

**OSOBITOSTI VERTIKÁLNYCH PROFILOV  
TEPLOTY, VLHKOSTI A PRÚDENIA VZDUCHU NAD SMREKOVÝM LESOM**

**SPECIALITIES OF THE AIR TEMPERATURE, HUMIDITY, AND WIND SPEED  
VERTICAL PROFILES OVER SPRUCE FOREST STAND**

<sup>1</sup>Tatjana, HURTALOVÁ <sup>1</sup>rantišekMATEJKA F, <sup>2</sup>Jaroslav ROŽNOVSKÝ, <sup>3</sup>Dalibor JANOUŠ

<sup>1</sup> Geofyzikálny ústav SAV, Bratislava, SR

<sup>2</sup> Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, ČR

<sup>3</sup> Ústav ekologie krajiny AV ČR, ČR

**Abstract:** The results of vertical profile measurements of the air temperature, humidity, and wind speed have been evaluated with the aim to analyze the influence of a young spruce forest stand on these vertical profiles. The used experimental data were obtained at the Experimental Ecological Study Site located in Moravian-Silesian Beskydy Mts. (N 49°, 30'17'', E 18°, 32', 28'', 848-908 m a.s.l.). This site is represented by the monoculture of young Norway spruce stand with density of 2600 trees per ha in Fd plot and 2400 trees per ha in Fs plot, plot areas cover 2500 m<sup>2</sup> each. After the thinning in May 2001 the density in Fs plot was 1880 trees per ha. The experimental data were measured by automatic measuring equipment by the firm DELTA-T Devices LTD in and above investigated forest stand in Fd plot from 1997 and in Fs plot from 1998 year. Measurements carried out every time during growing season from May to October. The mean trees height  $h$  in Fd plot increased during the investigated period from 6.4 m to 10.51 m and the zero plane displacement  $d$  values were between  $0.69h$  and  $0.78h$ . The corresponding values in Fs plot:  $h$  values increased from 6.16 m to 9.54 m and  $d \sim 0.69h - 0.74h$ . The analysed relative humidity vertical profiles indicated two water vapor sources. One of these sources was created by the soil surface and the second one was located near the  $(d+z_0)$  level.

**Key words:** spruce stand, atmosphere surface layer, vertical profile, air temperature, air humidity

## Úvod

Hrozba zmeny klímy sa považuje za najvýznamnejší environmentálny problém v doterajšej histórii ľudstva. A práve lesné ekosystémy vzhľadom na svoju rozlohu a štruktúru hrajú významnú úlohu pri vytváraní, modifikovaní a ochrane mikroklímy (*Intribus*, 1977). Výskum vzájomných vzťahov v systéme pôda – vegetácia – atmosféra má interdisciplinárny charakter a realizuje sa často v rámci veľkých medzinárodných programov (*Halldin et al.*, 1999). V lokalite Bílý Kříž vo vrcholových čas-

tiach Moravsko-sliezskych Beskýd, v rámci široko zameraného výskumného programu, sa vykonáva aj analýza vplyvu mladého smrekového porastu na vybrané charakteristiky stavu prízemnej vrstvy atmosféry (Matejka et al., 2000).

Cieľom predloženého príspevku je na základe meraní vertikálnych profilov rýchlosti vetra, teploty a vlhkosti vzduchu v mladom smrekovom lese a tesne nad ním analyzovať zvláštnosti týchto profilov vo vrstve vzduchu ovplyvnenej sledovaným lesným porastom.

