

ŠTRUKTÚRA ROVNICE ENERGETICKEJ BILANCIE SMREKOVÉHO PORASTU

PARTITION OF ENERGY IN ENERGY BUDGET OF A SPRUCE STAND

¹MATEJKA František, ¹HURTALOVÁ Tatjana, ²ROŽNOVSKÝ Jaroslav, ³JANOUŠ Dalibor

¹ Geofyzikálny ústav SAV, Bratislava, SR

² Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, ČR

³ Ústav ekologie krajiny AV ČR, Brno, ČR

Abstract: Components of the energy budget of a spruce stand were determined at the Experimental Ecological Study Site of the Department of Ecological Physiology of the Institute of Forest Ecology of the Academy of Sciences of the Czech Republic situated at the locality of Bílý Kříž (49°30'17" N, 18°32'28" E, 898-908 m a.s.l.). The structure of the energy balance equation of the spruce monoculture (*Picea abies*, L., Karst.) was analysed over the period June - September 2001. The partition of energy in the energy budget changed only a little within the analysed period when the soil heat flux, turbulent and latent heat flux presented on average 3.0 %, 39.9 % and 57.1 % from the net radiation. However, the components of the energy budget varied significantly. Their variability can be explained as a result of development of the forest stand and of seasonal changes in the meteorological conditions and the soil water content in the root zone.

Key words: turbulent fluxes, spruce monoculture, Bowen ratio, canopy conductance.

Úvod

Lesné porasty si neustále vymieňajú s okolitým ovzduším hmotu a energiu. V procese tejto výmeny sa turbulentnými tokmi dostáva do najnižších vrstiev atmosféry značné množstvo tepla a vodnej pary, čo má za následok zmeny teplotných a vlhkosných pomerov v poraste a nad ním. Pomer, v akom sa delí radiačná bilancia porastu na turbulentný tok tepla, tok tepla spotrebovaného na výpar a tok tepla v pôde, určuje štruktúru rovnice energetickej bilancie porastu. Vzhľadom na to, že zemský povrch predstavuje pre atmosféru jediný zdroj vodnej pary a dominantný zdroj tepla, je štruktúra rovnice energetickej bilancie lesného porastu veľmi dôležitá z hľadiska tvorby a dynamiky mikroklimy porastu a v značnej miere určuje aj energiu využiteľnú pre hydrologické procesy (Wild a Ohmura, 1997).

Základné charakteristiky energetickej bilancie ekosystému ovplyvňujú jeho interakciu s atmosférou, vstupy, výstupy a transformáciu energie na rozhraní medzi porastom a okolitým ovzduším (Miller, 1981). Prehĺbenie poznatkov v tejto oblasti je veľmi dôležité pre riešenie mnohých problémov

v meteorológii, hydrológii, poľnohospodárstve a lesníctve (Arya, 2001). V súvisi s tým sa energetická bilancia rastlinných porastov často stáva hlavným cieľom interdisciplinárneho výskumu. Veľký dôraz sa pritom kladie na fyziologickú kontrolu štruktúry rovnice energetickej bilancie rôznych druhov vegetácie.

Jednotlivé zložky energetickej bilancie porastov a jej štruktúra sa významne menia v čase a priestore v závislosti od charakteristík rozhrania medzi aktívnym povrchom a atmosférou. Následkom toho zostávajú mnohé otázky z tejto oblasti nezodpovedané a doteraz získané poznatky sa dajú len ťažko zovšeobecniť. Preto je ďalší výskum štruktúry rovnice energetickej bilancie porastov stále aktuálny, najmä, pokiaľ sa týka lesných ekosystémov. Vzhľadom na to je cieľom tohto príspevku analýza sezónnych zmien štruktúry rovnice energetickej bilancie smrekovej monokultúry.

