

Modelovanie kvality ovzdušia s vysokým rozlíšením v 25 vybraných doménach SR

Jana KRAJČOVIČOVÁ, Katarína BELOHORCOVÁ, Juraj BEŇO,
Jana MATEJOVIČOVÁ

Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava
e-mail:jana.krajcovicova@shmu.sk

Abstrakt

Projekt KOSYMOKO umožnil získať potrebnú infraštruktúru (superpočítač) umožňujúcu modelovanie kvality ovzdušia na pomerne veľkom počte domén SR s vysokým rozlíšením v priebehu jedného roka. V priebehu roka 2022 sme na SHMÚ vykonali modelovanie tuhých častíc PM₁₀ a PM_{2,5}, NO₂ a benzo(a)pyrénu v 25 oblastiach v rámci SR. Na modelovanie lokálnych kúrenísk a zdrojov NEIS bol použitý model CALPUFF, na modelovanie dopravných zdrojov model IFDM s rozšírením OSPM v kaňonoch ulíc. V príspevku bude prezentovaná metóda spracovania, výsledky modelovania, porovnanie s meraniami v miestach monitorovacích staníc, a tiež vplyv týchto výsledkov na definovanie oblastí riadenia kvality ovzdušia.

1. Úvod

Monitorovanie kvality ovzdušia automatickými meracími stanicami je finančne veľmi nákladné, pričom tieto merania majú väčšinou len obmedzenú priestorovú reprezentatívnosť. Preto sú v súčasnosti matematické modely znečistenia ovzdušia prakticky neoddeliteľnou súčasťou hodnotenia kvality ovzdušia, a ich využitie je vyžadované európskou a národnou legislatívou v oblasti ochrany ovzdušia. Matematický model nemôže síce nahradiť kvalitou svojich výstupov meraciu stanicu, môže ju však vhodne doplniť údajmi, ktoré samotná stanica poskytnúť nevie – priestorové rozloženie koncentrácií mimo monitorovacej stanice, odhad príspevkov rôznych skupín emisných zdrojov k celkovým koncentráciám, vplyv opatrení na zníženie emisií na budúce koncentrácie znečisťujúcich látok a pod. Nevýhodou matematického modelovania s vysokým priestorovým rozlíšením (ďalej HR modelovanie) sú nároky na výpočtový čas a kvalitu vstupných meteorologických a emisných dát. V rámci projektu KOSYMOKO, ktorý SHMÚ realizoval v posledných piatich rokoch v rámci operačného programu Kvalita životného prostredia, sa podarilo výrazne pokročiť jednak v spresňovaní vstupných dát modelov, ale aj zabezpečiť výpočtovú infraštruktúru pre prevádzku modelov kvality ovzdušia aj meteorologických modelov s vysokým rozlíšením, nevyhnutnú pre plynulé zabezpečenie modelových výstupov dostupných v reálnom čase. Modely sú počítané aktuálne na výpočtovom klastri NEC (240 výpočtových nodov, každý s dvoma 20 jadrovými procesormi Intel Xeon 6230).

2. Výber domén

Slovensko sa vyznačuje z veľkej časti veľmi členitým terénom. V týchto oblastiach je zároveň najviac dostupné palivové drevo na vykurovanie, pričom rozptylové podmienky sú často veľmi obmedzené, keďže sídla sa nachádzajú

v dolinách a kotlinách. Lokálne prúdenie napomáha výskytu inverzných situácií, počas ktorých dochádza k akumulácii znečistenia ovzdušia ktorá sa prejavuje vysokými koncentraciami znečisťujúcich látok hlavne v chladnom období roka, na mnohých miestach často aj s výskytom smogových epizód.

V ročenke [1] každoročne uvádzame výsledky regionálneho modelu kvality ovzdušia pre celú SR pomocou modelu RIO [2][3][4] kombinovaného s metódou IDW-R, s priestorovým rozlíšením 1 km. Tento model nedokáže zachytiť lokálne priestorové extrémne koncentrácie, avšak dáva nám určitý obraz o tom, kde tieto extrémne možno očakávať. Domény pre HR modelovanie boli vybrané na základe nasledujúcich kritérií:

- Oblasti obsahujúce monitorovaciu stanicu NMSKO ktorá zaznamenáva prekročenia niektorej z limitných hodnôt znečisťujúcich látok,
- oblasti, v ktorých sa nenachádza monitorovacia stanica, ale model RIO indikuje prekročenia niektorej z limitných hodnôt,
- oblasti, v ktorých sa nenachádza monitorovacia stanica, ani model RIO neindikuje prekročenia limitných hodnôt, ale dáta zo Sčítania obyvateľov, domov a bytov 2021 indikujú vysoký počet domov využívajúcich tuhé palivo.

