



**Národní informační středisko  
pro podporu kvality**

# Vybrané statistické metody pro tvorbu pravděpodobnostních map

Meteorologická aplikace na nárazy  
větru

**Ing. Michal Návorka**  
**doc. Ing. Olga Tůmová, CSc.**  
Katedra technologií a měření  
FEL, ZČU v Plzni

- › Seminář pojednává o výzkumu na oddělení měření (Ing. Michal Návorka) vycházející s diplomové práce
- › Práce dělána ve spolupráci s oddělením klimatologie Českého hydrometeorologického Ústavu – RNDr. Jiřím Hostýnkem
- › Aplikace statistických metod aplikována na předpověď síly extrémních projevů větru – nárazů větru s určitou dobou návratu



# Přehled témat

- › Stav problematiky
- › Vítr – základní charakteristiky, vznik, kategorizace a vizuální zpracování
- › Měření rychlostí – principy, přístroje a ukládání
- › Metody a postupy používané pro zpracování rychlostí a směrů větru
- › Metoda maximální věrohodnosti a metody pro extrémní data – Liebleinova metoda a Analýza individuálních bouří
- › Ukázka numerických a grafických výsledků

# Stav problematiky

- › V posledních deseti letech zaměření spíše na průměrné rychlosti díky prudkému rozvoji větrné energetiky
- › Průměrné rychlosti a směr větru jeden z hlavních kritérií pro posuzování místa pro stavbu
- › Po několika větších větrných událostí – bouří, které měly za následek větší hmotné škody se zájem přesouvá i na extrémní projevy větru
- › Oblastí nárazů větru se zabývá sektor stavebnictví, meteorologie a poslední dobou díky škodám na majetku i sektor pojišťoven
- › Od těch vzešel i požadavek na tvorbu pravděpodobnostních map pro vymezení oblastí s pravděpodobností výskytu extr. větrů

# Vítr – základní informace

- › Vítr (směr a rychlost) patří mezi nejproměnlivější meteorologické prvky
- › Vítr je proudění plynů ve velkém měřítku
- › Vznik větru – přenos vzdušné hmoty z různých oblastí tlaků, čím větší je rozdíl tlaků oblastí, tím větší je rychlost větru
- › Kategorie větru – podle regionu (bríza, bóra atd.), podle jejich prostorového rozsahu (lokální vítr při bouři, tornáda, hurikány, globální proudění), podle jejich rychlosti.
- › Stupnice pro určování větru – Beaufurtova stupnice, Saffir-Simpsova stupnice a Fujitova stupnice

# Měření větru

- › Větrné podmínky v určité lokalitě jsou závislé na mnoho parametrech – cirkulaci vzduchu, orografii, drsnost povrchu a překážkách vůči proudění
- › Vítr se měří v několika jednotkách – m/s, km/h, knots (uzly)
- › Standardně se rychlost a směr větru měří v 10m nad zemí (33ft) a měří se s 10 minutovou periodicitou
- › Nárazy větru – neustálá rychlá změna rychlosti a směru
- › Nárazy se neměří, ale vyhodnocují z naměřených dat podle podmínek: min. rychlost 30 km/h, rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší min. 16km/h, doba trvání méně než 20s
- › Pro potřeby zpracování se vyhodnocují dlouhodobé nárazy větru denní/měsíční/roční a převládající směry odkud nárazy přicházejí (větrné růžice)

# Beaufurtova stupnice

- › Určování rychlosti větru podle projevů na souši či moři
- › Zavedena počátkem 19. století admirálem Beaufurtem
- › 12 stupňů + 5 stupňů nastavena Saffir-Simpsovou stupnicí speciálně pro orkány, potažmo hurikány
  
- › První stupeň (0,3–1,5 m/s; 1–5 km/h) – **vánek**
- › Desátý stupeň (24,5–28,4 m/s; 89–102 km/h) – **silná vichřice**
- › Jedenáctý stupeň (28,5–32,6 m/s; 103–117 km/h) – **mohutná vichřice** - rozsáhlé zpuštění plochy
- › Dvanáctý stupeň (<33,7 m/s; 118–133 km/h) – **orkán** - ničivé účinky

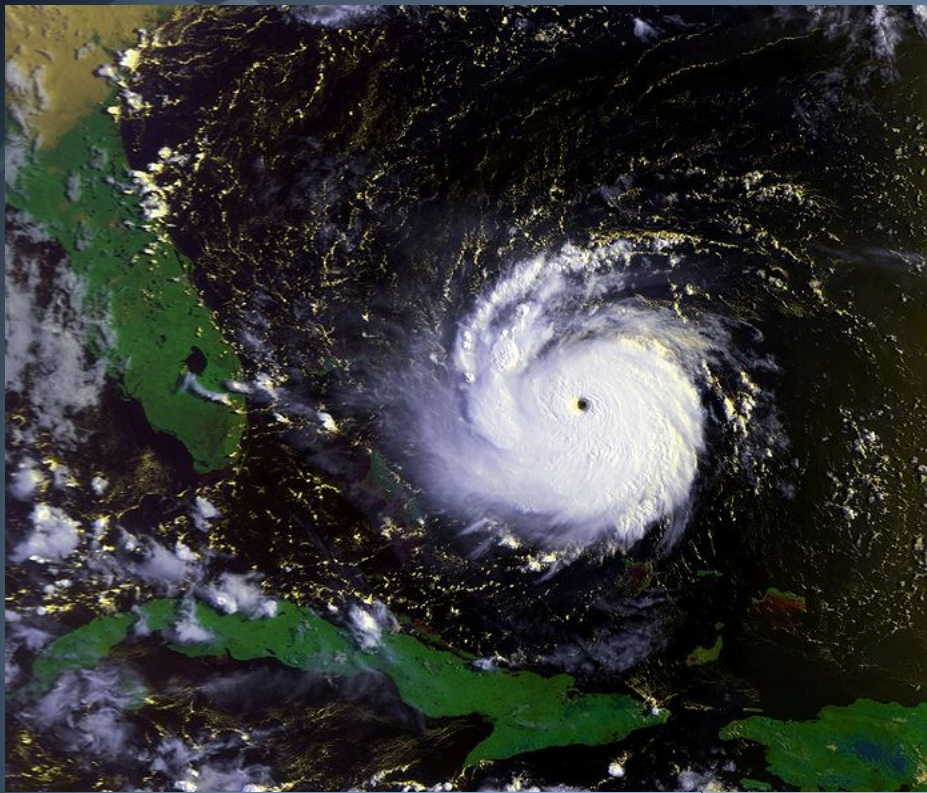


# Extrémní projevy větru

- › V našich zeměpisných šířkách se setkáváme s větrnými smrštěmi a silnými nárazy větru
- › Z poslední doby – větrné bouře Kyrill (leden 2007) a Emma (březen 2008)
- › Zvýšený výskyt menších tornád v ČR (naposledy pozorována „tromba“ v oblasti Krušných hor)
- › Jeden z nejvyšších naměřených nárazů – Labská Bouda při bouři Kyrill 19.1.2007 - 58,7 m/s (208 km/h)
- › Obecně nad 250 km/h dochází k devastaci lidských obydlí větrem
- › Nejvyšší nárazy na světě vždy ve spojitosti s hurikány – Barrow Island (Austrálie) – 408 km/h (Olivia)

I ze zpracovávaných hodnot lze určit, kdy se ČR prohnala vichřice. Pro příklad jsou zde 4 stanice a vždy stejnou barvou vyznačeno konkrétní datum s hodnotou.

Brno		Ruzyně		Churáňov		Kocelovice	
datum	SPEED	datum	SPEED	datum	SPEED	datum	SPEED
6.2.1964	43,1	25.1.1990	45	1.3.1990	44,0	28.1.1994	48,9
12.7.1984	42	28.1.1994	45	24.11.1984	41,0	18.1.2007	43,2
3.3.1981	40	1.3.1990	44	1.8.1983	40,0	24.11.1984	42,5
23.2.1967	38,1	17.8.1974	42	23.11.1984	38,0	19.1.2007	41,3
26.2.1990	35,1	24.4.1977	40	18.1.2007	38,0	23.11.1984	39,4
9.3.1990	34,5	7.2.1984	39,5	20.1.1986	37,0	27.10.2002	39,1
1.3.1990	33,9	24.11.1984	38,1	26.2.1990	37,0	24.7.1988	38,9
20.1.1986	33,3	23.11.1984	37,5	23.1.1995	37,0	1.8.1983	38,6
2.10.1993	33,3	20.1.1960	37	13.12.1989	36,0	26.2.1990	38,3
3.2.1985	33,2	26.1.1990	36,8	13.11.1972	34,0	1.3.1990	37,4
1.1.1981	33	4.2.1990	36,4	20.10.1974	34,0	7.2.1984	36,8



