

Ozonske poškodbe gozdne vegetacije v Sloveniji

Ozone damages on forest vegetation of Slovenia

Petra KAJDIŠ¹, Matej RUPEL², Primož SIMONČIČ³, Franc BATIČ⁴

Izvleček:

Kajdiš, P., Rupel, M., Simončič, P., Batič, F.: Ozonske poškodbe gozdne vegetacije. *Gozdarski vestnik*, 69/2011, št. 3. V slovenščini z izvlečkom in povzetkom v angleščini, cit. lit. 24. Prevod avtorji, jezikovni pregled slovenskega besedila Marjetka Šivic.

Prispevek obravnava prve rezultate sledenja učinkov troposferskega ozona na gozdni vegetaciji v povezavi z aktivnostmi intenzivnega monitoringa gozdov (IM) in na ploskvah za umerjanje v okviru programa ICP Forest Konvencije CLTRAP v Sloveniji. Na desetih ploskvah IM potekajo meritve s pasivnimi vzorčevalniki koncentracije troposferskega ozona, hkrati se na izbranem gozdnem robu v bližini merilnega mesta opravljajo opazovanja značilnih ozonskih poškodb listja gozdnega drevja in grmovja. Prvi izsledki kažejo, da so izmerjene koncentracije troposferskega ozona večje v zahodnem delu države (Fondek na Trnovski planoti, Ankaran) in na višjih nadmorskih višinah (Lontovž pod Kumom, Borovec pri Kočevski Reki, Slavnik). Poškodbe vegetacije niso zmeraj večje zaradi višjih koncentracij ozona zaradi vpliva podnebnih dejavnikov in vodnega režima rastlin. Kljub temu pa so bile opažene tipične poškodbe listja zaradi prisotnosti ozona na večini opazovanih drevesnih in grmovnih vrstah. Zaradi uporabe pasivnih vzorčevalnikov neposrednih vzročnih povezav med poškodbami listja in koncentracijami nismo mogli potrditi ozona.

Ključne besede: troposferski ozon, poškodbe listov, gozdna vegetacija, intenzivni monitoring, Slovenija

Abstract:

Kajdiš P., Rupel M., Simončič P., Batič F.: Ozone Damages on Forest Vegetation in Slovenia. *Gozdarski vestnik*, 69/2011, vol. 3. In Slovenian, abstract and summary in English, lit. quot 24. Translated by authors, proofreading of the English text Breda Misja, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

The article deals with the first results of monitoring of tropospheric ozone damage, observed as foliage damage on the selected forest tree and shrub species in Slovenia at the plots of ICP-Forest Level II. Foliage damage was accompanied by ozone concentration measurement, carried out by passive samplers. The first results of the monitoring showed that higher ozone concentrations were measured in the west and south-west part of the country, especially at higher elevations. Foliage damage does not always correlate with the ozone concentration due to the interference of climate factors and water regime of plants. However, typical visible damage was found in needles and leaves of almost all observed tree and shrub species. Due to the method of monitoring we have not been able to correlate measured ozone concentrations and visible injuries in plant leaves.

Key words: tropospheric ozone, foliage damage, forest vegetation, intensive forest monitoring, Slovenia

1 UVOD IN NAMEN RAZISKAVE

Ozon v stratosferi na višini 20 do 30 km tvori ozonski plašč ali ščit, ki absorbira kratkovalovno sončno sevanje, kar je v evoluciji organizmom omogočilo poselitev kopnega. Ozon nastaja tudi v troposferi, kjer je njegov nastanek lahko naravnega ali antropogenega izvora. V zadnjih letih se je koncentracija ozona v prizemni plasti zraka podvojila. Ozon je sekundarno onesnažilo, ki nastaja iz primarnih onesnažil pod vplivom svetlobe. Zaradi kemijske zgradbe ima močne oksidacijske lastnosti, zato ga imenujemo tudi fotooksidant. Predhodniki ozona so ogljikovodiki, ogljikov monoksid in dušikovi oksidi, ki jih v ozračje sproščajo industrija, promet in predvsem

tovorna vozila, pa tudi naravna vegetacija (BATIČ at al., 1999).

Na nastajanje ozona čez dan in leto vpliva koncentracija predhodnikov ozona, intenzivnost sončnega sevanja in temperatura zraka. Za spreminjanje koncentracije ozona med letom so značilne

¹ P. K. univ. dipl. inž. gozd. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Večna pot 83, SI-1000 Ljubljana

² M. R. univ. dipl. inž. gozd. Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana

³ P. S. dr. univ. dipl. inž. les. Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana

⁴ F. B. prof. dr. UL, Biotehniška fakulteta oddelek za agronomijo

maksimalne poletne in minimalne zimske vrednosti, kar je še posebno izrazito v gosto naseljenih območjih. Spreminjanje dnevnih koncentracij ozona je zelo značilno in je odvisno od merilnega mesta. V naseljenih območjih je maksimalna koncentracija ozona v zgodnjih popoldanskih urah in minimalna pred sončnim vzhodom. V območja s čistim zrakom ozon prenese veter z daljinskim transportom iz naseljenih območij, tako da je srednje dnevna koncentracija lahko celo večja kot v naseljenih območjih (BATIČ at al., 1999).

