

POUŽITÍ MODELŮ WASP A WENG PŘI ŘEŠENÍ PROBLEMATIKY VĚTRNÉ EROZE

Application of WASP and WEng models in the field of wind erosion analysis

Hradil M.

Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno

Abstrakt: větrná eroze ohrožuje v České republice především suché oblasti s lehčími půdami, zcela bez významu ale není ani na půdách těžších. Mezi nepoužívanější biotechnická opatření patří výsadba větrolamů. Studium účinnosti větrolamů přímo v terénu je v praxi spojeno s řadou technických obtíží, na významu tedy nabývají nepřímé metody. V této práci byly testovány možnosti programů WASP a WEng, především modulů simulujících vliv terénních překážek na proudění. Byly využity údaje o optické porozitě větrolamů, získané z digitálních fotografií a bylo provedeno srovnání s daty rychlosti větru naměřenými ambulantně v terénu.

Klíčová slova: větrná eroze, větrolam, modelování větru, WASP, WASP Engineering, překážka, porozita, optická porozita.

Abstract: wind erosion in the Czech republic conditions is threatening mainly in drier areas with light and medium soils, but affects also districts with heavy soils. The most widely used erosion control agricultural acquisition is windbreak outplanting. In situ study of winbreak efficiency may be coupled with a lot of technical difficulties, so that indirect methods are rising up. In this paper, application of WASP and WEng models, especially shelter modules, has been tested. Optical density, determined with use of digital photography, was used to calculate the speed profiles through the windbreaks. The model results are compared with ambulatory measurements by mobile anemometer sets.

Key words: wind erosion, windbreak, wind modelling, WASP, WASP Engineering, obstacle, porosity, optical porosity.

Úvod

Meteorologický slovník (Sobíšek et al., 1993) definuje větrolam jako pás tvořený stromy a keři vysázený na ochranu zájmového území před škodlivými účinky větru. Zakládá se především v převážně rovinných a bezlesých oblastech se sušším podnebím ve snaze snížit rychlost výsušných větrů a omezit odnos půdních částic nebo sněhu z polí. Působení větrolamů na okolí je však komplexní a týká se i dalších parametrů mikroklimatu (Litschmann, Rožnovský, 2004).

K posouzení účinnosti větrolamu se používají dva hlavní ukazatele a to výška větrolamu a jeho porozita (propustnost), která se obvykle specifikuje buď jako aerodynamická nebo optická. Aerodynamická porozita může být definována různými způsoby, nejčastěji jako poměr mezi množstvím vzduchu, které prochází skrz větrolam a množstvím, které je rozptýleno nad větrolamem. Guan et al. (2003) definují ve své práci aerodynamickou porozitu jako poměr mezi průměrnou rychlostí větru naměřenou na závětrné straně větrolamu a průměrnou rychlostí na volném prostranství. Optická porozita je definována jako poměr mezi mezerami ve větrolamu k jeho celkové ploše za pomoci digitalizované fotografie větrolamu. Čím je porozita větrolamu obecně nižší, tím efektivnější je jeho ochranná funkce.

Účinnost větrolamu dále závisí i na rychlosti a směru proudění, stabilitních podmínkách v přízemní vrstvě atmosféry a na detailech tvaru větrolamu.

WAsP (Wind Atlas Analysis and Application Program) je počítačový program, primárně určený pro predikci větrných podmínek a dostupné energie větru. Vychází vždy z naměřených dat rychlosti a směru větru na jedné meteorologické (referenční) stanici, která extrapoluje do blízkého okolí podle vlastností terénu, drsnosti povrchu, případně s ohledem na vliv terénních překážek. Je modelem „režimovým“, vstupem jsou tedy data z dlouhodobě prováděných měření - minimálně 1 rok, lépe z několika let měření. WAsP je koncipován jako model, který počítá velmi přesně veškeré parametry v nejbližším okolí studovaného místa (metoda „zooming polar grid“), s rostoucí vzdáleností se přesnost výpočtů postupně snižuje. Z toho vyplývá i požadavek na přesnost a podrobnost podkladových dat (popisu digitálního terénu, drsnosti povrchu, popisu překážek) – nejbližší studovaného místa musí být podkladová data velmi podrobná (s přesností řádově metry), s rostoucí vzdáleností se může úroveň podrobnosti snižovat (Mortensen et al., 1993).

WAsP Engineering (WEng) je počítačový program, jehož hlavním účelem je odhad vlivu určitých parametrů větru (zatížení způsobeného větrem) na větrné turbíny a rozličné objekty v mírně komplexním terénu. Program je vyvíjen od 90. let 20. století a byl několikrát různými autory z Risoe National Laboratory, dnes součásti Technical University of Denmark (DTU) modifikován a upravován podle měnících se potřeb. Jádro systému nese název LINCOM (LINEarised COMputation). WEng je nezávislým doplňkem základního modelu WAsP (Mortensen et al., 1993). Program WEng se zabývá zejména těmito parametry větru: extrémními hodnotami průměrné rychlosti větru, stříhy větru, vertikálními profily větru a turbulencí. Program postihuje vlivy způsobené členitostí terénu (do sklonu svahů cca 20°, tedy kromě extrémně členitých horských poloh) a drsností povrchu. Zčásti bere v úvahu i překážky - s výjimkou analýzy turbulence. Překážkami rozumíme obecně trojrozměrné objekty jako budovy, stromy apod., které jsou relativně blízko od zájmového místa (řádově 10^1 až 10^2 m) a mohou tedy hodnoty rychlosti větru zkreslovat. Podobně jako WAsP předpokládá při použití stabilitní podmínky blízké neutrálním, v řadě technických aspektů a přístupů se ale od WAsPu liší. Je realističtější - a také citlivější na detailní popisu terénu - ve vrstvě nejbližší zemskému povrchu. Na rozdíl od WAsPu může provádět extrapolace nikoli z celého statistického souboru vstupních údajů rychlosti a směru větru, nýbrž ze zadané jedné hodnoty vektoru větru, která může být hodnotou, naměřenou na meteorologické stanici v nějakém konkrétním dni a hodině, hodnotou geostrofického větru nebo hodnotou geostrofického větru upraveného (Mann et al., 2002).

