

ÚLOHA LOKÁLNEJ FENOLOGICKEJ PARAMETRIZÁCIE PRI HODNOTENÍ PREKRAČOVANIA KRITICKÝCH ÚROVNÍ OZÓNU PRE LESNÉ DREVINY

Hana Pavlendová

National Forest Centre – Forest Research Institute, T. G. Masaryka 22, 96092 Zvolen

Abstract. The three different approaches in the assessment of critical levels exceedance of ozone for forest trees using AOT40 are compared in this study, with focusing on differences resulting from determination of the duration of the vegetation period. The assessed tree species was European beech (*Fagus sylvatica* L.) at the locality Polana – Hukavský grun in the period 2004 – 2008. The AOT40 was calculated with using general parameterisation of the timing and duration of vegetation season, the real duration of vegetation season acquired from long-term phenological observation and real duration of vegetation season with consideration of leaf maturity. Index AOT40 reached the highest values using general parameterisation of the vegetation season. AOT40 calculated using local phenological data was lower by 4 – 17% and by 7 – 31% if leaf maturity was considered. The onset date of vegetation season had higher influence on overall values of AOT40 than the offset date. Besides the timing, the duration of spring phenophase and occurrence of spring ozone maximum had considerable effect. Despite the steady trend in ozone concentrations during recent years, the current trend of extension of vegetation period resulting from the ongoing climate change may lead to increased negative effects of ozone on forest trees.

Úvod

Prízemný ozón je v súčasnosti jedna z najdôležitejších zložiek regionálneho znečistenia ovzdušia na severnej pologuli. Okrem priameho poškodenia a vplyvu na produkciu často prispieva k oslabeniu lesných ekosystémov a môže tak spôsobiť ich väčšiu náchylnosť na poškodenie ostatnými biotickými a abiotickými škodlivými činiteľmi. Významné negatívne reakcie u ľudí aj rastlín sa vyskytujú už pri koncentráciách ozónu blízkych bežne sa vyskytujúcim koncentráciám (UN-ECE 1999). Na ochranu ľudského zdravia vegetácie bol stanovený celý rak kritických úrovní, ktoré sú však veľmi často prekračované vo väčšine európskych krajín a je možné i v budúcnosti očakávať rozsiahly nepriaznivý vplyv na európsku populáciu, poľnohospodárske plodiny a prirodzenú vegetáciu.

Pre posúdenie dlhodobějšího vplyvu ozónu na vegetáciu sa využíva index expozície AOT40, ktorého kritická úroveň pre lesy je 5000 ppb.h, počítaný z denných hodín počas vegetačného obdobia (apríl - september), a to ako suma rozdielov hodinových koncentrácií a 40 ppb pre všetky hodinové koncentrácie vyššie ako 40 ppb (UN-ECE 2004). Pomerne často sa využíva aj staršia hodnota 10000 ppb.h. AOT40 je jednoduchý, na vstupné dáta nenáročný spôsob hodnotenia potenciálneho vplyvu ozónu na lesné dreviny (jediným vstupom sú koncentrácie ozónu), avšak neodráža

skutočnosť, že príjem ozónu rastlinou je ovplyvňovaný najmä vodivosťou prieduchov, na ktorý zas vplyva komplex faktorov, zahŕňajúcich stanovištné a meteorologické podmienky, citlivosť rastlinného druhu a jedinca na ozón a pod. Napriek tomu, že aj staršia kritická úroveň 10000 ppb.h býva pravidelne prekračovaná už v nižších polohách s relatívne nízkou záťažou troposférickým ozónom a vo vyšších polohách dvoj až trojnásobne (SHMÚ a MŽP 2010, Pavlendová 2008, Loibl et al. 2004, Gerosa et al. 2007), neodráža sa táto skutočnosť adekvátne na zdravotnom stave lesných drevín.

