

BIOKLIMATICKÉ ASPEKTY PRENOSOVÝCH JAVOV V SYSTÉME SMREKOVÝ PORAST – ATMOSFÉRA

Tatiana Hurtalová¹, František Matejka¹, Dalibor Janouš², Jaroslav Rožnovský³

¹Geofyzikálny ústav Slovenskej akadémie vied

²Ústav systémovej biológie a ekológie, Akadémia vied ČR, v.v.i.

³Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno

Abstract:

Relationship between earth surface and atmosphere is the most intensive in the atmosphere surface layer. Thickness of this layer depends on the earth surface character and meteorological conditions. Surface created by vegetation has significant role in this relationship. Especially forest ecosystems with their area and structure have an important role in the formation, modification, and conservation of microclimate. The majority of forest ecosystems in the Czech Republic are composed of Norway spruce stands which have more than 50% share. Therefore the aim of this contribution was to analyse aerodynamic properties of the air layer affected by a young spruce forest stand. The aerodynamic characteristics can be described using parameters like the roughness length (z_0) and zero plane displacement (d). Also the aerodynamic resistance (r_a), an important parameter in bulk resistance models of energy exchange between the canopy surface and the atmosphere, was calculated by the simple method on the basis of the vertical wind speed profile analysis. The analysed vertical wind speed profiles were measured during ten consecutive growing seasons (from May to October 1998–2007) in and above the Norway spruce monoculture at the Experimental Ecological Study Site at Bílý Kříž, Czech Republic. During investigated seasons the mean seasonal z_0 values ranged between 0.48 m and 1.32 m in Fd and the corresponding values in Fs plot varied between 0.41 m and 1.36 m. The mean seasonal d values varied between 0.60h and 0.76h in both plots, h is the mean stand height. The dependence of the aerodynamic resistance on the wind speed and on the dynamic roughness length confirmed that a rougher surface and a stronger air flow create better conditions for the development of the turbulent exchange in the lowest atmosphere layers. And one of characteristics, which can express the intensity of climate formation effects, is the heat and water transport in the atmosphere surface layer.

Keywords: spruce stand, roughness length, zero-plane displacement, aerodynamic resistance

1. Úvod

Vzájomné vzťahy zemského povrchu a atmosféry sa najintenzívnejšie prejavujú v prízemnej vrstve atmosféry a majú interakčný charakter. Sú zvlášť výrazné, keď je povrch pokrytý vegetáciou. Atmosferické faktory priamo pôsobia na rast a vývoj porastov a porasty majú schopnosť ovplyvňovať radiačné, teplotné, vlhkosťové a ventilačné pomery v prízemnej vrstve atmosféry. Vytvárajú si tak svoju vlastnú mikroklimu.

Za najvýznamnejší environmentálny problém v doterajšej histórii ľudstva sa považuje hrozba zmeny klímy. Lesné ekosystémy vzhľadom na svoju rozlohu a štruktúru hrajú významnú úlohu pri vytváraní, modifikovaní a ochrane mikroklimy (Institúcia, 1977). Výskum vzájomných vzťahov v systéme pôda – vegetácia – atmosféra má interdisciplinárny charakter a realizuje sa často v rámci veľkých medzinárodných programov (Hallidin a kol., 1999). V lokalite Bílý Kříž vo vrcholových častiach 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 a kol., 2000).

Cieľom predloženého príspevku je na základe analýzy meraní vertikálnych profilov rýchlosti vetra v smrekovom lese a tesne nad ním sledovať zmeny aerodynamických charakteristík vrstvy vzduchu ovplyvnenej sledovaným porastom počas desiatich rastových období (máj – október 1998 – 2007). Z meraní vertikálnych profilov teploty vzduchu sme analyzovali kolísanie hladiny výskytu maxima priemernej hodinovej hodnoty teploty vzduchu v korunách stromov tohto smrekového lesa počas dňa.

