

## INFLUENCE OROGRAPHY ON DESIGN WIND SPEEDS IN THE CZECH REPUBLIC

J. Hostýnek\*, J. Král\*\*

**Summary:** *The necessity of the Czech wind map changes was found out by the analysis of ten-minute wind speeds and wind gusts from the 16 stations during 1981-1999. Some of the gust estimates were significantly higher than equivalent gusts determined from design pressures according the Eurocode. More stations during 1961-2000 were taken into account in a direct collaboration with CHMI. The terrain roughness influences and statistical deviations of time measurements were removed from the ten minute wind speed estimates. The wind speed maps were calculated by standard methods in the GIS environment with utilisation of the altitude variation of the mean wind speed and the low-pass filtration. Mean wind speed map will be used in the national annex of the ČSN EN 1991-1-4.*

### 1. Úvod

V rámci řešení projektů GA ČR byly v KÚ ČVUT studovány podmínky pro zavedení Eurokódu pro zatížení větrem na území ČR. Největší dopad na velikost zatížení má výchozí hodnota základní rychlosti větru, definovaná jako střední rychlost v intervalu deseti minut ve výšce 10 m, v terénu bez překážek (např. letiště) a s roční pravděpodobností překročení  $p = 0,02$  (1x 50 let). Z této rychlosti je odvozena velikost tlaku větru při nárazu větru pro různé kategorie terénu (doba integrace cca 1 s). Předpokládá se, že vzdušný proud je rovnoběžný s povrchem země, jeho turbulence je způsobena pouze překážkami (tj. neuplatňují se gradienty teploty a vlhkosti vzduchu) a flukтуаční složka rychlosti větru je stacionární náhodná veličina, náhodná v čase a v prostoru. Takové proudění odpovídá velmi silnému větru, který se vyskytuje za bouří při přechodu front. V řadě zemí EU na západ od ČR bylo prokázáno, že největší střední rychlosti větru jsou spojeny s tímto typem proudění. V řadě jiných zemí se zatížení větrem odvozuje od maximálních nárazů větru podle jiných modelů. Také platná ČSN 73 0035 obsahuje mapu, která vznikla na základě rozboru nárazů větru.

Při řešení projektu GA ČR byly získány starší výsledky statistického rozboru nárazů větru. Ze získaných dat od ČHMÚ byl proveden výchozí statistický odhad středních rychlostí a nárazů větru pomocí obvyklých metod u profesionálních stanic ČHMÚ. Cílem těchto prací bylo zjistit skutečné velikosti odhadů rychlostí, porovnat je s předchozími odhady (u nárazů větru), vyšetřit aktuální možnosti získání věrohodných souborů dat od ČHMÚ a vybrat vhodné metodiky pro jejich zpracování. Hlavním důvodem těchto prací byla skutečnost, že podle metodiky Eurokódů dochází k výraznému nárůstu zatížení stavebních konstrukcí větrem oproti dosud používané ČSN 73 0035. V úvodní části příspěvku je uvedeno stručné shrnutí získaných poznatků.

Tyto poznatky byly využity rámci řešení rozborového úkolu ČNI. Podle požadavků KÚ ČVUT vyhodnotil ČHMÚ dostupné informace a sestavil mapu desetiminutových rychlostí,

\* RNDr. Jiří Hostýnek, ČHMÚ pobočka Plzeň, Mozartova 1, 323 00 Plzeň, e-mail: hostynek@chmi.cz

\*\* Ing. Jaromír Král, CSc., ČVUT Kloknerův ústav, Šolínova 7, 166 08 Praha, e-mail: jkral@klok.cvut.cz

kteřá by měla být součástí národní přílohy k ČSN EN 1991-1-4. Ve druhé části příspěvku jsou popsány postupy a metody, které byly při jejím vytvoření použity.

## 2. Výchozí statistický rozbor rychlostí větru

### 2.1 Zatížení větrem na území ČR

Minimálně od roku 1918 se při stanovení velikosti zatížení staveb větrem na území ČR vycházelo ze základního tlaku větru  $w_0 = 0,55$  kPa v otevřeném terénu ve výšce 10 m. V souvislosti s vývojem norem byla různě interpretována - např. jako dvouminutová rychlost se střední dobou návratu 5 let (ČSN 730035: 1976) nebo desetisekundová rychlost se střední dobou návratu 80 let (včetně součinitele zatížení, ČSN 730035:1986). Při výpočtu zatížení větrem se tato hodnota dále upravovala podle stavu poznání a způsobu navrhování různými systémy součinitelů - tj. součiniteli tvaru, výšky, kategorie terénu a zatížení resp. kombinace zatížení. Odvozená zatížení větrem byla pokládána za bezpečná. Změny výpočtu zatížení v normách byly obvykle kontrolovány ověřovacími výpočty a následně byly modifikovány tak, aby vedly zhruba ke stejným výsledkům jako předchozí normový postup.