Večja vlažnost zraka in tal povečujeta odprtost listnih rež, ki so glavni vhod za vdor plinastega ozona v listno tkivo, posledica česar so večje poškodbe rastlin zaradi ozona. Glavni tip poškodb pri veliko vrstah lesnatih in zelnatih rastlin je lokalizirana pigmentacija skupin celic, ki tvori jasno določene pikaste poškodbe. V celicah, ki odmrejo zaradi ozona, se odlagajo tanini, razlike v barvi peg pa so posledica različnih koncentracij taninov. Ozon povzroča tudi tvorbo antocijana, kar se odraža v lokalni ali splošni pordečitvi listnega tkiva (TRESHOW, 1985, BELL/TRESHOW, 2002).

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 listov občutljivih rastlin, ko se poškodujejo kloroplasti palisadnega tkiva. Navadno celice povrhnjice nad poškodovanim delom ostanejo nepoškodovane, ker je privzem ozona skozi kutikulo minimalen (ASHMORE, 2002). Pege so najprej ločene, neopazne, majhne, blede zelene barve, ko je poškodovanih še več celic, pa postanejo večje in se med sabo zlijejo v belkaste kloroze. Te pozneje lahko preidejo v rjavkaste nekroze. Sprva je barva peg lahko temno zelena kot posledica nabrekanja celic zaradi poškodb membran, lahko so rožnate ali rdeče-vijolične zaradi antocijanov, kar lahko preide v splošno pordečitev listov (reddening). Splošna pordečitev listov je lahko tudi posledica UV-sevanja ali drugih stresov (INNES at al., 2001, REMIC at al., 2002, LONG, S. P. & NAIDU, 2002). Lahko nastane tudi pobeljenje zgornje listne površine, vendar je manj pogosto kot pri zelnatih rastlinah. Kadar so poškodbe velike, lahko prodrejo skozi list, tako da so vidne na obeh straneh. Najprej so

prizadeti otočki celic med najmanjšimi listnimi žilami, lahko pa je vključeno tudi žilno tkivo. Razmejene poškodbe so oglatih oblik. Večje žile in obdajajoče tkivo so bolj odporni in velikokrat ostanejo zeleni še potem, ko je prizadetega pol lista ali več. Postopno obarvanje peg daje zaradi ozona prizadetim listom lesnatih rastlin bronžiran videz, posebno zgornje listne površine (INNES at al., 2001, TRESHOW 1985).

Med drevesi so za ozon najbolj občutljivi nekateri iglavci z mezofilno zgradbo iglic, najbolj občutljivi listavci pa so le nekoliko bolj odporni. Razporeditev vrst v občutljivostne razrede pa je zahtevna, saj je znotraj osebkov populacije velika genska raznolikost v občutljivosti za ozon, poleg tega pa so prisotni še okoljski vplivi (TRESHOW, 1985, ASHMORE, 2002). Poškodbe zaradi ozona vplivajo na zmanjšano fotosintetsko aktivnost zaradi poškodovanosti asimilacijskega parenhima in posledično tudi prezgodnje staranje listov. Poškodbe povzročajo manjšo primarno produkcijo, posledično vodijo v hiranje in zaradi drugih stresnih dejavnikov lahko propade gozdno drevje. To je bilo najprej dokazano v Kaliforniji (TRESHOW, 1996), kjer so na območju gorovja San Bernardino na velikem območju začeli propadati sestoji bora (*Pinus ponderosa* Lawson) zaradi emisij prekurzorjev ozona na območju Los Angelesa. Trenutno še ne moremo preveriti, kakšen je bil in je delež ozona pri poškodovanosti gozdov v Sloveniji, saj zato nimamo dovolj podatkov, razen opazovanj poškodb in nekaterih analiz antioksidantov kot obrambnega sistema rastlin (BATIČ at al., 1995, ROZMAN, 2002).

Pred nastankom vidnih poškodb povzročajo ozon serijo biokemičnih in fizioloških sprememb, kot so poškodbe membran, oksidacija lipidov v kutikuli, povečanje vsebnosti antioksidantov, spremembe v sestavi fotosinteznih barvil, zmanjšanje fotosinteze in prezgodnje staranje (LONG, S. P. & NAIDU, 2002, HABERER in sod., 2007). Na fiziološki ravni se spremeni translokacija asimilatov, kjer se zaradi povečane porabe za odpravo poškodb v listih zmanjša alokacija v korenine, kar vodi do sprememb v mikorizaciji in posledično do motenj v mineralni prehrani in preskrbi z vodo (ASHMORE, 2002, GREBENC/KRAIGHNER, 2007).



