.09.06	28,54	33,22	18,15	71,75	103,4	14316,4
03.09.06	17,84	19,54	19,48	70,58	272,4	14588,8
04.09.06	19,8	22,42	22,21	60,83	333,6	14922,3
05.09.06	28,38	34,65	22,65	70	113,6	15036
06.09.06	21,51	28,48	22,53	72,08	53,1	15089,1
07.09.06	29,47	38,91	22,22	75,71	40,6	15129,7
08.09.06	20,4	30,88	19,2	82,17	0	15129,7
09.09.06	13,29	16,25	15,59	70,29	24,3	15154
10.09.06	16,75	20,72	15,4	68,42	25,6	15179,6
11.09.06	28,6	46,1	15,61	73,5	20	15199,5
12.09.06	34,98	53,28	16,54	71,33	30,5	15230
13.09.06	34,13	50,62	16,33	71,75	49,5	15279,5

se nadaljuje

nadaljevanje

14.09.06	35,64	49,91	17,14	77,79	18,1	15297,6
15.09.06	31,29	42,67	16,44	90,71	0	15297,6
16.09.06	15,18	17,84	16,64	91,38	0	15297,6
17.09.06	8,17	9,73	16,71	88,83	0	15297,6
18.09.06	27,04	37,26	16,89	87	0	15297,6
19.09.06	24,76	36,1	18,28	80	0	15297,6
20.09.06	24,55	36,9	18,55	73,75	4	15301,6
21.09.06	28,26	49,1	17,17	76,63	14	15315,6
22.09.06	32,88	48,01	16,94	79,13	11,3	15327
23.09.06	17,03	19,96	17,43	61,42	13,7	15340,6
24.09.06	21,62	27,84	15,38	74,08	16,9	15357,5
25.09.06	35,37	49,8	15,65	80	5,2	15362,7
26.09.06	27,06	47,97	17,05	72,63	15,3	15378
27.09.06	29,54	44,8	18,45	65,75	19,3	15397,4
28.09.06	34,42	49,67	16,65	77,63	15,2	15412,5
29.09.06	46,77	71,62	16,38	77,21	1,2	15413,7
30.09.06	24,78	35,37	16,53	77	136,7	15550,4

## PRILOGA B

### Vrednosti AOT 40 za Iskrbo pri Kočevski Reki v letu 2006

Datum	AOT 40 (ppb.h)
01.05.06	0,2
02.05.06	42,8
03.05.06	88,3
04.05.06	161
05.05.06	294,9
06.05.06	368,8
07.05.06	212,4
08.05.06	191
09.05.06	75,2
10.05.06	126,7
11.05.06	218,9
12.05.06	269,1
13.05.06	403,5
14.05.06	182
15.05.06	169
16.05.06	249,9
17.05.06	249,6
18.05.06	297,4
19.05.06	311,3
20.05.06	63,2
21.05.06	142,8
22.05.06	190,9
23.05.06	277
24.05.06	6,6
25.05.06	93,3
26.05.06	110,3
27.05.06	175,8
28.05.06	372
29.05.06	8,9
30.05.06	28,7
31.05.06	72,9
01.06.06	117
02.06.06	3,8
03.06.06	0
04.06.06	67,8
05.06.06	6,7
06.06.06	11,7
07.06.06	63,4
08.06.06	93,6
09.06.06	145,5

10.06.06	26
11.06.06	14,2
12.06.06	110,1
13.06.06	220,8
14.06.06	156,8
15.06.06	234,9
16.06.06	407,2
17.06.06	355,2
18.6.2006	254
19.06.06	258,3
20.06.06	309,3
21.06.06	205,2
22.06.06	224,1
23.06.06	134,3
24.06.06	118,8
25.06.06	83,5
26.06.06	192,1
27.06.06	269,4
28.06.06	213,6
29.06.06	170,2
30.06.06	135,4
01.07.06	109,9
02.07.06	0
03.07.06	0
04.07.06	72,6
05.07.06	191,9
06.07.06	167,1
07.07.06	124,2
08.07.06	70,6
09.07.06	144,9
10.07.06	164,2
11.07.06	226,6
12.07.06	257,6
13.07.06	222,2
14.07.06	255,6
15.07.06	236,4
16.07.06	80
17.07.06	118,8
18.07.06	261,1
19.07.06	203,3

