

*Podklady pre
Program na
zlepšenie kvality
ovzdušia*

*zóna
Banskobystrický kraj*

verzia 4

Jana Krajčovičová

Dušan Štefánik

Vladimír Nemček

Juraj Beňa

Jana Matejovičová

SHMÚ, Bratislava, november 2021

Obsah

1	ÚVOD	2
2	ZODPOVEDNÉ ORGÁNY	2
3	ZÁKLADNÉ INFORMÁCIE O ÚZEMÍ ZÓNY	2
3.1	Charakteristiky ovplyvňujúce prúdenie vzduchu a rozptylové podmienky	2
3.2	Obyvateľstvo a ekosystémy	3
3.3	Zdroje emisií.....	4
3.3.1	Veľké a stredné zdroje znečisťovania (priemysel a energetika)	5
3.3.2	Cestná doprava	6
3.3.3	Vykurovanie domácností.....	6
4	HODNOTENIE ZNEČISTENIA OVZDUŠIA V ZÓNE	8
4.1	Relevantné znečisťujúce látky.....	8
4.2	Výsledky monitoringu kvality ovzdušia	8
4.3	Výsledky modelovania a analýza situácie	9
4.3.2	Analýza príspevkov jednotlivých skupín zdrojov k celkovým koncentráciám v oblastiach riadenia kvality ovzdušia 11	
4.3.2.1	Banská Bystrica	12
4.3.2.1.1	Prachové častice PM ₁₀ a PM _{2,5}	12
4.3.2.1.2	Benzo(a)pyrén – BaP	15
4.3.2.2	Jelšava	17
4.3.2.2.1	Prachové častice PM ₁₀ a PM _{2,5}	17
4.3.2.2.2	Benzo(a)pyrén – BaP	20
5	ANALÝZA SITUÁCIE - ZÁVERY	22
	Príloha 1: Charakteristiky monitorovacích staníc kvality ovzdušia	24
	Príloha 2: Hodnotenie na základe meraní kvality ovzdušia	25
	Príloha 3: Modelovanie Kvality ovzdušia	27
	Použité modelové nástroje	27
	Interpolačno-regresný model RIO.....	27
	IDW-R	27
	Popis metódy na určenie rizikových oblastí.....	28
	Určenie rizikových obcí ohrozených lokálnym vykurovaním a zhoršenými rozptylovými podmienkami v zime ...	28
	Lokálne modelovanie - CALPUFF.....	30
	Parametre modelovanej domény a zdroje dát	30
	Validácia výsledkov modelovania v miestach monitorovacích staníc	30
	Príloha 4: Výsledky vzorkovania PM častíc v Jelšave	32

1 ÚVOD

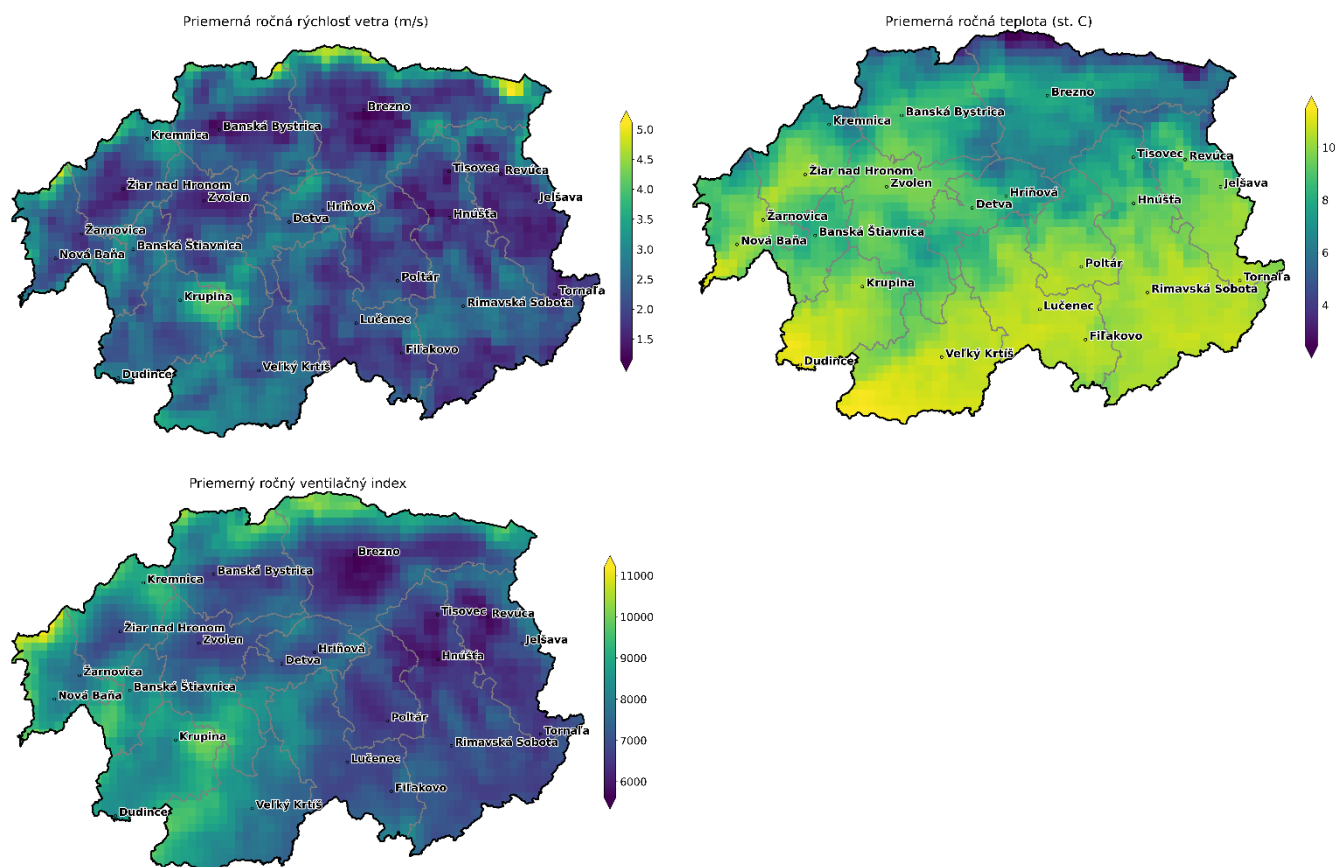
2 ZODPOVEDNÉ ORGÁNY

3 ZÁKLADNÉ INFORMÁCIE O ÚZEMÍ ZÓNY

3.1 Charakteristiky ovplyvňujúce prúdenie vzduchu a rozptylové podmienky

Z hľadiska rozptylu znečisťujúcich látok v ovzduší sú najrelevantnejšími meteorologickými parametrami smer a rýchlosť vetra a teplotné zvrstvenie atmosféry. Teplota prízemnej vrstvy atmosféry v zimnom období je tiež dôležitým parametrom podmieňujúcim emisie znečisťujúcich látok z lokálnych kúrenísk. Obr. 1 obsahuje mapky rozloženia priemerných ročných klimatických charakteristík vypočítaných meteorologickým modelom ALADIN s priestorovým rozlíšením 2 km (rok 2020).

Veterné pomery oblasti sú vo veľkej miere ovplyvňované členitosťou terénu. Povrch Banskobystrického kraja je prevažne hornatý, pričom väčšina sídiel sa nachádza v kotlinách, ktoré sa vyznačujú nízkymi rýchlosťami vetra a častými teplotnými inverziami najmä v zimnom období. Významnými kotlinami v kraji sú Zvolenská kotlina, Juhoslovenská kotlina, Žiarska kotlina, Horehronské podolie a Pliešovská kotlina. Sever kraja lemujú vyššie pohoria - Nízke Tatry a výbežky Veľkej Fatry, ktoré sú riedko osídlené. Centrálnu časť kraja tvoria horské oblasti so stredne vysokými pohoriami – Pohronský Inovec, Vtáčnik, Kremnické vrchy, Štiavnické vrchy, Krupinská planina, Poľana a Slovenské rudohorie. Osídlenia v nich sa koncentrujú prevažne v dolinách a údoliach pozdĺž riek a v bývalých banských centrách. Na juhu je nižšie pohorie Cerová vrchovina, s riedkym osídlením pri hranici s Maďarskom.

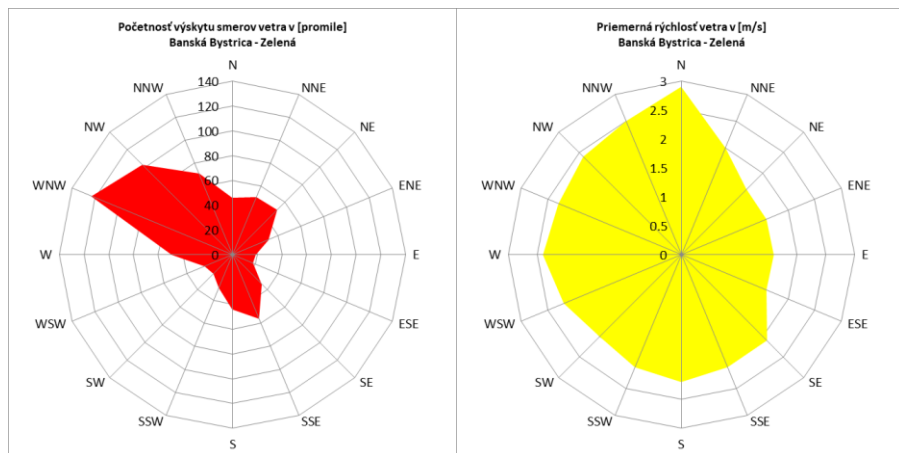


Obr. 1 Rozloženie priemernej ročnej rýchlosti vetra (vľavo hore), teploty (vpravo hore) a ventilačného indexu (vľavo dole) v zóne Banskobystrický kraj

Na mapkách je vidno dobre ventilované hrebene hôr kontrastujúce so slabovo ventilovanými horskými dolinami, v ktorých sa nachádza väčšina sídiel.

Prevládajúci smer vetra je na rôznych miestach v rámci zóny značne variabilný a závisí od interakcie základného veľko-rozmerového prúdenia s lokálnym terénom. V rôznych lokalitách sa budú prevládajúce smery vzájomne líšiť a budú

dané hlavne orientáciou hrebeňov a s nimi súvisiacich dolín. Ako príklad je na Obr. 2 uvedená veterná ružica z meraní na meteorologickej stanici v Banskej Bystrici. Početnosť bezvetria na stanici Banská Bystrica, Zelená je 23 %. Priemerná rýchlosť vetra za desaťročné obdobie 2011-2020 bola 0,9 m/s, čo sú hodnoty charakteristické pre predpoklad nepriaznivých rozptylových podmienok. Tvar veternej ružice sa bude v rôznych dolinách a kotlinách zóny meniť v závislosti od orientácie, vo väčšine z nich sa však dajú očakávať podobné nízke priemerné rýchlosti vetra, a teda aj zhoršené rozptylové podmienky, čo nakoniec dokumentujú aj mapy na Obr. 1.



Obr. 2 Početnosť výskytu jednotlivých smerov a rýchlostí vetra na stanici Banská Bystrica, Zelená za roky 2011-2020. Výskyt bezvetria bol 23%.

3.2 Obyvateľstvo a ekosystémy

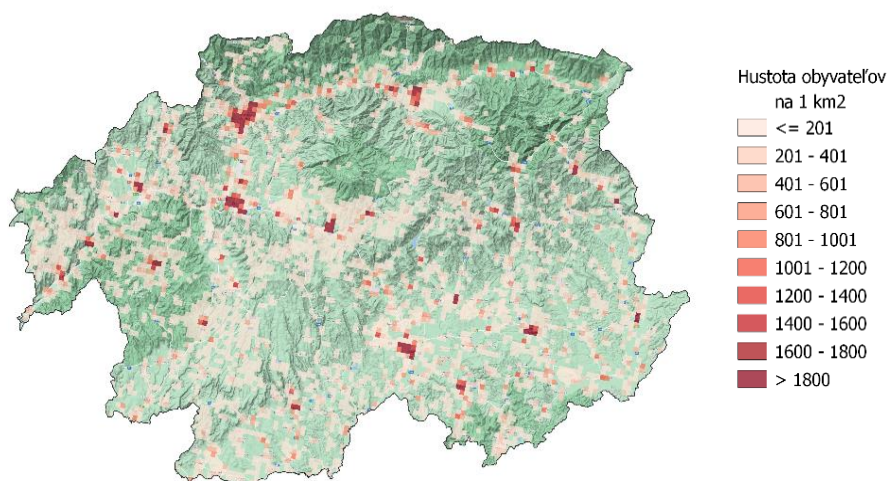
Kvalitu ovzdušia posudzujeme z dôvodu ochrany zdravia obyvateľstva a ekosystémov.

Banskobystrický kraj je z hľadiska rozlohy najväčším krajom na Slovensku, s najnižšou priemernou hustotou obyvateľstva. V tomto kraji sa nachádza 24 miest.

Podľa informácií zo štatistického úradu SR má Banskobystrický kraj 643 102 obyvateľov (stav k 31.12.2020).

Obr. 3 znázorňuje relatívne priestorové rozloženie hustoty obyvateľstva na území zóny.

Obr. 3 Rozloženie hustoty obyvateľstva v zóne Banskobystrický kraj (2018, zdroj: EUTOSTAT)



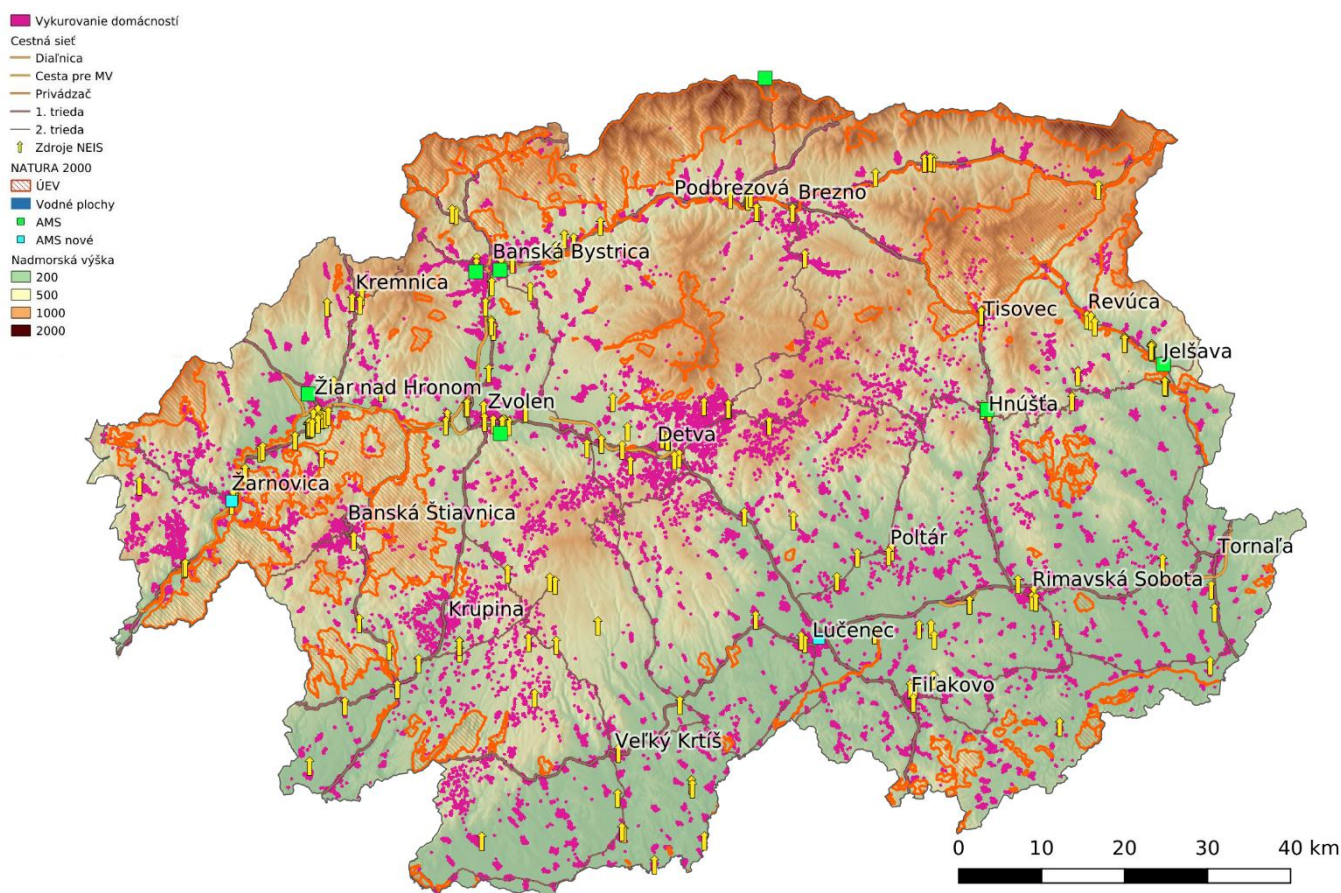
Na území kraja sa nachádzajú Územia európskeho významu (ÚEV) a Chránené vtáčie územia (CHVÚ), patriace do sústavy NATURA 2000. Tieto územia sú určené na ochranu a zachovanie vzácnych ekosystémov a organizmov významných z európskeho hľadiska, a sú vyznačené na mape (Obr. 4) spolu s rozmiestnením najrelevantnejších zdrojov znečistenia ovzdušia.

V súčasnej dobe sa za najrizikovejšie látky vplyvajúce na ekosystémy považujú NO_x a SO_2 , ktoré spôsobujú acidifikáciu a eutrofizáciu prostredia, zmeny druhového zloženia vegetácie, stratu citlivých druhov, znižovanie schopnosti odolávania biotickému aj abiotickému stresu či homogenizáciu vegetácie. Medzi najcitlivejšie organizmy na depozíciu dusíka patria niektoré druhy lišajníkov. Depozícia dusíka je považovaná za hlavné riziko pre stratu biodiverzity na veľkom území v Európe (Nordin a kol, 2011, Dise a kol, 2011). Citlivé sú predovšetkým na živiny chudobné biotopy ako rašeliniská, vresoviská, slaniská či vodné ekosystémy. Riziko pre rastliny závisí od schopnosti tolerancie (špecifické pre daný druh porastu), koncentrácie v okolitom ovzduší a dĺžke expozície. Vplyv na vegetáciu sa očakáva predovšetkým v tesnom okolí (niekoľko desiatok metrov) frekventovaných ciest (Gadsdon a Power 2009, Will-Wolf 1980). Efekt vplyvu znečistenia ovzdušia na ekosystémy môže byť navyše zosilnený aj depozíciou SO_2 a NO_x z veľkých priemyselných zdrojov znečistenia.

3.3 Zdroje emisií

Emisie predstavujú množstvo znečisťujúcej látky, ktoré bolo uvoľnené do prostredia (v tomto prípade do ovzdušia) za určitý čas. Pre účely vypracovania Programu na zlepšenie kvality ovzdušia si zdroje emisií rozdelíme nasledovne:

- Veľké a stredné priemyselné zdroje a zdroje na výrobu tepla a elektrickej energie, evidované v databáze NEIS
- Vykurovanie domácností – lokálne kúreniská
- Cestná doprava



Obr. 4 Mapa Banskobystrického kraja s relevantnými zdrojmi emisií, s vyznačenými územiaми NATURA 2000 (Chránené vtáčie územia a Územia Európskeho významu) a automatickými monitorovacími stanicami kvality ovzdušia.