Slika 1: Fotografija pasivnih vzorčevalnikov (t. i. dozimetri), ki se uporabljajo v okviru intenzivnega monitoringa na GIS (foto: M. Rupel, 2008).

Fig.1: Photo of passive samplers (dosimeters), used in the framework of Intensive Monitoring of forest ecosystems (photo: M. Rupel 2008)

Na ploskvah intenzivnega monitoringa gozdne ekosistema (IM) in na ploskvah za umerjanje v okviru programa ICP Forest raven II CLTRAP (Konvencija o onesnaževanju zraka na velike razdalje prek mej) v Sloveniji, ki jih upravlja Gozdarski inštitut Slovenije, smo v vegetacijski sezoni 2008 opazovali poškodbe na listih rastlin gozdne vegetacije. Naš namen je bil evidentirati pojavljanje poškodb, ki so nastale zaradi troposferskega ozona na gozdni vegetaciji, določiti vpliv različnih podnebnih in mikroklimatskih razmer ter virov onesnaževanja zraka na vrsto in stopnjo poškodovanosti izbranih lesnatih rastlin.

2 OBMOČJE RAZISKAVE IN METODE

2.1 Območje raziskave

Ozonske poškodbe na rastlinah smo spremljali na nekaterih ploskvah prej omenjenega programa, in sicer na lokacijah Fondex – Trnovski gozd, Gropajski bori – Sežana, Kolomban nad Ankaranom, Podgorski kras pod Slavnikom pri Črnotičah, Lontovž – Kum, Zasavje, Borovec pri Kočevski Reki, Murska šuma in Ljubljana (vrt GIS in BF).

Podatki o koncentracijah ozona so bili za leto 2008 pridobljeni s ploskev, kjer so raziskovalci Gozdarskega inštituta Slovenije (GIS) ob pomoči sodelavcev Zavoda za gozdove Slovenije (ZGS) merili koncentracije ozona in ocenjevali poškodovanost vegetacije v skladu z metodologijo ICP Forest (Anonymus, 2004). V letu 2008 so meritve potekale na desetih ploskvah intenzivnega monitoringa (IM) na prostem na ploskvah v neposredni bližini ploskev v sestojih, na umeritvenih postajah, kjer poteka umerjanje pasivnih vzorčevalnikov za spremljanje ozona s podatki avtomatskih merilnih postaja ARSO (Ljubljana – Bežigrad / ARSO in na postaji EMEP Iskrba pri Kočevski Reki) ter na izbranih dodatnih merilnih mestih na vrtu Gozdarskega Inštituta Slovenije (Ljubljana - Rožna dolina), na plos kvi Podgorski kras pod Slavnikom ter dodatni ploskvi Kolomban nad Ankaranom.

Zamenjava pasivnih vzorčevalnikov je v času vegetacijske sezone potekala vsakih 14 dni (13 period). Vzorčevalniki (t. i. dozimetri) so bili preneseni v laboratorij za gozdno ekologijo (LGE) na GIS, kjer so bili analizirani po standardnem postopku SOP LGE MET 022. S pomočjo umer-

Preglednica 1: Ploskve intenzivnega monitoringa gozdov Gozdarskega inštituta Slovenije, kjer so meritve ozona potekale na ploskvah »na prostem« v neposredni bližini osnovnih ploskev v sestojih.

Table 1: Plots of intensive monitoring of forest ecosystems established by Slovenian Forestry Institute where ozone measurements were carried out on clearings in the very surroundings of the main plots in forest stands.

Zap. št. ploskve	Ime ploskve	Lokacija	Drevesna vrsta	Velikost os. Ploskve	N. viš.	Postavitev pl.	Starost prevladujoče drevesne vrste	Število dreves
				Ha	m		let	ha
1	Krucmanove konte	Pokljuka	Smreka	0,25/1**	1397	21.10.2004	120	360
2	Fondek	Trnovska planota	Bukev	0,25/1**	827	23.3.2005	90–100	432
3	Gropajski bori	okolica Sežane	č. bor	0,25/1**	420	15.3.2005	105–110	908
4	Brdo	posest Brdo pri Kranju	r. bor	0,25/1**	471	18.11.2004	120	368
5	Borovec	Pri Kočevski Reki	bukev	0,25/1**	705	22.4.2005	70–80	456
6	Kladje*	Pohorje	smreka	0,25/1**	1304	10.12.2004	80–100	476
8	Lontovž	Pod Kumom, Zasavje	bukev	0,25/1**	958	15.12.2004	70–80	828
9	Gorica	pri Loškem potoku	jelka/bukev	0,25/1**	955	7.4.2005	250 je, 80–100 bu	624
10	Krakovski gozd	pri Kostanjevici	hrast	0,25/1**	160	28.10.2004	140	372
11	Murska šuma	okolica Lendave	hrast	0,25/1**	170	18.3.2005	100	668
12	Tratice*	Pohorje	bukev/smreka	0,25/1**	1289	maj 2009	60–80	428