## **Experimentálna plocha a profilové merania**

Merania vertikálnych profilov prúdenia, teploty a vlhkosti vzduchu boli získané na Experimentálnom ekologickom pracovisku Ústavu ekológie krajiny AV ČR, ktoré sa nachádza v lokalite Bílý Kříž v ČR (N 49°, 30'17'', E 18°, 32', 28'', n. v. 848-908 m). Táto oblasť patrí do lesnatej vrcholovej časti Moravsko-sliezskych Beskýd. Experimentálny povrch tvorí porast smreku obyčajného (*Picea abies* (L.) K a r s t) na miernom juho-juhozápadnom svahu s maximálnym sklonom 13%. Porast bol založený v r. 1981 výsadbou štvorročných sadeníc v severojužne orientovaných radoch so sponom 2x1 m. Experimentálna plocha je rozdelená na dve časti s rozlohou každej 2500 m<sup>2</sup> ale s rôznou hustotou porastu. Plocha Fd (Dense Forest) má hustotu porastu 2600 stromov/ha a plocha Fs (Sparse Forest) 2400 stromov/ha. V máji 2001 bola na ploche Fs vykonaná prebierka a hustota po nej dosiahla hodnotu 1880 stromov/ha. Tento prebierkový zásah významne ovplyvnil štruktúru a architektúru porastu na ploche Fs.

Z hľadiska klimatologickej klasifikácie podnebia ČR (Quitt, 1971) patrí výskumná lokalita do oblasti chladnej (CH 7) s dĺžkou hlavného vegetačného obdobia 120–140 dní a s priemerným počtom letných dní 10–30. Priemerná ročná teplota vzduchu je 4,9 °C, úhrn zrážok za vegetačné obdobie činí 600–700 mm a za chladné obdobie 400–500 mm. Priemerná ročná hodnota relatívnej vlhkosti vzduchu je 80%. Priemerný počet jasných dní v roku je 40–50 a zamračených 150–160.

V tejto oblasti Beskýd celkove prevláda severné a západné prúdenie vzduchu. Priamo nad experimentálnou plochou so sledovaným porastom sa však často vyskytuje južný smer vetra, ktorý najmä počas vegetačného obdobia prevláda nad severným prúdením. Je to dôsledok vplyvu miestnej morfológie terénu.

Profily meteorologických charakteristík, rýchlosti vetra, teploty a vlhkosti vzduchu, sú merané v sledovanom poraste a tesne nad ním a registrované automatickou meracou ústredňou v polhodinových intervaloch počas rastového obdobia máj až október, na ploche Fd od r. 1997 a na ploche Fs o rok neskôr od r. 1998. Snímače meraných veličín sú umiestnené na oboch plochách na 15 m vysokom kovovom stožiarí v 5 a neskôr v 6 výškových hladinách rozmiestnených v poraste a tesne nad ním (Matejka et al., 2000).

## Výsledky a diskusia

Z analýzy vertikálnych profilov rýchlosti vetra  $u(z_k)$  boli vypočítané hodnoty efektívnej výšky  $d$  a dynamickej drsnosti povrchu  $z_0$  (Hurtalová *et al.*, 1987). Boli analyzované len tie profily rýchlosti vetra, ktoré spĺňali podmienku  $u(h-1) \geq 1,0$  m/s, kde  $h$  je priemerná výška porastu. To znamená, že v prízemnej vrstve atmosféry boli podmienky aspoň rozvíjajúcej sa turbulencie.

Pre porovnanie v nasledujúcej tabuľke je uvedená priemerná hodnota za rastové obdobie priemernej výšky porastu  $h$ , pomeru  $d/h$  a dynamickej drsnosti povrchu  $z_0$  na obidvoch plochách v rokoch 1997–2003. V tabuľke je tiež uvedený počet analyzovaných profilov  $i$ . Ako vidieť z tabuľky, rôzna hustota porastu ovplyvnila rast a vývoj smrekového porastu na oboch plochách. Pokles hodnoty  $d/h$  a naopak zvýšenie hodnoty dynamickej drsnosti povrchu v r. 2001 na ploche Fs bolo spôsobené prebierkou porastu, kedy hustota klesla z 2400 na 1880 stromov/ha, čo významne ovplyvnilo štruktúru a architektúru porastu.

Tabuľka. Priemerná hodnota výšky porastu  $h$ , pomeru  $d/h$ , kde  $d$  je efektívna výška porastu, a dynamickej drsnosti  $z_0$  na oboch experimentálnych plochách (Fd, Fs) sledovaného smrekového porastu v rastovej sezóne 1997 – 2003.  $i$  je počet analyzovaných profilov rýchlosti vetra.

