

Meteosat třetí generace: Nová éra družicových pozorování



Akademie věd
České republiky

Český
hydrometeorologický
ústav



věda
kolem
nás
co to je...

140

Ústav fyziky atmosféry AV ČR

Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i., (ÚFA) je veřejná výzkumná instituce, která je jedním z pracovišť Akademie věd České republiky. Hlavním vědeckým zaměřením ústavu je výzkum procesů v zemské atmosféře a blízkém vesmíru. Jedná se o širokou vědní oblast od výzkumu a předpovědi jevů ve spodních partiích atmosféry, kterému se věnují pracovníci oddělení meteorologie, přes příčiny a projev změn klimatu a jejich vliv na společnost, jimiž se zabývají vědci z oddělení klimatologie, až po jevy ve vrchních partiích atmosféry a ionosféry, které studují v oddělení ionosféry a aeronomie. Navazujícímu výzkumu fyzikálních procesů v blízkém i vzdáleném prostoru Sluneční soustavy se věnují pracovníci oddělení kosmické fyziky a skupiny numerických simulací heliosférického plazmatu. Vedle základního výzkumu se zaměstnanci ústavu podílejí na návrhu a vývoji vědeckých přístrojů a metod nebo monitorování a speciálních pozorováních jak na povrchu Země, tak vysoko v atmosféře a v meziplanetárním prostoru. Získaná vědecká data jsou dále sdílěna napříč vědeckou komunitou v rámci bohaté mezinárodní spolupráce a výsledky výzkumu jsou také publikovány v uznávaných vědeckých časopisech.

Ústav byl založen 1. ledna 1964 a jeho hlavní část od počátku sídlí v areálu Geofyzikálního ústavu AV ČR, v. v. i., v Praze na Spořilově. Mimo hlavní budovu v Praze ústav spravuje meteorologické observatoře Milešovka a Kopisty, observatoř a telemetrickou stanicí Panská Ves, ionosférickou observatoř Průhonice a společnou observatoř Dlouhá Louka v Krušných horách.

Výzkumná činnost ÚFA probíhá v úzké spolupráci se zahraničními i tuzemskými vědeckými a odbornými pracovišti včetně vysokých škol. Ústav je také úspěšným navrhovatelem mnoha tuzemských a mezinárodních grantových projektů. Pracovníci ústavu se v neposlední řadě podílejí na výuce studentů na vysokých školách formou přednášek a vedením bakalářských, magisterských a dizertačních prací. Pro mladší studenty a veřejnost ústav pořádá četné popularizační akce, jako jsou exkurze, přednášky a ukázky činnosti pracovníků, a aktivně se zúčastňuje různých vědeckých festivalů. Prezence výzkumu a vědeckých výsledků probíhá také ve spolupráci s veřejnoprávními médii a je pravidelně publikována v on-line prostoru.

ÚFA dlouhodobě spolupracuje s Českým hydrometeorologickým ústavem na různých projektech základního i aplikovaného výzkumu. Patří mezi ně například aktuálně probíhající projekt **PERUN**, zaměřený na studium klimatických extrémů, sucha a jeho dopadů v oblasti České republiky, nebo již ukončený projekt **FROST**, jehož výsledkem byl zdokonalený systém pro předpověď teploty a stavu povrchu vozovek na české dálniční síti. Tato brožura vznikla v rámci společného řešení probíhajícího projektu Strategie AV21 – Vesmír pro lidstvo, výzkumné téma Meteorologická družicová pozorování.

1. Úvod

Každý den se spoléháme na informace o počasí – ať už při plánování výletu či dovolené, organizaci společenské nebo sportovní akce, nebo při prostém rozhodování, co si obléct. Aby mohla být předpověď počasí co nejpřesnější a včasná, je třeba znát aktuální stav atmosféry. A právě v tomto ohledu jsou meteorologické družice velmi přínosné.

Meteorologické družice obíhající kolem Země jsou jako neúnavní pozorovatelé – nepřetržitě sledují oblačnost, teplotu, vlhkost, pohyb vzdušných mas i množství dalších jevů, které běžným okem často vůbec nevnímáme. Z výšky několika set, nebo dokonce tisíc kilometrů dokáží sledovat celé kontinenty v reálném čase, a to i tam, kde nejsou k dispozici žádné pozemní meteorologické stanice nebo radary – například nad oceány nebo v hornatých a řídké osídlených oblastech.

Družicová data jsou dnes naprosto nepostradatelnou součástí moderní meteorologie. Využívají se nejen při tvorbě numerické předpovědi počasí a sledování extrémních povětrnostních jevů, ale nachází uplatnění i v oblasti hydrologie, zemědělství a environmentálních věd. Bez družicových pozorování by dnešní předpovědi nebyly ani zdaleka tak spolehlivé, jako jsme zvyklí.

Družice na polární a geostacionární dráze – jaký je mezi nimi rozdíl?

Meteorologické družice se liší nejen svým přístrojovým vybavením, ale také typem oběžné dráhy. A právě ta do značné míry určuje, co a jak mohou družice pozorovat. V družicové meteorologii rozeznáváme dva základní druhy oběžných drah – geostacionární a polární (obr. 1).

Družice na geostacionární dráze, kam patří i již zmíněné družice Meteosat, obíhají Zemi ve výšce přibližně 36 000 kilometrů nad rovníkem. Pohybují se přesně takovou rychlostí, jakou se otáčí Země, a proto se z našeho pohledu zdá, že „visí“ stále nad stejným místem. Díky tomu mohou sledovat počasí nad velkou částí planety nepřetržitě a v relativně krátkých časových krocích – typicky každých 10 nebo 15 minut. Jsou ideální pro pozorování vývoje oblačnosti, sledování konvektivních bouří nebo tropických cyklón.

Naproti tomu družice na polární dráze obíhají Zemi ve výrazně menší výšce (asi 800 až 1 000 kilometrů) a krouží kolem Země přes její póly. Země se pod nimi otáčí, takže při každém oběhu snímají jinou část povrchu. Během jednoho dne tak pokryjí prakticky celý zemský povrch. Jejich výhodou oproti družicím na geostacionární dráze je, že poskytují podrobnější měření, ale jen několikrát denně pro dané místo. Jejich měření jsou velmi cenná především v polárních oblastech, kam družice na geostacionární dráze „nevidí“.

Polární dráha



Geostacionární dráha

Obr. 1 Znáznornění polární (modrá barva) a geostacionární (červená barva) oběžné dráhy meteorologických družic

Evropská organizace pro využívání meteorologických družic (EUMETSAT) provozuje již od 70. let 20. století řadu družic jak na polární, tak na geostacionární dráze. Pro nás jsou nejvýznamnější geostacionární družice řady *Meteosat* poskytující nepřetržité snímky Evropy, Afriky a Atlantiku z výšky téměř 36 000 km nad rovníkem. Nejnovější generace těchto družic – *Meteosat Third Generation (MTG)* – posouvá možnosti pozorování Země na zcela novou úroveň. Jejím cílem je poskytovat ještě přesnější, detailnější a rychlejší měření pro potřeby meteorologie i dalších vědních a aplikačních oborů.

Tato brožura vás provede světem nejmodernější evropské meteorologické družice, představí vám její jednotlivé části, způsob fungování a vysvětlí, jaká data získává a k čemu všemu je lze využít. Ukážeme si, že družice nejsou jen technickým zázrakem na oběžné dráze, ale především nástrojem, který pomáhá každému z nás lépe chápat a zvládat proměnlivou tvář počasí.

2. Meteosat: Historie družic, které sledují evropské nebe

Když v roce 1977 vzlétla na oběžnou dráhu první evropská meteorologická družice *Meteosat-1*, znamenalo to začátek nové éry v předpovídání počasí na našem kontinentu. Po vzoru amerických a sovětských družic začala Evropa budovat vlastní systém, který měl zajistit pravidelné sledování oblačnosti nad Evropou, Afrikou a Atlantským oceánem. Od té doby prošla rodina družic *Meteosat* významným vývojem. Postupně byly vypuštěny tři generace družic, z nichž každá přinesla nové technologie a výrazné zlepšení pozorovacích schopností.