* Ploskev Tratice od l. 2009 nadomešča opuščeno ploskve št. 6 Kladje; **: osrednja-notranja ploskev 0,25 ha, zunanja, ograjena (št. pl. 2, 3, 4, 5, 8, 11) ploskev – 1 ha.

janja z vrednostmi koncentracij ozona, dobljenimi z avtomatskimi postajami in vzporednimi meritvami pasivnih vzorčevalnikov in uporabo ustreznih pretvorbeneh funkcij (KOUTRAKIS et al. 1993), smo analizirane koncentracije nitratov (NO_3) preračunali v ustrezne koncentracije ozona O_3 v $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Izračunane koncentracije ozona so kumulativne, povprečje pa se izračuna iz časa izpostave na ploskvi.

2.2 Metode opazovanja ozonskih poškodb na vegetaciji

V bližnji okolici vsake ploskve, na katerih je potekalo pasivno merjenje koncentracij ozona, smo izbrali površino s polmerom približno 500

m in gozdnim robom, ki je izpostavljen svetlobi in je daljši od 10 m. Na takem gozdnem robu smo zabeležili vse drevesne vrste in ocenili njihovo poškodovanost, in sicer zaradi troposferskega ozona po metodologiji, ki jo priporoča program ICP-Forest (Anonymous, 2004). Ocene poškodb so bile opravljene v obdobju od konca julija do začetka septembra. Skala ocenjevanja ozonskih poškodb je bila naslednja:

- 0 ni znakov ozonski poškodb
- 1 1–5 % listov kaže znake ozonskih poškodb
- 2 6–50 % listov kaže znake ozonskih poškodb
- 3 več kot 50 % listov kaže znake ozonskih poškodb

V obdobju našega opazovanja smo ozonske poškodbe evidentirali na listih navadne leske (*Corylus avellana* L.), navadne bukve (*Fagus sylvatica* L.), malega jesena (*Fraxinus ornus* L.), gorskega javorja (*Acer pseudoplatanus* L.), lipovca (*Tilia cordata* Mill.), divje 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.).

3 REZULTATI Z RAZPRAVO

V letu 2008 je bila v Sloveniji na večini merilnih mest Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO) v obdobju april–september prekoračena mejna vrednost faktorja AOT40 za zaščito vegetacije in gozdov (ARSO, 2009). Kritična meja za zmanjšano rast gozda znaša 5000 ppb.h (9800 $\mu\text{g m}^{-3}$) več kot 40 ppb (78,4 $\mu\text{g m}^{-3}$) akumulirane ozona med svetlimi urami dneva (obdobje največjega dotoka ozona v rastlino) v obdobju treh mesecev, ko so rastline najbolj občutljive za ozon (vegetacijsko obdobje), kritična meja za vidne poškodbe pa je 700 ppb.h (1372 $\mu\text{g m}^{-3}$) več kot 40 ppb nakopičenega ozona med svetlimi urami dneva v obdobju treh zaporednih dni.

Po podatkih ARSO so se največje urne koncentracije ozona pojavljale v poletnih mesecih od julija do avgusta, za dnevne spremembe koncentracije

O_3 pa so značilni viški okoli 15. ure. Julija 2008 je bila zaradi spremenljivega vremena onesnaženost z ozonom nekoliko manjša, avgusta zaradi močnih neviht prav tako, septembra pa so zaradi nižjih temperatur koncentracije ozona manjše kot avgusta. Največje koncentracije ozona so bile v letu 2008 izmerjene na Borovcu in v Ankaranu. Najvišje temperature so bile izmerjene na ploskvah Gropajski bori in Murska Šuma. Največ padavin je padlo na ploskvi Lontovž, najmanj pa na ploskvah Murska Šuma in Borovec. Največje sončno sevanje je bilo izmerjeno na ploskvah Murska Šuma in Borovec (vir ARSO in GIS/IM).

Iz Preglednice 2 je razvidno, da akumulirana vrednost ozona, izmerjena s pasivnimi vzorčevalniki, v približno dvotedenskih obdobjih na nobeni izmed ploskev ni presegla kritične vrednosti za nastanek listnih poškodb, 700 ppb.h, je pa presegala vrednost AOT 40 (78,4 $\mu\text{g m}^{-3}$) nekajkrat v avgustu in septembru, predvsem na merilnih mestih na Primorskem (Ankaran, Slavnik) in Kočevskem (Borovec).