Materiál a metódy

Experimentálne podklady potrebné pre riešenie formulovaného problému boli získané na Experimentálnom ekologickom pracovisku Ústavu ekológie krajiny AV ČR, ktoré sa nachádza v lokalite Bílý Kříž (49° 30' 17'' s.š., 18° 32' 28'' v.d., 898-908 m n.m.). Táto oblasť patrí do lesnatej vrcholovej časti Moravsko-sliezskych Beskýd. V predloženej práci boli použité výsledky meraní z výskumnej plochy so smrekovou monokultúrou (*Picea abies*, L., Karst.), ktorá mala v roku 2001 vek 24 rokov a hustotu 2 600 jedincov/ha. Priemernú výška porastu sa v hodnotenom období pohybovala v rozmedzí 8,7 – 9,0 m a index listovej plochy nadobúdala hodnoty od 10,2 do 11,5. Pozemok sa nachádza pod hrebeňom, na JJZ orientovanom svahu s priemerným sklonom 12°. Lokalita Bílý Kříž patrí podľa klimatologickej rajonizácie do mierne chladnej, vlhkej a zrážkovo bohatej oblasti. Podrobný popis jej pôdnych a klimatických pomerov bol už skôr publikovaný (Janouš a Schulzová, 1995)

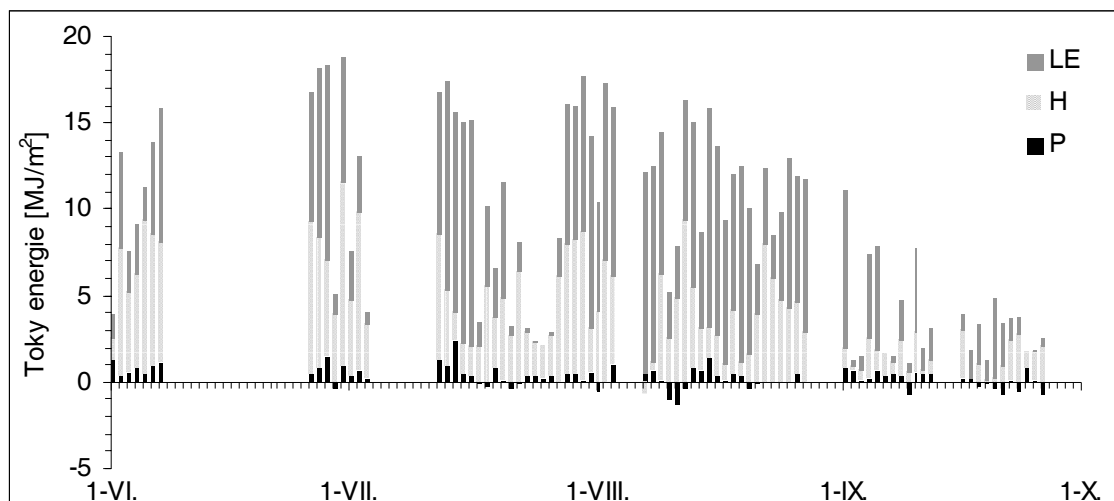
V rastovom období roku 2001 boli na tejto výskumnej ploche vykonávané automatizované gradientové merania rýchlosti vetra, teploty a vlhkosti vzduchu. Prístroje pre gradientové merania boli umiestnené na ľahkom kovovom stožiarí v hornej časti korún stromov a nad nimi. Okrem gradientových meraní súčasne prebiehali aj merania radiačnej bilancie, globálneho a odrazeného žiarenia. Výsledky meraní boli registrované pomocou meracej ústredne s krokom 10 s a priemerované v polhodinových intervaloch. Metodiky mikroklimatických meraní a použité prístrojové vybavenie bolo podrobne popísané na inom mieste (Matejka et al., 2000). V predloženej práci boli použité hodinové priemery meraných meteorologických veličín z obdobia od 1. júna do 30. septembra 2001.

Radiačná bilancia bola meraná priamo, tok tepla do pôdy bol stanovený modifikovanou Cejtinovou metódou na základe výsledkov meraní teploty pôdy v štyroch hĺbkach pod povrchom. Pre simuláciu turbulentného toku tepla a toku tepla spotrebovaného na výpar bol použitý matematický model vzájomných vzťahov v systéme pôda-rastlinný porast-atmosféra (Matejka, 1997). Model bol

verifikovaný pre viaceré porasty v rôznych pôdnych a klimatických podmienkach (Matejka et al., 1999, Matejka a Hurtalová, 2002).

