



MODELOVANIE KVALITY OVZDUŠIA

Príloha č.3

k metodickému pokynu k riadeniu kvality ovzdušia

Obsah

ÚVOD	2
PRIESTOROVÉ ZHODNOTENIE KVALITY OVZDUŠIA.....	2
PRÍSPEVKY JEDNOTLIVÝCH DRUHOV ZDROJOV K CELKOVÝM KONCENTRÁCIÁM	3
ODHAD ÚČINNOSTI OPATRENÍ.....	5
LITERATÚRA	6
PRÍLOHA: KONFIGURÁCIA MODELOV KVALITY OVZDUŠIA A POŽIADAVKY NA VSTUPNÉ DÁTA	7
<i>Charakteristika a oblasti použitia rôznych matematických modelov</i>	<i>7</i>
<i>Nastavenie výpočtovej domény a priestorové rozlíšenie</i>	<i>8</i>
<i>Vstupné údaje pre modelovanie kvality ovzdušia pre potreby programov na zlepšenie kvality ovzdušia</i>	<i>8</i>

Úvod

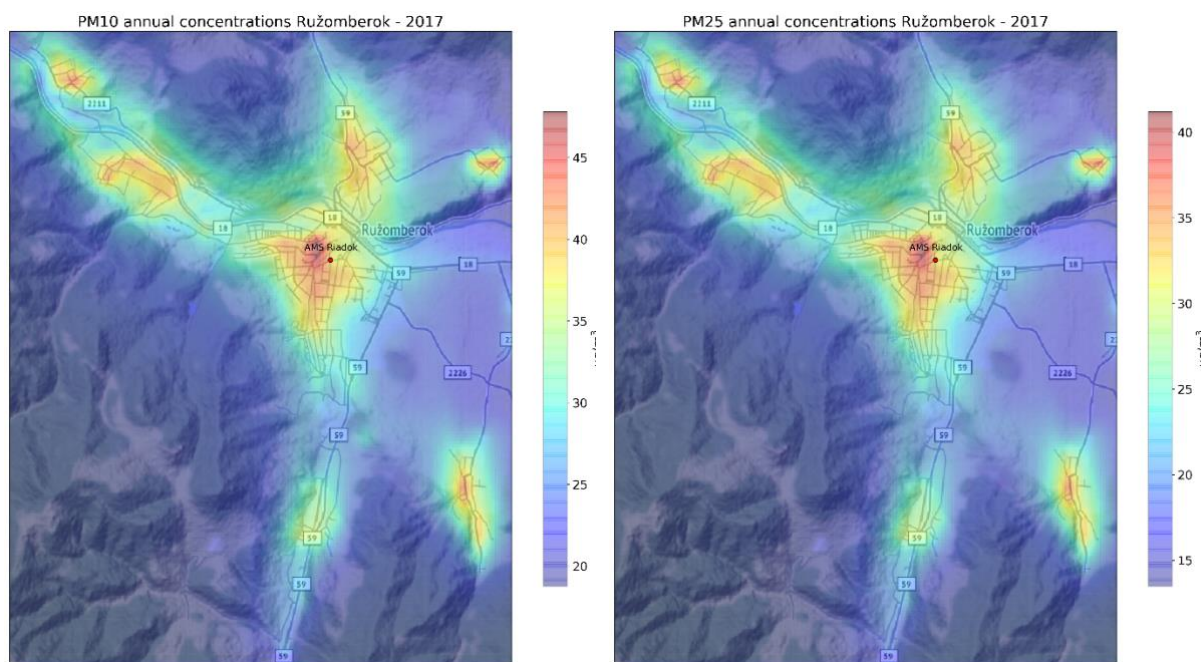
Matematický model, ktorý dáva do súvislosti emisie znečisťujúcich látok a priestorovo rozložené koncentrácie očakávané v dýchacej zóne nad zemským povrchom, pomocou matematických vzťahov popisujúcich fyzikálne procesy zúčastňujúce sa na transporte a rozptyle znečisťujúcich látok, je priblížením skutočnej reality. Neurčitosti spojené s takto vypočítanými koncentraciami sú vyššie ako v prípade meraní na konkrétnom mieste a v konkrétnom čase. Na druhej strane, merania na monitorovacích staniciach majú obmedzenú priestorovú reprezentatívnosť a počet monitorovacích miest je z finančných a technických dôvodov značne obmedzený. Navyše merania ako také nie sú schopné poskytnúť informácie o príspevkoch rôznych zdrojov emisií k celkovým koncentraciám znečisťujúcich látok. Oblasť riadenia kvality ovzdušia, v ktorých je zákonom ustanovená povinnosť vypracovať Programy na zlepšenie kvality ovzdušia, sú určené predovšetkým na základe meraní. Ak na základe výsledkov modelovania vznikne indícia, že k prekročovaniu limitných hodnôt môže dochádzať v niektorej lokalite, ktorá nie je súčasťou ORKO, je žiaduce vykonať v predmetnom území indikatívne merania na preukázanie, či reálne dochádza k prekročovaniu prípustnej miery znečistenia v tomto území.

