

VPLYV PŮDNEHO A ATMOSFERICKÉHO SUCHA NA TRANSPIRAČNÝ PRŮD V SMREKOVOM PRALESE

F. Matejka², K. Střelcová¹, T. Hurtalová², E. Gömöryová¹

¹Katedra prírodného prostredia LF, Technická univerzita vo Zvolene
strelcov@vsld.tuzvo.sk, egomory@vsld.tuzvo.sk

²Geofyzikálny ústav Slovenskej akadémie vied, Bratislava
geofmate@savba.sk, geoftahu@savba.sk

Abstract: The response of the sap flow to changes in soil moisture and air humidity was analysed for three tree samples selected from a spruce virgin forest growing in the Biosphere Reserve Poľana (19° 28', 48° 37', 1347 m a. s. l.). The increasing vapour pressure deficit in the air above investigated spruce stand influenced the sap flow by two ways. Primarily, the growing vapour pressure deficit in the air increases the evaporative demands of the atmosphere and accelerates the water vapour exchange between the forest stand and the atmosphere and consequently the sap flow rate. Simultaneously, high values of the vapour pressure deficit result in a significant reduction in the surface conductivity what is the decisive factor for the restriction of the evapotranspiration. Then, the final evapotranspiration was determined by a synergetic effect of these two influences. It had as a result that the sap flow in the tree samples raised initially, achieving its maximum by daily means of the vapour pressure deficit ranging between 0.8 kPa and 1.0 kPa. After exceeding this threshold value, the evapotranspiration rates declined as the vapour pressure deficit increased. Such a course of the relationship between the vapour pressure deficit and the sap flow was registered in cases when the trees were well supplied with water, as well as for situations when the stand suffered with the water stress. Consequently, the seasonal maximum of the daily sums of the sap flow occurred during the period of soil drought in the middle of August. In this case, the decrease in the canopy conductance caused by a lack of soil water was compensated by an increase in evaporative demands of the atmosphere.

Keywords: evaporative demands, sap flow, vapour pressure deficit, soil water stress.

1. Úvod

Obsah vody v pôde sa obvykle považuje za najdôležitejší činiteľ limitujúci intenzitu transpirácie (Denmead a Shaw, 1962). V súčasnosti však existuje viacero dôkazov o tom, že deficit vodnej pary v atmosfére môže byť pre rastliny rovnako významným stresovým faktorom ako nedostatok vody v pôde. V tejto súvislosti sa zistilo, že sýtosťný doplnok je dôležitým faktorom prostredia, ktorý spolu s pôdnou vlhkosťou ovplyvňuje intenzitu výmeny vodnej pary medzi vegetáciou a atmosférou (Gucci a kol., 1996; Calvet 2000; Leonardí a kol., 2000; Habermann a kol., 2003). Už dlhší čas je známe, že existuje tesný štatistický vzťah medzi sýtosťným doplnkom a rezistenciou porastu pre prenos vodnej pary (Granier a kol., 2000; Xue a kol., 2004). Možno teda odôvodnene predpokladať, že intenzita evapotranspirácie citlivo reaguje na zmeny hodnôt sýtosťného doplnku (Turner a kol., 1984; Dai a kol., 1992; Bunce, 1996).

Práve tento vzťah medzi sýtosťným doplnkom a rezistenciou porastu je už dlhší čas objektom intenzívneho výskumu, oveľa menej pozornosti sa však doteraz venovalo vplyvu sýtosťného doplnku na intenzitu evapotranspirácie a jej zložiek. Popri tom, v prevažnej časti existujúcich prác s týmto zameraním sa sýtosťný doplnok menil len v pomerne úzkom intervale hodnôt, takže vysoké evaporačné požiadavky ovzdušia nebolo možné zviať do úvahy (Pukacki a Kamińska-Rožek, 2004). V súčasnosti sa však tieto

otázky získavajú na význame v súvislosti s tým, že v posledných rokoch sa vo viacerých oblastiach strednej Európy vyskytli v letnom polroku dlhšie obdobia s mimoriadne nízkou vlhkosťou vzduchu.