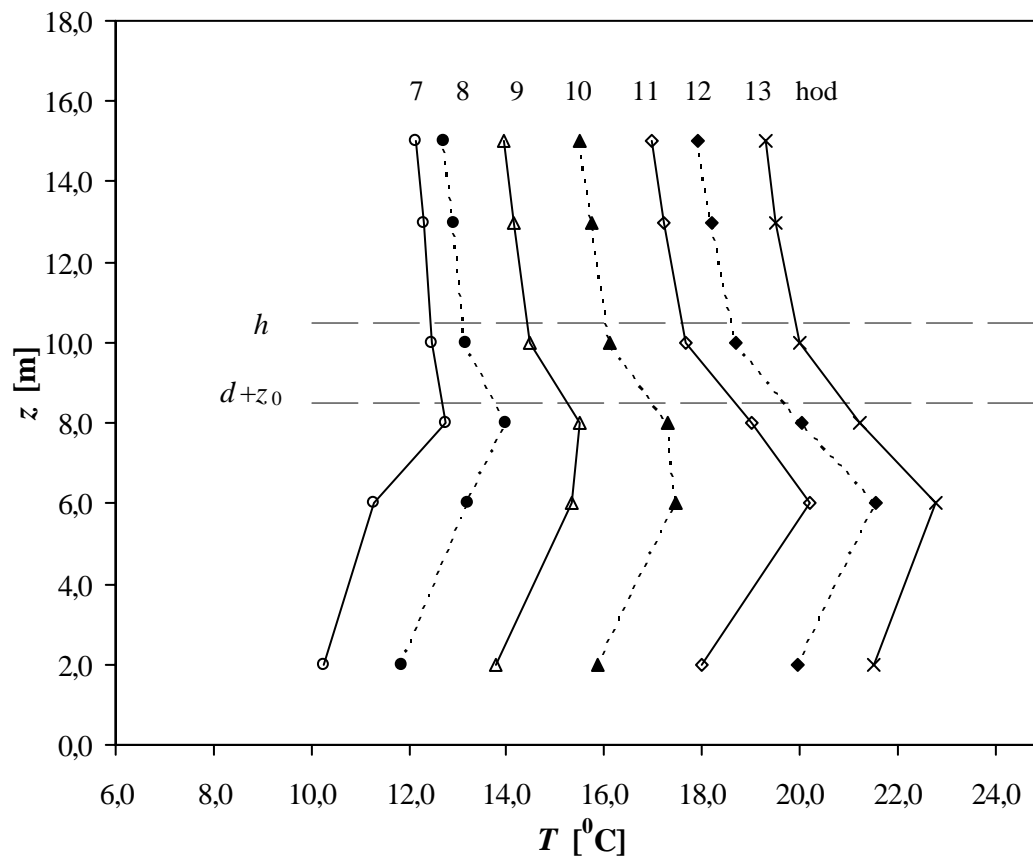
	Fd				Fs			
	$h$ [m]	$d/h$	$z_0$ [m]	$i$	$h$ [m]	$d/h$	$z_0$ [m]	$i$
1997	6,40	0,69	0,71	151	5,50			
1998	7,12	0,75	0,48	411	6,16	0,69	0,41	624
1999	7,75	0,76	0,58	186	6,80	0,70	0,52	319
2000	8,34	0,76	0,58	181	7,36	0,76	0,57	422
2001	8,86	0,76	0,61	103	8,07	0,60	0,69	306
2002	9,58	0,76	0,60	233	8,64	0,72	0,57	363
2003	10,51	0,78	0,63	24	9,54	0,74	0,52	353

Ďalej z analýzy vyplynulo, že sledovaný mladý smrekový porast mal aerodynamicky nestály tvar, čo znamená, že hodnota efektívnej výšky a dynamickej drsnosti povrchu závisia od rýchlosti prúdenia vzduchu (Hayashi, 1983; Hurtalová *et al.*, 2004). Ukázalo sa tiež, že na plochách neboli vytvorené rovnaké podmienky pre vznik turbulencie, čo vyplýva z rôzneho počtu analyzovaných profilov rýchlosti vetra. Je to vplyvom miestnej morfológie terénu. Juho-juhozápadný svah sledovanej plochy vytvára

podmienky pre rozvoj turbulencie prakticky len z južného smeru prúdenia vzduchu a pootočením plochy  $F_s$  je tomuto smeru priaznivejšie, čoho dôkazom je na tejto ploche silnejšie prúdenie.