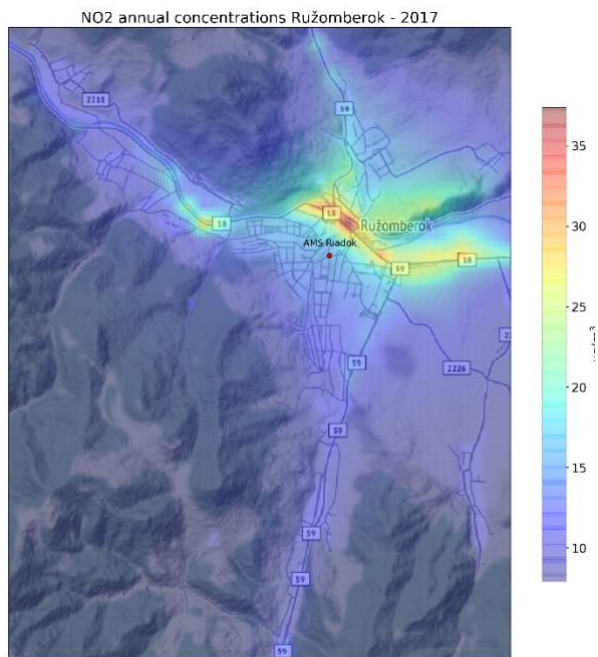
Pre prípravu efektívnych opatrení je však dôležité poznať **podiel rôznych zdrojov** na znečistení ovzdušia a na **priestorovom rozložení znečistenia**. Tento druh informácie nie je možné získať priamo meraním. Je výstupom matematického modelovania. Ďalší dôvod pre použitie matematického modelovania je odhad účinnosti opatrení na zlepšenie kvality ovzdušia.

V nasledujúcom texte sú popísané výstupy, ktoré môžeme od modelovania kvality ovzdušia očakávať a ako ich interpretovať. Krátky popis nastavenia modelu a požiadaviek na vstupné údaje sú uvedené v prílohe tohto dokumentu. .

Priestorové zhodnotenie kvality ovzdušia

Prvým z výstupov modelovania kvality ovzdušia sú mapy koncentrácií základných znečisťujúcich látok pre tie znečisťujúce látky, ktoré prekračujú limitné/cieľové hodnoty. Mapy obsahujú izočiaru/izoplochy priemerných ročných koncentrácií. Účelom je určiť polohy oblastí s najhoršou kvalitou ovzdušia v danej výpočtovej doméne. Pri posudzovaní týchto výstupov z hľadiska maximálnych koncentrácií znečisťujúcich látok je potrebné zamerať sa na miesta s hustejším osídlením a infraštruktúrou, ktorá podmieňuje možnú expozíciu obyvateľstva (školy, nákupné centrá, atď.). Príklad takého výstupu je znázornený na Obr. 1.





Obr. 1 Priemerné ročné koncentrácie PM_{10} (vľavo hore), $PM_{2,5}$ (vpravo hore) a NO_2 (vľavo dole) v roku 2017 v Ružomberku. Výstup modelovania s vysokým rozlíšením (model CALPUFF, priestorové rozlíšenie 250m).

Model poskytuje primárne výpočet krátkodobých (hodinových) koncentrácií znečisťujúcich látok. Tento druh výstupu závisí predovšetkým od kvality emisných vstupov a je zaťažený najväčšou chybou. Preto sa pri hodnotení kvality ovzdušia využíva len v obmedzenej miere, napr. na získanie lepšieho obrazu o vývoji prípadných epizód extrémne vysokých koncentrácií, ak sa také vyskytnú. Najvyužívanejším produktom modelovania sú štatisticky spracované polia koncentrácií, a to hlavne priemerné ročné hodnoty, ktoré sú aj najrezistentnejšie voči chybám rôzneho pôvodu a dávajú pri validácii voči hodnotám na monitorovacích staniciach najlepšiu zhodu. V prípade PM_{10} sa tiež využívajú výstupy v podobe počtu prekročení priemerných denných hodnôt.

