HYDRO AND EOLIC PLANTS

ESF II project of the University of West Bohemia in Pilsen, reg. number: CZ.02.2.69/0.0/0.0/18_056/0013239



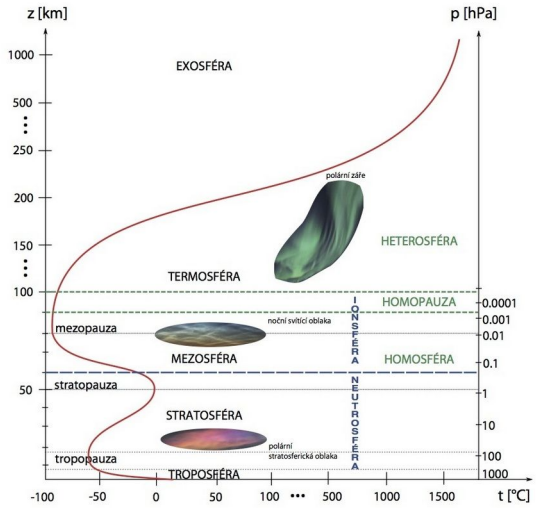
EUROPEAN UNION
European Structural and Investment Funds
Operational Programme Research,
Development and Education



Wind energy

Milan Bělík

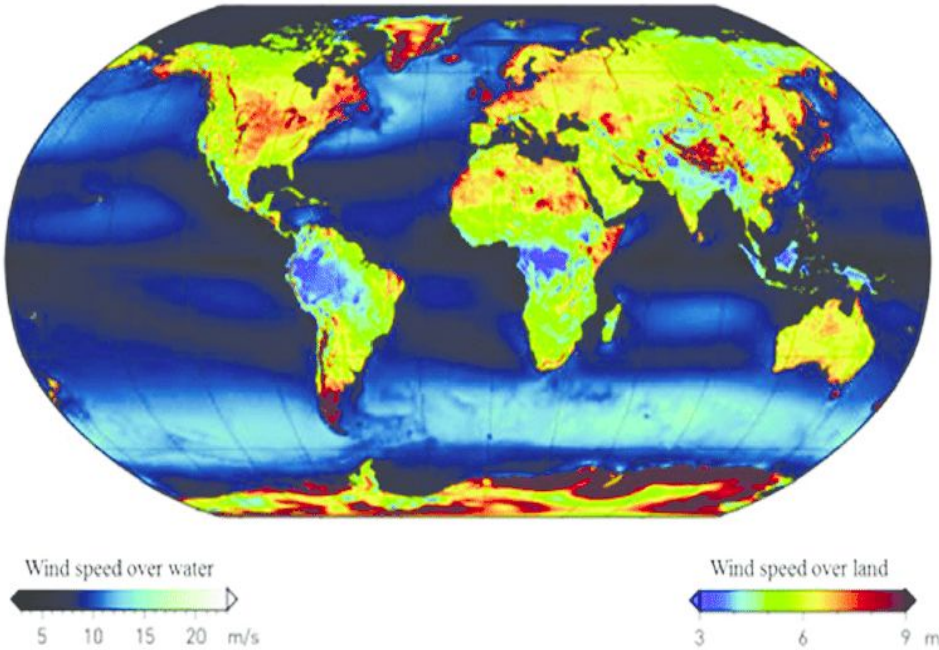
Energy of atmosphere

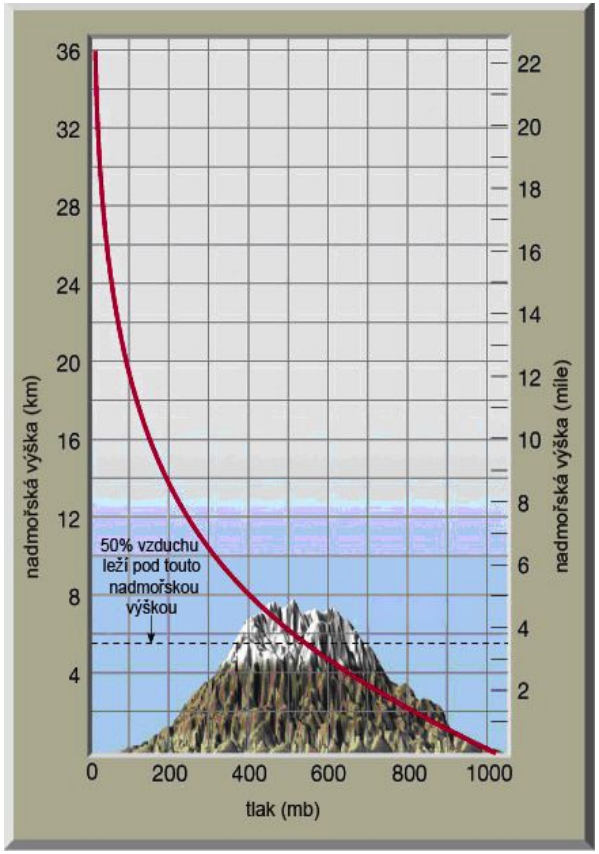


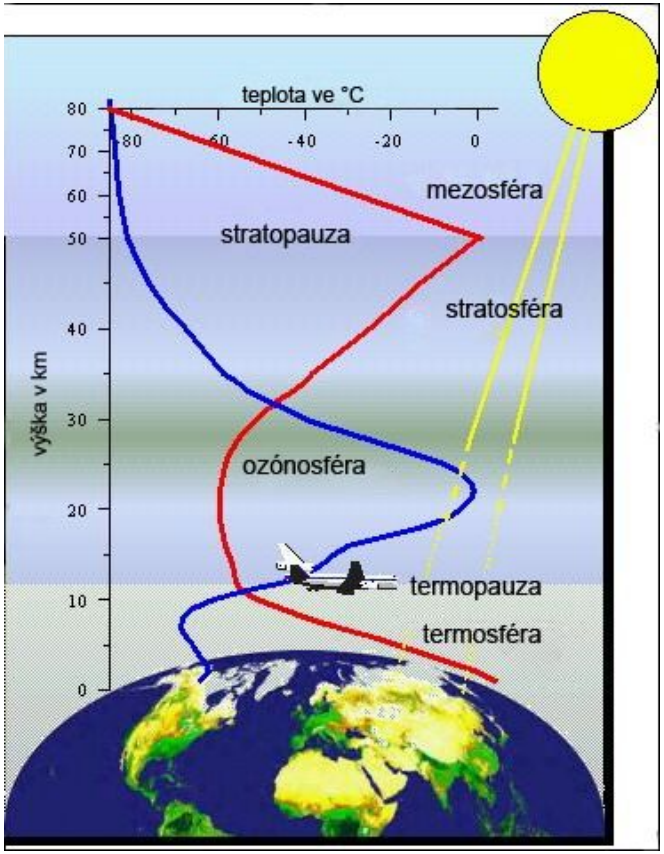
- chemical
  - exotermic reaction
  - concentration drift
- thermal
  - thermal drift
    - surface 25°C – stratosphere -50°C – exosphere 1000°C)
- mechanical
  - pressure
    - static pressure
    - pressure gradient
  - kinetic
    - wind

