

Při tvorbě map koncentrací znečišťujících látek v rámci České republiky i Evropy je běžně používána kombinace měřených, modelových a případně jiných doplňkových dat (nadmořská výška, hustota populace, meteorologické veličiny, pokryv půdy). Viz např. [1] a [2]. Dalším potenciálním zdrojem doplňkových dat jsou satelitní data.

Projekt SAMIRA (SATellite based Monitoring Initiative for Regional Air quality) je projekt Evropské vesmírné agentury (ESA) zaměřený na zdokonalení odhadu znečištění ovzduší v lokálním i regionálním měřítku pomocí kombinace satelitních dat, hodnot naměřených na „in situ“ stanicích imisního monitoringu a výstupů z chemických transportních modelů. Koordinátorem tohoto projektu je NILU (Norsko), dále se ho účastní šest dalších organizací z České republiky (ČHMÚ, IDEA-ENVI), Polska (Varšavská univerzita) a Rumunska (Babeş-Bolyai univerzita, INOE a Meteo Romania). Projekt je trojletý, probíhá v období 2016 – 2019. Projekt sestává ze sedmi dílčích projektů.

Důležitou součástí projektu SAMIRA (jakožto WP4000) je testování metod kombinace měřených, satelitních a modelových dat (data fusion). Testování se provádí jednak pro území České republiky, jednak pro širší doménu pokrývající země zapojené do projektu. Kombinace se provádí ve třech časových krocích – hodinovém, denním a ročním. Zkoumanými znečišťujícími látkami jsou PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂ a SO₂. V současné době probíhá testování na základě historických dat z roku 2014, v druhé fázi projektu půjde o data „up-to-date“, tj. operativní. V úvodní fázi projektu – testování NO₂ a SO₂ na české doméně. Výstupy projektu SAMIRA by měly být průběžně zveřejňovány na webové stránce <http://samira.nilu.no>.

METODIKA TVORBY MAP

Kombinace (data fusion) naměřených, modelových a satelitních (a případně dalších doplňkových) dat – pomocí vícenásobné lineární regrese a následné prostorové interpolace reziduí této regrese, přičemž venkovské a městské pozadové mapy jsou konstruovány zvlášť a výsledná mapa je vytvořena jejich sloučením pomocí populační hustoty. Jde o standardně používanou metodu „regression – interpolation – merging mapping“.

Lineární regresní model – závislou proměnnou jsou měřené (in-situ) imisní koncentrace, nezávislými proměnnými jsou modelové a satelitní data, případně další doplňková data (zejména nadmořské výška). Pro městskou pozadovou mapu jsou použity městské a předměstské pozadové stanice, pro venkovskou mapu venkovské pozadové stanice.