Príspevky jednotlivých druhov zdrojov k celkovým koncentráciám

Príspevky jednotlivých druhov zdrojov k celkovým koncentráciám znečisťujúcich látok sú tým výstupom modelovania, ktorý tvorí pri správnej interpretácii podklad pre návrh opatrení na zlepšenie kvality ovzdušia.

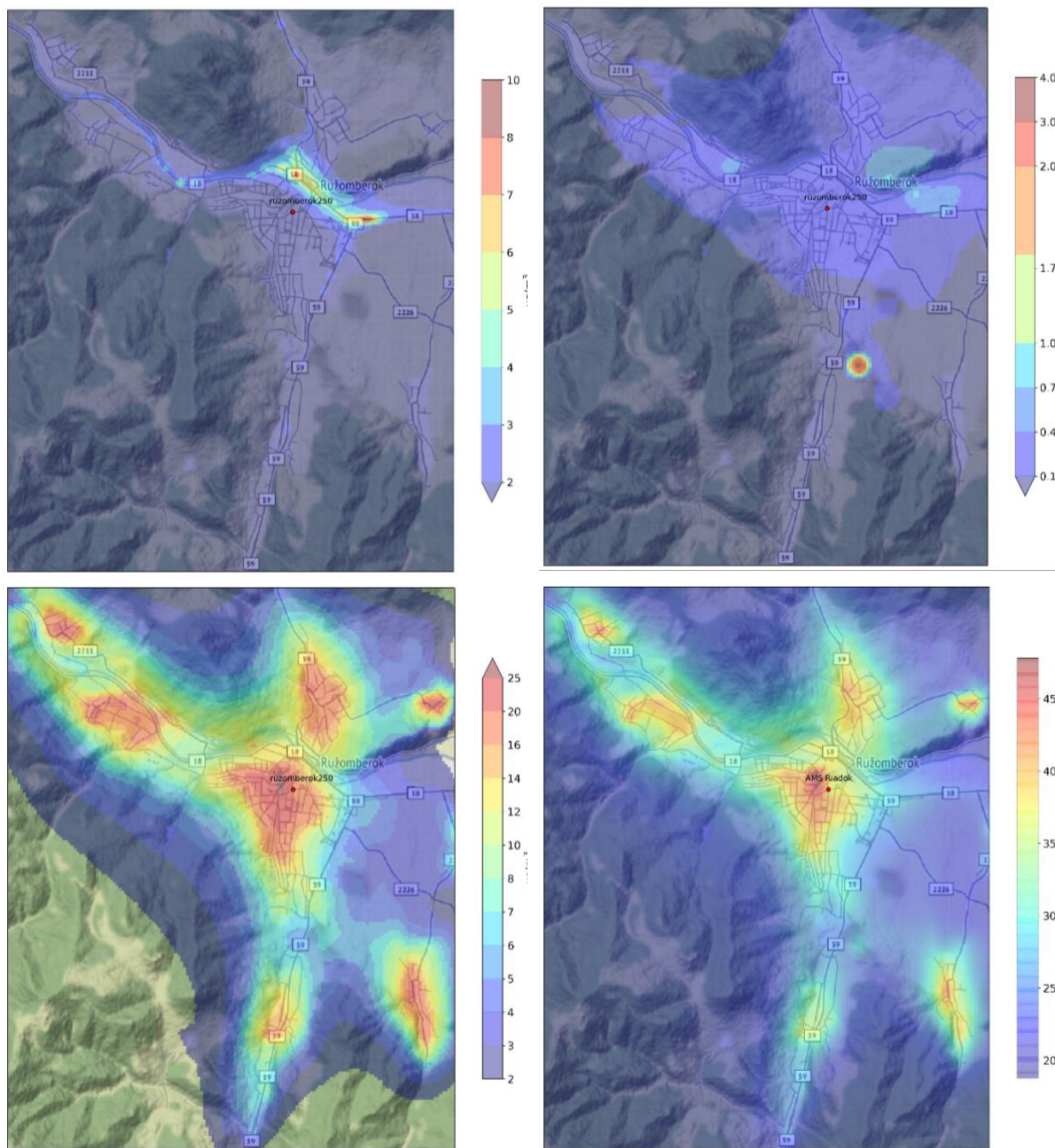
Matematické modelovanie pre potreby programov na zlepšenie kvality ovzdušia sa obvykle uskutočňuje oddelene pre 3 typy zdrojov:

1. priemysel (veľké zdroje a stredné zdroje)
2. cestná doprava a
3. vykurovanie domácností.