Z literatúry je známe, že vertikálne profily teploty a vlhkosti vzduchu vo vrstve vzduchu ovplyvnenej lesným porastom sú podobné profilom v prízemnej vrstve atmosféry nad povrchom pokrytým vysokými poľnými plodinami (Arya, 2001). Rozdiel je v gradientoch. V lesnom poraste sú gradienty slabšie a denné zmeny teploty a vlhkosti vzduchu sú menšie.

Na obr. 1 a 2 sú znázornené vertikálne profily teploty a vlhkosti vzduchu v dopoludňajších hodinách dňa 5. mája 2003 na ploche Fd s vyššou hustotou porastu. Bol to teplý a jasný deň na začiatku rastového obdobia sledovaného smrekového porastu. Teplota vzduchu od hladiny 2 m najskôr rastie s maximálnou hodnotou na hladine 8 m ráno, neskôr je najteplejšia hladina 6 m, potom teplota vzduchu s výškou klesá, obr. 1.



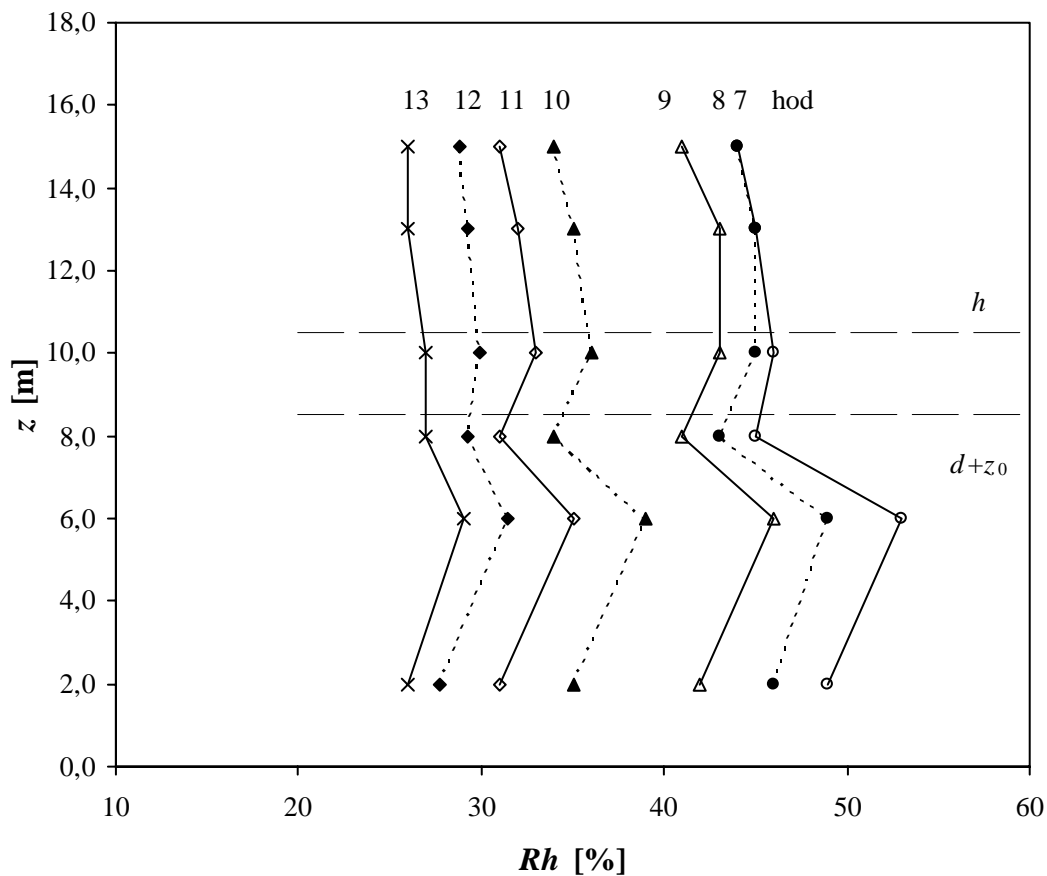
Obr. 1. Vertikálny profil teploty vzduchu ( $T$ ) na ploche Fd v dopoludňajších hodinách jasného dňa 5. mája 2003.