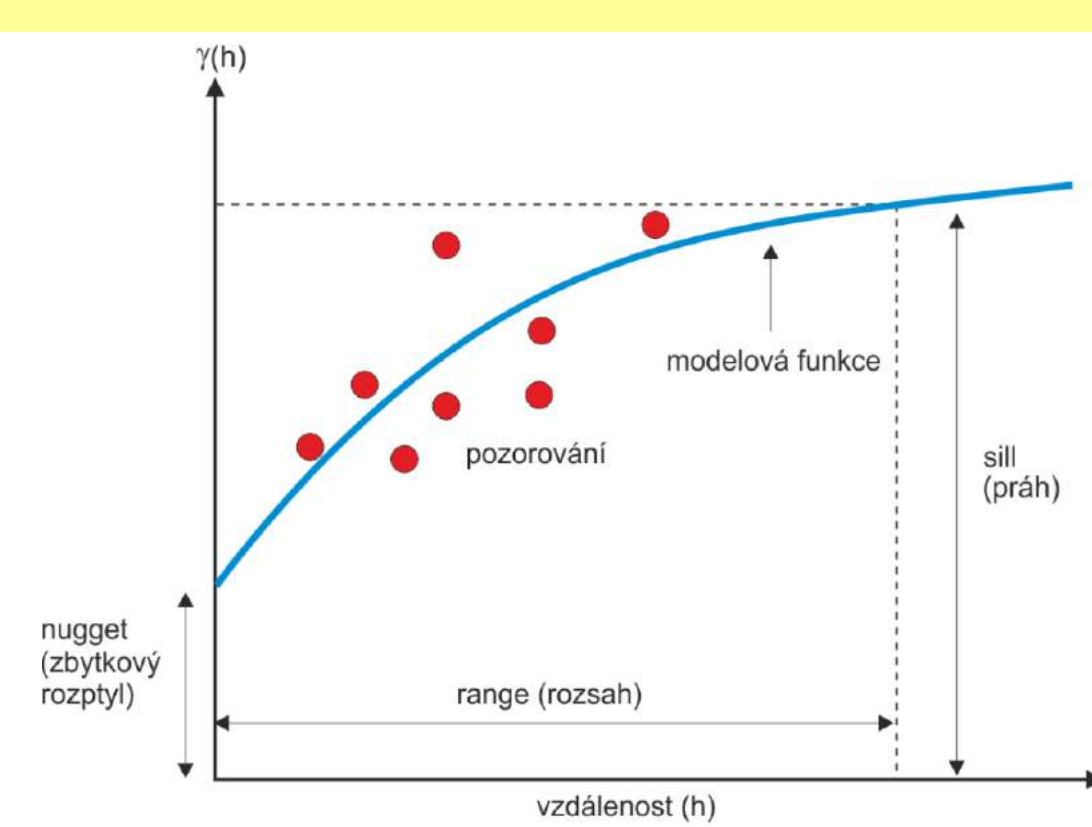
Prostorová interpolace reziduí – pomocí obyčejného (ordinary) krigingu, což je geostatistická metoda využívající strukturu imisního pole dle vztahu

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(s_i)$$

kde $Z(s_i)$ je interpolovaná hodnota v bodě s_0 ,
 $\hat{Z}(s_0)$ je naměřená koncentrace na i -té stanici,
 λ_i je váha i -té stanice spočtená pomocí variogramu,
 n je počet stanic použitých v interpolaci.

Sloučení venkovské a městské mapy – pomocí populační hustoty (zdroj: ČSÚ resp. JRC).

Variogram $\gamma(h)$ – míra prostorové variability v závislosti na vzdálenosti. Tři hlavní parametry: nugget, sill, range. Empirický variogram je třeba proložit modelovou funkcí resp. křivkou (např. sférickou, Maternovou či exponenciální), která je používána v krigingu pro výpočet vah λ_i .



Porovnání různých metod interpolace

– zvlášť pro venkovskou a městskou mapu. Pomocí **cross-validace** čili **křížového ověřování** (interpolace spočtena vždy bez jedné stanice, opakovaně pro všechny body) => umožňuje ocenit kvalitu odhadu mimo stanice, objektivní míra kvality metody.

Spočteny různé statistické parametry, zejména **standardní chyba odhadu** (root-mean-square-error, RMSE) a **bias**. Čím je RMSE nižší a bias blíží nule, tím je příslušná metoda interpolace kvalitnější.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z(s_i) - \hat{Z}(s_i))^2} \quad bias = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z(s_i) - \hat{Z}(s_i))$$

kde $Z(s_i)$ je naměřená koncentrace v i -tém bodě,
 $\hat{Z}(s_i)$ je odhad v bodě i pomocí ostatních stanic,
 N je počet stanic.

VSTUPNÍ DATA

Měřená (in-situ) data ze stanic imisního monitoringu: Imisní data naměřená na stanicích. Zdroj – imisní databáze ISKO spravovaná Českým hydrometeorologickým ústavem (pro českou doménu), imisní databáze AQ e-reportingu spravovaná Evropskou agenturou pro životní prostředí (pro širší doménu). Veličiny: PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO_x.

Modelová data: Výstupy z chemických transportních modelů CAMx (pro českou doménu, rozlišení 4,7x4,7 km) a WRF-Chem (pro širší doménu, rozlišení asi 10x10 km). Veličiny: PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, NO₂.

