Adiabatický pokles teploty v prestreľujúcich vrcholkoch búrkových oblakov

Anna Buchholcerová, 2015

Oddelenie meteorológie a klimatológie, Katedra astronómie, fyziky Zeme a meteorológie Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Univerzita Komenského v Bratislave e-mail: anna.buchholcerova@gmail.com

Abstrakt:

Cieľom tohto diela bolo popísať adiabatický pokles teploty prestreľujúcich vrcholkov búrkových oblakov v závislosti od výšky ich prieniku nad tropopauzu. Hodnoty minimálnej jasovej teploty prestreľujúcich vrcholkov búrkových oblakov z databázy z rokov 2009 až 2014 pre územie Európy Kristophera Bedku z NASA sme spresnili pomocou porovnania s dátami polárnych družíc s lepším rozlíšením. Pomocou databázy Jána Kaňáka z SHMÚ sme spárovali namerané prestreľujúce vrcholky, čím sme získali hodnoty prienikov prestreľujúcich vrcholkov nad tropopauzu. Pomocou týchto dát sme určili vertikálny teplotný gradient pre tieto úkazy. Prestreľujúce vrcholky sú veľmi významnou črtou silných konvektívnych systémov. Ich skúmanie je dôležité vzhľadom na spojitosť s nebezpečnými javmi na zemskom povrchu ako sú intenzívne zrážky, krúpy.

Abstract:

The goal of this school paper work was to describe the adiabatic lapse rate of storm cloud's overshooting tops in dependence of the height of its penetration over the tropopause. Overshooting tops minimal brightness temperature values comes from Kristopher Bedka database. The database contains the dataset of overshooting tops over Europe from the year 2009 till 2014. By means of SHMÚ employee Ján Kaňák's database of overshooting tops we were able to couple the some of the overshooting tops amongst the database in order to obtain both height of penetration from second database and brightness temperature from the first database for particular tops. By means of those data we determined the lapse rate of those phenomena. Overshooting tops are characteristic feature of deep convective systems. Research in this field of interest is important to consideration of its connection with other severe weather features such as intensive rainfall, hailstorms.

Anotácia:

Merania minimálnych jasových teplôt prestreľujúcich vrcholkov, ako štruktúr s pomerne malými rozmerni, geostacionárnymi družicami MSG v infračervených kanáloch nie sú pre ich slabé rozlíšenie 3 x 3 km² dostatočné. Vykonali sme korekciu minimálnej jasovej teploty prestreľujúcich vrcholkov podľa meraní polárnych družíc, aby sme mohli presnejšie vyjadriť pokles teploty vrcholku nad tropopauzou.

Annotation:

Measurements of minimal brightness temperature of overshooting tops, as structures with small magnitudes, by geostationary satellites MSG by infrared channels are because of low resolution $3 \times 3 \text{ km}^2$ insufficient. Correction of minimal brightness temperature of overshooting tops by measurements of polar satellites allowed us to make analyses of overshooting tops more precise.

Kľúčové slová:

prestrel'ujúce vrcholky, tropopauza, hlboká konvekcia **Key words:** overshooting tops, tropopause, deep convection

Zoznam použitých skratiek:

AVHRRAdvanced Very High Resolution Radiometer		Rádiometer na polárnych družiaciach NOAA a METOP
BT	Brightness Temperature	Jasová teplota
BTD	Brightness Temperature Difference	Rozdiel jasových teplôt
GFS	Global Forecasting System	Americký numerický model predpovede počasia
HRV	High Resolution Visible	VIS kanál na družiciach MSG so zväčšeným rozlíšením
IR	Infrared	Označenie infračervených kanálov
	IRW-texture	Objektívna metóda detekcie prestreľujúcich vrcholkov
MSG	Meteosat Second Generation	Družice Meteosat druhej generácie
NKRG		Nekorigované
LR	Lapse Rate	Vertikálny teplotný gradient
OT	Overshooting Top	Prestreľujúci vrcholok
SEVIRI	Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager	Rádiometer na družiciach MSG

