

PRIEDE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) KĀ PIEZEMES OZONA LĪMEŅA BIOINDIKATORS LATVIJĀ

Abstract

Ground level ozone bioindication in Latvia by using scots pine

The increase of ground level ozone concentration in the atmosphere is one of the most important environmental problems nowadays. It is a phytotoxic air pollutant that causes more damage to vegetation worldwide than all other pollutants combined; ozone reduces plant growth and productivity and causes changes in crop quality. The study deals with tropospheric ozone bioindication in Latvia by using Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). The data obtained by passive biomonitoring methods is used in assessment of ozone damage. Needle injuries were studied in Scots pine trees growing in natural conditions in Latvia. Dynamics of ozone damage on pine needles were analysed. The level of ozone injuries on pines is about 15-25% in Latvia. The effects of some environmental factors on ozone bioindication are discussed. The extent of damage depends on air temperature and humidity during the exposure of plants, because it shows characteristic gradient, caused by the increase of continentality of climate of Latvia.

Atslēgas vārdi: *piezemes ozons, bioindikācija, meteoroloģiskie faktori, Latvija*

Ozons (O_3) ir troposfēras zemāko slāņu dabiska sastāvdaļa. Taču palielinoties rūpniecības un transporta attīstībai ozona koncentrācija pēdējos gadu desmitos ir pieaugusi tik lielā mērā, ka tiek uzskatīta par vienu no aktuālākajām mūsdienu gaisa piesārņojuma problēmām. Piezemes ozons veidojas fotoķīmiskā smoga apstākļos -oglekļa monoksīda (CO), metāna (CH_4) un citu hidrokarbonātu fotoķīmisko reakciju rezultātā NO_x klātbūtnē (Schlesinger, 1991).

Ozons ir uzskatāms par fitotoksisku gaisa piesārņojuma komponentu, kurš pasaules mērogā veģetācijai izraisa vairāk bojājumu nekā visi citi gaisa piesārņojuma komponenti kopā (Ashmore and Bell, 1991; US EPA, 1996). Ozona ietekmē kokaugu biomasa var samazināties līdz pat 10 % (Innes and Kärenlampi, 1999). Saskaņā ar ANO/EKK Ženēvas konvencijas rekomendācijām un arī ar LR MK noteikumiem Nr. 1290. mērķlielums veģetācijas aizsardzībai AOT40 (*Accumulated Over a Threshold 40 ppb: the sum of daylight O_3 concentration higher than 40 ppb over the vegetation season*) ir 18 000 mg/m^3 stundā (Noteikumi par gaisa kvalitāti, 2009).

Ozona bioloģiskā iedarbība uz augiem pasaulē tiek pētīta jau vairāk nekā 50 gadus (Heggstad, 1991). Ir pieņemts uzskatīt, ka ozons iekļūst lapas audos caur atvārsnītēm (Ashmore et al., 2004). Svarīgi atzīmēt to, ka primārā ozona iedarbība uz augu nav atkarīga no ozona koncentrācijas, bet gan no auga atvārsnīšu atvēruma ozona iedarbības brīdī. Gaisa absolūtais mitrums cieši korelē ar ozona iedarbību. Sauss gaiss izraisa atvārsnīšu aizvēršanos un tādējādi arī samazina ozona iedarbību uz augu (Wieser and Havranek, 1993). Tikko nokļuvis augu audu starpsūnu gaisa telpā, ozons tiek ķīmiski pārveidots šūnapvalkā un plazmas membrānā (Laisk et al., 1989). Ozona iedarbībā augu šūnās sākas neatgriezeniskas

fizioloģiskas izmaiņas. Ozons inducē augam oksidatīvo stresu un, kā atbildes reakcija uz to, parādās vizuāli redzami bojājumi. Šie simptomi parādās kā nekrotiski apgabali, sudraboti vai bronzas krāsas laukumi, hlorozes, kā arī bālgani punktiņi. Mirušās šūnas no veselajām tiek atdalītas ar kallusa slāni (Bussotti et al., 2007). Starp visiem fizioloģiskajiem procesiem, kurus ietekmē ozona iedarbība, fotosintēze ir īpaši jutīga, un lielas izmaiņas šajos procesos notiek jau pirms parādās vizuālie bojājumi (Guidi et al., 1997). Klimata pasiltināšanās varētu pastiprināt ozona fitotoksisko iedarbību uz augiem (Augustaitis et al., 2008). Sinerģētiska ozona iedarbība ar augstu gaisa temperatūru un sausuma radīto stresu ir labi zināma (McLoughlin and Downing, 1996). Aizvērtas atvārsnītes pasargā auga lapas no piezemes ozona iekļūšanas lapas šūnās – tā ir tipiska situācija augstas gaisa temperatūras un sausuma apstākļos. Līdz ar to ziemeļu platuma grādos, kur sausums ir reta parādība, augi ir jutīgāki pret ozona bojājumiem nekā dienvidu apgabalos, kaut arī tur piezemes ozona koncentrācija gaisā ir lielāka (Paoletti, 2006).

