

*Podklady
pre Program
na zlepšenie
kvality ovzdušia*

*zóna
Žilinský kraj*

SHMÚ, Bratislava, 2023

*Jana Krajčovičová
Katarína Belohorcová
Dušan Štefánik
Vladimír Nemček
Juraj Beňo
Jana Matejovičová*

Obsah

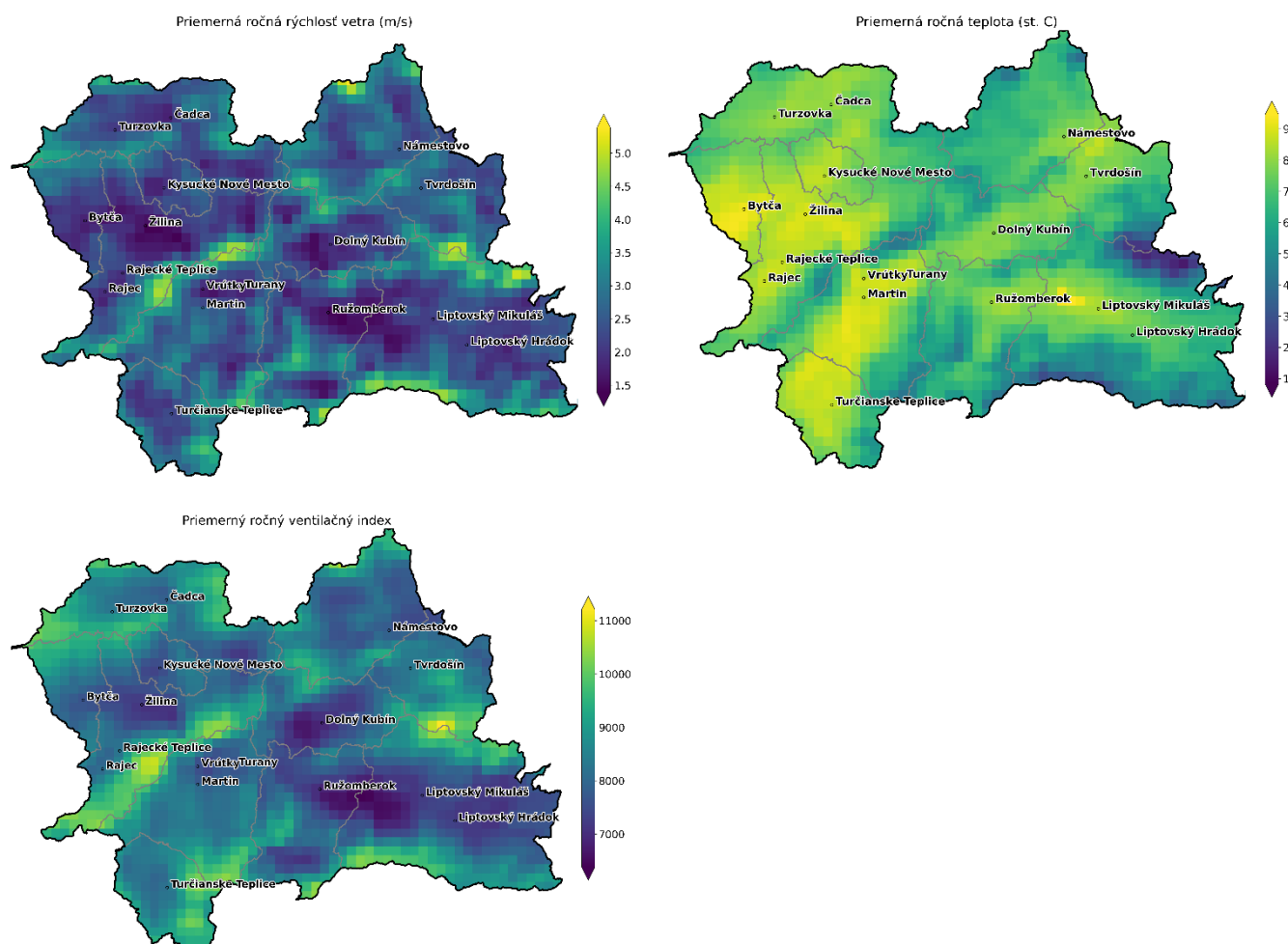
3	ZÁKLADNÉ INFORMÁCIE O ÚZEMÍ ZÓNY.....	2
3.1	Charakteristiky ovplyvňujúce prúdenie vzduchu a rozptylové podmienky	2
3.2	Obyvateľstvo a ekosystémy	3
3.3	Zdroje emisií.....	4
3.3.1	Veľké a stredné zdroje znečisťovania (priemysel a energetika)	5
3.3.2	Cestná doprava	5
3.3.3	Vykurovanie domácností.....	5
4	HODNOTENIE ZNEČISTENIA OVZDUŠIA V ZÓNE.....	7
4.1	Relevantné znečisťujúce látky.....	7
4.2	Výsledky monitoringu kvality ovzdušia	7
4.3	Výsledky modelovania a analýza situácie	8
	Celkové zhodnotenie zóny	8
	Prekračovanie limitných hodnôt podľa legislatívy platnej v súčasnosti	8
	Analýza príspevkov jednotlivých skupín zdrojov k celkovým koncentráciám.....	12
	Regionálne pozadie	12
	Projekcie možných opatrení na zníženie koncentrácií BaP a PM.....	13
4.4	ZHRNUTIE HODNOTENIA.....	14

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. 3.1** 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. Reliéf Žilinského kraja je veľmi členitý, nenachádza sa tu žiadna nížina, sídla sú koncentrované v kotlinách (Žilinská, Turčianska, Oravská a Liptovská, ktorá je súčasťou Podtatranskej kotliny), ktoré sú vzájomne oddelené pomerne vysokými pohoriami (Malá a Veľká Fatra, Chočské Vrchy, Západné a Nízke Tatry).



Obr. 3.1 Rozloženie priemernej ročnej rýchlosti vetra (vľavo hore), teploty (vpravo hore) a ventilačného indexu¹ (vľavo dole) v zóne Žilinský kraj

Na mapkách **Obr. 3.1** je vidno, že v centrách hlavných kotlin, v ktorých sa nachádzajú najväčšie mestá, sú ventilačné podmienky najhoršie (nízky ventilačný index a priemerná rýchlosť vetra). Dobre ventilované sú iba hrebene pohorí.

Prevládajúci smer vetra je na rôznych miestach v rámci zóny značne variabilný a závisí od interakcie základného veľkorozmerového prúdenia s lokálnym terénom. V rôznych lokalitách sa budú prevládajúce smery vetra vzájomne líšiť a budú dané hlavne orientáciou hrebeňov a s nimi súvisiacich dolín.

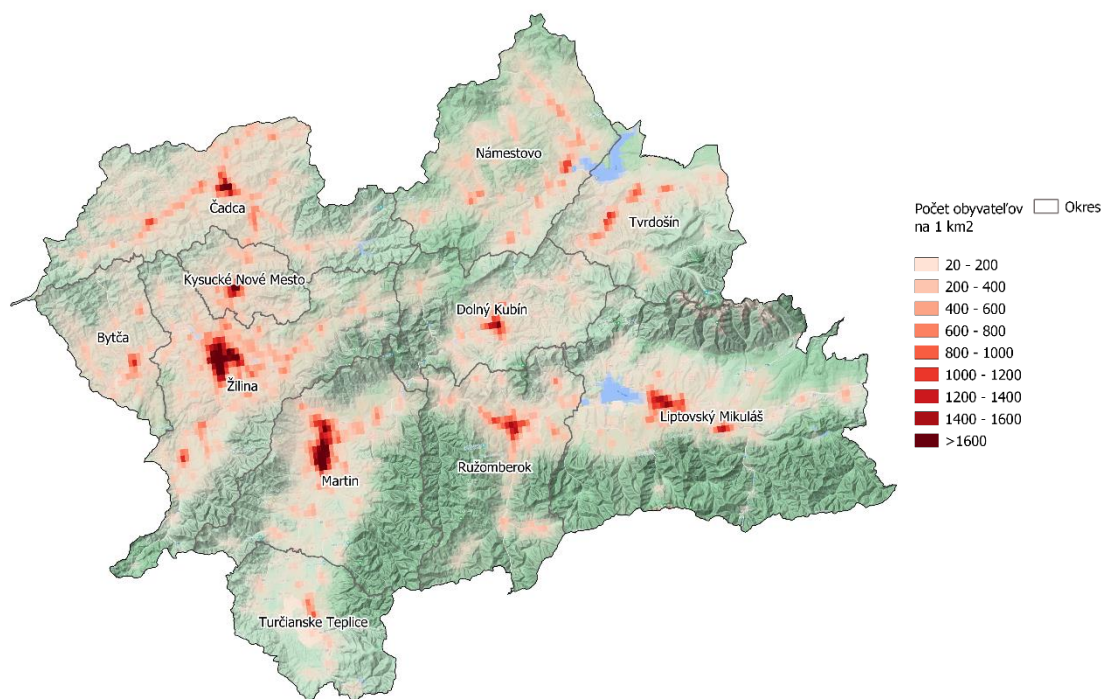
¹ Ventilačný index je parameter vyjadrujúci potenciálnu mieru rozptylu znečisťujúcich látok. Počíta sa ako súčin výšky vrstvy premiešavania atmosféry a priemernej rýchlosti vetra v tejto vrstve.