Teoretický úvod

Prestrel'ujúce vrcholky

Prestreľujúce vrcholky sú jednou zo štruktúr veľmi mohutných búrkových oblakov. Búrková činnosť je výsledkom vzostupných konvektívnych pohybov a k nim kompenzačným zostupným pohybom. Vzostupný pohyb vzduchu je následkom pôsobenia archimedovských vztlakových síl na častice vzduchu. Konvekciu podľa príčiny vzniku archimedovských síl delíme na *termickú* (prítomnosť oblastí s dostatočne prehriatym povrchom) a *vynútenú* (v prípade pretekania orografických prekážok). Podľa doterajších výskumov dosahujú prestreľujúce vrcholky horizontálny rozmer najviac 12 km [1]. Sú kónického tvaru a z údajov družicového snímania dosahujú najnižšiu jasovú teplotu v mieste ich najvyššieho presahu nad nákovu. Smerom k nákove ich výška presahu klesá a jasová teplota stúpa.

Konvektívna oblačnosť

Vznik konvektívnej oblačnosti je podmienený viacerými faktormi [2]:

- prítomnosťou inicializačného procesu, ktorý vyvolá výstupné konvektívne pohyby (rozloženie teplotných nehomogenít, prítomnosť orografických prekážok),
- vhodným vertikálnym profilom teploty a vlhkosti, čiže prítomnosťou podmienene instabilného zvrstvenia atmosféry,
- dostatkom vodnej pary a energie vo vystupujúcom vzduchu.

Pri narazení na nevhodné podmienky, napr. izotermiu v teplotnom zvrstvení atmosféry sa vzostupný prúd vzduchu orientuje na prenikanie pozdĺž tohto zlomu, čím pri mohutných oblakoch vzniká nákova. V ojedinelých prípadoch sa vyskytujú dostatočné podmienky na to, aby rast oblaku pokračoval vertikálne nahor aj napriek izotermii. Izotermiu, ktorá sa vyskytuje v tejto oblasti, v stratosfére vystrieda nárast teploty s výškou. V prípadoch veľmi silných výstupných prúdov však vo fáze ich maximálnej intenzity môže dôjsť k prerazeniu rovnovážnej hladiny, pri ktorom vznikajú prestreľujúce vrcholky. Po vyčerpaní prístupnej kinetickej energie vrcholok spätne klesá.

Sprievodnými javmi prestreľujúcich vrcholkov bývajú aj rôzne nebezpečné javy, v našich podmienkach napr.: intenzívne zrážky, silný vietor či krúpy. Tieto sprievodné javy sú jedným z hlavných dôvodov na skúmanie prestreľujúcich vrcholkov.

Táto práca pojednáva o poklese teploty prestreľujúceho vrcholku s jeho prienikom nad tropopauzu. Tento pokles označujeme veľkým tlačeným gréckym písmenom gama Γ a popisujeme ho zápornou zmenou teploty prestreľujúceho vrcholku s jeho výškou, resp. presahom nad tropopauzu z.

$$\Gamma = -\frac{\partial T}{\partial z}$$

Výstupné prúdy, z ktorých pozostávajú prestreľujúce vrcholky považujeme za systém objemov vzduchu, ktoré sa pohybujú smerom nahor. Tieto objemy sa dostávajú do redšieho prostredia, kde sa rozpínajú na úkor okolia. Predpokladáme, že častice si nevymieňajú teplo s okolím, a v prípade, že nedochádza k fázovým zmenám v rámci objemu, môžeme časticu suchého vzduchu popísať prvou termodynamickou rovnicou pre adiabatický dej:

$$dq = c_p dT - \alpha dp = 0,$$

kde dq označuje teplo dodané sústave, c_p merné teplo pri stálom tlaku, T termodynamickú teplotu, p atmosférický tlak, α merný objem.