Výsledky a diskusia

Z výsledkov meraní radiačnej bilancie, výpočtov toku tepla v pôde a modelových simulácií výmeny turbulentného a latentného tepla medzi smrekovým porastom a okolitým ovzduším boli stanovené hodinové priemery a následne denné sumy jednotlivých zložiek rovnice energetickej bilancie sledovaného aktívneho povrchu. V priebehu celého hodnoteného obdobia vykazovali denné sumy zložiek rovnice energetickej bilancie smrekového porastu, značnú sezónnu variabilitu (obr. 1).



Obr. 1. Sezónne zmeny denných súm toku tepla v pôde P , turbulentného toku tepla H a toku tepla spotrebovaného na výpar LE , ktoré boli stanovené pre smrekovú monokultúru v období jún - september 2001.

Všetky metódy použité pri stanovení jednotlivých zložiek energetickej bilancie daného smrekového porastu vychádzali dôsledne z predpokladu, že energiu súvisiacu so zabezpečením fotosyntézy a so zmenami teploty aktívneho povrchu možno v porovnaní s ostatnými členmi rovnice energetickej bilancie zanedbať. Algebraický súčet toku tepla v pôde, turbulentného toku tepla a toku tepla spotrebovaného na výpar, tak ako sú tieto veličiny zakreslené na obr. 1, sa teda rovná radiačnej bilancii.

Vzhľadom na to, že index listovej plochy sa v danom stupni vývoja porastu menil už len pomerne málo a pôdna vlhkosť sa v celom hodnotenom období pohybovala nad hranicou zníženej dostupnosti, dá sa predpokladať, že sezónna variabilita jednotlivých zložiek energetickej bilancie sledovaného lesného porastu bola spôsobená hlavne meteorologickými činiteľmi, najmä príkonom žiarivej energie

a evaporačnými požiadavkami ovzdušia. Samozrejme, pomerne vysoké hodnoty indexu listovej plochy silne redukovali zohrievanie a ochladzovanie povrchu lesnej pôdy, takže tok tepla v pôde bol v štruktúre energetickej bilancie zapojeného lesného porastu jednoznačne najmenej významnou zložkou.

V porovnaní s variabilitou jednotlivých členov rovnice energetickej bilancie sledovaného porastu sa jej štruktúra zdá byť v hodnotenom období podstatne konzervatívnejšia. (Tab. 1).

Tab. 1. Mesačné priemery pomeru turbulentného toku tepla H , toku tepla spotrebovaného na výpar LE a toku tepla v pôde P k radiačnej bilancii R a priemerné hodnoty Bowenovho pomeru H/LE pre jednotlivé mesiace hodnoteného obdobia.

	Jún	Júl	August	September
H/R [%]	51,8	43,1	31,8	37,6
LE/R [%]	42,5	52,9	67,1	61,1
P/R [%]	5,8	3,9	1,2	1,3
H/LE [%]	1,2	0,8	0,5	0,6