První generace (1977–2017)

Družice *Meteosat* první generace (*Meteosaty 1–7*) nesly na své palubě radiometr *METEOSAT Visible and Infrared Imager (MVISI)*, který každých 30 minut pořizoval snímky ve třech spektrálních pásmech – ve viditelné (VIS), infračervené (IR) a v oblasti citlivé na přítomnost vodní páry. Ačkoliv z dnešního pohledu byly jejich schopnosti omezené, tehdy šlo o průlom – vůbec poprvé bylo možné sledovat vývoj oblačnosti nad celým kontinentem v téměř reálném čase.

Druhá generace (2002–2033)

S nástupem druhé generace (*Meteosat Second Generation, MSG*) v roce 2002 se datové možnosti zásadně rozšířily. Nové družice snímaly Zemi každých 15 minut ve 12 kanálech, což umožnilo detailnější sledování horní hranice konvektivních bouří, mlh, detekci rozdílných vzduchových hmot nebo detekci požárů. Družice *MSG (Meteosat 8–11)* nesly na své palubě přístroj *Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager (SEVIRI)* a jejich živostnost je plánována do roku 2033.

Třetí generace (2022–2046)

Meteosat třetí generace (*Meteosat Third Generation, MTG*) představuje dosud nejvýznamnější krok vpřed. Systém zahrnuje několik družic dvojího typu, které jsou postupně vypouštěny na oběžnou dráhu. Na rozdíl od předchozích generací umožňuje družice *MTG* nejen podrobnější a častější sledování oblačnosti, ale i monitorování bleskové aktivity, a dokonce „nahlédnout“ do nitra atmosféry.

Jak se družice dostane na oběžnou dráhu?

Než družice začne sledovat Zemi, čeká ji náročná cesta do vesmíru. Na svou dráhu ji vynese nosná raketa, která startuje z různých koutů světa. Družice na polární dráze startují často z kosmodromů, odkud lze snadno nasměrovat raketu na dráhu vedoucí přes póly – například z Vandenbergovy základny v Kalifornii nebo z kosmodromu Plesceck v Rusku. Naproti tomu, geostacionární družice obvykle startují z oblastí blíže rovníku (například družice Meteosat startují z kosmodromu ve Francouzské Guyaně nebo z mysu Canaveral na americké Floridě), což zajišťuje vyšší účinnost raket díky větší rychlosti dané rotací Země.

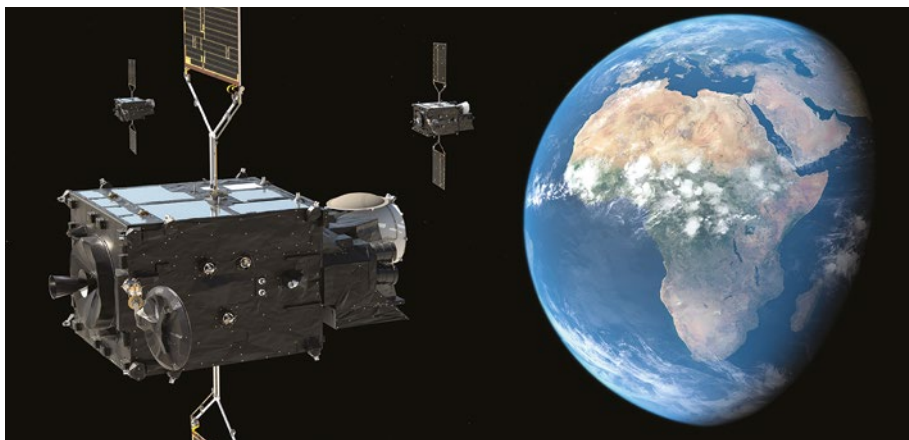
3. Družice MTG a jejich přístrojové vybavení

Systém MTG bude mít provozní životnost přibližně 20 let a celá jeho konstelace bude tvořena dvojím typem družic. Družice prvního typu (MTG Imager, MTG-I) budou sloužit jako zobrazovací, družice druhého typu (MTG Sounder, MTG-S) pak jako sondážní. Vizualizace kompletní konstelace družice MTG je znázorněna na obr. 2.

MTG-I: „Okno na obloze“ pro sledování oblačnosti

Družice Imager jsou, jak už název napovídá, zobrazovací typ družice nesoucí na své palubě dva hlavní přístroje – Flexible Combined Imager (FCI) a Lightning Imager (LI). Přístroj FCI poskytuje obrazová data Země v 16 spektrálních kanálech od viditelné až po tepelnou oblast elektromagnetického spektra. Ve VIS a blízké infračervené (NIR) oblasti poskytuje snímky s rozlišením 1 km, v IR pásmu pak s rozlišením 2 km. Ve čtyřech kanálech bude družice provádět měření s dvakrát lepším rozlišením (0,5 a 1 km), tato data budou ale v reálném čase dostupná jen ve speciálním rychlém režimu snímání (tzv. Rapid Scan mód, RSS) na družici MTG-I2 (viz dále).

Obr. 2 Kompletní konstelace družice MTG v pořadí od nejvzdálenější po nejbližší: MTG-I1, MTG-S1, MTG-I2 [Zdroj: © EUMETSAT 2025]



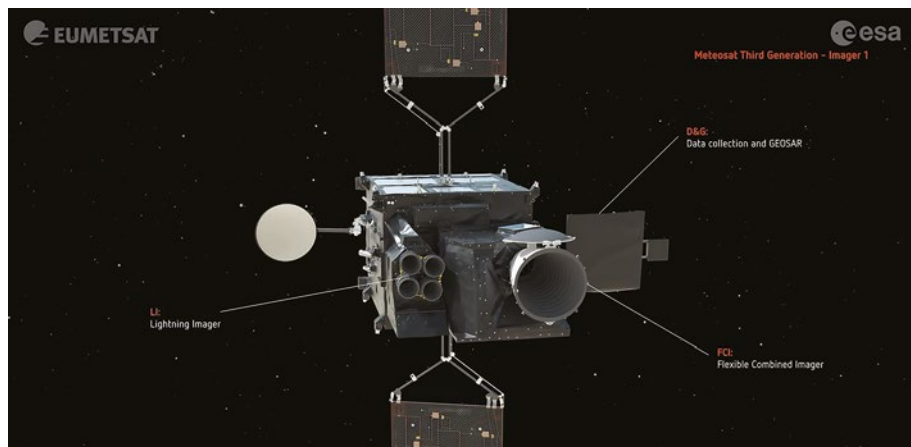
První z těchto družic, MTG-I1 (Meteosat 12; obr. 3), je na oběžné dráze od prosince 2022 a snímá Zemi přístrojem FCI každých 10 minut. Umožňuje tak podrobné sledování oblačnosti včetně jejích vlastností. V kompletní konstelaci družic MTG budou v provozu vždy dvě družice tohoto typu. Start druhé, MTG-I2, je plánován na třetí čtvrtletí roku 2026. Tato družice bude provádět měření přístrojem FCI dokonce 4krát častěji, tj. každé 2,5 minuty (v RSS módu), ovšem pouze nad nejsevernější čtvrtinou snímané části zemského disku. To bude důležité především při sledování velmi rychle se vyvíjejících konvektivních bouří. Družice MTG-I1 a MTG-I2 budou časem nahrazeny dalšími družicemi stejného typu MTG-I3 a MTG-I4.

Kromě FCI jsou družice MTG-I vybaveny také detektorem blesků (LI), který pomocí čtyř speciálních kamer zaznamenává optické pulsy generované bleskovými výboji na horní hranici oblačnosti v úzkém spektrálním pásmu (šířka přibližně 1,9 nm) se středem na 777,4 nm. Kamery provádějí měření v prostorovém rozlišení 4,5 km v poddružicovém bodě s časovou frekvencí na úrovni milisekund, čímž zajišťují nepřetržitý přehled nejen o mezioblačných výbojích, ale také o výbojích mezi oblaky a zemí. Ačkoliv je díky ostřejšímu světelnému kontrastu vůči tmavšímu pozadí detekční účinnost tohoto přístroje obecně vyšší v nočních hodinách, umožňuje přístroj spolehlivé sledování blesků i za denního světla.

MTG-S: Pohled dovnitř atmosféry

Zatímco většina meteorologických družic snímá hlavně oblačnost nebo povrch Země, družice MTG-S1 (obr. 4) dokáže „nahlédnout dovnitř“ atmosféry. Díky tomu budeme vůbec poprvé schopni z geostacionární dráhy získat podrobný obraz o tom, jak se mění teplota a vlhkost v různých výškách nad zemí, což je klíčová informace pro numerické předpovědní modely.