Cílem práce bylo ověření možností modelů WAsP a WEng při simulaci účinku vlivu větrolamů na rychlost větru v jejich okolí. Větrolam byl v modelu definován jako trojrozměrná překážka s určitou porozitou, získanou místním šetřením, a výsledná modifikace rychlosti pro vybrané větrné epizody byla porovnáována s provedeným terénním měřením.

Materiály a metody

Od roku 2005 bylo na jižní Moravě provedeno v rámci projektů Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) a dalších participujících organizací asi 15 ambulantních měření rychlosti větru u větrolamů včetně stanovení optické porozity. Tato data posloužila jako srovnávací množina údajů pro zde uváděné modelové výpočty. Pro účely měření horizontálního profilu rychlosti větru byly vybrány větrolamy v katastrálním území obcí Micmanice (okres Znojmo, souřadnice 48.761° N a 16.166° E) a Suchá Loz (okres Uherské Hradiště, souřadnice 48.958° N a 17.707° E).

Větrolam v katastru obce Suchá Loz má orientaci západ - východ, jeho šířka je 4 m a výška cca 22 m. Je tvořen dvěma etážemi, přičemž horní úroveň tvoří dvě řady vyspělých jedinců topolu kanadského (*Populus x canadensis*). Jeho koruny jsou převážně zapojené. Ve

spodní etáži se vyskytují mladší jedinci dubu letního (*Quercus robur*) a lípy malolisté (*Tilia cordata*) s vtroušenými jedinci jasanu ztepilého (*Fraxinus excelsior*). V keřové vrstvě jsou zastoupeni jedinci brsleny evropského (*Eonymus europaeus*), svídy krvavé (*Swida sanguinea*), růže šípkové (*Rosa canina*) a hlohu jednosemenného (*Crataegus monogyna*). Ojediněle se vyskytují skupinky plně zapojených jedinců trnky obecné (*Prunus spinosa*).

Větrolam u obce Micmanice má orientaci jihojihozápad - severoseverovýchod, jeho šířka je 7 m a výška cca 14 m. Je tvořen různověkými, dobře zapojenými dřevinami. Hlavní úroveň tvoří jedinci javoru jasanolistého (*Acer negundo*), javoru horského – klenu (*Acer pseudoplatanus*), javoru mléčného (*Acer platanoides*) a jasanu ztepilého (*Fraxinus excelsior*). V keřovém patře je výrazně zastoupen čičišník obecný (*Caragana arborescens*). Ojediněle se zde vyskytuje i bez černý (*Sambucus nigra*) a ptačí zob obecný (*Ligustrum vulgare*) (Středa et al., 2008).

Měření rychlosti větru probíhalo pomocí sestav s mobilními anemometry typu W1 a W2 firmy Tlustýák. Čidla W1 používají pro měření rychlosti větru rotační lopatkový kříž. Snímání otáček kříže je prováděno optoelektronicky a k dalšímu zpracování předáno v digitální formě. Čidla W2 jsou navíc vybavena otočnou lopatkovou směrovkou pro měření směru větru. Data byla ukládána do dataloggeru HOBO. Vliv větrolamu na horizontální profil větru byl zjišťován většinou ve vzdálenostech 50, 100, 150 a 200 m před, resp. za větrolamem ve dvoumetrové výšce nad povrchem. Na opačné straně větrolamu měřilo vždy ve vzdálenosti 150 m od větrolamu souběžně jedno srovnávací čidlo (Dufková et al., 2006). Optimální meteorologické podmínky – čerstvé proudění o průměrné rychlosti v 10 m nad terénem minimálně 4 až 8 m/s ve směru přibližně kolmém na větrolam – nebyly vždy beze zbytku splněny, občas bylo kompromisně přistoupeno k terénnímu měření i v případech, kdy proudění bylo o něco slabší (průměrná rychlost 3 až 6 m/s).

V době měření rychlosti větru byla vždy ze stejného místa pořízena řada snímků větrolamu digitálním fotoaparátem. Metoda zpracování vybraných snímků pro stanovení optické porozity spočívá v jejich rozčlenění na jednotlivé čtverce (gridy), přičemž jejich počet byl dán velikostí větrolamu na příslušném snímku. Ve většině případů bylo vyhodnoceno 10 až 14 sloupců a 5 až 8 řad. Pro každý z těchto čtverců byla stanovena optická porozita (Rožnovský and Litschmann, 2005; Litschmann, 2010).

Větrolam byl definován v prostředí WAsP i WEng jako trojrozměrná překážka, jejíž parametry – především porozita – mohly být v průběhu výpočtů podle potřeby měněny. Překážkový model programů vychází ze vztahů, získaných modelováním a experimenty ve větrném tunelu, publikovaných Pererou (1981). Útlum rychlosti lze přibližně kvantifikovat až v určité vzdálenosti od překážky, v její těsné blízkosti je rychlost větru již výrazně ovlivňována detailní geometrií překážky a nelze zde proto očekávat realistické modelové výsledky (Mortensen et al., 1993). Každou terénní překážku není tedy možné definovat ve všech jejích detailech a musí být určitým způsobem schematizována a zjednodušena. V programu WEng i WAsP překážku jednoznačně popisují parametry:

- a) úhel mezi severem a prvním nejbližším rohem překážky (°)
- b) úhel mezi severem a druhým nejbližším rohem překážky (°)
- c) vzdálenost prvního nejbližšího rohu překážky (m)
- d) vzdálenost druhého nejbližšího rohu překážky (m)
- e) výška překážky (m)
- f) hloubka překážky (m)
- g) porozita (propustnost vůči proudění)

Úhly jsou měřeny od severu ve směru azimutu. Porozita se zadává jako desetinné číslo mezi nulou a jedničkou. Pro vůči větru zcela propustný objekt je porozita rovna jedné, pro zcela nepropustný (zeď, budova) je porozita nulová, pro stromy může kolísat v závislosti na druhu, roční době, olistění apod. (Dellwik et al., 2005, Stuart 2004).

