

# Využite polárnej družice Sentinel-2 v meteorológii: Detekcia a analýza mezoškálových a mikroškálových javov



FAKULTA MATEMATIKY,  
FYZIKY A INFORMATIKY  
Univerzita Komenského  
v Bratislave

David Frnda<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, Univerzita Komenského, Mlynská dolina F1, 842 48 Bratislava  
<sup>2</sup> Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15, Bratislava



Sentinel-2 je misia na pozorovanie Zeme v rámci programu Copernicus, ktorá získava optické snímky s vysokým priestorovým rozlíšením (10 až 60 m) nad pevninou a pobrežnými vodami. K družiciam Sentinel-2A a Sentinel-2B sa v roku 2024 na obežnej dráhe pripojila tretia družica Sentinel-2C a v budúcnosti sa k nim pripojí aj Sentinel-2D, ktoré nakoniec nahradia družice A a B. Dvojica družíc Sentinel-2B a Sentinel-2C letí na rovnakej obežnej dráhe, ale sú vzájomne posunuté o uhol 180°. Okrem toho Sentinel-2A dočasne pracuje v polohe 36° od Sentinel-2B. Snímky s možnosťou voľnej tvorby RGB kompozícií sú voľne dostupné na internetovej stránke (Copernicus Browser).



| Sentinel-2 bands             | Sentinel-2A             |                | Sentinel-2B             |                | Spatial resolution (m) |
|------------------------------|-------------------------|----------------|-------------------------|----------------|------------------------|
|                              | Central wavelength (nm) | Bandwidth (nm) | Central wavelength (nm) | Bandwidth (nm) |                        |
| Band 1 – Coastal aerosol     | 442.7                   | 21             | 442.2                   | 21             | 60                     |
| Band 2 – Blue                | 492.4                   | 66             | 492.1                   | 66             | 10                     |
| Band 3 – Green               | 559.8                   | 36             | 559.0                   | 36             | 10                     |
| Band 4 – Red                 | 664.6                   | 31             | 664.9                   | 31             | 10                     |
| Band 5 – Vegetation red edge | 704.1                   | 15             | 703.8                   | 16             | 20                     |
| Band 6 – Vegetation red edge | 740.5                   | 15             | 739.1                   | 15             | 20                     |
| Band 7 – Vegetation red edge | 782.8                   | 20             | 779.7                   | 20             | 20                     |
| Band 8 – NIR                 | 832.8                   | 106            | 832.9                   | 106            | 10                     |
| Band 8A – Narrow NIR         | 864.7                   | 21             | 864.0                   | 22             | 20                     |
| Band 9 – Water vapour        | 945.1                   | 20             | 943.2                   | 21             | 60                     |
| Band 10 – SWIR – Cirrus      | 1373.5                  | 31             | 1376.9                  | 30             | 60                     |
| Band 11 – SWIR               | 1613.7                  | 91             | 1610.4                  | 94             | 20                     |
| Band 12 – SWIR               | 2202.4                  | 175            | 2185.7                  | 185            | 20                     |