Doteraz publikované práce analyzujúce vplyv sýtosťného doplnku na evapotranspiráciu a jej zložky sa vo väčšine prípadov vzťahovali k porastom poľných plodín. Oveľa zriedkavejšie boli v tejto súvislosti študované lesné porasty a tento prípad si preto vyžaduje ďalšie výskumné aktivity. Vzhľadom na to je cieľom predloženého príspevku kvantifikovať vplyv sýtosťného doplnku na transpiráciu smrekového pralesa a analyzovať možný dopad dlhších období so suchým vzduchom na jeho vodný režim.

2. Materiál a metódy

Lokalita, na ktorej sa uskutočnil výskum sa nachádza v hrebeňovej časti prírodnej rezervácie Zadná Poľana v oblasti Predná Poľana s nadmorskou výškou 1347 m n. m.. Prírodná rezervácia Zadná Poľana zaberá vrcholovú časť Poľany s príahľými svahmi. Najvýznamnejší je výskyt pôvodných pralesovitých spoločenstiev smrečín na najjužnejšom okraji areálu ich pôvodného rozšírenia v Západných Karpatoch na andezitovom podklade. Podrobný popis lokality je v tabuľke 1.

Tab. 1. Charakteristika výskumného objektu Predná Poľana

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

Nad skúmaným porastom na meteorologickej veži 25 m nad zemou boli merané prvky mikroklimy: teplota vzduchu, vlhkosť vzduchu, intenzita globálneho žiarenia, rýchlosť vetra a zrážky. Namerané údaje boli v 10 minútových intervaloch ukladané do pamäte dataloggera MINI – 32 equipments (Ecological Measuring Systems Brno, Česká republika). Teplota pôdy bola meraná v hĺbke 0,1 m. Obsah pôdnej vody bol stanovený gravimetricky v hĺbkach 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-50 cm.

Transpiračný prúd modelových vzorníkov smreka (tabuľka 2) bol meraný priamym nedeštrukčným kontinuálnym meraním metódu tepelnej bilancie (THB) s vnútorným ohrevom pletív a snímaním teploty. Inštalácia meracích miest bola popísaná v prácach Čermák a kol., (1976, 1982) a Kučera a kol., (1977). Meracie zariadenia bolo od výrobcu Ecological Measuring Systems (Brno, Česká republika). V článku sú použité merania transpiračného prúdu a mikroklimy vo vegetačnom období roku 2003.

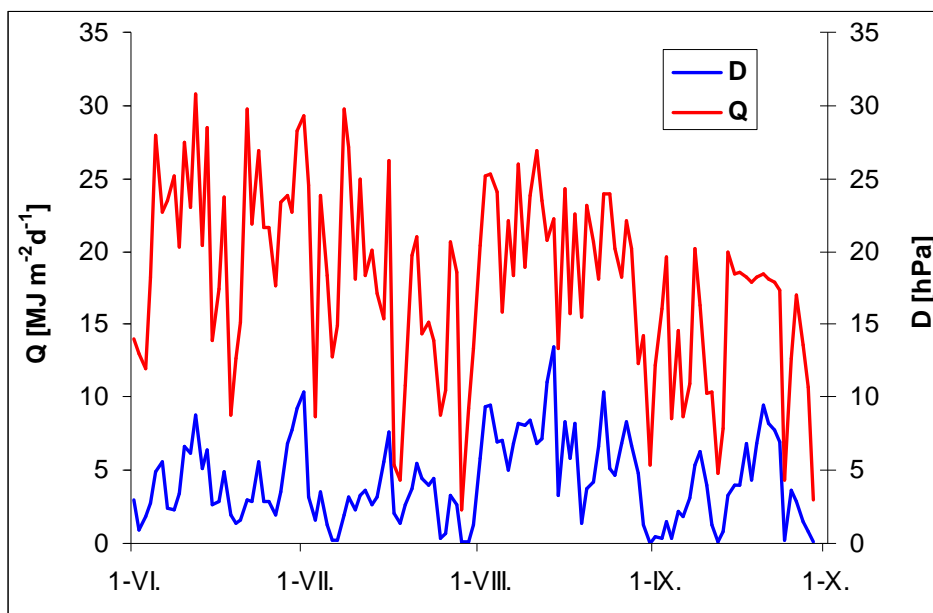
Tab. 2. Biometrické charakteristiky modelových vzorníkov (*Picea abies* Karst.)