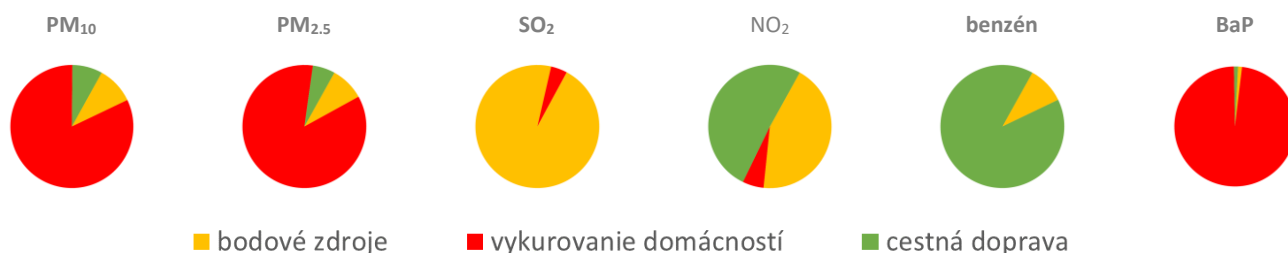
Zdroje súvisiace s vykurovaním sú sezónne. Cestná doprava a väčšina veľkých a stredných zdrojov sú celoročnými zdrojmi. Rôzne stavebné práce sú najťažšie definovanými zdrojmi, pretože sú veľmi premenlivé, trvajú obmedzený čas,

sú rôzneho rozsahu a zahŕňajú celú škálu aktivít od ťažkej dopravy, využívania stavebných mechanizmov, búracie a výkopové práce, atď. Pre nedostatok informácií nie sú tieto zdroje zahrnuté v tejto analýze.

V rámci zóny sú najdôležitejšími zdrojmi znečisťovania lokálne kúreniská využívajúce tuhé palivo. V jednotlivých lokalitách, obzvlášť vo väčších mestách, sú zdroje viac lokalizované. V závislosti od miesta má často značný význam aj doprava. Príkladom je mesto Banská Bystrica, ktoré je zároveň aj jednou z oblastí riadenia kvality ovzdušia.

Obr. 5 a Tab. 1 zobrazujú emisie jednotlivých skupín zdrojov a vybraných zdrojov NEIS.

Z hľadiska emisií PM a benzo(a)pyrénu je hlavným zdrojom vykurovanie domácností nepripojených na centrálny zdroj vykurovania a v oveľa menšej miere doprava a priemyselné zdroje. Cestná doprava má vysoký podiel aj na emisiách NO₂ a benzénu. Naopak, hlavným zdrojom emisií SO₂ je priemysel a energetika. V rozptyle znečisťujúcich látok však hrá dôležitú úlohu aj výška, v ktorej sú emisie vypúšťané. Z lokálneho hľadiska majú na koncentrácie v ovzduší väčší dopad priestorovo rozložené emisie vypúšťané do ovzdušia nízko nad zemou, než emisie z vysokých komínov.



Obr. 5 Porovnanie emisií z rôznych zdrojov v zóne Banskobystrický kraj (bodové zdroje zahŕňajú zdroje NEIS).

Tab. 1 Porovnanie emisií veľkých a stredných zdrojov, vykurovania domácností a cestnej dopravy v Banskobystrickom kraji (rok 2019).

	PM ₁₀ (t)	PM _{2,5} (t)		NO ₂ (t)		SO ₂ (t)
Vykurovanie domácností	2 951	2 881	Vykurovanie domácností	420	Vykurovanie domácností	137
Cestná doprava	284	198	Cestná doprava	3852	Cestná doprava	6
Priemyselné zdroje a energetika	354	301	Priemyselné zdroje a energetika	3 302	Priemyselné zdroje a energetika	3 052
Prevádzkovateľ			Prevádzkovateľ		Prevádzkovateľ	
Slovalco, a.s.	132	118	Slovenské magnezitové závody, a.s, Jelšava	743	Slovalco, a.s.	2 039
Energy Edge ZC	19	18	Slovalco, a.s.	498	Knauf Insulation, s.r.o.	385
Veolia Utilities Žiar nad Hronom, a.s.	14	13	ECOSTART	222	ECOSTART	173
STEFE ECB, s.r.o.	14	13	Železiarne Podbrezová a.s.	178	Zvolenská teplárenská a.s.	138
Nemak Slovakia s.r.o.	12	9	Veolia Utilities Žiar nad Hronom, a.s.	168	Veolia Utilities Žiar nad Hronom, a.s.	61
BYTES, s.r.o.	10	9	KRONOSPAN, s.r.o.	142	Slovenské magnezitové závody, a.s, Jelšava	58
JT - PARTNER, s.r.o.	10	9	Zvolenská teplárenská a.s.	137	SLOVMAG, a.s. Lubeník	54
Zvolenská teplárenská a.s.	9	8	Energy Edge ZC	135	VUM, a.s.	39
Hriňovská energetická, s.r.o.	8	7	SLOVMAG, a.s. Lubeník	119	Železiarne Podbrezová a.s.	26
BUČINA ZVOLEN, a.s.	8	7	BUČINA ZVOLEN, a.s.	92	Bioplyn Budča spol. s r.o.	11
Ostatné bodové zdroje	118	90	Ostatné bodové zdroje	868	Ostatné bodové zdroje	68

Spoločným problémom emisií z dopravy a lokálnych kúrenísk je vysoká neistota zahrnutá v odhadovaných emisných tokoch. Mapa hlavných zdrojov znečisťovania v zóne Banskobystrický kraj je na Obr. 4. Na mape sú zobrazené iba tie zdroje, ktoré je možné kvantifikovať s dostatočne vysokým priestorovým rozložením, pričom neobsahuje prírodné zdroje ani zdroje z poľnohospodárstva.

3.3.1 Veľké a stredné zdroje znečisťovania (priemysel a energetika)

Ide o bodové zdroje, ktoré sú registrované v databáze NEIS. Možno ich rozdeliť na komíny, výduchy a fugitívne zdroje, (napr. úniky z netesností technologických rozvodov alebo nádrží, napr. pri čistení odpadových vôd).

V Tab. 1 je samostatne uvedených niekoľko najväčších priemyselných zdrojov znečisťovania v porovnaní s emisiami z vykurovania domácností a z cestnej dopravy.

Jednou z hlavných charakteristík zdroja znečisťovania je emisný tok (emisie za jednotku času). Ďalšími charakteristikami, ktoré sa rozhodujúcou mierou podieľajú na rozptyle znečisťujúcich látok v ovzduší sú parametre komínov – výška a priemer komína, teplota a rýchlosť spalín. Častým problémom emisných vstupov sú neúplné údaje o charakteristikách komínov/výduchov a nepresné súradnice. Parametre bodových zdrojov a spalín vstupujúce do modelov kvality ovzdušia, sú prevzaté z databázy NEIS, niektoré z nich boli dodatočne upresnené prevádzkovateľmi zdrojov.

3.3.2 Cestná doprava

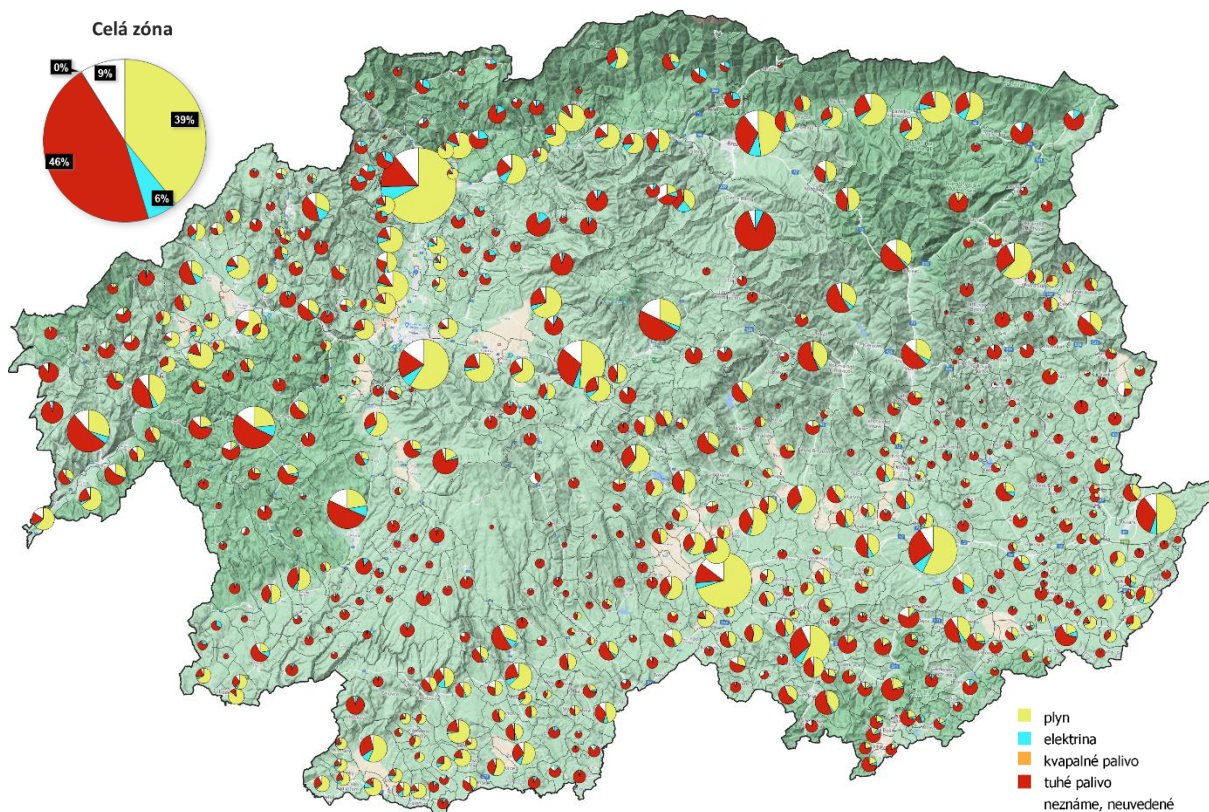
Emisie z cestnej dopravy zahŕňajú emisie z výfukov, oterov brzd a pneumatík, abráziu vozovky a resuspenziu prachových častíc z povrchu vozoviek. Na ich výpočet sa používa emisný model, ktorý počíta emisie na základe intenzít dopravy na jednotlivých cestných komunikáciách, zloženia vozového parku, emisných faktorov pre jednotlivé kategórie vozidiel a odhadovaných časových profilov.

Ako vstup pre modelovanie emisií boli použité dáta s intenzitou dopravy pre základné kategórie vozidiel z roku 2015 škálované na intenzity pre modelový rok. Dopravné intenzity sú alokované na jednotlivé cestné úseky v rámci modelovaných oblastí. Pre samotný výpočet emisií z výfukov a oterov boli využité emisné faktory publikované Európskou enviromentálnou agentúrou v EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2016. Pre výpočet resuspenzie bola použitá metodika EPA AP-42.

3.3.3 Vykurovanie domácností

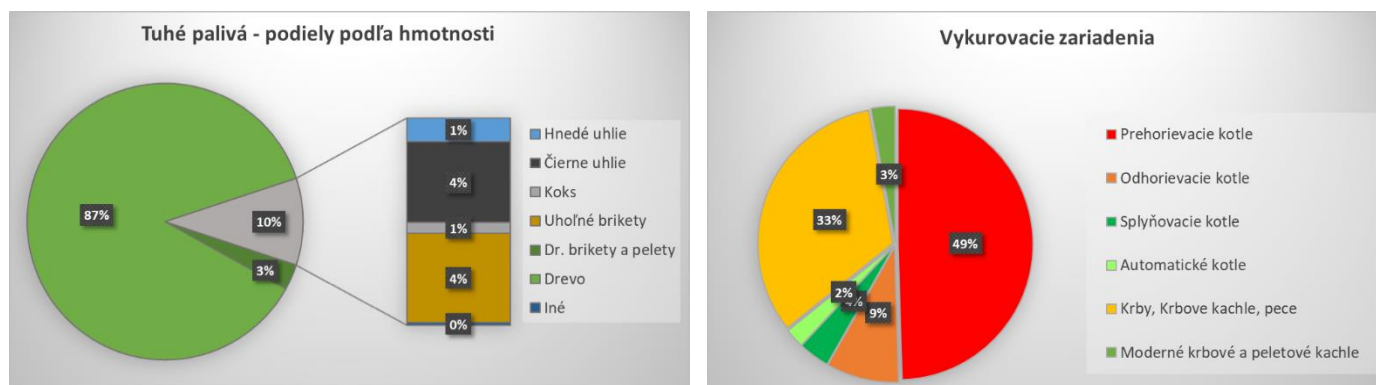
Emisie z vykurovania domácností sú vypočítané emisným modelom REM_v2 (Krajčovičová a kol., 2020), ktorý počíta emisie s priestorovou presnosťou na úrovni základných sčítacích jednotiek a priestorovo ich distribuuje na oblasti osídlené rodinnými a bytovými domami. Výsledným produktom sú objemové zdroje emisií horizontálneho rozmeru 50m x 50m a s priemernou výškou budov v príslušnom štvorci (údaje na základe ZBGIS).

Ako už bolo spomenuté vyššie, údaje o vykurovaní bytov a domov, ktoré nie sú napojené na centrálny zdroj vykurovania, a teda nespĺňajú parametre stredného zdroja NEIS, sú veľkým zdrojom neistôt, pretože okrem údajov zo Sčítania obyvateľov, domov a bytov 2011 (ďalej len sčítanie) neexistuje žiadna systematická databáza s údajmi o tomto dôležitom zdroji emisií. Okrem toho, že sú údaje zo sčítania neaktuálne, aj v čase svojho vzniku sa vyznačovali na niektorých miestach veľkou neistotou z dôvodu množstva chýbajúcich údajov. Obr. 6 ukazuje podiely jednotlivých palív na vykurovaní rodinných domov v zóne Banskobystrický kraj, na ktorom vidno, že priestorové rozloženie palivovej základne pre domáce kúreniská nie je geograficky homogénne rozložené, pričom v súčte za celú zónu prevažovalo v r. 2011 vykurovanie tuhými palivami. Podiel domov s neznámymi, resp. nezistenými palivami bol 9%. Podiel kvapalných palív bol menej ako 1%.



Obr. 6 Podiely rodinných domov využívajúce jednotlivé druhy palív (SOBD, 2011)

V uvedenej štatistike zo sčítania (SOBD 2011) nie sú tuhé palivá bližšie špecifikované. Preto bol v roku 2017 a 2019 vykonaný prieskum na štatistickej vzorke rodinných domov, ktoré uviedli v SOBD 2011 vykurovanie tuhým palivom. Obr. 7 obsahuje zistené podiely palív a vykurovacích zariadení pre Banskobystrický kraj.

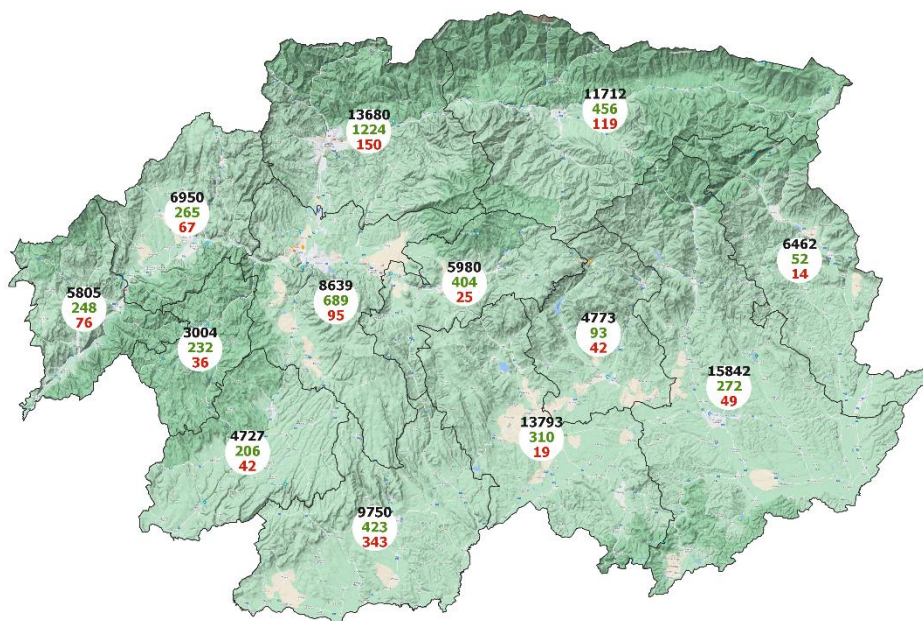


Obr. 7 Zloženie tuhých palív a spaľovacích zariadení v Banskobystrickom kraji podľa štatistického prieskumu v roku 2019

Od sčítania 2011 sa samozrejme stav zmenil. Pribudli nové byty v rodinných aj bytových domoch, niektoré staré domy boli zbúrané (Pre ilustráciu: v Banskobystrickom kraji oproti roku 2011 pribudlo v r. 2019 10% nových bytov v rodinných domoch, a cca 1% starých bytov bolo zbúraných). O počte novopostavených a zbúraných bytov vedie ŠÚSR evidenciu za jednotlivé obce. Novopostavené domy sú v emisnom modeli zohľadnené. Keďže údaje o ich palivách a vykurovacích zariadeniach nie sú v evidencii zahrnuté, bol im v modeli priradený emisný faktor zodpovedajúci vykurovaniu automatickým kotlom s plyným palivom.

Údaje o zbúraných bytoch, žiaľ, nie sú evidované s rozlíšením na rodinné a bytové domy, a tak sa nedali v modeli zohľadniť. V modeli teda zostávajú všetky staré domy, čo zrejme vedie k malému nadhodnoteniu emisií, avšak je to do istej miery kompenzované priradením najnižších emisných faktorov všetkým novopostaveným bytom. V skutočnosti môžu však byť emisie z lokálnych kúrenísk aj väčšie, pretože niektoré domácnosti môžu spaľovať aj niektoré časti

tuhého komunálneho alebo stavebného odpadu. Túto zložku emisií však so súčasnými dostupnými dátami a metodikami nevieme kvantifikovať. Obr. 8 sumarizuje uvedené štatistické údaje za jednotlivé okresy.



Obr. 8 Počet bytov v rodinných domoch evidovaných v r. 2011 (čierna farba), počet novopostavených rodinných domov (zelená) a počet zbúraných bytov v rodinných aj bytových domoch spolu (červená) medzi rokmi 2011-2019

4 HODNOTENIE ZNEČISTENIA OVZDUŠIA V ZÓNE

Z hľadiska hodnotenia kvality ovzdušia podľa Zákona č. 137/2010 Z. z. o ovzduší v znení neskorších predpisov (ďalej len zákon o ovzduší) sú rozhodujúce merania koncentrácií znečisťujúcich látok na monitorovacích staniciach v sieti NMSKO. Poloha všetkých monitorovacích staníc je vyznačená na mape na Obr. 4. Ich merací program a ostatné relevantné údaje možno nájsť v Príloha 1: Charakteristiky monitorovacích staníc kvality ovzdušia.

4.1 Relevantné znečisťujúce látky

Na základe zákona o ovzduší je kvalita ovzdušia hodnotená vzhľadom na limitné hodnoty koncentrácií nasledujúcich znečisťujúcich látok: suspendované častice PM₁₀, PM_{2,5}, oxid dusičitý, ozón, benzo(a)pyrén, benzén a oxid siričitý. Okrem týchto znečisťujúcich látok sa podľa zákona o ovzduší hodnotia aj ťažké kovy (olovo, arzén, kadmium a nikel). V Tab. 2 sú uvedené limitné hodnoty, ktoré boli podľa európskej legislatívy implementované do legislatívy SR (Zákon č. 137/2010 Z. z. o ovzduší, v znení neskorších predpisov, Vyhláška MŽP SR č. 244/2016 Z.z. o kvalite ovzdušia v znení neskorších predpisov).

