

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

Petra KAJDIŽ

**PRIMERJAVA POŠKODB PO TROPOSFRSKEM
OZONU NA NARAVNI VEGETACIJI IN IZBRANI
INDIKATORSKI RASTLINI**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

Ljubljana, 2009

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

Petra KAJDIŽ

**PRIMERJAVA POŠKODB PO TROPOSFERSKEM OZONU NA
NARAVNI VEGETACIJI IN IZBRANI INDIKATORSKI RASTLINI**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**THE COMPARISON OF THE DAMAGES TO NATURAL
VEGETATION AND A SELECTED INDICATORY PLANT CAUSED
BY THE TROPOSPHERIC OZONE**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2009

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija gozdarstva na Oddelku za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. Opravljeno je bilo na Biotehniški fakulteti, Oddelek za agronomijo, Katedra za aplikativno botaniko, ekologijo, fiziologijo rastlin in informatiko.

Študijska komisija oddelka za gozdarstvo je za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Franca Batiča in za recenzenta prof. dr. Jurija Diacija.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

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

Petra KAJDIŽ

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Dn
- DK GDK 111.15:182.5(143.2)=163.6
- KG ozon/ozonske poškodbe/bioindikatorske rastline/navadni fižol/gozdna vegetacija
- KK
- AV KAJDIŽ, Petra
- SA BATIČ, Franc (mentor)
- KZ SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
- ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire
- LI 2009
- IN PRIMERJAVA POŠKODB PO TROPOSFRSKEM OZONU NA NARAVNI VEGETACIJI IN IZBRANI INDIKATORSKI RASTLINI
- TD Diplomsko delo (univerzitetni študij)
- OP X, 59 str., 11 pregl., 33 sl., 8 pril., 10 vir.
- IJ sl
- JI sl/en
- AI Diplomsko delo obravnava dva poskusa sledenja učinkov troposferskega ozona na vegetaciji. Prvi je potekal v sklopu mednarodnega programa ICP Vegetation v vegetacijski sezoni 2008, od julija do septembra na vrtu BF. Ozonske poškodbe so bile opazovane na odpornih in občutljivih genotipih rastlin navadnega nizkega fižola (*Phaseolus vulgaris* L.). Naravnim razmeram je bilo izpostavljenih deset loncev z rastlinami odporne in deset z rastlinami občutljivega genotipa. Zasnova poskusa, spremljanje poškodb listov, beleženje pridelka ter spremljanje ozonskih koncentracij in meteoroloških parametrov je potekalo v skladu s protokolom ICP Vegetation. Postavljena je bila domneva, da bodo poškodbe listov na ozon občutljivega genotipa večje, njihovo odmiranje zgodnejše, pridelek pa manjši. Rezultati so domnevo potrdili. Drugi del poskusa je potekal na ploskvah intenzivnega monitoringa gozdov v sklopu programa ICP-Forest, ki ga v Sloveniji izvaja Gozdarski inštitut Slovenije, kjer so bile opazovane ozonske poškodbe na listih dreves gozdne vegetacije. Meteorološki podatki za ploskve so od Agencije Republike Slovenije za okolje in avtomatskih vzorčevalnikov. Predvidena je bila večja poškodovanost na ozon občutljivih drevesnih vrst in večje poškodbe na tistih območjih, kjer so v bližini večji viri predhodnikov ozona ali njihov daljinski vnos. Večje ozonske poškodbe so bile pričakovane na območjih, kjer so za nastanek troposferskega ozona in poškodb na rastlinah primerne klimatske razmere. Rezultati opazovanj so tudi to domnevo potrdili. Značilne so bile tudi manjše poškodbe v predelih z visokimi zračnimi temperaturami, majhno vlažnostjo in velikimi koncentracijami ozona, saj je v takih razmerah vnos ozona v rastline zaradi zaprtih listnih rež onemogočen.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn

DC FDC 111.15:182.5(143.2)=163.6

CX ozon/ozone- caused damages/bioindicator plants/bean/forest vegetation

CC

AU KAJDIŽ, Petra

AA BATIČ, Franc (supervisor)

PP SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83

PB University of Ljubljana, Biotechnical faculty, Department of forestry and renewable forest resources

PY 2009

TI THE COMPARISON OF THE DAMAGES TO NATURAL VEGETATION AND A SELECTED INDICATORY PLANT CAUSED BY THE TROPOSPHERIC OZONE

DT Graduation Thesis (University studies)

NO X, 59 p., 11 tab., 33 fig., 8 ann., 10 ref.

LA sl

AL sl/en

AB This diploma thesis deals with two experiments tracking the effects of the tropospheric ozone on vegetation. The first experiment was part of the international project ICP Vegetation in the vegetation season 2008, from July to September in the garden of the Biotechnical Faculty. We observed ozone-caused damages to ozone-resistant and ozone-sensitive genotypes of the plants known as the low-growing common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). We exposed 10 pots containing the ozone-resistant genotype and 10 containing the ozone-sensitive genotype to natural conditions. The concept of the experiment, the monitoring of the damages to the leaves, the recording of the harvest, the monitoring of the ozone concentration and meteorological parameters were all in accordance with the ICP Vegetation protocol. We assumed that the damages to the leaves of the ozone-sensitive genotype will be greater, their withering premature and their harvest smaller. The results confirmed our assumption. The second part of the experiment took place on the intensive forest monitoring plots as part of the programme ICP-Forest, which is conducted in Slovenia by the Slovenian Forestry Institute, and in this part we observed the ozone-caused damages to the leaves of the trees that are part of the forest vegetation. We also collected the meteorological data for the plots with the help of the Environmental Agency of the Republic of Slovenia and autosamplers. We predicted that ozone-sensitive tree species will suffer more damage and greater damages will occur on those areas where there are either larger sources of ozone precursors in the proximity or a long range air pollutant input. We expected larger damages caused by the ozone in the areas where there are suitable climate conditions for the formation of the tropospheric ozone and damages to plants. The results of our observations confirmed this assumption as well. Smaller damages were also characteristic in the areas with high air temperatures, low humidity and high concentrations of ozone, since in such conditions the input of ozone into plants is disabled due to stomata being closed.

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
1 UVOD.....	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA IN NAMEN DELA.....	1
1.2 DELOVNI HIPOTEZI.....	3
2 PREGLED OBJAV.....	4
2.1 ZRAK	4
2.2 OZON	5
2.3 UČINKI OZONA NA BIOKEMIČNE IN FIZIOLOŠKE PROCESSE RASTLIN	7
2.4 ODZIV VIŠJIH RASTLIN NA OZON.....	10
2.5 UČINKI ZRAČNIH ONESNAŽIL NA CELICE IN MIKROSTRUKTURO	13
2.5.1 Strukturni učinki	13
2.5.1.1 Učinki na ravni celic	13
2.5.1.2 Učinki na ravni tkiv	14
2.5.2 Ultrastrukturni učinki	14
2.5.2.1 Oblika in velikost kloroplastov.....	14
2.5.2.2 Ovojnica kloroplastov	14
2.5.2.3 Stroma	15
2.5.2.4 Mitohondriji.....	15
2.5.2.5 Citoplazma, ribosomi in endoplazmatski retikulum	15
2.5.2.6 Plazmalema, tonoplast, celična stena.....	15
2.5.3 Vpliv ultrastrukturnih sprememb na delovanje.....	15
2.6 OZONSKE POŠKODBE V EVROPI	16
2.7 SMERNICE ZA PRIHODNOST	17
2.8 VLOGA PROGRAMA ICP VEGETATION	17
2.9 BELEŽENJE VPLIVA OZONA V EVROPI.....	18
2.10 KONCENTRACIJE OZONA PO EVROPI	19
3 MATERIAL IN METODE.....	20
3.1 MATERIAL	20
3.2 METODE.....	20

3.2.1	Izpostavitve rastlin naravnim razmeram	21
3.2.2	Tedenska opazovanja poškodb indikatorskih rastlin.....	22
3.2.3	Merjenje velikosti in mase strokov in semen	23
3.2.4	Meteorološki podatki	23
4	REZULTATI.....	24
4.1	OZON	24
4.2	TEMPERATURA	32
4.3	PADAVINE	34
4.4	OZONSKE POŠKODBE.....	36
4.5	FOTOSINTEZA, PREVODNOST LISTNIH REŽ IN TRANSPIRACIJA	50
4.6	PRIDELEK	51
5	RAZPRAVA IN SKLEPI	53
5.1	RAZPRAVA	53
5.1.1	Ozonske poškodbe	53
5.1.2	Pridelek	55
5.2	SKLEPI.....	56
6	POVZETEK.....	57
7	VIRI.....	59

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Razporeditev loncev in genotipov indikatorske rastline v njih	22
Preglednica 2: : Mejne koncentracije ozona.....	24
Preglednica 3: Kritične koncentracije ozona.....	24
Preglednica 4: Opozorilna emisijska koncentracija ozona.....	24
Preglednica 5: Koncentracije ozona v zraku ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) v letu 2008 (prekoračena mejna vrednost AOT40 in mejna letna vrednost ter preseženo dovoljeno število prekoračitev 8-urne ciljne vrednosti koncentracije so v rdečem tisku, faktorji AOT40 za nereprezentativna mesta pa.....	25
Preglednica 6: Mejne, alarmne in dopustne vrednosti koncentracij v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ za leto 2008.	27
Preglednica 7: Koncentracije O ₃ v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ v juliju 2008.	27
Preglednica 8: Koncentracije O ₃ v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ v avgustu 2008.....	29
Preglednica 9: Koncentracije O ₃ v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ v septembru 2008.....	31
Preglednica 10: Primerjava rezultatov opazovanj poškodb indikatorske rastline navadnega fižola dveh ocenjevalcev.	37
Preglednica 11: Povprečne vrednosti in standardni odkloni fotosinteze, prevodnosti listnih rež, transpiracije, temperature lista, zračne vlage in fotosintetsko aktivnega sevanja na ozon odpornih in občutljivih genotipov.	50

KAZALO SLIK

Slika 1: Razporeditev loncev, zgoraj odporen, pod njo občutljiv genotip nizkega fižola.	22
Slika 2: Največje urne koncentracije ozona v letu 2008 po mesecih.....	26
Slika 3: Dnevni hodi koncentracij ozona v letu 2008.....	26
Slika 4: Povprečne mesečne koncentracije O ₃ ter prekoračitve opozorilne urne in ciljne osemurne vrednosti v juliju 2008 z označenim dovoljenim letnim številom prekoračitev ciljne 8-urne vrednosti	28
Slika 5: Povprečne mesečne koncentracije O ₃ ter prekoračitve opozorilne urne in ciljne osemurne vrednosti v avgustu 2008 z označenim dovoljenim letnim številom prekoračitev ciljne 8-urne vrednosti	29
Slika 6: Vrednosti AOT 40 v Ljubljani v letu 2008.	30
Slika 7: Povprečne mesečne koncentracije O ₃ ter prekoračitve opozorilne urne in ciljne osemurne vrednosti v septembru 2008 z označenim dovoljenim letnim številom prekoračitev ciljne 8-urne vrednosti	31
Slika 8: Najvišja (rdeča črta), povprečna (črna) in najnižja (modra) temperatura zraka ter najnižja temperatura zraka na višini 5 cm nad tlemi (zelena), julij 2008	32
Slika 9: Najvišja (rdeča črta), povprečna (črna) in najnižja (modra) temperatura zraka ter najnižja temperatura zraka na višini 5 cm nad tlemi (zelena), avgust 2008	33
Slika 10: Najvišja (rdeča črta), povprečna (črna) in najnižja (modra) temperatura zraka ter najnižja temperatura zraka na višini 5 cm nad tlemi (zelena), september 2008.....	34
Slika 11: Prikaz porazdelitve padavin julija 2008.....	34
Slika 12: Prikaz porazdelitve padavin avgusta 2008	35
Slika 13: Prikaz porazdelitve padavin septembra 2008	36
Slika 14: Povprečno število listov rastlin na ozon občutljivega (S) in odpornega (R) genotipa.	39
Slika 15: Povprečno število listov z 1-5 % poškodovanostjo listne površine.....	39
Slika 16: Povprečno število listov s 5-25 % poškodovanostjo.....	40
Slika 17: Povprečno število listov z več kot 25% poškodovanostjo.	40
Slika 18: Povprečno število suhih listov.	41
Slika 19: Začetna faza poškodb fižola	41
Slika 20: Poškodbe lista fižola 17.7.2008	42
Slika 21: Odporen genotip 17.7.2008	43
Slika 22: Občutljiv genotip 17.7.2008	44
Slika 23: Ozonske poškodbe gorskega javorja.....	45
Slika 24: Ozonske poškodbe gorskega javorja.....	46
Slika 25: Ozonske poškodbe navadne leske.....	46
Slika 26: Začetna faza ozonske poškodbe navadne bukve.....	47
Slika 27: Končni stadij ozonske poškodbe navadne bukve	47
Slika 28: Ozonske poškodbe velikega jesena na ploskvi Fondek	48
Slika 29: Ozonske poškodbe malega jesena nad Ankaranom.	49
Slika 30: Ozonske poškodbe črnega bezga	50
Slika 31: Število strokov z vsaj enim semenom in število strokov brez semen za odporne in občutljive genotipe nizkega fižola.	51
Slika 32: Število semen rastlin odpornih in občutljivih genotipov nizkega fižola.....	51
Slika 33: Masa semen rastlin odpornih in občutljivih genotipov nizkega fižola v gramih.	52

KAZALO PRILOG

- Priloga A: Ploskve intenzivnega monitoringa Gozdarskega inštituta Slovenije
- Priloga B: Podatki o koncentracijah ozona na ploskvah intenzivnega monitoringa, ki so rezultat meritev na terenu
- Priloga C: Meteorološki podatki za ploskve intenzivnega monitoringa
- Priloga D: Vrednosti AOT 40 v Ljubljani za obdobje od 1.4 do 31.10. 2008
- Priloga E: Ozonske poškodbe na indikatorskih rastlinah navadnega fižola
- Priloga F: Fotosinteza, prevodnost listnih rež in transpiracija 22. 7. 2008 okoli 12. ure
- Priloga G: Število strokov posameznih rastlin po velikostnih razredih
- Priloga H: Razporeditev semen po strokih, število in masa semen

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

AOT40	Seštevek pozitivnih razlik med vrednostmi urnih koncentracij ozona v svetlem delu dneva in vrednostjo 40 ppb (Accumulated dose over a threshold over 40 ppb)
ppb	delcev na milijardo (parts per billion; enota za masni in volumski delež topjenca v raztopini)
ICP Vegetation	Mednarodni program o učinkih onesnaževanja zraka na naravno vegetacijo in kmetijske rastline (International Cooperative Programme on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops)

1 UVOD

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA IN NAMEN DELA

Povečane koncentracije ozona v prizemni plasti atmosfere nimajo negativnega učinka le na živali in ljudi, pač pa povzročajo tudi nastanek vidnih poškodb kulturnih rastlin ter polnaravne in naravne vegetacije in zmanjšanje njihove biomase. Mednarodni program ICP Vegetation spremlja učinke ozona na kulturne rastline z beleženjem pogostnosti ozonskih poškodb v obliki rjavkastih ali blede rumenih madežev na površini listov. Vsako pomlad in poletje od leta 1994 udeleženci tega programa gojijo različne na ozon občutljive rastline (npr. različno občutljive genotipe plazeče detelje, nizkega fižola, tobaka, ...) na številnih mestih v Evropi in nekaj mestih v ZDA. Tedensko pregledujejo poškodbe rastlin in izvajajo meritve biomase (pridelka), vzorčijo liste rastlin za biokemijske analize odziva na ozon in opravljajo meritve fizioloških parametrov. Ozonske poškodbe so opazili povsod, na veliko mestih celo večkrat letno. Ozonske poškodbe so najpogostejše v južni Evropi, opazili pa so jih tudi na severu na Švedskem in Finskem, kjer so sicer zabeležili precej manjše koncentracije ozona. Tam okoljske razmere, kot je večja zračna vlaga, povečujejo občutljivost rastlin, saj se poveča vnos skozi listne reže (Gregor in sod., 2004).

Nekateri udeleženci programa ICP Vegetation so izvajali sistematično raziskavo na komercialnih rastlinah, pri katerih so spremljali vidne simptome ozonskih poškodb. Ozonske poškodbe so bile najdene na listih več kot dvajsetih vrst kmetijskih in okrasnih rastlin, med katerimi so tudi take, pri katerih poškodbe listov zmanjšajo njihovo komercialno vrednost. Največ ozonskih poškodb je bilo najdenih v mediteranskih deželah ter v Belgiji, Franciji in Švici. Raziskave so pokazale tudi pomen primerne vlažnosti tal, saj so bile rastline radiča v Grčiji močno poškodovane zaradi ozona, kadar so polja namakali, in nepoškodovane, kadar jih niso (Gregor in sod., 2004).

Na mnogih izmed poskusnih mest so zaznali zmanjšanje biomase občutljivega genotipa plazeče detelje. Za vsako povečanje trimesečne AOT40 (vsota presežkov nad 40 ppb (parts per billion)) za 2 ppm.h (parts per million times hours) se je biomasa zmanjšala za 5 %.

Trenutno so raziskovalci osredotočeni na ugotavljanje zveze med prevodnostjo listnih rež, količino ozona v zraku (količina ozona, ki vstopi v rastlino skozi listne reže) in učinkom na testno rastlino (npr. plazečo deteljo). Pri pogostnosti pojavljanja poškodb ali spremembah biomase ni opaznih nobenih trendov, kar je posledica letno spreminjajočih koncentracij ozona (Gregor in sod., 2004).

V letih 2001 in 2002 je program ICP Vegetation vodil vrsto študij z vrstami polnaravne vegetacije z namenom, da bi razvili podoben biomonitoring kot s plazečo deteljo. Najboljše rezultate so dobili pri izpostavitvi na ozon občutljivih in odpornih genotipov navadnega glavinca (*Centaurea jacea*) na trinajstih mestih EU regije (Gregor in sod., 2004).

Tako za kulturne rastline kot gozdna drevesa je bilo zelo pomembno razviti indikator, ki bi bolj realistično predstavil izpostavljenost rastlin ozonu kot AOT40. Tako so razvili indeks izpostavljenosti, ki je temeljil na toku ozona v rastlino, medtem ko AOT40 temelji na koncentraciji ozona v zraku na vrhu krošnje rastline. Izračuni z ozonskim tokom upoštevajo vpliv dejavnikov podnebja, onesnažil in rastline na količino ozona, ki vstopi v rastlino skozi listne reže. Tako je na primer pri enaki koncentraciji ozona privzem ozona v suhem zraku lahko manjši od polovice tistega v vlažnem zraku. Rastline v suhem zraku zmanjšajo odprtost listnih rež, da zmanjšajo izgubo vode. Posledično je zmanjšan tudi privzem ozona. Indikator, ki temelji na ozonskem toku, zato bolje opisuje izpostavljenost rastlin ozonu kot tisti, ki temelji le na njegovi koncentraciji (Gregor in sod., 2004).

Moje delo je potekalo v dveh ločenih delih. Prvi del je potekal v sklopu programa ICP Vegetation v vegetacijski sezoni 2008. S pomočjo indikatorske rastline, ki je bila tokrat nizek navadni fižol (*Phaseolus vulgaris* L., na ozon odporen in občutljiv genotip), smo na rastlinah na ozon občutljivih in odpornih genotipov spremljali ozonske poškodbe. Biomonitoring je potekal v različnih državah EU regije z različnimi koncentracijami ozona in klimatskimi značilnostmi.

Drugi del je potekal na ploskvah intenzivnega spremljanja gozdov v okviru programa ICP-Forest, kjer smo prav tako beležili ozonske poškodbe. Ugotavljali smo vrste poškodovanih rastlin in stopnjo poškodovanosti.

Namen prvega dela je bil ugotoviti jakost poškodb indikatorske rastline v primerjavi z izmerjenimi koncentracijami ozona in razlike v poškodovanosti med občutljivim in odpornim genotipom, na koncu pa še razlike v velikosti in masi strokov in semen občutljivih in odpornih rastlin. Na ploskvah intenzivnega monitoringa smo na gozdni vegetaciji opazovali jakost poškodb, pri čemer smo poskušali določiti vpliv različnih klimatskih in mikroklimatskih razmer, virov onesnaževanja in drevesnih vrst na stopnjo poškodovanosti rastlin.

1.2 DELOVNI HIPOTEZI

1. Povečane koncentracije ozona v prizemni plasti atmosfere povzročajo večje poškodbe listov občutljivega genotipa indikatorske rastline, njihovo predčasno odmiranje in zmanjšanje pridelka.
2. Ozonske poškodbe gozdne vegetacije so večje pri občutljivejših drevesnih vrstah in v tistih delih Slovenije, kjer prevladujejo vlažnejše podnebne razmere ali pa je prisoten stalen dotok onesnažil, bodisi zaradi neposredne bližine virov onesnaževanja ali pa zaradi njihovega dotoka z zračnimi masami z bolj oddaljenih območij.

2 PREGLED OBJAV

2.1 ZRAK

Atmosfera je plast zraka, ki obdaja Zemljo in sega do višine okrog 100 km. Plini v zraku omogočajo življenje rastlin, živali in ljudi, ozračje pa nas tudi varuje pred škodljivim sončnim sevanjem. V zraku je približno 78 % dušika, 21 % kisika in 1% argona. Ostali plini so ogljikov dioksid, metan, helij, vodik, kripton, neon, ozon in ksenon. Vsebuje tudi manjše količine vode, cvetnega prahu, aerosolov in mikroorganizmov. Za aerobno življenje na Zemlji je najpomembnejši kisik (Zrak, 2009).