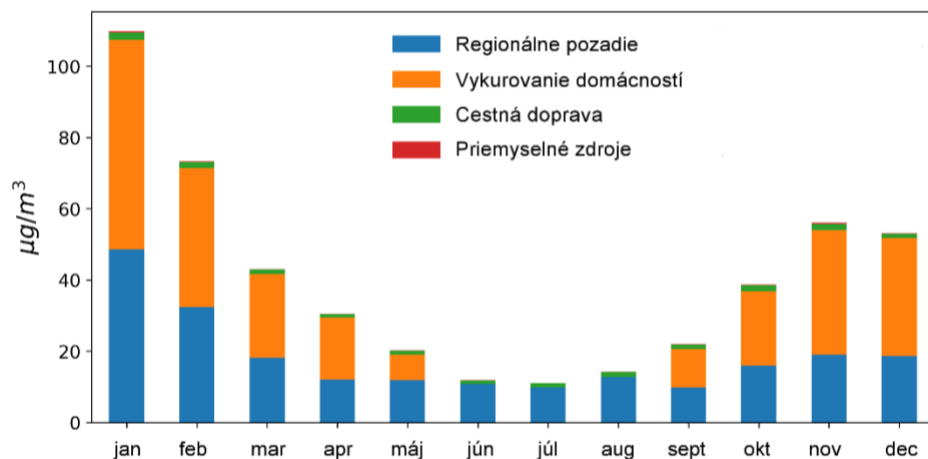
Znečistenie ovzdušia, ktoré sa do výpočtovej domény dostáva z iných oblastí je vo výstupoch označené ako regionálne pozadie. Výstupy sú k dispozícii vo forme máp priemerných ročných príspevkov k celkovým koncentráciám (Obr. 2) a grafov znázorňujúcich priemerné denné (Obr. 4) a mesačné príspevky (Obr. 3) od uvedených typov zdrojov znečisťovania ovzdušia v nejakých špecifických bodoch výpočtovej domény – obyčajne v miestach monitorovacích staníc.

Pri interpretácii výstupov modelovania je vždy potrebné zobrať do úvahy priestorové rozlíšenie modelu a rok, pre ktorý bolo modelovanie vykonané (vždy sú použité emisné a meteorologické vstupné údaje pre konkrétny rok) - niektoré roky môžu byť z hľadiska určitých znečisťujúcich látok nepriaznivejšie (napr. rok 2003 pre O_3 , rok 2017 pre PM a benzo(a)pyrén). Aj vzhľadom na inherentné neurčitosti spojené s výsledkami modelovania je pri interpretácii výsledkov dôležité skôr relatívne rozloženie

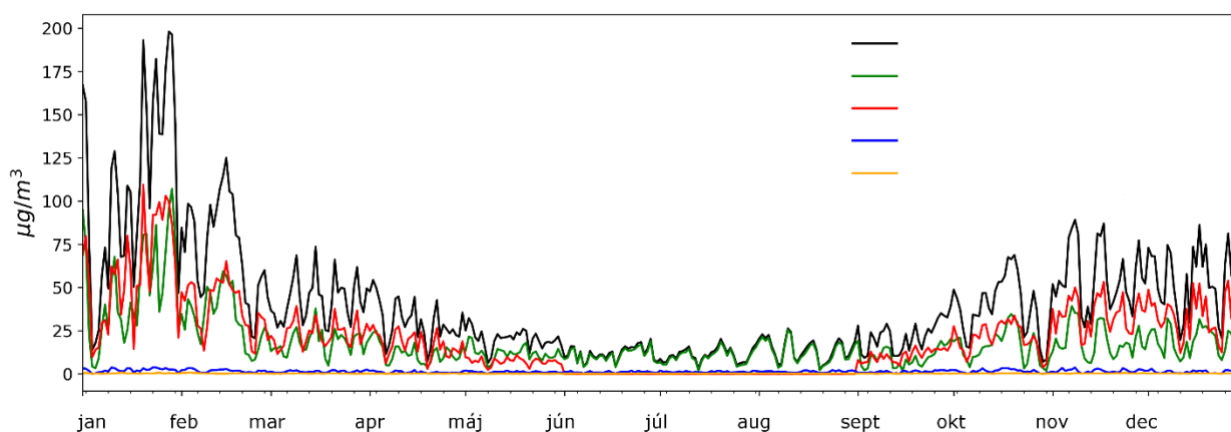
koncentrácií v priestore (napr. lokalizácia maximálnych koncentrácií – tzv. hot-spotov) a relatívne podiely jednotlivých zdrojov, ako absolútne hodnoty modelovaných koncentrácií.