Nový koncept kritických úrovní troposférického ozónu, ktorý je založený prístupe hodnotenia potenciálneho vplyvu ozónu na lesné dreviny so zohľadnením rozdielného príjmu ozónu rastlinou vplyvom komplexu stanovištných a mikroklimatických podmienok, je oproti predchádzajúcemu oveľa náročnejší na vstupné údaje. Jedná sa o kritické úrovne stomatálneho toku CF_{st} (critical stomatal flux) a AF_{st} (accumulated stomatal flux) (Matussek et al. 2007, Pihl-Karlsson et al. 2004, Schaub 2007).

Viacere snahy prispôsobiť výpočet indexu AOT40 skutočnému príjmu ozónu rastlinou boli zamerané prevažne na zohľadnenie lokálnych faktorov ovplyvňujúcich príjem ozónu cez prieduchy, najmä dostupnosť pôdnej vlhky (Pihl Karlsson *et al.* 2004), ktorá je limitujúcim faktorom najmä v oblasti stredozemia a v nižších nadmorských výškach kontinentálnej Európy. Tieto snahy vyústili do modifikácie výpočtu AOT40 so zohľadnením vodného pôdneho potenciálu pre poľnohospodárske plodiny (UN-ECE 2004). V porovnaní s južnou Európou nie je na území Slovenska dostatok pôdnej vlhky jednoznačne limitujúcim faktorom (okrem polôh s nízkou nadmorskou výškou a extrémne presýchavých stanovišť). Väčší vplyv na celkovú hodnotu AOT40, najmä u listnatých drevín, má na našom území určenie nástupu a dĺžky trvania vegetačného obdobia, ktoré je pre strednú kontinentálnu Európu definované od 1. apríla do 30. septembra, skutočnosti však pre väčšinu drevín začína neskôr, u buka s oneskorením približne (Bucha *et al.* 2011, Škvareninová *et al.* 2008).

V príspevku porovnáваме prekračovanie kritickej úrovne indexu AOT 40 pre lesné ekosystémy v období rokov 2004 – 2008 vypočítaného tromi spôsobmi. Okrem i) klasického výpočtu so všeobecnou parametrizáciou modelu (definovanou v manuáli UN/ECE ICP Modelling and Mapping), sme do výpočtu zahrnuli lokálnu fenologickú parametrizáciu definujúcu ii) nástup a celkové trvanie vegetačnej sezóny a iii) fenologickú zrelosť asimilačných orgánov počas jarnej a jesennej fenofázy.

Materiál a metódy

Popis lokality

Výskumno demonštračný objekt Poľana-Hukavský grúň (VDO) sa nachádza na JV úpätí masívu Poľana, ktorý je tvorený stratosferickým vulkánom, v nadmorskej výške 850 m n.m. VDO je situovaný v závere úzkej, JV – SZ orientovanej doliny, v 5. lesnom vegetačnom stupni, v smreko-jedľo-bukovom poraste s prímiesou cenných listnáčov. Centrom VDO je meteorologická veža, na ktorej sa uskutočňujú merania mikroklimatických charakteristík v celom profile porastu. Horná plošina meteorologickej veže sa nachádza nad korunovou úrovňou, vo výške 37 m nad úrovňou terénu.

Meranie koncentrácií ozónu

Koncentrácie prízemného ozónu boli v rokoch 2004 – 2008 merané pomocou automatického analyzátora API400 umiestneného na vrchole meteorologickej veže nad korunovou úrovňou porastu vo výške 37,5 m. Koncentrácie boli merané v 8 sekundových intervaloch, následne boli spriemerované a zaznamenávané 1-hodinové koncentrácie. Analyzátor bol pravidelne kalibrovaný na národný ozónový štandard.

