

# CALCULATION OF THE WIND SPEED IN DIFFERENT HEIGHTS

## PŘEPOČET RYCHLOSTI VĚTRU V RŮZNÝCH VÝŠKÁCH

### Dufková J.

Ústav krajinné ekologie, Agronomická fakulta, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika.

E-mail: janadufkova@email.cz

### ABSTRACT

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 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

### ABSTRAKT

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 dvě čidla, která umožnila měřit rychlost větru ve výšce 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

### ÚVOD

Cílem této práce bylo stanovit vzájemnou korelaci hodnot rychlostí větru ve dvou rozdílných výškách, v přízemní vrstvě a ve 12 m nad zemí. Veškerá měření probíhala na meteorologické stanici ležící na pozemcích Školního zemědělského podniku (ŠZP) Žabčice, jež je součástí Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity (MZLU) v Brně.

### MATERIÁL A METODY

S výškou nad zemí rychlost větru vzrůstá a naopak při zemi je vítr bržděn 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 Jůva a Cablík (1954): „Vezmeme-li za základ rychlost větru ve výši 1 m nad zemí, pak ve výši asi 6 m je jeho rychlost větší o polovinu a ve výši 30 m dvojnásobná“. U nás je průměrná rychlost přízemních větrů 2-4 m.s<sup>-1</sup>, maximálně však 20 m.s<sup>-1</sup>.

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. Anemometr Low Power Anemometer A100L2 britské firmy Campbell Scientific byl umístěn 20 cm nad vegetací nekrytý půdní povrch. Druhý anemometr ve výšce 12 m, YOUNG 05103, je součástí meteorologické věže.

Od 283 juliánského dne byla zapojena další dvě čidla Low Power Anemometer A100L2, která byla umístěna do výšky 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.

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 povrchu. Rychlost větru v troposféře obvykle roste s výškou. V mezní vrstvě atmosféry je vertikální profil větru významně ovlivňován třením a jeho základní rysy 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

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

kde  $v_*$  značí dynamickou rychlost,  $\chi$  von Kármánovu konstantu,  $z_0$  parametr drsnosti; bezrozměrnou veličinu  $\beta$  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

$$v(z) = \frac{v_*}{\chi} \left[ \ln \frac{z}{z_0} + \gamma \frac{z-z_0}{L} \right], \quad (2)$$

kde  $v(z)$  je rychlost větru ve výšce  $z$  nad zemským povrchem,  $v_*$  značí dynamickou rychlost,  $\chi$  von Kármánovu konstantu,  $z_0$  parametr drsnosti,  $\gamma$  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

$$v(z) = \frac{v_*}{\chi} \ln \frac{z + z_0}{z_0}, \quad (3)$$

kde  $v_*$  je dynamická rychlost,  $z_0$  parametr drsnosti povrchu,  $z$  výška a  $\chi$  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