Byl definován profil (transect), odpovídající poloze měřeného profilu, i když modelový transect byl v některých případech delší a podrobněji členěný. Veškeré výpočty v transectu byly pro možnost porovnání s ambulantsním měřením nastaveny na 2 m nad terénem. Horizontální rozlišení modelu pro výpočty bylo nastaveno na 15 až 20 m.

Podkladová orografie byla vytvořena pomocí globálního digitálního modelu terénu (digital elevation model, DEM), získaného metodou radarové interferometrie při misi raketoplánu Endeavour v únoru roku 2000 (Shuttle Radar Topography Mission, SRTM). Jednotlivé zdrojové datové soubory pro oblast střední Evropy, označované jako typ SRTM3, dostupné na serveru (http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/), pokrývají plochu vymezenou jedním stupněm zeměpisné šířky a jedním stupněm zeměpisné délky s horizontálním rozlišením 3", tedy asi 90 metrů. Podrobnější popis SRTM mise uvádějí například Farr a Kobrick (2000). Výškopis SRTM byl pro kontrolu porovnáván superpozicí s jinými vhodnými mapovými podklady, včetně map portálu veřejné správy České republiky (<http://geoportal.cenia.cz/mapmaker/cenia/portal/>) a pro daný účel bylo možné konstatovat dobrou shodu těchto produktů. Protože model WEng požaduje podrobnější popis nejbližšího okolí výpočetních míst (Mortensen and Petersen, 1998), byl výškopis podle potřeby lokálně doplněn z podrobných map vrstevnicemi v kroku menším než 10 metrů vestavěným mapovým editorem WAsP MapEditor. Tento nástroj byl použit i pro detailní digitalizaci parametru drsnosti z_0 podle metodiky použité při tvorbě Evropského větrného atlasu (Troen, Petersen 1989).

Výsledky a diskuse

Uvádíme podrobné výsledky pro dvě místa a typické meteorologické situace, kdy bylo terénní měření u větrolamů prováděno za téměř ideálních větrných podmínek – dne 4.5.2006 u Micmanic (případ s poměrně malou porozitou větrolamu) a dne 11.11.2008 u Suché Lozi (vyšší porozita).

Dne 4.5.2006 leželo naše území ve výrazném jihovýchodním až jižním proudění kolem tlakové výše se středem nad Pobaltím před vlnící se studenou frontou, postupující přes západní Evropu zvolna na východ. Na referenční stanici v Kuchařovicích, vzdálené od větrolamu u Micmanic asi 14 km, se pohybovala průměrná rychlost větru v 10 m nad terénem v době ambulantsního měření (cca 9-14 hod. SEČ) mezi 7 až 9 m/s, do programu byla použita vstupní hodnota vektoru větru 140°/8 m/s. Překážky na stanici v Kuchařovicích byly uvažovány, jejich vliv na modelové výpočty je ale na této stanici zanedbatelný.

Optická porozita dosahovala v různých částech větrolamu hodnot od 14 do 35% (tab.1), průměr pro celý větrolam je 25 %, pro námi analyzovaný profil cca 30%.

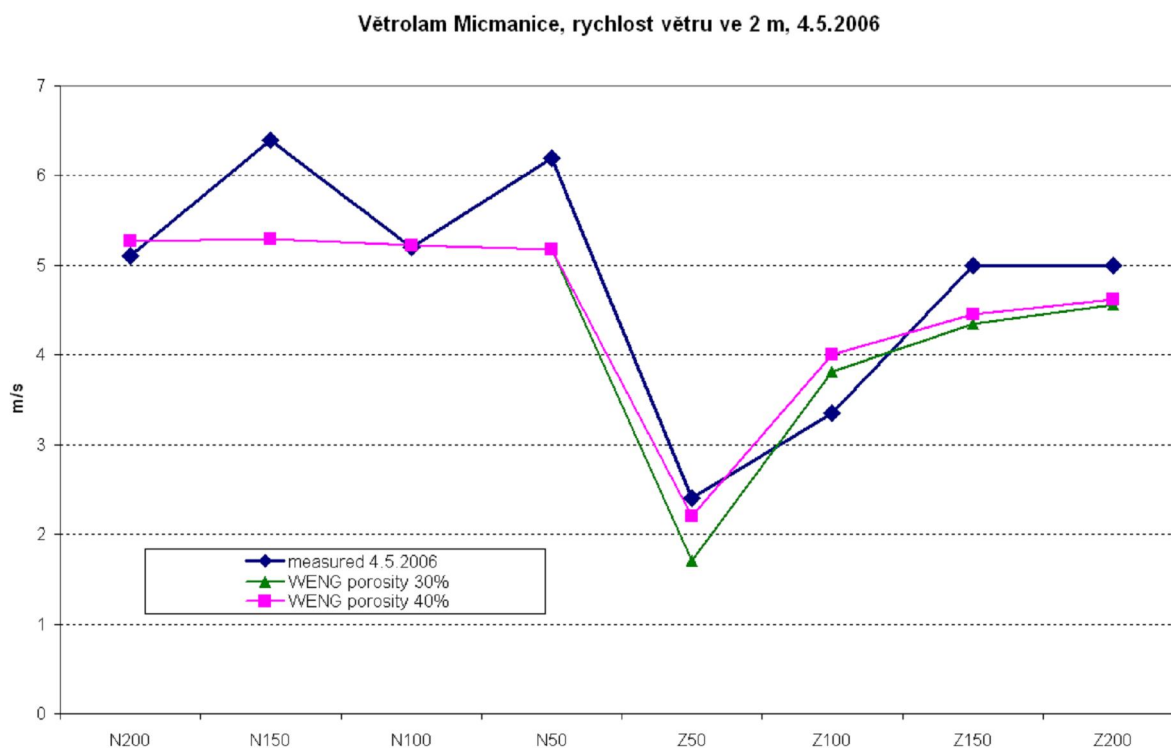
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
vrstva/sloupec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	průměr
6	97	58	20	25	47	66	35	34	27	38	41	55	65	72	49
5	34	3	14	11	9	7	16	34	39	27	26	28	54	19	23
4	19	5	14	23	12	9	24	23	36	26	30	48	42	33	25
3	9	2	20	25	15	28	15	19	29	15	10	12	21	11	17
2	16	10	19	20	10	17	6	12	19	21	30	21	16	5	16
1	3	4	3	18	33	26	20	22	22	15	33	29	12	22	19
průměr 1 - 6	30	14	15	20	21	26	19	24	29	24	28	32	35	27	25
průměr 1 - 5	16	5	14	19	16	17	16	22	29	21	26	28	29	18	20

Tab. 1. Hodnoty optické porozity větrolamu (%), Micmanice 4.5.2006 (Litschmann, 2010).

