

# Zimné búrky

Búrky patria medzi prejavy počasia, ktoré sú charakteristické najmä pre leto a ich výskyt v zimných mesiacoch (december - február) je oveľa zriedkavejší. Napriek tomu bývajú búrky skoro každú zimu zaznamenané na niektorej zo slovenských alebo českých meteorologických staníc (Matejovič, Šedivka). Pre meteorológov, a rovnako aj pre verejnosť, sú búrky v zime zaujímavé tým, že môžu byť spojené so silným snežením, fujavicou, výskytom krúpok alebo nárazového vetra. **Búrka** je však v meteorológii chápaná predovšetkým ako elektrický jav. Pozorovateľ teda musí zaregistrovať **blesk alebo hrmenie**. Všeobecne sa dá povedať, že elektrická aktivita búrok v zime je oveľa slabšia v porovnaní s búrkami v letnej časti roka.

## Ako vznikajú búrky ?

Vývoj búrkovej oblačnosti je podmienený predovšetkým existenciou labilného vertikálneho teplotného zvrstvenia (za absolútne labilný považujeme vzduch, ktorého teplota klesá s výškou rýchlejšie ako 0,98 stupňa na 100 metrov, za podmienenú labilitu považujeme pokles teploty väčší ako 0,6 stupňa na 100 metrov). Nerovnomerné prehrievanie zemského povrchu a od neho aj spodných vrstiev ovzdušia počas denných hodín spôsobuje, že vzduch je na niektorých miestach teplejší, redší a labilný oproti svojmu okoliu. V týchto miestach vzduch stúpa nahor (podobne ako balón), pričom rýchlosť výstupných pohybov dosahuje bežne hodnotu jednotiek až niekoľko desiatok metrov za sekundu. Tento proces sa v meteorológii nazýva **konvekcia** a s ňou spojené pohyby vzduchu a ďalšie prejavy sa označujú ako konvekčné (konvektívne).

Ak je stúpajúci vzduch dostatočne vlhký, v dôsledku jeho vlastného ochladzovania v priebehu výstupu dochádza nad tzv. **výstupnou kondenzačnou hladinou** k zrážaniu vodnej pary prítomnej v ňom - a vzniká oblak. Búrkový oblak môže dosiahnuť výšku 6 až 12, v ojedinelých prípadoch okolo 15, v trópoch aj 18 km. Oblak dosiahne maximálnu výšku zhruba za pol hodinu. Výstupné pohyby potom zväčša slabnú a v dôsledku zrážok začnú prevládať zostupné pohyby vzduchu. Typická doba existencie búrkového oblaku je približne jedna hodina, od začiatku až po rozpad.

Búrková oblačnosť sa nezriedka vyskytuje v okolí **atmosférických frontov**. Najčastejšie sa búrky vyskytujú na studených frontoch, menej často ich nachádzame na teplých frontoch alebo pred teplými frontmi. Na frontoch sa vytvárajú výstupné pohyby aj z tzv. dynamických dôvodov. V okolí frontov nachádzame totiž výrazné rozdiely v teplote a vlhkosti vzduchu spojené s deformáciami poľa tlaku vzduchu, a v dôsledku toho v atmosfére vzniká nerovnováha, ktorá je vyrovnávaná výstupnými a zostupnými pohybmi vzduchu. Na rozdiel od konvekčných pohybov sa tu jedná skôr o výklzné pohyby vzduchu po naklonenej rovine, ktorú tvorí plocha frontu. Rýchlosť dynamicky generovaných výstupných a zostupných pohybov vzduchu je spravidla niekoľko centimetrov, maximálne niekoľko desiatok centimetrov za sekundu. Takáto rýchlosť nestačí na vytvorenie búrkového oblaku - preto možno frontálnu cirkuláciu vzduchu považovať skôr za **podporný a spúšťací mechanizmus búrkovej činnosti**. Dynamické pohyby môžu napríklad prechádzať aj oblasťami so stabilným zvrstvením a môžu vytlačiť

vzduchové častice do výšok s lepšími podmienkami na tvorbu konvekcie.

Pred príchodom frontu dochádza často k zosilneniu prílevu teplého a vlhkého vzduchu v spodných hladinách ovzdušia, nachádzame tu aj výrazné horizontálne a vertikálne zmeny (strihy) v smere a v rýchlosti vetra. V okolí frontu týmto spôsobom stúpa labilita teplotného zvrstvenia a vylepšujú sa podmienky pre búrkovú činnosť. Búrky, ktoré sa nevyskytujú na frontoch, označujeme ako **búrky vo vnútri vzduchovej hmoty** (niekedy sa nesprávne nazývajú ako búrky z tepla).

## Ako sa tvorí búrková oblačnosť v zime ?

V zimnom období sú podmienky pre konvekciu väčšinou nepriaznivé. Menej intenzívne slnečné žiarenie a naopak, silné vyžarovanie počas noci, najmä za prítomnosti snehovej pokrývky, stabilizuje teplotné zvrstvenie atmosféry. Početné sú prípady teplotnej inverzie, keď teplota s výškou rastie. Okrem toho má studený vzduch oveľa menší obsah vodnej pary a skôr dochádza k jeho nasýteniu. Na druhej strane je prúdenie v zimnom období oveľa intenzívnejšie ako v lete. Vysoké rýchlosti vetra (250 až 300 km/h) sa pozorujú najmä v oblasti tzv. dýzového prúdenia vo vyšších vrstvách atmosféry. Fronty sú po teplotnej stránke výraznejšie a tlakové útvary (cyklóny a anticyklóny) hlbšie, resp. mohutnejšie. Labilizácia teplotného zvrstvenia je umožnená v zime najmä počas prílevu teplejšieho morského vzduchu od severozápadu. Energia výstupných pohybov je však napriek tomu niekoľkokrát menšia ako v letnom období (v zime sú to desiatky až stovky Joulov na kilogram, v lete môže táto energia dosiahnuť aj 3000-4000 J/kg).

Zimné búrky sa vo väčšine prípadov vyskytujú na frontoch alebo v tesnej blízkosti frontov. Boli však už zaznamenané aj pozoruhodné prípady nefrontálnych zimných búrok. Jedným z výrazných prípadov boli búrky počas snehovej kalamity 22.2.2001 (Sulan, 2002). Analýzy niektorých vybraných prípadov naznačujú, že dynamické generovanie výstupných pohybov môže hrať v zime dôležitejšiu úlohu pre vývoj búrok oproti letným prípadom. Jedným z dôležitých faktorov je tzv. **baroklinná instabilita**, ktorá má za následok rýchle prehlbovanie tlakových útvarov a intenzívnejší vývoj frontálnej cirkulácie. Prítomnosť baroklinnej instability bolo možné pozorovať vo viacerých situáciách so zimnými búrkami a detailnejší popis je možné nájsť v článku autorov Racko, Simon, Sokol, 2002. Intenzitu výstupných pohybov vzduchu značne ovplyvňujú aj procesy ako kondenzácia, topenie alebo výpar zrážok, pri ktorých dochádza k uvoľňovaniu, resp. k spotrebe tepla.

