

DEPOZIČNÍ TOK OZONU NAD SMRKOVÝM POROSTEM A JEHO KORELACE S ČISTOU EKOSYSTÉMOVOU PRODUKČÍ

Miloš Zapletal^{1,2}, Pavel Cudlín³, Petr Chroust¹, Otmar Urban³, Radek
Pokorný³, Magda Edwards-Jonášová³, Radek Czerný³, Klára Taufarová³,
Dalibor Janouš³, Alois Medlen⁴, Zbyněk Večeřa⁵, Pavel Mikuška⁵, František
Skácel⁶

¹*Ekotoxa s.r.o. - Centre for Environment and Land Assessment, Otická 37, 746 01
Opava, Czech Republic*

²*Silesian University at Opava, Faculty of Philosophy and Science, Masarykova 37, 746
01 Opava, Czech Republic*

³*Institute of Systems Biology and Ecology, AS CR, v.v.i.*

⁴*Czech Hydrometeorological Institute*

⁵*Institute of Analytical Chemistry, AS CR, v.v.i., Veverí 97, 602 00 Brno, Czech Republic*

⁶*VŠCHT Praha*

Cíl přednášky

Seznámení s výsledky řešení dílčího úkolu v rámci projektu
Snížení plnění celospolečenských funkcí lesa vlivem potencionálního
působení přízemního ozonu v kontextu klimatické změny
(SP/1b7/189/07), ve kterém byla

testována hypotéza, **zda zvýšený stomatální příjem ozonu
ovlivňuje čistou ekosystémovou produkci smrku ztepilého a tím i
objemový přírůst biomasy smrku ztepilého.**

Zároveň bylo hodnoceno riziko negativního působení ozonu na smrk
ztepilý, a to fyto toxickou stomatální dávkou ozonu (kumulovaným
stomatálním příjmem ozonu POD0 a POD1) a indexem AOT40.

Měření a modelování toku ozonu

Na experimentálním stanovišti Bílý Kříž (Moravskoslezské Beskydy) byla měřena depoziční rychlost a celkový tok ozonu nad smrkovým porostem v období červenec–srpen 2008 a květen–září 2009.

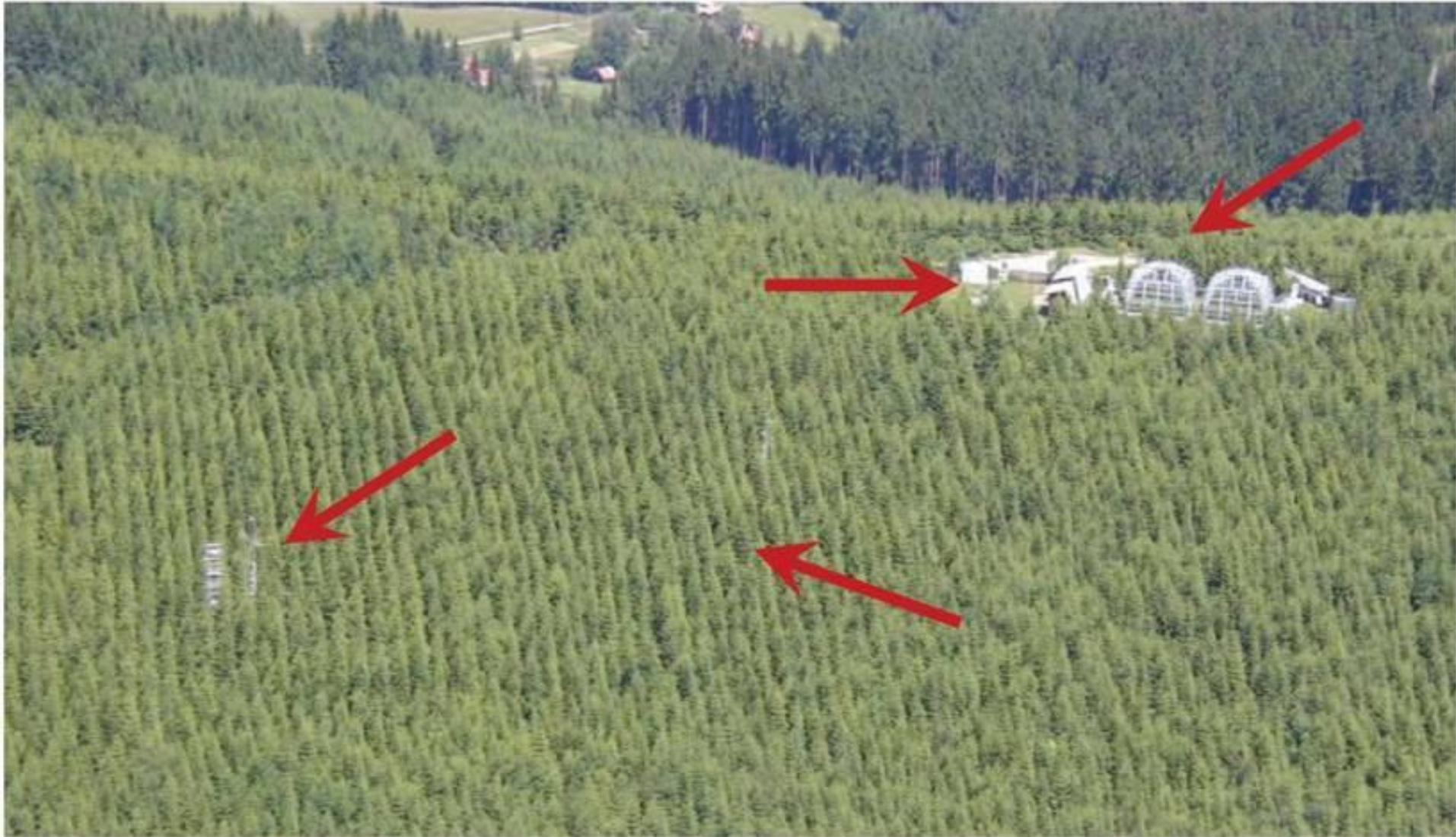
Pro období květen–září 2007, duben–září 2008 a květen–září 2009 byl modelován stomatální a celkový tok ozonu.

Depoziční rychlost v 25 m nad zemí byla odhadnuta gradientovou metodou a porovnána s modelovanou depoziční rychlostí.

Byly měřeny klimatologické a fyziologické parametry včetně výměny CO_2 pomocí Eddy kovariační metody a byla vypočtena čistá ekosystémová produkce (NEP).

Vztahy mezi koncentrací O_3 v 15 m, stomatálním příjmem, celkovým tokem ozonu s NEP byly testovány pomocí multivariačních statistických metod.





