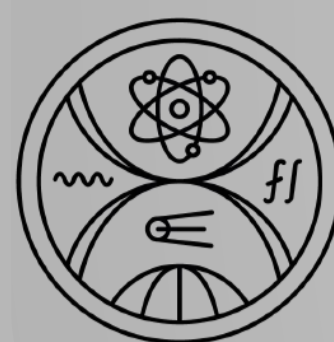


Priemyselné sneženie na Slovensku

David Frnda¹, Miroslav Šinger^{1,2}, Tomáš Fedor^{2,3}



FAKULTA MATEMATIKY,
FYZIKY A INFORMATIKY
Univerzita Komenského
v Bratislave

¹ Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Univerzita Komenského, Mlynská dolina F1, 842 48 Bratislava

² Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15, Bratislava

³ Prírodovedecká fakulta Univerzity Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach, Jesenná 5, 040 01 Košice



Priemyselné sneženie je jav vyskytujúci sa na malej priestorovej škále v blízkosti priemyselných oblastí. V nich dochádza k uvoľňovaniu väčšieho množstva teplej vodnej pary a ďalších častíc (môžu plniť funkciu kondenzačných jadier) do nízkej oblačnosti, čo vedie k jej presýteniu a následnej tvorbe zrážok v podobe snehových zŕn alebo ihličiek, pri kladných teplotách v podobe mrholenia. Tieto zrážky sú následne unášané prúdením a vy-padávajú niekde v okolí, pričom podmienky sa v čase väčšinou menia len nepatrne, čo môže viesť k výrazným rozdielom v počasi na stovkách, dokonca až desiatkach metrov. Keďže sa jedná o veľmi lokálny jav, informácie zo staníc nie sú postačujúce, preto je pre podrobnejšiu analýzu nutné zbierať informácie z médií, od náhodných pozorovateľov alebo z terénneho prieskumu. Významnosť tohto javu narastá v aglomeráciách alebo dôležitých dopravných uzloch, prípadne na letiskách. Preto je pre predpovednú prax, ale aj numerické modelovanie, dôležité poznať poveternostné podmienky a základnú klimatológiu javu. Výskyt priemyselného sneženia demonštrujeme priestorovou analýzou dvoch prípadov v Bratislave a Košiciach zo zimy 2024/2025. Košické letisko je z hľadiska polohy významnou lokalitou, pretože disponuje profesionálnou stanicou s dlhodobým radom pozorovaní a podľa doterajších pozorovaní sa často nachádzalo v spáde priemyselného sneženia. Podľa predbežnej analýzy je výskyt priemyselného sneženia v Košiciach pomerne častý, čo je jednou z hlavných motívácií analýzy tejto témy. V Bratislave sú naopak prípady menej časté a ich podchytenie býva náročnejšie.

Priestorový odhad pokrytía a výšky snehovej pokrývky 2.1.2025 v Košiciach a terénne merania (biely obdĺžnik s nameranými hodnotami)