Tab. 2 Limitné a cieľové hodnoty pre jednotlivé znečisťujúce látky

	SO ₂	SO ₂	SO ₂ ^v	NO ₂	NO ₂	NO _x ^v	PM ₁₀	PM ₁₀	PM _{2,5}	CO	O ₃	BaP	benzén	Pb	As	Cd	Ni
Priemerované obdobie	1h	24h	1r, ^{v1}	1h	1r	1r	24h	1r	1r	8h (max.)	1r	1r	1r	1r	1r	1r	1r
Limitná hodnota* (µg.m ⁻³)	350 (24)	125 (3)	20	200 (18)	40	30	50 (35)	40	25	10 000	120 (25) v priemere za 3 roky	1 **	5	500**	6**	5**	20**

¹ zimné obdobie (1. október – 31. marec)

* povolený počet prekročení je uvedený v zátvorkách, As, Ni, Cd a BaP majú stanovenú cieľovú hodnotu

^v kritické úrovne pre ochranu vegetácie
**ng.m⁻³

Poznámka: Limitná hodnota pre priemernú ročnú koncentráciu PM_{2,5} je od roku 2020 znížená na 20 µg.m⁻³

4.2 Výsledky monitoringu kvality ovzdušia

Príloha 2: Hodnotenie na základe meraní kvality ovzdušia obsahuje namerané údaje pre tie znečisťujúce látky, ktoré v predchádzajúcom trojročnom období prekročovali limitné hodnoty na niektorej zo staníc NMSKO nachádzajúcej sa v zóne Banskobystrický kraj. Zo 6 monitorovacích staníc sa 2 nachádzajú v Banskej Bystrici, ostatné sú umiestnené

v Jelšave, Hnúšti, Zvolene a Žiari nad Hronom. Najhoršiu kvalitu ovzdušia pravidelne zaznamenáva stanica v Jelšave v zimnom období, kde dochádza k prekročovaniu maximálneho počtu prekročení priemernej dennej hodnoty $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ pre PM_{10} , aj niekoľkonásobnému prekročovaniu cieľovej hodnoty pre priemernú ročnú koncentráciu benzo(a)pyrénu (BaP). Od roku 2018, kedy sa začal merať BaP aj na stanicach v Banskej Bystrici, sú zaznamenané priemerné ročné koncentrácie BaP na oboch stanicach nad zákonom stanovenou limitnou hodnotou. Na ostatných monitorovacích stanicach v zóne nebolo v posledných troch rokoch namerané prekročenie limitnej alebo cieľovej hodnoty. Z tohto dôvodu sú Banská Bystrica a územie Jelšavy a príslušných obcí zaradené medzi oblasti riadenia kvality ovzdušia (Tab. 3).

Monitorovacie stanice sú málopočetné, pričom majú obmedzenú priestorovú reprezentatívnosť. Na základe rozmiestnenia emisných zdrojov, orografie, klimatických charakteristík a ďalších faktorov je zrejmé, že zhoršená kvalita ovzdušia sa vyskytuje aj na iných miestach, kde sa monitorovacie stanice nenachádzajú. Z uvedeného dôvodu je potrebné chrániť zdravie obyvateľov a ekosystémov aj na týchto miestach realizáciou príslušných opatrení na zníženie emisií.

Merania z monitorovacích staníc navyše neobsahujú informáciu o príspevkoch jednotlivých skupín zdrojov, prípadne regionálneho pozadia. Hodnotenie kvality ovzdušia je preto nutné dopĺňať aj inými dostupnými metódami – matematickým modelovaním kvality ovzdušia.

Tab. 3 Oblasti riadenia kvality ovzdušia, vymedzené pre zónu Banskobystrický kraj na rok 2021 (SHMÚ, 2021: Správa o kvalite ovzdušia v roku 2020)

Vymedzená oblasť riadenia kvality ovzdušia	Znečisťujúca látka	Poznámka – AMS a rok prekročenia limitnej / cieľovej hodnoty
územie mesta Banská Bystrica	PM_{10} , BaP	PM_{10} Banská Bystrica, Štefánikovo nábr, (2018) BaP: BB Štefánikovo nábrežie (2017-2020), Zelená (2019-2020)
územie mesta Jelšava a obcí Lubeník, Chyžné, Magnezitovce, Mokrú Lúka, Revúcka Lehota	PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, BaP	Jelšava: PM_{10} (2018 – 2020) $\text{PM}_{2,5}$: 2018 ($23,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 2019 ($20,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$)
V zóne boli určené rizikové oblasti na základe modelovania.*	PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$	

* Tieto oblasti sú vyznačené na mape rizikových oblastí Obr. 11.

Mapa je online dostupná tu: https://ruraj-git.github.io/folium_html/

4.3 Výsledky modelovania a analýza situácie

Modelovanie slúži na odhad relatívneho priestorového rozloženia koncentrácií, a tiež na odhad príspevkov jednotlivých skupín zdrojov ku koncentráciám na monitorovacích stanicach a ich priestorového rozloženia. Pre výpočet rozloženia koncentrácií v rámci celej zóny bol použitý interpolačno-regresný model RIO s následným postprocesingom pomocou metódy IDW pre rok 2020 (rovnaká konfigurácia ako v Správe o kvalite ovzdušia SR v roku 2020) s rozlíšením $1 \times 1 \text{ km}$. Pre podrobnejšie modelovanie oblastí riadenia kvality ovzdušia bol použitý model CALPUFF s referenčným rokom 2017. Regionálne pozadie pre ORKO bolo vypočítané Modelom RIO pre rovnaký referenčný rok 2017. Rok 2017 sa vyznačoval nepriaznivejšími rozptylovými podmienkami a veľmi chladným januárom, s výskytom početných smogových situácií. Preto možno považovať analýzu na základe tohto modelového roku za dostatočne konzervatívnu. Podrobný popis použitých modelových nástrojov a ich konfigurácie je uvedený v Prílohe 3.

Modelovanie kvality ovzdušia na lokálnej úrovni pomocou modelu CALPUFF bolo vykonané pre tuhé častice PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ a pre BaP. Toto modelovanie bolo vykonané ešte v roku 2018 pre referenčný rok 2017 v rámci projektu MŽP a Svetovej Banky¹, hodnoty pozadových koncentrácií však boli nedávno aktualizované s využitím modelu RIO s vyšším rozlíšením. Uvedený referenčný rok bol nepriaznivý z hľadiska rozptylových podmienok a vysokých emisií z vykurovania v dôsledku extrémne nízkych teplôt v januári, a teda hodnoty vypočítaných koncentrácií sú vyššie ako v posledných troch rokoch. Relatívne priestorové rozloženie emisií sa medziročne mení len minimálne, dá sa preto očakávať, že relatívne priestorové rozloženie koncentrácií je do veľkej miery reprezentatívne aj pre iné roky.

Výsledkom celoročnej simulácie rozptylu znečisťujúcich látok sú hodinové sekvencie horizontálnych polí koncentrácií týchto látok. Toto je obrovské množstvo dát. Aby bolo možné na ich základe posúdiť kvalitu ovzdušia z hľadiska zdravia ľudí, resp. ekosystémov, je potrebné ich štatisticky spracovať. Spoľahlivosť koncentrácií vypočítaných matematickým modelom je tým vyššia, čím je priemerovacie obdobie dlhšie. Základným štatistickým parametrom sú priemerné ročné hodnoty koncentrácií, pre ktoré sú stanovené legislatívne limitné hodnoty, ktoré sú základom pre posúdenie kvality

¹ Reimbursable Advisory Services Support for Air Quality Management, 2019

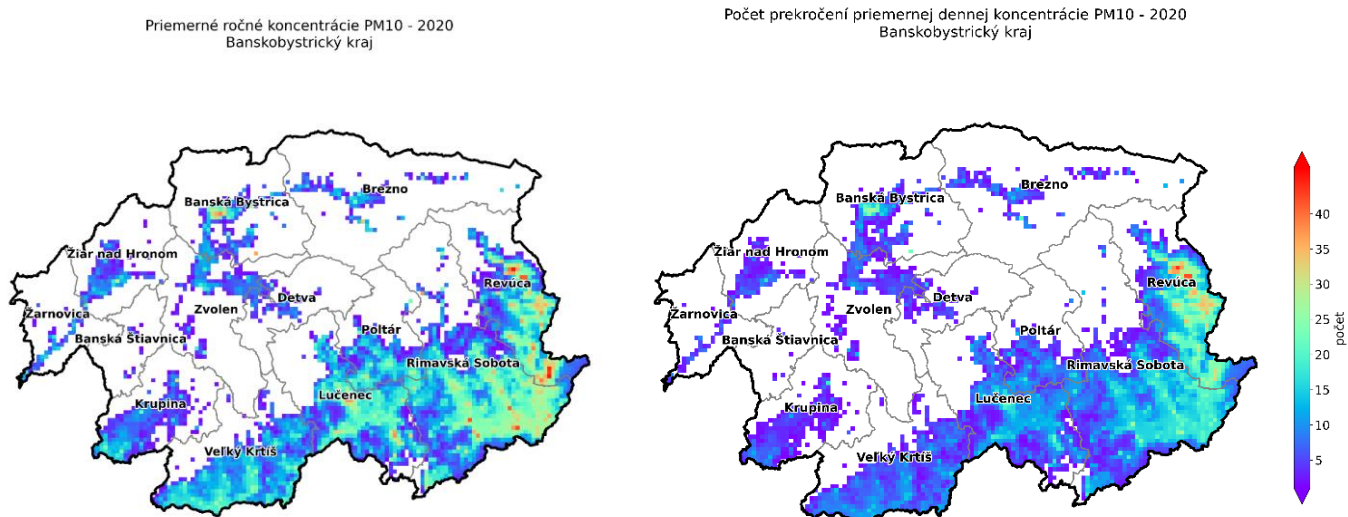
ovzdušia v danej oblasti. Pre posúdenie PM₁₀ sa vyhodnocujú aj priemerné denné koncentrácie vzhľadom na limitné hodnoty pre počet prekročení priemerných denných hodnôt. Tento parameter je však veľmi citlivý na malé zmeny koncentrácií okolo limitnej hodnoty a pri stanovení pomocou modelovania je spojený s oveľa vyššou neistotou.

Modelovanie kvality ovzdušia je spojené s mnohými neurčitostami vyplývajúcimi z matematickej formulácie modelu, jeho priestorového rozlíšenia, ale hlavne z kvality vstupných meteorologických a obzvlášť emisných dát. Je iba priblížením reality, preto absolútne hodnoty vypočítaných koncentrácií treba brať do úvahy v kontexte neurčitostí s tým spojených. Určitým vodítkom je miera zhody modelovaných a nameraných koncentrácií v miestach monitorovacích staníc, i keď odchýlka vypočítaných koncentrácií od skutočnosti nemusí byť konštantná v priestore. Viac ako absolútne hodnoty vypočítaných koncentrácií treba brať skôr do úvahy relatívne rozloženie koncentrácií v priestore. V miestach polôh monitorovacích staníc sa teda namerané hodnoty koncentrácií považujú za spoľahlivejšie ako hodnoty vypočítané modelom.

4.3.1 Výsledky modelovania – regionálne znečistenie ovzdušia

Cieľom hodnotenia kvality ovzdušia v rámci celej zóny je určiť oblasti, mestá a obce, kde by mohla byť zhoršená kvalita ovzdušia porovnateľná s oblasťami riadenia kvality ovzdušia určenými na základe meraní.

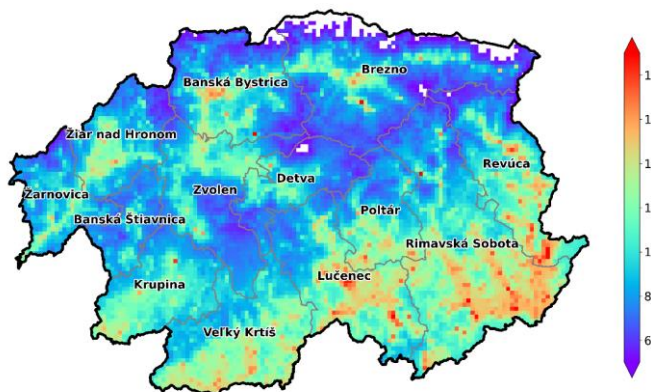
Obr. 9 a Obr. 10 sú výsledky modelovania pre PM₁₀, PM_{2,5} a BaP, vypočítané pre rok 2020 pomocou modelu RIO upraveného postprocessingom metódou regresnej IDW metódy (podrobnejšie v Prílohe 3). Pre lepšiu orientáciu sú zobrazené iba oblasti, pre ktoré vyšli priemerné ročné hodnoty koncentrácií vyššie ako prísnejšie ročné limity odporúčané WHO². V prípade počtu prekročení dennej limitnej hodnoty PM₁₀ sú zobrazené iba nenulové prekročenia a v prípade BaP sú zobrazené iba hodnoty nad 0,3 ng.m⁻³ (priemerná ročná hodnota nameraná na oboch pozadových stanicích EMEP v roku 2020). Toto rozloženie a kvantifikácia oblastí s vyššími koncentraciami je reprezentatívna pre jeden konkrétny rok – 2020. Z dlhodobejšieho hľadiska však tieto výsledky nemusia byť z rôznych dôvodov celkom reprezentatívne pre všetky oblasti. Preto bola vypracovaná už vyššie uvedená mapa rizikových oblastí – Obr. 11. Na vymedzenie týchto oblastí ohrozených zhoršenou kvalitou ovzdušia bola použitá kombinácia viacerých metód. Podrobnejšie je metóda tvorby tejto mapy popísaná v Prílohe 3. V prílohe sa tiež nachádza zoznam okresov a obcí v zóne s potenciálne zhoršenou kvalitou ovzdušia.



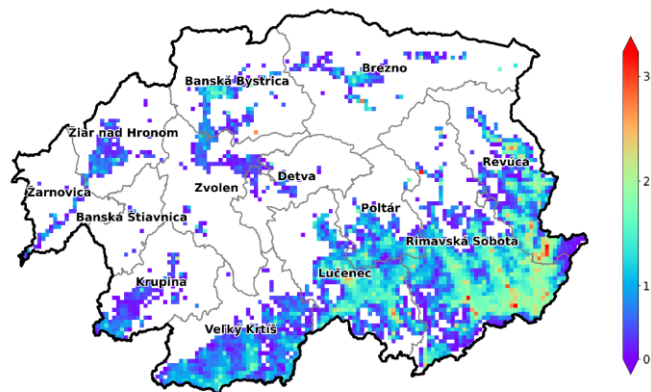
Obr. 9 Priemerná ročná koncentrácia PM₁₀ (vľavo) a počet prekročení limitnej dennej hodnoty PM₁₀ (vpravo) v roku 2020. Zobrazené sú len hodnoty nad 15 µg.m⁻³ a nenulový počet prekročení.

² Podľa najnovších odporúčaní WHO vydaných v septembri 2021 je odporúčaná limitná hodnota priemernej ročnej koncentrácie sprísnená pre PM_{2,5} na 5 µg.m⁻³ a pre PM₁₀ na 15 µg.m⁻³ (WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization; 2021. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.)

Priemerné ročné koncentrácie PM_{2,5} - 2020
Banskobystrický kraj



Priemerné ročné koncentrácie BaP - 2020
Banskobystrický kraj

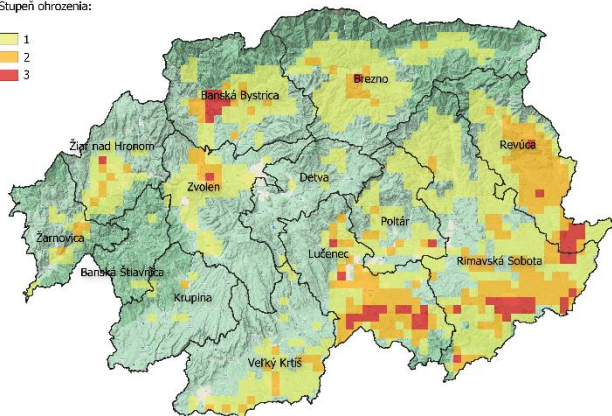


Obr. 10 Priemerná ročná koncentrácia PM_{2,5} (vľavo) a benzo(a)pyrénu (vpravo) v roku 2020.

Pre PM_{2,5} sú zobrazené sú len hodnoty vyššie ako 5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, čo je prísnejšia limitná hodnota odporúčaná WHO a hodnoty BaP vyššie ako požadované hodnoty namerané na staniách EMEP - 0,3 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$

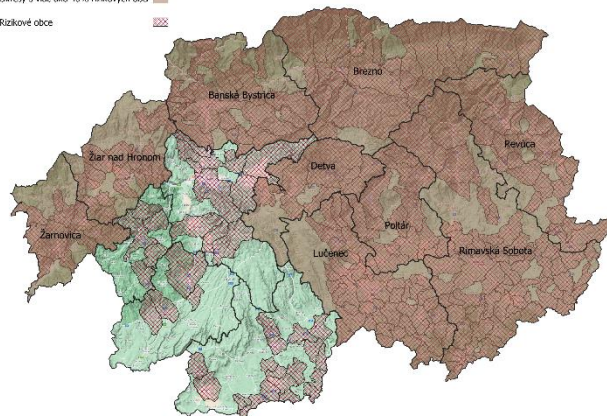
Stupeň ohrozenia:

- 1
- 2
- 3



Okresy s viac ako 40% rizikových obcí

Rizikové obce



Obr. 11 Oblasti ohrozené zhoršenou kvalitou ovzdušia (vľavo). Stupeň ohrozenia 3 je najzávažnejší (bližšie informácie v Prílohe 3). Vpravo sú na základe mapy vľavo a ďalších kritérií popísaných v Prílohe 3 vyčlenené okresy a obce s rizikom zhoršenej kvality ovzdušia. Rizikové okresy sú vyznačené tmavšou farbou, katastre rizikových obcí bledšou. .

4.3.2 Analýza príspevkov jednotlivých skupín zdrojov k celkovým koncentráciám v oblastiach riadenia kvality ovzdušia

Ako bolo prezentované v predchádzajúcej regionálnej analýze kvality ovzdušia, v zóne Banskobystrický kraj sa nachádza pomerne veľa oblastí, kde modely indikujú zhoršenú kvalitu ovzdušia. Horizontálne rozlíšenie modelov je 1x1 km, to znamená, že koncentráciu v takýchto štvorcoch možno považovať za priemernú pre dané územie. Podrobnejšie modelovanie by ukázalo na takýchto štvorcoch pravdepodobne niekoľko menších hotspotov

s koncentraciami vyššími ako priemer, zatiaľ čo na zvyšku štvorca by boli koncentrácie nižšie (toto platí hlavne na štvorcach obsahujúcich osídlené oblasti). Modelovať celú zónu s dostatočne vysokým rozlíšením na odlišenie lokálnych hotspotov je pomerne náročné na výpočtový čas, preto sa v analýze pomocou modelu CALPUFF s vysokým rozlíšením venujeme iba oblastiam riadenia kvality ovzdušia, ktoré boli určené podľa platnej legislatívy pre rok 2021. V prípade Banskobystrického kraja ide o ORKO územia mesta Banská Bystrica a územie mesta Jelšava a obcí Lubeník, Chyžné, Magnezotivce, Mokrú Lúka a Revúcka Lehota. Keďže v týchto oblastiach sa nachádzajú aj monitorovacie stanice, je zároveň možné porovnávať výsledky modelovania s nameranými hodnotami. Podrobnejšie informácie o modeli, jeho konfigurácii a validácii sú uvedené v Prílohe 3. V nasledujúcom texte budú uvedené výsledky modelovania, pričom dôraz je kladený na analýzu priestorového rozloženia celkových koncentrácií, príspevkov jednotlivých skupín emisných zdrojov, a tiež na analýzu príspevkov zdrojov v miestach monitorovacích staníc.

