

Vplyv zmeny priestorového rozlíšenia numerického modelu ALADIN na predpoveď poľa vetra pre letisko Poprad-Tatry

Zuzana Rusnáková, 2015

*Oddelenie meteorológie a klimatológie, Katedra astronómie, fyziky Zeme a meteorológie
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Univerzita Komenského v Bratislave
email: rusnakovaz14@gmail.com*

Abstrakt:

Vietor je meteorologický prvok významne ovplyvňujúci leteckú dopravu a vysoká kvalita predpovedí vetra je v letectve pomerne dôležitá. V príspevku uvádzame vyhodnotenie predpovede poľa vetra z numerického modelu ALADIN pre letisko Poprad-Tatry v období 2009 – 2013. Pri vyhodnocovaní sa prioritne zameriavame na predpoveď smeru vetra. Skúmame odchýlky predpovede smeru vetra od nameranej hodnoty minimálne 30° a min. 60° a aj úspešnosť predpovede jednotlivých smerov vetra v rôznych kategóriách rýchlosti vetra. Pre vybrané prípady analyzujeme kvalitu predpovedí testovacej verzie modelu ALADIN na vyššom 4,5 km rozlíšení. Zistili sme, že zvýšením rozlíšenia sa zlepšila kvalita predpovede smeru vetra ale na zlepšenie predpovede rýchlosti bude možno potrebné preladiť fyzikálne parametrizácie popisujúce interakciu poľa prúdenia s povrchom.

Abstract:

Wind is an important meteorological parameter affecting air transportation and high accuracy of wind forecasts is therefore quite important. In this article the analysis of wind field forecasts computed from the numerical model ALADIN for the Poprad-Tatry airport during 2009-2013 period is presented. The emphasis of our work is on the wind direction forecast. In different categories of wind speed the differences in wind direction between predicted and measured values at least 30° and at least 60° are examined as well as the reliability of wind direction forecasts. For selected cases, the accuracy of wind forecasts of model ALADIN test version at higher resolution 4,5 km is analyzed. The main result of analysis is the fact that increasing the resolution improves the accuracy of predictions of wind direction but to improve the predictions of wind speed may be necessary to modify the physical parameterization describing the flow field interacting with the surface.

Anotácia:

Predpovede poľa vetra z numerického modelu ALADIN pre oblasť letiska Poprad-Tatry sú v niektorých prípadoch nepresné. To bolo hlavnou motiváciou na porovnanie predpovedaných hodnôt s nameranými hodnotami smeru a rýchlosti vetra so zámerom určiť kvalitu predpovede. Cieľom mojej práce bolo zistiť vplyv zvýšenia priestorového rozlíšenia modelu ALADIN na kvalitu predpovede vetra. Vyhodnocovanie bolo prioritne orientované na 24 hodinový predpovedný interval zodpovedajúci obdobiu, ku ktorému sa vzťahujú predpovede TAF pre letisko Poprad-Tatry.

Annotation:

Forecasts of wind field by numerical model ALADIN for the Poprad-Tatry airport are inaccurate in some cases. This was the main motivation to compare measured and predicted values of wind speed and direction with a view to determining forecasts accuracy. The aim of my study was to investigate the effect of increasing spatial resolution ALADIN model for accuracy of wind prediction. Estimating was focused on 24-hour forecasting interval corresponding to the period of TAF forecasts for the Poprad-Tatry airport.

Kľúčové slová:

numerická predpoveď počasia, pole vetra, priestorové rozlíšenie, letecká meteorológia

Key words:

numerical weather prediction, wind field, spatial resolution, aviation meteorology

Zoznam použitých skratiek a symbolov:

ALADIN	<i>z franc.</i> Aire Limitée Adaptation dynamique Développement International	RMSE	<i>z angl.</i> root mean square error
ARPEGE	<i>z franc.</i> Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle	SHMÚ	Slovenský hydrometeorologický ústav
ICAO	<i>z angl.</i> International Civil Aviation Organization	TAF	<i>z angl.</i> Terminal Area Forecast
LZTT	Letisko Poprad-Tatry (ICAO kód letiska)	UTC	<i>z angl.</i> Coordinated Universal Time
Lat	<i>z angl.</i> Latitude, zemepisná šírka	v	rýchlosť vetra
Lon	<i>z angl.</i> Longitude, zemepisná dĺžka	d	smer vetra
METAR	<i>z angl.</i> Meteorological Aerodrome Report	v_0/d_0	meraná rýchlosť/ smer vetra
		Δv	odchýlka v rýchlosti vetra
		Δd	odchýlka v smere vetra

Teoretický úvod

Letisko Poprad-Tatry

Medzinárodné letisko Poprad-Tatry sa nachádza v hornej časti Popradskej kotliny v relatívne veľkej nadmorskej výške. Východný koniec dráhy letiska, orientovanej v smere 09/27¹, leží v nadmorskej výške 694,5 m n. m. a západný koniec vo výške 718 m n. m. LZTT leží v zložitých orografických podmienkach. Zo severnej strany je obklopené Vysokými Tatrami, z južnej strany Nízkymi Tatrami a z východnej strany Levočskými vrchmi. Prevýšenie Vysokých Tatier voči polohe letiska je takmer 2000 m a prevýšenie Nízkych Tatier je okolo 1300 m.

Pre ilustráciu klímy letiska uvádzame nasledovné klimatické charakteristiky zo zdroja [2] určené z normálového obdobia 1951 – 1980. Priemerná ročná teplota vzduchu letiska Poprad-Tatry je +5,7 °C, pričom priemerná teplota vzduchu najchladnejšieho mesiaca (január) je -5,0 °C a priemerná teplota vzduchu najteplejšieho mesiaca (júl) je +15,5 °C. Priemerný ročný úhrn zrážok na letisku predstavuje 593 mm s maximom v júni (94 mm) a minimom v januári (24 mm). Priemerná ročná rýchlosť vetra na letisku Poprad-Tatry je 4 ms⁻¹ a prevládajúci smer vetra je západný, podľa [3].

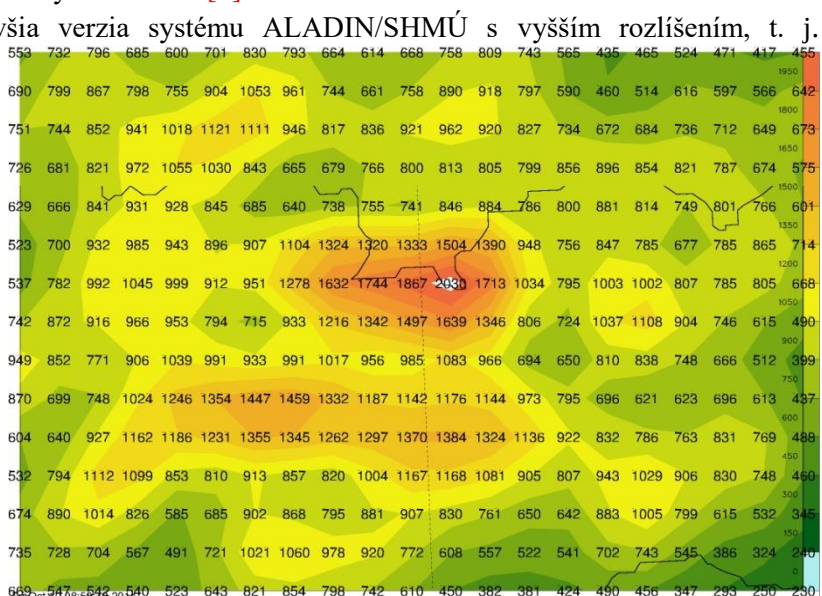
Model ALADIN

Model ALADIN vznikol ako verzia globálneho modelu ARPEGE aplikovateľná s vyšším rozlíšením a na ohraničenej oblasti. Je to spektrálny model, s možnosťou použitia hydrostatickej alebo nehydrostatickej aproximácie. Modelové prognostické premenné sú teplota, horizontálne zložky vetra, špecifická vlhkosť a prízemný tlak. Ostatné meteorologické parametre (ako oblačnosť, zrážky, atď.) sú diagnostikované na základe fyzikálnych parametrizácií.