Tieto kritériá boli zvolené z niekoľkých dôvodov:

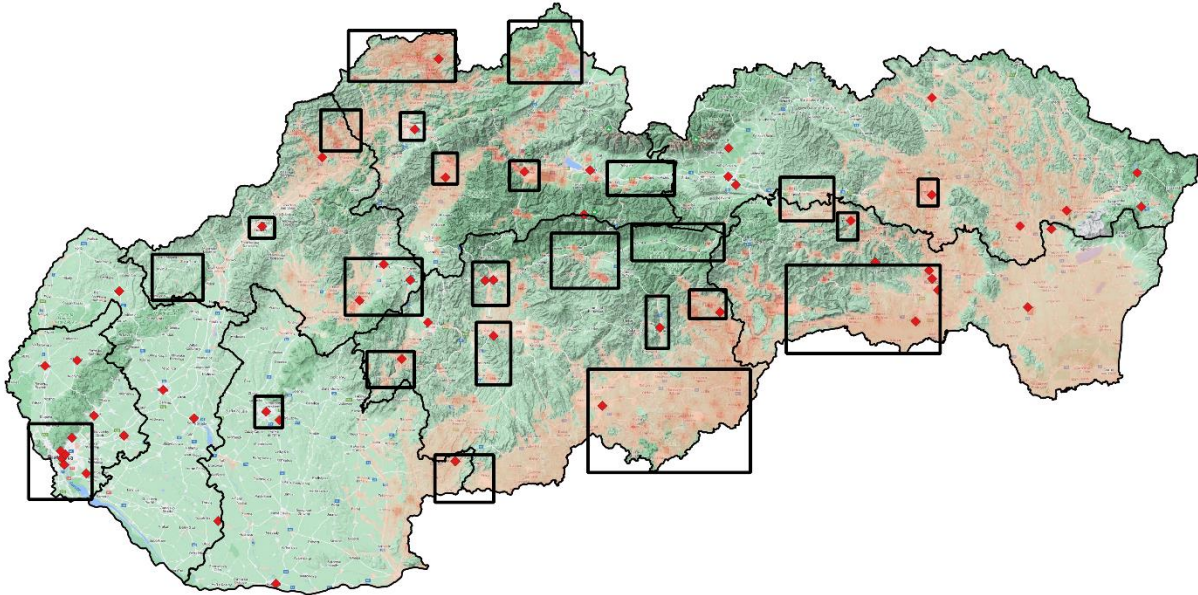
- V oblastiach, kde dochádza podľa meraní k prekročovaniu niektorej z limitných hodnôt, je potrebné určiť rozsah zasiahnutých území, a tiež príspevky jednotlivých skupín zdrojov k nameraným koncentraciám.
- V miestach, kde sa zároveň nachádza monitorovacia stanica, je možné validovať výsledky modelu voči nameraným hodnotám, a tým odhadnúť prípadný bias a neurčitost' modelového výpočtu.
- V oblastiach, v ktorých sa monitorovacia stanica nenachádza, je vhodné overiť pomocou presnejšieho modelu, nakoľko sú v takýchto oblastiach výsledky modelu RIO relevantné (ide o interpolačno-regresný model).
- V oblastiach, kde model RIO nezaznamenal prekročenia limitných hodnôt ale je udávaný vysoký výskyt vykurovania tuhým palivom, je potrebné overiť, či sa tam nenachádzajú lokálne hotspoty s prekročeniami limitných hodnôt menšieho priestorového rozsahu.

Takýmto spôsobom bolo vybraných 25 domén, ktoré sú zobrazené na Obrázok 1 a vymenované v Tabuľka 1.