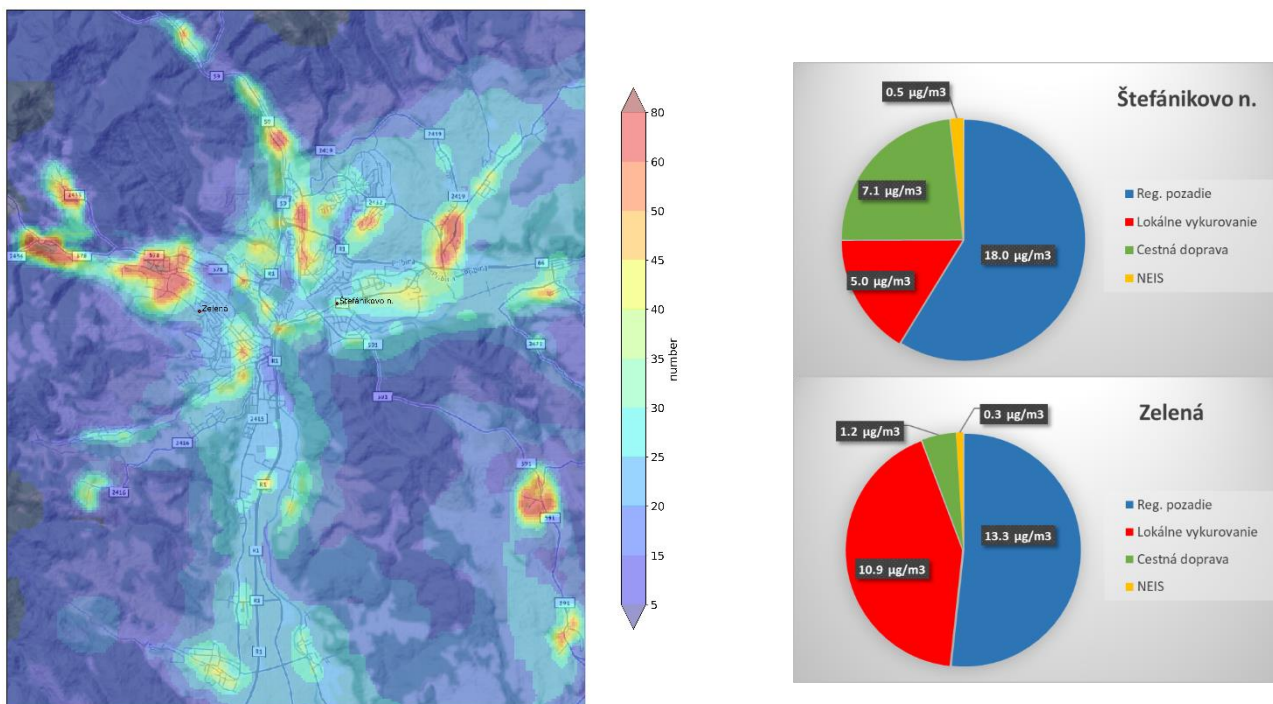
4.3.2.1 Banská Bystrica

4.3.2.1.1 Prachové častice PM₁₀ a PM_{2,5}

Prachové častice sú okrem BaP najväčším problémom tejto oblasti. Hodnota maximálneho počtu prekročení priemernej dennej hodnoty koncentrácie PM₁₀ 50 µg.m⁻³ bola na AMS Štefánikovo náb. pravidelne prekračovaná až do roku 2018. V referenčnom roku 2017 bolo nameraných 67 prekročení, pričom na AMS Zelená to bolo 19 prekročení. Počet prekročení vypočítaný pomocou matematických modelov hodnotu na AMS Štefánikovo náb. podhodnocuje, zatiaľ čo na AMS Zelená je vypočítaný počet prekročení vyšší ako skutočnosť. Počet prekročení je však parameter, ktorý je veľmi citlivý na hodnoty koncentrácií okolo 50 µg.m⁻³, kde už malý rozdiel medzi vypočítanou a skutočnou priemernou dennou koncentraciou môže spôsobiť nezahrnutie, resp. zahrnutie danej hodnoty medzi prekročenia. Preto je na hodnotenie výstupov modelovania lepšia priemerná ročná koncentrácia, ktorá síce nie je na AMS prekračovaná, ale medzi ňou a počtom prekročení existuje priama závislosť.

Mapa počtu prekročení na Obr. 12, podobne ako mapa priemernej ročnej koncentrácie na Obr. 13 vľavo hore indikujú existenciu hotspotov s vyššími koncentraciami, ktoré sa nachádzajú v oblastiach s rodinnými domami, v ktorých hlavným zdrojom vykurovania je tuhé palivo. Na Obr. 12 vpravo sú podiely jednotlivých skupín zdrojov na

Počet prekročení priemernej dennej hodnoty PM₁₀ 50 µg/m³ - 2017



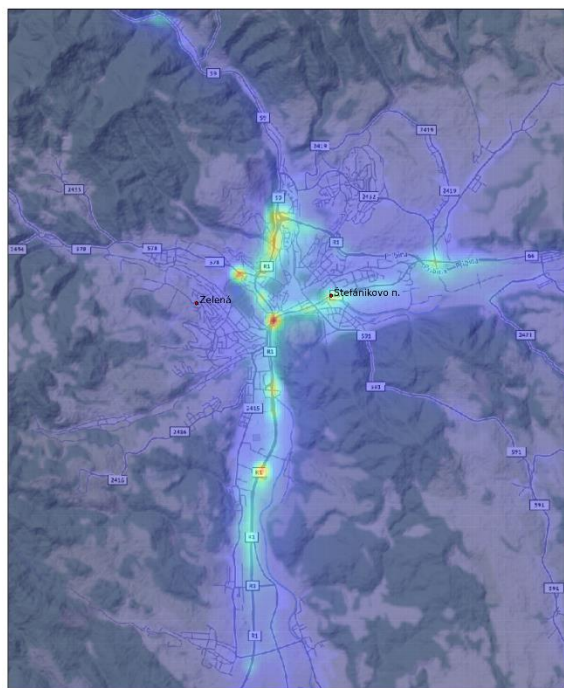
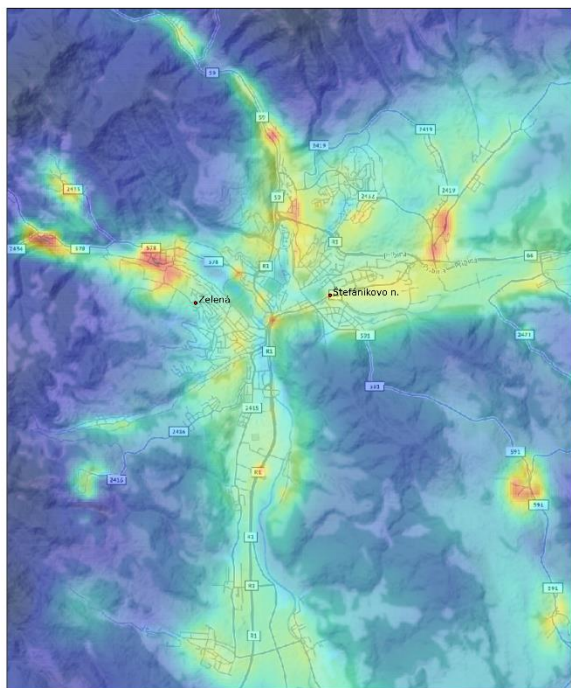
Obr. 12 Priestorové rozloženie počtu prekročení dennej hodnoty PM₁₀ (vľavo), a príspevky jednotlivých skupín zdrojov k priemerným ročným koncentraciám PM₁₀ v mieste monitorovacej stanice (vpravo)

priemerných ročných koncentraciách PM₁₀ a PM_{2,5} v mieste monitorovacej stanice. Ako vidno, okrem regionálneho pozadia, ktoré je v ročnom priemere pomerne vysoké, na AMS Štefánikovo náb. dominuje doprava, čo zodpovedá

faktu, že ide o dopravnú stanicu. Podiel lokálneho vykurovania však tiež nie je zanedbateľný. Na mestskej požadovej stanici Zelená zasa dominuje podiel lokálnych kúrenísk, avšak modelované hodnoty na tejto stanici sú v prípade oboch PM nadhodnotené o takmer štvrtinu nameranej koncentrácie, čo môže byť spôsobené chybou v alokovaní emisií lokálnych kúrenísk na tuhé palivo, keďže zdrojové dáta emisného modelu sú dosť staré. Na dopravnej stanici naopak model koncentrácie trochu podhodnocuje (menej ako 3 - 8%), čo môže byť spôsobené podhodnotenými emisiami z dopravy (emisie nezohľadňujú prípadné spomalenia dopravy a zvýšené emisie vplyvom dopravných zápch), ale aj neaktuálnymi dátami o lokálnych kúreniskách na blízkom sídlisku Uhlisko. Obr. 13 a Obr. 14 zobrazujú relatívne priestorové rozloženie celkových priemerných ročných koncentrácií PM₁₀ a PM_{2,5}, a tiež príspevkov rôznych druhov zdrojov emisií.

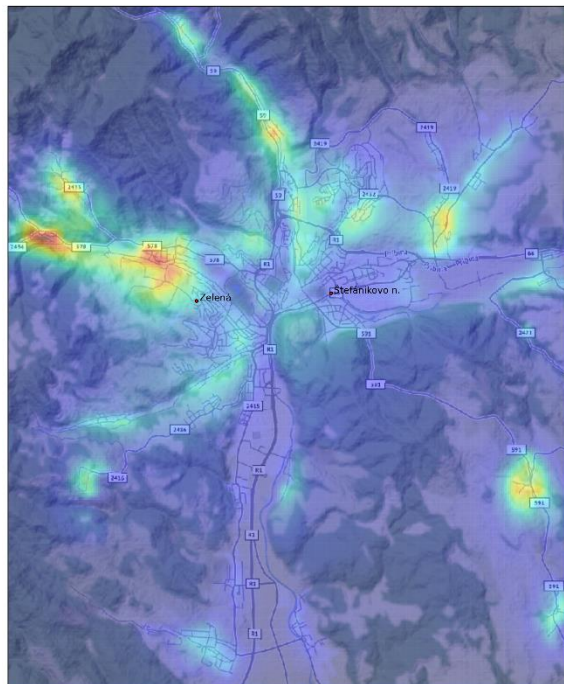
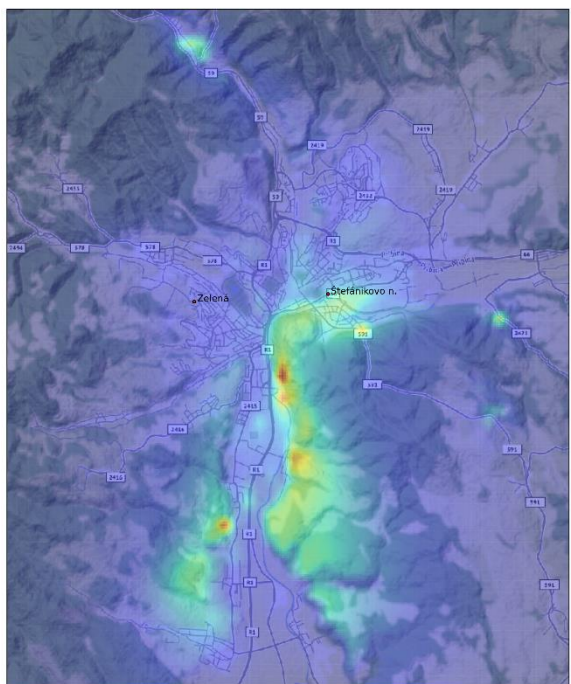
Priemerné ročné koncentrácie PM10 - 2017

Priemerné ročné koncentrácie PM10 - 2017 - Cestná doprava



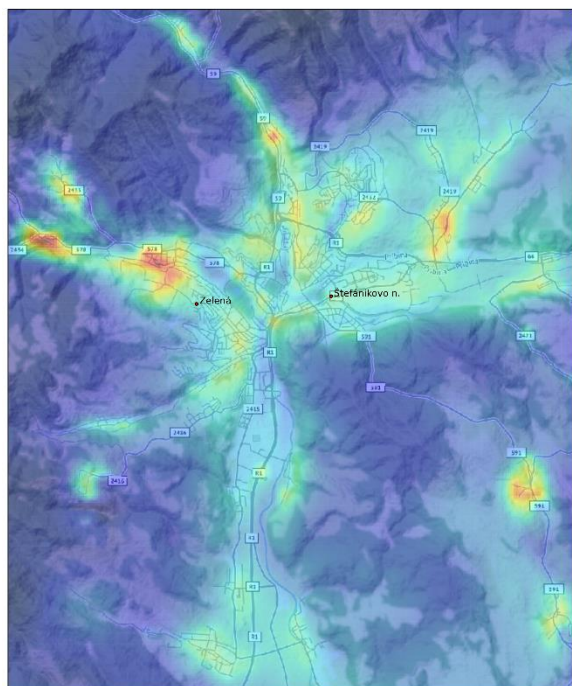
Priemerné ročné koncentrácie PM10 - 2017 - NEIS

Priemerné ročné koncentrácie PM10 - 2017 - Lokálne kúreniská

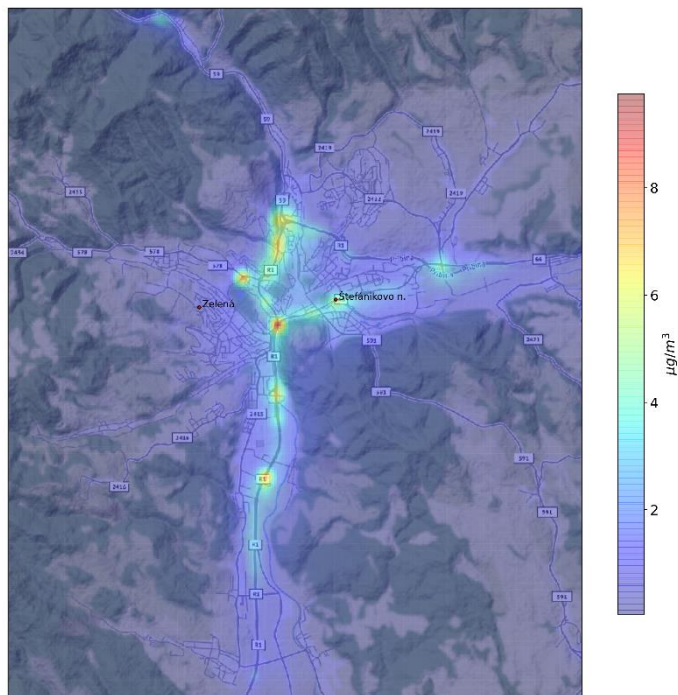


Obr. 13 Priemerné ročné koncentrácie PM₁₀ (µg.m⁻³) – celkové (vľavo hore), z cestnej dopravy (vpravo hore), z priemyselných zdrojov (vľavo dole) a z lokálneho vykurovania (vpravo dole) vypočítané kombináciou modelov RIO a CALPUFF.

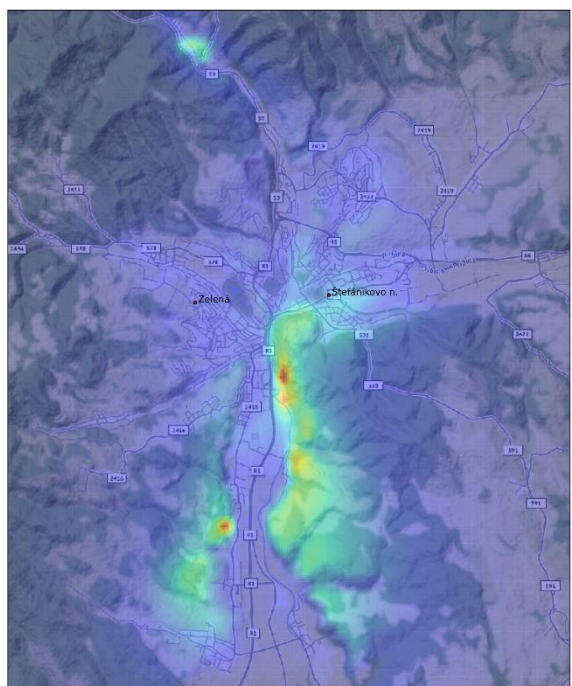
Priemerné ročné koncentrácie PM25 - 2017



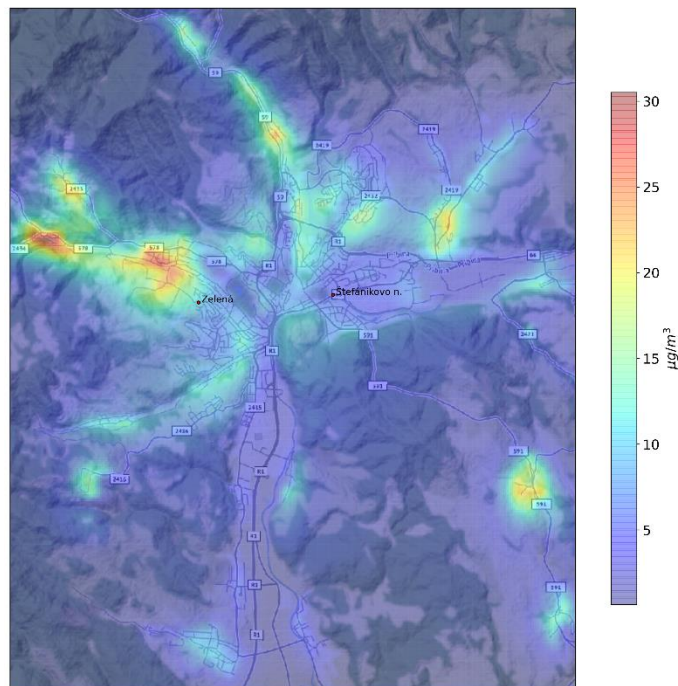
Priemerné ročné koncentrácie PM25 - 2017 - Cestná doprava



Priemerné ročné koncentrácie PM25 - 2017 - NEIS



Priemerné ročné koncentrácie PM25 - 2017 - Lokálne kúreniská

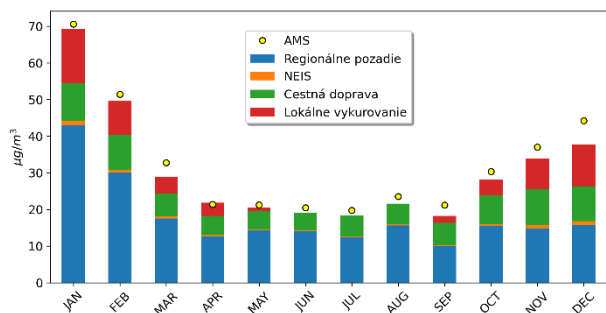


Obr. 14 Rozloženie priemerných ročných koncentrácií PM_{2,5} (µg.m⁻³) - celkových (vľavo hore), z cestnej dopravy (vpravo hore), z priemyselných zdrojov (vľavo dole) a z lokálneho vykurovania (vpravo dole) vypočítané kombináciou modelov RIO a CALPUFF

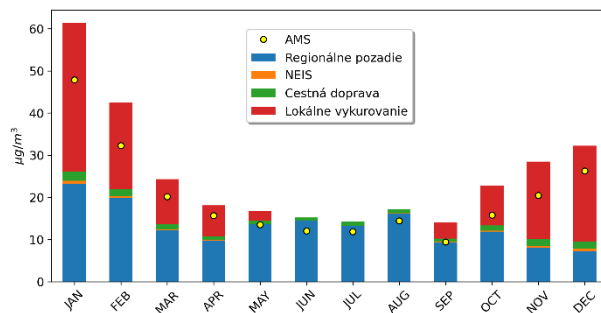
Grafy na Obr. 15 a Obr. 16 ukazujú, že v prípade PM príspevky z regionálneho prenosu dominujú počas letného obdobia na oboch AMS. Na AMS Zelená dominuje v zimnom období lokálne vykurovanie. Všeobecne platí, že čím je

kratšie priemerovacie obdobie, tým je variabilita príspevku regionálneho pozadia vyššia (Obr. 17 zobrazuje dennú variabilitu v prípade PM_{2,5}).