2. Materiál a metódy

Experimentálna plocha

Merania vertikálnych profilov prúdenia, teploty a vlhkosti vzduchu boli získané na Experimentálnom ekologickom pracovisku Ústavu systémovej biológie a ekológie 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. Experimentálna plocha je rozdelená na dve časti s rozlohou každej 2500 m² ale s rôznou hustotou porastu. Plocha Fd mala 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. V r. 2005 bola hustota na ploche Fd 2044 stromov/ha, na Fs 1652 stromov/ha. Zima 2005/2006 bola charakterizovaná množ-

stvom snehu s vysokou vodnou hodnotou a súvislou snehovou pokrývkou od polovice novembra 2005 do konca apríla 2006. Porast bol značne poškodený snehom najmä na ploche Fd, kde cca 29% stromov bolo polámaných a museli byť odstránené. Na ploche Fs poškodenie predstavovalo cca 14%. Výrazne to zmenilo aerodynamické charakteristiky vrstvy vzduchu ovplyvnenej týmto porastom.

Výskumná lokalita je klasifikovaná ako klimaticky studený a vlhký región. Priemerná ročná teplota vzduchu je 5 – 6 °C, priemerný ročný úhm zrážok 1000 – 1200 mm a priemerná vlhkosť vzduchu 80 – 85%. Priemerný počet dní so súvislou snehovou pokrývkou je 120 – 140 (Tollasz a kol., 2007).

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

Profilové merania

Analyzované profily meteorologických charakteristík, rýchlosti vetra, teploty a vlhkosti vzduchu boli merané automaticky v sledovanom poraste a tesne nad ním počas rastového obdobia máj až október 1998-2007. Rýchlosť a smer vetra sa meria švédskym systémom InSituFlux na ploche Fs a súčasne sa meria rýchlosť vetra na 6 hladinách v poraste a tesne nad ním na oboch plochách. Výška hladín merania sa v jednotlivých rastových obdobiach menila v závislosti na rastúcej výške porastu. Rýchlosť vetra sa meria automatickou meracou ústredňou s datalogerom (DL3000, Delta-T, U.K.) a anemometrami (AN1, Delta-T, U.K.) v 10 minútových intervaloch a zaznamenáva každých 30 minút.

Metódy

Aerodynamické vlastnosti vrstvy vzduchu ovplyvnenej vegetáciou môžu byť popísané efektívnou výškou porastu (d) a dynamickou drsnosťou povrchu (z_0). Hodnota efektívnej výšky sledovaného porastu bola určená z analýzy profilov rýchlosti vetra meraných nad sledovaným aktívnym povrchom v podmienkach blízky k neutrálnemu teplotnému zvrstveniu atmosféry (Brutsaert, 1982).

Z analýzy vertikálnych profilov rýchlosti vetra meraných v podmienkach rôzneho teplotného zvrstvenia bola vypočítaná hodnota z_0 (Hurtalová a kol., 1987). Profil rýchlosti vetra môže byť aproximovaný vzťahom

$$\bar{u}_i = A_i [\gamma + \log(z)] + C_i z, \quad (1)$$

kde i je číslo nameraného profilu, A_i , γ a C_i sú konštanty, ktoré charakterizujú daný profil a môžu byť vypočítané z týchto profilov rýchlosti vetra metódou najmenších štvorcov. Konštantu γ súvisí s dynamickou drsnosťou povrchu podľa vzťahu

$$z_0 = 10^{-\gamma}. \quad (2)$$

Pre hodnotu aerodynamickej rezistencie (r_a) bol odvodený vzťah (Hurtalová, 1995)

$$r_a = \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right) + \frac{\beta}{L}(z - z_0)}{\kappa u_*}, \quad (3)$$

kde β/L - parameter stability (β je Monin-Obuchova konštantu, L je výška podvrstvy dynamickej turbulencie), a rovnako aj hodnotu dynamickej rýchlosti u_* , môžeme určiť z profilov rýchlosti vetra pri známych hodnotách A_i a C_i , keď platí: $\beta/L = (C_i/A_i)/\ln(10)$ a $u_* = (\kappa A_i)/\ln(10)$.