Tabuľka 1 Zoznam domén pre modelovanie s vysokým rozlíšením

1. Nitra	10. Banská Bystrica	19. Horehronie
2. Trenčín	11. Jelšava	20. Liptov
3. Žilina	12. Ružomberok	21. Spiš
4. Martin	13. Brezno	22. JS kotlina
5. Hnúšťa	14. Kysuce	23. Južný Hont
6. Prešov	15. Orava	24. Žarnovica, N.Baňa
7. Prievidza	16. Javorníky	25. Zvolen
8. Myjava	17. Košice	
9. Bratislava	18. Krompachy	

Z vybraných 25 domén je 7 domén, v ktorých sa nenachádza stanica NMSKO. V dvoch ďalších doménach – JS kotlina a Južný Hont – sú už umiestnené nové stanice, ale v referenčnom roku 2021 nemali dostatočný počet meraní na vyhodnotenie.



Obrázok 1 Domény pre modelovanie s vysokým rozlíšením zobrazené na mape prekročení limitnej hodnoty priemerných ročných koncentrácií benzo(a)pyrénu z modelu RIO (odtíene ružovej). Červené štvorce označujú polohy monitorovacích staníc NMSKO.

3. Znečisťujúce látky zahrnuté do modelovania

Modelovanie bolo vykonané pre nasledujúce znečisťujúce látky: PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂ a benzo(a)pyrén (ďalej BaP). Legislatíva síce definuje limitné hodnoty pre viaceré znečisťujúce látky, látky vybrané pre modelovanie sú však z hľadiska dosahovaných hodnôt na území SR najdôležitejšie. Namerané hodnoty ostatných znečisťujúcich látok, z výnimkou prízemného ozónu, sa u nás pohybujú hlboko pod stanovenými limitnými hodnotami. Prízemný ozón nebol do modelovania zahrnutý z dôvodu, že je produktom zložitých fotochemických reakcií, ktoré použité modely neobsahujú.

4. Použité modely kvality ovzdušia

Modely kvality ovzdušia s vysokým rozlíšením pre obmedzené oblasti počítajú koncentrácie znečisťujúcich látok ktoré sú emitované iba na území modelovanej domény. Znečistenie, ktoré pochádza z územia za hranicou domény v modeli samotnom nie je zahrnuté, preto toto tzv. regionálne pozadie, pochádzajúce z blízkych aj vzdialených oblastí, vrátane cezhraničného prenosu, je potrebné do výsledných koncentrácií nejakým spôsobom zahrnúť. Na určenie regionálneho pozadia bol použitý práve model RIO, konkrétne hodnoty vo vybraných bodoch ktoré sú v tesnej blízkosti modelovanej domény a podľa odborného úsudku vystihujú miestne pozadie.

Na výpočet príspevkov jednotlivých skupín zdrojov (cestná doprava, bodové zdroje NEIS a lokálne kúreniská) boli použité kombinácia dvoch modelov: model IFDM kombinovaný s modelom kaňonov ulíc OSPM [9][10] bol použitý na modelovanie cestnej dopravy, model CALPUFF [7] bol použitý na modelovanie vplyvu zdrojov NEIS a lokálnych kúrenísk. Model CALPUFF je lagrangeovský puff model ktorý je schopný zahrnúť vplyv bezvetria, zložitého terénu a kumulácie znečistenia počas zlých rozptylových podmienok, preto je obzvlášť vhodný na modelovanie horských dolín a kotlín, ktoré sa nachádzajú v oblastiach ohrozených vysokými koncentraciami znečistenia. Model IFDM v kombinácii s OSPM v kaňonoch ulíc je široko testovaný pre

výpočet koncentrácií z dopravy, obzvlášť v mestách. Keďže koncentrácie znečisťujúcich látok sú maximálne v tesnej blízkosti cestných komunikácií, a so vzdialenosťou prudko klesajú, benefity modelu v tomto prípade prevážia nedostatky, vyplývajúce z gaussovskej povahy modelov a ich neschopnosti zahrnúť prípadnú kumuláciu počas zlých rozptylových podmienok.

Na získanie výsledných koncentrácií znečisťujúcich látok sa príspevky vypočítané jednotlivými modelmi (RIO, IFDM-OSPM, CALPUFF) jednoducho sčítajú. Toto je možné za predpokladu, že domény sú pomerne malého rozsahu a chemické reakcie vznikajúce na tomto obmedzenom území sú relatívne pomalé (s výnimkou ozónu, ktorý nemodelujeme) a ich príspevok veľmi nízky.