$h$  – priemerná výška porastu,  $d$  – efektívna výška porastu,  $z_0$  – dynamická drsnosť povrchu.

Teplota vzduchu v poraste je ovplyvnená dvoma spôsobmi. Jednak absorpciou slnečného žiarenia, čo vrstvy vzduchu otepluje a na druhej strane tu pôsobí evaporačné ochladzovanie. Ráno prevláda radiačné otepľovanie, teplota vzduchu rástla s výškou až do hladiny cca  $(d+z_0)$ . Neskôr, keď dochádza k transpirácii, intenzívnejšie pôsobí evaporačné ochladzovanie, hodnota teploty vzduchu bola maximálna na hladine 6 m a potom s výškou klesala.

Pre lesný porast je typická teplotná inverzia v spodných častiach porastu, hlavne v denných hodinách. V noci profily teploty vzduchu v poraste sú blízke izotermii. Potvrdili to aj výsledky nášho experimentu.

Tvar vertikálneho profilu relatívnej vlhkosti vzduchu  $Rh$  na ploche Fd poukazuje na dva zdroje vodnej pary, obr. 2. Prvý zdroj predstavuje povrch pôdy, hodnota  $Rh$  rastie s výškou a nadobúda maximálnu hodnotu na hladine 6 m, čo je hladina v spodnej časti korún stromov. Druhý zdroj vodnej pary predstavuje hladina cca  $(d+z_0)$ . V tejto hladine pri vhodných atmosférických podmienkach dochádza k intenzívnej transpirácii. Naviac, v hladine  $(d+z_0)$  sa rýchlosť prúdenia blíži k nule, čo prispieva ku koncentrácii vodnej pary nad touto hladinou. Hodnota  $Rh$  stúpne a potom s výškou ďalej klesá. Po-

