



UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Anja IVANOVIĆ

**BIOINDIKACIJA TROPOSFERSKEGA OZONA Z
VIŠJIMI RASTLINAMI**

DIPLOMSKI PROJEKT

Univerzitetni študij - 1. stopnja

Ljubljana, 2010

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Anja IVANOVIĆ

**BIOINDIKACIJA TROPOSFERSKEGA OZONA Z VIŠJIMI
RASTLINAMI**

DIPLOMSKI PROJEKT
Univerzitetni študij - 1. stopnja

**BIOINDICATION OF TROPOSPHERIC OZONE BY HIGHER
PLANTS**

B. SC. THESIS
Academic Study Programmes

Ljubljana, 2010

Diplomski projekt je zaključek Univerzitetnega študija Kmetijstvo – agronomija – 1. stopnja. Delo je bilo opravljeno na Katedri za aplikativno botaniko, ekologijo, fiziologijo rastlin in informatiko.

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

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Marina Pintar
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo

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

Član: doc. dr. Zalika Črepinšek
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, oddelek za agronomijo

Datum zagovora: 10.9.2010

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

Anja Ivanović

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Du1
DK	551.506.8: 502.3: 621.43.064: 551.510.543 (043.2)
KG	troposferski ozon/ bioindikacija/ bioindikatorske rastline/ fižol/ <i>Phaseolus vulgaris</i> / plazeča detelja/ <i>Trifolium repens</i>
AV	IVANOVIĆ, Anja
SA	BATIČ, Franc (mentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
LI	2010
IN	BIOINDIKACIJA TROPOSFERSKEGA OZONA Z VIŠJIMI RASTLINAMI
TD	Diplomsko delo (Univerzitetni študij - 1. stopnja)
OP	VI, 18 str., 2 pregl., 7 sl., 14 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	Ozon se nahaja v stratosferi, kjer tvori ozonski ščit in je zaželen, v troposferi pa se nahaja v prekomernih količinah in predstavlja zračno onesnažilo. Onesnaženost z ozonom je velik problem, posledice pa so vidne na rastlinah v obliki poškodb. Poškodbe se najpogosteje izrazijo na metuljnicah, zato kot najpogostejši bioindikatorski rastlini uporabljamo plazečo deteljo (<i>Trifolium repens</i>) in nizek fižol (<i>Phaseolus vulgaris</i>), včasih pa so uporabljali še tobak (<i>Nicotiana tabacum</i>). Značilne poškodbe so točkasta obledela mesta – kloroze, katerih tkivo kasneje propade. Posledice delovanja ozona so tudi motnje v prilagajanju na mraz in druge strese iz okolja ter spremembe v fotosintezi, dihanju, transpiraciji in posledično v hitrejšem staranju in zmanjšanju pridelka rastlin. V diplomskem delu predstavljeno bioindikacijo troposferskega ozona z višjimi rastlinami so izvajali po protokolih, ki jih je pripravil program ICP Vegetation v okviru okoljske konvencije CLRTAP in delovne skupine za učinke WGE. Te aktivnosti zagotavljajo informacije o onesnaženosti ozračja z ozonom, geografskem obsegu onesnaženja in vplivu na zdravje ljudi in okolja. V prihodnosti je potrebno zmanjšati emisije predhodnikov fotooksidantov (NO_x in ogljikovodike) in tako zmanjšati nastajanje ozona v prizemni plasti. Uspešnost teh ukrepov je potrebno preverjati tudi z izbranimi bioindikatorji.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND Du1

DC 551.506.8: 502.3: 621.43.064: 551.510.543 (043.2)

CX tropospheric ozone/ bioindication/ bioindicator plants/ bushbean/ *Phaseolus vulgaris*/ white clover/ *Trifolium repens*

AU IVANOVIĆ, Anja

AA BATIČ, Franc (supervisor)

PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101

PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy

PY 2010

TY BIOINDICATION OF TROPOSPHERIC OZONE BY HIGHER PLANTS

DT B. Sc. Thesis (Academic Study Programmes)

NO VI, 18 p., 2 tab., 7 fig., 14 ref.

LA sl

Al sl/en

AB Ozone is located in stratosphere, where it forms the ozone shield and protects life on the Earth from UV radiation. In the troposphere, ozone is found in excessive quantities and is known as pollutant, harmful to biota and materials. Ozone pollution is a major problem and the consequences are visible on the plants as injuries. Visible injuries are expressed on leaves of ozone sensitive plants, among them on legumes, which are often used in bioindication. Sensitive and resistant biotypes of white clover (*Trifolium repens*), bush bean (*Phaseolus vulgaris*) and tobacco (*Nicotiana tabacu*) are among the most often used bioindicators for monitoring the tropospheric ozone. Typical leaf injuries, shown as white dots chlorosis and later, when the tissue dies – necrosis, are an easy indication of ozone injury. The effects of ozone pollution are also disturbances in acclimation and adaptation to freezing, other environmental stresses, changes in photosynthesis, respiration and transpiration what leads to early senescence, reduced growth and yield of affected plants. Bioindication, presented in graduation thesis was carried out according to protocols of ICP Vegetation programme, under WGE CLRTAP convention. Data obtained by this activity provides information on the degree and geographic extent of the impacts of tropospheric ozone on plants, human health and the environment. Tropospheric ozone remains one of major air pollutants. In the future it is necessary to reduce emissions of photooxidants precursors (NO_x and hydrocarbons) to reduce the formation of tropospheric ozone. Success of those measures should be monitored by chosen plant bioindicators.

KAZALO VSEBINE

	Str.
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	II
KEY WORDS DOCUMENTATION	III
KAZALO VSEBINE	IV
KAZALO PREGLEDNIC	V
KAZALO SLIK	V
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	VI
1 UVOD	1
2 OZON	2
2.1 NASTAJANJE OZONA V PRIZEMNEM SLOJU TROPOSFERE	3
2.2 ZNAČILEN LETNI IN DNEVNI HOD KONCENTRACIJE OZONA	4
2.2.1 Značilen letni hod koncentracije prizemnega ozona v troposferi	4
2.2.2 Dnevni hod koncentracije prizemnega ozona v naseljenih območjih	4
2.2.3 Dnevni hod koncentracije prizemnega ozona v predelih s čistim zrakom	4
2.3 VPLIV POVEČANE KONCENTRACIJE OZONA NA RASTLINE	6
3 OKOLJSKA KONVENCIJA	10
3.1 WGE	11
4 BIOINDIKACIJA	11
4.1 PROGRAM ICP Vegetation	12
4.2.1 Povzetek metode bioindikacije z nizkim fižolom (<i>Phaseolus vulgaris</i> 'Berggold')	14
5 SKLEPI	17
6 VIRI	18

KAZALO PREGLEDNIC

	Str.
Preglednica 1: AOT40, ppm h, na izbranih ICP Vegetation območjih med junijem in avgustom v letu 1999, 2000 in 2003. Odstotek zajetih podatkov, na podlagi števila dni je naveden v oklepaju (Hayes in sod., 2007).....	5
Preglednica 2: Države, v katerih so zabeležili vidne poškodbe na kmetijskih rastlinah, pol-naravni vegetaciji (trajna travišča) in lesnati vegetaciji (Hayes in sod., 2007).....	8

KAZALO SLIK

	Str.
Slika 1: Stratosferski in troposferski ozon (http://okolje.arso.gov.si/ozon_fplini/pages.php?op=print&id=PREDSTAVITEV).....	2
Slika 2: Povprečne urne vrednosti ozona O ₃ za Novo Gorico (http://164.8.11.54/econova2/Default.aspx?mesto=NovaGorica).....	5
Slika 3: Na onesnaženje z ozonom občutljiva <i>Trifolium repens</i> 'Regal-S' (foto: Franc Batič).....	7
Slika 4: Na onesnaženje z ozonom odporna <i>Trifolium repens</i> 'Regal-R' (foto: Franc Batič).....	7
Slika 5: Poškodbe lista na <i>Trifolium repens</i> 'Regal-S' (foto: Franc Batič).....	8
Slika 6: Shema diagnoz z ozonom povzročenih poškodb na listavcih (Innes in sod., 2001).....	9
Slika 7: Razvoj poškodb na listu nizkega fižola (<i>Phaseolus vulgaris</i> 'Berggold') a) 5-25% vidnih poškodb, b) in c) močno poškodovan list (poškodba ocenjena >25%) in d) list v senescenci (Yield ..., 2010).....	15