Príspevky jednotlivých skupín zdrojov k priemerným mesačným koncentráciám PM₁₀
Banská Bystrica - Štefánikovo n.

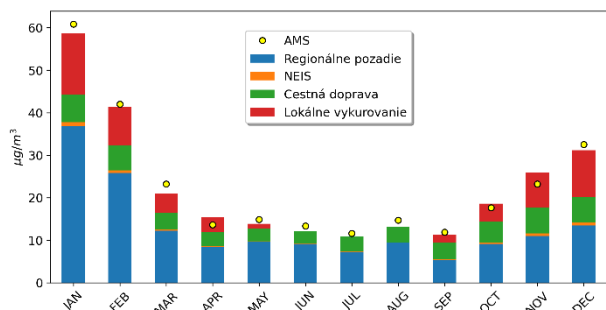


Príspevky jednotlivých skupín zdrojov k priemerným mesačným koncentráciám PM₁₀
Banská Bystrica - Zelená

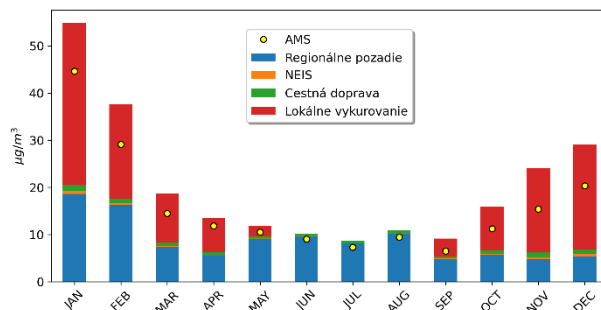


Obr. 15 Príspevky jednotlivých skupín emisných zdrojov k priemerným mesačným koncentráciám PM₁₀ v miestach monitorovacích staníc kvality ovzdušia (AMS – hodnoty namerané na monitorovacej stanici).

Príspevky jednotlivých skupín zdrojov k priemerným mesačným koncentráciám PM₂₅
Banská Bystrica - Štefánikovo n.

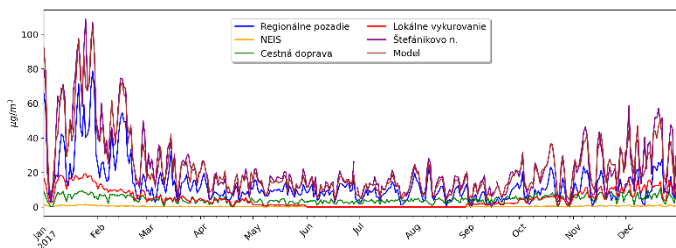


Príspevky jednotlivých skupín zdrojov k priemerným mesačným koncentráciám PM₂₅
Banská Bystrica - Zelená

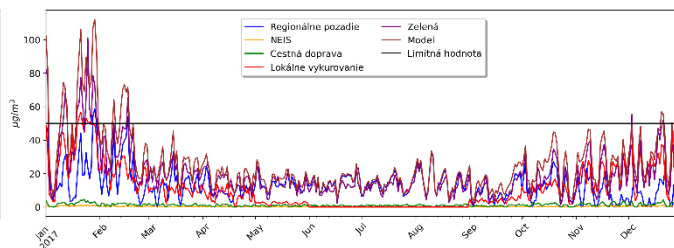


Obr. 16 Príspevky jednotlivých skupín emisných zdrojov k priemerným mesačným koncentráciám PM_{2,5} v mieste monitorovacej stanice kvality ovzdušia (AMS – hodnoty namerané na monitorovacej stanici).

Príspevky jednotlivých skupín zdrojov k priemerným denným koncentráciám PM₂₅
Banská Bystrica - Štefánikovo n.



Príspevky jednotlivých skupín zdrojov k priemerným denným koncentráciám PM₁₀
Banská Bystrica - Zelená

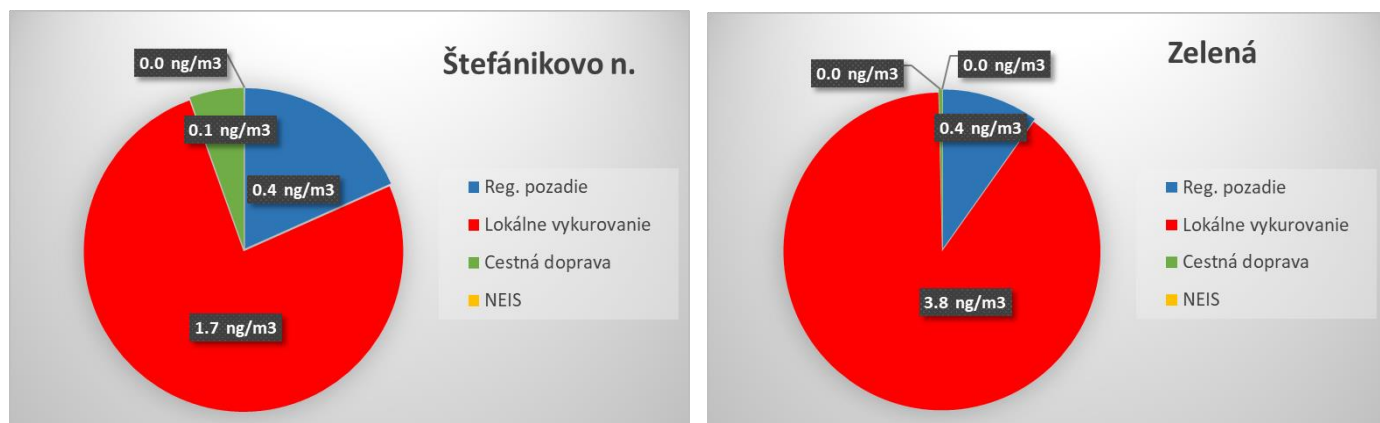


Obr. 17 Príspevky jednotlivých skupín zdrojov k priemerným denným koncentráciám PM_{2,5} v miestach monitorovacích staníc

4.3.2.1.2 Benzo(a)pyrén – BaP

Benzo(a)pyrén je úzko spojený so spaľovacími procesmi a jeho dominantným zdrojom v oblasti je lokálne vykurovanie tuhým palivom. Príspevok regionálneho pozadia je minimálny. Priestorové rozloženie sa vyznačuje, tak ako u PM, niekoľkými hotspotmi situovanými v jednotlivých obytných oblastiach lokálnych kúrenísk na tuhé palivo. Benzo(a)pyrén na Štefánikovom n. je modelom podhodnotený – v ročnom priemere približne o štvrtinu, avšak v januári dvojnásobne (Obr. 19 vľavo hore). Priebeh grafu v podstate kopíruje graf pre PM₁₀ a PM_{2,5} (Obr. 15, Obr. 16), s tým rozdielom, že pri PM sú nižšie koncentrácie vypočítané modelom CALPUFF čiastočne kompenzované vyšším

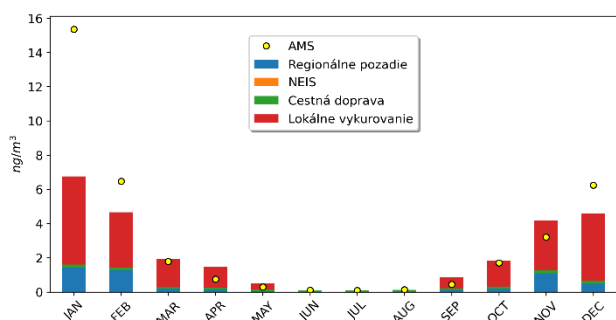
pozadím z modelu RIO. Keďže v prípade BaP pozadie nepochádza z modelu RIO, ale z pozadovej stanice Košetice³, ku kompenzácii tu nedochádza. Vysoký rozdiel v nameraných a modelovaných koncentráciách naznačuje, že podhodnoteniu veľkou mierou prispievajú aj kúreniská, ktoré v starej emisnej databáze nie sú zahrnuté. Podhodnotené emisie z dopravy môžu mať tiež svoj podiel na podhodnotení koncentrácií z BaP, zrejme však v oveľa nižšej miere ako tie z lokálnych kúrenísk.



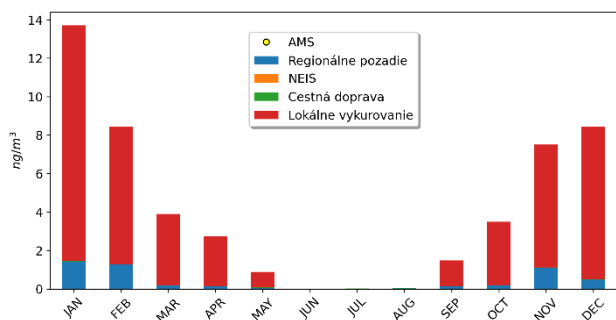
Obr. 18 Príspevky jednotlivých skupín zdrojov k celkovým priemerným ročným koncentráciám BaP v miestach monitorovacích staníc

Obr. 19 obsahuje mapy rozloženia celkových priemerných ročných koncentrácií, ako aj príspevkov jednotlivých skupín zdrojov emisií. Maximá v priestorovom rozložení, tak ako v prípade PM, zodpovedajú hlavne polohám osídlených oblastí, a teda lokálnym kúreniskám na tuhé palivo.

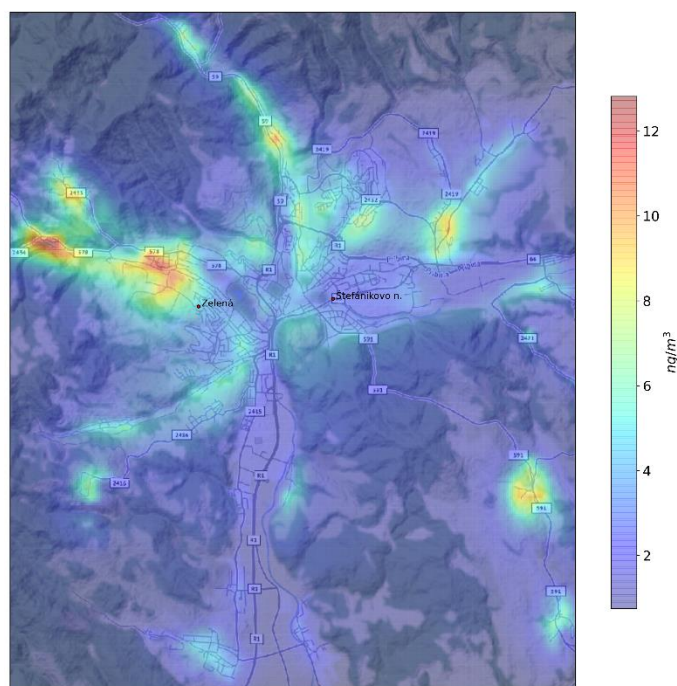
Príspevky jednotlivých skupín zdrojov k priemerným mesačným koncentráciám BaP Banská Bystrica - Štefánikovo n.



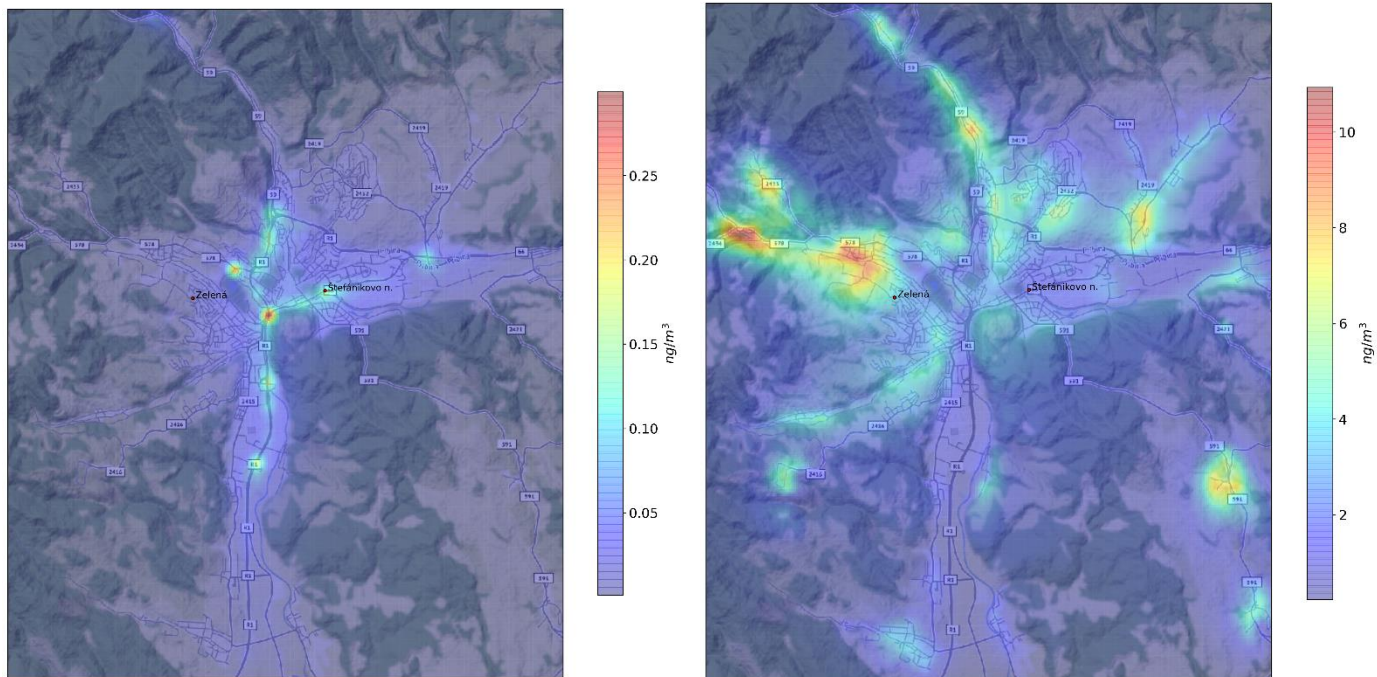
Príspevky jednotlivých skupín zdrojov k priemerným mesačným koncentráciám BaP Banská Bystrica - Zelená



Priemerné ročné koncentrácie BaP - 2017



³ Stanica EMEP Košetice v Českej republike bola najbližšia pozadová stanica, ktorá v roku 2017 merala benzo(a)pyrén



Obr. 19 Príspevky rôznych zdrojov k priemerným mesačným koncentráciám BaP (vľavo hore), celkové priemerné ročné koncentrácie BaP (vpravo hore), príspevok z cestnej dopravy (vľavo dole) a z lokálneho vykurovania (vpravo dole). Príspevok z priemyselných zdrojov NEIS je zanedbateľný.

4.3.2.2 Jelšava

4.3.2.2.1 Prachové častice PM_{10} a $PM_{2,5}$

Prachové častice sú okrem BaP najväčším problémom tejto oblasti. Parameter, ktorý je pravidelne v Jelšave prekračovaný, je hodnota maximálneho počtu prekročení priemernej dennej hodnoty koncentrácie PM_{10} $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. V referenčnom roku 2017 dosiahol na monitorovacej stanici v Jelšave hodnotu 82, čo je viac ako dvojnásobok limitnej hodnoty (35). Mapa počtu prekročení na Obr. 20 vľavo ukazuje, že takýchto hotspotov je v oblasti hneď niekoľko, a nachádzajú sa v obciach, v ktorých hlavným zdrojom vykurovania je tuhé palivo. Na Obr. 20 vpravo sú podiely jednotlivých skupín zdrojov na priemerných ročných koncentráciách PM_{10} a $PM_{2,5}$ v mieste monitorovacej stanice. Ako vidno, takmer výlučný podiel má lokálne vykurovanie. Doprava a priemyselné zdroje prispievajú ku koncentráciám tuhých častíc v ročnom priemere iba minimálne. Nasvedčuje tomu aj priestorové rozloženie príspevkov k ročným priemerom na Obr. 21 a Obr. 22.

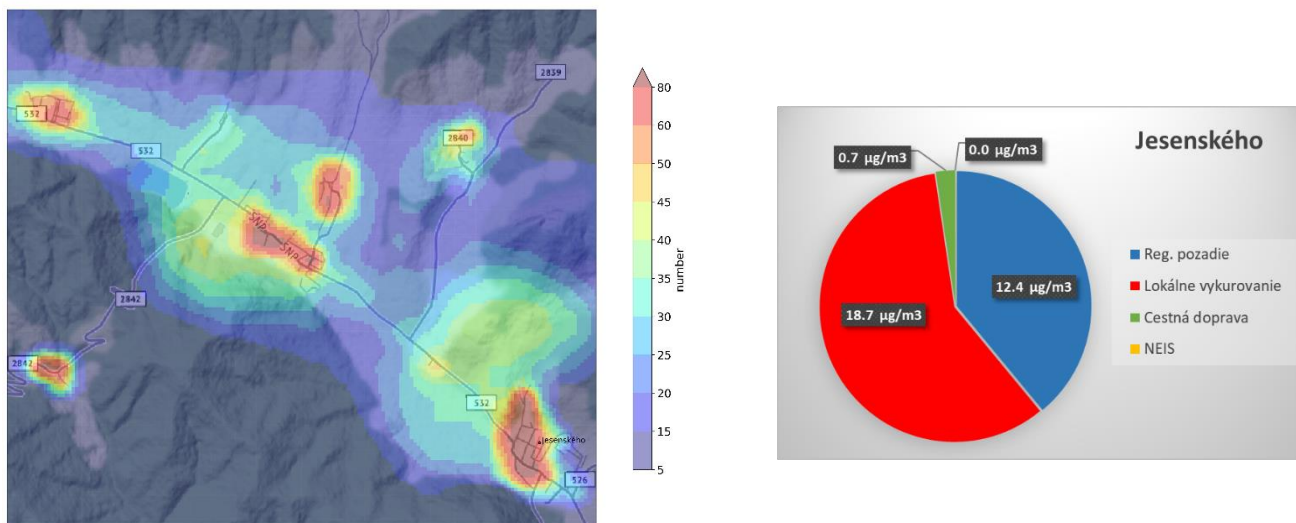
Príspevok zdrojov NEIS, teda Slovenských magnezitových závodov (ďalej SMZ), je podľa modelu CALPUFF veľmi nízky.

V r. 2018 však boli na AMS odobrané vzorky PM_{10} na filter a bola vykonaná ich chemická analýza za účelom určenia možného podielu SMZ. Podiel magnezitu v jednotlivých vzorkách značne kolísal. Zároveň sa jeho podiel zvyšoval so zvyšujúcou sa frakciou PM. Priemerný podiel magnezitu vo frakcii PM_{10} bol okolo 11%. (Podrobnejšie informácie o výsledkoch analýzy možno nájsť v Prílohe 4).