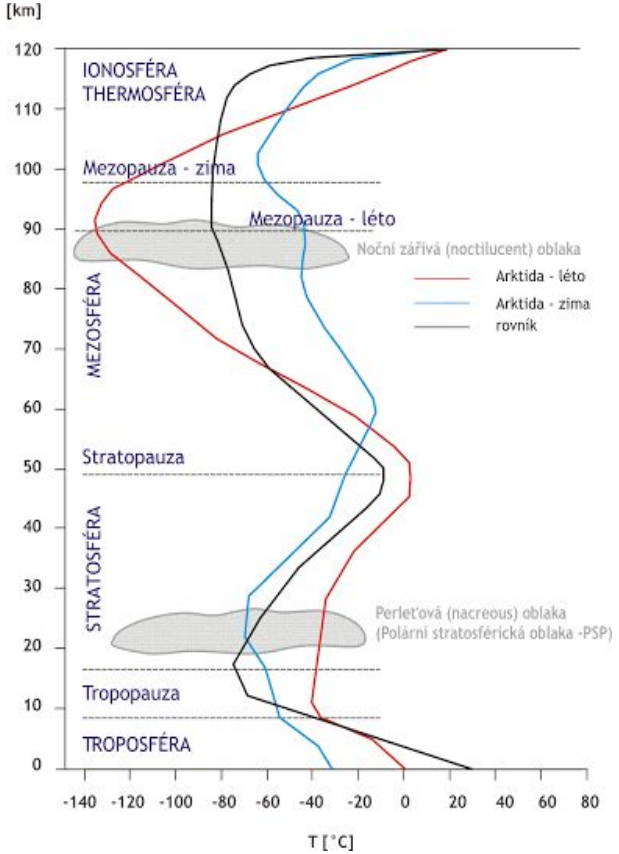
      geostrophical

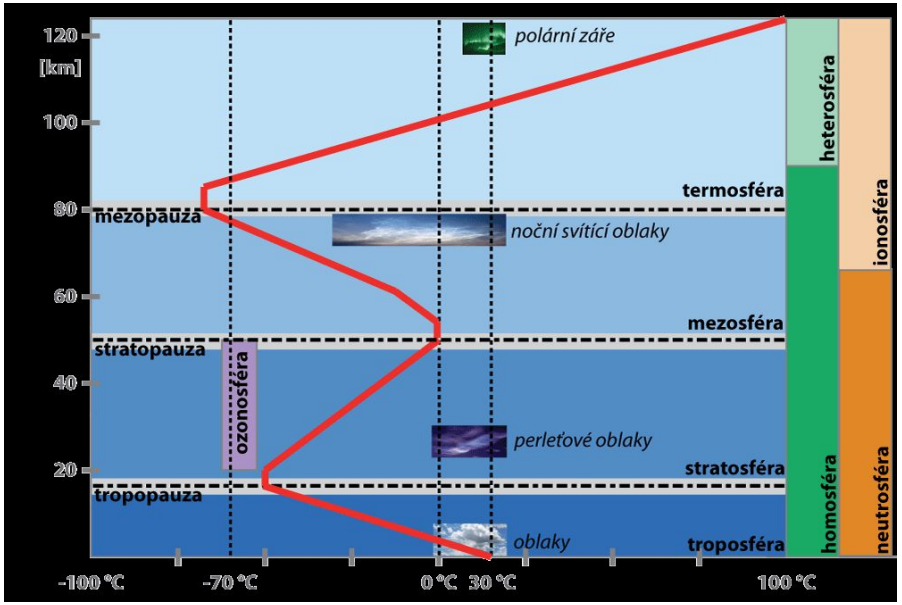
      ground

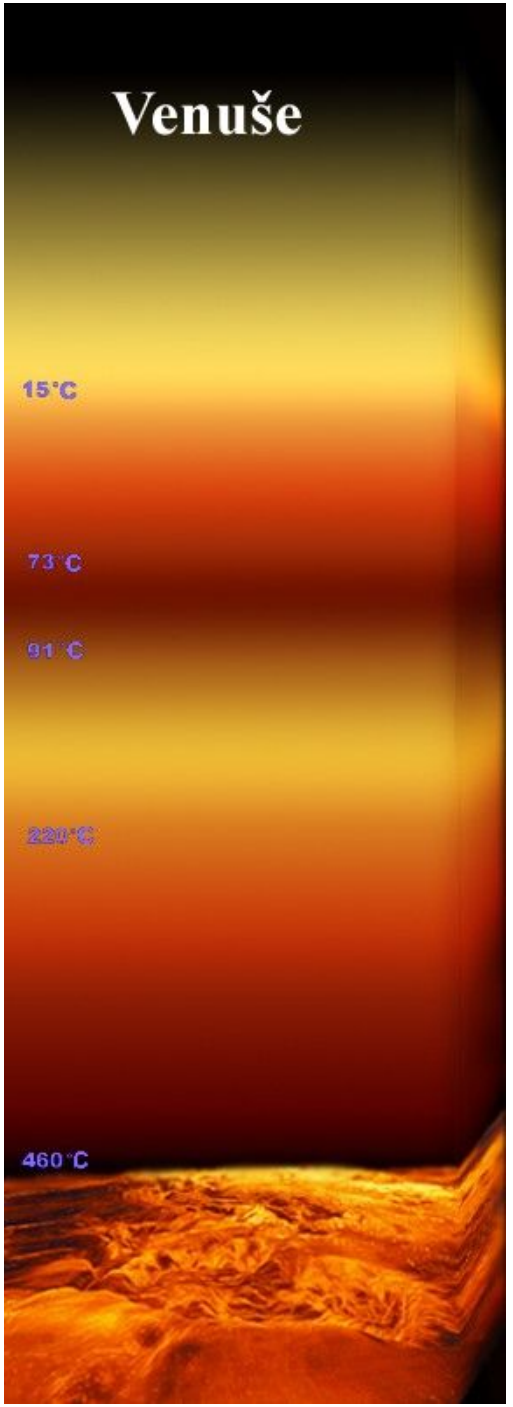



nadmořská výška (km)
nadmořská výška (mile)
tlak (mb)
50% vzduchu leží pod touto nadmořskou výškou

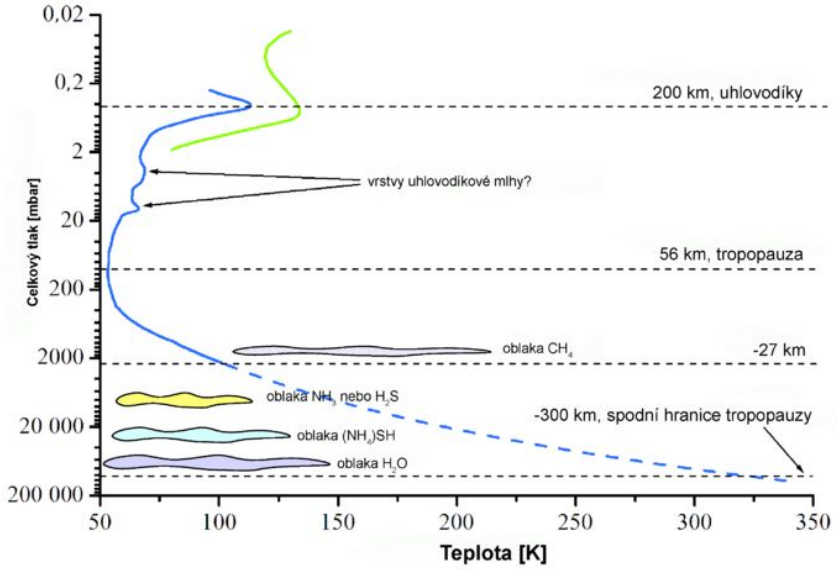

teplota ve °C
výška v km
mezosféra
stratopauza
stratosféra
ozónosféra
termopauza
termosféra

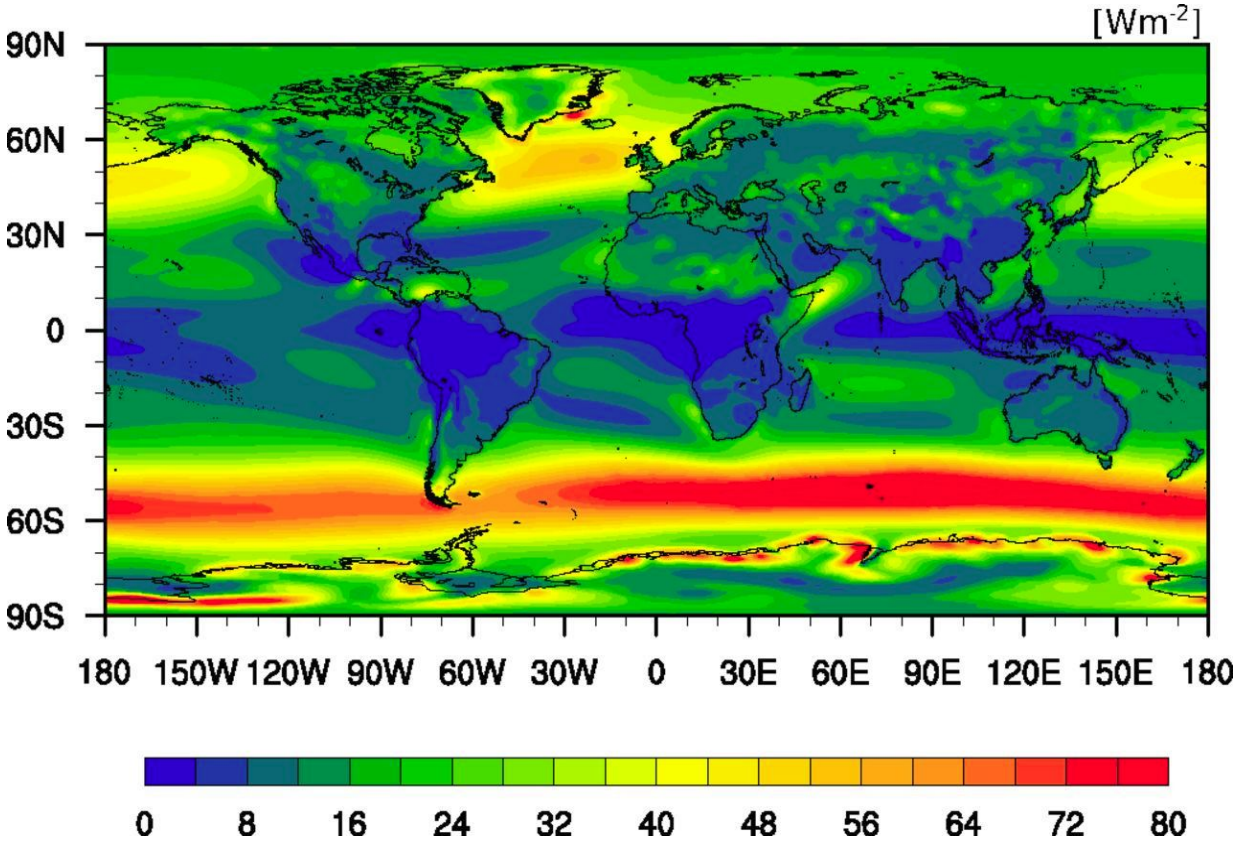

[km]
IONOSFÉRA
THERMOSFÉRA
Mezopauza - zima
Mezopauza - léto
Noční zářivá (noctilucent) oblaka
Arktida - léto
Arktida - zima
rovník
MEZOSFÉRA
Stratopauza
STRATOSFÉRA
Perleťová (nacreous) oblaka
(Polární stratosférická oblaka -PSP)
Tropopauza
TROPOSFÉRA
T [°C]