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

AOT40	Akumulirana količina ozona, ki presega 40 ppb ozona. Gre za vsoto razlik med urno koncentracijo ozona ter 40 ppb ozona vsako uro, ko je koncentracija ozona presegla mejo 40 ppb, nakopičenega skozi svetli del dneva
CLRTAP	Konvencija o čezmejnem onesnaževanju zraka na velike razdalje (Convention on Long-range Transboundary Air Pollution)
EMEP	Program za sledenje in ocenjevanje prenosa onesnažil na velike razdalje (European Monitoring and Evaluation Programme; Protocol on Long-term Financing of the Cooperative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long Range Transmission of Air Pollutants in Europe)
UN/ECE ICP-Crops	Evropski program, ki spremlja učinke fotooksidantov na izbranih sortah kmetijskih in samoniklih rastlin v Evropi (United Nations Economic Commission Integrated Cooperative Program for the Assessment of Phytooxidants on Agricultural Non-Woody Plants). Ta program je predhodnik ICP Vegetation
ICP Vegetation	Mednarodni program za ugotavljanje učinkov onesnaženega zraka na naravno rastje in poljščine (International Cooperative Program on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops). Ta program je nadaljevanje UN/ECE ICP-Crops
NO _x	Dušikovi oksidi
Polnaravna vegetacija	To so trajna travišča, ki jih vzdržujemo samo s košnjo in/ali pašo
UNECE	Ekonomska komisija Združenih narodov za Evropo (United Nations Economic Commission for Europe)
VOC	Hlapne organske spojine (Volatile Organic Compounds)

1 UVOD

Kmetijstvo je ena izmed najstarejših dejavnosti človeka, predstavlja vir hrane, vir preživetja. Na podeželju se je tako z vse večjim razvojem kmetijstva začelo spreminjanje naravnih ekosistemov, povečal se je vpliv človeka na kroženje snovi v naravi, začelo se je onesnaževanje s fitofarmacevtskimi sredstvi.

Pojavila se je onesnaženost s troposferskim ozonom, ki je velik problem današnje družbe in je prizadela ves planet. K tej onesnaženosti pa smo največ prispevali sami z gospodinjstvi, industrijo in predvsem prometom – kdaj smo se nazadnje kam odpravili peš ali s kolesom?

Visoka koncentracija ozona ima škodljiv vpliv na ljudi in rastline. Pri ljudeh najbolj vpliva na dihalni sistem, zlasti pljuča, pri rastlinah pa vpliva na zmanjšanje pridelka, povzroča škodo na listih in zmanjšuje odpornost na bolezni.

Ozon se nahaja tako v stratosferi, kjer tvori ozonski ščit (20-30 km), kot v troposferi. V stratosferi je zaželen, v troposferi pa v prekomernih količinah, v kakršnih se nahaja, predstavlja zračno onesnažilo (Janša in sod., 2011).

Ozon in njegovi predhodniki se transportirajo na dolge razdalje (predhodniki do 100 km, ozon do 1000 km), zato najdemo ozon tudi na podeželju (Batič in sod., 1999) in v gorskem svetu (Janša in sod., 2011).

Onesnaženost s troposferskim ozonom ni nič manjši problem kot onesnaženost z SO₂. Velik problem so prekurzorji ozona, saj se emisije dušikovih oksidov niso zmanjšale, tako kot so se zmanjšale emisije SO₂ in onesnaženost s težkimi kovinami.

Posledice onesnaženosti z ozonom so tako vidne na rastlinah v obliki poškodb. Te rastline sedaj uporabljamo kot bioindikatorje, saj je metoda bioindikacije troposferskega ozona z višjimi rastlinami poceni metoda, primerna za območja, kjer težko izvajamo stalne meritve onesnažil in je možna tudi na mestih, kjer bioindikator ni razširjen.

Poškodbe onesnaženosti z ozonom so se najpogosteje izrazile na metuljnicah (pri poljščinah na fižolu, na traviščih pa pri deteljah), zato so jih tudi vključili v poskuse kot indikatorske rastline. Tako so od leta 1996 dalje v programu ICP Vegetation uporabljali plazečo deteljo (*Trifolium repens*), z letom 2008 pa so razvili nov protokol, ki kot bioindikatorsko rastlino uporablja nizek fižol (*Phaseolus vulgaris*).

V tem diplomskem delu sem želela preučiti problem onesnaževanja z ozonom in predstaviti metode bioindikacije učinkov ozona z višjimi rastlinami.

2 OZON

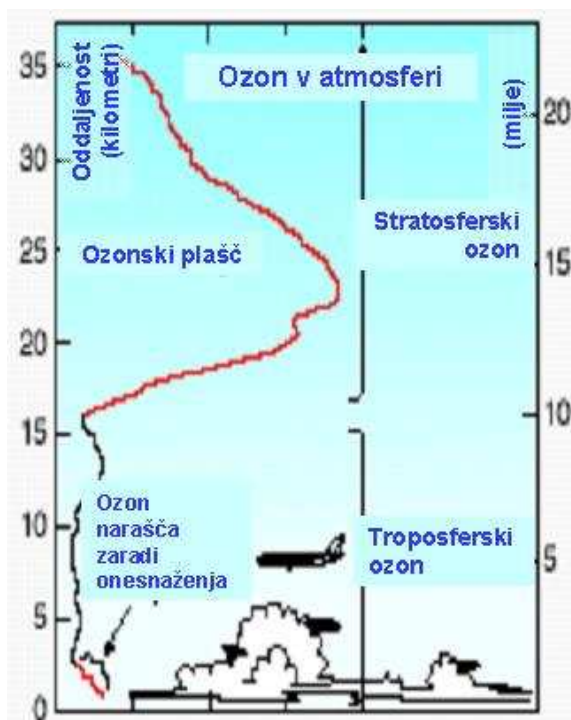
Ozon je posebna alotropska oblika kisika, ki ima v svoji molekuli 3 atome kisika. Schönbein, ki ga je odkril leta 1840, je ugotovil, da nastaja ob nevihtah in ima značilen oster vonj, kar pomeni tudi njegovo ime v grščini (gr. ozein – vonjati, »dišati«).

Ozon je termično nestabilen oziroma neobstoje, saj enostavno razpade na kisik, zaradi česar je izredno reaktiven in močan oksidant (Batič in sod., 1999).

Ozon je atmosferski plin, ki v stratosferi (v višini 20 – 30 km) tvori ozonsko plast ali ozonski ščit. Ta je zelo pomemben za absorpcijo organizmom nevarnega kratkovalovnega sončnega sevanja (npr. ultravijoličnih žarkov) (Batič in sod., 1999).

Ozon pa lahko nastaja tudi v troposferi. Izvor troposferskega ozona je lahko naraven ali antropogen. Povprečna letna koncentracija ozona v prizemnih plasteh troposfere narašča zaradi antropogenih vplivov, emisij snovi, iz katerih nastaja ozon (lahkohlapni ogljikovodiki, ogljikov oksid in dušikovi oksidi, ki so predhodniki fotooksidantov, iz katerih se v fotokemičnih reakcijah tvori ozon in izhajajo predvsem iz prometa in industrije...). To so predhodniki (prekursorji) ozona (Batič in sod., 1999).

Ogljikovodike pa sproščajo tudi nekatere rastlinske vrste (biogeni viri), še posebej pri višjih temperaturah. Imenujemo jih biogeni ogljikovodiki. V vročih poletnih dneh jih sproščajo nekatere vrste grmičastih rastlin, iglavcev in listavcev. Nekatere vrste grmičevja emitirajo kratkoverižne alkane, od etana do n-butana, izoprena, kot tudi aciklične, monociklične in policiklične terpene. Iglavci predstavljajo vir raznih terpenov. Pri nekaterih listavcih in iglavcih opažajo sproščanje terpenom podobnega aromata p-cimola in izoprena. Narašča pa tudi koncentracija metana, ki se sprošča iz močvirij, farm, rudnikov in drugih virov (Batič in sod., 1999).