Na SHMÚ je v operatívnej prevádzke verzia modelu ALADIN označovaná ALADIN/SHMÚ, ktorá pokrýva obdĺžnikovú oblasť Európy s rozmermi 2882 x 2594 km – sieť 320 x 288 uzlových bodov s horizontálnym rozlíšením 9 km. Vertikálne model používa 37 hladín (17 m nad povrchom - 5 hPa). Výpočet modelu prebieha 4-krát denne (o 00, 06, 12 a 18 hodine UTC) na 72 hodín s časovým krokom 400 s. Okrajové podmienky získava interpoláciou globálneho modelu ARPEGE. Počiatočné podmienky získava v asimilačnom cykle, kde prízemné polia sú analýzou prízemných pozorovaní metódou optimálnej interpolácie. Počiatočný stav výškových polí získavame metódou blendingu digitálnym filtrom. Počiatočné a okrajové podmienky sú pripravované každých 6 hodín. [1]

V súčasnosti je pripravovaná novšia verzia systému ALADIN/SHMÚ s vyšším rozlíšením, t. j. s horizontálnym krokom siete 4,5 km, vertikálnym počtom hladín 63 a časovým krokom 180 s.

Topografia a ďalšie geografické parametre modelu závisia od rozlíšenia modelu, z čoho vyplýva, že niektoré lokálne krajinné detaily (úzke údolia, izolované vrchy, príliš malé vodné plochy) nemôžu byť popísané s dostatočnou presnosťou, pretože nie sú reprezentatívne pre daný uzlový bod. Presnosť topografie modelu môže mať významný vplyv na kvalitu predpovedí, zvlášť v topograficky zložitom teréne.



Obr. 1: Topografia Tatier v modeli ALADIN pri 9 km rozlíšení

¹ Označenie orientácie dráhy. Udáva sa v desiatkach magnetického azimutu kurzu dráhy v stupňoch. Teda dráha označená ako 09/27, je orientovaná v smere 90° = východ / 270° = západ. Dvojité označenie sa používa pre dráhy, ktoré je možné použiť oboma smermi.

Porovnaním obrázkov 1 a 2 si možno všimnúť rozdiely medzi topografiou okolia Tatier modelu ALADIN/SHMÚ na 9 km rozlíšení a topografiou na 4,5 km rozlíšení. Vidíme, že celková presnosť topografie modelu sa zvýšila, avšak aj tak dostatočne nezodpovedá realite.

Nadmorská výška LZTT v modeli je 932,5 m pri 9 km rozlíšení a 746,7 m pri 4,5 km rozlíšení. Teda pri vyššom rozlíšení náš zvolený bod lepšie reprezentuje polohu LZTT.

Použitie údajov

Pre letisko Poprad-Tatry sme vyhodnocovali predpoveď vetra modelu ALADIN na 9 km rozlíšení pre obdobie 5 rokov 2009 – 2013. Pre vybrané prípady sme získali predpovede z testovacej verzie modelu na vyššom 4,5 km rozlíšení. Všetky údaje, ktoré sme na spracovanie použili, nám poskytol Slovenský hydrometeorologický ústav.

Informácie o meranom vetre sme použili zo správ METAR. Do úvahy sme brali len správy vydané o celej hodine (UTC), keďže predpoveď modelu ALADIN sa vzťahuje na každú celú hodinu. Dáta o meranom smere vetra v správe METAR sú v desiatkach stupňov (čiže s presnosťou $\pm 5^\circ$) a dáta o rýchlosti vetra v celých ms^{-1} (čiže s presnosťou $\pm 0,5 \text{ ms}^{-1}$).

Údaje z predpovede pre LZTT z modelu ALADIN sme získali zo superpočítača, na ktorom je model prevádzkovaný. Použili sme predpovede z termínov 00 a 12 UTC (ďalej označované aj ako beh 00 a beh 12 alebo RUN 00 a RUN 12), s predpoveďou na 24 hodín a krokom predpovede 1 hodina. Použili sme bodovú predpoveď pre Lat – Lon súradnice reprezentujúce polohu LZTT: 49,070 - 20,250. K tomuto bodu sme zo siete modelu ALADIN priradili interpoláciou hodnotu zo 4 najbližších uzlových bodov. Rovnaký algoritmus sa používa v automatických predpovedných systémoch prevádzkovaných na letisku.

Analogický postup sme aplikovali pre vybrané prípady pri testovaní modelu na vyššom 4,5 km rozlíšení, kedy sme vyhodnocovali predpoveď iba z polnočného behu. Keďže uzol 3 v tomto rozlíšení, t. j. 49.0750 - 20.2421 leží blízko dráhy letiska, tak sme pre vybrané prípady zistili predpoveď aj pre tento bod.

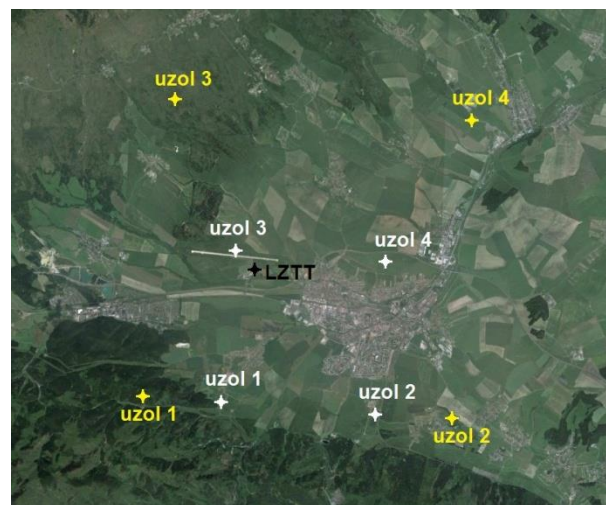
Rozmiestnenie najbližších 4 uzlových bodov v pôvodnom 9 km rozlíšení aj vo vyššom 4,5 km rozlíšení zobrazuje obrázok 3, pričom ich Lat - Lon súradnice sú nasledovné:

Rozlíšenie 9 km

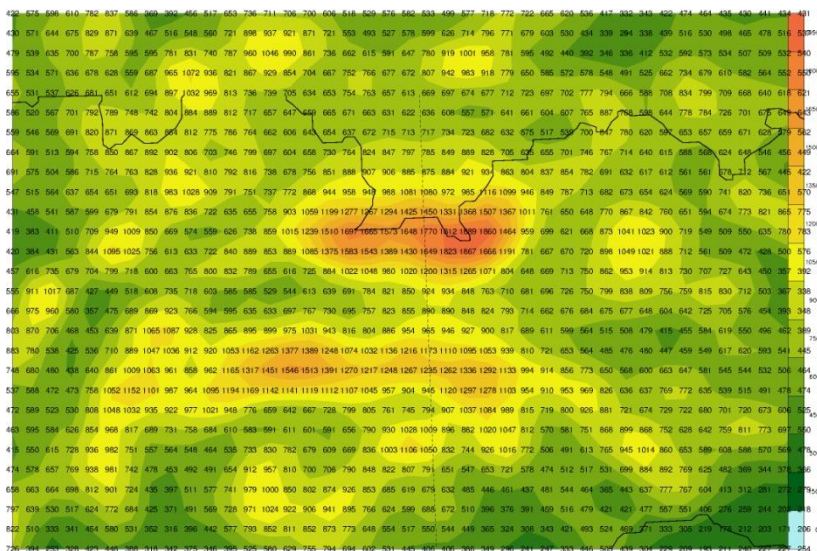
uzol 1: 49,0354 - 20,2087
uzol 2: 49,0321 - 20,3320
uzol 3: 49,1162 - 20,2137
uzol 4: 49,1129 - 20,3372