Intenzívne výstupné pohyby sa môžu objaviť aj v situáciách, keď je zvrstvenie ovzdušia vo vertikálnom smere úplne stabilné. Vzduchová častica sa môže dostať do nerovnovážneho stavu pri pohybe v smere šikmo nahor. Tento špeciálny prípad je **kombináciou konvekčnej a tzv. inerčnej lability** (inerčná labilita vzniká v dôsledku nerovnováhy sily spôsobenej tlakovými rozdielmi a uchylujúcej sily zemskej rotácie). V meteorológii sa pre tento stav atmosféry zaužíval názov **symetrická instabilita**, prípadne podmienená symetrická instabilita, v angličtine conditional symmetric instability (CSI). Výsledným efektom sú pohyby pripomínajúce **konvekciu na naklonenej rovine** (po anglicky slantwise convection), dosahujúce rýchlosti niekoľko jednotiek metrov za sekundu. Typická doba trvania týchto pohybov je niekoľko hodín, maximálne jeden deň, čo je výrazne dlhšie ako priemerná doba trvania búrkového oblaku. Symetrickej instabilite

sa pripisujú pásy intenzívnych zrážok, ktoré nie sú frontálneho pôvodu a pri ktorých je prakticky vylúčená možnosť vzniku klasickej vertikálnej konvekcie. Dá sa predpokladať, že niektoré prípady zimných búrok mohli byť spojené práve s výskytom tohto druhu lability ovzdušia.

## Elektrická aktivita búrok v zime

Elektrická aktivita v oblačnosti závisí od mnohých faktorov. V zime prevláda vrstevnatá oblačnosť typu **stratus**, **altostratus** alebo **nimbostratus**, kde elektrické pole dosahuje intenzitu niekoľko jednotiek až desiatok kilovoltov na meter (MacGorman, Rust, 1998). Táto intenzita síce nie je malá, väčšinou však **nestačí na** to, aby v oblaku vznikol **výboj bez umelého pričinenia** (napríklad vystrelením rakety alebo preletom lietadla s povrchom nabitým statickou elektrinou). Elektrické pole vrstevnatých oblakov je tvorené väčšinou viazaným povrchovým nábojom, pri vertikálne mohutnejšej oblačnosti sa môže vytvárať náboj aj vo vnútri oblaku.

**Silné elektrické polia** schopné produkovať výboje (pri intenzite rádovo niekoľko stoviek kilovoltov na meter) sa tvoria predovšetkým v kopovitej oblačnosti typu **cumulonimbus**. Predpokladá sa, že najefektívnejším spôsobom vytvárania elektrického náboja v oblaku sú kolízie krúpok (ľadové častice pripomínajúce polystyrén, o veľkosti 2 až 5 mm) a menších ľadových kryštálov. K týmto kolíziám dochádza hlavne vďaka silným výstupným a zostupným pohybom, pri ktorých búrkové oblaky vznikajú. Existujú však aj iné spôsoby nabíjania oblaku, kde výstupné a zostupné pohyby vzduchu premiestňujú povrchový elektrický náboj a vytvárajú tak centrá elektrického náboja s dostatočne veľkou intenzitou elektrického poľa na vznik výboja. Tento mechanizmus preskúmali v päťdesiatich rokoch minulého storočia Grennet a Vonnegut. Je možné, že práve týmto spôsobom vznikajú blesky v oblačnosti, ktorá obsahuje málo ľadových častíc a kde sú vertikálne pohyby vzduchu menej intenzívne, no môžu trvať dlhšie. Nakoľko pri blesku sa spravidla celé centrum náboja vybije, početnosť výbojov je pri tomto mechanizme malá a úplne závislá na rýchlosti vertikálnych pohybov. Mnohé búrky v zimnom období však produkujú len málo bleskov medzi oblakom a zemou resp. výbojov medzi oblakmi.

Iné mechanizmy tvorby elektrického náboja v oblaku ešte nie sú dostatočne preskúmané - náboj sa môže pravdepodobne vytvárať aj pri topení snehových zrážok, napríklad v oblačnosti typu **nimbostratus**. Elektrické polia s dostatočne vysokou intenzitou na vznik výboja sa vyskytujú aj v **zmiešaných oblakoch**, ktoré pozostávajú z vrstevnatej oblačnosti **nimbostratus** s lokálne prerážajúcimi kopovitými oblakmi typu **cumulonimbus**.

V súčasnosti existuje niekoľko typov detektorov bleskov, ktoré umožňujú zaznamenať, lokalizovať a aj určiť typ a vlastnosti blesku. Blesky sa napríklad rozlišujú podľa polarít vybiťého centra náboja. Ak vybité centrum obsahovalo záporné náboje, výboj sa označuje ako negatívny, v prípade kladného náboja ide o **pozitívny výboj**. Asi 80 percent všetkých výbojov je negatívnych. Pozitívne výboje však môžu vytvárať silnejšie a dlhšie trvajúce prúdy (až 500 kiloampérov). Pozoruhodnosťou zimných búrok je, že podiel pozitívnych bleskov smerujúcich z oblaku do zeme je u niektorých búrok v zime výrazne väčší ako u búrok v letnom období (Rakov, Uman 2003).

## Búrky v zimnom období a globálne otepľovanie ?

Počas zimy 1999/2000 sa vyskytlo pomerne veľa prípadov zimných búrok na území Českej republiky a Slovenska. To viedlo k špekuláciám, že tento počet súvisí s vyššou teplotou v atmosfére, či dokonca s globálnym otepľovaním. Štatistický výskum (Matejovič, Šedivka) ukázal, že početnosť búrok v zimnom období sa počas deväťdesiatych rokov minulého storočia mierne zvýšila oproti predchádzajúcim desaťročiam. Veľký počet búrok v decembri 1999 a v januári 2000 však súvisel najmä s veľkou intenzitou atmosférickej cirkulácie (obidva mesiace boli na území Českej republiky a Slovenska v rámci teplotného normálu, podrobnosti sú uverejnené v článku Racko et al., 2002).

Všeobecne sa dá povedať, že suché a studené zimy, v ktorých dominujú kontinentálne tlakové výše, sú nepriaznivé pre tvorbu búrok. Vyššia pravdepodobnosť vzniku búrok v zimnom období je **na okraji hlbokých tlakových níží**, ktoré sa presúvajú od Atlantického oceánu do vnútrozemia. Napriek tomu sa nedá použiť rovnosť: čím teplejšia zima, tým väčší počet búrok, pretože vznik búrkovej oblačnosti je často viazaný na ďalšie podmienky lability ovzdušia, o ktorých sme sa zmieňovali v stati venovanej podmienkam vzniku búrok v zime vyššie. V súčasnosti by bolo **predčasné hovoriť o trende nárastu počtu búrok v zimnom období**. Dá sa však povedať, že sa podstatne zlepšili podmienky na ich štúdium a pozorovanie a to vďaka vývoju počítačových modelov a prostriedkov diaľkovej detekcie (rádiolokátory, satelity a detektory bleskov).

## Literatúra:

MacGorman, D. R., Rust, W. D., 1998:

**The electrical nature of storms**

Oxford University Press, 422 pp.

Matejovič, P. - Šedivka, J.:

**Výskyt búrok na území Českej republiky a Slovenskej republiky v zime 1999/2000 v porovnaní s obdobím 1960/61 až 1999/2000**

(rukopis)

Racko, S., Simon, A., Sokol, A., 2002:

**Niektoré z príčin búrok v zimnom období**

Meteorologické zprávy, 55, 69-82

Rakov, V.A., Uman, M.A., 2003:

**Lightning, Physics and Effects**

Cambridge University Press, 687 pp.

