

VÝŠKOVÝ PROFIL RYCHLOSTI VĚTRU NA METEOROLOGICKÉ STANICI ŠZP ŽABČICE

Jana Dufková, František Toman

Souhrn: Na pozemcích ŠZP Žabčice MZLU v Brně byla v roce 2002 měřena rychlost větru ve výšce 0,2 a 12,0 m nad zemí. Od 283 juliánského dne byla navíc zapojena další tři čidla, která umožnila měřit rychlost větru ve výšce 0,2 m, 1,0 m a 2,0 m nad zemí. Ze získaných dat byla stanovena vzájemná korelace hodnot rychlostí větru a vypočteny přepočtové koeficienty pro rychlost větru z 12,0 na 0,2 m.

Klíčová slova: rychlost větru, korelace, přepočtový koeficient

Summary: The wind speed in 0,2 and 12,0 m above the ground was measured at the meteorological station Žabčice in 2002. Since 283 Julian day there were also the wind speed measurements at the heights of 0,2 m, 1,0 m, and 2,0 m above the ground. Reciprocal correlation of the values of the wind speed was determined and recount coefficients of the wind speed were calculated from the height 12,0 m to the height 0,2 m.

Key words: wind speed, correlation, recount coefficient

1. Úvod

Proudění v přízemní vrstvě atmosféry, označované jako vítr, patří k nejdůležitějším činitelům ovlivňujících dění na Zemi. Je to vektor popisující pohyb zvolené částice vzduchu v určitém místě atmosféry v daném časovém okamžiku. Horizontální složka větru vzniká především působením horizontální složky síly tlakového gradientu a Coriolisovy síly. Dále se uplatňuje i odstředivá síla a síla tření. Vertikální složka vektoru větru vzniká jako důsledek pohybu vzduchu v cirkulačních a frontálních systémech (konvekce), obtékání překážek apod. V běžné řeči se za vítr považuje jen horizontální složka vektoru větru. Vítr je prostředkem přenosu vody v atmosféře, přenosu energie, hybnosti a dalších fyzikálních vlastností ve vzduchových hmotách. Zvyšuje intenzitu výparu z vodní hladiny a z povrchu vlhkých předmětů, odnímá teplo tělesům, působí na překážky dynamickým tlakem, ovlivňuje ukládání sněhových závějí, vytváření námrazků atd. (Sobišek a kol., 1993).

Cílem této práce bylo stanovit vzájemnou korelaci hodnot rychlostí větru ve dvou rozdílných výškách, v přízemní vrstvě a ve 12 m nad zemí.

2. Materiál a metody

2.1. Charakteristika zájmového území

Polní experiment probíhal na pozemcích ŠZP Žabčice (49° 01' s.š., 16° 37' v. d., 179 m n. m.) MZLU v Brně. ŠZP Žabčice leží v Jihomoravském kraji a hospodaří ve dvou dnes již bývalých okresech Brno - venkov a Břeclav.

Klima v oblasti pracoviště Žabčice není pro zemědělskou výrobu zvláště příznivé. Statek leží v jihomoravské suché oblasti s typickým vnitrozemským klimatem s průměrnými ročními srážkami 450-550 mm a průměrnou roční teplotou 9,3 °C. Suchost klimatu zvyšují větry, které způsobují velký výpar půdní vláhy. Do oblasti pracoviště zasahuje též dešťový stín. Vodní srážky ve vegetačním období jsou rozloženy velmi nerovnoměrně. Podrobnější klimatickou a agroklimatickou charakteristiku oblasti

Žabčic zpracovali Rožnovský a Svoboda (1995).