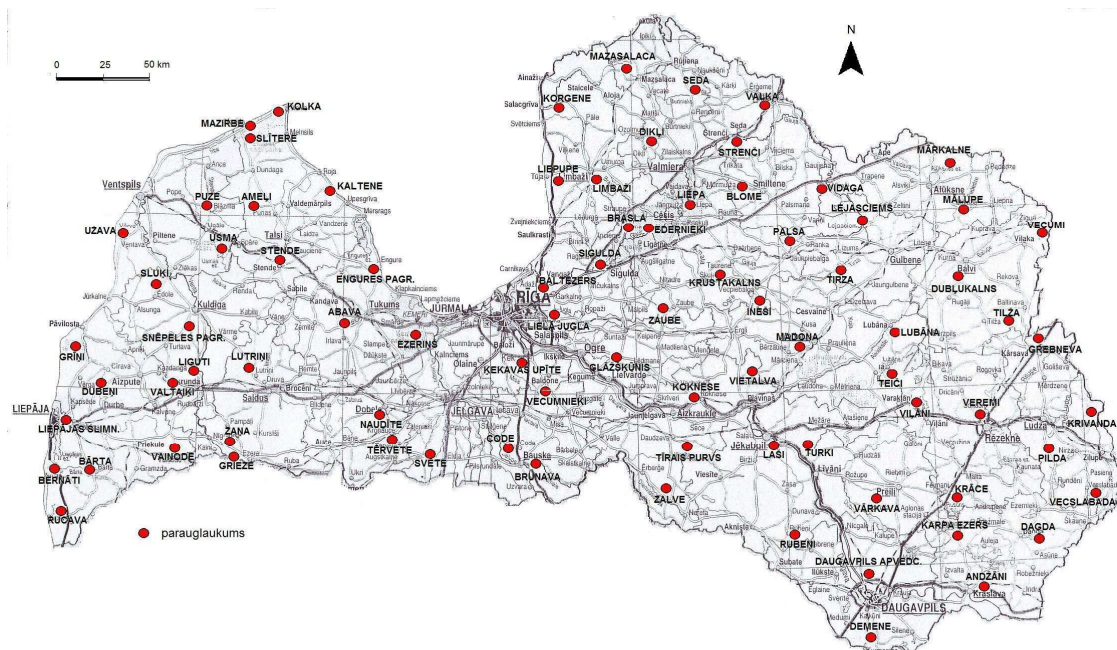
Materiāls un metodes

Kā ozona ietekmes pasīvā monitoringa objekts mūsu pētījumos tika izmantota parastā priede *Pinus sylvestris* L. Ozona bojājumu uzskaitē veikta 2008. gada vasarā un rudenī Latvijas valsts vides monitoringa vides kvalitātes fitoindikatīvā vērtējuma ietvaros. Vides monitoringa ietvaros visā valsts teritorijā tika apsekoti 85 parauglaukumi (1. att.).

Parauglaukumu izvēle veikta ievērojot sekojošus principus:

- parauglaukumiem pēc iespējas jāatrodas reljefa paaugstinājumos;
- paraugkokiem jābūt atklāti eksponētiem DA, D, DR virzienā;
- parauglaukumu nedrīkst izvēlēties vietās, kur veģetācija cieš no pārmērīga sausuma vai mitruma;
- paraugkokiem (priedēm) jābūt ne jaunākiem par 20 gadiem.

Priežu skuju paraugus katrā parauglaukumā ievāca no 10 kokiem. Katrai priedei 4-5 m augstumā no eksponētās puses nogrieza zaru, no kura dzinumiem ievāca skujas. Katram kokam analizētas 100 nejauši izvēlētas noteikta perioda skujas. Kopējais parauglaukumā ievāktu skuju skaits 1000. Skuju paraugi ievākti divos sezonas periodos – vasarā (jūlija beigās, augusta sākumā) un rudenī (oktobra beigās, novembra sākumā). Pirmajā periodā analizētas otrā gada skujas, kuru ekspozīcijas ilgums bija 14 mēneši, bet otrajā periodā esošā gada skujas, kuru ekspozīcijas ilgums bija 6 mēneši. Skuju bojājumus noteica zem binokulārās lupas.



