

STANOVENIE EVAPOTRANSPIRÁCIE SMREKOVÉHO PORASTU METÓDOU S DENDROMETRICKÝM PRÍSTUPOM

Katarína Štrelcová, Jiří Kučera

Summary

Results of spruce stand transpiration evaluation in changing environmental conditions are presented in this paper. Sap flow of model spruce trees was estimated by direct, non-destructive and continuous measurements by tree-trunk heat balance method (THB) with internal heating and sensing of temperature. The model spruce trees transpiration as well as approximate model spruce stand transpiration were estimated on the basis of these measurements using dendrometrical approach. Experimental research works were carried out in natural spruce forest in upper altitudinal zone for spruce occurrence in National nature reserve Zadná Poľana in part Predná Poľana (1347 m asl.) in the Central Slovakia. Sap flow velocity was measured from June 14th to July 26th 2002 on five spruce trees. Stand evapotranspiration estimated during this period reached 138 mm, precipitation was 81 mm. Relation of spruce sap flow velocity to microclimate factors during this period was close, mainly to global radiation and saturation deficit.

Key words: dendrometrical approach, sap flow, thermal heat balance method, meteorological factors, natural spruce forest

Úvod

Pojem evapotranspirácia lesných ekosystémov v sebe zahŕňa tri dôležité zložky. Sú to: neproduktívny (fyzikálny) výpar, pozostávajúci z výparu zachytenej zrážkovej vody najmä v korunách lesných drevín - *interceptcia* a výparu z pôdy - *evaporácia* a produktívny (fyziologický) výpar z lesných drevín, krovín a bylín, tj. výdaj vody rastlinami prevažne cez prieduchy listov a ihlíc - *transpirácia*. Vzhľadom na variabilitu fyzicko-geografických podmienok a zrážkových úhrnov našej krajiny je rozdelenie evapotranspirácie na jej území nerovnomerné – z južného Slovenska sa vyparí až 95% zrážok, kým z horských oblastí len asi 30% ročného úhrnu zrážok. Napr. v lokalite Žihárec, ktorá reprezentuje najteplejšiu oblasť Slovenska, sa za rok vyparí z vodnej hladiny priemerne 740 mm vody – s extrémami 636 a 844 mm (PETROVIČ 1993). Priemerná hodnota výparu z vodnej hladiny v najteplejšom mesiaci (júli) je 122 mm s priemerným denným úhrnom 4 mm. Z porastu trávy v Hurbanove sa za rok vyparí priemerne 474 mm vody, z lesa až 527 mm (TOMLAIN 1980, 1991).

Intenzitu evapotranspirácie ovplyvňujú podľa NOVÁKA (2001) predovšetkým dva faktory: príkon energie potrebnej na fázovú premenu a dostatok (alebo nedostatok) vody. Asi 25% intenzity evapotranspirácie môže byť ovplyvnených vlastnosťami prízemnej vrstvy atmosféry a vyparujúceho povrchu.

Pri dostatku vody je sezónny priebeh riadený predovšetkým chodom príkonu energie k vyparujúcejmu povrchu a má približne sínusoidný priebeh. Pri nedostatku vody v pôde je tento priebeh modifikovaný obsahom vody v pôde. Denné chody evapotranspirácie v podmienkach dostatku vody v pôde spravidla určujú denné chody tokov energie, s maximom okolo poludnia a s nízkymi intenzitami evapotranspirácie v noci. Ak je pôdna voda limitujúcim faktorom, intenzita evapotranspirácie klesá a závisí od dostupnosti vody v pôde. V súčasnosti pravdepodobne ako dôsledok globálnych klimatických zmien sme čoraz častejšie svedkami extrémnych poveternostných a klimatických javov, ktoré výrazne ovplyvňujú hydrologický cyklus a zásobovanie vodou. V poslednom desaťročí došlo k zvýšenému výskytu povodní (roky

1997, 1998, 1999, 2001, 2002, 2004), ale aj extrémne teplých a suchých období (roky 1992-1994, 1998, 2000, 2003), kedy došlo k obmedzeniu zásob fyziologicky prístupnej vody v pôde. Je veľmi pravdepodobné, že nedostatok vody v pôde spolu s vysokou imisnou záťažou a nepôvodnosťou sa podpísali pod chradnutie smrekových porastov v mnohých oblastiach Slovenska. V najbližších rokoch sa predpokladá vyššia frekvencia vegetačných období s nižšími úhrnmi zrážok zapríčinená globálnym otepľovaním atmosféry (MINĎÁŠ a ŠKVARENINA 2003), čo bude mať za následok zmenu bioklimatických podmienok pre výskyt jednotlivých druhov drevín s následným ústupom smreka a expanziou buka v 4. a 5. lesnom vegetačnom stupni (ŠKVARENA *et al* 2004).