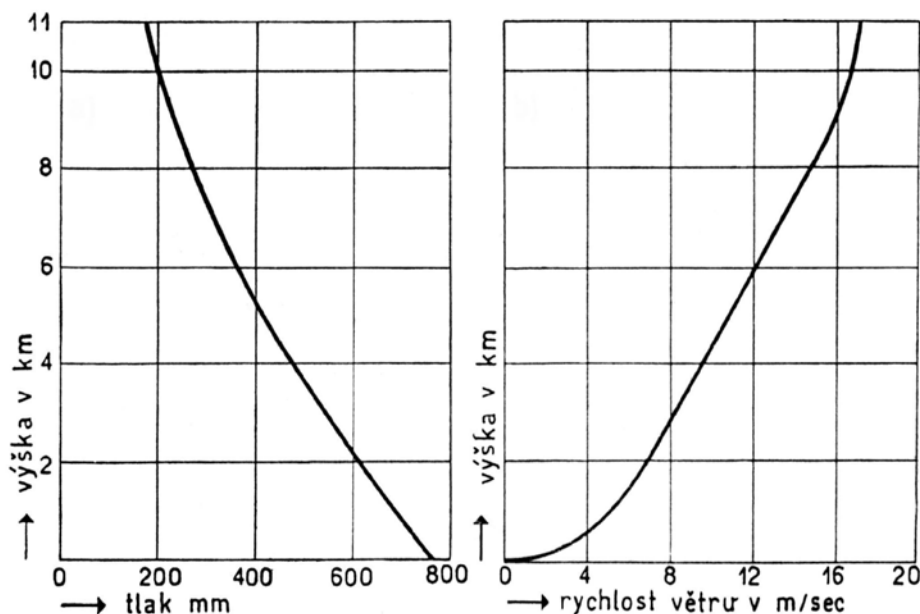
2.2. Rychlost větru

Směr a rychlost větru se mění působením různých vlivů, jež mají za následek

tlakové výkyvy. Barometrický tlak zmenšují zejména místa, jež jsou silněji oteplována slunečním zářením. Proto tlakové výkyvy a s tím související větry jsou větší za dne než v noci a rovněž jsou větší v suché a teplé roční době než v období chladnějším a kraji vlhkém.

Tab. 1 Průměrná rychlost větru v různých výškách (Jůva a Cablík, 1954).

Nadzemní výška (m)	Rychlost větru (m.s ⁻¹)
0,05	1,30
0,25	2,01
0,50	2,44
1,00	2,84
2,00	3,33
16,00	4,69
32,00	5,40
123,00	8,26
500,00	9,25



Obr. 1 Vliv nadzemní výšky na tlak vzduchu a rychlost větru (Jůva a Cablík, 1954).

S výškou nad zemí rychlost větru vzrůstá a naopak při zemi je vítr brzděn třením o povrch půdy. Toto zpomalení větru je zejména značné při výrazněji členěném reliéfu území. Souvislost průměrné

rychlosti větru s nadzemní výškou udává pro střední Evropu tab. 1.

Vliv tření o zemský povrch se uplatňuje zmírněním větru až do výše asi 300 m. Nad touto výškou není již rychlost větru

zemí ovlivňována a stále stoupá. Protože však s výškou ubývá vzduchu na hustotě, avšak větru přibývá na rychlosti, je přemisťováno větrem přibližně stejné množství vzduchu ve všech výškách troposféry. Tento závěr lze vyvodit z pozorování změn tlaku vzduchu a rychlosti větru s přibývajícím výškou, jak naznačuje grafický obrázek 1.

2.2.1. Měření rychlosti větru

Rychlost větru byla měřena v období březen až prosinec 2002 na meteorologické stanici ŠZP Žabčice, jež je v kompetenci Ústavu krajinné ekologie MZLU v Brně. Měření probíhala pomocí dvou anemometrů. Low Power Anemometer A100L2 britské firmy Campbell Scientific byl umístěn 20 cm nad vegetací nekrytý půdní povrch (obr. 2). Druhý anemometr ve výšce 12 m, YOUNG 05103, je součástí meteorologické věže (obr. 3).



Obr. 2 *Low Power Anemometer A100L2.*

Od 283 juliánského dne byla zapojena další tři čidla Low Power Anemometer A100L2, která byla umístěna do výšky 0,2 m, 1,0 m a 2,0 m nad vegetací nekrytý půdní povrch.

Naměřená data byla porovnána a stanovila se vzájemná korelace hodnot rychlostí větru ve dvou rozdílných výškách, v přízemní vrstvě a ve 12 m nad zemí.

2.2.2. Vertikální profil rychlosti větru

Vertikální profil rychlosti větru je matematické vyjádření změny rychlosti větru jako funkce výšky (Sobíšek a kol., 1993). Jinými slovy, je to rozdělení rychlosti větru v atmosféře s výškou. Je velmi složité a závisí na řadě faktorů, z nichž nejdůležitější je všeobecná cirkulace atmosféry, podmíněná rozdělením teploty a tlaku vzduchu na zemském povrchu i v atmosféře, a její časové změny, dále vliv otáčení Země a členitost zemského



Obr. 3 Kombinované čidlo YOUNG 05103.

povrchu. Rychlost větru v troposféře obvykle roste s výškou. V mezní vrstvě atmosféry je vertikální profil větru významně ovlivňován třením a jeho základní rys zhruba vyjadřuje Taylorova (Ekmanova) spirála, v přízemní vrstvě atmosféry pak např.:

- *Deaconův vertikální profil větru* - závislost rychlosti větru v na výšce z nad zemským povrchem, empiricky odvozená pro přízemní vrstvu atmosféry E. L. Deaconem koncem 40. let minulého století. Uvádí se ve tvaru

$$v(z) = \frac{v_*}{\chi(1-\beta)} \left[\left(\frac{z}{z_0} \right)^{1-\beta} - 1 \right],$$

kde v_* značí dynamickou rychlost, χ von Kármánovu konstantu, z_0 parametr drsnosti; bezrozměrnou veličinu β charakterizující vliv teplotního zvrstvení ovzduší lze vyjádřit jako funkci Richardsonova čísla (Sobíšek a kol., 1993).

- *Logaritmicko - lineární vertikální profil větru* - zobecnění logaritmického vertikálního profilu větru pro

libovolné teplotní zvrstvení v přízemní vrstvě atmosféry. Uvádí se ve tvaru

$$v(z) = \frac{v_*}{\chi} \left[\ln \frac{z}{z_0} + \gamma \frac{z-z_0}{L} \right],$$

kde $v(z)$ je rychlost větru ve výšce z nad zemským povrchem, v_* značí dynamickou rychlost, χ von Kármánovu konstantu, z_0 parametr drsnosti, γ bezrozměrnou empirickou konstantu a L Moninovu a Obuchovu délku. V případě indiferentního teplotního zvrstvení nabývá L nekonečné hodnoty a tento profil se redukuje na logaritmický profil (Sobíšek a kol., 1993).

- *Logaritmický vertikální profil větru* - teoretický model změny rychlosti větru v s výškou z v přízemní vrstvě atmosféry, založený na zjednodušujících předpokladech a popsáný logaritmickou funkcí výšky. Je vyjádřen např. vztahem

$$v(z) = \frac{v_*}{\chi} \ln \frac{z+z_0}{z_0},$$

kde v_* je dynamická rychlost, z_0 parametr drsnosti povrchu, z výška a χ von Kármánova konstanta ($\chi \nabla 0,4$). Skutečné rozdělení rychlosti větru v přízemní vrstvě atmosféry je při indiferentním teplotním zvrstvení velmi blízké logaritmickému profilu větru (Sobíšek a kol., 1993).

- *Mocninový vertikální profil větru* - empiricky odvozený vztah pro vyjádření závislosti rychlosti větru v na výšce z nad zemským povrchem v přízemní vrstvě atmosféry. Obvykle se uvádí ve tvaru

$$v(z) = v_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^a,$$

kde v_1 značí změřenou rychlost ve zvolené hladině z_1 a exponent a vyjadřuje vliv teplotního zvrstvení ovzduší (Sobíšek a kol., 1993). Z uvedeného profilu vyplývá tzv. mocninový zákon, podle něhož koeficient turbulentní difúze K závisí na vertikální souřadnici podle vztahu

$$K = konst. \cdot z^{1-a}.$$

- Pro naše potřeby nejvíce vyhovuje *exponenciální rovnice vertikálního profilu rychlosti větru* (Pasák, 1970):

$$v_z = v_1 \times z^\alpha,$$

kde v_z = rychlost větru ve výšce z ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$),
 v_1 = naměřená rychlost při zemi ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$),
 α = koeficient.

Koeficient α se mění zejména podle drsnosti povrchu, teplotního gradientu apod. Při jeho výpočtu se vycházelo z naměřených čtvrt hodinových průměrů rychlosti větru ve 12 m a 20 cm nad zemí.