Zrak postane onesnažen takrat, kadar se škodljivi plini, trdne in tekoče snovi v zraku pojavljajo v koncentracijah, ki presegajo normalne vrednosti. Viri onesnaženja so lahko naravni ali umetni. Med naravne spadajo prašni viharji, gozdni požari in vulkanske erupcije, med umetne pa avtomobilski izpušni plini, odpadki, izsekavanje gozdov in izpusti strupenih plinov v ozračje iz različnih industrijskih virov, energetskih objektov in dejavnosti v kmetijstvu. Naravne nečistoče v zraku so lahko trdni delci, ki so lahko anorganske snovi, kot so pesek ali delci prsti, ki se dvigajo v ozračje z vulkansko dejavnostjo, klimatskimi dejavniki, stroji in vozili, ali pa organske snovi, kot so semena in drobci rastlin. Zrak onesnažuje človek s svojo dejavnostjo in odpadki. Onesnažujejo ga razne industrije, kurišča in avtomobili. Onesnažen zrak je posledica sodobne civilizacije in ogroža človeka in druga živa bitja. Premogov prah, saje in pepel so najbolj pogoste nečistoče, med plini pa prevladujejo žveplove in dušikove spojine. Zrak se lahko navzame velike količine teh plinov, ne da bi škodil ljudem, toda pri neugodnih vremenskih razmerah, kot so dolgotrajna gosta megla in toplotni obrat, se koncentracija nečistoč poveča do količin, ki že ogrožajo zdravje. Žveplove spojine povzročajo okvare tudi na poslopjih, umetniških predmetih in drugih materialih. V avtomobilskih izpušnih plinih so ostanki ogljikovodikov, ki se lahko pod vplivom sončnih žarkov pretvorijo v spojine škodljive zdravju. Na prometnih cestah vелеmest grozi nevarnost zaradi zastrupitve z ogljikovim monoksidom in trdnimi majhnimi delci. Ugotovili so tudi zvezo med povečano onesnaženostjo zraka, zlasti z žveplom, in naraščanjem obolenj na pljučih. Preprečevanje onesnaženja zraka urejajo posebni zakoni (Zrak, 2009).

2.2 OZON

Ozon je atmosferski plin, katerega molekula vsebuje tri atome kisika. Nahaja se v stratosferi v višini 20-30 km, kjer tvori ozonski plašč ali ščit, ki absorbira kratkovalovno sončno sevanje, kar je v evoluciji organizmom omogočilo poselitev kopnega. Zaradi človekovega onesnaževanja okolja pa se je povečala koncentracija klora in broma v stratosferi, ki povzročata razgradnjo ozona v ozonskem ščitu (Batič in sod., 1999).

Ozon se ne nahaja le v stratosferi, ampak nastaja tudi v troposferi, kjer je njegov nastanek lahko naravnega ali antropogenega izvora. V prizemni plasti se je nahajal v sledovih, v zadnjih sto letih pa se je njegova povprečna letna koncentracija podvojila. Ozon v prizemni plasti atmosfere nastaja zaradi antropogenih emisij snovi, iz katerih nastaja ozon. To so ogljikovodiki, ogljikov monoksid in dušikovi oksidi in jih imenujemo predhodniki (prekurzorji) ozona. Ozon je tako sekundarno onesnažilo (polutant), ki nastaja v onesnaženem ozračju iz primarnih onesnažil pod vplivom svetlobe, zato ga imenujemo tudi fotooksidant. Ogljikovodike, ogljikov monoksid in dušikove okside emitirajo v zrak industrija in promet, predvsem pa tovorna vozila. Ogljikovodike spuščajo v zrak predvsem Ottovi, dizelski in letalski motorji, njihov izvor pa so tudi različna topila in petrokemijska industrija. V vročih poletnih dneh pa jih sproščajo tudi nekatere vrste grmovnic, iglavcev in listavcev (biogeni viri). Metan se sprošča iz močvirij, farm, rudnikov in drugih virov (Batič in sod., 1999).

Troposferski ozon nastaja v vrsti fotokemičnih reakcij ali pa pride od drugod z zračnimi masami, lahko tudi z razdalje več 100 km. Njegova koncentracija je zelo odvisna od sončnega sevanja, temperature zraka in vetra (Batič in sod., 1999).

Snovi, iz katerih nastajajo fotooksidanti, imajo zaradi svojih reducirajočih lastnosti glede na oksidante v zraku nestabilno termodinamično obliko. Kljub temu pa direktna oksidacija, na primer metana s kisikom ni mogoča. V troposferi tako poteka več kemijskih reakcij, v katerih nastaja ozon (Batič in sod., 1999).

Iz hlapnih organskih spojin pod vplivom sončne svetlobe nastajajo peroksi radikali, ki povzročijo pretvorbo dušikovega oksida v dušikov dioksid, ki po sončnem obsevanju postane donator reaktivnih kisikovih atomov, česar rezultat je nastajanje ozona (Batič in sod., 1999).

Dušikov dioksid pri fotolizi razpade v atomarni kisik in dušikov monoksid. Atomarni kisik potem reagira z molekularnim kisikom ob prisotnosti inertnega udeleženca M (npr. dušik), ki služi za odvod energije, pri čemer nastane ozon. Ozon nastaja tudi pri oksidaciji ogljikovodikov in ogljikovega monoksida pod vplivom svetlobe (Batič in sod., 1999).

Na nastajanje ozona preko dneva in leta vpliva koncentracija prekurzorjev ozona, intenziteta sončnega sevanja in temperatura zraka. Za letni hod koncentracije ozona so značilne maksimalne poletne in minimalne zimske vrednosti, kar je še posebej izrazito v gosto naseljenih predelih. V območjih čistega zraka, v sredogorju, pa je letni hod koncentracije ozona slabo izražen, občasno se pojavi povečana koncentracija ozona, ki jo povzroči transport stratosferskega ozona s prodori zračnim mas iz višjih zračnih plasti v troposfero. Ta ozon je naravnega izvora (Batič in sod., 1999).

Dnevni hod koncentracije ozona je zelo značilen in odvisen od merilnega mesta. Tako ločimo dnevni hod koncentracij ozona v naseljenih območjih in območjih s čistim zrakom, lahko pa nastopi tudi »nenormalen« dnevni hod koncentracij ozona (Batič in sod., 1999).

V naseljenih območjih ima dnevni hod koncentracij ozona maksimum v zgodnji popoldanskih urah in minimum pred sončnim vzhodom. V jutranjih urah se zaradi gostega prometa sproščajo velike količine ogljikovodikov, ogljikovega monoksida in dušikovih oksidov. Dušikovi oksidi so pretežno v monoksidni obliki (NO), dopoldne pa se oksidirajo v dioksid, ki je donator atomarnega kisika, iz katerega nastaja ozon. Zaradi močnega sončnega sevanja in visokih temperatur v dopoldanskem času pride do konvekcijskega mešanja zračnih plasti, kar prinese ozon iz višje ležečih v prizemne zračne plasti, ta pojav je glavni vzrok za večjo prizemno koncentracijo ozona v dopoldanskem času. V opoldanskem in popoldanskem času potekajo fotokemijske in kemijske reakcije, pri katerih nastaja ozon. V zraku je velika koncentracija dušikovega dioksida, ki pri fotolizi, kjer iz

njega nastaneta kisik in dušikov oksid, postane donator atomarnega kisika, ki z molekularnim tvori ozon. Ogljikovodiki in ogljikov monooksid se s pomočjo radikalov oksidirajo in ravno tako tvorijo ozon. Tvorbo ozona povzročajo tudi biogeni ogljikovodiki, ki jih emitira vegetacija. Vse to vodi k izrazito izraženemu koncentracijskemu maksimumu ozona v popoldanskem času, kljub temu, da je sončno sevanje najmočnejše opoldne, vzrok za to so kemijske reakcije. Popoldne ob drugi prometni konici naraste koncentracija dušikovega oksida, ki je porabnik ozona. Koncentracija NO preseže koncentracijo NO₂ v zraku. Intenziteta sončnega sevanja pojema, temperatura pada, posledica tega je padanje koncentracije ozona, ki doseže minimum pred sončnim vzhodom (Batič in sod., 1999).

V območja s čistim zrakom pride z daljinskim transportom iz naseljenih območij. Srednja dnevna koncentracija ozona je v teh območjih lahko celo večja kot v naseljenih in sicer zaradi majhne koncentracije porabnikov ozona, kot je na primer NO v zraku. V območjih s čistim zrakom so porabnik ozona lahko tudi tla (oksidacija) in listna površina, dnevni hod ozona je manj izrazit. Pride pa lahko tudi do suhe depozicije ozona. Z naraščajočo temperaturo zraka narašča tudi sproščanje biogenih ogljikovodikov, ker je koncentracija dušikovega oksida NO v zraku majhna, lahko nastane le malo dušikovega dioksida NO₂. V predelih s čistim zrakom je malo prekurzorjev za tvorbo ozona, zato je njegova tvorba manjša kot v naseljenih območjih (Batič in sod., 1999).

Netipični dnevni hod koncentracije prizemnega ozona imenujemo hod z dvema dobro izraženima maksimumoma, od katerih glavni nastane v zgodnjih popoldanskih urah in ima enake osnove kot v naseljenih območjih, sekundarni pa nastopi v nočnih urah, najpogosteje v drugi polovici noči. Nočnega maksimuma ne moremo pojasniti s kemijskimi reakcijami, ker je zanje potreben atomarni kisik, ki pa nastaja samo fotolitično ob sončnem sevanju. Vzrok za nastanek nočnega maksimuma je meteorološki, to je transport ozona s horizontalnimi ali vertikalnimi zračnimi tokovi (Batič in sod., 1999).

2.3 UČINKI OZONA NA BIOKEMIČNE IN FIZIOLOŠKE PROCESE RASTLIN

Večja vlaga zraka in tal povečujeta odprtost listnih rež, kar ima za posledico večje poškodbe rastlin zaradi ozona. Plinasti ozon se raztaplja na vlažnih površinah v tkivih

mezofila, kamor difundira pasivno zaradi koncentracijskega gradienta. Na koncentracijo ozona v rastlinskih tkivih vpliva njegova topnost, stopnja razgradnje in pH na mestu absorpcije (Treshow, 1985).

Podobno kot SO_2 tudi O_3 lahko povzroči nastanek radikala O_2^- , ki lahko tvori druge radikale, kot je $\cdot\text{OH}$ in druge reaktivne zvrsti kisika, oziroma njegovih spojin kot sta O_2 in H_2O_2 . Ti lahko oksidirajo različne celične metabolite. Ozon prizadene številne gradnike celičnih membran kot so aminokisline, proteini in maščobne kisline. Spremeni se tudi prepustnost tkiv, prepojenih z ozonom za vodo, glukozo in ione, prav tako ozon vpliva tudi na prepustnost membran mitohondrijev in kloroplastov (Treshow, 1985).

Prisotnost ozona v rastlinah zavira fotosintezo. Poleg tega, da vpliva na prenos elektronov, vpliva tudi na vsebnost klorofila v rastlinah. Pri navadnem fižolu (*Phaseolus vulgaris* L.) je opazna velika korelacija med izgubo klorofila in vidno nekrozo, vsebnost klorofila a pa se zmanjšuje hitreje od klorofila b z naraščajočimi ozonskimi poškodbami. To je povezano bodisi s funkcijo klorofila a v tilakoidni membrani ali pa z njuno različno biosintezo. Vpliv ozona na dihanje rastlin je spremenljiv, saj ga lahko pospešuje ali pa zavira. Tako je izpostavljenost ozonu zavirala respiracijo in fosforilacijo mitohondrijev v listu navadnega tobaka (*Nicotiana tabacum*), pri navadnem fižolu (*Phaseolus vulgaris*) pa takoj po izpostavitvi ozonu ni bilo nobenega vpliva, pač pa se je le ta pojavil v 24 urah v obliki stimulacije. Ozon lahko tudi poveča ali zmanjša vsebnost aminokislin v rastlinah, na drugi strani pa zmanjšuje vsebnost proteinov in sicer z razgradnjo že obstoječih ali pa tako, da se novi ne tvorijo (Treshow, 1985).

Izpostavljenost ozonu se kaže tudi v izgubi pigmentacije in nevtralnih lipidov glive *Colletotrichum lindemuthianum*, čeprav sestava njenih maščobnih kislin ostaja nepoškodovana. Izguba lipidov je posledica zaviralnega učinka ozona na njihovo biosintezo. Poskus z navadnim tobakom je pokazal, da ozon povečuje vsebnost vseh lipidov v listih in zmanjšuje vsebnost trigliceridnih maščobnih kislin. Povečana vsebnost lipidov je odgovor rastline na poškodbo, saj tudi okužba z rjo povzroči podobno kopičenje lipidov. Na vsebnost maščobnih kislin v različnih rastlinskih vrstah ima ozon različne vplive. V listih navadnega tobaka ozon povzroči upad vseh maščobnih kislin zaradi

zaviralnega učinka na njihovo sintezo in nastanka nenasičenih lipidov. Ozon lahko tudi prizadene večkrat nenasičene maščobne kisline z oksidativnimi mehanizmi. Take oksidacije lahko spremenijo lastnosti membran. Dokazan je tudi vpliv ozona na biosintezo lipidov izoliranih kloroplastov. Izpostavljenost ozonu ne spremeni sestave maščobnih kislin, ker maščobne kisline membran kloroplastov niso dostopne za oksidacijo. Ozon lahko bodisi poveča ali zmanjša koncentracijo topnih sladkorjev in drugih ogljikovih hidratov v listih rastlin. V listih navadne soje (*Glycine max*) je izpostavljenost ozonu povzročila značilen začetni upad reducirajočih sladkorjev in njihov poznejši porast. Vsebnost škroba se ni spremenila. Začetni upad koncentracije topnih sladkorjev je lahko posledica zmanjšane fotosinteze in poznejši porast posledica zmanjšane porabe sladkorja in/ ali zmanjšane premestitve sladkorja za sintezo drugih ogljikovih hidratov. Pri vrsti bora (*Pinus ponderosa*) se izpostavljenost ozonu kaže v povečani vsebnosti topnih sladkorjev, škroba in fenolov v listih in zmanjšanju njihovih koncentracij v koreninah (Treshow, 1985).

Ker so sladkorji tudi odstranjevalci prostih radikalov, je možno, da njihova povečana vsebnost lahko delno premaga fitotoksične učinke prostih radikalov, ki jih tvori ozon (Treshow, 1985).

Za rastline, ki so izpostavljene vplivu ozona, je značilno kopičenje izoflavonoidov, kar nakazuje na sposobnost rastlin, da pod stresom sprožijo take metabolne reakcije. Tvorba izoflavonoidov se lahko pojavi tudi kot posledica infekcij patogenov (Treshow, 1985).

Ozon stimulira encime, ki so vključeni v fenolni metabolizem, aktivacija teh encimov pa stimulira oksidacijo fenolov in povzroči akumulacijo njihovih polimerizacijskih produktov, ki so lahko odgovorni za nekrozo poškodovanih listov. Po izpostavljenosti ozonu so opazili povečano aktivnost encima peroksidaze (Treshow, 1985).

Za rastline pod stresom je značilna povečana koncentracija etilena, kar se zgodi tudi pri izpostavljenosti ozonu. Etilen je tudi produkt normalnega metabolizma in povečuje aktivnost nekaterih encimov. Zato ni gotovo, če spremembe v delovanju teh encimov nastanejo kot neposredni učinek tvorbe etilena, ki jo povzroči ozon (Treshow, 1985).

2.4 ODZIV VIŠJIH RASTLIN NA OZON

Ozonske poškodbe so najprej odkrili na listih vinske trte in tobaka, kmalu zatem pa tudi na listih okrasnih in kulturnih rastlin, gozdnih dreves in druge naravne vegetacije. Poškodbe so običajno omejene na zelene liste rastlin, v nekaterih primerih pa je opazno tudi razbarvanje skorje in oplutenelost lupine plodov. Ozon na listih rastlin povzroča vrsto poškodb, tip poškodbe pa je odvisen od vrste rastline, fizičnih značilnosti lista, vitalnosti in sočnosti rastline, starosti rastline in listnega tkiva, trajanja izpostavljenosti ozonu, maksimalne koncentracije ozona med izpostavljenostjo in okoljskih razmer med razvojem rastline in med izpostavljenostjo ozonu. Le nekaj poškodb je dovolj razlikovalnih, da jih lahko uporabljamo v diagnostične namene, saj veliko znakov poleg ozona lahko povzročijo tudi patogeni organizmi in fiziološka stanja (Treshow, 1985).

Odprte listne reže so glavni vhod za vdiranje plinastega ozona v listno tkivo, kjer se najprej sreča s celuloznimi celičnimi stenami celic obdajajočih tkiv. Obstajajo dokazi, da napade plazmalemo in spremeni njeno prevodnost, tako da vsebina celice začne odtekati v medcelične prostore, list pa postane temno zelen ali pa se na njem pojavijo vodeni madeži. To so najzgodnejši dokazi ozonskih poškodb. Čez več ur vodeni madeži postanejo klorotični ali pa tkivo odmre in nastane nekroza. V nekaterih primerih pa vodeni madeži izginejo brez trajnih poškodb, kar kaže na prisotnost obnovitvenih mehanizmov (Treshow, 1985).

Ni znano zagotovo, kako molekula ozona pride skozi celično membrano in v kakšni obliki je, ko potuje iz medceličnega prostora do organelov v citoplazmi. Prvi pa znake sprememb po izpostavljenosti listov ozonu pokažejo kloroplasti. V stromi se začnejo tvoriti kristali, nastopi granulacija, kristalizacija in splošna deorganizacija plastidov, ki je podobna tisti, ki jo opazimo, kadar so rastline pod stresom zaradi raznih okoljskih dejavnikov, na primer suše. Do sprememb ob izpostavljenosti ozonu pride tudi v mitohondrijih. Uničenje kloroplastov vodi do zmanjšanja fotosinteze in posledično kloroze. Na značilnosti simptomov kloroze vpliva vrsta rastline, koncentracija ozona, trajanje izpostavljenosti in drugi okoljski dejavniki, simptomi variirajo od nerazločnega, začetnega bledenja zelene barve do različnih vzorcev lis, peg, prog in porumenenja celotnega lista. Zadnji znak zelo

spominja na normalno staranje listov in se pogosto pojavlja na začetku obdobja odpadanja listja. Pri listavcih in nekaterih zelnatih rastlinah z dobro razvitim palisadnim tkivom je prvotna poškodba omejena na skupino palisadnih celic, pozneje pa postane vidna na zgornji listni površini kot madež ali pikčasta poškodba. Poškodba lahko obsega le nekaj celic ali pa ima premer do dva milimetra, njena barva pa variira od svetlo zelene do bele ali temno rjave barve odmrlih celic. Gobasto tkivo in povrhnjica navadno nista poškodovana, razen če je koncentracija ozona zelo velika in celice s kloroplasti odmrejo. Pri enokaličnicah, na primer vrstah iz družine trav, pri katerih tkivo mezofila ni diferencirano, se poškodba pojavi v obliki klorotičnih prog med vzporednimi listnimi žilami, vidna pa je na obeh straneh lista. Poškodba je pogosto hujša na pregibu listov koruze, česna in trav, kjer povzroči skoraj popoln propad medžilnega tkiva na tem mestu (Treshow, 1985).

Glavni tip poškodb pri veliko vrstah tako zelnatih kot lesnatih rastlin je lokalizirana pigmentacija skupin celic, ki tvori jasno določene pikaste poškodbe. Na listih tobaka se poškodbe pojavijo kot majhne, najprej belkasto-rumenkaste svetle pike, ki postanejo kasneje lahko temno rjave ali črne pege, vedno na zgornji površini lista. V celicah, ki odmrejo zaradi ozona, se odlagajo tanini, razlike v barvi peg pa so posledica različnih koncentracij taninov. Nekatere vrste rastlin razvijejo rdeče ali rožnato obarvanje tkiv listov in stebela, kadar so pod stresom zaradi nizkih temperatur ali fizičnih poškodb. Ozon povzroča tudi tvorbo antociana, kar se odraža v splošni pordečitvi listnega tkiva (Treshow, 1985).

Pri lesnatih rastlinah je uničenje celic in tkiv zaradi ozona v bistvu enako kot pri zelnatih rastlinah, pa tudi simptomi so podobni in jih sestavljajo majhne klorotične pege, ki se razvijejo na zgornji listni površini občutljivih listov, ko se kloroplasti palisadnega tkiva poškodujejo. Celice povrhnjice nad poškodovanim delom navadno ostanejo nepoškodovane. Pege so najprej ločene, neopazne, blede zelene barve, ko je poškodovanih še več celic pa postanejo večje in se zlijejo med sabo ter postanejo klorotične, belkaste ali rjavkaste. Obarvanje peg temno zeleno, rožnato ali rdeče zaradi antocianov je pogosto tudi pri lesnatih rastlinah. Lahko se pojavi tudi beljenje zgornje listne površine, vendar je manj pogosto kot pri zelnatih rastlinah. Kadar so poškodbe hude pa lahko prodrejo skozi list, tako da so vidne na obeh straneh (Treshow, 1985).

Najprej so prizadeti otočki celic med najmanjšimi listnimi žilami, lahko pa je vključeno tudi žilno tkivo. Razmejene poškodbe so tako oglatih oblik. Večje žile in obdajajoče tkivo so bolj odporni in velikokrat ostanejo zeleni še potem, ko je pol ali več lista prizadetega. Postopno obarvanje peg daje od ozona prizadetim listom lesnatih rastlin bronzast izgled, posebno zgornje listne površine (Treshow, 1985).

Pikčaste poškodbe so najbolj znane in so bile tudi prve opisane. Poškodovane celice tvorijo tanin, kar povzroča temne lise. Kloroza listov, pikčavost, bronzing, prezgodnje staranje in odpadanje listja vse prispeva k zmanjšanju donosov. Simptomi v zelo onesnaženih območjih se lahko pojavijo že sredi poletja, še preden se pojavijo vidne poškodbe, se listi in plodovi lahko začnejo starati in odpadati, nap. pri vinski trti (Treshow, 1985).

Med drevesi so najbolj občutljivi na ozon nekateri iglavci z mezofilno zgradbo iglic, najbolj občutljivi listavci pa so le nekoliko bolj odporni. Razporeditev vrst v občutljivostne razrede pa je težka, saj je znotraj osebkov populacije velika genska raznolikost, poleg tega pa so prisotni še okoljski vplivi. Vsak seznam vrst po občutljivosti je nekoliko umeten, saj izhaja iz opazovalčeve opredelitve pojma občutljivosti in širine razredov. Kljub tem slabim stranem pa obstajajo sezname občutljivosti (Treshow, 1985).

Ozonske poškodbe na listih rastlin so dokaz za fitotoksične koncentracije v območju. Tržna cena pridelkov je povezana z estetiko proizvoda. V primerih listnate zelenjave, tobaka, rož in okrasnih rastlin je ta vrednost lahko izničena ali zelo zmanjšana zaradi ozonskih poškodb. Kloroza, nekroza, pege in prezgodnje odpadanje listja lahko predstavljajo veliko vrednostno izgubo, še posebno takrat, kadar take poškodbe prizadenejo le del celotnega pridelka (Treshow, 1985).