Železníky
foto: Sa Ska (FB SHMU), 2.1.2025

Purča
foto: L. Lukáčová, 2.1.2025

Terasa
foto: Milan (FB SHMU), 2.1.2025

Žel. stanica
foto: D. Matis, 1.1.2025

Barca
foto: T. Fedor, 2.1.2025

Staré mesto
foto: F. M. Zatková, 2.1.2025

Barca
foto: T. Fedor, 2.1.2025

Barca
foto: T. Fedor, 2.1.2025

Letisko
foto: T. Fedor, 2.1.2025

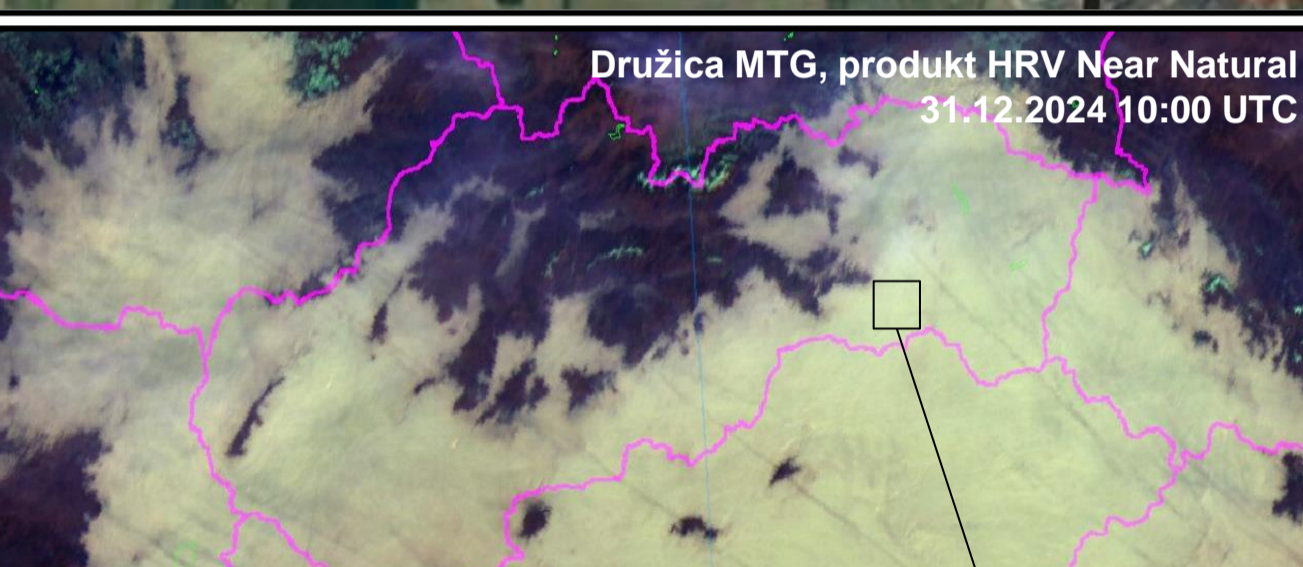
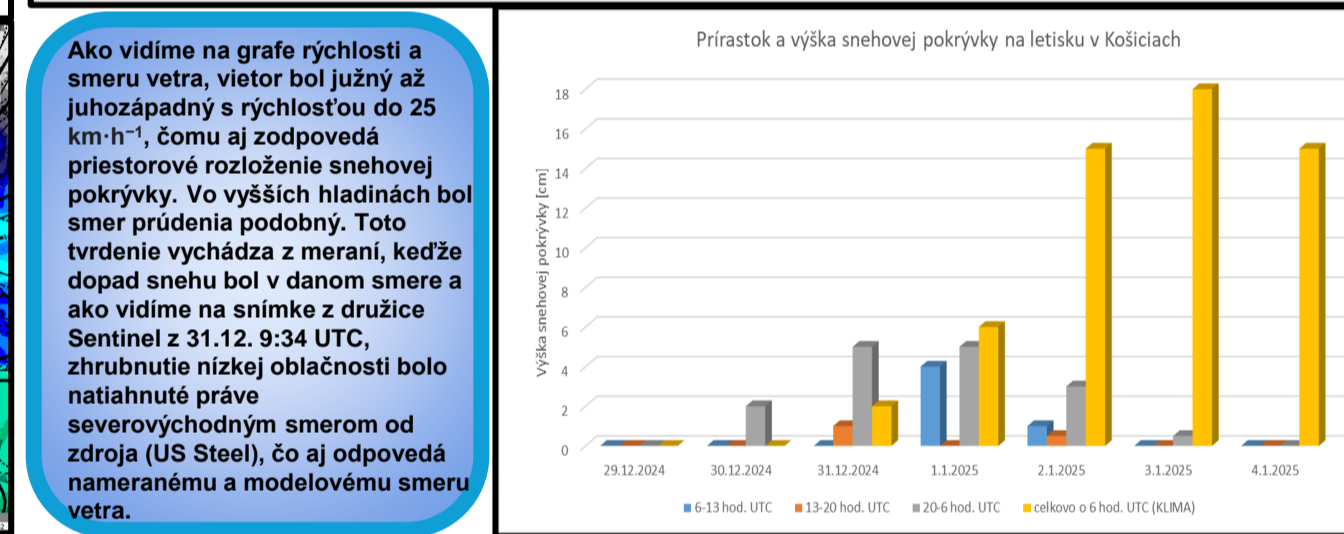
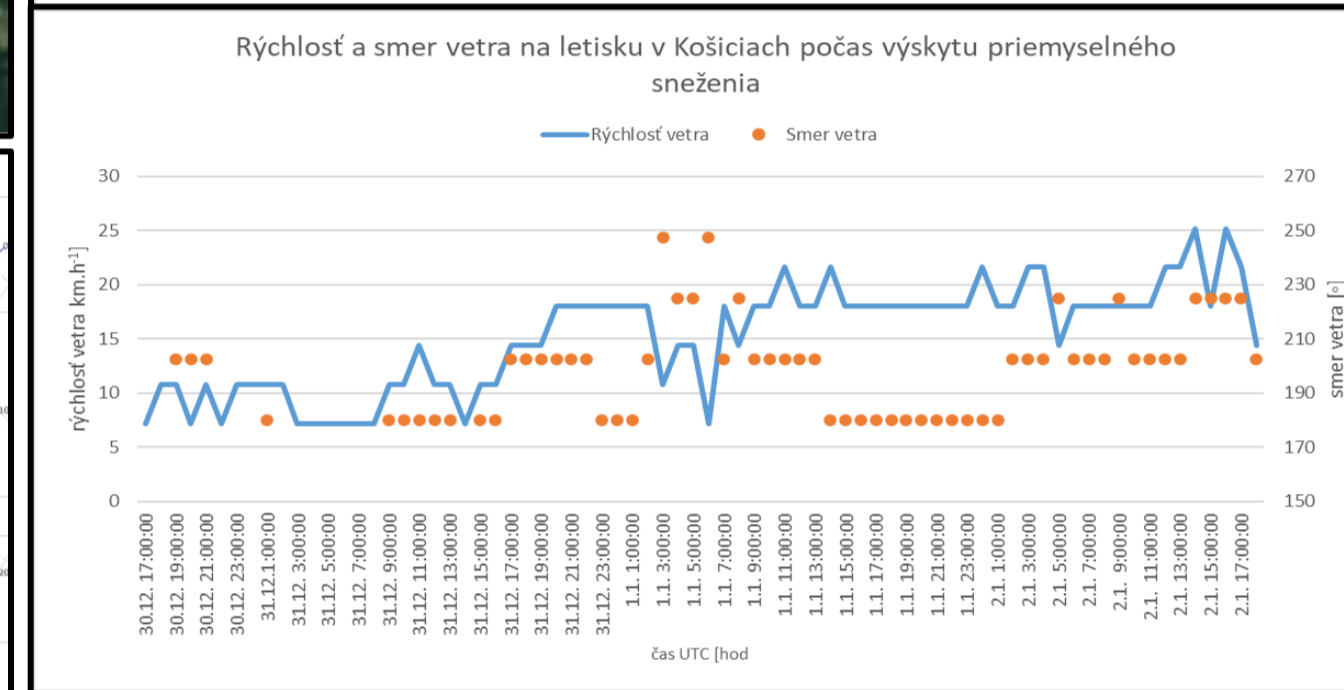
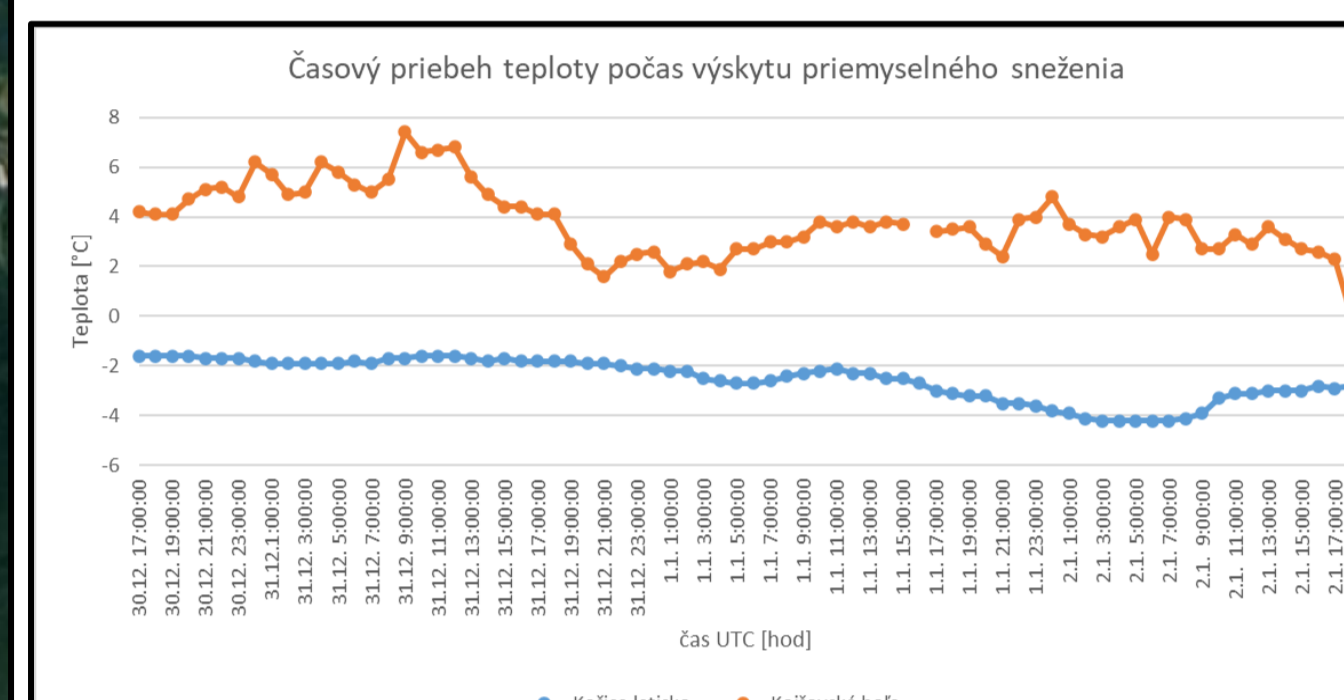
Barca
foto: T. Fedor, 2.1.2025