Sulan, J., 2002:

**Sněhové bouře 22. února a tornáda 31. května roku 2001 z pohledu koncepčních modelu**

Meteorologické zprávy, 55, 69-82

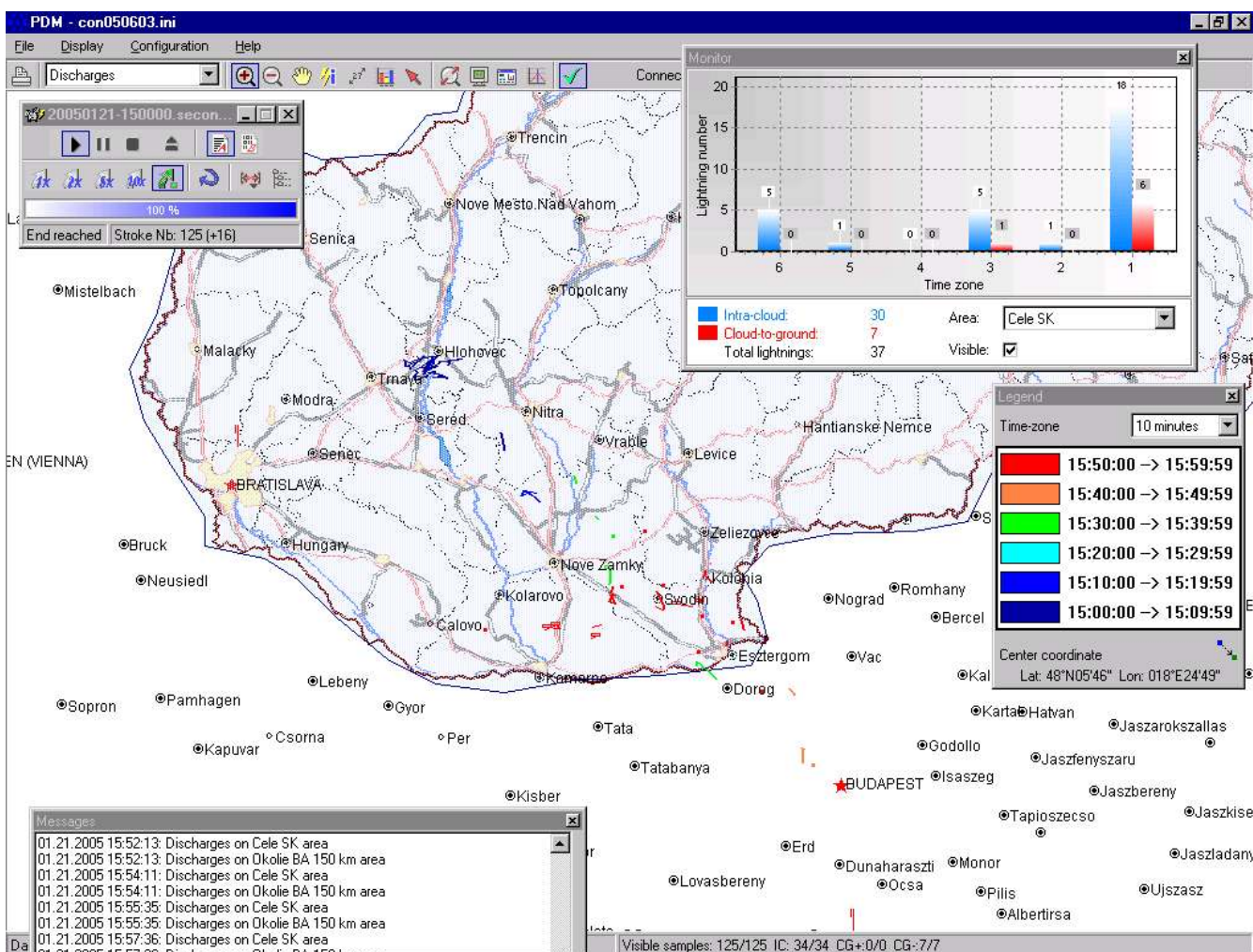




Slovenska bola na úrovni zväčša od 4 do 8 stupňov (maximum 8,4 stupňa Celzia bolo nameraných v Hurbanove). Fúkal mierny až silný západný až severozápadný vietor rýchlosťou 5 až 10 m/s (20 až 35 km/h). Z profesionálnych staníc zaznamenala búrku iba stanica v Hurbanove v čase medzi 16:30 a 17:30 SEČ ako vzdialenú búrku so zrážkami. Blesky však boli pozorované aj v iných lokalitách, napríklad pri Nitre (kolega - Mgr. Pavol Zaujec, osobná komunikácia). Počas preháňok a búrok sa ochladilo zhruba o 3 až 4 stupne Celzia (napr. v Hurbanove klesla teplota z 5,7 na 1,9 stupňa) a ojedinele došlo aj k stočeniu vetra (v Hurbanove sa vietor stočil prechodne zo západného smeru na severný a rýchlosť poklesla zo 7 na 5 m/s). Nárazy vetra sa vyskytli na staniciach Jaslovské Bohunice (13 m/s) a Nitra (16 m/s). Zrážky boli dažďové alebo vo forme krúpok, celkové úhrny však boli malé a nepresiahli 4 mm (4 litre na meter štvorcový).

## Pozorovania z rádiolokátorov, geostacionárneho satelitu METEOSAT a detektora bleskov SAFIR:

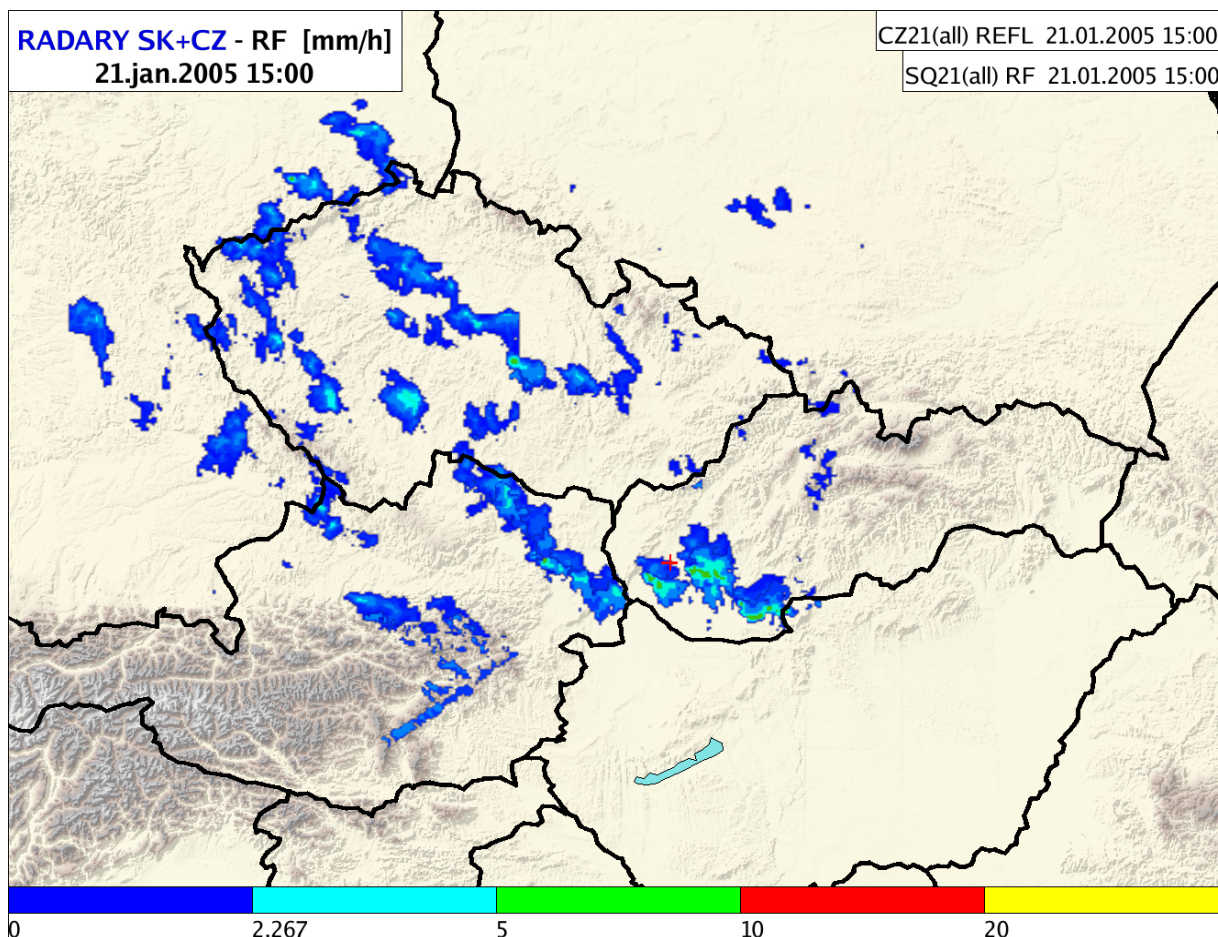
Atmosférické výboje boli systémom SAFIR zaznamenávané v čase od 15:50 SEČ do 17:20 SEČ. Systém zaznamenal celkovo 40 výbojov na území Slovenskej republiky, z toho 33 bolo výbojov vo vnútri oblaku alebo medzi oblakmi a 7 bleskov smerovalo z oblaku do zeme (všetky boli negatívnej polarita). Priebeh monitorovania aktivity bleskov je znázornený na nasledujúcom obr:



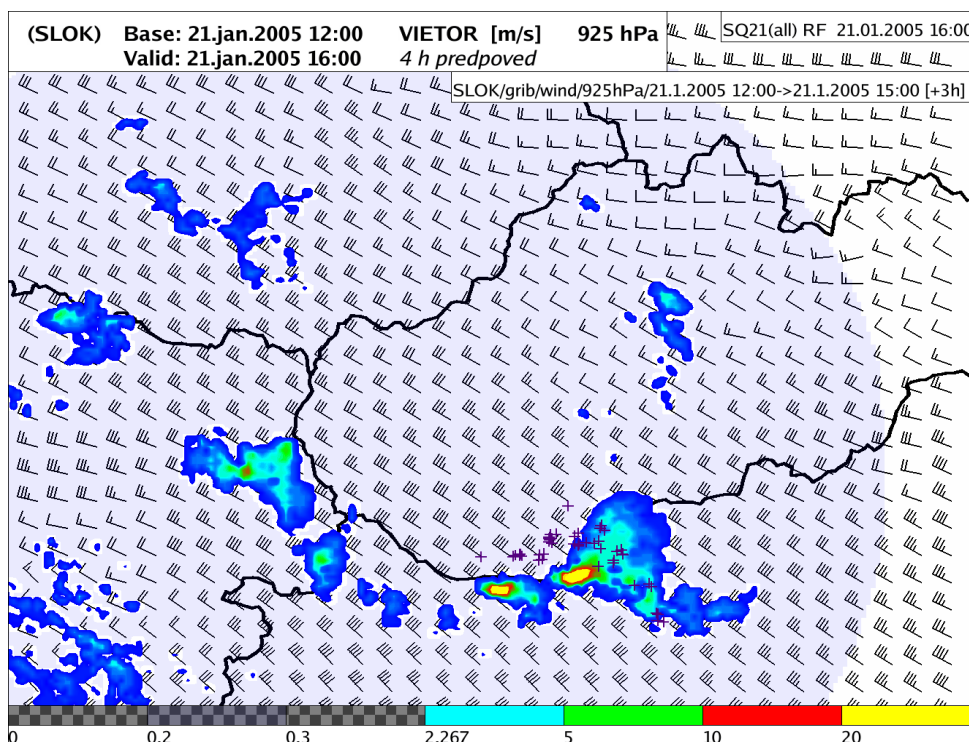
Pomocou zlučenej informácie z rádiolokátorov v Českej republike a na Slovensku bolo možné pozorovať jednotlivé bunky kopovitej oblačnosti, ktoré sa veľmi rýchlo

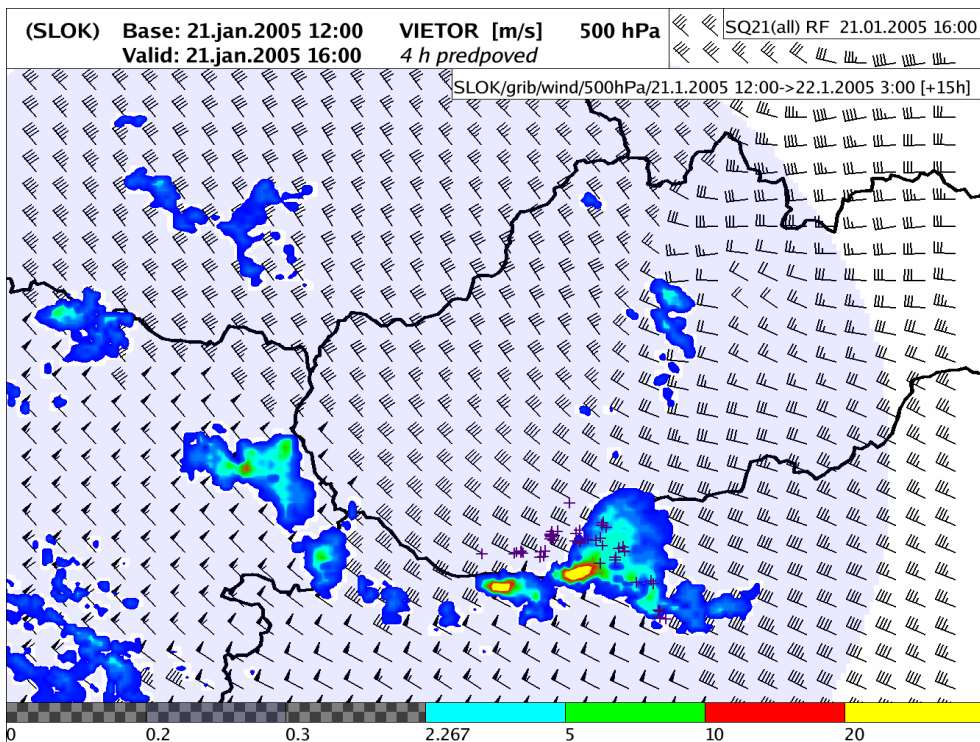


presúvali cez Čechy, Moravu a Slovensko na juhovýchod.