Experimental ecological station Bílý
Kříž

Měřicí věž a měřící přístroje na experimentálním stanovišti Bílý Kříž

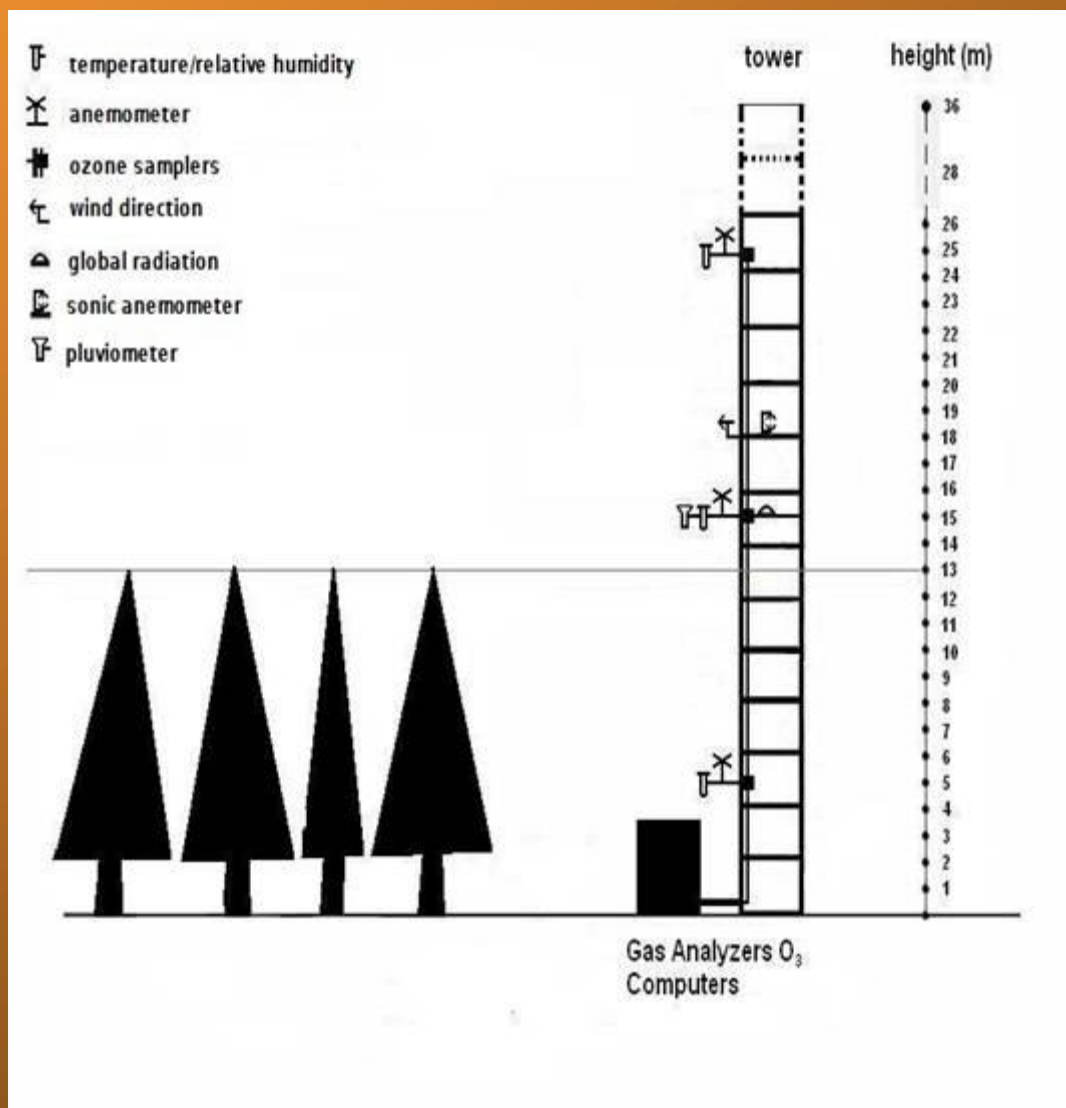
Rychlost větru $1.8 \pm 1.3 \text{ m s}^{-1}$

Teplota vzduchu $14.6 \pm 6.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Rel. vlhkost vzduchu $76.8 \pm 19.2 \%$

Globální záření $184.0 \pm 245.5 \text{ W m}^{-2}$

Koncentrace ozonu $41.4 \pm 13.3 \text{ ppb}$



Koncentrace ozonu v 5, 15 a 25 m nad zemí byly měřeny automatickými UV fotometrickými analyzátoři (O341M, Environment SA, France; HORRIBA). Toky CO_2 a H_2O mezi rostlinným zápojem a atmosférou byly měřeny eddy kovariačním systémem, který zahrnuje ultrasonický anemometr Gill R3 umístěný 18 m nad povrchem půdy, infračervený plynový analyzátor Li-7000, který měří okamžitou koncentraci CO_2 a H_2O .



Gradientová metoda

Depoziční rychlost byla odhadnuta gradientovou metodou ve výšce 25 m nad zemí (Fowler, Duyzer, 1989; Hummelshoj, 1994):

$$F = - \frac{ku_*(c(z_2) - c(z_1))}{(\ln((z_2 - d)/(z_1 - d))) + \psi_h((z_1 - d)/L) - \psi_h((z_2 - d)/L)}$$

$$V_d = - F/c(z)$$

kde F vertikální tok ozonu, k je von Karmanova konstanta, c je koncentrace ozonu, u_* je třecí rychlost, d je výška posunutí, ψ_h je korekční stabilitní funkce pro tok tepla, která byla vypočtena podle Dyer a Hicks (1970) z eddy kovariačních dat.