se nadaljuje

nadaljevanje

20.07.06	251,6
21.07.06	337,5
22.07.06	334,9
23.07.06	338,6
24.07.06	374,3
25.07.06	251,2
26.07.06	343,3
27.07.06	344,3
28.07.06	304,2
29.07.06	330,5
30.07.06	216,5
31.07.06	170
01.08.06	44,5
02.08.06	0
03.08.06	0
04.08.06	0
05.08.06	32,4
06.08.06	7,8
07.08.06	25,6
08.08.06	104,7
9.8.2006	49,9
10.08.06	18,6
11.08.06	0
12.08.06	0
13.08.06	0
14.08.06	11,6
15.08.06	60,5
16.08.06	39,4
17.08.06	137,7
18.08.06	127,1
19.08.06	45
20.08.06	66,5
21.08.06	36,7
22.08.06	40,5
23.08.06	44,8
24.08.06	121,8
25.08.06	0,3
26.08.06	13,5
27.08.06	0
28.08.06	12,1
29.08.06	6,6
30.08.06	0,3
31.08.06	15,7
01.09.06	35,3
02.09.06	22,6
03.09.06	165,9
04.09.06	393
05.09.06	164,3
06.09.06	33,2

07.09.06	1,9
08.09.06	0,6
09.09.06	50,4
10.09.06	60,7
11.09.06	41
12.09.06	57,3
13.09.06	74,6
14.09.06	69,8
15.09.06	0
16.09.06	0
17.09.06	0
18.09.06	0
19.09.06	0
20.09.06	19,5
21.09.06	49,1
22.09.06	33,2
23.09.06	10,3
24.09.06	31,8
25.09.06	44,4
26.09.06	77,6
27.09.06	34
28.09.06	45,9
29.09.06	16,4
30.09.06	116,6



## PRILOGA C

Povprečne vrednosti poškodovanosti listov in povprečna suha biomasa pri vseh štirih žetvah na ozon odpornih (NC-R) in na ozon občutljivih (NC-S) klonov plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Regal') pri vseh opazovanjih v Ljubljani v letu 2006

Opazovanje	Datum	Žetve	Povprečna poškodovanost listov *		Povprečna suha biomasa (g)	
			NC-R	NC-S	NC-R	NC-S
1	12.05.06		0	0		
2	26.05.06		0	0		
3	02.06.06		0,3	0,1		
4	09.06.06	1	0,1	0,3	10,6	11,1
5	16.06.06		0,1	0,1		
6	23.06.06		0,3	0,7		
7	30.06.06		0,1	0,2		
8	07.07.06	2	0,1	0,3	21,4	24,5
9	14.07.06		0	0,1		
10	19.07.06		0,1	0,3		
11	28.07.06		0,4	0,7		
12	05.08.06	3	0,5	0,8	26,5	24,3
13	11.08.06		0,3	0,3		
14	18.08.06		0,3	0,4		
15	24.08.06		0	0		
16	01.09.06	4	0	0	20,5	19,1
17	07.09.06		0,3	0,1		
18	19.09.06		0,1	0,3		

\*Stopnje poškodovanosti listov:

- 0 ni poškodb
- 1 zelo neznatne poškodbe; pojav prvih simptomov
- 2 neznatne poškodbe; 1–5 % listov z neznatnimi poškodbami
- 3 zmerne poškodbe; 5–25 % poškodovanih listov
- 4 močne poškodbe; 25-50 % poškodovanih listov
- 5 zelo močne poškodbe; 50-90 % poškodovanih listov
- 6 popolna poškodovanost; 90-100 % poškodovanih listov