3.2 Obyvateľstvo a ekosystémy

Kvalitu ovzdušia posudzujeme z dôvodu ochrany zdravia obyvateľstva a ekosystémov.

Počet obyvateľov Žilinského kraja k 31. 12. 2021 dosiahol 689 525, hustota obyvateľstva na 1 km² bola 101 obyvateľov.

Obr. 3.2 znázorňuje priestorové rozloženie hustoty obyvateľstva na území zóny.



Obr. 3.2 Rozloženie hustoty obyvateľstva v zóne Žilinský kraj (2018, zdroj: EUROSTAT)

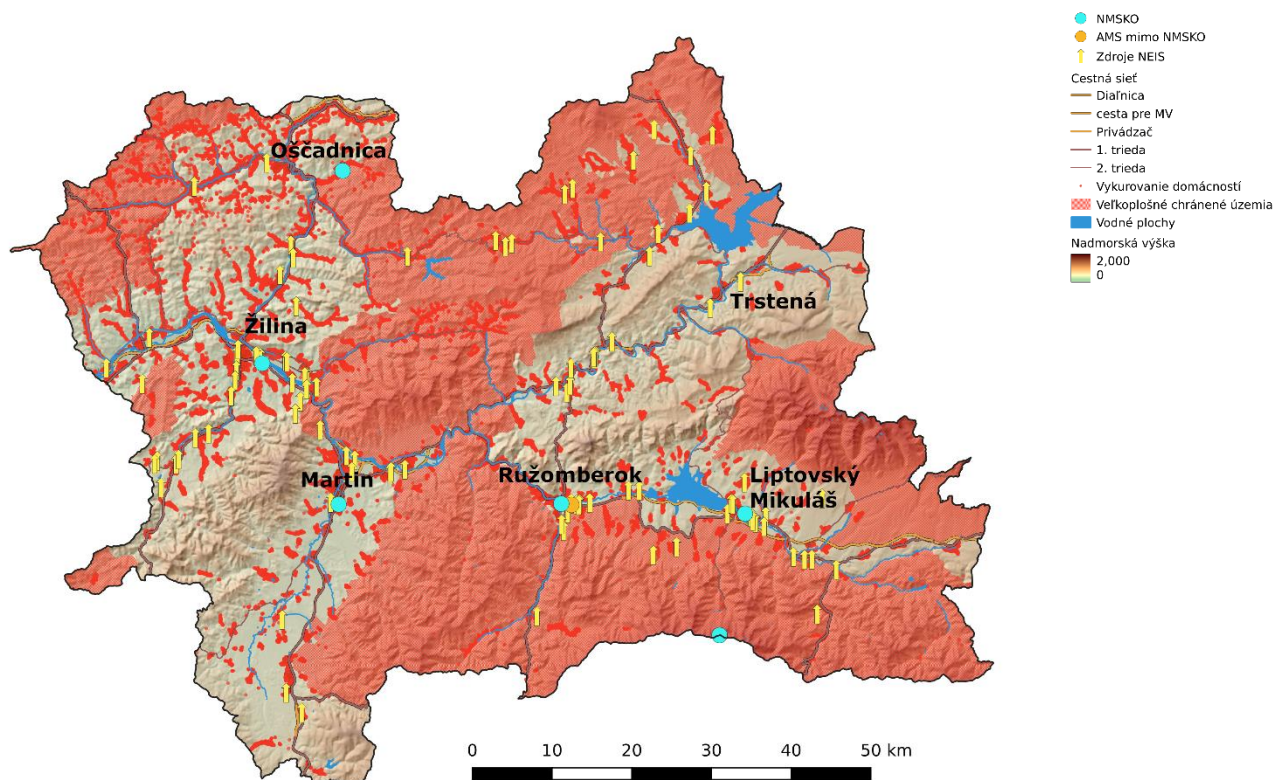
Na území kraja sa nachádzajú veľkoplošné chránené územia, ktoré zahŕňajú národné parky a chránené krajinné oblasti. Tieto územia, určené na ochranu a zachovanie vzácnych ekosystémov a organizmov, sú vyznačené na mape (**Obr. 3.3**) spolu s rozmiestnením najrelevantnejších zdrojov znečistenia ovzdušia.

V súčasnej dobe sa za najrizikovejšie látky vplývajúce na ekosystémy považujú NO_x a SO₂, 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 SO₂ a NO_x z veľkých priemyselných zdrojov znečistenia.

3.3 Zdroje emisií

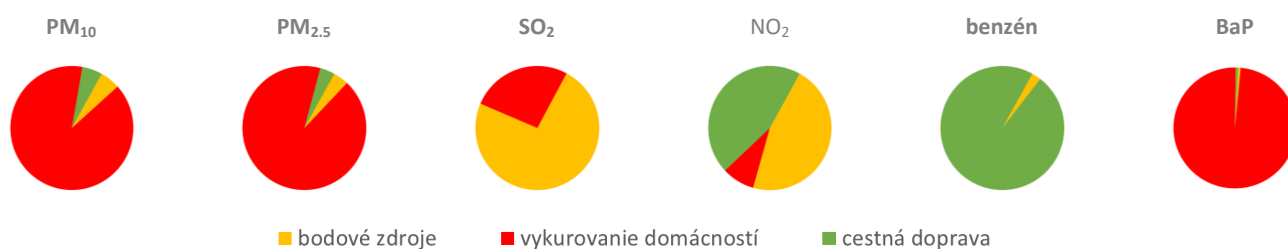
Emisie predstavujú množstvo znečisťujúcej látky, ktoré bolo uvoľnené do prostredia (v tomto prípade do ovzdušia) za určitý čas. Pre účely vypracovania Programu na zlepšenie kvality ovzdušia si zdroje emisií rozdelíme nasledovne:

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



Obr. 3.3 Mapa kraja s relevantnými zdrojmi emisií, s vyznačenými veľkoplošnými chránenými územiaми 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, búracích a výkopových prác, atď. Pre nedostatok informácií nie sú tieto zdroje zahrnuté v tejto analýze. V rámci zóny sú najdôležitejšími zdrojmi znečisťovania lokálne kúreniská využívajúce tuhé palivo. Najmä vo väčších mestách (Žilina, Ružomberok, Martin) má nezanedbateľný význam aj doprava, a to najmä tranzitná. Obr. 3.4 zobrazuje emisie jednotlivých skupín zdrojov a vybraných zdrojov NEIS. Z hľadiska emisií PM a benzo(a)pyrénu (BaP) 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. 3.4 Porovnanie emisií z rôznych zdrojov v zóne Žilinský kraj (bodové zdroje zahŕňajú zdroje NEIS).

Spoločným problémom emisií z dopravy a lokálnych kúrenísk je vysoká neistota zahrnutá v odhadovaných emisných tokoch. Mapa hlavných zdrojov znečisťovania v zóne Žilinský kraj je na **Obr. 3.3**. Na mape sú zobrazené iba tie zdroje, ktorých lokalitu je možné určiť s dostatočnou presnosťou pre potreby modelovania, 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 z nádrží, napr. pri čistení odpadových vôd).

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 vstupujúcich do modelov kvality ovzdušia, sú prevzaté z databázy NEIS, niektoré z nich boli dodatočne upresnené prevádzkovateľmi zdrojov.

3.3.2 Cestná doprava

Emisie znečisťujúcich látok z cestnej dopravy zahŕňajú emisie z výfukov, oterov brzd a pneumatík a abráziu vozovky.

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. Spracovateľom emisných vstupov je Centrum dopravného výzkumu (CDV).

Pre samotný výpočet emisií z výfukov a oterov boli využité emisné faktory publikované Európskou environmentálnou agentúrou v EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2016.