Slika 1: Stratosferski in troposferski ozon
(Ozon ..., 2010)

2.1 NASTAJANJE OZONA V PRIZEMNI PLASTI TROPOSFERE

V normalnih razmerah je predhodnik ozona v troposferi dušikov dioksid (NO_2), ki pri fotolizi razpade v atomarni kisik (O) in dušikov oksid (NO), pri čemer je potrebna modrovijolična svetloba vidnega dela svetlobnega spektra valovne dolžine 420 nm (ni potrebna UV svetloba, kot pri nastajanju ozona v stratosferi) (reakcija 1). Atomarni kisik zreagira v ozon z molekularnim kisikom in inertnim tretjim udeležencem te reakcije (M), ki služi za odvod energije (reakcija 2). Nastali dušikov oksid pa je v povratni reakciji porabnik ozona (reakcija 3).



Po reakcijah (1 in 3) nastane fotokemijsko ravnotežje (enačba 4). Koncentracija ozona je proporcionalna konstanti K in koncentracijskem razmerju med NO_2 in NO . Velikost konstante K je odvisna od intenzitete sevanja in razmerij hitrostnih konstant reakcij (reakcija 1, 2 in 3).

$$[\text{O}_3] \approx K [\text{NO}_2] / [\text{NO}] \quad \dots(4)$$

V onesnaženem zraku se večina troposferskega, oziroma prizemnega ozona, tvori v fotokemični oksidaciji ogljikovodikov (reakcija 5) in ogljikovega monoksida (CO) (reakcija 6). Iz ogljikovodikov nastaja več ozona, saj so le ti reaktivnejši od ogljikovega monoksida.



Poleg ozona v onesnaženem zraku nastajajo še druge snovi, kot so aldehidi (RCHO), peroksiacetonitril ($\text{CH}_3(\text{O})\text{O}_2\text{NO}_2$), kratko imenovan PAN, in drugi, ki jih glede na njihovo tvorbo in lastnosti imenujemo fotooksidanti (Batič in sod., 1999).

Fotooksidantov torej ne emitiramo v atmosfero, ampak se tam tvorijo iz predhodnikov, zato jih imenujemo sekundarni polutanti ali drugotna onesnažila (Batič in sod., 1999).

2.2 ZNAČILEN LETNI IN DNEVNI HOD KONCENTRACIJE OZONA

2.2.1 Značilni letni hod koncentracije prizemnega ozona v troposferi

Koncentracija snovi, iz katerih se tvori ozon, intenzivnost sončnega sevanja in temperatura zraka so dejavniki, ki vplivajo na nastajanje ozona preko dneva in leta. Njihov skupni učinek vodi do značilnega hoda koncentracije ozona (Batič in sod., 1999).

Na območjih s čistim zrakom v sredogorju je letni hod ozona razmeroma slabo izražen. Občasno opazimo veliko koncentracijo ozona, ki jo povzroči transport stratosferskega ozona s prodori višjih zračnih plasti v troposfero do prizemnih plasti troposfere (Lešnjak in Planinšek, 1992, cit. po Batič in sod., 1999).

2.2.2 Dnevni hod koncentracije prizemnega ozona v naseljenih območjih

V naseljenih območjih ima dnevni hod koncentracije ozona dobro izražen maksimum v zgodnjih popoldanskih urah, minimum pa pred sončnim vzhodom. Vzrok je v (Lešnjak in Planinšek, 1992, cit. po Batič in sod., 1999):

- razmerju koncentracije predhodnikov ozona, ki so antropogenega izvora,
- intenziteti sončnega sevanja in
- višini dnevne temperature.

Velike količine ogljikovodikov, ogljikov oksid in dušikovi oksidi se v jutranjih urah sproščajo z gostim jutranjim prometom. Dušikovi oksidi (pretežno v monoksidni obliki NO) se med dopoldnevom oksidirajo v dioksid, ki je izvor atomarnega kisika, iz katerega nastaja ozon.

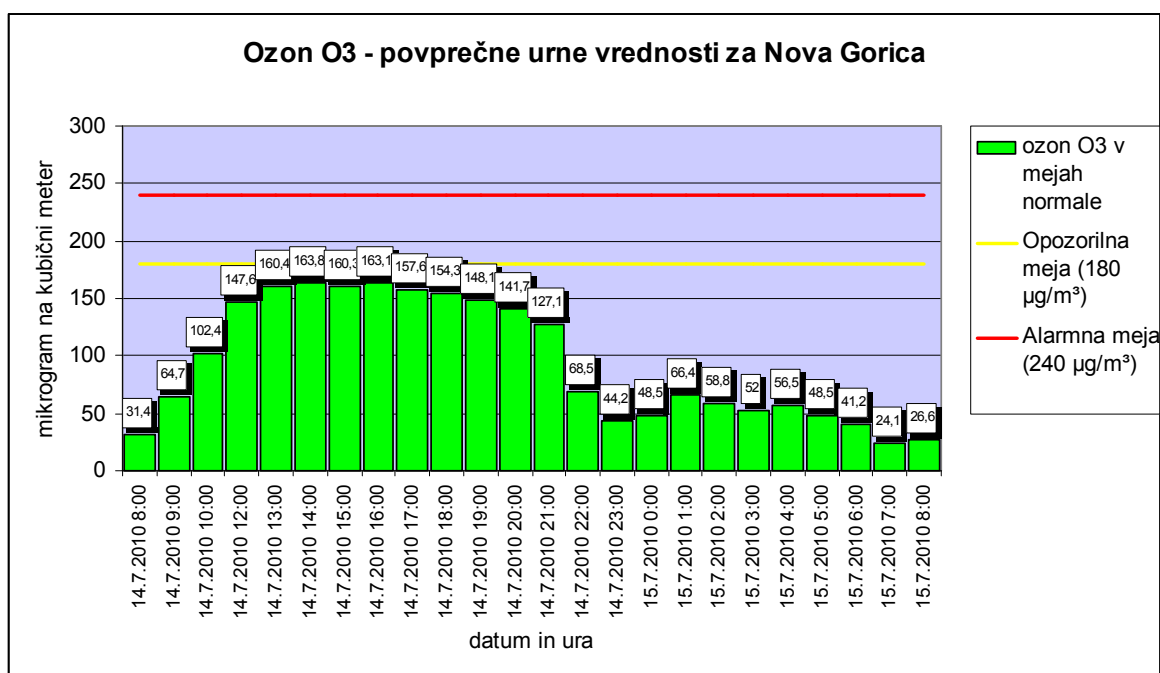
Maksimalni porast koncentracije ozona v opoldanskem in popoldanskem času pa izhaja iz fotokemijskih in kemijskih reakcij. Velika koncentracija dušikovega dioksida (NO₂) tu predstavlja predhodnega dajalca atomarnega kisika, ki nastane pri razpadu oziroma fotolizi dušikovega dioksida v kisik in dušikov oksid (reakcija 1).

Ogljikovodiki in ogljikov oksid pa se oksidirajo s pomočjo radikalov in tvorijo ozon (v reakciji 5 in 6) (Batič in sod., 1999).

S pričetkom druge prometne konice v popoldanskem času naraste koncentracija dušikovega oksida, ki je porabnik ozona. Koncentracija NO preseže koncentracijo NO₂ v zraku. Popoldne pojema intenziteta sončnega sevanja in pada temperatura zraka. Posledica tega je padanje koncentracije ozona, ki doseže manjšo vrednost pred sončnim vzhodom (Batič in sod., 1999).

2.2.3 Dnevni hod koncentracije prizemnega ozona v predelih s čistim zrakom

V predele s čistim zrakom s pomočjo daljinskega transporta zraka prispe ozon pretežno iz naseljenih območij. Srednja dnevna koncentracija ozona je tu lahko pogosto večja kot v naseljenih območjih. Vzrok je konstantno majhna koncentracija porabnikov ozona v ozračju (npr. NO). Porabnik ozona v predelih s čistim zrakom so lahko tudi tla (oksidacija) in različne površine, kot npr. rastlinski listi (Zimmermann, 1953, cit. po Batič in sod., 1999).



