KVALITA OVZDUŠIA V SR

Náčrt problematiky. Podklad pre Stratégiu na zlepšenie kvality ovzdušia

Jana Matejovičová, Jana Krajčovičová, Dušan Štefánik, Vladimír Nemček, Juraj Beňo

SHMÚ, Bratislava 2020

Úvod

Problémy zhoršenej kvality ovzdušia úzko súvisia s množstvom antropogénnych emisií znečisťujúcich látok do atmosféry. Tieto emisie majú rôzny pôvod – od priemyselných a energetických zdrojov rôznej intenzity a výšky (komíny, fugitívne emisie z výrobných areálov), cez emisie z cestnej a necestnej dopravy (výfukové, abrazívne, resuspenzia prachu z ciest a povrchov) až po malé ale veľmi početné zdroje z lokálnych kúrenísk (rodinné a bytové domy s individuálnym vykurovaním). Okrem týchto hlavných skupín zdrojov znečisťovania ovzdušia existujú aj ďalšie, časovo obmedzené ale často významné zdroje, ktoré je problematické kvantifikovať a priestorovo a časovo lokalizovať (lesné a iné požiare, nedovolené spaľovanie poľnohospodárskeho a domového odpadu, stavebné a búracie práce a pod.), preto obyčajne nie sú podchytené v emisných vstupoch do modelovania kvality ovzdušia.

Vzťah medzi emisiami, vyjadrenými množstvom znečisťujúcich látok za časové obdobie v mieste emisie, a kvalitou ovzdušia vyjadrenou koncentráciami znečisťujúcich látok v dýchacej zóne, nie je priamočiary, pretože ho ovplyvňujú ďalšie faktory: charakter a rozmiestnenie zdrojov emisií, meteorologické podmienky, orografia, a tiež diaľkovým prenos znečisťujúcich látok. Rozptyl znečisťujúcich látok v atmosfére najvýraznejšie ovplyvňuje rýchlosť a smer vetra a hrúbka vrstvy premiešavania. Vymývanie prostredníctvom atmosférických zrážok (mokrá depozícia) je veľmi efektívnym spôsobom odstraňovania znečisťujúcich látok z atmosféry.

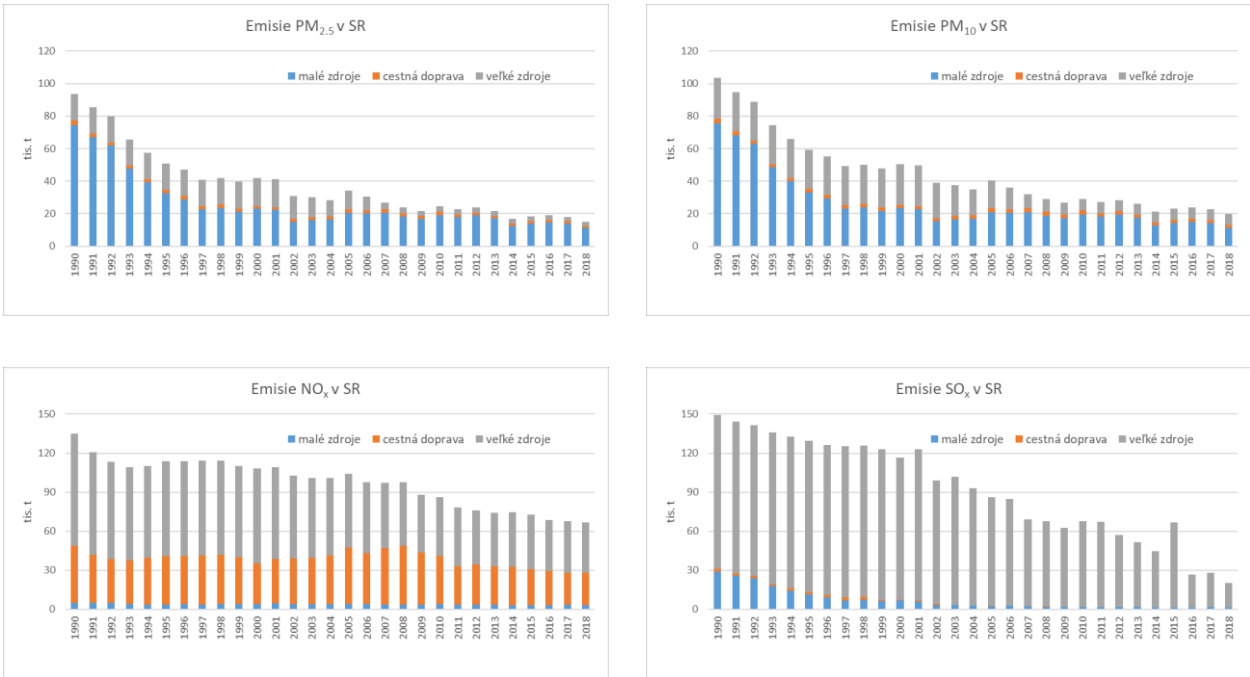
Nízke teploty počas vykurovacej sezóny majú za následok vyššie nároky na produkciu tepla pre vykurovanie domácností, spojené s vyššími emisiami PM aj benzo(a)pyrénu, pričom situáciu komplikuje častý výskyt teplotných inverzií v zimnom období najmä v horských údoliach.

Kvalita ovzdušia je charakterizovaná koncentráciami rôznych znečisťujúcich látok, ktorých limitné hodnoty pre rôzne priemerovacie obdobia sú arbitrárne stanovené legislatívou SR a EÚ. Odporúčané limitné hodnoty stanovené Svetovou zdravotníckou organizáciou (WHO) sú však prísnejšie, a preto sa dá očakávať postupné sprísňovanie limitných hodnôt aj na európskej a národnej úrovni.