Vzorník	Obvod kmeňa bez kôry vo výške 1,3 m [cm]	Priemer kmeňa vo výške 1,3 m [cm]	Výška stromu [m]
Sm1	190.5	60.8	24
Sm2	193.5	61.8	25
Sm3	202.5	64.6	21

Transpirácia porastu bola analyzovaná na základe výsledkov meraní transpiračného prúdu. Evaporačné požiadavky ovzdušia sú v predložennom príspevku kvantitatívne vyjadrené potenciálnou evapotranspiráciou stanovenou podľa Türca (Türç, 1961).

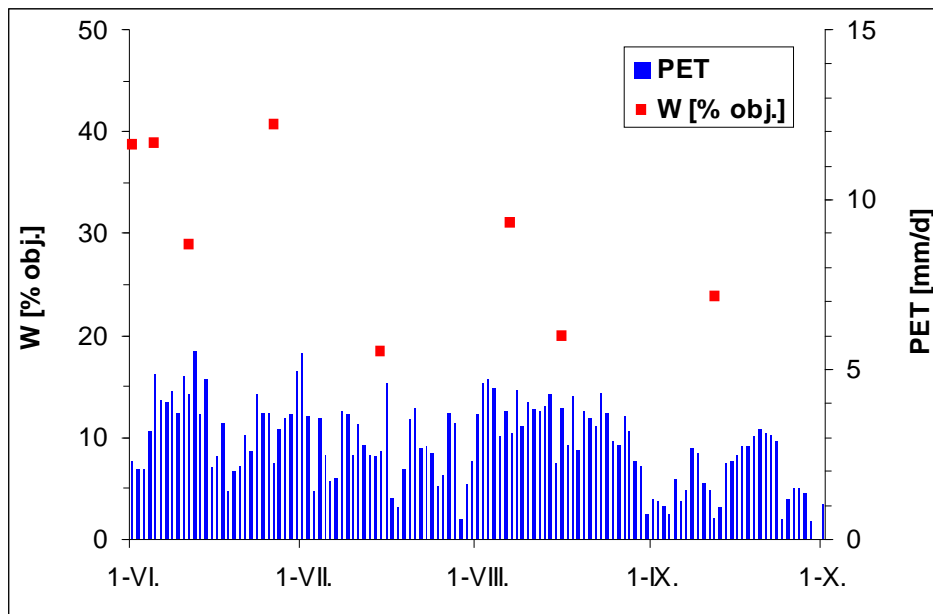
3. Výsledky a diskusia

Pre riešenie problematiky tohto príspevku bolo zvolené obdobie jún – september 2003. Meteorologické podmienky vybraného obdobia možno charakterizovať vysokými hodnotami denných súm globálneho žiarenia a denných priemerov sýtostného doplnku, čo malo za následok vysoké evaporačné požiadavky ovzdušia. Kým v júni boli vysoké evaporačné požiadavky ovzdušia vyvolané hlavne intenzívnym slnečným žiarením, v druhej polovici hodnoteného obdobia, najmä v priebehu mesiaca augusta, zvyšovala evaporačné požiadavky ovzdušia nízka vlhkosť vzduchu, pričom denné maximá sýtostného doplnku prekročovali 20 hPa, čo je pre túto lokalitu vzhľadom na jej nadmorskú výšku a charakter porastu neobvyklé. Výsledkom takejto sezónnej variability radiačných a vlhkosťných pomerov boli vysoké hodnoty potenciálnej evapotranspirácie, ktoré prekročovali v prevažnej časti hodnoteného obdobia 3 mm/deň (obr. 1).