Slika 2: Povprečne urne vrednosti ozona O₃ za Novo Gorico
(Meteorološki ..., 2010)

Koncentracije ozona ves čas nihajo.

Mejna urna opozorilna imisijska koncentracija za ozon v Sloveniji znaša 180 mikrogramov na kubični meter. Alarmna urna imisijska koncentracija za ozon znaša 240 mikrogramov na kubični meter (Uredba o ozonu v zunanjem zraku, 2003).

Preglednica 1: AOT40, ppm h, na izbranih ICP Vegetation območjih med junijem in avgustom v letu 1999, 2000 in 2003. Odstotek zajetih podatkov, na podlagi števila dni, je naveden v oklepaju (Hayes in sod., 2007)

Država	1999	2000	2003
Belgija (Tervuren)	4.80 (100)	2.13 (100)	8.11 (100)
Nemčija (Trier University)	8.09 (100)	4.12 (100)	15.63 (100)
Italija (Isola Serafini)	23.78 (100)	19.39 (100)	-
Italija (Neapelj)	16.33 (77)	19.86 (100)	13.70 (100)
Slovenija (Iskrba)	-	15.08 (100)	13.59 (100)
Slovenija (Ljubljana)	-	12.20 (100)	18.56 (100)
Španija (Ebro Delta)	8.97 (100)	2.78 (100)	3.99 (100)
Švedska (Östad)	3.03 (100)	1.67 (100)	1.49 (100)
Švica (Cadenazzo)	19.22 (100)	-	29.46 (100)
UK (Bangor)	1.04 (100)	0.14 (100)	-
UK (Snowdon)	2.10 (50)	2.09 (81)	4.20 (100)

Vrednosti, prikazane v preglednici kažejo na veliko raznolikost koncentracije ozona med leti na več mestih. Na primer v Belgiji (Tervuren) in Nemčiji (Trier University) je v obdobju junij-avgust AOT40 štirikrat večji v letu 2003 kot v letu 2000.

Podatki z izbranih mest ICP Vegetation v letih 2000 in 2003 kažejo, da se velike koncentracije ozona ponavadi pojavijo v južni Evropi, vendar pa primerljiva mesta v južni Evropi nimajo vedno enake koncentracije ozona. Na primer, v vzhodni Španiji so bile

koncentracije ozona manjše, kar je lahko posledica razlik med merilnimi mesti kot so urbano okolje, podeželje ali obala, lokalne vremenske razmere in nadmorska višina (Hayes in sod., 2007).

2.3 VPLIV POVEČANE KONCENTRACIJE OZONA NA RASTLINE

Troposferski ozon je povzročitelj večine poškodb na rastlinah, ki jih pripisujemo delovanju različnih fotooksidantov. Ozon sam ali v sinergizmu z drugimi polutanti spreminja vrstno sestavo naravnih rastlinskih združb, zmanjšuje pridelek in kvari videz gojenih rastlin (Batič in sod., 1999).

Poškodbe so lahko akutne ali kronične. Akutne poškodbe se razvijejo v nekaj urah ali dneh izpostavljenosti velikim koncentracijam ozona in običajno vodijo v smrt celic. Pojavijo se v obliki od svetlih madežev do temno rjavih točk. Kronične vrste poškodb se razvijejo počasneje, v nekaj dneh ali tednih po izpostavljenosti, in se lahko izrazijo kot blaga kloroza, pigmentacija (točkasto), prezgodnje staranje listov in prezgodnje odpadanje listov. Kronične poškodbe se običajno pojavijo kot odziv na dolgotrajno izpostavljenost manjšim koncentracijam ozona (Innes in sod. ..., 2001).

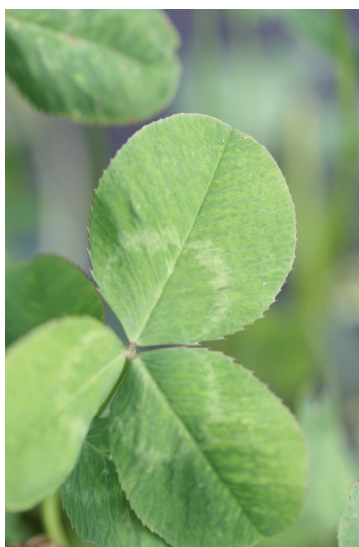
Ozon najlažje vstopa skozi listne reže, zato so najprej poškodovane celice zapiralke listnih rež in celice listne sredice. Pred pojavom vidnih poškodb na listih ozon in drugi fotooksidanti vplivajo na biosintezo maščobnih kislin, beljakovin in maščob, ki so gradniki celičnih membran. Poškodujejo pa tudi že zgrajene membrane. Posledice so motnje v delovanju membran, to je v transportu vode in snovi ter v vzdrževanju turgorja. Od tod tudi videz začetnih poškodb kot z »vodo nabreklih mest«. Kasneje pride do puščanja elektrolitov in organskih spojin iz celice. Ob nadaljevanju stresa celica uplahne in propade. Nastanejo značilne poškodbe v obliki točkastih obledelih mest – kloroz, katerih tkivo kasneje propade. Te površinsko nejasno opredeljene poškodbe listov kasneje preidejo v rdečkasto-rjave nekroze (Batič in sod., 1999).



Slika 3: Na onesnaženje z ozonom občutljiva *Trifolium repens* 'Regal-S'
(foto: Franc Batič)



Slika 4: Na onesnaženje z ozonom odporna *Trifolium repens* 'Regal-R'
(foto: Franc Batič)

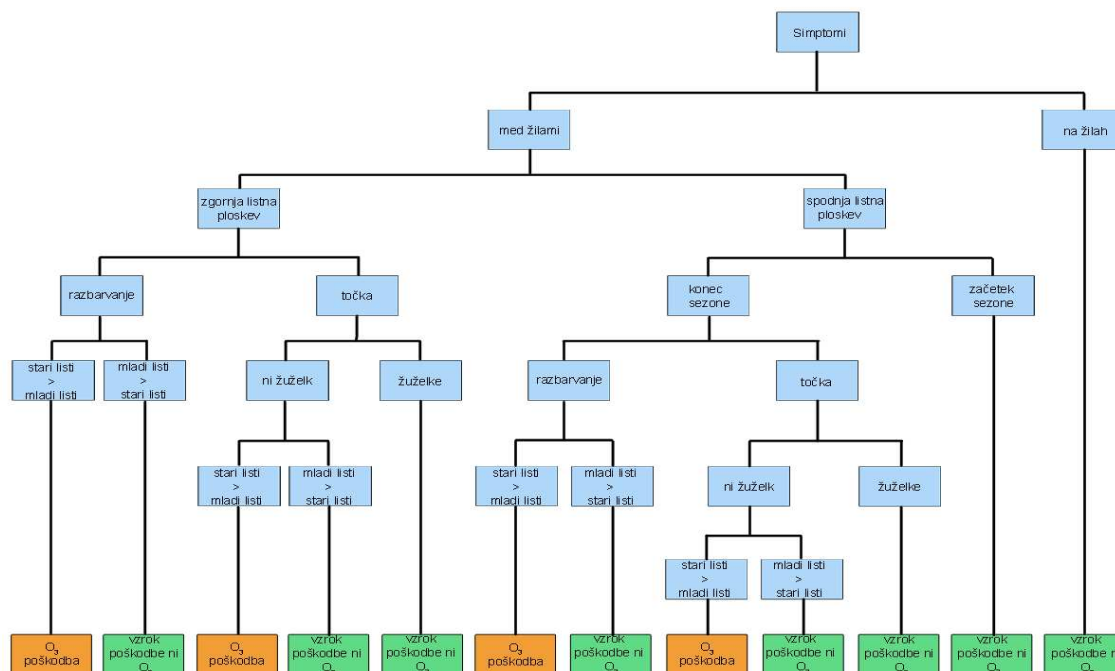


Slika 5: Poškodbe lista na *Trifolium repens* 'Regal-S'
(foto: Franc Batič)

Posledice delovanja ozona so tudi motnje v prilagajanju na mraz in druge strese iz okolja. Spremembe se pojavijo tudi v poteku fizioloških procesov, kot so fotosinteza, dihanje, transpiracija, kar posledično vpliva na rast in produktivnost rastlin. Navzven se to odraža z vidnimi poškodbami in izgubo listov ter posledično z manjšim pridelkom. Omenjene fiziološke poškodbe se lahko pojavijo tudi brez zunaj vidnih znakov. Potek, obseg in mesta poškodb so odvisni od vrste in sorte rastline, njihove razvojne stopnje, od koncentracije, trajanja pogostnosti obdobj povečane koncentracije ozona in časa pojavljanja teh obdobj glede na rastno obdobje ter od drugih razmer na rastišču, še posebej od vlažnosti zraka (Batič in sod., 1999).