Z hlediska důsledků dalších kapitol je důležité, že základní tlaky větru (0,55 kPa a 0,45 kPa) v jednotlivých oblastech byly definovány v ČSN 73 0035 tak, aby:

*„... hodnoty základního tlaku větru  $w_0$  vynásobené součinitelem zatížení  $\gamma_f = 1,3$  odpovídaly rychlostem větru průměrným v časovém úseku 10 s, se střední dobou návratu rovnou 80 let.“*

Podrobnější popis postupu při stanovení základních tlaků větru uvádí Boháč (1984). Základní tlak byl definován jako 75% tlaku při maximálním nárazu větru. Snížení zahrnovalo převod nárazu větru (střední rychlost v časovém intervalu asi 3 s) na střední rychlost v intervalu 10 s, snížení zatížení v důsledku prostorové korelace flukтуаčního zatížení pro nejčastější rozměry staveb a korekci nepřesnosti používaných anemografů. Statistické odhady nárazů větru byly přitom v každé oblasti průměrovány. Při použití v normě stanovených součinitelů zatížení (1,3 resp. 1,2) byla reálná hodnota součinitele zatížení  $\gamma_{f,skut} \leq 1$ . Výpočtové zatížení ve výšce 10 m pro součinitel tlaku  $c_p = 1$  bylo stejné nebo menší než tlak větru, odpovídající statistickému odhadu nárazu větru se střední dobou návratu za 80 let.

Při vydání ČSN ENV 1991-2-4 nebyly desetiminutové rychlosti pro ČR k dispozici. Proto bylo v ENV zachováno rozdělení území ČR na dvě oblasti podle ČSN 730035 a pro tyto oblasti byly definovány dvě základní rychlosti větru (24 m/s a 26 m/s), stanovené na základě analýzy maximálních nárazů větru let (Vorlíček, 1976) a poznatků z literatury. Součinitel zatížení pro zatížení větrem stanoví jiný Eurokód. Jeho hodnota je nyní  $\gamma_f = 1,5$ .

### 2.2 Použité soubory rychlostí a metody odhadu

V letech 2001 a 2002 pracovníci ČHMÚ na základě požadavků řešitele projektu vybrali meteorologické stanice, u kterých lze v období 1981-1999 pokládat datové soubory v databázi SYNOP za homogenní a spolehlivé. Pro každou z těchto stanic dále vybrali soubory 100 maximálních nekorelovaných středních rychlostí z databáze SYNOP (maxima jednotlivých bouří). Tyto soubory byly použity pro odhad maximálních desetiminutových rychlostí s pravděpodobností překročení  $p = 0,02$  v jednom roce. Odhady nárazů větru byly stanoveny ze souborů ročních maxim převážně z období let 1981-1999, které v rámci spolupráce poskytl řešiteli projektu Ing. Lehký z EZÚ v Brně.

Podle ESDU (1987) se pro stanovení odhadů rychlosti větru s požadovanou střední dobou návratu obvykle používají soubory ročních maximální rychlosti nebo soubory nekorelovaných

maximálních rychlostí při jednotlivých bouřích. Data se dále analyzují nezávisle na typu meteorologických situací a směru větru, pro typické meteorologické situace nebo jednotlivé směry větru (např. po 30°). Jako teoretický model distribuční funkce měřených rychlostí se doporučuje Weibullovo rozdělení ve tvaru

$$P_V = 1 - \exp \left( - \left( \frac{V}{c} \right)^k \right) \quad (1)$$

kde  $V$  je analyzovaná rychlost větru,  $k$  a  $c$  jsou empirické konstanty,  $P_V$  je pravděpodobnost, že hodnota bude menší než  $V$ . Pravděpodobnost překročení této hodnoty rychlosti je  $(1 - P_V)$ . Distribuční funkce  $P_x$  extrémů  $x$  téhož souboru konverguje ke známým rozdělením extrémních hodnot (rozdělení maximálních a minimálních hodnot typu I, popř. II nebo III (Vorlíček a další, 1982), která jsou speciálním případem obecného rozdělení extrémních hodnot ve tvaru

$$P_v(V) = \exp \left\{ - \left[ 1 - k(V - u) / a \right]^{1/k} \right\} \quad (2)$$

kde  $k$  je součinitel tvaru. Pro analýzu maximálních ročních rychlostí nebo pro soubory smíšeného typu bez rozlišení typu bouří nebo meteorologických situací je nejvhodnější konzervativní Gumbelovo rozdělení ( $k = 0$ ).

Tradiční analýza souborů ročních maximálních rychlostí vychází z předpokladu, že data vyhovují Weibullovu rozdělení. Distribuční funkce  $P(x)$  extrémů  $x$  téhož souboru konverguje k rozdělení Fischer-Tippet typu I (Pearsonovo rozdělení IV. typu) ve tvaru

$$P_x = \exp \left[ - \exp(-y) \right] \quad (3)$$

kde  $y = \alpha(x - U)$  je normalizovaná proměnná,  $P(x)$  je pravděpodobnost, že maximální hodnota bude menší než  $x$  v každém roce,  $U$  je modus a  $1/\alpha$  je směrodatná odchylka. Střední doba návratu je definována vztahem  $T = 1 / (1 - P(x))$  roků.

