

MODELOVANIE TRANSPIRÁCIE SMREKA OBYČAJNÉHO (*PICEA ABIES* L. KARST) V OPTIMÁLNYCH VLNKOSTNÝCH PODMIENKACH A V PODMIENKACH STRESU SUCHOM

Dana Kovalčíková, Katarína Štrelcová, Marek Fabrika

Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen

Abstrakt. V predkladanom príspevku prezentujeme model transpirácie smreka, vychádzajúci z empirických dát získaných kontinuálnym záznamom transpiračného prúdu (metódou tepelnej bilancie – THB) na vzorníkoch smreka v rastovej fáze žrdoviny a kmeňoviny. Model odhaduje denné množstvo vytranspirovanej vody v závislosti od veľkosti povrchu korunového plášťa (model 1), resp. hrúbky stromu (model 2) a priemernej dennej teploty. Dvanásť z dvadsiatichštyroch vzorníkov smreka na oboch plochách bolo zavlažených, zvyšok bol ponechaný na vplyv pôdneho sucha, pričom model bol vytvorený zvlášť pre zavlažované a zvlášť pre nezavlažované stromy. Z porovnania modelovaných denných úhrnov transpirácie zavlažovaného a nezavlažovaného smreka vyplýva podľa modelu 1 o 16–34 % a podľa modelu 2 o 13–29 % vyššia transpirácia zavlažovaného variantu pri simulovaných povrchoch korunového plášťa v rozmedzí 62–238 m², resp. pri hrúbkach 20–50 cm a priemernej dennej teplote 6–24 °C v rôznych kombináciách. Model 1 bude implementovaný do rastového simulátora Sibyla, model 2 je vhodný na použitie v praktickej inventarizácii lesov.

Úvod

Smrek obyčajný (*Picea abies* L. Karst) predstavuje svojim zastúpením (25,5 %) našu najrozšírenejšiu ihličnatú drevinu (Kolektív 2010). V minulosti bol umelo zavádzaný do oblasti mimo jeho ekologického optima, kde trpí okrem iného i nedostatkom vlhkosti. Sledovanie fyziologických charakteristík smreka v polohách nižších a teplejších ako je jeho prirodzené rozšírenie nám poskytuje ideálnu príležitosť na priame zisťovanie jeho reakcie na sucho.

Pôsobením sucha na transpiráciu stanovenú meraním transpiračného prúdu v kmeňoch smreka sa vo svojich prácach zaoberali napr. Lu *et al.* 1995 a Lagergren & Lindroth 2002. Veľké množstvo autorov využilo na stanovenie transpirácie smreka vo svojich experimentoch metódu tepelnej bilancie – THB (napr. Schulze *et al.* 1985). V súčasnosti sa do popredia lesníckeho a ekofyziologického výskumu dostáva modelovanie rastových a fyziologických procesov drevín a lesných porastov. Cieľom predkladaného príspevku bolo porovnanie modelovaných denných úhrnov transpirácie medzi zavlažovaným a nezavlažovaným smrekom, vychádzajúcich z modelov založených na empiricky získaných dátach transpirácie a meteorologických veličín.

Materiál a metódy

Experimentálny výskum smrekových porastov sa uskutočnil na výskumných plochách Hriňová (žrdovina) a Iviny (kmeňovina), v smrekových porastoch nachádzajúcich sa mimo areálu pôvodného rozšírenia smreka. V práci sme použili hodnoty intenzity transpiračného prúdu, merané kontinuálne počas celých dní v 20-minútových intervaloch metódou THB (Sap Flow

EMS 51) na 24 vzorníkoch smreka počas vegetačného obdobia roku 2009 (24.4–17.11). Za účelom skúmania vplyvu sucha na fyziologické charakteristiky smreka bolo z 12 vzorníkov na každej ploche 6 vzorníkov ponechaných na vplyv stresu suchom a 6 vzorníkov zavlažovaných za účelom vytvorenia vhodných podmienok pre priebeh fyziologických a rastových procesov. Na plochách bol tiež zabezpečený kontinuálny záznam meteorologických charakteristík. Na základe empirických dát bol vytvorený regresný model (obr. 1) medzi povrchom koruny (resp. hrúbkou) stromu, priemernou dennou teplotou a denným množstvom transpirovanej vody (Fabrika *et al.* 2009):