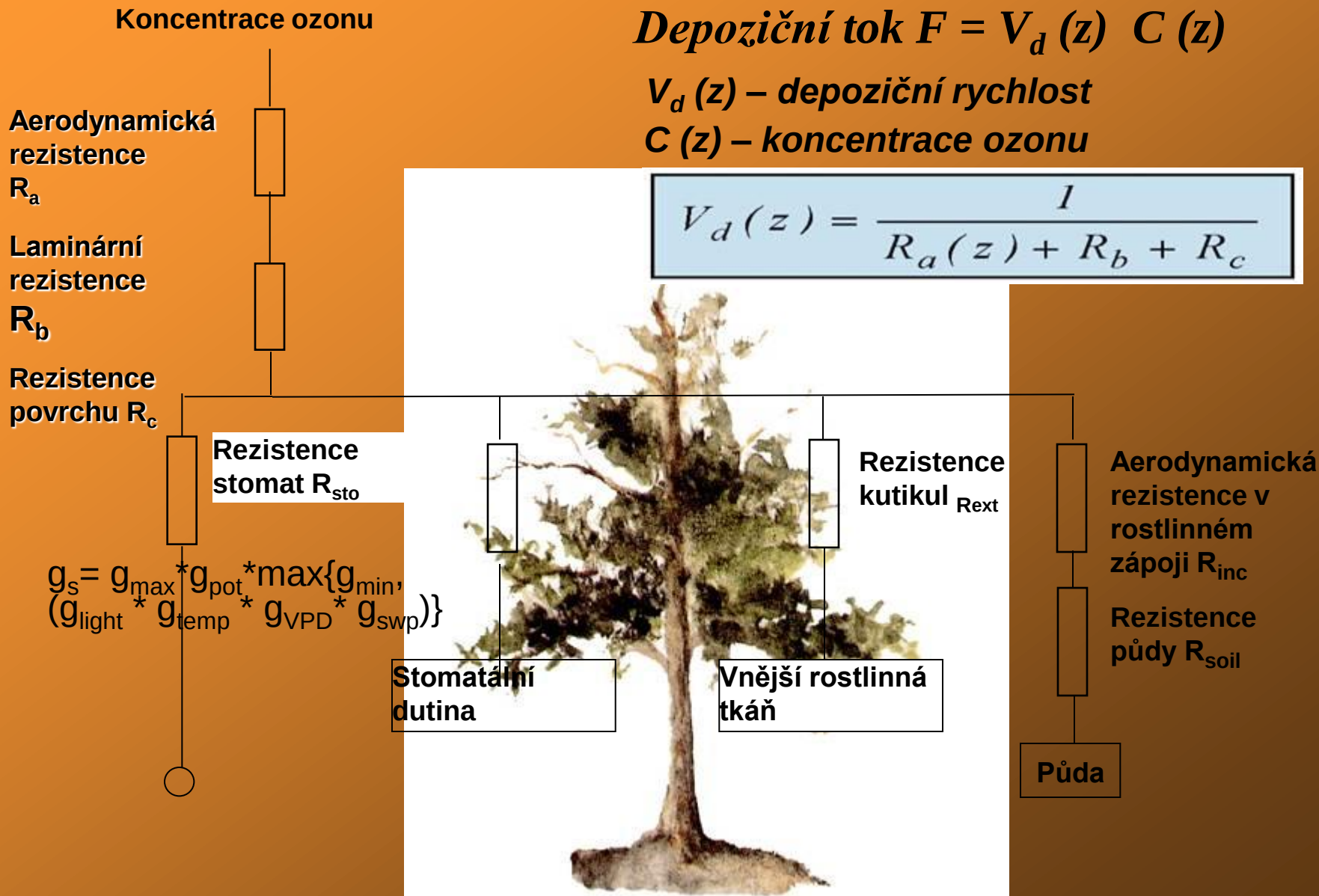
Multiplikativní depoziční model (MDM)

$$\text{Depoziční tok } F = V_d(z) \cdot C(z)$$

$V_d(z)$ – depoziční rychlost

$C(z)$ – koncentrace ozonu

$$V_d(z) = \frac{I}{R_a(z) + R_b + R_c}$$



Stomatální vodivost

Stomatální vodivost byla vypočtena z teploty, fotosynteticky aktivní radiace, sytostního doplňku, dostupnosti vody a fenologických změn podle rovnice (Wieser a Emberson, 2003):

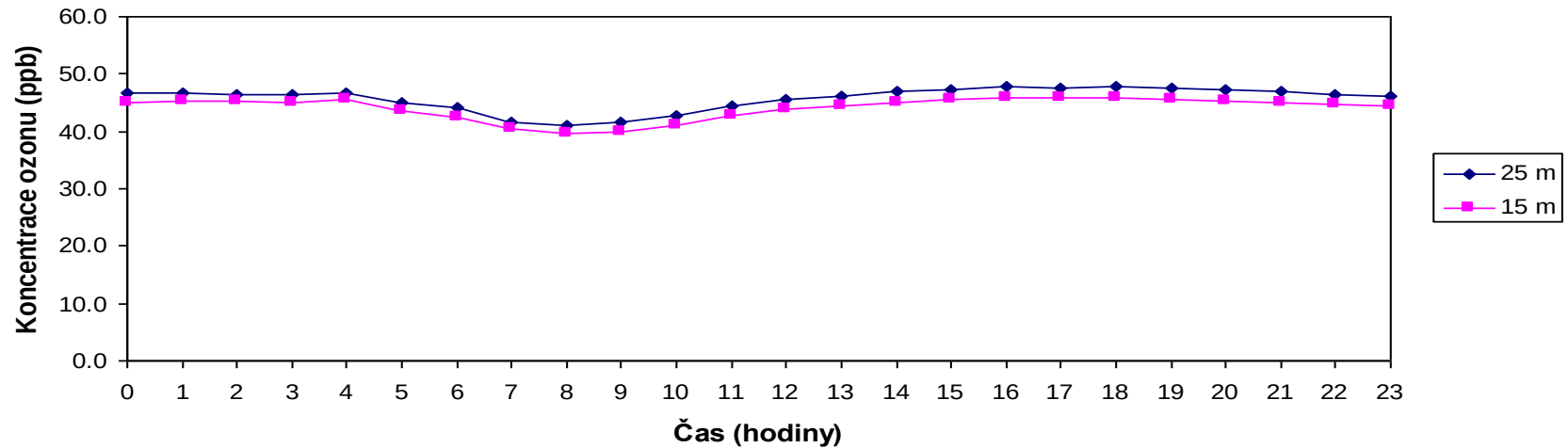
$$g_s = g_{max} * g_{pot} * \max [g_{min}, (g_{light} * g_{temp} * g_{VPD} * g_{SWP})]$$

Kontrola kvality

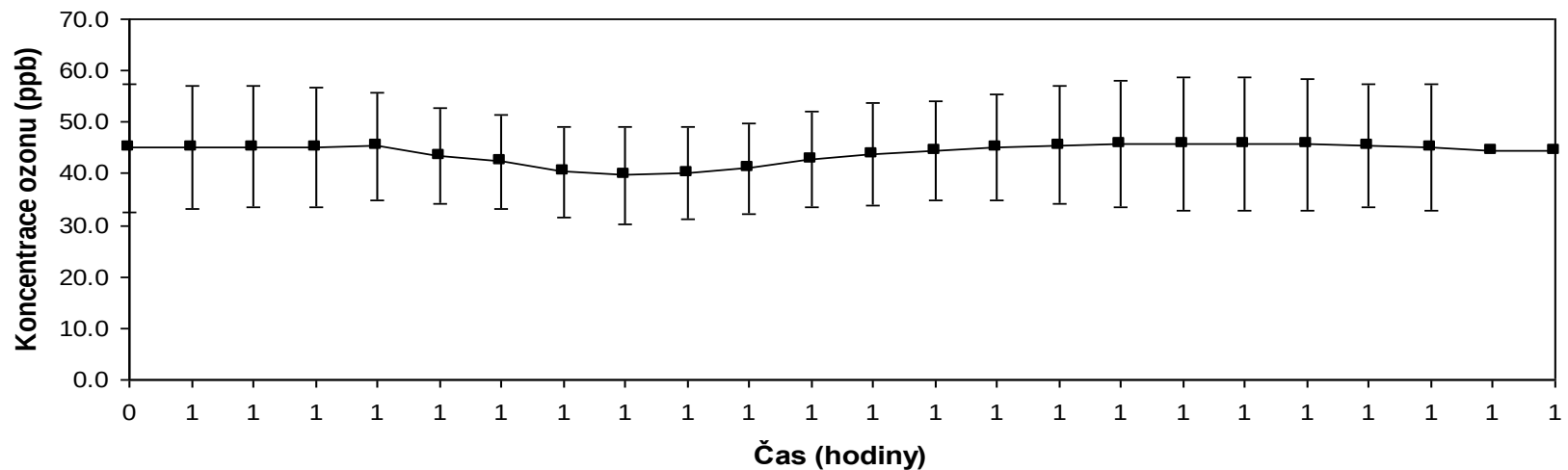
- Po procesová zpracování eddy kovariačních dat bylo založeno na metodologii publikované Aubinetem et al. (2000).
- Vyloučení a kontrola kvality hrubých signálů byla provedena pomocí Quality Control (QC) Software.
- Byl proveden test stacionarity a test turbulentních charakteristik.
- Chybějící nebo špatná data o tocích byla nahrazena pomocí algoritmu založeném na měřených meteorologických proměnných podle Prioula a Chartiera (1977).
- Pro určení koeficientu rozsahu měření ozonu, ofsetu na nulový vzduch a kontrolu linearity analyzátorů byl použit pracovní etalon - ultraviolet photometric analyzer O₃ (TEI 49C).
- Seřízení analyzátorů ozonu proběhlo s hadicemi stejné délky a bylo ověřeno, že délka hadice nemá vliv na měřenou koncentraci – systematické rozdíly v naměřených koncentracích různými hadicemi nebyly nalezeny.