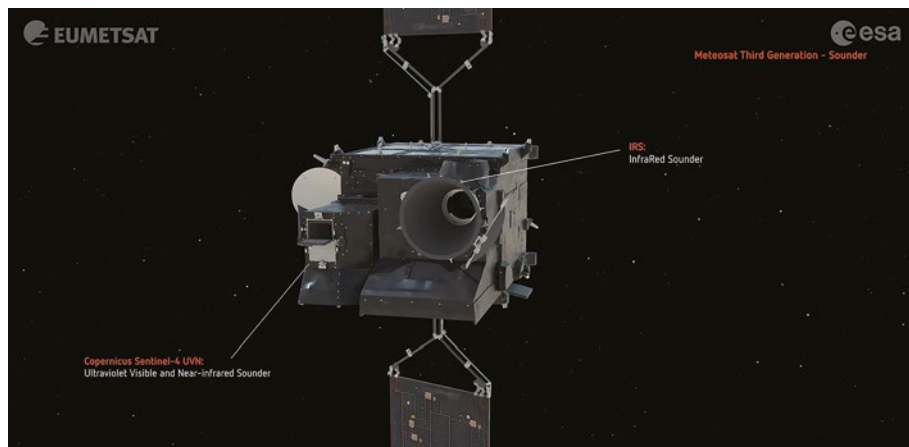
Obr. 3 Pohled na přední část družice MTG-I1 a její přístrojové vybavení [Zdroj: © EUMETSAT 2025, © ESA 2025]



Základním přístrojem na palubě MTG-S je Infrared Sounder (IRS), který bude provádět měření ve stovkách velmi úzkých spektrálních pásem, tedy v různých vlnových délkách v oblasti středního a dlouhovlnného IR záření, z nichž každé proniká do jiné výšky atmosféry. Díky tomu lze zjistit, jaké fyzikální podmínky panují v různých vrstvách – podobně jako když bychom pomocí speciálního přístroje chtěli prozkoumat vrstvy v dortu, aniž bychom ho rozkrojili. Pomocí pokročilých výpočtů a algoritmů se pak z naměřeného záření odvodí svislý profil atmosféry – tedy grafy, které ukazují, jak se v závislosti na výšce mění teplota, vlhkost a ne přímo také koncentrace troposférického ozonu. Skenovací strategie přístroje IRS je založena na metodě „stop and stare“, kdy přístroj postupně krokujícím mechanismem (náklonem dvou rovinných zrcadel) mění oblast snímání senzorem o velikosti 160×160 pixelů s prostorovým rozlišením 4 km v poddružicovém bodě. Přístroj se nad každou oblastí na krátkou dobu (cca 10 s) zastaví, provede měření v každém z pixelů a následně se posune o oblast vedle. Tato měření se v nejsevernější části zemského disku pokrývající Evropu a severní Afriku budou provádět každých 30 minut a po kompresi budou odesílána do řídicího centra k dalšímu zpracování.

Druhým přístrojem na palubě MTG-S je Ultraviolet Visible and Near-Infrared Sounder (UVN) označovaný též jako Sentinel-4 programu Copernicus. Jedná se o širokoúhlý hyperspektrální zobrazovací spektrometr měřící intenzitu záření v ultrafialové (305–400 nm) a VIS (400–500 nm) oblasti se spektrálním rozlišením 0,5 nm a v NIR oblasti (750–775 nm) elektromagnetického spektra se spektrálním rozlišením 0,12 nm. Přístroj UVN bude každou hodinu skenovat oblast nad Evropou a severní Afrikou směrem od východu k západu s horizontálním rozlišením přibližně 8 km pro oblast střední Evropy a z každého pixelu bude mít informaci o intenzitě záření v každém spektrálním kanálu. Z takto nasnímaných dat budou následně vytvořeny odvozené produkty celkového množství O_3 (ozon), NO_2 (oxid dusičitý), SO_2 (oxid siřičitý), $HCHO$ (formaldehyd) a $CHOCHO$ (glyoxal).

Obr. 4 Pohled na přední část družice MTG-S1 a její přístrojové vybavení [Zdroj: © EUMETSAT 2025, © ESA 2025]



Jak vlastně družice „vidí“ Zemi?

Základním principem družicových měření je snímání elektromagnetického záření, které ze Země nebo její atmosféry vychází, příp. se od ní odráží. Každý objekt, ať už je to oblak, moře, nebo povrch kontinentu, vyzařuje nebo odráží záření určitým způsobem. Družice na oběžné dráze toto záření zachytí pomocí speciálních senzorů (tzv. radiometrů) a na základě těchto dat můžeme vytvořit obraz, podobně jako když se díváme kamerou, jen ve spektrálních oblastech, které lidské oko často vůbec nevidí. Například ve viditelném a částečně blízkém infračerveném oboru získáme podobný obraz, jaký by lidské oko vidělo na černobílé fotografii. V IR oblasti zase družice měří jasovou teplotu, na základě které můžeme rozlišit studené vrcholky bouřkových oblaků, teplý povrch kontinentů nebo chladné oceány. A v oblasti absorpce vodní páry dokáže snímek zvýraznit vlhkost i tam, kde žádná oblačnost není.

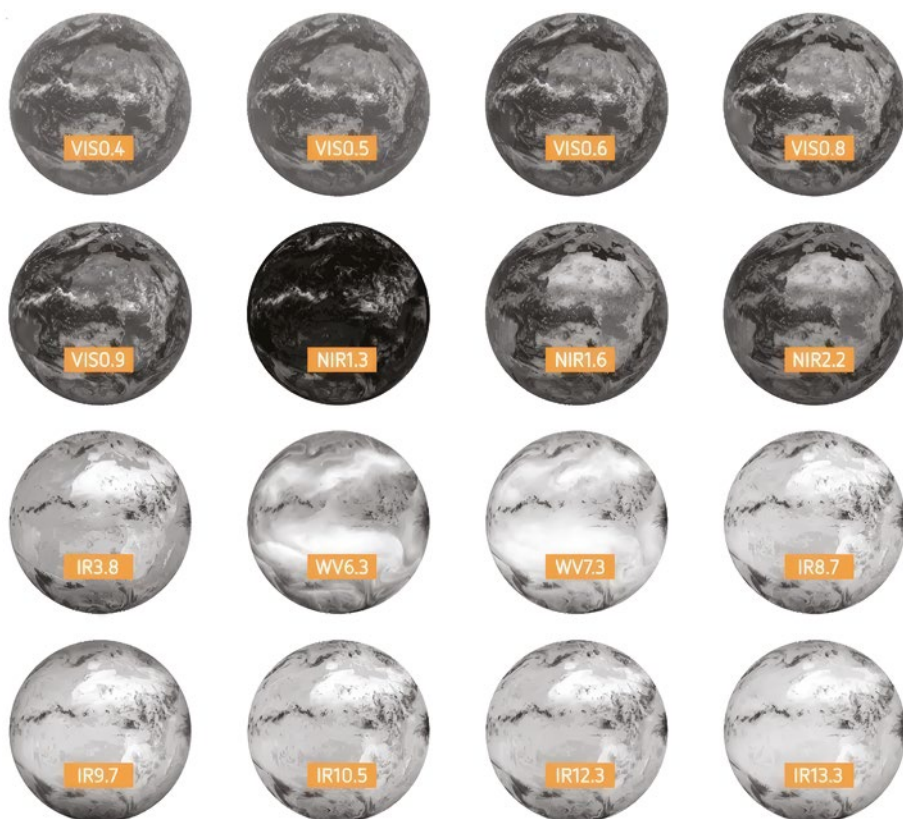
4. Co všechno družice MTG „vidí“?