Poleg estetskih učinkov pa izguba fotosintetsko aktivnega tkiva na poškodovanih delih negativno vpliva na rast in razvoj. Vendar pa so nekatere študije pokazale, da rastline proizvedejo več listne površine, kot jo potrebujejo za proizvodnjo maksimalne količine plodov in semen, zato lahko izgubijo znatno količino listne površine brez zmanjšanja donosa. Z izjemo tistih rastlin, ki jih gojimo zaradi listja, so plodovi, semena, vlakna in krma najpomembnejši. Listne poškodbe so v nekaterih primerih lahko povezane z

zmanjšanjem biomase in donosa, v večini primerov pa povezava z donosom in plodovi ni znana. Nekatere študije pa so pokazale, da onesnaženost z ozonom zmanjšuje produkcijo, učinek pa je še večji ob prisotnosti žveplovega dioksida. Dobro znano je, da okoljske razmere kot so intenziteta svetlobe, relativna vlaga in temperatura zraka vplivajo na odziv rastlin na onesnažila (Treshow, 1985).

Rast in donos sta zmanjšana ob izpostavljenosti ozonu in vsaj pri nekaterih rastlinah je večje zmanjšanje rasti korenin kot nadzemske rasti. Zračna onesnažila zavirajo asimilacijo ogljika in transport metabolitov v koreninski sistem. Ponoči je transport škroba iz listov zaviran, zato se posledično zmanjša tudi mikoriza, saj mikorizni organizmi (glive) živijo v tesnem sožitju s koreninami višjih rastlin, ki jim zagotavljajo ogljikove hidrate in druge organske snovi, rastline pa od njih dobivajo vodo in mineralne snovi. Takšne razmere spodbudijo razvoj patogenih gliv, katerih številčnost naraste na površinah korenin od ozona prizadetih rastlin (Treshow, 1985).

2.5 UČINKI ZRAČNIH ONESNAŽIL NA CELICE IN MIKROSTRUKTURO

2.5.1 Strukturni učinki

2.5.1.1 Učinki na ravni celic

Ne glede na vrsto onesnažila so učinki pri listavcih in iglavcih podobni. Najpogosteje so mikroskopske poškodbe opazne tam, kjer so prisotne že tudi vidne poškodbe, kot je na primer ožig. Eden prvih vidnih dogodkov je deorganizacija kloroplastov. Ko je poškodba resnejša, se celična vsebina vključno s kloroplasti združi v eno ali več temnih gmot v sredini celice ali ob celični steni. Na koncu celična stena razpade. Končna deorganizacija in razpad celične stene ter širjenje medceličnih prostorov se pojavijo le, kadar so prisotni tudi makroskopski simptomi. Razpad celične stene povzroči velika koncentracija polutantov, ki je navadno prisotna med eksperimenti, na prostem pa je dolgo trajajoča majhna koncentracija bolj pogost primer (Treshow, 1985).

2.5.1.2 Učinki na ravni tkiv

Ozon najprej in v večjem številu prizadene palisadne celice, poškodbe pa so našli tudi na celicah gobastega tkiva. Vsaka oblika stresa povzroči splošno hipertrofijo krovnega tkiva smolnih kanalov z granulacijo transfuznega in mezofilnega parenhima. Nekrozo povzroči propad celic mezofila. Na primeru iglic navadne smreke in rdečega bora so ugotovili, da so najprej poškodovane celice tik pod povrhnjico, blizu listnih rež ali blizu endoderma in medceličnih prostorov. Poškodba se hitro širi v notranjost mezofila. Onesnažila vdrejo v iglice skozi listne reže in se od tam širijo po medceličnih prostorih. Bliže virov onesnažil poškodbe hitreje napredujejo do zelo hudih kot dlje stran (Treshow, 1985).

Skupaj z elektronskim mikroskopom svetlobni mikroskop predstavlja najbolj uporabno orodje za določevanje poškodovanih tkiv ali celic, ki jih potem preučijo ultrastrukturno (Treshow, 1985).

2.5.2 Ultrastrukturni učinki

Rastline, ki so izpostavljene majhnim koncentracijam polutantov lahko kažejo zmanjšanje rasti in donosa brez prisotnosti kakršnihkoli vidnih simptomov. Raziskave so pokazale, da polutanti povzročajo tudi zmanjšanje fotosinteze, zato so se v ultrastrukturnih raziskavah osredotočili predvsem na fotosintetizirajoče celice in še posebno na njihove kloroplaste (Treshow, 1985).

2.5.2.1 Oblika in velikost kloroplastov

Prve spremembe zaradi ozona pri rastlinah tobaka vključujejo nepravilno obliko kloroplastov, posebno v celicah ob celični membrani (Treshow, 1985).

2.5.2.2 Ovojnica kloroplastov

Eden prvih znakov poškodb zaradi ozona so majhne, vendar opazne spremembe v ultrastrukтури ovojnice, ki se prvotno kažejo kot porast gostote madežev in kopičenje elektronsko gostega materiala med obema membranama ovojnice (Treshow, 1985).

2.5.2.3 Stroma

Po izpostavljenosti ozonu so opazne značilne spremembe v stromi, za katere je značilna povečana zrnastost in elektronska gostota strome kot tudi pojav skupin in urejenih razporedov fibril v nekaterih kloroplastih. Značilna je tudi prisotnost kristaliničnih struktur v stromi ali pa le povečanje gostote strome brez kristaloidov. Na primeru navadnega fižola so odkrili fibrile in kristaloide v zgodnji fazi poškodovanosti ovojnic. Kristaloide v zmerno poškodovanih celicah so bili ekstremno veliki in se niso pojavljali le v bližini ovojnic, ampak tudi v bližini granularnih tilakoid. Kristaloide so prisotni tudi v hudo poškodovanih celicah, kjer so razporejeni po vsej agregirani gmoti (Treshow, 1985).

2.5.2.4 Mitohondriji

V listih tobaka se pojavlja nabrekanje mitohondrijev (Treshow, 1985).

2.5.2.5 Citoplazma, ribosomi in endoplazmatski retikulum

Učinek ozona na citoplazmo je opazen le pri hudo poškodovanih celicah. Celična vsebina se agregira v gosto, sesedeno maso okoli periferije celic (Treshow, 1985).

2.5.2.6 Plazmalema, tonoplast, celična stena

Opazovanja drugih membran, razen tistih od kloroplastov, so zelo omejena, izsledki pa kažejo, da se motnje v teh delih pojavijo v pozni fazi poškodovanosti. Pri izpostavljenosti ozonu tonoplast in plazmalema nista poškodovana niti v zmerno poškodovanih celicah (Treshow, 1985).

2.5.3 Vpliv ultrastrukturnih sprememb na delovanje

Membrane, še posebno tiste od kloroplastov, so najbolj občutljive na vpliv onesnažil. Ozonske poškodbe celične membrane in tonoplasta lahko povzročijo smrt celic, medtem ko poškodbe drugih membran le omejijo delovanje celic. Prvi znaki ozonskih poškodb ovojnic kloroplastov se kažejo v njihovi spremenjeni prepustnosti, zaradi česar stroma izgublja vodo, v dehidrirani stromi pa se potem tvorijo kristaloide (Treshow, 1985).

Kadar uporabljamo ultrastrukturne metode za odkrivanje mehanizmov fitotoksičnosti ali za diagnostične namene moramo upoštevati več dejavnikov. Rezultatov, ki jih dobimo za eno vrsto, ne moremo direktno prenesti na druge. Poleg tega ista vrsta na isti polutant lahko drugače reagira v različnih okoliščinah, ki so odvisne od spreminjajočih se klimatskih in edafskih dejavnikov, letnih časov, starosti rastlin, hranil in drugih okoljskih spremenljivk. Študije z elektronskim mikroskopom morajo biti usmerjene tako, da ne glede na vrstne, klimatske ali druge dejavnike odkrivajo učinke dolgo trajajočih majhnih koncentracij polutantov, saj le tako potem lahko ločimo prve simptome poškodb in določimo specifične spremembe, ki jih povzročajo različni polutanti. Velike koncentracije navadno povzročijo akutne poškodbe, kot je celična smrt. V zadnjih fazah postopno napredujočih poškodb celic so spremembe, ki jih povzročijo različni polutanti, na primer granulacija citoplazme in strome v hudo poškodovanih celicah in končno razpad membrane in plazmoliza, podobne druga drugi. V teh primerih je v teh poznih fazah veliko težje določiti povzročitelja poškodb kot v zgodnjih fazah, čeprav je to včasih še mogoče (Treshow, 1985).

Končno uničenje citoplazme in celičnih organelov je lahko posledica denaturacijskega učinka tanina po raztrganju tonoplasta ali pa sproščanja litičnih encimov po razpadu tonoplasta vakuole. Še vedno pa niso znani vzroki vseh strukturnih sprememb, kot na primer strukture tanina, ki so jo opazili tako s svetlobnim kot z elektronskim mikroskopom, še vedno pa je ne razumemo s funkcionalnega vidika (Treshow, 1985).

2.6 OZONSKE POŠKODBE V EVROPI

Koncentracija ozona v zraku zelo variira med posameznimi regijami in leti, kar je pogojeno s klimatskimi razlikami, obliko reliefa, načinom rabe tal in lokalnimi ali bolj oddaljenimi viri prekursorjev ozona in drugih onesnažil. Največje koncentracije se pojavljajo v južni Evropi, še posebno v Italiji, Grčiji, Sloveniji, Španiji in Švici. Srednje koncentracije ozona pa so zabeležili še v veliko drugih evropskih državah, še posebno v srednji Evropi. Za vse evropske države pa so značilni periodični letni viški koncentracij ozona, ko le te presegajo 50 ppb in včasih 90 ppb. Karte ozonskih tokov kažejo, da imajo klimatske razmere glavni vpliv na vegetacijski sprejem ozona po Evropi, s tem da so

prisotni srednji do močni ozonski tokovi v predelih kot je južna Skandinavija, kjer je koncentracija ozona relativno majhna (Hayes in sod., 2007).

2.7 SMERNICE ZA PRIHODNOST

Raziskave so jasno pokazale, da ozon povzroča poškodbe na evropski vegetaciji. V naslednjih desetletjih bodo spremenjeni letni poteki koncentracij ozona (manjši maksimumi in večje povprečje) in klimatske spremembe (temperatura, koncentracija CO₂, padavine, ki bodo spremenile ozonski tok skozi listne reže) spremenili porazdelitev in jakost vplivov ozona po Evropi. Zato je znanje o škodljivih vplivih ozona na vegetacijo v Evropi potrebno nadgraditi z :

- pomladnim in poletnim spremljanjem vplivov ozona na prostem z uporabo razširjenih mrež merilnih mest in osnovanjem novih na krajih, za katere imamo do sedaj malo ali nič podatkov
- razvijanjem nizov podatkov za dolga časovna obdobja za regionalno reprezentativne kraje za potrebe spremljanja vplivov spreminjajočih potekov koncentracij ozona in klime
- določanjem vpliva ozonskih tokov na širok izbor vrst kulturnih rastlin in (pol)naravne vegetacije z upoštevanjem vpliva globalnih klimatskih sprememb
- vključevanjem deficita vlažnosti tal in zraka kot ključnega modifikacijskega faktorja prevodnosti listnih rež v karte ocen tveganj za kulturne rastline in (pol)naravno vegetacijo
- razvijanjem naslednje generacije kart ocen tveganj zaradi ozona, ki bodo vključevale vpliv klimatskih sprememb (temperature, naraščajoče koncentracije CO₂, spreminjajočih vzorcev padavin), s pomočjo terenskih podatkov (Hayes in sod., 2007)

2.8 VLOGA PROGRAMA ICP VEGETATION

Spremljanje vpliva ozona na vegetacijo vodi program ICP Vegetation (International Cooperative Programme on the Impacts of Air Pollution on Vegetation) kot eden izmed usklajenih programov Delovne skupine za učinke (Working Group on Effects) Konvencije o preprečevanju razširjanja onesnaženega zraka na velike razdalje (CLRTAP- Convention

on Long Tange transboundary Air Pollution). Program ICP Vegetation vodi poskuse, analizira vegetacijske vzorce in razvija modele za vpliv ozona, kovin in dušikovih onesnažil na kulturne rastline in (pol)naravno vegetacijo 33 držav Evrope, ZDA in Kanade. Vodstvo programa ICP Vegetation nato poroča delovni skupini za učinke (Working Group on Effects (WGE)). Informacije o vplivu onesnaženja z ozonom, ki jih zbere program ICP Vegetation, se uporabljajo za potrebe Gothenburškega protokola iz leta 1999 za zmanjšanje vplivov zakisevanja, eutrofikacije in onesnaževanja s prizemnim ozonom ter kovinami. Postopek vključuje odzivne funkcije preko dvajset kulturnih rastlin in osemdeset vrst (pol)naravne vegetacije, poškodbe in druge rezultate izpostavitve ozonu na ozon občutljivih in neobčutljivih vrst, mednarodno metodologijo za beleženje vplivov in oceno tveganja. V ozonskem programu ICP Vegetation sodeluje osemnajst držav. Podrobne informacije o aktivnostih programa ICP Vegetation in letna poročila so dostopni na spletni strani icpvegetation.ceh.ac.uk (Hayes in sod., 2007).

2.9 BELEŽENJE VPLIVA OZONA V EVROPI

Ena izmed nalog programa ICP Vegetation v zadnjih petih letih je bila beleženje kritičnih koncentracij ozona. Kritične ravni ozona so definirane kot »koncentracije polutantov v atmosferi, nad katerimi se pojavljajo neugodni vplivi na prejemnikih (ljudje, rastline, ekosistemi, materiali)« (CLRTAP Convention, 2007 b). Po dogovoru Gothenburškega protokola so določene ločene kritične meje ozona za kmetijske rastline, (pol)naravno vegetacijo in gozdna drevesa (Hayes in sod., 2007).

Po podpisu Gothenburškega protokola sta bili organizirani dve mednarodni delavnici na temo ozona. Razvili so modele, ki upoštevajo sočasen vpliv podnebja, tal in stopnje razvoja rastlin na ozonski tok, to je sprejem ozona skozi listne reže na listni površini (Hayes in sod., 2007).

2.10 KONCENTRACIJE OZONA PO EVROPI

Koncentracije ozona po Evropi spremljajo z uporabo različnih metodologij. V veliko državah (npr. Anglija, Švedska, Slovenija) so postavljene nacionalne mreže za merjenje kvalitete zraka, ki vključujejo tudi avtomatske ozonske monitorje. Podatki iz več kot 1000 postaj za avtomatsko spremljanje ozona po Evropi so poslani na EMEP za kartiranje. Poleg avtomatskih ozonskih monitorjev pa veliko držav uporablja pasivne vzorčne metode, iz katerih dobijo povprečne tedenske do mesečne koncentracije. Veliko sodelavcev programa ICP Vegetation ima enega ali več ozonskih monitorjev na ali v bližini njihovega inštituta ali terenskih postaj za zagotavljanje lokalnih podatkov za potrebe interpretacij učinkov (Hayes in sod., 2007).

3 MATERIAL IN METODE

3.1 MATERIAL

- indikatorska rastlina: navadni nizek fižol (*Phaseolus vulgaris* L.), na ozon občutljivi (S156) in odporni klon (R123)
- plastični lonci: 20 loncev z volumnom 20 litrov in premerom na površini 25 cm in drenažnimi odprtinami na dnu
- mešanica prsti za sajenje lončnic
- počasi sproščajoče umetno gnojilo
- ograja
- mreža za zaščito proti toči in soncu
- tehnica
- merilo
- računalnik
- LICOR- infrardeči plinski analizator fotosinteze, prevodnosti rež in transpiracije

3.2 METODE

Poskus z indikatorsko rastlino navadnega nizkega fižola je potekal po protokolu programa ICP Vegetation (Yield response and ozone injury on *Phaseolus vulgaris*, ICP Vegetation Pilot study, 2008 season). Protokol predpisuje velikost in širino loncev, način zalivanja in zaščite proti soncu, mešanico prsti in gnojilo, vrsto semen ter način beleženja podatkov in lestvico za določanje jakosti poškodb. Predpisuje tudi način popisovanja pridelka, na koncu pa navaja datum in e-mail naslov, kamor pošljemo zbrane podatke vključno z izračunanimi vrednostmi AOT40 in dvanajsturnimi in povprečnimi dnevnimi koncentracijami ozona za določene dni merjenja ter klimatološkimi podatki. Kot enkratno meritev smo z infrardečim plinskim analizatorjem izvedli tudi meritev fotosinteze, prevodnosti listnih rež in transpiracije listov indikatorskih rastlin.

Na ploskvah intenzivnega spremljanja gozdov v okviru programa ICP-Forest smo poleg pasivnega merjenja ozona v letu 2008 spremljali tudi vidne poškodbe vegetacije zaradi

ozona, in sicer na ploskvah Fondek- Trnovski gozd, Sežana- Gropajski bori, Kolomban nad Ankaranom, Podgorski Kras pod Slavnikom pri Černotičah, Lontovž- Kum, Zasavje, Borovec pri Kočevski Reki, Murska Šuma in Ljubljana (vrt GIS in BF). V bližnji okolici vsake ploskve smo izbrali površino s polmerom približno 500 m in gozdnim robom, ki je izpostavljen svetlobi in daljši od 10 m. Na tem gozdnem robu smo potem zabeležili vse drevesne vrste in stopnje njihove poškodovanosti.

Stopnje poškodovanosti:

- 0** ni znakov poškodb zaradi ozona
- 1** 1% - 5% listov kaže simptome ozonskih poškodb
- 2** 6% - 50% listov kaže simptome ozonskih poškodb
- 3** nad 50% listov kaže simptome ozonskih poškodb

Opazovali smo predvsem poškodbe na listih navadne leske (*Corylus avellana* L.), navadne bukve (*Fagus sylvatica* L.), malega jesena (*Fraxinus ornus* L.), belega (gorskega) javorja (*Acer pseudoplatanus* L.), lipovca (*Tilia cordata* Mill.), češnje (*Prunus avium* L.), šipka (*Rosa* L.), rumenega dreva (*Cornus mas* L.), rdečega dreva (*Cornus sanguinea* L.), črnega gabra (*Ostrya carpinifolia* Scop.), črnega bezga (*Sambucus nigra* L.) in mokovca (*Sorbus aria* L.), ker so te vrste najbolj občutljive za nastanek ozonskih poškodb.

3.2.1 Izpostavitvev rastlin naravnim razmeram

Semena fižola smo dobili od koordinatorja programa ICP Vegetation v Veliki Britaniji (Institute of Ecology & Hydrology, Bangor, Wels, UK).

20 loncev smo napolnili z mešanico prsti in gnojila in jih postavili v dve vrsti po 10 loncev, vse skupaj ogradjali z ograjo in čez razpeljali senčno mrežo. V vsak lonec smo posadili tri zrna nizkega fižola in sicer izmenično občutljive in odporne klone. Pozneje smo iz vsakega lonca odstranili 2 šibkejši rastlini, tako da je v vsakem loncu ostala samo ena najmočnejša in v rasti najprilnejša rastlina. Vse rastline smo potem zalivali po potrebi, tako da je bila prst v loncih vseskozi primerno vlažna. Rastlin nismo zaščitili z nobenimi insekticidi ali fungicidi, le s sredstvom za zaščito proti polžem, limacidom Mesurol.



Slika 1: Razporeditev loncev, zgoraj odporen, pod njo občutljiv genotip nizkega fižola (foto: Batič, 2008).

Preglednica 1: Razporeditev loncev in genotipov indikatorske rastline v njih

R 10	R 01
S 09	S 02
R 08	R 03
S 07	S 04
R 06	R 05
S 05	S 06
R 04	R 07
S 03	S 08
R 02	R 09
S 01	S 10

3.2.2 Tedenska opazovanja poškodb indikatorskih rastlin

Enkrat tedensko smo beležili poškodbe listov indikatorskih rastlin. Pri vsaki rastlini posebej smo prešteli vse liste in poškodovane liste. Določili smo število listov z 1-5 %, 5-

25 % in >25 % poškodovane listne površine. Zabeležili smo tudi število suhih listov. Pri štetju smo vedno upoštevali le popolno razvite liste (s tremi lističi). Poleg listov, poškodovanih zaradi ozona, smo posebej beležili tudi liste, poškodovane zaradi bolezni, objedanja živali, virusa ali toče. Poškodbe smo tudi fotografirali.

3.2.3 Merjenje velikosti in mase strokov in semen

Vse rastline smo poželi, ko je bila več kot polovica strokov genotipa, ki prej dozori (ponavadi občutljivi genotip) rjavih in so vsebovali že suščeča semena. Takrat je že odpadla večina listov, zato smo zbrali le podatke o biomasi strokov in semen. Stroke smo ločili po velikosti na < 4 cm in > 4 cm dolge. Prešteli smo semena v vsaki kategoriji, jih posušili do konstantne teže in stehali semena v vsaki kategoriji.

3.2.4 Meteorološki podatki

Meteorološke podatke o ozonskih koncentracijah, temperaturi in padavinah za Ljubljano smo dobili v poročilih Agencije Republike Slovenije za okolje, za območja ploskev intenzivnega monitoringa pa s pomočjo meritev parametrov na terenu od Gozdarskega inštituta Slovenije.

4 REZULTATI

4.1 OZON

Preglednica 2: Mejne koncentracije ozona (vir: Batič in sod., 1999).

1 ura	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
8 ur	110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
24 ur (za zaščito rastlin)	65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
v vegetacijski dobi (za zaščito rastlin) od 1. 4. do 30.9.	60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Preglednica 3: Kritične koncentracije ozona (vir: Batič in sod., 1999).

1 ura	300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
8 ur	220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
24 ur (za zaščito rastlin)	130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
v vegetacijski dobi (za zaščito rastlin) od 1. 4. do 30.9.	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Preglednica 4: Opozorilna emisijska koncentracija ozona (vir: Batič in sod., 1999).

3 ure	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
-------	------------------------------

Ločimo dve kritični meji vrednosti AOT 40:

- Kritična meja za zmanjšanje pridelka: 5300 ppb.h nad 40 ppb akumuliranega ozona med svetlimi urami dneva (obdobje največjega dotoka ozona v rastlino) v obdobju treh mesecev, ko so rastline najbolj občutljive na ozon (vegetacijsko obdobje). Za naše območje so to junij, julij in avgust.
- Kritična meja za vidne poškodbe: 700 ppb.h nad 40 ppb akumuliranega ozona med svetlimi urami dneva, v obdobju treh zaporednih dni (Janša, 2009).