Vidne ozonske poškodbe listov različnih vrst gozdnega drevja in grmovja so se avgusta pojavile na naslednjih ploskvah in v naslednjem obsegu:

Fondek – Trnovski gozd: 2. stopnja (navadna bukev, mali jesen, veliki jesen, navadna leska, dobrovita, mokovec, beli javor, črni bezeg, rdeči dren);

Nadaljevanje na strani 171



Slika 2: Ozonske poškodbe gorskega javorja – rahla bronžiranost zgornje površine lista Trnovo (foto: F. Batič 2008).

Fig. 2: Ozone damage on Sycamore leaves – bronzing of upper leaf surface, Trnovo (photo: F. Batič 2008)

Nadaljevanje s strani 159

Preglednica 2: Podatki o koncentracijah ozona na ploskvah intenzivnega monitoringa, ki so rezultat meritev na terenu (vir: GIS)

Table 2: Data on ozone concentrations on the intensive monitoring plates that result from the field measurements (source: GIS)

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	G. 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	M. 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	G. 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	M. 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
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	G. 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	M. 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

Legenda: 1 ppb = 1,96 µg/m³



Slika 3: Ozonske poškodbe navadne leske – jasna medžilna obarvanost z nalaganjem antocianov, Trnovo (foto: F. Batič 2008).

Fig. 3: Ozone damage on Hazel-interveinal reddening due to accumulations of anthocyanins, Trnovo (photo: F. Batič 2008)



Slika 4: Difuzne, enakomerno razporejene ozonske poškodbe navadne bukve pred odpadanjem listja, Trnovski gozd (foto: F. Batič 2008).

Fig. 4: Evenly spread diffused ozone damage to Common beech leaf before leaf fall, Trnovski gozd (photo: F. Batič 2008).



Slika 6: Ozonske poškodbe malega jesena nad Ankaranom – temnejše, vijoličasto nadahnjene pege na zgornji površini lista (foto: F. Batič 2008).

Fig. 6: Ozone induced foliage damage to Manna ash- darker, violet interveinal stipple on adaxial leaf surface (photo: F. Batič 2008).



Slika 5: Ozonske poškodbe velikega jesena na ploskvi Fondek – temne pege na zgornji listni površini (foto: F. Batič 2008).

Fig. 5. Ozone induced foliage damage to Common ash at the Fondek plot - dark stipple on adaxial leaf surface (photo: F. Batič 2008).



Slika 7: Ozonske poškodbe črnega bezga – vijoličasta pegavost medžilnih delov zgornje listne površine, Trnovski gozd (foto: F. Batič 2008).

Fig.7: Ozone induced foliage damage to Common elder - violet interveinal stipple of upper leaf surface (photo: F. Batič 2008).

Lontovž – Kum, Zasavje: 1. stopnja (gorski javor, navadna leska, črni bezeg);

Podgorski kras pod Slavnikom pri Črnotičah: nekaj primerkov malega jesena;

Kolomban nad Ankaranom: nekaj primerkov malega jesena, češnje in tulipanovca;

Ljubljana: nekaj primerkov tulipanovca.

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

Poškodbe so se pojavljale predvsem v obliki točkastih vijoličastih peg kot posledica odlaganja antocianov v celicah in končne bronžiranosti, rjavkastih nekroz celotne listne površine z zelenim tkivom ob žilah.

Naravna vegetacija ni vedno dober pokazatelj velikih koncentracij ozona v zraku, saj nanjo vpli-

vajo tudi podnebni dejavniki, kot sta temperatura in zračna vlaga, od katerih je odvisen nastanek ozonskih poškodb. Pri visokih temperaturah in majhni zračni vlagi so listne reže zaprte, zato je dostop ozona v liste onemogočen, kar se odraža kot odsotnost ozonskih poškodb. To je še posebno izrazito v obdobju suše.

Poskusi z bioindikatorskimi rastlinami v lončnem poskusu dajejo boljše rezultate, saj rastline vseskozi zalivamo in tako v veliki meri izključimo vpliv pomanjkanja vode na nastanek poškodb (ICP-Vegetation Protokol, 2005). Kljub zalivanju pa v zelo vročih dneh mezofiti zaprejo reže zaradi majhne zračne vlažnosti, kar je bilo potrjeno v poskusu sledenja poškodb zaradi troposferskega ozona z odpornimi in občutljivimi kloni plazeče detelje (*Trifolium repens*'Regal-NC-R,NC-S') (VEBERIČ, 2006). V poskusu z