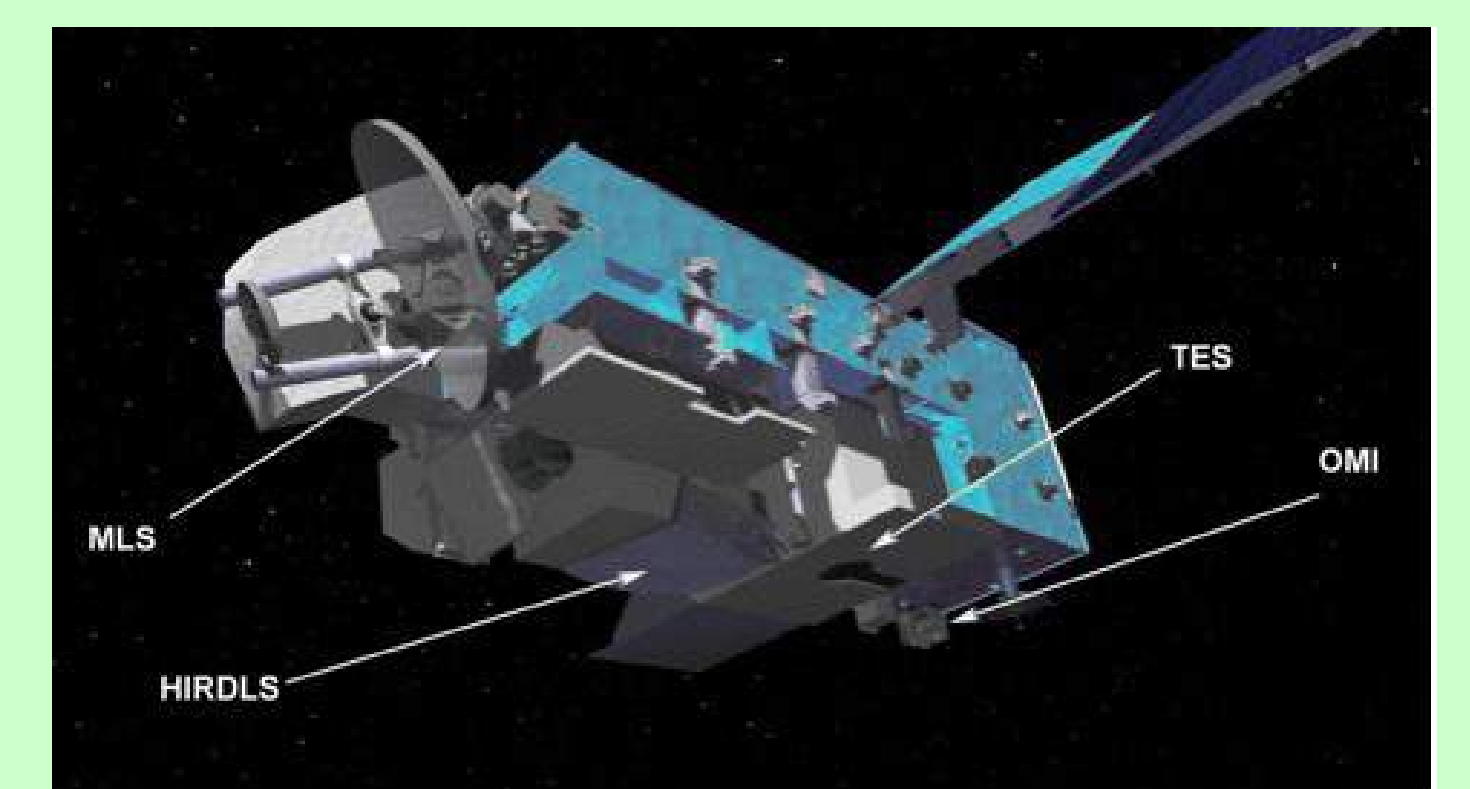
Satelitní data: Viz níže. **Další doplňková data:** Nadmořská výška. Zdroj: ZABAGED (pro českou doménu, rozlišení 1x1 km) a GMTED2010 (pro širší doménu, rozlišení 1x1 km).