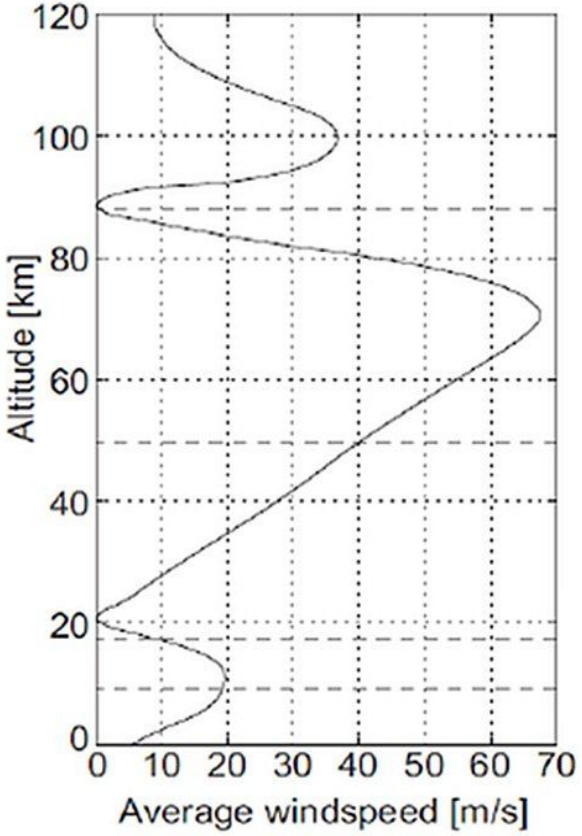

120
[km]
100
80
60
40
20
polární záře
termosféra
mezopauza
noční svítící oblaky
mezosféra
stratopauza
ozonosféra
perleťové oblaky
stratosféra
tropopauza
oblaky
troposféra
heterosféra
homosféra
ionosféra
neutrosféra
-100 °C
-70 °C
0 °C
30 °C
100 °C


Venuše
15°C
73°C
91°C
220°C
460°C

Uran


0,02
0,2
2
20
200
2000
20 000
200 000
Celkový tlak [mbar]
200 km, uhlovodíky
vrstvy uhlovodíkové mlhy?
56 km, tropopauza
oblaka CH4
-27 km
oblaka NH3 nebo H2S
oblaka (NH4)SH
oblaka H2O
-300 km, spodní hranice tropopauzy
50
100
150
200
250
300
350
Teplota [K]


[Wm-2]
90N
60N
30N
0
30S
60S
90S
180 150W 120W 90W 60W 30W 0 30E 60E 90E 120E 150E 180
0 8 16 24 32 40 48 56 64 72 80

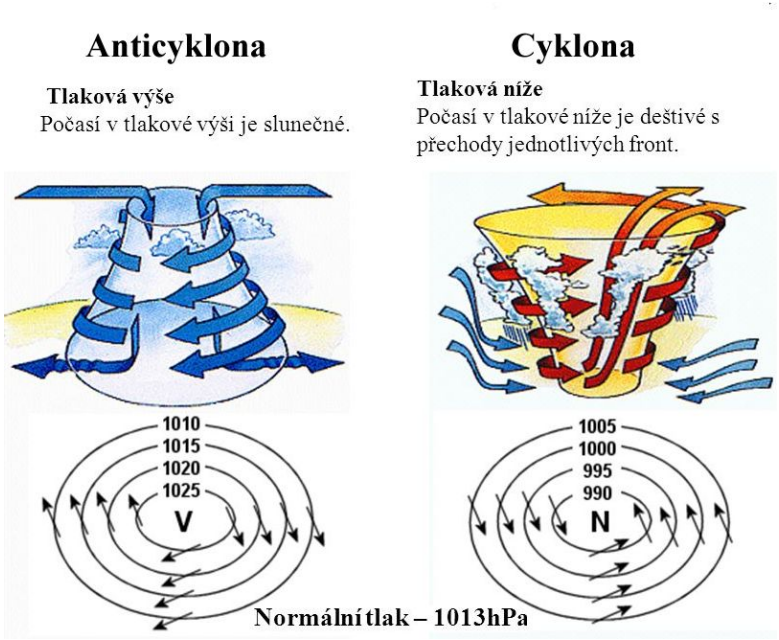

120
100
80
60
40
20
0
Altitude [km]
0 10 20 30 40 50 60 70
Average windspeed [m/s]

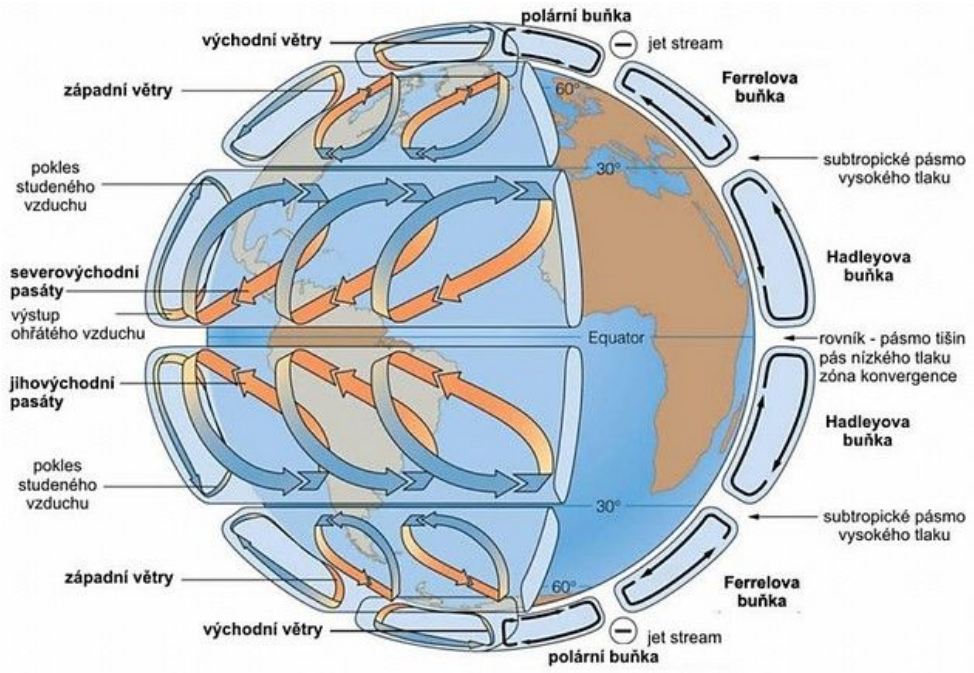
Wind types

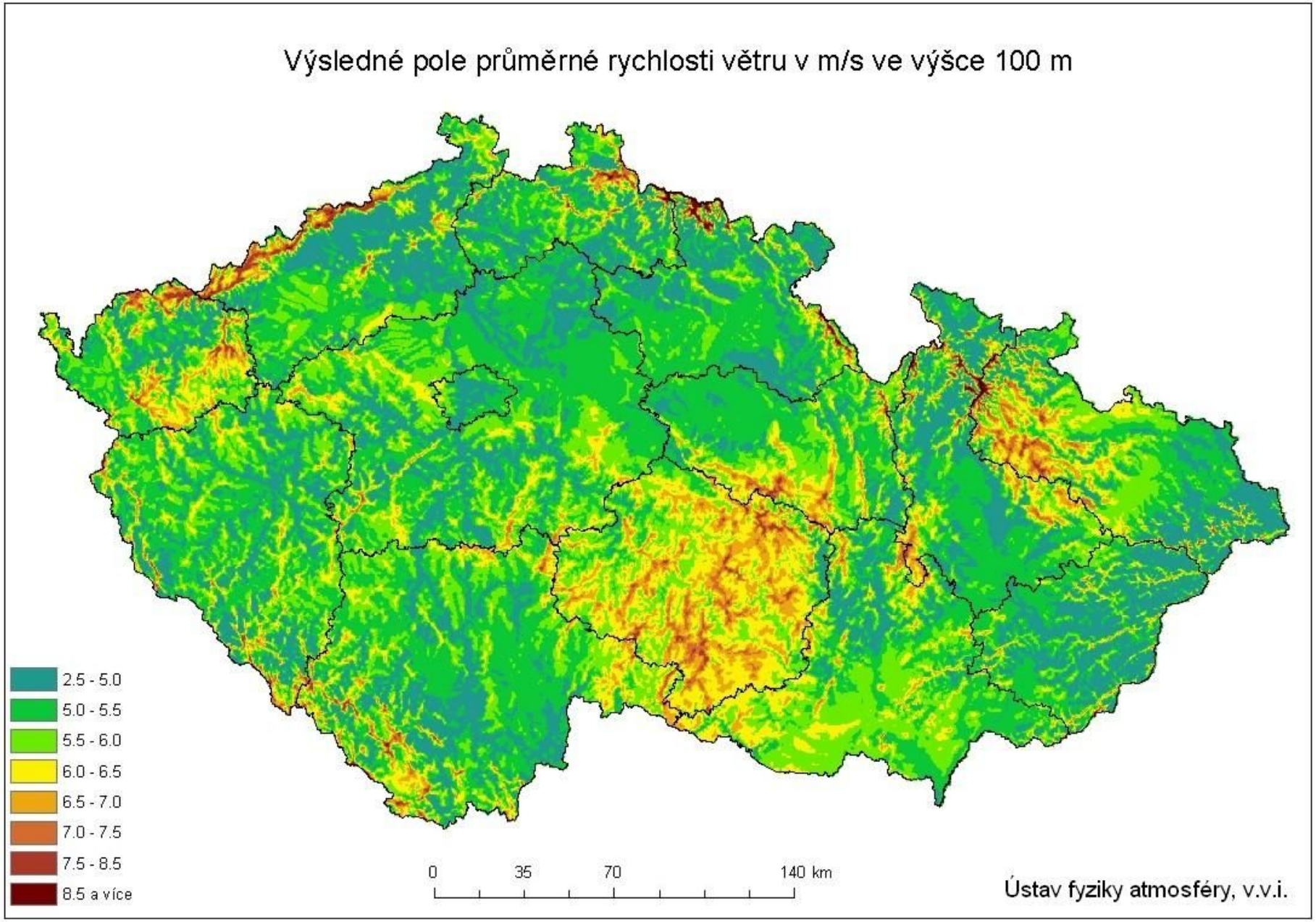
- geostrophic (cyklostrophic)
  - over 1000 m
  - horizontal gradient
  - Coriolis force
  - cyklona
  - anticyklona
- surface wind
  - friction
  - atmosphere MVA
  - pressure
  - thermal
  - friction

