

**SPREMLJANJE UČINKOV OZONA NA VEGETACIJI**

Franc BATIČ<sup>1</sup>, Boris TURK<sup>2</sup>, Mihaela KRIVEC<sup>3</sup>, Nataša KOPUŠAR<sup>4</sup>, Klemen ELER<sup>5</sup>,  
Helena ŠIRCELJ<sup>6</sup>, Anton PLANINŠEK<sup>7</sup>, Boris ZUPANČIČ<sup>8</sup>

<sup>1, 2, 3, 5, 6</sup>Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Ljubljana

<sup>4</sup>ERICo, Velenje

<sup>7, 8</sup>Agencija Republike Slovenije za okolje

**IZVLEČEK**

UNECE ICP- Vegetation je program, ki je bil ustanovljen leta 1987 znotraj WGE konvencije CLRTAP. Nameni programa so: 1. kvantifikacija rizikov, ki jo za kmetijske rastline in polnaravno vegetacijo v območjih EU predstavlja troposferski ozon; 2. ugotavljanje depozicije težkih kovin v vegetaciji (bioakumulacija v mahovih); 3. ugotavljanje odziva rastlin na mešanico onesnažil in ugotavljanje obremenitve vegetacije z dušikovimi spojinami; 4. vse aktivnosti podpirajo dejavnosti CLRTAP. Koncentracije ozona v zraku se spremljajo kot vrednosti AOT40 (seštete koncentracije povprečnih urnih koncentracij ozona nad 40 ppb v svetlih urah dneva). Kritične vrednosti za posamezne recipiente znašajo:

- kmetijske rastline: (AOT40) 3 ppm h v treh mesecih, učinek: zmanjšan pridelek
- hortikulturene rastline: (AOT40) 6 ppm h; 3,5 meseca, učinek: zmanjšan pridelek
- polnaravna vegetacija (trajna travišča): (AOT40) 3 ppm h; 3 meseci ali rastna sezona; zmanjšana rast trajnic in zmanjšana rast in produkcija semen enoletnic
- gozdna drevesa: (AOT 40) 5 ppm h; rastna sezona, zmanjšana rast

V Sloveniji spremljamo učinke troposferskega ozona od leta 1996 na treh stalnih in več občasnih lokacijah. Odziv rastlin spremljamo s sledenjem pojavljanja listnih poškodb indikatorskih rastlin, meritvami biomase in analizo biokemičnih in fizioloških parametrov izpostavljenih rastlin. V vseh obdobjih opazovanja so se pojavile poškodbe na občutljivih klonih plazeče detelje, največje na Kovku, Iskrbi, Zavodnjah in Vnajnarjih.

Medletna nihanja med akumuliranimi vrednostmi AOT40 so velika, kar je posledica različnih vremenskih razmer. Meritve ozona kot tudi odzivi rastlin kažejo, da ostaja onesnaženje z ozonom v Sloveniji pereč problem, še posebej zaradi naraščanja prometa. Kritične vrednosti za ozon so za vse tipe vegetacije na vseh mestih prekoračene. Država bi morala v okviru aktivnosti slovenskega nacionalnega okoljskega programa zagotoviti sredstva za vsaj minimalno sledenje učinkov vseh pomembnejših zračnih onesnažil v okviru programa ICP-Vegetation.

**Ključne besede:** fotooksidanti, kmetijske rastline, monitoring, onesnaževanje zraka Slovenija

<sup>1</sup>prof. dr., Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana

<sup>2</sup>Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana

<sup>3</sup>Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana

<sup>4</sup>mag., Koroška 58, SI-3320 Velenje

<sup>5</sup>Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana

<sup>6</sup>Jamnikarjeva 101, SI-1000 Ljubljana

<sup>7</sup>Vojkova 1 a, SI-1000 Ljubljana

<sup>8</sup>Vojkova 1 a, SI-1000 Ljubljana

## ABSTRACT

## MONITORING OF TROPOSPHERIC OZONE EFFECTS ON VEGETATION

UNECE ICP-Vegetation is programme which was founded in 1987 within WGE of CLRTAP convention. The aims of the programme are: 1. quantify risks from tropospheric ozone within EU region on crop plants and seminatural vegetation; 2. detect deposition of heavy metals by bioaccumulation in mosses; 3. determine of plant response to air pollutants mixture and impact of nitrogen compounds on vegetation; 4. support all activities within CLRTAP convention by the data obtained.