Výsledky I

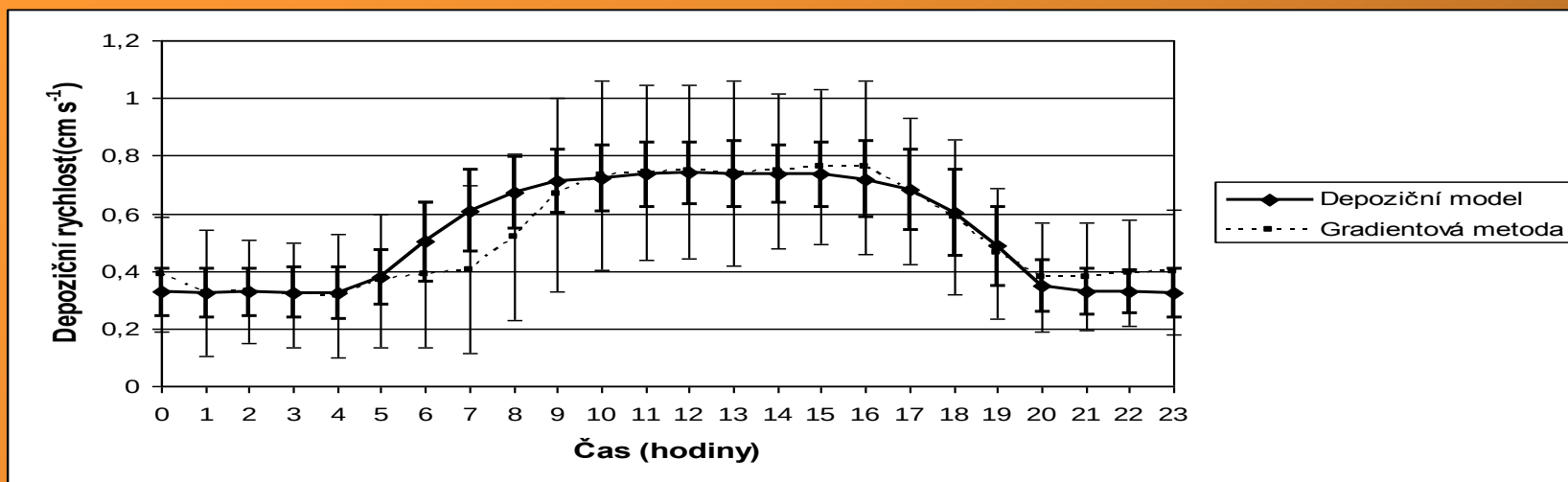
Koncentrace ozonu v období květen-září 2009



Průměrná denní koncentrace ozonu ve výšce 15 m byla 44.0 ± 11.6 ppb, tj. chyba 24 %.



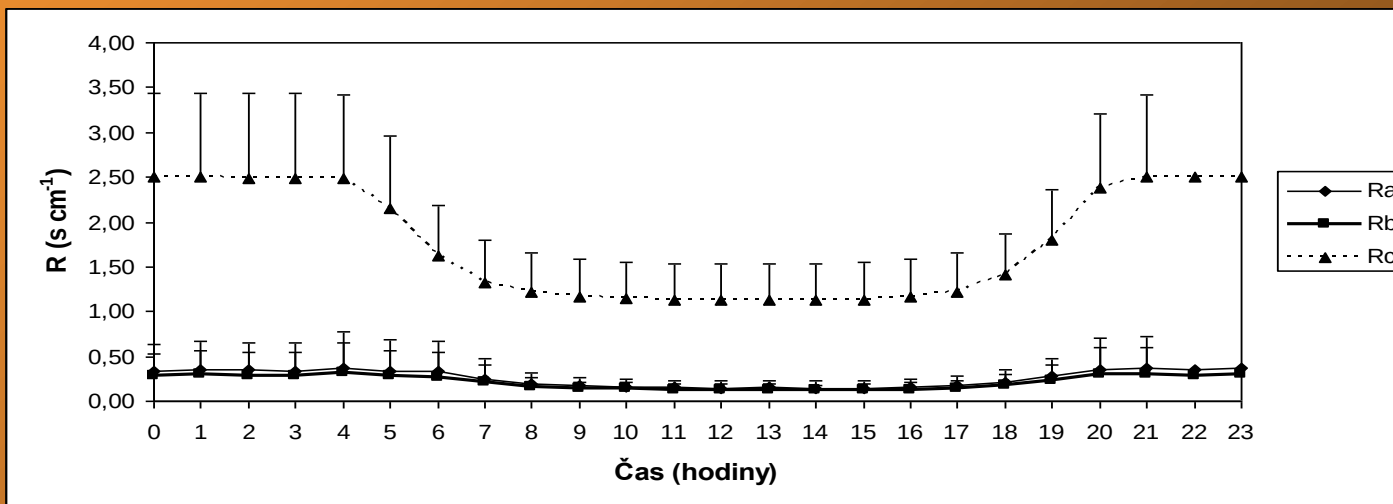
Depoziční rychlost v období květen-září 2009



V_d odhadnutá gradientovou metodou = $0.51 \pm 0.43 \text{ cm s}^{-1}$, tj. chyba 84 %.