Porovnání výsledků měření a modelového výpočtu je na obr.1. Diference mezi naměřenými a modelem spočítanými hodnotami rychlosti větru pro porozitu větrolamu 30% jsou kladné i záporné, spíše však převažují kladné, tedy naměřené údaje jsou spíše vyšší než předpokládá model. Maximální rozdíly jsou v absolutní hodnotě kolem 1 m/s (50 a 150 m

před větrolamem), v závětrí jsou rozdíly nižší - do 0.7 m/s. Optimálních výsledků bylo dosaženo při zvětšení modelové porozity překážky na 35 až 40%, což je ovšem již vyšší hodnota, než jaká byla zjištěna při terénním stanovení optické porozity větrolamu.

Při poměrně malé porozitě je zeslabení rychlosti větru celkově dost výrazné, zejména v pásmu 50 m za větrolamem, kde se naměřená i modelem vypočtená průměrná rychlost pohybuje kolem 2 m/s a činí tedy jen kolem 35 % průměrné rychlosti z prostoru 150 m před větrolamem. V oblasti 100 m za větrolamem byla naměřena průměrná rychlost 3.4 m/s, což je již 53% neovlivněné hodnoty před větrolamem. Model předpokládá v této zóně ještě větší nárůst rychlosti, již cca 4 m/s (cca 75% modelové rychlosti před větrolamem). Ve větších vzdálenostech za větrolamem (150 a 200m) byla naměřena stejná průměrná rychlost 5 m/s (78% neovlivněné), model zde počítá s rychlostí jen kolem 4.6 m/s (87% modelové rychlosti před větrolamem).



Obr.1. Ambulantně naměřené a modelované hodnoty rychlosti větru (m/s) v rozsahu od 200 m před větrolamem (N200) po 200 m za větrolamem (Z200), Micmanice 4.5.2006.

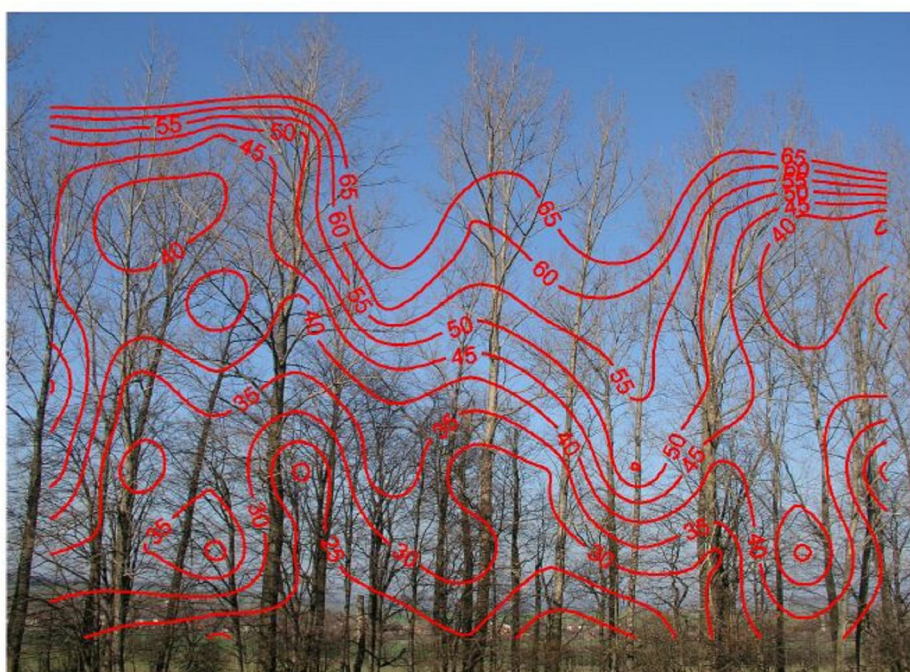
Jako druhý typický případ byl vybrán větrolam u Suché Lozi a epizoda ze dne 11.11.2008, kdy bylo v dané oblasti rovněž čerstvé jihovýchodní až jižní proudění před studenou frontou, postupující od západu. Na referenční stanici ve Strání, vzdálené asi 6.5 km, se pohybovala průměrná rychlost větru v 10 m nad terénem v době ambulantního měření (12-15 hod. SEČ) mezi 5 až 9 m/s, do programu uvažována vstupní hodnota vektoru větru 140°/7 m/s. Byl uvažován vliv překážek, který na stanici ve Strání má na modelové výpočty poměrně výrazný vliv.

Číselné údaje optické porozity (%) pro větrolam Suchá Loz podle stavu z 11.11.2008 jsou uvedeny v tab.2, vyhodnocení optické porozity podle digitální fotografie na obr.2. Celková střední optická porozita větrolamu je 50%, resp. 43% (bez nejhořejší vrstvy č.8). Optická porozita větrolamu není podobně jako v předchozím případě v celém jeho horizontálním

rozměru vyrovnaná, v jednotlivých pásmech (sloupcích 1 až 11) se mění od 40 do 60%, pro námi analyzovaný profil je cca 50%.