Družicové dáta

Prestreľujúce vrcholky búrkovej oblačnosti sú najlepšie pozorovateľné satelitným snímaním. V našej práci sme mali k dispozícii snímky búrkovej oblačnosti z európskych geostacionárnych družíc MSG a z polárnych družíc. Hlavným rozdielom medzi týmito typmi družíc je ich rozlišovacia schopnosť, čo je spôsobené vzdialenosť ou družice od zemského povrchu a rozlíšením

používaných prístrojov. Polárne družice sa nachádzajú približne 800 km nad povrchom Zeme, geostacionárne družice vo výške 36 000 km. Dáta z polárnych družíc sme použili na kalibráciu geostacionárnych meraní, nakoľko poskytovali rozlíšenie 1×1 km² pre všetky svoje kanály. Geostacionárne družice poskytovali rozlíšenie 3×3 km² pre subsatelitný bod pre prvých jedenásť kanálov a 1×1 km² pre dvanásty kanál HRV (High Resolution Visible). Tento kanál zobrazuje snímky v širšom rozpätí viditeľnej a blízkej infračervenej oblasti spektra od 0,4 do 1,1 µm a na území strednej Európy je jeho rozlišovacia schopnosť vplyvom paralaxy iba približne 2×3 km². Geostacionárne družice sú vhodné na monitoring zemského povrchu, pretože danú oblasť monitorujú 24 hodín denne, na rozdiel od polárnych družíc, ktoré nad určitým územím preletia približne 4-krát za deň. Táto nesporná výhoda je však kompenzovaná nedostatočným rozlíšením, pretože na svojej palube nemá výkonnejšie stroje ako sú na polárnych družiciach a navyše sa nachádza v približne 4-násobnej výške nad povrchom Zeme oproti družiciam s polárnou dráhou. Družicové snímky uložené v špecifických formátoch (AVHRR DataLevel 1b pre polárne a HRIT level 1.5 pre geostacionárne družice) boli spracované a jednotlivým pixlom je priradená radiancia, spektrálna odrazivosť, spektrálna priepustnosť, spektrálna emisivita povrchu, ktorý žiarenie vyžiaril. Emisivitu ε popisujeme nasledovne [2]:

 $B_{\lambda}(BT)$ označujeme ako Planckovu funkciu fiktívnej teploty *BT*. *BT* (brightness temperature), resp. jasová teplota predstavuje fiktívnu hodnotu, ktorú by dosahovalo teleso, pokiaľ by vyžarovalo s emisivitou absolútne čierneho telesa. Planckova funkcia B_{λ} vyjadruje intenzitu vyžarovania absolútne čierneho telesa s teplotou *T* na vlnovej dĺžke λ . Jasová teplota je vždy nižšia ako teplota skutočná. Skutočnú teplotu skúmanej vrstvy zväčša nepoznáme, pretože nepoznáme emisivitu danej vrstvy. Jasovú teplotu hornej vrstvy oblačnosti (v našom prípade hornú vrstvu nákovy búrkovej oblačnosti či prestreľujúci vrcholok) považujeme za významný parameter pri určovaní výšky danej vrstvy nad povrchom.

Detekcie prestrel'ujúcich vrcholkov

Uvádzame dve metódy detekcie prestreľujúcich vrcholkov:

- 1. Metóda IRW-texture je to objektívna detekčná metóda, ktorú vyvinul Kristopher Bedka z NASA. Táto metóda využíva kombináciu dát pochádzajúcich z gradientov jasovej teploty kanálu infračerveného okna (v našom prípade IR 10.8), z numerickej predpovede teploty tropopauzy, zo štúdie ohľadom horizontálnych rozmerov a iných vlastností prestreľujúceho vrcholku, (*z angl.* overshooting tops, skrátene OT), z kritéria ohľadom jasovej teploty na posúdenie prípadu (či to je a či nie je prestreľujúci vrcholok). Táto metóda predpokladá, že minimálna teplota prestreľujúceho vrcholku je menšia ako 215 kelvinov, a že rozdiel jasových teplôt OT a nákovy je aspoň 6,5 kelvina. Keďže táto metóda využíva na detekciu prestreľujúcich vrcholkov infračervený kanál, je možné ju používať i v noci a pomocou viacerých nastavení ju možno zautomatizovať a zapracovať do produktov národných predpovedných meteorologických služieb.
- 2. Optická metóda metóda, ktorá sa zakladá na jednotlivom prechádzaní snímkov a ručnom hľadaní prestreľujúcich vrcholkov, ktoré sú viditeľné vo viditeľnom spektre. Túto metódu nie je možné používať v nočných hodinách.

Výpočet výšky presteľujúcich vrcholkov – metóda tieňov.