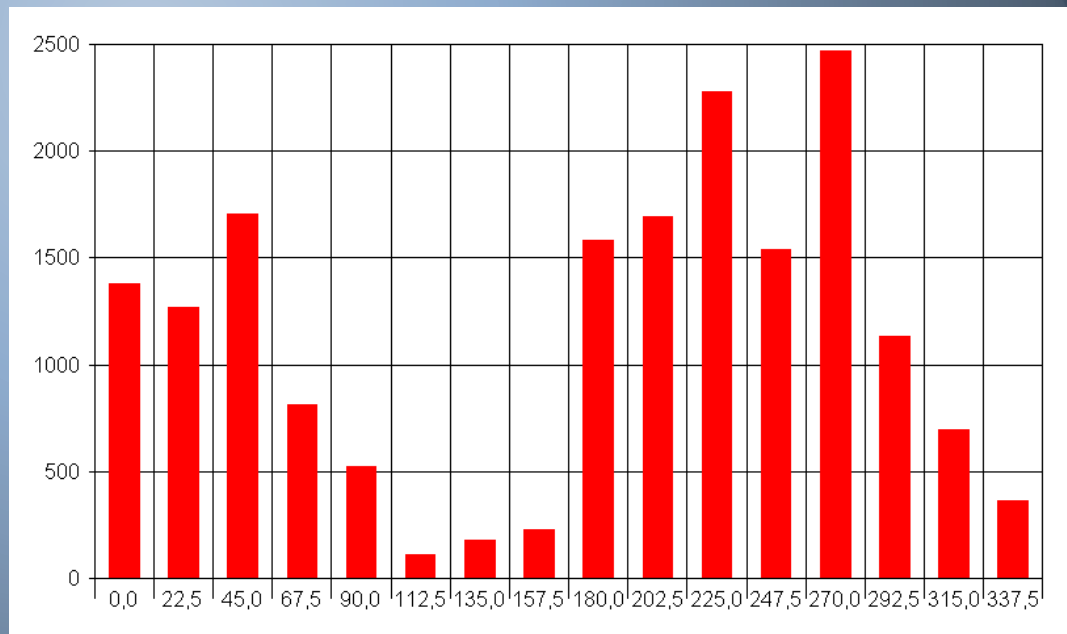
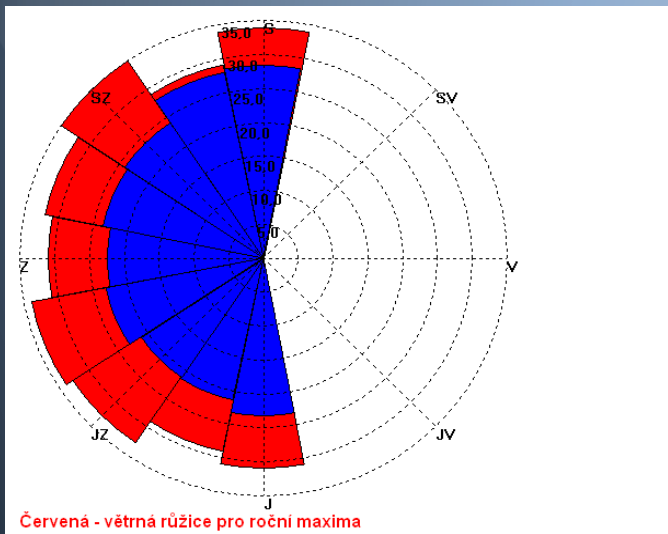
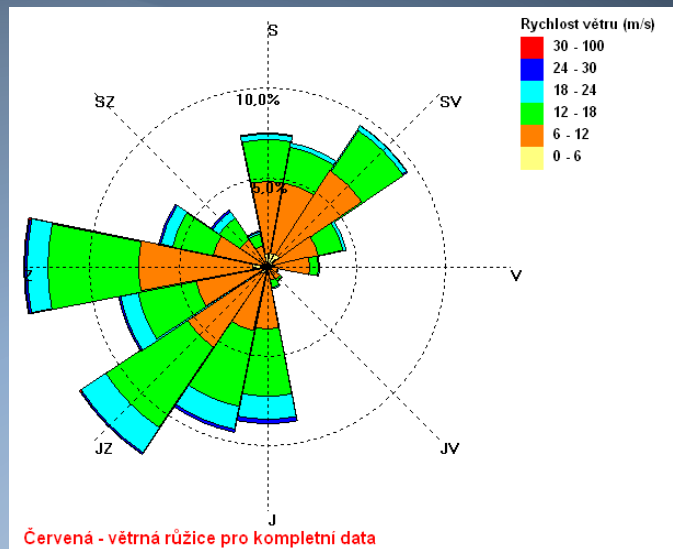
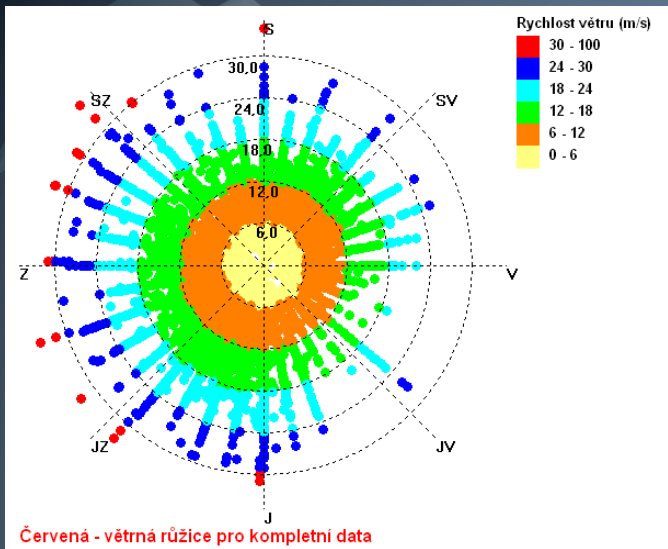
Hurikán Andrew – stupeň 5,  
pobřeží Floridy

Tornádo v blízkosti Trutnova,  
Září 2010, vznik jen z pouze  
slabého přechodu studené fronty



# Grafické znázornění větru

- › Pojem větrná růžice – jako růžice se světovými stranami, ale také jeden ze základních meteorologických nástrojů
- › Větrná růžice znázorňuje četnost směrů a rychlosti větru, analogicky je to histogram v kruhovém provedení
- › Dá se ale i znázornit v normálním roztaženém provedení
- › Typově se dělí podle počtu tříd (světových stran) – 8, 12 a 16 sektorová
- › Pro obor energetiky velmi důležité – ukazuje převládající směr větru a tedy pravděpodobný energetický potenciál (software WaSP)
- › Využití také v oborech stavitelství, zemědělství atd.
- › Dá se použít nejen pro nárazy větru, ale i pro průměrné rychlosti větru



# Sběr dat v České republice

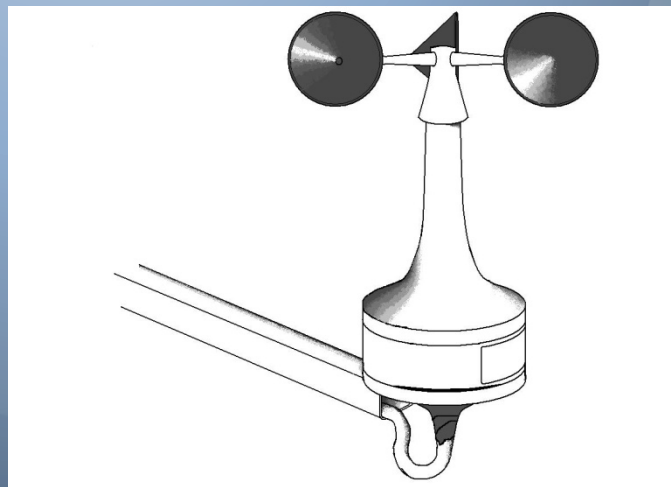
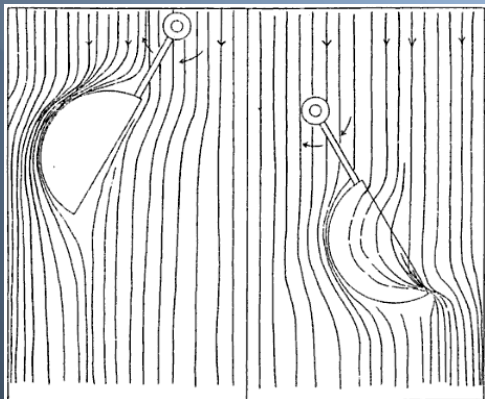
- › Instrumentální měření od r. 1752 v pražském Klementinu
- › V ČR se o sběr dat na profesionální úrovni stará Český hydrometeorologický ústav
- › Síť se skládá z 209 klimatologických stanic (38 odborných) a 585 srážkoměrných stanic
- › Měření meteorologických parametrů – teplota, vlhkost, směr a rychlost větru, UV, sluneční svit, srážky atd.
- › Databáze CLIDATA, uložení všech parametrů
- › Matematické modely Aladin a Aladin-CZ – pro předpovědi a pravděpodobnostní modely vývoje parametrů počasí

# Měření větru – principy a přístroje

- › Anemometry – přístroje pro měření větru, slovo „anemos“ - z řečtiny znamená vítr
- › Pro měření rychlosti větru - principy založeny na základních principech pro měření průtoku – mechanické, ultrazvukové, rychlostní sondy či nové laserové
- › Pro měření směru – principy založeny na větrné korouhvi
- › Rychlostní sondy – zvláštní případy, využití na letadlech a např. na raketoplánech NASA
- › Měřicí řetězec založen na sériovém zapojení senzoru, centrální jednotky a přístroje na zaznamenání dat