Podiel evapotranspirácie na vodnej bilancii povodia, či ekosystému závisí prevažne od: 1) klimatických pomerov stanovišťa, tj. od množstva a rozloženia zrážok, vlhkosti pôdy a od tzv. evaporačných požiadaviek ovzdušia, ktoré predstavujú spolupôsobenie viacerých meteorologických prvkov (teplota, vlhkosť, prúdenie a tlak vzduchu), 2) vegetačného krytu a jeho vlastností, nakoľko výpar z vegetácie (transpirácia) je určený nielen fyzikálnymi zákonitostami, ale i anatomickými, morfológickými a fyziologickými vlastnosťami rastlín. Množstvo vody vyparené z lesných porastov je určené najmä drevinovým zložením, vekom, štruktúrou i zdravotným stavom porastov, tj. vzájomnými vzťahmi medzi lesným porastom a okolitým prostredím.

Pri hodnotení vplyvu lesov na evapotranspiráciu a bilanciu vody v povodí nie sú dôležité absolútne hodnoty, ale porovnanie množstva vyparenej vody z lesa, trávnatých plôch a plôch s poľnohospodárskymi plodinami. Nakoľko priame meranie evapotranspirácie z týchto území je z metodického hľadiska náročné, až nemožné, na jej stanovenie sa využívajú nepriame metódy výpočtu. Výsledky meraní transpirácie pomocou merania transpiračného prúdu v jednotlivých stromoch je možné extrapolovať na celý porast a tak získať odhad

evapotranspirácie z lesného územia pri zanedbaní výparu z pôdy, ktorý je pri zapojenom poraste minimálny (ČERMÁK a KUČERA 1990, STŘELCOVÁ *et al.*, 2004).

Metodické otázky stanovenia výparu z lesa

Získanie exaktných údajov o výpare z drevín (transpirácii), poprípade celých lesných porastov je metodicky i technicky náročné. Výber vhodnej metódy navyše komplikuje rôznorodosť vnútorných i vonkajších činiteľov, ktorými je transpirácia ovplyvňovaná. Pre stanovenie transpirácie drevín a porastov bolo vyvinuté veľké množstvo metód za pomoci ktorých sa stanovuje:

- transpirácia jednotlivých asimilačných orgánov, príp. vetiev,
- transpirácia jednotlivých stromov,
- transpirácia celých lesných porastov.

KAUFMANN A KELLIHER (1991) odporúčajú pri výbere metódy na stanovenie transpirácie zohľadniť tieto otázky:

- V akom čase sú požadované údaje (rok, deň, hodina, alebo okamžite)?
- Je výsledok požadovaný podľa druhov rastlín?
- Sú potrebné údaje podľa rôznych úrovní v poraste, alebo pre jednotlivé stromy?
- Aké je prístrojové vybavenie, náročnosť na čas a prácu?

Podľa nášho názoru je dôležité zodpovedať i ďalšiu otázku:

- Na akej úrovni zovšeobecnenia chceme pracovať (strom, porast, povodie, región)?

Zodpovedanie týchto otázok môže pomôcť pri určení najvhodnejšej metódy, ktorá poskytne potrebné údaje s požadovanou presnosťou a spoľahlivosťou.

Porovnanie metód stanovenia evapotranspirácie porastov je komplikované, pretože každá metóda sa vyvinula na iný účel. Nakoľko žiadna z metód stanovenia nie je ideálna, jej výber vyžaduje v každom prípade určitý kompromis. Dostupné metódy sú často nepriame a neposkytujú údaje v požadovanom

časovom intervale a na potrebnej ploche. Získané výsledky sú zaťažené chybou z titulu započítania ostatných foriem výparu. Väčšina z metód je náročná na vstupné údaje a meraciu techniku. Výber vhodnej metódy teda nezávisí len od zámeru experimentu a druhu rastlín, ale aj od požadovaných výsledkov v priestore a čase, dostupného prístrojového vybavenia, pracovných síl a finančných prostriedkov.