1360 W/m^2

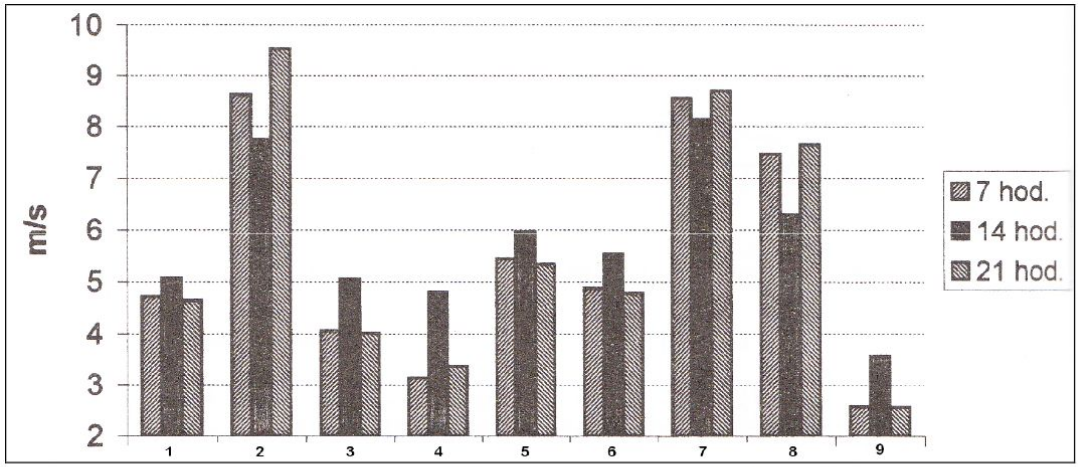
2 % na vítr (168 mit t uhlí)



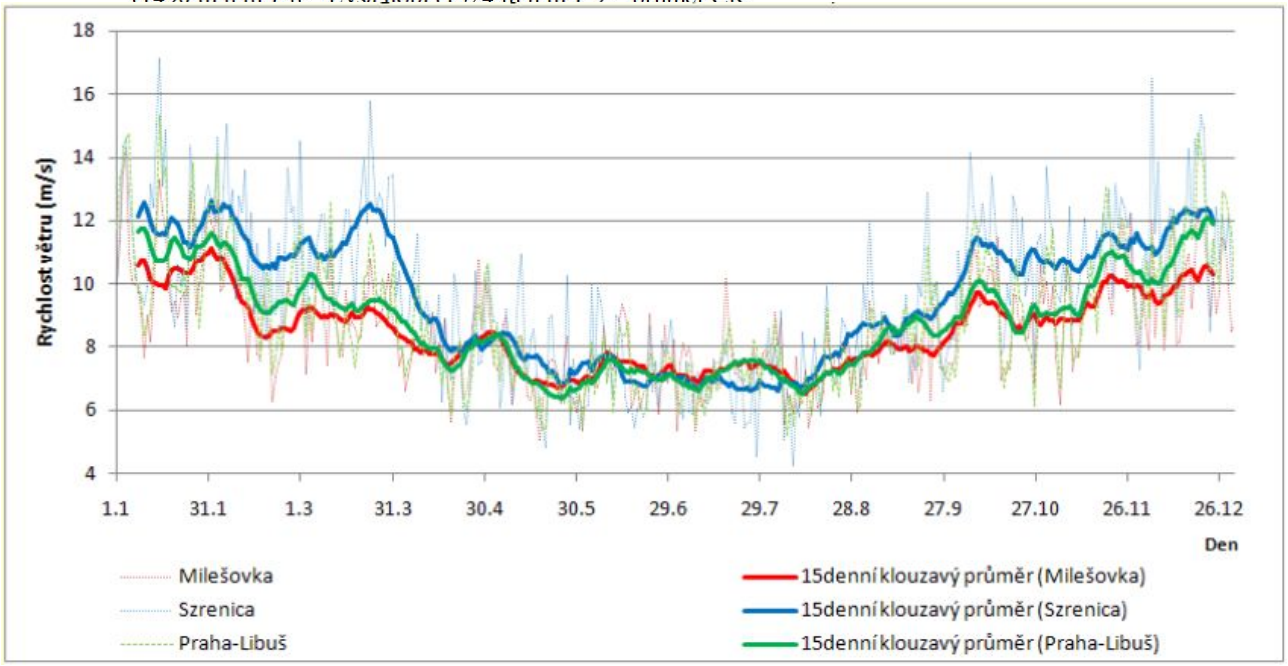


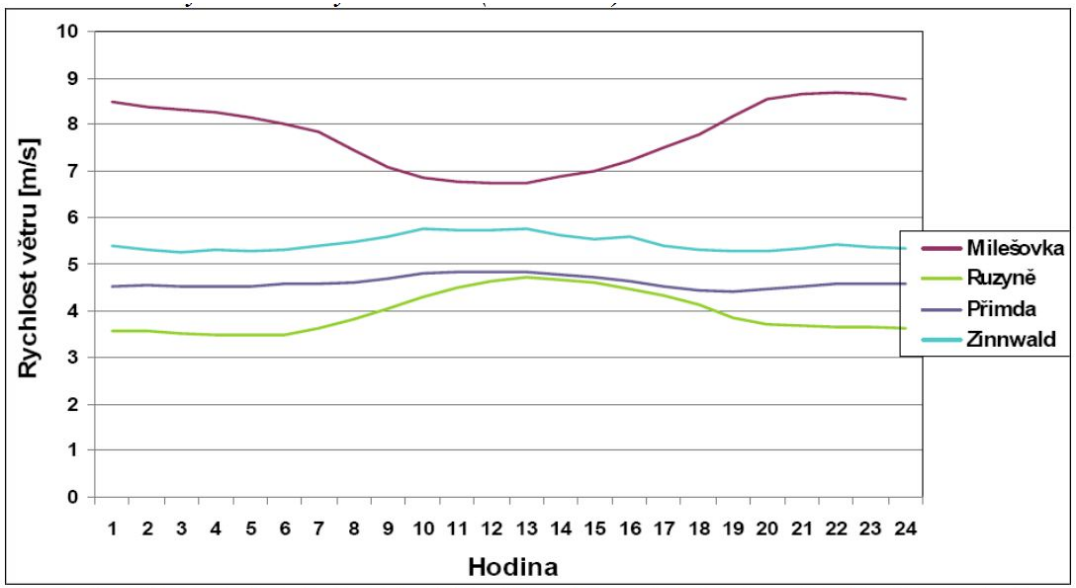

Výsledné pole průměrné rychlosti větru v m/s ve výšce 100 m
2.5 - 5.0
5.0 - 5.5
5.5 - 6.0
6.0 - 6.5
6.5 - 7.0
7.0 - 7.5
7.5 - 8.5
8.5 a více
0
35
70
140 km
Ústav fyziky atmosféry, v.v.i.