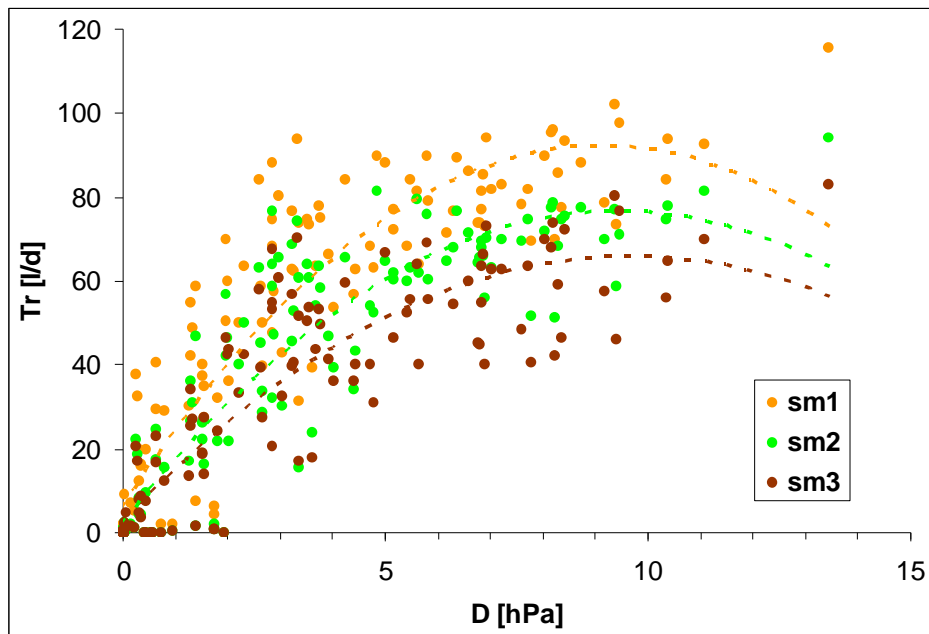
Obr. 1. Sezónny chod denných súm globálneho žiarenia Q a denných priemerov sýtostného doplnku D v období jún – september 2003.

Z hľadiska sezónnej dynamiky obsahu vody v pôde možno analyzované obdobie rozdeliť na dve nerovnaké časti. Spočiatku, počas celého mesiaca júna, bol porast dobre zásobený pôdnou vodou, pričom sa hodnoty priemernej vlhkosti pôdy v koreňovej zóne pohybovali v intervale 30 -40 objemových percent. V prvej polovici júla však vlhkosť pôdy rýchlo klesala a jej hodnoty sa už v polovici tohto mesiaca priblížili k bodu trvalého vädnutia. Ďalšie obdobie silného pôdneho sucha sa vyskytlo v polovici augusta, keď vlhkosť pôdy znovu poklesla pod 20% obj. (obr. 2). Celkove teda možno konštatovať, že kým v mesiaci júni vlhkosť pôdy nijako nelimitovala evapotranspiráciu a jej zložky, od polovice júla až do konca hodnoteného obdobia sledovaný porast takmer stále trpel vodným stresom.