Využitie metódy s dendrometrickým prístupom podľa Čermáka a Kučeru pre výpočet výparu modelového lesného porastu

Aktuálnu transpiráciu na hektár modelového smrekového porastu (Q_{wt}) sme odvodili na základe meraných hodnôt transpiračného prúdu metódou THB na modelových stromoch smreka vo vegetačnom období v roku 2003 (tab. 2) v lokalite Predná Poľana (tab. 1) a početnosti stromov v jednotlivých hrúbkových triedach v poraste (podľa meraní SANIGU v roku 2004 – ústne podanie), výpočtom podľa ČERMÁKA a KUČERU (1990), ktorý je uvádzame v tejto práci podrobnejšie vzhľadom na zameranie seminára.

Metóda s dendrometrickým prístupom (ČERMÁK a KUČERA 1990) využíva pri stanovení transpirácie porastu priamo merané hodnoty transpiračného prúdu na úrovni celých stromov. Autori metódy (1990) zastávajú názor, že pri výpočtoch transpirácie porastov je výhodnejšie použiť kontinuálne nedeštruktívne merania transpiračného prúdu na vybraných vzorníkoch stromov reprezentujúcich porast. Za pomoci vhodných dendrometrických parametrov je možné údaje reálne namerané na vzorníkoch prepočítať na porast, prípadne povodie. Pri extrapolácii ("upscaling" z anglickej literatúry) transpirácie zo vzorníkov na celý porast, alebo jednotku plochy porastu je potrebný starostlivý výber skupiny vzorníkov stromov reprezentujúcich daný porast. V dospelom homogénnom poraste by táto skupina mala mať minimálne 3, výhodnejšie je 6–15 vzorových stromov. Počet vzorníkov závisí od variability porastu a požadovanej presnosti výsledkov (SWANSON

1970, ČERMÁK 1989a, b, ČERMÁK a KUČERA 1990). Vzorové stromy by mali byť vybrané zohľadnením rozdelenia stromov podľa vybraného vhodného biometrického parametra, s prihliadnutím na zdravotný stav stromov, ktorý sa obyčajne pri modelovaní transpirácie porastu prehliada.

Pri výbere skupiny vzorníkov za použitia biometrických parametrov je otázne, či je správne posudzovať správanie celého porastu podľa skupiny vzorníkov. Tento problém sa môže vyskytnúť hlavne vtedy, ak stanovujeme transpiráciu porastu so stromami rôzneho sociálneho postavenia. Stromy s rozdielnym sociálnym postavením sa okrem iného líšia i množstvom a distribúciou asimilačných orgánov. ČERMÁK (1989a, b) udáva, že najväčšie, dominantné stromy transpirujú 2/3 z celkového množstva a najmenšie, potlačené stromy len asi 1/10. Za účelom lepšieho využitia meracej techniky inštalovanej na vzorníkoch v poraste je preto výhodnejšia inštalácia nie podľa početnosti stromov v triedach, ale podľa množstva, ktoré stromy predstavujú podľa biometrického parametra použitého pri extrapolácii údajov (ČERMÁK a MICHÁLEK 1991). ČERMÁK (1989a, b) testoval sedem biometrických parametrov pri prepočtoch transpirácie (transpiračného prúdu) meraného na jednotlivých vzorníkoch duba na jednotku plochy porastu lužného lesa. Išlo o kruhovú základňu, objem hrubiny, horizontálnu projekčnú plochu korún a parametre asimilačných orgánov: projekčnú plochu, hmotnosť sušiny, hmotnosť asimilačných orgánov a autorom definovanú solárnu ekvivalentnú plochu asimilačných orgánov (A_s). Použitie A_s pri prepočtoch transpirácie vedie v porovnaní so všetkými ostatnými testovanými parametrami k najpresnejším výsledkom.