3.3.3 Vykurovanie domácností

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

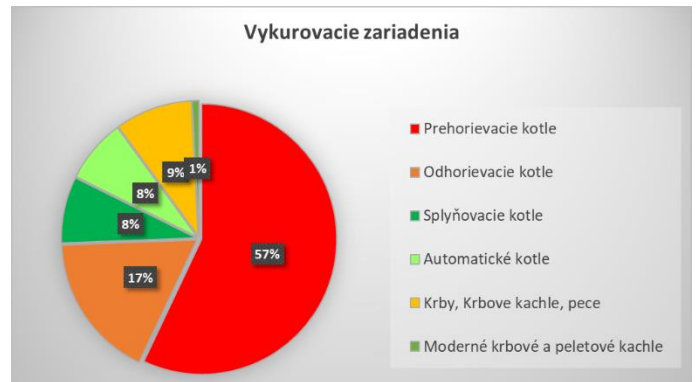
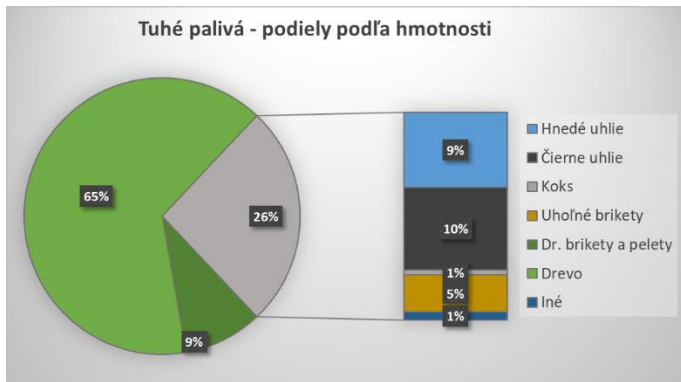
Vstupnými dátami pre emisný model sú údaje zo Sčítania obyvateľov, domov a bytov (SODB) 2021 o počtoch bytov v rodinných a bytových domov s iným ako diaľkovým vykurovaním, využívajúcich ako zdroj energie jednotlivé druhy palív. Tieto údaje sú k dispozícii za základné sčítacie jednotky (ZSJ; každá obec obsahuje 1 alebo viac ZSJ). Uvedená štatistika neobsahuje údaje o vykurovacích zariadeniach ani bližšiu špecifikáciu tuhých palív.

Rozdelenie tuhých palív a vykurovacích zariadení pre každú ZSJ bolo vypočítané na základe zistení podielov tuhých palív a zariadení z prieskumov v roku 2017 a 2019. Tieto prieskumy boli vykonané na štatistickej vzorke rodinných domov, ktoré uviedli v SODB 2011 vykurovanie tuhým palivom. Výsledné dáta sú vo forme podielov palív a zariadení zodpovedajúce štatistickým priemerom za jednotlivé kraje.

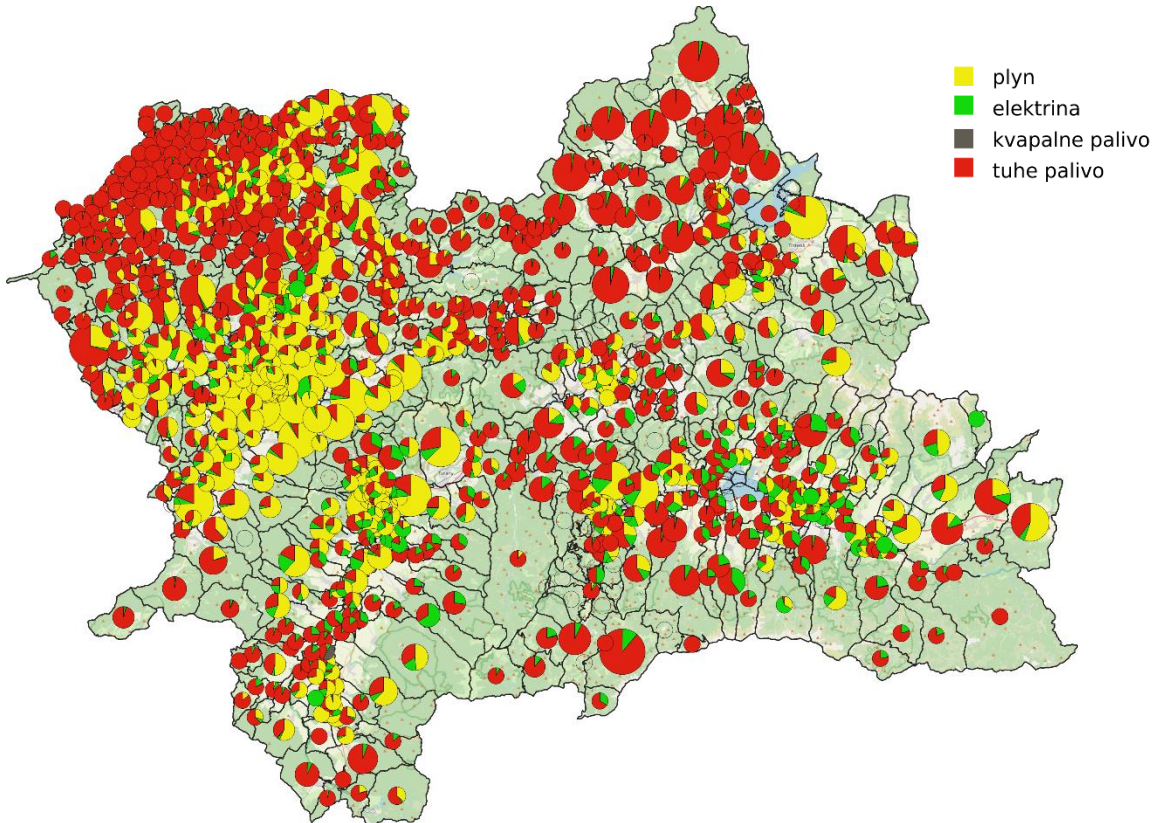
Emisný model pre kúreniská počíta s predpokladom, že zloženie palivovej základne a využívaných vykurovacích zariadení je rovnaké ako priemerné zastúpenie palív a zariadení v Žilinskom kraji, ktoré však bolo zisťované na pomerne malej štatistickej vzorke domácností. Vzhľadom na to, že priestorové rozloženie rôznych palív a zariadení v obci nám nie je známe, v modeli sa používa predpoklad, že každý dom vykuruje zariadeniami a palivami v percentuálnom zložení tuhých palív a zariadení podľa spomínaného prieskumu. Rozloženie koncentrácií bude odlišné, ak niektorá časť obce vykuruje hlavne tuhým palivom a zariadeniami s vysokými emisiami, zatiaľ čo v inej časti prevláda vykurovanie plynom.

Obr. 3.5 ukazuje podiely jednotlivých palív na vykurovaní rodinných domov za jednotlivé obce v zóne Žilinský kraj, pričom vidno, že priestorové rozloženie palivovej základne pre domáce kúreniská nie je geograficky homogénne. V západnej časti zóny, obzvlášť v mestách a väčších obciach, väčšinu tvorilo vykurovanie plynom, zatiaľ čo na Orave a v podhorí Nízkyh Tatier prevládalo takmer výlučne vykurovanie tuhým palivom. V súčte za celú zónu v r. 2021 mierne prevažovalo vykurovanie plynom (**Obr. 3.7**), avšak podiel bol porovnateľný s podielom tuhých palív.

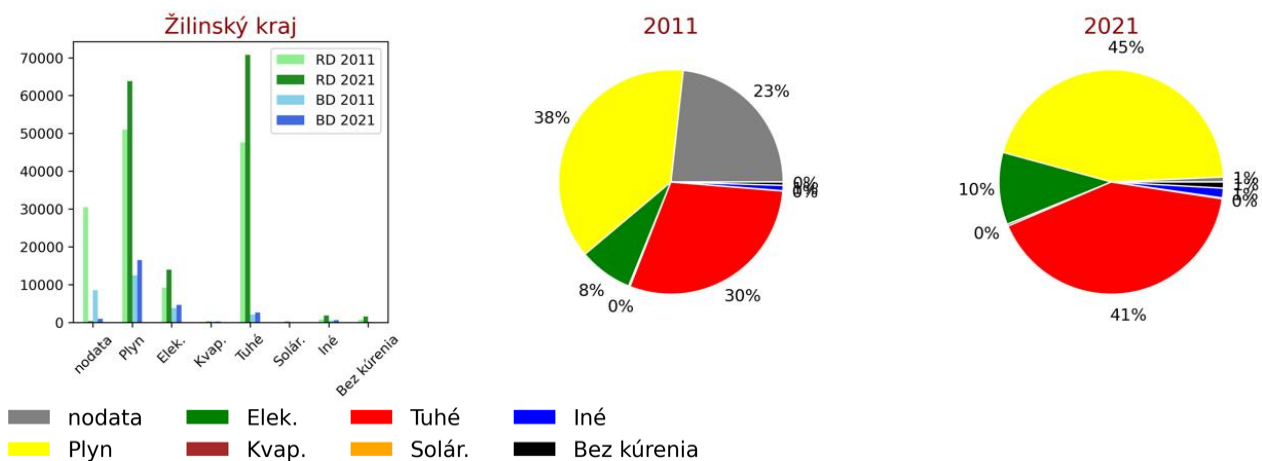
Údaje o vykurovaní bytov a domov, ktoré nie sú napojené na centrálny zdroj vykurovania, a teda nespĺňajú parametre stredného zdroja NEIS, sú veľkým zdrojom neistôt, pretože okrem údajov zo SODB 2021 neexistuje žiadna systematická databáza s údajmi o tomto dôležitom zdroji emisií. Okrem toho, situácia sa počas energetickej krízy zmenila, na kvantifikáciu tejto zmeny zatiaľ nie sú podklady.