Priestorové rozlíšenie modelov IFDM-OSPM je veľmi vysoké, v blízkosti ciest sú to rádovo metre, so vzdialenosťou od ciest klesá (pretože klesá aj koncentrácia). Priestorové rozlíšenie modelu CALPUFF v blízkosti zdrojov znečistenia a v obývaných oblastiach je 250 m, vo väčších vzdialenostiach mimo obývaných oblastí je 1000 m. V špecifikovaných diskretných bodoch (napr. stanice NMSKO) však CALPUFF počíta koncentrácie presne v týchto bodoch a nedochádza k interpolácii.

5. Vstupné dáta pre modely s vysokým rozlíšením

Najdôležitejšími vstupmi pre modely sú emisné dáta s dostatočným priestorovým rozlíšením a meteorologické dáta.

Pre model IFDM boli použité meteorologické dáta z modelu Aladin s gridovým rozlíšením 4,5 km, a to tak, že pre každý emisný zdroj boli použité hodinové dáta z najbližšieho gridového bodu.

Pre model CALPUFF boli tiež použité sekvenčné hodinové priestorové meteorologické dáta z modelu Aladin, tieto však boli spracované meteorologickým diagnostickým modelom CALMET, ktorý dáta interpoluje do gridu s rozlíšením 250 m, pričom zahŕňa vplyv komplexného terénu a lokálne parametrizácie miestnej cirkulácie (horské a údolné vetry).

Emisné dáta z dopravy zahŕňajú emisie z výfukov, oterov bŕzd a pneumatík a abráziu vozovky. Na ich výpočet bol použitý emisný model, ktorý počíta emisie na základe intenzít dopravy na jednotlivých cestných komunikáciách, zloženia vozového parku, emisných faktorov pre jednotlivé kategórie vozidiel a odhadovaných časových profilov. Spracovateľom emisných vstupov je Centrum dopravného výzkumu (CDV).¹

Emisie z vykurovania domácností sú vypočítané emisným modelom REM_v2 [11], ktorý počíta emisie s presnosťou na úrovni základných sčítacích jednotiek a priestorovo ich distribuuje na oblasti osídlené rodinnými a bytovými domami. Výsledným produktom sú zdroje emisií v štvorcoch 50 m x 50 m s výškou zodpovedajúcou priemernej výške budov v príslušnom štvorci (údaje na základe vrstvy ZBGIS).

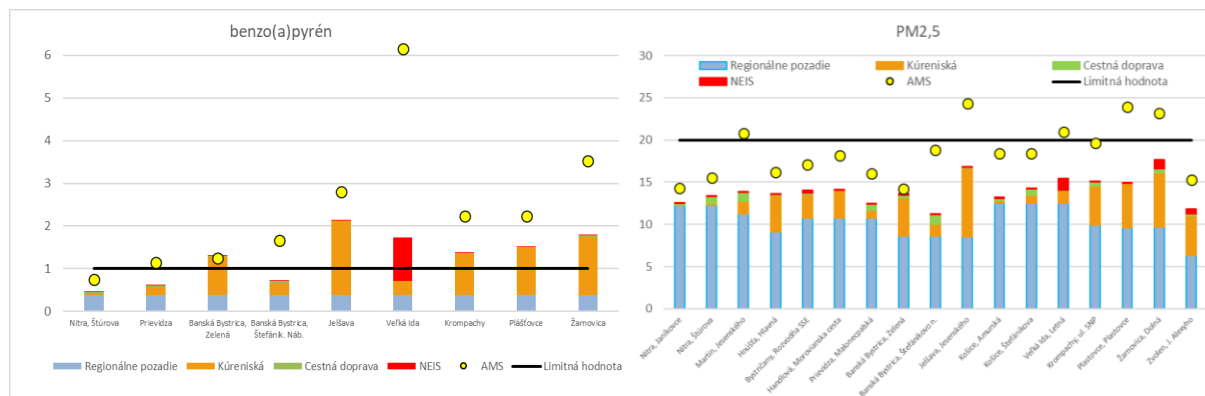
Emisné dáta z veľkých a stredných zdrojov pochádzajú z databázy NEIS.

¹ Dáta z dopravy s vysokým rozlíšením pre všetky krajské a ďalšie mestá boli spracované v rámci projektu KOSYMOKO financovaného z Operačného programu Kvalita životného prostredia

6. Výsledky HR modelovania

Validácia proti meraniam na staniciach NMSKO

Na Obrázok 1 sú vyhodnotené výsledky modelovaných priemerných ročných koncentrácií BaP a PM_{2,5} v porovnaní s nameranými hodnotami v miestach staníc NMSKO².