SATELITNÍ DATA

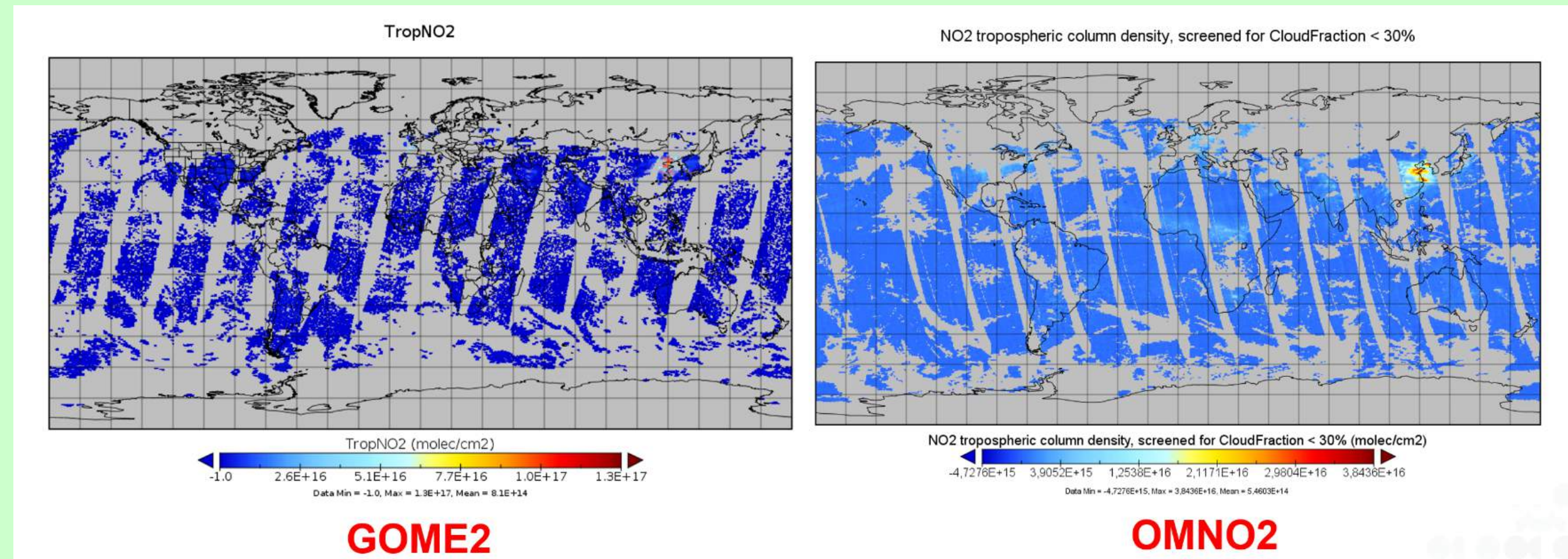
Zdrojem satelitních dat jsou v současnosti především satelity AURA (a jeho senzor OMI, tj. Ozone Monitoring Instrument) a MetOp (a jeho senzor GOME-2, tj. Global Ozone Monitoring Experiment 2). Viz Obr. 1 a Obr. 2. V budoucnosti by to měl být zejména satelit Sentinel-5P (a jeho senzor TROPOMI), který by měl poskytovat data ve výrazně podrobnějším prostorovém měřítku.

Pokud jde o jednotlivé znečišťující látky, tak NO₂ a SO₂ jsou ze satelitů měřeny přímo (v případě senzoru OMI jde o data OMNO2 a OMSO2, zdroj: NASA), zatímco pro odhad koncentrací PM je využívána veličina AOD („aerosol optical depth“).