Obr. 2 Priemerné ročné koncentrácie PM₁₀ v roku 2017 v Ružomberku. Príspevok od cestnej dopravy (vľavo hore), priemyselných a energetických zdrojov (vpravo hore), vykurovania domácností (vľavo dole) a celkové koncentrácie (vpravo dole).



Obr. 3 Priemerné mesačné príspevky rôznych skupín zdrojov k celkovým koncentráciám PM₁₀ na monitorovacej stanici Ružomberok, Riadok v roku 2017.



Obr. 4 Priemerné denné príspevky rôznych skupín zdrojov k celkovým koncentráciám PM₁₀ na monitorovacej stanici Ružomberok, Riadok v roku 2017. Výstup modelovania s vysokým rozlíšením (model CALPUFF)

Odhad účinnosti opatrení

Ak je medzi vstupmi od spracovateľa, resp. navrhovateľa opatrení aj **odhad poklesu emisií** po realizácii jednotlivých opatrení, je medzi výstupmi modelovania kvality ovzdušia pre potreby programov na zlepšenie kvality ovzdušia aj odhad účinnosti opatrení v podobnej forme ako pri analýze východiskového stavu (mapy s izočiarami príspevkov jednotlivých druhov zdrojov pre priemernú ročnú koncentráciu a grafy priemerných mesačných príspevkov pre zvolené referenčné body). Toto modelovanie sa realizuje za predpokladu existencie rovnakých meteorologických podmienok ako pri modelovaní východiskového stavu. Preto je pri interpretácii výsledkov potrebné túto skutočnosť brať do úvahy.

Literatúra

- [1] 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 11.8.20.
- [2] Scire, J.S., Strimaitis, D.G. and Yamartino, R.J.: A User's Guide for the CALPUFF Dispersion Model, Earth Tech, Inc., Concord, MA.
- [3] Scire, J.S., Robe, F.R., Fernau, M.E. and Yamartino, R.J.: A User's Guide for the CALMET. Meteorological Model, Earth Tech, Inc., Concord, MA.

Príloha A: Konfigurácia modelov kvality ovzdušia a požiadavky na vstupné dáta

Charakteristika a oblasti použitia rôznych matematických modelov

Matematické modely sú priblížením fyzikálnej reality. Táto fyzikálna realita je charakterizovaná komplexnými matematickými vzťahmi pričom nie je reálne v jednom modeli zahrnúť súčasne rozsiahle územia s vysokým priestorovým a časovým rozlíšením a pokrytím fyzikálnych a chemických procesov od veľkoškálových po mikroškálové. Preto sa na rôzne účely používajú rôzne modely v závislosti od požadovaných vlastností výstupov (priestorové pokrytie územia, časové a priestorové rozlíšenie, dostupnosť adekvátnych vstupných emisných a meteorologických dát, požiadavky na určenie pôvodu znečistenia, a pod.)

Medzi výhody matematického modelovania kvality ovzdušia v porovnaní s meraním patrí lepšie priestorové pokrytie, zatiaľ čo merania na konkrétnom mieste majú obmedzenú priestorovú reprezentatívnosť. Pri interpretácii výsledkov modelov je však potrebné zohľadniť priestorové rozlíšenie modelu a počítať s nižšou presnosťou, než je tá, ktorú poskytuje meranie. Modelovanie môže ponúknuť aj usúvzťažnenie (uviedenie do vzájomného vzťahu) s faktormi, ktoré majú podiel na zhoršenej kvalite ovzdušia (procesy v atmosfére a s tým súvisiace meteorologické podmienky, poloha a charakteristiky zdrojov). Keďže je množstvo problémov, ktoré sa týkajú kvality ovzdušia v rôznych podmienkach a v rozličných priestorových mierkach, je aj množstvo matematických modelov, ktoré sú vhodné na riešenie jednotlivých úloh.