# Miskový anemometr

- › Jeden z nejjednodušších principů, používá se dodnes díky přesnosti a jednoduchosti
- › Složen z 3 nebo 4 misek připojených ke kříži, díky proudění vzduchu a přenášení tlaku na misky dochází k roztáčení a generování otáček, z toho určení rychlost větru
- › Nevýhody: nutný minimální vítr, aby se překonal pasivní odpor k roztočení, takže měří od určité minimální hranice
- › Také má mechanické části – větší možnost poruchy





# Ultrazvukový anemometr

- › Moderní trend v měření rychlosti a směru větru
- › Princip měření založen na Dopplerově efektu
- › Fungují na principu vyhodnocování změny frekvence ultrazvukové vlny odražené od nehomogenit unášených větrem. Nehomogenity se chovají jako miniaturní reflektory, které odrážejí ultrazvukové vlny
- › V praktické realizaci se jedním měničem stále vysílá ultrazvukové vlnění, přijímáno přijímacím měničem, který bývá naproti vysílači
- › Konstrukčně jsou na snímači 2 páry vysílačů a přijímačů, nebo jeden vysílač vysílající do 3 směrů po  $120^\circ$ , poté se ze změn frekvence vyhodnocuje rychlost a směr větru

## Viasala - Ultrasonic Wind Sensor WS425



3D radar Vaisala LAP-3000,  
observatoř Doksany



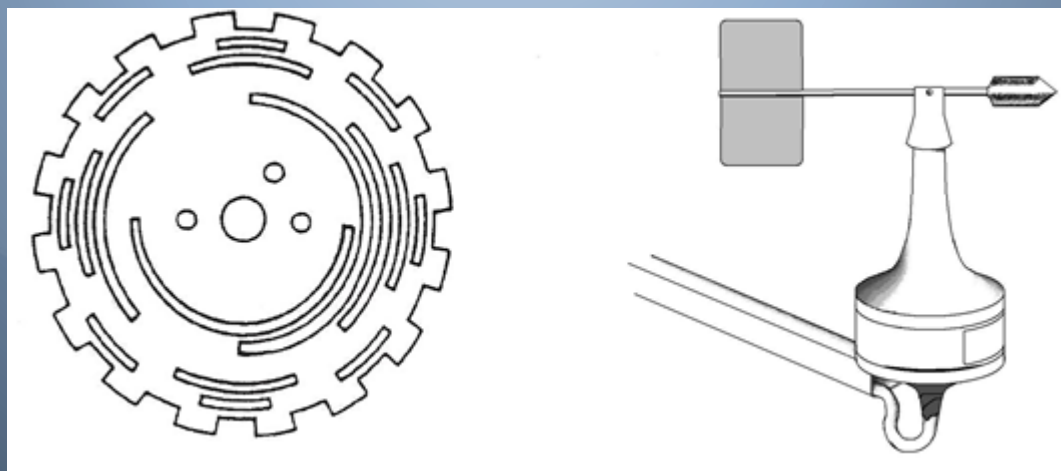
- › Hlavní výhoda ultrazvukových anemometrů – žádné pohyblivé části, nemusí překonávat pasivní odpor pro začátek měření, takže měří od velmi nízkých hodnot, bezhlučný provoz a možnost pracovat v různých teplotách a tlacích
- › Také výhodou kombinované měřidlo – měří jak směr tak rychlost
- › Nevýhoda je vysoká cena

# Laserové anemometry

- › Laserové anemometry jsou založeny také na principu Dopplerova efektu jako ultrazvukové
- › Místo ultrazvukové vlny je využit laser jako měřicí paprsek, který se od částic ve vzduchu odráží do přijímače
- › Výhody – sensor může být mobilní, používá se na mapování větrných profilů a pokrytí většího území
- › Frekvence zachyceného světla se mění v závislosti na rychlosti částic, takže zpracováním změny frekvence měřeného světelného spektra lze odečíst rychlost proudění vzduchu a jeho směr
- › Využití pro větrné elektrárny, kvůli řízení provozu, regulaci a celkově lepší přizpůsobení aktuální větrným podmínkám

# Měření směru větru

- › Tak jako je důležitá veličina pro měření rychlost větru, tak i směr hraje velkou roli pro utvoření si globálního obrázku o proudění
- › Pro měření směru se používají variace sensorů založeny na klasické větrné korouhvi
- › Při natočení dochází k přerušení optických bran a z kombinace přerušení a průchozích je určen směr větru



# Měřicí ústředna

- › Jako důležitý prvek v měřicím řetězci je měřicí ústředna
- › Stará se o logiku z jednotlivých sensorů a vyhodnocené signály, potažmo hodnoty odesílá na záznamové zařízení
- › Běžné ústředny mají 8 a více vstupů pro jednotlivé měřidla, takže není problém zapojit celou meteorologickou stanici do jedné ústředny
- › Dále signály odesílá pomocí RS232, ethernetem, nebo dnes optickou linkou

# Záměry práce

- › Pro účely modelování nárazů větru a jejich grafického znázornění pomocí pravděpodobnostních map bylo vybráno **16** profesionálních meteorologických stanic rozložených po celé České republice
- › Modelování s dobou návratu nárazu větru 100, 75, 60, 50, 40, 30, 25, 20, 15, 10, 5 a 3 roky
- › Pro takto dlouhé odhady nutnost mít dostatek zdrojových dat – proto byly vybrány stanice s dostatečně dlouhou řadou naměřených hodnot
- › Numerické výsledky zaneseny do GIS programu a vytvořeny mapy s oblastmi pravděpodobného maximálního nárazu větru

Stanice	Kódový název	Časový rámec naměř. dat
<b>Brno – Tuřany</b>	B2BTUR01	1.1.1961 – 30.11.2010
<b>Červená</b>	O1CERV01	1.1.1961 – 30.11.2010
<b>Doksany</b>	U1DOKS01	1.1.1974 – 30.11.2010
<b>Holešov</b>	B1HOLE01	1.1.1961 – 30.11.2010
<b>Hradec Králové</b>	H3HRAD01	1.1.1954 – 31.12.1991; 1.9.2008 – 30.11.2010
<b>Churáňov</b>	C1CHUR01	1.1.1971 – 30.11.2010
<b>Kocelovice</b>	C1KOCE01	1.1.1976 – 30.11.2010
<b>Kostelní Myslová</b>	B2KMYS01	1.1.1960 – 30.11.2010
<b>Kuchařovice</b>	B2KUCH01	1.1.1960 – 30.11.2010
<b>Liberec</b>	U2LIBC01	1.7.1959 – 14.8.1990; 1.10.1997 – 30.11.2010
<b>Luká</b>	O2LUKA01	1.1.1975 – 30.11.2010
<b>Ostrava – Mošnov</b>	O1MOSN01	1.7.1960 – 30.11.2010
<b>Praha – Ruzyně</b>	P1PRUZ01	1.1.1958 – 30.11.2010
<b>Přibyslav</b>	P3PRIB01	1.1.1959 – 31.12.1997; 2000; 1.11.2004 - 30.11.2010
<b>Přimda</b>	L2PRIM01	1.7.1959 – 30.11.2010
<b>Svratouch</b>	H3SVRA01	1.1.1981 – 30.11.2010



# Metodika zpracování

- › ČHMÚ poskytnul exportované hodnoty z centrální databáze ve formě XLS
- › V souborech byla denní maxima jednotlivých stanic  $F_{MAX}$  (v m/s) a také jejich směry  $D_{MAX}$  (ve stupních). V tabulce je vidět příklad ze stanice Kuchařovice.

Pro výpočty bylo vybráno 16 meteorologických stanic s dostatečně dlouhou časovou řadou. Pro představu u stanice Přimda se jedná o 18781 hodnot  $F_{MAX}$  a stejný počet směrů větru  $D_{MAX}$ . V průměru lze říci, že každá stanice měla okolo osmnácti tisíc hodnot.