Fenologické pozorovania

Fenologické pozorovania sa na VDO uskutočňujú od roku 2002, sledované sú dreviny buk lesný, javor horský, jaseň štíhly, a smrek obyčajný. Fenologické fázy drevín sú hodnotené podľa manuálu európskeho monitoringu lesov a stupnice SHMÚ. Sleduje sa 10 úrovňových jedincov z každého druhu, za nástup fenofázy je považovaný deň, keď aspoň 50 % jedincov dosiahne danú fenofázu (Priwitzer 2010). Zo všetkých sledovaných fenofáz boli za účelom lokálnej parametrizácie modelového výpočtu AOT40 vybrané fenofázy začiatok pučania a všeobecné žltnutie listov, ktoré určujú celkové trvanie vegetačnej sezóny a všeobecné zalisťovanie a začiatok žltnutia listov, určujúce trvanie plného olistenia drevín.

Modelový výpočet AOT40

Pri odvodzovaní hodnoty AOT40 sme vychádzali z metodiky ICP Modelling and Mapping (UN-ECE 2004). AOT40 je definované ako suma rozdielov hodinových koncentrácií prevyšujúcich hodnotu 40 ppb a 40 ppb počas denných hodín špecifikovaného akumuláčného obdobia – vegetačnej sezóny. V prvej fáze riešenia boli pre všetky dni hodnoteného obdobia 2004 – 2008 vypočítané hodnoty dennej sumy AOT40, D_{AOT} , kde h je denná hodina a C je priemerná hodinová koncentrácia ozónu [1].

$$D_{AOT} = \sum_{h=8}^{20} C - 40 \quad \text{ak } C > 40 \text{ ppb} \quad [1]$$

Pri prvom prístupe sme pri výpočte ročnej sumy AOT40₁ použili všeobecnú fenologickú parametrizáciu, kedy je vegetačné obdobie pre lesy strednej kontinentálnej Európy definované od 1. apríla do 30. septembra (d je poradový deň v roku) [2].

$$AOT40_1 = \sum_{d=91}^{273} D_{AOT} \quad [2]$$

resp. koncový deň vegetačného obdobia v danom roku [3].

$$AOT40_1 = \sum_{d=d_{start}}^{d_{end}} D_{AOT} \quad [3]$$

V treťom prístupe boli denné hodnoty AOT40 vynásobené koeficientom f_{phen} , ktorý vychádza z metodiky ICP Modelling and Mapping pre hodnotenie tokov ozónu a zohľadňuje postupný nárast a pokles fyziologickej aktivity súvisiacej s aktívnym príjmom ozónu rastlinou počas zalisťovania a žltnutia listov [4].

$$AOT40_1 = \sum_{d=d_{start}}^{d_{end}} (D_{AOT} * f_{phen}) \quad [4]$$

Výpočet f_{phen} sa líšil v závislosti od fenologickej fázy, v ktorej sa hodnotená drevina nachádzala. Počas jarnej fenofázy (perióda rastu), v období od začiatku pučania (d_{start}) po všeobecné zalistenie (d_{ff}), výpočet prebiehal nasledovne [5]:

$$\text{ak } (d_{start}) \leq d \leq (d_{ff} - d_{start})$$

$$f_{phen} = (d - d_{start}) / (d_{ff} - d_{start}) \quad [5]$$

Počas trvania plného olistenia, od všeobecného zalistenia po začiatok žltnutia (d_{yb}), koeficient f_{phen} dosahoval maximálnu hodnotu [6].

$$\text{ak } d_{ff} < d < d_{yb}$$

$$f_{phen} = 1 \quad [6]$$

Počas jesennej fenofázy (periódy poklesu), medzi začiatkom žltnutia a všeobecným žltnutím, potom hodnota f_{phen} postupne klesala [7].

$$\text{ak } d_{yb} \leq d \leq (d_{end} - d_{yb})$$

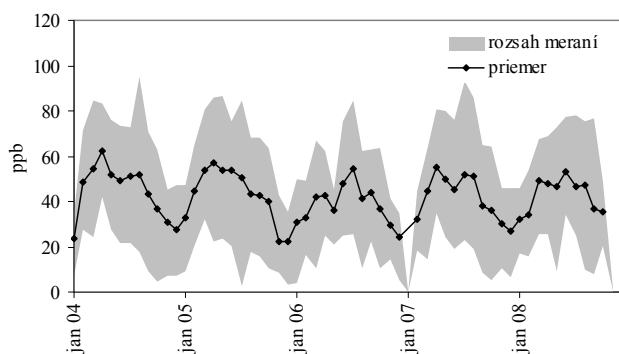
$$f_{phen} = (d_{end} - d) / (d_{end} - d_{yb}) \quad [7]$$