Vlastné prepočty transpirácie pokusných stromov (Q_{wt}) na jednotku plochy porastu (Q_{ws}) boli robené dvoma spôsobmi: jednak na základe jednoduchého pomeru testovaných biometrických parametrov stromov (B_t) a porastu (B_s) a jednak na základe regresných rovníc vzťahu vzťahu Q_{wt} a B_t . V prvom prípade ide o výpočet za pomoci vzťahu:

$$Q_{ws} = Q_{wt}(B_s/B_t)$$

v druhom prípade bola pre odvodenie transpirácie použitá rovnica:

$$Q_{ws} = \sum_1^k n_i \cdot Q_{wt_i}$$

kde: k je počet hrúbkových tried druhu v danom poraste, n_i je počet stromov v jednotlivých hrúbkových triedach, pričom

$$Q_{wt_i} = a_0 + a_1 \cdot B_{ti}$$

kde: Q_{wt_i} je transpirácia priemerného stromu určitej hrúbkovej triedy, a_0 , a_1 sú členy regresnej rovnice príslušného biometrického para-

metra a B_{ti} je priemerná hodnota biometrického parametra každej hrúbkovej triedy.

Tento dendrometrický prístup k stanoveniu transpirácie v kombinácii s meraniami transpirácie na úrovni celých stromov (metódou tepelnej bilancie podľa ČERMÁKA *et al.*, 1973) namiesto modelovania procesu transpirácie za pomoci mnohých premenných sa javí byť výhodnejší a jednoduchší pri prepočte ("upscaling") na celý porast. Výsledky získané priamym meraním transpirácie môžu byť tiež použité pri testovaní platnosti fyziologických modelov založených na meraniach na asimilačných orgánoch, alebo pri sledovaní vodného stresu stromov.

Tab. 1: Charakteristika výskumného objektu Predná Poľana

Miesto	Predná Poľana (stožiar) (porast 530a)
Zemepisná dĺžka	19° 28'
Zemepisná šírka	48° 37'
Nadmorská výška	1347 m n. m.
Expozícia	južná
Lesná správa	Očová
Lesný závod	Kriváň
Sklon	5 – 25 %
Reliéf terénu	vrcholová roveň, mierny svah, balvanitý
Geologický podklad	vulkanity
Pôdne pomery	andozeme
Priemerná ročná teplota	3,5 – 4,0 °C
Priemerný ročný zrážkový úhrn	900 – 1100 mm
Klimatická oblasť	chladná, horská
Lesný vegetačný stupeň	7
Klimageografický typ	Horská klíma, subtyp studená
Skupiny lesných typov	<i>Sorbeto – Piceetum</i>
	<i>Acereto – Piceetum</i>
Priemerný vek porastov (530 a)	190 rokov
Zastúpenie drevín	Sm – 93 %, bk – 4 %, jr – 3 %

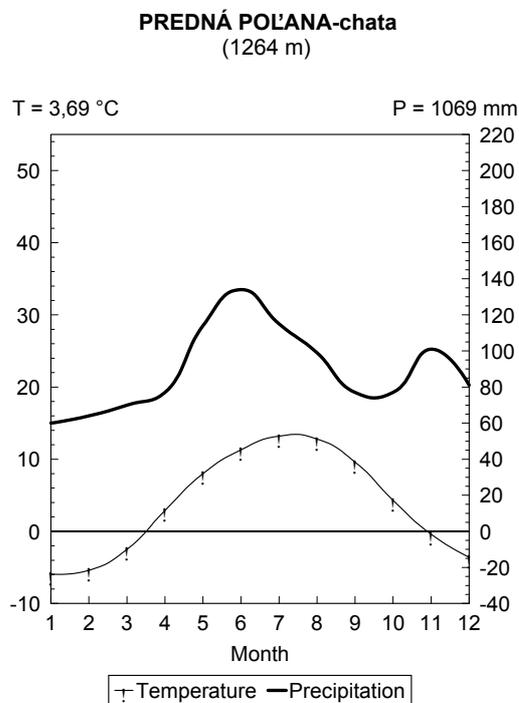
Biometrická charakteristika meraných stromov je uvedená v tabuľke 2. Klimadiagram skúmanej lokality je uvedený na obrázku 2. Výpar z pôdy a prízemnej vegetácie sme v zapojenom poraste považovali z hľadiska mesačnej a ročnej bilancie za zanedbateľný. Transpiráciu priemerného stromu určitej hrúbkovej triedy (Q_{wt_i}) sme vypočítali

zo scalingovej krivky vyjadrenej regresnou rovnicou, ktorá je uvedená na obrázku 4.