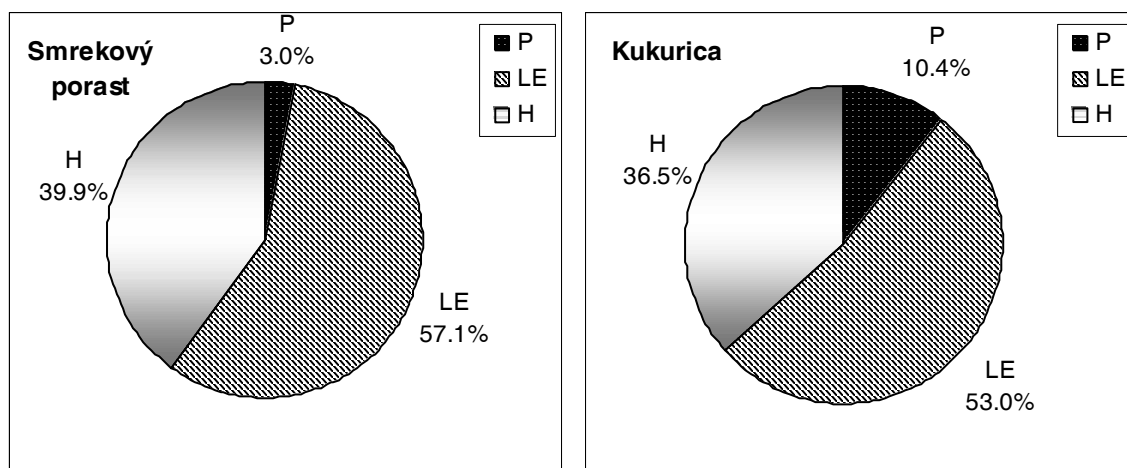
S výnimkou mesiace júna pripadá v celom hodnotenom období najväčšia časť radiačnej bilancie na energetické zabezpečenie evapotranspirácie, čo je vyjadrené tokom tepla spotrebovaného na výpar. Zmeny pomeru toku tepla spotrebovaného na výpar k radiačnej bilancii zodpovedajú dynamike indexu listovej plochy, ktorého hodnoty dosiahli svoje sezónne maximum práve v strede augusta. Z toho vyplýva, že zapojenie porastu je nevyhnutnou podmienkou pre nárast podielu toku tepla spotrebovaného na výpar v radiačnej bilancii vyparujúceho povrchu. Táto dedukcia však platí len za predpokladu, že pôdna vlhkosť nie je limitujúcim faktorom pre evapotranspiráciu. V prípade, že porast trpí vodným stresom, turbulentný tok tepla rastie na úkor toku tepla spotrebovaného na výpar, Bowenov pomer sa zväčšuje a štruktúra energetickej bilancie porastu sa podstatne mení.

Turbulentný tok tepla bol najvýznamnejšou zložkou v štruktúre rovnice energetickej bilancie smrekového porastu v mesiaci júni, čo zrejme súvisí s intenzívnym zohrievaním povrchových vrstiev lesnej pôdy, čo sa v danom prípade dialo na úkor energetického zabezpečenia evapotranspirácie.

Bowenov pomer vykazuje typický sezónny priebeh s minimom vyskytujúcim sa približne v strede rastového obdobia, kedy na jednej strane kulminujú hodnoty indexu listovej plochy, čo zvyšuje vodivosť porastu pre prenos vodnej pary a evaporačné požiadavky ovzdušia sú stále ešte dosť vysoké. Hodnoty Bowenovho pomeru, klesajúce až k jednej polovici sú pre ihličnaté porasty pomerne nízke a svedčia o tom, že pôdna vlhkosť v koreňovej zóne bola dostatočne vysoká, takže nelimitovala evapotranspiráciu.

Charakteristickou črtou štruktúry rovnice energetickej bilancie smrekovej monokultúry je tiež nepatrný podiel toku tepla v pôde na radiačnej bilancii analyzovaného smrekového porastu. Táto skutočnosť je však v súlade s tým, že v prípade zapojeného lesného porastu úlohu aktívneho povrchu preberá korunová vrstva.

Zaujímavý obraz poskytuje štruktúra rovnice energetickej bilancie smrekovej monokultúry uvažovaná za celé obdobie od začiatku júna do konca septembra roku 2001 porovnaná so zodpovedajúcimi pomermi zložiek energetickej bilancie porastu kukurice (obr. 2).



Obr. 2. Štruktúra rovnice energetickej bilancie smrekovej monokultúry (vľavo) a porastu kukurice (vpravo) stanovená za rovnaké obdobie od začiatku júna do konca septembra.

Podobnosť oboch grafov, najmä pokiaľ porovnávame podiel tokov turbulentného a latentného tepla na radiačnej bilancii, znázornených na obr. 2 je dosť prekvapujúca, hlavne ak si uvedomíme, že ide o porasty s diametrálne odlišnými biometrickými charakteristikami. Pri tomto porovnaní bude zrejme podstatné to, že aj porast kukurice bol počas takmer celého hodnoteného obdobia už zapojený, a teda v oboch prípadoch prebral úlohu aktívneho povrchu.