Z hlediska rychlosti konvergence se doporučuje použít hodnotu  $x = V^2$ . Součin  $U\alpha$  je charakteristická hodnota pro určitý typ meteorologické situace, typ terénu a výšku. Pro odhad  $P(x)$ ,  $U$  a  $\alpha$  se doporučuje použít postup publikovaný Gumbel (1958). Tento postup později modifikoval Cook (1982) pro maxima jednotlivých bouří. Spolehlivost aproximace se kontroluje pomocí konfidenční pravděpodobnost a konfidenčních mezí.

Gumbelův postup byl v při výchozím zpracování použit jako základní. Získané odhady byly porovnávány s odhady podle Liebleinovy metody BLUE (Best Linear Unbiased Estimators) a s odhady podle Paretova rozdělení pro různé hodnoty minimální rychlosti.

### 1.3 Výsledky výchozího statistického rozboru rychlostí větru

Metody analýzy souborů dat, získané výsledky a poznatky jsou uvedeny ve výzkumných zprávách (Král, 2002) a byly publikovány (Král, 2005). Závěry lze shrnout takto.

a) Gumbelův postup byl použit jako základní pro odhady středních rychlostí a nárazů větru ve vybraných stanicích. Odhady pro střední dobu návratu 50 let ukazuje mapa na obr. 1. U jmen příslušných meteorologických stanic a observatoří na mapce jsou ve tvaru zlomku vyznačeny maximální hodnoty nárazu větru a 10 minutových rychlostí.

b) Odhady rychlostí jinými metodami (BLUE, Paretovo rozdělení, Cookova modifikace Gumbelova postupu) nejsou s těmito výsledky v rozporu.

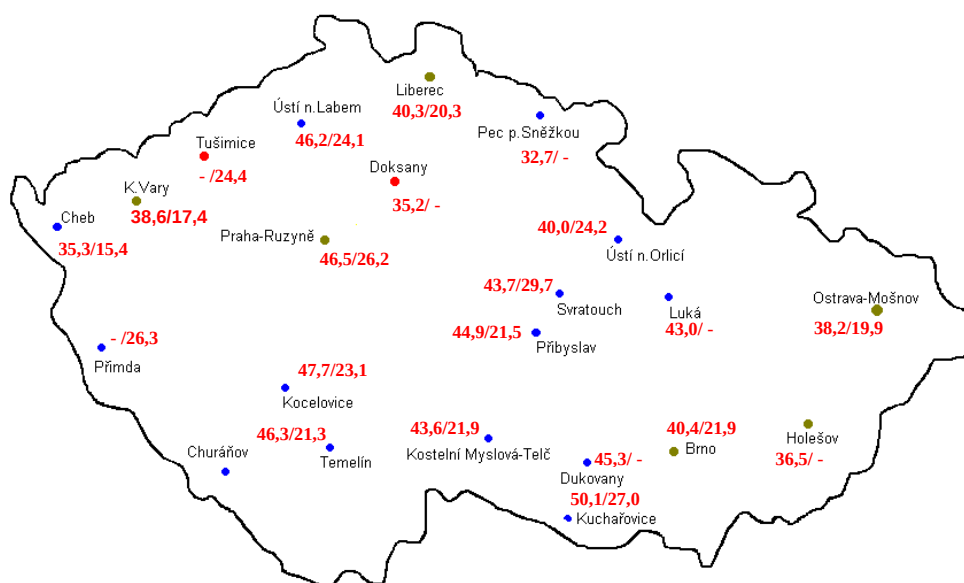
c) Klasické odhady (Gumbelův postup) o 4 % vyšší než odhady pomocí Paretova rozdělení s největším zvoleným dolním limitem rychlosti.

d) Odhady 10 minutové rychlosti s dobou návratu 50 let ze souborů maximálních hodnot pro jednotlivé bouře v období 1981-1999 jsou v průměru o 17 % vyšší než odhady hodinové dráhy větru a v průměru o 5 % vyšší než odhady téže rychlosti, stanovené z termínových měření 1961-1999 v téže stanici.

e) Pro stanice na území České republiky je typické, že maximální roční náraz větru, maximální roční hodinová dráha větru a maximální roční hodnota termínové rychlosti se obvykle nevyskytují ve stejný den, ani při stejné meteorologické situaci. Pokud k tomu ve výjimečném případě dojde, je jedna z uvedených rychlostí relativně malá vzhledem k absolutnímu maximu této rychlosti v dané stanici.

f) Odhady nárazů větru pro střední dobu návratu 50 let se v období 1982-2000 u některých stanic výrazně nezměnily vzhledem k období 1961-1974, u jiných stanic došlo k výraznému zvýšení nebo snížení.

g) Nejvyšší střední rychlosti větru jsou zaznamenávány za bouří při přechodu front. Odvozené nárazy větru podle modelu v Eurokódu jsou výrazně nižší než maximální nárazy větru, naměřené při lokálních bouřích a odpovídající statistické odhady. V článku (Král, 2005) byl navržen způsob, jak uvážit tyto situace při posuzování stavebních konstrukcí.