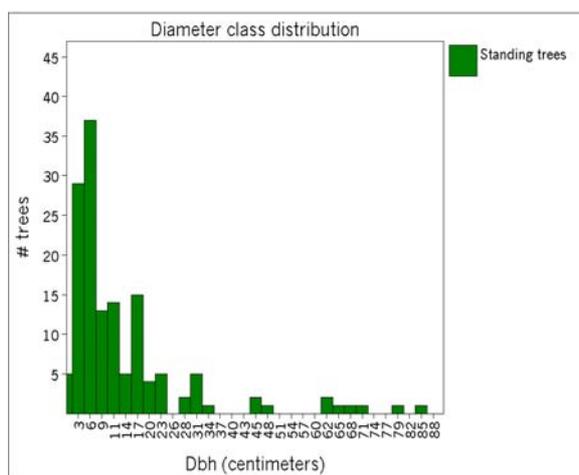
Na obrázku 5 sú výsledky odhadu transpirácie modelového smrekového porastu na základe reálnych meraní transpiračného prúdu na piatich modelových stromoch a porovnanie takto získa-

ných hodnôt s meteorologickými charakteristikami. Za sledované obdobie (31 dní) porast vyparil 138 mm vody pri zrážkach 81 mm. Je zřejmé, že pre transpiráciu bola využitá voda v pôde akumulovaná v jarnom období. Denné úhrny

transpirácie smrekového porastu sú ovplyvnené dennou sumou globálneho žiarenia (GR) a sýtošným doplkom (dE), ktorý integruje vplyv teploty a vlhkosti vzduchu.



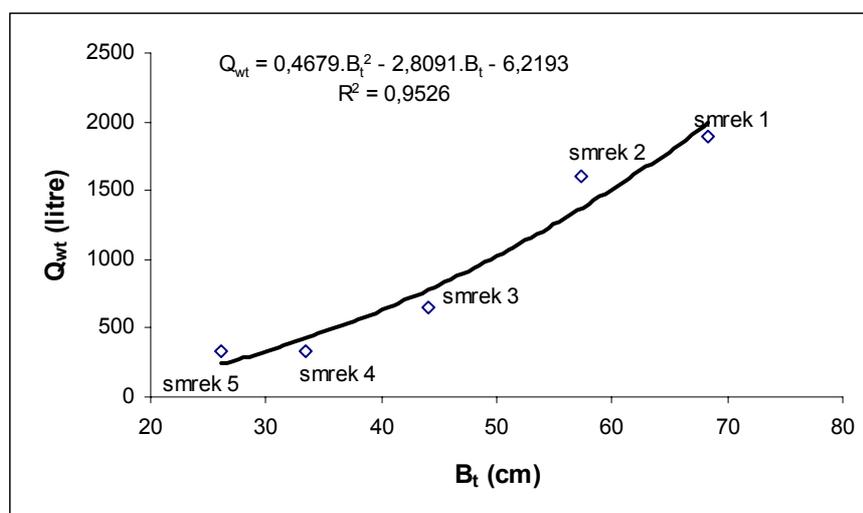
Obr. 2: Klimadiagram výskumného objektu Predná Poľana (podľa meraní SHMÚ pri horskom hoteli Poľana)



Obr. 3: Histogram hrúbkových početností na výskumnej ploche Predná Poľana

Tab. 2: Biometrické charakteristiky modelových stromov smreka

Strom	Obvod _{1,3} (cm) bez kôry	Hrúbka d _{1,3} (cm)	Výška (m)
smrek 1	198,7	68,5	28
smrek 2	172,5	57,3	27
smrek 3	130,2	44	24
smrek 4	99,9	33,4	24
smrek 5	78,9	26,1	23