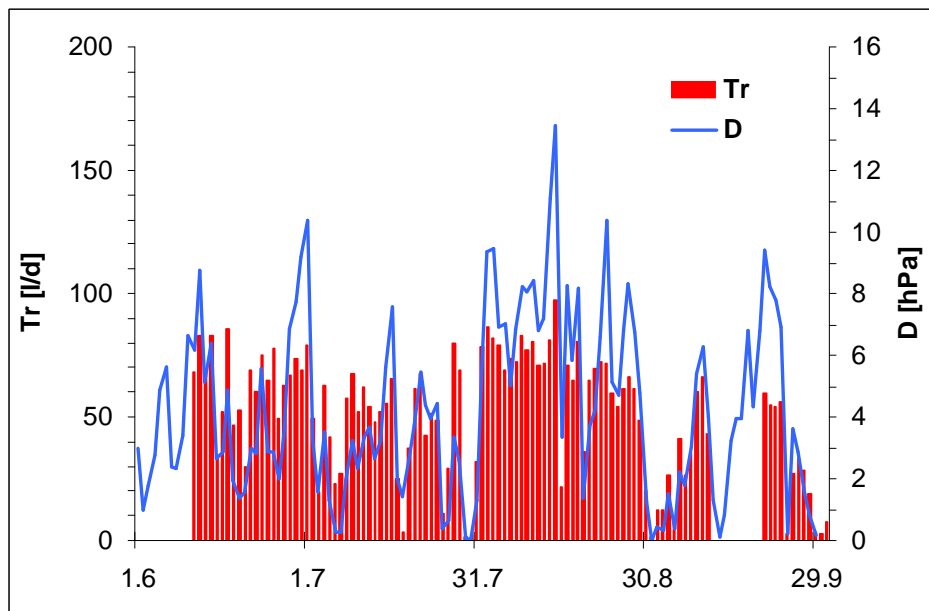


Obr. 2. Sezónny chod potenciálnej evapotranspirácie podľa Türca *PET* a priemerná objemová vlhkosť pôdy v koreňovej zóne *W* v období jún – september 2003.

Počas celého mesiaca júna bola teda evapotranspirácia sledovaného porastu dobre zabezpečená energiou z absorbovaného slnečného žiarenia, ako aj dostatočným obsahom vody v pôde. V tejto situácii sa dá očakávať, že v mesiaci júni bola intenzita evapotranspirácie a jej zložiek do značnej miery určená práve zmenami sýtostného doplnku. Zo získaných výsledkov však vyplynulo, že sýtostný doplnok je dôležitým činiteľom, významne ovplyvňujúcim transpiráciu sledovaného porastu nielen v čase, keď bol porast dobre zásobený pôdnou vodou, ale počas celého hodnoteného obdobia. Toto zistenie potvrdzujú sezónne zmeny denných súm transpiračného prúdu jednotlivých vzorníkov porovnané s dennými priemermi sýtostného doplnku za celé obdobie jún – september 2003 (obr. 3). Z grafu vidieť, že transpiračný prúd všetkých troch vzorníkov reaguje na zmeny sýtostného doplnku približne rovnako citlivo. Samozrejme, rozdiel v zodpovedajúcich hodnotách transpiračného prúdu, zapríčinený rôznym výškovým postavením stromov v poraste je badateľný. Celkove však závislosť denných súm transpiračného prúdu od priemerných denných hodnôt sýtostného doplnku javí rovnaký trend, keď s rastom denných priemerov sýtostného doplnku denné sumy transpiračného prúdu spočiatku rastú, neskôr sa však počiatočný rast zastaví a je potom vystriedaný zreteľným poklesom hodnôt transpiračného prúdu. Pri všetkých troch vzorníkoch boli maximálne hodnoty denných súm transpiračného prúdu dosiahnuté pri denných priemeroch sýtostného doplnku okolo 0,9 kPa.