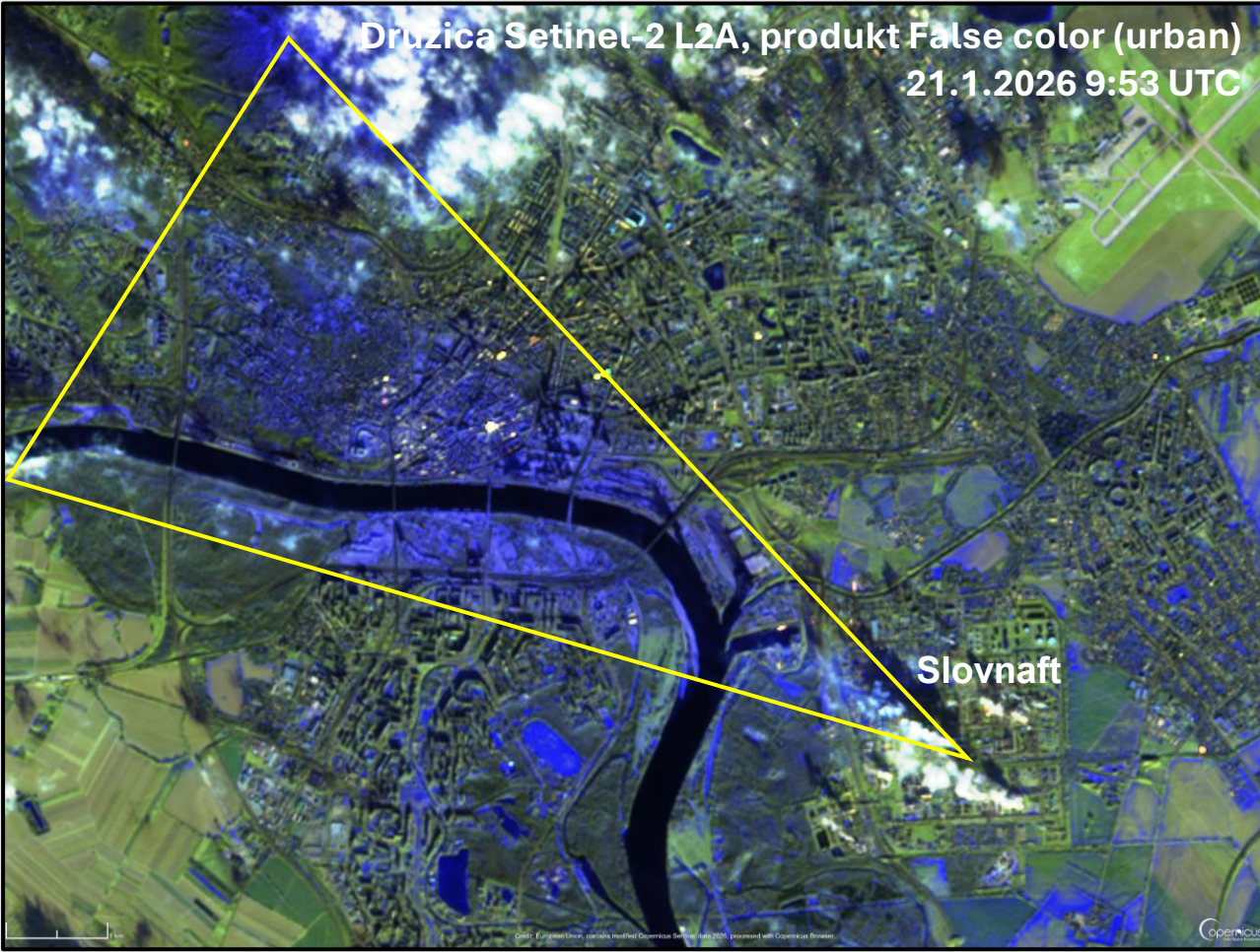
Spektrálne pásma pre senzory Sentinel-2 (S2A a S2B)

## Interpretácia bežných False Color snímok

Produkt False Color sa používa na odhalenie alebo zvýraznenie prvkov, ktoré sú inak pre ľudské oko neviditeľné alebo zle viditeľné. Falošný farebný kompozit je multispektrálna interpretácia obrazu s použitím štandardného vizuálneho rozsahu pásiem RGB (červená, zelená a modrá). Hoci existuje mnoho možných kombinácií pásiem vlnovej dĺžky, Earth Observatory zvyčajne vyberá jednu zo štyroch kombinácií na základe udalosti alebo prvku, ktorý chceme ilustrovať. Napríklad záplavy sa najlepšie zobrazujú v krátkovlnnom infračervenom, blízkom infračervenom a zelenom svetle, pretože bahnatá voda sa na prirodzenom farebnom obraze mieša s hnedou zemou. Krátkovlnné infračervené svetlo zvýrazňuje rozdiel medzi oblakmi, ľadom a snehom, ktoré sú vo viditeľnom svetle biele. Štyri najbežnejšie kombinácie sú (Earth Observatory, 2014):