Obr. 3.5 Zloženie tuhých palív a spaľovacích zariadení v Žilinskom kraji podľa štatistického prieskumu v roku 2019.



Obr. 3.6 Podiely rodinných domov využívajúce jednotlivé druhy palív (SODB, 2021). Veľkosti krúžkov sú úmerné počtu rodinných domov v obci. V grafoch nie sú zahrnuté podiely solárnych a iných palív, vzhľadom na ich zanedbateľný počet.



Obr. 3.7 Porovnanie palivovej základne pre vykurovanie rodinných a bytových domov zistených v SODB 2011 a SODB 2021.

4 HODNOTENIE ZNEČISTENIA OVZDUŠIA V ZÓNE

Z hľadiska hodnotenia kvality ovzdušia podľa Zákona č. 146/2023 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. 3.3**. Ich merací program a ostatné relevantné údaje možno nájsť v Prílohe A k [Správe k správe o kvalite ovzdušia v Slovenskej republike](#). Napriek rozšíreniu siete NMSKO, ku ktorému došlo v posledných rokoch, nie je možné pokryť monitorovacími stanicami všetky oblasti, v ktorých hrozí riziko prekročenia limitných hodnôt niektorých znečisťujúcich látok. Z tohto dôvodu sa ukázalo vymedzenie oblastí riadenia kvality ovzdušia len na základe údajov z monitorovacích staníc ako nepostačujúce, keďže znevýhodňuje obyvateľov oblastí bez monitorovacích staníc v ich nároku na uplatnenie práva na čisté ovzdušie vo forme opatrení na zlepšenie kvality ovzdušia. Ministerstvo životného prostredia na základe konzultácií s SHMÚ preto rozhodlo vymedziť obce so zhoršenou kvalitou ovzdušia na základe metodiky, zahŕňajúcej okrem dát z NMSKO všetky dostupné údaje o kvalite ovzdušia a zdrojoch znečisťovania ovzdušia. Na základe tejto metodiky boli obce rozdelené podľa stupňa závažnosti na nerizikové (stupeň 0) a rizikové so stupňami závažnosti 1, 2 a 3.

Opatrenia na zníženie emisií musia byť vykonané vo všetkých obciach v zóne, ktorých rizikový stupeň je 2 alebo 3 takým spôsobom, aby nedošlo prekročaniu limitných a cieľových hodnôt koncentrácií látok uvedených v nasledujúcej podkapitole. Mapa ohrozených obcí spolu s oblasťami, na ktorých bolo vykonané modelovanie s vysokým rozlíšením (popísané v 4.3), je na **Obr. 4.1**.

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. 4.1** sú uvedené limitné hodnoty, ktoré boli podľa európskej legislatívy implementované do legislatívy SR (Zákon č. 146/2023 Z. z. o ochrane ovzdušia, v znení neskorších predpisov, Vyhláška MŽP SR č. 250/2023 Z. z. o kvalite ovzdušia v znení neskorších predpisov).

Tab. 4.1 Limitné a cieľové hodnoty pre jednotlivé znečisťujúce látky

	SO ₂		SO ₂ ^v	NO ₂		NO ₂ ^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	20	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, BaP a O₃ 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

Časové rady údajov nameraných v zóne Žilinského kraja sú na [web stránke](#).

Zo 6 monitorovacích staníc nachádzajúcich sa v zóne je jedna vidiecka pozadová a zároveň aj najvyššie položená monitorovacia stanica na Slovensku – Chopok. V Žiline a v Ružomberku sa nachádzajú stanice charakterizované ako mestské pozadové, v Martine je mestská dopravná stanica, v roku 2021 pribudla v zóne Žilinský kraj mestská pozadová stanica v Liptovskom Mikuláši a predmestská pozadová stanica v Oščadnici. Z nameraných dát vyplýva, že naposledy došlo k prekročeniu limitnej hodnoty pre priemernú ročnú koncentráciu PM_{2,5} v Martine v roku 2021, posledné prekročenie maximálneho počtu prekročení priemernej dennej hodnoty 50 µg.m⁻³ pre PM₁₀ bolo namerané v roku 2017 v Ružomberku a v Žiline, pričom v Ružomberku aj v nasledujúcom roku dosiahol počet prekročení hraničnú hodnotu 35.

Monitorovacích staníc je malý počet a každá má obmedzenú priestorovú reprezentatívnosť. Na základe rozmiestnenia emisných zdrojov, orografie, klimatických charakteristík a ďalších faktorov je zrejmé, že zhoršená kvalita ovzdušia sa vyskytuje aj na miestach, kde sa monitorovacie stanice nenachádzajú. Z uvedeného dôvodu je potrebné chrániť zdravie obyvateľov a ekosystémy 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 – ako napr. matematickým modelovaním kvality ovzdušia.

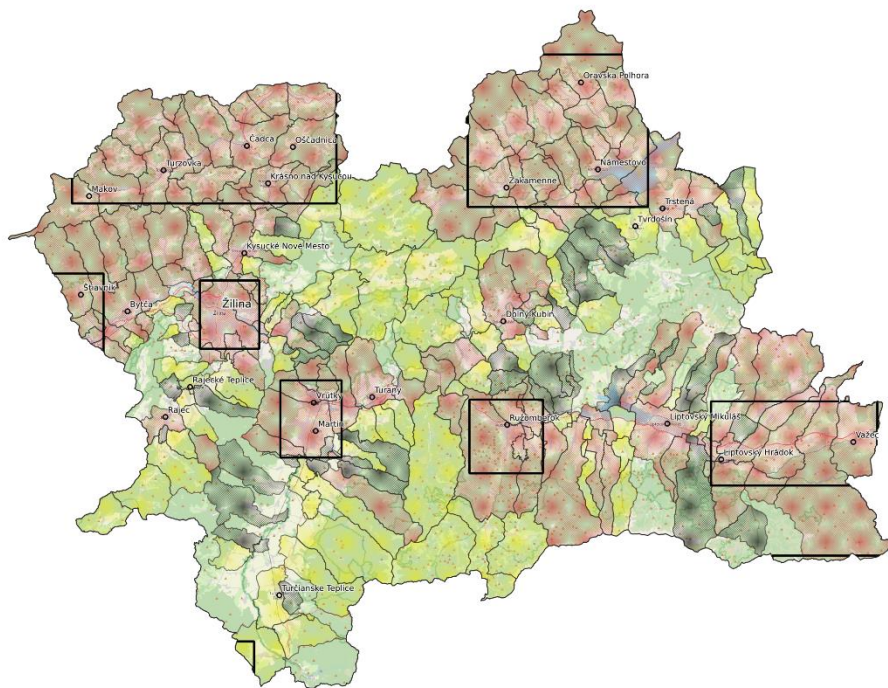
4.3 Výsledky modelovania a analýza situácie