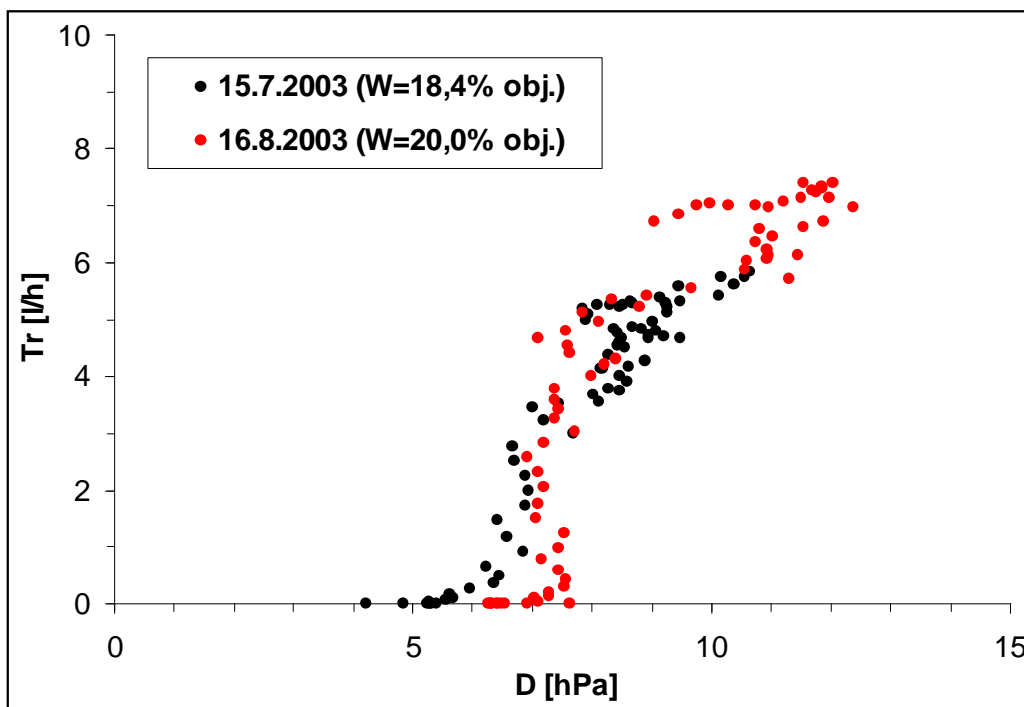


Obr. 3. Závislosť medzi sýtosným doplnkom D a transpiračným prúdom Tr pre jednotlivé vzorníky $sm1$, $sm2$ a $sm3$.



Obr. 4. Sezónny chod priemerného transpiračného prúdu zo všetkých troch vzorníkov Tr a denných priemerov sýtosného doplnku D v období jún – september 2003.

Empirické závislosti znázornené graficky na obr. 3 sprevádza pomerne veľký rozptyl bodov okolo trendových kriviek. Tento rozptyl je celkom pochopiteľný v súvislosti s tým, že transpirácia závisí popri sýťstnom doplnku aj od ďalších faktorov okolitého prostredia. Pritom tieto veličiny sú obvykle tesne vzájomne korelované, napríklad hodnoty sýťstného doplnku sú vo veľkých dátových súboroch takmer vždy negatívne korelované s vlhkosťou pôdy. Táto skutočnosť by mohla byť dôvodom zisteného poklesu denných súm transpiračného prúdu pri vysokých hodnotách sýťstného doplnku. Týmto spôsobom zdôvodňujú svoje výsledky týkajúce sa porastov poľných plodín Turner a kol., (1984), Dai a kol., (1992) a Bunce, (1996). Podobne aj Xue a kol., (2004) zistili, že rast sýťstného doplnku má za následok nárast denných súm transpirácie avšak len pri porastoch dostatočne zásobených pôdnou vodou. Pre overenie takejto interpretácie vzťahu medzi transpiráciou a sýťstným doplnkom v podmienkach smrekového pralesa bol porovnaný sezónny chod denných súm transpiračného prúdu s dennými priermi sýťstného doplnku (obr. 4). Na tomto obrázku sú uvedené denné sumy transpiračného prúdu stanovené ako aritmetický priemer denných súm transpiračného prúdu jednotlivých vzorníkov, avšak analogické grafy pre jednotlivé vzorníky zvlášť sú veľmi podobné a vedú k rovnakým záverom.



Obr. 5. Závislosť priemerného transpiračného prúdu zo všetkých troch vzorníkov Tr od zmien sýťstného doplnku D počas dvoch vybraných dní s extrémne nízkou vlhkosťou pôdy W .

Najdôležitejším výsledkom vykonaného porovnania je zistenie, že pri porovnateľných evaporačných požiadavkách ovzdušia bola najväčšia mesačná suma transpiračného prúdu dosiahnutá v auguste, keď porast nepochybne trpel silným vodným stresom, a nie v júli, keď bol dostatočne zásobený pôdnou vodou. To však znamená, že rast sýťstného doplnku neredukuje transpiráciu smrekového pralesa ani pri nízkej pôdnej vlhkosťi. Túto skutočnosť možno názorne ilustrovať na príklade dvoch dní s najnižšou vlhkosťou pôdy vybraných z celého sledovaného obdobia. Dňa 16.8.2003 bola priemerná objemová vlhkosť pôdy v koreňovej zóne 20,0% a 15.7.2003 objemová vlhkosť pôdy poklesla na 18,4% , pričom porast