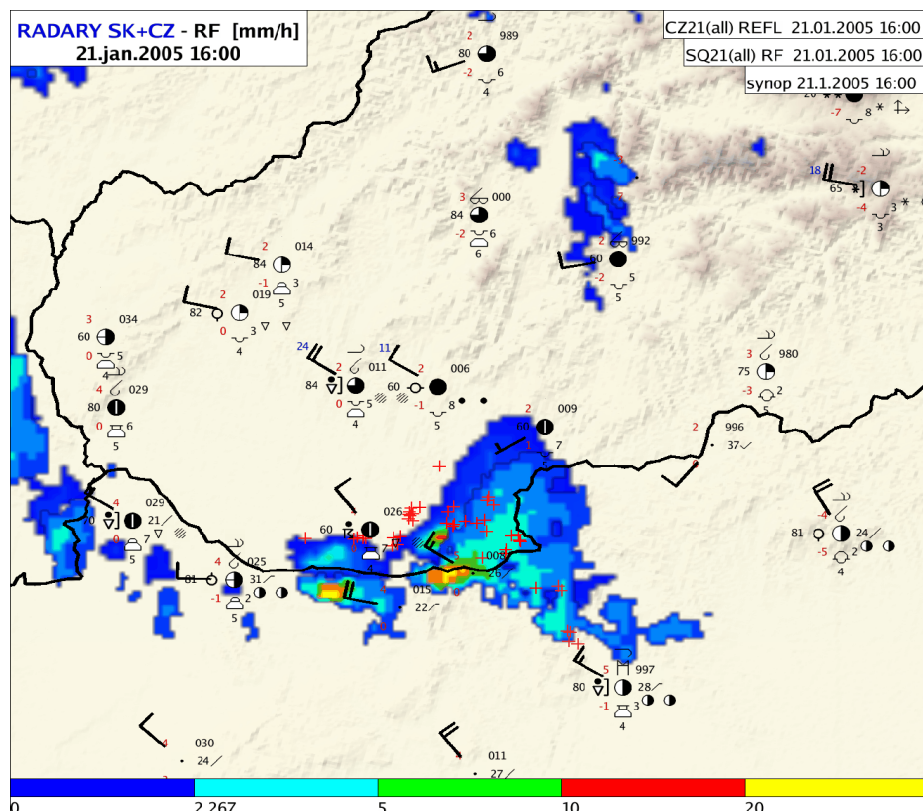


Tento rýchly presun bol spôsobený veľmi intenzívnym prúdením od hladiny 925 hPa (okolo 700 metrov) až po vyššie atmosférické hladiny (500 hPa, t.j. asi 5 km), ako je znázornené na nasledujúcich obrázkoch.



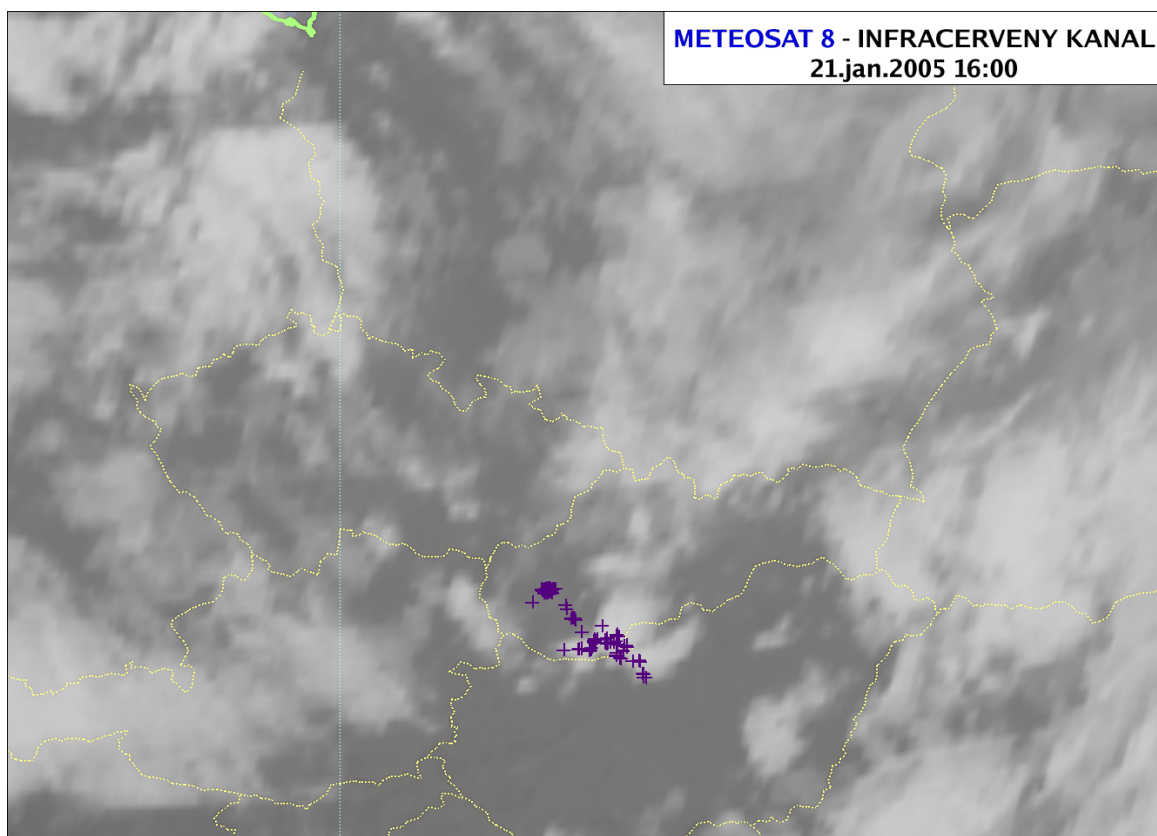
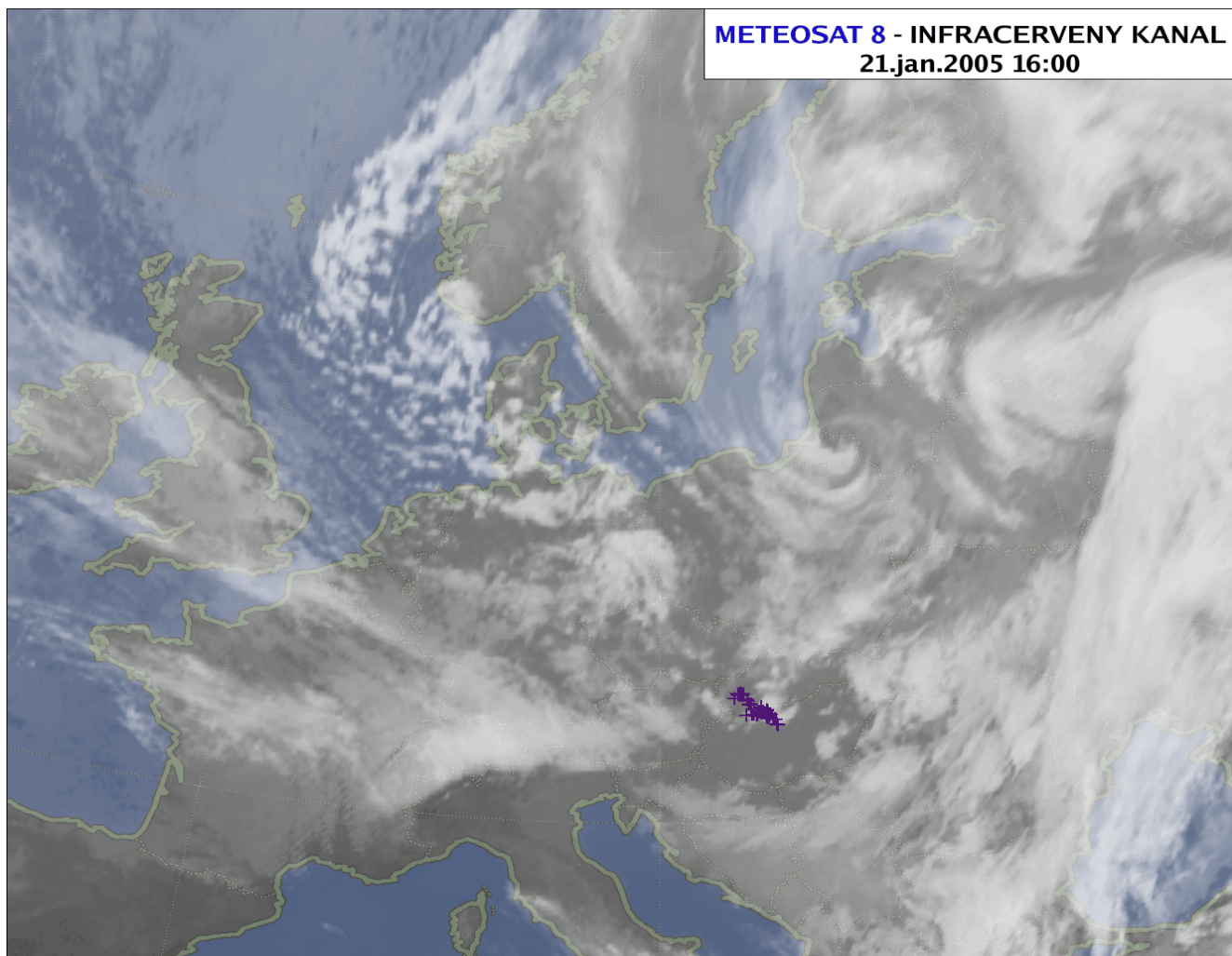