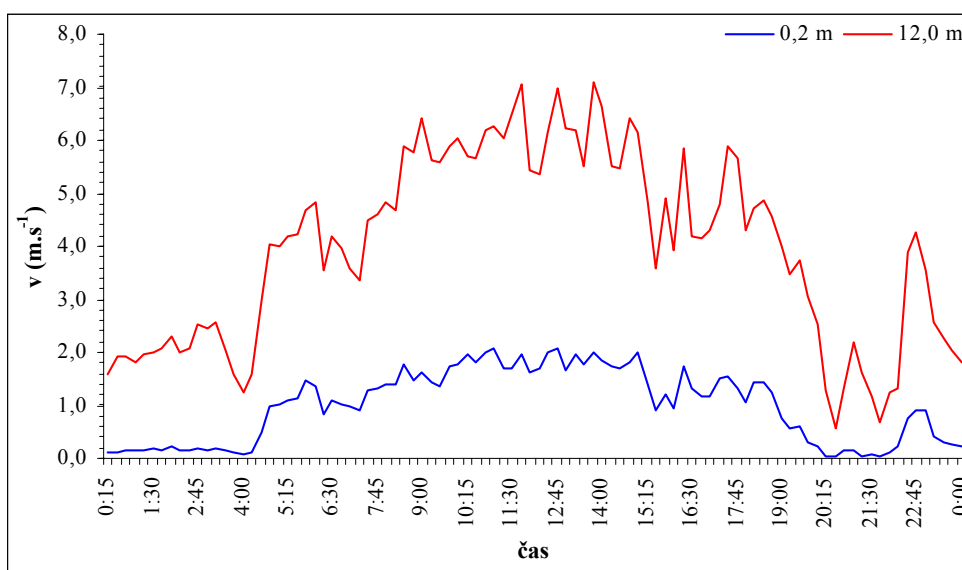
3. Výsledky a diskuse

Rychlost větru ve studovaném území byla měřena nepřetržitě od března (4) do prosince 2002. Anemometry, které byly zapojeny analogově, zaznamenávaly vždy čtvrt hodinové průměry rychlosti větru v určité výšce.

Korelační koeficient, vypočtený pro čtvrt hodinové průměry rychlostí větru ve výškách 0,2 m a 12,0 m nad zemí, se pohyboval v rozmezí 0,596 až 0,988, což značí význačnou až velmi vysokou závislost zpracovávaných údajů. Tabulka 2 uvádí jako příklad 96 juliánský den (6.4.) roku 2002. Z obrázku 4 je patrné kolísání rychlosti větru v průběhu dne. Její zvýšení v poledních hodinách a snížení navečer a v noci souvisí s tlakovými výkyvy. Kolísání rychlosti větru je zřetelnější ve výšce 12 m, než-li při zemi.

Tab. 2 Statistické údaje o rychlosti větru 96 JD.

96 JD	Rychlost větru v m.s ⁻¹ ve výšce	
	0,2 m	12,0 m
Průměr	0,990	3,986
Maximum	2,090	7,100
Minimum	0,023	0,576
Amplituda	2,067	6,524
Medián	1,070	4,186
Směrodatná odchylka	0,680	1,762
Koeficient asymetrie	-0,054	-0,130
Koeficient špičatosti	-1,463	-1,182
Korelační koeficient	0,973	

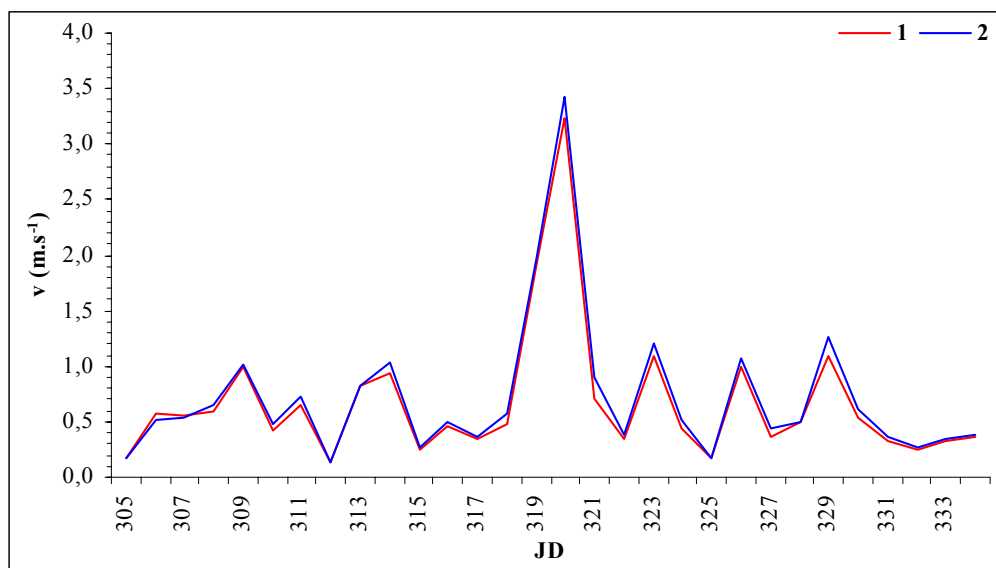


Obr. 4 Čtvrt hodinové průměry rychlosti větru ve dvou výškách - 0,2 m a 12,0 m (96 JD).