Preglednica 2: Države, v katerih so zabeležili vidne poškodbe na kmetijskih rastlinah, pol-naravni vegetaciji (trajna travišča) in lesnati vegetaciji (Hayes in sod., 2007)

<i>Država</i>	<i>Kmetijske rastline</i>	<i>Pol-naravna vegetacija</i>	<i>Lesnata vegetacija</i>
Avstrija	*		
Belgija	*	*	
Italija	*	*	*
Češka			*
Francija		*	*
Nemčija	*	*	*
Grčija	*	*	*
Nizozemska	*	*	
Poljska	*	*	*
Rusija	*	*	
Slovenija	*	*	
Španija	*	*	*
Švedska	*	*	
Švica	*	*	*
Ukrajina		*	
UK		*	



Slika 6: Shema določanja ozonskih poškodb na listavcih
(Innes in sod., 2001)

Seznam kmetijskih rastlin (po državah), na katerih so se pojavile poškodbe zaradi ozona (Hayes in sod., 2007):

- Avstrija: fižol
- Belgija: fižol, koruza, krompir, nizek fižol
- Francija: fižol
- Nemčija: fižol
- Grčija: fižol, cikorija, bučka, aleksandrijska detelja, vinska trta, solata, koruza, melona, čebula, peteršilj, krompir, tobak, lubenica
- Madžarska: fižol
- Italija: fižol, trda pšenica, vinska trta, čebula, breskev, buča, soja, pšenica
- Nizozemska: fižol, podzemna detelja
- Poljska: fižol
- Rusija: fižol
- Slovenija: fižol
- Španija: grah, klementine, vinska trta, oves, arašidi, krompir, soja, tobak, paradižnik, lubenica
- Švedska: krompir, redkev, črna detelja, podzemna detelja, pšenica, plazeča detelja
- Švica: vinska trta, krompir

3 OKOLJSKA KONVENCIJA

Prva konferenca OZN o okolju, ki je bila leta 1972 v Stockholmu, je postavila pravne temelje za mednarodno ukrepanje za zmanjšanje onesnaževanja zraka. Sprejeli so načelo, da morajo države poskrbeti, da s svojo dejavnostjo ne povzročajo okoljske škode zunaj svojih meja.

Konec leta 1979 je bila v Ženevi podpisana prva okoljska konvencija – konvencija o čezmejnem onesnaževanju zraka na velike razdalje (angl. kratica CLRTAP, Convention on Long-range Transboundary Air Pollution), v veljavo pa je stopila leta 1983. Osnova za pripravo in podpis konvencije izhaja iz programa EMEP, ki se je začel izvajati v okviru Ekonomske komisije za Evropo že leta 1977. Z EMEP protokolom pa je leta 1984 program EMEP postal pravno-formalni sestavni del konvencije. S to konvencijo so se države pogodbenice samo načelno zavezale, da bodo zmanjševale onesnaževanje. Količinsko in rokavno so obveznosti določene v protokolih (Hrček, 2000).

Protokol EMEP, podpisan leta 1984, je bil prvi protokol h konvenciji. Določil je mednarodni monitoring onesnaženosti zraka, zbiranje podatkov o emisijah in numerično modeliranje transporta onesnaženja. Drugi protokol je bil podpisan leta 1985 in sicer je to protokol za 30-odstotno zmanjšanje onesnaževanja zraka z žveplom. Protokol o dušikovih oksidih (NO_x) in sorodnih snoveh, je sledil leta 1988. Leta 1991 pa je bil sestavljen še protokol o lahko hlapnih ogljikovodikih (VOC). Leta 1994 je dodan protokol o ponovnem zmanjšanju žveplovih emisij, leta 1998 pa sledita še protokol o obstojnih organskih onesnažilih ter protokol o težkih kovinah. Protokol o zmanjšanju zakisovanja, eutrofikacije in prizemnega ozona (Göteborg protokol) je sestavljen leta 1999 (Hrček, 2000).

V Sloveniji je bil v 80. letih in začetku 90. let velik poudarek na sanaciji kakovosti zraka v mestih, ki so bila močno obremenjena z onesnaženim zrakom. Šlo je za vrsto ukrepov: nadomeščanje premoga in mazuta z zemeljskim plinom, širjenje daljinskega ogrevanja, varčevanje z energijo, gradnja mestnih obvoznih itd. Čeprav takratna država ni podpisala protokola o žveplu, je bilo v slovenske razvojne načrte vključeno tudi določilo za pripravo projektov čistilnih naprav za žveplov dioksid pri naših termoelektrarnah na premog.

Republika Slovenija je 6. julija 1992 z aktom o notifikaciji nasledstva konvencij OZN postala pravna naslednica množice mednarodnih pogodb, med njimi tudi konvencije CLRTAP in protokola EMEP. V letu 1992 se je tudi aktivno vključila v delo teles konvencije in pogajanja o drugem protokolu o žveplu. Nosilec dejavnosti v zvezi s konvencijo je postalo Ministrstvo za okolje in prostor RS, Hidrometeorološki zavod RS (sedaj ARSO). Zgrajeni sta bili dve merilni postaji EMEP, na Krvavcu in v Iskrbi pri Kočevski Reki (Hrček, 2000).

Leta 1994 je Slovenija podpisala drugi protokol o žveplu in s tem sprejela obveznost zmanjšanja emisij žveplovega dioksida za 45, 60 oz. 70 odstotkov do let 2000, 2005 oz. 2010 glede na stanje v letu 1980. Konec leta 1994 je vlada sprejela vrsto uredb, ki urejajo področje onesnaževanja in onesnaženosti zraka. Protokol je bil ratificiran leta 1998 in s slovensko ratifikacijo je bil izpolnjen pogoj zadostnega števila ratifikacij (16), da je protokol postal veljaven. Slovenija ni ostala le pri prevzemanju obveznosti, temveč je vztrajno zmanjševala emisije SO_2 , najbolj s pogonom prve odžvepljevalne naprave na

bloku 4 Termoelektrarne Šoštanj leta 1995. Leta 1998 je Slovenija podpisala tudi protokola o težkih kovinah in obstojnih organskih onesnaževalcih (Hrček, 2000).

Svečana obeležitev 20-letnice konvencije je bila v Göteborgu na Švedskem. Osrednji del ministrskega zasedanja je bil posvečen sprejemanju posebne ministrske deklaracije in podpisovanju novega protokola za zmanjšanje zakisljevanja, evτροφikacije in prizemnega ozona. Ministrska deklaracija sestoji iz treh delov: poudarek pomembnosti novega protokola, dosednji dosežki konvencije in prednostne naloge pri prihodnjem delu v okviru konvencije. Novi protokol je podpisalo 25 evropskih držav, med njimi tudi Slovenija, ZDA in Kanada. Zgornje meje emisij SO₂ (27kt), NO_x (45kt), VOC (40kt) in NH₃ (20kt) v Sloveniji, ki jih določa novi protokol za leto 2010, pomenijo pa konec več desetletij trajajočih hudih okoljskih problemov z žveplovim dioksidom pri nas (Hrček, 2000).