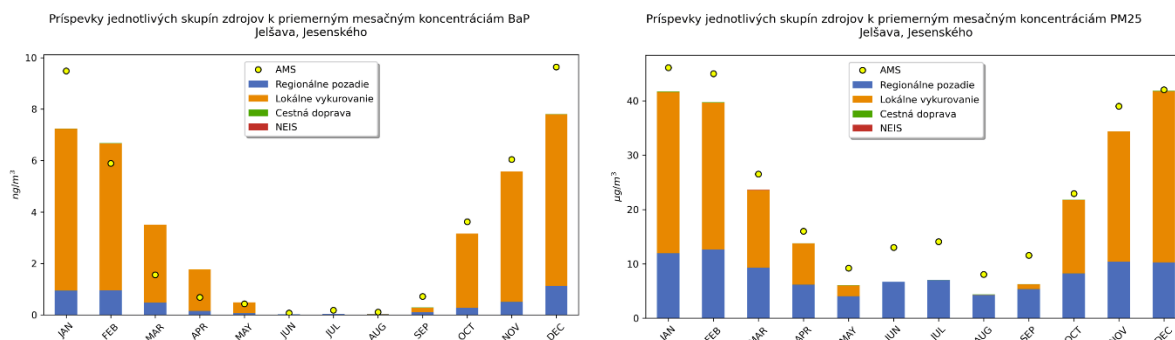


Obrázok 2 Modelované priemerné ročné koncentrácie BaP (vľavo, v ng.m⁻³) a PM_{2,5} (vpravo, v µg.m⁻³) v porovnaní s nameranými hodnotami na staniciach NMSKO. Príspevky jednotlivých druhov emisných zdrojov a pozadia sú znázornené odlišnými farbami podľa legendy.

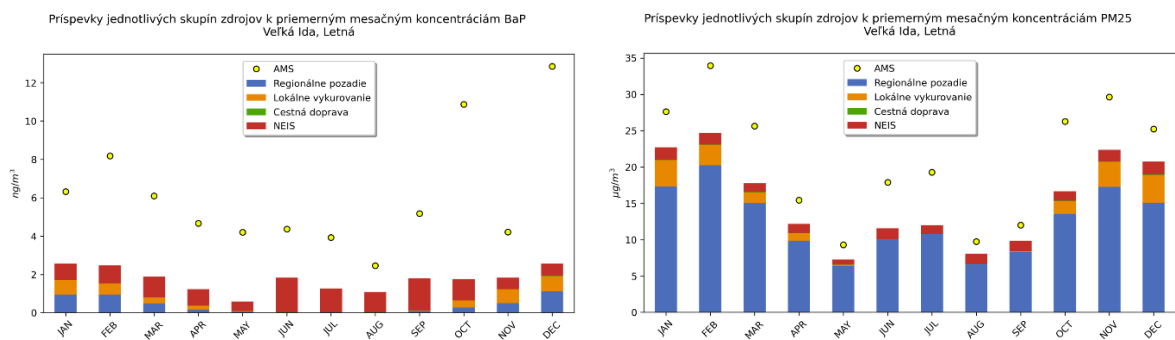
Ako vidno, modelové hodnoty sú voči nameraným hodnotám viac či menej podhodnotené. Na Obrázok 3 sú priemerné mesačné hodnoty koncentrácií BaP a PM_{2,5}. Ide o typické časové profily koncentrácií na miestach, kde jediným významným zdrojom BaP je vykurovanie tuhým palivom. Koncentrácie BaP v letnom období sú veľmi nízke a prakticky dané prakticky len regionálnym pozadím, ktoré je v letnom období tiež nízke. V prípade aerosólových častíc PM₁₀ a PM_{2,5} je už situácia trochu zložitejšia, pretože zdrojov emisií PM je veľa aj v letnom období, a aj regionálne pozadie je vyššie. Pomerne často sa vyskytujú aj epizódy saharského prachu, čo prispelo ak k zvýšeným priemerom oboch frakcií PM v júni a v júli 2021. Podhodnotenie najmä letných hodnôt v modelovanej doméne môže byť tiež spôsobené nezahrnutím zdrojov ako je erózia odkrytej poľnohospodárskej pôdy, rôzne prašné práce, alebo aj erózia povrchov skládok rôzneho prašného materiálu a manipulácia s ním. Tieto emisie nie sú zahrnuté do databázy NEIS a nevieme ich v súčasnosti vyčísliť.