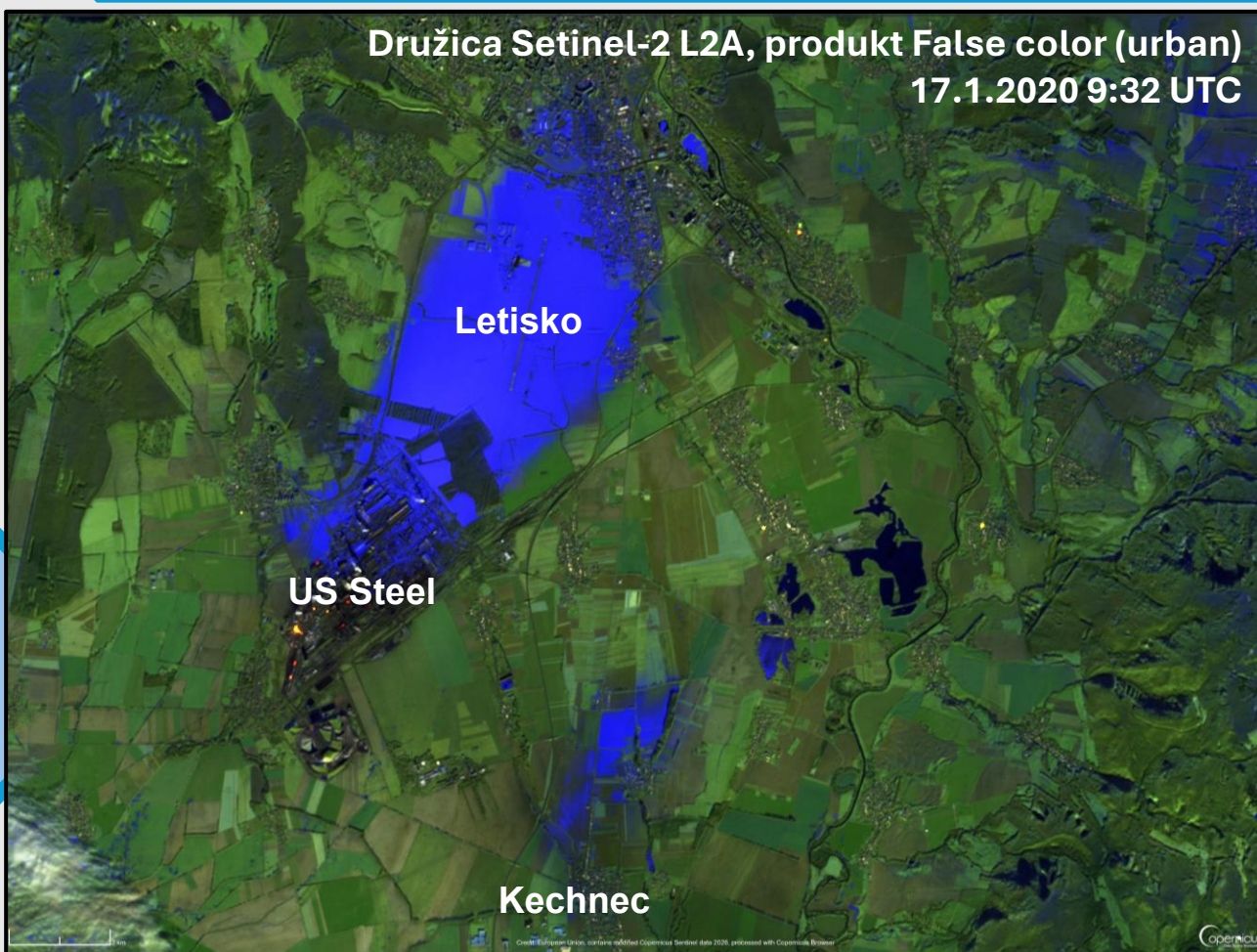
- Blízke infračervené (NIR) (červená), zelené (modrá), červené (zelená). Ide o tradičnú kombináciu pásiem, ktorá je užitočná pri pozorovaní zmien vo vegetačnej fáze rastlín
- Krátkovlnné infračervené (SWIR) (červená), blízke infračervené (zelená) a zelené (modrá) pásmo, často sa používa na zobrazenie záplav alebo čerstvo spálenej pôdy
- Modré (červená), dve rôzne krátkovlnné infračervené pásma (zelená a modrá). Používame ho na rozlíšenie snehu, ľadu a oblakov
- Tepelné infračervené pásmo, zvyčajne sa zobrazuje v tónoch sivej na znázornenie teploty