(odhad střední rychlosti/odhad nárazu větru [m.s<sup>-1</sup>])

Obr. 1 – Odhady desetiminutových středních rychlostí a nárazů větru pro roční pravděpodobnost překročení  $p = 0,02$  ve vybraných stanicích.

### 3. Analýza souborů dat

#### 3.1 Výběr stanic a použítá data

Pro zpracování mapy byla použita data ze 46 meteorologických synoptických a vybraných klimatologických stanic ČHMÚ s dlouhou pozorovací dobou a vhodným umístěním pro měření větru. Do zpracování byly rovněž zahrnuty kratší řady sousedních stanic v Německu – Grosser Arber (Šumava), Fichtelberg a Zinnwald (Krušné hory). Vzhledem k masivnímu

nástupu automatických systémů měření a zásadním změnám v přístrojovém vybavení obou typů stanic po roce 2000, bylo vybráno období 1961-2000. V tomto období se používaly v profesionální staniční síti universální anemografy a na klimatologických stanicích anemoidikátory Metra 963. Oba typy přístrojů byly pravidelně kalibrovány podle interních předpisů ČHMÚ.

Z oficiální klimatologické databázové aplikace ČHMÚ CLIDATA byla vybrána hodinová data rychlosti větru (odečet 1x za hodinu, prvek F = desetiminutové střední hodnoty) a termínová měření rychlosti větru v 7, 14, 21 hod SEČ bez ohledu na typ meteorologické situace, směr větru nebo zvrstvení atmosféry.

Použití středních rychlostí v hodinových intervalech bylo omezeno. Tato data se stále zpětně digitalizují a ani jedna stanice neměla data za celé referenční období. U většiny stanic se daly využít pouze záznamy z periody 1982 – 2000. Toto období se jevilo jako příliš krátké pro extrapolaci ročních maxim pro výpočet střední doby návratu za 50 let. Především však tato originální data neprošla ještě ve všech letech validací. Vzhledem ke kvalitě dat bylo rozhodnuto opravit jen nejkvalitnější řady z profesionálních stanic a použít je pro testování rozdílů odhadů rychlostí z termínových a hodinových souborů rychlostí.

Datové soubory termínových rychlostí byly podrobeny kontrolním algoritmům pro detekci výpadků měření a případných chyb a dále byla vypočtena roční maxima. Většina vybraných stanic měřila po celé období, některé měly kratší řadu. Vzhledem k velké variabilitě rychlosti větru nebyla chybějící roční maxima extrapolována z referenčních stanic, ale vypočtené odhady rychlosti byly označeny a v případě neoddiskutovatelných abnormálních rozdílů od okolních stanic byly vyřazeny pro nižší míru spolehlivosti. Pro výpočet odhadů středních rychlostí byly použity soubory ročních maxim termínových rychlostí za období 1961-2000.

### 3.2 Výběr rozdělení

Po výběru ročních maximálních desetiminutových rychlostí následoval výběr vhodného statistického modelu pro výpočet střední doby návratu pro  $p = 0,02$ . Výběr byl testován pomocí statistického software QCExpert 2.5. Modul hledá metodou maximální věrohodnosti (MLE, Maximum Likelihood Estimate) statistický model (rozdělení), který nejlépe popisuje data. Vzhledem k charakteru řad ročních maxim byla z nabídnutých rozdělení vybrána asymetrická rozdělení četnosti: Gamma, Gumbelovo, Trojúhelníkové, Exponenciální, Weibullovo a Lognormální. Modul vypočítá parametry těchto rozdělení pro zadaná data a vyhodnotí nejlepší rozdělení podle dvou kritérií: věrohodnostní funkce a korelačního koeficientu P-P grafu. Parametry jsou vypočítány numerickou maximalizací věrohodnostní funkce. Kromě parametrů jednotlivých modelů a vybraných odpovídajících statistik se počítají také zadané kvantily a pravděpodobnosti a vytváří se diagnostické grafy. Podle výsledků tohoto výpočtu lze učinit následující závěry:

- z testovaných šesti rozdělení byl nejvyšší průměr P-P koeficientů u Lognormálního rozdělení, všechny řady rychlostí však nebylo možné proložit tímto modelem;
- druhý nejvyšší průměr P-P koeficientů mělo Gumbelovo rozdělení, odhad hodnoty rychlosti byl možný u všech řad rychlostí;
- ostatní rozdělení byla podle P-P koeficientů méně vhodná.

Pro odhad střední rychlosti s požadovanou roční pravděpodobností překročení bylo použito dvouparametrické Gumbelovo rozdělení s odhadem parametrů MLE metodou.