Rýchlosť pohybu oblakov (60 až 70 km/h) dokumentuje aj "zaostávanie" výbojov nameraných v skorších časových intervaloch za rádiolokačnými odrazmi búrkových mrakov. Ďalší obrázok ukazuje porovnanie odhadovanej intenzity zrážok z merania rádiolokátora v čase 17:00 SEČ a pozíciu výbojov určených za obdobie 16:30 až 17:00 SEČ. Väčšina výbojov sa vyskytla v oblasti s intenzívnymi zrážkami, ktoré boli (s výnimkou najnižších hladín atmosféry) vo forme snehu alebo krúpok. Odhady maximálnej intenzity zrážok v jadrách búrok boli pravdepodobne mierne nadhodnotené. Intenzita do 20 mm za hodinu (čo by znamenalo najviac 10 mm pri zhruba polhodinovom trvaní zrážok na určitej lokalite) zodpovedá viac realite a staničným pozorovaniam.

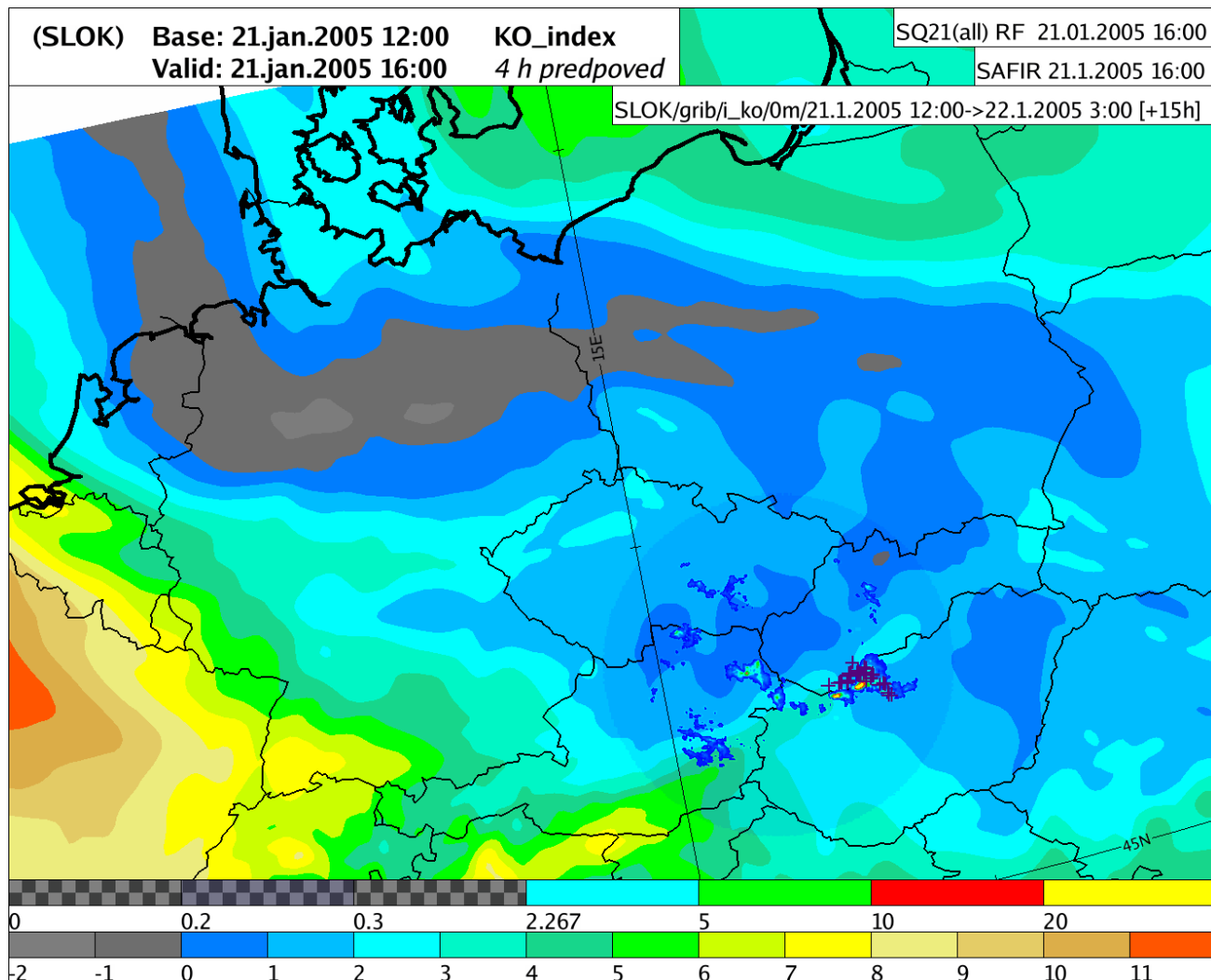




Kombinácia detekcie bleskov s obrázkami z družice METEOSAT ukazuje chumáčiky kopovitej oblačnosti, ktorá sa pohybovala do oblasti strednej Európy od Severného mora



Búrky sa vyskytli v tomto dni aj v iných častiach Európy, najviac nad severným Nemeckom (mimo dosahu detekčného systému SAFIR). Labilitu v tejto oblasti dosvedčuje aj predpoveď indexu KO vypočítaného numerickým modelom ALADIN. Záporné hodnoty indexu znázorňujú oblasti lability, hodnoty od 0 po 2 oblasti slabej stability, hodnoty od 2 po 6 oblasti miernej stability a hodnoty vyššie ako 6 dokumentujú veľmi vysokú stabilitu zvrstvenia. Oblasť juhozápadného Slovenska sa teda nachádzala podľa tohto materiálu vo vzduchovej hmote so slabou až miernou stabilitou zvrstvenia.