## Priemyselné sneženie



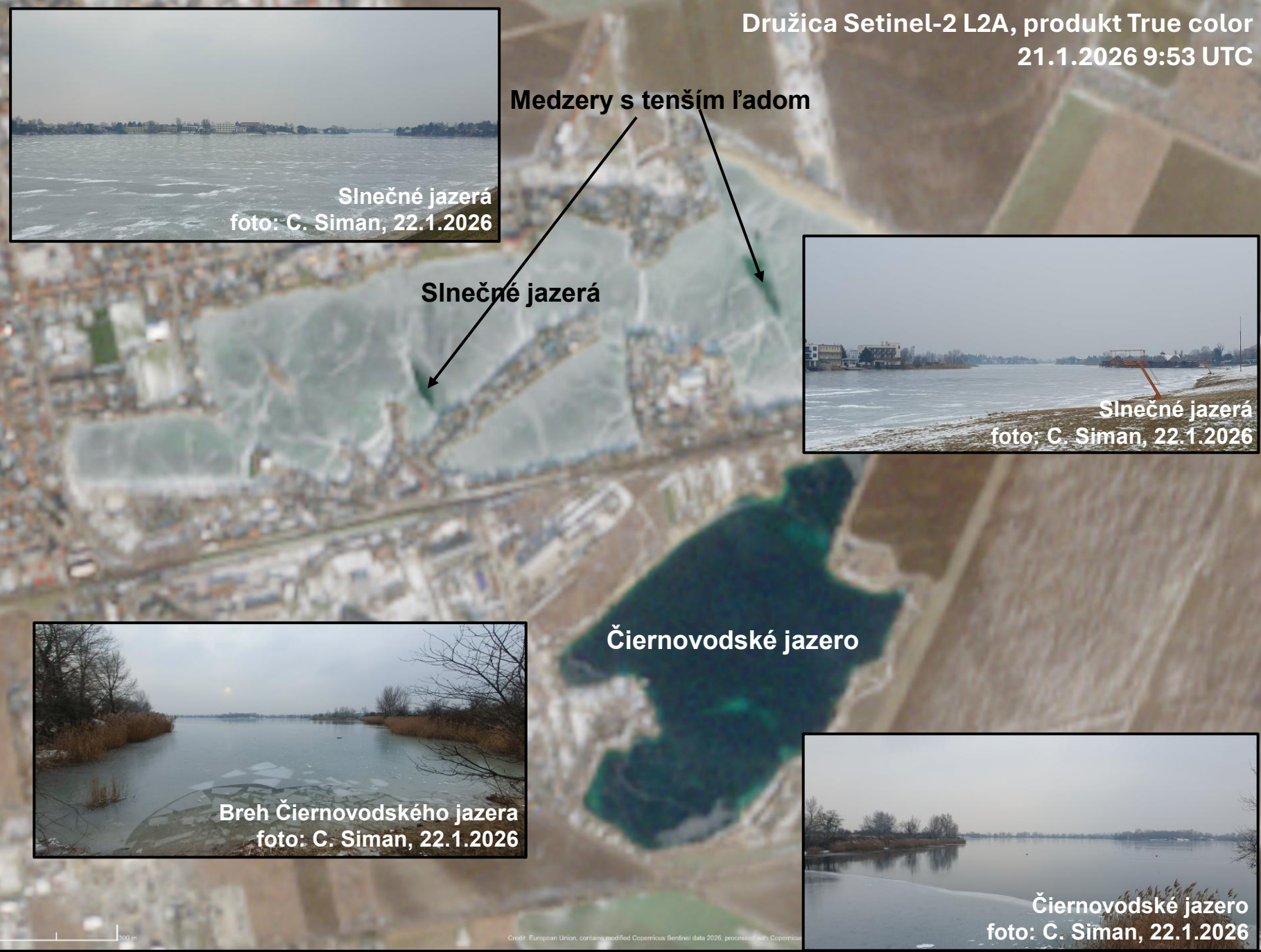
Priestorové rozloženie snehovej pokrývky v oblasti Košíc z dňa 17.1.2020, keď sa priemyselné sneženie vyskytlo v predchádzajúcom období niekoľkokrát. Zaujímavý je aj lokálny výskyt snehovej pokrývky juhovýchodne od letiska – prípad priemyselného sneženia z Kechnevu. Aj v tomto prípade je rozloženie natiahnuté typickým smerom pre prúdenie v oblasti Košíc počas stabilných inverzných poveternostných situácií. Podrobná analýza tohto prípadu a aj prípadu z Bratislavy na prelome rokov 2024/2025 je v práci (Frnda, 2025).

Priestorové rozloženie snehovej pokrývky v Bratislave z dňa 22.1.2026, po výskyte priemyselného sneženia v dňoch 20. a 21.1.2026. Rozloženie je natiahnuté severozápadným smerom od zdroju Slovnafť – teda smerom typickým pre prúdenie v oblasti Bratislavy počas stabilných inverzných poveternostných situácií (Bochníček, 2015; Frnda, 2025). Na snímke je tmavomodrou znázornená aj silná námraza a zamrznuté vodné plochy.