$$tr_{H20} = a_0 \cdot \left(1 - e^{-((a_1 + a_2 \cdot CS + a_3 \cdot CS^2) \cdot t)} \right)$$

$$tr_{H20} = a_0 \cdot \left(1 - e^{-((a_1 + a_2 \cdot d_{1,3} + a_3 \cdot d_{1,3}^2) \cdot t)} \right)$$

kde tr_{H20} je množstvo transpirovanej vody (l·deň⁻¹), CS je veľkosť korunového plášťa stromu (m²), $d_{1,3}$ je hrúbka stromu (cm), t je priemerná denná teplota (°C) a a_0 – a_3 sú regresné koeficienty (tab. 1). Povrchy korún stromov boli stanovené podľa metodiky Pretzsch (2001).

Tabuľka 1. Koeficienty regresných modelov transpirácie zavlažovaných a nezavlažovaných vzorníkov smreka.

| model (1) | zavlažované | nezavlažované |
|-----------|-----------------|-----------------|
| a_0 | -94,554 | -2070,147 |
| a_1 | -0,0018769753 | 0,0000115931 |
| a_2 | 0,0001384766 | 0,0000036596 |
| a_3 | -0,000000232394 | -0,000000003408 |
| I_{vx} | 0,678 | 0,682 |
| model (2) | zavlažované | nezavlažované |
| a_0 | -191,647 | -1662,238 |
| a_1 | -0,0042127680 | -0,0002101313 |
| a_2 | 0,0004155979 | 0,0000233101 |
| a_3 | -0,000002679836 | 0,000000024307 |
| I_{vx} | 0,662 | 0,670 |

Výsledky a diskusia

Pre modelovanie transpirácie sme použili model (1), vychádzajúci z povrchu korunového plášťa, ako i model (2) založený na hrúbke stromov $d_{1,3}$ (tab. 2).

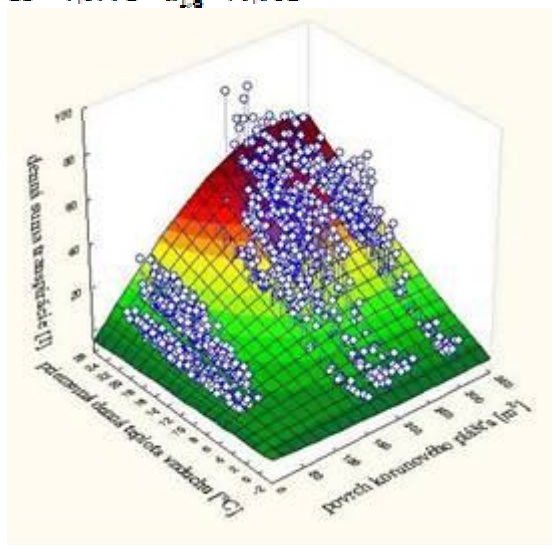
Tabuľka 2. Prehľad modelovaných hodnôt transpirácie smreka a porovnanie so skutočnými hodnotami.

| | skutočná transp. | | model 1 | | model 2 | |
|------------------------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | zavl. | nezavl. | zavl. | nezavl. | zavl. | nezavl. |
| m_x (l) | – | – | 14,06 | 9,17 | 14,34 | 9,32 |
| $\sum_{i=1}^n m_x$ (l) | 36 665 | 26779 | 36 881 | 26779 | 37 013 | 26 577 |
| \bar{m}_x (l·deň ⁻¹) | 19,15 | 11,89 | 19,24 | 11,80 | 19,33 | 11,80 |

Za účelom stanovenia diferencie medzi denným úhrnom transpirácie smreka, nachádzajúceho sa v priaznivých

vlhkostných podmienkach a smreka, ktorého zasiahlo prirodzene sa vyskytujúce sucho, sme porovnali modelované hodnoty smreka zavlažovaného so smrekom nezavlažovaným. Simulovali sme priemerné denné teploty vzduchu (6–24 °C), hrúbky stromov (20–50 cm) a k nim zodpovedajúce povrchy korún (62–238 m²), stanovené vo vzťahu k hrúbkam podľa rovnice, vychádzajúcej z biometrických veličín vzorníkov:

$$CS = 7,0773 \cdot d_{1,3} - 79,963$$



Obrázok 1. Model dennej transpirácie zavlažovaného smreka.