Díky zapojení dalších tří anemometrů bylo možno provést srovnávací měření v přízemní vrstvě atmosféry, ve 20 cm, a profilové měření rychlosti větru v dalších dvou výškách, v jednom a dvou metrech. Anemometry stejného typu, pro snadnější orientaci označené jako 1 a 2, byly instalovány vedle sebe 20 cm nad vegetací nekrytý urovnaný půdní povrch, aby se tak zabránilo zbrzdění rychlosti větru třením o nerovný terén. Průměrné denní rychlosti větru naměřené těmito čidly znázorňuje

obrázek 5. Rychlosti větru jsou téměř shodné, koeficient korelace je 0,997, což znamená velmi vysokou až úplnou závislost.

Tabulka 3 statisticky hodnotí průměrnou rychlost větru v období listopad 2002. Z uvedeného, a dále pak z obrázku 6, je vidět, že vzájemná korelace rychlostí větru v různých výškách je velmi vysoká až úplná.

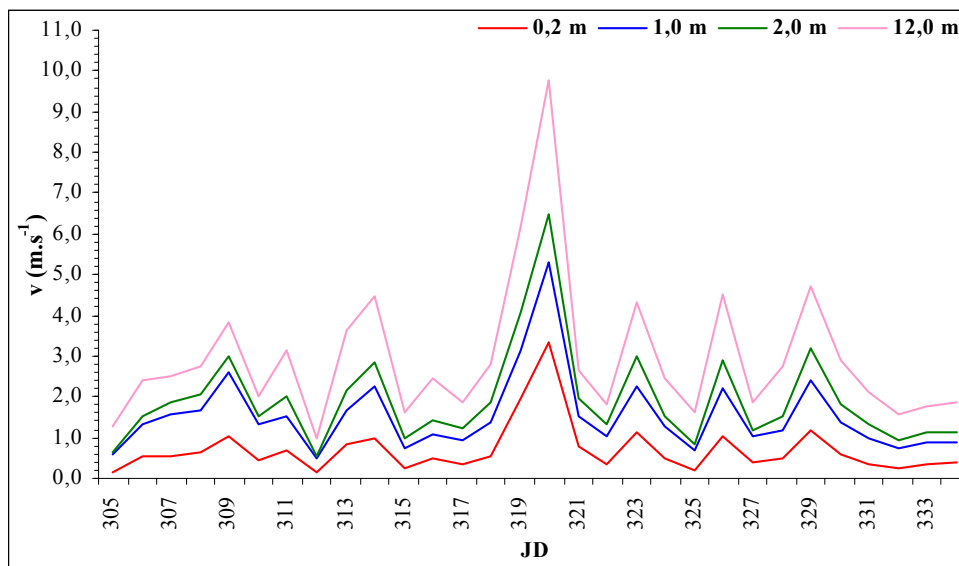


Obr. 5 Porovnání měření dvou anemometrů (1 a 2) na průměrných denních rychlostech větru ve 20 cm v období listopad 2002.

Tab. 3 Statistické zhodnocení průměrné rychlosti větru v různých výškách (listopad 2002).

Listopad 2002	Rychlost větru ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) ve výšce						
	20 cm (1)	20 cm (2)	průměr 20 cm	1 m	2 m	12 m	
Průměr	0,670	0,722	0,696	1,538	1,937	2,962	
Minimum	0,137	0,134	0,135	0,470	0,564	1,000	
Maximum	3,242	3,434	3,338	5,317	6,475	9,785	
Amplituda	3,105	3,300	3,202	4,847	5,911	8,784	
Medián	0,491	0,521	0,512	1,329	1,539	2,481	
Směrodatná odchylka	0,602	0,639	0,621	0,947	1,177	1,724	
Koeficient asymetrie	2,961	2,869	2,918	2,317	2,130	2,319	
Koeficient špičatosti	10,707	10,274	10,514	7,375	6,244	7,168	
Koeficient korelace*	0,997 (1)		0,982 (2)		0,991 (3)		
				0,996 (4)			
					0,983 (5)		
						0,984 (6)	
							0,983 (7)

*pozn.: (1) korelační koeficient pro srovnání měření rychlosti větru ve 20 cm anemometrem 1 a 2,
 (2) korelační koeficient pro srovnání měření rychlosti větru ve 20 cm a 1m,
 (3) korelační koeficient pro srovnání měření rychlosti větru ve 2 m a 12 m,
 (4) korelační koeficient pro srovnání měření rychlosti větru v 1 m a 2 m,
 (5) korelační koeficient pro srovnání měření rychlosti větru ve 20 cm a 2 m,
 (6) korelační koeficient pro srovnání měření rychlosti větru ve 20 cm a 12 m,
 (7) korelační koeficient pro srovnání měření rychlosti větru v 1 m a 12 m.