Kód	Year	Month	Day	Fmax	Dmax
B2KUCHo1	1960	01	01	10	90
B2KUCHo1	1960	01	02	8	90
B2KUCHo1	1960	01	03	8	90
B2KUCHo1	1960	01	04	10	50
B2KUCHo1	1960	01	05	8	180
B2KUCHo1	1960	01	06	13	290
B2KUCHo1	1960	01	07	16	290
B2KUCHo1	1960	01	08	13	340
B2KUCHo1	1960	01	09	14	70
B2KUCHo1	1960	01	10	11	340
B2KUCHo1	1960	01	11	8	200
B2KUCHo1	1960	01	12	17	340
B2KUCHo1	1960	01	13	19	340
B2KUCHo1	1960	01	14	10	270
B2KUCHo1	1960	01	15	10	70
B2KUCHo1	1960	01	16	8	320
B2KUCHo1	1960	01	17	8	290
B2KUCHo1	1960	01	18	12	290
B2KUCHo1	1960	01	19	19	250
B2KUCHo1	1960	01	20	24	270

# Problémy s daty

- › **Chyby v datech** – v každém souboru dat se vyskytly hodnoty abnormální či odlehlé. Jelikož o se jedná o maximální nárazy, které se budou simulovat, musí se ke každé hodnotě přistupovat zvlášť a zjistit zda se jedná o chybu nebo abnormální výskyt nárazu (bouře, přechod fronty)
- › Statisticky se dají na to použít metody pro určování odlehlých hodnot – Pravidlo čtyř sigma, Dixonův test, nebo Grubbsův test
- › V softwaru STATISTICA byl aplikován na data Grubbsův test a poté se k jednotlivým abnormálním hodnotám přistupovalo jednotlivě.
- › Jelikož byla dodána i datumová řada hodnot šlo anomálie jednotlivě identifikovat a porovnat s databází ČHMÚ, která obsahuje výskyt meteorologických událostí
- › Také byl určena maximální hranice nárazů 60 m/s nad kterou byly hodnoty už považovány za chybu

# Problémy s daty

- › **Chybějící data** – v souborech dat se také objevily mezery v datech
- › Způsobeno výpadky měřidel, nezdigitalizování údajů z anemografů nebo chybou záznamového zařízení
- › Možnost přepočtu maximálních nárazů z průměrných rychlostí pomocí koeficientu 1,6
- › Koeficienty závisí na drsnosti terénu v okolí stanic, na orografii a také na výšce v které se měří
- › Koeficient 1,6 se používá jako nejvhodnější pro přepočty v 10m

Nahrazeny byly jen krátké časové úseky (maximálně 1 měsíc), protože náraz větru je nahodilý a nelze ho přepočítávat v delším časovém období. Došlo by k ovlivnění základního souboru.

drsnost terénu $z_0$	Koeficient pro přepočet stř. rychlosti a nárazu
0,01	1,6
0,03	1,7
0,3	1,9
1	2,1

# Problémy s daty

- › **Nesourodost dat** – tento problém se vyskytl hlavně u veličiny  $D_{MAX}$ .
- › Staré anemografy zaznamenávaly hodnoty v desítkách stupních v rozsahu 1 – 36. Nové měřidla zaznamenávají v rozsahu 1 – 360. U několika stanic došlo k pomíchání těchto záznamů a nebyla zřejmá hranice starého a nového zápisu.
- › Vyřešeno zjištěním data, kdy konkrétní stanice byla digitalizována a byl přechod z anemografu na moderní anemometr.



# Rozdělení na směry větru

- › Pro zpracování nárazů po jednotlivých směrech nutnost rozdělit základní soubor na tyto směry
- › Pro jednoduchou manipulaci s daty – 8 základních směrů – S, SV, V, JV, J, JZ, Z, SZ
- › Provedeno pomocí makra a funkce DMAX v Excelu
- › Nutnost definice jednotlivých podmínek výběru maxima – v kterém rozsahu má hledat, jaká veličina se má hledat a podle jakých podmínek – v tomto případě to byly rozsahy stupňů pro jednotlivé světové strany a rok
- › Poté použita funkce MAX pro jednotlivá roční maxima z těchto zpracovaných hodnot

Příklad rozložení základního souboru dat stanice Svratouch na roční maxima v jednotlivých směrech (vlevo) a celkový maximální roční náraz se směrem (vpravo).

	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ
1990	19,9	19,8	18,1	26,8	36	27,6	35,8	25,9
1991	24,6	20,3	21,2	18,6	30,7	16,7	24	24,3
1992	25,5	14,5	19,0	24,1	34	21,9	25,5	28
1993	22,5	14,2	18,1	29,7	31,1	26,6	32,6	28,1
1994	21,9	18,3	22,0	20,2	35,6	24	31,8	28,8
1995	21,8	16,6	20,7	35,8	29,7	30,9	30,1	26,5
1996	21,1	15,3	19,7	31,9	32,4	23	27,2	28,4
1997	21,9	13,9	13,1	30	30,8	16,9	31	35,8
1998	16,9	13,1	16,9	26,5	26,9	23,1	28,9	23,1
1999	18,3	13,3	19,1	31,4	27,8	22,7	24,4	19,9
2000	20,9	11	18,7	29,4	32,5	21,1	26,1	27,2
2001	16,7	16,4	14,2	25,3	25,3	23,5	28,2	24,7
2002	21	23	16,1	25,7	31,6	21,3	41,1	30,6
2003	25,2	32,6	17,6	17,9	32,4	18,9	31,3	27,5
2004	20	12	14,0	18	27	11	31	22
2005	26,5	38,3	21,9	19,9	32,4	24,2	28	38,8
2006	23	34,7	25,2	19,6	27,7	23,1	31,3	30,9
2007	27	19,8	20,6	22,8	31,6	29,5	39,5	39,9
2008	25,2	18,4	20,8	33,4	35,2	23,3	31,3	37,7
2009	26,2	22,8	18,1	17,5	32,8	16,4	27,5	26,2
2010	17,4	18,9	19,1	21,8	28,9	19,5	28,3	25

	F <sub>MAX</sub> [m/s]	D <sub>MAX</sub> [°]
1990	36	181
1991	30,7	174
1992	34	189
1993	32,6	280
1994	35,6	183
1995	35,8	149
1996	32,4	174
1997	35,8	342
1998	28,9	275
1999	31,4	138
2000	32,5	173
2001	28,2	269
2002	41,1	276
2003	32,6	41
2004	31	279
2005	38,8	310
2006	34,7	265
2007	39,9	324
2008	37,7	318
2009	32,8	187
2010	28,9	186

# Metody pro modelování

- › Vycházeno ze zkušeností ČHMÚ
- › Pro predikci se využívá Metoda maximální věrohodnosti (MLE, Maximum Likelihood Estimate) navázaná na asymetrická rozdělení, která nejvíce průběhem vyhovují průběhu nárazů větru
- › Nejvhodnější rozdělení jsou – Weibullovo, Gumbelovo, Logaritmicko – Normální a Gamma rozdělení
- › Pro modelování extrémních hodnot se také v meteorologii používají dvě speciální metody – Leibleinova metoda a Analýzy individuálních bouří (Method of Independent storms – MIS) – obě tyto metody jsou modifikací Gumbelovy metody

# Metoda maximální věrohodnosti

- › Metoda často používaná pro odhadování parametrů v matematické statistice
- › Základy metody položil v druhé polovině 18. století Daniel Bernoulli
- › Metoda pro nalezení statistiky, která nejlépe odhaduje hledaný parametr rozdělení základního souboru
- › Na začátku je výběr, tj. několik naměřených hodnot náhodné veličiny, u které předpokládáme rozdělení s neznámým parametrem  $\Theta$ .
- › Předpoklad je, že je známa směrodatná odchylka  $\sigma$
- › Pro každou naměřenou hodnotu  $x_i$  se mohou vypočítat hustoty pravděpodobnosti  $f(x_i)$ , pokud se dosadí nějaká předpokládaná hodnota, kterou by mohl mít hledaný parametr  $\Theta$ .



# Metoda maximální věrohodnosti

- › Věrohodnostní funkce  $L$  - u spojité náhodné proměnné se počítá jako součin hustot pravděpodobností v naměřených bodech při dané zvolené hodnotě  $\Theta$  :

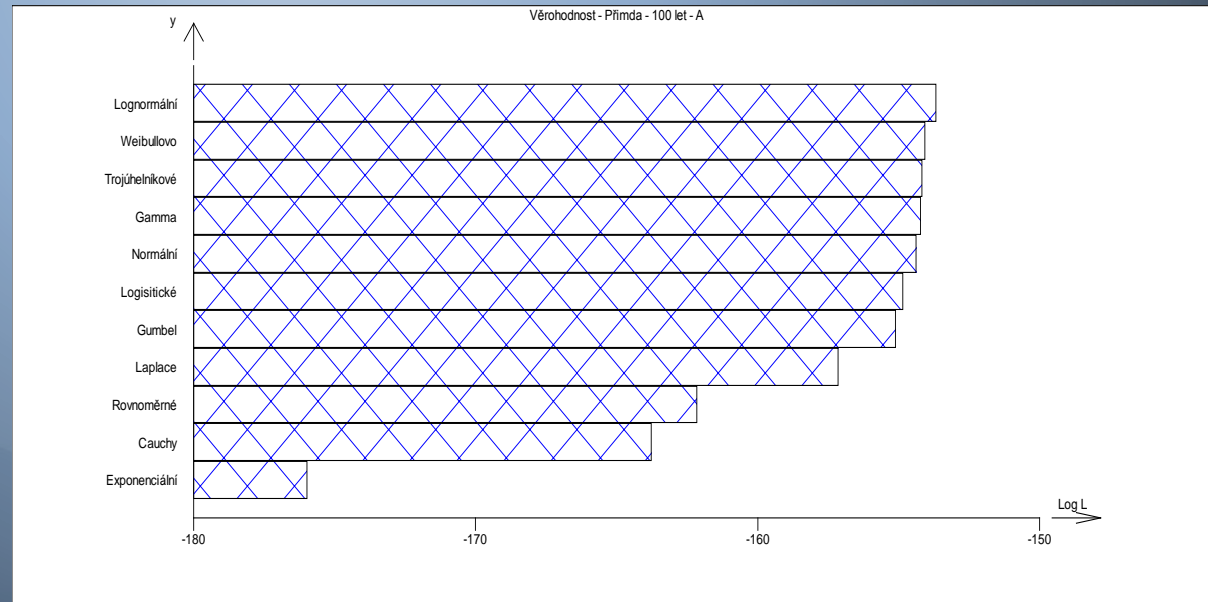
$$L(x, \Theta) = L(x_1, \dots, x_n, \Theta) = f(x_1, \Theta) \cdot f(x_2, \Theta) \cdot \dots \cdot f(x_n, \Theta)$$

- › Jedinou proměnnou v této funkci je hledaný střed rozdělení  $\Theta$
- › Mění-li se předpokládaná hodnota  $\Theta$ , posouvá se rozdělení po ose a mění se i hodnota funkce  $L$
- › Jako maximálně věrohodný odhad  $\Theta$  je právě taková hodnota, pro niž  $L$  dosáhne maxima.
- › Metoda maximální věrohodnosti ve speciálních případech přechází v metodu nejmenších čtverců.