1. attēls. Latvijas vides fitoindikatīvā monitoringa parauglaukumi

Ozona bojājumu noteikšanai tika izmantota V. Kalatajida (Anonymous, 2006) izstrādātā metodika. Saskaņā ar šo metodiku, skuju pēc bojājumu pakāpes tiek iedalītas 5 klasēs, sākot ar nebojātām skujām un beidzot ar hlorotiskām (nodzeltējušām) skujām. Tā kā mūsu pētījumos skuju bojājumi izrādījās nelieli (1.-2. klase pēc Kalatajida) tika izveidota jauna bojājumu gradācijas klašu sistēma pēc sekojošas shēmas :

- 0. klase – 0. % ozona bojājumu,
- 1. klase – 1-3% ozona bojājumu,
- 2. klase- 3-5 % ozona bojājumu,
- 3. klase- 5-10 % ozona bojājumu,
- 4. klase – 10-15 % bojājumu,
- 5. klase- 15-25 % bojājumu.

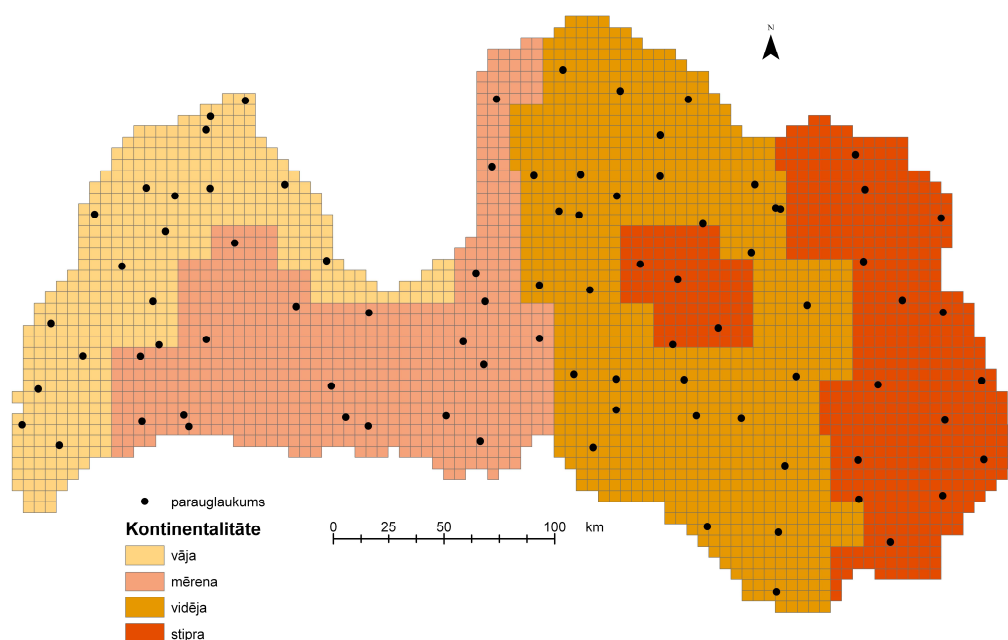
Datu matemātiskā analīze

Lai raksturotu katrā pētījumu vietā novērojamo ozona bojājumu līmeni priežu skujām, mēs izstrādājām ozona bojājumu indeksu:

$$I_{necr} = \sum_{i=1}^m K_i \cdot i$$

K_i – bojāto skuju īpatsvars i -tajā bojājumu klasē, i – bojājumu klase ($i = 1,2,3,4,5$), m – bojājumu klašu skaits. I_{necr} minimālā vērtība ir 1, ja paraugā nav ozona bojātu skuju un maksimālā vērtība ir 6, ja visas skujas pieder 5. bojājumu klasei. No 10 kokiem aprēķinātajām ozona bojājumu indeksa vērtībām parauglaukumam izskaitļots vidējais I_{necr} indekss un tā standartklūda. Vidējās I_{necr} vērtības izmantotas ozona bojājumu kartogrāfiskajā analīzē.