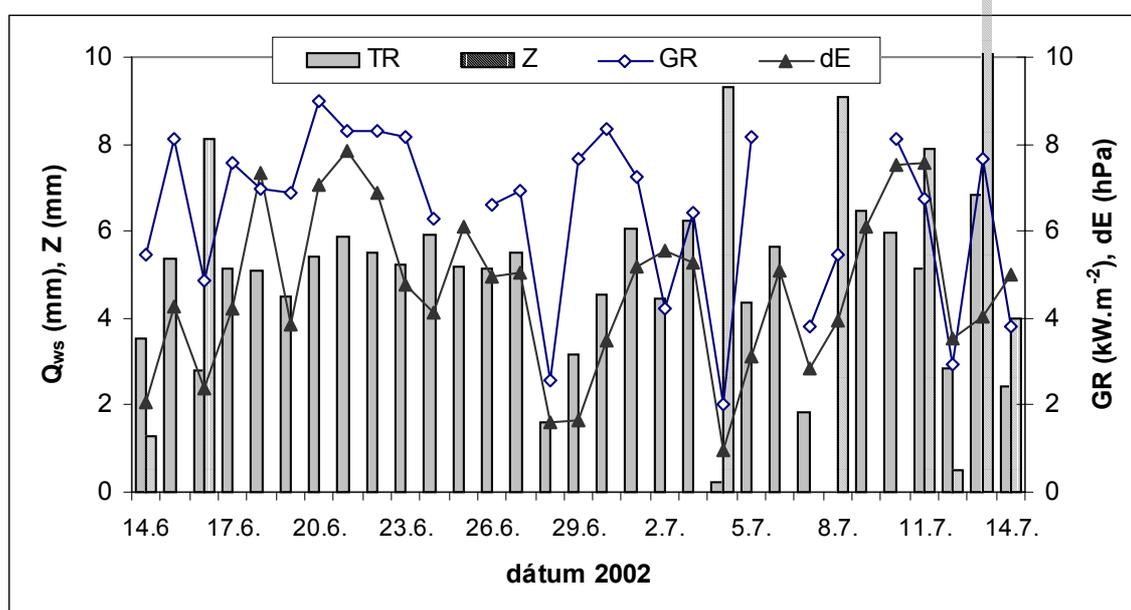
Obr. 4: Scalingová regresná krivka pre výpočet transpirácie modelového smrekového porastu (Q_{wt}) na základe počtosti v jednotlivých hrúbkových triedach (B_t je priemerná hodnota hrúbky kmeňa $d_{1,3}$ v hrúbkovej triede) a meraných hodnôt transpiračného prúdu na piatich modelových smrekoch v období 14. 6. 2002 – 26. 7. 2002

Výsledky odhadu transpirácie bukového porastu sme publikovali v prácach STŘELCOVÁ a MINĎÁŠ 1998, STŘELCOVÁ *et al.* 2004. Tieto sme porovnávali s potenciálnou evapotraspiráciou trávneho porastu počítanou podľa TÜRCA (1961). Odhad denných úhrnov transpirácie porastu je počas niektorých dní nižší než potenciálna evapotranspirácia podľa Türca (PET), počas suchého a teplého počasia však hodnoty počítané z meraní transpiračného prúdu (T) presahujú hodnoty PET. Ďalší

nesúlad medzi PET a T je počas dní so zrážkami počas väčšej časti dňa, kedy sú hodnoty PET v niektorých prípadoch relatívne vysoké, zatiaľ čo T je nulová. Príčina je v skutočnosti, že pri výpočte podľa Türca sa neuvažuje so zrážkami a s nimi súvisiacou vysokou vlhkosťou vzduchu, ktorá reálny výpar významne znižuje. Pri reálnych meraniach sa inhibičný účinok zrážok výrazne prejavuje poklesom transpiračného prúdu k nulovým hodnotám. Najväčší rozdiel medzi PET a T je v máji, kedy je potrebné zobrať do úvahy

skutočnosť, že reálna transpirácia bola limitovaná stupňom vývinu asimilačného aparátu. Pri plne vyvinutých listoch bukov (jún, júl a august) sú hodnoty T relatívne vysoké v porovnaní s PET . Túto situáciu možno vysvetliť veľkou odparovacou plochou bukového porastu (index listovej plochy $LAI = 5,89$) v porovnaní s trávnyim porastom, s ktorým sa počíta pri výpočte PET podľa Türca. Navyše nad lesným porastom dochádza k intenzívnej turbulentnej výmene vodnej pary v hraničnej vrstve atmosféry, ktorá transpiráciu zvy-