#### 4. Korekce vypočtených odhadů

Homogenní řady meteorologických synoptických stanic byly vybrány pro testování rozdílu odhadů rychlostí s požadovanou roční pravděpodobností překročení  $p = 0,02$ , vypočtených podle Gumbelova rozdělení nezávisle na sobě z termínových a hodinových dat. Cílem bylo nalezení korekčního koeficientu pro zpřesnění odhadů rychlostí vypočtených z termínových dat. Srovnávací výpočty byly provedeny u 13 stanic. Největší rozdíly mezi odhady z termínových a hodinových dat byly zaznamenány u stanic Přimda (126,7 %) a Pardubice (86,9 %). Při vynechání těchto dvou stanic činila difference průměrného odhadu rychlosti hodinových vůči termínovým měřením (104,3 %), při zahrnutí obou stanic 104,7 %. Za předpokladu zachování kvazikonstantních podílů na zbývajících netestovaných stanicích byly navýšeny odhady rychlostí se střední dobou návratu o 5%, tzn. o rychlosti  $1 \text{ až } 2 \text{ m.s}^{-1}$ . U vrcholových stanic (Milešovka, Lysá Hora, Praděd, Svratouch) nebyl tento koeficient použit, protože vypočtené odhady z naměřených dat leží nad hranicí  $30 \text{ m.s}^{-1}$  a korekce nad touto hranicí neměla pro mapové zpracování význam.

V dalším kroku byly korigované odhady rychlosti lokalizovány do polohy stanic v souřadném systému X-Y prostředí ARC View 3.1. V místech stanic se odečetl z vektorové vrstvy LU (land use) typ povrchu v okolí stanice. Různé typy povrchu byly sdruženy do těchto tříd: voda, pastvina (orná půda), řídká zástavba (předměstí), město a les a každé třídě byla následně přiřazena specifická drsnost povrchu. Kromě letištních a vrcholových stanic se na všech ostatních stanicích provedla korekce na drsnost pro terén kategorie II, tedy  $z_0 = 0,05 \text{ m}$ . Odhady rychlostí se střední dobou návratu 50 let byly opraveny o následující korekce.

Tabulka 1 – Korekční součinitel pro různé drsnosti terénu v místě stanice

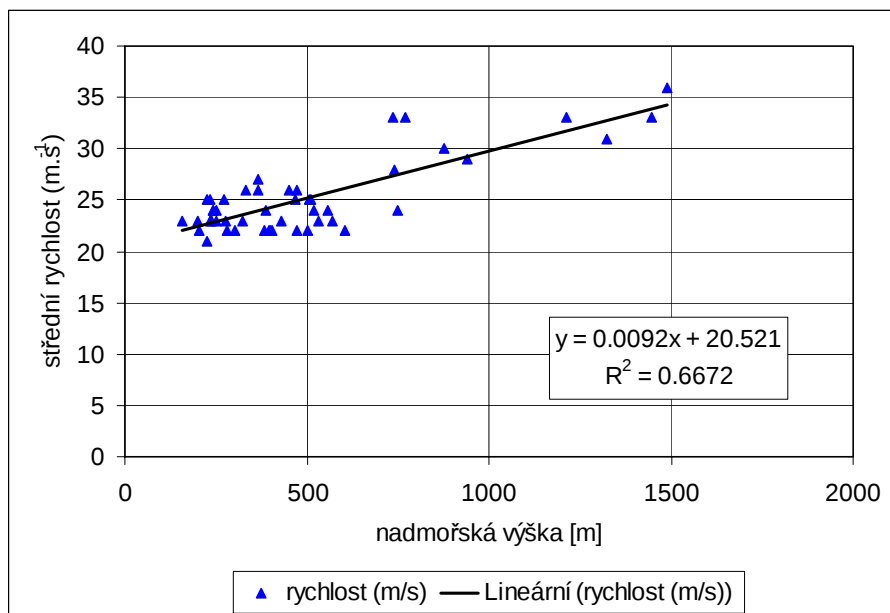
| Intervaly drsnosti               | Parametr drsnosti povrchu $z_0$ (m) | Korekční součinitel |
|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| Vodní plocha                     | 0,0002                              | nepoužit            |
| Pastviny, orná půda, letiště     | 0,05                                | 1,0                 |
| Předměstí, řídký porost, zahrady | 0,2                                 | 1,05                |
| Les, městská zástavba            | 0,9                                 | 1,1                 |

#### 5. Zpracování mapy odhadů středních rychlostí

Konstrukce mapy vycházela z korigovaných odhadů rychlostí lokalizovaných do polohy stanic. Vzhledem k nerovnoměrnému rozdělení stanic na území ČR se použilo fiktivních stanic (bodů) k zahuštění sítě výpočetních bodů a to pro oblasti s extrémně vzdálenými skutečnými stanicemi. Do těchto uzlových bodů byly extrapolovány již vypočtené odhady podle regresní rovnice, která popisovala vztah rychlostí se zvolenou dobou návratu a nadmořskou výškou – viz obr. 2. Regionálně se tak zvýšila přesnost odhadů v různých nadmořských výškách.