indikatorsko rastlino navadnega nizkega fižola (*Phaseolus vulgaris* L.), ki smo ga opravili v istem obdobju, kot smo opazovali ozonske poškodbe na gozdnih rastlinah, smo na laboratorijskem polju Biotehniške fakultete, ki je približno 1 km oddaljeno od Gozdarskega inštituta, opazovali ozonske poškodbe rastlin za ozon odpornega in občutljivega genotipa. Rastline občutljivega genotipa so kazale značilne ozonske poškodbe in so bile bolj poškodovane, masa njihovih strokov in semen pa je bila manjša kot pri odpornem genotipu iste sorte fižola. Poškodbe listov so se pojavljale v obliki bronziranja zgornje listne površine (KAJDIŽ, 2009) kljub relativno majhnim izmerjenim koncentracijam ozona na Gozdarskem inštitutu, ki so znašale nekaj več kot $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kar je manj kot kritična meja AOT40.

Za opazovano obdobje (eno poletje) so značilne manjše poškodbe gozdne vegetacije na območjih z visokimi temperaturami in majhno zračno vlažnostjo, kjer so listne reže zaprte in je vstop ozona onemogočen. Zato kljub velikim koncentracijam ozona rastline ostanejo nepoškodovane, kot je bil primer na ploskvah v Ankaranu, Slavniku in Borovcu. Večje poškodbe so opazne tam, kjer so temperature zmernejše, vlaga večja, ozonske koncentracije pa večje zaradi njihovega dotoka z zračnimi masami iz severne Italije, kot je primer na ploskvi Fondék ali pa na ploskvi Lontovž, kjer je v bližini večji lokalni vir predhodnikov ozona (termoelektrarna Trbovlje). Pri tem se moramo zavedati, da morda nismo zasledili vseh poškodb, saj smo ozonske poškodbe opazovali na gozdnem robu, v glavnem na spodnjih vejah mlajših dreves in na grmovnih vrstah. Opazovanja ozonskih poškodb na naravni vegetaciji in v poskusih zaplinjevanja z ozonom v tujini – predvsem rezultati teh raziskav iz Severne Amerike in Evrope – kažejo, da ne smemo enačiti učinkov ozona na mladih rastlinah s tistimi na odraslih, različen je tudi odziv istih vrst na obodu krošnje in v zastoru (ASHMORE, 2002, MATYSSEK in sod., 2007, KARNOSKY in sod., 2007, HABERER in sod., 2007, HERBINGER in sod., 2007). V tem pogledu so naši rezultati evidentiranja ozonskih poškodb na gozdni vegetaciji v Sloveniji le preliminarni, a so dovolj značilni, da poleg izmerjenih velikih koncentracij ozona

na številnih mestih kažejo na vedno večji pomen tega zračnega onesnažila. Sledenje učinkov troposferskega ozona na kmetijskih rastlinah, kjer je njegov vpliv na zmanjšanje pridelka bolj pereč kot drugih zračnih onesnažil, ima večjo tradicijo, saj v okviru programa ICP-Vegetation-The international Cooperative Programme on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops), ki – podobno kot program ICP-Forest – poteka v okviru WGE CLRTAP (Working Group on Effects of the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution) sledimo učinke troposferskega ozona z različnimi bioindikatorskimi rastlinami že od leta 1996 (BATIČ in sod., 2006, HAYES in sod. 2007, KOPUŠAR in sod., 2010) in opazamo stalno značilne ozonske poškodbe na izbranih indikatorskih rastlinah (navadni tobak, plazeča detelja, navadni glavinec, nizek fižol). Vendar je stopnja njihove poškodovanosti navadno manjša, kot bi pričakovali glede na velike, izmerjene vrednosti ozona v zraku.

Pri sledenju pojavljanja ozonskih poškodb na lesnatih rastlinah smo opazili, da poleti nastale ozonske poškodbe lahko opazujemo vse do odpadanja listja v jeseni. Listi, ki so bili poškodovani zaradi ozona, imajo ob jesenskem propadu klorofila in obarvanju s karotenoidi in antociani še vedno, morda še bolj značilen videz listov z ozonskim poškodbam (glej Sl. 8 in 9). Na zgornji strani lista lahko opazujemo v generacijah listov, ki so nastali v času ozonskih epizod, značilne točkaste poškodbe med žilami zaradi poškodovanosti asimilacijskega parenhima. Temnejša obarvanost tkiva je zaradi obrambnih mehanizmov lista nastala zaradi tvorbe taninov ali antocianov; včasih je na tem mestu tudi zapozneno propadanje klorofila. V jeseni največ takšnih poškodb lahko opazimo v notranjosti krošenj dreves in grmov, kjer je mezofilna zgradba listov bolj občutljiva za ozon. Opazanje se ujema s poskusi zaplinjevanja z ozonom in pri opazovanjih ozonskih poškodb tujih avtorjev (ASHMORE, 2002, HERBINGER in sod., 2007). Nekaj primerov takega jesenskega videza ozonskih poškodb je razvidno iz fotografij 8 in 9.