Rozlíšenie 4,5 km

uzol 1: 49.0346 - 20.2395
uzol 2: 49.0329 - 20.3012
uzol 3: 49.0750 - 20.2421
uzol 4: 49.0733 - 20.3037



Obr. 3: Poloha najbližších 4 uzlových bodov modelu ALADIN v okolí LZTT. Žltou - body v 9 km rozlíšení, bielou - body v 4,5 km rozlíšení, upravené z Google Earth



Kvalita predpovede vetra pri 9 km rozlíšení

Spolu za skúmané obdobie sme vyhodnocovali 43 817 prípadov pre každý beh modelu, z ktorých 9 421-krát bol nameraný premenlivý vietor s rýchlosťou menej ako $1,5 \text{ ms}^{-1}$, 10 619-krát bol $v_0 \geq 5 \text{ ms}^{-1}$ (24 %) a 760-krát bol $v_0 \geq 10 \text{ ms}^{-1}$ (menej ako 2 %).

Pri vyhodnocovaní sme sa prioritne zamerali na predpoveď smeru vetra. Skúmali sme odchýlky smeru vetra v dvoch kategóriách $v_0 \geq 5 \text{ ms}^{-1}$ a $v_0 \geq 10 \text{ ms}^{-1}$, pričom pod odchýlkou rozumieme absolútnu hodnotu rozdielu medzi meranou a predpovedanou hodnotou. V týchto dvoch kategóriách sme najskôr skúmali prípady, kedy sa vyskytlo $\Delta d \geq 30^\circ$ alebo $\Delta d \geq 60^\circ$. Relatívny

Tabuľka 1: Percento výskytu odchýlok v smere vetra na LZTT v danej kategórii a pri súčasnom výskyte s odchýlkou v rýchlosti vetra (platí pre beh 00 aj 12)

	$\Delta d \geq 30^\circ$	$\Delta d \geq 60^\circ$
$v_0 \geq 5 \text{ ms}^{-1}$	32%	16%
$v_0 \geq 10 \text{ ms}^{-1}$	20%	8%
$\Delta v \geq 3 \text{ ms}^{-1}$	6,5%	2%

počet týchto odchýlok v jednotlivých kategóriách je uvedený v **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.** v percentách, pričom hodnoty sú rovnaké pre oba behy modelu. Vidíme, že pri $v_0 \geq 5 \text{ ms}^{-1}$ sa vyskytli odchýlky $\Delta d \geq 30^\circ$ až v 32 % prípadov, z ktorých až polovica mala odchýlku aj $\Delta d \geq 60^\circ$. Pri rýchlosti vetra $v_0 \geq 10 \text{ ms}^{-1}$ bola už predpoveď smeru presnejšia, tzn. 20 % prípadov s odchýlkou $\Delta d \geq 30^\circ$ a len 8 % prípadov s $\Delta d \geq 60^\circ$. V poslednom riadku tabuľky 1 uvádzame percento početnosti odchýlok v smere vetra súčasne s výskytom odchýlok v rýchlosti $\Delta v \geq 3 \text{ ms}^{-1}$ voči všetkým skúmaným prípadom. Vidíme, že takých prípadov, kedy sa vyskytujú obe odchýlky súčasne je len málo. Samotné odchýlky v rýchlosti vetra $\Delta v \geq 3 \text{ ms}^{-1}$ nastali v 14 % prípadov z 43 817 pri oboch behoch modelu, z čoho (v porovnaní s hodnotami z odseku vyššie) možno usúdiť, že predpoveď rýchlosti vetra modelu ALADIN pri 9 km rozlíšení je

Tabuľka 2: Relatívna početnosť intervalov meraného a predpovedaného smeru vetra pri $v_0 \geq 5 \text{ ms}^{-1}$ a $v_0 \geq 10 \text{ ms}^{-1}$ pre oba behy modelu

presnejšia ako predpoveď smeru vetra.

$v_0 \geq 5 \text{ ms}^{-1}$	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Meranie	1%	14%	7%	1%	2%	14%	60%	1%
Predp. behu 00	6%	18%	4%	2%	5%	22%	37%	6%
Predp. behu 12	5%	18%	5%	2%	5%	21%	38%	5%

$v_0 \geq 10 \text{ ms}^{-1}$	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Meranie	1%	7%	1%	0%	0%	2%	88%	1%
Predp. behu 00	5%	7%	0%	0%	0%	11%	63%	14%
Predp. behu 12	5%	7%	0%	0%	0%	10%	65%	13%

0-20°=N, 30-60°=NE, 70-110°=E, 120-150°=SE, 160-200°=S, 210-240°=SW, 250-290°=W, 300-330°=NW, 340-360°=N

Ďalej sme pri vyhodnocovaní smeru vetra rozdelili smerovú ružicu na 8 hlavných smerov N, NE, E, SE, S, SW, W a NW (intervaly reprezentujúce jednotlivé smery vetra sú uvedené v spodnej časti tabuľky 2). Skúmali sme počet meraných a predpovedaných hodnôt prislúchajúcich každému z 8 intervalov pri oboch kategóriách rýchlosti. Takéto vyhodnotenie pre beh modelu z 00 UTC a z 12 UTC zobrazuje **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov..** Z tejto tabuľky vidíme, že najčastejšie na popradskom letisku fúkal vietor západných smerov, čo sa zhoduje s dlhodobým priemerom uvádzaným v [3]. Z tabuľky ďalej vidíme, že aj model predpovedá najčastejšie západný vietor, ale až o 20 % menej oproti meraniam. Naopak, relatívne častejšie predpovedá najmä juhozápadné a severozápadné smery. To pravdepodobne súvisí s tým, že v modeli s 9 km rozlíšením nie je dostatočne reprezentovaný tvar Popradskej kotliny. Model ju „vidí“ plytšiu a situovanú vo väčšej nadmorskej výške, pričom hrebene Tatier sú nižšie než v skutočnosti, vid' obrázky 1 a 2. Nižšie hrebene hôr tvoria menšiu prekážku prevládajúcemu prúdeniu, a teda model predpovedá aj taký vietor, ktorý je v realite daným pohorím blokovaný.