Niektoré matematické modely, tzv. **deterministické**, potrebujú ako vstup informácie o meteorologických podmienkach, podrobné údaje o priestorovom a časovom rozložení emisií, vlastnostiach a tvare terénu a tiež údaje o znečistení, ktoré prichádza z iného regiónu (mimo modelovej domény). Tieto modely sú pri dobrej kvalite vstupných údajov schopné odhadnúť aj pôvod znečistenia v danej lokalite počas modelovaného obdobia. Keďže problematika je komplikovaná, existuje niekoľko druhov modelov, ktoré vychádzajú z rôznych zjednodušujúcich predpokladov. Jednou z charakteristík, ktorú je pri výbere modelu potrebné zobrať do úvahy v prvom rade, je priestorové rozlíšenie výstupov, ktoré model poskytuje. Medzi často využívané deterministické modely patria tzv. chemicko-transportné modely (používané najčastejšie pre väčšie územia), lagrangeovské modely (napr. CALPUFF, ktorý je možné využívať na modelovanie malých území s vysokým rozlíšením pri zohľadnení komplexného terénu), jednoduchšie gaussovské modely, alebo kombinácie viacerých prístupov.

Interpolačné modely vychádzajú z meraní a na miestach, kde meranie nie je dostupné, dopĺňajú informáciu na základe kombinácie pomocných údajov (údaje o využití krajiny, nadmorskej výške, hustote a druhu zástavby, hustote osídlenia, atď.) Tieto modely sú cenným prostriedkom pri hodnotení kvality ovzdušia, nedajú sa však použiť pri určení pôvodu znečistenia.

Receptorové modely spracovávajú výsledky podrobných chemických analýz zloženia prachových častíc s cieľom určiť z akých zdrojov znečistenia v čase merania (odberu vzoriek) pochádzalo, resp. akými faktormi bolo ovplyvnené. Tieto modely však nie sú schopné odhadnúť účinnosť navrhovaných opatrení na zlepšenie kvality ovzdušia.

Pri príprave podkladov pre programy na zlepšenie kvality ovzdušia sa využíva kombinácia regionálneho chemicko-transportného modelu pre analýzu kvality ovzdušia v rozsahu celej zóny a lokálneho modelu s vysokým rozlíšením, so zohľadnením komplexného terénu.

Nastavenie výpočtovej domény a priestorové rozlíšenie

Súčasťou matematického modelovania kvality ovzdušia je vytýčenie oblasti, ktorej sa modelovanie bude venovať (výpočtová doména) a príslušného priestorového rozlíšenia. Výpočtová doména predstavuje v prípade programov na zlepšenie kvality ovzdušia celú zónu, a priestorové rozlíšenie použitého regionálneho modelu je obvyčajne 1-2 km. Pre jednotlivé oblasti riadenia kvality ovzdušia výpočtová doména zahŕňa mestá či obce, priestorové rozlíšenie je obvykle 100 – 500 m, v závislosti od členitosti terénu a veľkosti oblasti. Informácie o koncentráciách mimo domény ORKO sa použijú z regionálneho modelu, prípadne v kombinácii s meraniami z pozad'ových monitorovacích staníc.

Vstupné údaje pre modelovanie kvality ovzdušia pre potreby programov na zlepšenie kvality ovzdušia

Nevyhnutnými vstupnými údajmi pre modelovanie kvality ovzdušia pre potreby programov na zlepšenie kvality ovzdušia sú meteorologické a emisné údaje (časovo premenlivé polia) a charakteristika terénu.

Charakteristika terénu

Medzi základné vstupné informácie pri modelovaní kvality ovzdušia patrí popis terénu (orografia) a údaje o vlastnostiach povrchu a využití krajiny (mestská zástavba, druh vegetácie, atď.).