- › Naměřené hodnoty byly testovány pomocí statistického softwaru QC-Expert 3.0 od firmy Trilobyte
- › Stejný software používán i na ČHMÚ – z důvodu přenositelnosti výsledků a postupů použitý stejný software
- › Použit modul pro metodu maximální věrohodnosti (MLE, Maximum Likelihood Estimate)
- › Vybrána asymetrická rozdělení: Gamma, Gumbelovo, Weibullovo a Lognormální.
- › Metody aplikovány na roční maxima nárazů větru, „bez směrů“ – kompletní data a na hodnoty tříděné podle jednotlivých směrů
- › Jako parametry hodnocení byly použity **Věrohodnost** a **P-P proložení**

# Věrohodnost

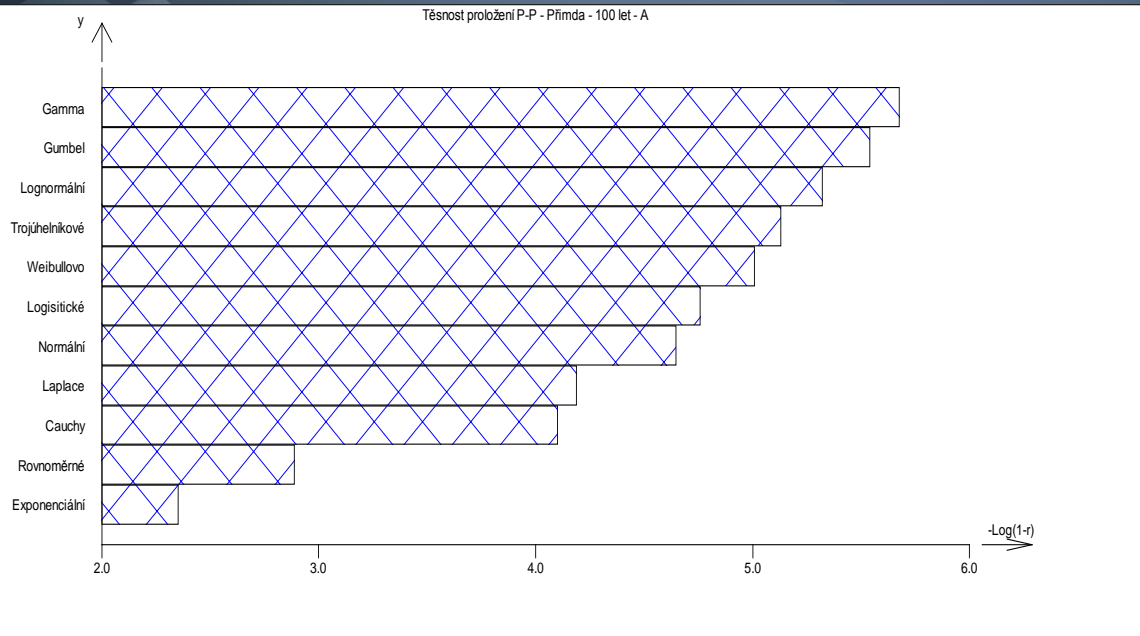
- › Vypočítaná hodnota logaritmu  $L$  maximální věrohodnosti rozdělení
- › Doporučena jako hlavní kritérium pro posouzení, které rozdělení nejlépe odpovídá naměřeným datům - větší hodnota  $L$  odpovídá vhodnějšímu rozdělení.
- › Samotná hodnota  $L$  není rozhodující - souvisí s počtem dat a směrodatnou odchylkou rozdělení
- › pro různě početná data, nebo data s různými směrodatnými odchylkami nelze  $L$  mezi sebou porovnávat



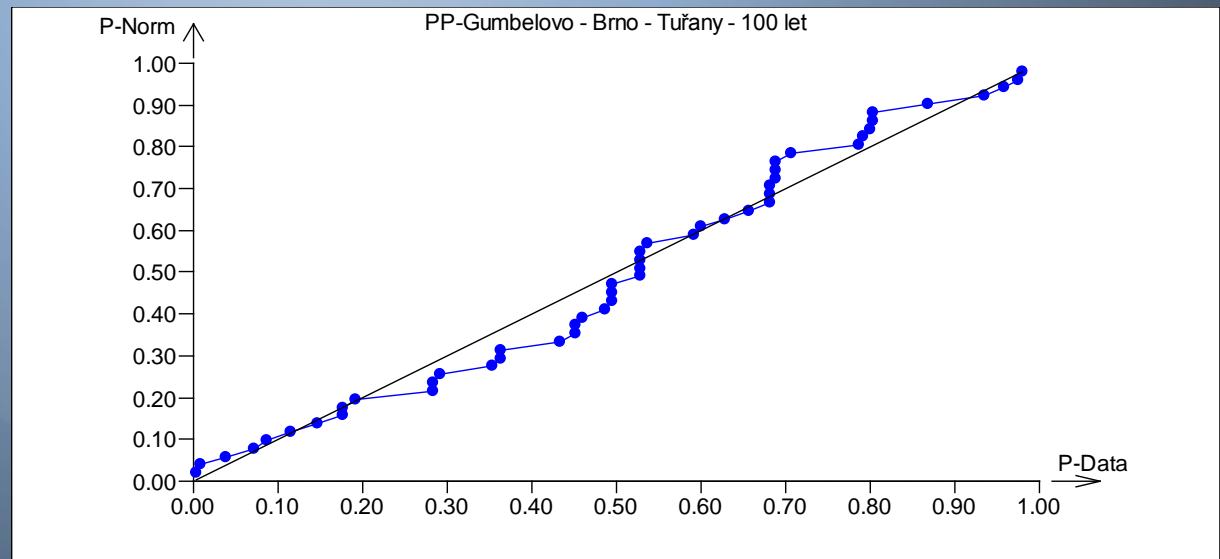
# Těsnost P-P proložení

- › P-P graf umožňuje přímé porovnání distribučních funkcí
- › V grafu je distribuční funkce porovnávaného rozdělení vynesena proti teoretické distribuční funkci.
- › Pokud tvoří tato závislost přímku je rozdělení shodné s teoretickým
- › Graf těsnosti proložení porovnává těsnost proložení v P-P grafu pomocí hodnot odvozených z korelačního koeficientu
- › Tato odvozená hodnota je použita proto, že samotné hodnoty korelačních koeficientů  $r_p$  by nevedly k dostatečnému vizuálnímu rozlišení.
- › Rozdělení s nejvyšší hodnotou se považují za nejlépe vystihující empirickou distribuční funkci dat.
- › Pořadí rozdělení v grafech věrohodnosti a těsnosti proložení není obvykle shodné.