Tabuľka 3. Modelované denné sumy transpirácie diferencované podľa rôznych hrúbok a priemerných denných teplôt.

| t (°C) | povrch koruny (m ²) | d _{1,3} (cm) | modelovaná transpirácia (l·deň ⁻¹) | | | | | |
|-----------|---------------------------------------|--------------------------|--|---------|-----|-----------|---------|-----|
| | | | model (1) | | | model (2) | | |
| | | | závlaha | rozdiel | (%) | závlaha | rozdiel | (%) |
| 6 | 62 | 20 | 3,3 | 2,8 | 16% | 3,5 | 2,7 | 24% |
| 8 | 62 | 20 | 4,5 | 3,7 | 17% | 4,7 | 3,5 | 25% |
| 10 | 62 | 20 | 5,6 | 4,6 | 17% | 5,9 | 4,4 | 25% |
| 12 | 62 | 20 | 6,8 | 5,6 | 18% | 7,1 | 5,3 | 25% |
| 14 | 62 | 20 | 8,0 | 6,5 | 18% | 8,3 | 6,2 | 25% |
| 16 | 62 | 20 | 9,1 | 7,4 | 19% | 9,5 | 7,1 | 26% |
| 18 | 62 | 20 | 10,3 | 8,4 | 19% | 10,7 | 8,0 | 26% |
| 20 | 62 | 20 | 11,6 | 9,3 | 20% | 12,0 | 8,9 | 26% |
| 22 | 62 | 20 | 12,8 | 10,2 | 20% | 13,2 | 9,7 | 26% |
| 24 | 62 | 20 | 14,0 | 11,2 | 21% | 14,4 | 10,6 | 26% |
| 6 | 98 | 30 | 5,5 | 4,2 | 24% | 6,8 | 5,1 | 25% |
| 8 | 98 | 30 | 7,4 | 5,6 | 25% | 9,2 | 6,8 | 26% |
| 10 | 98 | 30 | 9,4 | 7,0 | 25% | 11,5 | 8,5 | 26% |
| 12 | 98 | 30 | 11,4 | 8,4 | 26% | 13,9 | 10,2 | 27% |
| 14 | 98 | 30 | 13,4 | 9,8 | 27% | 16,3 | 11,9 | 27% |
| 16 | 98 | 30 | 15,5 | 11,2 | 27% | 18,8 | 13,6 | 27% |
| 18 | 98 | 30 | 17,6 | 12,6 | 28% | 21,3 | 15,4 | 28% |
| 20 | 98 | 30 | 19,7 | 14,0 | 29% | 23,8 | 17,1 | 28% |
| 22 | 98 | 30 | 21,9 | 15,4 | 29% | 26,3 | 18,8 | 29% |
| 24 | 98 | 30 | 24,1 | 16,8 | 30% | 28,9 | 20,5 | 29% |
| 6 | 168 | 40 | 8,8 | 6,6 | 25% | 9,6 | 7,6 | 21% |
| 8 | 168 | 40 | 11,9 | 8,8 | 26% | 12,9 | 10,2 | 21% |
| 10 | 168 | 40 | 15,1 | 11,0 | 27% | 16,2 | 12,7 | 22% |
| 12 | 168 | 40 | 18,4 | 13,2 | 28% | 19,6 | 15,3 | 22% |
| 14 | 168 | 40 | 21,8 | 15,4 | 29% | 23,1 | 17,8 | 23% |
| 16 | 168 | 40 | 25,3 | 17,6 | 30% | 26,6 | 20,4 | 23% |
| 18 | 168 | 40 | 28,9 | 19,9 | 31% | 30,2 | 22,9 | 24% |
| 20 | 168 | 40 | 32,7 | 22,1 | 32% | 33,8 | 25,5 | 25% |
| 22 | 168 | 40 | 36,5 | 24,3 | 33% | 37,5 | 28,1 | 25% |
| 24 | 168 | 40 | 40,4 | 26,5 | 34% | 41,3 | 30,6 | 26% |