Vzhľadom na rozdiely v početnostiach prislúchajúcich hlavným smerom vetra medzi meraním a predpoveďou sme sa pre $v_0 \geq 5 \text{ ms}^{-1}$ rozhodli vyhodnotiť, v koľkých prípadoch z počtu predpovedí pre daný

interval smerov bol nakoniec smer z tohto intervalu aj nameraný a koľkokrát bol nameraný smer z iného intervalu. Takéto vyhodnotenie pre beh 00 zobrazuje **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.** (kde zelenou sú vyznačené zhodné intervaly meraného a predpovedaného vetra a červenou hodnoty nad 30 % mimo

Tabuľka 3: Percentuálne zastúpenie nameraných intervalov smeru vetra voči predpovedaným intervalom smerov vetra, pre kategóriu $v_0 \geq 5 \text{ ms}^{-1}$ a polnočný beh modelu

RUN 00		Meraný smer vetra							
		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Predpovedaný smer vetra	N	7,2	15,0	2,8	0,7	1,3	4,5	63,8	4,7
	NE	1,5	58,7	29,3	0,2	0,2	0,6	9,5	0,1
	E	0,4	33,6	31,3	1,5	0,0	1,3	31,1	0,8
	SE	0,8	5,1	5,1	2,7	1,9	3,5	80,2	0,8
	S	0,2	2,3	0,6	7,3	21,7	12,7	54,9	0,2
	SW	0,1	0,9	0,4	1,2	3,9	27,0	66,2	0,3
	W	0,0	0,3	0,4	0,1	0,2	17,8	80,3	0,9
	NW	1,0	0,0	0,3	0,0	0,5	5,6	86,7	5,8
0-20°=N, 30-60°=NE, 70-110°=E, 120-150°=SE, 160-200°=S, 210-240°=SW, 250-290°=W, 300-330°=NW, 340-360°=N									

zhodných intervalov). Rovnaká tabuľka pre beh z 12 UTC vyzerá podobne, ale kvôli obmedzenému rozsahu ju neuvádzame.

Z tabuľky 3 môžeme vidieť, že pri rýchlostiach vetra $v_0 \geq 5 \text{ ms}^{-1}$ model ALADIN najlepšie predpovedal vietor zo západných smerov. Viac ako 80 % z predpovede západných smerov bol takýto smer aj nameraný. Celkom dobre tiež predpovedal vietor zo severovýchodných smerov, a to vo vyše 58 % prípadov. Pri predpovedi ostatných smerov už taký úspešný nebol a nameraný vietor väčšinou nakoniec spadol do intervalu pre západný vietor, hoci model predpovedal smer z iného intervalu. Vyššia úspešnosť týchto W a NE smerov môže byť spojená s topografiou, a to tak, že západne aj severovýchodne od LZTT sú kotliny, a teda prevládajúce výškové prúdenie z týchto smerov (predpovedané aj modelom) nie je nútené obtekať horské prekážky (modelom nedostatočne vyjadrené).

Kvalita predpovede vetra pri 4,5 km rozlíšení pre vybrané prípady

Pre vybraných 7 dní zo skúmaného obdobia sme vypočítali predpoveď pre LZTT z testovacej verzie modelu ALADIN s rozlíšením 4,5 km (iba beh 00), ktorá lepšie reprezentuje topografiu okolia Tatier. Týchto 7 prípadov sme vybrali na základe výraznejších odchýlok predpovede smeru vetra voči meraniu ($\Delta d \geq 30^\circ$) vo viacerých po sebe nasledujúcich termínoch. Zvolené termíny sú nasledovné (k termínom pre ilustráciu uvádzame aj typ poveternostnej situácie, aká sa v daný deň vyskytovala):

Dátum	Synoptická situácia ²	Dátum	Synoptická situácia	Dátum	Synoptická situácia
6.4.2010	Bp	1.7.2011	Bp	9.3.2012	Ap2
16.5.2010	NEc	4.2.2012	Ec	29.11.2013	NWc
17.5.2010	NEc				

Pre každý z uvedených dní sme určili priemernú odchýlku (alebo inak aj Bias³) rýchlosti a smeru vetra medzi meraním a predpoveďou pri 9 km rozlíšení a pri 4,5 km rozlíšení. Všimli sme si, že pri 4,5 km rozlíšení modelu leží uzol 3 blízko dráhy letiska, preto sme vyhodnotili rovnaké charakteristiky aj pre tento bod. Priemerné odchýlky sú zaznamenané v **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**, pričom pri priemernej odchýlke smeru vetra sme vynechali prípady s premenlivým vetrom. Premennivý vietor bol v METAR-e zaznamenaný jedenkrát počas dňa 6.4.2010 a dvakrát v dňoch 16.5.2010 aj 1.7.2011. Z tabuľky 4 vidíme, že priemerná odchýlka rýchlosti vetra sa takmer vo všetkých 7 prípadoch 4,5 km rozlíšenia zväčšila oproti pôvodnej predpovedi s 9 km rozlíšením (aj pre uzol 3). Predpovedaná rýchlosť pri 9 km rozlíšení bola skoro vždy nižšia ako nameraná a pri 4,5 km rozlíšení sa predpoveď rýchlosti ešte znížila, a teda odchýlka Δv sa

² Vysvetlivky k typom synoptickej situácie sú dostupné na stránke: <http://www.shmu.sk/sk/?page=8>

³ Bias - skóre vyjadrujúce priemerný rozdiel medzi predpovedanou a nameranou hodnotou

zvýšila. Zlepšenie predpovede rýchlosti vetra pri 4,5 km rozlíšení počas celého dňa sme spozorovali len 1.7.2011, kedy $\overline{\Delta v}$ klesla zo 6,22 na 4,80 ms^{-1} , aj to boli predpovedané hodnoty výrazne menšie ako namerané. Naopak, priemerná odchýlka smeru vetra sa výrazne zmenšila vo všetkých 7 termínoch a v bode LZTT je ešte menšia ako v uzle 3, ktorý leží blízko dráhy letiska.

Ďalej sme pre jednotlivé dni zisťovali ako sa zmenil počet odchýlok min. 30° a min. 60° pri $v_0 \geq 5 \text{ ms}^{-1}$ pri 9 km a 4,5 km rozlíšení a pre uzol 3. Porovnanie početnosti odchýlok pôvodnej a novej predpovede umožňuje tabuľka 5. Maximálny možný počet odchýlok bol 24, ale ako vidíme, toľko sa ich nevyskytlo v žiadnom zo zvolených termínov. Najväčší počet odchýlok v pôvodnom rozlíšení bol dňa 17.5.2010, kedy v 22 z 24 prípadov rýchlosti $v_0 \geq 5 \text{ ms}^{-1}$ bola aj odchýlka $\Delta d \geq 30^\circ$ a v 15 prípadoch odchýlka $\Delta d \geq 60^\circ$. Avšak pri 4,5 km rozlíšení pre bod LZTT sa počet týchto odchýlok predpovedí smeru vetra pre deň 17.5.2010 znížil na nulu. V ostatných šiestich dňoch sme tiež zaznamenali viditeľný pokles počtu odchýlok v 4,5 km rozlíšení pre LZTT oproti pôvodnému rozlíšeniu. Pri predpovedi pre uzol 3 v 4,5 km rozlíšení sa ich počet tiež znížil, ale nie tak výrazne.