3. Získané výsledky a diskusia

Spomedzi charakteristík turbulencie vrstvy ovzdušia priliehajúcej k porastu možno považovať za najdôležitejšie práve koeficient dynamickej drsnosti povrchu z_0 a aerodynamickú rezistenciu r_a . Hodnoty z_0 a r_a boli určené z analýzy vertikálnych profilov rýchlosti vetra. Boli analyzované len tie profily rýchlosti vetra, ktoré spĺňali podmienku $u(h) \geq 1,0$ m/s, kde h je priemerná výška porastu. To znamená, že v prízemnej vrstve atmosféry boli podmienky aspoň rozvíjajúcej sa turbulencie. V tabuľke 1 sú uvedené priemerné hodnoty výšky porastu, efektívnej výšky – vyjadrená pomerom d/h , dynamickej drsnosti povrchu za jednotlivé rastové sezóny 1998 až 2007 na oboch plochách a počet analyzovaných profilov, ktoré spĺňali uvedenú podmienku. Hodnoty efektívnej výšky a dynamickej drsnosti povrchu charakterizujú štruktúru a architektúru porastu. Ako bolo uvedené vyššie, v máji 2001 bola na ploche Fs vykonaná prebierka a hustota stromov klesla z 2400 na 1880 stromov/ha. Tento prebierkový zásah ovplyvnil štruktúru a architektúru porastu, čo spôsobilo pokles hodnoty efektívnej výšky a nárast hodnoty dynamickej drsnosti povrchu, tab. 1. Ďalší výrazný zásah do porastu spôsobila zima 2005/2006, kedy bola v sledovanej lokalite súvislá snehová pokrývka od polovice novembra 2005 do konca apríla 2006. Množstvo snehu malo naviac vysokú vodnú hodnotu. Porast bol značne poškodený snehom najmä na ploche Fd, kde cca 29% stromov bolo odstránených. Na ploche Fs poškodenie predstavovalo cca 14%. Výrazne to zmenilo aerodynamické charakteristiky vrstvy vzduchu ovplyvnenej týmto porastom, klesla hodnota efektívnej výšky a hodnota dynamickej drsnosti povrchu narástla.

Tabuľka 1. Priemerná sezónna hodnota výšky porastu (h), efektívnej výšky (d), dynamickej drsnosti povrchu (z_0) a počet analyzovaných profilov rýchlosti vetra (i).

Rastová sezóna	Fd				Fs			
	h [m]	d/h	z_0 [m]	i	h [m]	d/h	z_0 [m]	i
1998	7,1	0,75	0,48	411	6,2	0,69	0,41	624
1999	7,8	0,76	0,58	186	6,8	0,70	0,52	319
2000	8,3	0,76	0,58	181	7,4	0,76	0,57	422
2001	8,9	0,76	0,61	103	8,1	0,60	0,69	306
2002	9,6	0,74	0,60	233	8,6	0,70	0,57	363
2003	10,5	0,75	0,67	24	9,5	0,72	0,54	353
2004	11,1	0,76	0,87	734	10,3	0,68	0,88	837
2005	11,9	0,71	0,87	474	11,0	0,64	0,66	1899
2006	13,1	0,60	1,32	856	11,9	0,62	1,36	1717
2007	13,9	0,61	1,14	592	12,33	0,61	1,00	2063

Na obr. 1 sú graficky znázornené zmeny priemerných mesačných hodnôt výšky porastu, efektívnej výšky a drsnosti povrchu v mesiacoch máj až október sledovaných desiatich rastových sezón. Ako vidieť na obrázku chod priemerných mesačných hodnôt ($d + z_0$) v rastovej sezóne 2001 na ploche Fs, rovnako v rastových sezónach 2006 a 2007 na oboch plochách bol výrazne ovplyvnený zmenami štruktúry porastu.