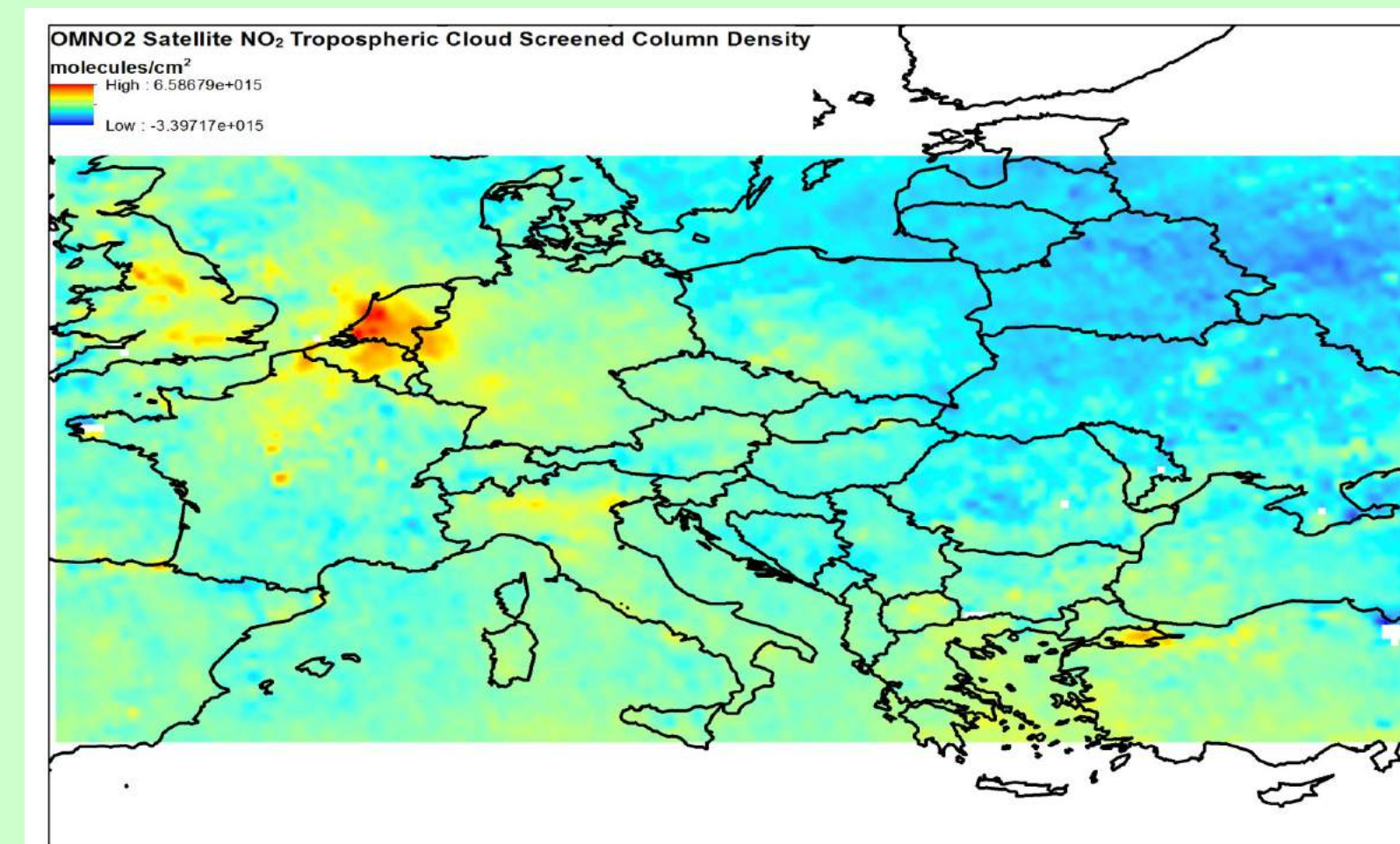
Hlavním problémem při použití satelitních dat je nespojité datové pokrytí. Data ze satelitu AURA dávají pro NO₂ i SO₂ lepší pokrytí (viz Obr. 3). Existují různé metody doplňování prostorových nespojitostí. Příklad viz Obr. 4. Nyní probíhá testování různých metod.