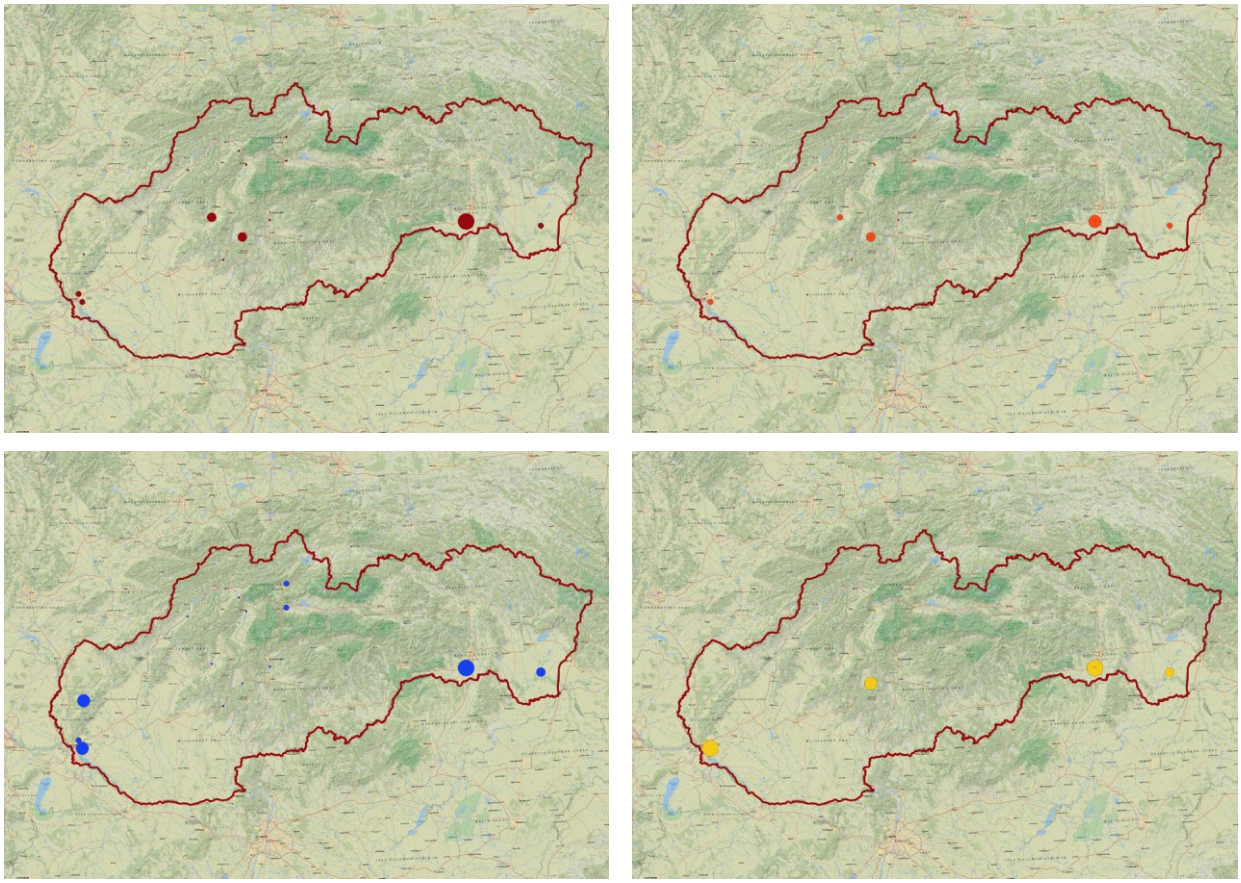
V súčasnosti sú stanovené limitné hodnoty pre, SO_2, CO, benzo(a)pyrén a ťažké kovy nikel, olovo, kadmium a arzén. V posledných rokoch sú na Slovensku už problematické iba PM_{10}, $PM_{2,5}$, NO_2, O_3 a benzo(a)pyrén, ostatné znečisťujúce látky neprekračujú stanovené limitné hodnoty.

V minulosti mali na kvalitu ovzdušia zásadný vplyv najmä veľké priemyselné a energetické zdroje, ku ktorým sa pridávala doprava hlavne v centrách väčších miest. Pri pomerne vysokej miere plynofikácie obcí bola za čias výhodných cien zemného plynu väčšina domácností vykurovaná plynom. So zavádzaním stále prísnejších emisných limitov a požiadaviek na čistejšie technológie podiel emisií základných znečisťujúcich látok z priemyslu a energetiky klesal, zatiaľ čo zvyšujúce sa ceny zemného plynu spôsobili postupný nárast podielu tuhých palív na individuálnom vykurovaní a s tým spojený nárast emisií zo sektoru malých zdrojov nielen základných znečisťujúcich látok, ale aj benzo(a)pyrénu. Tento trend spôsobil, že sa síce zlepšila kvalita ovzdušia v tzv. oblastiach riadenia kvality ovzdušia, ktoré boli situované hlavne v okolí väčších priemyselných zdrojov, ale zároveň sa pravdepodobne postupne zhoršila v niektorých vidieckych oblastiach, a to hlavne vzhľadom na koncentrácie PM a benzo(a)pyrénu.

Emisie PM_{10}, $PM_{2,5}$, NO_2 a SO_2



Obr. 1 Emisie PM_{10}, $PM_{2.5}$, NO_2 a SO_2 v SR v rokoch 1990 – 2018



Obr. 2 Polohy najväčších bodových zdrojov PM_{10} (vľavo hore), $PM_{2.5}$(vpravo hore), NO_x (vľavo dolu) a SO_x (vpravo dolu). Zobrazené zdroje emitujú viac než 50% emisií veľkých a stredných zdrojov TZL a NO_2 a viac než 80 % emisií veľkých a stredných zdrojov SO_2.

Ako vidno na Obr. 1, priemyselné a energetické zdroje majú spolu s dopravou vysoký podiel na emisiách NOx (oxid dusnatý a dusičitý), a sú takmer výlučným prispievateľom k emisiám SO_2. V prípade častíc PM_{10} a $PM_{2.5}$ je ich podiel v celoslovenskom meradle nízky. Z Obr. 2 navyše vyplýva, že emisie z NEIS sú rozmiestnené po území SR veľmi nerovnomerne. Emisie sú generované síce vo veľkých emisných tokoch, ale z vysokých komínov, čo spôsobuje, že na kvalitu ovzdušia v bezprostrednom okolí majú vplyv iba tie najväčšie zdroje NEIS. V okolí zdrojov NEIS sa môže vyskytovať zhoršená kvalita ovzdušia epizodicky pri špecifických rozptylových podmienkach pre danú konfiguráciu zdroja a okolitého terénu. Tieto epizódy však väčšinou v ročných alebo denných priemeroch nemajú až taký vplyv, aby spôsobili prekračovanie limitných hodnôt.

Na rozdiel od bodových zdrojov NEIS, malé zdroje lokálnych kúrenísk sú rozšírené prakticky po celom obývanom území, pričom emisie sú vypúšťané pomerne blízko dýchacej zóny čím vplývajú bezprostredne na expozíciu obyvateľstva. Je oveľa ťažšie ich inventarizovať a kvantifikovať, a následne prijímať potrebné opatrenia na zníženie ich emisií.