Na porovnanie je na Obrázok 4 uvedený prípad stanice Veľká Ida, Letná, na ktorej vychádza porovnanie nameraných a modelovaných hodnôt najhoršie. Na stanici sú zaznamenávané aj mimo zimnej sezóny vysoké koncentrácie nielen PM, ale aj BaP. Na rozdiel od Jelšavy a podobných lokalít, kde je hlavným zdrojom emisií BaP vykurovanie, sú zaznamenávané priemerné ročné hodnoty koncentrácií BaP viac ako dvojnásobne vyššie. I keby boli emisie z lokálnych kúrenísk silne podhodnotené, nevysvetľovalo by to obrovský rozdiel medzi nameranými a modelovanými koncentraciami.

² Do vyhodnotenia bola zahrnutá aj stanica Plášťovce, ktorá začala merať až v júni 2021. Jej význam pre porovnanie je vyšší pri pohľade na mesačné priemery koncentrácií



Obrázok 3 Priemerné mesačné koncentrácie modelované v mieste monitorovacej stanice v Jelšave a príspevky jednotlivých skupín zdrojov, v porovnaní s nameranými hodnotami.



Obrázok 4 Priemerné mesačné koncentrácie modelované v mieste monitorovacej stanice Veľká Ida, Letná a príspevky jednotlivých skupín zdrojov, v porovnaní s nameranými hodnotami

Systematický negatívny bias modelu oproti meraniam na všetkých staniciach v modelových doménach môže byť pripísaný do určitej miery aj chybe modelu samotného, metóde výberu pozadových hodnôt a nepresným vstupným meteorologickým dátam. Najvyššia miera neurčitosti je však spojená s emisnými dátami, obzvlášť v prípade lokálnych kúrenísk. Emisie vypočítané modelom REM_v2 sú podmienené hlavne počtom domov s vykurovaním tuhými palivami tak ako boli hlásené obcami počas SODB 2021³. Treba pripomenúť, že na rozdiel od predchádzajúceho sčítania, kedy údaje o bytoch a domoch boli nahlasované samotnými vlastníkami nehnuteľností, v poslednom sčítaní tieto údaje nahlasovali jednotlivé obce. Táto zmena priniesla pozitívum v tom, že počet nevyplnených dát klesol z 23% na 1%, avšak aktuálnosť dát samotných je otázna, keďže obce nemohli za týmto účelom vykonávať prieskum medzi obyvateľmi. Najproblematickejšie údaje o palivách a spôsobe vykurovania budú pravdepodobne hlavne pri starších rodinných domoch. Štatistiky tiež nezohľadňujú využívanie nekvalitných a zakázaných palív, ako sú rôzne odpadové drevo a iné horľavé materiály. Všetky tieto skutočnosti môžu viesť k značnému podhodnoteniu emisií z lokálnych kúrenísk voči nameraným hodnotám.