Na snímkach viditeľného spektra pri vhodných podmienkach je možné vidieť tiene, ktoré vrhajú OT

na nákovu oblaku. Následne pri dostatočnom rozlíšení je možné určiť dĺžku tieňov a podľa výšky Slnka nad horizontom určiť výšku OT. Pri tejto metóde je možné používať iba snímky, na ktorých sa Slnko nachádza nízko nad horizontom, teda skoré ranné a neskoré večerné termíny. V týchto prípadoch je tieň dostatočne dlhý na to, aby sme ho vedeli s ohl'adom na rozlíšenie družice zaznamenať. Taktiež sa OT nesmie nachádzať príliš na východnom okraji búrky,



oblaku.



Spracovanie dát

S ohľadom na cieľ tejto práce sme vyhľadali dostatočný počet pozorovaní OT súčasne na polárnej i geostacionárnej družici. Keďže sme tieto snímky potrebovali spracovať i pomocou metódy tieňov, mohli sme hľadať iba skoré ranné a neskoré večerné termíny. OT sme potrebovali pozorovať i polárnou družicou, ktorá prelietava nad oblasťou s búrkovou činnosťou, a taktiež sme hľadali snímky, kde sa pozorované javy nachádzajú blízko roviny preletu, aby sme získali čo najmenší paralaktický posun. Spárovali sme viaceré prípady z rokov 2009 – 2011, avšak iba 77 OT z týchto snímok vyhovovalo našim podmienkam. MSG družice vo svojom klasickom nastavení snímkujú Zem každých 15 minút, smerom z juhu na sever. Veľa potenciálnych párov snímkov polárnych a geostacionárnych družíc sme pri časovej odchýlke snímania väčšej ako 10 minút vylúčili zo spracovania, keď že OT sú štruktúry s veľmi intenzívnym, avšak krátkym životným cyklom. T. j. chceli sme zaznamenať OT na oboch snímkach v čo najbližšej fáze vývoja.

Nájdené prípady OT snímky sme uložené v špecifických formátoch (AVHRR DataLevel 1b pre polárne a HRIT level 1.5 pre geostacionárne družice) z oboch družíc predpripravili pomocou voľne prístupného amerického softvéru MCIDAS-V tak, aby predstavovali rovnaké výseky oblačnosti

zachytávajúcej OT. Z geostacionárnych družíc sme využívali kanály HRV a IR 10.8 rádiometra SEVIRI, z polárnych družíc kanály VIS 0.63 a IR 10.8 rádiometra AVHRR. Dáta sme spracovali v obdĺžnikovej doméne s projekciou s pravidelným gridom tak, že v riadkoch sa nachádzali body s rovnakou zemepisnou šírkou a v stĺpcoch sa nachádzali body s rovnakou zemepisnou dĺžkou. Vplyvom paralaktického posunu boli jednotlivé pixely zošikmené a taktiež premietnutie zosnímanej oblasti bolo trochu rozdielne pre obe družice. Príčiny odlišného zobrazovania najlepšie popisuje obrázok č. 2. Odlišnosti boli spôsobené rozdielnou letovou hladinou družíc a taktiež polohou družice. Obrázky sme upravili tak, aby v infračervenom



Obrázok 2 Schéma vzniku paralaktického posunu vplyvom výšky oblačnosti a polohy družice

spektre boli zobrazené len pixely s hodnotami v rozpätí 195 – 230 kelvinov. Pre viditeľné kanály sme nastavili jasnosť približne v rozmedzí 0 až 40 % tak, aby bola štruktúra oblaku jasne čitateľná. Predpripravené obrázky, ktoré znázorňovali viditeľné a infračervené kanály na geostacionárnej a polárnej družici sme spracovali v programe Screen BT Reader. Z obrázkov (v prílohe) jasne vidieť, že IR kanál geostacionálnej družice má približne 10-násobne horšie rozlíšenie ako ostatné kanály.