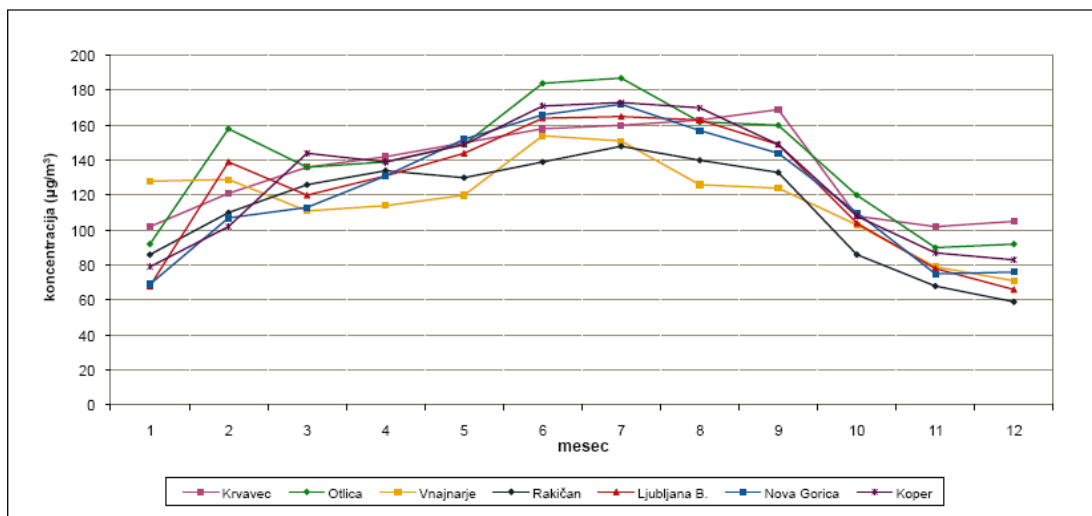
Povprečne letne koncentracije ozona v zadnjih letih ne kažejo opaznih tendenc. Manjša nihanja so posledica vremenskih razmer, posebno tistih polet, ko so razmere za nastanek ozona zaradi močnejšega sončnega obsevanja in višjih temperatur ugodnejše. Mejna vrednost faktorja AOT40 za zaščito vegetacije in gozdov je bila prekoračena tudi tokrat na vseh za to reprezentativnih merilnih mestih (Šegula in sod., 2009).

Preglednica 5: Koncentracije ozona v zraku ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) v letu 2008 (prekoračena mejna vrednost AOT40 in mejna letna vrednost ter preseženo dovoljeno število prekoračitev 8-urne ciljne vrednosti koncentracije so v rdečem tisku, faktorji AOT40 za nereprezentativna mesta pa so v poševnem tisku) (vir: Šegula in sod., 2009).

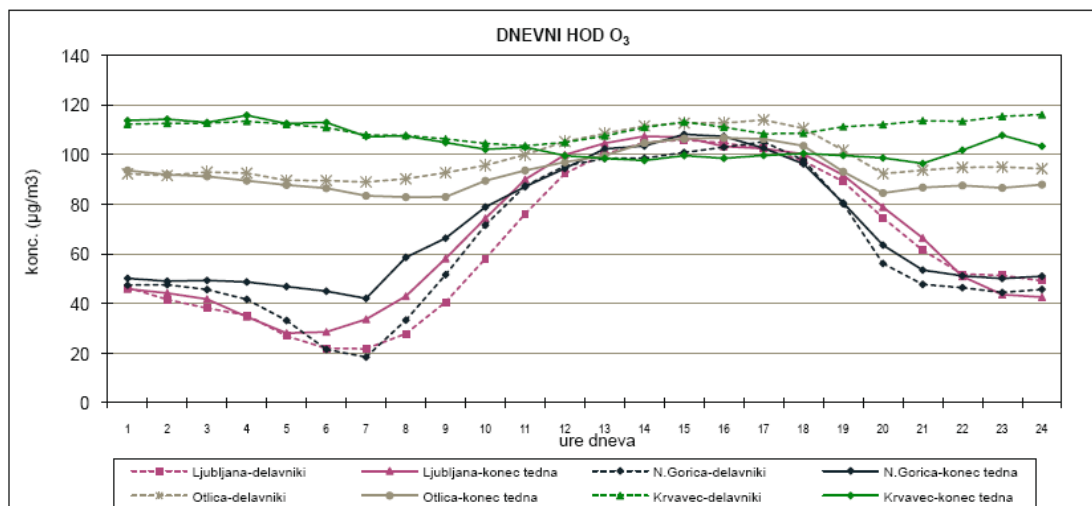
			Leto	1 ura			8 ur		AOT40	
Postaje	n.v. (m)	% pod	C_p	max	>OV	>AV	max	>CV	apr-sep	maj-jul
			Zaščita materialov	Varovanje zdravja					Zaščita gozdov	Zaščitavegetacije
Kravec	1740	91	95	169	0	0	155	70	55840	32192
Iskrba	540	95	50	154	0	0	141	33	36120	19353
Otlca	918	93	82	187	5	0	168	54	48275	28305
Ljubljana Bežigrad	299	93	42	165	0	0	158	22	31667	19315
Maribor	270	95	37	130	0	0	118	0	8371	5320
Celje	240	91	41	158	0	0	146	15	23288	14580
Trbovlje	250	77	33	142*	0*	0	136*	6	16894	14468
Hrastnik	290	88	41	158	0	0	138	14	21863	14284
Zagorje	241	92	30	139	0	0	122	1	7518	5196
Murska S.-Rakičan	188	95	45	148	0	0	137	9	26639	16533
Nova Gorica	113	95	43	172	0	0	155	25	28941	18459
Koper	56	93	67	173	0	0	164	66	49108	30008
Vnanjse	630	94	60	154	0	0	149	9	14433	9338
Maribor Pohorje	725	96	74	155	0	0	143	27	28087	17376
Zavodnje	770	95	65	148	0	0	129	12	22493	14345
Velenje	390	93	42	142	0	0	129	7	16613	11138
Kovk	600	78	61	147*	0*	0	140*	19	26318	18607
Sv.Mohor *	390									

Legenda:

* premalo veljavnih podatkov



Slika 2: Največje urne koncentracije ozona v letu 2008 po mesecih (vir: Šegula in sod., 2009).



Slika 3: Dnevni hodi koncentracij ozona v letu 2008 (vir: Šegula in sod., 2009).

Julij

Onesnaženost zraka z ozonom je bila zaradi spremenljivega vremena manjša kot običajno v tem času tako, da so koncentracije prekoračile le ciljno 8-urno vrednost, na Otlici pa dvakrat tudi opozorilno urno vrednost (Meteorologija, 2008).

Preglednica 6: Mejne, alarmne in dopustne vrednosti koncentracij v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ za leto 2008 (vir: Cegnar, 2008).

	1 ura / 1 hour	3 ure / 3 hours	8 ur / 8 hours	dan / 24 hours	leto / year
SO ₂	350 (MV) ¹	500 (AV)		125 (MV) ³	20 (MV)
NO ₂	200 (MV) ⁴	400 (AV)			44 (DV)
NO _x					30 (MV)
CO			10 (MV) (mg/m ³)		
benzen					6 (DV)
O ₃	180(OV), 240(AV), AOT40		120 (CV) ⁵		40 (CV)
delci PM10				50 (MV) ⁴	40 (MV)

¹ – vrednost je lahko presežena 24-krat v enem letu

² – vrednost je lahko presežena 18-krat v enem letu

⁵ – vrednost je lahko presežena 25-krat v enem letu – cilj za leto 2010

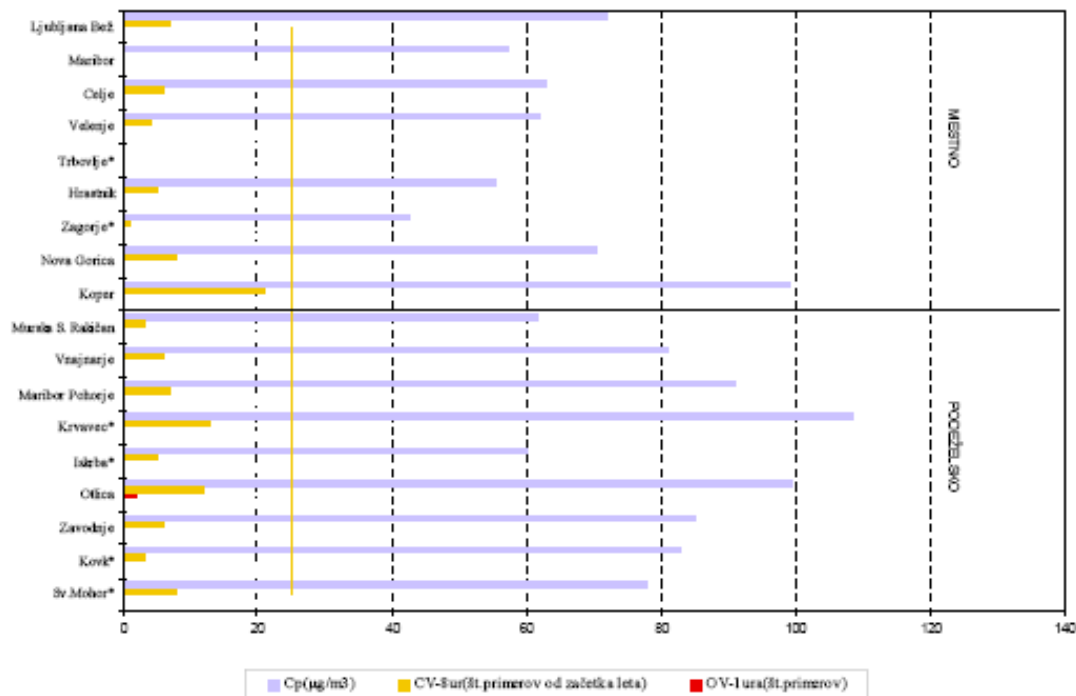
³ – vrednost je lahko presežena 3-krat v enem letu

⁴ – vrednost je lahko presežena 35-krat v enem letu

Krepki rdeči tisk v tabelah označuje prekoračeno število letno dovoljenih prekoračitev koncentracij.

Preglednica 7: Koncentracije O₃ v $\mu\text{g}/\text{m}^3$ v juliju 2008 (vir: Cegnar, 2008).

MERILNA MREŽA	postaja	podr	mesec/ month		1 ura / 1 hour			od 1. aprila	8 ur / 8 hours		
			% pod	Cp	Cmax	>O V	>AV		Cmax	>CV	>CV Σ od 1. jan
DKMZ	Krvavec*	RB	79	109	160*	0*	0*	43536	155*	13*	52
	Iskrba*	RB	88	60	154*	0*	0*	27142	139*	5*	27
	Otlica	RB	94	99	187	2	0	37616	168	12	40
	Ljubljana Bež.	UB	94	72	165	0	0	22598	158	7	16
	Maribor	UT	95	57	130	0	0	7300	115	0	0
	Celje	UB	91	63	158	0	0	18078	146	6	13
	Trbovlje*	UB									
	Hrastnik	SB	96	55	158	0	0	18708	138	5	14
	Zagorje*	UT	89	43	139*	0*	0*	6869	122*	1*	1
	Nova Gorica	SB	94	70	172	0	0	21875	155	8	18
	Koper	SB	95	99	173	0	0	35602	164	21	50
	Murska S. Rakičan	RB	96	62	148	0	0	20999	137	3	9
OMS LJUBLJANA	Vnjanje	RB	95	81	151	0	0	11480	149	6	9*
MO MARIBOR	Maribor Pohorje	RB	93	91	155	0	0	23832	141	7	24
EIS TEŠ	Zavodnje	RB	95	85	137	0	0	18173	129	6	12*
	Velenje	UB	90	62	142	0	0	13347	129	4	7*
EIS TET	Kovk*	RB	48	83*	147*	0*	0*	15156	141*	3*	19*
EIS TEB	Sv. Mohor*	RB	94	78	165	0	0	16439	142	8	14



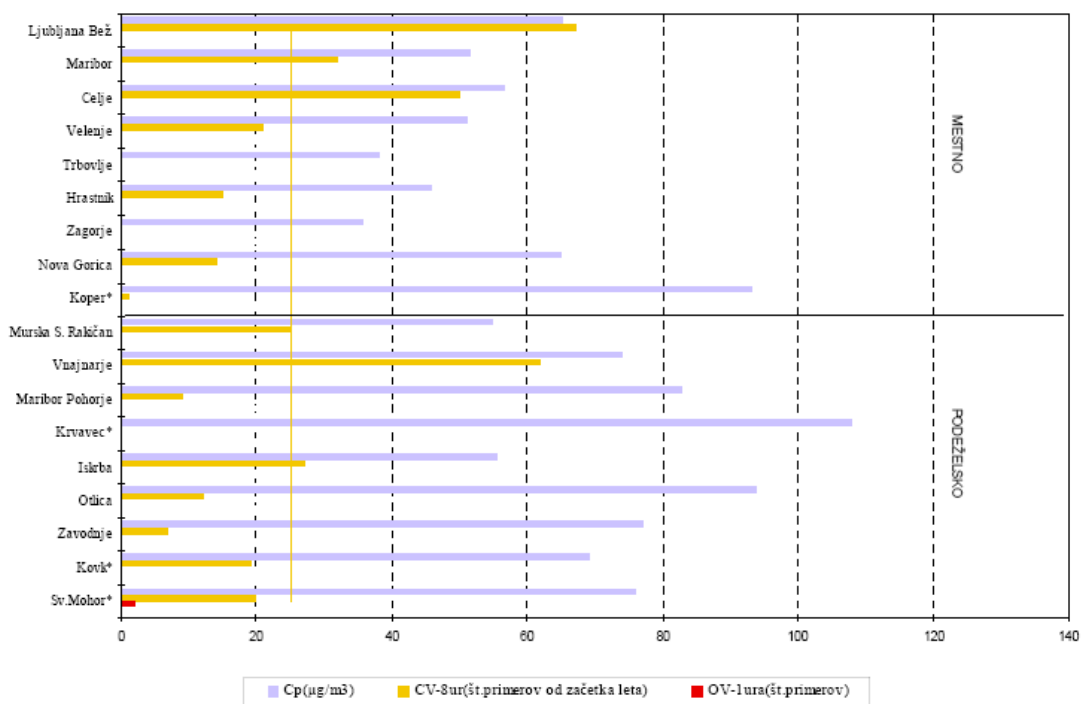
Slika 4: Povprečne mesečne koncentracije O₃ ter prekoračitve opozorilne urne in ciljne osemurne vrednosti v juliju 2008 z označenim dovoljenim letnim številom prekoračitev ciljne 8-urne vrednosti (vir: Cegnar, 2008).

Avgust

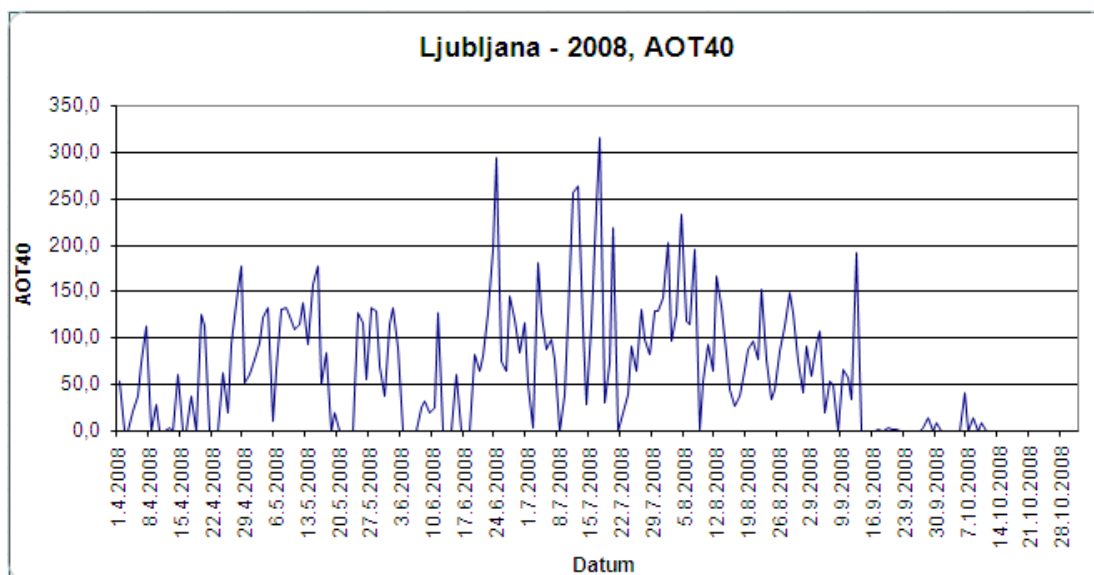
Ker je bilo celo to poletje značilno po močnih nevihtah, je bila onesnaženost zraka z ozonom tudi v avgustu manjša kot običajno v tem času, tako da so koncentracije večinoma prekoračile le ciljno 8-urno vrednost, le na merilnem mestu sv. Mohor nad Brestanico pa dvakrat tudi opozorilno urno vrednost (Cegnar, 2008).

Preglednica 8: Koncentracije O₃ v µg/m³ v avgustu 2008 (vir: Cegnar, 2008).

MERILNA MREŽA	postaja	podr	mesec/ month		1 ura / 1 hour			od 1. aprila	8 ur / 8 hours		
			% pod	Cp	Cmax	>OV	>AV	AOT40	Cmax	>CV	>CV Σ od 1. jan.
DKMZ	Krvavec*	RB	87	108	163*	0*	0*	53049*	152*	15*	67
	Iskrba	RB	93	56	151	0	0	33553	140	5	32
	Otlica	RB	94	94	162	0	0	45500	143	10	50
	Ljubljana Bež.	UB	96	65	163	0	0	29776	144	5	21
	Maribor	UT	96	52	119	0	0	8374	103	0	0
	Celje	UB	92	57	139	0	0	21957	129	2	15
	Trbovlje	UB	95	38	128	0	0	17857*	107	0	6*
	Hrastnik	SB	94	46	136	0	0	21170*	116	0	14
	Zagorje	UT	91	36	107	0	0	7397	98	0	1
	Nova Gorica	SB	96	65	157	0	0	27440	141	7	25
	Koper*	SB	91	93	170	0	0	45783	153*	12*	62
	Murska S. Rakičan	RB	95	55	140	0	0	25167	120	0	9
OMS LJUBLJANA	Vnainarje	RB	92	74	126	0	0	13243	114	0	9*
MO MARIBOR	Maribor Pohorje	RB	99	83	136	0	0	27244	124	3	27
EIS TEŠ	Zavodnje	RB	96	77	127	0	0	21142	119	0	12*
	Velenje	UB	96	51	127	0	0	15337	113	0	7*
EIS TET	Kovk*	RB	9	69*	105*	0*	0*	15340	103*	0*	19*
EIS TEB	Sv.Mohor*	RB	77	76	189*	2*	0*	21428	156*	6*	20*



Slika 5: Povprečne mesečne koncentracije O₃ ter prekoračitve opozorilne urne in ciljne osemurne vrednosti v avgustu 2008 z označenim dovoljenim letnim številom prekoračitev ciljne 8-urne vrednosti (vir: Cegnar, 2008).



Slika 6: Vrednosti AOT 40 v Ljubljani v letu 2008.

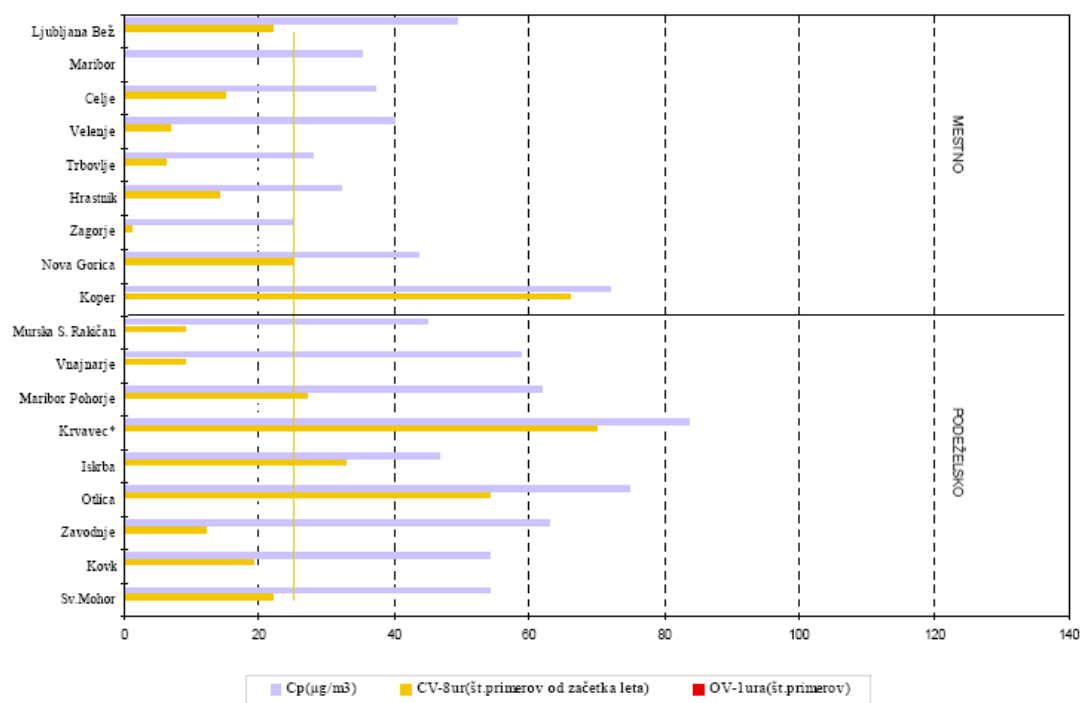
Vrednost AOT 40 v obdobju od junija do avgusta 2008 znaša 8372 ppb.h in tako presega kritično mejo.

September

Koncentracije ozona so bile v septembru že precej manjše od avgusta. Le ciljna 8-urna vrednost je bila ponekod še prekoračena. V vegetacijskem obdobju, od aprila do konca septembra, je bilo v tem letu zaradi pogostih neviht ustrezno malo prekoračitev opozorilne vrednosti koncentracije ozona. Kot vsako leto pa je indeks AOT40, ki meri škodljivost ozona za razvoj rastlin, skoraj povsod prekoračil mejno vrednost 20.000 (Cegnar, 2008).

Preglednica 9: Koncentracije O₃ v µg/m³ v septembru 2008 (vir: Cegnar, 2008).