| | | | | | | | | |
|----|-----|----|------|------|-----|------|------|-----|
| 6 | 238 | 50 | 10,7 | 8,6 | 20% | 11,7 | 10,2 | 13% |
| 8 | 238 | 50 | 14,6 | 11,5 | 21% | 15,7 | 13,6 | 14% |
| 10 | 238 | 50 | 18,6 | 14,3 | 23% | 19,9 | 17,0 | 15% |
| 12 | 238 | 50 | 22,7 | 17,2 | 24% | 24,1 | 20,4 | 15% |
| 14 | 238 | 50 | 27,0 | 20,1 | 25% | 28,4 | 23,8 | 16% |
| 16 | 238 | 50 | 31,4 | 23,0 | 27% | 32,8 | 27,2 | 17% |
| 18 | 238 | 50 | 36,0 | 25,9 | 28% | 37,2 | 30,7 | 18% |
| 20 | 238 | 50 | 40,8 | 28,8 | 29% | 41,8 | 34,1 | 18% |
| 22 | 238 | 50 | 45,7 | 31,7 | 31% | 46,5 | 37,6 | 19% |
| 24 | 238 | 50 | 50,8 | 34,6 | 32% | 51,2 | 41,0 | 20% |

Podľa modelu (1) je intenzita transpirácie zavlažovaného smreka v porovnaní s nezavlažovaným vyššia o 16–34 %, podľa modelu (2) o 13–29 % (tab. 3). Lu *et al.* (1995) uvádzajú pokles dennej transpirácie smrekov na nezavlažovanej ploche na hodnotu nižšiu ako 25 % v porovnaní so zavlažovanou plochou. Do nášho modelu však vstupovali dáta z celého vegetačného obdobia, nielen z obdobia bez zrážok, kedy sa rozdiely v hodnotách intenzity transpirácie medzi nezavlažovanými a zavlažovanými vzorkami prejavili v najväčšej miere. Matejka *et al.* (2002) uvádzajú, že sa počas 30 dní transpirácia mladej horskej smrečiny vplyvom suchej pôdy znížila na 77 % v porovnaní s prípadom vlhkej pôdy.

Záver

Uvedený príspevok prezentuje prvotné riešenie empirického modelu transpirácie pre smrekové porasty. Prvý model sa hodí pre účely rastového simulátora SIBYLA, druhý pre praktickú inventarizáciu lesa, kedy sa transpirácia modeluje na základe hrúbok stromov, ktorých priame zistenie v teréne je bežne používané v praxi. Pre modelovanie ročnej dynamiky sú potrebné ďalšie parametre: priemerná teplota počas vegetačného obdobia, počet dní vegetačného obdobia, lesná oblasť a nadmorská výška. Ďalšie úlohy výskumu sa objavujú v súvislosti so zovšeobecnením použitého modelu. Chceli by sme rozšíriť existujúce modely transpirácie bukových a smrekových porastov pre rôzne vekové kategórie a sociálne postavenie stromov. Taktiež by bolo vhodné vytvoriť modely pre ďalšie dreviny (jedľu, borovicu, dub a smrekovec).

Podakovanie

Práca vznikla s finančnou podporou projektov APVV-0022-07, APVV-0111-10 a APVV-0436-10 a ITMS: 26220120006.

Použitá literatúra

- Fabrika, M., Štřelcová, K., Magová, D., 2009, Empirický model transpirácie buka v rastovom simulátore SIBYLA, in *Acta Facultatis Forestalis Zvolen* 51 (3), pp. 99–112.
- Kolektív MPRV, 2010, Správa o lesnom hospodárstve v SR za rok 2009. MPRV Slovenskej republiky Bratislava, Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 28 p.
- Lagergren, F., Lindroth, A., 2002, Transpiration response to soil moisture in pine and spruce trees in Sweden, in *Agricultural and Forest Meteorology* 112, pp. 67–85.
- Lu, P., Biron, P., Bréda, N., Granier, A., 1995, Water relations of adult Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) under soil drought in the Vosges mountains: water potential, stomatal conductance and transpiration, in *Annals of Forest Science* 52, pp. 117–129.
- Matejka, F., Rožnovský, J., Hortalová, T., Janouš, D., 2002, Effect of soil drought on evapotranspiration of a young spruce forest, in *Journal of forest science* 48 (4), pp. 166–172.

- Pretzsch, H., 2001, Modellierung des Waldwachstums. Parey Buchverlag Berlin, 341 p.
- Schulze, E. D., Čermák, J., Matyssek, R., Penka, M., Zimmermann, R., Vasíček, F., Gries, W., Kučera, J., 1985, Canopy transpiration and water fluxes in the xylem of the trunk of *Larix* and *Picea* trees – a comparison of xylem flow, porometer and cuvette measurements, in *Oecologia* 66, pp. 475–483.