nepochybné trpel silným vodným stresom. Aj v takýchto extrémnych podmienkach však intenzita transpiračného prúdu jednoznačne rástla s rastom hodnôt sýtostného doplnku (obr. 5). Na rozdiel od porastov poľných plodín, teda smrekový prales intenzívne odoberá vodu z pôdy aj pri nízkej pôdnej vlhkosti, čo má za následok rýchle prehlbovanie deficitu vody v pôde, súčasne sa však takto dostáva do atmosféry viac vodnej pary, čo znižuje evaporačné požiadavky ovzdušia a v konečnom dôsledku táto spätná väzba pôsobí z mikroklimatického, alebo mezoklimatického hľadiska ako stabilizačný faktor.

Zistenie, že rast sýtostného doplnku zvyšuje transpiráciu smrekového pralesa počas celého analyzovaného obdobia je prekvapujúci v súvisi s tým, že rast sýtostného doplnku má často za následok rýchly rast prieduchovej rezistencie porastu pre prenos vodnej pary (Turner a kol., 1984, Lyn a kol. 1990, Granier a kol., 2000). Vzhľadom na to by sa dalo očakávať, že vysoké hodnoty sýtostného doplnku budú redukovať v prvom rade vodivosť porastu a následkom toho aj transpiráciu. Takáto situácia nastáva obvykle v prípade porastov so slabo rozvinutým koreňovým systémom (Oren a kol., 1996). V prípade analyzovaného smrekového pralesa však takáto predstava nepotvrdila. Jediným vysvetlením tohto javu je, že vysoké evaporačné požiadavky ovzdušia zapríčinené veľkými hodnotami sýtostného doplnku v auguste dokázali kompenzovať nárast prieduchovej rezistencie porastu vyvolaný nedostatkom vody v pôde redukujúci intenzitu transpirácie. Toto vysvetlenie by však prichádzalo do úvahy len v tom prípade, ak by mal analyzovaný porast dostatočne vyvinutý koreňový systém umožňujúci získavať pôdnu vodu aj z hlbších vrstiev pôdy. Výsledky, poukazujúce na hlboké prekorenenie porastov na Poľane však boli už skôr publikované (Jaloviar, 1998). V konečnom dôsledku mohla byť potom mesačná suma transpiračného prúdu v auguste napriek existujúcemu vodnému stresu vyššia než mesačná suma transpiračného prúdu v júni, kedy obsah vody v pôde nepochybné nebol limitujúcim faktorom pre transpiráciu.

4. Záver

Rast hodnôt sýtostného doplnku vo vzduchu nad sledovaným porastom významne ovplyvňoval intenzitu transpiračného prúdu a jeho denné sumy počas celého sledovaného obdobia. Zo štatistickej analýzy výsledkov meraní transpiračného prúdu vyplynulo, denné sumy transpiračného prúdu sa s rastom sýtostného doplnku sprvoti zvyšujú, pričom dosahujú svoje maximálne hodnoty pri denných priemeroch sýtostného doplnku okolo 0,9 kPa. Po prekročení tejto prahovej hodnoty denných priemerov sýtostného doplnku začínajú denné sumy transpiračného prúdu klesať.

Takýto priebeh závislosti transpiračného prúdu od sýtostného doplnku bol zistený nielen v čase, keď bol porast dobre zásobený pôdnu vodou, ale aj v obdobiach, keď porast trpel vodným stresom. V súvisi s tým sa sezónne maximum denných súm transpiračného prúdu vyskytlo v polovici augusta, pri veľmi nízkych hodnotách pôdnej vlhkosti. V tomto prípade teda evaporačné požiadavky ovzdušia dokázali kompenzovať rast rezistencie porastu zapríčinený nedostatkom vody v pôde.

PodĎakovanie: Autori ďakujú Grantovej agentúre VEGA (projekt č. 2/5006/26, 1/2357/05 a 1/4159/04) za finančnú podporu predloženej práce.