As threshold value for plant injuries of tropospheric ozone concentration the AOT40 was implemented (accumulated ozone concentrations above 40 ppb of ozone in light hours of day). Critical levels for separate recipients are:

- crop plants: 3 ppm h (AOT40) in 3 months, during the vegetation season; effect: yield loss
- horticultural plants: 6 ppm h (AOT40) in 3,5 months in vegetation season; effect: yield loss
- seminatural vegetation (permanent grasslands): 3 ppm h (AOT40) 3 months or vegetation season, effect: decreased growth of perennials and reduced seed production in annuals
- forest trees: 5 ppm h (AOT40); vegetation season; effect: decreased growth

Effects of tropospheric ozone on vegetation are monitored in Slovenia since 1996 at three permanent and several temporal stations. Plant response to ozone was monitored by injuries of indicator plants. Apart from leaf injuries, biomass reduction was measured and biochemical and physiological responses of plants to ozone were analyzed. Typical ozone induced injuries were assessed in sensitive biotypes of indicator plants in all years and location of experiment, being the highest at the sites Kovk, Iskrba, Zavodnje and Vnajnarje, all rural sites. Pronounced climate induced fluctuations in AOT40 values and corresponding plant responses to ozone were detected. Data on AOT40 for ozone measurements and plants responses show that tropospheric ozone has become a major air pollution problem in Slovenia, connected to increased traffic. Critical loads for all types of vegetation were exceeded at all sites. In order to control this kind of air pollution the state should support at least minimal running of ICP-Vegetation programme in the framework of Slovenian national environmental programme what is recently not yet the case.

Key words: air pollution, crop plants, monitoring, photooxidants, Slovenia

## 1. UVOD

Po uspešni desulfurizaciji večjih emitentov žveplovih spojin v večini razvitih držav ostajajo glavna onesnažila zraka predvsem dušikove spojine, fini prašni delci in vse številnejše organske spojine (VOC, POP's.). Iz teh nastajajo v številnih fotokemičnih procesih sekundarni polutanti, med katerimi je najpomembnejši troposferski ozon. Glavni viri prekurzorjev ozona so promet, različne vrste industrij in termoelektrarne. Nastanek ozona ni odvisen le od količine snovi, iz katerih nastaja ampak tudi od vremenskih pojavov. Zračni tokovi odnašajo prekurzorje ozona iz mest nastanka lahko daleč v sicer neonesnaženo okolje, kjer ozon nastaja (Melhorn in sod., 1986, Kruppa in Manning, 1988, Bortier in sod., 1999, Innes in sod., 2001) v velikih koncentracijah. V ruralnem okolju tako kot zelo reaktiven plin povzroča poškodbe na vegetaciji in škodljivo vpliva na zdravstveno stanje ljudi in živali. Z namenom, da bi regulirali sproščanje prekurzorjev ozona, sledili velikosti onesnaženja zraka s tem onesnažilom ter določili območja kritičnih obremenitev in prekoračitev je bil leta 1987 ustanovljen usklajen program UNECE ICP- Vegetation (The United Nations Economic Commission for Europe International Cooperative Programme on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops) znotraj Delovne skupine za učinke (WGE -Working Group on Effects) Konvencije o preprečevanju razširjanja onesnaženega zraka preko meja (CLRTAP-Convention on Long-range Transboundary Air Pollution), ki jo je podpisala Jugoslavija in prevzela nasledstvo Slovenija. Nameni programa so: 1. kvantifikacija rizikov, ki jo za kmetijske rastline in polnaravno vegetacijo (trajna travišča) v območjih EU predstavlja troposferski ozon; 2. ugotavljanje depozicije težkih kovin v vegetaciji (bioakumulacija v

mahovih); 3. ugotavljanje odziva rastlin na mešanico onesnažil in ugotavljanje obremenitve vegetacije z dušikovimi spojinami. Koncentracije ozona v zraku se spremljajo kot vrednosti AOT40 (seštete koncentracije povprečnih urnih koncentracij ozona nad 40 ppb v svetlih urah dneva). Po več kot desetih letih usklajenih meritev koncentracij ozona v zraku in spremljanju njegovih učinkov na rastline so bile določene kritične vrednosti doze ozona, ki za posamezne tipe vegetacije znašajo (UNECE ICP Vegetation Annual Report 2003/2004):

- kmetijske rastline: (AOT40) 3 ppm h v treh mesecih, učinek: zmanjšan pridelek;
- hortikulture rastline: (AOT40) 6 ppm h; 3,5 meseca, učinek: zmanjšan pridelek;
- polnaravna vegetacija (trajna travišča): (AOT40) 3 ppm h; 3 meseci ali rastna sezona; zmanjšana rast trajnic in zmanjšana rast in produkcija semen enoletnic;
- gozdna drevesa: (AOT40) 5 ppm h; rastna sezona, zmanjšana rast.