Korekcia dátami z polárnych družíc

Screen BT Reader je program vytvorený RNDr. Jánom Kaňákom zo SHMÚ, ktorý slúži na analýzu jednotlivých prestreľujúcich vrcholkov. V našej práci sme ho využili predovšetkým na odčítavanie minimálnych jasových teplôt OT. Program pracuje so spárovanými snímkami IR a VIS jedného prípadu, z jednej družice. Po kliknutí na ľubovoľné miesto na snímke prebehne algoritmus, ktorý vyhľadá najchladnejšie miesto v okolí 10 km a zacentruje výslednú kružnicu, (resp. elipsu, podľa projekcie) na najchladnejší pixel podľa kanálu IR. Kružnica je vzdialená 10 km od centrálneho pixelu. Program taktiež vygeneruje a zobrazí histogram početností pixelov s prislúchajúcimi jasovými teplotami. Pokiaľ skúmaná oblasť tiež poukazuje vo viditeľnom kanáli na prítomnosť prestreľujúcich prúdov vzduchu, a aj histogram početností rozdelenia teploty v rámci danej elipsy je vyhovujúci, predpokladáme, že sa na tomto mieste nachádza stred prestreľujúceho vrcholku. Pomocou programu sme spracovali 77 prípadov OT pre polárne a geostacionárne družice z jedenástich termínov. Závislosť minimálnych jasových teplôt analyzovaných prestreľujúcich vrcholkov zaznamenaných na polárnych a geostacionárnych družiciach zobrazuje graf č. 1.



Graf 1 Rozdiel minimálnych jasových teplôt z pozorovaní rádiometrov SEVIRI a AVHRR

Jasové teploty z polárnych družíc dosahovali nižšie minimálne jasové teploty, čo bolo spôsobené ich lepším rozlíšením, a teda schopnosťou zachytiť i malé plochy nízkej jasovej teploty špičky prestrel'ujúceho vrcholku. Program taktiež vyhodnocoval priemernú teplotu nákovy, tá bola vzhľadom na dostatočné rozlíšenie aj pre geostacionárne družice na oboch družiciach približne rovnaká. Tento pokles jasovej teploty je dobre pozorovateľný na infračervených kanáloch, napr. IR 10.8. Keďže OT je malého rozmeru, snímkovanie geostacionárnymi družicami na kanáloch IR s rozlíšením 3×3km² nie je dostatočné na zachytenie poklesu teploty, veľkého teplotného gradientu v rámci OT. Polárne družice s rozlíšením 1×1 km² lepšie popisujú jasovú teplotu prestreľujúceho vrcholku. Lineárnu regresiu sme použili na spresnenie dát minimálnych jasových teplôt prestrel'ujúcich vrcholkov z databázy Kristophera Bedku, ktoré pochádzali z meraní geostacionárnou družicou MSG.

Graf č. 2 poukazuje na rozdiely jasových teplôt (BTD) medzi nákovou a najnižšou nameranou jasovou teplotou v priestore prestreľujúceho vrcholku. Doplnené červené značky ("Series2") označujú líniu, na ktorej sa tieto rozdiely rovnajú pre obe družice. Iba v ojedinelých prípadoch bol tento rozdiel väčší pre geostacionárne družice. Vo viacerých prípadoch dokonca program OT u geostacionárnych družíc na rozdiel od polárnych družíc nezaznamenal.



Graf 2 Závislosť rozdielu jasových teplôt medzi minimálnou BT a priemernou teplotou nákovy pre rádiometre AVHRR od SEVIRI

Databázy prestreľujúcich vrcholkov

V tejto práci sme využili 2 databázy prestreľujúcich vrcholkov z rokov 2009 – 2014.

Prvá databáza, databáza Kristophera Bedku, obsahovala zoznam prestreľujúcich vrcholkov vyhľadaných pomocou objektívnej IRW-texture metódy. Druhou databázou bola databáza Jána Kaňáka zo SHMÚ, ktorá bola založená na vyhľadávaní OT optickou metódou [3]. Táto databáza prestreľujúcich vrcholkov je jedinečná tým, že sú do nej zaradené iba prestreľujúce vrcholky, ktorých výška je vyhodnotená pomocou metódy tieňov. Každý OT bol analyzovaný v programe ViewMSG, a pomocou odmerania dĺžky tieňa od stredu OT po posledný pixel tieňa a ďalších pomocných parametrov (výška Slnka nad obzorom a iné) bola určená výška prieniku prestreľujúceho vrcholku nad tropopauzu. Spárovaním jednotlivých prípadov OT z oboch databáz sme získali kombinovanú databázu. Obidve databázy boli vytvorené na základe meraní geostacionárnych družíc MSG, preto je dosiahnuté rozlíšenie pre HRV kanál 1×1 km² a pre ostatné kanály 3×3 km² v subsatelitnom bode. Spolu išlo o 766 prípadov prestreľujúcich vrcholkov.