Južne od US Steel
foto: T. Fedor, 2.1.2025

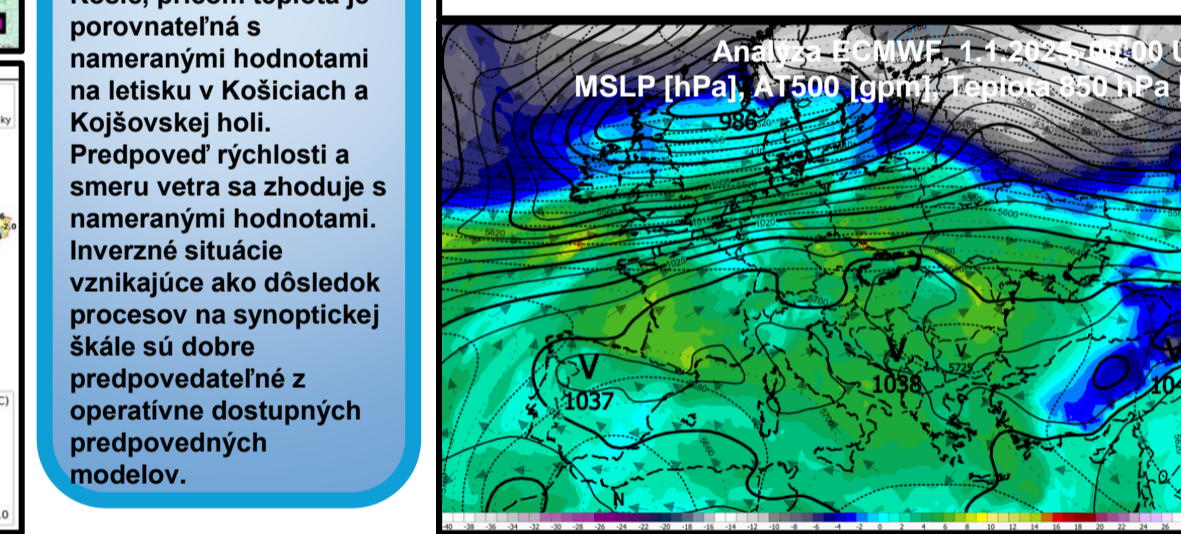
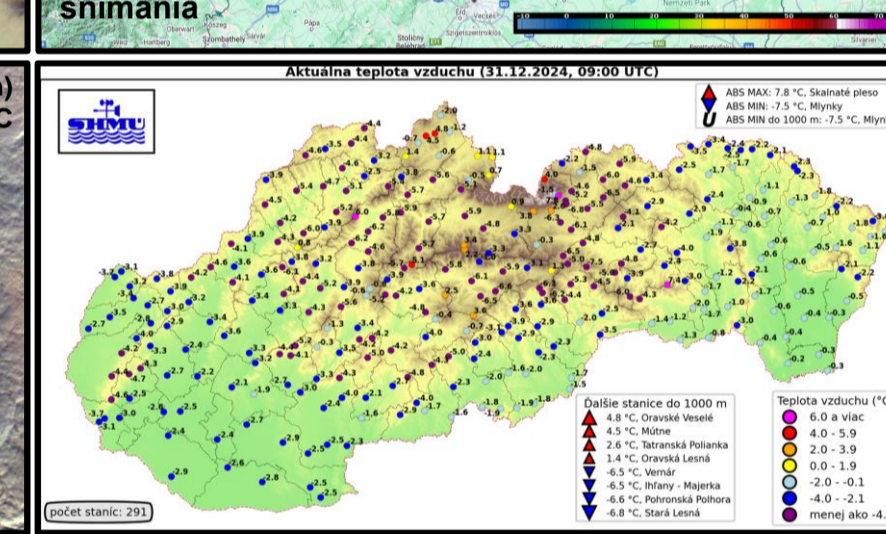
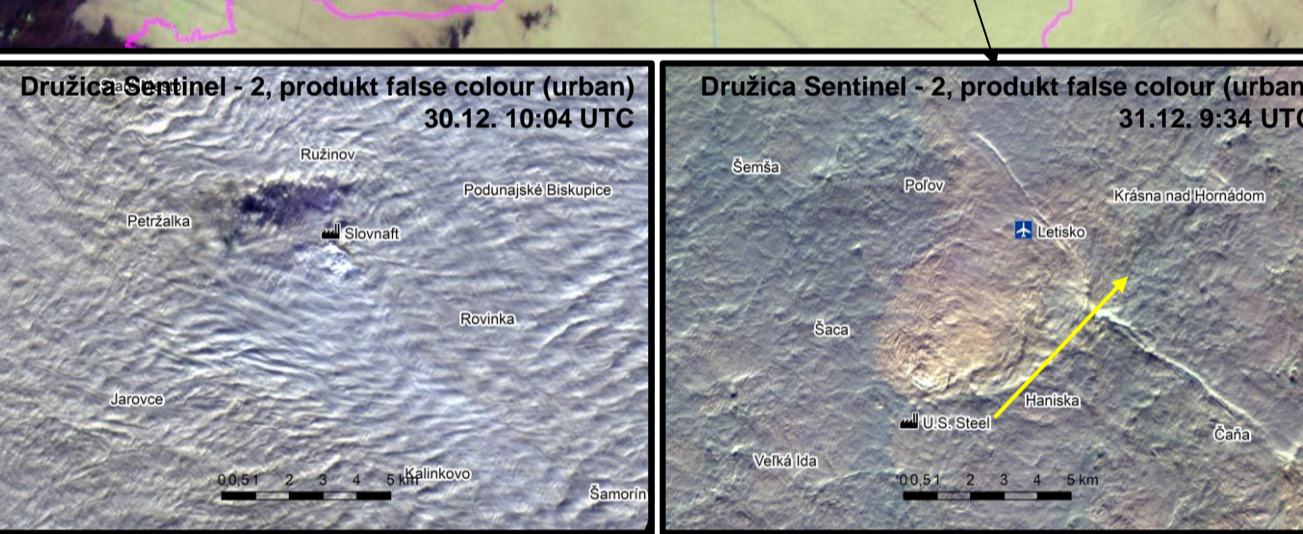
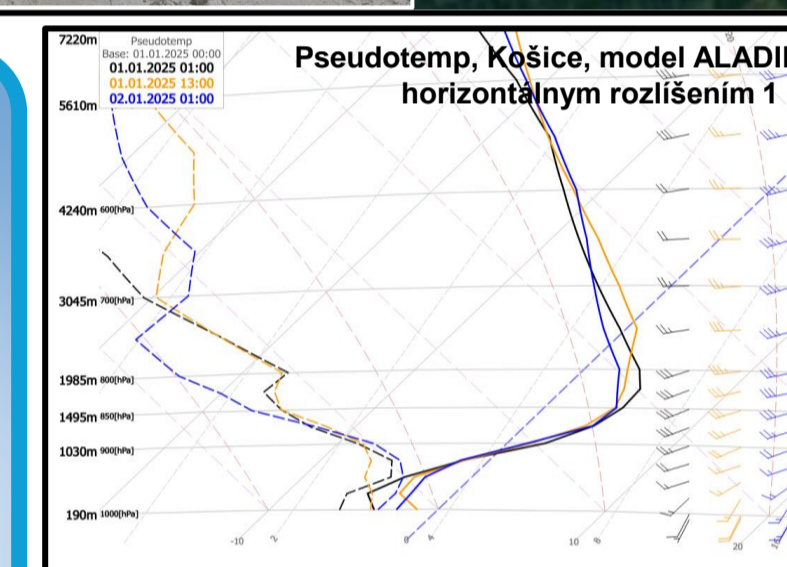
Barca
foto: T. Fedor, 2.1.2025