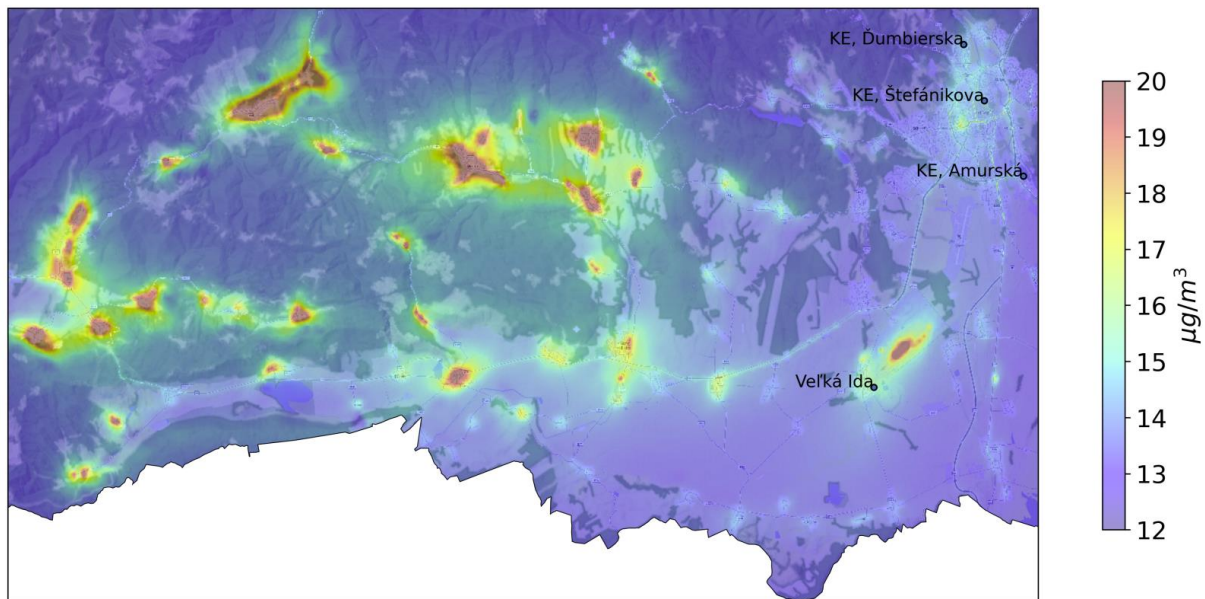
Mapové výstupy

Hlavným výstupom modelov s vysokým rozlíšením sú mapy priestorového rozloženia koncentrácií znečisťujúcich látok, a tiež mapy príspevkov jednotlivých druhov emisných zdrojov. Všetky mapové a grafické výstupy z modelovania pre každú

³ Sčítanie obyvateľov, domov a bytov 2021, Štatistický úrad Slovenskej republiky

modelovú doménu a znečisťujúcu látku je možné nájsť na webstránke SHMÚ: <https://www.shmu.sk/sk/?page=2699>.

Príklad mapového výstupu je uvedený na Obrázok 5, ktorý obsahuje mapu priemerných ročných koncentrácií PM_{2,5}, spolu s vyznačenými meracími stanicami NMSKO. Mapa indikuje existenciu závažných hotspotov vysokých koncentrácií PM_{2,5}, kde všetky územia s červenou farbou vykazujú hodnoty koncentrácií vyššie ako aktuálna limitná hodnota. Na ďalších mapách uvedených na webstránke sú zobrazené aj územia s prekročením novej navrhovanej limitnej hodnoty EÚ 10 µg.m⁻³. Táto hodnota by bola prekročená na celom území domény.



Obrázok 5 Priemerné ročné hodnoty koncentrácií PM_{2,5} vo veľkej doméne JZ časti Košického kraja, zahŕňajúcej územie od Slovenského Krasu na JZ až po mesto Košice na SV domény.

Ďalšie mapové výstupy, ktoré možno nájsť na uvedenej webstránke sú mapy koncentrácií príspevkov jednotlivých druhov zdrojov (NEIS, lokálne kúreniská, cestná doprava) v absolútnych hodnotách aj v percentuálnych podieloch, mapy prekročení limitných hodnôt aktuálnych aj budúcich navrhovaných, a tiež účinky opatrení na zníženie emisií z lokálnych kúrenísk, a to pre dva scenáre: 1. výmena polovice odhorievacích a prehorievacích kotlov za splyňovacie, pri zachovaní podielu použitých palív, a 2. výmena všetkých prehorievacích a odhorievacích kotlov za automatické a náhrada všetkých tuhých palív za suché drevo (resp. drevné pelety). Tieto scenáre nie sú realistické, ale ilustrujú pri jednotlivých doménach, v akom rozmedzí možno účinok na zníženie koncentrácií očakávať. Existujú samozrejme ďalšie opatrenia, ktorými možno znížiť emisie ešte viac, ako napr. zateplovanie domov, zmena palivovej základne, a pod.

Pri prezeraní máp koncentrácií treba mať na pamäti, že tak ako v miestach meracích staníc NMSKO, sú koncentrácie do určitej miery podhodnotené aj na ostatných, hlavne obývaných miestach jednotlivých domén.

7. Záver

Modelovanie kvality ovzdušia v rôznych priestorových škálach je zložitý problém. Najviac neurčitostí vnášajú do výsledkov nepresné vstupné dáta o emisiách. Okrem toho je do istej miery chybou zaťažený aj model samotný, a ďalšie vstupné dáta – meteorológia. Napriek tomu nám modely prinášajú cenné informácie, ktoré nie je

možné získať iným spôsobom – informácie o priestorovom rozložení koncentrácií, o príspevkoch jednotlivých zdrojov emisií, resp. o predpokladaných účinkoch plánovaných opatrení. Pri interpretácii modelových výsledkov však treba brať tiež do úvahy ich neurčitosti, resp. bias, vyhodnotený porovnaním s meracími stanicami.