3.1 WGE

Že v zgodnjih razpravah o CLRTAP so ugotovili, da je dobro razumevanje škodljivih učinkov onesnaževanja zraka predpogoj za doseganje dogovorov o učinkovitem nadzoru onesnaževanja. Tako je bila leta 1980 v skladu s Konvencijo, za razvoj potrebnega mednarodnega sodelovanja v raziskavah in spremljanje posledic onesnaženja, ustanovljena delovna skupina za učinke ali WGE (The Working Group on Effects).

WGE zagotavlja informacije o stopnji onesnaženosti, geografskem obsegu in vplivih na zdravje ljudi in okolje z večjimi onesnaževalci zraka, kot so žveplo in dušikovi oksidi, ozon in težke kovine.

WGE sestavlja šest programov: ICP Forests, ICP Waters, ICP Materials, ICP Vegetation, ICP Integrated Monitoring in ICP Modelling and Mapping.

V sodelovanju teh programov in delovne skupine za zdravje (Task force on health) so bila označena najbolj ogrožena območja in ekosistemi. Označili so jih z upoštevanjem posledic za zdravje ljudi, kopenskih in vodnih sistemov ter materialov. Pomemben del tega dela je dolgoročno spremljanje. Delo je podprto z znanstvenimi raziskavami na področju odmerkov in odzivov, kritičnih obremenitev in ravni ter vrednotenjem škode (Working ..., 2010).

4 BIOINDIKACIJA

Bioindikacija je metoda, ki ne zahteva dragih merilnih inštrumentov, je primerna za območja kjer je težko zagotoviti stalne meritve onesnažil in je možna na mestih kjer bioindikator ni razširjen (možna gojitev nekaterih vrst in sort rastlin, občutljivih za določen dejavnik) (Batič in sod., 1999).

Bioindikatorji so organizmi, ki s svojimi življenjskimi funkcijami (presnovo, videzom, zgradbo, rastjo, razmnoževanjem in razširjenostjo) odražajo vplive okolja (Batič in sod., 1999).

Bioindikatorji so živi kazalci stanja v okolju in jih najdemo v naravi. Integrirajo okoljske vplive, ki jih merilne naprave ne zaznajo. Lep primer bioindikatorjev so epifitski lišaji, ki so zelo občutljivi za onesnažen zrak z žveplovimi spojinami, fluoridi in drugimi industrijskimi izpuhi.

Druga vrsta bioindikatorjev so organizmi, na katerih je človek ugotovil posledice škodljivega delovanja onesnažil v okolju pri kmetijski proizvodnji ali pri laboratorijskih poskusih ugotavljanja škodljivosti posameznih vrst onesnažil v vodi, zraku ali tleh. Te organizme imenujemo preizkuševalci ali testerji (Batič in sod., 1999).

Kadar testerje prenesemo iz nadzorovanih laboratorijskih razmer v naravo in spremljamo njihove odzive na delovanje onesnažil v naravnih razmerah, dobimo t.i. monitorje ali spremljevalce.

Zbiralci ali akumulatorji so tisti organizmi, ki lahko nekaj časa brez škode kopičijo večje količine škodljivih snovi. To so različni mahovi, lišaji pa tudi višje rastline, ki kopičijo težke kovine in radionuklide, to je snovi, ki so za druge organizme škodljive že v manjših količinah.

Odzivni bioindikator pa organizem postane takrat, ko je škodljive snovi preveč in je nadaljnje kopičenje snovi za organizem škodljivo in se zato odzove v obliki poškodb (razkroj klorofila, poškodbe membran, motnje v poteku fotosinteze in gradnji celičnih delov, itd.).

Indikatorski sistemi, ki temeljijo na ugotavljanju vidnih poškodb na listih, terjajo pri opazovanjih rastlin veliko pozornost, da ne pride do zamenjave s poškodbami, ki so posledica drugih dejavnikov (biotskih in abiotskih) (Batič in sod., 1999).

4.1 PROGRAM ICP Vegetation

UN/ECE ICP-Crops (United Nations Economic Commission Integrated Cooperative Program for the Assessment of Phytotoxins on Agricultural Non-Woody Plants) je bil evropski program, ki je spremljal učinke fotoooksidantov na izbranih sortah kmetijskih in samoniklih rastlin v Evropi. Slovenija je v ta program vključena od leta 1995.

S serijo koordiniranih poskusov so države, vključene v ta program, začele ugotavljati, katere rastlinske vrste razvijejo vidne poškodbe po obdobjih (epizodah) povečanih koncentracij ozona ter kakšne so spremembe biomase oziroma pridelka občutljivih rastlinskih vrst (Batič in sod., 1999).

V okviru tega programa so uporabljali naslednje vrste kmetijskih rastlin (Batič in sod., 1999):

- različne sorte fižola (*Phaseolus vulgaris* L.),
- različne vrste detelj (plazeča detelja – *Trifolium repens* L., podzemna detelja – *Trifolium subterraneum* L., aleksandrijska detelja – *Trifolium alexandrinum* L.),
- soja (*Glycine max* 'Ceresia'),
- črna ogrščica (*Brassica napus* 'Comet'),
- paradižnik (*Lycopersicon esculentum* 'Tiny Tim'),
- lubenice (*Citrullus lanatus* 'Sugar Baby'),
- sončnica (*Helianthus annuus* 'Arrowhead'),
- špinača (*Spinacia oleracea* 'Viroflex'),

pleveli:

- gozdni slezenovec (*Malva sylvestris* L.),
- njivski osat (*Cirsium arvense* (L.) Scop.) in
- veliki trpotec (*Plantago major* L.).

Poskus z indikatorsko rastlino plazečo deteljo, sajeno v lonce, poteka na dveh ravneh.

Prvo raven predstavlja poskus I s plazečo deteljo sorte 'Menna'. Tu polovico poskusnih rastlin zalivajo z EDU (N-(2-(okso-1-imidazolidin)etil)-N-fenilurea), ki jih zavaruje pred poškodbami zaradi ozona.

Drugo raven predstavlja poskus II z za ozon občutljivimi in proti ozonu odpornimi kloni plazeče detelje.

V okolici mest, kjer se izvajata poskus I in poskus II, ugotavljajo vplive fotooksidantov oziroma ozona na samoniklo vegetacijo. Vsa opazovanja opravljajo v rastni dobi vsaj enkrat tedensko. Ugotavljajo število in odstotek zaradi ozona poškodovanih listov na rastlinah in merijo količino pridelka v določenih časovnih presledkih. Način meritve pridelka je odvisen od vrste kmetijske rastline in njene uporabe.

Poleg opazovanja poškodb na rastlinah in predpisanega merjenja biomase potekajo še dodatne raziskave v zvezi z nastankom poškodb v rastlinah zaradi delovanja fotooksidantov.

Poskusna mesta naj bi bila v bližini meteoroloških postaj, ki merijo vremenske podatke (temperaturo, relativno zračno vlago, veter, padavine, sevanje itd.) in onesnažila v zraku (predvsem ozon, žveplov dioksid, dušikove okside itd.). Zbrane podatke za vso Evropo obdelujejo v koordinacijskem centru nottinghamske univerze v Angliji (Batič in sod., 1999).

Program ICP Crops je predhodnik programa ICP Vegetation.

ICP Vegetation je mednarodni program, ki raziskuje učinke zračnih onesnažil na vegetacijo v državah, ki spadajo pod UNECE (United Nations Economic Commission for Europe), vključno z Evropo, ZDA in Kanado.