Obr. 6 Průměrné denní rychlosti větru ve čtyřech výškách (0,2 m, 1,0 m, 2,0 m a 12,0 m).

Při přepočítání rychlosti větru z 12 m do 20 cm pomocí rovnice (6) byly zjištěny následující koeficienty α (tab. 4):

Tab. 4 Přepočtový koeficient α pro jednotlivé intervaly rychlosti větru ve 12,0 m nad zemí.

Rychlost větru (m.s ⁻¹)	Koeficient α
<0,1)	0,15572
<1,2)	0,65641
<2,3)	0,95100
<3,4)	1,14366
<4,5)	1,20944
<5,6)	1,26168
<6,7)	1,22050
<7,8)	1,22247
<8,9)	1,22092
<9,10)	1,20930
<10,11)	1,20050
<11,12)	1,09456
<12,13)	1,01149
<13,14)	0,98586
<14,15)	0,92663

Rychlosti větru ve 12 m nad zemí byly rozděleny do intervalů po 1 m.s⁻¹ a pro každý interval byl vypočten jiný koeficient α . Naměřené hodnoty rychlosti větru ve 20 cm nad zemí nedosahují totiž tak velkých výkyvů jako je tomu ve 12 m. Při kolísání

nižších rychlostí větru ve 12 m se toto ve 20 cm téměř neprojeví. Z tohoto důvodu bylo nutné rychlosti větru ve 12 m rozdělit do již zmíněných intervalů, aby nedocházelo ke zkreslení výsledků.

4. Závěr

Rychlost větru byla měřena v období březen až prosinec 2002 na meteorologické stanici ŠZP Žabčice ve výškách 0,2 m (2 měření), 1,0 m, 2,0 m a 12,0 m nad zemí.

Bylo provedeno srovnávací měření dvěma anemometry ve výšce 0,2 m nad zemí. Téměř shodné rychlosti větru a jejich koeficient korelace 0,997 značí velmi vysokou až úplnou závislost těchto dat.

Vzájemná korelace rychlostí větru v 20 cm, 1 m, 2 m a 12 m je velmi vysoká až

úplná. Hodnoty korelačního koeficientu se pohybují mezi 0,982 až 0,996.

Korelační koeficient, vypočtený pro čtvrt hodinové průměry rychlostí větru ve výškách 0,2 m a 12,0 m nad zemí, se pohyboval v rozmezí 0,596 až 0,988, což značí význačnou až velmi vysokou závislost zpracovávaných údajů. Pro přepočtení rychlosti větru z výšky 12 m na 20 cm nad zemí byly stanoveny přepočtové koeficienty tak, že rychlosti větru ve 12 m nad zemí byly rozděleny do intervalů po $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a pro každý interval byl vypočten samostatný koeficient. Jeho hodnota se pohybuje od 0,15572 pro interval $<0,1) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ až po hodnotu 1,22247 v intervalu $<7,8) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

5. Literatura

- JŮVA, K., CABLÍK, J. *Protierosní ochrana půdy*. 1. vyd. Praha : Státní zemědělské nakladatelství, 1954. 262 s.
- PASÁK, V. *Wind Erosion on Soils (Větrná eroze půdy)*. Scientific Monographs, 1970, č. 3., 187 s. Výzkumný ústav meliorací, Zbraslav nad Vltavou.
- ROŽNOVSKÝ, J., SVOBODA, J. *Agroklimatologická charakteristika oblasti Žabčic*. Folia Universitatis Agriculturae et Silviculturae, řada A. MZLU v Brně, 1995. 49 s.
- SOBÍŠEK, B. a kol. *Meteorologický slovník, výkladový a terminologický*. 1. vyd. Praha : vyd. Academia, 1993. 594 s. ISBN 80-85368-45-5.

6. Kontakt na autory

Ing. Jana Dufková

Ústav krajinné ekologie
Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně
Zemědělská 1
613 00 Brno
janadufkova@email.cz

Doc. Ing. František Toman, CSc.

Ústav krajinné ekologie
Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně
Zemědělská 1
613 00 Brno
tomanf@mendelu.cz