Wind speed distribution

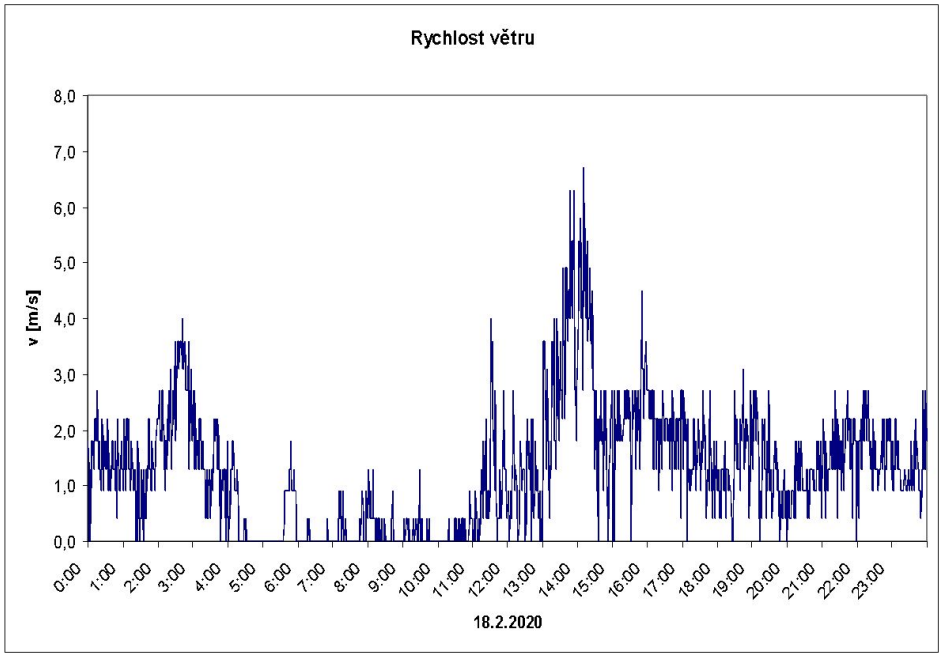


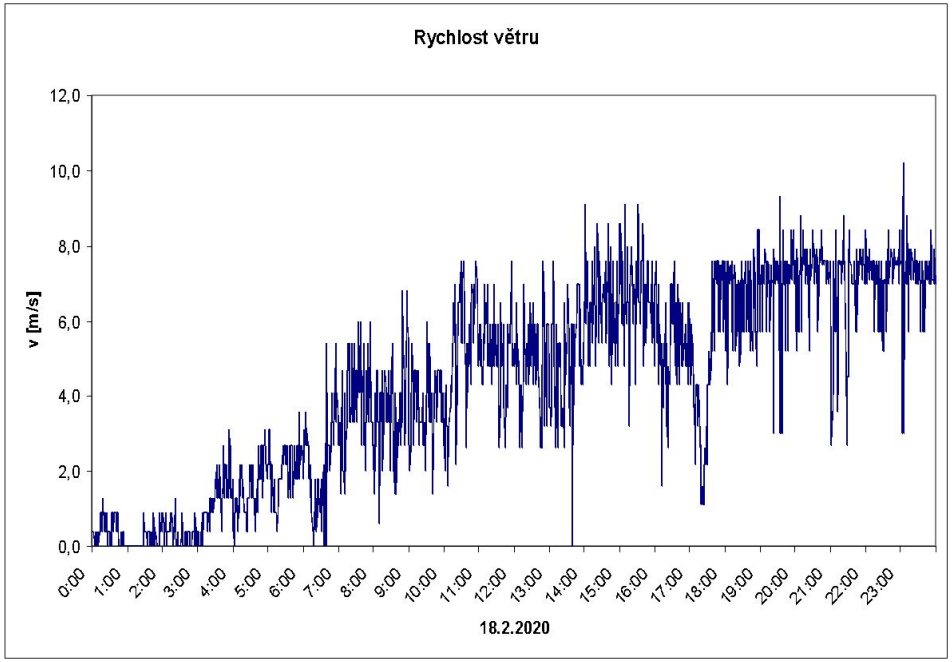
Poznámky: 1 – Přimda (742 m n.m.), 2 – Milešovka (837 m n.m.), 3 – Praha, Ruzyně (364 m n.m.), 4 – Kostelní Myslová (569 m n.m.), 5 – Svratouch (737 m n.m.), 6 – Nedvězí (722 m n.m.), 7 – Praděd (1490 m n.m.), 8 – Lysá hora (1324 m n.m.), 9 – průměr ČR



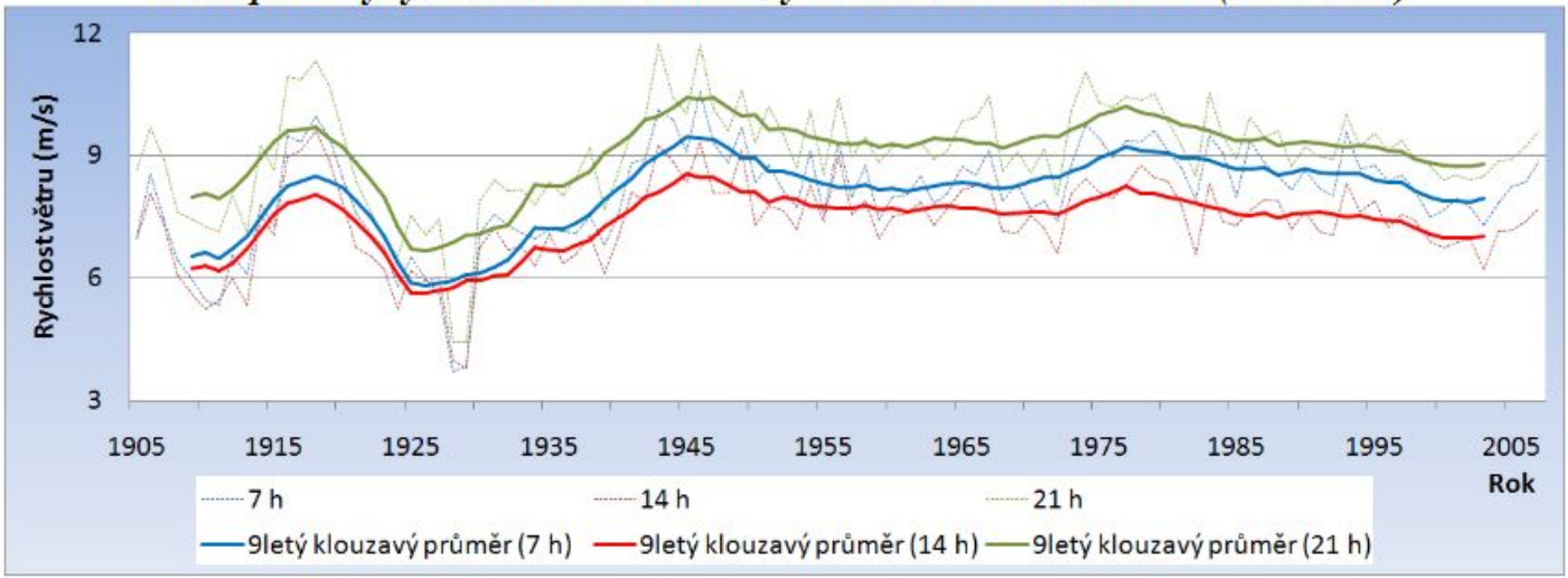


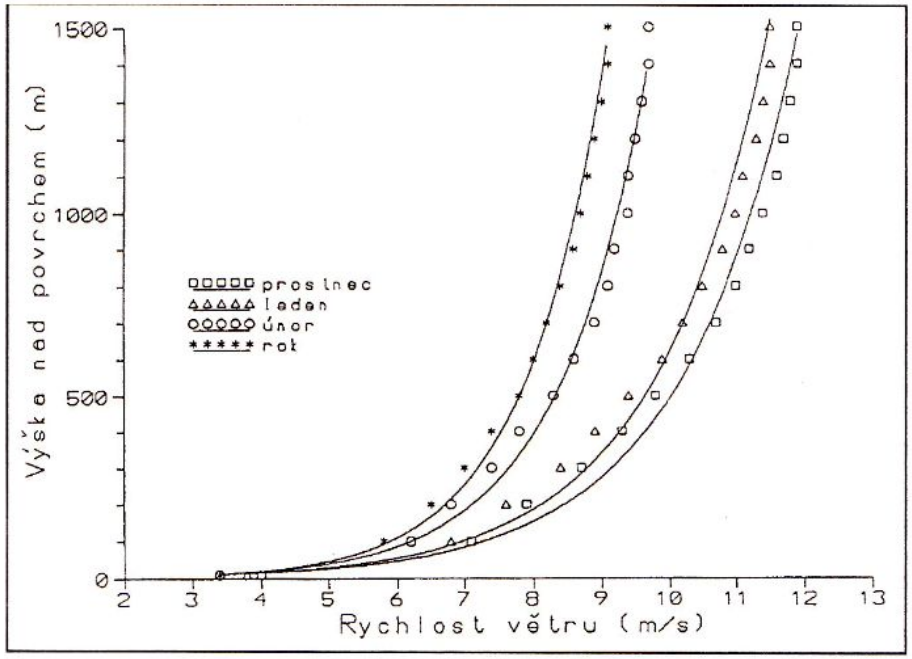
Poznámky: (Název stanice – kraj – nadmořská výška – prům. rychlost větru – charakter tvaru terénu).
Milešovka – Ústecký – 837 m n. m. – 8,2 m/s – hora kuželovitého tvaru.
Praha-Ruzyně – Praha – 380 m n. m. – 4,0 m/s – plocha letiště.
Přimda – Plzeňský – 742 m n. m. – 4,6 m/s – vrchol protáhlé hory.
Zinnwald – Sasko (SRN) – 882 m n. m. – 5,4 m/s – horská planina v blízkosti obce.