Na první pohled se může zdát, že družice jednoduše „fotí“ oblačnost. Ve skutečnosti ale vidí mnohem víc – pozorování ze satelitů MTG nám přináší nepřetržitý a mnoho-vrstevnatý pohled na atmosféru, jaký bychom si ještě před pár desítkami let neuměli ani představit. Na obr. 5 vidíme snímky ze všech 16 spektrálních kanálů přístroje FCI pokrývajících VIS, NIR a tepelnou oblast elektromagnetického spektra, přičemž každá vlnová délka je citlivá na jiný typ jevu. Díky tomu dokážeme odvodit například mikrofyzikální složení oblačnosti včetně velikosti oblačných částic, teplotu na horní hranici oblačnosti nebo odlišit sněhovou pokrývku od oblačnosti. Některé spektrální kanály pak leží v oblastech tzv. absorpčních pásem, kde záření částečně pohlcují plyny v atmosféře, jako je ozon (O_3), vodní pára (H_2O) nebo oxid uhličitý (CO_2). Družice pak zachytí záření ze zemského povrchu „oslabené“ těmito molekulami, které jej část pohlcují a část rozptylují do okolí. Například kanály IR6.3 μm a IR7.3 μm leží v oblasti absorpce vodní páry, kanál IR9.7 μm v oblasti absorpce O_3 a IR13.3 μm v oblasti absorpce CO_2 , a mohou tak zvýrazňovat přítomnost těchto plynů v atmosféře.

Kontinuální snímání, resp. snímání v pravidelných, velmi krátkých časových intervalech z jednoho „pevného“ místa nad zemským povrchem poskytuje přidanou

Co je to RGB kompozitní snímek a jak vzniká?

Zkratka RGB označuje tři základní barvy: červenou (Red), zelenou (Green) a modrou (Blue). Každé z těchto barevných složek přiřadíme konkrétní spektrální kanál (tedy určitou vlnovou délku), která zachycuje specifickou vlastnost atmosféry – například teplotu horní hranice oblačnosti, vlhkost v různých hladinách troposféry nebo optickou tloušťku oblačnosti. Když tyto tři kanály spojíme dohromady, vznikne jeden barevný snímek, na kterém má každá barva svůj význam. Díky RGB kompozitům tak mohou meteorologové snadno rozlišit různé typy oblačnosti, detekovat požáry, prachové bouře, sopečný popel nebo sněh. Tyto barevné snímky sice často nevypadají tak, jak bychom viděli danou situaci pouhým okem, ale skrývají v sobě obrovské množství informací, které pomáhají lépe porozumět dění v atmosféře.



Obr. 5 Spektrální kanály přístroje FCI [Zdroj: © EUMETSAT 2025]

hodnotu především v případech monitoringu rychle se vyvíjející konvektivní oblačnosti. Velmi přínosná jsou pak družicová pozorování tropických cyklón patřících k nejsilnějším projevům extrémního počasí na Zemi. Přinášejí silný vítr, prudké deště způsobující záplavy a mnohdy i tornáda. Díky přístroji FCI mají meteorologové k dispozici ostřejší a častější snímky, které jim umožňují lépe odhadnout intenzitu a směr cyklón a včas varovat ohrožené oblasti.

Kromě toho kombinací jednotlivých spektrálních kanálů můžeme skládat tzv. RGB kompozitní snímky, jejichž hlavním cílem je zvýraznit určitý jev a usnadnit jeho detekci – např. základní klasifikace typů oblačnosti, sledování prachových bouří, odlišení vzduchových hmot, detekce sněhové pokrývky, mlh, požárů, apod. Pojďme se tedy nyní podrobněji podívat, co všechno nám o dění v atmosféře může družice MTG odhalit.

Fáze oblačnosti

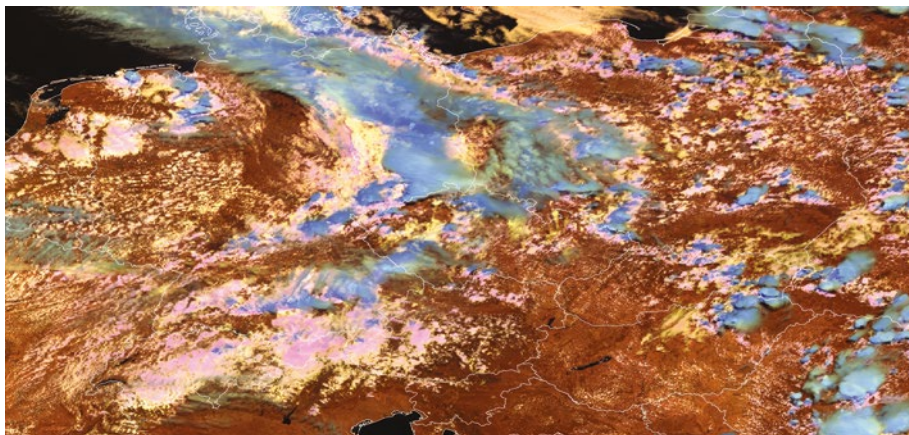
Díky přístroji FCI dokážeme nejen sledovat oblačnost, ale také určit její fázi – tedy zda jde o oblak tvořený vodními kapkami, ledovými krystalky, nebo o jejich

kombinaci – a velikost oblačných částic. Tato informace je klíčová například pro předpověď vývoje konvektivních bouří a jejich doprovodných jevů, monitorování nebezpečné námrazy na letadlech, lepší odhad množství slunečního záření dopadajícího na zemský povrch apod. Pro určení fáze oblačnosti využíváme kombinaci tří spektrálních kanálů (NIR1.6 μm , NIR2.25 μm a VIS0.6 μm) tvořících tzv. Cloud Phase RGB kompozit. Tím, že je složen pouze z kanálů ve VIS a NIR oblasti spektra, je tento kompozit možné využívat pouze během denní doby. V takto zvolené kombinaci (obr. 6) můžeme rozlišit mohutnější oblačnost tvořenou velkými ledovými krystalky, která je zobrazena modrou barvou. Tyrkysovou barvou je pak zpravidla zobrazena konvektivní oblačnost, jež na svém vrcholu obsahuje drobné ledové krystalky. Ty jsou transportovány do vyšších hladin atmosféry díky silnému výstupnému proudu, který zabraňuje malým kapičkám vzniklým ve spodních vrstvách oblačnosti dorůst do větších rozměrů před jejich zmrznutím. Tenčí oblačnost s ledovými krystalky (typicky cirry) mají nazelenalou barvu. Oblačnost tvořená kapalnou fází je zobrazena od béžové (značící malé částice) přes růžovou (větší částice) až po fialovou, která indikuje extrémní velikost kapiček vody. Sněhová pokrývka bývá zobrazena tmavě modrou.

Typ oblačnosti

Kromě toho, zda jsou oblaka tvořena vodou nebo ledem, je velmi užitečné také znát, v jaké výšce se nacházejí – tedy jestli jde o nízkou, střední, nebo vysokou oblačnost. S tím nám pomáhá speciální RGB kompozit nazvaný Cloud Type, který vzniká kombinací tří různých kanálů využívajících odražené sluneční záření (VIS0.6 μm , NIR1.3 μm a NIR1.6 μm), a je tedy k dispozici pouze během dne. Každý z těchto kanálů „vidí“ něco trochu jiného. Červená složka (NIR1.3 μm) dobře odhaluje tenká ledová oblaka (cirry) vysoko v atmosféře. Tento kanál je citlivý na přítomnost vodní páry, takže „nevidí“ nízká oblaka, pokud je atmosféra vlhká, a právě to nám pomáhá určit, kde se oblaka nacházejí. Zelená složka (VIS0.6 μm) ukazuje, jak hustá oblaka jsou. Silně odráží sluneční světlo od velkých a opticky hustých oblaků. Modrá složka (NIR1.6 μm)

Obr. 6 Příklad kompozitního snímku Cloud Phase RGB složeného z kanálů NIR1.6 μm , NIR2.25 μm a VIS0.6 μm z 15. 7. 2025, 11:30 UTC [Zdroj dat: © EUMETSAT 2025, vizualizace z EUMETView]