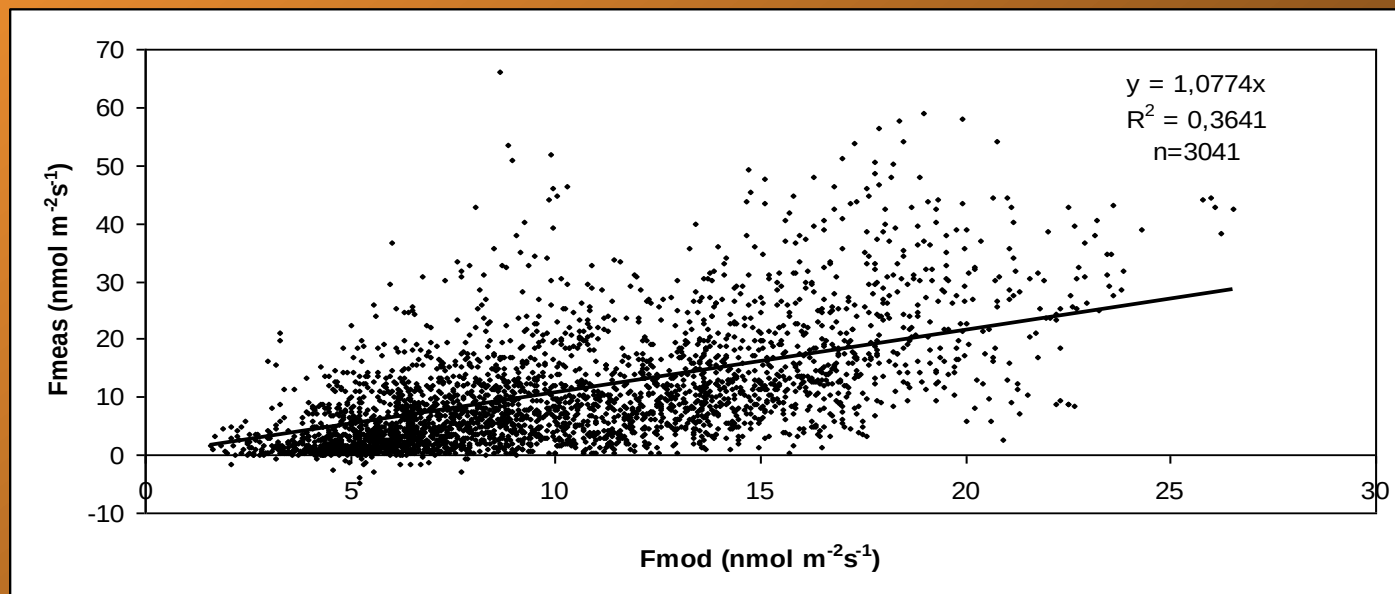
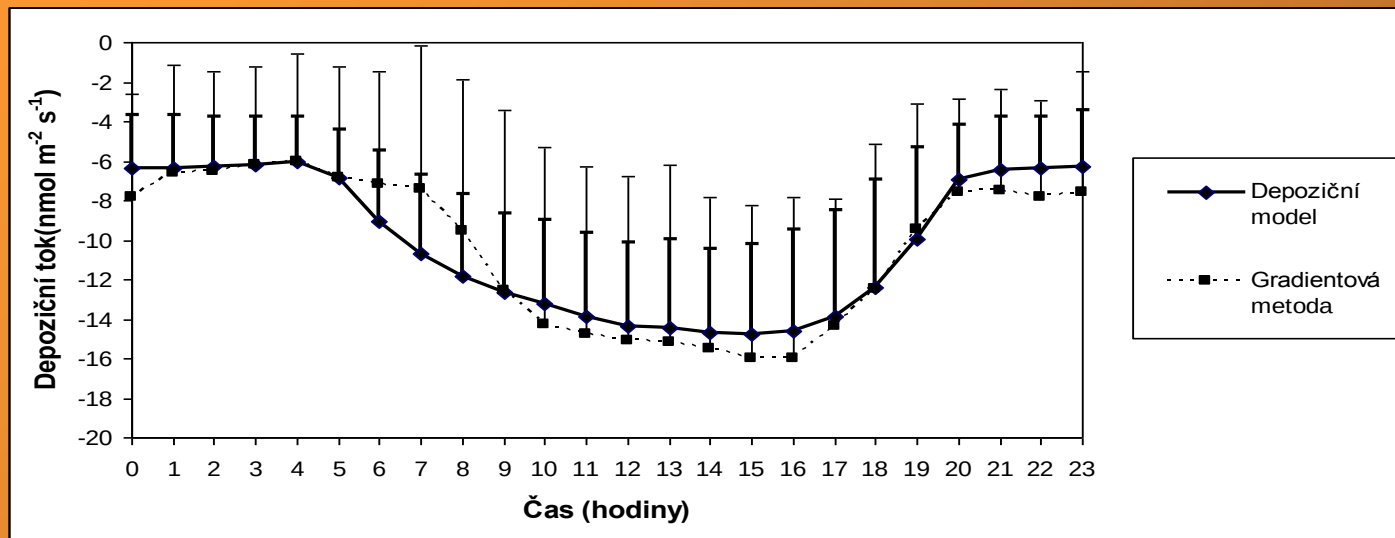
V_d modelovaná = $0.53 \pm 0.19 \text{ cm s}^{-1}$, tj. chyba 36 %.

Aerodynamická, laminární a povrchová rezistence v období květen-září 2009



$R_a = 0.25 \pm 0.21 \text{ s cm}^{-1}$, tj. chyba 84 %, $R_b = 0.21 \pm 0.17 \text{ s cm}^{-1}$, tj. chyba 81 % a $R_c = 1.70 \pm 0.65 \text{ s cm}^{-1}$, tj. chyba 38 %.