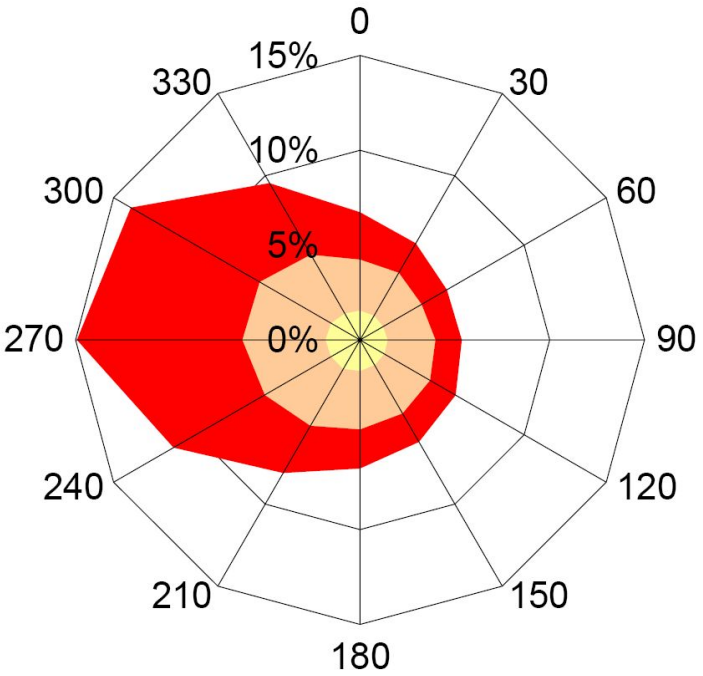


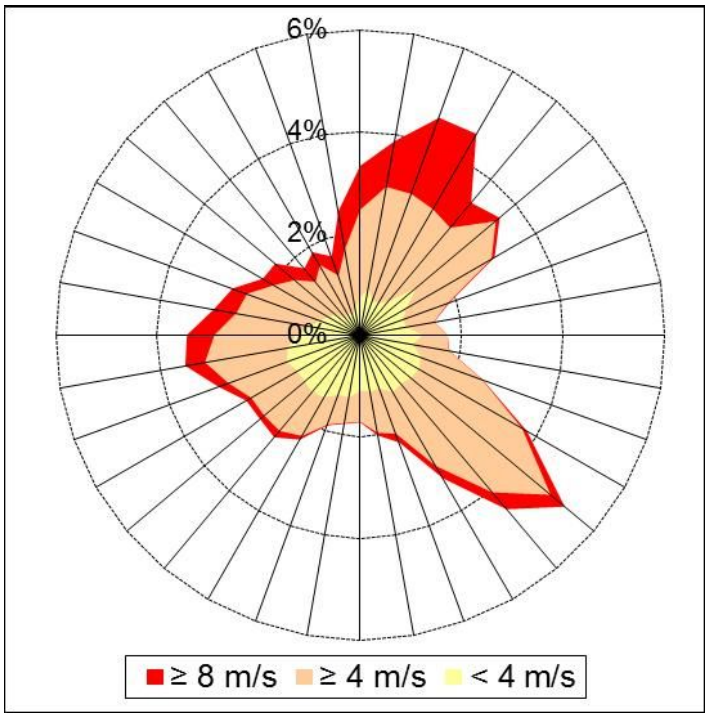


Roční průměry rychlosti větru v klimatických termínech na Milešovce (1905–2007)



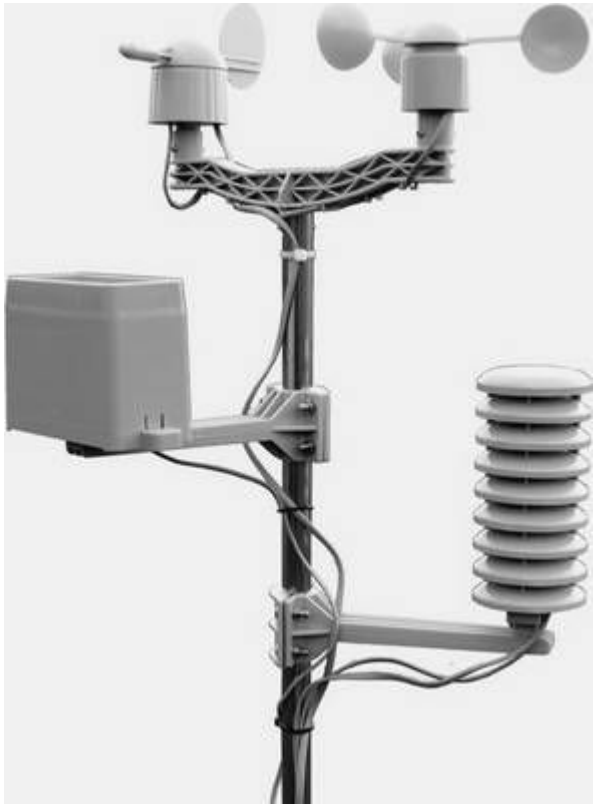

1500
1000
500
0
Výška nad povrchem (m)
prosinec
leden
únor
rok
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
Rychlost větru (m/s)


0
30
60
90
120
150
180
210
240
270
300
330
15%
10%
5%
0%


6%
4%
2%
0%
≥ 8 m/s
≥ 4 m/s
< 4 m/s

Beaufort wind scale

Rychlost od do ($m.s^{-1}$)	Stupeň Beauforta	Označení síly větru	Projev v přírodě
0 0,2	0	bezvětří	kouř stoupá kolmo
0,3 1,5	1	vánek	kouř stoupá podle větru, větrná směrovka se nepohne
1,6 3,3	2	slabý vítr	vítr je cítit na tváři, šelestí listí stromů, větrná směrovka se začne pohybovat
3,4 5,4	3	mírný vítr	listy a větvičky stromů se pohybují, pohybuje praporkem, slabě čeří hladinu stojaté vody
5,5 7,9	4	dost čerstvý vítr	pohybuje slabšími větvemi, zvedá prach a papíry, napíná praporek
8,0 10,7	5	čerstvý vítr	napíná větší prapory, pohybuje většími bezlistými větvemi, na stojatých vodách tvoří menší vlny, pro cit je již nepříjemný
10,8 13,8	6	silný vítr	pohybuje silnějšími větvemi a slabšími stromy, hučí v listnatých lesích, sviští dráty, použití deštníku je nesnadné, na vodě tvoří vlny s ojediněle zpěněnými vrcholky
13,9 17,1	7	prudký vítr	pohybuje bezlistými stromy střední tloušťky, vlny na stojaté vodě mají četné pěnivé vrcholky, chůze proti větru je namáhavá
17,2 20,7	8	bouřlivý vítr	vítr láme větve stromů, chůze proti větru značně obtížná, pohybuje silnějšími stromy
20,8 24,4	9	vichřice	působí menší škody na střechách, ulamuje bezlisté větve a menší stromy
24,5 28,4	10	silná vichřice	vyvrací stromy, působí škody na obydlích
28,5 32,6	11	mohutná vichřice	působí velké škody na domech i v lesích, poráží chodce
32,7 a více	12	orkán	ničivé účinky





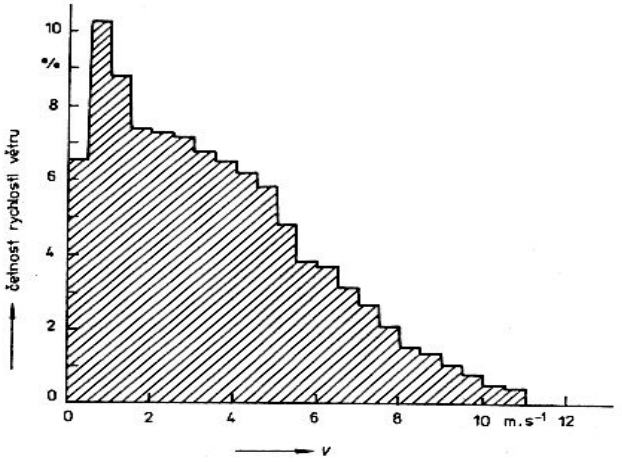


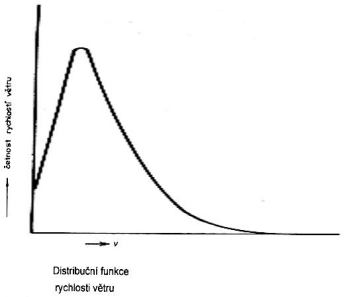


v (m.s^{-1})	1	2	3	4	5	6	7	8
p_d (Pa)	0,6	2,3	5,2	9,2	14,4	20,7	28,2	36,8

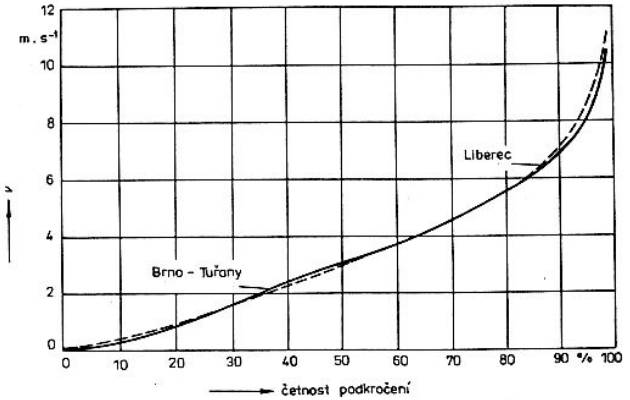
v (m.s^{-1})	9	10	12	14	16	18	20
p_d (Pa)	46,5	57,5	82,8	113	147	186	230