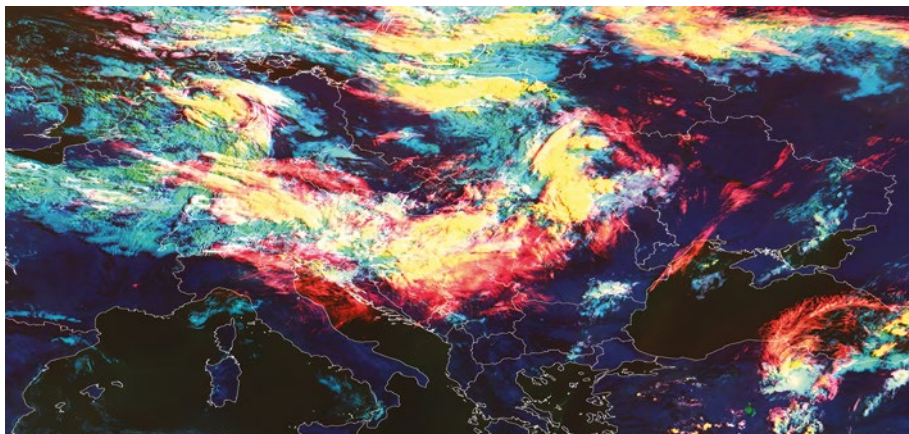


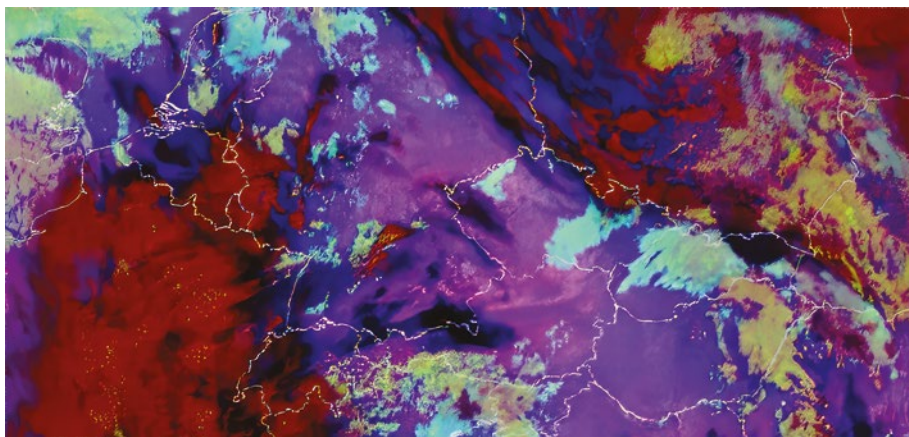
pak rozlišuje, jestli je oblak tvořen vodou, nebo ledem. Vodní oblaka odrážejí více světla, ledová méně. Když tyto informace spojíme do jednoho obrázku, vznikne barevný snímek oblačnosti (obr. 7), ze kterého meteorologové snadno poznají, o jaký typ oblaků se jedná. Červená barva zvýrazňuje tenké vysoké oblaky tvořené ledovými krystalky (cirry), žlutá odpovídá opticky husté oblačnosti s ledovými krystalky na její horní hranici, nízká až střední oblačnost tvořená kapalnou fází je zobrazená azurovou, a pokud obsahuje navíc i krystalky ledu, pak se na snímku jeví modrozeleně. Oblačnost tvořená přechlazenými vodními kapkami je zobrazena růžovou až bílou barvou v závislosti na množství vodní páry nad horní hranicí oblačnosti. Sníh a led na povrchu jsou zobrazeny zeleně a zemský povrch fialově.

Mlha a nízká oblačnost

Mlhy a obecně nízká oblačnost představuje speciální typ oblačnosti, jelikož může vážně ohrozit dopravu – ať už silniční, železniční, nebo leteckou. Proto je důležité, aby meteorologové dokázali tuto „přízemní“ oblačnost včas odhalit. Během denní doby se používají speciální RGB kompozity využívající odražené sluneční záření (např. HRF Fog RGB), které pomáhají mlhu rozlišit od jiných typů oblačnosti nebo zasněženého povrchu. V noci je to ale složitější. Slunce nesvítí, takže se nedá využít odražené sluneční světlo. Proto se k detekci používá tzv. Fog/Low Clouds RGB, který vzniká kombinací tří tepelných kanálů (resp. jejich rozdílů) v IR oblasti a funguje tak bez ohledu na denní dobu (ačkoliv není doporučeno ho používat během dne). V červené složce je rozdíl teplot mezi kanály IR12.3 μm a IR10.5 μm a zde platí, že čím je oblačnost vertikálně mohutnější, tím je příspěvek červené barvy vyšší. V zelené složce je rozdíl kanálů IR10.5 μm a IR3.8 μm a její příspěvek je tím výraznější, čím je rozdíl emisivity v těchto kanálech větší. To je důležité právě pro odlišení mlhy, protože ta emituje díky přítomnosti drobných kapiček vody méně záření v kanále IR3.8 μm než v IR10.5 μm , což zpravidla vede k vyšším teplotním rozdílům. V modré složce je pouze kanál IR10.5 μm , který odpovídá teplotě zemského povrchu nebo

Obr. 7 Příklad kompozitního snímku Cloud Type složeného z kanálů NIR1.3 μm , VIS0.6 μm a NIR1.6 μm z 16. 7. 2025, 06:00 UTC [Zdroj dat: © EUMETSAT 2025, vizualizace z EUMETView]





Obr. 8 Příklad kompozitního snímku Fog/Low Clouds RGB složeného z IR12.3-IR10.5 μm , IR10.5-IR3.8 μm a IR10.5 μm z 16. 4. 2025, 00:40 UTC [Zdroj dat: © EUMETSAT 2025]

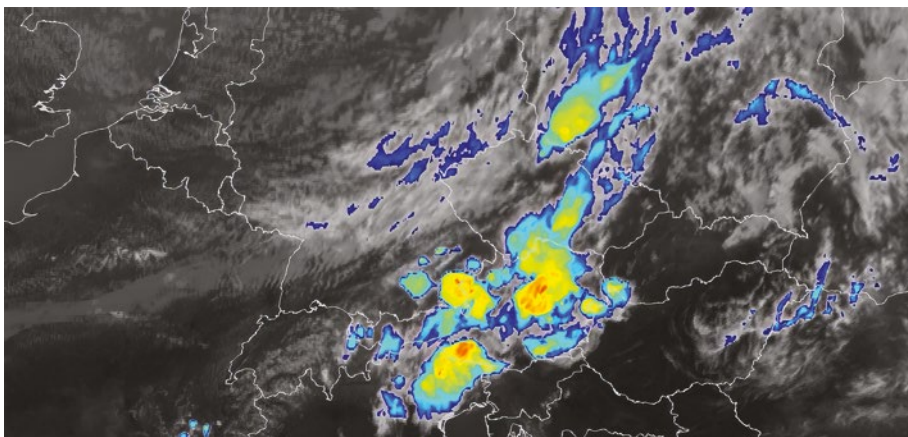
horní hranice oblačnosti. U nízké oblačnosti je příspěvek této složky obecně větší. Na výsledném obrázku (viz obr. 8) pak mlha nebo nízká oblačnost vypadá jako světle modrá nebo světle zelená plocha, v závislosti na její teplotě. Řídká cirrovitá oblačnost je zvýrazněná tmavě modrou až purpurovou, střední až nízká oblačnost bývá žlutavá nebo okrová, mořská hladina je světle modrá a pevnina má podle teploty a vlhkosti vzduchu různých odstínů.

Konvektivní oblačnost

Bouřky, silné srážky, krupobití, nebo dokonce tornáda – to všechno má společného jmenovatele: konvektivní oblačnost. Jde o oblaky, které vznikají silnými výstupnými proudy teplého a vlhkého vzduchu od zemského povrchu směrem do horních vrstev troposféry, a pokud jsou tyto výstupné proudy velmi silné, tak i do oblasti spodní stratosféry. Při zjednodušujícím předpokladu, že jasová teplota horní hranice oblačnosti přibližně odpovídá teplotě okolí, můžeme z tepelných kanálů odvodit, jak silné výstupné proudy se v bouři vyskytují. Nejlépe jsou tyto projevy detekované s použitím kanálu IR10.5 μm s barevně zvýrazněnou škálou teplotního pole pro nízké hodnoty jasových teplot (tj. pod 240 K), kde červená barva odpovídá nejchladnějším vrcholům oblačnosti, a tedy potenciálně nejsilnějším výstupným proudům. Obr. 9 ukazuje využití barevně zvýrazněného snímku v kanále IR10.5 μm k detekci přestřelujících vrcholů, které jsou indikátorem silných výstupných proudů. K lepšímu zobrazení konvektivní oblačnosti samozřejmě existují i RGB kompozity, jako např. Severe Storm RGB, jehož cílem je sledování silné konvekce prostřednictvím mikrofyzikálního složení na horní hranici oblačnosti.