MERILNA MREŽA	postaja	podr	mesec/ month		1 ura / 1 hour			od 1. aprila	8 ur / 8 hours		
			% pod	Cp	Cmax	>OV	>AV	AOT40	Cmax	>CV	>CV Σ od 1. jan.
DKMZ	Krvavec*	RB	93	84	169	0	0	55912*	155*	3*	70
	Iskrba	RB	94	47	130	0	0	36120	123	1	33
	Otlica	RB	94	75	160	0	0	48275	144	4	54
	Ljubljana Bež.	UB	96	49	149	0	0	31667	128	1	22
	Maribor	UT	96	35	107	0	0	8371	83	0	0
	Celje	UB	96	37	135	0	0	23288	111	0	15
	Trbovlje	UB	95	28	125	0	0	16906*	97	0	6*
	Hrastnik	SB	95	32	135	0	0	21863*	108	0	14
	Zagorje	UT	92	25	103	0	0	7518	85	0	1
	Nova Gorica	SB	96	44	144	0	0	28941	119	0	25
	Koper	SB	95	72	149	0	0	49108	133	4	66
	Murska S. Rakičan	RB	96	45	133	0	0	26639	115	0	9
OMS LJUBLJANA	Vnajarje	RB	96	59	124	0	0	14207	114	0	9*
MO MARIBOR	Maribor Pohorje	RB	99	62	128	0	0	28087	119	0	27
EIS TEŠ	Zavodnje	RB	95	63	140	0	0	22390	116	0	12*
	Velenje	UB	96	40	127	0	0	16031	110	0	7*
EIS TET	Kovk	RB	96	54	118	0	0	16216	104	0	19*
EIS TEB	Sv.Mohor	RB	94	54	155	0	0	24069	133	2	22*

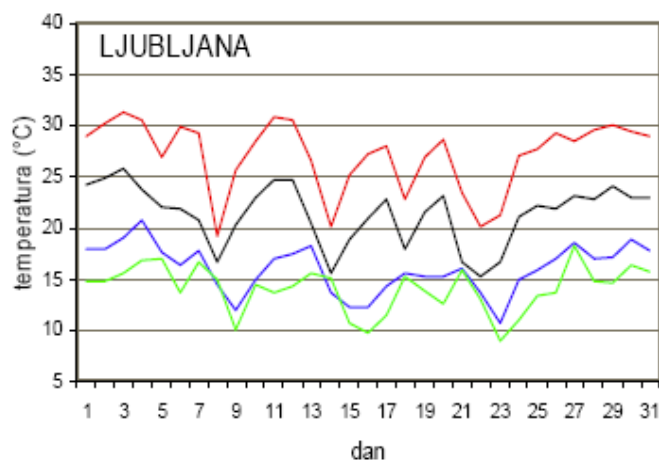


Slika 7: Povprečne mesečne koncentracije O₃ ter prekoračitve opozorilne urne in ciljne osemurne vrednosti v septembru 2008 z označenim dovoljenim letnim številom prekoračitev ciljne 8-urne vrednosti (vir: Cegnar, 2008).

4.2 TEMPERATURA

Julij

Daljši vroči obdobji poletnega vremena sta bili na začetku in koncu meseca. Vmes so se izmenjevala krajša hladna in topla obdobja, kar priča o pestrem vremenskem dogajanju nad Evropo in severno polovico Sredozemlja. V Ljubljani je bila povprečna julijska temperatura 21,4 °C, kar je 1,5 °C nad dolgoletnim povprečjem. Povprečna najnižja dnevna temperatura je bila 16 °C. Povprečna najvišja dnevna temperatura je bila 27,2 °C. Vroči so dnevi, ko temperatura doseže ali celo preseže 30 °C. Julija so taki dnevi pogosti. V Ljubljani so zabeležili 6 vročih dni, kar je dan več od dolgoletnega povprečja. Topli so dnevi z najvišjo dnevno temperaturo vsaj 25 °C. V Ljubljani je bilo julija 25 toplih dni, kar je 5 dni nad dolgoletnim povprečjem. Minimalna temperatura je v Ljubljani znašala 10,6 °C. Najvišjo julijsko temperaturo so izmerili 23. julija, v Ljubljani je bila po petih zaporednih letih ponovno pod dolgoletnim povprečjem, izmerili so 31,4 °C. Povprečna julijska temperatura je bila povsod nadpovprečna (Cegnar, 2008).

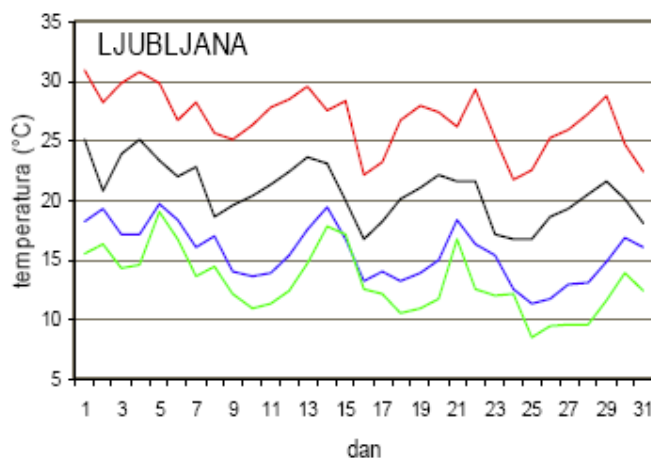


Slika 8: Najvišja (rdeča črta), povprečna (črna) in najnižja (modra) temperatura zraka ter najnižja temperatura zraka na višini 5 cm nad tlemi (zeleni), julij 2008 (vir: Cegnar, 2008).

Avgust

Večina avgustovskih dni je bila toplejših od dolgoletnega povprečja, hladnejši so bili predvsem dnevi v drugi polovici druge tretjine avgusta in okoli 24. avgusta. V Ljubljani je bila povprečna avgustovska temperatura 20,7 °C, kar je 1,7 °C nad dolgoletnim povprečjem. Povprečna najnižja dnevna temperatura je bila 15,6 °C, povprečna najvišja

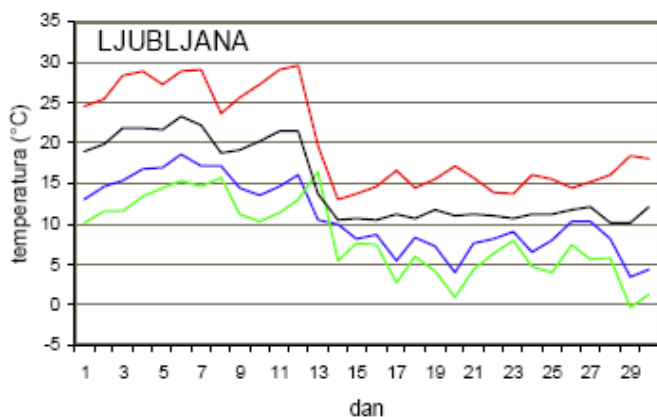
dnevna temperatura pa 26,8 °C. V Ljubljani so zabeležili dva vroča dneva, kar je dva dni manj od dolgoletnega povprečja, in 25 toplih dni, kar je 8 dni nad dolgoletnim povprečjem. Absolutna najnižja temperatura je bila v večini nižinskega sveta zabeležena 25. avgusta, v Ljubljani so zabeležili 11,4 °C. Najvišjo avgustovsko temperaturo so izmerili 1. oz. 4. avgusta. V Ljubljani je bila najvišja izmerjena temperatura pod dolgoletnim povprečjem; izmerili so 30,9 °C. Povsod po državi je bila povprečna temperatura avgusta 1 do 2 °C nad dolgoletnim povprečjem (Cegnar, 2008).



Slika 9: Najvišja (rdeča črta), povprečna (črna) in najnižja (modra) temperatura zraka ter najnižja temperatura zraka na višini 5 cm nad tlemi (zeleni), avgust 2008 (vir: Cegnar, 2008).

September

Do 12. septembra so bili dnevi toplejši od povprečja, nato pa do konca meseca hladnejši. V Ljubljani je bila povprečna septemrska temperatura 15,1 °C, kar je 0,4 °C pod dolgoletnim povprečjem in v mejah običajne spremenljivosti. Povprečna najnižja dnevna temperatura je bila 10,9 °C, kar je toliko kot v dolgoletnem povprečju. Povprečna najvišja dnevna temperatura je bila 20,3 °C. V Ljubljani je bilo z 10 toplimi dnevi število takih dni nadpovprečno. Absolutna najnižja temperatura je bila v pretežnem delu nižinskega sveta zabeležena 29. septembra. V Ljubljani so zabeležili 3,5 °C. Najvišjo septembrsko temperaturo so v večjem delu Slovenije izmerili 6., 11. oz. 12. septembra. V Ljubljani so izmerili 29,6 °C. Povprečna temperatura je bila septembra v večini države pod dolgoletnim povprečjem, z izjemo skrajnega jugozahodnega in severovzhodnega dela. V večjem delu Slovenije je bilo do 1 °C hladneje (Cegnar, 2008).

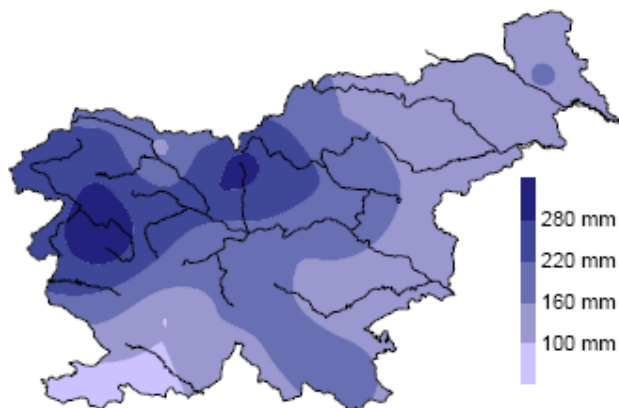


Slika 10: Najvišja (rdeča črta), povprečna (črna) in najnižja (modra) temperatura zraka ter najnižja temperatura zraka na višini 5 cm nad tlemi (zelena), september 2008 (vir: Cegnar, 2008).

4.3 PADAVINE

Julij

Največ padavin, nad 280 mm, je padlo v osrednjem delu zahodne Slovenije ter na območju Kamniške Bistrice; v Kamniški Bistrici so namerili 311 mm. Najmanj dežja, pod 100 mm, so zabeležili v jugozahodni Sloveniji.

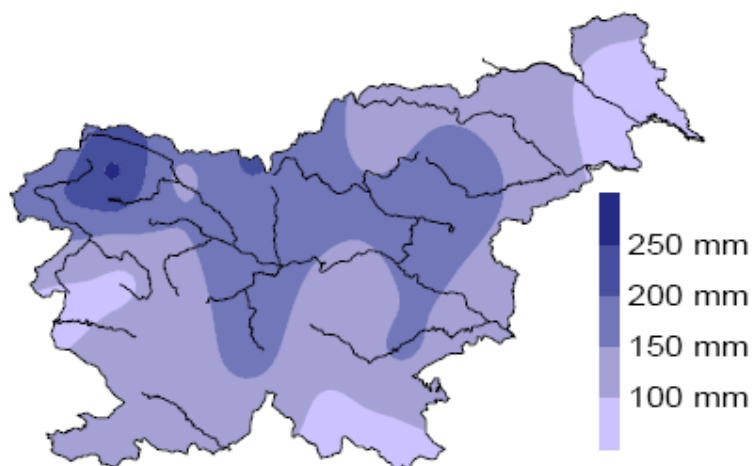


Slika 11: Prikaz porazdelitve padavin julija 2008 (vir: Cegnar, 2008).

Julija je v Ljubljani padlo 188 mm padavin, kar predstavlja dobro polovico več od dolgoletnega povprečja (Cegnar, 2008).

Avgust

Največ padavin, nad 200 mm, je padlo na območju Kredarice z okolico; na postaji Kredarica so namerili 264 mm. Najmanj dežja, pod 100 mm, je padlo v jugovzhodni in severovzhodni Sloveniji ter na Goriškem z okolico in delu Krasa; v Lendavi so zabeležili le 62 mm padavin.

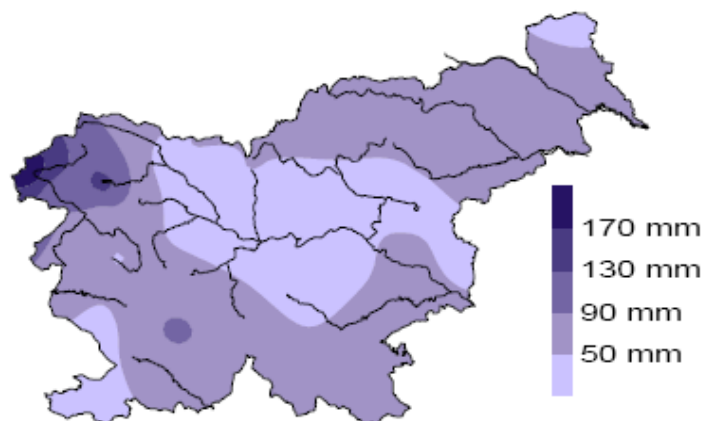


Slika 12: Prikaz porazdelitve padavin avgusta 2008 (vir: Cegnar, 2008).

Avgusta je v Ljubljani padlo 176 mm padavin, kar je 22 % več od dolgoletnega povprečja (Cegnar, 2008).

September

Največ padavin, nad 90 mm, je padlo v severozahodni Sloveniji in na Postojnskem; v Žagi so namerili kar 204 mm. Najmanj dežja, pod 50 mm, je padlo v osrednji in delu severne Slovenije v pasu proti vzhodu, v jugozahodni in skrajni severovzhodni Sloveniji; v Sevnem so zabeležili le 19 mm, na Obali pa 20 mm padavin (Cegnar, 2008).



Slika 13: Prikaz porazdelitve padavin septembra 2008 (vir: Cegnar, 2008).

Septembra je v Ljubljani padlo 34 mm padavin, kar predstavlja 26 % dolgoletnega povprečja.

4.4 OZONSKE POŠKODBE

V preglednici je prikazana primerjava rezultatov mojih opazovanj in opazovanj, ki jih je opravila tehnica na Katedri za aplikativno botaniko, ekologijo, fiziologijo rastlin in informatiko, Oddelka za agronomijo BF. Za vsak datum opazovanja posebej je prikazano povprečje števila listov rastlin na ozon odpornih in občutljivih genotipov ter standardni odklon. Na enak način je prikazano tudi število listov po posameznih stopnjah poškodovanosti. Izračunan je tudi indeks listne poškodovanosti ILP, ki posebej za odporne in občutljive genotipe pokaže, kolikšen delež vseh listov je poškodovanih. Podrobni podatki opazovanj so podani v prilogi.

Iz rezultatov je razvidno, da so razlike med opazovanji dveh ocenjevalcev precejšnje. Menim, da bi bila za doseganje natančnejših rezultatov nujno potrebna predhodna kalibracija ocenjevalcev.

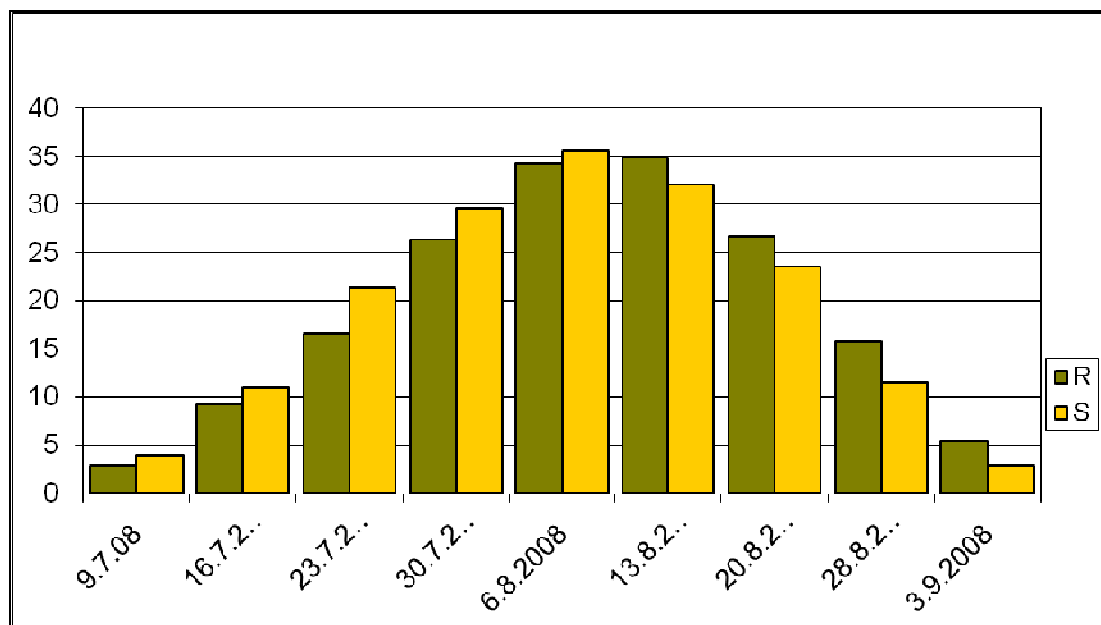
Preglednica 10: Primerjava rezultatov opazovanj poškodb indikatorske rastline navadnega fižola dveh ocenjevalcev.

laborantkina opazovanja									moja opazovanja								
datum	genotip	povprečno število listov	standardni odklon	indeks listne poškodovanosti	1-5 %	5-25 %	>25 %	suhi	datum	genotip	povprečno število listov	standardni odklon	indeks listne poškodovanosti	1-5 %	5-25 %	>25 %	suhi
povprečno število listov									povprečno število listov								
9.7.08	S	4	1,05	4/40=10%	0,33	0	0	0									
standardni odklon									standardni odklon								
					0,5	0	0	0									
	R	2,9	0,57	1/29=3,4%	povprečno število listov												
					0,1	0	0	0									
standardni odklon									standardni odklon								
					0,32	0	0	0									
16.7.08	S	11	2,62	22/110=20%	0,4	1,8	0	0	15.7.08	S	1,2	2,79	33/90=36,7%	1	0,7	1,8	0
					0,7	1,03	0	0						1,49	0,95	2,23	0
	R	9,2	1,87	5/92=5,4%	0,2	0,3	0	0		R	7	0,94	4/70=5,7%	0,3	0,1	0	0
					0,42	0,48	0	0						0,67	0,32	0	0
23.7.08	S	21,3	4,92	60/213=28,2%	3,1	1,7	1,2	0	22.7.08	S	16,8	3,19	73/168=43,5%	2,5	1,8	2,8	0,2
					1,85	1,42	1,03	0						2,22	1,32	1,4	0,42
	R	16,6	3,17	37/166=22,3%	2,1	0,8	0,8	0		R	13,6	2,07	33/136=24,3%	1,6	0,8	0,9	0
					1,45	0,92	0,98	0						2,07	0,79	0,57	0
30.7.08	S	29,6	4,99	94/296=31,8%	3,6	1,9	2,3	1,6	29.7.08	S	29,2	6,2	87/292=29,8%	3,3	1,7	2,1	1,6
					1,58	0,74	1,16	1,07						1,7	1,16	1,37	1,26
	R	26,3	1,95	43/263=16,3%	1,5	0,6	1,7	0,5		R	24,7	36,8	37/247=15,0%	0,4	1,1	2,1	0,1
					1,43	0,84	0,95	0,71						0,52	0,99	1,1	0,32
6.8.08	S	35,6	3,37	239/356=67,1%	9,5	4,88	6,5	1,8	5.8.08	S	40,3	4,27	134/403=33,3	1,1	1,4	10,3	1
					3,69	1,45	3,03	1,87						2,18	0,97	4	0,52
	R	34,3	4,22	75/343=21,9%	3,9	1,5	1	1,1		R	36,2	4,96	44/362=12,2	1,4	1,5	1,1	0,4
					2,28	0,71	0,89	0,74						1,17	0,85	0,88	0,97
13.8.08	S	32,1	3,54	297/321=92,5%	7,4	7,1	10,3	4,8	13.8.08	S	36,1	3,78	282/361=78,1%	1,7	3,7	18,4	4,4
					3,57	2,13	3,5	2,04						30,9	3,13	7,92	4,25
	R	34,9	4,25	235/349=67,3%	2,6	7,2	11,4	2,3		R	34,6	5,15	109/346=31,5%	3,3	3,5	3,3	0,8
					1,26	7,96	12,2	0,67						2,54	2,12	3,33	1,14