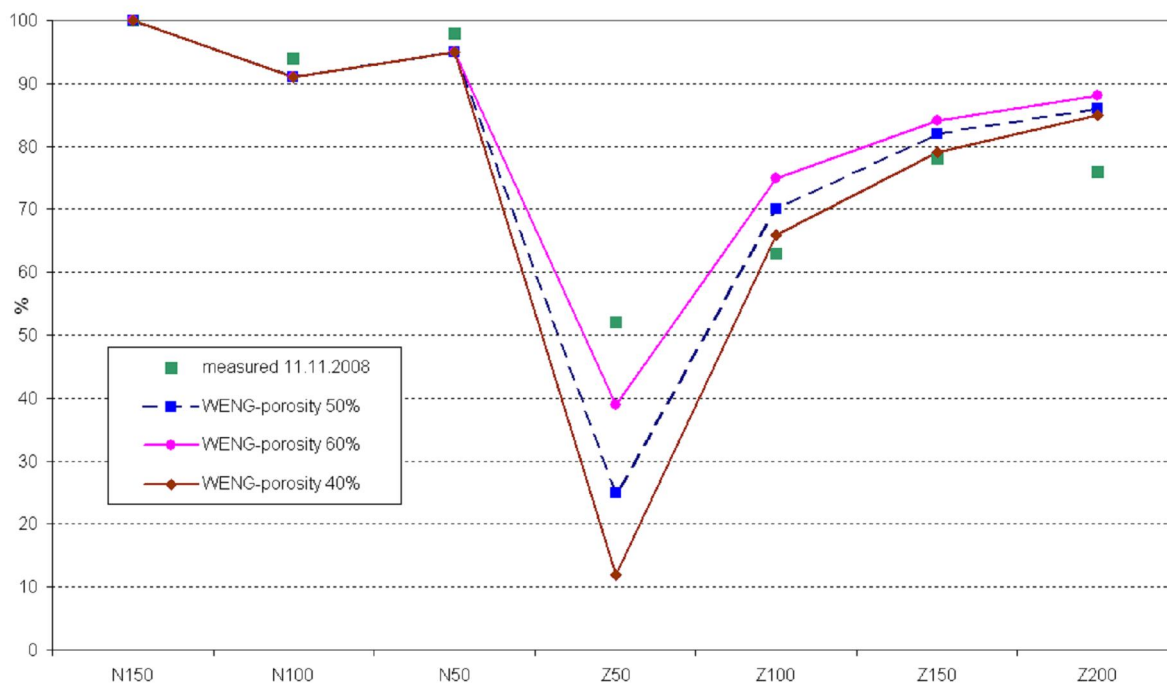
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
vrstva/sloupec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	průměr
8	94	96	95	84	96	93	92	96	97	96	100	94
7	50	51	44	48	81	70	68	83	69	75	92	66
6	46	35	40	51	75	60	65	75	50	38	34	52
5	46	42	50	38	62	52	58	58	47	35	47	49
4	56	32	39	33	42	38	46	56	49	42	42	43
3	48	26	35	18	40	26	30	56	38	45	23	35
2	35	35	42	24	29	34	26	34	29	52	34	34
1	26	23	19	23	20	25	16	20	31	38	30	25
průměr 1 - 8	50	43	46	40	56	50	50	60	51	53	50	50
průměr 1 - 7	44	35	38	34	50	44	44	55	45	46	43	43

Tab.2. Hodnoty optické porozity větrolamu (%), Suchá Loz 11.11.2008 (Litschmann, 2010).



Obr.2. Větrolam Suchá Loz 11.11.2008 – optická porozita (Litschmann, 2010).

Větrolam Suchá Loz, rychlost větru ve 2 m, 11.11.2008

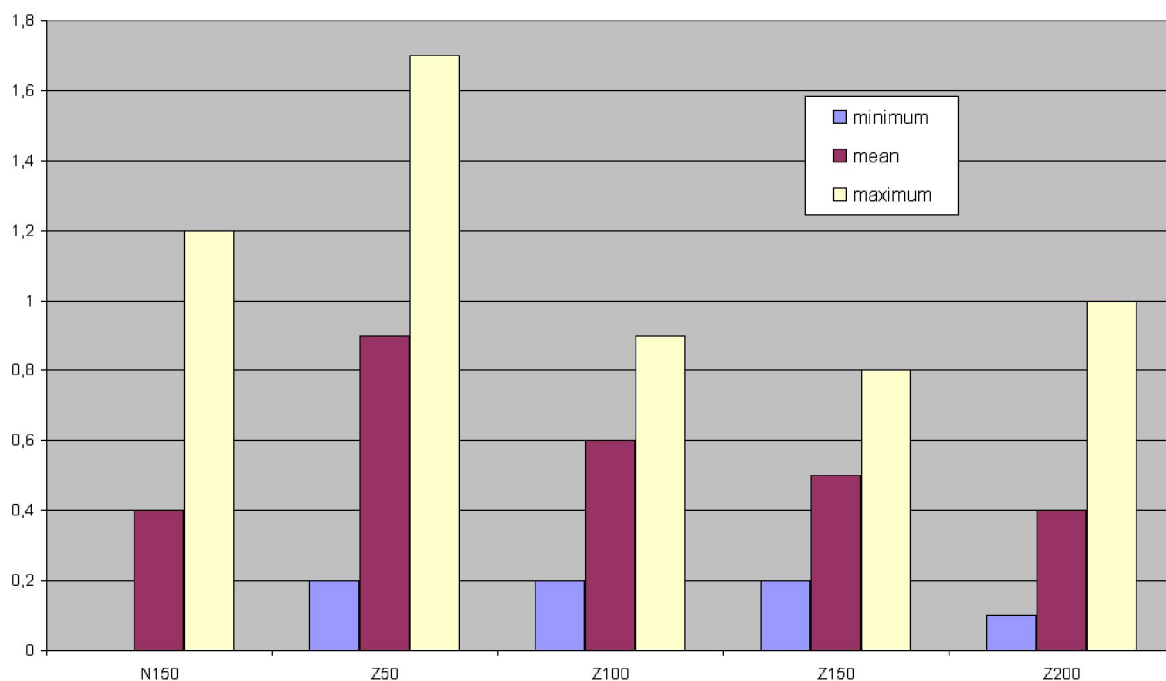


Obr.3. Ambulantně naměřené a modelované hodnoty zeslabení rychlosti větru v rozsahu od 150 m před větrolamem (N150=100%) po 200 m za větrolamem (Z200), Suchá Loz 11.11.2008.