Celkové zhodnotenie zóny

Pre každoročné zhodnotenie koncentrácií znečisťujúcich látok v rámci celej SR používame interpolačno-regresný model [RIO](#) následne upraveným metódou IDW-R. Koncentrácie a ich rozloženie sú však silne ovplyvnené klimatickou charakteristikou daného roka (priemerné a minimálne teploty v zime, charakter prúdenia daný prevládajúcimi tlakovými útvarmi, a pod). Modelovanie je navyše zaťažené vyššou neurčitosťou ako merania, čo je dané hlavne neistotami vo vstupných dátach (emisných a meteorologických). Modelovanie sa vykonáva pre územie celej SR s priestorovým rozlíšením 1 km, a preto nedokáže zachytiť priestorové maximá koncentrácií vyskytujúcich sa v tesnej blízkosti zdrojov emisií. Pri posudzovaní a zaraďovaní obcí do oblastí riadenia kvality ovzdušia výlučne na základe modelovania regionálnym modelom pre konkrétny rok by nevyhnutne dochádzalo k medziročným fluktuáciám. Za účelom určenia rizikových oblastí je preto vhodnejšie použiť kombináciu dát, zahŕňajúcich jednak výstupy regionálnych modelov, ale aj iných dát, ako sú napr. údaje o počte domov využívajúcich na vykurovanie tuhé palivo. Táto *metóda integrovaného posúdenia* bola pôvodne navrhnutá s dôrazom na problematiku vykurovania domácnosti a je podrobne popísaná [tu](#), pričom výsledná mapa rizikových obcí pre zónu Žilinského kraja je na **Obr. 4.1**. Pre porovnanie, na **Obr. 4.2** je mapa prekročení jednej alebo viacerých znečisťujúcich látok len na základe modelovania modelom [RIO-IDWR](#) pre rok 2021. Ako vidno, mapa rizikových oblastí zahŕňa viac obcí a je teda konzervatívnejšia. Pre podrobnejšie overenie bolo vybraných v rámci zóny 7 domén, v ktorých bolo vykonané modelovanie s vysokým priestorovým rozlíšením kombináciou modelov [CALPUFF](#) a [ATMOSTREET](#) pre rok 2021. Model CALPUFF bol použitý pre modelovanie lokálnych kúrenísk a zdrojov NEIS, modelom ATMOSTREET, ktorý berie do úvahy aj obmedzený rozptyl v kaňonoch ulíc, bol vypočítaný príspevok cestnej dopravy. Pozadové hodnoty boli použité z modelu RIO-IDWR (pre PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂). Pre BaP boli ako pozadie použité namerané hodnoty z regionálnej stanice EMEP Stará Lesná. Podrobné výsledky modelovania vo forme máp a grafov si možno pozrieť [tu](#).

Prekračovanie limitných hodnôt podľa legislatívy platnej v súčasnosti

Modelovanie regionálnym modelom RIO-IDWR pre rok 2021, ako aj pre predchádzajúce roky, indikuje ako najproblematickejšie znečisťujúce látky hlavne BaP, a potom PM₁₀ a PM_{2,5}. Keďže počet staníc NMSKO merajúcich koncentrácie BaP je relatívne nízky v porovnaní so stanicami merajúcimi PM, mapy koncentrácií BaP z modelu RIO-IDWR sú zaťažené pomerne vysokou neistotou, obzvlášť v oblastiach bez monitorovacích staníc.



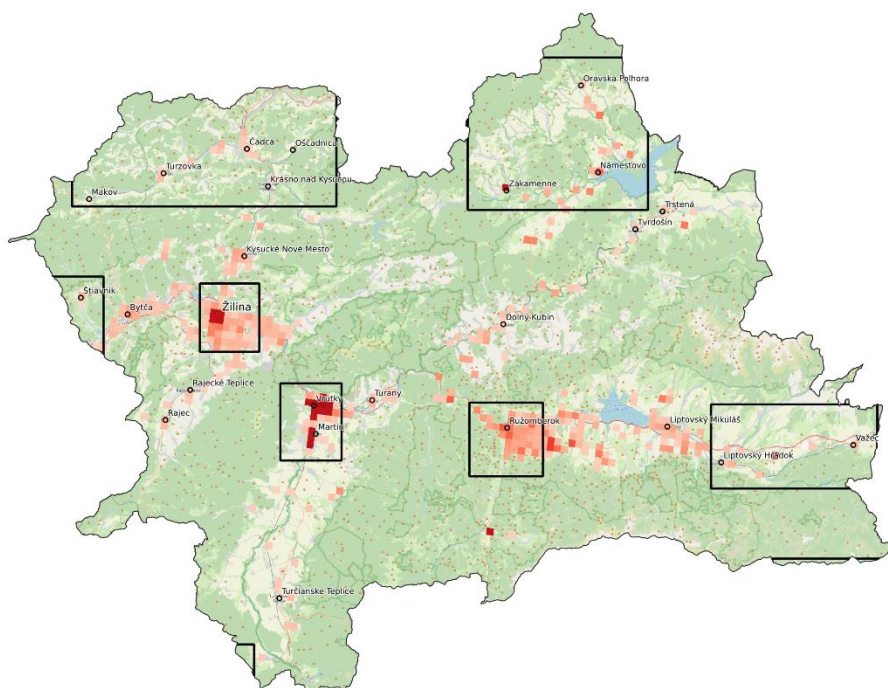
Domény² zahrnuté do modelovania s vysokým priestorovým rozlíšením:

Kysuce
Orava
Žilina
Ružomberok
Martin
Považie
Javorníky (čiastočne)

Stupne rizika zhoršenej kvality ovzdušia:

1
2
3

Obr. 4.1 Zóna Žilinský kraj s vyznačenými katastrami obcí zaradených medzi oblasti riadenia kvality ovzdušia na základe metódy integrovaného posúdenia. Čiernymi obdĺžnikmi sú označené domény modelované modelmi s vysokým priestorovým rozlíšením.



Obr. 4.2 Oblasti prekročenia limitných hodnôt pre PM_{10} , $PM_{2,5}$ a BaP v zóne Žilinský kraj na základe modelovania regionálnym modelom RIO-IDWR pre rok 2021 (vyššia intenzita červenej indikuje relatívne vyššie prekročenie).

Ako vidno na Obr. 4.2, Obr. 4.3 a Obr. 4.4, modelovanie s vysokým rozlíšením vo vybraných oblastiach potvrdzuje, že cieľová hodnota pre priemernú ročnú koncentráciu BaP je prekračovaná na pomerne rozsiahlych územiach tam, kde sa vo vyššej miere využíva na vykurovanie tuhé palivo – hlavne drevo. Takéto oblasti sa nachádzajú v každej z vybraných domén.

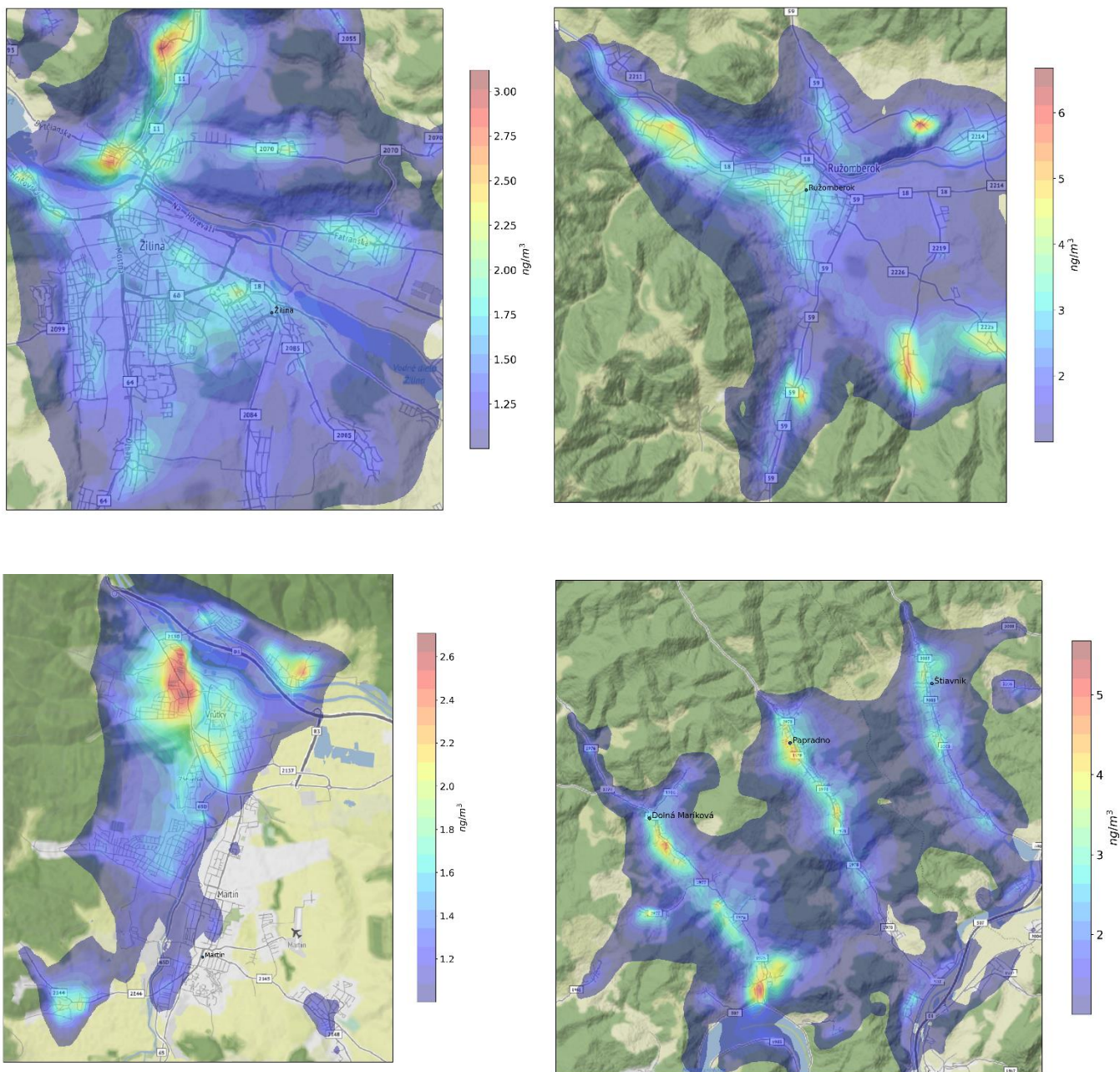
Limitná hodnota pre priemernú ročnú koncentráciu $PM_{2,5}$ je podľa výsledkov modelovania prekračovaná na menších územiach, lokalizovaných v tesnej blízkosti lokálnych kúrenísk vo všetkých doménach, najmenej na Považí a Kysuciach. Limitné hodnoty pre priemerné ročné koncentrácie PM_{10} ani NO_2 neboli v posledných rokoch prekročené na žiadnej