Razmere na področju onesnaženosti zraka se v Sloveniji izboljšujejo. Po uspešni desulfurizaciji izpušnih plinov največjih enot termoelektrarne Šoštanj se je onesnaženje zraka z žveplovimi spojinami več kot prepolovilo. K temu so pripomogli tudi drugi dejavniki kot so uporaba energentov z manjšo vsebnostjo žvepla, opuščanje nekaterih zastarelih in umazanih tehnologij in prehod na daljinsko ogrevanje. Enako kot drugod ostaja problematično onesnaženje zraka z že zgoraj omenjenimi prekursorji ozona, težkimi kovinami, številnimi organskimi polutanti in dušikovimi spojinami. Še posebej predstavlja v tem pogledu za Slovenijo resno nevarnost povečevanje prometa ob novo nastalem 5. koridorju, ki poteka iz jugozahodne Evrope preko Slovenije na Madžarsko in naprej v Ukrajino in Rusko federacijo. V Sloveniji spremljamo učinke troposferskega ozona po protokolu programa ICP-Vegetation od leta 1996 na treh stalnih in več občasnih lokacijah (Džuban in sod., 2001) nekaj raziskav o učinkih ozona na vegetacijo v Sloveniji je bilo opravljenih že prej (Batič in sod., 1996).

## 2. MATERIAL IN METODE

Ozon je zračno onesnažilo, ki se v rastlinah ne akumulira. Reakcijski način bioindikacije je zato edini način sledenja njegovih učinkov. Odziv rastlin spremljamo s sledenjem pojavljanja listnih poškodb indikatorskih rastlin plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Regal'), kjer uporabljamo na ozon odporni (*Trifolium repens* 'Regal-NC-R') in občutljivi (*Trifolium repens* 'Regal-NC-S') biotip, ameriške sorte 'Regal', ki so jih za te namene vzgojili v ZDA. Poleg ocenjevanja listnih poškodb v tem lončnem poskusu, ki sledi protokolu zgoraj omenjenega programa (UNECE ICP Experimental Protocol, 2003/2004) ugotavljamo učinke ozona še z meritvami biomase in analizo biokemičnih in fizioloških parametrov izpostavljenih rastlin. Izbor mest izpostavitve je prilagojen razmeram onesnaženosti ozračja v Sloveniji in rabi tal (Džuban in sod., 2001). Isti poskus poteka tudi kot del operacijskega monitoringa v izvedbi Inštituta za ekološke raziskave ERICo v okolici termoenergetskih objektov (Kopušar, 2003). Vsa poskusna mesta so v bližini merilnih postaj zračnih onesnažil in vremenskih parametrov, ki jih izvaja ARSO oziroma nadzorni merilni sistemi termoelektrarn (ANAS sistemi).

## 3. REZULTATI IN RAZPRAVA

V prispevku je prikazan del rezultatov poskusa sledenja učinkov ozona za obdobje 1998 – 2004, za opazovalna mesta Ljubljana (mestno okolje), Iskrba (ruralno okolje) in Rakičan (ruralno okolje s povečanim prometom v bližini). V preglednici 1 so prikazane akumulirane vrednosti za ozon za vse tri lokacije glede na kritične vrednosti za ozon za različne tipe vegetacije, podani so še osnovni učinki ozona na indikatorske rastline, kot sta pojavljanje listnih poškodb in zmanjšanje biomase pri občutljivem klonu plazeče detelje. V preglednici 2 je prikaz akumuliranih vrednosti za ozon v vegetacijski dobi v letu 2004 za iste lokacije.

Preglednica 1: Akumulirane koncentracije ozona in poškodbe detelje v obdobju 1998-2004 za poskusna mesta Ljubljana, Iskrba in Rakičan.