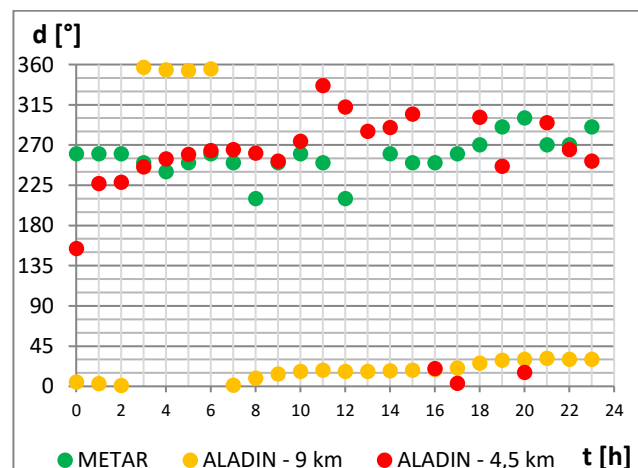
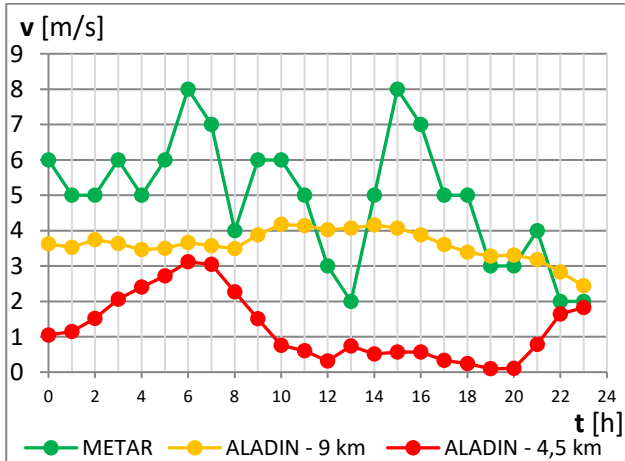
Zlepšenie predpovede smeru a zhoršenie predpovede rýchlosti vetra pre LZTT pri 4,5 km rozlíšení oproti pôvodnému 9 km rozlíšeniu môžeme vidieť aj na nižšie uvedených grafoch 1 - 8 znázorňujúcich časový priebeh nameranej a predpovedanej (v 9 km a 4,5 km rozlíšení pre beh 00) rýchlosti a smeru vetra a ich odchýlku na letisku Poprad-Tatry počas daného dňa.

Tabuľka 5: Priemerné odchýlky (Bias) predpovedí rýchlosti a smeru vetra pre jednotlivé termíny z behu modelu 00 (stĺpce 9 km predstavujú odchýlku pôvodnej predpovede pre bod LZTT s 9 km rozlíšením, stĺpce 4,5 km odchýlku predpovede pre LZTT s 4,5 km rozlíšením a

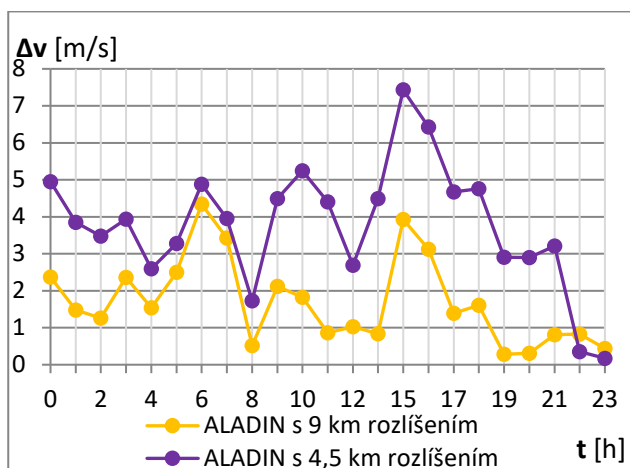
Dátum	$\overline{\Delta v} \text{ [ms}^{-1}\text{]}$			$\overline{\Delta d} \text{ [}^\circ\text{]}$		
	9 km	4,5 km	uzol 3	9 km	4,5 km	uzol 3
6.4.2010	1,59	3,58	3,02	111,3	43,8	77,78
16.5.2010	2,85	3,84	3,89	86,8	20,9	46,19
17.5.2010	4,57	4,96	5,24	69,6	7,0	44,86
1.7.2011	6,22	4,80	5,7	71,8	9,4	38,25
4.2.2012	1,43	1,12	1,58	64,4	25,4	27,18
9.3.2012	4,11	4,24	4,56	97,6	26,4	46,99
29.11.2013	4,44	3,77	3,14	48,9	24,1	61,67

Tabuľka 4: Absolútna početnosť $v_0 \geq 5 \text{ ms}^{-1}$ a odchýlok min. 30° a min. 60° pri $v_0 \geq 5 \text{ ms}^{-1}$ počas daného dňa pre beh 00 v pôvodnom a novom rozlíšení pre LZTT a uzol 3 (označenia stĺpcov - 9 km, 4,5 km a uzol 3 sú rovnaké ako v Tab. 4)

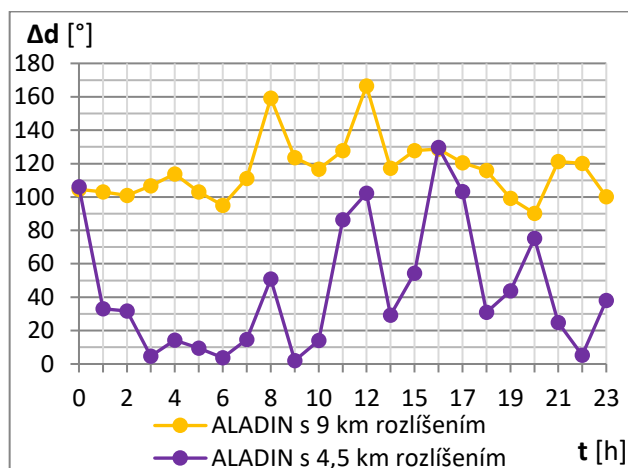
	9 km	4,5 km	uzol 3	9 km	4,5 km	uzol 3
6.4.2010	16	16	8	16	4	11
16.5.2010	18	18	1	18	0	4
17.5.2010	24	22	0	17	0	6
1.7.2011	19	16	1	13	1	1
4.2.2012	14	14	1	7	0	0
9.3.2012	18	18	10	13	0	7
29.11.2013	21	16	9	17	0	11



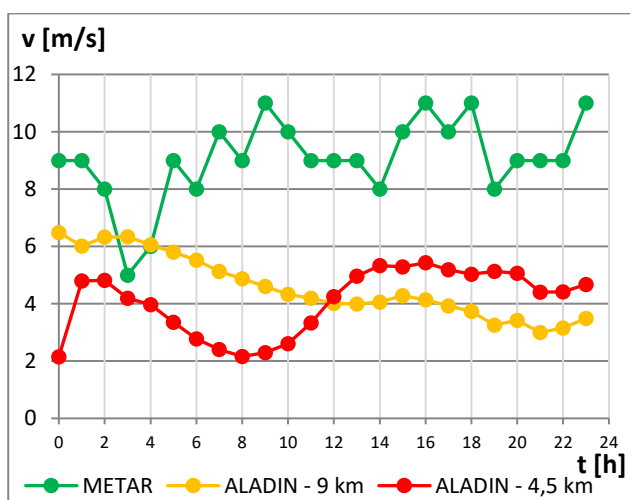
Graf 1: Časový priebeh nameranej a predpovedanej rýchlosti vetra pre LZTT počas dňa 6.4.2010



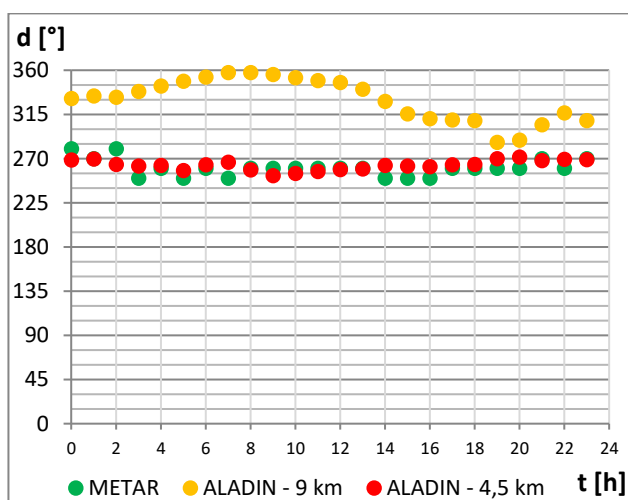
Graf 2: Časový priebeh nameraného a predpovedaného smeru vetra pre LZTT počas dňa 6.4.2010