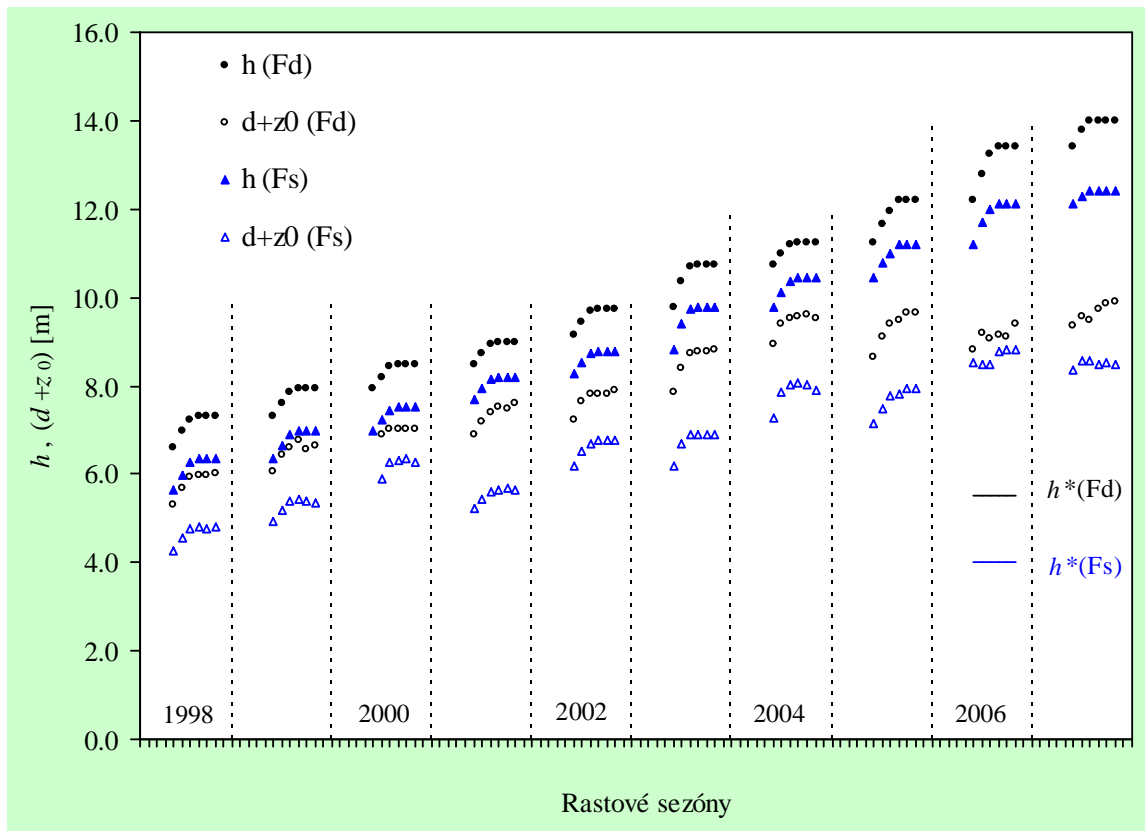
Z analýzy hodnôt aerodynamickej rezistencie bola potvrdená skutočnosť, že hodnoty r_a závisia hlavne od dynamickej drsnosti povrchu a rýchlosti prúdenia vzduchu nad sledovaným porastom, obr. 2 a 3. Na uvedených obrázkoch je závislosť aerodynamickej rezistencie od drsnosti povrchu a dynamickej rýchlosti počas rastového obdobia 2007 na ploche Fd. To znamená, že

pri silnom prúdení vzduchu nad drsným povrchom sú rozvinuté podmienky turbulencie, hodnoty r_a sú nízke a v týchto podmienkach sú takmer nezávislé od aerodynamických charakteristík vrstvy vzduchu ovplyvnenej porastom. Ukázalo sa, že hodnoty r_a citlivo reagujú na zmeny dynamickej drsnosti povrchu $z_0 < 0,8$ m, obr. 2, a na zmeny dynamickej rýchlosti $u^* < 1,0$ m.s⁻¹, obr. 3. Analyticky možno uvedené závislosti vyjadriť pomocou vzťahov:

$$r_a = 4,25(z_0)^{-1,50}, \quad (4)$$

$$r_a = 5,48(u^*)^{-1,54}. \quad (5)$$

Koeficient determinácie bol 0,89, resp. 0,97.