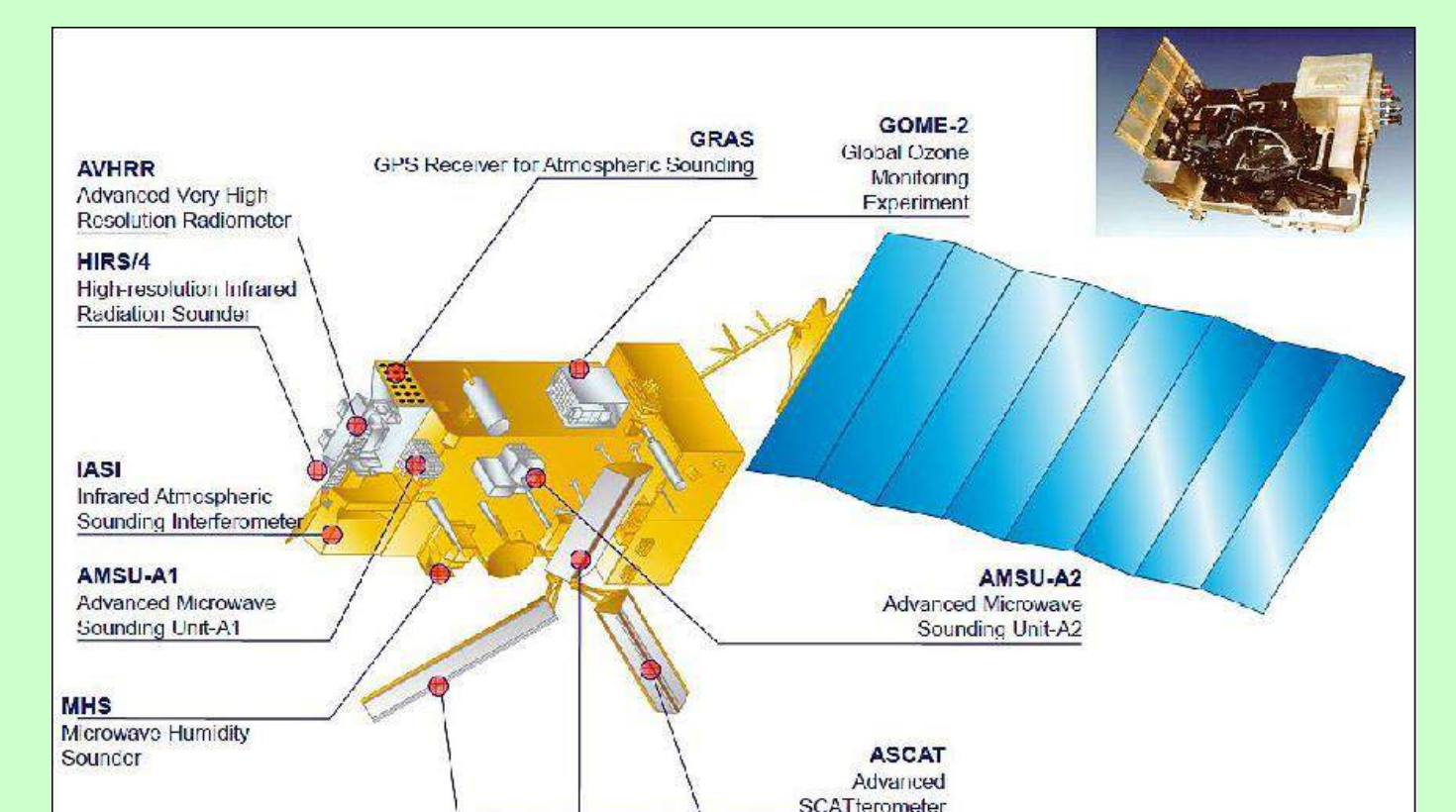
Obr. 1 Satelit AURA (zdroj: SPARC)



Obr. 3 Satelitní data NO₂ ze senzoru GOME-2 (zdroj: WDC) a OMI (zdroj: NASA)