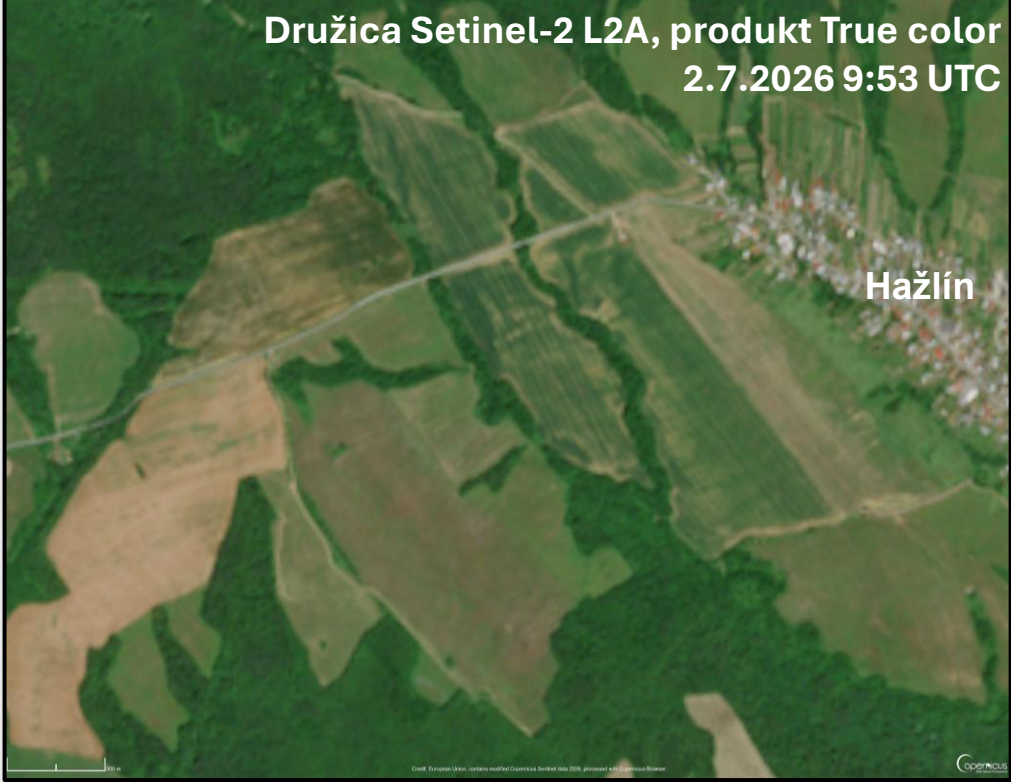
Pozostatok snehovej pokrývky v Bratislave po výskyte priemyselného sneženia na prelome rokov 2024/2025