Ešte zaujímavejším sa ukazuje porovnanie grafov na obr. 2 so štruktúrou energetickej bilancie referenčného povrchu. Pre tento prípad z výsledkov, ktoré publikoval Tomlain (1979) vyplýva nasledovná štruktúra rovnice energetickej bilancie: $H/R = 0,430$, $LE/R = 0,526$ a $P/R = 0,044$, čo sú všetko hodnoty opäť veľmi blízke k zodpovedajúcim údajom z obr. 2. Táto zhoda nasvedčuje tomu, že v prípade zapojeného porastu, ktorý je dostatočne zásobený vodou v pôde, štruktúra jeho energetickej bilancie je pomerne konzervatívnou veličinou, ktorá v tomto prípade len malo závisí od druhu vegetácie a od meteorologických faktorov. Samozrejme, nevyhnutnou podmienkou podobnosti grafov na obr. 2 je skutočnosť, že oba porasty boli v hodnotenom období zapojené. Najvýznamnejšou zložkou energetickej bilancie je v takýchto situáciách tok tepla spotrebovaného na výpar, čo môže byť dôsledkom fyziologickej regulácie transpirácie.

PodĎakovanie. Autori ďakujú Grantovej agentúre VEGA (projekt č. 2/2093/22) a Grantovej agentúre Českej republiky (projekt č. 526/03/1104) za finančnú podporu pri riešení uvedených projektov.

Súhrn: Boli stanovené a analyzované denné sumy jednotlivých zložiek energetickej bilancie smrekovej monokultúry (*Picea abies*, L., Karst.) za štvormesačné obdobie 1.6. - 30.9. 2001. Potrebné experimentálne podklady boli získané na pokusnej ploche Ústavu ekológie krajiny AV ČR situovanej v lokalite Bílý Kříž (49°30'17'' s.š., 18°32'28'' v.d., 898-908 m n.m.). Štruktúra energetickej bilancie porastu sa ukázala byť pomerne konzervatívnou charakteristikou, pričom tok tepla v pôde, turbulentný tok tepla a tok tepla na výpar predstavoval v priemere 3,0 %, 39,9 % a 57,1 % z radiačnej bilancie. Samotné zložky energetickej bilancie porastu sa však v priebehu hodnoteného obdobia menili dosť výrazne. Ich premenlivosť možno vysvetliť ako dôsledok vývoja porastu a sezónnych zmien meteorologických podmienok a pôdnej vlhkosti v koreňovej zóne.

Kľúčové slová: turbulentné toky, smreková monokultúra, Bowenov pomer, vodivosť porastu.

Zoznam použitej literatúry

- Arya, S. P., 2001: Introduction to Micrometeorology. Academic Press, New York, 420 s.
- Janouš, D., Schulzová, T., 1995: Description of study site and experimental facilities. In: Janouš et al. (eds.), Productional Activity of Norway Spruce (*Picea abies* [L.] Karst) Stand in Relation to Thinning. Acta Sciences Naturalis, Brno, 29, 6, 3-7.
- Matejka, F., 1977: A three-layer SVAT model for homogeneous land surfaces. Contr. Geophys. Inst. SAS., Ser. Meteorol., 17, 44-53.
- Matejka, F., Střelcová, K., Mindřáš, J., 1999: Vzájomné vzťahy medzi transpiráciou lesného porastu a pôdnou vlhkosťou. In: Atmosféra 21. storočia, organizmy a ekosystémy. Zvolen, Technická univerzita, 19-22.
- Matejka, F., Hurtalová, T., Rožnovský, J., Janouš D., 2000: Vplyv mladého smrekového porastu na príľahlú vrstvu vzduchu. Bratislava, Polygrafia SAV, 92 s.
- Matejka, F., Hurtalová, T., 2002: Mathematical modelling of surface resistances and evapotranspiration rates at agricultural sites. Contr. Geophys. and Geodesy. (V tlači).
- Miller, D. H., 1981: Energy at the Surface of the Earth. Acad. Press, New York, 516 s.
- Tomlain, J., 1979: Tepelná bilancia zemského povrchu. In: Klíma a bioklíma Bratislavy. Ed. M. Konček, Bratislava, VEDA, 191-195.
- Wild, M., Ohmura, A., 1997: GCM-Simulated fluxes in climate change experiments. J. Climate, 10, 3093-3110.

Kontaktná adresa:

RNDr. František Matejka, CSc., Geofyzikálny ústav SAV, Dúbravská cesta 9, 845 28 Bratislava
tel.: 02 5477 2309, fax: 02 5941 0626, email: geofmate@savba.sk