Těsnost P-P proložení  
stanice Přimda pro dobu  
návratu 100let



Graf P-P proložení  
Gumbelova rozdělení  
stanice Brno – Tuřany -  
modře testované hodnoty,  
přímka znázorňuje teor.  
rozdělení



# Liebleinova metoda

- › Liebleinova metoda pro roční maxima se nepoužívá jen pro nárazy větru, ale i pro další predikce hodnot v oblasti hydrologie, sněhová pokrývka atd.
- › Vychází z Gumbelovy metody pro extrémní hodnoty
- › U Gum. metody se hodnoty se počítají vztahem:

$$x = U + \frac{1}{\alpha} \ln N - \frac{1}{\alpha} \ln [- \ln P_{xN}],$$

kde  $1/\alpha$  je rozptyl,  $U$  je modus,  $N$  je počet let doby návratu a

$$P_{xN} = (P)^N$$

kde  $P = 1 - k$ ,  $k$  je kvantil pro příslušnou dobu návratu

# Liebleinova metoda

- › U Gumbelovy metody je základní nedostatek ten, že každá hodnota má stejnou váhu i přesto, že u každé hodnoty je spolehlivost jiná a klesá s rostoucí dobou návratu
- › Lieblein proto zavedl tzv. BLUE metodu (best linear unbiased estimators), kde parametry modusu  $U$  a rozptylu  $1/\alpha$  se stanovují pomocí teoretických stanovených váhových koeficientů  $A_m$  a  $B_m$ , které závisejí na pořadové hodnotě  $m$  ve vzestupné řadě ročních maxim rychlostí a počtu hodnot řady  $M$

$$U = \sum_{m=1}^M A_m X_m ; \quad \frac{1}{\alpha} = \sum_{m=1}^M B_m X_m$$

- › Váhové koeficienty  $A_m$  a  $B_m$  jsou tabelovány v Liebleinově publikaci a v publikaci ESDU, zabývající se těmito metodami

# Analýza individuálních bouří

- › Analýza individuálních bouří (Analysis of Individual Storm nebo také zkráceně MIS) byla zavedena N. J. Cookem jako metoda, jež je založena na Liebleinově metodě
- › Jako předchozí metody používá soubory hodnot maximálních rychlostí větru
- › V tomto případě jsou to maxima, která odpovídají stejnému typu meteorologické události – bouře, přechodům fronty apod.
- › Několik podmínek pro výpočet:
  - › 1) Kompletní data z „větrných“ let
  - › 2) Určení intervalu rychlostí větru pro identifikaci bouří



- › 3) Musí se eliminovat naměřené hodnoty z jedné meteorologické události – u hodinových dat je hranice 10 hodin, vycházející ze znalosti dynamiky bouřek, přechodů front, atd., u denních maxim je hranice 3 dny. U obou typů se vyberou z těchto intervalů nejvyšší hodnoty a označí se jako vrchol bouře.
- › Největší výhodou tohoto postupu je, že lze použít i hodnoty z relativně krátkého období (i méně než 7 let) pro výpočet referenční hodnoty. Tato metoda je také vhodná, pokud je dostatek zdrojových dat, na počítání nárazů z jednotlivých směrů.

# Numerické výsledky

- › Výsledky obsahují všechna rozdělení a metody:
- › MLE - Gamma, Gumbelovo, Weibullovo, Lognormální,
- › Liebleinovu metodu a Analýzu individuálních bouří.
- › Žlutě jsou vyznačeny metody, které nejvíce věrohodností a také P-P proložením odpovídají rozložení nárazům větru. Červeně jsou pak označeny doby návratu maximálního nárazu větru – jednou za X let.
- › Hodnoty jsou předpokládané maximální nárazy větru vypočtené pomocí metody maximální věrohodnosti a ostatních metod v m/s.

Rozdělení	100 let	75 let	60 let	50 let	40 let	30 let	25 let	20 let	15 let	10 let	5 let	3 roky
Normální	45,00264	44,48028	44,06076	43,70683	43,26102	42,66205	42,2662	41,76312	41,0796	40,03615	37,94492	35,99176
Logistické	46,07883	45,29673	44,6879	44,18733	43,57343	42,77692	42,26768	41,63938	40,81792	39,62977	37,4488	35,58465
Cauchy	124,9766	102,0402	88,2689	79,05936	69,86683	60,66698	56,05533	51,43631	46,79624	42,10618	37,20104	34,89734
Laplace	48,36765	47,28261	46,44083	45,75106	44,90871	43,82311	43,13447	42,29212	41,20595	39,67553	37,05894	35,13064
Rovnoměrné	45,474	45,39874	45,32348	45,248	45,135	44,94674	44,796	44,57	44,19326	43,44	41,18	38,16674
Gamma	47,31015	46,47333	45,81305	45,26423	44,58376	43,68874	43,10957	42,38797	41,43436	40,04188	37,51927	35,57555
Gumbel	51,31736	50,08302	49,12377	48,33642	47,37285	46,12682	45,3333	44,35843	43,09257	41,2852	38,08132	35,53161
Trojúhelníkové	45,13623	44,8396	44,57824	44,34125	44,02088	43,55161	43,21699	42,76391	42,09988	40,98629	38,47235	35,97476
Exponenciální	73,04036	69,92331	67,50507	65,52355	63,10368	59,98501	58,00674	55,58687	52,46657	48,07006	40,55325	35,01374
Weibullovo	45,40687	44,87237	44,44149	44,07688	43,61621	42,99488	42,5828	42,05747	41,34095	40,24161	38,02287	35,94306
Lognormální	46,12759	45,45738	44,92546	44,48106	43,92692	43,19214	42,7126	42,11002	41,30346	40,09871	37,77759	35,71755
Lieblein M=20	48,50678	47,89044	47,41147	47,01832	46,53719	45,91501	45,51879	45,03201	44,39994	43,49747	41,89769	40,62455
Lieblein M>20	46,0245	45,26368	44,66346	44,16471	43,54657	42,73396	42,20831	41,55342	40,68734	39,41778	37,06055	35,07158
Analýza Ind. Bouří	52,08918	51,38698	50,83458	50,37664	49,81048	49,06868	48,59037	47,99622	47,21356	46,07306	43,97871	42,23784

## Stanice Přimda

Rozdělení	100 let	75 let	60 let	50 let	40 let	30 let	25 let	20 let	15 let	10 let	5 let	3 roky
Normální	43,37026	42,80305	42,34751	41,96318	41,47908	40,82868	40,39885	39,85257	39,11034	37,9773	35,70649	33,58561
Logistické	44,08744	43,26377	42,62258	42,0954	41,44887	40,61001	40,0737	39,412	38,54688	37,29557	34,99866	33,03541
Cauchy	117,2041	95,5837	82,60251	73,92138	65,2563	56,58431	52,23726	47,88327	43,50943	39,08847	34,46477	32,29325
Laplace	45,99795	44,8813	44,01498	43,30512	42,43822	41,32099	40,61229	39,74539	38,62757	37,05256	34,35973	32,37524
Rovnoměrné	44,777	44,70274	44,62848	44,554	44,4425	44,25674	44,108	43,885	43,51326	42,77	40,54	37,56674
Gamma	45,74141	44,83324	44,11754	43,52323	42,78711	41,82014	41,19515	40,41723	39,39037	37,89271	35,17767	33,02272
Gumbel	49,06117	47,79711	46,81476	46,00845	45,02168	43,74565	42,93303	41,93469	40,63835	38,78746	35,50644	32,89533
Trojúhelníkové	44,37912	44,05513	43,76966	43,51081	43,16089	42,64833	42,28284	41,78797	41,06269	39,84637	37,10054	34,37257
Exponenciální	62,59201	60,10214	58,17046	56,58763	54,65465	52,16348	50,58325	48,65027	46,1578	42,64589	36,64151	32,21658
Weibullovo	45,32168	44,56823	43,96615	43,46042	42,82643	41,98022	41,42469	40,72317	39,77861	38,3575	35,59738	33,14914
Lognormální	45,6394	44,76738	44,08134	43,51228	42,80795	41,88305	41,28501	40,53977	39,55319	38,10298	35,38878	33,0689
Lieblein M=20	46,32981	45,72316	45,25171	44,86475	44,39118	43,77878	43,38879	42,90966	42,28752	41,39924	39,82461	38,57148
Lieblein M>20	44,83084	44,0126	43,36606	42,82809	42,16037	41,28091	40,71094	39,99958	39,05657	37,66925	35,0754	32,8652
Analýza Ind. Bouří	51,48851	50,72015	50,11489	49,61258	48,99084	48,17494	47,64806	46,99269	46,1278	44,86404	42,53162	40,57975

## Stanice Praha - Ruzyně

Rozdělení	100 let	75 let	60 let	50 let	40 let	30 let	25 let	20 let	15 let	10 let	5 let	3 roky
Normální	41,82933	41,35133	40,96744	40,64355	40,2356	39,6875	39,32527	38,86491	38,23943	37,28459	35,37095	33,58365
Logistické	42,22714	41,54125	41,00732	40,56832	40,02994	39,33141	38,88482	38,3338	37,6134	36,57141	34,65873	33,02389
Cauchy	103,3648	85,27629	74,41564	67,15264	59,90304	52,64767	49,01074	45,36799	41,70865	38,00988	34,14149	32,32469
Laplace	43,94428	43,01158	42,28798	41,69506	40,97097	40,03779	39,44584	38,72175	37,78808	36,47253	34,22331	32,56574
Rovnoměrné	43,797	43,7294	43,6618	43,594	43,4925	43,3234	43,188	42,985	42,6466	41,97	39,94	37,2334
Gamma	44,39815	43,5838	42,94307	42,41173	41,7545	40,89268	40,33655	39,64533	38,73444	37,40849	35,00551	33,05111
Gumbel	46,3797	45,33185	44,51753	43,84913	43,03115	41,97338	41,29976	40,47217	39,39757	37,86327	35,14346	32,97897
Trojúhelníkové	43,02595	42,7363	42,4811	42,2497	41,93688	41,47866	41,15193	40,70954	40,06115	38,97381	36,51911	34,08038
Exponenciální	60,58826	58,28587	56,49963	55,03599	53,24856	50,94496	49,48372	47,69629	45,39148	42,14401	36,59174	32,49999
Weibullovo	43,11971	42,52473	42,04828	41,64734	41,14376	40,4699	40,02641	39,46508	38,70689	37,56072	35,31367	33,29347
Lognormální	43,7596	43,01293	42,42624	41,94008	41,339	40,55077	40,04175	39,40821	38,57082	37,34269	35,05354	33,10737
Lieblein M=20	43,44976	42,90354	42,47905	42,13063	41,70423	41,15284	40,80169	40,37029	39,81012	39,01032	37,59254	36,46423
Lieblein M>20	42,32407	41,65738	41,13181	40,69535	40,15475	39,44469	38,98576	38,41444	37,65966	36,55499	34,50998	32,79151
Analýza Ind. Bouří	47,31841	46,66793	46,15609	45,73168	45,20688	44,51906	44,07543	43,52423	42,79791	41,73898	39,79266	38,17289

## Stanice Churáňov

- › V dnešní době na modelování se používají v ČHMÚ výsledky Weibullova a Gumbelova rozdělení.
- › Výsledky Gumbellova rozdělení mohou být ale trochu zrádné. I z výsledků je patrné, že ve většině případů jsou hodnoty vyšší než v případě Weibullova – hodně záleží na konkrétních hodnotách
- › Také díky hodnotám věrohodnosti a P-P proložení je patrné, že nejvíce vhodné bylo v majoritě případů Weibullovo rozdělení. Dále se v pomyslném žebříčku umístila rozdělení Lognormální a Gamma.