V dôsledku výpadkov elektrickej energie alebo porúch prístroja, dochádzalo k výpadkom v meraní a následne chýbajúcim hodnotám pre výpočet AOT40. Chýbajúce hodnoty AOT40 boli počas výpočtu dopĺňané štandardnou metodikou SHMÚ (SHMÚ a MŽP 2010).

Výsledky a diskusia

Koncentrácie prízemného ozónu namerané na lokalite Poľana-Hukavský grúň vykazovali v období rokov 2004 – 2008 typický ročných priebeh s minimálnymi koncentraciami v zimnom období a s jednoduchým, alebo dvojitém maximom v jarnom až letnom období (Obr. 1). Jarné maximum bolo prevažne dosahované v apríli, letné v júli až auguste, s výnimkou roku 2008, kedy bolo maximum dosiahnuté v júni a v ostatných mesiacoch letného obdobia

mali koncentrácie vyrovnaný priebeh. V roku 2006 boli v porovnaní s ostatnými sledovanými rokmi výrazne nižšie koncentrácie v jarnom období, čo sa v konečnom dôsledku prejavilo na hodnote ročného priemeru, ktorý dosiahol hodnotu 38,6 ppb. Ročný priemer koncentrácií ozónu dosahoval v ostatných rokoch hodnoty od 41,86 ppb v roku 2007 do 44,4 ppb v roku 2004.



Obrázok 1. Priebeh priemerných mesačných koncentrácií ozónu s rozsahom meraní na lokalite Poľana-Hukavský grúň v rokoch 2004 – 2008

Výsledky fenologických pozorovaní na lokalite Poľana-Hukavský grúň v období 2004 – 2008 sú uvedené v Tabuľke 1 (Priwitzer 2010). Z výsledkov vyplýva, že v sledovanom období nastával začiatok pučania a teda aj začiatok vegetačného obdobia pre buk lesný v tretej aprílovej dekáde, s výnimkou roku 2006, kedy k rozpuču listových púčikov došlo v závere druhej aprílovej dekády. Všeobecné zalistenie po približne mesiac trvajúcej fáze zalisťovania a začiatok trvania plného olistenia buka nastávali v tretej májovej dekáde; výnimkou bol opäť rok 2006, kedy fáza zalisťovania trvala iba 20 dní a všeobecné zalistenie nastalo už v závere prvej májovej dekády. Plné olistenie trvalo od 127 dní v roku 2005 do 141 dní v roku 2006, v priemere 134 dní. Žltnutie listov malo trvanie od konca poslednej septembrovej dekády až do prelomu prvej a druhej októbrovej dekády, o viac ako desať dní bolo posunuté v roku 2005.

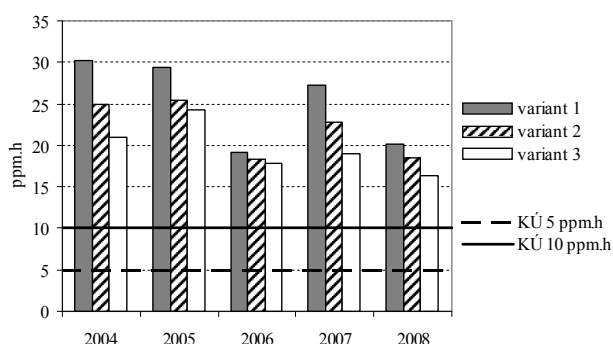
Tabuľka 1. Dni nástupu fenologických fáz buka lesného na TMP Poľana-Hukavský grúň v rokoch 2004 – 2008 (Priwitzer 2010)

Rok	Začiatok pučania	Zalisťovanie		Žltnutie listov	
		začiatok	všeobecné	začiatok	všeobecné
	d_{start}	d_{ff}	d_{vb}	d_{end}	
2004	27.4.	4.5.	25.5.	30.9.	12.10.
2005	27.4.	11.5.	24.5.	11.10.	26.10.
2006	19.4.	3.5.	9.5.	27.9.	11.10.
2007	25.4.	9.5.	22.5.	26.9.	10.10.
2008	22.4.	6.5.	20.5.	30.9.	8.10.