Plošné rozložení odhadnutých rychlostí bylo zpracováno v prostředí GIS za použití orografické interpolace, digitálního modelu terénu (DEM) a matematické metody IDW. Tato metoda je standardně používána v ČHMÚ pro znázornění rozložení klimatologických prvků v plošném zobrazení. Výpočet byl směřován do rastrové podoby v kroku 200 m. Vyhlazení

čtverců se provedlo nízkofrekvenčním filtrem s pětinasobným počtem cyklů. Testovaly se také další matematické metody orografické interpolace jako „Kriging“, „Trend“ a „Spline“.



Obr. 2 – Závislost odhadů střední rychlosti na nadmořské výšce

Z testování odchylky vypočtených odhadů rychlostí od rastrových hodnot v místech stanic vyšla nejlepší metoda IDW. Tato metoda využívá lokalizovanou lineární regresi mezi nadmořskou výškou a měřenou hodnotou. Postup výpočtu je následující:

1. Pro každou stanici se vyhledá seznam okolních stanic (dle parametru regresní poloměr)
2. Z tohoto seznamu se vypočítají pomocí zvolené interpolační metody (IDW, Spline, Kriging) regresní koeficienty  $a$ ,  $b$ .
3. Dosazením vypočtených koeficientů  $a$ ,  $b$  do regresního vztahu se určí rozdíl mezi změřenou a vypočtenou hodnotou rychlosti  $\delta$ .
4. Další proces provádí bodové interpolace do rastrové vrstvy dle zvolené interpolační metody.
5. První se vypočte vrstva  $Grid\_B$  interpolací pole  $b$ .
6. Dále se vypočte vrstva  $Grid\_A$  interpolací pole  $a$ .
7. Následuje výpočet vrstvy  $Grid\_Delta$  interpolací pole  $\delta$ .
8. Nakonec se vypočte pomocí mapové algebry celkové rozložení prvku

$$celkem = Grid\_a + (vyska\_g \cdot Grid\_b) + Grid\_delta \quad (4)$$

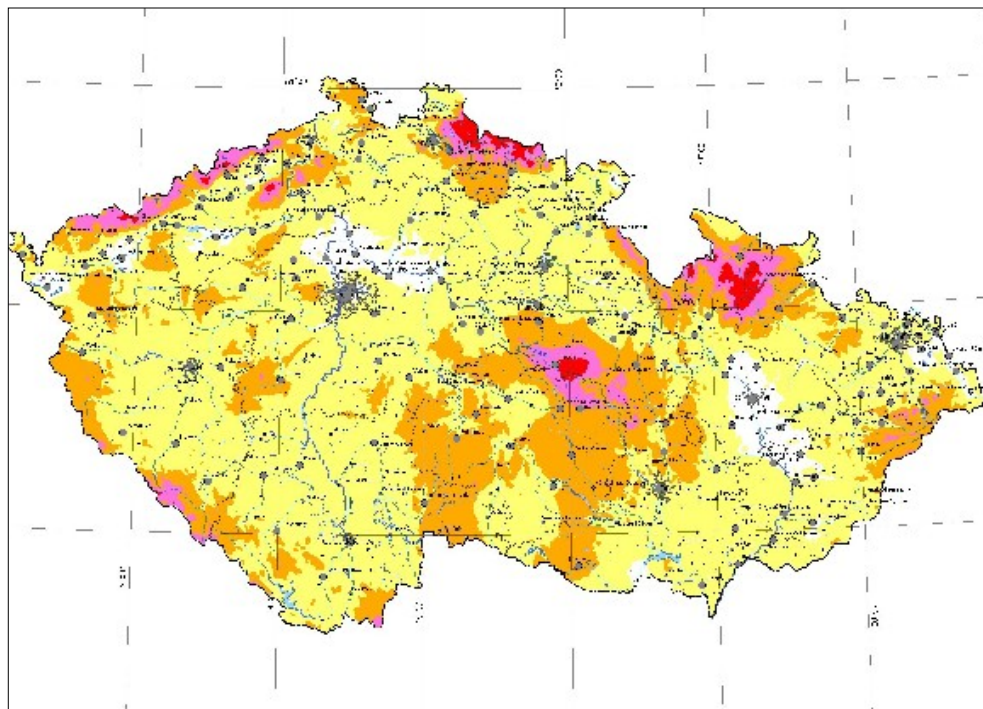
kde  $vyska\_g$  je nadmořská výška z digitálního modelu terénu (DEM).

Použití interpolační metoda IDW počítá hodnotu v každé buňce váženou lineární kombinací hodnot naměřených na nejbližších stanicích, kde váha je obrácená vzdálenost od stanice.

$$h_{odh} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{h_{sk}}{d_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^{st}}} \quad (5)$$

kde  $h_{\text{odh}}$  je odhadovaná hodnota;  
 $h_{\text{sk}}$  známá hodnota v  $i$ -tém bodě;  
 $d_i$  vzdálenost mezi  $i$ -tým bodem a odhadovaným bodem;  
 $n$  počet stanic vstupující do interpolace;  
 $st$  stupeň mocnění váhy.