Diference mezi naměřenými a modelem spočítanými hodnotami rychlosti větru pro porozitu větrolamu 50% jsou rovněž obojího znaménka. Na návětrné straně větrolamu a v zóně 100 m za větrolamem a dále jsou rozdíly minimální, v absolutní hodnotě do cca 0.3 m/s (do 5%). Největší rozdíl mezi měřením a výpočtem je vykazován 50 m za větrolamem, kde jsou ambulantně naměřené údaje o 1.5 m/s vyšší, tedy přibližně dvojnásobné, než modelované při porozitě 50% a odpovídají v tomto pásmu modelové porozitě spíše 70%.

Vzhledem k roční době a tedy již relativně velké porozitě větrolamu je zeslabení rychlosti větru celkově menší než ve výše popisovaném případě. V pásmu 50 m za větrolamem je naměřená průměrná rychlost 2.8 m/s a činí asi 52 % průměrné rychlosti z prostoru 150 m před větrolamem. Modelem očekávaná rychlost při porozitě 50% je ale jen 1.3 m/s (25% neovlivněné modelové rychlosti 150 m v návětrí). V zóně od 100 m do 200 m za větrolamem, kde se pohybuje naměřená průměrná rychlost mezi 3 až 4 m/s (63 až 78 % neovlivněné hodnoty naměřené před větrolamem) model předpokládá rychlosti o cca 0.5 m/s vyšší (70 až 86 % modelové rychlosti před větrolamem).

Pokud vyhodnotíme – kromě dvou výše popsáných případů - i další využitelná ambulantní měření (celkem cca 15 případů) s průměrnou rychlostí větru v době měření 3 m/s a vyšší a směrem větru přibližně kolmým na větrolam, neodlišují se výsledky nijak významně od hodnot, získaných ve výše analyzovaných případech (obr.4):



Obr.4. Střední a mezní absolutní hodnoty diferencí (m/s) mezi naměřenými a modelem WEng vypočtenými rychlostmi větru v okolí větrolamů v oblasti jižní Moravy při čerstvém proudění (průměr 3 až 8 m/s) kolmém na větrolam.

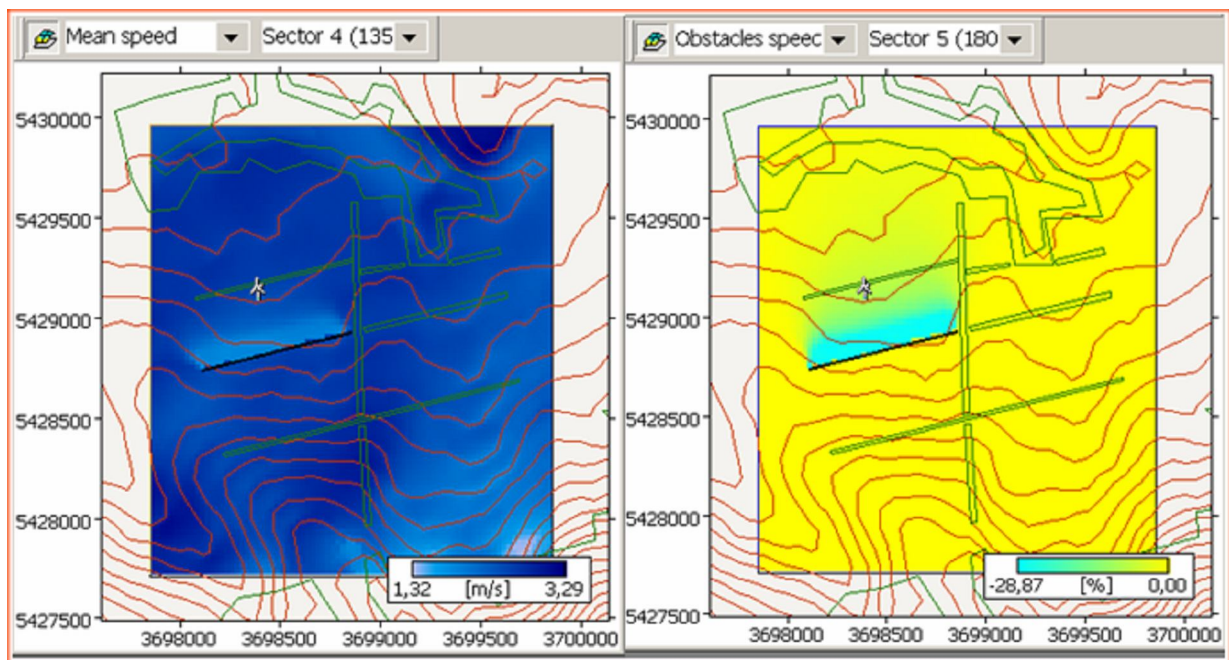
Diference mezi naměřenými a modelem vypočtenými údaji mohou mít více příčin. Hlavním problémem je malý rozsah statistického souboru terénních měření, kterých bylo provedeno vždy jen nejvýše několik málo do roka. Vhodných meteorologických situací není mnoho a další důvody jsou zejména technické – ve vegetačním období často není možné v daném prostoru kvůli vzrostlému porostu měření vůbec provádět i v případě velmi dobrých meteorologických podmínek. Je nutné se tedy spokojit s několika málo případy měření, která trvají většinou 4 až 6 hodin. Dalším možným zdrojem diferencí je nesterodnost větrolamu – jeho reálná porozita v daném okamžiku je více či méně proměnlivá v horizontálním i vertikálním směru, model musí ovšem překážku v tomto ohledu výrazně zjednodušit, podrobnější lokální specifikace porozity překážky v modelu možná není. Ve vhodných případech byl větrolam simulován alespoň jako překážka složená (dvě těsně za sebou umístěné překážky s různou výškou a porozitou), výsledky však nebyly významně lepší. Dalšími faktory, přispívajícími ke vzniku odchylek mezi realitou a modelem jsou možné nepřesnosti digitálního popisu terénu i nedokonalost vlastního modelu, zejména pokud jde o modul výpočtu vlivu překážky na rychlost proudění. Přes pravidelně prováděné kalibrace a kontroly nelze vyloučit ani drobné chyby v procesu terénních měření, kdy vyvstávají vyšší nároky na preciznost a údržbu přístrojů než při měření v pevné meteorologické síti.