## Rozdiel v štruktúre zamrznutia jazier

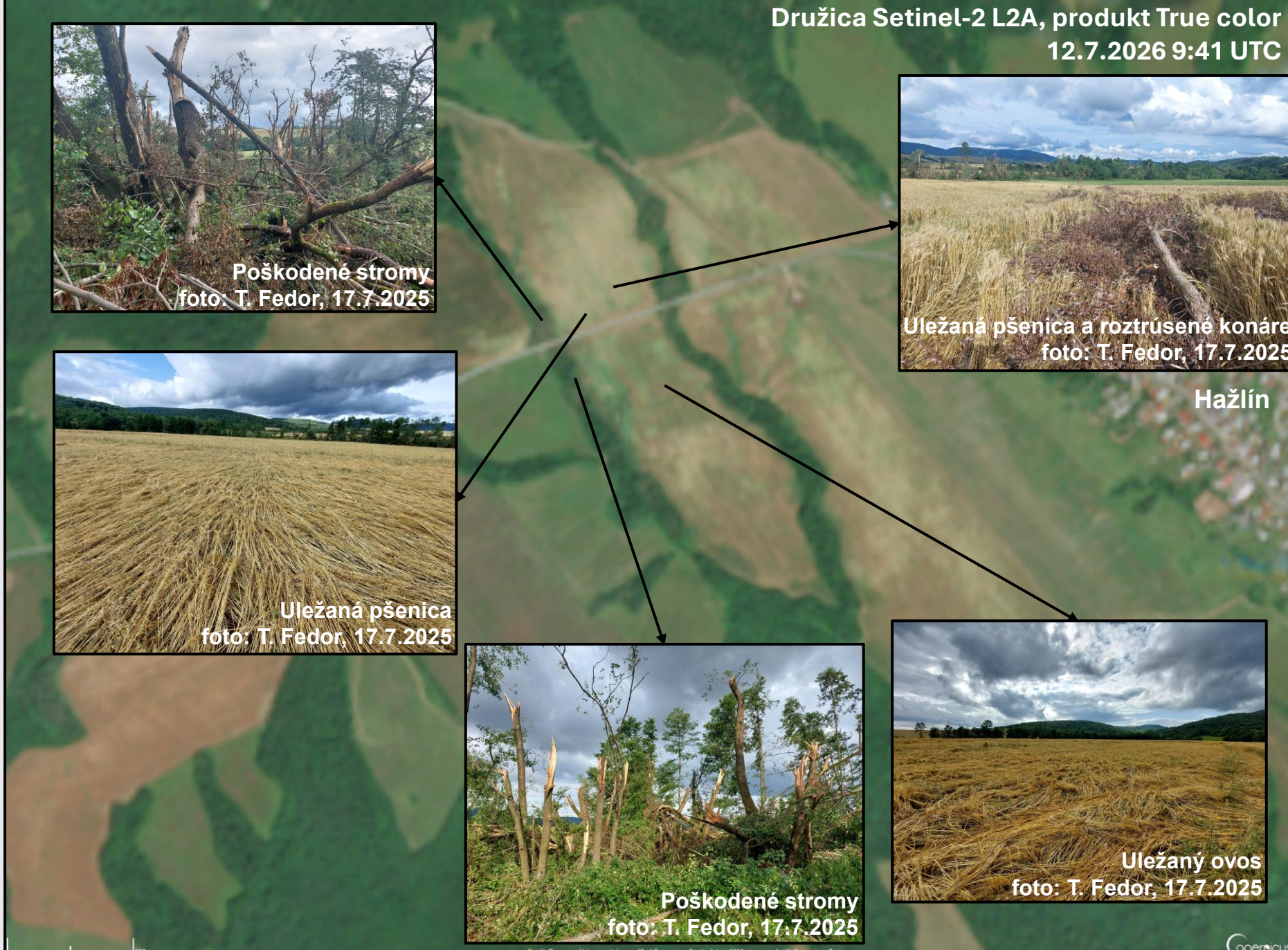


Rozdiel v zamrznutí Slnčných jazier a Čiernovodského jazera v Senci. Slnčné jazerá boli zamrznuté takmer všade (vidno aj medzery s