Slika 8: Jesenski videz ozonskih poškodb na navadnem ruju (levo) in navadnem belem gabru (desno), Ljubljana, ruj – Črnuče, navadni beli gaber – Tacen, (foto F. Batič 2008)

Fig.8: Autumn appearance of ozone damage- on leaves of Venetian sumach (left) and Common hornbeam (right), Ljubljana (photo:F. Batič 2008).



Slika 9: Jesenski videz ozonskih poškodb: levo dišeči les (*Calycanthus floridus* L.), Črnuče, desno: navadna dobrovita, rumeni dren in parocija (*Parrotia persica* (DC.) C. A. Mey), okolica Biotehniške fakultete.

Fig. 9: Autumn appearance of ozone damage - on leaves of Carolina allspice (*Calycanthus floridus* L.)-Črnuče (left) and on the leaves of Wayfaring tree, Cornelian cherry and Persian ironwood (*Parrotia persica* (DC.)C.A.Mey). Surrounding of Biotechnical faculty, Ljubljana, (photo:F. Batič 2008)

4 ZAKLJUČKI

Iz predstavljene začetne raziskave in nekaterih prejšnjih raziskav je razvidno, da se v Sloveniji ozonske poškodbe na gozdni vegetaciji pojavljajo dokaj pogosto, le da niso še primerno kakovostno, še manj pa količinsko ovrednotene. Nastanek ozonskih poškodb je odvisen od koncentracij ozona in trajanja ozonskih epizod, poleg tega pa še od vrste rastlin in okoljskih dejavnikov. Poškodbe naravne vegetacije so manjše na območjih z višjo zračno temperaturo in manjšo zračno vlažnostjo, kljub morebitnim visokim koncentracijam ozona. Zaradi vedno večjega trenda pojavljanja troposferskega ozona, ki ga ustvarjajo predvsem

zračna onesnažila iz prometa, termoenergetskih objektov in industrije, je treba učinke na vegetaciji spremljati kot kazalnike o stanju okolja. Usklajeni programi biomonitoringa ozona, ki so nastali ali so v nastajanju v okviru WGE CLRTAP, so zato še posebno primerni, ker temeljijo na številnih poskusih zaplinjevanja z ozonom in raziskavah vegetacije na območjih z zelo različnimi koncentracijami troposferskega ozona.

5 POVZETEK

Na izbranih ploskvah Gozdarskega inštituta Slovenije, na katerih potekajo aktivnosti intenzivnega monitoringa gozdnih ekosistemov (IM)

in na ploskvah za umerjanje v okviru programa ICP Forest Konvencije CLTRAP v Sloveniji, smo v letu 2008 opazovali poškodbe listja gozdne vegetacije, nastale zaradi povečanih koncentracij ozona. Meteorološke podatke in podatke o ozonski koncentracijah smo dobili od Agencije Republike Slovenije za okolje, podatke o ploskvah IM in podatke o koncentracijah ozona na ploskvah pa na GIS. Več poškodb je bilo opaziti na tistih ploskvah, kjer so temperature zmernejše, zračna vlaga večja, ozonske koncentracije pa visoke zaradi daljinskega vnosa ali bližine virov onesnažil.

6 SUMMARY

Foliage damage induced by tropospheric ozone was assessed at the research plots of Slovenian Forestry Institute, within the program ICP-Forest Level II, Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in summer 2008. Data on meteorological parameters and tropospheric ozone concentrations were obtained partly from Slovenian Environmental Agency and from the measurements carried out within the activity of intensive forest ecosystem monitoring at the Slovenian Forestry Institute. More ozone induced damage was detected at forest sites with more mesic climate, those where transboundary transport of tropospheric ozone is higher and those that are closer to local air pollution sources.

7 VIRI

Ashmore M. R. 2002. Effects of oxidants at the whole plant and community level. V: Bell J.N.B., Treshow M.(ur.): Air pollution and Plant Life, Wiley, 89-118.

Batič F., Jenčič - Medvešček M., Klemenčič S., Macarol B., Ribarič-Lasnik C., Strniša A., Vidergar N. 1995. Bioindikacija ozona v troposferi z občutljivim kultivarjem tobaka (*Nicotiana tabacum* L.) cv. 'BelW3'. Zbornik gozdarstva in lesarstva 47,s. 131-144.