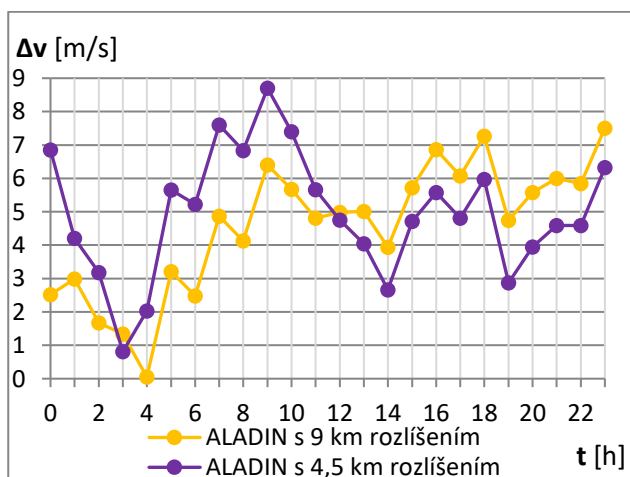
Graf 3: Časový priebeh odchýlok predpovedí rýchlosti vetra pri 9 km a 4,5 km rozlíšení pre LZTT počas dňa 6.4.2010



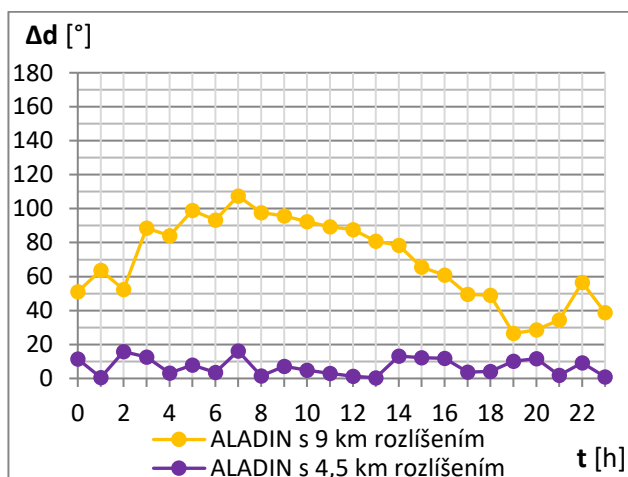
Graf 4: Časový priebeh odchýlok predpovedí smeru vetra pri 9 km a 4,5 km rozlíšení pre LZTT počas dňa 6.4.2010



Graf 5: Časový priebeh nameranej a predpovedanej rýchlosti vetra pre LZTT počas dňa 17.5.2010



Graf 6: Časový priebeh nameraného a predpovedaného smeru vetra pre LZTT počas dňa 17.5.2010



Graf 7: Časový priebeh odchýlok predpovedí rýchlosti vetra pri 9 km a 4,5 km rozlíšení pre LZTT počas dňa 17.5.2010

Graf 8: Časový priebeh odchýlok predpovedí smeru vetra pri 9 km a 4,5 km rozlíšení pre LZTT počas dňa 17.5.2010

Grafické zobrazenie uvádzame len pre 6.4.2010, kedy bolo zlepšenie predpovede smeru vetra najmenej výrazné (grafy 1 – 4) a pre 17.5.2010, kedy naopak, bolo zlepšenie predpovede smeru najvýraznejšie a priemerná odchýlka smeru vetra za celý deň pri 4,5 km rozlíšení bola menej ako 10°.

Zlepšenie predpovede smeru a zhoršenie predpovede rýchlosti vetra pri 4,5 km rozlíšení vyplývajúce z našich výsledkov pre LZTT pre zvolených 7 prípadov potvrdzuje aj vyhodnotenie objektívnej verifikácie predpovedí operatívnej a testovacej verzie modelu ALADIN, viď obr. A a B v prílohe. Na obrázkoch je znázornené štatistické skóre Bias a RMSE (skóre predstavujúce rozptyl medzi predpovedanými a nameranými hodnotami) rýchlosti aj smeru vetra pre obe verzie modelu zo všetkých slovenských synoptických staníc za 4 mesiace. Podľa skóre Bias vidíme, že predpoveď smeru vetra sa pri vyššom rozlíšení naozaj zlepši na všetkých slovenských staniciach a predpoveď rýchlosti sa naopak zhorší.

V prílohe prikladáme aj obrázky C a D vykresľujúce pole vetra v superpozícii s modelovou topografiou (v 9 km a 4,5 km rozlíšení) v oblasti letiska Poprad-Tatry pre lepšiu ilustráciu interakcie poľa prúdenia s modelovou topografiou. Vybrali sme termín s v_0 aspoň 5 ms^{-1} a zároveň výraznou odchýlkou smeru vetra (pri pôvodnom 9 km rozlíšení). Porovnaním týchto obrázkov vidíme, že predpovedané prúdenie sa v oblasti Tatier naozaj zmenilo, a to nielen pre náš zvolený bod, ale všeobecne pre celú oblasť Tatier. Vidieť, že prúdenie v 4,5 km rozlíšení sa lepšie prispôsobuje presnejšej modelovej topografii.

Záver

Analyzovali sme odchýlky predpovedí vetra z numerického modelu ALADIN pre letisko Poprad-Tatry v období 2009 – 2013. Zvolili sme 24-hodinovú predpoveď z termínov 00 a 12 UTC a metódu 4-bodovej interpolácie pre zvolený bod letiska. Prioritne sme sa zamerali na predpoveď smeru vetra.

V prvom kroku sme vyhodnocovali odchýlky smeru a rýchlosti vetra pri 9 km rozlíšení t. j. operatívne používanej verzii modelu. Z výsledkov úspešnosti predpovedí vetra sme zistili, že na tomto rozlíšení je predpoveď rýchlosti vetra presnejšia ako predpoveď smeru vetra pre LZTT. Ďalej sme analyzovali 8 intervalov reprezentujúcich hlavné smery vetra, kde sme zistili, že model výrazne nadhodnocuje predpoveď severných smerov vetra na úkor západných smerov. Chyby modelu pri severnom prúdení zrejme súvisia so zjednodušenou topografiou okolia Tatier pri 9 km rozlíšení modelu, kde nie je dobre vyjadrená Podtatranská kotlina a hrebene Vysokých Tatier sú nižšie, čo umožňuje v modeli jednoduchší prechod prevládajúceho prúdenia cez horské prekážky oproti realite. Usudzujeme, že dominancia odchýlok pri severných situáciách môže tiež súvisieť so vznikom horských vln na záveternej strane Vysokých Tatier, pričom sa v spodných hladinách na záveternej strane tvoria horizontálne víry výrazne ovplyvňujúce prúdenie pri zemi a model ALADIN na danom rozlíšení nedokáže takúto deformáciu prúdenia zachytiť.