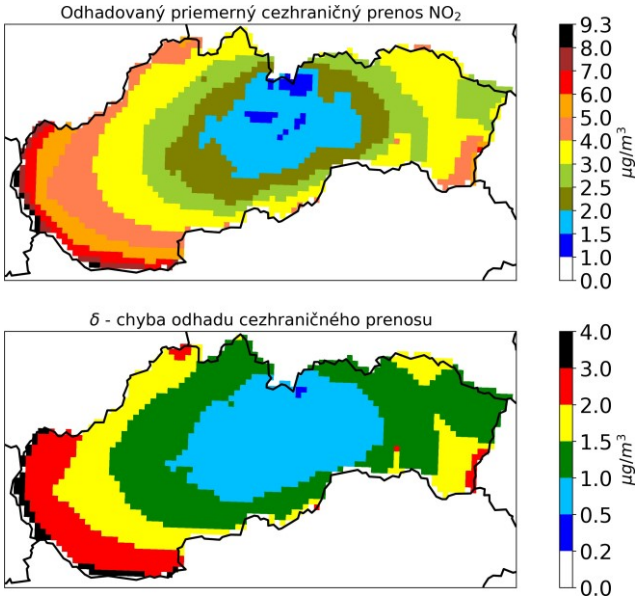
Osobitným prípadom zdroja emisií je cestná doprava. Celkový podiel emisií z dopravy je vysoký hlavne v prípade NOx, avšak priamy vplyv na koncentrácie NOx a PM je väčšinou hlavne v tesnej blízkosti ciest. Výnimku tvoria veľké mestá, kde sú cesty a intenzita dopravy koncentrované často na malej ploche centier, kde sa môže znečistenie kumulovať. Zloženie emisií z dopravy je veľmi komplexné a neobmedzuje sa na horeuvedené ZL, pričom jej vplyv je navyše komplikovaný produkciou fotochemického smogu v letných mesiacoch a následne zvýšených koncentrácií ozónu na okrajoch väčších miest.

V kontexte zamerania opatrení na zlepšenie kvality ovzdušia je dôležité poznať nielen geografické rozloženie koncentrácií, ale aj množstvo znečistenia ktoré sa dostáva na územie Slovenska spoza hraníc. Zo strategického pohľadu je tiež dôležité vedieť, akú veľkú časť obyvateľstva ovplyvňuje zhoršená kvalita ovzdušia. Na to slúži parameter nazývaný priemerná expozícia, čo je koncentrácia znečisťujúcej látky vážená hustotou obyvateľstva. Z priemernej expozície sa dá následne odhadnúť počet predčasných úmrtí spôsobených konkrétnou znečisťujúcou látkou. V nasledujúcich kapitolách bude preto podrobnejšie diskutovaná problematika cezhraničného prenosu, identifikácia území s predpokladom zhoršenej kvality ovzdušia, priemerná expozícia v členení na okresy SR a vplyv expozície na zdravie obyvateľstva.

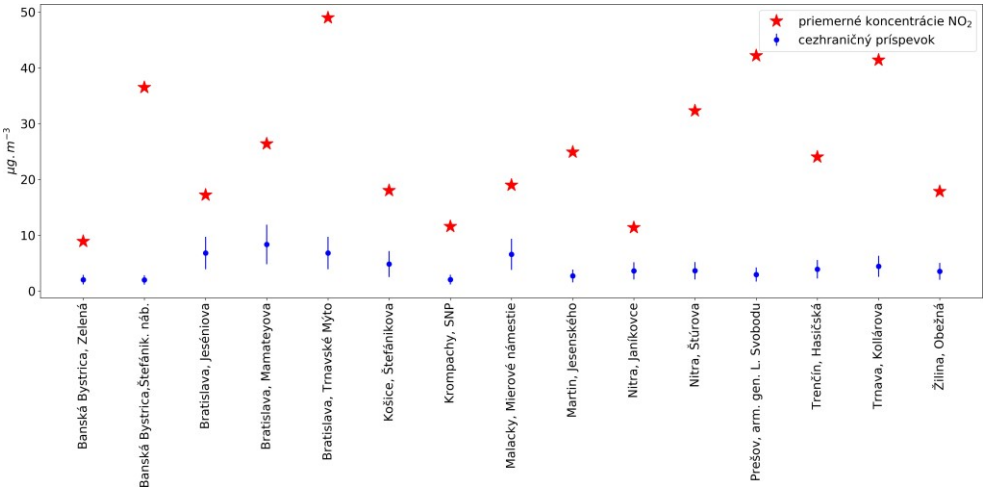
Cezhraničný prenos znečisťujúcich látok na území Slovenska

Pod pojmom cezhraničný prenos znečisťujúcich látok rozumieme hodnoty koncentrácií znečisťujúcich látok v ovzduší na území daného štátu, ktorých pôvod je v emisiách pochádzajúcich zo zdrojov nachádzajúcich sa mimo územia tohto štátu. Koncentrácie PM_{10}, $PM_{2,5}$ a NO_2 na území Slovenska, ktoré majú pôvod v emisiách mimo územia SR boli vypočítané pomocou chemicko-transportného modelu CMAQ v roku 2015 s rozlíšením 4,7 × 4,7 km podľa metodiky v článku Štefánik a kol. (2020) (zjednodušená slovenská verzia Štefánik (2019).

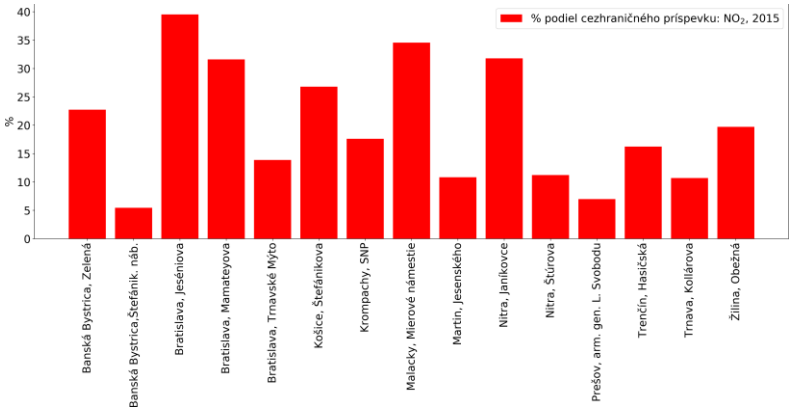
Výsledky cezhraničný prenosu pre NO_2 sú celoplošne zobrazené na Obr. 3, a pre miesta meracích staníc na Obr. 4 a 5.