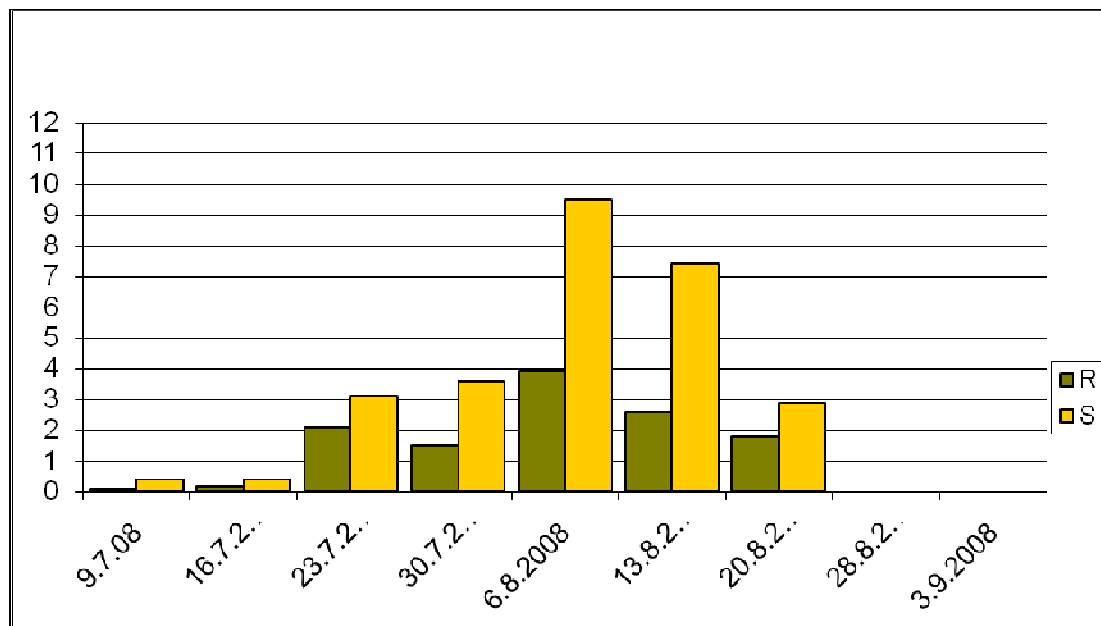
se nadaljuje

Nadaljevanje preglednice 10

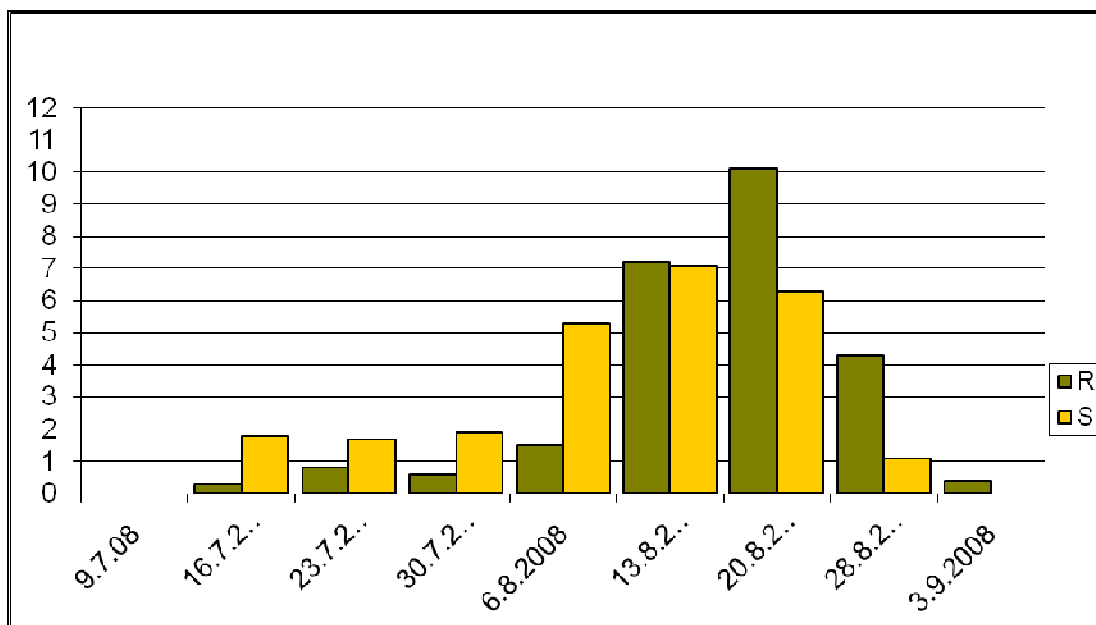
laborantkina opazovanja									moja opazovanja								
datum	genotip	povprečno število listov	standardni odklon	indeks listne poškodovanosti	1-5 %	5-25 %	>25 %	suhi	datum	genotip	povprečno število listov	standardni odklon	indeks listne poškodovanosti	1-5 %	5-25 %	>25 %	suhi
20.8.08	S	23,5	6,02	234/235= 99,6%	2,9	6,3	8,9	5,3	18.8.08	S	29,8	6,78	260/298= 87,2%	0,2	3,1	18,3	4,4
					2,13	4,16	3,84	2,58						0,42	2,56	6,04	2,91
	R	25,6	8,24	266/267= 99,6%	1,8	10,1	11,1	3,6		R	30,7	6,75	167/307= 54,4%	4,1	5,4	6,2	1
					2,82	7,75	5,95	1,58						4,25	3,53	3,77	1,63
28.8.08	S	11,6	8,72	116/116= 100%	0	1,1	7,3	3,2	25.8.08	S	20,9	8,9	201/209= 96,2%	0,1	0,7	13,8	5,5
					0	1,73	7,2	2,2						0,32	1,57	4,57	2,07
	R	15,8	8,73	158/158= 100%	0	4,3	8,2	3,3		R	25,2	9,08	203/252= 80,6%	1,3	3,7	10,8	4,4
					0	4,11	5,69	2,58						1,7	3,02	8,2	1,65
3.9.08	S	2,9	5,1	29/29= 100%	0	0	1,9	3,1	1.9.08	S	3,9	6,51	38/39= 97,4%	0	0	3,9	0
					0	0	3,9	5,17						0	0	5,91	0
	R	5,4	7,01	54/54= 100%	0	0,4	3,1	1,9		R	5,6	6,4	55/56= 98,2%	0	1	4,5	0
					0	1,26	5,17	1,73						0	1,7	5,13	0



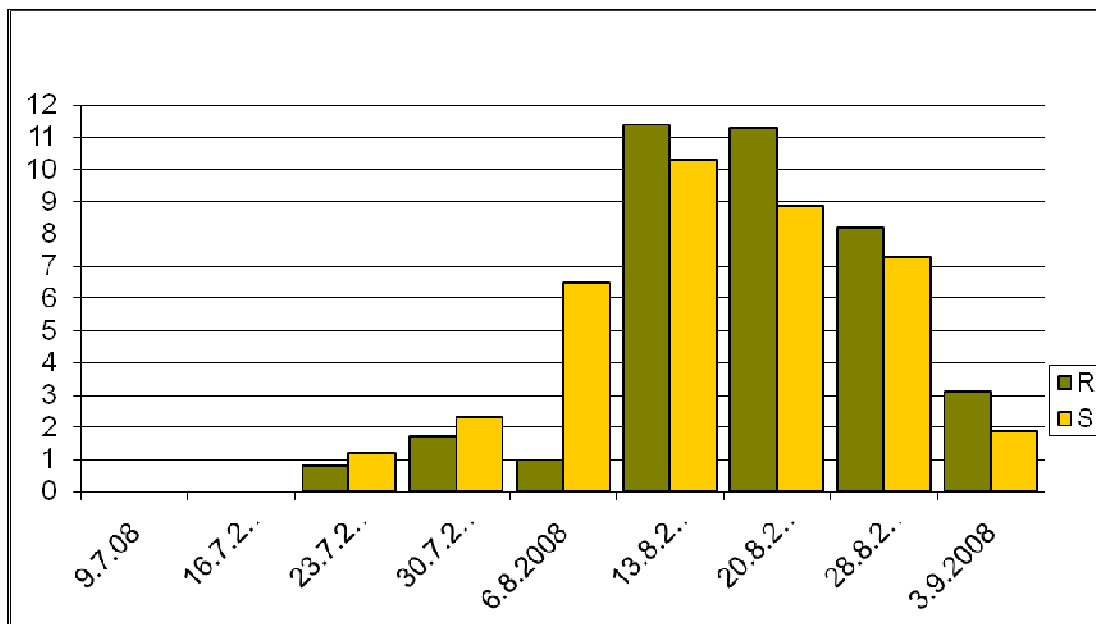
Slika 14: Povprečno število listov rastlin na ozon občutljivega (S) in odpornega (R) genotipa.



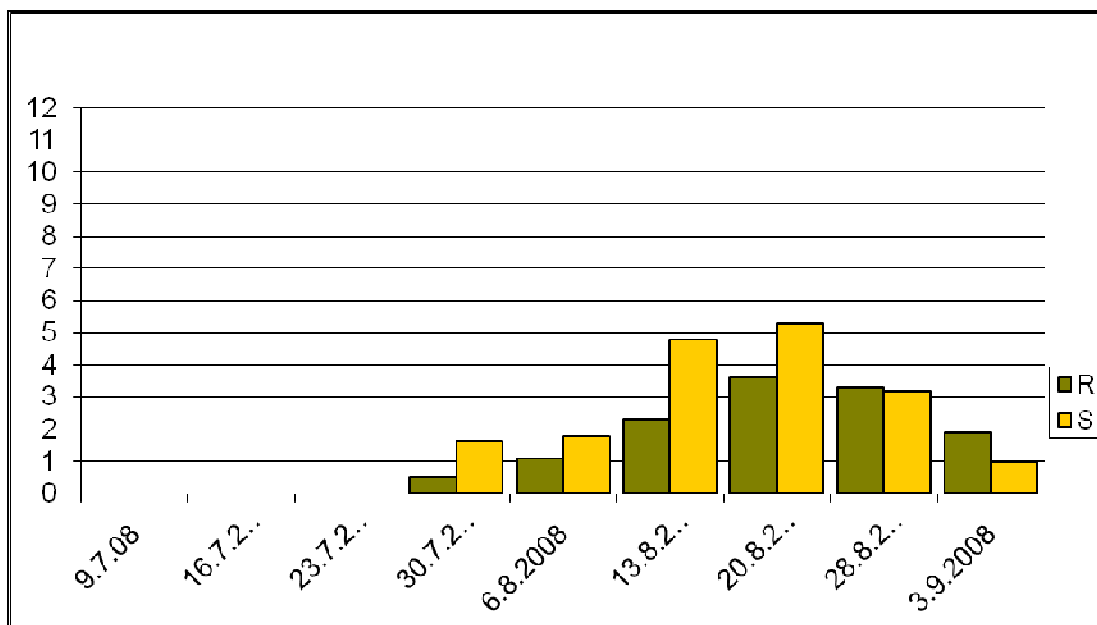
Slika 15: Povprečno število listov z 1-5% poškodovanostjo listne površine.



Slika 16: Povprečno število listov s 5-25% poškodovanostjo.



Slika 17: Povprečno število listov z več kot 25% poškodovanostjo.



Slika 18: Povprečno število suhih listov.

Prikazane slike 14, 15, 16, 17 in 18 se zaradi večje celovitosti nanašajo na rezultate laborantkinih opazovanj, saj so le ta obsegala celoten čas od prvega do zadnjega datuma opazovanja.



Slika 19: Začetna faza poškodb fižola (foto: Batič, 2008).



Slika 20: Poškodbe lista fižola 17.7.2008 (foto: Batič, 2008).



Slika 21: Odporen genotip 17.7.2008 (foto: Batič, 2008).



Slika 22: Občutljiv genotip 17.7.2008 (foto: Batič, 2008).

Pri opazovanju ozonskih poškodb gozdnega drevja na ploskvah intenzivnega monitoringa smo dobili naslednje rezultate:

Vidne poškodbe vegetacije zaradi ozona so se na gozdnem drevju v obliki značilnih rdečkastih in rjavkastih obarvanj in pikčavosti pojavile avgusta na ploskvah:

- **Fondek** – Trnovski gozd; **2** stopnja (navadna bukev, mali jesen, veliki jesen, navadna leska, dobrovita, mokovec, beli javor, črni bezeg, rdeči dren...)
- **Lontovž** – Kum; Zasavje; **1** stopnja (gorski javor, navadna leska, črni bezeg)
- **Podgorski Kras** pod Slavnikom pri Černotičah; opaženih nekaj primerkov (mali jesen)
- **Kolomban** nad Ankaranom; opaženih nekaj primerkov (mali jesen, češnja, tulipanovec)
- **Ljubljana**; opaženih nekaj primerkov (tulipanovec)

Na ploskvah Borovec pri Kočevski Reki, Murska Šuma in Sežana – Gropajski bori vidnih poškodb vegetacije zaradi ozona ni bilo.



Slika 23: Ozonske poškodbe gorskega javorja (foto: Batič, 2008).



Slika 24: Ozonske poškodbe gorskega javorja (foto: Batič, 2008).



Slika 25: Ozonske poškodbe navadne leske (foto: Batič, 2008).



Slika 26: Začetna faza ozonske poškodbe navadne bukve (foto: Batič, 2008).



Slika 27: Končni stadij ozonske poškodbe navadne bukve (foto: Batič, 2008).



Slika 28: Ozonske poškodbe velikega jesena na ploskvi Fondek (foto: Batič, 2008).



Slika 29: Ozonske poškodbe malega jesena nad Ankaranom (foto: Batič, 2008) .



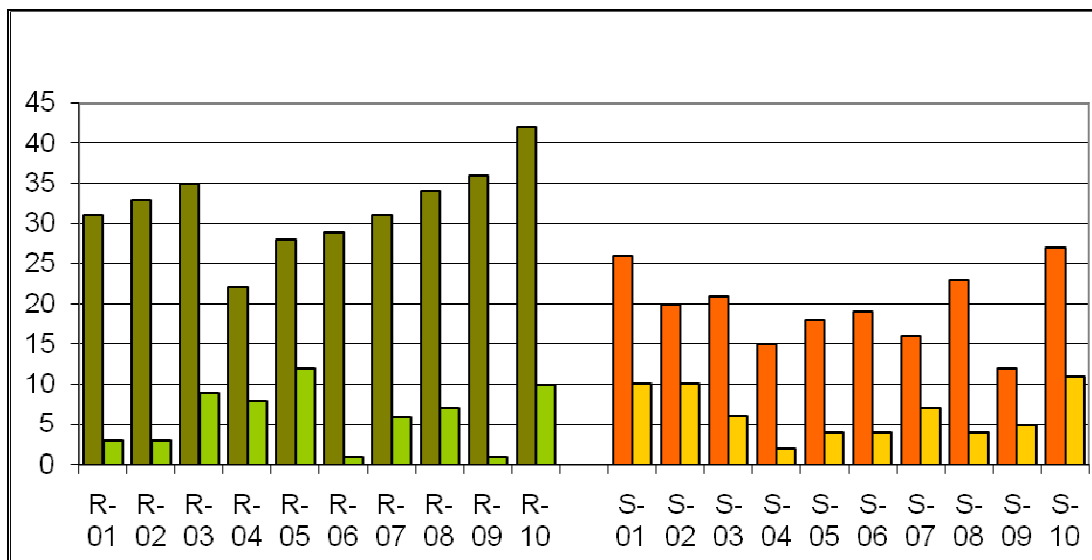
Slika 30: Ozonske poškodbe črnega bezga (foto: Batič, 2008).

4.5 FOTOSINTEZA, PREVODNOST LISTNIH REŽ IN TRANSPIRACIJA

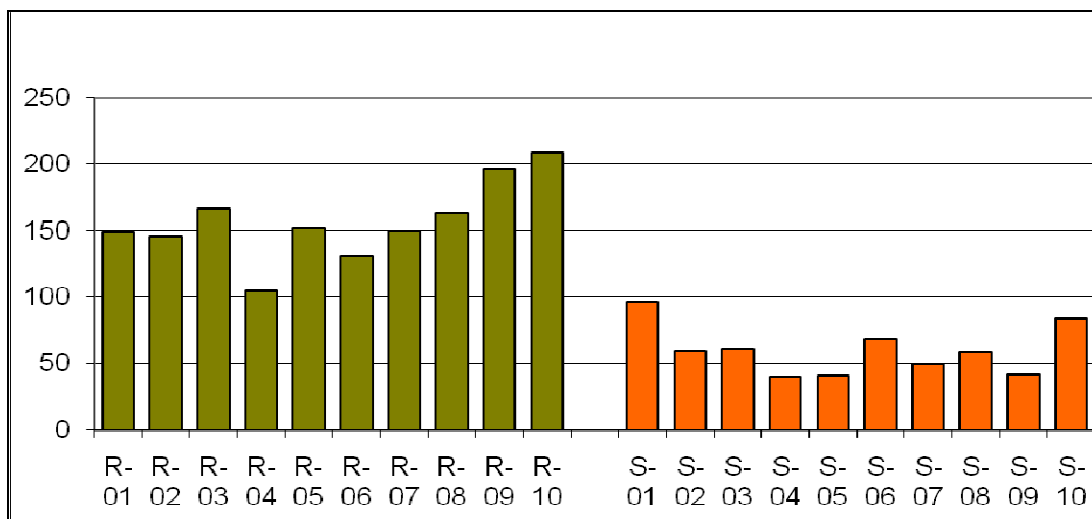
Preglednica 11: Povprečne vrednosti in standardni odkloni fotosinteze, prevodnosti listnih rež, transpiracije, temperature lista, zračne vlage in fotosintetsko aktivnega sevanja na ozon odpornih in občutljivih genotipov nizkega fižola.

	Fotosinteza ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$)	Prevodnost listnih rež ($\text{mol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$)	Transpiracija (mmol)	Temperatura lista ($^{\circ}\text{C}$)	Koncentracija zračne vlage okoli lista (mmol)	Relativna zračna vlaga (%)	Fotosintetsko aktivno sevanje ($\text{mmol}/\text{m}^2/\text{s}$)
povprečna vrednost							
S	3,9	0,14	1,6	23	17,1	59,7	332,3
R	4	0,15	1,7	23,2	17,6	60,4	297,2
standardni odklon							
S	1,34	0,04	0,23	0,79	0,68	2,06	150,06
R	2,73	0,042	0,29	0,73	1,11	3,26	138,35

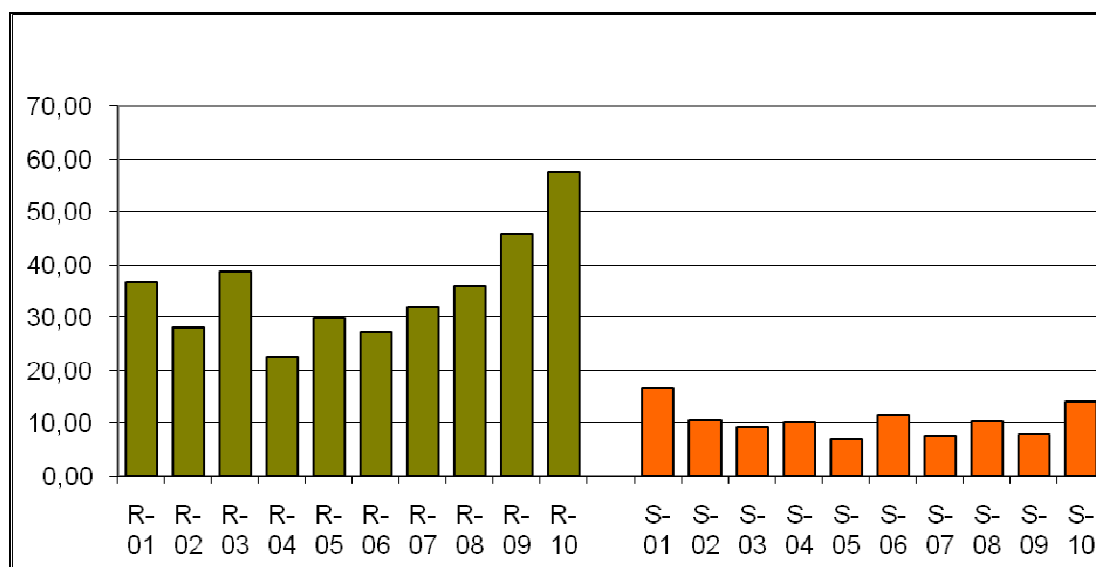
4.6 PRIDELEK



Slika 31: Število strokov z vsaj enim semenom in število strokov brez semen za odporne in občutljive genotipe nizkega fižola.



Slika 32: Število semen rastlin odpornih in občutljivih genotipov nizkega fižola.



Slika 33: Masa semen rastlin odpornih in občutljivih genotipov nizkega fižola v gramih.

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 RAZPRAVA

V Sloveniji v sklopu mednarodnega programa ICP Vegetation vsako leto poteka poskus z izbrano vrsto bioindikatorske rastline, katerega cilj je ugotavljanje škodljivega vpliva ozona na rastline. V letu 2008 je bila izbrana indikatorska rastlina navadni nizek fižol, poleg tega poskusa pa v svoji diplomski nalogi podajam še rezultate opazovanj ozonskih poškodb na naravni vegetaciji (predvsem lesnatih rastlinah) na ploskvah intenzivnega monitoringa gozdov, ki poteka v okviru programa ICP-Forest.

Že dalj časa je znan pojav povečane koncentracije ozona v prizemni plasti atmosfere. Tudi v letu 2008 so bile povsod po Sloveniji prekoračene mejne vrednosti, kar se je odražalo v vidnih poškodbah zelo občutljive indikatorske rastline in manj na gozdni vegetaciji. Naravna vegetacija ne odraža vedno visokih koncentracij ozona, saj nanjo vplivajo tudi klimatski dejavniki, kot sta temperatura in zračna vlaga, od katerih je odvisen nastanek ozonskih poškodb. Pri visokih temperaturah in nizki zračni vlagi so listne reže zaprte, zato je dostop ozona v liste onemogočen, kar se odraža kot odsotnost ozonskih poškodb. Gojena indikatorska rastlina, nizek fižol, ja bila po protokolu programa ICP-Vegetation skozi zalivana tako, da ja bila možnost za nastanek ozonskih poškodb večja.

5.1.1 Ozonske poškodbe

V letu 2008 je bila mejna vrednost AOT 40 za zaščito vegetacije prekoračena na vseh merilnih mestih. Največje urne koncentracije ozona so se kot navadno pojavljale v poletnih mesecih od junija do avgusta, za dnevne hode koncentracij ozona pa so značilni viški okoli 15. ure. Julija je bila zaradi spremenljivega vremena onesnaženost z ozonom nekoliko manjša, avgusta zaradi močnih neviht prav tako, septembra pa so zaradi nižjih temperatur koncentracije ozona nižje kot avgusta. Največje koncentracije ozona so bile izmerjene v Borovcu in Ankaranu.

Vroči obdobji sta bili na začetku in koncu julija, ko so bile temperature nadpovprečno visoke. Tudi v avgustu so bile temperature nad povprečjem, hladnejša je bila le druga polovica druge tretjine meseca in okoli 24. Do 12. septembra so bile temperature višje, potem pa nižje od povprečja.

Padavin je bilo julija in avgusta nadpovprečno veliko, septembra pa je bila njihova količina nekoliko pod povprečjem.

Na ploskvah intenzivnega monitoringa so bile najvišje temperature izmerjene na ploskvah Gropajski bori in Murska šuma. Največ padavin je padlo na ploskvi Lontovž, najmanj pa na Murska šuma in Borovec. Najmanjša relativna vlaga je bila izmerjena na Murski šumi. Največja hitrost vetra je bila izmerjena na Lontovžu, najmanjša pa na Borovcu. Največje sončno sevanje so izmerili na ploskvah Murska šuma in Borovec.

Število listov odpornih in občutljivih genotipov bioindikatorske rastline navadnega nizkega fižola je najprej naraščalo do 6.8., ko je doseglo svoj maksimum, nakar je upadalo do konca poskusa. Rastline odpornega genotipa so imele na začetku manj listov od občutljivih, po skupnem dosegu enakega maksimuma pa je število listov občutljivih genotipov padalo hitreje, odporni pa so imeli več listov. Število listov z 1-5% poškodovanostjo listne površine skladno s skupnim številom listov najprej narašča, potem upada, vseskozi pa je večje pri občutljivem genotipu. Število listov s 5-25% poškodovanostjo je do maksimalnega števila listov večje pri občutljivem genotipu, nato pa pri odpornem. Enako velja za število listov z več kot 25% poškodovanostjo. Število suhih listov je do datuma zadnjega opazovanja večje pri občutljivem genotipu, značilno je prezgodnje staranje, saj rastlina veliko energije porabi za obrambne procese.