Zoznam použitej literatúry:

- [1] Bunce, J.A., 1996: Does transpiration control stomatal responses to water vapour pressure deficit? *Plant Cell Environ.*, 19, 131–135.
- [2] Calvet, J.C., 2000: Investigating soil and atmospheric plant water stress using physiological and micrometeorological data. *Agric. Forest Meteorol.* 103, 229–247.
- [3] Čermák, J., Palát, M., Penka, M., 1976: Transpiration flow rate in a full grown tree of *Prunus avium* L. estimated by the method of heat balance in connection with some meteorological factors. *Biologia Plantarum*, 18, 111–118.

- [4] Čermák, J., Ulehla, J., Kučera, J., Penka, M., 1982: Sap flow rate and transpiration determination in full grown Oak (*Quercus robur* L.) in floodplain forest exposed to seasonal floods, as related to potential evapotranspiration and tree dimensions. *Biologia Plantarum*, 24, 446–460.
- [5] Dai, Z., Edwards, G. E., Ku, M.S., 1992: Control of photosynthesis and stomatal conductance in *Ricinus communis* L. (Castor bean) by leaf-to-air vapour pressure deficit. *Plant Physiol.* 99, 1426–1434.
- [6] Denmead, O.T., Shaw R.T., 1962: Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. *Agron. J.* 54, 358–390.
- [7] Granier, A., Biron, P., Lemoine, D., 2000: Water balance, transpiration and canopy conductance in two beech stands. *Agric. For. Meteorol.* 100, 291–308.
- [8] Gucci, R., Massai, R., Xiloyanis, C., Flore, J.A., 1996: The effect of drought and vapour pressure deficit on gas exchange of young kiwifruit (*Actinidia deliciosa* var. *deliciosa*) Vines. *Annals of Botany* 77, 605–613.
- [9] Habermann, G., Machado, E.C., Rodrigues, J.D., Medina, C.L., 2003: Gas exchange rates at different vapor pressure deficits and water relations of ‘Pera’ sweet orange plants with citrus variegated chlorosis (CVC). *Scientia Horticulturae* 98, 233–245.
- [10] Jaloviari, P., 1988: Produkcia jemných koreňov smreka v prírodných smrekových lesoch NPR Babia hora a BR Poľana. In: Stav, vývoj, produkčné schopnosti a využívanie lesov v oblasti Babej hory a Pilska (eds. Saniga, M., Jaloviari, P.), Konferencia Zvolen, 1998, 55–60.
- [11] Kučera, J., Čermák, J., Penka, M., 1977: Improved thermal method of continual recording the transpiration flow rate dynamics. *Biologia Plantarum* 19, 413–420.
- [12] Leonardi, Ch., Guichard, S., Bertin, N., 2000: High vapour pressure deficit influences growth, transpiration and quality of tomato fruits. *Scientia Horticulturae* 84, 285–296.
- [13] Lyn, B.H., Carlson, T.N., 1990: A stomatal resistance model illustrating plant vs. external control of transpiration. *Agric. For. Meteorol.* 52, 5–43.
- [14] Oren, R., Zimmermann, R., Terborgh, J., 1996: Transpiration in upper Amazonia floodplain and upland forests in response to drought breaking rains. *Ecology*, 77, 968–973.
- [15] Pukacki, P.M., Kamińska-Rożek, E., 2004: Effect of drought stress on chlorophyll fluorescence and electrical admittance of shoots in Norway spruce seedlings. *Trees* 19, 539–544.
- [16] Türck, L., 1961: Évaluation des besoins en eau d’irrigation potentielle. *Ann. Agron.*, 12, 13–49.
- [17] Turner, N.C., Schulz, E.D., Gollan, T., 1984: The response of stomata and leaf gas exchange to vapour pressure deficits and soil water contents. *Oecologia* 63, 338–342.
- [18] Xue, Q., Weiss, A., Arkebauer, T.J., Baenziger, P.S., 2004: Influence of soil water status and atmospheric vapor pressure deficit on leaf gas exchange in field-grown winter wheat. *Environmental and Experimental Botany* 51, 167–179.