
Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen
Ústav vied o Zemi SAV, Geofyzikálny odbor

Zuzana Sitková & Svetlana Bičárová & Hana Pavlendová (eds.)

MONITORING A MODELOVANIE PRÍZEMNÉHO OZÓNU – výskum interakcií v lesných ekosystémoch –

Zborník odborných príspevkov z medzinárodného seminára
7. – 9. október 2015, KC SAV Academia, Stará Lesná



Zvolen 2015

ISBN 978-80-8093-204-6

Názov: Monitoring a modelovanie prízemného ozónu: výskum interakcií v lesných ekosystémoch

Editori: Ing. Zuzana Sitková, PhD., Ing. Svetlana Bičárová, PhD., Ing. Hana Pavlendová, PhD.,

Citácia: Sitková Z, Bičárová S, Pavlendová H (eds): Monitoring a modelovanie prízemného ozónu, výskum interakcií v lesných ekosystémoch. Zborník odborných príspevkov z medzinárodného seminára, 7. – 9. október 2015, Stará Lesná, Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen. Zvolen 2015, 42 s., ISBN 978-80-8093-204-6

Vydal: Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen

Rok vydania: 2015

Náklad: 100 ks

Rozsah: 42 s.

Za odbornú a jazykovú stránku príspevkov zodpovedajú autori. Rukopis neprešiel jazykovou úpravou.

ISBN 978-80-8093-204-6

© Národné lesnícke centrum, Zvolen 2015

Pod'akovanie

Seminár je organizovaný s podporou projektu APVV-0429-12 "Mapovanie fytotoxických ozónových dávok v lesnom prostredí Vysokých Tatier" a projektu APVV-0111-10.



AGENTÚRA
NA PODPORU
VÝSKUMU A VÝVOJA

ÚVODNÉ SLOVO

Jasné symptómy akútneho imisného poškodzovania lesov, ktoré vrcholilo približne v osemdesiatych rokoch 20. storočia, sú už viac-menej minulosťou, avšak nepriaznivé dôsledky procesov acidifikácie, eutrofizácie, fytotoxických účinkov prízemného ozónu, záťaže ťažkými kovmi a iných faktorov latentne pretrvávajú spolu s následným chronickým poškodením lesnej vegetácie. Poškodzovania lesov vplyvom imisného stresu je výsledkom interaktívneho pôsobenia množstva faktorov na lesný ekosystém. Uvedené účinky sú navyše umocňované sprievodnými prejavmi prebiehajúcich recentných zmien klímy, ktorých sme v ostatných desaťročiach svedkami (bezprecedentný nárast teplôt vzduchu, výskyt frekventovanejších a dlhšie trvajúcich epizód sucha a pod.).

Napriek realizácii opatrení na zníženie tvorby primárnych emisií zo stacionárnych i mobilných zdrojov, tvorba sekundárnych polutantov a ich diaľkový prenos naďalej predstavujú riziko nepriaznivého pôsobenia na životné prostredie. Ohrozené sú najmä horské oblasti a vidiek. Orograficky členitý reliéf Slovenska s 41 % lesnatosťou územia vytvára prírodnú prekážku na záchyt prúdenia znečistených vzduchových hmôt s vysokým ozónovým fytotoxickým potenciálom. Troposférický ozón, osobitne koncentrácia ozónu v spodnej vrstve troposféry (O₃) patrí v súčasnosti k najviac sledovaným ukazovateľom kvality ovzdušia.

Cieľom seminára je výmena poznatkov a skúseností v komunite vedeckých pracovníkov zaoberajúcich sa výskumom znečistenia ovzdušia a ich dopadov na lesné ekosystémy v podmienkach prebiehajúcich environmentálnych zmien. Zámerom je prezentovať aktuálne výsledky v oblasti mapovania a modelovania koncentrácií prízemného ozónu, diskutovať o metódach monitoringu a zdieľať najzaujímavejšie poznatky z výskumu ozónových interakcií v systéme ovzdušie - les. Významným poslaním seminára je predstaviť zainteresovaným zodpovedným organizáciám (Štátna správa, Štátna ochrana prírody, orgány samosprávy) nový systém hodnotenia vplyvu ozónu na lesné porasty a prezentovať predbežné výsledky projektu.

Dovoľujeme si vyjadriť poďakovanie všetkým účastníkom medzinárodného seminára za prejavení záujem a aktívnu účasť. Veríme, že pre všetkých bude toto odborné podujatie prínosom pri získavaní aktuálnych informácií v oblasti vplyvov znečistenia ovzdušia na životné prostredie a najmä lesné ekosystémy .

Editorky

OBSAH

PRÍZEMNÝ OZÓN NA SLOVENSKU V OBDOBÍ 2008 – 2014

Martin Kremler, Blanka Fógelová1

VLIV DEPOZIČNÍHO TOKU OZONU NA ČISTOU EKOSYSTÉMOVOU PRODUKCI SMRKOVÉHO POROSTU

Miloš Zapletal, Petr Chroust, Pavel Cudlín a kolektív.....4

PŘÍZEMNÍ OZÓN V CHRÁNĚNÉ KRAJINNÉ OBLASTI JIZERSKÉ HORY

Iva Hůnová, Petra Stoklasová, Jana Schovánková.....7

MODELOVANIE STOMATÁLNEHO TOKU OZÓNU A ODHAD FYTOTOXICKÝCH OZÓNOVÝCH DÁVOK (PODY)

Svetlana Bičárová, Hana Pavlendová.....9

GROUND LEVEL OZONE CONCENTRATION RELATED TO LEAF DAMAGE AS A FUNCTION OF ENVIRONMENTAL VARIABLES

Emilie Bednářová, Jiří Kučera.....11

MONITORING PRÍZEMNÉHO OZÓNU POMOCOU PASÍVNYCH SENZOROV – WERNEROVA METÓDA

Daniela Kellerová, Rastislav Janík, Svetlana Bičárová.....12

ČASOVÁ A PRIESTOROVÁ VARIABILITA KONCENTRÁCIE PRÍZEMNÉHO OZÓNU V TATRÁCH V KONTEXTE NÁVŠTEVNOSTI TATRANSKÉHO VYSOKOHORSKÉHO PROSTREDIA

Lucia Čekovská, Peter Fleischer jr.....15

FORMATION OF THE ATLAS OF TATRA MTS – AIR TEMPERATURE

Pavol Nejedlík, Katarína Mikulová, Anna Buchholcerová.....20

VARIABILITA NÁSTUPU FENOLOGICKEJ FÁZY PRVÉ MÁJOVÉ VÝHONKY BOROVICE LESNEJ (PINUS SYLVESTRIS L.) NA SLOVENSKU ZA OBDOBIE 1996 – 2015

Zora Snopková, Hana Pavlendová, Zuzana Sitková, Kateřina Hrušková.....22

PRÍRODNÉ DISTURBANCIE A ZMENY V LESNOM EKOSYSTÉME V OBLASTI TATRANSKEJ JAVORINY

Ján Slivinský.....28

VÝMENA CO₂ AKO INDIKÁTOR STAVU LESNÝCH EKOSYSTÉMOV POSTIHNUTÝCH PRÍRODNÝMI DISTURBANCAMI

Peter Fleischer jr, Peter Fleischer.....31

PREDPOKLADY PRE VYUŽITIE PRÍSTROJA LI-6400XT ZA ÚČELOM SLEDOVANIA VPLYVU OZÓNU NA STOMATÁLNU VODIVOSŤ BOROVICE HORSKEJ

Adriana Leštianska, Peter Fleischer jr, Svetlana Bičárová, Hana Pavlendová.....34

ČINNOSŤ INŠPEKCIE PRI POVOĽOVANÍ A KONTROLE PREVÁDZOK EMITUJÚCICH PREKURZORY OZÓNU

Marta Martinčeková, Ažbeta Patúšová, Iveta Galovičová.....38

PRÍZEMNÝ OZÓN NA SLOVENSKU V OBDOBÍ 2008 – 2014

Martin Kremler, Blanka Fógelová

Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava, kremler.m@gmail.com

Abstract

Increased surface ozone concentrations are the next serious problem of air pollution in Slovakia besides high PM concentrations. The measurement of ground level ozone concentrations in Slovakia started in 1992, within the operation of monitoring network under the Slovak Hydrometeorological Institute. The paper presents annual surface ozone means, number of exceedances of ozone information and alert threshold and average annual courses of concentrations at Slovak stations for the period 2008–2014. The annual average concentrations of surface ozone at urban and suburban stations ranged within the interval 29,4–81,4 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ and at rural background stations from 51,3 to 96,7 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. The number of exceedances of ozone information threshold was higher in the period 2003–2007 than the number in the period 2008–2014.

Keywords: surface ozone, Slovakia

Motivácia

Ďalším významným problémom znečistenia ovzdušia na Slovensku v súčasnosti sú okrem vysokých koncentrácií prachových častíc zvýšené koncentrácie prízemného ozónu. V polovici 40. rokov 20. storočia boli v Los Angeles po prvý raz zaznamenané epizódy s vysokými koncentraciami prízemného O_3 . Tento jav dostal pomenovanie fotochemický smog. Vyskytuje sa v lete, keď je vysoká intenzita slnečného žiarenia. Má pôvod vo zvýšených emisiách oxidov dusíka a prchavých uhlíkovodíkov pochádzajúcich hlavne z dopravy. Spočiatku sa vyskytoval vo veľkých mestách so slnečným a teplým počasím v letnom období a považoval sa za lokálny problém znečistenia ovzdušia, neskôr nadobudol regionálny charakter. Najnovšie poznatky však poukazujú na transkontinentálny prenos ozónu a jeho prekursorov, čo začína tento problém radiť medzi globálne.

Vysoké koncentrácie prízemného O_3 škodia zdraviu ľudí, zvierat i rastlín. Preto je prízemný ozón považovaný za škodlivinu. Ozón patrí medzi najvýznamnejšie stresové faktory lesných porastov. Na poľnohospodárskych plodinách sa dlhodobé pôsobenie ozónu prejavuje znižovaním úrody.

Na Slovensku sa začal monitoring prízemného ozónu na niekoľkých staniciach v roku 1991, no išlo iba o pár mesiacov. Seriózne sa začal ozón merať na ôsmich staniciach až v roku 1992 v rámci zavádzania automatického monitorovacieho systému znečistenia ovzdušia SR. Počet meracích staníc postupne narastal, po roku 2000 bolo v prevádzke vyše 20 analyzátorov. V roku 2014 sa koncentrácie ozónu merali na 15 staniciach. Namerané ozónové údaje neboli po roku 2004 na pôde SHMÚ okrem základných spracovaní pre ročenku komplexnejšie spracované.

Údaje a výsledky

V období 2008 až 2014 prebiehali merania prízemného O_3 celkovo na 16 staniciach, no merania na jednej stanici (Kolonické sedlo) boli asi po roku prerušené. Zo zvyšných 15 staníc je 7 mestských pozad'ových, 2 sú predmestské pozad'ové a 6 je vidieckych pozad'ových (z nich sú 4 zaradené do siete EMEP). Výťažnosť údajov na staniciach v jednotlivých rokoch sa vo väčšine prípadov pohybovala nad 90%.

Priemerné ročné koncentrácie prízemného ozónu na týchto staniciach sú v tab. 1. Na mestských a predmestských staniciach sa ročné priemery pohybovali od 29,4 (Jelšava 2012) do 81,4 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Košice 2009), na vidieckych pozad'ových staniciach od 51,3 (Topol'níky 2014) do 96,7 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Chopok 2011). Pri týchto staniciach je dobre vyjadrená závislosť koncentrácií ozónu od nadmorskej výšky, najnižšie ročné priemery boli dosahované na najnižšie položenej stanici v Topol'níkoch a najvyššie na Chopku. Pri mestských a predmestských staniciach nie je táto závislosť taká zjavná, viac záleží na vzdialenosti od zdrojov emisií oxidov dusíka. Vyššie hodnoty koncentrácií sú vo väčších vzdialenostiach od centier miest s hustou dopravou na predmestských staniciach.

V tab. 2 sú uvedené počty prekročení prahovej koncentrácie prízemného ozónu pre informovanie obyvateľstva ($180 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) na vybraných staniách, ktoré boli v prevádzke v období 1998 až 2014. Pri pohľade na túto tabuľku možno povedať, že najviac prekročení bolo v období 2003 – 2007, od roku 2008 poklesol počet stanií, na ktorých došlo k prekročeniu, na 3 a aj celkový počet prekročení je nižší, iba v roku 2010 na Kolibe v Bratislave bol výraznejší počet prekročení (39).

Počet prekročení prahovej koncentrácie prízemného ozónu pre varovanie obyvateľstva ($240 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) je pochopiteľne značne nižší ako pri informačnom prahu. V celom období 1998 až 2014 došlo k prekročeniu iba na 3 staniách. Na Kojšovskej holi bolo jedno prekročenie v roku 2005, v Bratislave na Mamateyovej boli tri v roku 2003 a jedno v 2007. Najviac prekročení bolo na stanici Bratislava Jeséniova, 3 v roku 2003 a 12 v 2010.

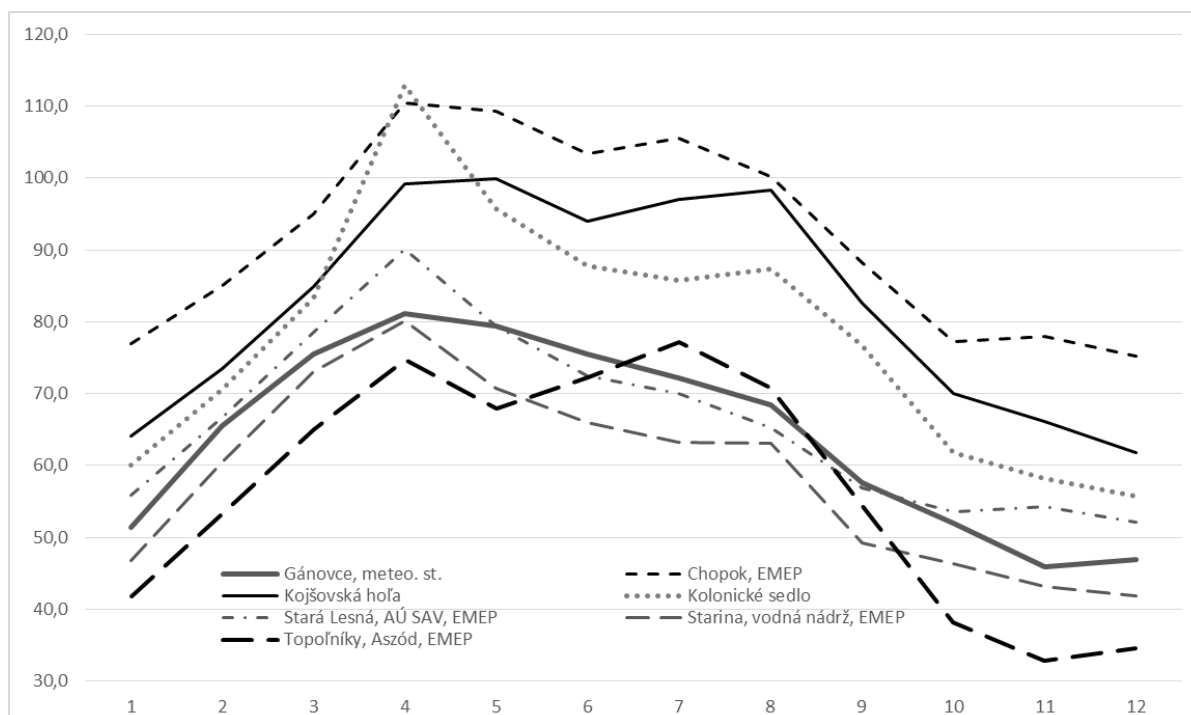
Tab. 1 Priemerné ročné koncentrácie prízemného ozónu v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ na staniách SHMÚ v rokoch 2008 – 2014

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Banská Bystrica, Zelená		53,6	56,3	60,8	66,7	66,3	58,3
Bratislava, Jeséniova	59,6	60,7	61,3	64,1	65,4	62,1	60,8
Bratislava, Mamateyova	48,6	48,1	46,2	52,1	53,1	48,5	47,0
Humenné, nám. Slobody	55,2	59,6	53,3	53,6	55,3	60,6	39,6
Jelšava, Jesenského	51,9	49,6	44,8	58,5	29,4	41,0	36,2
Košice, Ďumbierska	56,3	81,4	63,2	73,3	62,5	61,4	55,0
Nitra, Janíkovce		75,0	54,0	46,7	62,3	57,7	52,4
Prievidza, Malonecpalská	53,4	50,3	49,8	51,3	53,1	51,0	53,4
Žilina, Obežná	46,2	48,5	47,5	49,0	49,5	53,3	42,8
Gánovce, meteo. st.	66,0	62,3	63,6	64,5	66,5	67,9	58,4
Chopok, EMEP	92,3	91,0	87,9	96,7	93,8	96,0	86,5
Kojšovská hoľa	77,0	86,1	90,5	87,8	83,2	78,3	75,7
Kolonické sedlo	58,7	85,3					
Stará Lesná, AÚ SAV, EMEP	74,5	61,7	67,8	65,2	63,6	71,5	56,7
Starina, vodná nádrž, EMEP	59,4	59,0	52,0	60,0	60,9	64,2	55,9
Topoľníky, Aszód, EMEP	60,9	59,2	55,5		59,4	63,7	51,3

Tab. 2 Počty prekročení prahovej koncentrácie prízemného ozónu pre informovanie obyvateľstva ($\text{IH} = 180 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) na vybraných staniách v rokoch 1998 – 2014

	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
BA, Jeséniova	1		2	6	0	42	0	6	19	10	0	0	39	3	0	3	0
BA, Mamateyova	0	5	6	3	0	32	0	8	11	17	1	2	3	0	0	0	0
Humenné	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Jelšava	0	0	0	0	0	5	0	0	3	6	0	0	0	0	0	0	0
Košice	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Žilina	3	30	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0
Gánovce			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chopok	2	0	0	0	2	3	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Kojšovská hoľa			45	0	0	0	0	2	1	2	2	0	0	0	0	3	0
Stará Lesná	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Starina	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
Topoľníky	0	0	23	0	0	18	0	0	0	4	0	0	0		0	0	0

Na obr. 1 vidno ročný chod priemerných mesačných koncentrácií ozónu na vidieckych pozad'ových staniách v rokoch 2008 – 2014. Najvýraznejší chod má Kolonické sedlo, no je to spôsobené krátkym nameraným radom údajov. Ročný chod na väčšine týchto stanií je buď jednoduchý s maximum v apríli, prípadne dvojitý s podružným maximom v auguste. Odlišný je ročný chod na Kojšovskej holi s 3 približne rovnako vysokými mesačnými priemerami (apríl, máj, august) a v Topoľníkoch, kde je hlavné maximum v júli a vedľajšie v apríli. Na mestských a prímestských staniách je situácia zložitejšia, vysoké hodnoty v ročnom chode trvajú od apríla do augusta, jarné maximum v apríli až máji nie je také výrazné ako pri pozad'ových staniách a často je nižšie ako letné maximum v júli a auguste.



Obr. 1 Priemerný ročný chod koncentrácií prízemného ozónu v $\mu\text{g.m}^{-3}$ na vidieckych pozad'ových staniciach v období 2008 – 2014

Záver

V období 2008 – 2014 prebiehali merania prízemného O₃ celkovo na 16 staniciach SHMÚ. Výťažnosť údajov na staniciach bola vo väčšine prípadov nad 90%. Na mestských a predmestských staniciach sa ročné priemery pohybovali od 29,4 do 81,4 $\mu\text{g.m}^{-3}$, na vidieckych pozad'ových od 51,3 do 96,7 $\mu\text{g.m}^{-3}$.

Najviac prekročení prahovej koncentrácie prízemného ozónu pre informovanie obyvateľstva bolo v období 2003 – 2007, od roku 2008 poklesol počet staníc, na ktorých došlo k prekročeniu, pričom sa znížil aj celkový počet prekročení. Počet prekročení prahovej koncentrácie prízemného ozónu pre varovanie obyvateľstva je výrazne nižší ako pri informačnom prahu. V celom období 1998 – 2014 došlo k prekročeniu iba na 3 staniciach.

Ročný chod na väčšine vidieckych pozad'ových staníc je buď jednoduchý s maximum v apríli, prípadne dvojitý s podružným maximum v auguste. Na mestských a prímestských staniciach je situácia zložitejšia, vysoké hodnoty sa v ročnom chode trvajú od apríla do augusta a maximá sa vyskytujú v mesiacoch apríl až máj a júl až august.