Skutočná dĺžka trvania vegetačnej sezóny buka lesného na tejto lokalite v hodnotenom období bola od 168 do 182 dní, v priemere 174 dní. Rozdiel medzi dĺžkou vegetačnej sezóny definovanou pre výpočet AOT40 pre strednú kontinentálnu Európu (UN-ECE 2004), ktorá je 182 dní, a

skutočnou pozorovanou hodnotou sa líši iba mierne, výraznejší rozdiel je v dni nástupu vegetačnej sezóny skutočnej a definovanej. Pre danú lokalitu sa v hodnotenom období začínala vegetačná sezóna s oneskorením priemerne 22 dní a trvala o 8 dní kratšie oproti všeobecne definovanému nástupu, s nadmorskou výškou sa nástup vegetačnej sezóny ešte viac oneskoruje a trvanie sa skraca (Bucha *et al.* 2011).

Na základe nameraných hodinových koncentrácií ozónu a pozorovaných dní nástupu jednotlivých fenologických fáz sme vypočítali hodnoty indexu AOT40 pre tri varianty fenologickej parametrizácie. Výsledky výpočtu AOT 40 sú znázornené na Obrázku 2.



Obrázok 2. Hodnoty indexu AOT40 na lokalite Poľana-Hukavský grúň pre buk lesný v období 2004 – 2008 počítané pre tri varianty fenologickej parametrizácie modelového výpočtu (variant 1 – všeobecná parametrizácia, variant 2 – pozorovaná dĺžka vegetačnej sezóny, variant 3 – pozorovaná dĺžka vegetačnej sezóny so zohľadnením zrelosti asimilačných orgánov)

Pri prvom prístupe (variant 1), kedy bola použitá všeobecná parametrizácia vegetačnej sezóny pre strednú kontinentálnu Európu (1. apríl – 30. september) dosahoval index AOT40 hodnoty 19156 ppb.h v roku 2006 do 30145 ppb.h v roku 2004.

Pri druhom prístupe s využitím pozorovaných údajov o nástupe a dĺžke trvania vegetačnej sezóny (variant 2) sa vypočítané hodnoty indexu AOT40 pohybovali v rozpätí 18342 – 25416 ppb.h a boli nižšie v priemere o 12 %. Najnižší rozdiel 4 % bol v roku 2006, ktorý spôsobil najmä skorý začiatok vegetačnej sezóny, ktorý sa približoval k hodnote všeobecnej parametrizácie, najvyšší rozdiel bol v roku 2004 (17 %) a 2007 (16 %), ktorý okrem neskoršieho nástupu vegetačnej sezóny spôsobili vysoké koncentrácie ozónu počas výrazného jarného maxima začiatkom apríla, pred pozorovaným nástupom vegetačnej sezóny buka.

Pri treťom prístupe (variant 3), kedy okrem pozorovaných údajov o nástupe a dĺžke trvania vegetačnej sezóny bola zohľadnená aj zrelosť asimilačných orgánov, sa hodnoty indexu AOT40 pohybovali v rozpätí 16406 – 24233 ppb.h, oproti výpočtu s využitím všeobecnej parametrizácie boli nižšie v priemere o 21 %. Najnižší rozdiel bol opäť v roku 2006, okrem skoršieho nástupu vegetačnej sezóny a kratšieho trvania zalisťovania spôsobili aj relatívne nízke