Měření a modelovaný celkový tok ozonu v období květen-září 2009

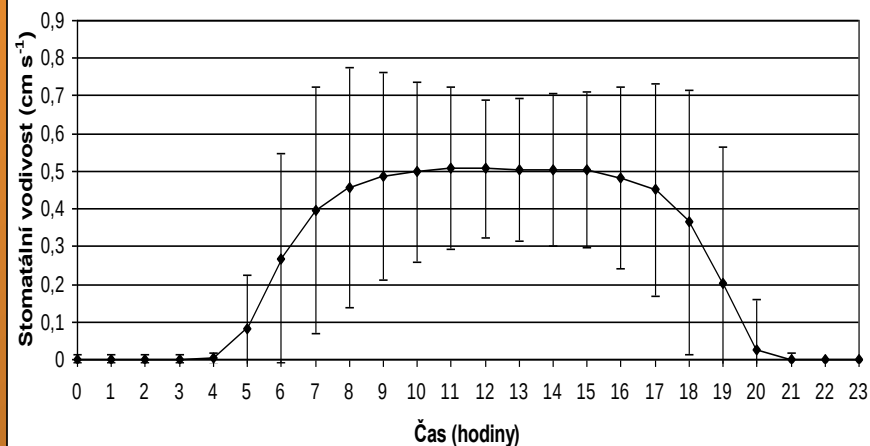


Celkový a stomatální tok ozonu

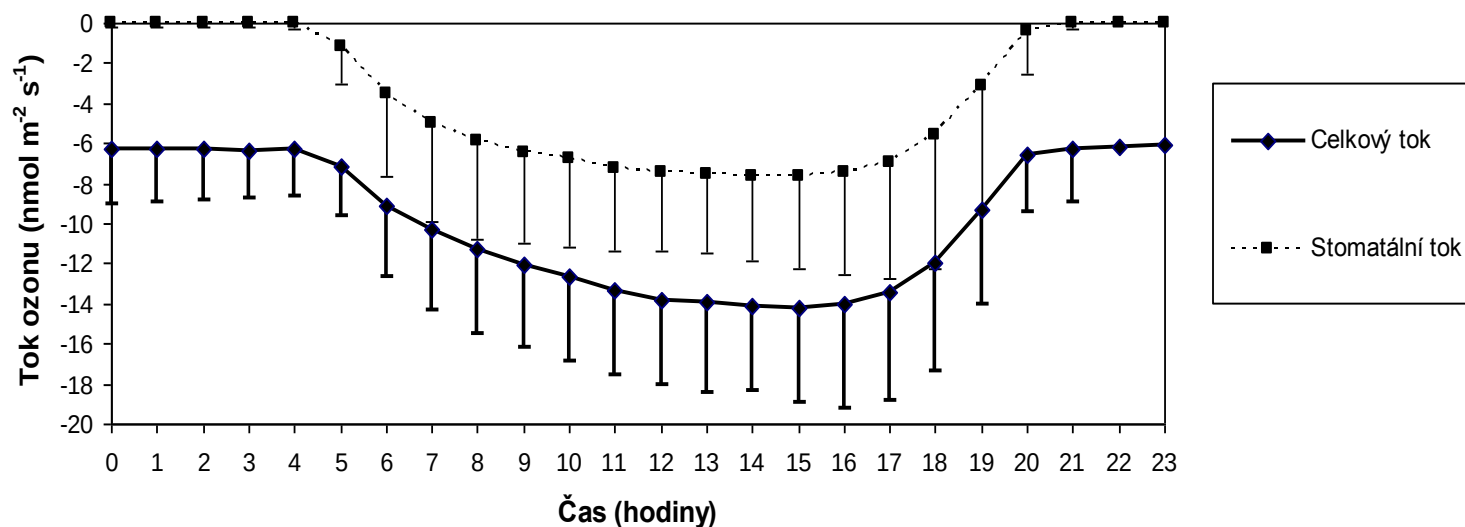
Období	Stomatální tok ($\text{nmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Celkový tok ($\text{nmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Stomatální příjem (% z celkové depozice)
květen-září 2007	4.0 ± 3.3	9.7 ± 4.4	29.2
duben-září 2008	3.9 ± 3.1	9.5 ± 4.1	27.3
květen-září 2009	4.0 ± 2.8	10.1 ± 3.4	28.4
Celé období	4.0 ± 3.1	9.7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

Stomatální vodivost květen-září 2009

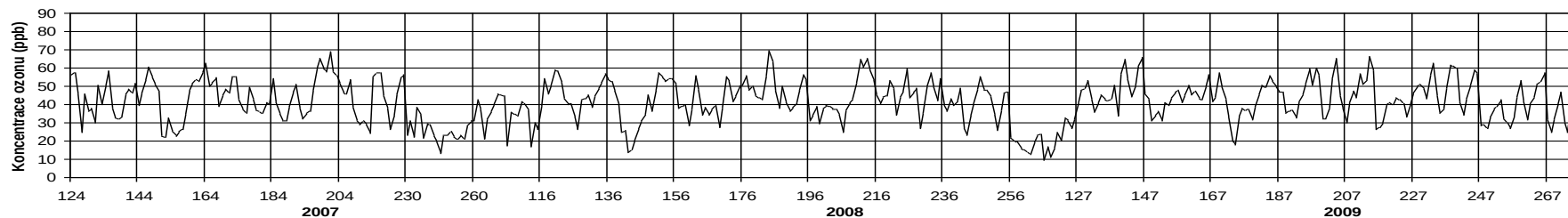
Stomatální vodivost = $0.28 \pm 0.16 \text{ cm s}^{-1}$ tj. chyba 57 %.



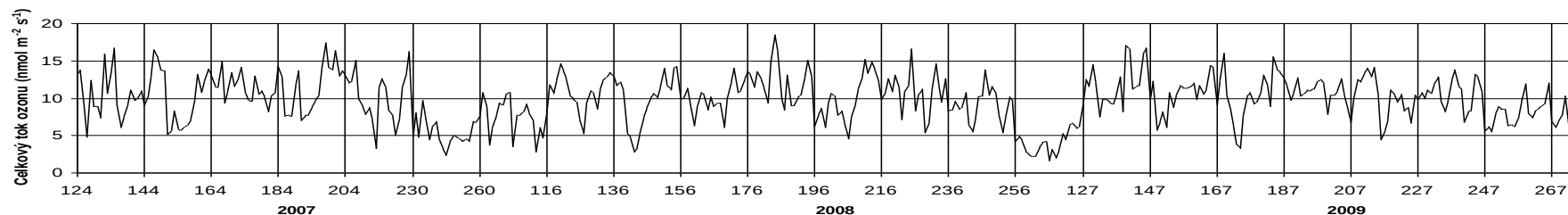
Stomatální příjem byl 28.4 % z celkové depozice v období květen-září 2009.



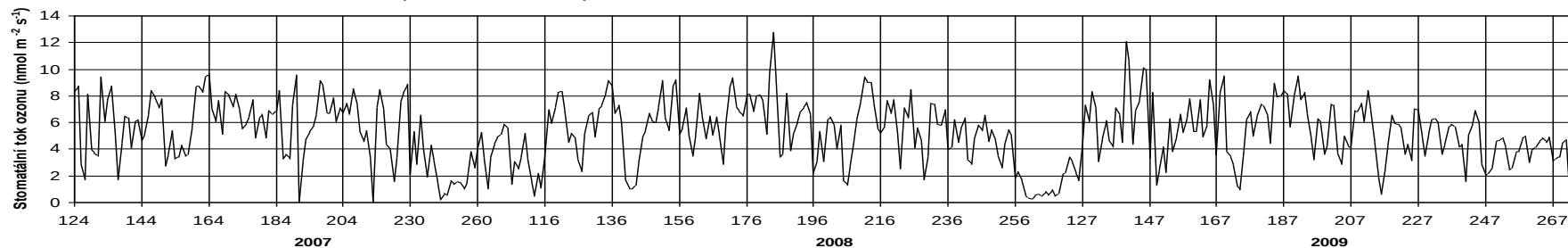
Koncentrace ozonu (ppb) v období květen-září 2007, duben-září 2008 a květen-září 2009



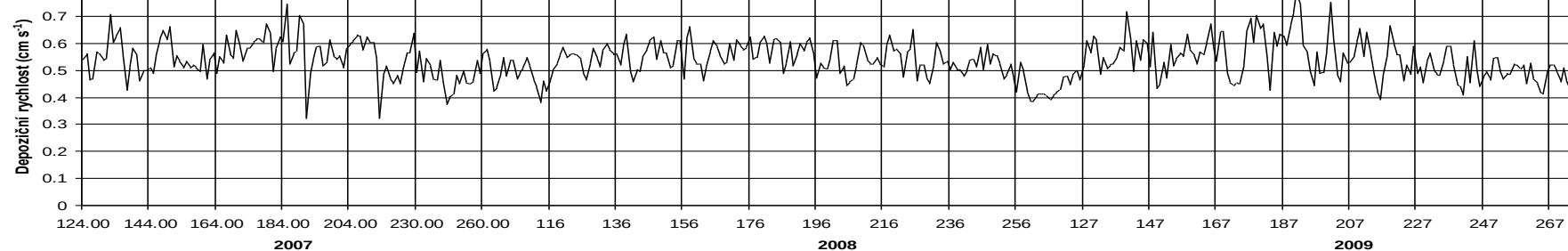
Celkový tok ozonu ($\text{nmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) v období květen-září 2007, duben-září 2008 a květen-září 2009