Literatúra

Kremler, M., 2006: Modelovanie výmeny látok medzi zložkami prírodného prostredia : Prízemný ozón. Bratislava : FMFI UK, 2006. Doktorandská dizertačná práca (PhD.). 170 s.

Pukančíková, K. et al., 2010: Správa o kvalite ovzdušia a podiele jednotlivých zdrojov na jeho znečistení v Slovenskej republike 2009. Bratislava : SHMÚ, 2010, 94 s.

Pukančíková, K. et al., 2015: Správa o kvalite ovzdušia a podiele jednotlivých zdrojov na jeho znečistení v Slovenskej republike 2013. Bratislava : SHMÚ, 2015, 73 s.

VLIV DEPOZIČNÍHO TOKU OZONU NA ČISTOU EKOSYSTÉMOVOU PRODUKCI SMRKOVÉHO POROSTU

Miloš Zapletal^{1,2}, Petr Chroust¹, Pavel Cudlín³, Magda Edwards-Jonášová³, Otmar Urban³, Radek Pokorný³

¹EKOTOXA s.r.o., Otická 761/37, 746 01 Opava, milos.zapletal@ekotoxa.cz

²Slezská univerzita v Opavě, Filozoficko-přírodovědecká fakulta

³Global Change Research Centre of the AS CR, v.v.i.

Abstract / Research highlights

Daily ozone deposition flux to a Norway spruce forest in the Bílý Kříž (Czech Republic) was measured using the gradient method in vegetation period 2007, 2008 and 2009. Results were in good agreement with a deposition flux model. The mean daily stomatal uptake of ozone was around 29.2 % of total deposition. Average deposition velocity was 0.51 cm s⁻¹ and 0.53 cm s⁻¹ by the gradient method and the deposition model, respectively. Measured and modelled non-stomatal uptake was around 0.3 cm s⁻¹. In addition, net ecosystem production (NEP) was measured by using Eddy Covariance and correlations with O₃ concentrations at 15 m a.g.l., total deposition and stomatal uptake were tested. Total deposition and stomatal uptake of ozone significantly decreased NEP, especially by high intensities of solar radiation.

Keywords: ozone deposition, gradient method, net ecosystem production

Motivace

V rámci projektu SP/1b7/189/07 (Zapletal et al., 2011) jsme aplikovali gradientovou metodu na měření depozičního toku ozonu do rostlinného zápoje smrku ztepilého (*Picea abies*) v lokalitě Bílý Kříž a eddy kovariační metodu jsme použili na měření čisté ekosystémové produkce. Dále bylo testováno, zda zvýšený stomatální příjem ozonu ovlivňuje čistou ekosystémovou produkci.

Materiál a metody

Lesní porost (*Picea abies* (L.) Karst) se nachází na Experimentálním ekologickém stacionárním pracovišti ÚSBE AV ČR Bílý Kříž v oblasti Moravskoslezských Beskyd (lokalita Bílý Kříž, 49° 30' sš, 18° 32' vd, 943 m n.m.) a je částí sítě CARBOEUROPE. Meteorologická a environmentální měření byla provedena na 36 m vysoké experimentální věži, která je umístěna na experimentální ploše se stromy s průměrnou výškou 13 m. Koncentrace ozonu v 5 m, 15 m a 25 m nad zemí byly měřeny automatickými UV fotometrickými imisními analyzátoři (O₃41M, Environment SA, France; HORRIBA). Vzduch byl odebírán stejně dlouhými trubicemi z Teflonu. Depoziční rychlost byla odhadnuta gradientovou metodou z měření koncentrací ozonu ve výškách z₁ a z₂ nad a byla také modelována podle rezistenční analogie. Stomatální vodivosti ozonu g_s byla modelována multiplikativním depozičním modelem MDM s využitím lokálních meteorologických a environmentálních dat (rychlost a směr větru, teplota vzduchu, vlhkost vzduchu, globální záření, sytostní doplněk, deficit půdní vlhkosti, fenologické změny) z lokality Bílý Kříž. Expozice ozonem byla vypočtena jako index AOT40 pouze pro denní hodiny v období duben až září. Kumulativní stomatální tok ozonu bez překročení kritického prahu (POD₀) a s překročením hodinového prahu 1 nmol m⁻² s⁻¹ (POD₁) byl vypočten pro období duben až září. Pro smrk ztepilý byla doporučena fyto toxická dávka ozonu POD₁ 8 mmol m⁻². Eddy kovariační systém byl použit k měření toků oxidu uhličitého a vodní páry mezi lesem a atmosférou. Systém zahrnuje ultrasonický anemometr Gill R3 (Gill Instruments, Lymington, Hampshire, UK) umístěný 18 m nad povrchem půdy, infračervený plynový analyzátor Li-7000 (Li-Cor, Lincoln, Nebraska, USA) měřící okamžitou koncentraci oxidu uhličitého a vodní páry v ovzduší s frekvencí 20 Hz a programové vybavení pro reálný čas (EcoFlux) a po procesovou analýzu (EdiRe). Pro zjišťování korelací mezi koncentrací ozonu, případně z ní vypočítané hodnoty celkového depozičního a stomatálního toku ozonu a čistou ekosystémovou

produkcii, byla použita hodinová data koncentrací ozonu, naměřená v 32 let starém smrkovém porostu na Bílém Kříži v průběhu dvou měsíců v roce 2008 a v roce 2009 během téměř celé vegetační sezóny (6.5. – 30.9.2009).

Výsledky a diskuse

Průměrný celkový a stomatální tok ozonu (\pm SD) modelovaný depozičním modelem a průměrný celkový tok ozonu (\pm SD) měřený gradientovou metodou je uveden v **tab. 1**.

Tab.1 Průměrný celkový a stomatální tok ozonu (\pm SD) modelovaný depozičním modelem a průměrný celkový tok ozonu (\pm SD) měřený gradientovou metodou

Období	Stomatální tok ($\text{nmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Celkový tok ($\text{nmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Stomatální příjem (% z celkové depozice)
květen-září 2007	4.0 ± 3.3	9.7 ± 4.4	29.2
duben-září 2008	3.9 ± 3.1	9.5 ± 4.1	27.3
květen-září 2009	4.0 ± 2.8	10.1 ± 3.4	28.4
květen-září 2009	4.0 ± 2.8	$10.5 \pm 6.7^*$	27.6

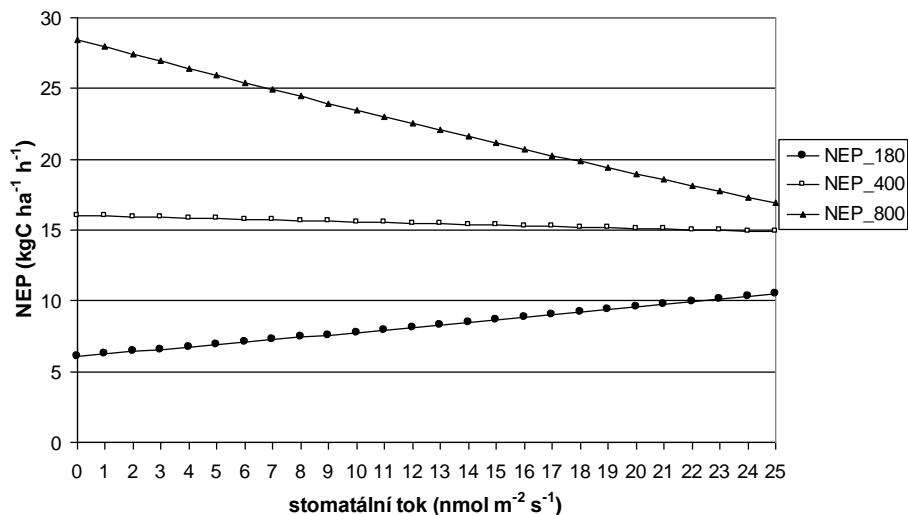
* Průměrný depoziční tok ozonu měřený gradientovou metodou.

V **tab. 2** jsou uvedeny expoziční indexy AOT40 a fytotoxické dávky ozonu POD v lokalitě Bílý Kříž ve vegetačním období roků 2007, 2008 a 2009. Expozice ozonem přesáhla kritickou úroveň 5000 ppb h ve všech vegetačních obdobích hodnocených roků více než 2x. Kritická úroveň 5000 ppb h byla stanovena pro ochranu lesních ekosystémů a její překročení určuje potenciální riziko negativního působení ozonu na lesní ekosystémy. Dávka ozonu absorbovaná stomaty stromů v průběhu měřeného vegetačního období přesáhla kritickou úroveň 8 mmol m^{-2} ve všech měřených vegetačních obdobích hodnocených roků, v roce 2008 dokonce 2x.

Tab. 2 Expoziční index AOT40 a fytotoxické dávky ozonu POD v lokalitě Bílý Kříž ve vegetačním období roků 2007, 2008 a 2009

Období	AOT40 (ppb h)	POD ₀ (mmol m^{-2})	POD ₁ (mmol m^{-2})
květen-září 2007	10672	15.8	14.3
duben-září 2008	12429	18.8	16.8
květen-září 2009	11562	15.8	14.1

Všechny použité modely vysvětlily velmi vysoké procento variability (přes 97 %). Největší procento vysvětlené variability v datech NEP bylo dosaženo při použití hodnot vypočteného stomatálního toku modelem Stom, kdy byly radiace a stomatální tok testovány ve formě polynomu druhého stupně, v rámci testování hypotézy o nelineárním vlivu radiace a otevírání průduchů na NEP. O něco menší procento variability vysvětlil regresní model s údaji z multiplikativního depozičního modelu Dep a ještě méně regresní model, vycházející z koncentrací O_3 , naměřených ve výšce 15 m. Závislost predikovaných hodnot NEP na základě stomatálního modelu Stom pro různé hodnoty stomatálního toku ozonu a záření je graficky vyjádřena na **obr. 1**. Hodnoty NEP klesají se zvyšující se koncentrací O_3 při teplotě 20°C jen pro střední a vysokou hodnotu ozáření; nejstrměji klesají při nejvyšší ozáření.



Obr. 1 Predikce NEP na základě stomatálního toku (model Stom) při teplotě 20°C a při hodnotách radiace 180, 400 a 800 W m⁻²

Závěr

Předložené výsledky ukázaly, že čistou ekosystémovou produkci (NEP) mohou v časovém měřítku vegetační sezóny ovlivnit koncentrace ozonu a potvrzují též v posledních letech mnohokrát publikované názory, že hodnoty ozonu, vypočtené depozičními a stomatálními modely, odpovídají lépe přijatému množství ozonu. Vliv ozonu na NEP je většinou statisticky průkazný jen při vyšších hodnotách teploty a ozáření. Z průběhu zjištěných regresních vztahů ozonu a NEP na základě výše zmíněných modelů a s uvážením denních chodů radiace a teplot v průběhu vegetační sezóny lze usoudit, že zvýšené koncentrace ozonu by mohly způsobit až 10-15% redukcii NEP, a tím i objemového přírůstu biomasy smrku ztepilého.

Literatura

Zapletal, M., Cudlín, P., Chroust, P., Urban, O., Pokorný, R., Edwards-Jonášová, M., Czerný, R., Janouš, D., Taufarová, T., Večeřa, Z., Mikuška, P., Paoletti, E. (2011): Ozone flux over a Norway spruce forest and correlation with Net Ecosystem Production. *Environmental Pollution* 159 (2011), 1024-1034. ISSN 0269-7491.

Poděkování

Tato studie vznikla za finanční podpory Odboru ochrany krajiny MŽP (projekt MŽP SP/1b7/189/07), centra CzechGlobe (CZ.1.05/1.1.00/02.0073) a projektu MŠMT OC10022.

PŘÍZEMNÍ OZÓN V CHRÁNĚNÉ KRAJINNÉ OBLASTI JIZERSKÉ HORY

Iva Hůnová^{1,2}, Petra Stoklasová^{1,2}, Jana Schovánková¹

¹Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4-Komořany, ČR, hunova@chmi.cz

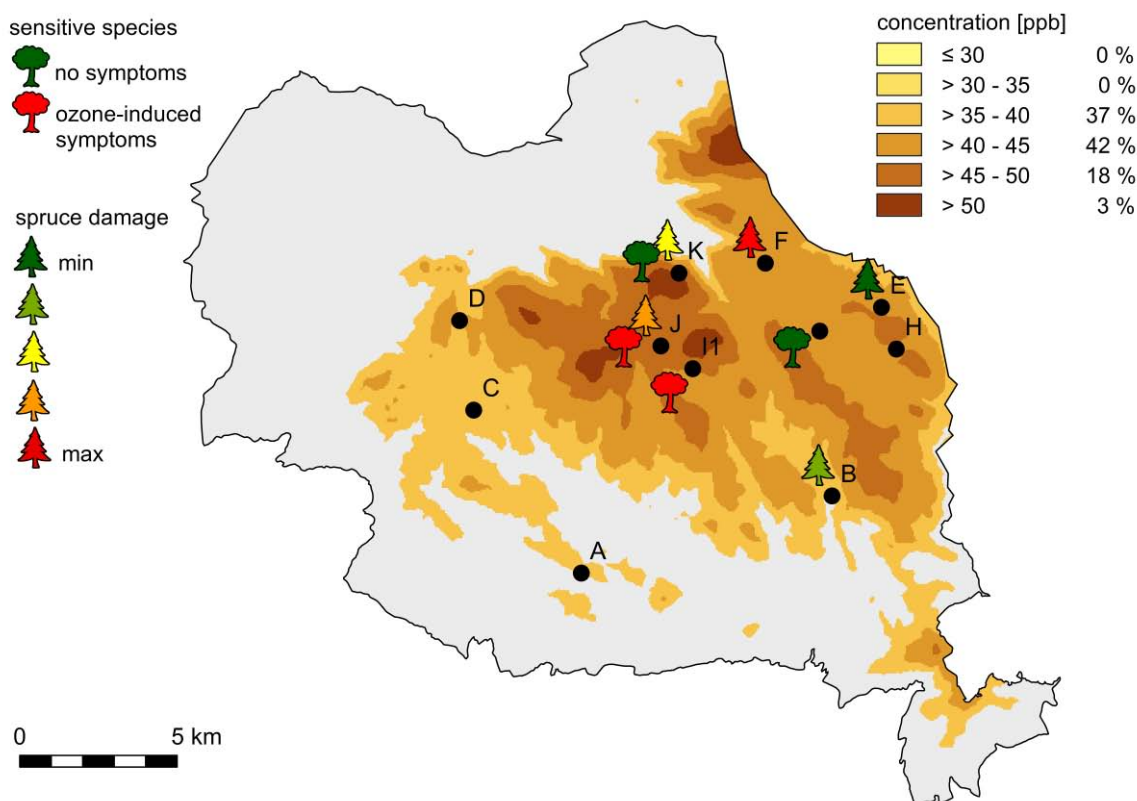
²Ústav pro životní prostředí, Přírodovědecká fakulta UK v Praze, Benátská 2, 120 00 Praha 2, ČR

Abstract / Research highlights

We present results of five-year monitoring of ambient O₃ concentrations in Central European medium altitude mountain forested area. O₃ levels were measured at 11 sites between 760 and 1000 m a.s.l. in 2006–2010 vegetation seasons by diffusive samplers Ogawa. Observed O₃ concentrations in the Jizerské hory Mts. was relatively high and comparable with polluted sites in Southern Europe and in higher altitudes. O₃ concentrations differed significantly among individual sites and in individual years. O₃ concentrations showed clear dependence on altitude at sites with similar aspect. O₃ concentrations measured at forest edge were consistently lower as compared to these ones measured at the same site but at the forest clearing. It is evident that the macro-setting of the O₃ monitoring site is crucial for obtaining reliable results with high representativeness for the area. Additionally, we studied O₃-induced symptoms on native vegetation, on seven species regarded as ozone-sensitive: *Alchemilla* spp., *Cirsium heterophyllum*, *Geranium sylvaticum*, *Rubus idaeus*, *Sorbus aucuparia*, *Betula pendula*, and *Fagus sylvatica*. Moreover, we also observed injury in spruce needles (*Picea abies*) – both macroscopically, and using microscopic and biochemical analysis. Though we found the injuries on vegetation, the extent was much less than expected considering the recorded O₃ exposures.

Keywords: ambient ozone, diffusive samplers, spatial and temporal variations, visible symptoms on vegetation

Graphical abstract



Literatúra

Bendáková, H., Hůnová, I., 2015: Přizemní ozon jako jeden z faktorů oxidativního stresu v horských lesích. Meteorologické zprávy, 68: 8–17.

Hůnová, I., Matoušková, L., Srněnský, R., Koželková, K., 2011: Ozone influence on native vegetation in the Jizerke hory Mts. Of the Czech Republic: results based on ozone exposure and ozone-induced visible symptoms. Environmental Monitoring and Assessment, 183: 501–515.

Hůnová, I., Schreiberová, M., 2012: Ambient ozone phytotoxic potential over the Czech forests as assessed by AOT40. iForest – Biogeosciences and Forestry, 5: 153–162.

Hůnová, I., Stoklasová, P., Schovánková, J., Kulasová, A., 2015: Spatial and temporal trends of ozone distribution in the Jizerské hory Mountains of the Czech Republic. Environmental Science and Pollution Research, doi: 10.1007/s11356-015-5258-0.

Koutrakis, P., Wolfson, J.M., Bunyarovich, A., Froelich, S.E., Koichiro, H., Mulik J.D. 1993: Measurement of ambient ozone using a nitrate-coated filter. Analytical chemistry, 65: 209–214.

Matoušková, L., Hůnová, I., 2013: Vliv přizemního ozonu na vegetaci v horském ekosystému: hodnocení pomocí stomatálního toku. Meteorologické zprávy, 66: 6–16.

Vlasáková-Matoušková, L., Hůnová, I., 2015: Stomatal ozone flux and visible leaf injury in native juvenile trees of *Fygy sylvatica* L.: a field study from the Jizerské hory Mts., Czech Republic. Environmental Science and Pollution Research, 22:10034–10046.