Zpracovanou mapu odhadů desetiminutových středních rychlostí roční pravděpodobností překročení  $p = 0,02$  ukazuje obr. 3.



Obr. 3 – Mapa desetiminutových středních rychlostí (pracovní verze)

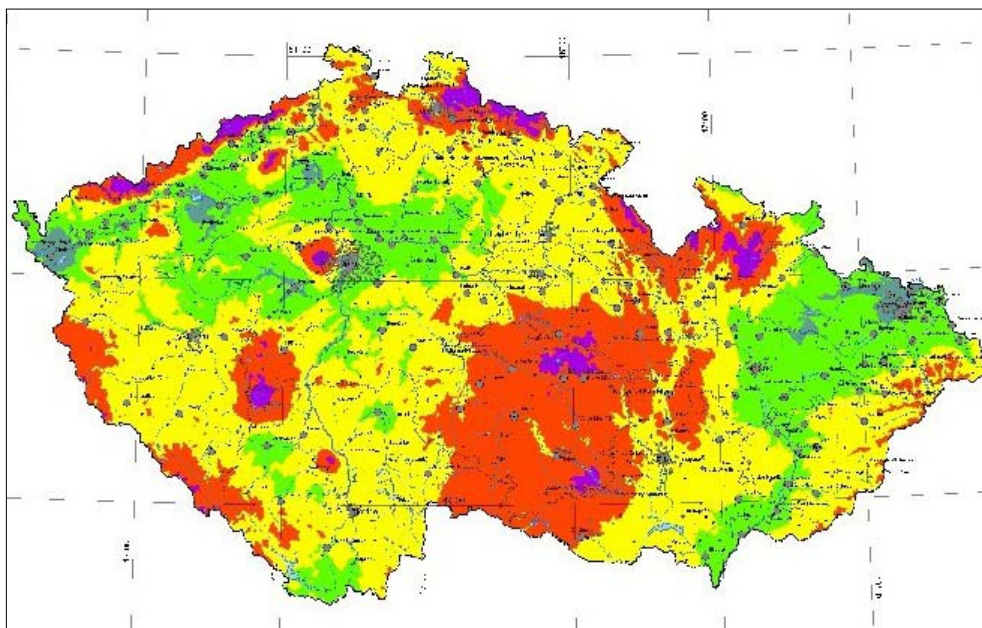
## 6. Nárazy větru

Nárazy větru jsou krátkodobé maximální rychlosti způsobené fluktuací proudění při specifických meteorologických podmínkách v důsledku silného proudění nad nerovným povrchem případně překážkami. Velikost nárazu ovlivňoval do doby instalace senzorů Vaisala nepřímo i lidský faktor v důsledku subjektivního odečítání rychlosti z grafického záznamu na anemografické pásce. V databázi ČHMÚ jsou uloženy nárazy v podobě prvku  $F_{mx\_Ag}$ , tzn. digitalizované maximální denní několikasekundové nárazy z anemografických pásek. Nárazy větru se vyskytují jak při přechodu front tak při lokálních bouřích. Při dalším zpracování nebyly nárazy kategorizovány, základním obdobím byla u prvku  $F_{mx\_Ag}$  perioda 1981-2000. Z maximálních denních nárazů byly vypočteny maximální roční nárazy, ze kterých se stanovily opět pomocí Gumbelova rozdělení odhady maximálních rychlostí roční pravděpodobností překročení  $p = 0,02$ . Oproti desetiminutovým středním rychlostem jsou k dispozici v období 1981-2000 záznamy prvku  $F_{mx\_Ag}$  z menšího počtu stanic. Kontrolními testy byly odfiltrovány opět nadlimitní hodnoty a detekovány případné výpadky. Podle předpokladu vyšla mnohem menší závislost odhadů nárazů na nadmořské výšce (koeficient korelace 0,43) proti odhadům středních desetiminutových rychlostí (koeficient korelace 0,82). Regresní přímka byla méně strmá a nárůst s výškou byl pomalejší. K výskytu lokálních bouří

může dojít totiž prakticky na jakémkoliv místě ČR, jiná situace by zřejmě nastala v případě hodnocení nárazů vzniklých pouze z frontálních příčin.

Mapa odhadů nárazů s roční pravděpodobností překročení  $p = 0,02$  byla vytvořena na základě analýzy souboru maximálních ročních nárazů v období 1981-2000. Bylo použito Gumbelovo rozdělení bez dalších korekcí, protože vzhledem k charakteru a podmínkám ovlivňující velikost nárazu pozbývají smysl. Byly použity identické metody GIS. Výsledná mapa odhadu nárazů na obr. 4 odráží malý počet stanic a relativně volnější závislost odhadů maximálních rychlostí na nadmořské výšce. Metody orografické interpolace neextrapolují při malém počtu stanic odhady optimálně. Proto došlo k pravděpodobnému nadhodnocení Šumavy stejně jako oblasti jižních Čech. Jednotlivé oblasti na mapě reprezentují nárazy větru do 36, 39, 42, 45  $\text{m.s}^{-1}$  a nad 45  $\text{m.s}^{-1}$ .