Table 1: Accumulated ozone concentrations and white clover leaf injuries for the period 1998-2004 for study sites Ljubljana, Iskrba and Rakičan.

LJUBLJANA	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
AOT40 po 3 mesecih od 1. maja	6467	6727	8833	9292	9420	11865	8281
AOT40 po 3,5 mesecih od 1. maja	6467	7919	10480	12065	10228	15114	9823
AOT40 po rastni sezoni od 1. maja do 30 sept.	7344	8872	14145	15224	11798	19045	11542
Število dni do 3000 ppb h	66	36	36	39	31	35	41
Število dni do 5000 ppb h	80	66	51	58	49	45	67
Število dni do 6000 ppb h	86	81	54	68	55	54	77
Povprečni letni razred poškodb NC-S klona	-	1,4	2,8	1,7	1,5	2,0	1,5
Povprečni letni S/R indeks biomase	1,2	1,6	1,1	1,0	1,0	1,0	1,3
ISKRBA	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
AOT40 po 3 mesecih od 1. maja	12348	9100	13844	14141	9234	12574	10449
AOT40 po 3,5 mesecih od 1. maja	15357	11070	15488	17581	9969	15594	11880
AOT40 po rastni sezoni od 1. maja do 30 sept.	17012	13359	20745	22309	11133	20419	14904
Število dni do 3000 ppb h	27	29	25	26	19	20	30
Število dni do 5000 ppb h	37	37	36	31	52	40	49
Število dni do 6000 ppb h	51	76	41	40	57	46	58
Povprečni letni razred poškodb NC-S klona	-	1,0	2,3	1,4	-	2,9	1,5
Povprečni letni S/R indeks biomase	-	0,8	1,0	0,9	-	1,0	1,3
RAKIČAN	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
AOT40 po 3 mesecih od 1. maja	12340	-	10710	9592	12414	15930	6557
AOT40 po 3,5 mesecih od 1. maja	-	-	12194	12210	13207	20188	7914
AOT40 po rastni sezoni od 1. maja do 30 sept.	-	-	13629	15152	16360	25666	10183
Število dni do 3000 ppb h	20	-	27	30	24	23	40
Število dni do 5000 ppb h	33	-	41	50	45	35	78
Število dni do 6000 ppb h	37	-	46	58	51	39	85
Povprečni letni razred poškodb NC-S klona	2,5	-	2,3	-	-	1,9	0,9
Povprečni letni S/R indeks biomase	0,9	0,9	1,3	-	-	0,8	1,4

Preglednica 2: Kumulativne vrednosti AOT40 v vegetacijski sezoni leta 2004.  
Table 2: Cumulative AOT40 values in vegetation period in 2004.

DOBA (od datuma izpostavitve 11. 5 2004)	LOKACIJA		
	Ljubljana	Rakičan	Iskrba
3 meseci	9320	7347	10775
3,5 mesecev	10320	8463	12459
5 mesecev	11202	9716	14350
Vse obdobje	12370	11996	17397

V vseh obdobjih opazovanja so se pojavile poškodbe na listih občutljivih klonov plazeče detelje. Po pričakovanju so bile poškodbe največje na Iskrbi, kjer nastaja ozon iz daljinskega vnosa prekursorjev in ni njegovih lokalnih porabnikov. Poškodbe v Ljubljani in v Rakičanu so manjše, ker je na obeh mestih stalen dotok dušikovega monoksida, predvsem iz prometa, ki porablja nastali ozon.

Medletna nihanja med akumuliranimi vrednostmi AOT40 so velika, kar je posledica različnih vremenskih razmer. Meritve ozona kot tudi odzivi rastlin kažejo, da ostaja onesaženje z ozonom v Sloveniji pereč problem, še posebej zaradi naraščanja prometa. Kritične vrednosti za ozon so za vse tipe vegetacije na vseh mestih prekoračene.