Stomatální tok ozonu ($\text{nmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) v období květen-září 2007, duben-září 2008 a květen-září 2009

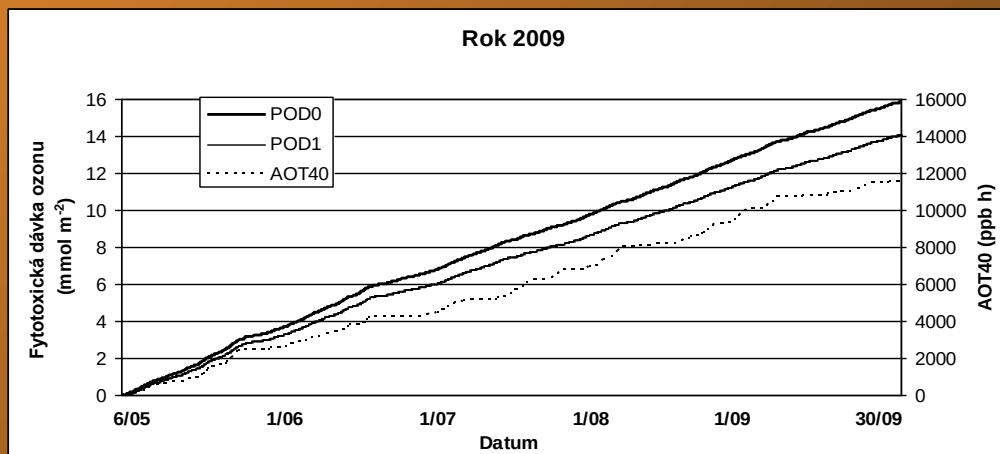
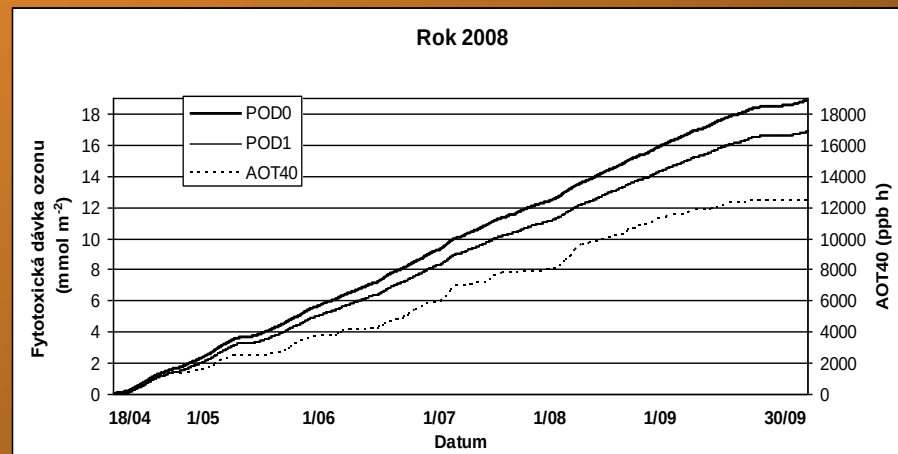
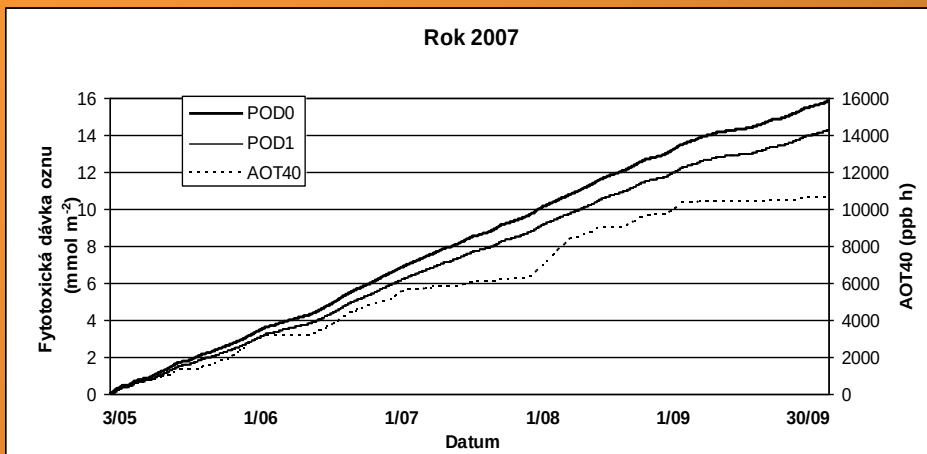


Depoziční rychlosti (cm s^{-1}) v období květen-září 2007, duben-září 2008 a květen-září 2009