Model RIO-IDWR s priestorovým rozlíšením 1 km x 1km, používaný na každoročné hodnotenie kvality ovzdušia v celej SR, indikuje prekročenia limitných hodnôt, najmä BaP, na pomerne rozsiahlych územiach mimo dosahu siete NMSKO. V doteraz modelovaných doménach s vysokým rozlíšením sa prekročenia väčšinou potvrdili, resp. priestorovo spresnili. Príkladom je aj diskutovaná doména JZ časti Košického kraja, kde model s vysokým rozlíšením koncentrácie v blízkosti monitorovacích staníc podhodnotil, ale indikuje prekročenia BaP a pomerne vysoké hodnoty koncentrácií PM_{2,5} vo všetkých obývaných dolinách Slovenského Krasu a Volovských vrchov.

SHMÚ plánuje postupne modelovať s vysokým rozlíšením aj ďalšie oblasti, a tiež postupne overovať vysoké koncentrácie vypočítané modelom pomocou indikatívnych, prípadne celoročných meraní BaP pomocou vzorkovačov ktoré sa bude snažiť umiestniť v dotknutých obciach.

Literatúra

- [1] Správa o kvalite ovzdušia v Slovenskej republike, 2022. Slovenský hydrometeorologický ústav. ISSN 2730-0927.
https://www.shmu.sk/File/oko/rocenky/2022_Sprava_o_KO_v_SR_v1.pdf
- [2] Janssen, S., Dumont, G., Fierens, F., Deutsch, F., Maiheu, B., Celis, D., Trimpeneers, E., Mensink, C., 2012. Land use to characterize spatial representativeness of air quality monitoring stations and its relevance for model validation. *Atmos. Environ.* 59, 492–500. doi:10.1016/j.atmosenv.2012.05.028
- [3] Janssen, S., Dumont, G., Fierens, F., Mensink, C., 2008. Spatial interpolation of air pollution measurements using CORINE land cover data. *Atmos. Environ.* 42, 4884–4903. doi:10.1016/j.atmosenv.2008.02.043
- [4] Hooyberghs, J., Mensink, C., Dumont, G., Fierens, F., 2006. Spatial interpolation of ambient ozone concentrations from sparse monitoring points in Belgium. *J. Environ. Monit.* 8, 1129–35. doi:10.1039/b612607n
- [5] CMAQv5.2 Operational Guidance Document (06/30/2017)
https://github.com/USEPA/CMAQ/blob/5.2/DOCS/User_Manual/PDF/CMAQ_OGD_Full.06302017.pdf
- [6] Lefebvre, W., Vranckx, S., 2013. Validation of the IFDM-model for use in urban applications, Study accomplished in the framework of the ATMOSYS-project. VITO report 2013/RMA/R/56.
- [7] Scire, J.S., Strimaitis, D.G. and Yamartino, R.J. (2000b) A User's Guide for the CALPUFF Dispersion Model, Earth Tech, Inc., Concord, MA. US EPA (2011) Compilation of Air Pollutant Emission
- [8] Berkowicz, R. (2000) OSPM - A parameterised street pollution model, *Environmental Monitoring and Assessment*, Volume 65, Issue 1/2, pp. 323-331.
- [9] W. Lefebvre, B. Degrawe, C. Beckx, M. Vanhulsel, B. Kochan, T. Bellemans, D. Janssens, G. Wets, S. Janssen, I. de Vlioger, L. Int Panis, S. Dhondt, 2015. Presentation and evaluation of an integrated model chain to respond to traffic- and health-related policy questions. *Environmental Modelling & Software*. Vol 40 pp.160-170. doi:10.1016/j.envsoft.2012.09.003
- [10] Lefebvre, W., Van Poppel, M., Maiheu, B., Janssen, S., Dons, E., 2013. Evaluation of the RIO-IFDM-street canyon model chain. *Atmos. Environ.* 77, 325–337. doi:10.1016/j.atmosenv.2013.05.026
- [11] Krajčovičová J., Matejovičová J., Nemček V., 2020, High-resolution residential emission model for use in the air quality modelling, *Meteorologický časopis*, Ročník 23, číslo 1,

ISSN 1335-339X, dostupné: <http://www.shmu.sk/sk/?page=31>, posledný prístup 19.8.20.