² Doménou rozumieme výpočtovú oblasť pre modelovanie s vysokým rozlíšením modelom CALPUFF.

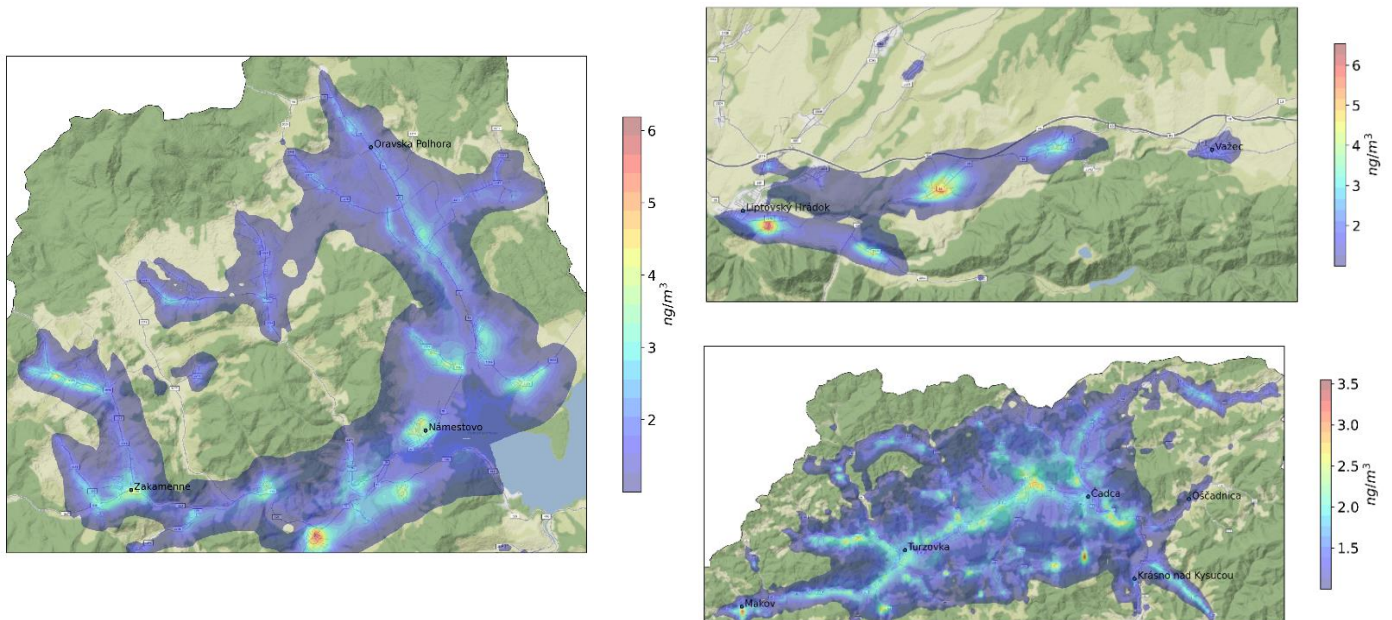
z monitorovacích staníc NMSKO. Modelovanie s vysokým rozlíšením indikuje prekročenia priemernej ročnej hodnoty NO_2 na územiach lokalizovaných v tesnej blízkosti hlavných cestných ťahov v Žiline a v Ružomberku.

Modelovanie počtu prekročení denných limitných hodnôt je síce teoreticky možné, ale extrémne nepresné. Počet prekročení značne koreluje s priemernou ročnou koncentráciou PM na danom mieste, avšak parametre korelácie sú zvyčajne špecifické pre konkrétne miesto, resp. stanicu. V oblastiach s vysokými priemernými ročnými koncentraciami PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$ je preto aj predpoklad výskytu vysokého počtu prekročení denných hodnôt PM_{10} .

Podrobné mapy pre všetky modelované oblasti a znečisťujúce látky možno nájsť [tu](#).



Obr. 4.3 Priestorové rozloženie priemerých ročných koncentrácií BaP presahujúcich cieľovú hodnotu 1 ng/m^3 . Výstup modelovania s vysokým rozlíšením vo vybraných oblastiach zóny.

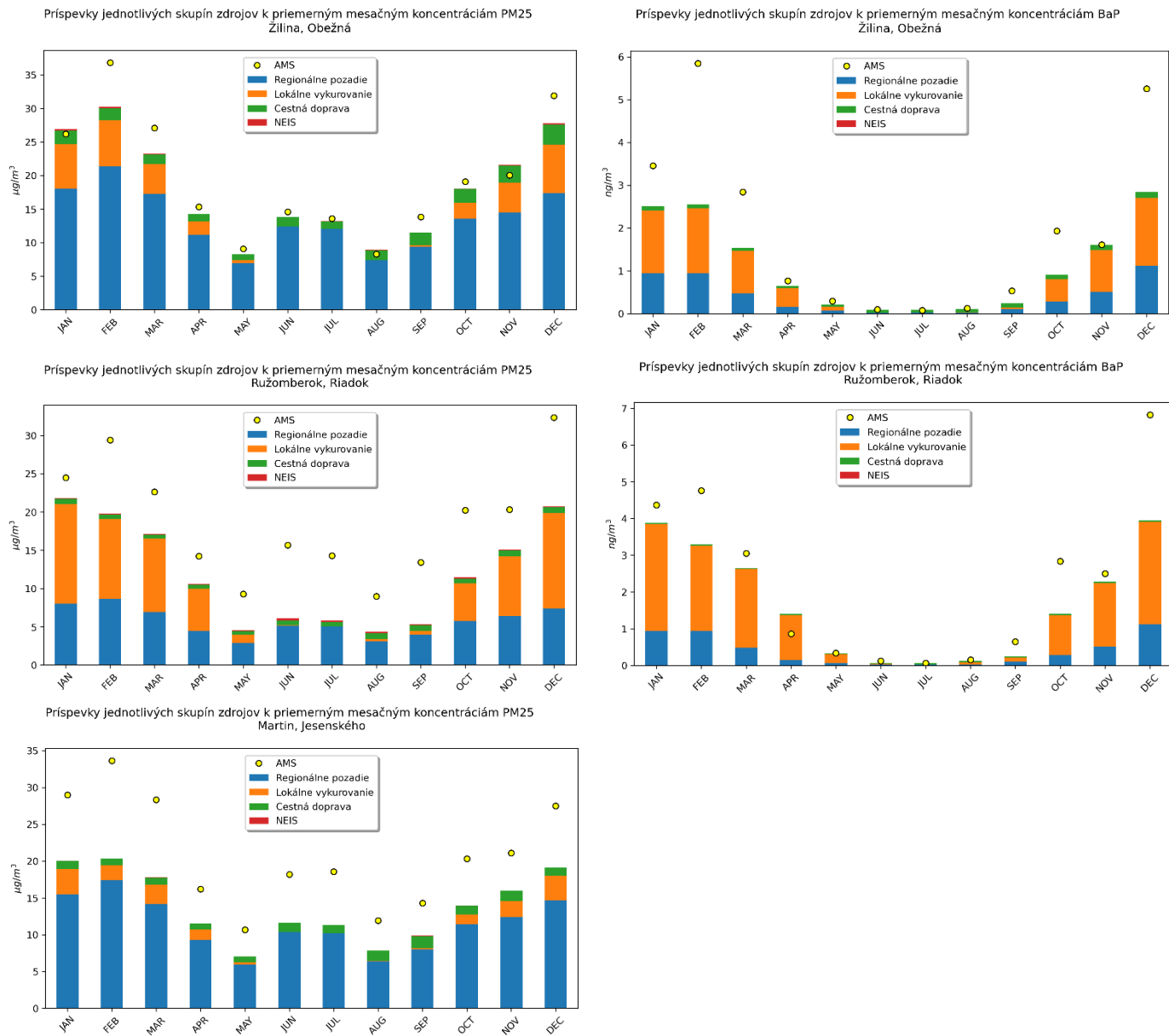


Obr. 4.4 Priestorové rozloženie priemerných ročných koncentrácií BaP presahujúcich cieľovú hodnotu $1 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$. Výstup modelovania s vysokým rozlíšením vo vybraných oblastiach zóny.