- › V případě metod pro extrémní hodnoty:
- › Nejvíce je vhodná Liebleinova metoda, ve většině případů kopírovala průběh rozdělení Gamma nebo Lognormálního.
- › Analýza individuálních bouří je hodně specifická metodika. Pro správný výsledek je nutno splnit několik podmínek pro věrohodný výsledek. Také je tato metoda spíše vhodná pro kratší časové řady, než na dlouhodobý odhad. Nicméně se výsledky hodně blíží Gumbelovu rozdělení, ale s daleko nižším poklesem hodnot v odhadech na jednotlivé doby návratu. To je také problém Liebleinovy metod.

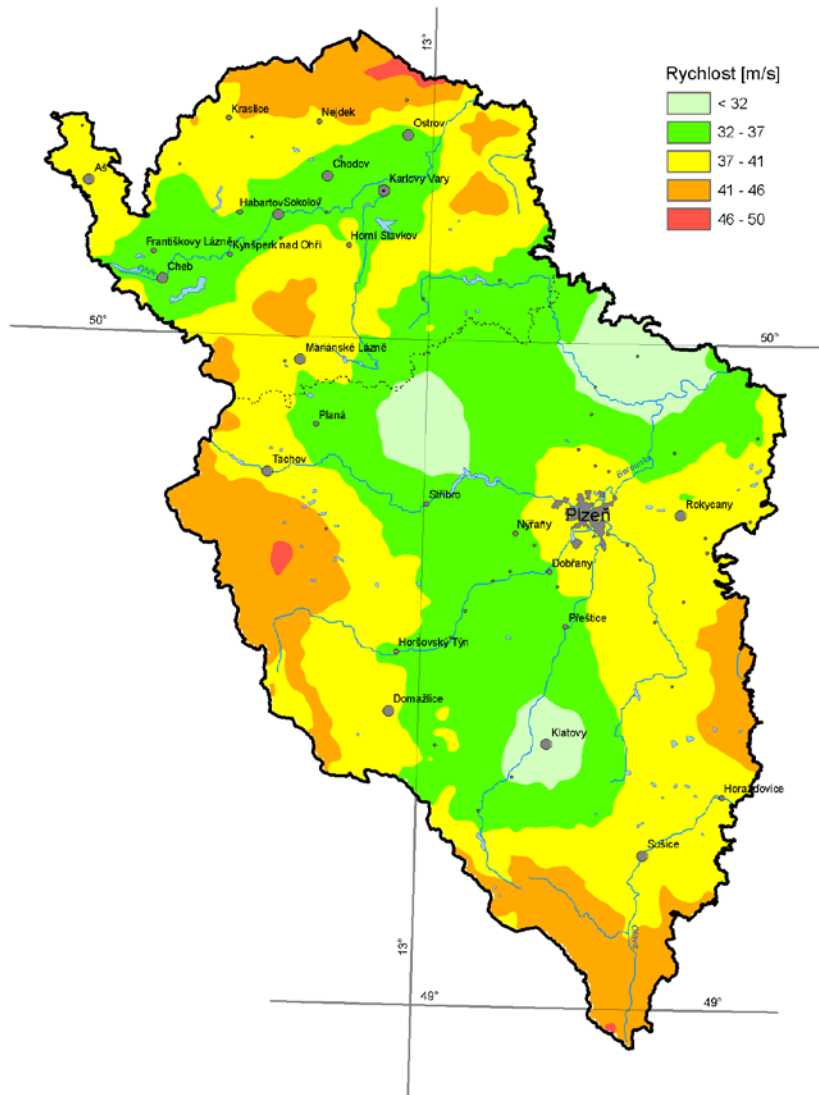
# Grafické výsledky

- › prezentovány ve formě map území České republiky
- › mapy jsou vytvořeny na základě numerických výsledků metod
- › vytvořeny jen pro několik dob návratu, ne pro celou vypočtenou škálu, protože i z numerických výsledků je patrné, že se hodnoty od sousedních dob návratu moc neliší a velmi malé rozdíly nejdou na mapě vyjádřit
- › tvořeny v programu ArcGIS a modulu který má ČHMÚ přímo na tvorbu map – CLIDATA-GIS
- › zadání vypočtených hodnot na příslušné geografické souřadnice meteorologických stanic
- › interpolace na základě geografie, nadmořské výšky a dalších parametrů jsou barevné oblasti nárazů větru „rozprostřeny“ na celé území České republiky. Největší úskalí v této fázi leží na vhodném nastavení barevné stupnice, měřítko rychlosti nárazů

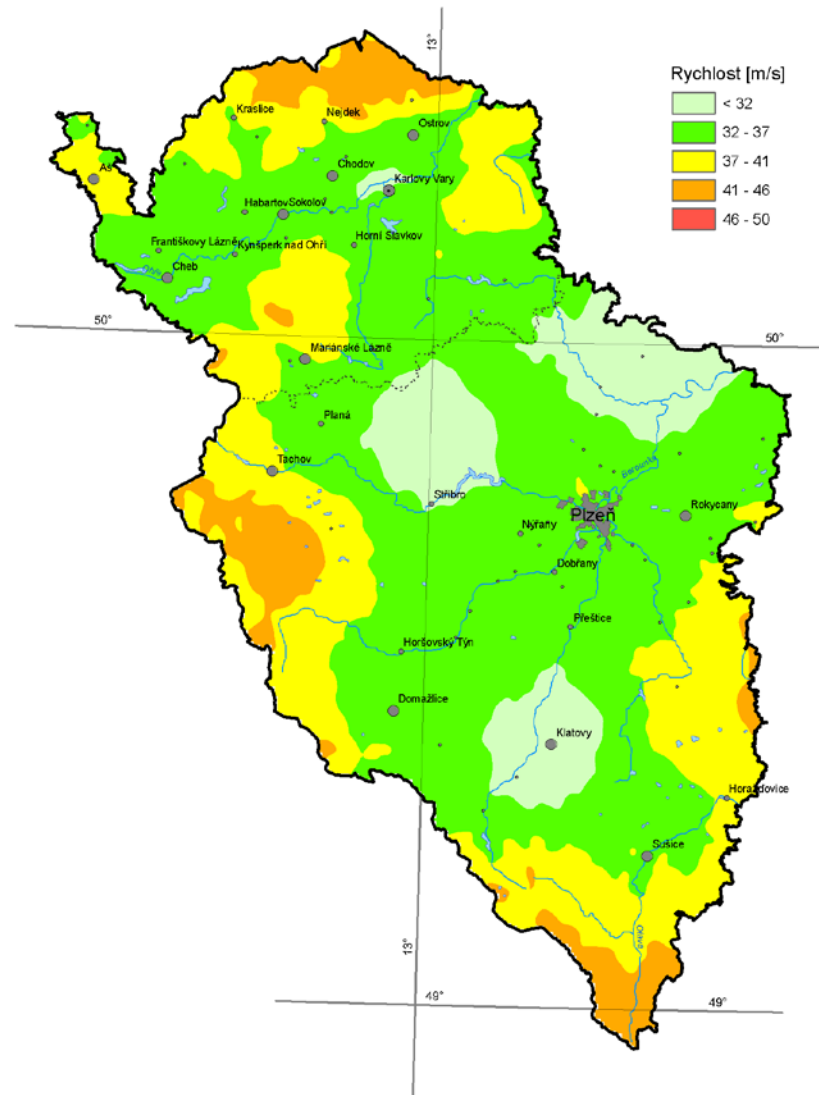
# MAPY

- › Grafické mapy ČR a také Západočeského kraje (diplomová práce)
- › U map ČR – doby návratu 100 let (CLIDATA-GIS) a 5 let
- › U map Západočeského kraje – doba návratu nárazu 50, 30, 20, 10 a 5 let