Listi rastlin odpornega genotipa so manj dovzetni za ozonske poškodbe, saj se le te na njih pojavljajo pozneje, poškodbe listov občutljivega genotipa pa se pojavijo prej in so močnejše.

Pri rastlinah odpornega genotipa smo izmerili večjo fotosintezo, prevodnost listnih rež in transpiracijo, vendar so razlike minimalne, meritev pa je bila enkratna, zato teh rezultatov ne smemo posploševati in jih interpretirati kot splošno veljavno zakonitost.

Gozdna vegetacija je bila najbolj poškodovana na ploskvah Fondek in Lontovž, na drugih ploskvah je bilo opaženih le nekaj poškodovanih primerkov, na ploskvah Borovec, Murska šuma in Gropajski bori pa vidnih poškodb ni bilo. Poškodovane so bile le tiste drevesne vrste, ki so občutljive na ozonske poškodbe, največkrat mali in veliki jesen, črni bezeg, bukev, leska, javor, mokovec in rdeči dren.

Značilne so manjše poškodbe gozdne vegetacije na tistih območjih, za katera so značilne visoke temperature in majhna zračna vlažnost, zaradi česar se listne reže zaprejo in je vstop ozona onemogočen. Tako kljub velikim koncentracijam ozona rastline ostanejo nepoškodovane. Večje poškodbe so opazne tam, kjer so temperature zmernejše, vlaga večja, ozonske koncentracije pa visoke zaradi njegovega dotoka z zračnimi masami iz severne Italije, kot je to primer na ploskvi Fondek ali pa na ploskvi Lontovž, kjer je v bližini večji lokalni vir predhodnikov ozona (termoelektrarna Trbovlje, mesto Ljubljana).

Nastanek ozonskih poškodb je odvisen od vrste rastline in okoljskih dejavnikov. Boljša možnost opazovanja poškodb je bila na primeru indikatorske rastline, saj smo te rastline ves čas zalivali, tako da je bila njihova občutljivost večja, okoljske interference pa tako ni bilo. Pri opazovanju naravne vegetacije pa takih razmer nimamo, pojavljajo se okoljski vplivi, kljub temu pa so bile poškodbe opazne praktično na vseh vrstah, razen na iglavcih.

5.1.2 Pridelek

Pri rastlinah obeh genotipov močno prevladuje število strokov z vsaj enim semenom, število strokov je pri odpornih večje. Rastline odpornih genotipov imajo več semen kot rastline občutljivih, pa tudi njihova masa je večja. Za rastline občutljivih genotipov je značilen manjši pridelek.

5.2 SKLEPI

- Rezultati poskusa z izbrano vrsto indikatorske rastline in na naravni vegetaciji so pokazali, da so v Sloveniji v ozračju visoke koncentracije ozona, kar povzroča nastajanje poškodb na listih rastlin.
- Poškodbe so večje pri rastlinah na ozon občutljivega genotipa indikatorske rastline. Značilno je prezgodnje staranje in odmiranje listov rastlin občutljivih genotipov.
- Pri rastlinah občutljivega genotipa je manjši pridelek.
- Nastanek poškodb je odvisen od vrste rastlin in okoljskih dejavnikov. Poškodbe naravne vegetacije so manjše na območjih višjih zračnih temperatur in manjše zračne vlažnosti, kljub morebitnim visokim koncentracijam ozona.

6 POVZETEK

Program ICP Vegetation, pri katerem vsako leto sodeluje večina evropskih držav, predpisuje protokol, po katerem vsi udeleženci na enak način izpostavijo okoljskim vplivom izbrano bioindikatorsko rastlino in na ta način ugotavljajo vpliv zračnih onesnažil na rastline. Zbrane rezultate nato interpretirajo s pomočjo meteoroloških podatkov in podatkov meritev koncentracij zračnih onesnažil.

V okviru tega programa smo v vegetacijski sezoni 2008 naravnim razmeram izpostavili rastline navadnega nizkega fižola (*Phaseolus vulgaris* L.). V dvajsetih loncih smo po predpisanem protokolu gojili deset rastlin na ozon odpornega in deset na ozon občutljivega genotipa te rastline. Ves čas od razvoja prvih listov do propada rastlin smo enkrat tedensko popisovali ozonske poškodbe listov, in sicer ločeno po kategorijah jakosti poškodb. Na koncu smo rastline poželi, prešteli stroke vsake rastline in število semen v njih ter jih stehali.

Na ploskvah intenzivnega monitoringa Gozdarskega inštituta Slovenije smo opazovali ozonske poškodbe gozdne vegetacije po protokolu, ki ga je razvil program ICP-Forest.

Meteorološke podatke in podatke o koncentracijah ozona smo dobili od Agencije Republike Slovenije za okolje in iz avtomatskih vzorčevalnikov.

Rezultati poskusa z rastlinami navadnega nizkega fižola so pokazali večjo poškodovanost listov rastlin na ozon občutljivega genotipa in njihovo prezgodnje staranje in odmiranje. Pridelek rastlin občutljivega genotipa je bil manjši.

Na gozdni vegetaciji je bilo več poškodb opaznih na tistih ploskvah, kjer so temperature zmernejše, zračna vlaga višja, ozonske koncentracije pa visoke zaradi daljinskega vnosa ali bližine virov onesnažil. V takih razmerah so listne reže odprte, kar omogoča tok ozona v liste.

Rezultati poskusa z indikatorsko rastlino so bolj zanesljivi zaradi odsotnosti vpliva okoljskih dejavnikov, medtem ko je v gozdu njihov vpliv velik.

7 VIRI

Batič F., Celar F., Ciglar R., Milevoj L., Vičar M. 1999. Bioindikacija prizemnega ozona. Ljubljana, Zavod Republike Slovenije za šolstvo: 167 str.

Cegnar T. 2008. Meteorologija. Naše okolje, XV, 7: 3-22
http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/knji%c5%benica/mese%c4%8dni%20bilten/NASE%20OKOLJE2008_07.pdf (4. 8. 2009)

Cegnar T. 2008. Meteorologija. Naše okolje, XV, 8: 3-22
http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/knji%c5%benica/mese%c4%8dni%20bilten/NASE%20OKOLJE2008_08.pdf (4. 8. 2009)

Cegnar T. 2008. Meteorologija. Naše okolje, XV, 9: 3-22
http://www.arso.gov.si/o%20agenciji/knji%c5%benica/mese%c4%8dni%20bilten/NASE%20OKOLJE2008_09.pdf (4. 8. 2009)

Četina K., Ribič M., Završnik A. Zrak. 2009
<http://www2.arnes.si/~osceifb1s/zrak.htm> (28.7. 2009)

Gregor H., Achermann B., Johannessen T., Mill W., Farrett R., Conway F. 2004. Review and assessment of air pollution Effects and their recorded trends. NERC: 56 str.

Hayes F., Mills G., Harmens H., Norris D. 2007. Evidence of widespread ozone damage to vegetation in Europe (1990-2006). United Kingdom, RMG Design&Print Limited: 58 str.

Janša K. 2009. Spremljanje učinkov troposferskega ozona s plazečo deteljo (*Trifolium repens* 'Regal') klonov NC-S in NC-R na Krvavcu v letu 2001. Diplomsko delo. Ljubljana, BF, Oddelek za agronomijo: 30 str.

Šegula A., Murovec M., Koleča T., Brinc R., Cegnar T., Muri G. 2009. Kakovost zraka v Sloveniji v letu 2008. Ljubljana, Agencija RS za okolje: 119 str.
http://www.arso.gov.si/zrak/kakovost%20zraka/poro%c4%8dila%20in%20publikacije/Porocilo_2008_SKZ.pdf (4.8.2009)

Treshow M. 1985. Air pollution and plant life. John Wiley&Sons: 486 str.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Francu Batiču in vsem ostalim iz Biotehniške fakultete in Gozdarskega inštituta, ki so mi s strokovnimi nasveti in koristnimi podatki pomagali pri nastajanju diplomske naloge.

PRILOGA A

Ploskve intenzivnega monitoringa Gozdarskega inštituta Slovenije

št. ploskve	uradno ime	stara imena	območje	OE GZS	X (G-K)	Y (G-K)	Z (G-K)	starost	višina	datum postavitve	zem. širina	zem. dolžina	glavna vrsta	št. dreves	velikost (ha)
1	KRUCMAN OVE KONTE	POKLJUKA	POKLJUKA	BLED	418719	136466	1397	130	28	2.7.2003	462204	135636	320	227	0,25
2	FONDEK	TRNOVSKI GOZD	TRNOVSKI GOZD	TOLMIN	402239	95690	827	80	17	1.7.2003	455955	134416	410	108	0,25
3	GROPAJSKI BORI	SEŽANA	SEŽANA	SEŽANA	411589	59052	420	100	9	1.7.2003	454013	135155	110	119	0,25
4	BRDO		KRANJ	KRANJ	454133	127146	471	100	10	2.7.2003	461714	142417	310	92	0,25
5	BOROVEC		KOPEVSKA REKA	KOPEVJE	484737	43605	705		15	0000-00-00	453212	144816	410	114	0,25
6	KLADJE	POHORJE	POHORJE	MARIBOR	530522	147809	1304	80	27	21.5.2003	462826	152351	520	92	0,25
7	TEMENJAK	VINSKA GORA, PAŠKI KOZIJK	DOBRNA	CELJE	518116	137628	1000		20	30.6.2003	462258	151408	110	90	0,25
8	LONTOVŽ	KUM	ZASAVJE	LJUBLJANA	505437	107755	950		19	4.7.2003	460651	150413	520	167	0,25
9	GORICA	TRAVLJANSKA GORA, DRAGA	LOŠKI POTOK	KOPEVJE	471818	54755	955		20	0000-00-00	453812	143818	210	156	0,25
10	KRAKOVSKI GOZD		KOSTANJE VICA	BREŽICE	532688	82059	160	130	4	28.5.2003	455256	152516	410	95	0,25
11	MURSKA ŠUMA		LENDAVA	MURSKA SOBOTA	616509	151426	170	130	4	3.7.2003	462950	163105	410	207	0,25

PRILOGA B

Podatki o koncentracijah ozona na ploskvah intenzivnega monitoringa, ki so rezultat meritev na terenu

Začetni datum	Končni datum	Začetna ura	Končna ura	PLOSKEV	OZNAKA PLOSKVE	Čas [min]	O ₃ (µg/m ³)
30.7.2008	13.8.2008	12:30	12:30	FONDEK	2	20160	73,69
30.7.2008	13.8.2008	12:30	8:50	GROPAJSKI BORI	3	19940	71,43
30.7.2008	13.8.2008	8:00	8:05	BRDO	4	20165	57,78
30.7.2008	13.8.2008	7:25	7:50	BOROVEC	5	20185	98,00
30.7.2008	13.8.2008	10:20	10:35	LONTOVŽ	8	20175	84,35
30.7.2008	13.8.2008	13:20	7:35	MURSKA ŠUMA	11	19815	36,43
30.7.2008	13.8.2008	15:40	15:40	GIS VRT	12	20160	37,59
30.7.2008	13.8.2008	9:45	11:45	ISKRBA	IS	20280	60,81
30.7.2008	13.8.2008	15:20	15:10	ARSO	LJ	20150	59,31
30.7.2008	13.8.2008	17:00	16:30	Ankaran	AN	20130	120,30
30.7.2008	13.8.2008	8:35	7:30	Slavnik	SL	20095	90,26
13.8.2008	27.8.2008	12:30	12:30	FONDEK	2	20160	63,13
13.8.2008	27.8.2008	8:50	8:35	GROPAJSKI BORI	3	20145	63,14
13.8.2008	27.8.2008	8:05	8:30	BRDO	4	20185	48,00
13.8.2008	27.8.2008	7:50	7:25	BOROVEC	5	20135	86,69
13.8.2008	27.8.2008	10:35	12:40	LONTOVŽ	8	20285	72,03
13.8.2008	27.8.2008	7:35	8:50	MURSKA ŠUMA	11	20235	34,67
13.8.2008	27.8.2008	15:40	16:30	GIS VRT	12	20210	32,39
13.8.2008	27.8.2008	11:45	10:00	ISKRBA	IS	20055	54,12
13.8.2008	27.8.2008	15:10	16:10	ARSO	LJ	20220	52,51

se nadaljuje

nadaljevanje priloge B

Začetni datum	Končni datum	Začetna ura	Končna ura	PLOSKEV	OZNAKA PLOSKVE	Čas [min]	O3 (µg/m ³)
13.8.2008	27.8.2008	16:30	16:30	Ankaran	AN	20160	93,47
13.8.2008	27.8.2008	7:30	12:55	Slavnik	SL	20485	88,84
27.8.2008	10.9.2008	12:30	12:30	FONDEK	2	20160	68,04
27.8.2008	10.9.2008	8:35	9:35	GROPAJSKI BORI	3	20220	67,01
27.8.2008	10.9.2008	8:30	16:45	BRDO	4	20655	56,00
27.8.2008	10.9.2008	7:25	8:05	BOROVEC	5	20200	139,87
27.8.2008	10.9.2008	12:40	11:30	LONTOVŽ	8	20090	81,12
27.8.2008	10.9.2008	8:50	12:10	MURSKA ŠUMA	11	20360	39,09
27.8.2008	10.9.2008	16:30	9:40	GIS VRT	12	19750	30,66
27.8.2008	10.9.2008	10:00	11:00	ISKRBA	IS	20220	77,01
27.8.2008	10.9.2008	16:10	10:05	ARSO	LJ	19795	42,96
27.8.2008	24.9.2008	16:30	16:30	Ankaran	AN	*40320	
27.8.2008	10.9.2008	12:55	7:30	Slavnik	SL	19835	89,40

1 ppb= 2µg/m³

PRILOGA C

Meteorološki podatki za ploskve intenzivnega monitoringa

Parameter	Ploskev	Trajanje	Vsota	Povprečje	Min	Max
AT	1	avg 2008		12,9	3,7	21,7
AT	2	avg 2008		17,4	8,8	27,1
AT	3	avg 2008		21	11,5	24,8
AT	4	avg 2008		19,6	10,4	31,3
AT	5	avg 2008		17,4	5,7	30,1
AT	6	avg 2008		12,8	5	20,1
AT	8	avg 2008		16,7	8,6	29,2
AT	10	avg 2008		20,5	9,9	32,3
AT	11	avg 2008		20,3	8,6	32,1
PR	1	avg 2008	260,4			
PR	2	avg 2008	105,8			
PR	3	avg 2008	149,3			
PR	4	avg 2008	172,9			
PR	5	avg 2008	97,2			
PR	6	avg 2008	129,9			
PR	7	avg 2008	129,1			
PR	8	avg 2008	217,4			
PR	9	avg 2008	109,5			
PR	10	avg 2008	174,4			
PR	11	avg 2008	62			
RH	1	avg 2008		85,2	36	97
RH	2	avg 2008		77,4	39	100
RH	3	avg 2008		69,6	30	97
RH	4	avg 2008		74,2	33	93
RH	5	avg 2008		76,8	32	96
RH	6	avg 2008		88,6	42	99
RH	8	avg 2008		77,7	46	100
RH	10	avg 2008		74,5	27	97
RH	11	avg 2008		74,3	34	100
WS	1	avg 2008		0,6		13,1
WS	4	avg 2008		1,3		21
WS	5	avg 2008		0,6		13,3
WS	6	avg 2008		3,1		19,6
WS	8	avg 2008		2,4		22,2
WS	10	avg 2008		1,5		28

se nadaljuje

nadajevanje priloge C

Parameter	Ploskev	Trajanje	Vsota	Povprečje	Min	Max
WS	11	avg 2008		1,3		18,8
WD	1	avg 2008		158		
WD	4	avg 2008		247		
WD	5	avg 2008		200		
WD	6	avg 2008		206		
WD	8	avg 2008		151		
WD	10	avg 2008		222		
WD	11	avg 2008		184		
SR	4	avg 2008	13158			
SR	5	avg 2008	13261			
SR	6	avg 2008	11672			
SR	10	avg 2008	10278			
SR	11	avg 2008	13291			

Legenda:

AT- povprečna temperatura

PR- padavine

RH- relativna vlaga

WS- hitrost vetra

WD- smer vetra

SR- sončno sevanje

PRILOGA D

Vrednosti AOT 40 v Ljubljani za obdobje od 1.4 do 31.10. 2008

Datum	AOT40
1.4.2008	53,6
2.4.2008	0,0
3.4.2008	0,0
4.4.2008	21,8
5.4.2008	37,4
6.4.2008	73,7
7.4.2008	113,7
8.4.2008	0,0
9.4.2008	28,1
10.4.2008	0,0
11.4.2008	0,0
12.4.2008	4,1
13.4.2008	0,0
14.4.2008	61,6
15.4.2008	0,0
16.4.2008	0,0
17.4.2008	36,8
18.4.2008	0,0
19.4.2008	126,0
20.4.2008	112,7
21.4.2008	0,0
22.4.2008	0,0
23.4.2008	0,0
24.4.2008	62,9
25.4.2008	19,4
26.4.2008	92,8
27.4.2008	138,5
28.4.2008	177,7
29.4.2008	52,5
30.4.2008	60,6
1.5.2008	77,4
2.5.2008	95,7
3.5.2008	121,7
4.5.2008	133,6
5.5.2008	10,6
6.5.2008	66,3
7.5.2008	131,9
8.5.2008	132,8
9.5.2008	123,9
10.5.2008	110,1
11.5.2008	115,2

se nadaljuje

nadaljevanje priloge D

Datum	AOT40
12.5.2008	138,4
13.5.2008	94,0
14.5.2008	157,5
15.5.2008	178,1
16.5.2008	50,2
17.5.2008	84,4
18.5.2008	0,0
19.5.2008	19,9
20.5.2008	0,0
21.5.2008	0,0
22.5.2008	0,0
23.5.2008	0,0
24.5.2008	128,0
25.5.2008	117,0
26.5.2008	55,2
27.5.2008	132,0
28.5.2008	129,5
29.5.2008	70,4
30.5.2008	37,4
31.5.2008	115,3
1.6.2008	133,3
2.6.2008	89,6
3.6.2008	0,0
4.6.2008	0,0
5.6.2008	0,0
6.6.2008	0,0
7.6.2008	25,7
8.6.2008	32,2
9.6.2008	20,2
10.6.2008	25,9
11.6.2008	128,0
12.6.2008	0,0
13.6.2008	0,0
14.6.2008	0,0
15.6.2008	60,4
16.6.2008	0,0
17.6.2008	0,0
18.6.2008	0,0
19.6.2008	82,1
20.6.2008	64,5
21.6.2008	81,4
22.6.2008	127,4
23.6.2008	195,6
24.6.2008	294,3
25.6.2008	74,6
26.6.2008	65,1

se nadaljuje

nadaljevanje priloge D

Datum	AOT40
27.6.2008	145,2
28.6.2008	120,7
29.6.2008	84,4
30.6.2008	116,9
1.7.2008	50,4
2.7.2008	4,3
3.7.2008	180,8
4.7.2008	126,7
5.7.2008	88,5
6.7.2008	97,9
7.7.2008	76,5
8.7.2008	0,0
9.7.2008	40,3
10.7.2008	122,1
11.7.2008	256,7
12.7.2008	263,5
13.7.2008	112,0
14.7.2008	29,5
15.7.2008	115,1
16.7.2008	241,9
17.7.2008	315,8
18.7.2008	29,9
19.7.2008	72,9
20.7.2008	219,1
21.7.2008	0,0
22.7.2008	18,9
23.7.2008	39,9
24.7.2008	91,2
25.7.2008	64,5
26.7.2008	131,9
27.7.2008	98,3
28.7.2008	82,8
29.7.2008	129,4
30.7.2008	130,0
31.7.2008	144,4
1.8.2008	203,4
2.8.2008	96,9
3.8.2008	126,1
4.8.2008	233,6
5.8.2008	117,8
6.8.2008	115,5
7.8.2008	196,0
8.8.2008	1,7
9.8.2008	54,6
10.8.2008	93,3
11.8.2008	65,1

se nadaljuje

nadaljevanje priloge D

Datum	AOT40
12.8.2008	167,7
13.8.2008	134,5
14.8.2008	83,3
15.8.2008	44,9
16.8.2008	26,5
17.8.2008	37,5
18.8.2008	66,9
19.8.2008	88,1
20.8.2008	96,7
21.8.2008	77,7
22.8.2008	152,7
23.8.2008	77,6
24.8.2008	34,9
25.8.2008	44,3
26.8.2008	86,3
27.8.2008	113,4
28.8.2008	149,4
29.8.2008	127,4
30.8.2008	75,1
31.8.2008	41,2
1.9.2008	92,1
2.9.2008	59,9
3.9.2008	92,5
4.9.2008	106,8
5.9.2008	19,0
6.9.2008	54,2
7.9.2008	49,9
8.9.2008	0,0
9.9.2008	65,7
10.9.2008	57,6
11.9.2008	33,9
12.9.2008	191,3
13.9.2008	0,0
14.9.2008	0,0
15.9.2008	0,0
16.9.2008	0,0
17.9.2008	1,3
18.9.2008	0,0
19.9.2008	3,5
20.9.2008	2,4
21.9.2008	1,3
22.9.2008	0,0
23.9.2008	0,0
24.9.2008	0,0
25.9.2008	0,0
26.9.2008	0,0

se nadaljuje

nadaljevanje priloge D

Datum	AOT40
27.9.2008	2,9
28.9.2008	13,9
29.9.2008	0,0
30.9.2008	8,7
1.10.2008	0,0
2.10.2008	0,0
3.10.2008	0,0
4.10.2008	0,0
5.10.2008	0,0
6.10.2008	42,2
7.10.2008	0,0
8.10.2008	14,5
9.10.2008	0,0
10.10.2008	9,7
11.10.2008	0,0
12.10.2008	0,0
13.10.2008	0,0
14.10.2008	0,0
15.10.2008	0,0
16.10.2008	0,0
17.10.2008	0,0
18.10.2008	0,0
19.10.2008	0,0
20.10.2008	0,0
21.10.2008	0,0
22.10.2008	0,0
23.10.2008	0,0
24.10.2008	0,0
25.10.2008	0,0
26.10.2008	0,0
27.10.2008	0,0
28.10.2008	0,0
29.10.2008	0,0
30.10.2008	0,0
31.10.2008	0,0