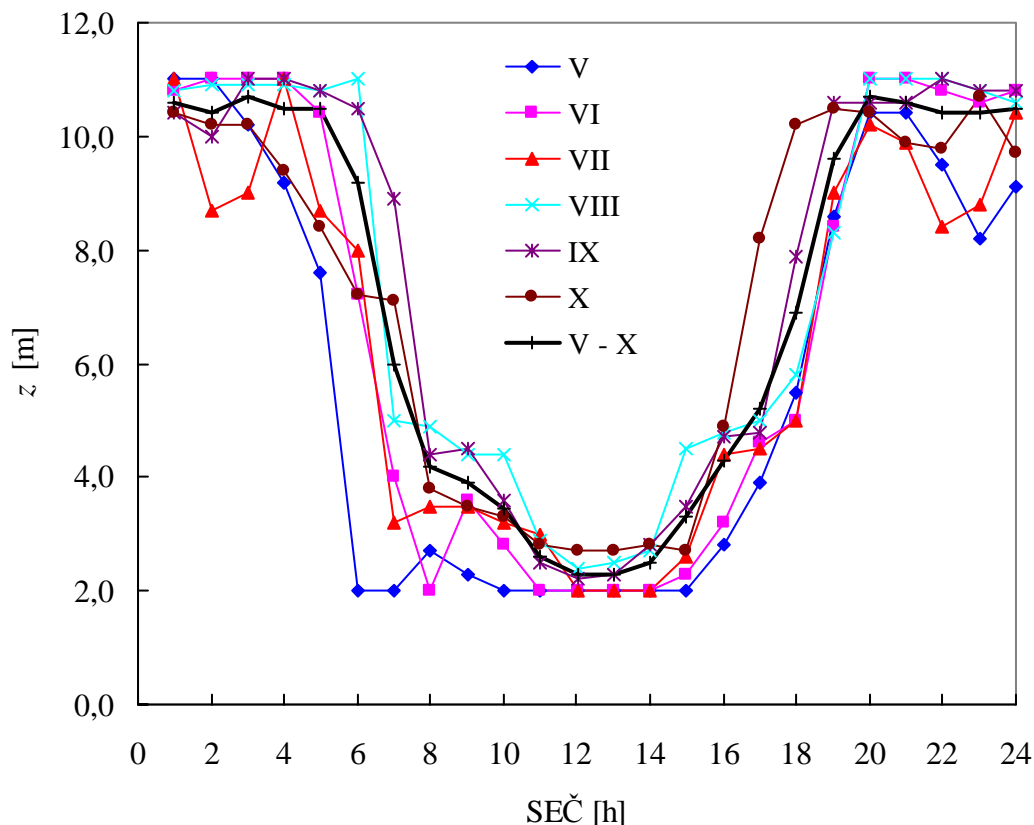


Obr. 2. Vertikálny profil relatívnej vlhkosti vzduchu ( $Rh$ ) na ploche Fd v dopoludňajších hodinách jasného dňa 5. mája 2003.

kles hodnoty  $Rh$  v tejto časti porastu a tesne nad ním je však menej výrazný. Je to dôsledkom silnejšieho prúdenia vzduchu nad porastom.

Ukázalo sa, že na začiatku rastového obdobia bol druhý zdroj vodnej pary slabší a výraznejšia bola evapotranspirácia v nižších hladinách. V literatúre sa uvádza, že v období maximálneho rastu profil vlhkosti vzduchu vykazuje maximum hodnoty vo vrstve maximálnej korunovej hustoty, kde je koncentrovaný zdroj vodnej pary vyvolaný transpiráciou (Arya, 2001). Na ploche Fs s nižšou hustotou porastu bol zdroj vodnej pary nad hladinou ( $d+z_0$ ) menej výrazný.

Ďalej bolo sledované kolísanie hladiny výskytu maxima priemernej hodinovej hodnoty teploty vzduchu ( $\bar{T}_h$ ) v korunách stromov sledovaného smrekového lesa a tesne nad ním počas dňa v jednotlivých mesiacoch i v celom rastovom období 1997. Ukázalo sa, že v priemere za celé rastové obdobie sa maximálne hodnoty  $\bar{T}_h$  počas dňa vyskytujú viac hodín nad porastom, len okolo poludnia, medzi 10. až 14. hodinou sa vyskytujú v poraste a to medzi hladinami 2 až 3 m, obr. 3. To znamená, že len



Obr. 3. Kolísanie hladiny výskytu maxima priemernej hodinovej hodnoty teploty vzduchu ( $\bar{T}_h$ ) v korunách stromov smrekového lesa počas dňa v lokalite Bílý Kříž v rastovom období 1997.

okolo poludnia dochádza k zvýšeniu teploty vzduchu v lese v najnižších hladinách. V tomto čase v poraste intenzívne pôsobí práve evaporačné ochladzovanie. Povrch porastu sa v čase intenzívnej transpirácie ochladzuje, čím je ochladzovaná aj vrstva vzduchu tesne k nemu priliehajúca.

### **Pod'akovanie.**

Autori ďakujú Grantovej agentúre VEGA (projekt č. 2/2093/24) a Grantovej agentúre Českej republiky (projekt č. 526/00/0485) za finančnú podporu pri riešení uvedených projektov.

### **Súhrn**

Zvláštnosti vertikálnych profilov teploty a vlhkosti vrstvy vzduchu ovplyvnenej mladým smrekovým lesom boli analyzované na základe výsledkov meraní týchto charakteristík v sledovanom poraste a tesne nad ním počas rastového obdobia (máj – október) 1997 – 2003. Profilové merania boli získané na Experimentálnom ekologickom pracovisku Ústavu ekológie krajiny AV ČR, ktoré sa nachádza v lokalite Bílý Kříž, v lesnatej vrcholovej časti Moravsko-sliezskych Beskýd.

Experimentálny povrch tvorí porast smreku obyčajného (*Picea abies* (L.) K a r s t) založený v r. 1981 na miernom juho-juhozápadnom svahu s maximálnym sklonom 13%. Experimentálna plocha je rozdelená na dve časti s rozlohou každej 2500 m<sup>2</sup> ale s rôznou hustotou porastu. Plocha Fd má hustotu porastu 2600 stromov/ha a plocha Fs 2400 stromov/ha. V máji 2001 bola na ploche Fs vykonaná prebierka a hustota po nej dosiahla hodnotu 1880 stromov/ha. Tento prebierkový zásah významne ovplyvnil štruktúru a architektúru porastu na ploche Fs.