Obr. 3 Odhadovaný priemerný cezhraničný prenos NO_2 (horná mapa) a chyba odhadu δ (dolná mapa)

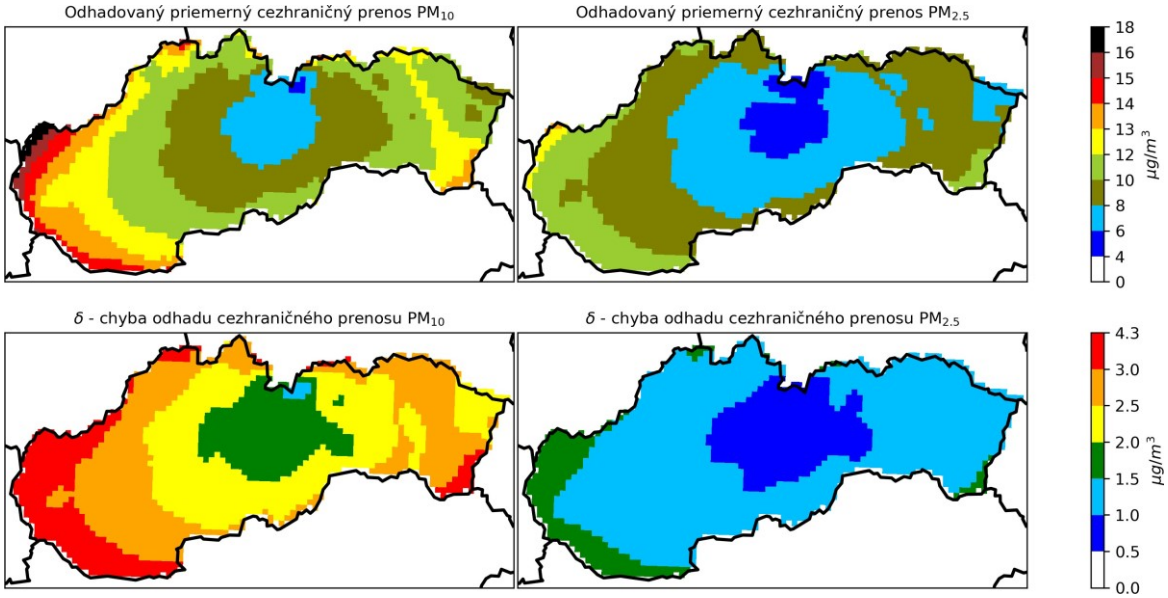


Obr. 4 Odhadovaný priemerný cezhraničný prenos na meracích staniciach a priemerná meraná koncentrácia NO_2 v roku 2015.

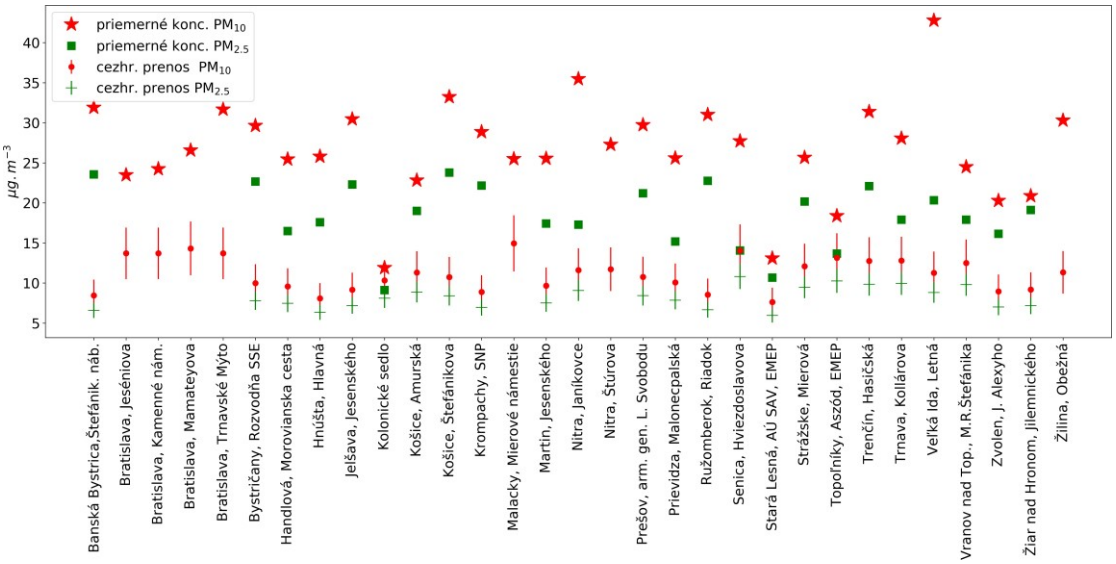


Obr. 5 Percentuálny podiel cezhraničného prenosu k celkovým koncentráciám NO_2 na meracích staniciach.