tenším ľadom), no na Čiernovodskom jazere bola len tenká vrstva ľadu. Dôvodom sú samotné špecifické vlastnosti jazier.

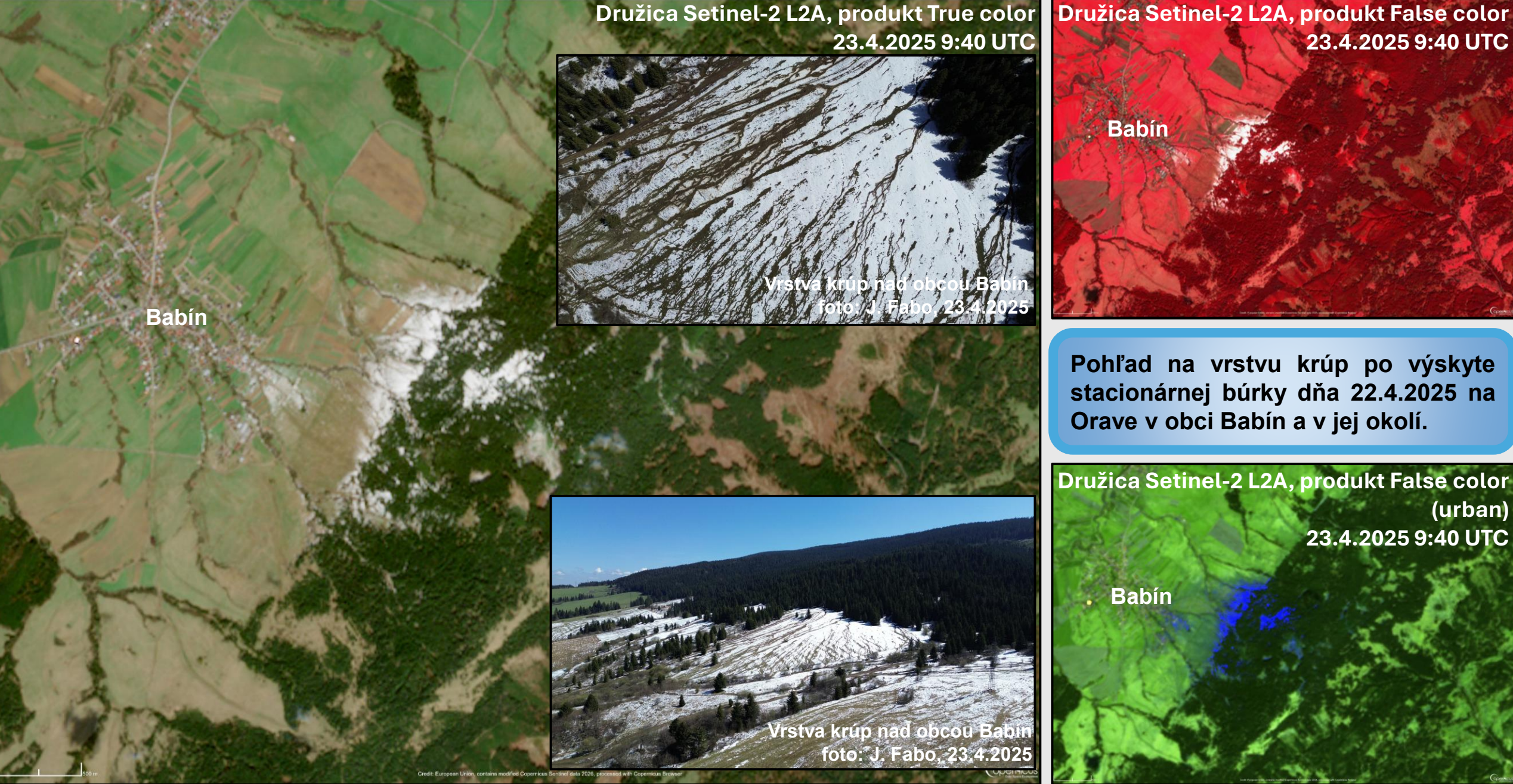
## Zničená vegetácia po prechode konvektívneho systému