MODELOVANIE STOMATÁLNEHO TOKU OZÓNU A ODHAD FYTOTOXICKÝCH OZÓNOVÝCH DÁVOK (PODy)

Svetlana Bičárová¹, Hana Pavlendová²

¹Ústav vied o Zemi SAV, pracovisko Stará Lesná, bicarova@ta3.sk

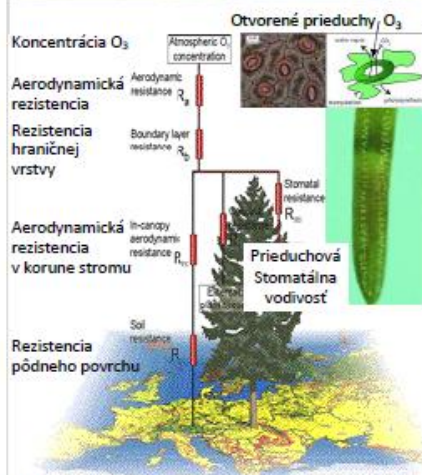
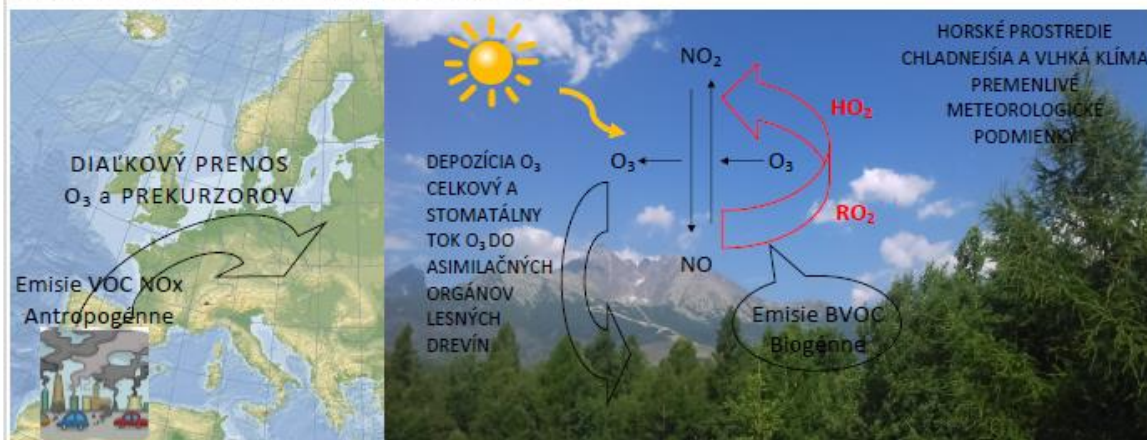
²Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen

Abstrakt

Nadmerné koncentrácie prízemného ozónu (O_3) zhoršujú kvalitu ovzdušia. O_3 vstupuje do interakcií s terestriálnou biotou a v dôsledku oxidačného stresu môže mať fytotoxický vplyv na vegetáciu. V súčasnosti je hodnotenie O_3 znečistenia orientované na sledovanie toku O_3 do prieduchových otvorov rastlinných buniek. Hlavným indikátorom je hodnota fytotoxickéj ozónovej dávky (POD), ktorá v prípade prekročenia limitnej úrovne indikuje stratu zásob uhlíka v živých stromoch a zvýšenie rizika pôdnej erózie, lavín, povodní, pôdnych zosuvov a ďalších disturbancií. Na Slovensku sa mapovaním a hodnotením POD zaoberá projekt MapPOD, ktorý je zameraný na lesy v oblasti Vysokých Tatier. V rámci projektu MapPOD boli vybrané experimentálne plochy s prihliadnutím na existujúce prístrojové vybavenie, nadmorskú výšku a drevinové zloženie porastov v okolí podľa údajov z lesníckych databáz. Na juhovýchodnej strane Vysokých Tatier sa nachádzajú tri plochy a to vo výškovom profile od podhoria (Stará Lesná - 810 m n.m.) cez lesné pásmo (Štart - 1150 m n.m.) až po pásmo kosodreviny (Skalnaté Pleso - 1778 m n.m.). Severnú stranu reprezentuje oblasť Tatranskej Javoriny s monitorovacími plochami pri horárni Podmuráň (1100 m n.m.) a v Kolovej doline (1570 m n.m.). Uvedené plochy sú vybavené analyzátormi na kontinuálne meranie koncentrácie O_3 a automatické meteostanice zaznamenávajú meteorologické údaje potrebné pre vstup do modelového výpočtu. Na výpočet stomatálnej vodivosti a fytotoxickéj ozónovej dávky bol použitý multiplikatívny depozičný model DO_3SE . Tento model bol vyvinutý pre odhad fytotoxického pôsobenia O_3 na vegetáciu podľa metodických usmernení v súlade s Dohovorom EHK OSN o hodnotení vplyvov na životné prostredie presahujúcich štátne hranice (UNECE LRTAP). Uživateľská verzia ($DO_3SE_INTv2.0$) a detailnejšie informácie o modeli sú k dispozícii na stránke (<http://www.sei-international.org/do3se>). Prvé výsledky depozičného modelu DO_3SE pre vegetačné obdobie 2014 poukazujú na prekročenie kritickéj úrovne $POD1$ pre ihličnaté dreviny na všetkých sledovaných experimentálnych plochách v oblasti Vysokých Tatier. Kritická úroveň bola prekročená už v júli, v záverečnej fáze vegetačného obdobia sa modelové hodnoty $POD1$ pohybovali v rozsahu od 13,6 do 16,2 $mmol\ m^{-2}\ PLA$, čo predstavuje približne dvojnásobok hodnoty definovanej pre kritickú úroveň. Z uvedených výsledkov vyplýva, že O_3 znečistenie zhoršuje kvalitu ovzdušia v horskom prostredí a má nepriaznivý vplyv na lesnú vegetáciu vo Vysokých Tatrách.

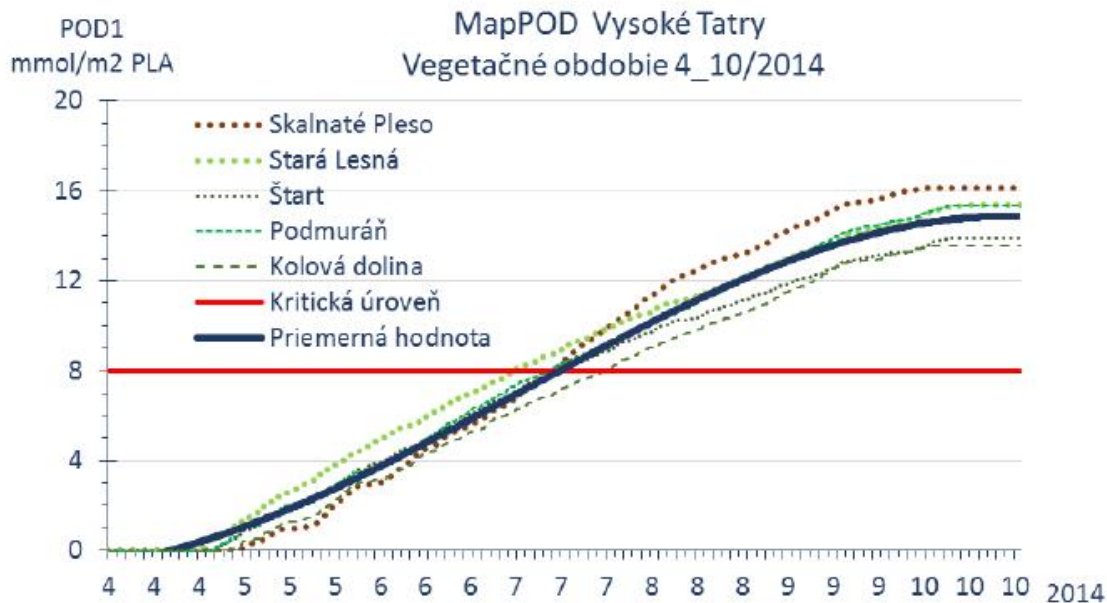
Interaction of ambient ozone (O_3) with terrestrial biota may resulted to phytotoxic injury of vegetation due to oxidative stress. Effect of O_3 on forest tree species is a complex process. High phytotoxic potential is associated with stomatal O_3 flux. In this work, stomatal O_3 flux and Phytotoxic Ozone Dose (POD) were estimated by multiplicative deposition model DO_3SE for selected experimental sites in the High Tatras in frame of project MapPOD. The first results show a high phytotoxic potential of O_3 pollution in the mountain environment. $POD1$ critical level ($8\ mmol\ m^{-2}\ PLA$) was exceeded at all considered sites approximately in half of the main growing season (July 2014). At the end of October 2014 $POD1$ achieved values in range from 13.6 to 16.2 $mmol\ m^{-2}\ PLA$ that means approximately twice of the critical level.

PRÍZEMNÝ OZÓN V HORSKÝCH LESOCH



DO₃SE model (Emberson et al. 2005)

Multiplikatívny depozičný model DO₃SE počíta celkový a stomatálny tok O₃ do rastlinných buniek na základe nameraných koncentrácií O₃, meteorologických údajov a parametrov špecifických pre vybranú lokalitu a typ dreviny. V prípade stomatálneho toku O₃ s hodnotou nižšou ako je limitná úroveň 1,0 nmol.m⁻²PLA.s⁻¹ je toxický vplyv O₃ na rastlinu minimálny. Pri vyšších hodnotách sa počíta tzv. akumulovaný stomatálny tok. Fytotoxická ozónová dávka (POD1) je teda súčet priemerných hodinových hodnôt stomatálneho toku O₃ prevyšujúcich limitnú hodnotu 1,0 nmol.m⁻² PLA.s⁻¹ počas vegetačného obdobia (pre lesné dreviny zvyčajne od apríla do októbra). Kritická úroveň POD1 navrhnutá pre ihličnaté dreviny a smrek predstavuje 8 mmol m⁻² PLA (Projected Leaf Area). Predpokladá sa, že po prekročení tejto kritickej úrovne dochádza vplyvom nepriaznivého pôsobenia O₃ k asi 2%-nej redukcii biomasy [Mills et al., 2011].



GROUND LEVEL OZONE CONCENTRATION RELATED TO LEAF DAMAGE AS A FUNCTION OF ENVIRONMENTAL VARIABLES

Emilie Bednářová¹, Jiří Kučera²

¹Mendel University in Brno, Czech Republic

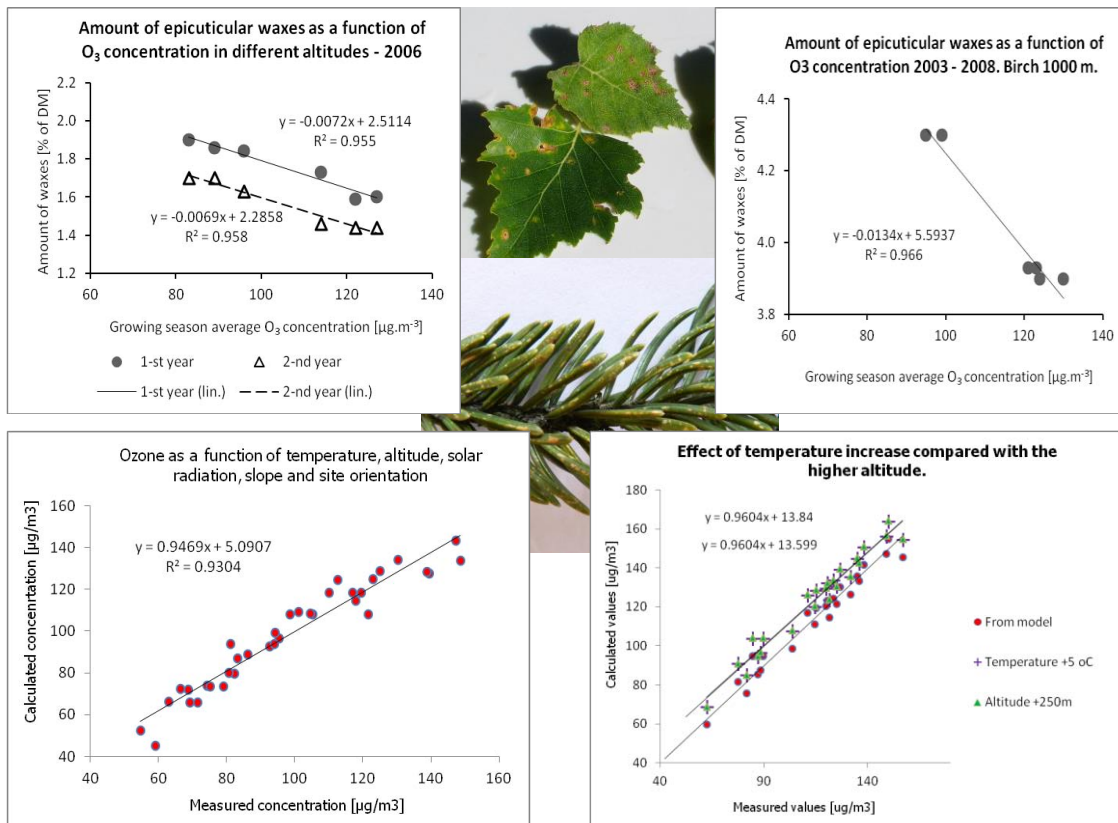
²EMS Brno, Czech Republic

Abstract / Research highlights

Links between concentration of ground level ozone and damage to epicuticular waxes were studied in two species (*Picea abies* L., *Betula pendula* Roth) in Ore Mountains. Measurement of concentration of ground level ozone was performed monthly by passive samplers in six different altitudes between 730 and 1240 m during vegetation seasons 2006 to 2011. Air temperature and global solar radiation were continuously measured in hourly intervals during the whole time period. Leaf samples for analysis of waxes were collected twice within each of the growing seasons. The amount of epicuticular waxes negatively correlated with ozone concentration in both species and various altitudes. Measured values of ozone concentrations were simulated as a function of meteorological variables and most relevant site characteristics - slope, altitude and orientation - using the multi regression analysis. Modeled data matched measured ones with coefficient of determination $R^2 = 0.93$ for the whole measuring period. Subsequent modeling of effects of temperature and altitude on ozone concentration showed that increase of average seasonal temperature by 5 °C equaled to effect of increased elevation by 250 meters, however given the total range of data this increase was negligible. Therefore, possible increase of ground level ozone concentrations in the future will be caused more likely by higher concentration of precursors than by elevated air temperature.

Keywords: epicuticular waxes damage; ground level ozone; model

Graphical abstract



MONITORING PRÍZEMNÉHO OZÓNU POMOCOU PASÍVNYCH SENZOROV – WERNEROVA METÓDA

Daniela Kellerová¹, Rastislav Janík¹, Svetlana Bičárová²

¹Ústav ekológie lesa SAV Zvolen

²Geofyzikálny ústav SAV Meteorologické observatórium Stará Lesná

Abstract

This work is focused on O₃ monitoring carried out by passive indigo samplers. Experiment was realized at three selected sites in the High Tatra Mts. during the main growing season from April to October 2014. Similar seasonal O₃ averages for Tatranská Javorina (74 µg m⁻³) and Stará Lesná (72 µg m⁻³), and slightly lower value (67 µg m⁻³) at the third locality near Skalnaté pleso were noticed. Seasonal peak was achieved in May at all experimental sites. Frequently exceedances of limit value 65 µg m⁻³ indicate occurrence of high O₃ concentration and unfavorable conditions for living organisms in forest ecosystems. Further work is needed for improving of indigo method application in field conditions.

Keywords: passive samplers, indigo, MapPOD

Motivácia

Kontinuálne meranie koncentrácie prízemného ozónu (O₃) pomocou kalibrovaných aktívnych analyzátorov je náročné z hľadiska technického vybavenia i servisu a vyžaduje stabilný zdroj elektrickej energie. V členitom horskom teréne preto nachádzajú uplatnenie technicky menej náročné tzv. pasívne metódy. V princípe ide o chemickú reakciu medzi O₃ a špecifickou látkou, ktoré spolu reagujú vo voľnom prostredí počas optimálneho časového obdobia (1-2 týždne). Expirované vzorky sa následne analyzujú v laboratóriu a na základe kalibračných kriviek sa vyhodnocuje priemerná koncentrácia O₃ pre sledované obdobie. Vo Vysokých Tatrách bol v minulosti realizovaný monitoring O₃ pomocou pasívnych senzorov typu Ogawa (Bytnerowicz et al., 2004). Aplikované boli tiež metódy, ktoré vychádzajú napr. zo selektívnej reakcie O₃ s indigom alebo jodidom draselným (Šablatúrová a Bičárová, 1995). V tejto práci sú prezentované výsledky a praktické poznatky z meraní O₃ koncentrácií pomocou indigovej metódy na vybraných experimentálnych plochách vo Vysokých Tatrách v rámci projektu MapPOD.

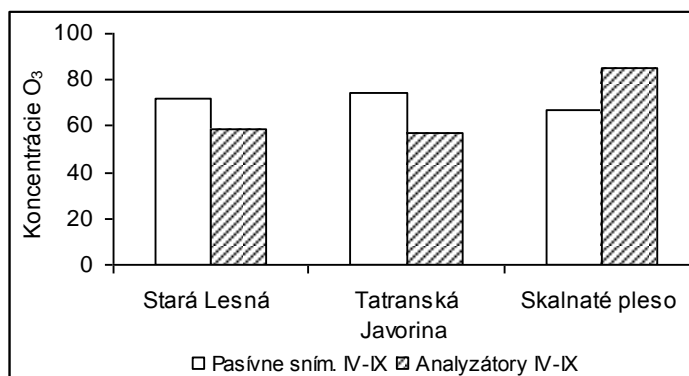
Metóda

Monitoring O₃ sa uskutočnil vo vegetačnom období (apríl – september) roku 2014 na vybraných plochách: Stará Lesná ($\varphi = 49^{\circ} 09' N$, $\lambda = 20^{\circ} 17' E$, $H = 810 \text{ m n m}$), Skalnaté Pleso ($\varphi = 49^{\circ} 11' N$, $\lambda = 20^{\circ} 14' E$, $H = 1778 \text{ m n m}$) a Tatranská Javorina-Podmuráň ($\varphi = 49^{\circ} 26' N$, $\lambda = 20^{\circ} 16'$, $H = 1100 \text{ m n m}$). Tieto experimentálne plochy sú vybavené aktívnymi O₃ analyzátormi, nachádzajú sa tu aj automatické meteorologické stanice. V Starej Lesnej a na Skalnatom Plese boli pasívne snímače umiestnené do meteorologických búdok, na Podmuráni bol pripravený špeciálny stojan vo výške 1,5 m. Pasívne snímače boli pripravené podľa Wernerovej metódy (Werner et al. 1991, Werner et al. 1999). Princíp stanovenia spočíva v selektívnej reakcii indiga nanoseného na filtračnom papieri s O₃ v ovzduší počas 7-10 dňovej expozície v teréne. Reakciou indiga s O₃ vzniká izatín. Po expozícii je pozorovateľná farebná zmena, z indigovej modrej na izatínovú žltú. Exponované papieriky sa extrahujú v laboratóriu etanolom. Stanovenie sa uskutočňuje spektrofotometricky pri vlnovej dĺžke 408 nm. Koncentrácia ozónu sa udáva v štandardných jednotkách ppb resp. µg m⁻³ prepočítané na deň.

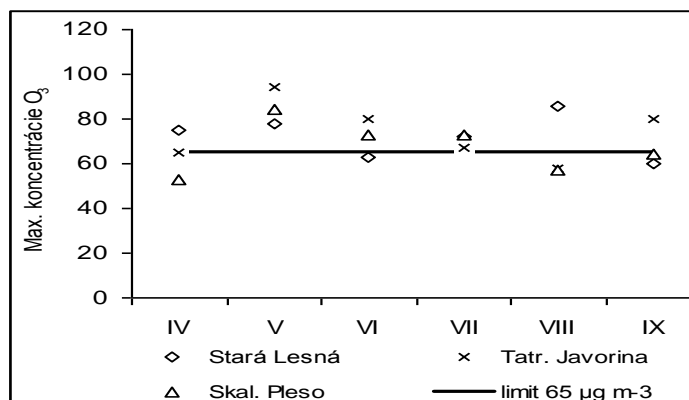
Údaje a výsledky

Najvyššie priemerné sezónne hodnoty boli namerané v Tatranskej Javorine 74 a v Starej Lesnej 72 $\mu\text{g m}^{-3}$. Výsledky pasívnych snímačov na týchto lokalitách preyšujú priemerné hodnoty koncentrácie O_3 vyhodnotené na základe meraní aktívnymi O_3 monitormi (Obr. 1). Naopak na Skalnatom Plese kontinuálny analyzátor zaznamenal vyššie koncentrácie O_3 v porovnaní s výsledkami z pasívnych vzorkovačov. Rozdiely mohli byť spôsobené nedostatočnou ochranou exponovaných vzoriek pred intenzívnym dažďom a silným vetrom, ktoré sú vo vyšších polohách podstatne silnejšie ako v podhorí.

Kontinuálne merania v rámci Slovenska majú v Starej Lesnej najdlhší časový rad, od roku 1992. Priemerné ročné koncentrácie merané automatickými analyzátormi v Starej Lesnej za posledných desať rokov boli vyššie ako ekologický limit 65 $\mu\text{g m}^{-3}$ (EEC 1992), výnimkou s nižšími koncentraciami boli roky 2004, 2009 a 2012 (Klinda et al. 2015). V roku 2013 bola priemerná ročná koncentrácia O_3 v Starej Lesnej 71 $\mu\text{g m}^{-3}$. Veľmi dôležitým ukazovateľom pri zhodnocovaní stavu koncentrácií O_3 v rurálnych oblastiach sú nadlimitné prekročenia. V ostatnom čase nie sú ojedinelé a indikujú nepriaznivý vplyv O_3 znečistenia na živé organizmy v lesnom ekosystéme. Pre posúdenie poznatkov koncentrácie O_3 a krátkodobého imisného limitu bola použitá hodnota 65 $\mu\text{g m}^{-3}$ (32,5 ppb deň⁻¹) stanovená EÚ v roku 1992 ako 24 h priemerná koncentrácia (EEC 1992). V priebehu vegetačného obdobia 2014 bol na všetkých plochách 12x prekročený limit 65 $\mu\text{g m}^{-3}$ (Obr. 2). Najviac sa nadlimitné prekročenia vyskytli v Tatranskej Javorine a to počas celej teplej periódy, výnimkou boli len augustové merania. Taktiež najvyššia hodnota 94 $\mu\text{g m}^{-3}$ bola zaznamenaná v Tatranskej Javorine a to v máji 2014. Počas letných mesiacov, kedy merania prebiehali, sa javili koncentrácie O_3 ako pomerne vyrovnané. Najvyššie hodnoty 78, 94 a 84 $\mu\text{g m}^{-3}$ boli pasívnymi snímačmi namerané v máji na všetkých troch výskumných plochách. V Starej Lesnej bola vysoká koncentrácia 86 $\mu\text{g m}^{-3}$ zistená v auguste a v Tatranskej Javorine júni a septembri. V máji a júli bol imisný limit 65 $\mu\text{g m}^{-3}$ prekročený na všetkých výskumných plochách. Nižšie podlimitné hodnoty boli najmä v auguste a septembri.