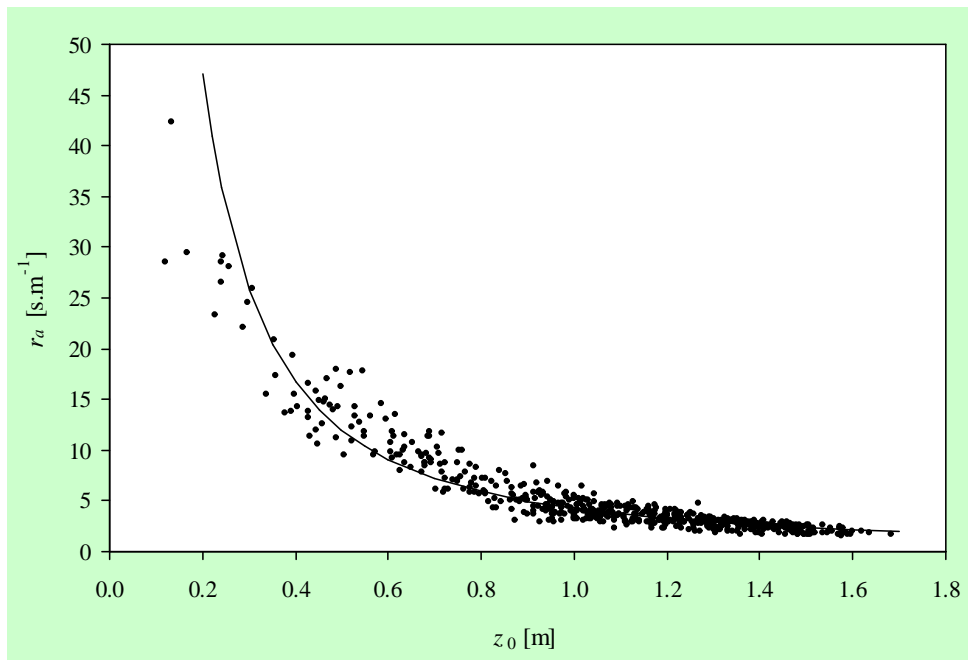


Obr. 1. Zmeny priemerných mesačných hodnôt výšky porast h , sumy efektívnej výšky a drsnosti povrchu ($d + z_0$) počas desiatich rastových sezón (máj-október) v lokalite Bílý Kříž.

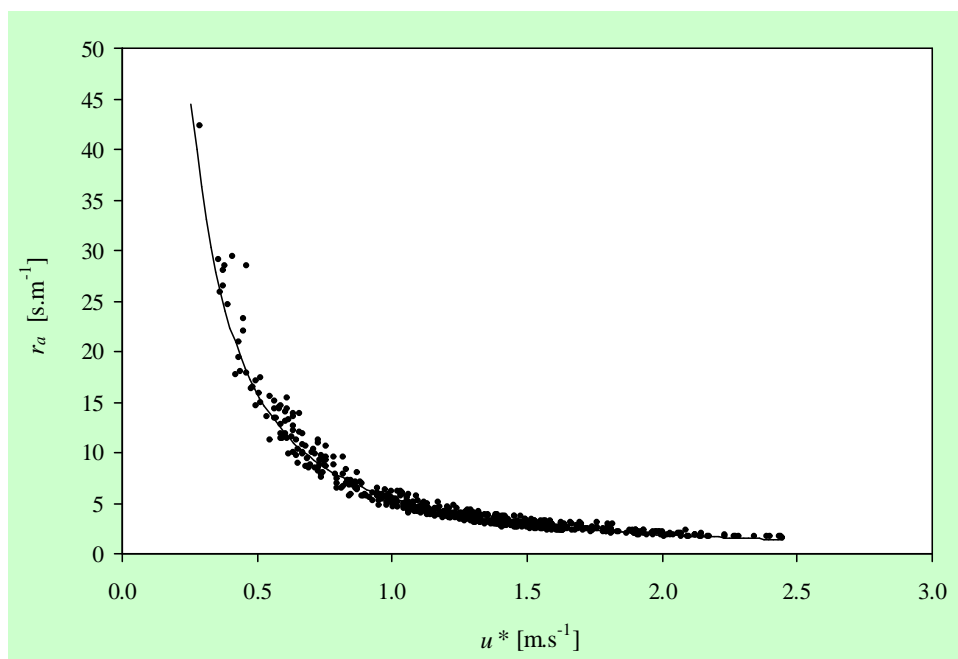
h^* – priemerná výška poškodených stromov snehom