Fytotoxická stomatální dávka ozonu POD0, POD1 a expoziční index AOT40

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

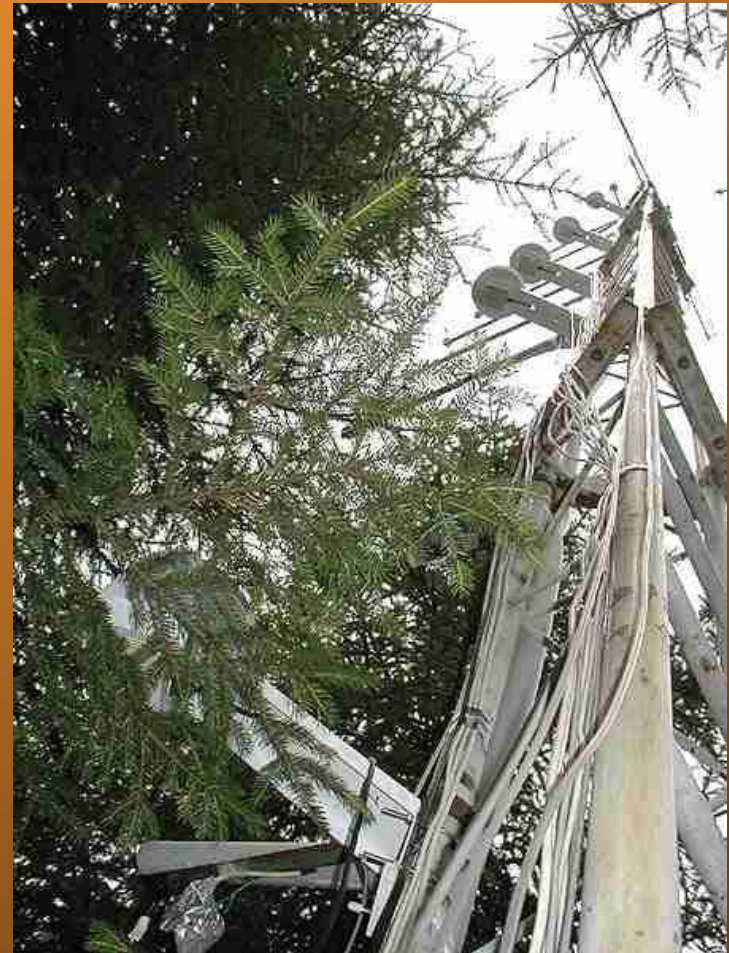


Závěry I

- Byla nalezena dobrá shoda mezi gradientovou metodou naměřenými a modelem modelovanými depozičními rychlostmi ozonu v průběhu denních hodin.
- Depoziční tok ozonu a depoziční rychlost ozonu dosahují maximálních hodnot kolem poledne, zatímco koncentrace ozonu dosahují maxima v odpoledních hodinách.
- Expozice ozonem přesáhla kritickou úroveň 5000 ppb h ve všech vegetačních obdobích hodnocených roků více než 2x.
- Dávka ozonu absorbovaná stomaty přesáhla kritickou úroveň 8 mmol m⁻² ve všech měřených vegetačních obdobích hodnocených roků, v roce 2008 dokonce 2x.
- Průměrné hodnoty modelovaného celkového depozičního toku ozonu ve třech vegetačních obdobích byly přibližně stejné a stomatální tok ozonu tvořil 27 až 29 % celkového depozičního toku ozonu.

Vliv ozonu na čistou ekosystémovou produkci (NEP)

- Pomocí multivariačních analýz vztahů mezi hodinovými koncentracemi O_3 , celkovým a stomatálním tokem ozonu, hodinovou NEP a vybranými environmentálními proměnnými byla testována hypotéza o možném negativním vlivu ozonu na smrk ztepilý.



Metody

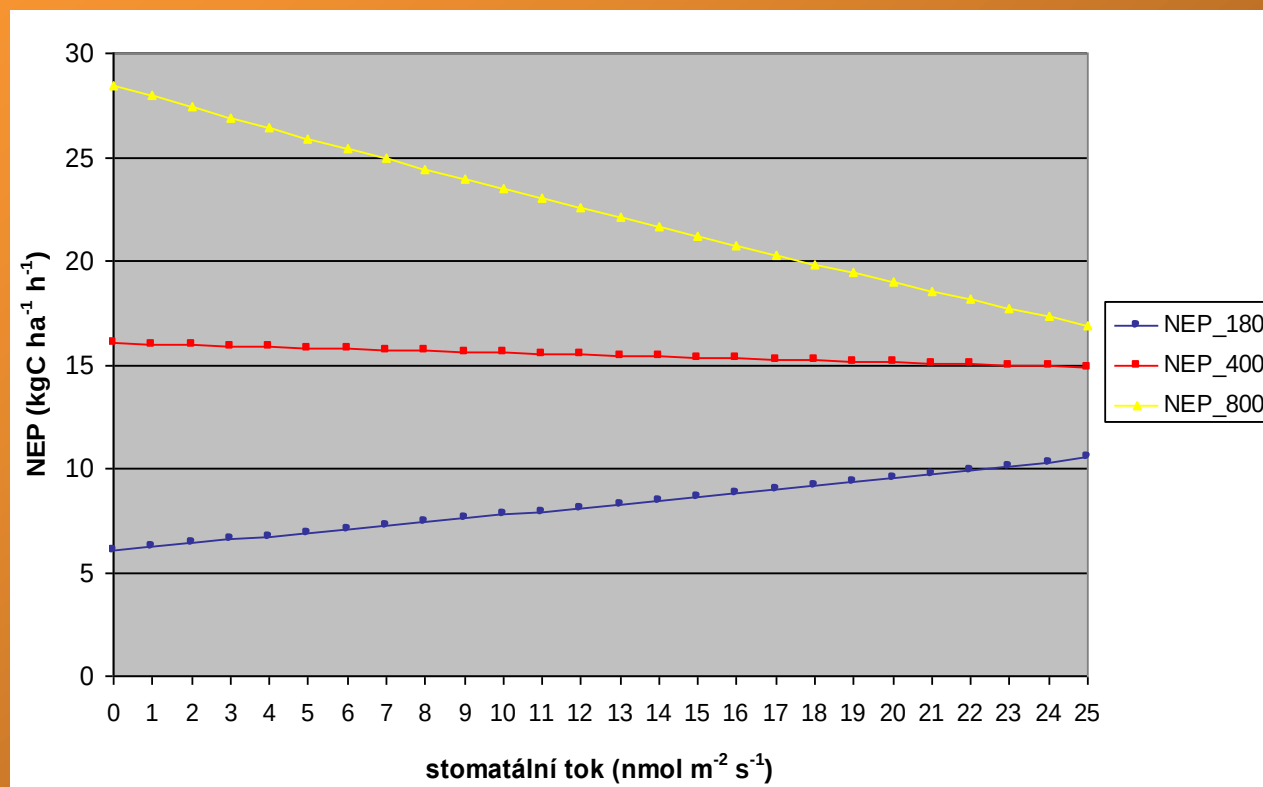
- Pro všechny statistické analýzy byla použita hodinová data, kdy globální záření dosáhlo nejméně 50 W.m^{-2} .
- Všechny proměnné (NEP, koncentrace O_3 , stomatální tok, depoziční tok, globální záření, teplota) byly nejdříve hodnoceny PCA analýzou se standardizovanými daty.
- Vliv jednotlivých vysvětlujících proměnných na hodnoty NEP byl testován pomocí lineárních regresních modelů.
- Bylo vytvořeno několik regresních modelů, jako prediktor NEP byla použita koncentrace ozonu naměřená v 15 m, stomatální tok a depoziční tok, modelovaný multiplikativním depozičním modelem a tok ozonu, měřený gradientovou metodou.

- Ve všech případech byly jako kovariáty použity teplota a globální záření.
- Na základě hypotézy o nelineárním vlivu globálního záření a otevírání průduchů na NEP byly globální záření a stomatální tok testovány také ve formě polynomu druhého stupně.
- Ve všech případech byla také testována interakce mezi ozonem a globálním zářením a ozonem a teplotou.
- Pro dosažení normality byla data koncentrací a toků ozonu transformována odmocninovou, příp. logaritmickou transformací.

Výsledky II

- 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.

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



Hodnoty NEP klesají se zvyšující se koncentrací O₃ při teplotě 20 °C jen pro střední a vysokou hodnotu ozáření; nejstředněji klesají při nejvyšší ozáření.

Závěry II

- Čistou ekosystémovou produkci (NEP) mohou v časovém měřítku vegetační sezóny ovlivnit koncentrace 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 globálního záření a teplot v průběhu vegetační sezóny lze usoudit, že zvýšené koncentrace ozonu by mohly způsobit až 10-15% redukci NEP, a tím i objemového přírůstu biomasy smrku ztepilého.

Publikace:

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.
Ozone flux over a Norway spruce forest and correlation with Net Ecosystem Production.
Environmental Pollution (2010), doi:10.1016/j.envpol.2010.11.037 (v tisku).

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.