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

Batič F., Turk B., Planinšek A., Zupanič B., Drougoudi P., Nanos G., Tuba Z., Mills G. 2006. Ten years of monitoring tropospheric ozone by plants in Slovenia and some comparison with Greece and Hungary. BioMAP, 4th International Workshop on Biomonitoring of Atmospheric Pollution. In: Book of Abstracts: 12-13, Agios Nikolaos, Greece,

September 17-21.

Bell J. N. B., Treshow M. 2002: Air pollution and Plant Life, Wiley, s.446.

Grebenc T., Kraigher H. 2007. Changes in community of ectomycorrhizal fungi and increased fine root number under adult beech trees chronically fumigated with double ambient ozone concentration. Plant Biology 9 (2), s. 279-287

Haberer K., Herbinger K., Alexou M., Tausz M., Rennenberg H. 2007. Antioxidative defence of old grown beech (*Fagus sylvatica*) under double ambient O₃ concentrations in a free-air exposure system. Plant Biology 9 (2), s. 215-226.

Hayes F., Mills G., Harmens H., Norris D. 2007. Evidence of widespread ozone damage to vegetation in Europe. Programme Coordination Centre for the ICP-Vegetation, Centre for Ecology and Hydrology, Environment Centre Wales, UK, s. 57.

Herbinger K., Then C., Haberer K., Alexou M., Löw M., Remele K., Rennenberg H., Matyssek R., Grill D., Wieser G., Tausz M. 2007. Gas exchange and antioxidative compounds in young beech trees under free-air ozone exposure and comparison to adult trees. Plant Biology 9 (2), s. 288-297.

Innes J. L., Schaub M., Skelly J. M. 2001. Ozone and Broadleaved Species: A Guide to the Identification of Ozone-Induced Foliar Injury. , P. Haupt Pub, ...

Kajdiš P. 2009. Primerjava poškodb po troposferskem ozonu na naravni vegetaciji in izbrani indikatorski rastlini. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 59 s.

Karnosky D. F., Werner H., Holopainen T., Percy K., Oksanen T., Oksanen E., Heerdt C., Fabian P., Nagy J., Heilman W., Cox R., Nelson N., Matyssek R. 2007. Free - air exposure system to scale up ozone research in mature trees. Plant Biology 9 (2), s. 181-190.

Kopušar N., Mazej Z., Batič F. 2010. Response of an ozone indicator plant before and after installation of a desulphurization device at a thermal power plant. Acta biologica Slovenica 53 (1):35-45.

Kountrakis P., Wolfson J. M., Bunyaviroch A., Froelich S.E., Hirano K., Mulik J.D. 1993 Measurement of ambient ozone using a nitrite-coated filter, *Analytical Chemistry* 65 s. 209-214.

Long S. P., Naidu S. L. 2002. Effects of oxidants at the biochemical, cel and physiological levels, with particular reference to ozone. V: BELL, J. N. B. & TRESHOW,M.(ur.): Air pollution and Plant Life, Wiley, 69-88.

Matyssek R., Bahnweg G., Ceulemans R., Fabian P., Grill D., Hanke D. E., Kraigher H., Osswald W., Rennenberg H., Sandermann H., Tausz M., Wieser G.

2007. Synopsis of the CASIROZ case study: Carbon sink strenght of *Fagus sylvatica* L. In a changing environment- Experimental risk assessment of mitigation by chronic ozone impact. *Plant Biology* 9 (2), s. 163-180.
- Milss G., Hayes F, Williams P, Harmens H. 2005. ICP Vegetation Experimental Protocol for monitoring the incidences of ozone injury on vegetation. Programme Coordination Centre for the ICP-Vegetation, Centre for Ecology and Hydrology, Environment Centre Wales, UK, s. 21.
- Remic T., Šircelj H., Turk B., Batič F. 2002. Učinki ozona v troposferi na navadno dobrovito (*Viburnum Lantana* L.). *Zbornik gozdarstva in lesarstva* 69,s. 43-59.
- Rozman A. 2002. Ocenitev stanja rušja (*Pinus mugo* Turra) na treh profilih v Triglavskem narodnem parku. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 92 s.
- Verbič S. 2008. Vpliv troposferskega ozona na nastanek poškodb in izbrane fiziološke procese pri indikatorski rastlini plazeča detelja (*Trifolium repens* 'Regal') v Sloveniji. Diplomsko delo. Ljubljana, Univ. v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, 32 s.
- Treshow M. 1985. Air pollution and plant life. John Wiley&Sons: 486 s.
- Anonymus, 2004. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests, Part X; Monitoring of Air Quality and Assessment of Ozone Injury. UN ECC CLRTAP, ICP, Expert Panel on Deposition Measurements and its WG on Ambient Air Quality; 34 s.,http://www.icp-forests.org/pdf/Chapt10_compl2004.pdf.
- ARSO, 2009. Agencija RS za okolje: 119 s. Procedure for the establishment of a Level II LESS. 2006