Lai noskaidrotu klimatisko faktoru ietekmi uz skuju ozona bojājumu indeksu visā Latvijas teritorijā, izmantots Latvijas teritorijas dalījums zonās pēc klimata kontinentalitātes (Laiviņš un Melecis, 2003). Virzienā no 1. zonas, kas stiepjas gar jūras piekrasti un aizņem Kurzemes ZR daļu uz 4. zonu, ko veido Vidzemes augstiene un austrumdaļas pierobežas teritorijas, klimata kontinentalitātei ir tendence pieaugt (2. att.). Izmantojot ĢIS, pēc pētījumu punktu ģeogrāfiskajām koordinātēm, noskaidrota to piederība konkrētajai kontinentalitātes zonai. Balstoties uz iegūtajiem datiem, veikta I_{necr} izmaiņu trenda analīze kontinentalitātes palielināšanās virzienā un vienfaktora dispersiju analīze, lai noskaidrotu indeksa vidējo vērtību atšķirību būtiskumu starp klimatiskajām zonām. Papildus veikta arī I_{necr} vidējo vērtību atkarības analīze no vietas augstuma virs jūras līmeņa.



2. attēls. Ozona bioindikācijas pētījumu vietu sadalījums pa Latvijas klimata kontinentalitātes zonām, kas izdalītas pēc Laiviņš un Melecis, 2003 (izstrādājis autors, izmantojot Laiviņš un Melecis, 2003).

Rezultāti un diskusija

Latvijas teritorijā 2008. gada skuju bojājumu līmenis kopumā ir vairāk nekā divas reizes zemāks nekā iepriekšējā gada skujām. Tādējādi kopējais ekspozīcijas laiks izrādījies ļoti nozīmīgs faktors ozona bioindikācijā. Pēc dažu autoru domām (Ulrich et al., 2006) skuju ekspozīcijas laikam ozona ietekmes novērtēšanai jābūt ne mazākam kā viens gads. Tas nozīmē, ka ozona bioindikācijā Latvijā visieteicamāk izmantot iepriekšējā gada skujas.

Kopumā visai Latvijas teritorijai priežu skuju ozona bojājumu indeksa I_{necr} vidējo vērtību izmaiņas atkarībā no vietas augstuma virs jūras līmeņa izmaiņu tendences ir līdzīgas, vērtējot gan pēc 2008. gada, gan pēc iepriekšējā gada skujām. 2008. gada dati uzrāda I_{necr} palielināšanās tendenci tieši zemākos reljefa novietojumos. Tomēr lielās datu variācijas dēļ korelācijas koeficienti ir ļoti zemi un minētā tendence ir statistiski būtiska tikai ar iepriekšējā gada skuju analīžu datiem.

Visas Latvijas teritorijai netiešā jūras ietekme pētīta klimata kontinentalitātes izmaiņu kontekstā. Statistiski ticama I_{necr} atkarība no attāluma konstatēta tikai 2008. gada skujām. Skuju ozona bojājumu indeksam ir tendence palielināties pieaugot attālumam no jūras.

Parauglaukumu sadalījums pa kontinentalitātes zonām Latvijā ir samērā vienmērīgs. Zonās ar vāju, mērenu un stipru kontinentalitāti parauglaukumu skaits ir aptuveni vienāds (attiecīgi 19, 20 un 18), vienīgi vidējas kontinentalitātes zonā to ir vairāk - 30 parauglaukumi. Tādējādi kontinentalitātes zonu pārstāvniecība ir pietiekami vienmērīga, lai neietekmētu statistiskās analīzes rezultātu.

Nekrotizācijas indeksu minimālās vērtības ne 2008. gada, ne iepriekšējā gada skujām dažādās kontinentalitātes zonās praktiski neatšķiras. Toties maksimālās vērtības ir ievērojami augstākas vājas kontinentalitātes zonā – piejūras rajonos.. Pārējās zonās tā gandrīz neatšķiras, izņemot 2008. gada vasaras datus. Kopumā I_{necr} vērtībām ir tendence palielināties vājas kontinentalitātes zonā. Taču lielās datu variācijas dēļ minētais trends ir statistiski ticams tikai datiem, kas iegūti no skujām, kas ievāktas 2008. gada vasarā (ekspozīcijas laiks 14 mēneši).