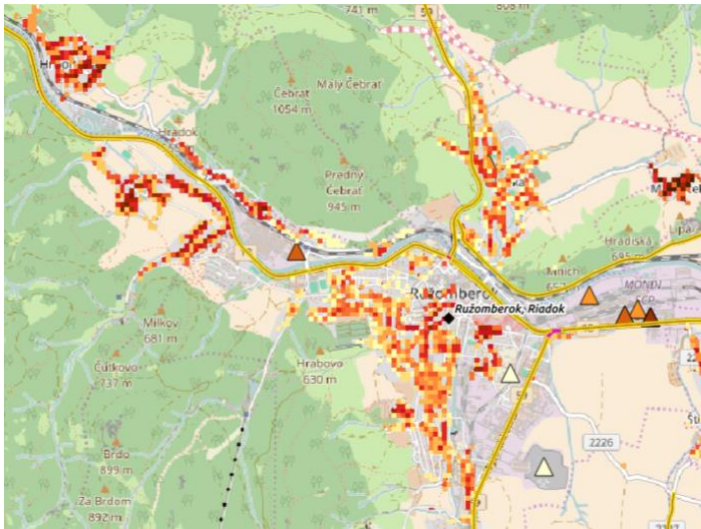
Meteorologické údaje

Ďalšími dôležitými údajmi sú polia meteorologických veličín, napr. smeru a rýchlosti vetra, teploty a vlhkosti vrátane vertikálneho profilu v niekoľkých výškových hladinách. Tieto údaje sú pre model CALPUFF produkované meteorologickým diagnostickým modelom CALMET [ref.] na základe meraní, alebo výstupu z iného meteorologického modelu s väčším priestorovým krokom. V prípade modelu CALPUFF priestorové rozlíšenie meteorologických dát určuje priestorové rozlíšenie výstupov modelu kvality ovzdušia.

Emisie

Presnosť emisných dát podstatným spôsobom ovplyvňuje presnosť výsledku modelovania. Emisnými vstupmi pre modelovanie kvality ovzdušia sú emisné toky vrátane ich časových profilov (emisie väčšiny zdrojov sa časom menia, typickým príkladom sú dopravné špičky zvýšenej intenzity cestnej dopravy, či priebeh vykurovania v závislosti od teploty ovzdušia v chladnom polroku), parametre zdrojov (poloha a výška komínov a plocha ústia), charakteristiky miesta vypúšťania emisií a teplota a rýchlosť spalín. Od týchto veličín v kombinácii s meteorologickými podmienkami v okolí zdrojov závisí aj tepelný vznos, ktorý je jedným z faktorov, ovplyvňujúcich to (do akej vzdialenosti) ako sa znečisťujúce látky rozptyľujú

Určenie emisií je obvykle najproblematickejšou časťou prípravy vstupných údajov, keďže je potrebné určiť polohu aj emisné toky všetkých druhov zdrojov v doméne. Priestorové rozloženie emisných vstupov pre modelovanie s vysokým rozlíšením ilustruje Obr. 5. Stredné a veľké zdroje sú evidované v národnom emisnom informačnom systéme NEIS a v modelovaní kvality ovzdušia sú reprezentované obvykle ako bodové zdroje - lokalizované komíny či výduchy, prípadne plošné alebo objemové zdroje pri fugitívnych emisiách. Cestná doprava je pri modelovaní reprezentovaná ako líniový zdroj, emisie sa počítajú na základe informácií o intenzite dopravy, meteorologických podmienok (napríklad emisie pri studenom štarte), zložení vozového parku a stavu vozoviek.



Obr. 5 Emisné vstupy pre modelovanie kvality ovzdušia s vysokým rozlíšením na výseku z výpočtovej domény. (Trojuholníky predstavujú stredné a veľké zdroje, farebné plošky predstavujú malé zdroje - vykurovanie domácností, ich rozmer je min. 50 m, a sú výstupom emisného modelu REM2 (ref), žltou líniou sú vyznačené cesty, ktorých emisie sú zahrnuté do modelovania)

Najproblematickejšie je určenie emisií z malých zdrojov – vykurovania domácností. Na Slovenskom hydrometeorologickom ústave bol vyvinutý emisný model na prípravu emisných vstupov pre modelovanie kvality ovzdušia s vysokým rozlíšením [1] Pre získanie čo najpresnejších emisných vstupov pomocou tohto modelu sú potrebné podrobné informácie o druhu a spotrebe palív a druhu používaných vykurovacích zariadení.

Pre modelovanie **účinnosti opatrení** na zlepšenie kvality ovzdušia je potrebné určiť, **ako sa zmenia emisie po prijatí navrhovaných opatrení**, čo je komplikovaná úloha. Tieto údaje sú však nevyhnutné. Je potrebné ich odhadnúť už pri návrhu opatrení. Pokiaľ ich navrhovateľ opatrení nevie kvantifikovať, mal by sa v tomto smere obrátiť na kvalifikované subjekty v danej oblasti.