koncentrácie ozónu počas nevýrazného jarného maxima v roku 2006. Najvyššie rozdiely sme zaznamenali v rokoch 2004 a 2007 (31 resp. 30 %), na ktorých sa okrem oneskorenia začiatku vegetačnej sezóny a vysokých koncentrácií ozónu počas jarného maxima podieľali dlhšie trvanie fázy zalisťovania (najmä v roku 2004) a kratšie trvanie plného olistenia. Na rozdiel od prvého variantu, kedy bola najvyššia hodnota indexu AOT40 dosiahnutá v roku 2004, vo variantoch so zohľadnením skutočných údajov o nástupe a dĺžke trvania vegetačnej sezóny boli najvyššie hodnoty dosiahnuté v roku 2005, čo bolo spôsobené kombináciou viacerých faktorov – vysoké koncentrácie ozónu počas celej vegetačnej sezóny bez výrazného jarného maxima ale aj bez prepadu medzi jarným a letným obdobím, kratšie trvanie fázy zalisťovania, dlhšie trvanie plného olistenia i vegetačnej sezóny. Hodnoty indexu AOT40 s využitím lokálnej fenologickej parametrizácie dosahujú nižšie hodnoty v porovnaní s výpočtom so všeobecnou fenologickou parametrizáciou, kritická úroveň stanovená na ochranu lesných ekosystémov však bola výrazne prekračovaná počas celého sledovaného obdobia pre všetky varianty výpočtu. Pri variante výpočtu so všeobecnou fenologickou parametrizáciou bolo prekročenie staršej kritickej úrovne 10000 ppb.h až trojnásobné, čo znamená až šesťnásobné prekročenie aktuálnej kritickej úrovne 5000 ppb.h. Takmer dvojnásobné, resp. štvornásobné prekročenie týchto kritických úrovní bolo zaznamenané aj vo fotochemicky menej priaznivých rokoch. Aj vo variante 3 s najnižšími vypočítanými hodnotami AOT40 bola kritická úroveň 10000 ppb.h prekročená 1,5 až 2,5-násobne a kritická úroveň 5000 ppb.h 3 až 5-násobne. Výskyt viditeľného poškodenia buka lesného ozónom, ktorý je každoročne zaznamenávaný na tejto lokalite (Pavlendová 2010) potom potvrdzuje negatívne účinky ozónu na túto drevinu. Zohľadnenie lokálnej fenológie lesných drevín pri výpočte AOT40 približuje mieru prekročenia kritickej úrovne skutočnému pôsobeniu ozónu na vegetáciu a je kompromisom medzi základným, na vstupné údaje nenáročným výpočtom AOT a modelovým výpočtom tokov ozónu, ktorý je však veľmi náročný na vstupné údaje. Pri využití niektorého fenologického modelu (Bucha *et al.* 2011) je táto metóda vhodná i na priestorové modelovanie prekračovania kritických úrovní AOT pre lesné dreviny.

Záver

V práci porovnáваме tri prístupy hodnotenia prekračovania dlhodobých kritických úrovní ozónu pre drevinu buk na princípe AOT 40 v rokoch 2004 – 2008 na lokalite Poľana-Hukavský grúň, s rôznym spôsobom určenia termínu nástupu a dĺžky trvania vegetačnej sezóny. V porovnaní s výpočtom s využitím všeobecnej parametrizácie nástupu a trvania vegetačného obdobia (apríl – september) dosahoval index AOT40 vypočítaný s využitím lokálnych fenologických údajov hodnoty nižšie o 4 – 17 %, v prípade, že bola zohľadnená aj fenologická zrelosť asimilačných orgánov hodnoty nižšie o 7 – 31 %. Dátum začiatku vegetačnej sezóny mal na celkovú sumu AOT 40 vyšší vplyv, ako dátum ukončenia vegetačnej

sezóny. Najväčšie rozdiely nastali v rokoch s výrazným jarným maximom, pričom okrem dátumu začiatku vegetačnej sezóny mala vplyv aj dĺžka trvania jarnej fenofázy.