šuje a pri empirickom výpočte evapotranspirácie sa s ňou neuvažuje. V júli je úhrn potenciálnej evapotranspirácie (PET) blízky zrážkovému úhrnu (Z). V tomto období stromy čerpajú zásoby vody z pôdy akumulované v jarnom období, čo malo za následok zníženie potenciálu pôdnej vody v auguste na hodnotu -500 až -800 hPa, čo je podľa PAPRITZA *et al.* (1991) hodnota, pri ktorej by mohlo dôjsť k obmedzeniu transpirácie bika.



Obr. 5: Vypočítané hodnoty transpirácie smrekového porastu Q_{ws} v lokalite Predná Poľana pomocou scalingovej regresnej krivky pre obdobie maximálnej fyziologickej aktivity porastu 14.6. – 14.7. 2002 pri dostatočnej zásobe pôdnej vody (objemová vlhkosť 58 - 84 % za uvedené obdobie v profile pôdy 0-50 cm) a hodnoty meteorologických prvkov: zrážky Z , denné sumy globálnej radiácie GR a sýtosťný doplnok dE , ktoré v prípade dostatočnej zásoby pôdnej vody určujú množstvo vody vyparenej porastom

Záver

Zovšeobecnením našich meraní a výpočtov, ako aj podľa iných autorov (TOMLAIN 1993, ŠŤATOR 1998, NOVÁK 2001) môžeme konštatovať, že evapotranspirácia lesov v porovnateľných podmienkach je asi o 10 – 15% vyššia ako trávneho porastu. Spôso-

buje to predovšetkým vysoká intercepcia lesných porastov (fyzikálny výpar) a vyššia transpirácia (fyziologický výpar) z dôvodu niekoľkonásobne väčšej listovej plochy na 1 m^2 (vysoký LAI – leaf area index). Výsledky publikované viacerými autormi, ako aj naše, o množstve vyparenej vody z lesných cenóz sú vo všetkých prípadoch kvalifikovaným

odhadom, vzhľadom na metodickú náročnosť hydrologických experimentálnych meraní, obtiažne zovšeobecňovanie získaných výsledkov, ako aj výnimočnú zložitosť a rôznorodosť lesných ekosystémov. Výpočet transpirácie celého lesného porastu na základe meraní transpiračného prúdu však považujeme za reálny odhad, nakoľko sa pri ňom využívajú hodnoty transpiračného prúdu merané kontinuálne počas celého vegetačného obdobia na modelových vzorníkoch. Nedostatok vidíme v tom, že pri tejto metóde nie je možné započítať výpar z pôdy a z intercepce, čiže tzv. neproduktívny výpar,

čo môže výsledok mierne podhodnotiť. Z dôvodu častého poškodzovania lesných porastov suchom (extrémne teplé a suché periódy v rokoch 1992-1994, 1998, 2000, 2003, kedy došlo k obmedzeniu zásob fyziologicky prístupnej vody v pôde), by sa mal stať výskum transpirácie a vodnej bilancie drevín a lesných porastov neoddeliteľnou súčasťou monitorovania zdravotného stavu lesa, keďže voda ako jedna z najdôležitejších zložiek lesných ekosystémov môže významným spôsobom ovplyvňovať fyziologické procesy v lesných ekosystémoch a tým aj ich zdravotný stav a celkovú produkciu biomasy.

PodĎakovanie

Táto práca bola čiastočne podporená finančnými prostriedkami z vedeckých projektov č. 1/2357/05, 1/4159/04 a 1/0635/03 Komisie VEGA ekologickej vedy.