1. Prípád - Košice

Priemyselné sneženie od 30.12.2024 17:00 do 2.1.2025 18:00 UTC je najvýraznejším prípadom za posledné roky. Výška snehovej pokrývky dňa 2.1. večer na letisku dosahovala 16 cm, no maximum bolo namerané v časti Barca - až 32 cm. Najvýraznejšie snežilo počas noci z 31.12. na 1.1. a z 1.1 na 2.1., kedy obe noci na stanici na letisku pribudlo 5 cm nového snehu. Cez deň snežilo výrazne slabšie alebo vôbec. Toto spĺňa očakávaný predpoklad, že sa horná hranica nízkej oblačnosti musí ochladiť radiacným vyžarovaním, aby došlo k väčšiemu presýteniu a následne aj k výraznejšej tvorbe zrážok (Liechti, 2004).



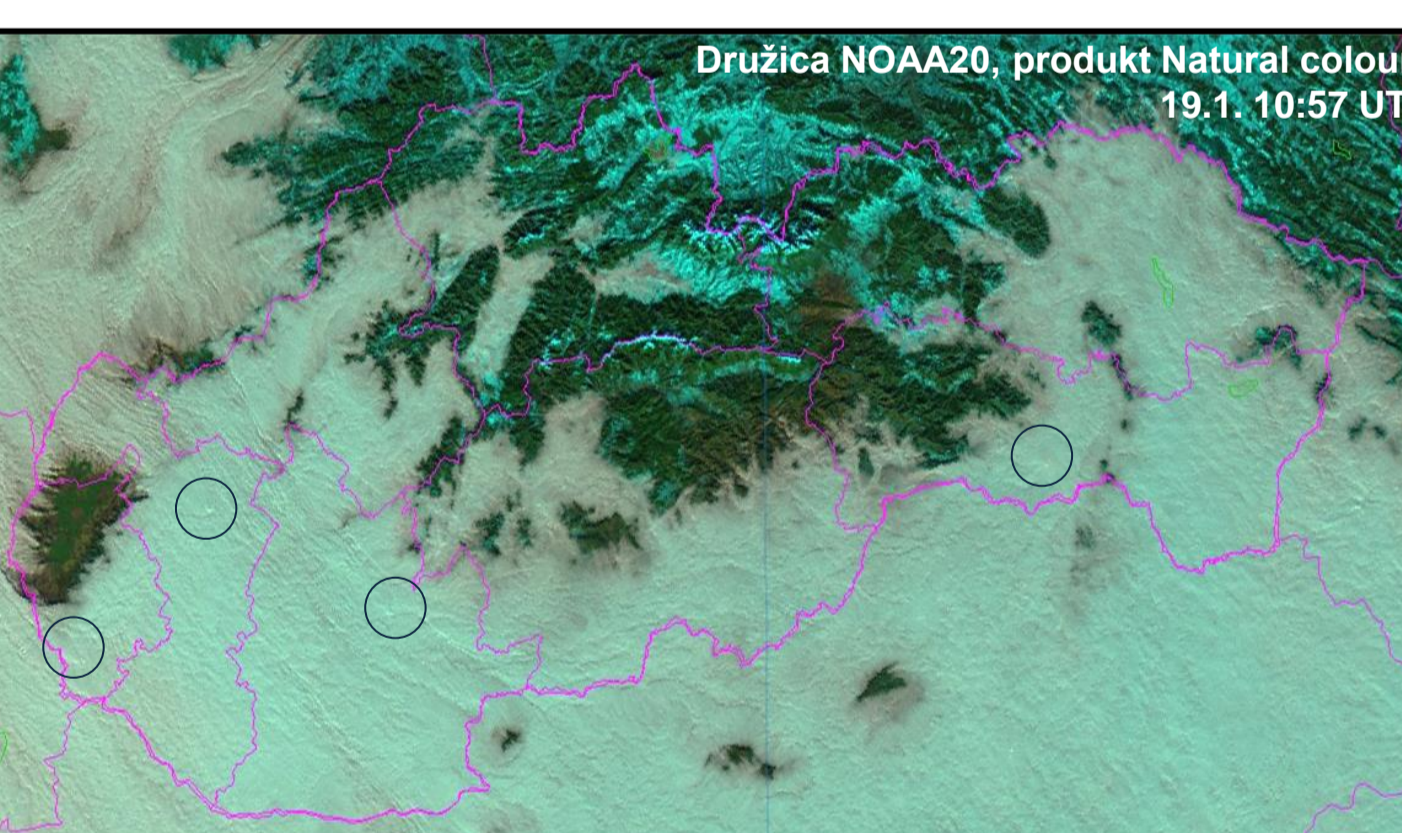
Slovensko sa nachádzalo pod vplyvom rozsiahlej tlakovej výše v stabilnej vzduchovej hmote. V hraničnej vrstve sa vyskytoval chladný a vlhký vzduch, nad ňou v nadmorskej výške nad cca 1000 m bol vzduch teplejší a veľmi suchý. Tieto podmienky postupne viedli k vzniku nízkej oblačnosti. Situáciu dokumentuje pseudotemp z oblasti Košíc, pričom teplota je porovnateľná s nameranými hodnotami na letisku v Košiciach a Kojšovskej holi. Predpoveď rýchlosti a smeru vetra sa zhoduje s nameranými hodnotami. Inverzná situácia vznikajúca ako dôsledok procesov na synoptickú škálu sú dobre predpovedateľné z operatívne dostupných predpovedných modelov.