$$v(z) = v_1 \left( \frac{z}{z_1} \right)^a, \quad (4)$$

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

$$K = konst. z^{1-a}. \quad (5)$$

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

$$v_z = v_1 \times z^\alpha, \quad (6)$$

kde  $v_z$  = rychlost větru ve výšce  $z$  ( $\text{m.s}^{-1}$ ),

$v_1$  = naměřená rychlost při zemi ( $\text{m.s}^{-1}$ ),

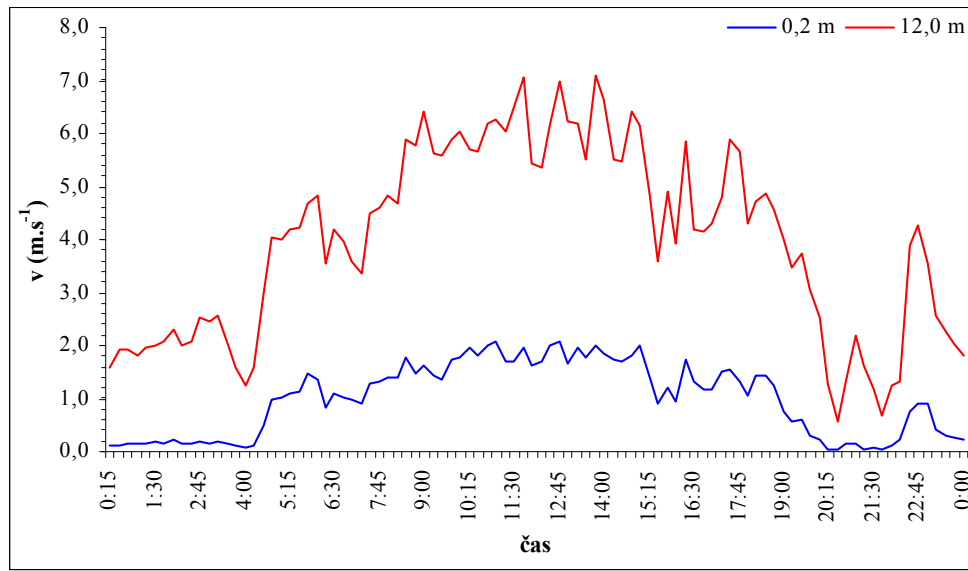
$\alpha$  = koeficient.

Koeficient  $\alpha$  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.

## VÝSLEDKY A DISKUSE

Rychlost větru ve studovaném území byla měřena nepřetržitě od března 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. Obrázek 1 uvádí jako příklad 96 juliánský den (6.4.) roku 2002.



Obr. 1: Čtvrt hodinové průměry rychlosti větru ve dvou výškách - 0,2 m a 12,0 m (96 JD)

Díky zapojení dalších dvou anemometrů bylo možno provést profilové měření rychlosti větru v dalších dvou výškách, v jednom a dvou metrech. Tabulka 1 statisticky hodnotí průměrnou rychlost větru v období listopad 2002. Z uvedeného, a dále pak z obrázku 2, je vidět, že vzájemná korelace rychlostí větru v různých výškách je velmi vysoká až úplná.

Tab. 1: Statistické zhodnocení průměrné rychlosti větru v různých výškách (listopad 2002)

Listopad 2002	Výška anemometru			
	20 cm	1 m	2 m	12 m
Průměr	0,696	1,538	1,937	2,962
Minimum	0,135	0,470	0,564	1,000
Maximum	3,338	5,317	6,475	9,785
Amplituda	3,202	4,847	5,911	8,784
Medián	0,512	1,329	1,539	2,481
Směrodatná odchylka	0,621	0,947	1,177	1,724
Koeficient asymetrie	2,918	2,317	2,130	2,319
Koeficient špičatosti	10,514	7,375	6,244	7,168
Koeficient korelace*	0,982 (1)		0,991 (2)	
	0,996 (3)			
	0,983 (4)			
	0,984 (5)			
	0,983 (6)			

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

Při přepočítání rychlosti větru z 12 m do 20 cm pomocí rovnice (6) byly zjištěny následující koeficienty  $\alpha$  (tab. 2):

Tab. 2: Přepočtový koeficient  $\alpha$  pro jednotlivé intervaly rychlosti větru ve 12,0 m nad zemí

Rychlost větru (m.s <sup>-1</sup> )	Koeficient $\alpha$
<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<sup>-1</sup> a pro každý interval byl vypočten jiný koeficient  $\alpha$ . 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.

## **ZÁVĚR**

Rychlost větru byla měřena v období března až prosince 2002 na meteorologické stanici ŠZP Žabčice ve výškách 0,2 m, 1,0 m, 2,0 m a 12,0 m nad zemí.

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 čtvrthodinové 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  $<7,8) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

## **POUŽITÁ 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.

SOBÍŠEK, B. a kol. *Meteorologický slovník, výkladový a terminologický*. 1. vyd. Praha: vyd. Academia, 1993. 594 s. ISBN 80-85368-45-5.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Výsledky této studie jsou součástí výzkumného záměru MSM 432100001, který řeší AF MZLU v Brně.