Vzduchové hmoty

Víte, odkud k nám proudí vzduch? Jestli přichází ledový závan z Arktidy, nebo suché horko ze Sahary? To se dá zjistit díky speciálnímu RGB kompozitu nazvanému Airmass RGB. Ten nám pomáhá rozlišit, odkud se vzduchová hmota vzala a jaké



Obr. 9 Příklad detekce přestřelujícího vrcholu na snímku ze spektrálního kanálu IR10.5 μm s barevně zvýrazněnou škálou teplotního pole z 23. 6. 2025, 15:30 UTC [Zdroj dat: © EUMETSAT 2025]

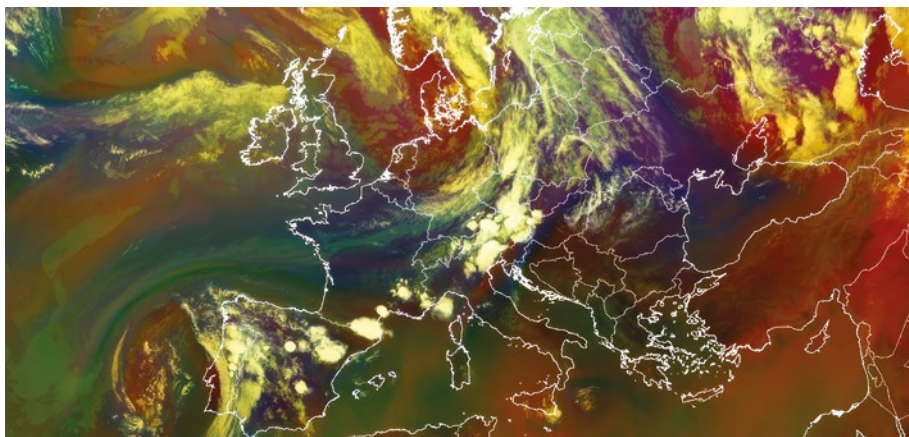
Co to je „přestřelující vrchol“?

Přestřelující vrcholy (z angl. Overshooting Tops) nám indikují velmi silný výstupný proud, který se dostává nad oblast rovnovážné hladiny (což přibližně odpovídá tropopauze, tj. přechodné vrstvě oddělující níže ležící troposféru od výše ležící stratosféry) do spodní stratosféry. V závislosti na zeměpisné šířce se může výška této hladiny měnit v rozmezí od 7 až 9 km v oblasti pólů přes 10 až 12 km v mírných zeměpisných šířkách až po 16 až 18 km nad rovníkem. Přestřelující vrcholy mají podobu vertikálního vzedmutí horní hranice oblačnosti, zpravidla připomínají „bubliny“, které prorůstají kovadinou bouře. Jejich teplota může dosáhnout hodnot o 20 až 30 K nižších, než činí teplota tropopauzy (slovník ČMeS, 2025).

má vlastnosti – jestli je teplá, studená, vlhká, nebo suchá. Tento produkt vzniká kombinací tří složek. Červená složka je zastoupena rozdílem kanálů WV6.3 μm a WV7.3 μm a vypovídá především o vlhkosti v horní části troposféry. Čím hlouběji do troposféry vidíme (v důsledku subsidence suchého vzduchu), tím je příslušná vrstva teplejší a tím je příspěvek červené složky výraznější. V zelené složce je pak rozdíl kanálů IR9.7 μm a IR10.5 μm , který je citlivý na obsah ozonu v atmosféře. Ten se chová různě podle toho, jestli vzduch pochází z polárních, nebo subtropických oblastí. V subtropickém vzduchu bývá ozonu méně, a tak je snímek výrazněji zelený, a naopak polární vzduchová hmota, která je na ozon bohatá, se na snímku barví více do modra (obr. 10). Modrá složka zastoupena kanálem WV6.3 odděluje suchý vzduch od vlhkého a zvýrazňuje tak pouze oblačnost a vlhkost ve vyšších vrstvách atmosféry.

Prachové a písečné bouře

Kromě oblačnosti umí přístroj FCI sledovat také prachové a písečné částice v atmosféře. Ty mohou zhoršovat kvalitu ovzduší, ovlivňovat zdraví obyvatelstva nebo narušovat letecký provoz, např. při silných prachových bouřích nebo erupcích sopek.

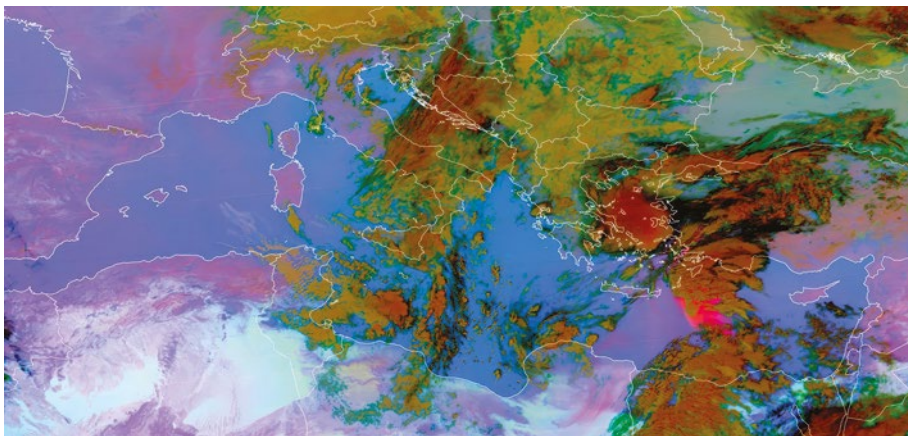


Obr. 10 Příklad kompozitního snímku Airmass RGB složeného z WV6.3-WV7.3 μm , IR9.7-IR10.5 μm a WV6.3 μm z 23. 6. 2025, 15:30 UTC [Zdroj dat: © EUMETSAT 2025]

Pro sledování prachu využíváme speciální barevnou kompozici Dust RGB spojující informace ze tří různých IR kanálů (12.3 μm , 10.5 μm a 8.7 μm). Tento produkt umožňuje odlišit prachové částice (např. z afrických pouští), které se na snímku zobrazují růžovou až fialovou barvou a sopečný popel zobrazující se spíše červeně. Vysoká cirrovitá oblačnost tvořená ledovou fází bývá černá až tmavě modrá, ovšem nad pouští je zobrazena zeleně. Vertikálně mohutnější ledová oblačnost je zobrazena tmavě červenou a horký povrch pouští azurově. Je dobré vědět, že barvy na snímcích se mohou lehce měnit podle denní doby a aktuální teploty povrchu, jež se v pouštních oblastech výrazně mění mezi dnem a nocí. Příklad detekce saharského prachu, který byl transportován z oblasti severní Afriky přes Středozemní moře na konci března 2025, můžeme vidět v pravé dolní části obr. 11.

Požáry

Jedním z důležitých úkolů přístroje FCI je včasná detekce přírodních požárů. Zde je klíčová oblast blízkého infračerveného záření, konkrétně spektrální kanál IR3.8 μm , který je velmi citlivý na vysoké teploty, takže i malá ohniska požárů se na snímcích výrazně odlišují od okolní krajiny, a to i skrz tenkou oblačnost. K lepší interpretaci dat se používá také speciální kompozit Fire Temperature RGB, který kombinuje informace z kanálů IR3.8 μm (červená složka), NIR2.25 μm (zelená složka) a NIR1.6 μm (modrá složka). Díky takové kombinaci lze rozlišit různé úrovně intenzity požárů. Červená označuje menší nebo „chladnější“ požáry, které se projeví jen v nejcitlivějším tepelném kanálu IR3.8 μm . Oranžová až žlutá znamená středně silné požáry projevující se kromě IR3.8 μm i v kanále NIR2.25 μm . Velmi intenzivní požáry jsou detekovány ve všech třech kanálech, a proto se díky společnému příspěvku zobrazují na výsledném kompozitu bílou barvou. Tento způsob zobrazení využívá fyzikální princip (tzv. Wienův zákon), podle kterého platí, že čím vyšší je teplota objektu, tím více energie vyzařuje na kratších vlnových délkách. Příklad takové detekce vidíme na obr. 12 zachycujícím požár u severozápadního pobřeží Sýrie. Je dobré poznamenat,



Obr. 11 Příklad kompozitního snímku Dust RGB složeného z kanálů IR12.3-IR10.5 μm , IR10.5-IR8.7 μm a IR10.5 μm z 31. 3. 2025, 18:00 UTC [Zdroj dat: © EUMETSAT 2025, vizualizace z EUMETView]

že tento produkt spolehlivě detekuje pouze místo požáru, tj. oheň, nikoliv kouř nebo spálené oblasti, pro které je vhodnější použití jiných kompozitů (např. True Colour RGB nebo Natural Colour RGB).