Obr. 1. Diferencie a variabilita koncentrácií ozónu ($\mu\text{g m}^{-3}$) na experimentálnych plochách vo Vysokých Tatrách v roku 2014 meraných aktívnymi analyzátormi a pasívnymi snímačmi



Obr. 2. Maximálne koncentrácie ozónu porovnané s dlhodobou kritickou úrovňou koncentrácie ozónu pre lesné ekosystémy, imisným limitom 65 $\mu\text{g m}^{-3}$ (EEC 1992)

Záver

Experiment zameraný na monitoring O₃ pomocou pasívnych senzorov bol realizovaný na troch vybraných lokalitách vo Vysokých Tatrách počas hlavného vegetačného obdobia od apríla do októbra 2014. Najvyššie priemerné sezónne hodnoty boli namerané v Tatranskej Javorine (74 µg.m⁻³) a v Starej Lesnej (72 µg m⁻³), najnižšie na lokalite pri Skalnatom plese a to 67 µg.m⁻³. V priebehu vegetačnej sezóny boli zistené najvyššie priemerné mesačné hodnoty v mesiaci máji a to na všetkých výskumných plochách. V sledovanom období bol na všetkých plochách 12x prekročený imisný limit 65 µg m⁻³. Z uvedených výsledkov vyplýva, že hodnoty koncentrácií O₃ sú vo vysokohorskom prostredí stále vysoké a indikujú nepriaznivý vplyv O₃ znečistenia na živé organizmy v lesnom ekosystéme.

Pod'akovanie

Uvedená práca vznikla za finančnej podpory Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva SR a Slovenskej akadémie vied (Projekty č. 2/0027/13, 2/0089/14 , 2/0053/14 a APVV 0429/12).

Literatúra

Bytnerowicz, A., Godzik, B., Grodzinska, K., Frączek, W., Musselman, R., Manning, W., Badea, O., Popescu, F., Fleischer, P. 2004: Ambient ozone in forest of Central and Eastern European mountains. *Environ. Pollution*, 130: 5-16.

EEC Council Directive 92/72/EEC.: Official Journal of the European Communities, Commission of the European Communities L, 297, 1992: 1-4.

Klinda, J., Lieskovská, Z., 2015: Správa o stave životného prostredia Slovenskej republiky v roku 2013. MŽP SR Bratislava, SAŽP Banská Bystrica, pp. 220

Šablatúrová E., Bičárová S. 1995: Integral methods of ozone determination in forest ecosystem – Lesnícky časopis – Forestry Journal, 41: 97–103 (in Slovak)

Werner, H.: Methodische Details für das Ozonmonitoring mit Indigopapieren. II Workshop zum Thema Integrale Messmethoden, Salzburg, AGRE ALP, AGRE ALPEN-AGRIA, 1991: 1-110.

Werner, H., Kirchner, M, Welzl, G., Hangartner, M.: Ozone measurements along vertical transects in the Alps. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 6, 1999: 83-87.

ČASOVÁ A PRIESTOROVÁ VARIABILITA KONCENTRÁCIE PRÍZEMNÉHO OZÓNU V TATRÁCH V KONTEXTE NÁVŠTEVNOSTI TATRANSKÉHO VYSOKOHORSKÉHO PROSTREDIA

Lucia Čekovská¹, Peter Fleischer ml.²

¹Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra fyzickej geografie a geoekológie, Mlynská dolina, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava 4, luci.cekovska@gmail.com

²Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, Katedra prírodného prostredia, Ul. T.G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, p.fleischerjr@gmail.com

Abstract / Research highlights

This article is focused on the monitoring of the concentration of ground level ozone (O₃) in the Tatra Mountains and presents selected results from this monitoring. The concentration of O₃ was monitored in the Tatras in two ways: using passive sensors from 1998 to 2004 in a total of 32 locations in both the Slovak and Polish parts of the Tatras and using active monitoring methods from 2000 to 2014 in a total of 10 locations in the Slovak part of the Tatras. The daily and yearly levels of ground level ozone were evaluated from the data gathered for each site. A change in O₃ concentration with higher altitudes was used to represent the spatial variability of the concentration of ground level ozone in the Tatra Mountains. The spatial variability of O₃ concentration was compared with the spatial distribution of visitors of monitored area and possible danger locations with high visit rate together with high O₃ concentration were identified. Recommendation for visitors of the Tatra's area was created.

Keywords: ground level ozone, the Tatra Mountains, visit rate

Motivácia

Prízemný ozón (O₃) je plynnou látkou prirodzene sa vyskytujúcou v prízemnej vrstve zemskej atmosféry – v troposfére. Koncentrácia prízemného ozónu začala výrazne narastať v industriálnej dobe vplyvom hospodárskej aktivity človeka (Závodský, 1998). V súčasnosti je prízemný ozón považovaný za súčasť fotochemického smogu a pre jeho toxicitu a negatívne účinky na vegetáciu a ľudský organizmus sa jeho monitorovaniu venuje osobitá pozornosť (Melicherčík et Melicherčíková, 1997).

Zvýšené koncentrácie prízemného ozónu nie sú charakteristické len pre mestské oblasti, kde sa predpokladá aj zvýšený výskyt prekursorov tvorby ozónu pochádzajúcich z priemyslu alebo dopravy. Kontinuálny monitoring prízemného ozónu, ktorý sa začal uskutočňovať začiatkom 90-tych rokov v Starej Lesnej, ako aj následný výskum zameraný na hodnotenie priestorovej variability koncentrácie prízemného ozónu na území Karpát poukázali na fakt, že oblasť Tatier dosahuje jedny z najvyšších hodnôt koncentrácie prízemného ozónu v rámci Slovenska (Bičárová et Fleischer, 2004; Bytnerowicz et al., 2002). Toto zistenie iniciovalo vznik systematického monitorovania koncentrácie prízemného ozónu v Tatrách a ich podhorí, ktorého vybrané výsledky prezentuje aj predkladaný príspevok. Cieľom príspevku je tiež znázorniť a posúdiť priestorovú variabilitu koncentrácie prízemného ozónu v Tatrách v kontexte priestorovej diferenciácie návštevnosti tatranského vysokohorského prostredia.

Metódy

Systematický monitoring koncentrácie prízemného ozónu v Tatrách bol uskutočňovaný dvoma spôsobmi – prostredníctvom pasívnych snímačov a prostredníctvom aktívnych monitorov. Pasívne snímače typu Ogawa tvorili celulózové filtre napustené roztokom dusitanu sodného, umiestnené v dutých plastových valčekoch, chránené kovovou mriežkou a radiačným krytom. Snímače boli používané v rokoch 1998-2004 počas vegetačného obdobia, t. j. od 1. mája do 30. septembra, a poskytovali údaje o koncentrácii prízemného O₃ v podobe 14-dňového priemeru (Fleischer et al., 2009). Inštalované boli celkovo v 32 lokalitách s nadmorskou výškou 810-2634 m n. m., pričom 19 lokalít sa nachádzalo v slovenskej a 13 v poľskej časti Tatier.

Aktívne monitory predstavovali UV absorpčné spektrofotometrické analyzátory Thermoelectron TEI 49C. V

období rokov 2000 – 2014 boli použité celkovo v 10 lokalitách slovenskej časti Tatier. Koncentráciu prízemného ozónu monitorovali počas celého roka a zaznamenávali ju v podobe priemerných 60-minútových hodnôt.

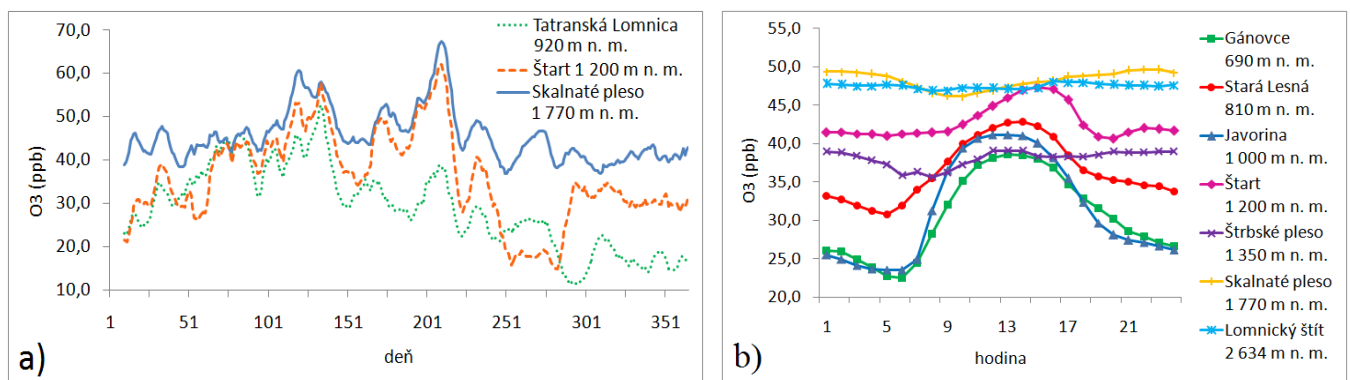
Pri vyhodnotení priestorovej variability koncentrácie prízemného ozónu v Tatrách bola využitá závislosť zmeny koncentrácie prízemného ozónu s nadmorskou výškou a reliéfovými tvarmi stanovená na základe výsledkov meraní pasívnymi snímačmi. Vstupné dáta tvorili priemerné koncentrácie prízemného ozónu vo vegetačnom období za celé monitorovacie obdobie 1998 – 2004 na jednotlivých lokalitách s inštalovanými pasívnymi snímačmi. Bodové hodnoty priemernej koncentrácie prízemného ozónu boli extrapolované na digitálny model reliéfu v prostredí ArcGIS prostredníctvom funkcie raster calculator.

Priestorová diferenciácia návštevnosti tatranského vysokohorského prostredia bola vyhodnotená na základe výsledkov sčítaní návštevníkov Tatranského národného parku organizovaných každoročne Štátnymi lesmi TANAP-u a ďalšími partnerskými inštitúciami vo vybraných dňoch letnej turistickej sezóny. Výsledky uvedených sčítaní boli spracované a graficky znázornené prostredníctvom softvéru ArcGIS.

Údaje a výsledky

Na základe výsledkov meraní aktívnymi monitormi boli vytvorené grafy ročných a denných priebehov koncentrácie prízemného ozónu na jednotlivých meracích lokalitách. V ročnom priebehu priemernej dennej koncentrácie prízemného ozónu je možné pozorovať dve maximá. K jarnému maximu dochádza koncom marca až začiatkom mája v každej meracej lokalite bez ohľadu na jej nadmorskú výšku. V tomto období existujú len malé rozdiely v priemerných denných koncentráciách prízemného ozónu na jednotlivých lokalitách. Letné maximum nastáva na prelome júla a augusta a je výrazné najmä vo vyššie položených lokalitách. Minimum v ročnom priebehu priemernej dennej koncentrácie prízemného ozónu bolo na všetkých meracích lokalitách zaznamenané v neskorom jesennom až zimnom období (Obr. 1a).

Nadmorská výška lokality má vplyv aj na denný priebeh koncentrácie prízemného ozónu. V lokalitách s menšou nadmorskou výškou je koncentrácia O₃ počas dňa najnižšia v ranných hodinách, v priebehu predpoludnia dochádza k jej nárastu a popoludní dosahuje výrazné maximum. S rastom nadmorskej výšky lokality dochádza k znižovaniu amplitúdy v dennom priebehu koncentrácie prízemného ozónu a v najvyšších nadmorských výškach je koncentrácia O₃ počas dňa takmer vyrovnaná, s nevýrazným maximum v neskorých nočných a skorých ranných hodinách (Obr. 1b).



Obr. 1 Ročný (a) a denný (b) priebeh koncentrácie prízemného ozónu na vybraných lokalitách v roku 2006 (a), resp. 2007 (b)

Okrem vplyvu nadmorskej výšky na denný a ročný priebeh koncentrácie prízemného ozónu merania aktívnymi monitormi aj pasívnymi snímačmi potvrdili zmenu priemernej koncentrácie prízemného ozónu s nadmorskou výškou. Na základe výsledkov meraní pasívnymi snímačmi závislosť priemernej koncentrácie O₃ v ppb (y) od nadmorskej výšky v metroch (x) najlepšie vyjadruje polynommická regresia 2. stupňa:

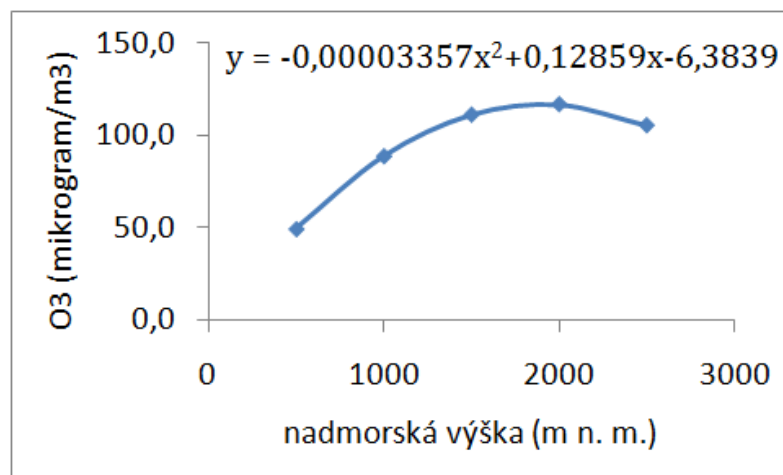
$$y = 0,5(-0,00003357x^2+0,12859x-6,3839)$$

resp.

$$y = -0,00003357x^2+0,12859x-6,3839 \quad (\text{Obr. 2})$$

ak je priemerná koncentrácia O₃ (y) udávaná v jednotkách µg/m³. Uvedený regresný vzťah je pomerne

tesný ($R^2 = 0,81$) a je štatisticky významný ($p = 0,036$). Parametre regresnej rovnice boli použité pri priestorovej extrapolácii, ktorej výsledkom je znázornenie priestorovej variability koncentrácie prízemného ozónu v Tatrách vo vegetačnom období. Jej porovnaním s priestorovou diferenciaciou návštevnosti tatranského vysokohorského prostredia počas letnej turistickej sezóny (Obr. 3) bolo určených niekoľko lokalít, ktoré je možné označiť ako potenciálne rizikové z dôvodu, že priemerné koncentrácie prízemného ozónu v nich dosahujú hodnoty prekračujúce hygienickú normu $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ stanovenú pre ochranu ľudského zdravia Smernicou Rady 92/72/EHS o znečistení ovzdušia ozónom (v zmysle vyššie uvedeného regresného vzťahu ide o lokality s nadmorskou výškou približne od 1 500 do 2 300 m n. m.), a zároveň sa v nich pravidelne pohybuje pomerne veľký počet návštevníkov - 1 000 a viac osôb denne. Na základe týchto kritérií boli ako lokality záujmového územia potenciálne rizikové pre zdravie človeka z dôvodu vysokej koncentrácie prízemného ozónu určené: severná časť Mlynickej doliny (po vodopád Skok), Chata pod Soliskom, severná časť Mengusovskej doliny (po odbočku na Rysy), Veľká Studená dolina (so Zbojníckou chatou), Malá Studená dolina (s Téryho chatou), úsek Tatranskej magistrály od Zamkovského chaty po Skalnaté pleso a Skalnaté pleso.



Obr. 2 Zmena priemernej koncentrácie prízemného ozónu (v $\mu\text{g}/\text{m}^3$) s nadmorskou výškou

Záver

Koncentrácie prízemného ozónu namerané v oblasti Tatier nikdy nedosahovali také hodnoty, aby spôsobili akútnu otravu ľudského organizmu ozónom. Napriek tomu je vhodné odporučiť najmä ľuďom, ktorí sa často nachádzajú a pohybujú vo väčších nadmorských výškach tatranského vysokohorského prostredia, aby v snahe eliminovať prípadné riziká a negatívne vplyvy na svoj organizmus a zdravie redukovali čas svojho pobytu vo vysokohorskom prostredí v období jarného a letného maxima v ročnom chode koncentrácie prízemného O₃ a pre svoj pobyt v tatranskom vysokohorskom prostredí volili radšej lokality menej zasiahnuté znečistením ovzdušia prízemným ozónom, resp. prekursorami jeho tvorby.

Podakovanie

Autori by sa na tomto mieste chceli poďakovať pracovníkom Štátnych lesov TANAP-u a Výskumnej stanice Štátnych lesov TANAP-u v Tatranskej Lomnici za poskytnutie dát, podkladov a materiálov k problematike prízemného ozónu v Tatrách a návštevnosti tatranského vysokohorského prostredia. Špeciálne poďakovanie patrí doc. Ing. Petrovi Fleischerovi, PhD. za jeho pomoc a cenné rady pri hodnotení prízemného ozónu v Tatrách.

Literatúra

Bičárová, S., Fleischer, P., 2004: Ground level ozone at the meteorological observatory Stará Lesná. Contributions to Geophysics and Geodesy, 2:111-129.

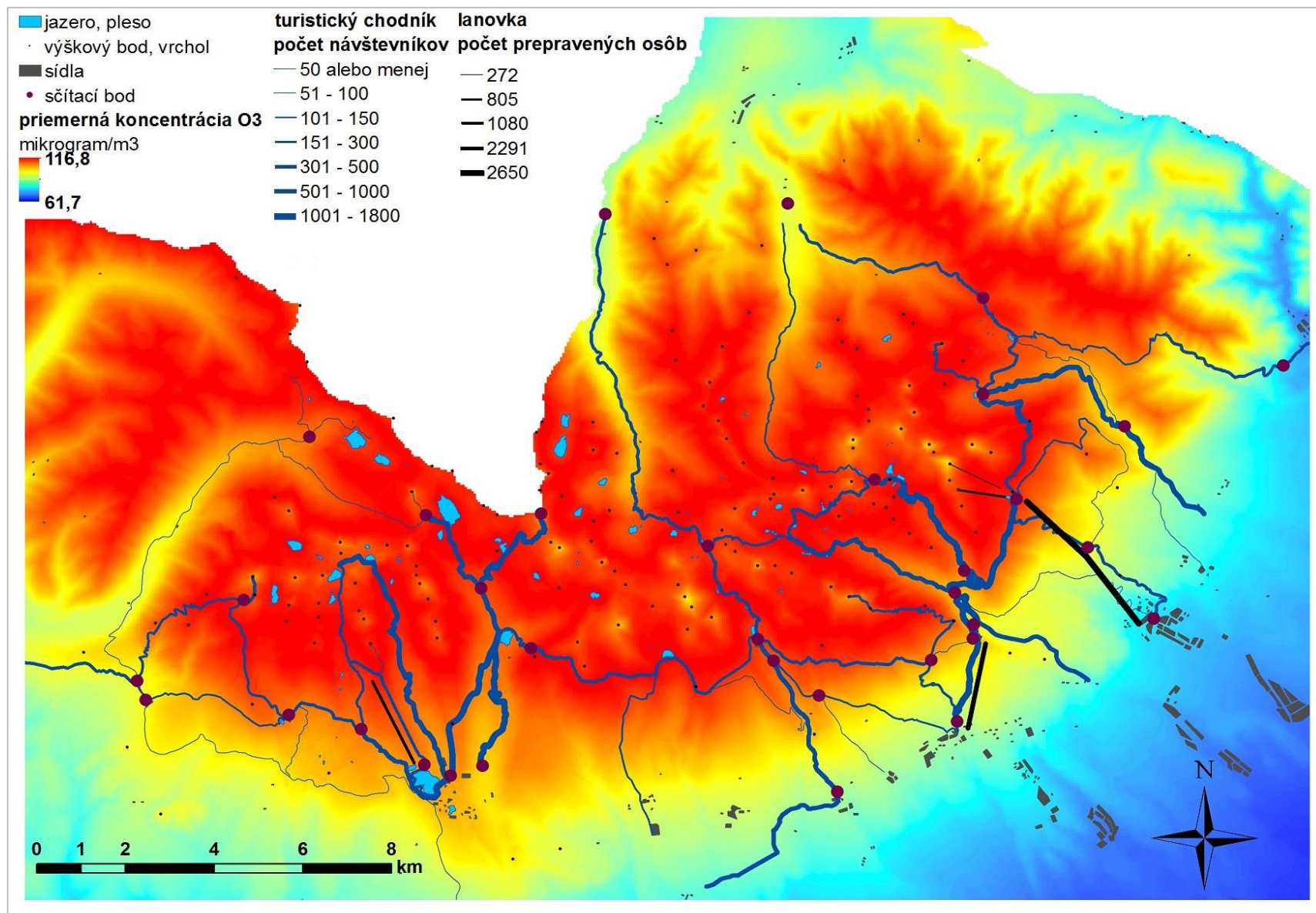
Bytnerowicz, A., et al., 2002: Distribution of ozone and other air pollutants in forests of the Carpathian Mountains in central Europe. Environmental Pollution, 116:3-25.