Cilji programa ICP Vegetation so (ICP Vegetation ..., 2006)

- izvajanje vodenih poskusov za določitev posledic onesnaževanja z ozonom na gojenih rastlinah in (pol-)naravni vegetaciji v Evropi in Severni Ameriki,
- razvijanje računalniških modelov za meritve in interpretacijo vpliva podnebnih razmer ter okoljskih stresov na odzive rastlin na ozon, in za uporabo teh modelov za določitev kritičnih vrednosti ozona za učinke na vegetacijo,
- razvoj kart, ki prikazujejo mesta kjer je vegetacija v nevarnosti zaradi onesnaženosti z ozonom v območju UNECE, vključno z območji, kjer so presežene kritične vrednosti (v sodelovanju z EMEP / MSC-West),
- primerjava in pregled podatkov o vplivih ozona na donose posevkov (količina in kvaliteta), vključno z oceno gospodarskih izgub in posledicami vpliva za varnost preskrbe s hrano,
- primerjava in pregled podatkov o občutljivosti rastlinskih združb na ozon in posledicami za raznovrstnost rastlin,
- primerjava in pregled informacij o učinkih ozona na vegetacijo in na skladiščenje ogljika v spreminjajočem se podnebj,
- zbiranje dokazov o spreminjanju učinkov usedanja dušika na ozon ter njegov vpliv na (pol-)naravno vegetacijo v Evropi,
- pregled in spremljanje meritev o usedanju težkih kovin ter nadaljnjem kopičenju le teh v rastline, vključno z evropskimi raziskavami o povečani koncentraciji kovin v mahovih,
- preučevanje obsega usedanja dušika v Evropi, z določevanjem koncentracije dušika v mahovih v široki mreži merilnih mest.

Od leta 1996 so uporabljali belo oz. plazečo deteljo (*Trifolium repens*) za merjenje in spremljanje škodljivih učinkov onesnažila (npr. poškodbe listov, zmanjšanje biomase) na poljščine v skladu s standardiziranim protokolom, zraven so merili in spremljali koncentracije ozona. Leta 2008 so razvili nov sistem bioindikacije za ozon, pri katerem uporabljajo nizek fižol (*Phaseolus vulgaris* 'Berggold'). Ta protokol je bil dopolnjen v letu 2010.

V letu 2010 izvaja ICP Vegetation program raziskave o škodljivosti ozona za listnato zelenjavo (solate, špinača) (ICP Vegetation, 2010).

4.2.1 Povzetek metode bioindikacije s fižolom (*Phaseolus vulgaris*)

Cilji raziskav so (Yield ..., 2010):

- ugotoviti obseg pojava vidnih poškodb zaradi ozona na ozon občutljivih in na ozon odpornih biotipih nizkega fižola (*Phaseolus vulgaris* 'Berggold'),
- ugotoviti kolikšno je zmanjšanje donosa pri na ozon občutljivem biotipu fižola,
- vzpostaviti bazo podatkov o stomatalni prevodnosti pri za ozon občutljivih in za ozon odpornih rastlinah fižola.

Uporabljata se dva genotipa nizkega fižola sorte 'Berggold', na ozon občutljivi (S156) in na ozon odporni (R123) genotip *Phaseolus vulgaris*, ki sta bila izbrana na USDA-ARS Plant Science Unit v Severni Carolini, ZDA (Yield ..., 2010).

Poiskusno polje mora biti na odprtem, vsaj 200 m oddaljeno od glavnih cest in 50 m oddaljeno od stavb. Mora biti ograjeno in pokrito, da preprečimo dostop pticam, zajcem in manjšim glodalcem, ki bi drugače pojedli semena. Okrog naj bo zatravljeno, da se prepreči nastanek večje količine prahu, blata in zapleveljanja. Polži povzročajo veliko škode na rastlinah fižola, zato je priporočljiva uporaba limacidov.

Semena posadimo v lonce (volumen 12 – 15 litrov), s premerom približno 25 cm. Uporabimo vsaj 8 loncev za vsak genotip fižola. Uporabimo substrat (zemljo) značilen za okolje v katerem poteka poizkus, dodamo mu gnojilo s počasnim sproščanjem (Yield ..., 2010).

Poizkus bo trajal vsaj 60 dni. Semena je potrebno posaditi ob primernem času, odvisno od podnebja. Na primer, sajenje konec maja/začetek junija je idealen za centralno in južno Evropo (Yield ..., 2010).

Lonce napolnimo s kompostom in dobro zalijemo. (Yield ..., 2010:

- a) posadimo dve semeni 5 cm narazen blizu sredine vsakega lončka na globini 3 cm. Lončke moramo zaščititi pred pticami, lazarji, polži in ostalimi živalmi. Ob pojavu prvih pravih listov redčimo na eno rastlino na lonec. Dan 0 v poizkusu je dan, ko so rastline razredčene po ena na lonec.

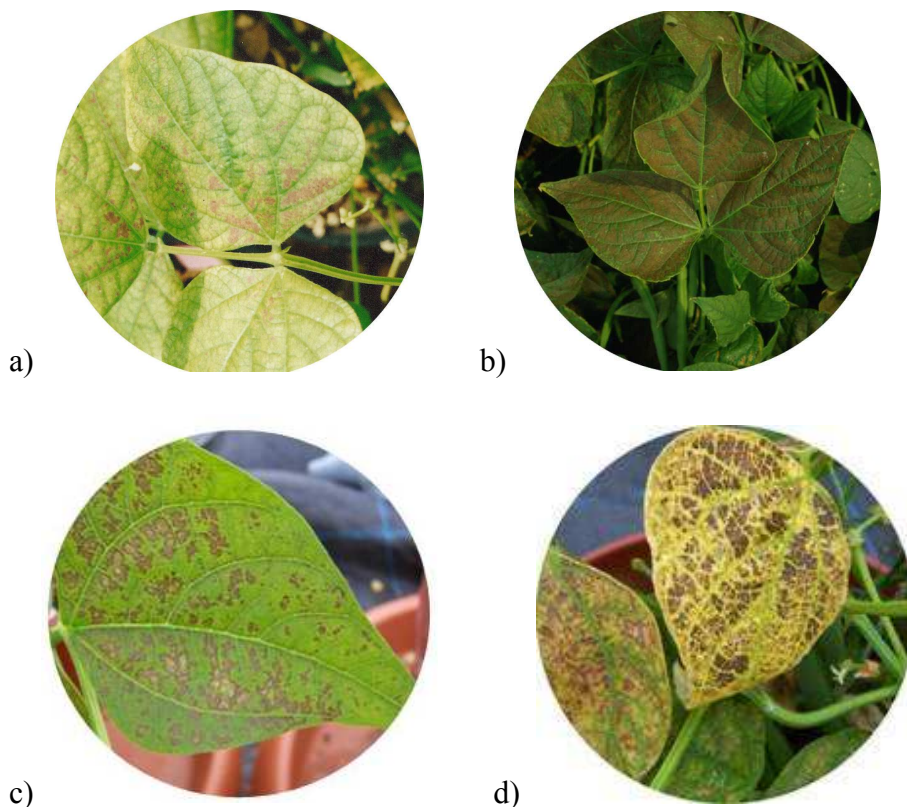
ali

- b) po eno seme posadimo v razgradljive lončke iz vlaken (premera približno 6 cm) na globino 3 cm. Ko se razvijejo prvi pravi listi, prestavimo rastlino skupaj z razgradljivim lončkom v večji poskusni lonec. Dan 0 je dan, ko smo rastline prestavili v večje lonce.

Poškodbe zaradi ozona so na fižolu vidne kot rjavo obarvane lezije, ki se postopoma združijo in pokrijejo večje dele listne površine (slika 7).

Ocene obarvanosti je priporočljivo spremljati vsak teden, če to ni izvedljivo pa minimalno dvakrat:

1. začetek cvetenja (ko cveti 50% ali več rastlin)
2. dva tedna po začetku cvetenja



Slika 7: Razvoj poškodb na listu fižola (*Phaseolus vulgaris*) a) 5-25% vidnih poškodb, b) in c) močno poškodovan list (poškodba ocenjena >25%) in d) list v senescenci (Yield ..., 2010)

Za vsako rastlino vodimo evidenco (Yield ..., 2010):

- genotip rastline,
- številka rastline,
- zdravje rastline (ključ ocene opisan spodaj),
- število trojnih listov – en trojni list je sestavljen iz sredinskega in dveh stranskih listov (brez primarnih listov in še prisotnih kličnih listov),
- število trojnih listov z 1 – 5% poškodbami,
- število trojnih listov z 5 – 25% poškodbami,
- število trojnih listov z >25% poškodbami,
- število odmrlih listov v senescenci, ki so ostali na rastlini.