V ďalšom bolo analyzované časové a priestorové rozloženie teploty vzduchu vo vrstve ovplyvnenej sledovaným smrekovým porastom. Zvlášť počas vegetačného obdobia sa značne líši od poľa teploty vzduchu vo voľnej atmosfére (Smolen a Matejka, 1982). Sledovali sme kolísanie hladiny výskytu maxima priemernej hodinovej hodnoty teploty vzduchu v smrekovom lese a tesne nad ním počas dňa v jednotlivých mesiacoch i v celom rastovom období 1998, obr. 4.

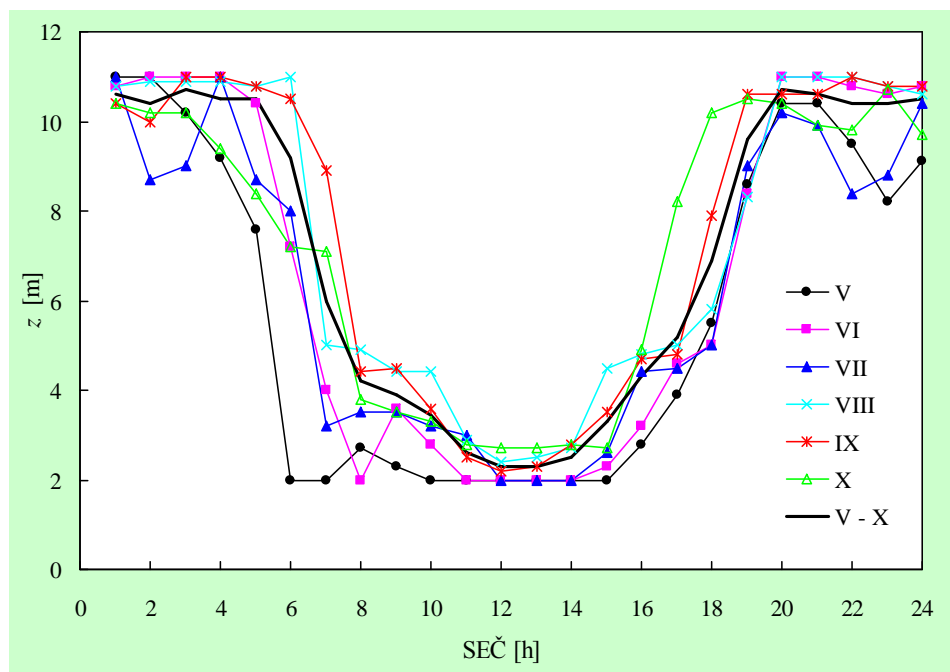
Ukázalo sa, že maximum priemernej hodinovej hodnoty teploty vzduchu T_h sa počas dňa posúva do rôznych hladín. Posúvanie maximálnych hodnôt teploty vzduchu z hladiny nad porastom do porastu sa uskutočňuje medzi 5. a 8. hodinou ráno. Naopak presúvanie maximálnych hodnôt T_h do vyšších hladín nad porast sa uskutočňuje medzi 15. a 19. hodinou. Z toho vyplýva, že počas dňa je maximálna hodnota teploty vzduchu v nižších hladinách porastu, obr. 4.