PRILOGA E

Ozonske poškodbe na indikatorskih rastlinah navadnega fižola

Opazovanje laborantke							Moje opazovanje						
Datum	Rastlina	Št. listov	1-5%	5-25%	>25%	Suhi	Datum	Rastlina	Št. listov	1-5%	5-25%	>25%	Suhi
9.7.08	S-01	3	0	0	0	0		S-01					
9.7.08	R-02	3	0	0	0	0		R-02					
9.7.08	S-03	4	1	0	0	0		S-03					
9.7.08	R-04	3	0	0	0	0		R-04					
9.7.08	S-05	4	0	0	0	0		S-05					
9.7.08	R-06	2	1	0	0	0		R-06					
9.7.08	S-07	5	0	0	0	0		S-07					
9.7.08	R-08	3	0	0	0	0		R-08					
9.7.08	S-09	3	1	0	0	0		S-09					
9.7.08	R-10	4	0	0	0	0		R-10					
9.7.08	R-01	3	0	0	0	0		R-01					
9.7.08	S-02	4	0	0	0	0		S-02					
9.7.08	R-03	3	0	0	0	0		R-03					
9.7.08	S-04	2	0	0	0	0		S-04					
9.7.08	R-05	2	0	0	0	0		R-05					
9.7.08	S-06	5	1	0	0	0		S-06					
9.7.08	R-07	3	0	0	0	0		R-07					
9.7.08	S-08	5	0	0	0	0		S-08					
9.7.08	R-09	3	0	0	0	0		R-09					
9.7.08	S-10	5	1	0	0	0		S-10					
16.7.08	S-01	6	0	1	0	0	15.7.08	S-01	6	0	1	0	0
16.7.08	R-02	8	0	0	0	0		R-02	7	0	0	0	0
16.7.08	S-03	11	0	3	0	0		S-03	11	1	0	3	0
16.7.08	R-04	9	0	0	0	0		R-04	6	0	0	0	0
16.7.08	S-05	10	0	2	0	0		S-05	10	0	1	3	0
16.7.08	R-06	7	0	1	0	0		R-06	7	0	0	0	0
16.7.08	S-07	13	0	2	0	0		S-07	11	0	3	2	0
16.7.08	R-08	9	0	0	0	0		R-08	9	1	0	0	0
16.7.08	S-09	12	0	1	0	0		S-09	6	3	0	1	0
16.7.08	R-10	12	0	1	0	0		R-10	8	0	0	0	0
16.7.08	R-01	6	0	0	0	0		R-01	6	0	0	0	0
16.7.08	S-02	12	0	3	0	0		S-02	8	0	1	2	0
16.7.08	R-03	11	1	0	0	0		R-03	7	0	0	0	0
16.7.08	S-04	7	1	0	0	0		S-04	4	0	0	0	0
16.7.08	R-05	9	1	0	0	0		R-05	7	0	1	0	0
16.7.08	S-06	14	1	2	0	0		S-06	11	0	1	3	0
16.7.08	R-07	11	0	0	0	0		R-07	6	0	0	0	0
16.7.08	S-08	13	0	3	0	0		S-08	12	2	0	3	0
16.7.08	R-09	10	0	1	0	0		R-09	7	2	0	0	0
16.7.08	S-10	12	2	1	0	0		S-10	11	4	0	1	0

se nadaljuje

nadaljevanje priloge E

Opazovanje laborantke							Moje opazovanje						
Datum	Rastlina	Št. listov	1-5%	5-25%	>25%	Suhi	Datum	Rastlina	Št. listov	1-5%	5-25%	>25%	Suhi
23.7.08	S-01	16	2	2	0	0	22.7.08	S-01	13	1	3	2	0
23.7.08	R-02	15	1	1	0	0		R-02	14	3	0	1	0
23.7.08	S-03	24	4	2	0	0		S-03	18	2	2	3	0
23.7.08	R-04	14	1	2	0	0		R-04	12	1	1	1	0
23.7.08	S-05	18	1	0	1	0		S-05	17	3	0	5	0
23.7.08	R-06	16	2	2	0	0		R-06	12	1	0	1	0
23.7.08	S-07	27	5	1	2	0		S-07	21	4	1	4	0
23.7.08	R-08	17	1	0	2	0		R-08	16	0	1	1	0
23.7.08	S-09	20	6	0	1	0		S-09	15	2	2	1	0
23.7.08	R-10	23	3	0	0	0		R-10	16	6	0	0	0
23.7.08	R-01	14	1	0	0	0		R-01	11	0	1	0	0
23.7.08	S-02	19	4	0	3	0		S-02	15	6	0	4	0
23.7.08	R-03	13	1	0	2	0		R-03	13	0	2	1	0
23.7.08	S-04	14	0	3	0	0		S-04	12	0	1	2	0
23.7.08	R-05	17	5	0	2	0		R-05	13	0	2	1	0
23.7.08	S-06	22	3	2	2	0		S-06	18	1	2	4	1
23.7.08	R-07	16	2	2	0	0		R-07	12	1	1	1	0
23.7.08	S-08	30	2	4	2	0		S-08	22	0	4	2	1
23.7.08	R-09	21	4	1	2	0		R-09	17	4	0	2	0
23.7.08	S-10	23	4	3	1	0		S-10	17	6	3	1	0
30.7.08	S-01	27	2	2	2	1	29.7.08	S-01	26	1	2	2	1
30.7.08	R-02	25	1	1	1	0		R-02	27	1	1	2	0
30.7.08	S-03	29	6	2	3	2		S-03	31	3	2	2	2
30.7.08	R-04	23	2	0	2	2		R-04	21	0	1	3	0
30.7.08	S-05	25	4	1	3	3		S-05	24	3	3	2	1
30.7.08	R-06	28	2	0	2	1		R-06	24	0	1	3	0
30.7.08	S-07	30	2	3	3	3		S-07	29	3	2	2	2
30.7.08	R-08	28	1	0	3	1		R-08	22	1	0	3	0
30.7.08	S-09	22	6	1	1	2		S-09	22	7	1	0	4
30.7.08	R-10	29	2	2	1	0		R-10	31	0	3	1	0
30.7.08	R-01	26	1	0	0	0		R-01	20	0	2	0	0
30.7.08	S-02	29	3	2	0	2		S-02	29	5	3	0	2
30.7.08	R-03	26	1	0	2	0		R-03	25	1	0	1	1
30.7.08	S-04	26	3	1	2	0		S-04	22	2	0	2	0
30.7.08	R-05	28	0	1	3	0		R-05	27	0	1	3	0
30.7.08	S-06	35	2	3	3	1		S-06	33	3	3	4	0
30.7.08	R-07	24	0	0	1	1		R-07	23	1	0	3	0
30.7.08	S-08	37	3	2	2	2		S-08	42	4	0	4	1
30.7.08	R-09	26	5	2	2	0		R-09	27	0	2	2	0
30.7.08	S-10	36	5	2	4	0		S-10	34	2	1	3	3
6.8.08	S-01	35	15	9	3	3	5.8.08	S-01	40	0	2	10	0
6.8.08	R-02	32	4	1	1	2		R-02	32	1	1	2	0
6.8.08	S-03	39	8	6	10	2		S-03	37	1	0	8	1

se nadaljuje

nadaljevanje priloge E

Opazovanje laborantke							Moje opazovanje						
Datum	Rastlina	Št. listov	1-5%	5-25%	>25%	Suhi	Datum	Rastlina	Št. listov	1-5%	5-25%	>25%	Suhi
6.8.08	R-04	29	3	3	3	0		R-04	28	2	2	0	1
6.8.08	S-05	31	3	5	10	2		S-05	36	0	1	13	1
6.8.08	R-06	34	4	1	0	2		R-06	36	1	2	1	0
6.8.08	S-07	34	6	8	7	0		S-07	39	0	1	4	0
6.8.08	R-08	38	5	2	2	0		R-08	36	0	3	2	0
6.8.08	S-09	34	14	4	4	0		S-09	36	0	2	6	0
6.8.08	R-10	39	9	2	0	2		R-10	43	1	1	0	3
6.8.08	R-01	35	3	1	0	1		R-01	40	4	2	0	0
6.8.08	S-02	38	7	5	6	3		S-02	42	7	3	11	1
6.8.08	R-03	28	1	1	1	1		R-03	30	0	2	1	0
6.8.08	S-04	30	9	3	4	1		S-04	39	2	1	7	1
6.8.08	R-05	32	5	2	1	1		R-05	40	2	1	2	0
6.8.08	S-06	38	11	4	7	1		S-06	49	0	2	15	1
6.8.08	R-07	35	4	1	1	1		R-07	36	2	1	2	0
6.8.08	S-08	40	10	5	3	6		S-08	46	1	2	16	1
6.8.08	R-09	41	1	1	1	1		R-09	41	1	0	1	0
6.8.08	S-10	37	12	4	11	0		S-10	39	0	0	13	0
13.8.08	S-01	36	3	8	9	6	13.8.08	S-01	32	0	0	3	4
13.8.08	R-02	32	3	20	7	2		R-02	28	3	3	0	0
13.8.08	S-03	35	4	6	18	3		S-03	34	0	0	28	0
13.8.08	R-04	28	2	3	5	2		R-04	27	1	3	9	0
13.8.08	S-05	27	5	3	10	5		S-05	32	0	6	17	1
13.8.08	R-06	32	2	2	4	2		R-06	35	2	3	6	0
13.8.08	S-07	36	13	5	10	8		S-07	33	2	4	17	12
13.8.08	R-08	39	1	4	3	2		R-08	36	2	3	5	0
13.8.08	S-09	27	11	7	5	4		S-09	43	10	3	10	7
13.8.08	R-10	36	3	6	25	2		R-10	41	3	3	0	1
13.8.08	R-01	31	1	24	4	2		R-01	39	1	0	0	2
13.8.08	S-02	32	4	8	8	7		S-02	35	0	3	17	10
13.8.08	R-03	34	3	2	27	2		R-03	29	8	5	3	0
13.8.08	S-04	33	10	7	8	1		S-04	40	0	9	17	0
13.8.08	R-05	40	5	5	2	3		R-05	34	5	8	3	2
13.8.08	S-06	28	11	8	10	4		S-06	40	1	8	24	3
13.8.08	R-07	36	4	3	3	4		R-07	36	1	2	7	3
13.8.08	S-08	33	6	11	12	4		S-08	37	1	3	29	1
13.8.08	R-09	41	2	3	34	2		R-09	41	7	5	0	0
13.8.08	S-10	34	7	8	13	6		S-10	35	3	1	22	6
20.8.08	S-01	29	2	13	12	2	18.8.08	S-01	23	1	7	17	0
20.8.08	R-02	28	0	12	10	5		R-02	25	12	7	3	0
20.8.08	S-03	15	0	4	8	3		S-03	33	0	6	19	5
20.8.08	R-04	12	0	4	6	2		R-04	24	4	3	12	0
20.8.08	S-05	21	0	3	11	7		S-05	22	0	2	12	5
20.8.08	R-06	25	0	15	7	3		R-06	30	7	5	10	0

se nadaljuje

nadaljevanje priloge E

Opazovanje laborantke							Moje opazovanje						
Datum	Rastlina	Št. listov	1-5%	5-25%	>25%	Suhi	Datum	Rastlina	Št. listov	1-5%	5-25%	>25%	Suhi
20.8.08	S-07	27	2	2	12	11		S-07	25	0	1	10	10
20.8.08	R-08	33	9	0	18	6		R-08	30	0	3	6	0
20.8.08	S-09	25	4	5	11	5		S-09	31	1	3	15	5
20.8.08	R-10	35	1	23	8	3		R-10	40	0	3	1	0
20.8.08	R-01	29	0	18	5	6		R-01	37	1	1	1	1
20.8.08	S-02	16	5	1	4	5		S-02	24	0	0	20	2
20.8.08	R-03	30	3	7	19	3		R-03	24	0	3	7	0
20.8.08	S-04	33	1	10	15	7		S-04	42	0	4	23	4
20.8.08	R-05	15	2	7	4	2		R-05	25	2	7	10	5
20.8.08	S-06	19	5	6	5	3		S-06	39	0	6	28	1
20.8.08	R-07	25	3	0	18	4		R-07	30	6	10	6	2
20.8.08	S-08	29	5	12	7	5		S-08	31	0	2	26	5
20.8.08	R-09	35	0	15	18	2		R-09	42	9	12	6	2
20.8.08	S-10	21	5	7	4	5		S-10	28	0	0	13	7
28.8.08	S-01	11	0	1	10	0	25.8.08	S-01	19	0	1	15	3
28.8.08	R-02	5	0	0	5	0		R-02	16	0	7	0	7
28.8.08	S-03	2	0	0	2	0		S-03	23	0	0	16	7
28.8.08	R-04	7	0	0	3	4		R-04	17	0	1	12	4
28.8.08	S-05	12	0	0	8	4		S-05	18	0	0	12	6
28.8.08	R-06	13	0	2	9	2		R-06	22	1	3	13	3
28.8.08	S-07	3	0	0	0	3		S-07	10	0	0	7	3
28.8.08	R-08	16	0	6	5	5		R-08	29	4	5	11	3
28.8.08	S-09	14	0	2	6	6		S-09	22	0	1	17	6
28.8.08	R-10	32	0	14	14	4		R-10	45	3	10	4	4
28.8.08	R-01	14	0	3	3	8		R-01	25	0	0	0	4
28.8.08	S-02	5	0	3	1	1		S-02	12	0	0	8	5
28.8.08	R-03	21	0	4	15	2		R-03	26	1	3	19	6
28.8.08	S-04	31	0	5	23	3		S-04	41	1	5	23	6
28.8.08	R-05	6	0	6	0	0		R-05	14	0	1	6	7
28.8.08	S-06	11	0	0	6	5		S-06	29	0	0	14	10
28.8.08	R-07	19	0	2	15	2		R-07	26	0	4	21	3
28.8.08	S-08	20	0	0	15	5		S-08	19	0	0	14	5
28.8.08	R-09	25	0	6	13	6		R-09	32	4	3	22	3
28.8.08	S-10	7	0	0	2	5		S-10	16	0	0	12	4
3.9.08	S-01	3	0	0	0	3	1.9.08	S-01	5	0	0	5	0
3.9.08	R-02	0	0	0	0	0		R-02	0	0	0	0	0
3.9.08	S-03	0	0	0	0	0		S-03	0	0	0	0	0
3.9.08	R-04	0	0	0	0	0		R-04	0	0	0	0	0
3.9.08	S-05	2	0	0	2	0		S-05	3	0	0	3	0
3.9.08	R-06	4	0	0	2	2		R-06	3	0	0	3	0
3.9.08	S-07	0	0	0	0	0		S-07	0	0	0	0	0
3.9.08	R-08	10	0	0	8	2		R-08	8	0	3	5	0
3.9.08	S-09	7	0	0	5	2		S-09	7	0	0	7	0

se nadaljuje

nadaljevanje priloge E

Opazovanje laborantke							Moje opazovanje						
Datum	Rastlina	Št. listov	1-5%	5-25%	>25%	Suhi	Datum	Rastlina	Št. listov	1-5%	5-25%	>25%	Suhi
3.9.08	R-10	23	0	4	16	3		R-10	21	0	5	16	0
3.9.08	R-01	1	0	0	0	1		R-01	1	0	0	0	0
3.9.08	S-02	0	0	0	0	0		S-02	0	0	0	0	0
3.9.08	R-03	8	0	0	3	5		R-03	7	0	0	7	0
3.9.08	S-04	16	0	0	12	4		S-04	21	0	0	20	0
3.9.08	R-05	2	0	0	2	0		R-05	1	0	1	0	0
3.9.08	S-06	0	0	0	0	0		S-06	0	0	0	0	0
3.9.08	R-07	2	0	0	0	2		R-07	6	0	0	6	0
3.9.08	S-08	1	0	0	0	1		S-08	3	0	0	3	0
3.9.08	R-09	4	0	0	0	4		R-09	9	0	1	8	0
3.9.08	S-10	0	0	0	0	0		S-10	0	0	0	0	0

PRILOGA F

Fotosinteza, prevodnost listnih rež in transpiracija 22. 7. 2008 okoli 12. ure

Lonec	Fotosinteza ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$)	Prevodnost listnih rež ($\text{mol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$)	Transpiracija ($\text{mmol H}_2\text{O}$)	Temperatura lista ($^{\circ}\text{C}$)	Koncentracija zračne vlage okoli lista ($\text{mmol H}_2\text{O}$)	Relativna zračna vlaga (%)	Fotosintetsko aktivno sevanje ($\text{mmol}/\text{m}^2/\text{s}$)
S 01-1	5,33	0,201	2,11	23,42	17,723	60,23	229
S 01-1	4,9	0,201	2,12	23,42	17,694	60,11	242
R 02-2	4,36	0,0902	1,29	23,69	16,088	54,24	384
R 02-2	4,77	0,0968	1,35	23,64	16,097	54,23	335
S 03-3	4,15	0,125	1,63	23,73	17,044	57,21	382
S 03-3	4,26	0,118	1,58	23,87	17,178	57,46	415
R 04-4	6,18	0,141	1,7	23,76	18,146	60,27	426
R 04-4	6,64	0,145	1,73	23,77	18,226	60,55	422
S 05-5	5,31	0,111	1,45	23,74	17,829	59,43	507
S 05-5	5,21	0,12	1,53	23,7	17,79	59,31	469
R 06-6	5,5	0,129	1,6	23,81	17,932	59,68	403
R 06-6	5,53	0,13	1,63	23,81	18,102	60,18	491
S 07-7	4,77	0,135	1,69	23,99	17,983	59,35	397
S 07-7	4,58	0,142	1,69	23,99	17,958	59,29	242
R 08-8	1,76	0,142	1,64	23,9	17,724	58,4	134
R 08-8	1,83	0,143	1,64	23,88	17,745	58,43	136
S 09-9	2,83	0,113	1,49	23,69	17,154	56,99	407
S 09-9	4,17	0,107	1,51	23,83	17,271	57,38	587
R 10-10	5,15	0,24	2,35	23,71	19,496	64,92	416
R 10-10	4,55	0,231	2,3	23,68	19,472	64,87	440
R 01-10	2,69	0,124	1,48	23,24	16,84	57,49	246
R 01-10	12,8	0,124	1,48	23,27	16,837	57,52	236
S 02-9	5,09	0,16	1,78	23,1	17,812	61,73	440
S 02-9	4,58	0,157	1,77	23,14	17,821	61,74	450
R 03-8	2,39	0,184	1,91	23,38	19,025	64,99	470
R 03-8	3,58	0,188	1,91	23,38	19,075	65,14	429
S 04-7	4,46	0,154	1,73	22,91	17,779	61,69	502
S 04-7	5,25	0,164	1,78	22,94	17,82	61,84	435
R 05-6	1,88	0,14	1,46	22,84	17,191	60,07	140
R 05-6	1,91	0,14	1,46	22,82	17,194	60,1	152
S 06-5	2,49	0,117	1,28	22,5	16,383	58,03	145
S 06-5	2,27	0,118	1,29	22,48	16,341	57,97	152
S 06-5	2,33	0,119	1,29	22,43	16,239	57,84	138
S 06-5	2,26	0,118	1,28	22,44	16,231	57,83	115
R 07-4	1,38	0,203	1,81	22,14	17,064	62,04	126
R 07-4	0,862	0,207	1,82	22,07	17,007	61,98	103
S 08-3	1,75	0,165	1,52	21,86	16,631	61,44	129
S 08-3	2,04	0,163	1,55	21,85	16,638	61,51	205
S 08-3	1,8	0,13	1,34	21,74	15,651	58,58	154

se nadaljuje

nadaljevanje priloge F

Lonec	Fotosinteza ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$)	Prevodnost listnih rež ($\text{mol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{s}$)	Transpiracija ($\text{mmol H}_2\text{O}$)	Temperatura lista ($^{\circ}\text{C}$)	Koncentracija zračne vlage okoli lista ($\text{mmol H}_2\text{O}$)	Relativna zračna vlaga (%)	Fotosintetsko aktivno sevanje ($\text{mmol}/\text{m}^2/\text{s}$)
R 09-2	1,71	0,126	1,3	21,72	15,667	58,63	155
R 09-2	4,22	0,165	1,56	21,77	16,887	63,32	300
S 10-1	4,56	0,158	1,57	21,77	16,933	63,5	433
S 10-1	5,72	0,163	1,61	21,74	17,006	63,78	468

PRILOGA G

Število strokov posameznih rastlin po velikostnih razredih

Datum	Rastlina	Št. strokov >4 cm	Št. strokov <4 cm	Masa strokov >4 cm	Masa strokov <4 cm
3.9.2008	S-01	36	0	22,8	0,0
3.9.2008	R-02	36	0	44,6	0,0
3.9.2008	S-03	27	0	12,8	0,0
3.9.2008	R-04	30	0	30,6	0,0
3.9.2008	S-05	22	0	9,4	0,0
3.9.2008	R-06	30	0	38,6	0,0
3.9.2008	S-07	23	0	9,9	0,0
3.9.2008	R-08	41	0	48,9	0,0
3.9.2008	S-09	17	0	10,7	0,0
3.9.2008	R-10	52	2	76,2	0,1
3.9.2008	R-01	34	0	57,5	0,0
3.9.2008	S-02	30	0	14,6	0,0
3.9.2008	R-03	44	0	54,0	0,0
3.9.2008	S-04	17	0	16,8	0,0
3.9.2008	R-05	40	0	43,8	0,0
3.9.2008	S-06	23	0	14,6	0,0
3.9.2008	R-07	37	0	42,7	0,0
3.9.2008	S-08	27	0	14,0	0,0
3.9.2008	R-09	37	0	61,0	0,0
3.9.2008	S-10	38	0	20,9	0,0

PRILOGA H

Razporeditev semen po strokih, število in masa semen

Rastlina	Število strokov z vsaj enim semenom	Število strokov brez semen	Število semen	Masa semen (g)
R-01	31	3	149	36,79
R-02	33	3	146	28,05
R-03	35	9	167	38,66
R-04	22	8	105	22,63
R-05	28	12	152	29,75
R-06	29	1	131	27,27
R-07	31	6	150	31,97
R-08	34	7	164	35,92
R-09	36	1	196	45,93
R-10	42	10	209	57,40
S-01	26	10	96	16,53
S-02	20	10	60	10,68
S-03	21	6	61	9,43
S-04	15	2	40	10,20
S-05	18	4	41	6,88
S-06	19	4	68	11,35
S-07	16	7	50	7,43
S-08	23	4	59	10,41
S-09	12	5	42	7,87
S-10	27	11	84	14,05