Kakšen pomen imajo ti rezultati za ugotavljanje izgub pridelka kmetijskih rastlin je bilo ugotovljeno v modelnih izračunih, ki jih je opravil koordinacijski center ICP-Vegetation na osnovi podatkov vseh sodelujočih (Holland in sod., 2002). Zazdaj so na osnovi sledenja pojavljanja ozonskih poškodb na testnih rastlinah, meritev ozona in zaplinjevalnih poskusov z ozonom ugotovili občutljivost pomembnejših poljščin in hortikulturnih rastlin. Te lahko glede na občutljivost razdelimo v tri večje skupine. Med občutlivejše spadajo pšenica, soja, fižol in bombaž, srednje odporne so krompir, tobak, sladkorna pesa, oljna repica in lucerna, za odporne so ugotovili riž, koruzo, vinsko trto, oves in ječmen (Holland in sod., 2002). Izguba pridelka zaradi ozona naj bi po izračunih za leto 1990 znašala v EU 6,3 milijarde evrov in bi se z implementacijo Göteborgskega protokola zmanjšala na 4,5 milijarde v letu 2010. Od evropskih držav so najbolj prizadete srednjeevropske države, predvsem Francija in Nemčija. Za Slovenijo je bil izračun izgub za leto 1990 10,2 milijonov evrov, kar bi se do l. 2010 zmanjšalo z implementacijo Göteborgskega protokola na 7,7 milijonov evrov. Pri teh izračunih ni upoštevana izguba v prireji mesa in mleka, ker za travinje še ni relevantnih podatkov.

Iz vsega naštetega lahko sklenemo, da bi država morala v okviru aktivnosti slovenskega nacionalnega okoljskega programa zagotoviti sredstva za vsaj minimalno spremljanje učinkov vseh pomembnejših zračnih onesažil v okviru programa ICP-Vegetation.

#### 4. LITERATURA

- Batič, F., Bienelli, A., Kopušar, N., Sinkovič, T., Šircelj, H., Vidergar-Gorjup, N., Čuhalev, I. 1996. Onesnaževanje ozračja in vplivi na kmetijsko proizvodnjo. V: Šesek, P. (ur.). Novi izzivi v poljedelstvu '96: zbornik simpozija, Radenci, 9.-10. december 1996. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo: 121-125.
- Bortier, K., Ceulemans, R., De Temmerman, L. 1999. Effect of tropospheric ozone on woody plants. V: S.B. Agrawal, S.B. (ur.), Agrawal M. (ur.). Environmental pollution and plant responses. Lewis publishers: 153-182.
- Džuban, T., Turza, J., Turk, B., Ciglar, R., Zupančič, B., Batič, F. 2001. Onesnaženje zraka in kmetijska pridelava – Vpliv ozona na nastanek listnih poškodb, neto fotosintezo in biomaso klonov plazede detelje (*Trifolium repens* 'Regal'). V: Dobrovoljc, D. (ur.), Urek, G. (ur.). Zbornik predavanj in referatov 5. slovenskega posvetovanja o varstvu rastlin, Čatež ob Savi, 6.-8. marec 2001. Ljubljana, Društvo za varstvo rastlin Slovenije: 46-52.
- Holland, M., Mills, G., Hayes, F., Buse, A., Emberson, L., Cambridge, H., Cinderby, S., Terry, A., Ashmore, M. 2002. Economic Assessment of Yield Losses from Ozone Exposure. DEFRA Contract EPG 1/3/170, The UNECE International Cooperative Programme on Vegetation, Centre for Ecology and Hydrology (Natural Environment Research Council): 70 str.
- Innes, J. L., Skelly, J. M., Schaub, M., 2001. Ozone and broadleaved species – Ozone, Laubholz- und Krautflanzen. WSL, Haupt: 136 str.
- Kopušar, N. 2003. Vpliv zračnih onesnažil na rast in produkcijo izbranih vrst kmetijskih rastlin. Magistrsko delo, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Ljubljana: 193 str.
- Krupa, S.V., Manning, W.J, 1988: Atmospheric Ozone: Formation and Effects on Vegetation. Environmental Pollution 50: 101-137.
- Mehlhorn H., Seufert G., Schmidt A., Kunert K.J. 1986. Effect of SO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> on production of antioxidants in conifers. Plant Physiology, 82: 336-338.
- Mills, G. (ur.), Hayes, F. (ur.), Fuhrer, J. (ur.), Sanchez-Gimeno, B. (ur.), L. De Temmerman, L. (ur.). Experimental protocol for the 2003/2004 season of the ICP-Vegetation (International cooperative programme on effect of air pollution on natural vegetation and crops). Wge – Working Group on Effects, Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, United Nations Economic Commission for Europe, ICP Vegetation Steering Committee: 21 str.