Obr. 4 Doplňená data NO₂ z OMI, průměr 1.-5.7.2015



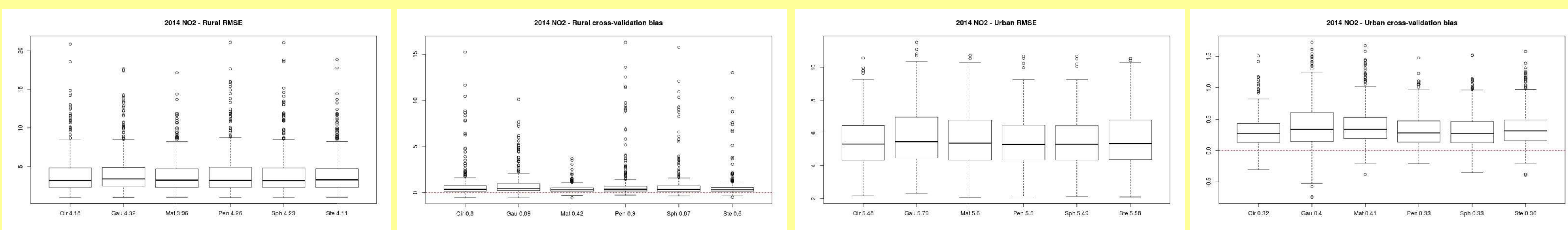
Obr. 2 Satelit MetOp (zdroj: EUMETSAT)

MAPY ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ VČETNĚ ANALÝZY JEJICH NEJISTOT

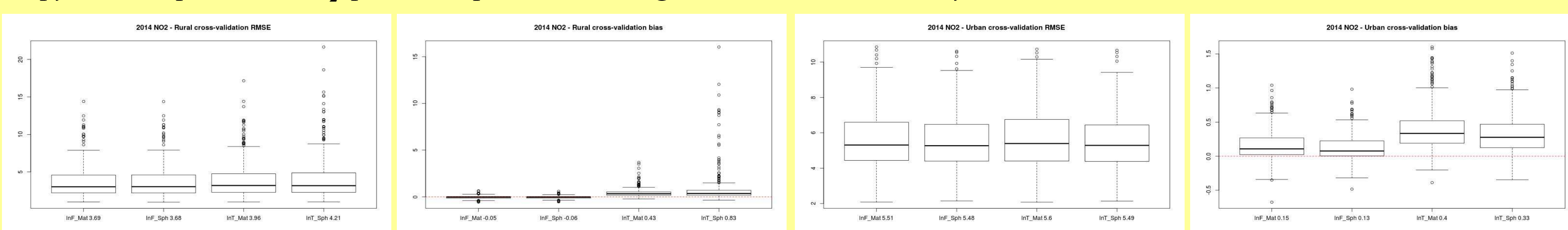
Testování různých proložení variogramu – empirický variogram proložen různými křivkami: sférickou (Sph), gaussovskou (Gau), Maternovou (Mat), Maternovou se Steinovou parametrizací (Ste), pentasférickou (Pen) a cirkulární (Cir). Mapy vytvořené při použití různých proložení variogramu porovnány pomocí cross-validačních parametrů, nejlepší výsledky dávají proložení Sph a Mat, viz Obr. 5. Pro tato proložení byly ještě porovnány dvě varianty: s logaritmickou transformací (lnT) a bez ní (lnF). Varianta lnF dává lepší výsledky, viz Obr. 6.

Porovnání map vytvořených s využitím satelitních dat a bez nich – toto porovnání bylo zatím provedeno jen pro dvě testovací období a jen pro NO₂. Mapy s využitím satelitních dat v průměru dávají mírně lepší výsledky.