Na Obr. 4.5 sú zobrazené príspevky jednotlivých skupín zdrojov ku koncentráciám BaP a $\text{PM}_{2,5}$ na staniciach NMSKO, spolu s nameranými hodnotami koncentrácií na staniciach. Vidno, že na všetkých staniciach dochádza k určitému podhodnoteniu koncentrácií modelom, na niektorých je toto podhodnotenie pomerne výrazné. Najpravdepodobnejšou príčinou je podhodnotenie zdrojov emisií, hoci meteorologické vstupy a ich spracovanie modelom môžu mať tiež významný podiel na neurčitosti. Keďže na väčšine ostatných staníc zaznamenávame skôr podhodnotenie vypočítaných koncentrácií znečisťujúcich látok, dá sa predpokladať, že aj mapy koncentrácií sú pravdepodobne mierne podhodnotené a teda oblastí s prekročeniami je v skutočnosti viac, resp. môžu byť plošne výraznejšie.

V súčasnosti sa pripravuje nová európska [Smernica o kvalite ovzdušia](#), ktorá podstatne sprísňuje v súčasnosti platné limitné hodnoty pre väčšinu znečisťujúcich látok. Tieto prísnejšie limity bude potrebné splniť do roku 2030. Programy na zlepšenie kvality ovzdušia by mali preto počítať so sprísnením požiadaviek na kvalitu ovzdušia. Z toho dôvodu sme vyhodnotili modelované koncentrácie aj vzhľadom na navrhované nové limity. Mapy prekročení navrhovaných limitov, spolu s porovnaním prekračovania aktuálnych limitov pre všetky domény možno nájsť [tu](#).

Najmenej problematickou znečisťujúcou látkou pre budúcnosť sa javí NO_2 , ktorého limitné hodnoty sú prekračované v súčasnosti len v tesnej blízkosti ciest pri hlavných ťahoch v Žiline aj v Ružomberku, v súvislosti so sprísnením limitnej hodnoty bude však tento problém výraznejší. V prípade PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$ je už situácia značne odlišná. Zatiaľ čo súčasné priemerné ročné hodnoty koncentrácií PM_{10} nie sú prekračované prakticky v žiadnej z modelovaných domén, o polovicu prísnejšia budúca limitná hodnota $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ by bola prekročená vo všetkých doménach, najviac však v doménach Žilina a Martin. Priemerná ročná hodnota koncentrácií $\text{PM}_{2,5}$ je v súčasnosti prekračovaná vo všetkých modelovaných doménach, väčšinou však na relatívne obmedzených územiach, nová navrhovaná limitná hodnota $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ by bola prekročená vo všetkých doménach na rozsiahlejších územiach, v prípade Žiliny, Ružomberka, Martina, a Javorníkov prakticky na celom obývanom území. Navrhovaná smernica tiež sprísňuje počet prekročení dennej limitnej koncentrácie PM_{10} na 18 oproti súčasným 35 za rok, pričom priemernú dennú hodnotu koncentrácie znižuje z 50 na $45 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Zároveň zavádza aj limitnú hodnotu priemernej dennej koncentrácie $\text{PM}_{2,5}$ $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, ktorú tiež nebude možné prekročiť viac ako 18 krát za rok.



Obr. 4.5 Príspevky jednotlivých skupín zdrojov k priemerným mesačným koncentráciám $\text{PM}_{2,5}$ (vľavo) a BaP (vpravo) na stanicích NMSKO v zóne.

Analýza príspevkov jednotlivých skupín zdrojov k celkovým koncentráciám

Príspevky jednotlivých skupín zdrojov možno vyhodnotiť buď na nejakom konkrétnom mieste, napríklad v miestach staníc NMSKO, alebo vo forme máp príspevkov jednotlivých skupín zdrojov, ktoré sú uvedené pre každú oblasť [tu](#). Na tomto mieste možno tiež nájsť grafy príspevkov na stanicích NMSKO pre všetky znečisťujúce látky. Grafy pre BaP a $\text{PM}_{2,5}$ sú na **Obr. 4.5** (grafy pre PM_{10} majú veľmi podobný priebeh ako pre $\text{PM}_{2,5}$). Na všetkých stanicích zóny tvoria v zimných mesiacoch najvyšší príspevek ku koncentráciám PM lokálne kúreniská, ktorý je väčšinou vyšší ako regionálne pozadie.

Podiel jednotlivých skupín emisných zdrojov je však v priestore premenlivý. Pri skúmaní priestorového rozloženia na mapkách si je potrebné všimnúť jednak polohu maxim celkových koncentrácií, a v miestach, kde sú koncentrácie relatívne vysoké, preskúmať na mapkách príspevkov lokálnych kúrenísk, NEIS a cestnej dopravy, ktorý sektor má v miestach týchto vysokých koncentrácií relevantný podiel. Vo všetkých doménach zóny však vidíme hlavné maximá koncentrácií v miestach lokálnych kúrenísk. V mestách ako Žilina a Ružomberok je vidno aj silný vplyv dopravy, ktorý je však koncentrovaný v tesnej blízkosti hlavných dopravných tepien.

Regionálne pozadie

Regionálne pozadie má najväčší vplyv v prípade PM. Súčasťou tohto pozadia je prenos zo susedných regiónov, ale aj vzdialenejších oblastí, príkladom čoho sú napr. epizódy saharského piesku ktoré sa vyskytujú niekoľkokrát za rok

v zimnom aj letnom období. V tomto prípade ide hlavne o hrubšiu frakciu PM₁₀. V severozápadnej časti kraja môže mať relatívne vysoký vplyv prenos zo znečistených oblastí severnej Moravy a Sliezska. Treba si však uvedomiť, že počas stagnujúcich inverzných situácií, kedy dochádza k veľmi slabej výmene vzduchu medzi znečistenou vrstvou pod inverziou a prevládajúcim prúdením vo vyšších vrstvách, efektívnemu cezhraničnému prenosu zabraňujú hrebene Javorníkov a Beskýd. Podiel znečistenia pôvodom z iných regiónov na lokálnych koncentráciách PM je v takýchto situáciách nízky.

Projekcie možných opatrení na zníženie koncentrácií BaP a PM

Z predchádzajúcej analýzy vyplýva, že opatrenia je potrebné smerovať hlavne do sektora lokálnych kúrenísk. Zníženie emisií z lokálnych kúrenísk je možné dosiahnuť viacerými spôsobmi, najúčinnejšie z nich sú zmena palivovej základne a výmena zastaraných vysoko-emisných vykurovacích zariadení za moderné nízko-emisné. Zmena palivovej základne môže nastať prechodom na iný zdroj energie – napríklad plyn alebo elektrinu, alebo využitím kvalitných palív s nižšími emisiami, ako sú dôkladne vysušené palivové drevo, drevené pelety alebo brikety. Ďalším efektívnym opatrením môže byť zníženie energetickej náročnosti domácností. Prvý spôsob prechodu na plyn alebo elektrinu je v súčasnej situácii finančne náročný a najmenej realistický, keďže vyžaduje okrem počiatočnej investície do nových zariadení aj permanentne vyššie poplatky za samotný zdroj energie. Preto sme sa pri analýze možných opatrení zamerali na ďalšie dve spomenuté možnosti – výmenu zariadení a palív.