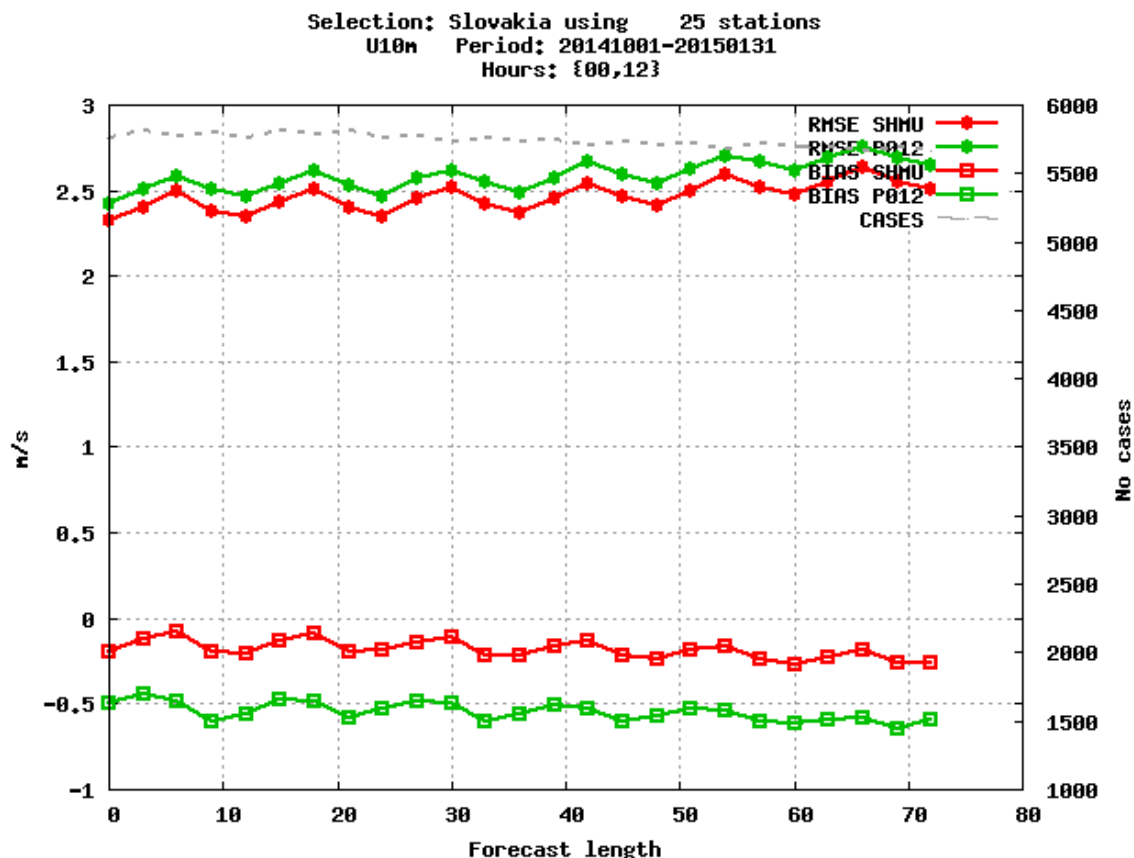
Keďže v zložitom teréne je pre predpoveď vetra kľúčová čo najpresnejšie popísaná topografia, v druhom kroku sme skúmali presnosť predpovedí vetra z testovacej verzie modelu ALADIN, t. j. na vyššom 4,5 km rozlíšení pre vybraných 7 prípadov. Zistili sme, že so zvýšením rozlíšenia sa zlepšila predpoveď smeru vetra, a to v každom z vybraných termínov, naopak predpoveď rýchlosti vetra sa zhoršila. Všimli sme si, že model pri pôvodnom rozlíšení zväčša predpovedal nižšiu rýchlosť vetra voči meraniam a na vyššom rozlíšení je predpovedaná hodnota rýchlosti často ešte nižšia. Rovnaké závery vyplývajú aj z objektívnej verifikácie zo všetkých slovenských synoptických staníc za 4 mesiace. Zlepšenie predpovede smeru a zhoršenie predpovede rýchlosti vetra teda nie je iba lokálneho charakteru pre LZTT. Pokles predpovedanej rýchlosti môže signalizovať, že je potrebné urobiť dôkladnejšiu verifikáciu a možno preladiť fyzikálne parametrizácie popisujúce interakciu poľa prúdenia s povrchom za účelom spresnenia predpovede rýchlosti vetra.

V budúcnosti je možné túto prácu ešte rozšíriť, napríklad skúmaním predpovedí na 4,5 km rozlíšení pre štatisticky významnejší súbor alebo štúdiom vertikálnych rezov modelovej predpovede v oblasti LZTT, na základe čoho by sme mohli zistiť, či model rozoznáva horské vlny.

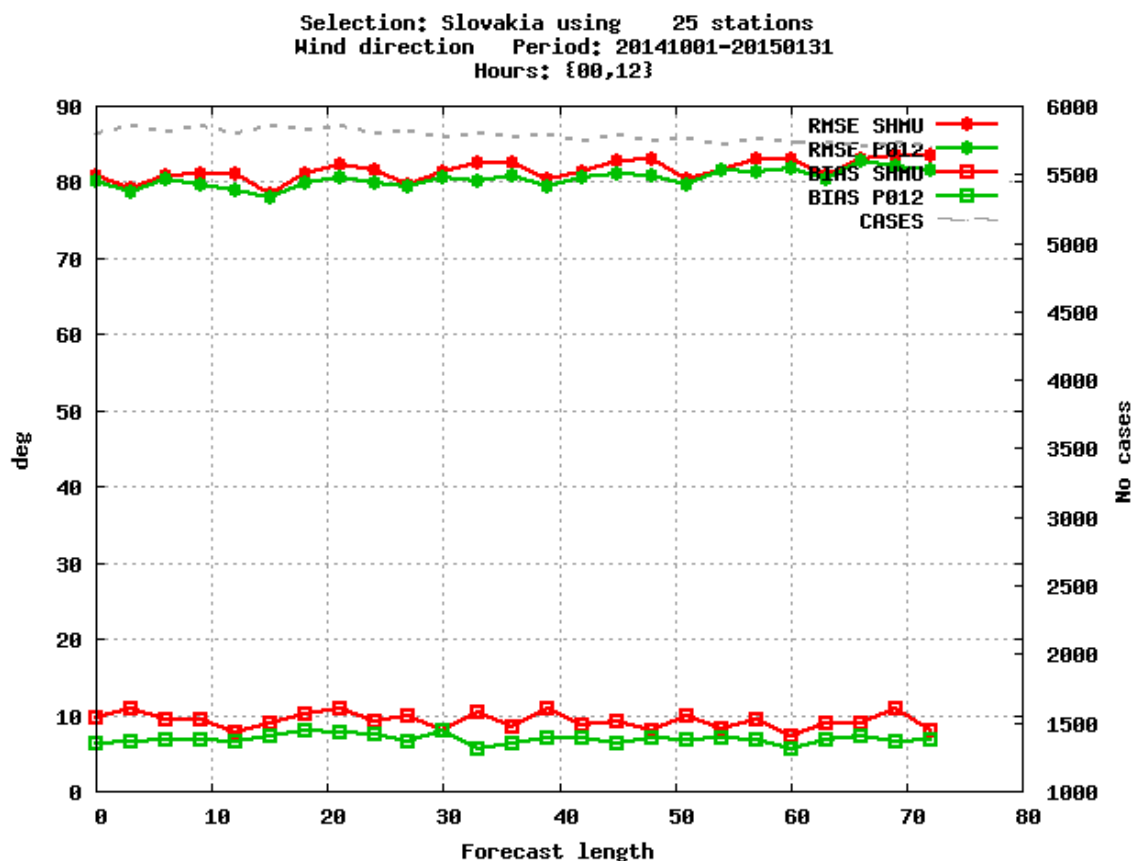
Literatúra

- [1] M. Derková, „Numerical Weather Prediction Activities at the Slovak Hydrometeorological Institute,“ *Meteorological Journal*, Vol. 8, No 2, pp. 53-64, 2005.
- [2] „Klimatické pomery Slovenska. Vybrané charakteristiky,“ *Zborníky prác SHMÚ*, zv. č. 33/I, Bratislava, ALFA 1991.
- [3] Konček, M a kolektív, *Klíma Tatier*, Bratislava: VEDA, Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied, 1974. Prvé vydanie