Blesky

Doposud jsme se zabývali pouze tím, co jsme schopni pozorovat s využitím přístroje FCI. Jak už jsme si však představili, družice MTG-I nese na své palubě také přístroj LI, který monitoruje celkovou bleskovou aktivitu nad většinou Evropy, Afriky, Středního východu, Atlantského oceánu, severozápadní části Indického oceánu, a dokonce i východní částí Jižní Ameriky. Tato měření poskytují cenné

Obr. 12 Příklad kompozitního snímku Fire Temperature RGB složeného z IR3.8 μm , NIR2.25 μm a NIR1.6 μm ze 4. 7. 2025, 10:40 UTC [Zdroj dat: © EUMETSAT 2025]



informace především v oblastech, kde chybí pozemní měření – typicky nad oceány nebo africkým kontinentem. V kombinaci s dalšími daty slouží LI jako důležitý nástroj pro meteorology při vydávání výstrah před nebezpečnými bouřemi a pomáhá také zpřesňovat numerické předpovědní modely. Z pohledu vědy pak otevírá nové možnosti výzkumu atmosféry – umožňuje podrobněji sledovat elektrickou aktivitu bouří, její vazbu na vývoj počasí i na dlouhodobé změny klimatu.

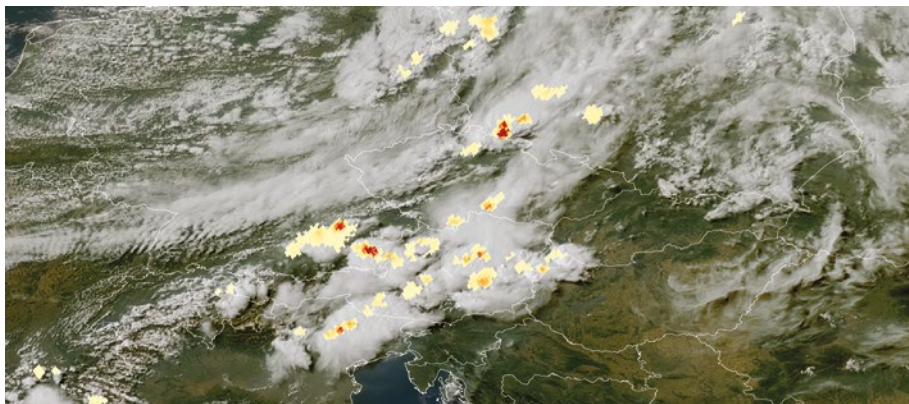
Na obr. 13 můžeme vidět příklad produktu „Accumulated Flash Area“ odvozeného z měření přístroje LI z 23. června 2025, 15:30 UTC, kdy přes oblast střední Evropy přecházela studená fronta spojená s výskytem krup, přívalem srážek a také bleskové aktivity. Tento produkt poskytuje informaci o rozsahu a frekvenci bleskových výbojů na 1 pixel za dané časové období. To znamená, že čím je barva červenější, tím je frekvence bleskových výbojů větší.

Vertikální profil atmosféry

Družice MTG-S1, která nese dva přístroje pro sledování atmosféry (IRS a UVN), odstartovala na svou oběžnou dráhu 1. července 2025 pomocí rakety Falcon 9 a dalších 17 dní trvalo, než se dostala na svou pracovní pozici nad rovníkem. V době přípravy této brožury se nachází v tzv. fázi uvádění družice do provozu (z angl. Commissioning Phase), která potrvá zhruba 9 až 12 měsíců. Během ní se přístroje testují a kalibrují tak, aby byly připraveny k ostrému provozu. Předpokládá se, že první operativní data bychom měli začít přijímat v druhé polovině roku 2026.

Přístroj IRS poskytne informace o vertikální struktuře atmosféry, tzn. že bude zjišťovat, jak se s výškou mění teplota a vlhkost, a to každých 30 minut s prostorovým rozlišením 4 km. Můžeme si to představit tak, že každou půlhodinu vypustíme z každého čtverce o velikosti 4×4 km meteorologický balón, který vystoupá až do horních vrstev atmosféry a proměří nám teplotu a vlhkost v každé vertikální hladině. Takto podrobné informace výrazně zpřesní numerické modely počasí, což pomůže

Obr. 13 Příklad kombinace produktu „Accumulated Flash Area“ (žlutočervená barva) odvozeného z měření přístroje LI a kompozitního snímku True Colour RGB složeného ze spektrálních kanálů přístroje FCI (podkladová vrstva) z 23. 6. 2025, 15:30 UTC [Zdroj dat: © EUMETSAT 2025, vizualizace z EUMETView]



meteorologům rychleji a přesněji reagovat na vývoj nebezpečných jevů, jako jsou bouřky, přívalové deště nebo silný vítr. Významný přínos bude mít IRS i pro experimentální výzkum – odborníci budou moci podrobněji studovat vertikální strukturu silných bouří a rozšířit tak dosavadní znalosti o těchto jevech. V neposlední řadě naleznou tato data uplatnění i v dalších oblastech – například při předpovědi produkce solární a větrné energie, pro leteckou dopravu, zemědělství nebo ochranu obyvatelstva.

Druhý přístroj (UVN) bude zaměřen na monitoring celkového množství různých plynů, které ovlivňují kvalitu ovzduší i klima. Díky tomu bude možné sledovat znečištění ovzduší téměř v reálném čase, lépe předpovídat smogové situace a vyhodnocovat emise skleníkových plynů. Data z UVN budou využívána nejen meteorology, ale budou také sloužit jako podklad pro odborníky na životní prostředí a tvůrce environmentální politiky.

5. Závěr

Ještě před několika desetiletími jsme mohli vývoj počasí sledovat jen ze Země – pomocí meteorologických stanic, balónů a později i radarů. Dnes ale máme k dispozici pozorování z vesmíru, která přinášejí zcela nový rozměr – umožňují vidět atmosféru jako celek a odhalit souvislosti, jež nám byly dříve skryté.

Družice řady Meteosat třetí generace představují významný krok vpřed. Nejenže poskytují snímky s bezprecedentním rozlišením a frekvencí, ale také přinášejí zcela nové typy měření, které nám umožňují lépe porozumět tomu, co se v atmosféře děje. Například poprvé máme na geostacionární družici monitorující oblast Evropy a Afriky detektor blesků, který zachycuje celkovou bleskovou aktivitu ve dne i v noci. Přístroj IRS nám nabídne pohled dovnitř atmosféry, jako bychom ji každých 30 minut prožili vertikálním skenerem, a přístroj UVN nám umožní podrobně sledovat aktuální kvalitu ovzduší.

Družice MTG ale nejsou jediné, které „se dívají“ na naši planetu z oběžné dráhy. Organizace EUMETSAT se podílí i na provozu družic na polární dráze. V rámci plánovaného programu EUMETSAT Polar System – Second Generation (EPS-SG) dojde v následujících letech k modernizaci stávající „flotily“ polárních družic první generace, která bude spočívat ve vypuštění celkem tří po sobě jdoucích dvojic satelitů

Co se stane s družicí, když doslouží?

I družice mají svou životnost. Po letech neúnavné služby začnou jejich přístroje stárnout, baterie ztrácí kapacitu a satelit postupně směřuje ke konci své mise. Ačkoliv většinu energie získávají z rozměrných solárních panelů, které napájejí přístroje a komunikační systémy, pro drobné korekce dráhy nebo změny orientace využívají také palivo. Jakmile toto palivo dojde, družice ztrácí aktivní schopnost manévrovat. Proto se například geostacionární družice Meteosat na konci své mise přesouvají na tzv. hřbitovní dráhu – bezpečnou vyšší oběžnou dráhu ve výšce alespoň 200 km od geostacionární dráhy, kde neprekážejí dalším satelitům. Tento poslední manévr musí být pečlivě načasován, dokud má družice ještě dostatek paliva. Naopak polární družice, které krouží blíže k Zemi, mohou být navedeny tak, aby v horizontu nižších desítek let sestoupily do hustších vrstev atmosféry a samovolně zanikly shořením.