Model WAsP umožnil popsat dlouhodobé větrné poměry vybraného místa nebo několika míst na malé výpočetní ploše (řádově 10^0 až 10^1 km²). Jako referenční meteorologická stanice byla zvolena automatizovaná meteorologická stanice (AMS) ČHMÚ ve Strání s řadou měření 10 let. Typickým příkladem aplikace je výpočet větrných podmínek v okolí obce Suchá Loz (Uherské Hradiště). Studovaná oblast je vzdálena asi 6 km od referenční meteorologické stanice ve Strání, plošný výpočet byl proveden v gridu velikosti 2 x 2.25 km s horizontálním krokem 25 m (7200 výpočetních bodů).

Výsledkem výpočtu jsou zejména následující parametry:

- průměrná rychlost větru
- četnost jednotlivých směrů větru (větrná růžice)
- relativní zeslabení rychlosti větru za překážkou (větrolamem)
- parametr Weibullova rozdělení A (parametr měřítka - scale)
- parametr Weibullova rozdělení k (parametr tvaru - shape)

Výpočet lze provádět buď pro jedno místo, případně pro definovaný prostorový grid (tedy v případě oblasti Suchá Loz pro všech 7200 výpočetních bodů). Výsledky jsou buď v níže vyobrazené grafické podobě (obr.5), lze vytvořit a uložit na disk i textový soubor (*.asc, *.grd), který obsahuje vypočtené výsledky, využitelné v jiných programových prostředích (SURFER, ArcView apod.).

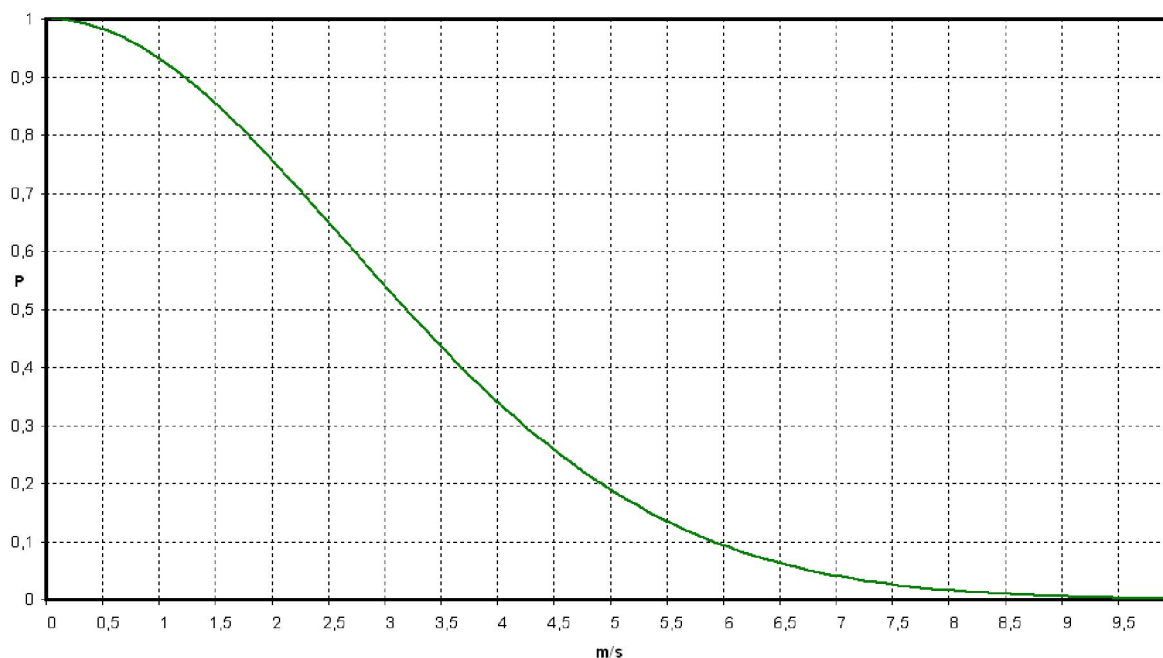


Obr.5. Příklad výpočtu průměrné rychlosti větru ve 2 m nad terénem v sektoru 135° (jihovýchodní proudění) a relativního zeslabení průměrné rychlosti větru v sektoru 180° (jižní proudění) vlivem větrolamu v oblasti obce Suchá Loz.

Vypočtených parametrů Weibullova rozdělení lze dále využít například pro konstrukci větrných růžic v rychlostních třídách pro kterýkoli z výpočetních bodů. Kumulativní tvar distribuční funkce dvouparametrického Weibullova rozdělení (W2p) udává v podstatě pravděpodobnost překročení rychlosti větru u při daných hodnotách parametrů A a k :

$$F(u) = \exp(- (u/A)^k),$$

Příklad stanovení pravděpodobnosti překročení průměrné rychlosti větru ve 2 m nad terénem pro erozně exponovaný jihovýchodní sektor u větrolamu v Suché Lozi je na obr.6.



Obr.6. Pravděpodobnost překročení průměrné rychlosti větru pro jihovýchodní oktant (větrolam Suchá Loz, 2m nad terénem, parametry Weibullova rozdělení A=3.8 a k=1.92).

Závěr

Program WASP umožnil obecnou analýzu větrných poměrů místa či malé oblasti na základě prostorové extrapolace víceletých vstupních dat z blízké referenční meteorologické stanice. Výsledkem výpočtů mohou být zejména větrné růžice včetně možnosti definice rychlostních limitů a tříd rychlosti a stanovení pravděpodobností výskytu nadlimitních rychlostí větru v určitých erozně účinných směrech. Výstupem programu mohou být dále hodnoty průměrné rychlosti větru a relativního zeslabení rychlosti větru za větrolamy a prostorové rozložení parametrů Weibullova rozdělení.