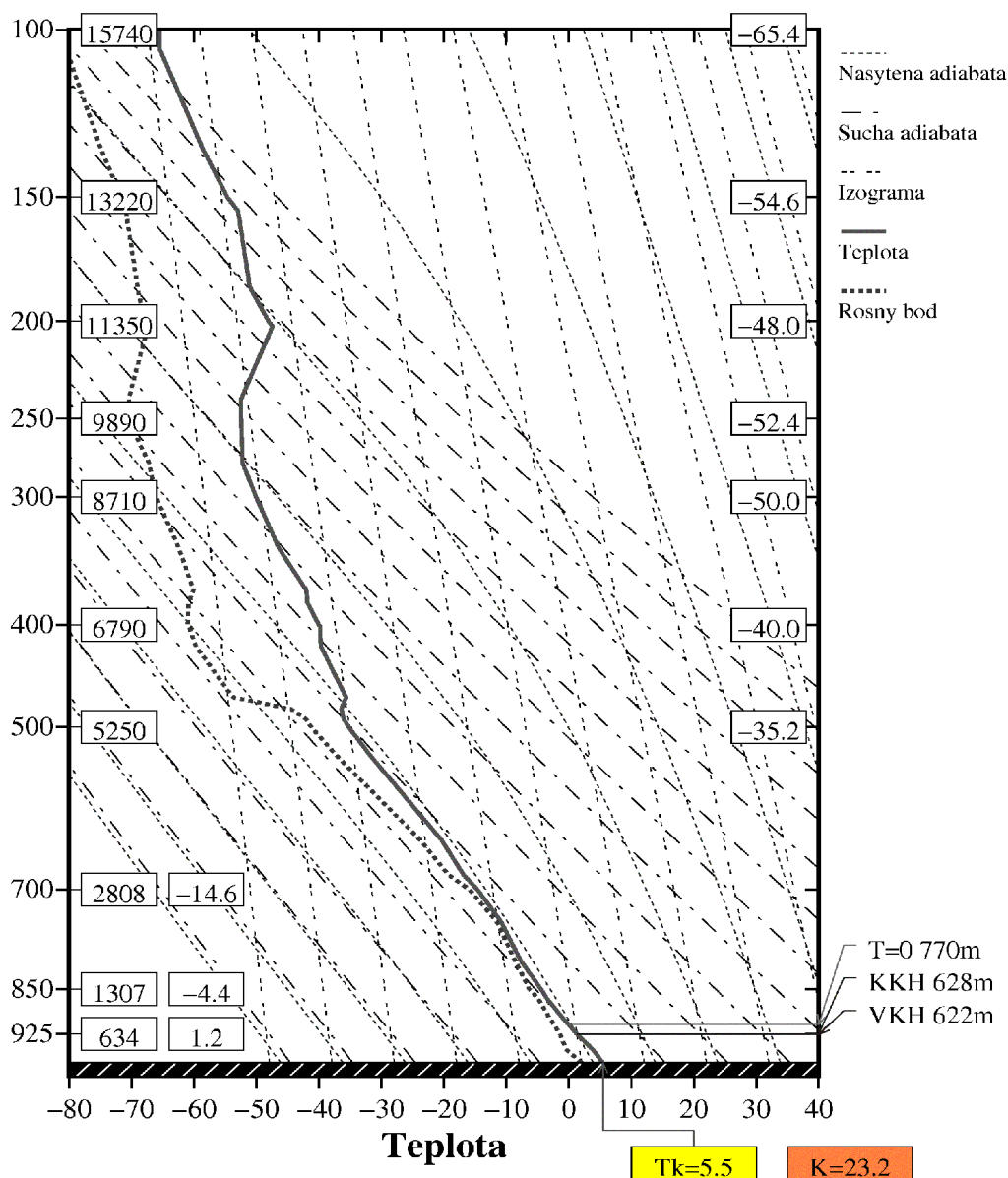
## Analýza stability na základe výstupov aerologickej sondy (meteorologického balóna)

Podrobnejšie informácie o vlastnostiach vzduchovej hmoty poskytujú záznamy aerologickej sondy. Na Slovensku existuje stanica, ktorá robí aerologické pozorovania, a to v Gánovciach pri Poprade. Pre juhozápadné Slovensko sú viac reprezentatívne pozorovania, ktoré sa vykonávajú vo Viedni na stanici Hohe Warte a v Budapešti na stanici Lörinc. Z merania rádi sondy vypustenej vo Viedni 21.7.2005 o 12 UTC (13 SEČ) (viď výstup z meraní sondy na **obr. nižšie**) je možné rozpoznať vysokú nasýtenosť vzduchu v hladine do 5 km (krivka teploty je blízka teplote rosného bodu). Za spodnú hladinu tvorby oblačnosti je možné považovať takzvanú výstupnú kondenzačnú hladinu (VKH), ktorá sa nachádzala vo výške 622 metrov. Obdobným parametrom pre kopovité oblaky je konvekčná kondenzačná hladina (KKH), ktorá býva niekedy položená nižšie ale

v tomto prípade sa takmer zhodovala s hladinou VKH. Hladina nulovej izotermy, pod ktorou sa dajú očakávať zmiešané alebo kvapalné zrážky, bola vo výške 770 metrov. Treba však zdôrazniť, že pri zostupných pohyboch vlhkého vzduchu pod oblakom, najmä pri zrážkach, sa vzduch výrazne ochladzuje a teplota nulovej izotermy môže klesnúť (snhové zrážky a krúčky sa tak počas zrážok nestihnú vždy roztopiť, aj keď je teplota vzduchu pri zemi mierne nad nulou).