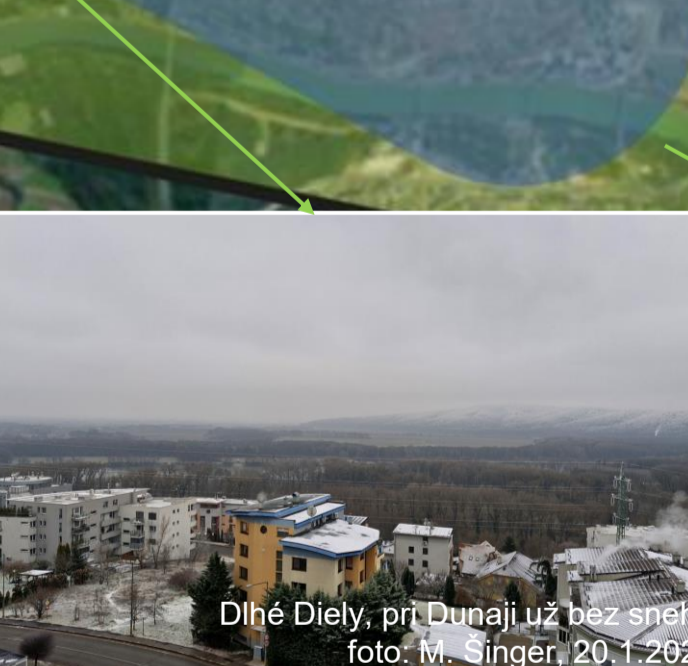
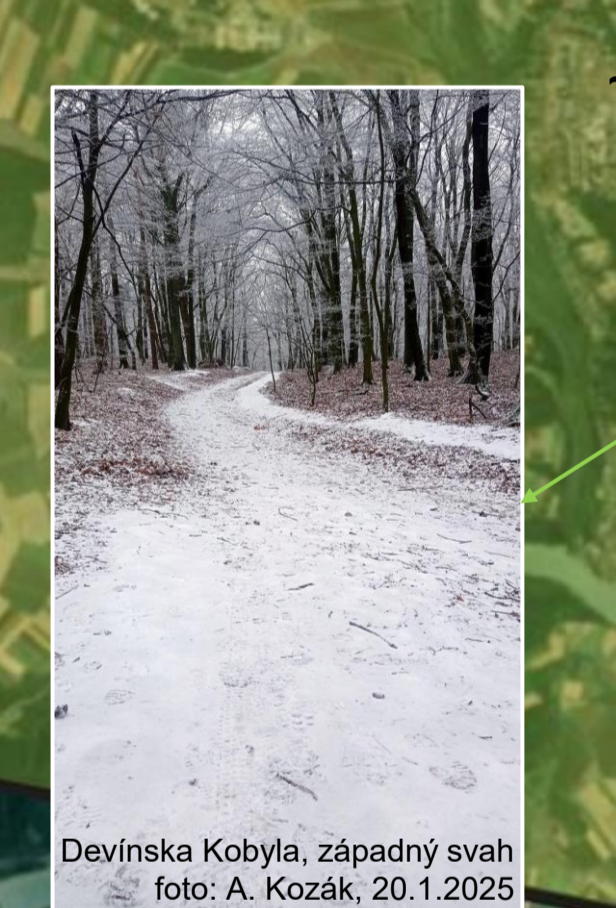
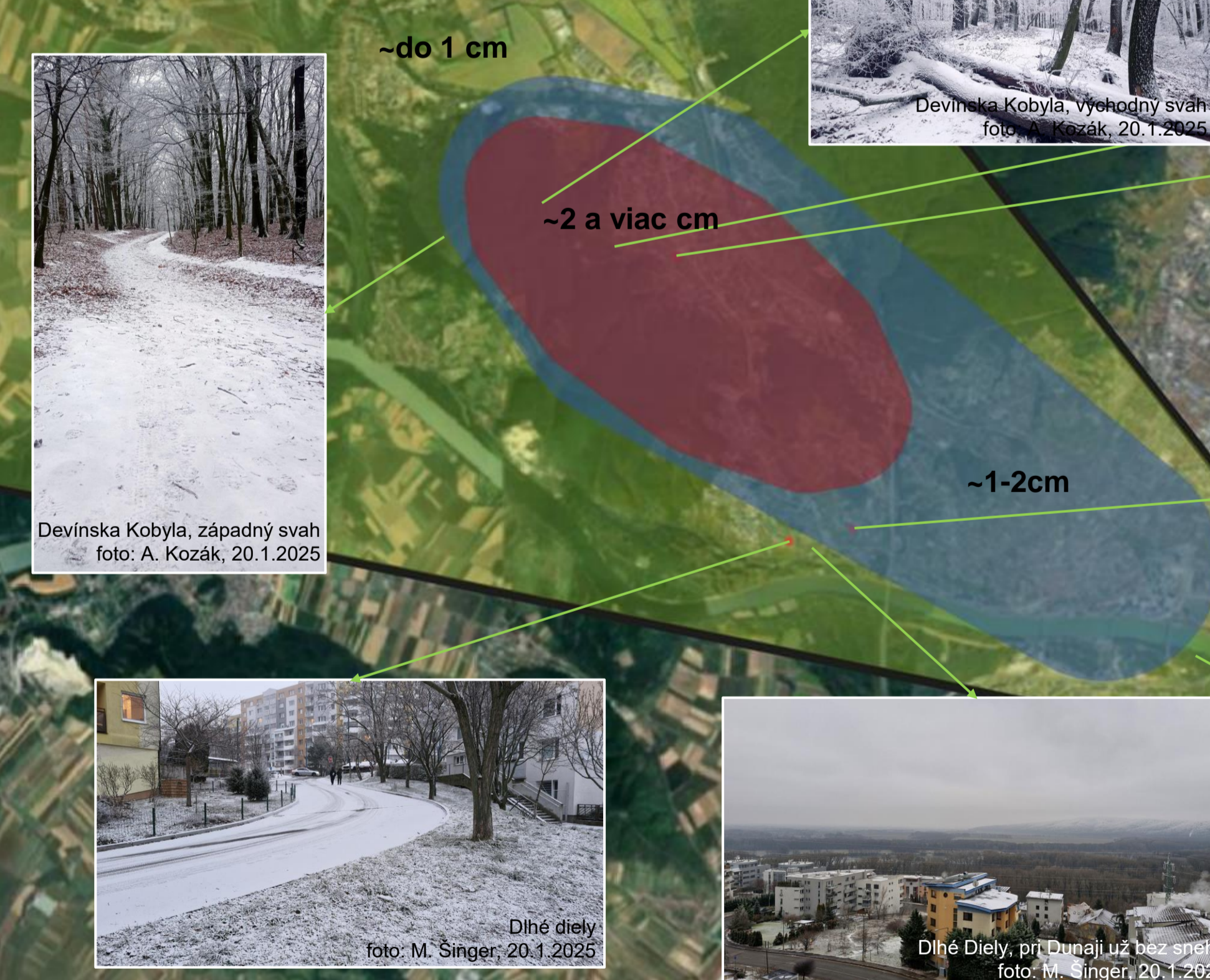
Ako vidíme na grafe rýchlosti a smeru vetra, víťor bol južný až juhovýchodný s rýchlosťou do 25 km/h⁻¹. Čomu aj zodpovedá priestorové rozloženie snehovej pokrývky. Vo vyšších hladinách bol smer prúdenia podobný. Toto tvrdenie vychádza z meraní, keďže dopad snehu bol v danom smere a ako vidíme na snímke z družice Sentinel-2 31.12. 9:34 UTC, zhrubnutie nízkej oblačnosti bolo natiahnuté práve severovýchodným smerom od zdroja (US Steel), čo aj odpovedá nameranému a modelovému smeru vetra.