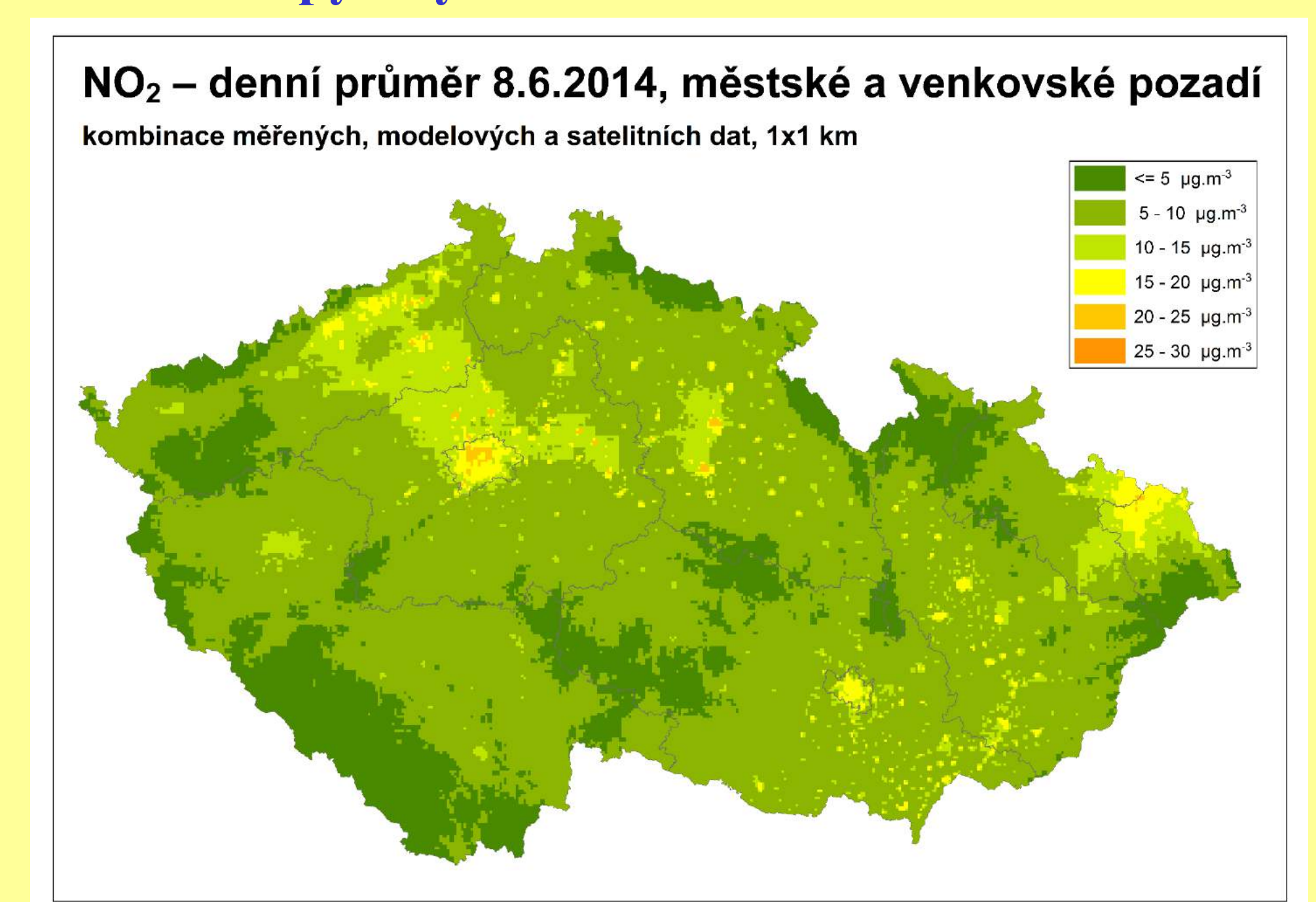
Příklad mapy s využitím satelitních dat – viz Obr. 7.



Obr. 5 Průměrné hodnoty cross-validačních parametrů RMSE a bias [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] pro vesnické (vlevo) a městské pozadové (vpravo) mapy denních průměrů NO₂ pro různá proložení variogramu. Průměrné hodnoty za období 1.1. – 31.12.2014.



Obr. 6 Průměrné hodnoty RMSE a bias [$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$] pro vesnické (vlevo) a městské pozadové (vpravo) mapy denních průměrů NO₂ pro varianty s logaritmickou transformací (lnT) a bez ní (lnF), pro dvě proložení variogramu. Průměr za období 1.1. – 31.12.2014.



Obr. 7 Denní průměrná koncentrace NO₂, 8.6.2014, kombinace měření, modelu CAMx, satelitních dat z OMI a nadmořské výšky.

Odkazy

[1] Horálek J., de Smet P., de Leeuw F., Kurfürst P., Benešová N. (2017). European air quality maps for 2014. ETC/ACM Technical paper 2016/6. http://acm.eionet.europa.eu/reports/ETCACM_TP_2016_6_AQMaps2014.

[2] Kolářová L. a kol. (2016). Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2015. ČHMÚ.