I keď boli uvedené odbery vykonané až na jar 2018, medziročne sa emisie zo zdrojov SMZ zmenili len minimálne. Preto možno predpokladať, že podiel SMZ na koncentráciách v Jelšave vypočítaný modelom CALPUFF pre rok 2017 bol značne podhodnotený. Môže to byť z viacerých dôvodov: Pri zdrojoch, ktoré sa v databáze NEIS nachádzajú, prevádzkovatelia reportujú do NEIS iba hodnoty TSP (celkové tuhé častice). Prepočet na PM_{10} a $PM_{2,5}$ sa vykonáva interne v rámci databázy podľa použitých technológií. Tento prepočet môže byť zaťažený pomerne veľkou neurčitou. Ďalším dôvodom je, že viacero fugitívnych zdrojov – skládka, odkalisko, rôzne odkryté prašné plochy – nebolo do modelu zahrnutých, pretože ich kvantifikácia nebola k dispozícii.

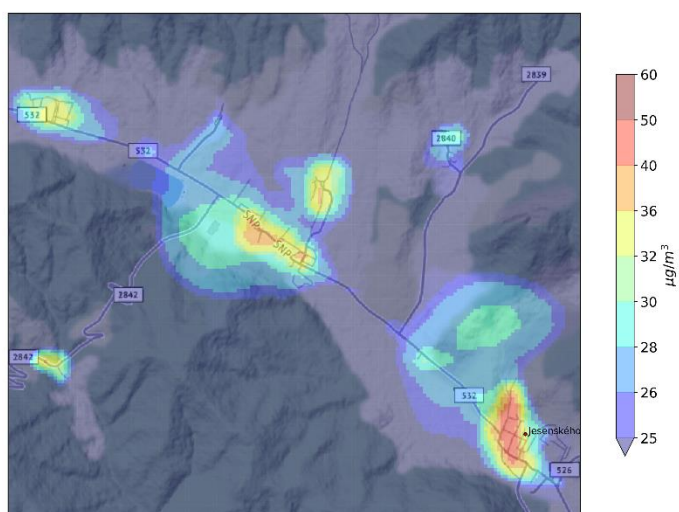
Indície z chemickej analýzy teda naznačujú, že vplyv SMZ nie je zanedbateľný, ale je oveľa nižší ako vplyv lokálnych kúrenísk. Jeho relatívny podiel môže byť vyšší v letnom období.

Počet prekročení priemernej dennej hodnoty PM10 50 µg/m³ - 2017



Obr. 20 Priestorové rozloženie počtu prekročení dennej hodnoty PM₁₀ (vľavo), a príspevky jednotlivých skupín zdrojov k priemerným ročným koncentráciám PM₁₀ a PM_{2,5} v mieste monitorovacej stanice (vpravo).

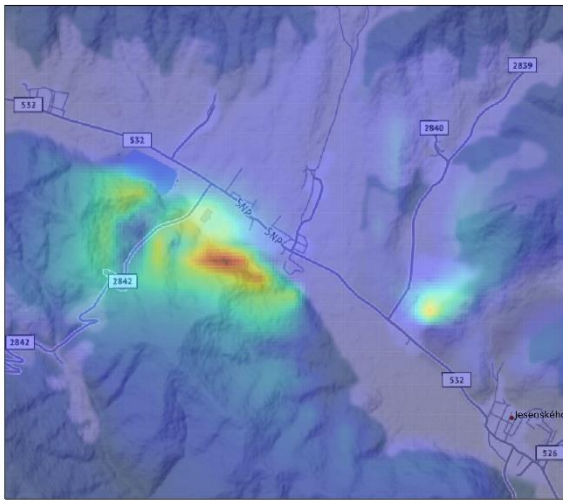
Priemerné ročné koncentrácie PM10 - 2017



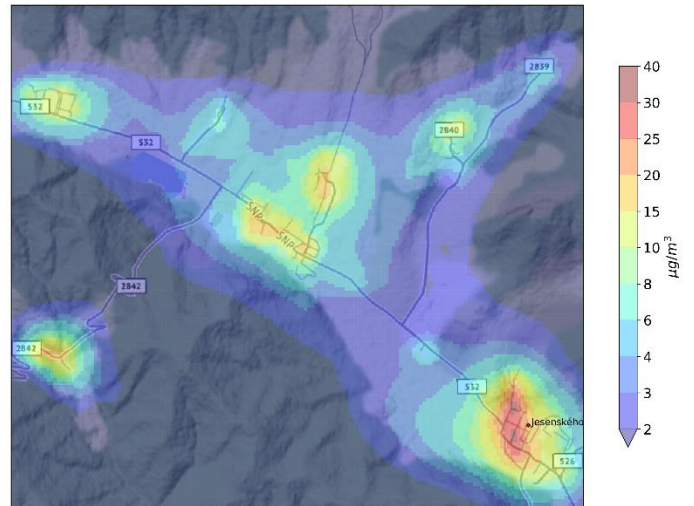
Priemerné ročné koncentrácie PM10 - 2017 - Cestná doprava



Priemerné ročné koncentrácie PM10 - 2017 - NEIS

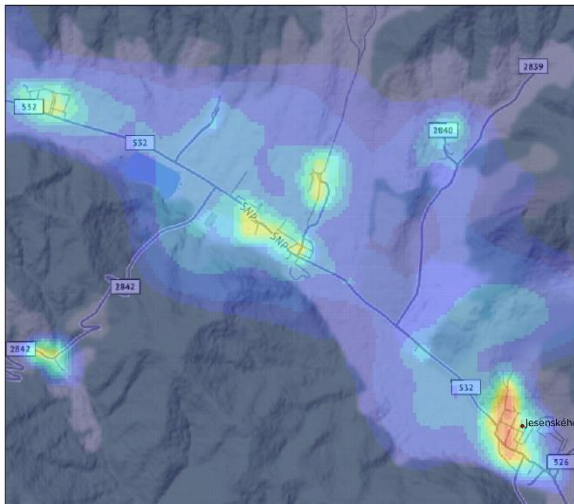


Priemerné ročné koncentrácie PM10 - 2017 - Lokálne kúreniská



Obr. 21 Priemerné ročné koncentrácie PM₁₀ ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) – celkové (vľavo hore), z cestnej dopravy (vpravo hore), z priemyselných zdrojov (vľavo dole) a z lokálneho vykurovania (vpravo dole) vypočítané kombináciou modelov RIO a CALPUFF

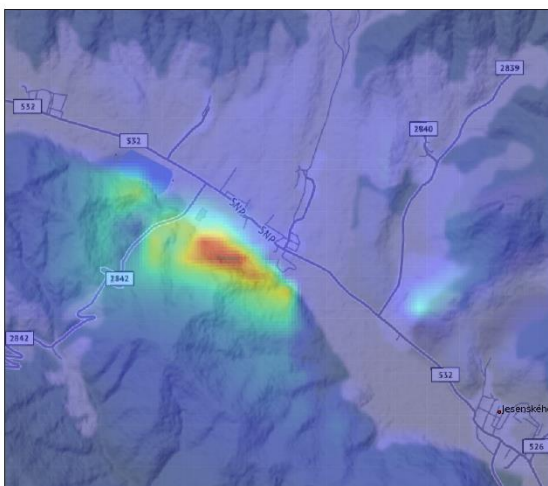
Priemerné ročné koncentrácie PM25 - 2017



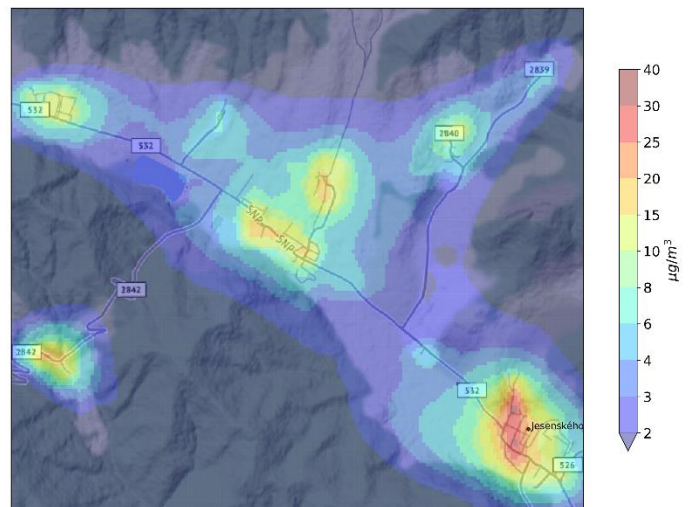
Priemerné ročné koncentrácie PM25 - 2017 - Cestná doprava



Priemerné ročné koncentrácie PM25 - 2017 - NEIS



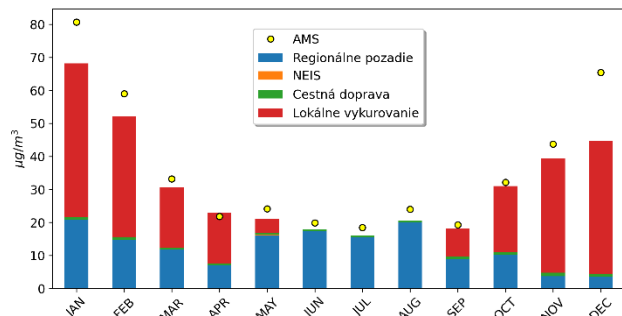
Priemerné ročné koncentrácie PM25 - 2017 - Lokálne kúreniská



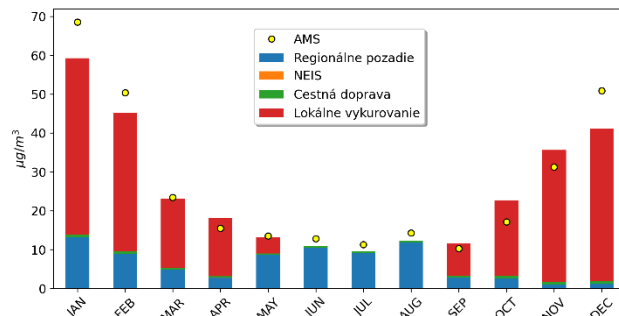
Obr. 22 Rozloženie priemerných ročných koncentrácií PM_{2,5} ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) - celkových (vľavo hore), z cestnej dopravy (vpravo hore), z priemyselných zdrojov (vľavo dole) a z lokálneho vykurovania (vpravo dole) vypočítané kombináciou modelov RIO a CALPUFF

Grafy na Obr. 23 ukazujú, že v prípade PM častíc príspevky z regionálneho prenosu dominujú počas letného obdobia, zatiaľ čo počas vykurovacej sezóny je absolútne dominantný príspevok z lokálneho vykurovania. Pri mesačných a denných koncentráciách tento podiel kolíše, dá sa povedať, že čím kratšie priemerovacie obdobie, tým je variabilita príspevku regionálneho pozadia vyššia. Počas inverzných situácií sa v doline hromadia lokálne emisie, pričom prenos z iných oblastí počas týchto epizód je veľmi obmedzený.

Príspevky jednotlivých skupín zdrojov k priemerným mesačným koncentráciám PM10 Jelšava - Jesenského

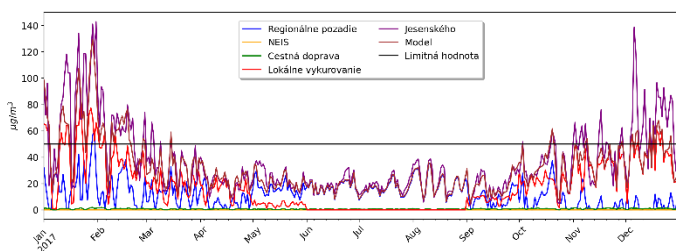


Príspevky jednotlivých skupín zdrojov k priemerným mesačným koncentráciám PM25 Jelšava - Jesenského

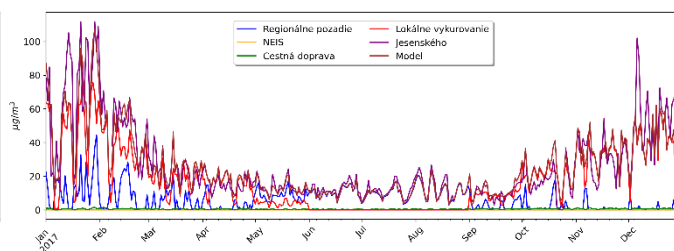


Obr. 23 Príspevky jednotlivých skupín emisných zdrojov k priemerným mesačným koncentráciám PM10 a PM2,5 v mieste monitorovacej stanice kvality ovzdušia (AMS – hodnoty namerané na monitorovacej stanici).

Príspevky jednotlivých skupín zdrojov k priemerným denným koncentráciám PM10 Jelšava - Jesenského



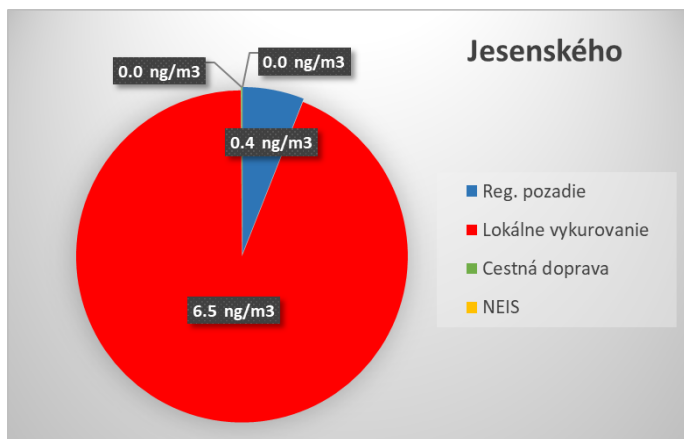
Príspevky jednotlivých skupín zdrojov k priemerným denným koncentráciám PM25 Jelšava - Jesenského



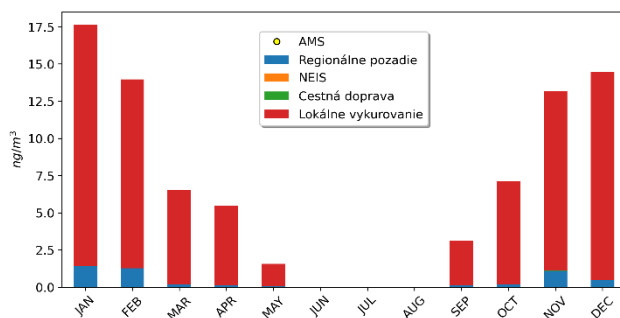
Obr. 24 Príspevky jednotlivých skupín zdrojov k priemerným denným koncentráciám PM10 a PM2,5 v miestach monitorovacích staníc

4.3.2.2.2 Benzo(a)pyrén – BaP

Benzo(a)pyrén je úzko spojený so spaľovacími procesmi a jeho dominantným zdrojom v oblasti je lokálne vykurovanie tuhým palivom. Príspevok regionálneho pozadia je minimálny. Priestorové rozloženie sa vyznačuje, tak ako u PM, niekoľkými hotspotmi situovanými v jednotlivých obciach. V roku 2017 sa benzo(a)pyrén v oblasti nemeral, merania začali až v roku 2018. V rokoch 2018 až 2020 boli namerané priemerné ročné koncentrácie BaP na monitorovacej stanici v Jelšave niekoľkokrát vyššie ako limitná hodnota, pričom to boli podstatne priaznivejšie roky ako 2017. To naznačuje, že modelom vypočítané koncentrácie a ich priestorové rozloženie je pravdepodobne blízko realite v danom roku.

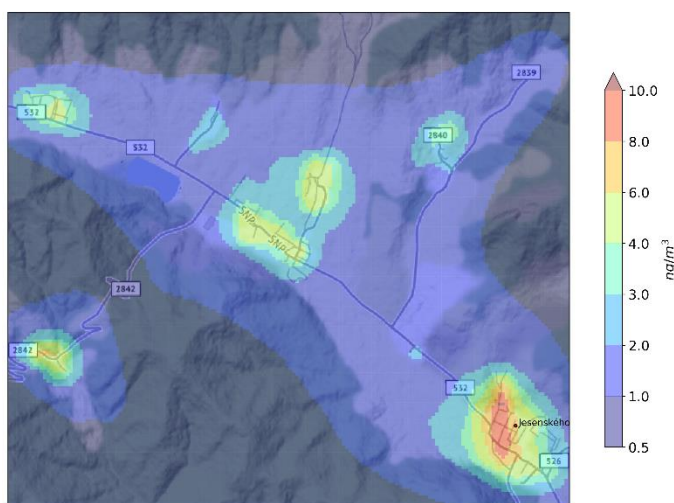


Príspevky jednotlivých skupín zdrojov k priemerným mesačným koncentráciám BaP Jelšava - Jesenského



Obr. 25 Príspevky jednotlivých skupín zdrojov k priemernej ročnej koncentrácii BaP a k priemerným mesačným koncentráciám BaP v mieste monitorovacej stanice

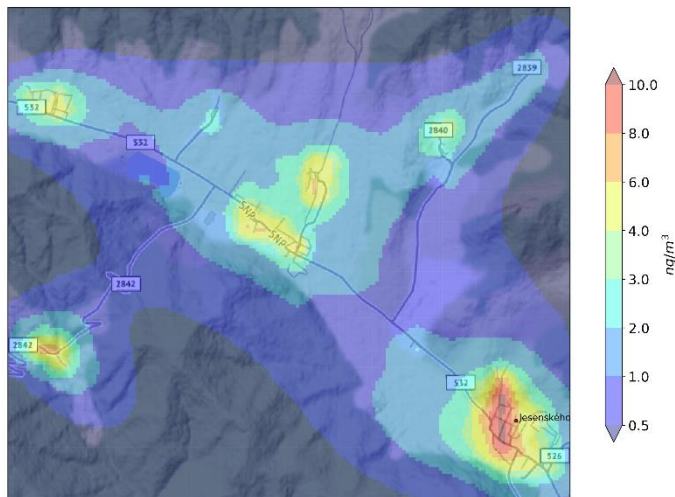
Priemerné ročné koncentrácie BaP - 2017



Priemerné ročné koncentrácie BaP - 2017 - Cestná doprava



Priemerné ročné koncentrácie BaP - 2017 - Lokálne kúreniská



Obr. 26 Celkové priemerné ročné koncentrácie BaP (vľavo hore), príspevek z cestnej dopravy (vľavo dole) a z lokálneho vykurovania (vpravo dole). Príspevok z priemyselných zdrojov NEIS je zanedbateľný.