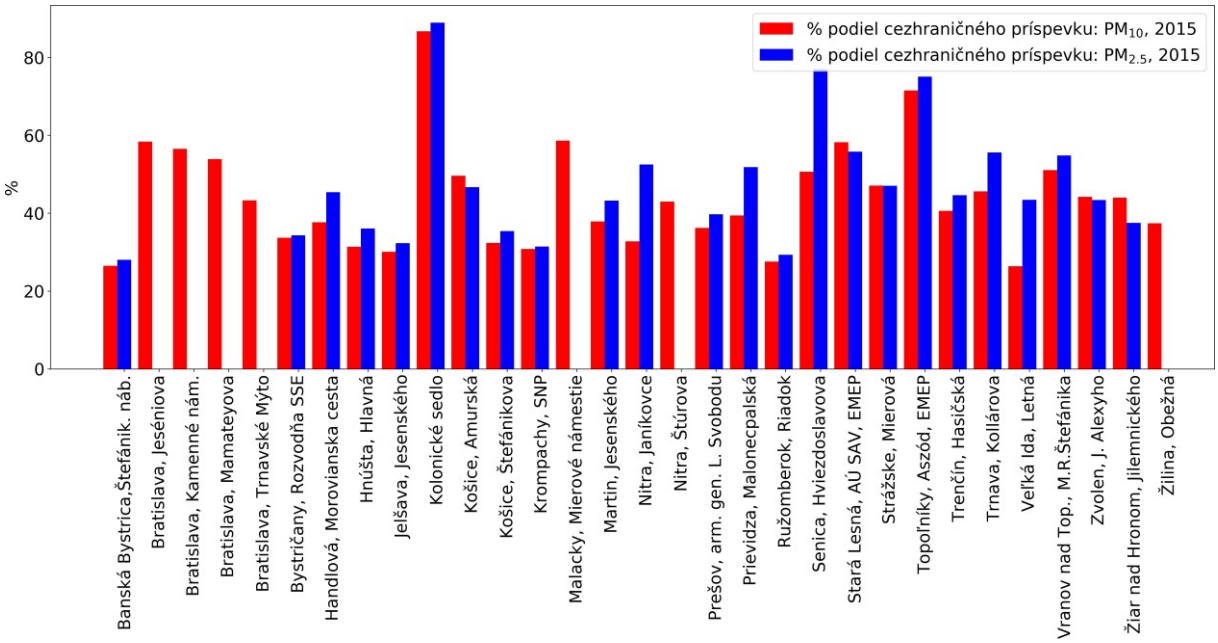
Výsledky cezhraničného prenosu pre $PM_{2.5}$a PM_{10} sú celoplošne zobrazené na Obr. 6. Odhadované cezhraničné znečistenie PM_{10} a $PM_{2.5}$ a jeho percentuálny podiel na miestach meracích staníc je na Obr. 7, resp. Obr. 8.



Obr. 6 Odhadovaný priemerný cezhraničný prenos TR pre PM_{10} (horná mapa vľavo) a pre $PM_{2.5}$ (horná mapa vpravo). Chyba odhadu δ je na príslušných spodných mapách.



Obr. 7 Odhadovaný priemerný cezhraničný prenos na meracích staniciach a priemerná meraná koncentrácia pre PM_{10} a $PM_{2.5}$ v roku 2015.

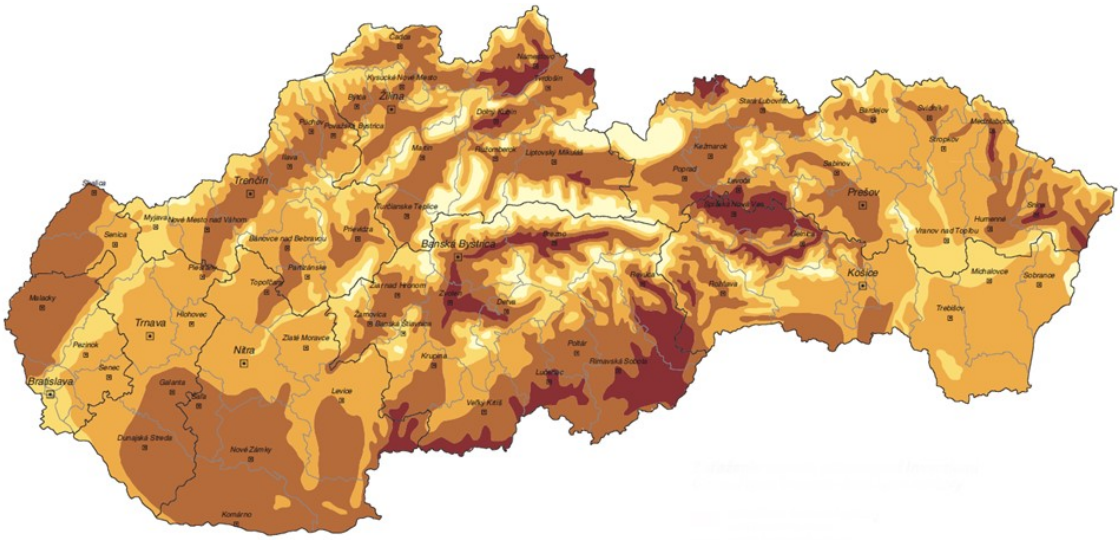


Obr. 8 Percentuálny podiel cezhraničného prenosu k celkovým koncentráciám pre PM_{10} a $PM_{2.5}$ na meracích staniciach.

Z nich vyplýva, že na väčšine meracích staníc tvorí cezhraničný prenos PM viac ako 30%, pri mnohých dokonca viac ako 50%. Pre NO2 je tento podiel podstatne nižší, prevažne do 20%.

Identifikácia zraniteľných oblastí pre znečistenie časticami PM_{10}

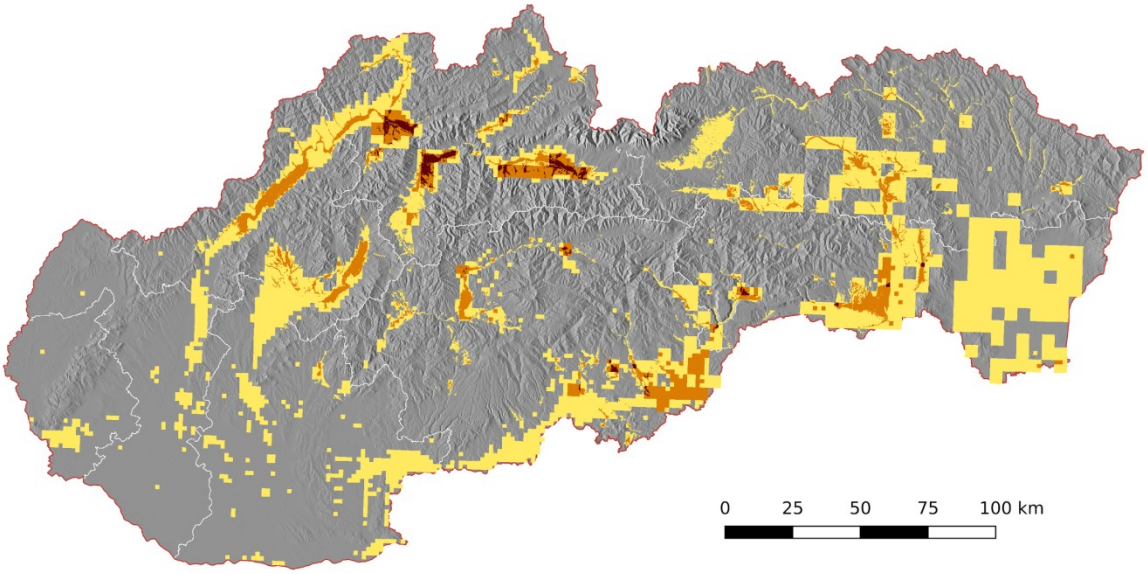
Z úvodného súhrnu emisií vyplýva, že okrem dopravy v centrách väčších miest (Bratislava, Trnava, Prešov, Nitra) a niekoľkých lokalít s najväčšími zdrojmi znečisťovania ovzdušia (Veľká Ida pri Košiciach) sú najvýraznejším problémom v oblasti kvality ovzdušia emisie z vykurovania domácností pevným palivom. V prípade lokalít v horských dolinách s dlhodobo nepriaznivými rozptylovými podmienkami pri zimných teplotných inverziách dochádza k vysokým koncentráciám PM_{10}, ($PM_{2.5}$) aj BaP. Príkladom takejto lokality je Jelšava, ktorá leží v oblasti charakteristickej nízkymi rýchlosťami vetra, častým výskytom bezvetria a dobrou dostupnosťou palivového dreva. Používanie starých vykurovacích zariadení s vysokými emisiami je aj tu podmienené sociálnym zložením obyvateľstva s vysokým podielom ekonomicky slabých skupín. Počet prekročení dennej limitnej hodnoty pre PM_{10} na monitorovacej stanici Jelšava, Jesenského v posledných rokoch dokonca prevýšil počet prekročení dosiahnutý vo Veľkej Ide, ktorá dosahovala v minulosti z dôvodu blízkosti metalurgického komplexu najvyššie koncentrácie PM_{10}.