Tue Aug 23 22:20:10 2005

### 11035 Wien 21/01/05 12 UTC



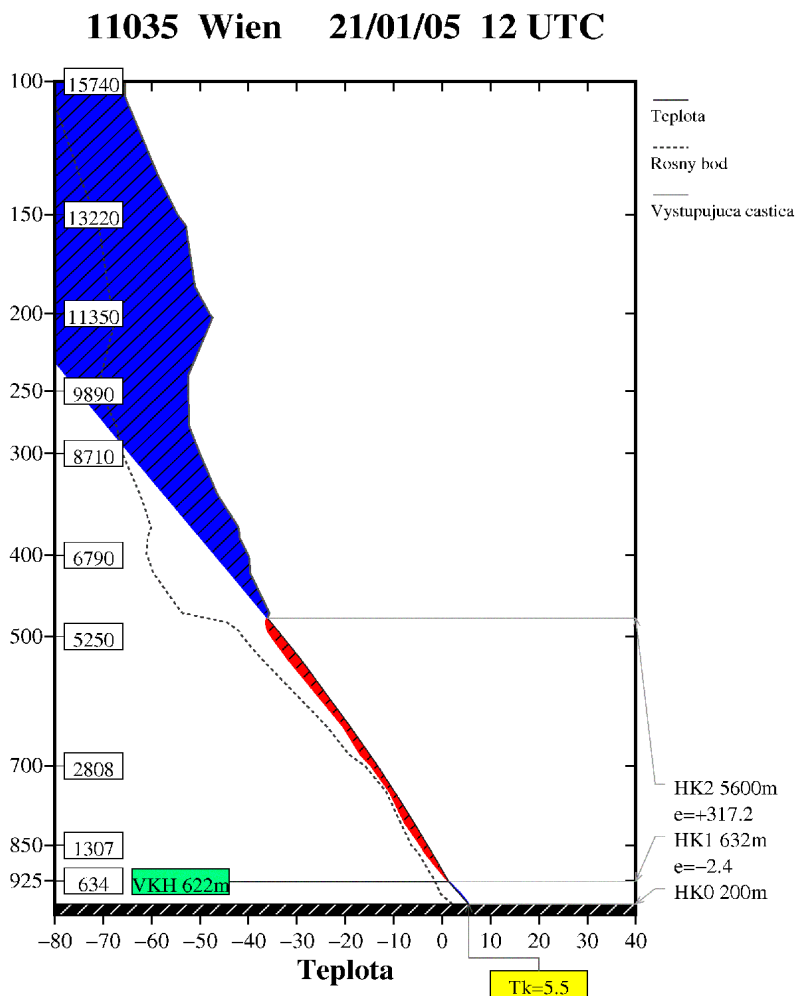


Vrchol oblačnosti bolo možné očakávať vo výške asi 5600 metrov, nad ktorou sa pokles teploty spomalil. V ešte vyšších hladinách atmosféry teplota vzduchu prestane klesať a s výškou dokonca narastá. Táto hladina sa nazýva **tropopauza** a jej výška bola pri tejto situácii okolo 9 km (v zime sa zvykne nachádzať aj nižšie, vo výškach okolo 6 km). Oblačnosť sa sústreďuje väčšinou vo vrstve vzduchu pod tropopauzou (v troposfére), nad touto hladinou sa väčšinou vyskytuje už iba veľmi riedka stratosferická oblačnosť.

Na to, aby sa vytvárala kopovitá oblačnosť, je často potrebné, aby sa vzduch v spodných hladinách ovzdušia ohrial na istú teplotu, ktorú nazývame **teplotou konvekcie** (na obr. vyššie vyznačená žltou farbou). V prízemnej vrstve mala táto teplota hodnotu 5,5 stupňa Celzia, ktorú, ako vieme z pozorovaní, viaceré stanice na juhozápadnom Slovensku dosiahli. Tzv. **parameter K** (oranžovo vyznačený), počítaný podľa metódy Whittinga, nadobúdal hodnoty dostatočné pre konvekciu, ale nie pre vývoj búrok (táto hranica je pri  $K=30$  ale v zime je uvedená metóda menej spoľahlivá).

Na analýzu stability je vhodnejší výpočet **energie konvekčných pohybov**.

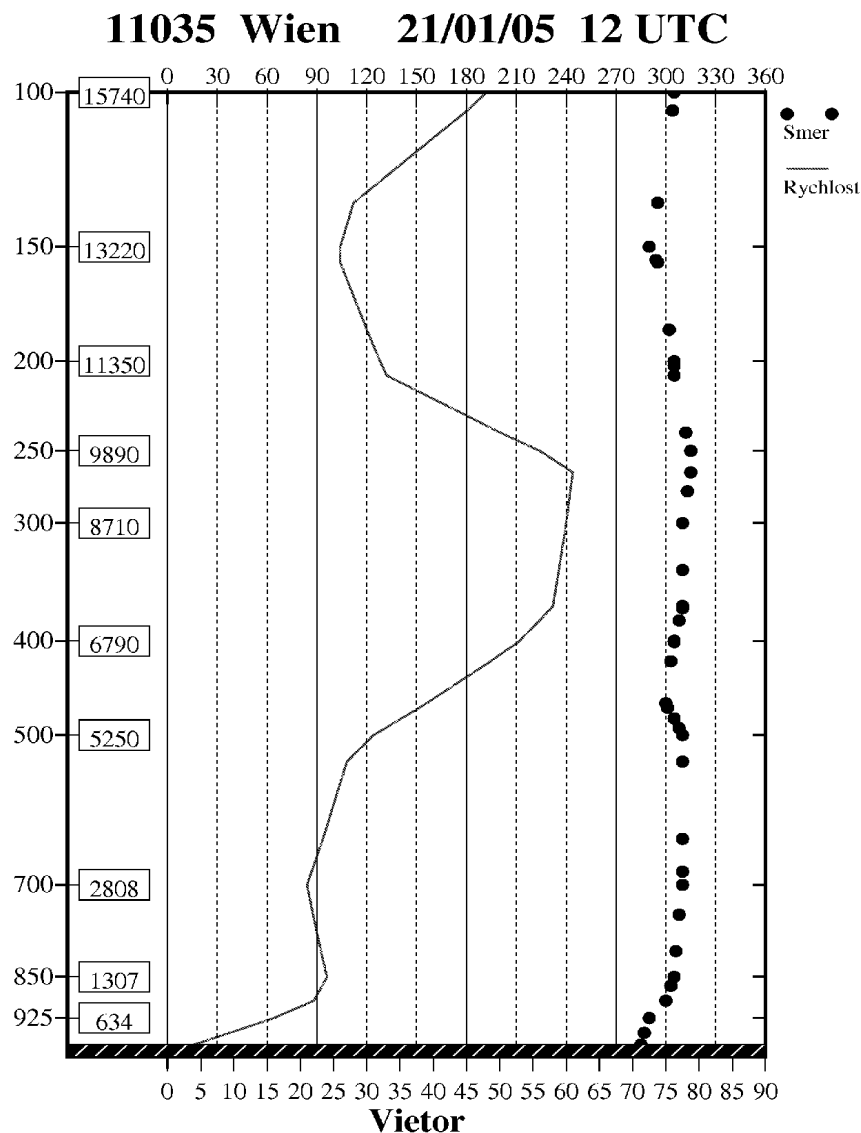
Tue Aug 23 22:20:43 2005



Z tejto analýzy je možné zistiť, že pod tzv. **hladinou voľnej konvekcie** HK1 (do výšky 632 metrov) bolo teplotné zvrstvenie slabo stabilné (na narušenie tejto stability by však postačoval len malý impulz). Niekoľko metrov nad hladinou voľnej konvekcie nasleduje vrstva (na **obr.** vyššie vyznačená červenou farbou), kde bolo teplotné zvrstvenie vzduchu absolútne labilné. Táto vrstva je dostatočne mohutná a siaha až po takzvanú **hladinu rovnováhy** HK2 vo výške 5600 metrov. Energia výstupných pohybov v tejto vrstve je 317 Joulov na kilogram, čo sa obvykle považuje za spodnú hranicu, keď sa môže začať tvoriť búrková oblačnosť (i keď slabej intenzity).

Pozoruhodný je aj profil vetra znázornený na nasledujúcom **obrázku**.

Tue Aug 23 22:21:15 2005



Podľa výstupov rádiosondy sa smer vetra s výškou menil iba málo (bol severozápadný a vial zo smerov 290 až 315 stupňov). S výškou však prúdenie veľmi rýchlo silnelo. Rýchlosť 20 m/s (72 km/h) dosiahol vietor už v hladine okolo 1000 metrov, vo výškach pod tropopauzou (pravdepodobne v blízkosti osi dýzového prúdenia) rýchlosť vetra dosiahla až 60 m/s (216 km/h)!

Analýzy z iných staníc (Budapešť, Prostějov, Gánovce) vykazovali podobné črty, ale z analýzy teplotného zvrstvenia vyplývala celkovo neutrálna stabilita (striedali sa tu vrstvy vzduchu s malou labilitou a vrstvy s malou stabilitou atmosféry).

Celkovo možno situáciu z 21.1.2005 hodnotiť ako typický príklad podmienok, pri akých sa vyskytujú búrky v zimnom období.