Zničená vegetácia po prechode konvektívneho systému medzi obcami Beloveža a Hažlín v okrese Bardejov dňa 7.7.2025. Na družicových snímkach pred (2.7.2025) a po (12.7.2025) udalosti vidno rozdiely najmä na poliach, keď došlo k uležaniu obilja. Pri pozorovaní pohľade však vidno aj rozdiely v stromových pásoch, ktoré sú v niektorých častiach redšie – tam kde došlo k zlámaniu konárov a stromov.



## Krúpy po búrke

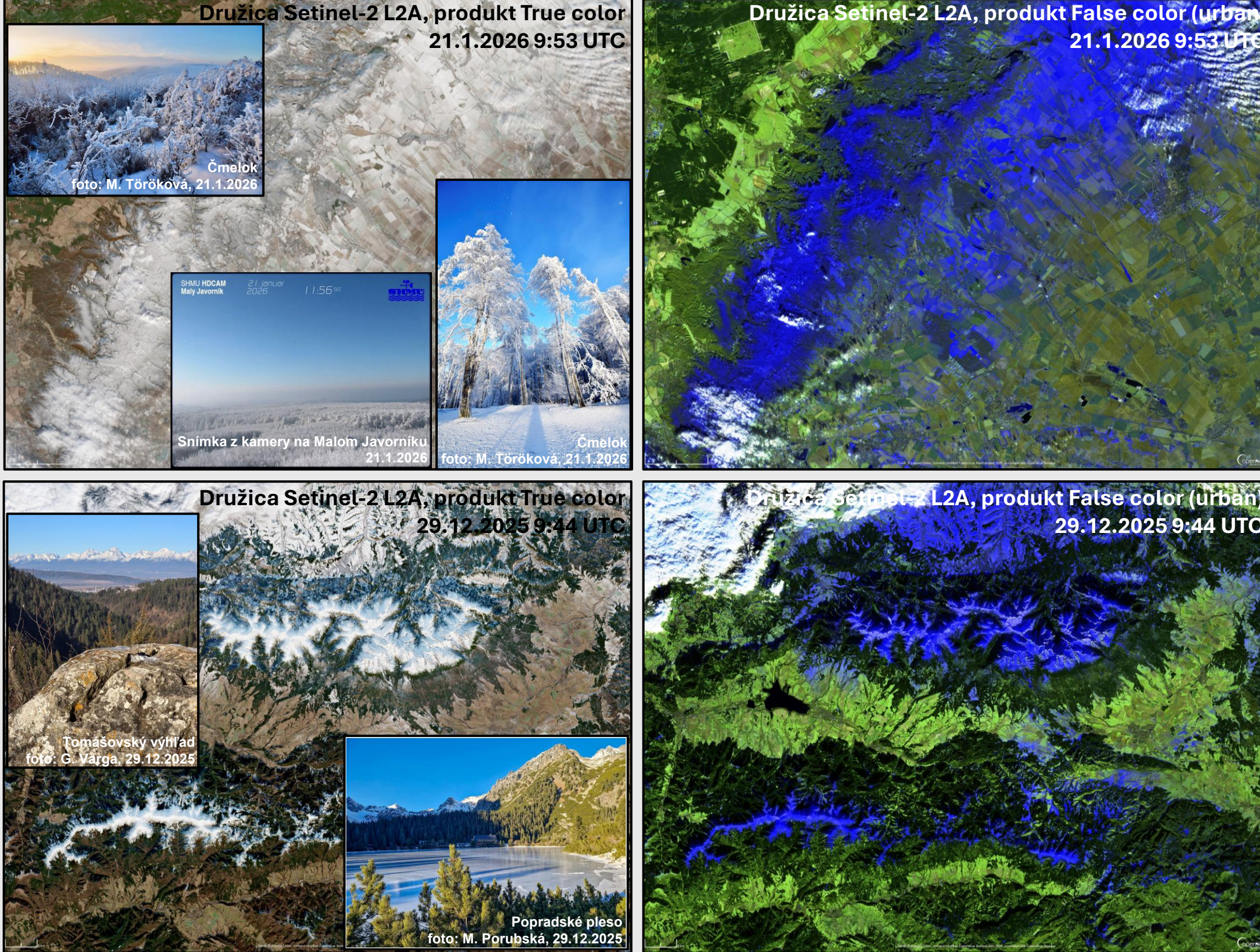


Pohľad na vrstvu krúp po výskyte stacionárnej búrky dňa 22.4.2025 na Orave v obci Babin a v jej okolí.

## Zhrnutie

Z hľadiska pozitív je najväčšou devizou misie Sentinel-2 bezplatná dostupnosť dát a ich vysoké rozlíšenie, čo dovoľuje vykonávať analýzy na malých priestorových škálach. Naopak, zásadným negatívom pri sledovaní takto dynamických javov je nedostatočné časové rozlíšenie. Napriek prítomnosti dvoch družíc je niekoľkodňový interval návratu nad rovnaké miesto v meteorologickom kontexte príliš dlhý, čo znemožňuje operatívne sledovanie priebehu extrémnych udalostí. Tento limit je umocnený neschopnosťou optických senzorov snímať povrch cez oblačnosť, čo v mnohých prípadoch vedie k strate kľúčových dát v čase vzniku sledovaného javu – najmä ak ide o jav na zemskom povrchu. Aj s týmito obmedzeniami však Sentinel-2 zostáva nenahraditeľným zdrojom informácií pre retrospektívne analýzy lokálnych javov.

## Vrstva námrazy alebo snehová pokrývka?



Pri používaní produktu False color (urban) si treba dávať pozor na rozlíšenie snehovej pokrývky a námrazy, prípadne zamrznutých objektov. Na snímke Malých Karpát z dňa 21.1.2026 (vpravo hore) je vrstva hrubej námrazy na stromoch a príľahlých objektoch znázornená tmavomodrou farbou. V dňoch pred zhotovením snímky tu bola hmla a nízka oblačnosť pri teplotách okolo -8 stupňov, čo boli výborne podmienky pre jej rast. Na porovnanie uvádzame snímku snehovej pokrývky na hrebeňoch Tatier a Nizkých Tatier z dňa 29.12.2025 (vpravo dole), ktorá je tiež znázornená rovnakou farbou. Pri porovnaní oboch snímok môžeme pozorovať značné rozdiely a tým aj jasne rozlíšiť obidva javy. Podobne to platí aj pri základnom produkte True color (snímky vľavo).

## Literatúra a internetové zdroje

BOCHNÍČEK, O., 2015: Klimatický atlas Slovenska : Climate atlas of Slovakia. [autori fotografií: Kateřina Hrušková ... [et al.]]. Bratislava : Slovenský hydrometeorologický ústav, 131 s. ISBN 978-80-88907-90-9.  
FRNDA, D., 2025: Priemyselné sneženie na Slovensku [Diplomová práca], Univerzita Komenského v Bratislave, 126 s., dostupné na: <https://opac.crzp.sk/?fn=detailBiblioFormChildI5V40&sid=C9A1C75A261DD259FF844C1E26A3&seo=CRZP-detail-kniha>  
Earth Observatory: How to interpret Common False Color Images. Published March 4, 2014, dostupné na: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/FalseColor/page6.php>  
Copernicus Browser: <https://browser.dataspace.copernicus.eu/?zoom=5&lat=50.16282&lng=20.78613&themeld=DEFAULT>