Obr. 2. Závislost' aerodynamickej rezistencie r_a od dynamickej drsnosti povrchu z_0 počas rastového obdobia 2007 na ploche Fd.



Obr. 3. Závislost' aerodynamickej rezistencie r_a od dynamickej rýchlosti u^* počas rastového obdobia 2007 na ploche Fd.



Obr. 4. Kolísanie hladiny výskytu maxima priemernej hodinovej teploty vzduchu v korunách stromov smrekového lesa počas dňa v rastovom období 1998 v lokalite Bílý Kříž.

Je to spôsobené transformáciou krátkovlnného žiarenia aktívnym povrchom lesa, ktorý predstavujú koruny stromov (Smolen a Matejka, 1983). Ďalej bolo ukázané, že pri formovaní radiačného poľa hrá dôležitú úlohu albedo aktívneho povrchu pod korunami a v hladine rovnajúcej sa výške stromov, ako aj efektívne vyžarovanie aktívneho povrchu. V nemalej miere teplotu vzduchu na úrovni povrchu porastu ovplyvňuje počas dňa transpirácia. Povrch porastu sa v čase intenzívnej transpirácie ochladzuje, čím je ochladzovaná aj vrstva vzduchu tesne k nemu priliehajúca. Uvedená analýza výskytu maximálnych hodnôt teploty vzduchu dokázala relatívne jednoduché vertikálne rozloženie teplotných extrémov. Avšak vo vertikálnom profile sa výrazne mení rozloženie teploty vzduchu v závislosti na pove-

ternostných situáciách., hlavne počas jasných a zamračených dní.

4. Záver

Lesné ekosystémy vzhľadom na svoju rozlohu a štruktúru podstatne ovplyvňujú klímu celých oblastí. Mikroklíma lesných porastov sa formuje a vyvíja ako dôsledok špecifických vlastností tohto typu vegetácie, ktorý je charakterizovaný značným vertikálnym rozmerom, členením do jednotlivých vegetačných vrstiev (korunová, kmeňová, podrastová, pôdna) a značnou biomasou (Šamaj a kol., 1994, Matejka a kol., 2000). S takouto zložitou štruktúrou lesných porastov súvisia aj vysoké hodnoty drsnosti povrchu a koeficientu trenia, čo prispieva k intenzívnej výmene tepla a vodnej pary v prízemnej vrstve atmosféry.

Pod'akovanie.

Práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-51-030205.

Literatúra

- Brutsaert, W. H., 1982: Evaporation into the atmosphere. London : D. Reidel Publishing Company, 299 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.
- Hurtalová, T., 1995: Aerodynamic resistance role in plants – atmosphere system. Contr. Geophys. Inst. SAS, Ser. Meteorol., Vol. 15, 52–61.
- Hurtalová, T., Janičkovičová, L., Matejka, F., 1987: Dynamic roughness – an aerodynamic characteristics of the active surface. Contr. Geophys. Inst. SAS, Ser. Meteorol., Vol. 7, 38–46.
- Intribus, R., 1977: Význam klimateckej 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.
- Smolen, F., Matejka, F., 1982: Vertikálne zvrstvenie teploty vzduchu v produkčnom priestore dubovo-hrabového lesa. Ekológia, 1, 26–36.
- Šamaj, F., Prošek, P., Čabajová, Z., 1994: Agrometeorológia a bioklimatológia. Bratislava : Univerzita Komenského, 306 s.
- Tolasz, R. a kol. autorov, 2007: Klimatický atlas Česka. Praha : Český hydrometeorologický ústav, Univerzita Palackého v Olomouci. 255 s.