Maximální náraz větru s dobou návratu 50 let

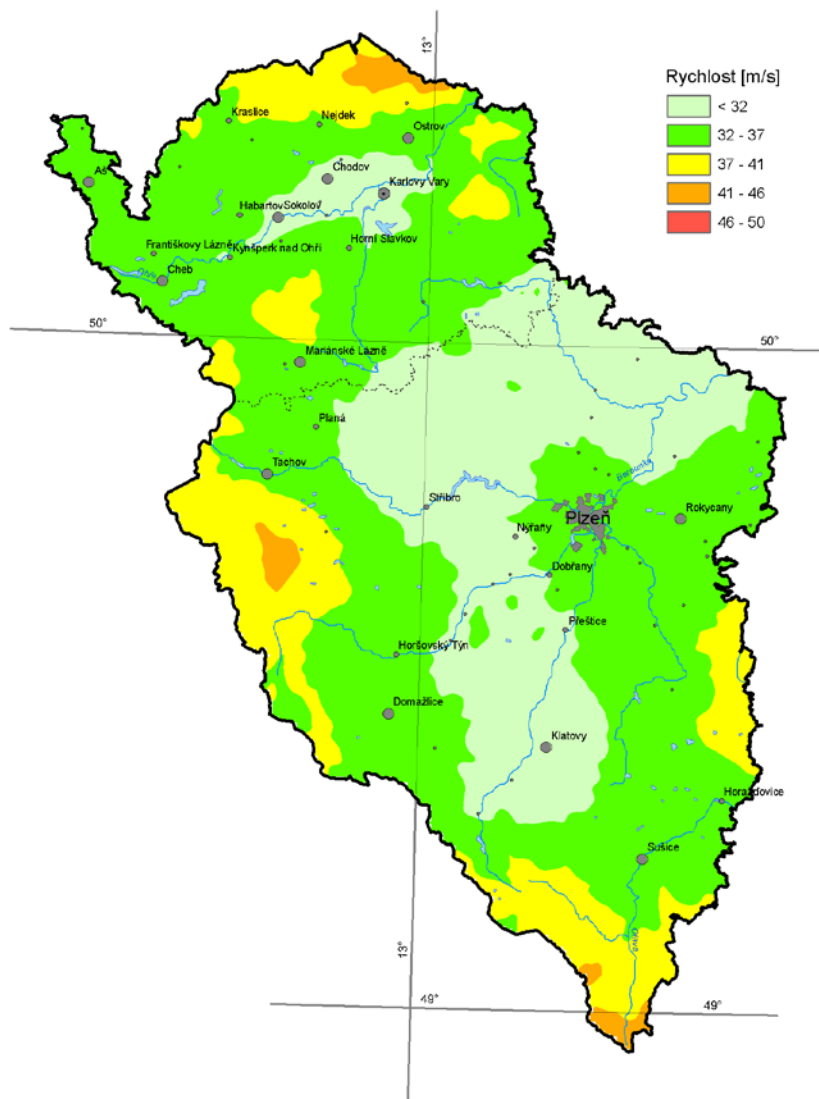


Maximální náraz větru s dobou návratu 30 let

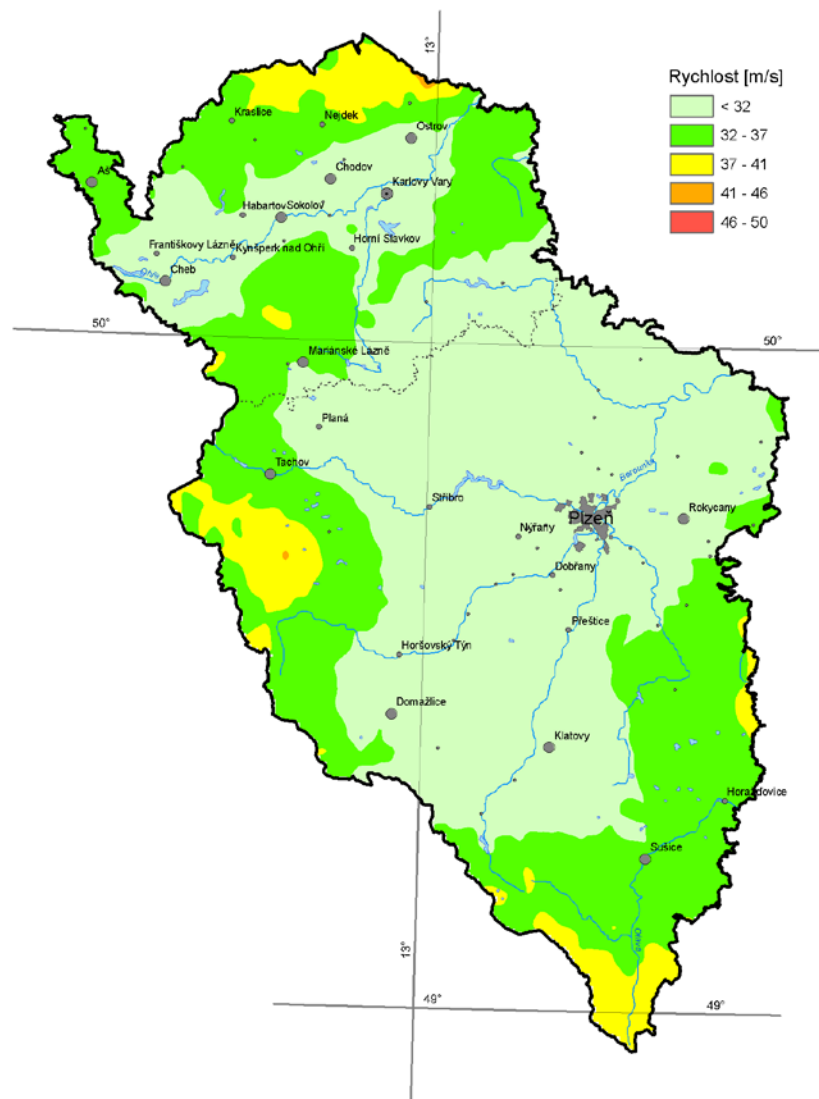




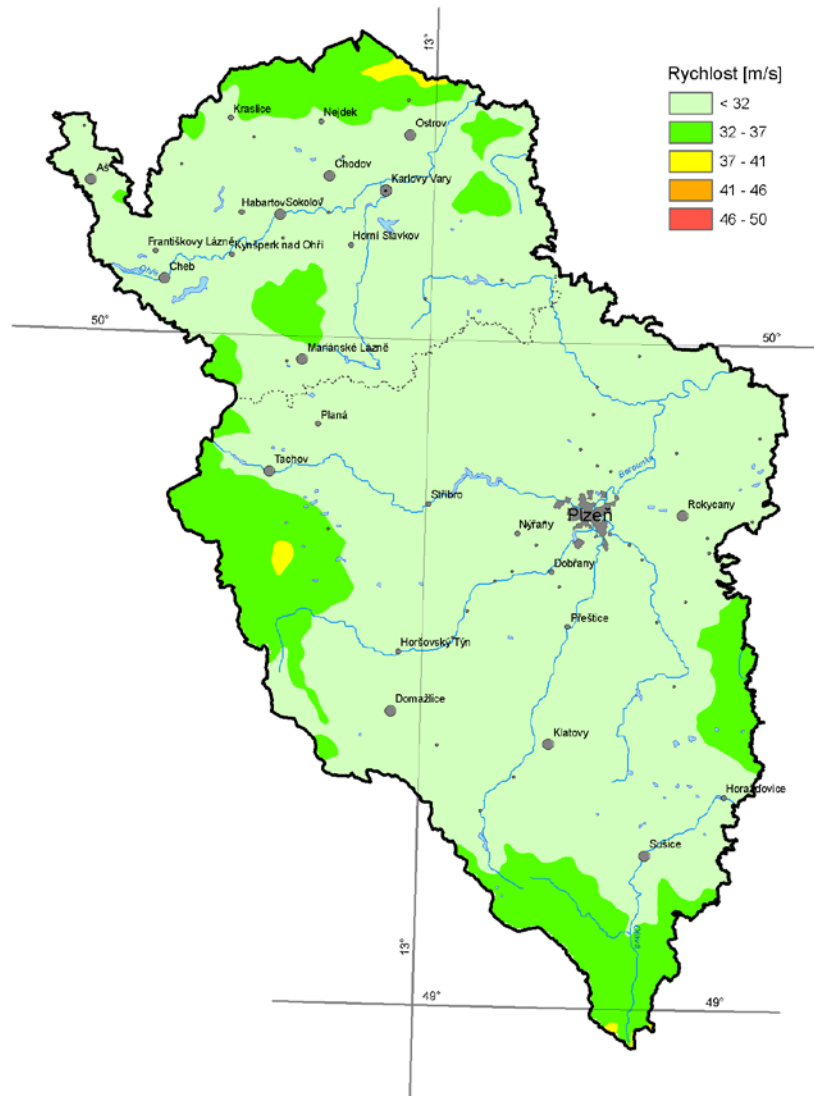
Maximální náraz větru s dobou návratu 20 let



Maximální náraz větru s dobou návratu 10 let



### Maximální náraz větru s dobou návratu 5 let



Děkuji za pozornost