Program WEng byl použit k modelování vlivu větrolamů na rychlost proudění a porovnání s ambulantně naměřenými údaji ve vybraných oblastech České republiky s těžšími půdami. Přitom bylo využito i údajů o optické porozitě, která byla stanovena podle digitálních fotografií větrolamů v době prováděných měření. Ve všech pozicích před i za větrolamem byly rozdíly mezi naměřenými a modelovými údaji v různých epizodách kladné i záporné, nebyla tedy zaznamenána systematická odchylka v kladném nebo záporném smyslu pro celý soubor srovnávaných údajů. V pásmu nejbližší za větrolamem (50 m v závětrí) je zeslabení rychlosti větru podle očekávání největší a existují zde i největší rozdíly mezi modelovým výpočtem a naměřenými údaji. Průměrná absolutní hodnota diferencí je asi 0.9 m/s, v krajním případě byla blízká 2 m/s. Mírně zde převládá varianta s vyšší naměřenou rychlostí větru než udává model. Relativní rychlost větru se zde pohybuje v závislosti na výšce a porozitě větrolamu většinou mezi 25 až 50% neovlivněné rychlosti mimo větrolam. Ve vzdálenosti 100 m za větrolamem se průměrná diference snižuje na přibližně 0.6 m/s, zde naopak jsou o něco četnější případy s vyšší modelovou rychlostí oproti ambulantně naměřené. Relativní rychlost větru zde dosahuje 50 až 75% rychlosti neovlivněné. Ve větších vzdálenostech ze větrolamem (150 až 200 m) jsou rozdíly mezi terénními měřeními a výstupy z modelu nejnižší (v průměru 0.4 až 0.5 m/s), hodnoty relativní rychlosti proudění leží většinou v intervalu 80 až 90% rychlosti neovlivněné. Uvedené výsledky se ve všech případech vztahují k podmínkám čerstvého proudění o průměrné rychlosti 3 až 8 m/s a porozitě

překážky odpovídající hodnotě optické porozity vyhodnocené ambulantně pro danou epizodu. Lze konstatovat, že model WEng, přestože je primárně určen k jiným účelům, lze s přijatelnou mírou přesnosti využít v typických případech při výrazném proudění i pro odhad vlivu větrolamu na rychlost větru v jeho okolí. S větší obezřetností je pouze nutno vyhodnocovat výsledky ve velmi malé vzdálenosti za větrolamem (do cca 50 m). Výraznou výhodou aplikace modelu WEng je možnost simulovat výpočty i v případech, kdy by byl terén v prostoru větrolamu jinak nepřístupný.

Dedikace

Výsledky této práce jsou součástí řešení projektu NAZV QH 82099 „Kritéria rozvoje větrné eroze na těžkých půdách a možnosti jejího omezení biotechnickými opatřeními“.

Použitá literatura

- Dellwik E., Landberg L., Jensen N. O., 2005: WASP in the Forest. *Wind Energy*, **9**, 211-218.
- Dufková, J., Rožnovský, J., Středa, T., 2006: Windbreak Impact on Air Circulation. In „*Bioclimatology and Water in the Land*“ – *International Bioclimatological Conference, Strečno, Slovak Republic 11. – 14. September 2006. Proceedings of Conference Abstracts*. Editors: M. Lapin, F. Matejka. Library and Publishing Center of the Faculty FMFI, UK, Bratislava, Slovakia, Bratislava, 2006, s. 102, CD ROM. ISBN 80-89186-12-2.
- Farr T.G., Kobrick M., 2000: Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data, *Amer. Geophys. Union Eos*, **81**, 583-585.
- Guan, D. et al., 2003: A wind-tunnel study of windbreak drag. *Agricultural and forest meteorology*, **118**, s. 75-84
- Litschmann T., 2010: Odborné posouzení optické porozity pro hodnocení účinnosti větrolamů v rámci řešení projektu NAZV QH 82099 „Kritéria rozvoje větrné eroze na těžkých půdách a možnosti jejího omezení biotechnickými opatřeními“, Brno, 2010, s.20, CD ROM.
- Litschmann T., T., Rožnovský J., 2004: Vliv větrolamu na proudění vzduchu. In: *Transport vody, chemikálií a energie v systéme půda - rostlina - atmosféra*. Bratislava, SAV. CD ROM, ISBN 80-968480-4-6.
- Mann J., Ott S., Jorgensen B.H., Frank H.P., 2002: WASP Engineering 2000, Riso-R-1356(EN), Riso National Laboratory, Denmark, ISBN 87-550-3095-5, 90 p.
- Mortensen N.G., Landberg L., Troen I., Petersen E.L., 1993: Wind Analysis and Application Program (WASP). Riso-I-666 (EN), Riso National Laboratory, Denmark.
- Mortensen N.G., Petersen E.L., 1998: Influence of topographical input data on the accuracy of wind flow modeling in complex terrain. *Proceedings of the 1997 European Wind Energy Conference and Exhibition, Dublin, Ireland, October 6-9*, 317-320.
- Perera M.D., 1981: Shelter behind two-dimensional solid and porous fences. *J. Wind Engin. and Industrial Aerodyn.*, **8**, 93-104.
- Rožnovský, J., Litschmann, T., 2005: Optická hustota větrolamu a její vliv na charakter proudění vzduchu. In Rožnovský, J., Litschmann, T. *Sborník referátů z mezinárodní vědecké konference "Bioklimatologie současnosti a budoucnosti"*. Křtiny: ČBkS a ČHMÚ, 2005, s. 56. ISBN 80-86690-31-8.
- Středa, T., Malenová, P., Pokladníková, H., Rožnovský, J., 2008: The efficiency of windbreaks on the basis of wind field and optical porosity measurement. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2008. sv. LVI, č. 4, s. 281-288. ISSN 1211-8516.
- Stuart P., 2004: The Influence of Trees on Wind Speed: Measured Effects and Modelling Strategies. *Scientific Proceedings of the European Wind Energy Conference and Exhibition, London, England, November 22-25*.

Troen I., Petersen E.L.,1989: European Wind Atlas, Riso National Laboratory, Roskilde.
ISBN 87-550-1482-8. 656 p.

Sobíšek, B. et al., 1993: Meteorologický slovník, výkladový a terminologický. 1. vyd. Praha:
vyd. Academia. 594 s. ISBN 80-85368-45-5.

Kontaktní adresa autora:

Miloslav Hradil

Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno

Kroftova 43

616 67 Brno-Žabovřesky