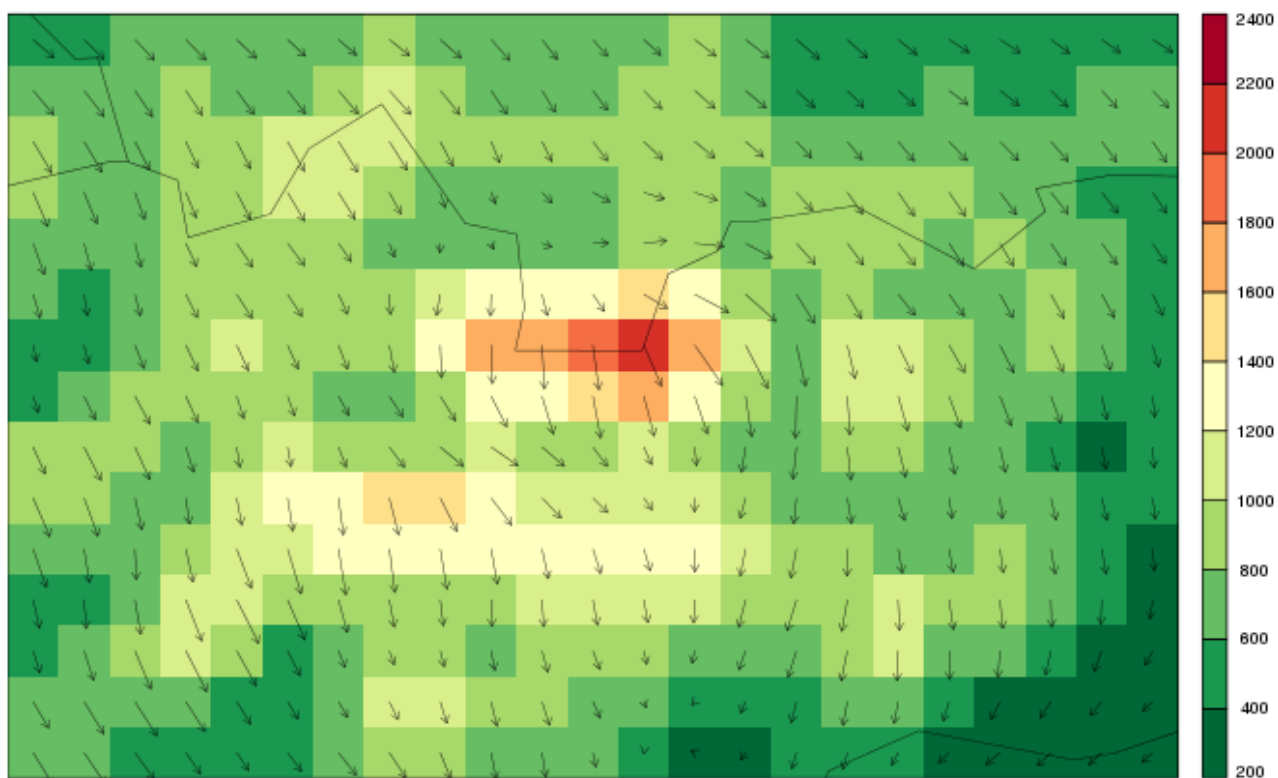
Príloha



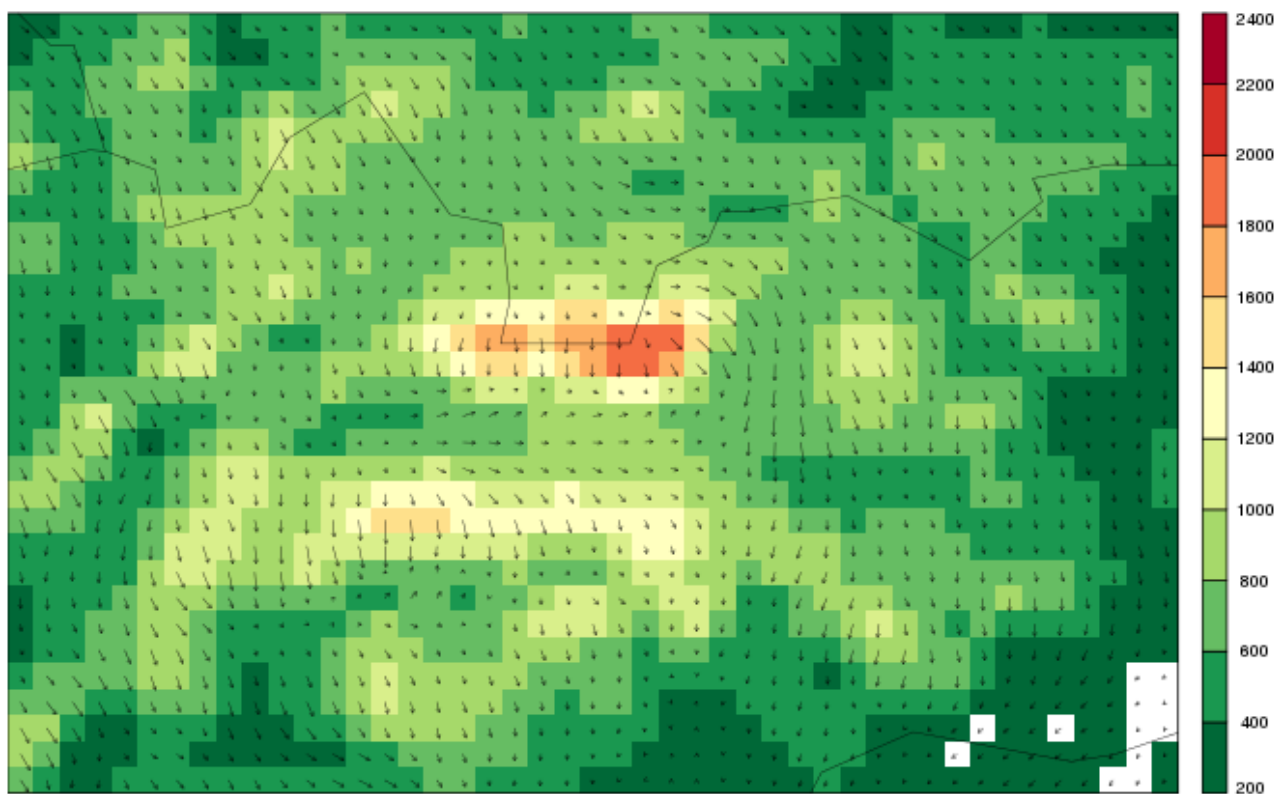
Obr. A: Štatistické skóre Bias a RMSE predpovedí rýchlosti vetra z verzie v operatívnej prevádzke (červenou) a testovacej verzie (zelenou) modelu ALADIN behu 12 pre všetky slovenské synoptické stanice, poskytol SHMÚ



Obr. B: Štatistické skóre Bias a RMSE predpovedí smeru vetra z verzie v operatívnej prevádzke (červenou) a testovacej verzie (zelenou) modelu ALADIN behu 12 pre všetky slovenské synoptické stanice, poskytol SHMÚ



Obrázok C: Predpoveď poľa vetra z modelu ALADIN v oblasti Tatier spolu s modelovou topografiou z dňa 17.5.2010 behu 00 UTC platná na 7 hodinu UTC pre rozlíšenie 9 km



Obrázok D: Predpoveď poľa vetra z modelu ALADIN v oblasti Tatier spolu s modelovou topografiou z dňa 17.5.2010 behu 00 UTC platná na 7 hodinu UTC pre rozlíšenie 4,5 km