Adiabatický pokles teploty s prienikom prestreľujúcich vrcholkov nad tropopauzu

Na grafe č. 3 je zobrazená závislosť vertikálneho teplotného gradientu Γ v závislosti od rozdielu jasových teplôt nákovy a minimálnej jasovej teploty prestreľujúceho vrcholku (*z angl.* brightness temperature difference, BTD). Vertikálny gradient sme získali pre kombinovanú databázu OT prepočtom, prostredníctvom funkcie výšky prestreľujúcich vrcholkov a BTD. Hodnota suchoadiabatického gradientu (dry limit), 10 K/km je znázornená ako horná hranica grafu, hodnota suchoadiabatického gradientu (wet limit), 6 K/km je na grafe znázornená prechodom pozaďových farieb.

Červenými krivkami sú znázornené vertikálne teplotné gradienty pre posledný nameraný rok 2014, modrými krivkami sú znázornené vertikálne teplotné gradienty celej databázy (2009 - 2014) okrem roku 2010, ktorý vykazoval nehomogenity. Priebeh funkcie výšky prestreľujúcich vrcholkov a BTD sa pre rok 2010 odlišoval od ostatných rokov, preto sme ho vyradili zo zobrazenia. Prerušované krivky predstavujú nekorigované údaje vzhľadom na polárne prelety, neprerušované krivky predstavujú údaje korigované podľa dát z preletov polárnych družíc.

Na grafe sme popísali závislosť vertikálneho teplotného gradientu (*z angl.* lapse rate, LR) v závislosti od rozdielu jasových teplôt nákovy a minimálnej jasovej teploty prestreľujúceho vrcholku. Vertikálny gradient sme získali prostredníctvom funkcie medzi výškou prestreľujúcich

vrcholkov a opäť rozdielu jasových teplôt nákovy a min. BT OT. Hodnota suchoadiabatického gradientu 10 K/km (*z angl.* dry limit) reprezentuje hornú hranicu grafu, nasýtenoadiabatický gradient, 6 K/km, (*z angl.* wet limit) je znázornený zmenou farby pozadia. Červenými farbami sú znázornené vertikálne teplotné gradienty pre rok 2014, modrými farbami LR celej databázy okrem roku 2010, prerušované čiary prezentujú údaje nekorigované na polárne prelety družíc, neprerušované čiary prezentujú údaje korigované na polárne prelety družíc. Vidíme, že OT s väčším rozdielom BT dosahujeme LR s vyššou hodnotou.



Graf 3 Vertikálny teplotný gradient jasovej teploty [K/km] 2014 a 2009-2014. Dry limit na grafe znázorňuje hodnotu suchoadiabatického gradientu, wet limit znázorňuje hodnotu vlhkoadiabatického gradientu, a to pomocou zmeny farby pozadia grafu.

Záver

Cieľom našej práce bolo bližšie preskúmať teplotný pokles prestreľujúcich vrcholkov búrkových oblakov s výškou. Využili sme na to databázu poskytnutú Kristopherom Bedkom, ktorá bola založená na objektívnej metóde IRW–texture detekcie OT z meraní družice MSG-2 a výšku OT sme určili priradením vhodného OT z databázy Jána Kaňáka. Vo výslednej analýze sme použili iba tie prestreľujúce vrcholky, ktoré sa nachádzali v oboch databázach.