Modelovanie sme vykonali pre dva scenáre:

- Scenár 1 - ("realistický") - výmena polovice odhorievacích a prehorievacích kotlov za splyňovacie, pri zachovaní podielu použitých palív. Tento scenár navyše počíta s tým, že všetko palivové drevo bude vysušené (na rozdiel od referenčného stavu, ktorý zahŕňal podiel mokrého a suchého dreva v pomere 45% a 55%).
- Scenár 2 - ("ideálny") - výmena všetkých prehorievacích a odhorievacích kotlov za automatické a náhrada všetkých tuhých palív za suché drevo (resp. drevené pelety alebo brikety).

Tieto scenáre boli zvolené pre ilustráciu maximálneho efektu na koncentrácie znečisťujúcich látok, ktorý opatrenie tohto typu môže priniesť.

Koncentrácie znečisťujúcich látok vypočítané z týchto scenárov sme porovnali s koncentraciami referenčného scenára, ktorý predstavuje súčasný stav, resp. súčasný stav tak, ako ho poznáme. Výsledky možno nájsť [tu](#). Z výsledkov je zjavné, že takéto opatrenia znížia nielen maximálne koncentrácie BaP, ale aj plochy zasiahnuté prekročeniami limitných hodnôt, avšak ani scenár 2 nie je postačujúci na úplný pokles BaP pod limitnú hodnotu na všetkých miestach.

Slabou stránkou modelovania takto navrhnutých projekcií je, že zastúpenie jednotlivých vykurovacích zariadení použité v modelovaní je pre celý kraj jednotné (**Obr. 3.5**), keďže sme vychádzali zo štatistického prieskumu, v ktorom zahrnutá štatistická vzorka domácností nedovoľovala presnejšie geografické rozdelenie zistených dát. Toto zastúpenie sa však môže líšiť v závislosti od lokality. V chudobnejších oblastiach bude zrejme zastúpenie starších prehorievacích a odhorievacích kotlov vyššie, a tak ich výmena môže viesť k väčšiemu efektu, ako bolo namodelované v našich scenároch.

Scenár, ktorý by zahŕňal znižovanie energetickej náročnosti zatepľovaním, sme nemodelovali z dôvodu nedostatočných informácií o aktuálnej miere zateplenia, obzvlášť v prípade starých domov. Jeho efekt je však viac-menej priamo úmerný energetickej úspore: napr. pri úspore 30% možno očakávať približne rovnakú redukciu emisií.

4.4 ZHRNUTIE HODNOTENIA

Táto štúdia je hlavne cielená na vyhodnotenie rozsahu znečistenia ovzdušia v zóne, na zistenie 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 7 vybraných doménach na území zóny Žilinského kraja pomocou deterministického matematického modelu CALPUFF pre modelovanie zdrojov NEIS a lokálnych kúrenísk, a modelov IFDM/OSPM pre modelovanie cestnej dopravy vrátane cestných kaňonov. Z výsledkov lokálneho modelovania zároveň berúc do úvahy výsledky regionálneho modelu pre celú zónu možno vyvodiť nasledujúce závery:

- Výsledky modelovania s vysokým priestorovým rozlíšením vo vybraných doménach zóny poukazujú na pomerne rozsiahle oblasti prekračovania cieľovej hodnoty pre priemerné ročné koncentrácie BaP, a to vo všetkých doménach, na mnohých miestach sú prekročená mnohonásobne. V miestach monitorovacích staníc model koncentrácie BaP podhodnocuje.
- Systematické podhodnocovanie všetkých modelovaných znečisťujúcich látok v miestach monitorovacích staníc v prípade modelovania s vysokým priestorovým rozlíšením naznačuje, že koncentrácie sú podhodnotené celoplošne a skutočná situácia je skôr horšia, než sa javí z výsledkov modelovania.
- Prekračovanie aktuálnych limitných hodnôt priemerných ročných koncentrácií PM_{2,5} a PM₁₀ sa vyskytuje menej často a na menších územiach ako v prípade BaP. V miestach monitorovacích staníc model koncentrácie PM podhodnocuje.
- Limitná hodnota priemernej ročnej koncentrácie NO₂ nie je prekračovaná podľa meraní, avšak podľa modelovania s vysokým rozlíšením bola prekročená na úzko lokalizovaných územiach v blízkosti hlavných cestných ťahov v Žiline a v Ružomberku.
- Najvyšší podiel na vysokých koncentráciách BaP majú v celej zóne lokálne kúreniská na tuhé palivo. V prípade PM_{2,5} a PM₁₀ je tiež podiel lokálnych kúrenísk vysoký, ale v tesnej blízkosti silne zaťažených ciest má vysoký podiel aj cestná doprava.
- Opatrenia na zníženie emisií z lokálnych kúrenísk budú mať vplyv nielen na redukcii koncentrácií BaP, ale aj na PM. Opatrenia modelované podľa Scenáru 1 (výmena polovice prehorievacích a odhorievacích zariadení za nízko emisné kotle na suché drevo a drevné pelety), ani podľa Scenáru 2 (výmena všetkých takýchto zariadení) pravdepodobne nebudú dostatočné na celoplošnú elimináciu všetkých prekročení. Prinesú však aspoň zníženie koncentrácií (pri maximách približne na polovičnú hodnotu) a väčšinou podstatnú redukcii zasiahnutých území. Ďalšou možnosťou je znižovanie energetickej náročnosti domácností podporou kompletného zateplovania. Zníženie emisií potrebných na vykurovanie, a tým aj koncentrácií emitovaných ZL v ovzduší, je viac-menej priamo úmerné energetickej úspore. Na dosiahnutie výraznejšieho efektu bude zrejme potrebná kombinácia všetkých možných opatrení, vrátane podpory odklonu od tuhých palív.
- Modelovanie kvality ovzdušia je spojené s pomerne vysokou neurčitostou vyplývajúcou z matematickej formulácie modelu, jeho priestorového rozlíšenia, ale hlavne z kvality vstupných meteorologických a obzvlášť emisných dát.
 - Emisné dáta zahrnuté v modelovaní sú založené na dátach zo SODB 2021, ktoré zahŕňajú aj neobývané byty, čo má za následok mierne nadhodnotenie emisií z vykurovanie domácností. Tieto dáta neboli získané priamym zisťovaním z domácností tak, ako to bolo v predchádzajúcom sčítaní, ale boli dodané jednotlivými obcami. Je otázne s akou presnosťou obce dokázali tieto dáta dodať, obzvlášť v prípade starých domov, pretože nemohli použiť priame zisťovanie z domácností.
 - Zisťovanie zastúpenia vykurovacích zariadení a jednotlivých druhov tuhých palív nebolo v SODB 2021 vykonávané. Pomerné zastúpenie použité v modelovaní pochádza zo štatistického zisťovania na obmedzenej vzorke domácností (Zemko a kol., 2020) a je dostupné v rozlíšení na jednotlivé kraje. Skutočné lokálne zastúpenie sa však môže líšiť v závislosti od ekonomickej situácie a vekového zastúpenia domov v danej lokalite.
 - Z uvedeného vyplýva, že na efektívnu aplikáciu opatrení v konkrétnej oblasti by bolo vhodné upresniť aktuálnu situáciu, a to najmä reálne pomerné zastúpenie využívaných palív a vykurovacích zariadení v danej oblasti a mieru zateplenia domov. Podľa týchto aktualizovaných informácií bude možné navrhnúť vhodnú kombináciu opatrení na dosiahnutie čo najväčšej redukcie emisií z lokálnych kúrenísk.

POUŽITÁ LITERATÚRA

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

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.

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

[Online] <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>. Posledný prístup: 25.9.2023

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

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., 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.

Krajčovičová, J., Štefánik, D.: Metóda integrovaného posúdenia obcí vzhľadom na riziko nepriaznivej kvality ovzdušia. SHMÚ, 2023. dostupné: https://www.shmu.sk/File/oko/studie_analyzy/Methodika_final_v2.pdf, posledný prístup 6.6.2023.

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.

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)

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

SHMÚ, 2022, Správa o emisiách, dostupné: <https://oeab.shmu.sk/app/cmsSiteBoxAttachment.php?ID=107&cmsDataID=0>, posledný prístup 6.6.2022

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>)

Zemko, M., Jonáček, Z., Szemesová, J., Zetochová, L., 2020: Závěry a výsledky z grantového projektu: Zlepšenie kvality účtov emisií do ovzdušia a rozšírenie poskytovaných časových radov so zameraním na vykurovanie domácností. *Meteorologický časopis* Ročník 23, číslo 1, ISSN 1335-339X, dostupné: <http://www.shmu.sk/sk/?page=31>, posledný prístup 19.8.20.