Fleischer, P., et al., 2009: Desat' rokov monitorovania vplyvu troposférického ozónu na lesy v Tatranskom národnom parku. Štúdie o Tatranskom národnom parku 9 (42):17-27.

Melicherčík, M., Melicherčíková, D., 1997: Bioanorganická chémia. PRÍRODA, Bratislava, 190 p.

Smernica Rady 92/72/EHS z 21. septembra 1992 o znečistení ovzdušia ozónom. dostupná online:
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31992L0072&from=EN>

Závodský, D., 1998: Surface ozone monitoring and modelling in the Slovak Republic. Acta Meteorologica Universitatis Comeniana, 27:1-15.



Obr. 3 Priestorová diferenciácia koncentrácie prízemného ozónu a návštevnosti v Tatrách pri sčítaní návštevníkov tatranského vysokohorského prostredia v roku 2013

FORMATION OF THE ATLAS OF TATRA MTS – AIR TEMPERATURE

Pavol Nejedlík¹, Katarína Mikulová², Anna Buchholcerová³

¹Earth Science Institute of SAS, Dúbravská cesta 9, 845 28, Bratislava

²Slovak Hydrometeorological Institute, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava

³Anna Buchholcerová, Faculty of Mathematics, Physics and Informatics of UK, Mlynská dolina, 811 02 Bratislava

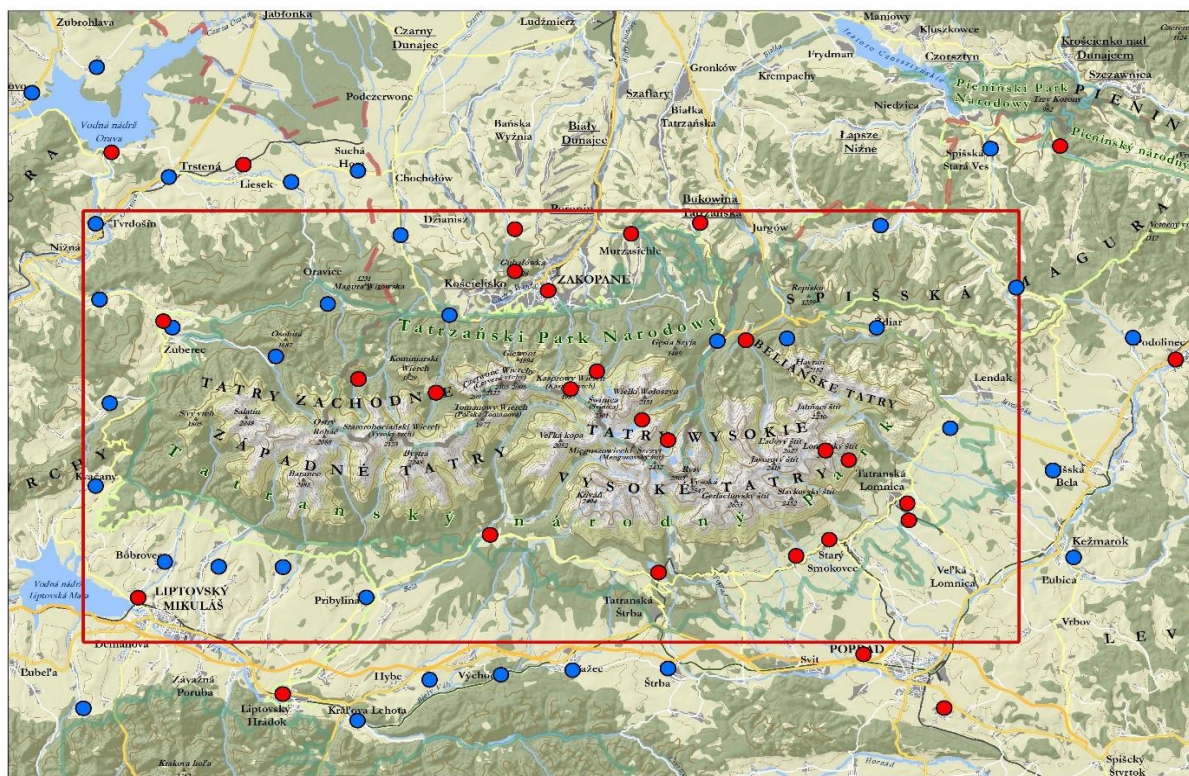
Abstract / Research highlights

Based upon the activity of „Tatrzański Park Narodowy Sekcja Zarządzania Danymi Przestrzennymi“ in Zakopane, PL a process of the creation of an Atlas of Tatra Mts. was initiated. This atlas has a few parts and this presentation describes the process of the creation of the maps of the air temperature which is involved in abiotic part of the atlas in :climate: section. Further to the characteristics of air temperature there were processed also the characteristics of air humidity, precipitation, wind, snow, aerological profiles followed by the climatic zoning. The area of interest in rectangular shape spreads from about Tvrdošín village in the west to Relov village in the east and from Polish Bukowina in the north to the north part of Poprad land registry in the south. The processing of the air temperature characteristics was based on the measurements in three climatic terms at 7, 14 and 21 hour of the local time. The data from all available stations from the area of interest and close surroundings were processed. 29 climatic stations with consistent data files entered the data processing. Difference of elevation of the used stations balanced from 465 m a.s.l. to 2,635 a.s.l. The area of interest as well as the location of used stations is in Map 1. Resulting maps of thermal conditions refer to the period 1991–2010 - the warmest in the last 100 years. These are first such detailed maps based on the most recent measurement data. This 20-year period was chosen because of the availability of input data from the largest number of stations from Poland.

Climatic maps show the distribution of air temperature in Tatra mountains and in its foothills: annual mean temperature and mean temperature in July and January. Annual amplitude of air temperature which borders its annual course was calculated as the difference between mean air temperatures of the coldest and warmest month of the particular year. Particular attention was paid to spatial distribution of temperature indices which are important with regard to vegetation growth - mean annual number of ice days ($t_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$), duration of frost-free period and thermal growing season (period with average daily temperature of at least 5°C). These were supplemented with data on multi-annual length and dates of start and end of thermal growing season at selected locations in the period 1981–2010 and multi-annual course of mean annual temperature.

The maps were created in ArcView Environment using digital elevation model and the relationship between air temperature and altitude. Map algebra was applied. All texts and legends were created in Polish, Slovak and English language.

The main feature of the climatic changes in the recent decades is the rise of temperature. Over 100 years (1911–2010) the rise of mean annual temperature reached about 1°C . Further to this upward trend, multi-annual course of air temperature is typified by a few- to several-year fluctuations with a large range ($2\text{--}4^{\circ}\text{C}$).



Legenda

- Klimatická stanica
- Zrážkomerná stanica
- Zaujímavé územie



Map 1 Zasięg Atlasu, stacje klimatyczne i opadowe/ Zaujímavé územie a polohy klimatických a zrážkomerných stanic/ Area of interest, climatic and precipitation stations

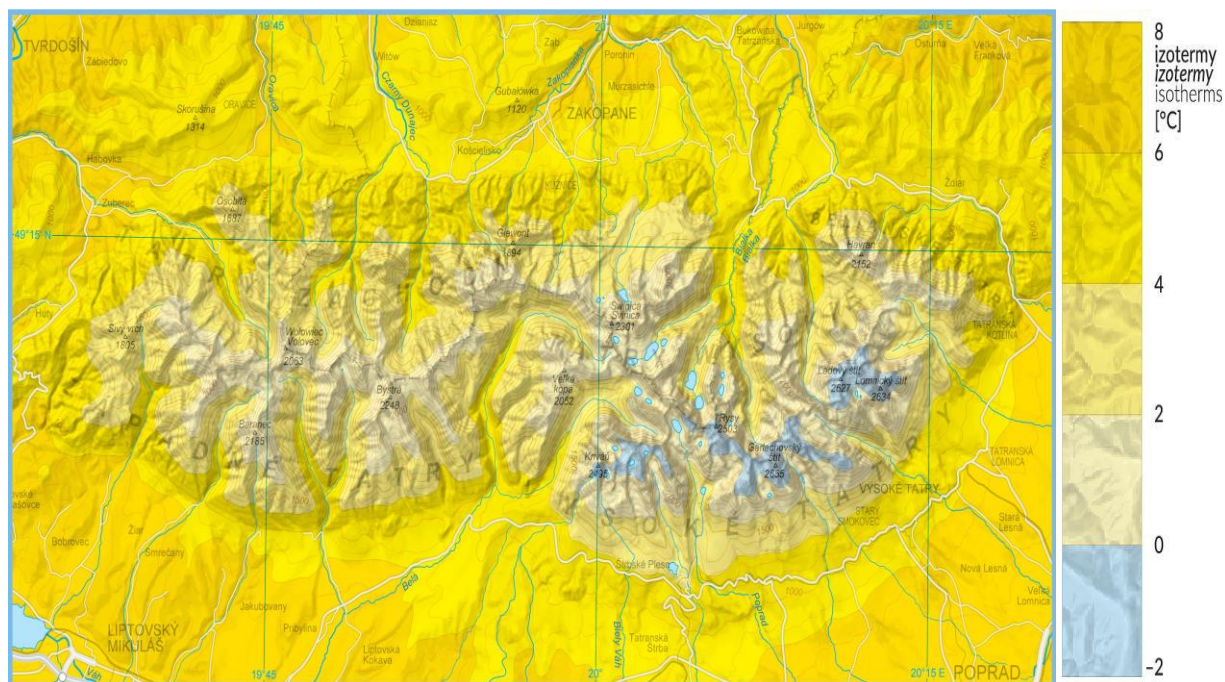


Fig. 1 Šrednia ročná temperatura vzduchu/ Priemerná ročná teplota vzduchu/ Mean annual air temperature

VARIABILITA NÁSTUPU FENOLOGICKEJ FÁZY PRVÉ MÁJOVÉ VÝHONKY BOROVICE LESNEJ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) NA SLOVENSKU ZA OBDOBIE 1996 – 2015

Zora Snopková¹, Hana Pavlendová², Zuzana Sitková², Kateřina Hrušková¹

¹ SHMÚ Bratislava, regionálne stredisko Banská Bystrica, Zelená 5, 974 04 Banská Bystrica, zora.snopkova@shmu.sk

² Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, T. G. Masaryka 22, 960 92 Zvolen

Abstract

This paper looks at the beginning of first May sprouts of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) on the territory of Slovakia during the period 1996 – 2015. We found that during evaluated 20-year period, there occurs a shift in 4.4 days to earlier dates in onset of first May sprouts pheno-phase of Scots Pine. Average onset date of first May sprouts pheno-phase in Slovakia during the evaluated period is from 24th April to 30th of May. The beginning of first May sprouts of Scots Pine in Slovakia starts in Záhorská lowland. The latest onset of this phenological stage was observed in the sub-mountainous regions of northern Slovakia: Orava, Liptov, Spiš, Kysuce and High Tatra Mts.

Key words: phenological stage, first May sprouts, Scots Pine

Úvod

Koncentrácie prízemného ozónu sú charakteristické ročným a denným chodom. Výrazne vyššie koncentrácie prízemného ozónu sa vyskytujú v teplej polovici roka v popoludňajších hodinách a sú obvykle spojené s vysokými teplotami, intenzívnym slnečným žiarením a malými rýchlosťami vetra. Zvýšené koncentrácie sa môžu vyskytovať aj vo väčších vzdialenostiach od mestských aglomerácií a tiež vo voľnej prírode. Ozón môže reagovať takmer so všetkými biologickými látkami a teda významne poškodzuje vegetáciu. Epizody zvýšených koncentrácií O₃ sa vyskytujú najmä cez vegetačné obdobie. Do rastlín preniká ozón prieduchmi (stomata) v listoch alebo ihliciach. Vďaka svojej vysokej reaktivite napadá bunkové steny a jeho účinky sa prejavujú výsevom svetlých škvŕn (chloróza) a v neskoršom štádiu bodovým rozpadom bunkového tkaniva (nekróza). Pri výraznejšom napadnutí listy a ihlice odumierajú. Z lesných drevín sú na pôsobenie ozónu veľmi citlivé smrekovec opadavý, borovica lesná a buk lesný. Koncom 20. storočia sa aj na lesnej vegetácii začali prejavovať nepriaznivé dopady zmeny klímy v dôsledku znečistenia ovzdušia (BRASLAVSKÁ, 2000). Tieto zmeny ekologických podmienok výrazne ovplyvnili nástup a dĺžku jednotlivých fenofáz, čo sa postupne odrazilo aj na aktuálnom postavení fenológie. Jej význam vzrástol pri sledovaní pôsobenia prípadných klimatických zmien na priestorové rozšírenie drevín a krov, a rovnako pri časových zmenách pri nástupe fenologických fáz počas vegetačného obdobia (SNOPKOVÁ, BRASLAVSKÁ, 2004, ŠKVARENINOVÁ, 2013). Fenologické pozorovania sú cenným zdrojom informácií pri monitorovaní a objasňovaní priebehu životných prejavov lesných drevín. Slúžia na zachytenie časového priebehu fenologických fáz v danej oblasti (HÁJKOVÁ et al., 2012).

Materiál a metodika

Variabilitu nástupu fenologickej fázy prvé májové výhonky borovice lesnej (*Pinus sylvestris* L.) na Slovensku sme podrobnejšie hodnotili za obdobie rokov 1996 – 2015. Použili sme údaje z 26 staníc špeciálnej lesnej fenológie. Fenologické pozorovania na SHMÚ sú vykonávané podľa metodického predpisu (BRASLAVSKÁ, KAMENSKÝ, 1996). Geografická poloha fenologických staníc je uvedená v tab. 1.

Tab. 1 Zoznam vybraných fenologických staníc v sieti SHMÚ

Názov stanice	Zemepisná šírka	Zemepisná dĺžka	Nadmorská výška [m n.m.]
Hvezdáreň – Modra Harmónia	48° 22'	17° 17'	531
Riadok	48° 30'	17° 10'	183
Šaštín	48° 38'	17° 09'	172
Nové Mesto nad Váhom	48° 46'	17° 50'	196
Myjava	48° 46'	17° 35'	383
Kšinná	48° 48'	18° 21'	314
Opatová	48° 55'	18° 06'	380
Dolná Súča	48° 58'	18° 02'	400
Lučenec	48° 20'	19° 41'	185
Kysihýbel'	48° 26'	18° 58'	565
Zvolen	48° 34'	19° 10'	300
Ždaňa	48° 34'	18° 45'	300
Poľana	48° 30'	19° 30'	1265
Slovenská Ľupča	48° 46'	19° 17'	375
Červená Skala	48° 49'	20° 08'	825
Orlové	49° 07'	18° 27'	288
Černová	49° 05'	19° 15'	475
Oravice	49° 17'	19° 45'	855
Liptovská Teplička	48° 58'	20° 05'	940
Mníšek nad Hnilcom	48° 48'	20° 48'	471
Smižany	48° 57'	20° 31'	487
Prešov-Cemjata	48° 58'	21° 10'	388
Giraltovce	49° 07'	21° 31'	240
Dolný Smokovec	49° 07'	20° 13'	877
Kežmarské Žľaby	49° 11'	20° 18'	916
Zborov	49° 22'	21° 18'	325

Fenologická fáza prvé májové výhonky patrí medzi vegetatívne fenologické fázy. Fenofáza prvé májové výhonky (obr. 1, 2) nastáva vtedy, keď ihličnany na konci konárov tvoria nové ihlice vo zväzku a sú svetlozelenej farby pričom sa objavili aspoň na polovici jedincov danej pozorovacej skupiny.

Pri spracovávaní a vyhodnocovaní sme používali zrevidované údaje z databanky Klimatického a meteorologického informačného systému (Koak) Slovenského hydrometeorologického ústavu. Fenologické pozorovanie borovice lesnej bolo za hodnotené 20 ročné obdobie prerušené na stanici Liptovská Teplička (1996, 2014), Černová (1998), Mníšek nad Hnilcom (2001 – 2003), Šaštín (2002, 2014 – 2015), Kšinná (2003), Nové Mesto nad Váhom (2005), Kysihýbel' (2009), Oravice (2011), Slovenská Ľupča (2012) a Smižany (2014). Fenologické dáta boli použité bez predbežnej homogenizácie a chýbajúce údaje sme nedoplňovali.

Dáta boli vyhodnotené zo staníc v rôznych výškových pásiem pomocou programu Microsoft Excel (základné štatistické metódy) a geografických informačných systémov GIS ArcView. Mapa nástupu fenologickej fázy prvé májové výhonky borovice lesnej na Slovensku bola tvorená s využitím lineárnej regresie s nadmorskou výškou.



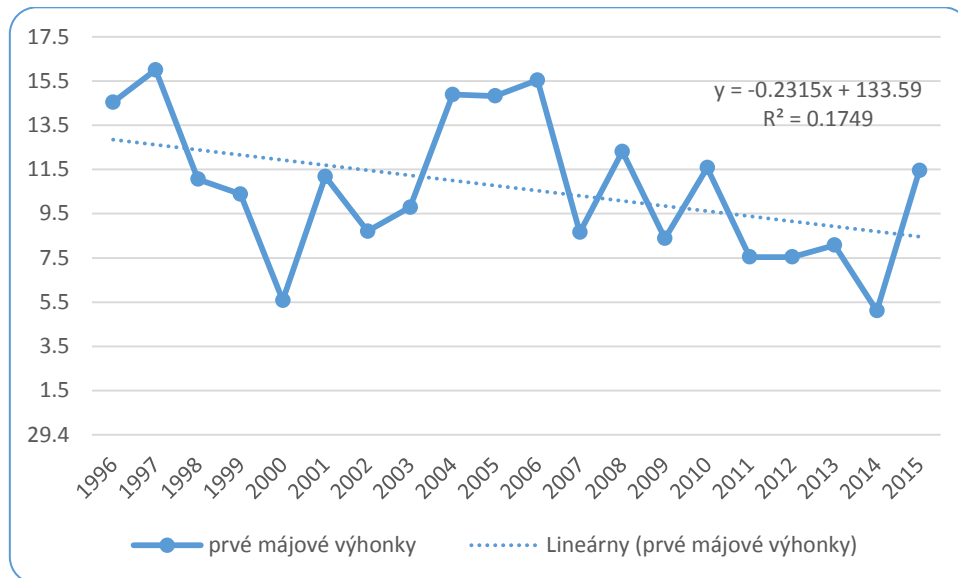
Obr.1 Prvé májové výhonky borovica lesná- pohľad na celý strom



Obr. 2 Prvé májové výhonky borovica lesná – detail

Výsledky

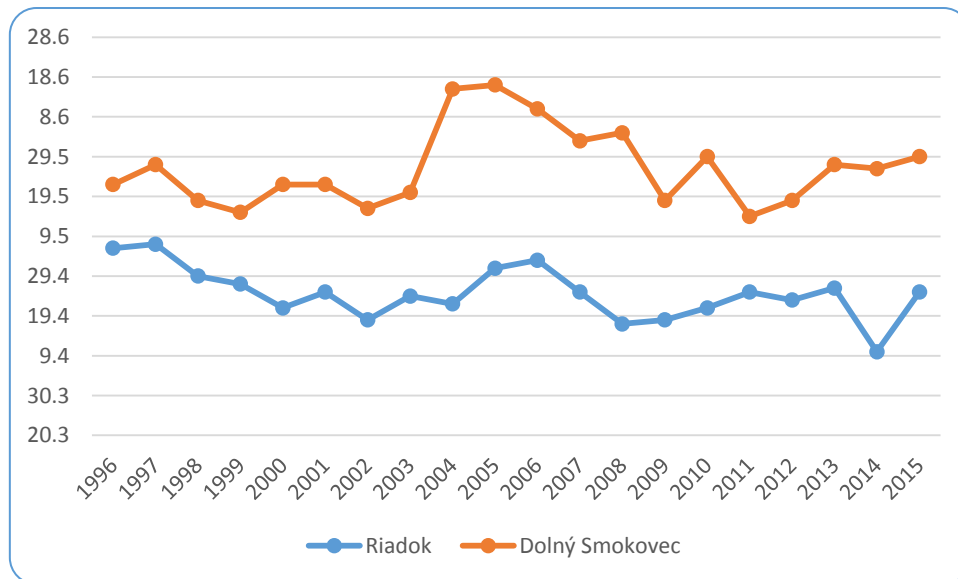
Borovica lesná (*Pinus sylvestris* L.) je ihličnatý strom vysoký 30 – 40 m s priamym valcovitým kmeňom. Koruna je kužeľovitá, niekedy kopulovitá až dáždnikovo sploštená. Konáre sú v praslenoch. Kôra je hladká, žltohnedá, neskôr sivohnedá. Na Slovensku pôvodne rastie na záhorskej nížine, čo je podmienené pôdnymi pomermi. Tento výskyt je izolovaný od rozsiahlejšej prirodzenej oblasti jej rozšírenia, ktorá je v severnej časti stredného Slovenska. Hranice vertikálneho rozšírenia sú cca od 200 m n. m. na Záhorskej nížine po 1860 m n. m. vo Vysokých Tatrách. Je významnou, hospodársky dôležitou drevinou. (PAGAN, RANDUŠKA, 1987).