5 ANALÝZA SITUÁCIE - ZÁVERY

Táto štúdia je hlavne cielená na vyhodnotenie miery vplyvu rôznych skupín zdrojov emisií na koncentrácie znečisťujúcich látok v dýchacej zóne a ich priestorové rozloženie, aby bolo možné zamerať opatrenia na zníženie emisií tam, kde je to najviac potrebné a kde to zároveň prinesie najvyšší efekt. Metóda, ktorá je na posúdenie použitá, zahŕňa simulovanie rozptylu znečisťujúcich látok zo zdrojov emisií v oblastiach riadenia kvality ovzdušia na území zóny Banskobystrického kraja (Banská Bystrica, Jelšava) pomocou deterministického matematického modelu CALPUFF. Z výsledkov lokálneho modelovania a berúc zároveň do úvahy výsledky regionálneho modelu pre celú zónu možno vyvodiť nasledujúce závery:

- Najväčším problémom zóny sú emisie z lokálnych kúrenísk. Tieto spôsobujú na niektorých miestach vysoké až nadlimitné hodnoty koncentrácií PM a BaP. Tieto vysoké hodnoty sú v oblastiach riadenia kvality ovzdušia reflektované v nadlimitných hodnotách nameraných na niektorých monitorovacích staniciach.
- Regionálne modelovanie poukazuje na existenciu oblastí s porovnateľnou alebo horšou kvalitou ovzdušia ako v oblastiach riadenia kvality ovzdušia. Výsledky regionálneho modelu reprezentujú priemerné koncentrácie v štvorcoch 1 x 1km. Pri podrobnejšej priestorovej analýze pomocou lokálneho modelu CALPUFF v oblastiach riadenia kvality ovzdušia boli odhalené hotspoty s vyššími koncentraciami ako v regionálnom modeli.
- Simulácie pomocou lokálneho modelu CALPUFF ukazujú, že v samotných oblastiach riadenia kvality ovzdušia môžu existovať aj ďalšie hotspoty s porovnateľnou alebo aj horšou kvalitou ovzdušia než bola nameraná na monitorovacích staniciach.
- Koncentrácie znečisťujúcich látok od roku 2017 (referenčný modelový rok) do súčasnosti klesali. Na druhej strane, od roku 2020 platí sprísnený limit pre priemernú ročnú koncentráciu PM_{2,5}, a do budúcnosti možno očakávať ďalšie sprísnenia európskych noriem pre kvalitu ovzdušia. Podľa výsledkov regionálneho modelovania pre 2020, berúc do úvahy tiež vyčlenené rizikové oblasti, je dosť pravdepodobné, že pri podrobnejšej priestorovej analýze rizikových oblastí by sa našli ďalšie hotspoty s nadlimitnými hodnotami PM a BaP, podobne ako v Jelšave a Banskej Bystrici.
- Presnosť výsledkov matematického modelovania silne závisí od kvality vstupných emisných dát. Ukázalo sa, že najdôležitejšie dáta – emisie z lokálneho vykurovania – neboli aktualizované od sčítania obyvateľov v r. 2011. Fakt, že tieto dáta už zďaleka neodrážajú realitu, naznačuje aj analýza nameraných a modelovaných koncentrácií BaP v Banskej Bystrici na stanici Štefánikovo náb. Zdá sa, že samosprávy si nevedú žiadne vlastné databázy týkajúce sa spôsobu vykurovania domov nenapojených na centrálny zdroj vykurovania. Jediné dáta, ktoré sú na úrovni samospráv vypracovávané sú koncepcie miest a obcí v oblasti tepelnej energetiky (vypracovávané na základe zákona č.657/2004 Z. z. o tepelnej energetike v znení neskorších predpisov), ktoré však úplne ignorujú lokálne kúreniská. Aby mohli byť opatrenia na lokálnej úrovni efektívne cielené, je nevyhnutné, aby boli aktualizované dáta o druhoch palív a vykurovacích zariadeniach na úrovni jednotlivých obcí, resp. základných sčítacích jednotiek.

POUŽITÁ LITERATÚRA

Dise N.B., Ashmore M., Belyazid S., Bleeker A., Bobbink R., De Vries W., Erisman J.W, Spranger T., Stevens C.J. & Van den Berg L. 2011. Nitrogen as a threat to European terrestrial biodiversity. In The European Nitrogen Assessment (eds M.A. Sutton, C. Howard, J.W. Erisman, G. Billen, A. Bleeker, P. Greenfelt, H. van Grinsven & D.B. Grizzetti). Cambridge University Press, Cambridge.

Gadsdon R. S. and Power A. S. 2009. Quantifying local traffic contributions to NO₂ and NH₃ concentrations in natural habitats. *Environmental Pollution* 157: 2845-2852

Greaver, T. L., Sullivan, T. J., Herrick, J. D., Barber, M. C., Baron, J. S., Cosby, B. J., ... & Novak, K. J. (2012). Ecological effects of nitrogen and sulfur air pollution in the US: what do we know?. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(7), 365-372.

Nordin, A., Sheppard, L.J., Strengborn, J., Bobbink, R., Gunnarsson, U., Hicks, W.K. & Sutton, M.A. 2011. New science on the effects of nitrogen deposition and concentrations of Natura 2000 sites. In Nitrogen Deposition and Natura 2000: Science and practice in determining environmental impacts. COST729/Nine/ESF/CCW/JNCC/SEI Workshop proceedings. COST (eds W.K. Hicks, C.P. Whitfield, W.J. Bealey & M.A. Sutton). Available from: <http://cost729.ceh.ac.uk/n2kworkshop>

Scire J.S., Robe F.R., Fernau M.E., Yamartino R.J.: *A User's Guide for the CALMET Meteorological Model*. Earth Tech, Inc., Concord, MA (2000a)

ŠÚ SR, 2011: Sčítanie obyvateľov, domov a bytov.

Scire, J.S., Strimaitis, D.G., Yamartino, R.J.: *A User's Guide for the CALPUFF Dispersion Model*, Earth Tech, Inc. Concord, MA. (2000b)

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

Krajčovičová J., 2011: Správa za úlohu SHMÚ č. 4103-00/2010 Vývoj a aplikácia modelov pre hodnotenie kvality ovzdušia. SHMÚ Bratislava.

Krajčovičová, J., Kremler, M., Jana Matejovičová, J, 2013: Určovanie príspevkov jednotlivých zdrojov PM₁₀ k celkovým nameraným koncentráciám pomocou modelových nástrojov. Konferencia Ovzduší 2013, Brno, 15 – 17 apríl 2013

Krajčovičová, J., Kremler, M., Matejovičová, J., Nemček, V., 2014: Analýza kvality ovzdušia v Košickom regióne pomocou modelu CALPUFF. In: Ochrana ovzdušia 2014, Štrbské Pleso, 148-151

Krajčovičová, J., Kremler, M., Matejovičová, J., Nemček, V., 2014: Rozloženie emisií prachových častíc na Slovensku v roku 2012. In: Ochrana ovzdušia 2014, Štrbské Pleso, 152-155

Krajčovičová, J., Kremler, M., Matejovičová, J., 2014: Local PM₁₀ source apportionment for non-attainment areas in Slovakia. Int. J. of Environment and Pollution, 2014 Vol.54, No.2/3/4, pp.166 – 174

Lefebvre, Wouter & Van Poppel, Martine & Maiheu, Bino & Janssen, Stijn & Dons, Evi., 201: Evaluation of the RIO-IFDM-street canyon model chain. Atmospheric Environment. 77. 325–337. 10.1016/j.atmosenv.2013.05.026.

CMAQv5.2, 2017: Operational Guidance Document <https://www.cmascenter.org/cmaq/>

Štátna ochrana prírody SR: <http://www.sopsr.sk/natura/index1.php?p=4&sec=5&kod=SKUEV0295>. Posledný prístup: 9.10.2020

Will-Wolf, S., 1981: Structure of corticolous lichen communities before and after exposure to emissions from a “clean” coal-fired generating station. Bryologist, 83: 281–295 (1981).

WHO air quality guidelines for Europe, 2nd edition, 2000: Effects of sulfur dioxide on vegetation: critical levels (<https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/pre2009/who-air-quality-guidelines-for-europe,-2nd-edition,-2000-cd-rom-version>)

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.

Štefánik, D., 2019: Cezhraničný prenos znečisťujúcich látok na území Slovenska, Meteorologický časopis, Ročník 22, číslo 2, ISSN 1335-339X, dostupné: <http://www.shmu.sk/sk/?page=31>, posledný prístup 30.3.20.

Štefánik, D., Matejovičová, J., Krajčovičová, J., Šedivá, T., Nemček, V., Beňo, J., 2020: Comparison of two methods of calculating NO₂ and PM₁₀ transboundary pollution by CMAQ chemical transport model and the assessment of the non-linearity effect, Atmospheric Pollution Research, Volume 11, Issue 6, 2020, Pages 12-23, ISSN 1309-1042, <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.02.012>.

EMEP/EEA, 2016, Air pollutant emission inventory guidebook.

[Online] <https://www.eea.europa.eu/publications/emepeea-guidebook-2016>. Posledný prístup: April 27, 2020.

Príloha 1: Charakteristiky monitorovacích staníc kvality ovzdušia

Tab. 4 Súradnice monitorovacích staníc kvality ovzdušia

	Zemepisná šírka	Zemepisná dĺžka	Nadmorská výška	Okres	Typ oblasti	Typ stanice
Banská Bystrica, Štefánik. náb.	N 48°44'06"	E 19°09'18"	346 m	Banská Bystrica	mestská	dopravná
Banská Bystrica, Zelená	N 48°44'01"	E 19°06'55"	425 m	Banská Bystrica	mestská	požadová
Jelšava, Jesenského	N 48°37'52"	E 20°14'26"	289 m	Revúca	mestská	požadová
Hnúšťa, Hlavná	N 48°35'02"	E 19°57'06"	320 m	Rimavská Sobota	mestská	požadová
Zvolen, J. Alexyho	N 48°33'30"	E 19°09'25"	321 m	Zvolen	mestská	požadová
Žiar nad Hronom, Jilemnického	N 48°35'59"	E 18°50'34"	296 m	Žiar nad Hronom	mestská	požadová

Tab. 5 Monitorovací program

	PM ₁₀	PM _{2.5}	NO ₂ *	SO ₂	O ₃	CO	Benzén	Ťažké kovy	BaP**
Banská Bystrica, Štefánik. náb.	x	x	x	x		x	x	x	x
Banská Bystrica, Zelená	x	x	x		x				x
Jelšava, Jesenského	x	x	x		x			x	x
Hnúšťa, Hlavná	x	x							
Zvolen, J. Alexyho	x	x							
Žiar nad Hronom, Jilemnického	x	x							

* okrem NO₂ sa meria aj NO, NOx

** okrem BaP sa merajú ďalšie polycyklické aromatické uhľovodíky (benzo(a)antracén, chryzén, benzo(b)fluorantén, benzo(k)fluorantén, indeno(123-cd)pyrén, dibenz(ah)antracén a benzo(ghi)perylén).

Príloha 2: Hodnotenie na základe meraní kvality ovzdušia

V tabuľkách sú uvedené hodnoty, ak je podiel platných meraní na danej stanici v danom roku aspoň 75 %, ak nie je uvedené inak. Hrubým písmom je v tabuľkách zvýraznené prekročenie limitnej hodnoty.

PM₁₀

Limitná hodnota pre priemernú ročnú koncentráciu PM₁₀ je 40 µg/m³.

Limitná hodnota pre priemernú dennú koncentráciu: Priemerná denná koncentrácia PM₁₀ nesmie prekročiť hodnotu 50 µg/m³ viac ako 35 krát za kalendárny rok.

Tab. 6 Priemerná ročná koncentrácia PM₁₀ (µg.m⁻³) namerané v sieti NMSKO v r. 2005 – 2020.

pm10y	typ oblasti	typ stanice	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Banská Bystrica, Štefánik. náb.	U	T				46	39	50	48	35	35	31			33	30	26	25
Banská Bystrica, Zelená	U	B													20	21	16	16
Banská Bystrica, Nám. slobody	U	B	35	39	35													
Jelšava, Jesenského	U	B	39	37	37	34	22	32				32	30	28	37	36	33	30
Hnúšťa, Hlavná	U	B	41	39	38	35	33	33	33	28	26	25	26	23	27	26	22	20
Zvolen, J. Alexyho	U	B				26	26	28	32	27	26	22		20	24	20	21	17
Žiar nad Hronom, Duk. hrdinov	U	B	25	24	30	28												
Žiar nad Hronom, Jilemnického	U	B						27	27	22	22	20			19	19	16	16

Tab. 7 Počty prekročení limitnej hodnoty pre priemernú dennú koncentráciu PM₁₀ v r. 2005 – 2020.

pm10d	typ oblasti	typ stanice	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Banská Bystrica, Štefánik. náb.	U	T				126	76	141	127	62	57	52	41	28	67	39	25	23
Banská Bystrica, Zelená	U	B				0	0	0						10	19	11	2	1
Banská Bystrica, Nám. slobody	U	B	70	92	57													
Jelšava, Jesenského	U	B	74	85	78	75	25	57	49	55	51	67	39	35	82	74	61	44
Hnúšťa, Hlavná	U	B	88	86	72	61	40	52	62	34	23	15	11	15	42	24	15	1
Zvolen, J. Alexyho	U	B				27	26	35	57	30	19	4	3	7	32	8	5	5
Žiar nad Hronom, Jilemnického	U	B				0	0	29	35	9	10	1	2	2	20	7	0	2

Bez podfarbenia – menej ako 75% platných meraní v roku.

PM_{2.5}

Limitná hodnota pre priemernú ročnú koncentráciu PM_{2.5} mala do 1.1.2020 hodnotu 25 µg/m³ od roku 2020 je limitnou hodnotou 20 µg/m³.

Tab. 8 Priemerná ročná koncentrácia PM_{2.5} (µg.m⁻³) v r. 2010 – 2020.

pm2.5	typ oblasti	typ stanice	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Banská Bystrica, Štefánik. náb.	U	T	30	43			22	24	19	23	20	18	16
Banská Bystrica, Zelená	U	B	18	22	18	17	16		14	16	14	10	14
Jelšava, Jesenského	U	B	22	35	45	27	24	22	19	27	24	21	18
Hnúšťa, Hlavná	U	B	18	24	18	15	19	18	14	19	19	16	14
Zvolen, J. Alexyho	U	B	20	27	22	20	17	16	14	18	16	14	12
Žiar nad Hronom, Jilemnického	U	B	18	22	17	14	15	19	12	15	16	13	12

Prekročenie limitnej hodnoty platnej do r. 2020 (do 25 µg/m³) je vyznačené hrubým písmom tmavočervenou farbou,

Prekročenie limitnej hodnoty platnej od r. 2020 (do 20 µg/m³) je vyznačené hrubým písmom červenou farbou.

Hodnoty od 20 do 25 do 25 µg/m³ sú vyznačené červeným písmom, kurzívou

BAP

Cieľová hodnota pre BaP: Priemerná ročná koncentrácie nesmie prekročiť $1 \text{ ng}/\text{m}^3$.

Tab. 11 Priemerné ročné a maximálne denné koncentrácie benzo(a)pyrénu ($\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$) namerané v rokoch 2016-2019.

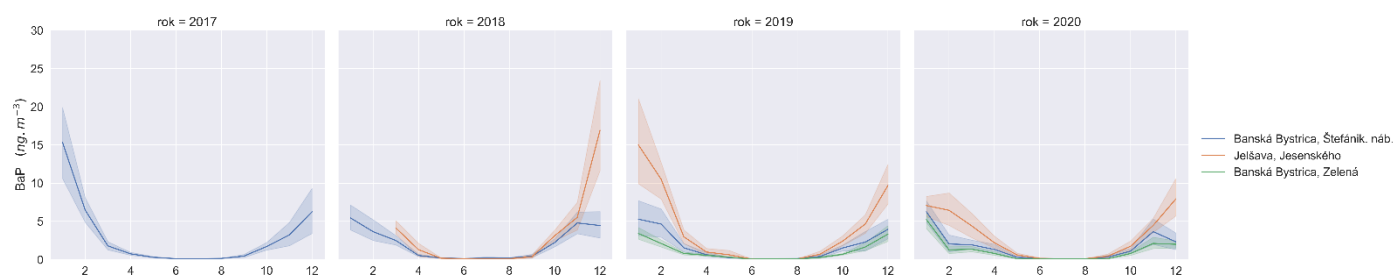
AMS	2016			2017			2018			2019			2020		
	priem.	max.	N	priem.	max.	N	priem.	max.	N	priem.	max.	N	priem.	max.	N
Banská Bystrica, Zelená										1.1	9.2	204	1.2	8.5	122
Banská Bystrica, Štefánikovo nábrežie	4.4*	8.9	14	2.9	29.4	141	2.1	12.0	128	1.7	13.4	132	1.6	9.6	121
Jelšava, Jesenského							3.9**	35.6	79	4.0	35.6	122	3.0	18.0	122

N – počet vzoriek v roku. Červenou farbou je zvýraznené prekročenie cieľovej hodnoty.

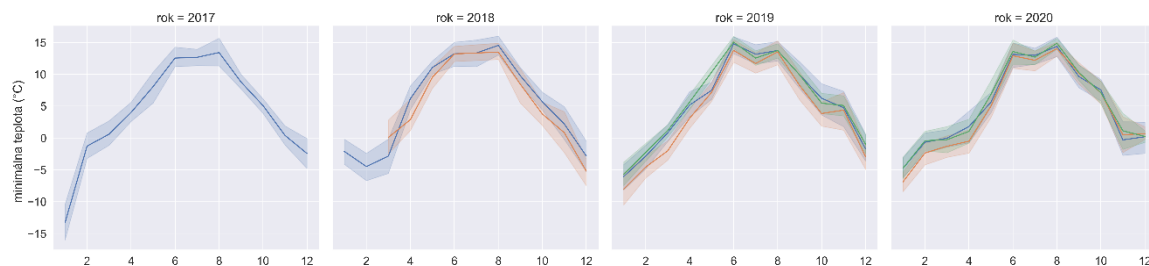
* Merania na AMS Banská Bystrica, Štefánikovo nábrežie začali v novembri 2016, pre hodnotenie podľa cieľovej hodnoty nie je v tomto roku dostatok údajov.

** Merania na AMS Jelšava, Jesenského začali v marci 2018, pre hodnotenie podľa cieľovej hodnoty nie je v tomto roku dostatok údajov.

Obr. 25 Priemerné mesačné koncentrácie BaP v rokoch 2017 – 2020.



Obr. 25 Priemerná minimálna mesačná teplota v rokoch 2017 – 2020.



Poznámka: Podfarbené plošky zobrazujú rozptyl (za predpokladu normálneho rozdelenia sa v tejto oblasti nachádza približne 68 % priemerných denných hodnôt).

Príloha 3: Modelovanie Kvality ovzdušia

Použité modelové nástroje

Matematické modely umožňujú vypočítať priestorové rozloženie požadovaných charakteristík znečistenia ovzdušia, v našom prípade koncentrácií znečisťujúcich látok. Pre územia veľkosti celej krajiny, alebo regiónu sa používajú chemicko-transportné modely, v našom prípade CMAQ. Je to deterministický model, teda spája príčinu (emisie) s následkom (koncentrácie) pomocou matematicko-fyzikálnych a chemických vzťahov popisujúcich transport, difúziu a chemické premeny znečisťujúcich látok. Vzhľadom na priestorové rozlíšenie modelov (momentálne ~2 km) a neurčitosti hlavne v emisných vstupoch sa výsledky týchto modelov ešte spresňujú pomocou ďalších matematických metód, ako sú sofistikované interpolačné a regresné modely, akým je napr. model RIO. Kombinácia týchto dvoch typov modelov prináša spresnené polia koncentrácií, avšak nedá sa použiť na odlišenie príspevkov rôznych emisných zdrojov. Príspevky rôznych skupín zdrojov je možné získať následne lokálnymi modelmi s vysokým rozlíšením, v našom prípade modelom CALPUFF (Scire et al, 2000b). Tento model je použitý pre spresnenie polí koncentrácií a určenie príspevkov jednotlivých skupín zdrojov v oblastiach riadenia kvality ovzdušia, kde sa predpokladá, že priestorové pole koncentrácií má pomerne zložitú štruktúru s viacerými hotspotmi. Regionálny interpolačný model RIO prináša do lokálneho modelovania dôležitú informáciu, a to príspevok ku koncentráciám zo zdrojov nachádzajúcich sa mimo domény lokálneho modelu.