Obr. 9 Zaťaženie územia prízemnými inverziami. Tmavšou farbou sú vyznačené oblasti s častejším výskytom prízemných inverzií. Najsvetlejšie oblasti zodpovedajú hrebeňom hôr.

Obr. 9 ukazuje výskyt prízemných inverzií na území Slovenska. Priestorové rozlíšenie je pri veľkosti mapy značne obmedzené, ale možno povedať, že v podstate akákoľvek horská dolina má potenciál častého výskytu inverzií a teda zlých rozptylových podmienok. Ďalším faktorom ovplyvňujúcim frekvenciu inverzií v horských dolinách je ich orientácia vzhľadom na prevládajúce prúdenie vzduchu – v záveterne situovaných dolinách (napr. JV Banskobystrického kraja, kde patrí aj Jelšava) je výskyt inverzií relatívne vyšší.

Keďže orografia Slovenska je značne členitá a nie je možné prevádzkovať monitorovaciu stanicu kvality ovzdušia v každej dedinke v horskej doline, je potrebné identifikovať oblasti, ktoré sú zraniteľné z hľadiska možných vysokých koncentrácií PM_{10} a ďalších problémových znečisťujúcich látok. Na to slúžia regionálne modely kvality ovzdušia, ktoré však pri v súčasnosti dostupnej výpočtovej kapacite výpočtového clustera dosahujú priestorové rozlíšenie cca 4 až 1.7 km. Toto rozlíšenie nedokáže dostatočne zachytiť mnohé pomerne úzke horské doliny v ktorých sa nachádzajú niektoré obce. Rizikové oblasti s vysokými emisiami PM_{10} z lokálneho vykurovania a s nízkou priemernou rýchlosťou vetra počas vykurovacieho obdobia boli určené s využitím nástrojov GIS (Nemček a kol., 2020), pričom výsledky boli analyzované v kombinácii s výsledkami modelov kvality ovzdušia CMAQ a RIO (Obr. 10).



Obr. 10 Mapa rizikových oblastí kvality ovzdušia – identifikovaných modelom CMAQ a interpolačným modelom RIO, kombinovaná s rizikovými oblasťami z dôvodu vysokých emisií PM_{10} z lokálneho vykurovania. Oblasti identifikované ako rizikové všetkými tromi metódami sú vyznačené tmavohnedou farbou, pri kombinácii dvoch metód ako oranžové a oblasti identifikované iba jednou metódou sú vyznačené žltou.

Po ďalšom upresnení výsledkov so zameraním na úzke doliny, ktoré modely so súčasným rozlíšením nezachytili (napr. v oblasti Oravy a Kysúc) môže poskytnúť táto metóda cenné informácie pre správne nastavenie opatrení na zlepšenie kvality ovzdušia. Keďže okrem geomorfologickej analýzy terénu a oblastí s nízkou rýchlosťou vetra vstupujú do procesu hľadania zraniteľných území aj emisie určené s vysokým priestorovým rozlíšením, ukazuje sa ako nevyhnutné získať v podobných lokalitách podrobné údaje z vykurovania domácností. Ide najmä o druh a množstvo použitého paliva a druh vykurovacích zariadení.

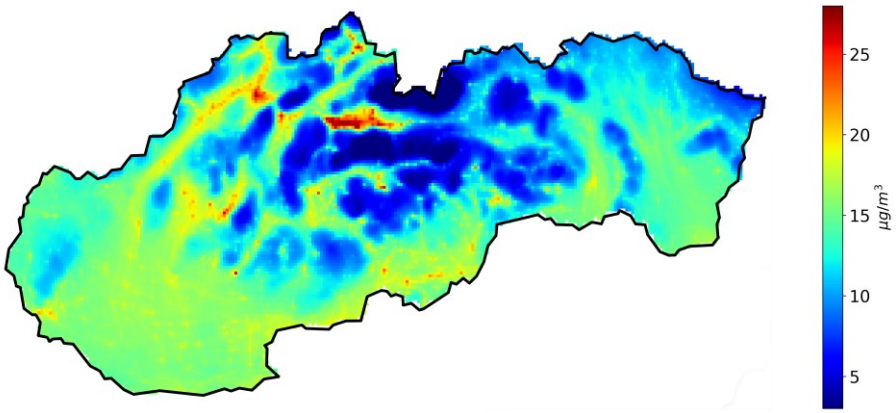
Pre vybrané oblasti, vytýčené ako zraniteľné nepriaznivou kvalitou ovzdušia, sa môže uskutočniť modelovanie kvality ovzdušia s vysokým rozlíšením (napr. pomocou lokálneho matematického modelu s vysokým rozlíšením). V tomto kroku sa použijú vypočítané emisie (získané z upresnených vstupných informácií o palivách a vykurovacích zariadeniach) ako vstupné dáta a po overení podozrenia o zhoršenej kvalite ovzdušia v skúmanej oblasti sa tento predpoklad môže overiť indikatívnym meraním.