Měřené rychlosti	Průměrná rychlost větru ($m.s^{-1}$)						
větru ($m.s^{-1}$)	4	5	6	7	8	9	10
Do 0,5	4,2	2,8	1,96	1,48	1,17	0,95	0,74
1	13,7	9,7	7,2	5,06	4,54	3,42	2,85
2	17,6	13,7	10,6	8,55	7,10	5,93	5,13
3	16,5	14,3	11,9	9,9	8,4	7,1	6,3
4	13,9	13,1	11,6	11,0	8,85	7,75	6,9
5	10,6	10,8	10,6	9,8	8,8	8,0	7,2
6	7,5	8,9	9,25	8,9	8,45	7,65	7,1
7	5,36	7,2	7,75	8,0	7,7	7,4	6,85
8	3,76	5,48	6,4	6,85	6,85	6,85	6,5
9	2,62	4,0	5,13	5,9	6,05	6,28	6,15
10	1,7	3,0	4,1	5,5	5,4	5,6	5,6
11	1,1	2,3	3,2	4,0	4,7	5,0	5,13
12	0,57	1,6	2,5	3,2	3,9	4,35	4,56
13	0,4	1,14	1,9	2,6	3,3	3,78	4,1
14	0,23	0,68	1,6	2,16	2,7	3,2	3,65
15	0,19	0,45	1,14	1,7	2,3	2,74	3,2
16	0,11	0,34	0,8	1,42	1,9	2,3	2,74
17	-	0,25	0,68	1,14	1,6	2,0	2,4
18	-	0,15	0,45	0,85	1,4	1,71	2,06
19	-	0,11	0,34	0,66	1,13	1,48	1,71
20	-	-	0,23	0,41	0,85	1,25	1,48
21	-	-	0,20	0,31	0,68	0,97	1,25
22	-	-	0,17	0,25	0,57	0,85	1,14
23	-	-	0,11	0,19	0,4	0,68	0,91
24	-	-	0,05	0,17	0,28	0,57	0,80
25	-	-	-	0,11	0,25	0,45	0,68
26	-	-	-	0,07	0,20	0,40	0,57
27	-	-	-	0,04	0,17	0,34	0,45
28	-	-	-	-	0,14	0,25	0,36
29	-	-	-	-	0,11	0,20	0,32
30	-	-	-	-	-	0,14	0,25





Četnost rychlostí větru na meteorologické stanici



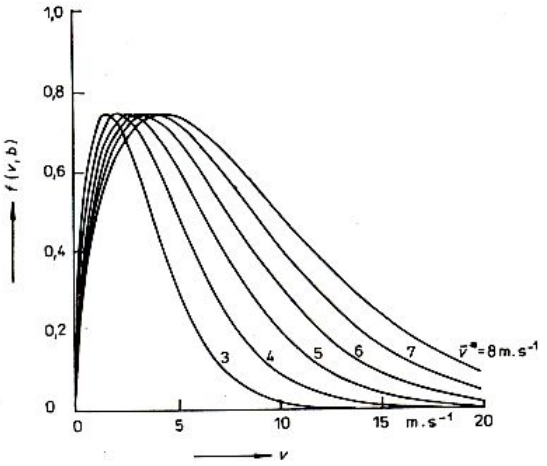
Integrální vyjádření distribuční funkce větru pro dvě meteorologické stanice v Liberci a v Brně -Tuřanech pro přibližně stejné střední rychlosti větru

Weibull distribution

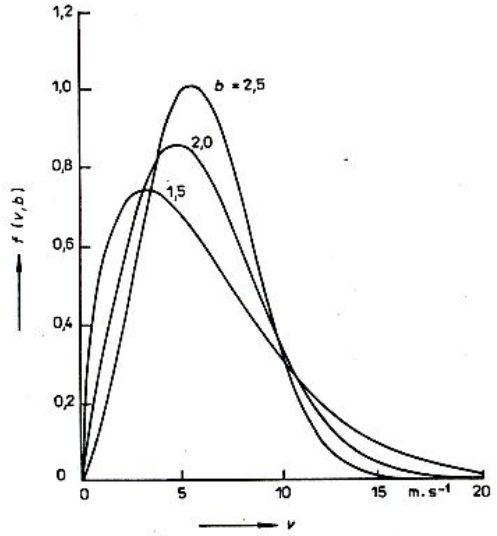
$$f(x) = \frac{b}{a}\left(\frac{x}{a}\right)^{b-1}\exp\left[-\left(\frac{x}{a}\right)^{b}\right]$$

$$F(x) = 1-\exp\left[-\left(\frac{x}{a}\right)^{b}\right]$$

$$v^{*} = 0,88a$$

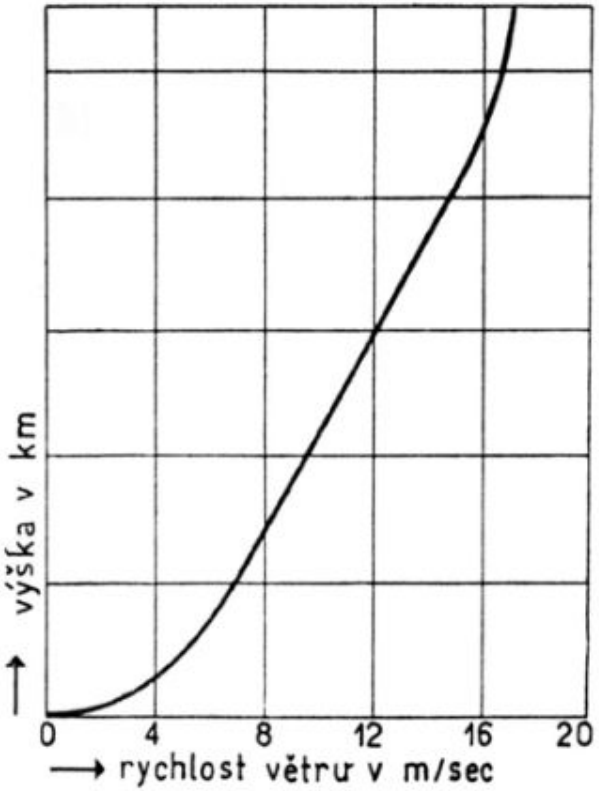


Ukázka náhradních distribučních funkcí podle Weibullova rozdělení pro střední rychlosti větru od 3 do 8 m.s^{-1} s tvarovým součinitelem b = 1,5



Vliv tvarového součinitele b na distribuční charakteristiku pro střední rychlosti větru 6 m.s^{-1}