Ze stejného datového souboru byla vyhotovena mapa odhadu středních rychlostí ( $p = 0,02$ ) přepočtená z nárazů. Odhady nárazů byly vyděleny konstantou  $1,53 * \sqrt{1,5} \approx 1,87$ . Takto vytvořená mapa byla srovnána s mapou středních rychlostí roční pravděpodobností překročení  $p = 0,02$ . Obě mapy i přes stejné metody nelze adekvátně srovnávat. Lze však určit oblasti, kde odhady nárazů větru jsou větší, než hodnoty nárazů, odvozené z návrhového zatížení podle modelu v Eurokódu. V těchto oblastech byly odhady střední rychlosti zvýšeny tak, aby návrhový tlak větru byl podle Eurokódu vždy menší nebo roven tlaku, který odpovídá odhadu nárazu větru pro roční pravděpodobností překročení  $p = 0,02$ .



Obr. 4 – Mapa nárazů větru (pracovní verze)

## 7. Závěr

Mapa desetiminutových středních rychlostí s roční pravděpodobností překročení  $p = 0,02$  (střední doba návratu 1x za 50 let) byla sestavena na základě analýzy maximálních ročních rychlostí v období 1961-2000. Odhady rychlostí, stanovené z Gumbelova rozdělení, byly dále korigovány podle kvazikonstantních podílů odhadů rychlosti z termínových a hodinových dat vybraných meteorologických stanic. Rozdílné drsnosti terénu v místě stanic byly eliminovány dalším korekčním faktorem, převádějícím odhady rychlosti do terénu kategorie II, tedy pro

$z_0 = 0,05$ . Korigované rychlosti, přiřazené k poloze stanic, souřadnice XY, nadmořská výška a název stanice byly v databázové tabulce importovány do prostředí ARC View 3.1. Současně byly dopočteny rychlosti podle regresní přímky pro fiktivní body v místech řídké staniční sítě. Orografickou interpolací za použití digitálního výškopisu a aplikací výpočetní metody IDW se v kroku 200 m vytvořila výsledná mapa v rastrovém formátu (gridu).

Závislost středních rychlostí s dobou návratu 50 let na nadmořské výšce je relativně významná, jak ukazuje korelační koeficient 0,82. Vzhledem ke značnému rozpětí návrhových rychlostí i s ohledem na již vytvořené mapy sousedních zemí, byla zvolena stupnice s hranicemi 22,5 – 25,0 - 27,5 - 30  $\text{m.s}^{-1}$ . V území s rychlostmi nad 30  $\text{m.s}^{-1}$  se doporučuje pro zpřesnění odhadu vždy kontaktovat odpovědné osoby v ČHMÚ.

## 8. Poděkování

Mapa rychlostí větru byla zpracována na základě výsledků řešení projektů GA ČR č. 103/00/0706 a č. 103/03/1395. Autoři by touto cestou chtěli poděkovat za poskytnutí prostředků na řešení projektů. Finanční prostředky na dokončení mapy poskytl ČNI.

## 9. Publikace

- Boháč, A. (1984) Mapa větrových oblastí na území ČSSR v ČSN 73 0035 Zatížení stavebních konstrukcí, Stavebnický Časopis, Vol. 32, No. 4, VEDA, Bratislava.
- Cook, N. J. (1982) Towards better estimation of extreme winds, JWEIA 9, ELSEVIER, pp. 295-323.
- Coufal, L.- Tolasz, R.- Křižka, F.- Valder, J. – Stríž, M. (2001) Clidata manual.English version. [www.clidata.cz/manual.zip](http://www.clidata.cz/manual.zip)
- ČSN 730035 (1986) Zatížení stavebních konstrukcí, ÚNM, Prague.
- ČSN P ENV 1991-1-4 (2005) Zásady navrhování a zatížení konstrukcí, Část 1-4: Zatížení konstrukcí - Zatížení větrem, CSNI, Prague.
- ESDU item 87034 (1987) World Wide extreme wind speeds, Part 1: Origins and method of analysis, ESDU International, London.
- Gumbel, E. J. (1958) Statistics of extremes, Columbia University Press, New York.
- Král, J. (2002) Odhady desetiminutových rychlostí a nárazů větru v ČR pro různé střední doby návratu, ČVUT, Kloknerův ústav, 37 s. Prague.
- Král, J. (2005) Ten-minute Wind Velocities and Gusts of Wind in the Czech Republic, EACWE 4 Conference Proceedings, ITAM AS CR Prague. 2005.
- Stríž, M. (2001) Nástroje pro prostorovou analýzu srážek v GIS, VŠB-TU Ostrava, diplomová práce
- Vorlíček, M. (1976) Statistický rozbor maximálních rychlostí větru, Stavebnický Časopis, Vol. 24, No. 4, VEDA, Bratislava.
- Vorlíček, M., Holický, M., Špačková, M. (1982) Pravděpodobnost a matematická statistika pro inženýry, ČVUT.