Rozloženie zraniteľných oblastí pre PM_{10} naznačuje, že ak majú byť opatrenia na zlepšenie kvality ovzdušia účinné, nemali by sa aplikovať celoplošne, ale špecificky na problémové oblasti.

Geografické rozloženie znečistenia ovzdušia a expozície $PM_{2.5}$

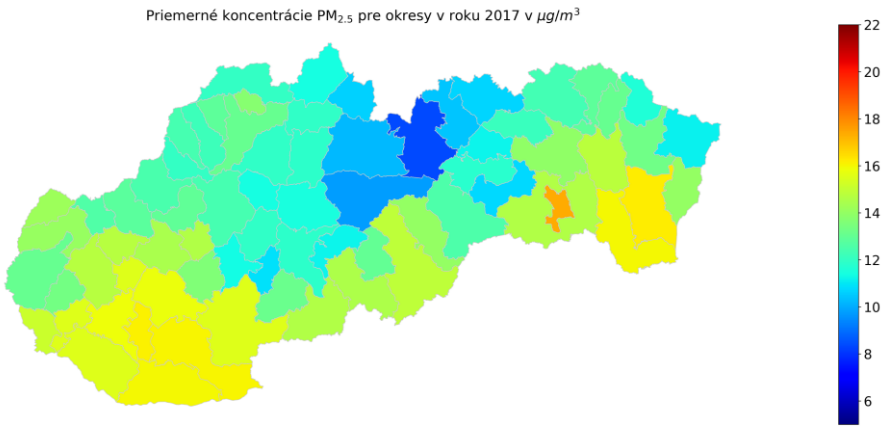
Obr. 11 zobrazuje priestorové rozloženie priemerných ročných koncentrácií PM2.5 vypočítaných modelom CMAQ s priestorovým rozlíšením 1,7km. V roku 2017 boli na väčšine územia zaznamenané vyššie koncentrácie, ako v nasledujúcich rokoch, ako dôsledok studeného januára, ktorý bol náročný na

vykurovanie. Pri interpretácii mapových výstupov z matematických modelov treba mať na pamäti, že priestorové rozlíšenie modelu je vždy obmedzené, pričom vypočítané koncentrácie reprezentujú koncentrácie priestorovo spriemerované v štvorci danom rozlíšením modelu. Napr. koncentrácie PM2.5 na *Obr. 11* udávajú ročné koncentrácie spriemerované nielen časovo za rok, ale aj priestorovo v štvorcoch 1,7 x 1,7 km. Tieto koncentrácie v miestach monitorovacích staníc nebudú zodpovedať nameraným koncentráciám, ale budú väčšinou nižšie, pričom rozdiel bude markantnejší na staniciach s nižšou priestorovou reprezentatívnosťou (mestské dopravné stanice, priemyselné stanice).

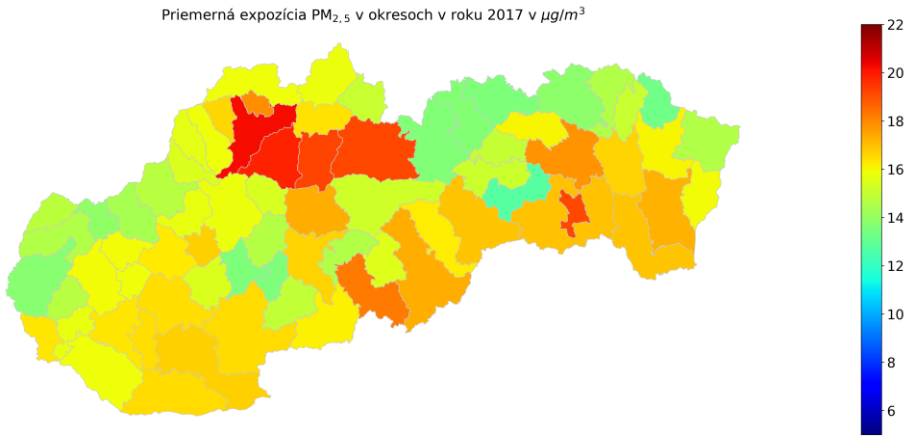


Obr. 11 Mapa priemernej ročnej koncentrácie $PM_{2.5}$ v roku 2017. Výstup modelu CMAQ.

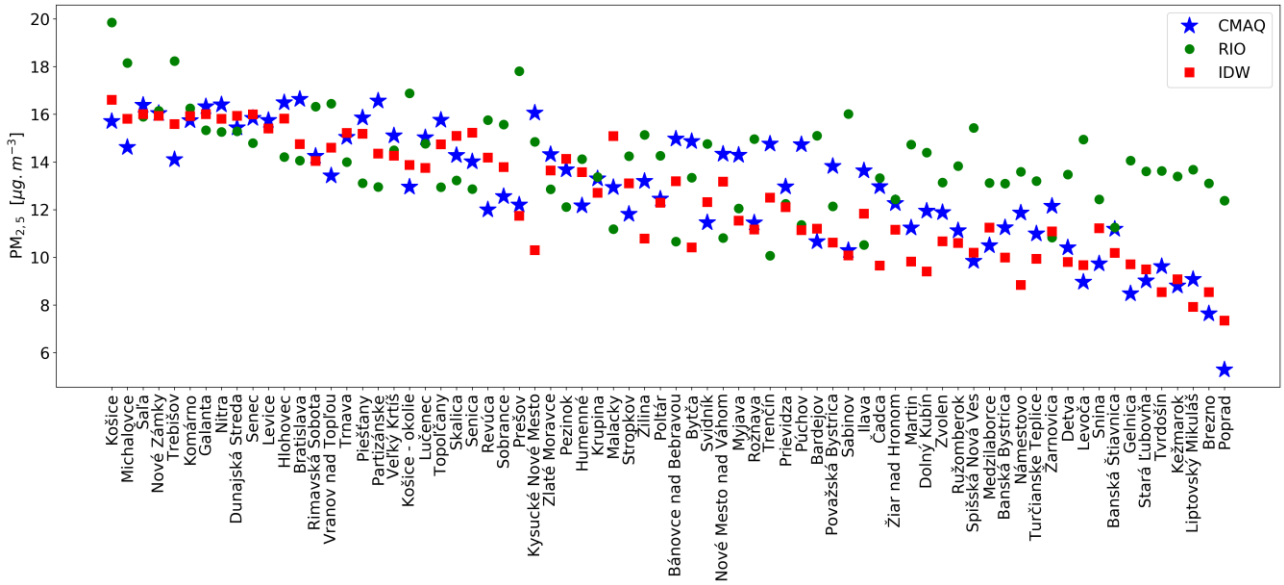
Na základe výstupov chemicko-transportného modelu CMAQ (CMAQv.2, 2017) a interpolačných modelov RIO (Hooyberghs, 2006) a IDWA (Szabó, 1997) bolo pre rok 2017 spracované porovnanie kvality ovzdušia pre okresy SR (Štefánik, 2019). Priemerná koncentrácia v okresoch (Obr. 12) je dôležitá pri hodnotení vplyvu kvality ovzdušia na ekosystémy. Pre posudzovanie vplyvu znečistenia ovzdušia na ľudské zdravie je vhodnejšie počítať expozíciu (Obr. 12) – t.j. koncentráciu váženú hustotou obyvateľstva. Na Obr. 12, resp. Obr. 13 sú priemerné koncentrácie a expozície PM_{10} v okresoch zoradené zostupne podľa hodnôt priemeru jednotlivých modelov. Poradie okresov s najhoršou priemernou expozíciou sa výrazne líši od poradia okresov s najhoršou priemernou koncentráciou PM_{10}.