2. Prípád - Bratislava

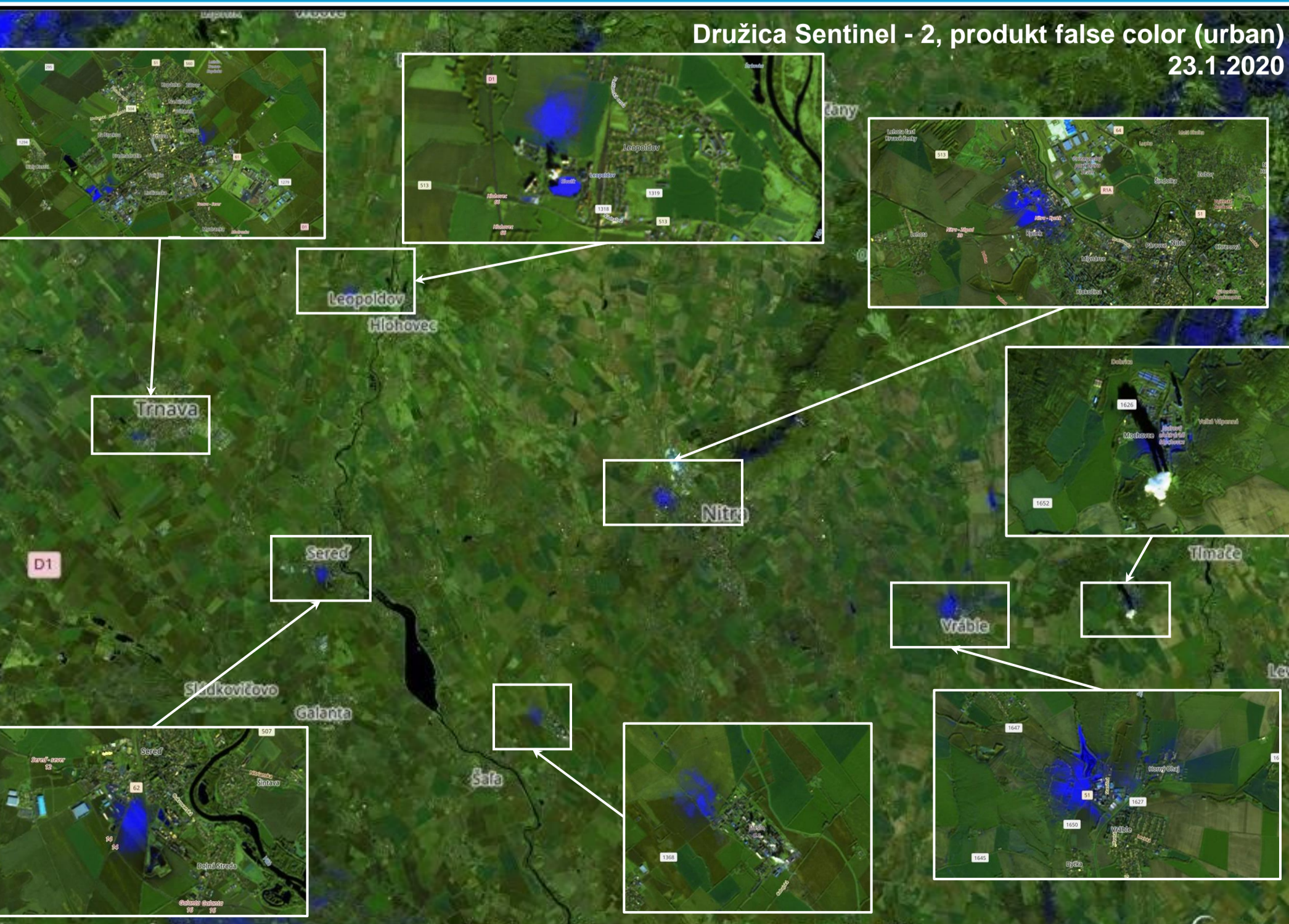
Tento prípad sa vyznačuje výraznejšie vzdialenou polohou maxima, ale aj celkového dopadu snehu od zdroja (Slovnaftu). Z dostupných údajov a pozorovaní vieme, že priemyselné sneženie trvalo od 19.1. 22:00 do 20.1. 02:00 UTC. Priemyselné sneženie sa vyskytlo aj skôr počas dňa 19.1., čo dokazuje fotografia z okolia mosta Apollo.



Priestorový odhad pokrytía a výšky snehovej pokrývky v Bratislave z dňa 20.1.2025



Lokálne zhrubnutie nízkej oblačnosti v oblasti jadrových elektrární a priemyselných parkov US Steel a Slovnaft.



Družicová snímka ojedinelého prípadu priemyselného sneženia, ktoré sa vyskytlo takmer vo všetkých priemyselných oblastiach na západnom Slovensku.

Družicová snímka výrazného prípadu priemyselného sneženia v Košiciach na letisku. V porovnaní so situáciou na prelome rokov 2024/25 je maximum snehovej pokrývky posunuté viac smerom na západ (časť Barca takmer bez snehu), čo samozrejme závisí od rýchlosti a smeru vetra počas sneženia. Pri pozornejšom pohľade vidno aj komín, ktorý bol zdrojom sneženia.



Záver

Priestorovou analýzou a odhadom výšky snehovej pokrývky v dvoch konkrétnych prípadoch z Bratislavy a Košíc počas zimy 2024/2025 sme poukázali na významnosť dopadu priemyselného sneženia v hustejšie obývaných oblastiach. V ďalšom výskume sa podrobnejšie zameriame na vlastnosti vzduchovej hmoty, prúdenie, parametre nízkej oblačnosti a jej denný chod, ako aj základnú klimatológiu javu. Tým výrazne zlepšíme možnosti predpovedania výskytu priemyselného sneženia, keďže operatívne dostupné predpovedné modely ho priamo predpovedať nedokážu.

Literatúra

Liechti, O., 2004: Industrial snow. Proceedings of the 12th SIRWEC Conference, Bingen, Germany, 2004. <https://sirwec.org/bingen-germany-2004/>
GRAHAM, E., 2024: Industrieschnee: An overview of some European anthropogenic snowfall events, with a case study from Bern (Switzerland). Weather, 79: 4-9. <https://mets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wea.4509>