Ključ ocene zdravja rastline (Yield, 2010):

Vsako rastlino ocenimo ali kot zdravo (H) ali abnormalno, z razlogom abnormalnosti ocenjenim kot 1 (rahlo), 2 (zmerno), 3 (hudo) z uporabo naslednjih ključev:

S	zakrnel
D	bolan
I	poškodba zaradi žuželk
Sl	poškodba zaradi polžev
A	poškodba zaradi živali (zajci, jeleni, ptice itd.)
V	virus

Stroke pobiramo 6 tednov po začetku cvetenja (ni pomembno ali so stroki še vedno zeleni). Pomembno je da sta oba genotipa obrana hkrati. Pri visoki izpostavljenosti ozonu so lahko vsi listi pri genotipu S156 odpadli in stroki bodo rjavi še predno genotip R123 doseže 50% rjavih strokov.

Do obiranja bo velika količina listov že odpadla z rastline, zato nas bo zanimala le biomasa strokov. Strokov, manjših od 2 cm, ne obiramo oz. štejemo. Stroke >2 cm posušimo, nato jih razvrstimo v dve skupini, <4 cm in >4 cm. Za vsak velikostni razred izmerimo in zabeležimo suho maso (1) strokov, ki imajo semena in (2) strokov, ki se niso razvili (so brez semen) (Yield ..., 2010).

5 SKLEPI

V Sloveniji so v zadnjih letih pod okriljem Biotehniške fakultete potekale mnoge raziskave onesnaženosti zraka, pri katerih so kot bioindikator za onesnaženost z ozonom uporabljali plazečo deteljo (*Trifolium repens* 'Regal').

Raziskave so potekale na različnih mestih in s tem tudi na različnih nadmorskih višinah in pri različnih koncentracijah ozona. Pomembna mesta za spremljanje učinkov troposferskega ozona so bila Iskrba, Ljubljana, Rakičan, Krvavec ter Zavodnje.

Na Krvavcu (gorski svet) so raziskave potekale vzporedno z raziskavami v nižini in sicer v Ljubljani (mestno okolje) ter Iskrbi in Rakičanu (podeželsko okolje).

Zato je bil presenetljiv podatek o upadu pridelka, saj je bil le-ta v Ljubljani 8%, v Iskrbi 1%, v Rakičanu 29% in na Krvavcu 44%.

Morebitni razlog za takšne rezultate je v dejavnikih, ki skrbijo za odpiranje listnih rež. Ozon namreč najlažje vstopa preko listnih rež, zato so nižje temperature zraka in večja relativna vlaga v gorskem svetu ugodni dejavniki za odpiranje listnih rež, kar je lahko razlog za večji upad pridelka in velike poškodbe v gorskem svetu (Janša in sod., 2011).

V raziskavah v Iskrbi in Ljubljani med leti 1998-2005 je bilo ugotovljeno, da so kumulativne vrednosti AOT40 v Iskrbi večje kot tiste v Ljubljani (Batič in sod., 2011).

Takšne rezultate gre pripisati dejstvu, da v območje Iskrbe ozon prihaja večinoma z daljinskim transportom, koncentracije dušikovega monoksida pa so običajno majhne in zaradi tega tu ni prisotnega glavnega porabnika ozona. To povzroča povečane koncentracije ozona in povečanje deleža vidnih poškodb na rastlinah (Lesar, 2007).

Onesnaženje z ozonom je velik in postaja še večji problem. Premalo se zavedamo pomena okolja okrog nas in se tako ne trudimo, da bi ga ohranili zdravega. Zmanjšanje emisij v prometu, z uporabo katalizatorjev za izpušne pline, bi veliko pripomoglo k manjši onesnaženosti, v termoelektrarnah lahko z ukrepi za izboljšanje gorilnikov dosežemo, da nastaja manj dušikovih oksidov, odstranjevati je potrebno dušikove okside iz dimnih plinov, zaprtje centra večjih mest za promet bi ljudi prisililo k uporabi koles ali hoji, tako ne bi samo naredili nekaj zase, temveč bi ogromno prispevali k izboljšanju ozračja.

V prihodnosti je potrebno zmanjšati emisije predhodnikov fotoooksidantov. Med te ukrepe sodijo (Batič in sod., 1999):

- zmanjševanje emisije snovi (NO_x in ogljikovodikov), iz katerih nastajajo fotoooksidanti,
- enostransko zmanjševanje emisije ogljikovodikov,
- enostransko zmanjševanje emisije dušikovih oksidov (NO_x).

Konvencija CLRTAP, protokol EMEP in programi WGE CLRTAP ter vladni ukrepi držav podpisnic konvencije spodbujajo ljudi k spremembi odnosa do okolja, vendar pa smo mi sami tisti, ki se moramo odločiti, da skrbimo za okolje zaradi nas in okolja samega in ne zaradi taks, ki jih zaradi onesnaževanja plačujemo državi.

6 VIRI

- Batič F., Celar F., Ciglar R., Milevoj L., Vičar M. 1999. Bioindikacija prizemnega ozona. Ljubljana, Zavod republike Slovenije za šolstvo: 168 str.
- Batič F., Turk B., Planinšek A., Zupanič B., Drougoudi P., Nanos G., Tuba Z., Mills G. 2011. Ten years of monitoring tropospheric ozone by plants in Slovenia and some comparison with Greece and Hungary. Ljubljana, Biotehniška fakulteta (osebna informacija, pripravljeno za objavo)
- Hayes F., Mills G., Harmens H., Norris D. 2007. Evidence of widespread ozone damage to vegetation in Europe (1990-2006). Centre for ecology & hydrology: 58 str.
- Hrček D. 2000. Okrogla obletnica najstarejše okoljske konvencije. Ljubljana, O&P Bilten januar 2000: 16 str.
http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/publikacije/bilteni/b01_20.pdf
- ICP vegetation experimental protokol for monitoring the incidences of ozone injury on vegetation. 2006. Natural Environment Research Council, UK, Working group on Effects of the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution: 28 str.
- ICP Vegetation
<http://icpvegetation.ceh.ac.uk/> (junij, 2010)
- Innes J.L., Skelly J.M., Schaub M. 2001. Ozone and broadleaved species. A guide to the identification of ozone-induced foliar injury. Bern, Haupt: 136 str.
- Janša K., Turk B., Batič F. 2011. Spremljanje učinkov troposferskega ozona s plazečo deteljo (*Trifolium repens* 'Regal') klonov NC-S in NC-R na Krvavcu v letu 2001. Ljubljana, Biotehniška fakulteta (osebna informacija, pripravljeno za objavo)
- Lesar P. 2007. Spremljanje učinkov troposferskega ozona s plazečo deteljo *Trifolium repens* 'Regal'. Diplomsko delo. Ljubljana, BF, Oddelek za agronomijo: 36 str.
- Meteorološki in ekološki podatki v Novi Gorici.
<http://164.8.11.54/econova2/Default.aspx?mesto=NovaGorica> (junij, 2010)
- Ozon in F-plini. Ministrstvo za okolje in prostor. Agencija RS za okolje
http://okolje.arso.gov.si/ozon_fplini/pages.php?op=print&id=PREDSTAVITEV
(junij, 2010)
- Uredba o ozonu v zunanjem zraku. Uradni list Republike Slovenije.
<http://www.uradni-list.si/1/content?id=40685> (junij, 2010)
- Working group on effects. UNECE. Convention on long-range transboundary air pollution.
<http://www.unece.org/env/lrtap/WorkingGroups/wge/welcome.html> (junij, 2010)
- Yield response and ozone injury on *Phaseolus vulgaris*. Experimental Protocol. 2010
http://icpvegetation.ceh.ac.uk/manuals/experimental_protocol.html (junij, 2010)

ZAHVALA

Rada bi se zahvalila svojemu mentorju prof.dr. Francu Batiču za strokovno svetovanje, potrpežljivost in spodbudo pri nastajanju diplomskega projekta.

Iskrena hvala tudi mami, očetu ter babici za moralno podporo in finančno pomoč tekom študija.

Zahvala gre tudi sestri, ki je skrbela, da nisem bila lačna in žejna med pisanjem tega diplomskega projekta.

Hvala tudi tebi Urban, ker me sprejemaš tako kot sem. V vseh mojih vzponih in padcih si verjel vame, me optimistično spodbujal ter mi nesebično pomagal.