Interpolačno-regresný model RIO

Model RIO (Janssen et al., 2008) je pokročilý interpolačno-regresný model. Vstupmi sú namerané koncentrácie a rôzne pomocné priestorové polia, ktoré majú súvislosť s priestorovým rozložením danej znečisťujúcej látky - ako napríklad mapy nadmorskej výšky, intenzity dopravy, ventilačného indexu, gridovaných emisií z lokálnych kúrenísk - pričom súbor týchto tzv. driverov je špecifický pre konkrétnu znečisťujúcu látku. Ako priestorový driver môžu slúžiť aj výsledky modelov, napr. aj modelu CMAQ, družicové pozorovania atď., pričom pomocou modelu RIO môžeme získať vyššie priestorové rozlíšenie koncentrácií. V prvom kroku výpočtu model zisťuje priestorové korelácie danej znečisťujúcej látky s jednotlivými možnými priestorovými drivermi v miestach monitorovacích staníc. V ďalšom optimalizuje tzv. parameter β , ktorý získa kombináciou vybraných priestorových driverov, ktoré najlepšie korelujú s priestorovým rozložením znečisťujúcej látky. Model vypočíta taký parameter β , pomocou ktorého dosiahne najlepšiu koreláciu s nameranými dátami. Rozdiely medzi hodnotami v miestach monitorovacích staníc vypočítanými pomocou parametra β a skutočnými meraniami sa potom interpolujú metódou ordinary kriging a následne sa pripočítajú k dátam vypočítaným pomocou parametra β pre každý bod mriežky. Pre hodnotenie kvality ovzdušia modelom RIO sa použilo rozlíšenie 1 x 1 km.

IDW-R

Interpolačný model RIO patrí medzi tzv. aproximujúce interpolačné metódy, čo znamená že pole koncentrácií vyhladzuje a v miestach monitorovacích staníc nevypočíta nutne rovnakú koncentráciu ako bola nameraná. Preto výstupy modelu RIO alebo CMAQ ešte upravujeme technikou IDW-R (inverse distance weighting - regresion). V prvom kroku IDW-R sa vypočíta lineárna regresná krivka medzi nameranými údajmi a výstupmi modelu. V druhom kroku sa vykoná štandardná IDW interpolácia rozdielov medzi nameranými dátami a dátami vypočítanými pomocou lineárnej regresie, čím získame 2D mapu s interpolovanými rozdielmi. Táto sa vynásobí preškálovanými vstupnými dátami s hodnotami od 0 až 1 a následne sa pripočíta k hodnotám vypočítaným regresiou. Techniku možno opakovať niekoľkokrát po sebe pri zlepšujúcich sa štatistických ukazovateľoch. Na výsledné porovnanie modelu s meraniami bola použitá stredná kvadratická chyba (RMSE) a systematická chyba (BIAS).

Popis metódy na určenie rizikových oblastí

Vymedzenie rizikových oblastí je komplikovaný problém, preto bolo na ich identifikáciu použitých viacero metód – výstup chemicko-transportného modelu CMAQ s priestorovým rozlíšením 1,6 x 1,6 km a výstup interpolačného modelu RIO s rozlíšením 1 x 1 km. Na vyčlenenie rizikových oblastí boli použité simulácie vzťahujúce sa na rok 2017, ktorý bol z hľadiska kvality ovzdušia nepriaznivý. Z oboch modelov boli vybrané oblasti s hodnotami priemernej ročnej koncentrácie PM_{2,5} vyššími ako 90. percentil z hodnôt celého územia SR. Kvalita ovzdušia môže byť zhoršená aj na miestach, ktoré nemusí žiaden zo spomínaných modelov identifikovať. Dôvody môžu byť rôzne – napr. meteorologické podmienky referenčného roku nie sú pre všetky oblasti úplne reprezentatívne v dlhodobejšom merítku, napr. 10 rokov, v súčasnosti dostupné informácie o priestorovom rozložení a množstve emisií najmä z lokálneho vykurovania sa vyznačujú dosť veľkou neurčitostou, priestorové rozlíšenie modelov je nedostatočné na zachytenie lokálnych extrémov a pod. Preto boli vymedzené aj oblasti s možným výskytom zhoršenej kvality ovzdušia, ktoré môžu mať nepriaznivé rozptylové podmienky (priemerná rýchlosť vetra v roku 2020 menšia než 2 m.s⁻¹ podľa výstupu modelu ALADIN s rozlíšením 2 x 2 km). Táto doplnková metóda tiež nie je úplne reprezentatívna, pretože na určenie priemerných rýchlostí vetra bol použitý iba jeden rok. (Výstupy z modelu ALADIN s takýmto vysokým rozlíšením nie sú dostupné za predchádzajúce roky.)

Oblasťam, ktoré sme určili všetkými tromi spomenutými metódami ako rizikové, sme priradili stupeň ohrozenia 3. Tie ktoré sa určili len dvomi metódami majú stupeň ohrozenia 2 a určené len jednou metódou majú stupeň ohrozenia 1.

Určenie rizikových obcí ohrozených lokálnym vykurovaním a zhoršenými rozptylovými podmienkami v zime

Obce, ktoré sme posúdili ako rizikové z hľadiska kvality ovzdušia sme určili nasledovným spôsobom:

Každý obci sme priradili hodnotu emisného stupňa od 0 po 4. Tieto hodnoty boli priradené nasledovne: V SR je 25 % obcí s počtom rodinných domov vykurovaných tuhým palivom menším ako 23. Týmto obciam a tiež takým, v ktorých podiel domov vykurovaných tuhým palivom ku všetkým nepresahuje 5%, bol priradený emisný stupeň 0. Ako uvidíme, metodika bola skonštruovaná tak, aby sa takéto obce nezaraďovali medzi rizikové. Emisný stupeň 1 bol priradený obciam s počtom rodinných domov vykurovaných tuhým palivom medzi 24 a 45. Číslo 45 predstavuje medián, t.j. 50 % obcí SR má menej ako 45 rodinných domov vykurovaných tuhým palivom. Emisný stupeň 2 bol priradený obciam s počtom rodinných domov vykurovaných tuhým palivom medzi 46 a 95. V SR je 25 % obcí s viac ako 95 rodinnými domami vykurovanými tuhým palivom. Emisný stupeň 3 bol priradený obciam s počtom rodinných domov vykurovaných tuhým palivom medzi 96 a 200. Počet 200 bol zvolený ako približný dvojnásobok hodnoty 95. Ak je v obci viac ako 200 rodinných domov, ktoré sú vykurované tuhým palivom, takéto obce dostanú emisný stupeň rovný 4. Tieto obce boli v metodike automaticky zaradené medzi rizikové.

Ďalším faktorom bola rizikovosť oblasti v obci určená spôsobom popísaným v podkapitole vyššie. Každý obci je priradená hodnota 0,1,2,3 podľa toho, aký je najvyšší stupeň ohrozenia nachádzajúci sa v katastri obce. V ďalšom túto hodnotu nazývame modelový stupeň. Aby sme čo najviac eliminovali neurčitosti spôsobené metodikou, použili sme na určenie rizikovosti oblasti aj staršiu metodiku použitú v článku (Nemček a kol, 2020)⁴, ktorá je podobná s tu uvádzanou metodikou, len berie staršiu konfiguráciu RIO modelu s rozlíšením 4,5 x 4,5 km a namiesto použitia modelu ALADIN určuje rizikovosť na základe „dolinovosti“ terénu a nízkej rýchlosti vetra z klimateckej vrstvy priemerných rýchlostí vetra za roky 1961-2010. Rovnako je každej obci priradený modelový stupeň 0 až 3.

Za rizikové berieme tie obce, v ktorých je výsledný stupeň vypočítaný ako emisný stupeň + modelový stupeň väčší alebo rovný ako 4, pričom za modelový stupeň berieme vždy vyššiu hodnotu spomínaných dvoch modelových stupňov pre danú obec. Týmto sa zabezpečili spomínané podmienky – ak je emisný stupeň 0, obec sa neberie medzi rizikové, ak je emisný stupeň 4, obec berieme medzi rizikové nezávisle od modelového stupňa.

⁴ Nemček V., Krajčovičová J., Štefánik, D. 2020, Stanovenie rizikových oblastí kvality ovzdušia ohrozených časticami PM10 z lokálneho vykurovania na Slovensku, Meteorologický časopis, Ročník 23, číslo 1, ISSN 1335-339X, dostupné: <http://www.shmu.sk/sk/?page=31>, posledný prístup 3.8.21.

Tab. 13 Okresy, považované za rizikové ako celok

Okres
Banská Bystrica
Brezno
Detva
Lučenec
Poltár
Revúca
Rimavská Sobota
Žarnovica
Žiar nad Hronom

Tab. 13 obsahuje okresy, ktoré sú považované za rizikové celé, pretože obsahujú viac ako 40 % rizikových obcí. Tab. 14 obsahuje vymenované rizikové obce v ostatných okresoch.

Tab. 14 Zoznam rizikových obcí, v okresoch, kde je podiel rizikových obcí menej ako 40 %.

Okres	Obec	Okres	Obec	Okres	Obec
Banská Štiavnica	Banská Belá	Veľký Krtíš	Bušince	Zvolen	Dobrá Niva
	Banská Štiavnica		Čeláre		Kováčová
	Podhorie		Dolná Strehová		Očová
	Prenčov		Hrušov		Pliešovce
	Svätý Anton		Chrastince		Sása
Krupina	Bzovík		Koláre	Sielnica	
	Hontianske Nemce		Kováčovce	Sliač	
	Krupina		Malá Čalomija	Zvolen	
	Sebechleby		Modrý Kameň	Zvolenská Slatina	
			Obeckov		
	Olováry				
	Pôtor				
	Sklabiná				
	Slovenské Ďarmoty				
	Veľké Zlievce				
	Veľký Krtíš				
	Vinica				
	Vrbovka				
	Záhorce				
	Želovce				

Lokálne modelovanie - CALPUFF

Na výpočty koncentrácií z lokálnych kúrenísk, z bodových zdrojov NEIS a dopravy v oblastiach riadenia kvality ovzdušia sme použili model CALPUFF (Scire a kol., 2000b) naviazaný na meteorologický diagnostický model CALMET (Scire a kol., 2000a).

Horizontálne rozlíšenie domény je dané členitosťou terénu, teda z toho vyplývajúceho počtu bodov, ktorým je možné popísať najužšiu dolinu tak, aby bol dosiahnutý dostatočný výškový popis terénu. Takto popísaný terén spolu s dvojrozmerným poľom využitia krajiny (CORINE) vložený do meteorologického modelu CALMET má za následok prispôbenie meteorologických dát (hlavne však trojrozmerného poľa vetra) terénnym prekážkam a miestnym cirkulačným systémom (horské a údolné vetry). Výstupom modelu CALMET sú sekvenčné hodinové trojrozmerné polia vetra a ďalších meteorologických parametrov pre celý rok. Tieto tvoria spolu s emisiami vstupné dáta pre nestacionárny lagrangeovský model CALPUFF, ktorý okrem situácií s nízkymi až nulovými rýchlosťami vetra (stagnácia) dokáže simulovať aj jednoduché schémy popisujúce chemické premeny (t.j. napr. tvorbu sekundárnych aerosólov). Metóda je podrobne popísaná v publikáciách Krajčovičová a kol. (2013, 2014), Krajčovičová (2011).

Model CALPUFF je lokálny model, to znamená, že modeluje rozptyl emisií zo zdrojov, ktoré sú na území modelovej domény. Zdroje, ktoré sú mimo domény, teda tzv. regionálne pozadie model „nevidí“, preto je potrebné k hodnotám vypočítaných koncentrácií zo zdrojov na území domény pripočítať ešte hodnotu regionálneho pozadia. Na tento účel boli použité výsledky modelu RIO. Tento model bol použitý (po ošetrení tzv. dvojitého započítania koncentrácií) ako regionálne pozadie v prípade PM₁₀ a PM_{2,5}, ku ktorému boli pripočítané koncentrácie vypočítané modelom CALPUFF. Pre benzo(a)pyrén nie sú k dispozícii výsledky z modelu RIO, z dôvodu nedostatočne hustej siete meracích staníc. V týchto prípadoch možno ako regionálne pozadie použiť s určitou rezervou priamo namerané údaje z najbližšej monitorovacej stanice regionálneho charakteru.

Parametre modelovanej domény a zdroje dát

Tab. 15 zobrazuje parametre modelových simulácií v doménach Jelšava a Banská Bystrica. Simulácie boli vykonané pre rok 2017. Veľkosť domén bola zvolená tak, aby pokrývala celé časti katastrov obsahujúce obytné zóny a najbližšie okolie v dostatočnom rozsahu vplyvov všetkých potenciálnych zdrojov emisií na území oblastí. Ako optimálne horizontálne rozlíšenie meteorologických dát bolo zvolené 250 m, čo je postačujúce na rozlíšenie vplyvov okolitých pohorí.

Zdroje z databázy NEIS boli vložené do modelu ako bodové zdroje, pričom ich parametre (poloha, výška a priemer komína, výstupná rýchlosť spalín) boli prevzaté z databázy NEIS, ak boli dostupné, alebo odhadnuté na základe dostupných informácií, ak táto informácia v databáze chýbala alebo bola zjavne nesprávna (napr. poloha). Sezónne bodové zdroje boli v simulácii prítomné iba počas vykurovacej sezóny.

Tab. 15 Parametre modelových simulácií

Parameter	Banská Bystrica	Jelšava
Horizontálne rozmery domény	12,5 x 15 km	8,5 x 7,5 km
Počet vertikálnych hladín	11	11
Horná hranica domény, hrúbka spodnej vrstvy	3000 m, 20 m	3000 m, 20 m
Horizontálne rozlíšenie meteorologických polí	250 m	250 m
Rok a dĺžka simulácie	2017, 365 dní	2017, 365 dní
Počet zdrojov:		
- Komíny, výduchy, fugitívne zdroje (sezónne aj celoročné)	298	86
- Líniové – doprava (celková dĺžka cestnej siete v km)	93 km	12 km
- Objemové – kúreniská (rodinné domy, bytové domy)	3357, 128	842, 48

Validácia výsledkov modelovania v miestach monitorovacích staníc

Ako už bolo spomenuté v predchádzajúcich sekciách, modelovanie kvality ovzdušia je spojené s mnohými neurčitostami, vyplývajúcimi hlavne z kvality vstupných meteorologických a emisných dát, pričom tie posledné sú zdrojom oveľa vyšších neistôt. Emisné dáta pre model sú potrebné vo vysokom priestorovom rozlíšení a s priradenými časovými profilmi. Časové rozlíšenie vieme do určitej miery zohľadniť pri emisiách z lokálnych kúrenísk, kde môžeme vychádzať z priemerných denných teplôt, ktoré indikujú energiu potrebnú na vykurovanie, a teda aj emisie.

Predpokladáme však, že tieto emisie sú rovnomerne rozložené počas dňa. Rovnako vieme zohľadniť v prípade dopravy priemerný denný chod emisií súvisiaci s dopravnými špičkami. Pri emisiách z priemyselných zdrojov berieme do úvahy, či ide o zdroj celoročný, alebo sezónny (napr. tepláreň). Niektoré veľké zdroje emisií majú povinnosť monitorovania svojich emisií a je možné získať ich časový priebeh, týchto zdrojov je však menšina. Ostatné zdroje v NEIS reportujú emisie vypočítané na základe typu technológie, príslušného merateľného parametra (napr. množstvo spotrebovaného paliva, objem výroby a pod.) a emisných faktorov dostupných z dokumentácie. Tieto emisie sú tiež spojené s vysokou mierou neurčitosti. Zo všetkých týchto dôvodov je potrebná validácia modelových výsledkov oproti meraným hodnotám na monitorovacích staniciach kvality ovzdušia. Priemerné ročné hodnoty sú najrobustnejším štatistickým parametrom, ktorý model dokáže zvyčajne predpovedať pomerne úspešne. Validácia oproti kratším časovým intervalom – napr. denným priemerom – obyčajne odhalí slabiny simulácie vyplývajúce z vyššie uvedených neistôt.

Tab. 16 Validácia priemerných denných hodnôt model vs. merania - základné validačné štatistiky (v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, okrem korelačného koeficientu)

Monitorovacia stanica NMSKO	PM ₁₀					PM _{2,5}				
	AMS	Model	Korel. koef.	RMSE	Bias	AMS	Model	Korel. koef.	RMSE	Bias
Banská Bystrica, Štefánikovo náb.	32.9	30.5	0.95	7.31	-2.16	23.3	22.7	0,96	5.37	-0.51
Banská Bystrica, Zelená	20.0	25.5	0.95	8.28	5.65	15.9	20.3	0,95	7.4	4.5
Jelšava, Jesenského	37.1	39.0	0,88	13,99	-5,03	26.7	25.1	0,88	11,00	-1,30

AMS, Model – priemerné ročné hodnoty koncentrácií namerané na stanici AMS a vypočítané modelom

RMSE – Priemerná odchýlka (Root mean square error)

V Tab. 16 sú uvedené základné štatistiky vyplývajúce z porovnania modelovaných a nameraných priemerných denných hodnôt koncentrácií v miestach monitorovacích staníc NMSKO pre tri základné znečisťujúce látky. Výsledky validácie sa značne líšia v závislosti od typu stanice a do určitej miery aj od znečisťujúcej látky. Vysoká korelácia modelu a meraní v prípade PM je do istej miery daná aj vysokým podielom regionálneho pozadia, ktoré bolo modelované na základe interpolácie meraných dát po odstránení vplyvu prostredia, v ktorom sú umiestnené (model RIO – Janssen a kol., 2008).

Príloha 4: Výsledky vzorkovania PM častíc v Jelšave

Vzorkovanie PM častíc na AMS v Jelšave prebiehalo v troch etapách v období marec až máj v roku 2018. Vzorky boli odoberané pomocou troch vzorkovačov, ktoré odoberali frakcie PM_{2,5}, PM₁₀ a celkové tuhé znečisťujúce látky.

Tab. 16 Výsledky analýz horčika vo vzorkách PM (TZL).

Kampaň	PM _{2,5}			PM ₁₀			TZL		
	Počet vzoriek	Priemerná koncentrácia Mg (µg/m ³)	Priemerná koncentrácia MgCO ₃ (µg/m ³)	Počet vzoriek	Priemerná koncentrácia Mg (µg/m ³)	Priemerná koncentrácia MgCO ₃ (µg/m ³)	Počet vzoriek	Priemerná koncentrácia Mg (µg/m ³)	Priemerná koncentrácia MgCO ₃ (µg/m ³)
1. 7.3.-18.6.2018	5	0.18	0.54	5	2.04	6.11	5	1.69	5.08
2. 22.3.-5.4.2018	8	0.30	0.90	8	1.52	4.56	8	2.45	7.34
3. 10.5.-24.5.2018	7	0.19	0.49	8	0.93	2.80	8	0.77	2.32
Súhrn	20	0.23	0.64	21	1.42	4.26	21	1.63	4.89

Pokiaľ sa vo vzduchu nachádza horčík vo forme magnezitu, hmotnostný podiel magnezitu v prachu by sme získali, ak by sme vynásobili naše výsledky podielom molovej hmotnosti magnezitu a molovej hmotnosti horčika.

Záver: Vplyv spracovania magnezitu na merané koncentrácie pevných častíc na AMS Jelšava nie je zanedbateľný, no na druhej strane ani dominantný. Zastúpenie horčika v prachu je najnižšie pri PM_{2,5}. Ak sa na filtroch zachytený horčík nachádza vo forme magnezitu, tak hmotnostný podiel magnezitu v PM počas monitorovacej kampane odhadujeme na základe výsledkov analýz v priemere okolo 8 %. Tento podiel bude pravdepodobne nižší počas zimných mesiacov (december, január, február), kedy je pribudnú vyššie emisie z vykurovania domácností.