Analizējot ozona bojājumu līmeņa izmaiņas uz priežu skujām, kā negatīvu aspektu tomēr nepieciešams atzīmēt ļoti lielo individuālo datu variāciju skuju paraugiem, kas ievākti no atsevišķiem kokiem vienā un tajā pašā pētījumu parauglaukumā. Augstā individuālo datu variācija vairumā gadījumu izrādījās traucējoša, lai iegūtu statistiski būtiskus regresijas analīzes rezultātus. Lai gan pētījumu metodika paredz ievākt vienādi eksponētus priežu zarus no vienāda vecuma kokiem, skuju bojājumu vidējais līmenis dažādiem kokiem izrādās visai atšķirīgs. Jo augstāks vidējais ozona bojājumu indekss I_{necr} , jo lielāka individuālo vērtību izkliede. To varētu izskaidrot ar atsevišķu paraugkoku atšķirīgu jutīgumu pret ozona iedarbību.

Bibliogrāfija

1. Anonymous, (2006) Submanual for the Assessment of Ozone Injury on European Forest Ecosystems (Intensive Monitoring Plots/Level II). Materials of Intercalibration Conference. Pp. 17.
2. Ashmore, M. R.& Bell, J.N.B. (1991) The role of ozone in global change. *Annals of Botany*, Nr. 67: 39-48.
3. Ashmore, M., Emberson, L., Karlsson, P. E.& Pleijel, H. (2004) New directions: a new generation of ozone critical levels for the protection of vegetation in Europe. *Atmospheric Environment*, Nr. 38: 2213 – 2214.
4. Augustaitis, A.& Bytnerowicz, A. (2008) Contribution of ambient ozone to Scots pine defoliation and reduced growth in the Central European forests: A Lithuanian case study. *Environmental Pollution*, Nr. 155:436-445.
5. Bussotti, F., Strasser, R. J.& Schaub, M. (2007) Photosynthetic behavior of woody species under high ozone exposure probed with the JIP-test: A review. *Environmental Pollution*, Nr.147 (3): 430-437.
6. Guidi, L., Nali, C., Ciompi, S., Lorenzini, G.& Soldatini, G. F. (1997) The use of chlorophyll fluorescence and leaf gas Exchange as methods of studying the different responses to ozone of two bean cultivars. *J. Experimental Botany*, Nr.48: 173-179.
7. Heggstad, H.E. (1991) Origin of Bel-W3, Bel-C and Bel-B tobacco varieties and their use as indicators of ozone. *Environmental Pollution*, Nr. 74 (4): 264-291.
8. Innes, J.& Kärenlampi, L. (1999) Report from the working group Forest Trees. In: Fuhrer, J.& Achermann, B. (Eds.). Critical Levels of Ozone-Level II, Workshop Gerzensee, Switzerland, 11-15 April 1999. Vol. 115. SAEFL, Berne, Environmental
9. Janssen C. R., Persoone G., 1992. Biological indicators for environmental monitoring. Sereno Symposia Review. Documentation. Pp. 17-19.
10. Laisk, A., Kull, O.& Moldau, H. (1989) Ozone concentration in leaf intercellular air spaces is close to zero. *Plant Physiology*, Nr. 90: 1163-1167.
11. Laiviņš, M., & Melecis, V. (2003) Bio-geographical interpretation of climate data in Latvia: multidimensional analysis. *Acta Universitatis Latviensis*, Vol. 654, Earth and Environment Sciences. Biogeography. Pp. 7-22.
12. McLoughlin, S.B.& Downing, D.J. (1996) Interactive effects of ambient ozone and climate measured on growth of mature loblolly pine trees. *Canadian Journal of Forest Research*, Nr. 26: 670–681.
13. Paoletti E. (2006) Impact of ozone on Mediterranean forests: a review. *Environmental Pollution*, Nr. 144: 463–474.
14. Schlesinger W.H. (1991) Biogeochemistry: an analysis of global change. Academic Press Inc, New York.
15. Ulrich, E., Dalstein, I., Günhardt-Goerg, M. S., Vollenweider, P., Cecchini, S., Vas, N., Sjöberg, K., Skarman, T.& Karlsson, G. (2006) *RENECOFOR-Effets de l’ozone sur la végétation, concentrations d’ozone (2000-2002) et symptômes d’ozone sur la végétation forestière (2001-2003)*. Editeur: Office National des Forêts, Direction Technique, Département Recherche ISBN 2-84207-300-2.
16. US EPA, (1996) United States Environmental Protection Agency. Air quality criteria for ozone and other photochemicals oxidants. Vol. II, EPA/600/P-93/004bF.
17. Wieser, G.& Havranek, W. (1993) Ozone uptake in the sun and shade crown of spruce – quantifying the physiological effects of ozone exposure. *Trees*, Nr. 7: 227 -232.