MetOp – MetOp-SGA a MetOp-SGB. Ty budou pracovat společně na polární oběžné dráze ve výšce 823–848 km, a to až do poloviny 40. let 21. století. MetOp-SGA, který byl vypuštěn v srpnu 2025, je zobrazovací a sondážní satelit zkoumající atmosféru díky sadě hyperspektrálních přístrojů pracujících v infračerveném a mikrovlnném pásmu. Je zaměřen na pozorování oblačnosti, teploty a vlhkosti v atmosféře. Součástí přístrojového vybavení této družice je také spektrometr Sentinel-5 z programu Copernicus, jehož měření budou pomáhat při zlepšování předpovědi kvality ovzduší. O rok později bude konstelace doplněna druhou družicí MetOp-SGB, která se zaměří na sledování větru nad oceány, vlhkosti půdy, srážek, vegetace, ledu a sněhu.

Vývoj v oblasti družicového pozorování se dnes odehrává závratným tempem. Neustále přibývají nové přístroje, mise a produkty, které nám umožňují přesněji sledovat a předpovídat dění v atmosféře. V této brožuře jsme představili jen část možností, jež systém MTG nabízí – řadu dalších produktů jsme kvůli rozsahu ani nezmiňovali. A nesmíme zapomenout, že kromě evropských družic pracují ve vesmíru i systémy dalších organizací – například amerických organizací NASA a NOAA, čínské meteorologické správy nebo japonské meteorologické agentury.

A proč je to všechno důležité? Protože kvalitní a včasné informace o stavu atmosféry mají dopad na životy nás všech – pomáhají chránit lidské zdraví a majetek, zajišťují bezpečnější leteckou i pozemní dopravu, podporují efektivní využití obnovitelných zdrojů energie a hrají zásadní roli i v ochraně životního prostředí. Družicové pozorování dnes již není jen o počasí. Je to základ pro včasné varování před extrémními jevy, nástroj pro ochranu obyvatelstva i životního prostředí a zároveň klíč k lepšímu pochopení naší planety v době, kdy se mění rychleji než kdykoliv předtím.

RNDr. Vojtěch Bližňák, PhD.¹,

RNDr. Michaela Seidlová, PhD.²,

Mgr. Ondřej Nedělcov²,

RNDr. Jindřich Štástka, PhD.²

(1) Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i.

(2) Český hydrometeorologický ústav

Použitá literatura:

EUMETSAT. Oficiální webové stránky Evropské organizace pro využívání meteorologických družic [online]. Darmstadt: EUMETSAT, [cit. 21. 7. 2025]. Dostupné z: <https://www.eumetsat.int>

EUMETSAT. EUMETView – interaktivní online prohlížeč družicových snímků [online]. Darmstadt: EUMETSAT, [cit. 21. 7. 2025]. Dostupné z: <https://view.eumetsat.int>

EUMETSAT. EUMeTrain – výukový portál o družicové meteorologii [online]. Darmstadt: EUMETSAT, [cit. 21. 7. 2025]. Dostupné z: <https://www.eumetrain.org>

ESA. Evropská kosmická agentura – oficiální stránky [online]. Paris: European Space Agency, [cit. 21. 7. 2025]. Dostupné z: <https://www.esa.int>

ČESKÁ METEOROLOGICKÁ SPOLEČNOST. Elektronický meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS) [online]. Praha: ČMeS, [cit. 21. 7. 2025]. Dostupné z: <https://slovník.cmes.cz>

Český hydrometeorologický ústav

Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) jako příspěvková organizace vykonává funkci ústředního státního ústavu České republiky pro obory kvalita ovzduší, hydrologie, jakost vody, klimatologie a meteorologie, jako odborné služby poskytované přednostně pro státní správu.

Ústav vznikl v roce 1954 sloučením Státního ústavu meteorologického a hydrologického a hydrografické služby vodohospodářského rozvojového střediska. Sídli v Praze-Komořanech a plnění úkolů ústavu v regionech zajišťuje prostřednictvím poboček v Praze, Českých Budějovicích, Plzni, Ústí nad Labem, Hradci Králové, Brně a v Ostravě.

ČHMÚ především:

- zřizuje a provozuje státní monitorovací a pozorovací sítě pro sledování kvantitativního a kvalitativního stavu atmosféry a hydrosféry
- odborně zpracovává výsledky pozorování, měření a monitorování
- vytváří a spravuje databáze o vodě, klimatu, ovzduší aj.
- poskytuje operativní informace o stavu atmosféry a hydrosféry, předpovědi a výstrahy
- provádí výzkum, zajišťuje technologický rozvoj a publikační činnost ve všech oborech meteorologie, klimatologie, hydrologie a kvality ovzduší
- vykonává další speciální odborné činnosti

ČHMÚ provozuje:

29 profesionálních meteorologických stanic

208 automatických meteorologických stanic

180 automatických srážkoměrných stanic

297 manuálních srážkoměrných stanic

2 meteorologické radary

1 aerologickou stanici

2 sodary

4 windprofilery

554 limnigrafických stanic povrchových vod

1 541 hydrogeologických vrtů

319 pramenů

707 objektů monitorování kvality podzemních vod

50 automatických sněhoměrných stanic

18 automatických sněhoměrných polštářů

48 míst pro monitorování kvality povrchové vody (sedimenty, biota, plaveniny)

103 stanic automatického imisního monitoringu

83 stanic manuálního imisního monitoringu

14 stanic pro monitoring jakosti dešťové vody

28 fenologických pozorovacích ploch

Na konci roku 2022 odstartovala první družice programu **Meteosat třetí generace (Meteosat Third Generation, MTG)** a otevřela tak novou éru družicových pozorování počasí a klimatu pro Evropu, Afriku, Atlantský oceán i okolní regiony. Tato brožura přibližuje široké veřejnosti význam a možnosti družice MTG, které jsou určeny ke sledování atmosféry a procesů, jež v ní probíhají. Srozumitelnou a popularizační formou vysvětluje princip družicových měření, představuje hlavní přístroje na palubě a ukazuje, jaké informace lze z jejich dat získat – od detailní struktury oblačnosti přes prachové a písečné bouře, sledování požárů až po unikátní detekci blesků. Zvláštní důraz je kladen na to, aby čtenář pochopil, jak družicové snímky interpretovat a jakým způsobem je mohou využít nejen meteorologové, ale i širší veřejnost v každodenním životě.

V EDICI VĚDA KOLEM NÁS PŘIPRAVUJEME:

Reysa Alenzuela: **Knihovna Orientálního ústavu** (překlad do ČJ)

Pavína Kellarová: **Digital Humanities a knižní kultura**

Miloslav Müller: **Observační Milešovka, druhé vydání**

DOSUD VYŠLO:

Václav Cílek: **Adaptace města na klimatickou změnu**

Petr Halas, Eva Kallabová, Jan Lacina: **Ve stopách malíře Josefa Jambora**

Kevin L. Schwartz, Aameem Lutfi: **The 9/11 Legacies Project**

Marta Šimečková: **Archiv zvukových záznamů nářečních promluv**

Slavomír Entler, Ondřej Ficker: **Spoutané slunce**



Spolufinancováno
Evropskou unií



Akademie věd
České republiky

STRATEGIE AV21

Edice Věda kolem nás | Co to je...

*Meteosat třetí generace: Nová éra družicových pozorování | Vojtěch Bližňák,
Ondřej Nedělcov, Michaela Seidlová, Jindřich Štátska*

Vydalo Středisko společných činností AV ČR, v. v. i., Nakladatelství Academia. Grafická úprava dle osnovy Jakuba Krče a sazba Serifa. Odpovědný redaktor Vojtěch Němec. Vydání 1., 2025. Ediční číslo 13211. Tisk **SERIFA**®, s. r. o., Jinonická 80, 158 00 Praha 5.

ISSN 2464-6245

Evidováno MK ČR pod e. č. E 22344

Další svazky získáte na:

www.vedakolemnas.cz | www.academia.cz