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

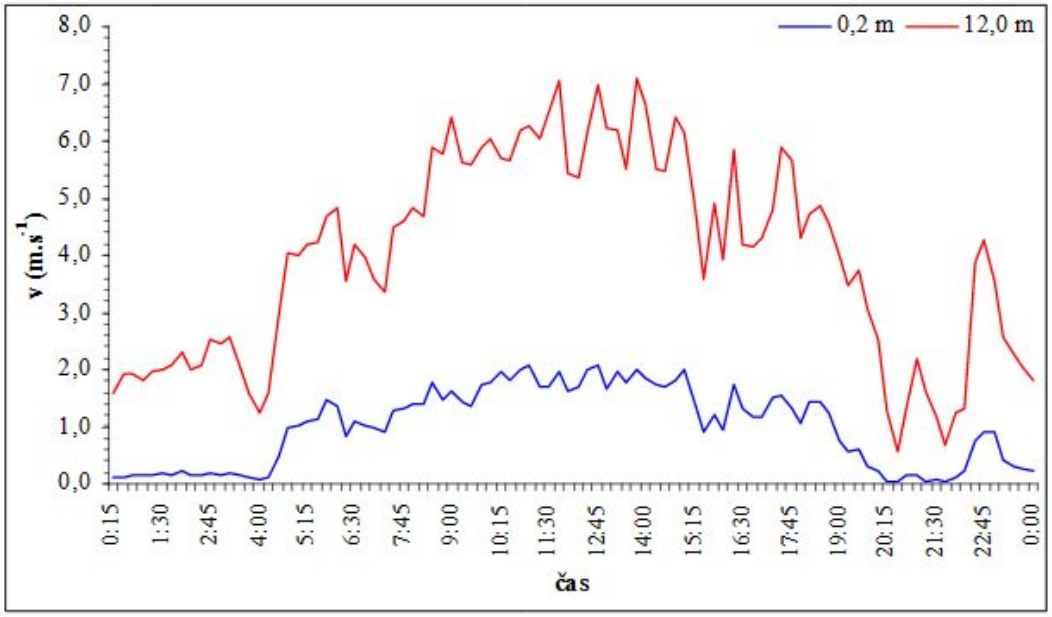


$$\frac{v^*}{v_0^*} = \left(\frac{h}{h_0}\right)^n$$

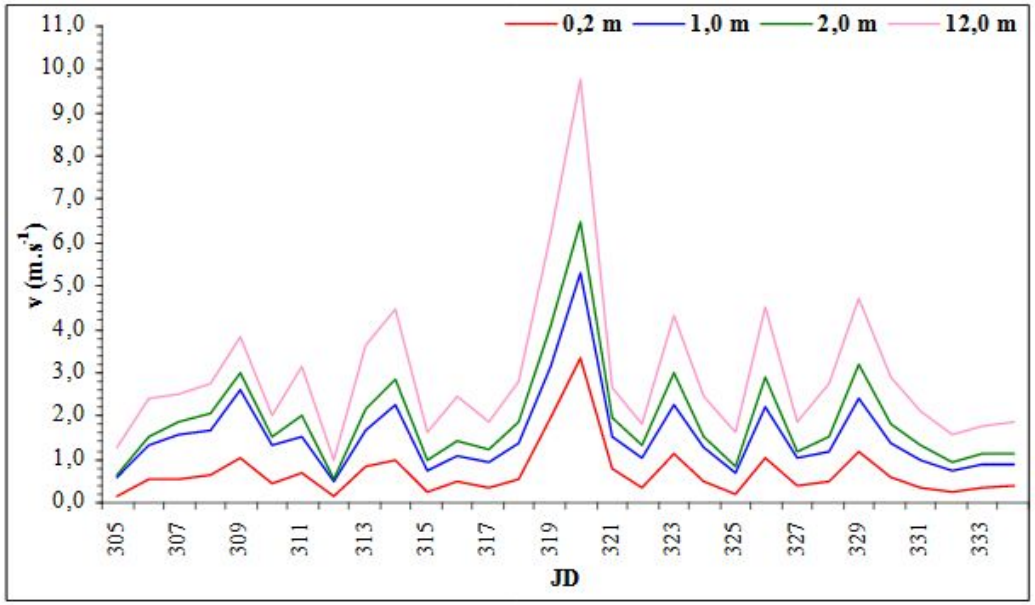
Druh povrchu	n
a - hladký povrch - vodní hladina, písek	0,14
b - louka s nízkým travnatým porostem nebo oranice	0,16
c - vysoká tráva, nízké obilné porosty	0,18
d - porosty vysokých kulturních plodin, nízké lesní	0,21
e - lesy s mnoha stromy	0,28
f - vesnice a malá města	0,48

$$v_h^* = k_h v_{10}^*$$

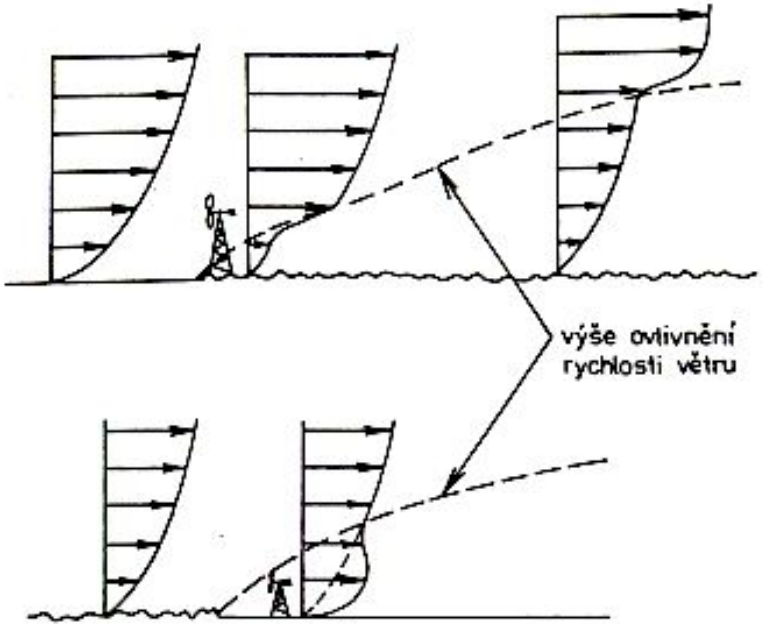
Druh povrchu	Výška *h* (m)									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
a	0,91	1,00	1,06	1,10	1,14	1,17	1,19	1,21	1,23	1,25
b	0,90	1,00	1,07	1,12	1,16	1,19	1,22	1,25	1,27	1,29
c	0.88	1,00	1.08	1,13	1,18	1,22	1,25	1,28	1,31	1,34
d	0,86	1,00	1,09	1,16	1,21	1,26	1,30	1,34	1,37	1,40
e	0,82	1,00	1,12	1,21	1,29	1,36	1,42	1,47	1,52	1,57
f	0,72	1,00	1,21	1,39	1,55	1,69	1,82	1,95	2,06	2,17

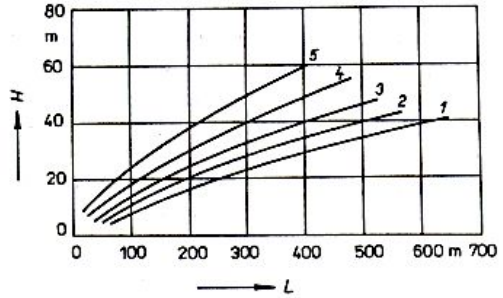


Čtvrthodinové průměry rychlosti větru ve dvou výškách - 0,2 m a 12,0 m (96 JD).

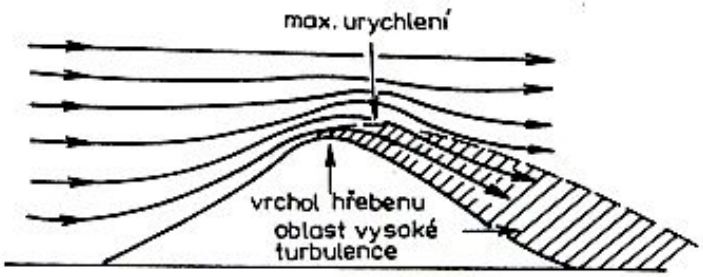


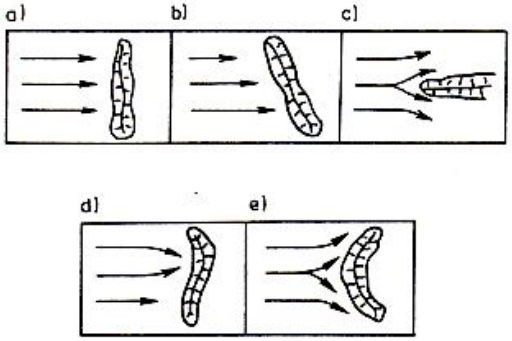
Průměrné denní rychlosti větru ve čtyřech výškách (0,2 m, 1,0 m, 2,0 m a 12,0 m).





Graf pro stanovení přechodové výšky H v závislosti na vzdálenosti od změny kvality povrchu L





Vliv orientace hřebenu k převládajícímu směru větru a jeho tvaru na vhodnost umístění větrného motoru. Orientace hřebenu: a) kolmá - nejlepší; b) šikmá - dobrá; c) rovnoběžná - vyhovující. Tvar hřebenu: d) vydutý - dobrý; e) vypuklý - horší.

Energy and power of wind

$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

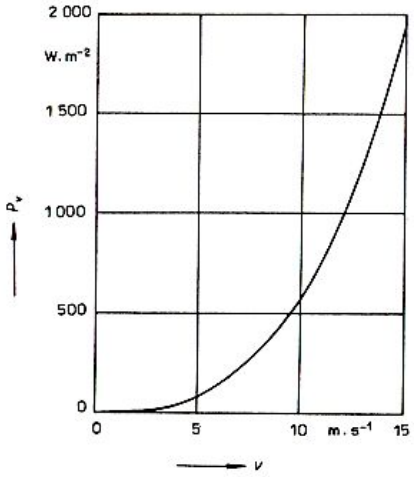
$$m = \rho V = \rho As.$$

$$P_v = \frac{E}{At} = \frac{1}{2}\rho\frac{As}{At}v^2$$

$$P_v = \frac{1}{2}\rho v^3$$

$$\rho = \frac{p_b}{rT}$$

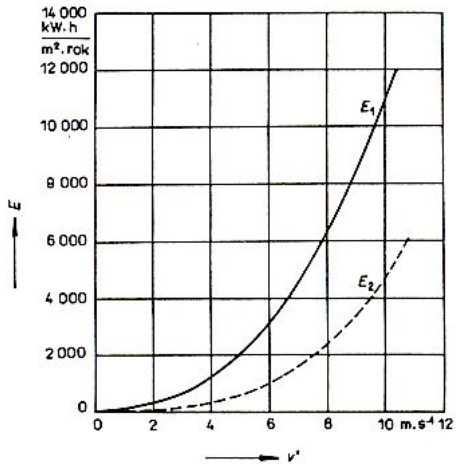
$$p_{b(h)} = p_{b(0)}.(1 - 0,118358.10^{-3}h + 0,5291.10^{-8}h^2)$$



Závislost výkonu větru (P_v) protékajícího plochou 1m² na jeho rychlosti v

$$E_v = \int_{t_0}^{t} p_v.\mathrm{d}t$$

$$E_v = \sum_0^i E_i = \frac{1}{2}\sum_0^i \rho_i v_i^3 \Delta t.$$



Přibližná závislost roční energie větru E_1 protékajícího plochou 1 m² na jeho průměrné rychlosti v', E_2 - roční energie větru vypočtená za předpokladu, že by celý rok vál průměrnou rychlostí

Usage of wind