Použitá literatúra

- ČERMÁK, J., DEML, M., PENKA, M., 1973: A New Method of Sap Flow Rate Determination in Trees. *Biologia Plantarum* 15:171-178.
- ČERMÁK, J., 1989a: Solar Equivalent Leaf Area: an Efficient Biometrical Parameter of Individual Leaves, Trees and Stands. *Tree Physiology* 5:269-289.
- ČERMÁK, J., 1989b: Praktický funkční parametr asimilačního aparátu stromů a porostů - solární ekvivalentní plocha listů. *Lesnictví* 35:695-705.
- ČERMÁK, J., NADEHŽDINA, N., 1998: Brief review of present techniques used for sap flow measurements in intact plants. In: Proceedings from 4th International Workshop on Measuring Sap Flow in Intact Plants. IUFRO Publications, Publishing house of Mendel University: 4-11.
- ČERMÁK, J., KUČERA, J., 1990: Scaling up Transpiration Data between Trees, Stands and Watersheds. *Silva Carelica* 15:101-120.
- ČERMÁK, J., MICHÁLEK, J., 1991: Výběr stromových vzorníků v lesních porostech na základě "úhrnových kvantilů". *Lesnictví* 37:49-60.
- KAUFMANN, M. R., KELLIHER, F. M., 1991: Estimating Tree Transpiration rates in Forest Stands. In: J.P. Lassoie, T.M. Hinckley (eds.), Techniques and Approaches in Forest Tree Ecophysiology. CRC Press, Boca Raton, FL:117-140.
- MINĐÁŠ, J., ŠKVARENINA, J. (eds.), 2003: Lesy Slovenska a globálne klimatické zmeny. EFRA Zvolen, Lesnícky výskumný ústav Zvolen. ISBN 80-228-1209-9: 44-49.
- NOVÁK, V., 2001: Evapotranspirácia a jej rozdelenie na území Slovenska. *Životné prostredie* 35: 133-137.
- PAPRITZ, A., SCHNEEBELI, M., ATTINGER, W., FLÜHLER, H., 1991: Schnelle Transportvorgänge im Wurzelrum. Lufthaushalt, Luftverschmutzung und Waldschäden in der Schweiz. Ergebnisse aus dem Nationalen Forschungsprogramm 14, Band 6, Belastung von Waldböden. VDF, Zürich: 33—96.
- PETROVIČ, P., 1993: Vertical hydrological balance in Žihárec for the period 1961-1990. In: Becker, A., Sevruk, B., Lapin, M. (eds.): Evaporation, Water Balance and Deposition, Proc. of Symposium on Precipitation and Evapotranspiration. Bratislava: 211-218.
- SWANSON, R. H., 1970: Sampling for Direct Transpiration Estimates. *Journal of Hydrology* 9:-77.
- ŠŤOTOR, J., 1998: Hydrologické problémy lesných ekosystémov. *Lesnícky časopis* 44: 475-483.

- STŘELCOVÁ, K., MINĐÁŠ, J., 1998: Denná dynamika transpiračného prúdu buka lesného vo vzťahu k meteorologickým podmienkam. In: Atmosférická depozícia a ekofyziologické procesy v ekosystémoch. Škvarenina et al. (eds.): 209–213.
- STŘELCOVÁ, K., MATEJKA, F., KUČERA J., 2004: Beech stand transpiration assessment – two methodical approaches. *Ekológia* 22, Supplement 2/2004: 147-162.
- ŠKVARENINA, J., KRIŽOVÁ, E., TOMLAIN, J., 2004: Impact of the climate change on the water balance of altitudinal vegetation stages in Slovakia. *Ekológia (Bratislava)* 23, Supplement 2/2004: 13-29.
- TOMLAIN, J., 1980: Výpar z povrchu pôdy a jeho rozloženie na území ČSSR. *Vodohospodársky časopis* 28: 170-205.
- TOMLAIN, J., 1991: Waldevapotanspiration und ihre Verteilung auf dem Territorium der ČSSR. *Acta Meteorologica, Universitatis Comenianae, Ser. Meteorologia*, 20: 3-19.
- TOMLAIN, J., 1993: Distribution of evapotranspiration on the territory of Slovakia. In: Becker, A., Sevruk, B., Lapin, M. (eds.): Evaporation, Water Balance and Deposition, Proc. of Symposium on Precipitation and Evapotranspiration. Bratislava: 211-218.
- TÜRČ, L., 1961: Évaluation des besoins en eau d'irrigation évapotranspiration potentielle. *Annales Agronomie* 12:13-49.