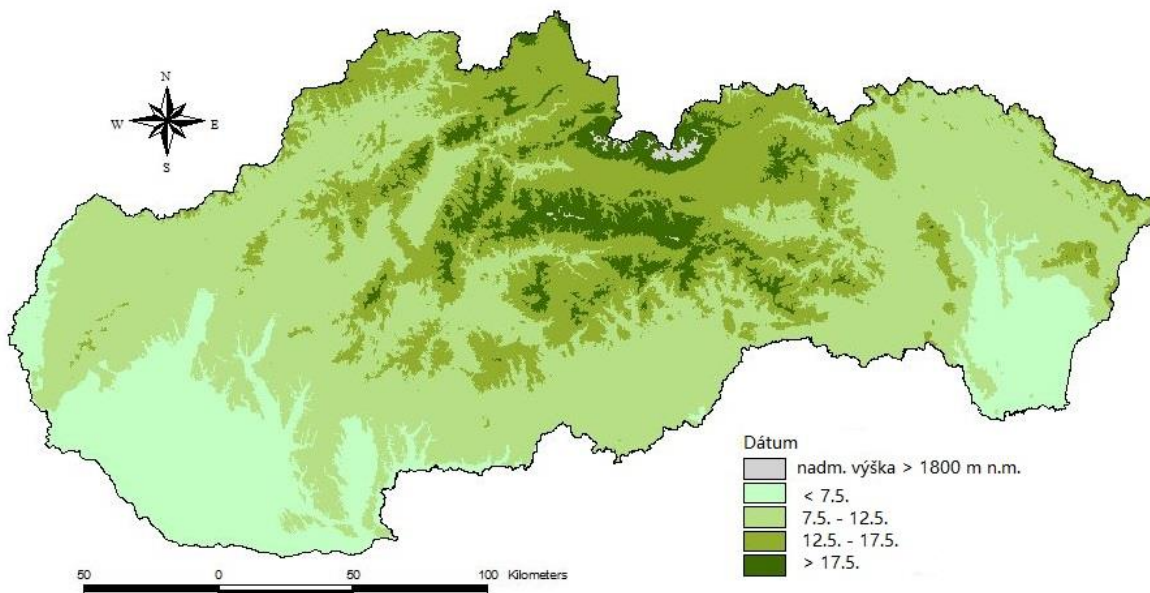
Obr. 3 Priemerný nástup prvých májových výhonkov borovice lesnej na Slovensku v období 1996 – 2015

Borovica lesná (*Pinus sylvestris* L.) vykazuje za sledované obdobie veľkú variabilitu v nástupe prvých májových výhonkov. V priemere najskoršie nástupy prvých májových výhonkov boli zaznamenané v roku 2014, v dôsledku veľmi teplej zimy (skorý nástup jarných fenofáz) a najneskoršie v roku 1997 (obr. 3). Fenologická fáza prvé listy na Slovensku v období 1996 – 2015 nastupuje v priemere od 24. apríla do 30. mája. Za hodnotené obdobie sme zaznamenali posun do skorších dátumov o 4,4 dní. Pokles bol vyhodnotený ako štatisticky významný na hladine $\alpha = 0,05$. Najskorší dátum nástupu prvých listov bol pozorovaný v lokalite Riadok 10. apríla 2014 a najneskorší v Dolnom Smokovci 16. júna 2005 (obr. 4). Fenofáza prvé májové výhonky borovice lesnej na Slovensku najskôr nastupuje na Záhorskej nížine. Ako posledná nastupuje táto fenologická fáza v podhorských oblastiach severného Slovenska, na Orave, Liptove, Spiši a na Kysuciach a vo Vysokých Tatrách (obr. 5).

Dosiahnuté výsledky korešpondujú s poznatkami dosiahnutými v rámci medzinárodného európskeho výskumu. Napríklad rozsiahla vedecká štúdia založená na pozorovaní až 6500 lokalít v Nemecku ukázala, že až 31 z celkovo 35 pozorovaných fenologických fáz začínalo v období rokov 1991 – 2009 skôr v porovnaní s referenčnou periódou 1961 – 1990. Bol zaznamenaný posun o 8 dní v oblasti Hesenska a o 6 dní v rámci celého Nemecka, pričom pozorovania preukázali celkové predĺženie vegetačného obdobia až o 3 týždne (Schröder et al. 2014).



Obr. 4 Variabilita nástupu prvých májových výhonkov borovice lesnej na vybraných fenologických staniciach za obdobie 1996 – 2015



Obr. 5 Mapa nástupu prvých májových výhonkov borovice lesnej na Slovensku za obdobie 1996 – 2015

Záver

Nástup fenofáz vzhľadom na vonkajšie faktory najlepšie koreluje s teplotou vzduchu a teda vo všeobecnosti aj s nadmorskou výškou. Pri jednotlivých stanovištiach rastlinných druhov na svahoch je dôležitá aj ich orientácia vzhľadom k svetovým stranám, tvar terénu a pôdne druhy. Fenologické pozorovania sú dôležitou súčasťou klimatologického monitoringu. Ich výsledky pomáhajú pri skúmaní a posudzovaní prírodných podmienok a ich zvláštností v rôznych oblastiach Slovenska.

Podakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmlúv č. APVV-0429-12, APVV-0608-10 a APVV-0111-10.

Literatúra

Braslavská, O. (2000): Monitoring zmeny klímy v rastlinných ekosystémoch prostredníctvom fenologických pozorovaní. Životné prostredie, 34/2: 81-83.

Braslavská, O., Kamenský, L. (1996): Fenologické pozorovanie lesných rastlín. Metodický predpis. SHMÚ. Bratislava

Hájková, L., Voženílek, V., Tolasz, R. (2012): Atlas fenologických pomerů Česka. Papírtisk, s.r.o., Olomouc, 311s. ISBN 978-80-86690-98-8.

Pagan, J., Randuška, D. (1987): Atlas dřevín. Obzor. Martin. s.252

Snopková, Z., Braslavská, O. (2004): Teplotné pomery letného polroka (apríl – september) a ich vplyv na priebeh vegetačného obdobia v Horehronskom podolí v rokoch 1984 – 2003. In: 12th International Poster Day, „Transport of water, chemicals and energy in the system soil – crop canopy – atmosphere“, 25. november 2004, Bratislava [CD ROM]. ISBN 80-89139-05-1.

Schröder, W., Schmidt, G., Schönrock, S. (2014): Modelling and mapping of plant phenological stages as bio-meteorological indicators for climate change. Environmental Sciences Europe, 26(1): 5, 13 p.

Škvareninová, J. (2013): Vplyvy zmeny klimatických podmienok na fenologickú odozvu ekosystémov. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2013. 132 s. ISBN 978-80-228-2598-6.

PRÍRODNÉ DISTURBANCIE A ZMENY V LESNOM EKOSYSTÉME V OBLASTI TATRANSKEJ JAVORINY

Ján Slivinský

Štátne lesy TANAPu, ochranný obvod Tatranská Javorina, slivinsky@lesytanap.sk

Abstrakt

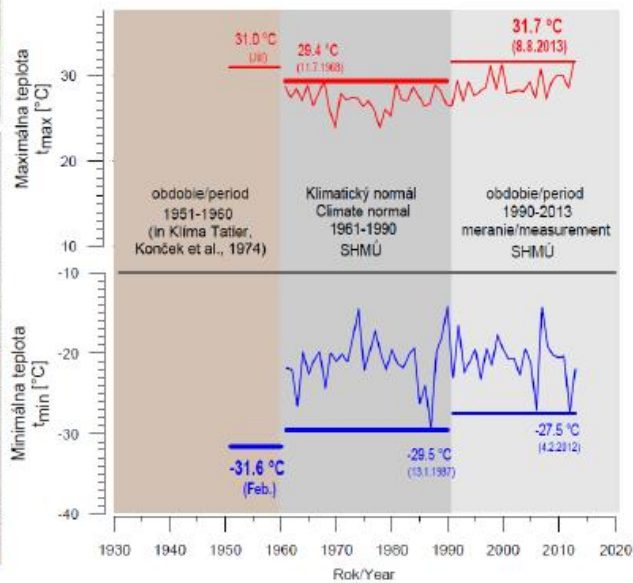
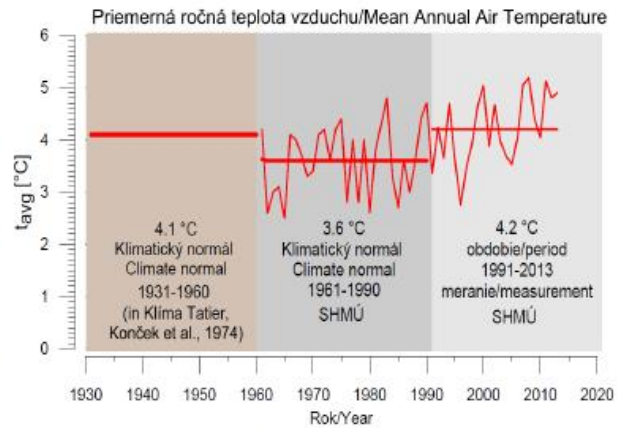
Neobvyklé meteorologické podmienky a odchýlky od štandardného klimatického režimu v posledných rokoch vo výraznej miere ovplyvnili stav lesných porastov v oblasti Tatranskej Javoriny. Klíma v javorinskej časti Tatier je chladná a veľmi vlhká. Obdobie s priaznivými bioklimatickými podmienkami pre vývoj a existenciu rôznych foriem živých organizmov je pomerne krátke, mení sa v závislosti od nadmorskej výšky. V javorinskej časti Vysokých Tatier sa klimatické merania vykonávajú už od začiatku 20. storočia. Dlhodobé merania základných klimatických prvkov akými sú teplota vzduchu a množstvo atmosférických zrážok poukazujú na mierne oteplenie a nárast zrážkových úhrnov v posledných dvoch dekádach. Priaznivé teplotné pomery podporujú rozmnožovanie škodlivého hmyzu v lesnom poraste oslabenom abiotickými deštruktívnymi vplyvmi (vietor, sucho, požiar, záplavy, diaľkový prenos škodlivých látok vo vzduchu). Intenzívne dažde a následne neobvykle rozvodnené horské potoky podmývajú brehy, poškodzujú mosty, lávky a lesné cesty. Na niektorých svahoch sa objavujú pomerne rozsiahle zosuvy pôdy. V chránených horských lesných ekosystémoch je preto potrebné venovať pozornosť realizácii vhodných mitigačných opatrení s využitím základných lesníckych princípov ochrany lesa.

Abstract

Extraordinary weather events and climatic variations during last years affected the health conditions of forest stands in territory of Tatranská Javorina. The climate in Tatranská Javorina area is cold and very wet. Season with favorable bioclimatic conditions for the existence and life of various forms of living organisms is relatively short, varies depending on the altitude. Measurement of basic climatic elements such as air temperature and precipitation amount have been carried out in Javorina since the early 20th century. Evaluation of long-term data indicates moderate warming and increasing precipitation amounts in the last two decades. Favorable temperature conditions support the growth of insect pests (European spruce bark beetle - *Ips typographus*) in forest stands weakened by abiotic destructive factors (wind, fire, drought, flooding, acid rain, long-range transport of air pollution). Heavy rains and unusually swollen mountain streams damage catchment, bridges, walkways and forest roads. On some slopes appear relatively large landslides. In the protected mountain forest ecosystems is necessary to pay attention to implementation of appropriate activities for mitigation of natural disturbances with respect to basic principles of forest protection.

LYKOŽRÚT SMREKOVÝ (*Ips typographus*)

Priaznivé teplotné pomery podporujú rozmnožovanie škodlivého hmyzu v lesnom poraste oslabenom abiotickými deštruktívnymi vplyvmi (vietor, sucho, požiar, záplavy, diaľkový prenos škodlivých látok vo vzduchu). V chránených horských lesných ekosystémoch je preto potrebné venovať pozornosť realizácii vhodných mitigačných opatrení s využitím základných lesníckych princípov ochrany lesa.



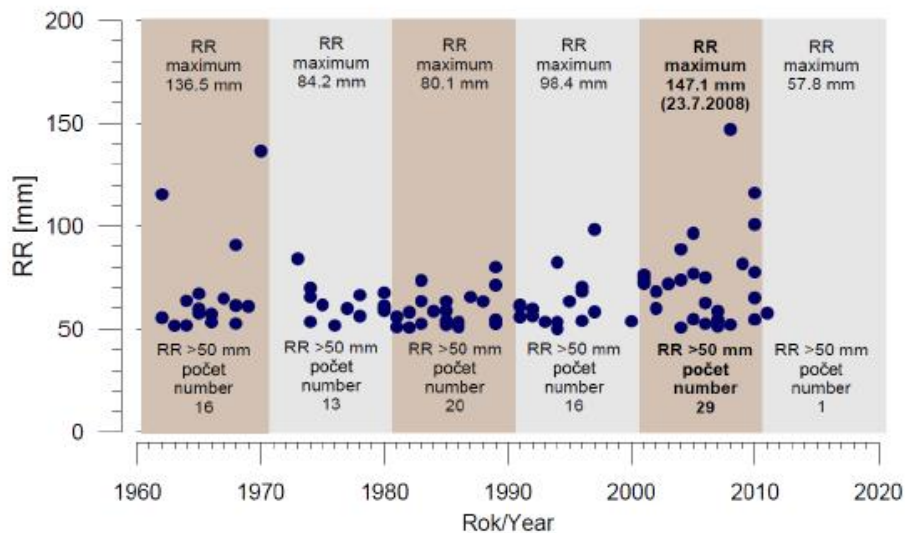
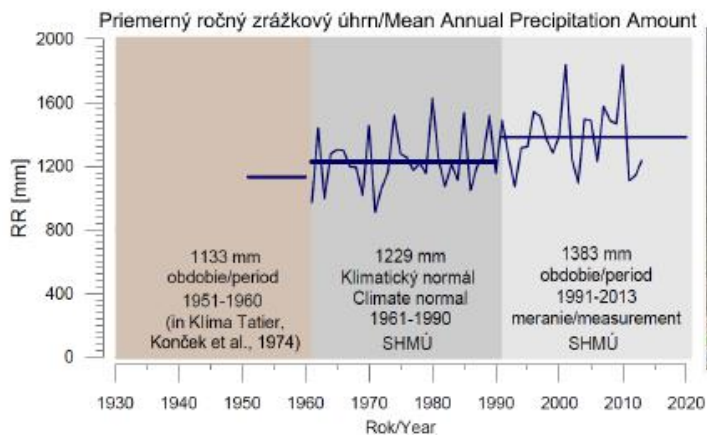
BARK BEETLE

Favorable temperature conditions support the growth of insect pests (European spruce bark beetle - *Ips typographus*) in forest stands weakened by abiotic destructive factors (wind, fire, drought, flooding, acid rain, long-range transport of air pollution). In the protected mountain forest ecosystems is necessary to pay attention to implementation of appropriate activities for mitigation of natural disturbances with respect to basic principles of forest protection.

ZÁPLAVY



Mimoriadne výdatné dažde zasiahli severnú časť V. Tatier koncom júla 2008. V priebehu štyroch dní od 22. do 25.7. spadlo v oblasti T. Javoriny celkom 242 mm zrážok. Rekordne vysoký denný zrážkový úhrn 147.1 mm bol zaznamenaný 23.7.2008. Rozvodnené horské potoky strhli niekoľko mostov a lávok, poškodené boli lesné cesty, na niektorých svahoch došlo aj zosuvu pôdy.



FLOODING

Extremely heavy rainfall hit the northern part of the High Tatras in July 2008. At location Tatranská Javorina fell total of 242 mm of precipitation during four days from July 22 to July 25. Daily maximum of precipitation amount 147.1 mm was recorded on July 23, 2008. Swollen mountain streams damaged several bridges, footbridges, forest and tourist roads.

VÝMENA CO₂ AKO INDIKÁTOR STAVU LESNÝCH EKOSYSTÉMOV POSTIHNUTÝCH PRÍRODNÝMI DISTURBANCAMI

Peter Fleischer jr¹, Peter Fleischer^{1,2}

¹Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, p.fleischerjr@gmail.com

²Štátne lesy TANAPu, Výskumná stanica a Múzeum TANAPu, Tatranská Lomnica, 059 60 Vysoké Tatry

Abstract / Research highlights

Forest in temperate zone generally act as carbon sink. Recent dramatic increasing of CO₂ in the atmosphere amplifies the importance of carbon sequestration as one of the key forest ecosystem services. Natural disturbances reduce forest carbon sequestration capacity due to destruction of canopy thus reducing CO₂ assimilation by photosynthesis. Disturbed ecosystem also respire more CO₂ so carbon balance usually becomes negative. We studied both carbon fluxes (assimilation and respiration) on sites heavily disturbed by the windthrows in Norway spruce forest in the Tatra Mts. We used closed chamber methods to estimate temporal and spatial changes of the both fluxes ten years after the disturbance. We found large increased of gross primary productivity (GPP) which shifted the ecosystem from carbon source to carbon sink state in last two years on the windthrown sites. On the sites damaged by bark beetle we found low GPP and elevated respiration (Re). Ratio between GPP and (Re) we used as an indicator for the ecosystem regeneration progress. In 2014 the GPP/Re index was 1.3 and indicated early stage of rehabilitation on wind-disturbed sites.

Keywords: assimilation, ecosystem respiration, closed chamber CO₂ measurement, disturbances, Tatra Mts.

Motivácia

Oxid uhličitý (CO₂) je dôležitý skleníkový plyn. Jeho zvyšujúca sa koncentrácia je považovaná za príčinu klimatickej zmeny. Akumulácia CO₂ (resp. uhlíka) vegetáciou je najefektívnejší spôsob na zmiernenie nárastu CO₂ v atmosfére. V globálnej sekvestracii uhlíka biosférou majú lesné ekosystémy významné postavenie. Takmer 46% terestriálneho uhlíka je viazaného v lesnej biomase a v lesných pôdach. V posledných rokoch sekvestračná schopnosť lesov sa znížila v dôsledku narastajúceho rozsahu poškodených lesov. Činnosťou človeka (nadmerné ťažby) a prírodnými disturbanciami (vetrové polomy, požiare, záplavy, hmyz) sa menia toky CO₂ do takej miery, že významne začínajú ovplyvňovať klimatický systém zeme (Amiro et al. 2010; Kurz et al. 2008).

Južné svahy Vysokých Tatier v roku 2004 postihol orkán, ktorý vyvrátil a polámal 12 000 ha prevažne smrekových porastov. Následná kalamita podkôrneho hmyzu spôsobila do r. 2014 úhyn ďalších 7 000 ha porastov. Naším cieľom bolo posúdiť ekosystémové toky CO₂, t.j. asimiláciu a respiráciu na postihnutých plochách a doplniť jestvujúce, najmä fytoecologické a mikrobiálne (Gömöryová et al. 2014) hodnotenia regenerácie o kvantitatívny indikátor, vychádzajúci z priamo meraných tokov CO₂.