Súčasný trend predlžovania vegetačnej sezóny vyplývajúci z prebiehajúcich klimatických zmien tak môže mať za následok zosilnenie negatívneho vplyvu ozónu na lesné dreviny napriek vyrovnanému trendu ozónových koncentrácií v poslednom období.

Pod'akovanie Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0608-10.

Literatúra

- Bucha, T., Priwitzer, T., Koreň, M.: Modelovanie fenologického vývoja lesných porastov pomocou vegetačného indexu NDVI odvodeného zo satelitných snímok MODIS. *Lesnícky časopis - Forestry Journal*, ročník 57, č. 3 (v tlači), 2011
- Gerosa, G., Ferretti, M., Bussotti, F., Rocchini, D.: Estimates of ozone AOT40 from passive sampling in forest sites in South-Western Europe, in *Environmental Pollution* 145, pp. 629-635, 2007
- Loibl, W., P., Bolhřir-Nordenkamp, H., R., Herman, F., Smidt, S.: Modelling Critical Levels of Ozone for the Forested Area of Austria. Modifications of the AOT Concept, in *Environ Sci & Pollut Res* 11 (3), pp. 171-180, 2004
- Matyssek, R., Bytnerowicz, A., Karlsson, P.-E., Paoletti, E., Sanz, M., Schaub, M., Wieser, G.: Promoting the flux concept for European forest trees. *Environmental Pollution* 146, 587 – 607, 2007
- Pavlendová, H.: Kvalita ovzdušia a viditeľné poškodenie ozónom, in *Monitoring lesov Slovenska. Správa za CMS Lesy a projekt FutMon za rok 2009.*, edited by Pavlenda, P. and Pajtik, J., pp. 91-96, Zvolen, NLC-LVÚ, 2010
- Pavlendová, H.: Modelovanie prekračovania kritických úrovní prízemného ozónu v oblasti Poľany a Zvolenskej kotliny, in *Transport vody, chemikálií a energie v systéme pôda - rastlina - atmosféra* edited by Čelková, A., 16. posterový deň s medzinárodnou účasťou a Deň otvorených dverí na UH SAV, Zborník recenzovaných príspevkov, Bratislava 13. november 2008, Bratislava, UH SAV, pp. 418-427, 2008
- Pihl Karlsson, G., Karlsson, P., E., Soja, G., Vandermeiren, K., Pleijel, H.: Test of the short-term critical levels for acute ozone injury on plants—improvements by ozone uptake modelling and the use of an effect threshold, *Atmospheric Environment* 38 (2004) 2237–2245, 2004
- Priwitzer, T.: Fenologické pozorovania, in *Monitoring lesov Slovenska. Správa za CMS Lesy a projekt FutMon za rok 2009.*, edited by Pavlenda, P. and Pajtik, J., pp. 85-91, Zvolen, NLC-LVÚ, 2010
- SHMÚ a MŽP: Správa o kvalite ovzdušia a podiele jednotlivých zdrojov na jeho znečisťovaní v SR v roku 2009, Bratislava, p. 94, 2010
- Schaub, M.: Effect and risk assessment of ozone air pollution on forest vegetation in Switzerland. *EnviroNews*. Vol. 13, No. 2, April 2007, <http://www.isebindia.com>, 2007
- Škvareninová, J., Domčeková, D., Snopková, Z., Škvarenina, J., Šiška, B.: Phenology of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in the Zvolen basin, in dependence on biometeorological factors. *Folia oecologica* (35)1, Zvolen, 2008
- UN-ECE: Critical levels for ozone – Level II: Environmental documentation No. 111, edited by Führer, J. and Achermann, B., Swiss Agency for Environment, Forest and Landscape, Bern, Switzerland, p. 333, 1999
- UN-ECE: Mapping Manual 2004, Chapter III Mapping Critical Levels for Vegetation, in *Manual for methodologies and criteria for modelling and mapping critical loads and levels and air pollution effects, risk and trends*, www.icpmapping.org, 254 p., 2004