Ako príklad bol analyzovaný vertikálny profil teploty a relatívnej vlhkosti vzduchu na ploche Fd v dopoludňajších hodinách jasného dňa 5.5.2003. Bol to teplý, jasný deň na začiatku rastového obdobia sledovaného smrekového porastu. Teplota vzduchu pod korunami stromov najskôr v raňajších hodinách rástla vplyvom absorpcie slnečného žiarenia a maximálnu hodnotu dosiahla na hladine 8 m. Neskôr, keď dochádza k transpirácii, intenzívnejšie pôsobí evaporačné ochladzovanie, najteplejšia bola hladina 6 m a potom teplota vzduchu s výškou klesala. Pre lesný porast je typická teplotná inverzia v spodných častiach porastu, hlavne v denných hodinách. V noci sú profily teploty vzduchu v poraste blízke izotermii.

Analýza vertikálneho profilu *Rh* na ploche Fd poukázala na dva zdroje vodnej pary. Prvý zdroj predstavuje povrch pôdy, hodnota relatívnej vlhkosti vzduchu rastie a nadobúda maximálnu hodnotu na hladine 6 m, čo bola hladina v spodnej časti korún stromov. Druhý zdroj vodnej pary predstavuje hladina cca ( $d+z_0$ ), kde pri vhodných atmosférických podmienkach prebieha intenzívna transpirácia.

Sledované kolísanie hladiny výskytu maxima priemernej hodinovej hodnoty teploty vzduchu ( $\bar{T}_h$ ) v korunách stromov sledovaného smrekového lesa a tesne nad ním počas dňa ukázalo, že v priemere za celé rastové obdobie sa maximálne hodnoty  $\bar{T}_h$  počas dňa vyskytujú viac hodín nad porastom, len okolo poludnia, medzi 10. až 14. hodinou sa vyskytujú v poraste a to medzi hladinami 2 až 3 m.

**Kľúčové slová:** smrekový porast, prízemná vrstva atmosféry, vertikálny profil teploty a vlhkosti vzduchu

## Literatúra

Arya, P. S., 2001: Introduction to Micrometeorology. N.Y.: Academic Press, 420 p.

Halldin, S., Gryning, S-E., Gottschalk, L., Jochum, A., Lundin, L-C., Van den Griend, A. A., 1999: Energy, water and carbon exchange in a boreal forest landscape – NOPEX experiences. Agric. And Forest Meteorol., 98-99, 5–29.

Hayashi, Y., 1983: Aerodynamical properties of an air layer affected by vegetation. Res. Center Papers, Ibaraki (Japan) : ERC the University of Tsukuba, 54 p.

Hurtalová, T., Janičkovičová, E., Matejka, F., 1987: Dynamic roughness – an aerodynamic characteristics of the active surface. Contr. Geophys. Inst. SAS, Ser. Meteorol., Vol. 7, 38–46.

Hurtalová, T., Matejka, F., Rožnovský, J., Janouš, D., 2004: Parameterization of aerodynamic characteristics on airflow dependence above spruce forest stand. Meteorological Journal, in press.

Intribus, R., 1977: Význam klimatickej funkcie lesa v ochrane životného prostredia. In: Les ako súčasť životného prostredia. Ed. D. Zachar. Bratislava : VEDA, 63–70.

Matejka, F., Hurtalová, t., Rožnovský, J., Janouš, D., 2000: Vplyv mladého smrekového porastu na príľahlú vrstvu vzduchu. Bratislava : Polygrafia SAV, 92 s.

Quitt, E., 1971: Klimatické oblasti Československa. Studia Geographica 16, 84 s.

Kontaktná adresa:

RNDr. Tatjana Hurtalová, CSc., Geofyzikálny ústav SAV, Dúbravská cesta 9, 845 28 Bratislava  
tel.: 02 5477 2309, fax: 02 5941 0626, email: [geoftahu@savba.sk](mailto:geoftahu@savba.sk)