Metódy

Toky CO₂ sme merali počas vegetačného obdobia (1.4. – 31.8.) v roku 2014 na plochách pre dlhodobé sledovanie ekologických pomerov po vetrovej kalamite z roku 2004 (Fleischer 2008). Toky sme stanovili gazometricky z časovej zmeny koncentrácie CO₂ v uzavretých valcových komorách vlastnej výroby na základe stavovej rovnice pre plyny. Na detekciu koncentrácie sme použili IRGA infračervené analyzátory (Vaisala GMP 343, Finland, EGM04 PPSsystems, USA a Licor 6400XT, USA). Namerané koncentrácie CO₂ boli výsledkom medzi príjmom (hrubou primárnou produkciou-GPP) a výdajom CO₂ (ekosystémovou respiráciou, Re) v mikroekosystéme komory. Respiráciu sme hodnotili v nepriesvitných PVC komorách (výška 10-15 cm, priemer 30 cm) a fotosyntézu v transparentných komorách z PLEXI skla (hrúbka 3 mm). Transparentné komory mali rôznu veľkosť (1,5 až 200 dm³), aby zodpovedali veľkosti hodnotenej vegetácie. Časovú zmenu tokov CO₂ sme sledovali a) opakovaným hodnotením na fixovaných bodoch

(n=30) a b) kontinuálnym meraním pomocou 3 automatov vlastnej konštrukcie (Fleischer et al. 2014). Sezónny priebeh tokov CO₂ sme odvodili na základe regresných vzťahov medzi tokmi CO₂ a vysvetľujúcimi premennými (teplota vzduchu a pôdy, vlhkosť vzduchu a pôdy, fotosynteticky aktívne žiarenie, druh vegetácie a listová plocha) zaznamenaných súbežne s meraním tokov CO₂ a tiež kontinuálne počas celého roka automatickou meteorologickou stanicou (Fleischer 2008), rep. opakovane hodnotené pomocou LAI analyzátoru (CA 2200, Licor, USA). Priestorovú variabilitu sme hodnotili na a) pravidelnej sieti (n=121) reprezentujúcu mikrostanovištnú a vegetačnú variabilitu na hodnotenej ploche, b) ad-hoc meraním na dominantných vegetačných druhoch (Fleischer et al. 2015, *in review*). Veľkoplošnú variabilitu mikrostanovištných pomerov sme odvodili z laserového skenu výskumnej plochy (KGAHÚL, LF TU Zvolen). Vegetačné pomery sme odvodili z leteckých ortofotomáp (pixel= 20 cm), z terénneho prieskumu na 6 tranzektoch v dĺžke 1800 m. Na tranzektoch sme určili druhové zloženie a stanovili biomasu vegetácie každých 10 m na plôške 10x10 cm (trávy), 20x20 cm (byliny, kry). Biomasu zistenú gravimetricky z odobraných vzoriek a prepočítanú na hodnotenú plochu na základe zastúpenia najvýznamnejších druhov sme porovnali s čistou primárnou produkciou zistenou gazometricky. Rozdiel GPP-Re sme použili na stanovenie uhlíkovej bilancie hodnotenej plochy. Pozitívna bilancia (ekosystém je depóniom C) nastane keď GPP>Re, negatívna (ekosystém je zdrojom C), ak GPP<Re. Pomer GPP/Re sme použili na posúdenie stavu obnovy ekosystémov po disturbancii. Podľa Amira et al. (2010) zdravé ekosystémy majú pomer GPP/Re = 2,0. Hodnoty pod 1,2 indikujú narušené ekosystémy a nad 1,5 sú prejavom regenerácie.

Údaje a výsledky

Namerané údaje pôdnej respirácie extrapolované na sledované obdobie (g C.m⁻²) na základe vzťahu ku teplote a vlhkosti pôdy (Buchman 2000) pre mikrostanovištné typy je v tab.1. V tabuľke uvádzame aj relatívny pomer mikrostanovištných typov.

Tab.1 Pôdna respirácia (g C.m⁻²) na ploche vetrovej kalamity (IV-VIII) podľa mikrostanovištných typov

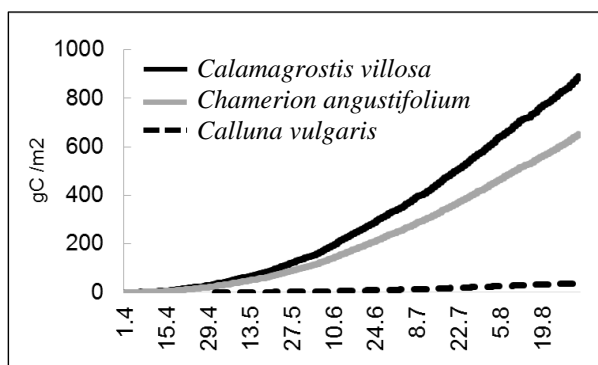
Typ	Plocha (%)	α	β	Sig.l.	Re (gC m ⁻²)
Elevácie	26	0.034	0.062	p<0.05	99.14
Plošiny	46	0.029	0.092	p<0.05	223.85
Depresie	28	0.052	0.067	p<0.05	193.17

Pomocou semiovariogramu v prostredí ArcGIS sme na základe autokorelácie stanovili, že typ stanovišťa signifikante ovplyvňuje hodnotu pôdnej respirácie do vzdialenosti 5,7 m (Fleischer et al. 2015, *in review*). Okamžité hodnoty asimilácie (GPP) sme porovnali s momentálnym žiarením PAR. Opakované merania pri rôznych intenzitách svetla boli podkladom pre konštrukciu svetelných kriviek pre jednotlivé rastlinné druhy. Matematicky priebeh svetelnej krivky opisuje Michaelis-Mentenovej rovnica. Z jej priebehu sme odvodili GPP max potrebnú pre extrapoláciu na celé sledované obdobie. Svetelné krivky sme štandardizovali na 1 m² listovej plochy, aby sme mohli zohľadniť rastové zmeny, aj variabilitu vegetácie na sledovanej ploche počas sledovaného obdobia. V tab. 2 uvádzame hodnoty GPP max zistené na celej rastline pomocou komôr i pomocou kuvety na úrovni listu (Licor XT6400).

Tab. 2 Parametre pre Michaelis-Mentenovej rovnicu pri LAI=1 (hlad. spol. 95%, p<0.05) pre meranie celej rastliny a jednotlivých listov najvýznamnejších druhov rastlín na ploche vetrovej kalamity

vegetácia	rastlina			list		
	GPP _{max}	α	R ²	GPP _{max}	α	R ²
<i>Calluna vulgaris</i>	0.71	0.002	0.96	-	-	-
<i>Calamagrostis villosa</i>	1.46	0.005	0.86	3.11	0.018	0.98
<i>Chamaerion angustifolium</i>	2.69	0.022	0.87	3.06	0.013	0.97

Kontinuálne merané hodnoty PAR a extrapolované hodnoty LAI z 5 meraní počas vegetačného obdobia sme použili na odvodenie asimilácie počas celého sledovaného obdobia. Priebeh asimilácie (g Cm⁻²) pre hlavné rastlinné druhy je na obr.1.



V roku 2014 disturbovaná plocha emitovala v priemere 1193 g C m⁻². Dominantná vegetácia asimilovala 1581 g C m⁻². Rozdiel +388 g znamená, že hodnotený ekosystém mal pozitívnu uhlíkovú bilanciu a fungoval ako depónium uhlíka. Pomer GPP/Re nadobudol hodnotu 1,3 čo potvrdzuje obnovu ekosystému. Priebežné hodnoty z plochy poškodenej podkôrnym hmyzom, kde vývoj vegetácie je menej intenzívny, pôdna respirácia nadobúda vyššie hodnoty, je pomer GPP/Re len 0,2 a potvrdzuje stále silné narušenie.

Obr. 1 Kumulatívny GPP (g C m⁻²) hlavných rastlinných druhov v priebehu vegetačného obdobia

Gravimetricky stanovená nadzemná biomasa asimilačných orgánov na hodnotenej ploche mala hodnotu 218 ±152 g m⁻². Na základe alometrických vzťahov sme stanovili celkovú biomasu a čistú primárnu produkcia (NPP), ktorá mala hodnotu 650 g C m⁻². Za predpokladu, že NPP=0,5*GPP môžeme odhadnúť, že GPP nadobúdala hodnoty 1300 g C m⁻², čo je údaj porovnateľný s gazometrickým hodnotením (1581 g).

Záver a odporúčania pre ďalší výskum

Na základe merania tokov CO₂ komorovou metódou sme konštatovali, že disturbanciami narušené plochy sa postupne stávajú depóniom uhlíka. Rozdiel medzi príjmom a výdajom CO₂ je však pomerne malý a výrazne ho môže ovplyvniť nielen vývoj vegetácie, ale počasie v konkrétnom roku. Ďalšie sledovanie uhlíkovej bilancie na postihnutých plochách si bude vyžadovať metodiku, ktorá umožní sledovať asimiláciu aj na drevinách, ktorých podiel na celkovej biomase stále narastá. Zvýšenie spoľahlivosti odhadu bilancie tokov CO₂ si bude tiež vyžadovať presnejšie mapovanie vegetácie distančnými metódami (detailné multispektrálne letecké snímky, prípadne použitie dronov).

Podakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č.APVV-0480-12.

Literatúra

Amiro, B.D., Barr, G., Black, T.A., Bracho, R. et al., 2010: Ecosystem CO₂ fluxes after disturbances in forests of North America. *Journal of Geophysical Research*, vol. 115, p.1-13.

Buchmann, N., 2000: Biotic and abiotic factors controlling soil respiration rates in *Picea abies* stands. *Soil Biology and Biochemistry*, 32, p.1625-1635.

Fleischer, P., 2008: Windfall research and monitoring in the High Tatra Mts., objectives, principles, methods, and current status. *Contributions to Geophysics and Geodesy*, Vol. 38, p.233-248.

Fleischer jr, P., Fleischer, P., Střelcová, K., 2014: Carbon dioxide fluxes and carbon balance after the 2004 stand replacing wind throw in the Tatra National Park. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds.): *Mendel and Bioclimatology*. Mendel University, Brno. CD proceedings, ISBN 978-80-210-6983-1, 13 pp.

Gömöryová, E., Fleischer, P., Gömöry, D., 2014: Soil microbial community responses to windthrow disturbance in Tatra National Park (Slovakia) during the period 2006 – 2013. *Forestry Journal-Lesnícky časopis*, vol. 60, p.137-142.

Kurtz, W.A., Dymond, C.C., Stinson, G., Rampley, G.J., Neilson, E.T., Carroll, A.L., Ebata, T., Safranyik, L., 2008: Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. *Nature*, doi:10.1038/nature06777, 452, p.987-990.

Schelhaas, M. J, Hengeveld, G., Moriondo, M., Reinds, G.J., Kundzewicz, Z.W., ter Maat, H., Bindi, M., (2010): Assessing risk and adaptation options to fires and windstorms in European forestry. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 15, p. 681-701, doi: 10.1007/s11027-010-9243-0

PREDPOKLADY PRE VYUŽITIE PRÍSTROJA LI-6400XT ZA ÚČELOM SLEDOVANIA VPLYVU OZÓNU NA STOMATÁLNU VODIVOSŤ BOROVICE HORSKEJ

Adriana Leštianska¹, Peter Fleischer jr¹, Svetlana Bičárová³, Hana Pavlendová⁴

¹Technická Univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, adriana.lestianska@tuzvo.sk, p.fleischerjr@gmail.com

²Ústav vied o Zemi SAV, Geofyzikálny odbor, Stará Lesná, 059 60 Tatranská Lomnica, adresa, [bicarova@ta3.sk](mailto: bicarova@ta3.sk)

³Národné lesnícke centrum, T. G. Masaryka 22, 960 92 Zvolen, pavlendova@nlcsk.org

Abstract / Research highlights

Tropospheric O₃ is one of the most abundant green-house gases in the atmosphere and the its concentration is of those gases are still increasing (IPCC, 2001). Elevated concentration of O₃ are known to have effects on stomatal conductance and photosynthesis in plants. The paper presents results of the research activities implemented under the project "MapPOD". To clarify the effects of O₃ on leaf CO₂ uptake, in this study, we investigated the relationships between O₃ uptake and photosynthetic parameters of mountain pine (*Pinus mugo*). This study was performed in the area Skalnaté pleso (High Tatras Mts.). During two weeks in August 2015 and one day in September 2015, the initial measurements of stomatal conductance, photosynthesis by using LI-6400XT was conducted. Ozone concentrations and other environmental parameters (global radiation, air temperature, relative air humidity, precipitation, wind speed and direction, soil water potential) related to ozone flux were measured at research plot. The first results showed that the high air temperature and vapor pressure deficit markedly reduce the photosynthetic activity and stomatal conductance.

Keywords: stomatal conductance, critical levels of ozone, *Pinus mugo*

Motivácia

Borovica horská – kosodrevina nepatrí medzi produkčné dreviny, avšak je dôležitou drevinou z hľadiska zabezpečovania mimoprodukčných funkcií vo vysokohorských oblastiach. Borovica horská sa radí k odolnejším druhom ihličnatých drevín. Aj napriek tomu však na ňu pôsobí niekoľko biotických a abiotických škodlivých činiteľov. Jedným z abiotických škodlivých činiteľov je fotooxidačný stres, ktorý je podmienený ozónom O₃ a predpokladá sa, že práve to spôsobuje poškodzovanie asimilačných orgánov borovice horskej, ktorý sa prejavuje výskytom žltých až hnedočervených škvrn na ihliciach (Blaho, Obr 1992).

Troposférický ozón patrí medzi najrozšírenejšie skleníkové plyny v atmosfére a jeho koncentrácia stále narastá (IPCC, 2001). Koncentrácia ozónu vzrástla z 10 ppb v dobe pred priemyselnou revolúciou (Volz, Kley 1988) na dnešných 40 ppb (Fowler et al. 1999). Koncentrácia O₃ môže narásť do roku 2050 o 20-25% a do roku 2100 o 40-60% v prípade že trend v súčasných emisiách bude pokračovať (Meehl et al. 2007). Bolo preukázané že súčasné európske koncentrácie troposférického ozónu spôsobujú poškodenie stromov, poľnohospodárskych plodín a prirodzenej vegetácie (Kärenlampi and Skärby, 1996, Ashmore 2005). Príjem ozónu rastlinou závisí od atmosférickej koncentrácie O₃ a od stavu prieduchov. Prieduchy sa otvárajú a zatvárajú v dôsledku zmien vonkajších podmienok – svetla, vlhkosti, vodného stresu a teploty. Reguláciou otvorenosti prieduchov rastliny obmedzujú straty vody, maximalizujú príjem uhlíka, a priamo alebo nepriamo ovplyvňujú príjem znečisťujúcich látok. Faktory ideálne pre tvorbu ozónu (intenzívna slnečná radiácia, vysoká teplota, nízka relatívna vlhkosť vzduchu) spôsobujú uzatváranie prieduchov. Preto zvýšené koncentrácie ozónu nemusia priamo spôsobovať poškodenie vegetácie. Iba ozón prijatý prieduchmi je pre rastliny škodlivý (Manning 2003). Prieduchová vodivosť je preto rozhodujúcim parametrom pre odhad účinkov expozície ozónu na rastlinu. Prirodzene väčšia prieduchová vodivosť horských lesných ekosystémov v porovnaní s nižšími lokalitami predstavuje určité riziko pre

vyššie príjmy ozónu (Wieser, Havranek 1995). Vo vysokých nadmorských výškach nie je transpirácia primárne ovplyvňovaná dostupnosťou vody, ale predovšetkým teplotou a žiarením – teda faktormi, ktoré prispievajú ku vzniku zvýšenej koncentrácie ozónu (Schroeder et al. 2001, Dittmar et al. 2005). Koncentrácia ozónu v horských oblastiach obyčajne nedosahuje tak vysoké hodnoty ako v priemyselných oblastiach, majú však vyrovnanjší chod a často sú dlhodobo zvýšené. Vplyv ozónu na rast a fyziológiu drevín je vo vyšších nadmorských výškach komplikovaný faktom, že podmienky, ktoré umožňujú nárast vysokých koncentrácií O_3 , sú zároveň priaznivé pre rast drevín (Mortensen et al. 1995). Pôsobenie ozónu tak môže byť prekryté pôsobením priaznivých meteorologických podmienok. Cieľom práce je posúdiť hodnoty fotosyntézy a prieduchovej vodivosti borovice horskej pri rozdielnych koncentráciách ozónu a teploty vzduchu. Hodnotenie sme vykonali na 1-ročných výhonkoch dospelých jedincov s použitím prístroja LI-COR 6400XT.

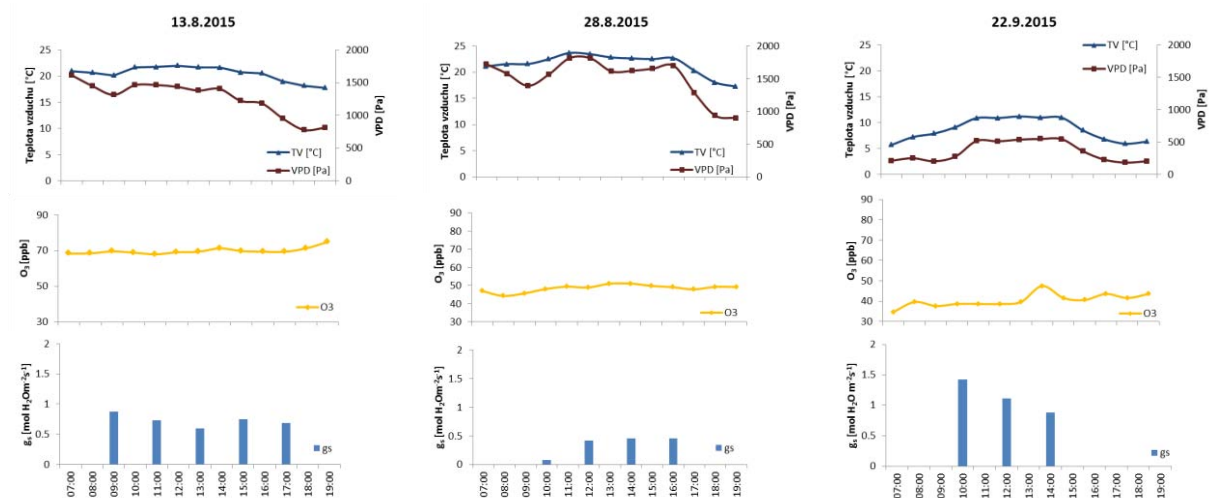
Metódy

Súbor dát zahŕňa merania prostredia a fyziologické merania. Merané meteorologické parametre zahŕňajú globálnu radiáciu, teplotu vzduchu a pôdy, relatívnu vlhkosť vzduchu, zrážky. Získané dáta sú spracované pomocou softvéru Mini32 (EMS Brno, CZ). Na automatickej meteorologickej stanici (EMS Brno, CZ) sú v priebehu vegetačného obdobia kontinuálne sledované nasledovné parametre: globálna radiácia, teplota a vlhkosť vzduchu, smer a rýchlosť vetra, množstvo zrážok. Dáta sú merané v minútových a ukladané v 10-minútových intervaloch. Na výskumnej ploche sú každú minútu zaznamenávané koncentrácie ozónu.

Fyziologické merania sme vykonali prostredníctvom Li-6400XT prenosného fotosyntetického systému (LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA) s použitím komory určenej pre ihličnany (6400-22 Opaque Conifer Chamber). Základným princípom je stanovenie časovej zmeny koncentrácie CO_2 a H_2O v uzavretom priestore (komore). Na meranie koncentrácie CO_2 a H_2O sa používajú infračervené gazometrické sondy (IRGA). Metoda je založená na absorpcii infračerveného žiarenia molekulami CO_2 a H_2O . Li-COR 6400 je otvorený dynamický systém. Dynamický systém znamená že, IRGA senzory sa nachádzajú mimo komory a vzorka medzi komorou a snímačom je hnaná pumpou. Otvorený systém znamená, že komora má konštantný prietok vzduchu v komore a toky CO_2 a H_2O sú stanovené ako rozdiel v koncentráciách na vstupe a výstupe.

Fyziologické merania na ploche prebiehajú na náhodne vybraných 15 vzorkách, opakovane na tom istom výhonku 4–5 krát za deň: ráno (od 9:00 do 10:00), okolo poludnia (od 11:00 do 13:00) a poobede (od 14:00 do 17:00). Výmena plynov bola meraná v auguste (3 merania) a septembri (1 meranie) 2015. Meranie prebiehalo za nasledovných podmienok: intenzita fotosynteticky aktívneho žiarenia $FAR\ 1500 \pm 5\ \mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$, prietok 400, koncentrácia $CO_2\ 390 \pm 10\ \mu mol\ mol^{-1}$. Teplota v komore je nastavená na aktuálnu hodnotu teploty vzduchu. Meranie prebehlo po krátkej adaptácii potom, čo sa hodnoty fotosyntézy a prieduchovej vodivosti ustálili.

Údaje a výsledky



Obr. 1 Porovnanie denného priebehu stomatálnej vodivosti meranej na jednom výhonku počas troch dní 13. 8., 28. 8., 22. 9. 2015, počas ktorých boli namerané rozdielne hodnoty teploty vzduchu, VPD a úrovně O_3 .

Na obrázku 1 porovnávame údaje stomatálnej vodivosti meranej v priebehu troch dní, ktoré sú rozdielne z hľadiska nameranej teploty vzduchu, hodnoty VPD a úrovně O_3 . Najvyššie hodnoty stomatálnej vodivosti boli namerané v septembri, kedy boli výrazne nižšie hodnoty teploty vzduchu (cca 20°C), VPD (200–500 Pa) ako aj úrovně O_3 (40 ppb) v porovnaní s ostatnými sledovanými dňami. Najnižšie hodnoty stomatálnej vodivosti boli zaznamenané 28. 8., kedy boli vysoké hodnoty teploty vzduchu (cca 20 °C), VPD (1000–1500 Pa) a nižšie úrovně O_3 (50 ppb). Z prvotných nameraných údajov je možné usúdiť, že väčší vplyv na hodnotu prieduchovej vodivosti majú meteorologické faktory ako úrovně O_3 . Dittmar et al. (2005) pozoroval, že toky O_3 narastajú s nadmorskou výškou a dosahujú vysoké hodnoty za podmienok, keď je teplé, suché a slnečné počasie, čo potvrdili aj výsledky našich prvých meraní.