Korekcie meraní geostacionárnych družíc dátami z meraní polárnych družíc môžeme vysvetliť tým, že prestreľujúci vrcholok dosahuje malé horizontálne rozmery, ktoré nemožno dobre popísať družicou so slabým rozlíšením. V prípade územia strednej Európy a kanála HRV družíc MSG, toto rozlíšenie je navyše výrazne ovplyvnené, resp. znehodnotené, paralaktickým posunom. V praxi dochádza k tomu, že prestreľujúci vrcholok nezaberá celú plochu jedného pixelu a jeho jasová teplota je ovplyvnená žiarením prichádzajúcim z nižších teplejších vrstiev atmosféry alebo povrchu Zeme. Korekcia podľa polárnych dát spravená z meraní 77 prestreľujúcich vrcholkov spresnila merania minimálnych jasových teplôt prestreľujúcich vrcholkov meraných geostacionárnymi družicami približne o 5 K. Pre údaje korigované na merania z polárnych družíc sme dostali približne o 1 K/km vyššie hodnoty vertikálneho teplotného gradientu. Pre rok 2014 a rozdiel jasovej teploty medzi nákovou a minimálnou jasovou teplotou OT dosahujeme hodnotu skoro 8 K/km.

Na grafe č. 3 sme si mohli všimnúť, že po korekcii na polárne merania sa zvyšuje hodnota gradientu jasovej teploty a v niektorých prípadoch presahuje hodnotu vlhkoadiabatického gradientu. Korigovaný vertikálny teplotný gradient, samostatne pre rok 2014, dosahoval pre rozdiel jasových teplôt -20 K hodnotu takmer 8 K/km. Táto hodnota sa najviac približovala predpokladanému suchoadiabatickému gradientu 10 K/km. Môžeme si všimnúť, že vertikálny teplotný gradient narastá pre zvyšujúci sa rozdiel jasových teplôt medzi nákovou a prestreľujúcim vrcholkom. Tieto grafy majú za cieľ popisovať závislosť medzi výškou prestreľujúceho vrcholku a rozdielom jasových teplôt, avšak musíme tiež vziať do úvahy skutočnosť, že použitý lineárny fit dostatočne nepopisoval koreláciu medzi týmito veličinami a preto je dôležité hľadať ďalšie spôsoby a metódy popisu prestreľujúcich vrcholkov búrkových oblakov.

Práce zaoberajúce sa prestreľujúcimi vrcholkami sú dostatočne perspektívnou časťou meteorológie, nakoľko stále poskytujú dostatok priestoru na ich skúmanie, najmä po vypustení prvej zo série družíc Meteosat tretej generácie, MTG. Vypustenie prvej z tejto série družíc je plánované na rok 2019. Detekciu prestreľujúcich vrcholkov možno zautomatizovať i v našich podmienkach pomocou programu ViewMSG obohateného o objektívnu IR detekciu prestreľujúcich vrcholkov a vložiť ich do nowcastingových predpovedí.

Literatúra

[1] Bedka, K. - Brunner, J. a kol. Objective Satellite-Based Detection of Overshooting Tops Using Infrared. Journal of Applied Meteorology and Climatology. 2010, Vol. 49.

[2] Řezáčová, D. a kol. Fyzika oblaků a srážek. Praha : Academia, 2007.

[3] Kaňák, J. - Bedka, K. - Sokol, A. Mature Convective Storms And Their Overshooting Tops Over Central Europe – Overshooting Top Height Analysis For Summers 2009-2011. Sopot, Poland: s.n., 2012.

Prílohy



Obrázok 3 Snímka búrkovej oblačnosti pomocou kanála HRV prístroja SEVIRI geostacionárnej družice MSG z 12.6.2010, 16:44, spracovaná programom MCIDAS-V.



Obrázok 4 Snímka búrkovej oblačnosti pomocou kanála VIS 0.6 prístroja AVHRR polárnej družice z 12.6.2010, 16:44, spracovaná programom MCIDAS-V.



Obrázok 5 Snímka búrkovej oblačnosti pomocou kanála IR 10.8 prístroja SEVIRI geostacionárnej družice MSG z 12.6.2010, 16:45, spracovaná programom MCIDAS-V.



Obrázok 6 Snímka búrkovej oblačnosti pomocou kanála IR 10.8 prístroja AVHRR polárnej družice z 12.6.2010, 16:44 spracovaná programom MCIDAS-V.



Obrázok 7 Screen BT Reader pri spracovaní oblasti s prestreľujúcim vrcholkom.



Obrázok 8 Screen BT Reader pri spracovaní oblasti nákovy oblaku.