Záver a odporúčania pre ďalší výskum

V ďalšom pokračovaní projektu predpokladáme:

- výpočet listovej plochy meraných výhonkov
- vykonať podrobnú analýzu nameraných údajov stomatálnych tokov
- vykonať merania počas celého vegetačného obdobia za účelom získania údajov stomatálnych tokov pri rôznych podmienkach (napr. rôzne hodnoty teploty vzduchu)
- údajová databáza stomatálnych tokov bude ďalej využiteľná pri testovaní a validácii modelu ako aj pri hodnotení prekročovania kritických úrovní ozónu.

Predpokladáme, že navrhovaná metodika a použitie uvedených metód v rámci aktivity „MapPOD“ významnou mierou prispeje k detailnejšiemu poznaniu reakcií borovice horskej na kritické úrovně stomatálnych tokov ozónu, čo umožní vysloviť aj určité prognózy budúceho vývoja.

Podakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmlúv č. APVV-0480-12 a APVV-0429-12.

Literatúra

Ashmore, M. R., 2005: Assessing the future global impacts of ozone on vegetation. *Plant, Cell and Environment*, 28: 949–964.

Blaho, J., Obr, F., 1992: Odraz meniacich sa ekologických podmienok na asimilačných orgánoch kosodreviny (*Pinus mugo* Turra) v NAPANT-e. In: Zborník z vedeckej konferencie: Ekologický a ekofyziologický výskum v lesných ekosystémoch Poľany. Zvolen: 232–239.

Dittmar, Ch., Pfaffelmoser, K., Rotzer, T., Elling, W., 2005: Quantifying ozone uptake and its effects on the stand level of common beech (*Fagus sylvatica* L.) in Southern Germany. *Environmental Pollution* 134 (1): 1–4.

IPCC, 2001: The Scientific basis. Contributions of working group 1 to the fourth assessment report of the IPCC. Available at: www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/CLIMATE/IPCC_TAR/WG1/index.htm

Fowler D., Cape J.N., Coyle M., Flechard C., Kuylensstierna J., Hicks K., Derwent D., Johnson C. & Stevenson D. 1999: The global exposure of forests to air pollutants. *Water, Air, & Soil Pollution* 116, 5–32.

Kärenlampi, L., Skärby, L. (Eds.), 1996. Critical Levels for Ozone in Europe: Testing and Finalizing the Concepts (UN/ECE Workshop Report). University of Kuopio, Dept. of Ecology and Environmental Science, Kuopio, Finland.

Manning, W. J., 2003: Detecting plant effects is necessary to give biological significance to ambient ozone monitoring data and predictive ozone standards. *Environmental Pollution*, 126: 375–379.

Meehl G. A., Stocker T. F., Collins W. D., Friedlingstein P. et al. 2007: Global climate projections. In: Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z. et al. (eds) *Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Inter - governmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge: 749–844.

Mortensen, L. M., 1995: Effect of carbon dioxide concentration on biomass production and partitioning in

Betula pubescens Ehrh. Seedlings at different ozone and temperature regimes. *Environmental Pollution* 87: 337–343.

Percy, K. E., Awmack, C. S., Lindroth, R. L., Kubiske, M. E., Kopper, B. J., Isebrands, J. G., Pregitzer, K. S., Hendrey, G. R., Dickson, R. E., Zak, D. R., Oksanen, E., Sober, J., Harrington, R., Karnosky, D. F., 2002: Altered performance of forest pests under CO₂- and O₃-enriched atmospheres. *Nature* 420: 403–407.

Schoeder, J., Allen, G., Hugouvieux, V., Kwak, J., Waner, D., 2001: Guard cell signal transduction, *Ann. Rev. Plant Physiol.* 52: 627–658.

Volz A. & Kley D., 1988: Evaluation of the montsouris series of ozone measurements made in the 19th-century. *Nature* 332: 240– 242.

Wieser, G., Havranek, W. M., 1995: Environmental control of ozone uptake in *Larix decidua* Mill.: a comparison between different altitudes. *Tree Physiol.* 15: 253–258.

ČINNOSŤ INŠPEKCIE PRI POVOĽOVANÍ A KONTROLE PREVÁDZOK EMITUJÚCICH PREKURZORY OZÓNU

Marta Martinčeková¹, Ažbeta Patúšová¹, Iveta Galovičová²

¹Slovenská inšpekcia životného prostredia, Inšpektorát ŽP Žilina, odbor integrovaného povoľovania a kontroly, Legionárska 5, Žilina, marta.martincekova@sizp.sk, alzbeta.patusova@sizp.sk

²Slovenská inšpekcia životného prostredia, Inšpektorát ŽP Žilina, odbor inšpekcie kontroly ovzdušia, Legionárska 5, Žilina, iveta.galovicova@sizp.sk

Abstrakt

Slovenská inšpekcia životného prostredia vykonáva v oblasti ochrany ovzdušia štátny dozor podľa zákona NR SR č. 137/2010 Z.z. o ovzduší v znení neskorších predpisov a zákona NR SR č. 39/2013 Z.z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov. V rámci svojej činnosti vykonáva povoľovacie a kontrolnú činnosť, okrem iných, aj na veľkých a stredných zdrojoch znečisťovania ovzdušia, ktoré pri svojej činnosti emitujú látky, ktoré sú prekursorami prízemného ozónu (najmä oxidy dusíka a prchavé organické látky), ktorého vysoké koncentrácie nepriaznivo vplyvajú na zdravie ľudí a vedú k poškodzovaniu ekosystému.

Kľúčové slová: prekursorov ozónu, emisné limity, prchavé organické látky VOC

Obsah

Na základe posledných údajov Národného emisného informačného systému bolo v roku 2013 v SR evidovaných celkovo 13 706 veľkých a stredných zdrojov znečisťovania ovzdušia, pričom z tohto počtu bolo 7 351 zdrojov, ktoré emitujú oxidy dusíka (NO_x) a 5 976 zdrojov, ktoré emitujú prchavé organické zlúčeniny (VOC).

Medzi prevádzky, ktoré významne emitujú prekursorov ozónu (predovšetkým VOC) patria aj prevádzky, ktoré sú podľa zákona NR SR č. 39/2013 Z. z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov (ďalej len „zákon o IPKZ“) zaradené do kategórie priemyselných činností **6.7 Prevádzka na povrchovú úpravu látok, predmetov alebo výrobkov používajúcich organické rozpúšťadlá**, najmä vykonávajúce apretáciu, potlač, pokovovanie, odmasťovanie, vodovzdornú úpravu, úpravu rozmerov, farbenie, čistenie alebo impregnáciu so spotrebou organického rozpúšťadla väčšou ako 150 kg za hodinu alebo väčšou ako 200 t za rok.

V rokoch 2005 a 2006 vydala SIŽP integrované povolenie pre dve takéto prevádzky:

- I. „**KIA MOTORS SLOVAKIA, Závod na výrobu automobilov - Lakovňa, Čistiareň odpadových vôd**“, prevádzkovateľ a KIA Motors Slovakia, s.r.o. (Teplička nad Váhom)
- II. „**Závod na výrobu automobilových súčiastok a modulov -Lakovňa**“ prevádzkovateľ a MOBIS Slovakia s.r.o. (Gbeľany, Nededza)

I.

Súčasťou prevádzky „KIA MOTORS SLOVAKIA, Závod na výrobu automobilov - Lakovňa, Čistiareň odpadových vôd“ je **lakovňa karosérií automobilov** (IP č. 5220/770700104/1222-Ma zo dňa 22.12.2006, 20 zmien IP). Projektovaná kapacita prevádzky je **400 000 karosérií za rok**.

Stručný popis výroby:

Karoséria je po zvarení zavesená na skipový vozík pre dopravu dopravníkom po spojovacom moste do

lakovne. Najskôr prechádza linkou chemických predúprav (odmasťovanie a fosfátovanie) a potom ide do linky elektrogalvanického základovania. Po vysušení v sušiacich peciach sa karoséria prevezie na linku tmelenia, kde sa karoséria utesní. Po utesnení je karoséria prenášaná do striekacej kabíny primárneho laku (robotizované automatické striekanie - nanášanie základného laku) a po predsušení do sušiacej pece. Potom sa nanáša vrchný lak a nalakovaná karoséria sa vysuší v sušiacей peči vrchného laku. Pri finálnej kontrole sa kontroluje kvalita nalakovaných karosérií a podľa potreby sa vykonávajú prípadné opravy na repasných pracoviskách.

Najvýznamnejšie miesta vzniku VOC v prevádzke lakovne sú:

- vypaľovacia pec po elektrogalvanickom základovaní (elektrogalvanické základovanie sa vykonáva ponorením karosérie do vane s roztokom organickej živice na forme acetátu sa vplyvom elektrického prúdu; po dosiahnutí potrebnej hrúbky karoséria prechádza zónami oplachu, vypaľuje sa a následne sa chladí v chladiacom tuneli),
- pec UBS - na vytvrdzovanie tmela (v linke pretesňovania sa škáry, ktoré zostali po zváraní karosérií, utesňujú PVC tmelom hrubým a jemným pretesnením; súčasne sa vykonáva ochrana spodku karosérie proti mechanickému poškodeniu striekaním PVC),
- medzisušiareň a sušiacia pec po striekaní plniča - základnej farby (striekanie je vykonávané vodou riediteľnými farbami pomocou robotov, následne sa farba predsuší v medzisušiarňi pri teplote karosérie, kde dochádza k odparovaniu cca 75% VOC z laku a následne karoséria postupuje na vypaľovanie do sušiacej pece),
- kabíny na nanášanie vrchného laku a vypaľovacie pece vrchného laku (vrchný náter karosériových dielov sa vykonáva dvojestupňovým nanášaním základného a číreho laku v osobitých nanášacích kabínach a sušením v dvoch sušiarňach).

Vzdušina s obsahom prchavých organických látok (VOC) je odvádzaná do koncového zariadenia na termickú oxidáciu organických látok TAR (termické oxidačné zariadenie), ktoré slúži na znižovanie množstva znečisťujúcich látok v odpadovom plyne spaľovaním.

V tomto zariadení dochádza k termickému rozkladu organických prchavých plynov obsiahnutých v odsávaných odpadových plynach z jednotlivých sušiarňí. Spaľovanie prebieha pri teplote 690 - 750 °C, pri ktorej z väčšej časti ZL obsiahnuté v odvádzanom vzduchu zoxidujú na CO₂ a H₂O. Zostatkové znečistenie a znečistenie zo spaľovania, obsahujúce CO, NO_x, VOC, TZL, sa odvádzajú nad strechu haly lakovne a vypúšťajú do komunálneho ovzdušia príslušnými technologickými výdychmi. Teplota v spaľovacej komore sa reguluje automaticky. Horúce čisté plyny, ktoré vznikajú pri spaľovaní sa privádzajú k jednotlivým agregátom cirkulujúceho vzduchu, aby teplo bolo využité na ohrev sušiarňí karosérií. Horák v TAR sa zapaľuje a prevádzkuje zemným plynom.

TAR po naštartovaní pomocou horákov zemného plynu dokáže zapáliť prchavé zložky VOC vo vzduchu odsávanom z pecí a stabilizovať proces vlastného horenia VOC. Tým sa nielen likviduje nežiaduca zložka znečisťujúcich emisií, ale súčasne sa využíva jej energetický potenciál na ohrev privádzaného čerstvého vzduchu do sušiacej pece.

Dopaľovacie zariadenie TAR musí spĺňať základné podmienky:

- musí byť dodržiavaná teplota spaľovania potrebná na rozklad prchavých organických látok,
- teplota spalín musí byť dosahovaná riadeným spôsobom a rovnomerne aj pri najne-priaznivejších podmienkach počas zdržnej doby stanovenej výrobcom zariadenia.

Emisné limity pre činnosť nanášanie náterov v priemysle výroby áut sa pre lakovňu v prevádzke „Kia Motors Slovakia s.r.o., Závod na výrobu automobilov - Lakovňa, Čistiareň odpadových vôd“:

Zariadenia s prahovou spotrebou rozpúšťadla ≥ 15 t/rok					
Činnosť	Produkcia vozidiel ks/rok	do 31.12.2019		od 01.01.2020	
		Nové zariadenia		Nové zariadenia	
		Odpadové plyny	Celkové emisie ²⁾	Odpadové plyny	Celkové emisie ²⁾
Nanášanie náterov v priemyselnej automobilovej výrobe		TZL ¹⁾ mg/m ³	VOC g/m ²	TZL ¹⁾ mg/m ³	VOC g/m ² Nové zariadenia
Osobné automobily	> 5000	3	45 alebo 1,3 kg/ks +33 ³⁾	3	35 alebo 1 kg/ks + 26

TZL- tuhé znečisťujúce látky; VOC

Podmienky platnosti EL: Štandardné stavové podmienky, vlhký plyn

Emisný limit pre celkové emisie platí pre všetky štádiá procesu vykonávané v tom istom zariadení od elektroforetického nanášania náteru alebo iného druhu nanášania náteru až po konečné voskovanie vrátane nanosenia vrchného náteru. Do celkových emisií sa započítavajú aj emisie z čistenia použitých nástrojov a technického vybavenia vrátane striekacích kabín počas výrobných aj nevýrobných stavov.

Pre dopal'ovacie zariadenia TAR platia nasledovné emisné limity:

Znečisťujúca látka	do 31.12.2015	od 01.01.2016
NO _x	200 mg.m ⁻³	200 mg.m ⁻³
TOC	20 mg.m ⁻³	20 mg.m ⁻³
TZL	-	20 mg.m ⁻³
CO	100 mg.m ⁻³	100 mg.m ⁻³
SO ₂	-	-

Emisný limit pre suchý plyn (NO_x, CO, TZL) / vlhký plyn (TOC) pri štandardných stavových podmienkach – 101,325 kPa a 0 °C, pre obsah kyslíka v odpadových plynoch 17 % obj.

Na základe výsledkov oprávnených meraní vykonaných v predchádzajúcom období prevádzka spĺňa emisné limity stanovené v integrovanom povolení.

V roku 2014 bol emisný limit pre celkové emisie 15,9 g VOC/m² < 45 (resp. 35) g VOC/m²

Výpočet celkových emisií VOC z prevádzky lakovne za rok 2014:

<i>Bilančný prúd nepriamej bilancie</i>				<i>Množstvo emisií</i>	
<i>spotreba organických rozpúšťadiel v prevádzke (I1)</i>	<i>Emisie za odlučovačmi TAR (01)</i>	<i>Množstvo VOC zachytené v TAR (94%) (05)</i>	<i>Množstvo VOC zachytené v odpadoch (06)</i>	<i>Fugitívne emisie (F=I1-01-05-06) (F)</i>	<i>Celkové ročné emisie VOC (F+01)</i>
<i>t/rok</i>				<i>t/rok</i>	
689,759	307,573	25,522	261,577	140,087	447,660

Na základe žiadosti prevádzkovateľa inšpekcia v roku 2014 vydala súhlas na výmenu horákov v sušiacich peciach za nízkoemisné horáky s nižším príkonom a výmenu horákov v dopalovacích zariadeniach TAR za horáky novej generácie TARCUM V, ktoré zabezpečia lepšie rozloženie teploty v spaľovacej komore, lepší rozklad organických prchavých látok a tým aj zníženie teploty a úsporu spotreby zemného plynu.

V priebehu 2 rokov bolo vymenených celkovo 9 ks horákov zo 14 ks horákov na peciach. Pred výmenou boli namerané hodnoty pre NO_x = 180 mg/m³, CO = 30 mg/m³. Po výmene je NO_x pod 100 mg/m³, CO pod 15 mg/m³.

Už bola zrealizovaná aj výmena horákov na dopalovacích zariadeniach TAR za horáky novej generácie TARCUM V. Meranie emisií po výmene za horáky novej generácie dosiaľ neboli vykonané, plánované sú na október 2015.

II.

Súčasťou prevádzky „Závod na výrobu automobilových súčiastok a modulov -Lakovňa“ prevádzkovateľa MOBIS Slovakia s.r.o. je povrchová úprava plastových dielcov (nárazníkov a prístrojových dosiek) vykonávaná na báze organických a vodou riediteľných náterových hmôt, ktoré budú aplikované na kontinuálnej automatickej lakovacej linke (IP č. 3355/770760105/891-Ma zo dňa 14.11.2005, 16 zmien IP). Projektovaná kapacita prevádzky je 3 900 ks nárazníkov a 1 200 ks prístrojových dosiek za deň – 957 000 ks nárazníkov a 232 000 ks prístrojových dosiek za rok.

Stručný popis výroby:

Hala lakovne sa skladá z uzavretých boxov - kabín, v ktorých sa uskutočňujú povrchové úpravy. Pred nanášaním náterov sú dielce odmasťované (čistenie dielcov, pasivačný oplach) a opalované (automatické pracovisko na opalovanie dielcov). Nasleduje lakovanie dielcov v troch fázach:

- základný náter (vodou riediteľný),
- podkladový náter dvojzložkovým vo vode rozpustným náterom,
- vrchný, transparentný náter s obsahom organických rozpúšťadiel .

Po nanesení každého z náterov sú dielce sušené v teplovzdušných tuneloch a konečný náter je vypaľovaný v peci. Všetky nátery sú nanášané robotmi v uzavretých kabínach.

Medzi najvýznamnejšie miesta vzniku VOC v prevádzke lakovne sú:

- opalovanie (automatické pracovisko na opalovanie dielcov)
- lakovňa – dopalovacie zariadenie RTO (TOC, TZL, CO, NO_x, SO₂)

Vzduššina z celého procesu lakovania (s obsahom prchavých organických látok VOC) je odvádzaná do koncového zariadenia na termickú oxidáciu organických látok RTO (regeneratívne termické oxidačné zariadenie), ktoré slúži na znižovanie množstva znečisťujúcich látok v odpadovom plyne spaľovaním. V

tomto zariadení dochádza k termickému rozkladu organických prchavých plynov obsiahnutých v odsávaných odpadových plynch. Spaľovanie prebieha pri teplote $800 \pm 50^\circ\text{C}$, pri ktorej z väčšej časti znečisťujúce látky obsiahnuté v odvádzanom vzduchu zoxidujú na CO_2 a H_2O . Zostatkové znečistenie a znečistenie zo spaľovania, obsahujúce CO , NO_x , TOC , TZL , je ochladzované a vypúšťané do komunálneho ovzdušia komínovým telesom.

RTO pracuje v automatickom tepelnom režime.

Emisné limity pre činnosť nanášania náterov na plasty v prevádzke „Závod na výrobu automobilových súčiastok a modulov - Lakovňa“:

Znečisťujúca látka	Do 31.12.2015	Od 01.01.2016
NO_x	200 mg.m^{-3}	200 mg.m^{-3}
TOC	20 mg.m^{-3}	20 mg.m^{-3}
TZL	-	20 mg.m^{-3}
CO	100 mg.m^{-3}	-
SO_2	-	-

Emisný limit pre suchý plyn (NO_x , CO , TZL) / vlhký plyn (TOC) pri štandardných stavových podmienkach – 101,325 kPa a 0°C pre obsah kyslíka v odpadových plynch zodpovedajúce konkrétnym podmienkam

Lakovňa fugitívne emisie	Znečisťujúca látka	Do 31.12.2015	Od 01.01.2016
Pre celú prevádzku, zo všetkých procesov vrátane čistenia	VOC	25%	25%

Emisný limit pre celú prevádzku zo všetkých procesov nanášania náterov na základe bilančného výpočtu (sériové - kontinuálne nanášanie náterových látok - prahová spotreba rozpúšťadla $> 5 \text{ t.rok}^{-1}$)

Na základe výsledkov oprávnených meraní vykonaných v predchádzajúcom období prevádzka spĺňa emisné limity stanovené v integrovanom povolení.

V roku 2014 bol emisný podiel fugitívnych emisií **1,65 %** $< 25\%$.

Výpočet celkových emisií VOC z prevádzky lakovne za rok 2014:

Bilančný prúd nepriamej bilancie				Množstvo emisií	
spotreba organických rozpúšťadiel v prevádzke (I1)	emisie za odlučovačmi RTO (01)	Množstvo VOC zachytené v RTO (99%) (05)	Množstvo VOC zachytené v odpadoch (06)	Fugitívne emisie (F=I1-01-05-06) (F)	Celkové ročné emisie VOC (F +01)
t/rok				t/rok	
202,992	2,494	166,701	30,450	3,347	5,841