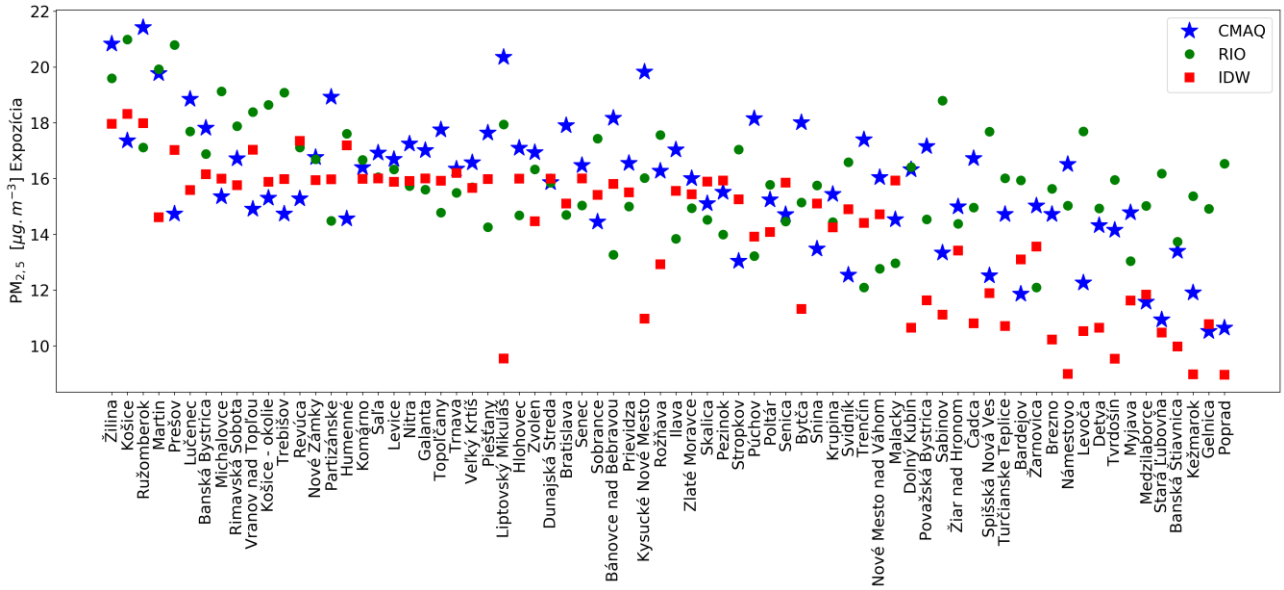
Obr. 12 Mapa priemernej koncentrácie $PM_{2,5}$ v okresoch SR v roku 2017 podľa 3 modelov kvality ovzdušia



Obr. 13 Mapa priemernej expozície $PM_{2,5}$ v okresoch SR v roku 2017 podľa 3 modelov kvality ovzdušia



Obr. 14 Priemerná koncentrácia $PM_{2.5}$ v okresoch SR v roku 2017 podľa 3 modelov kvality ovzdušia

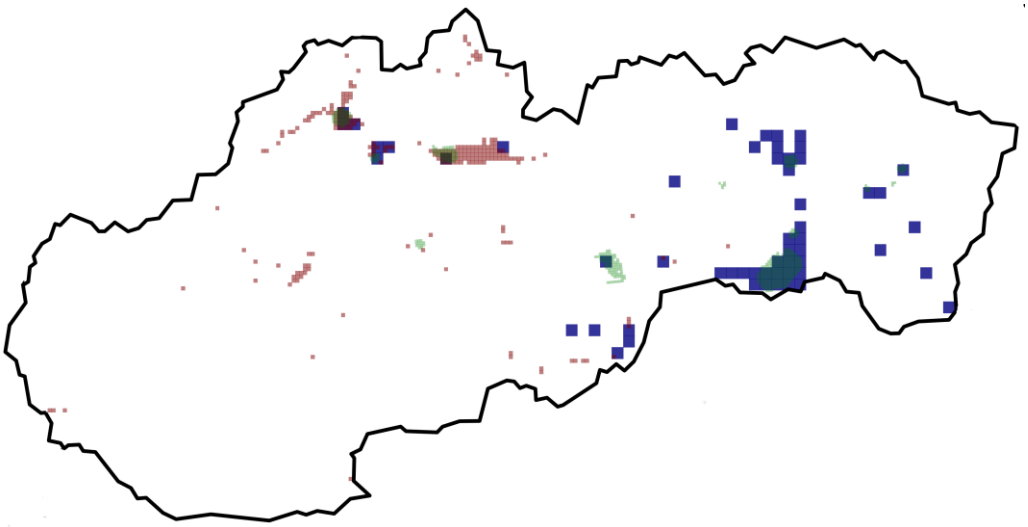


Obr. 15 Priemerná expozícia $PM_{2.5}$ v okresoch SR v roku 2017 podľa 3 modelov kvality ovzdušia.

Odhad vplyvu znečistenia ovzdušia časticami $PM_{2,5}$ na počet predčasných úmrtí

V štúdii Štefánik a kol. (2020b) bola pomocou viacerých metód zahrňujúcich meranie aj modelovanie vypočítaná a odhadnutá priemerná expozícia obyvateľstva $PM_{2,5}$ na Slovensku v roku 2017. Odhadujeme, že táto expozícia bola na úrovni 16,3 - 18,9 µg/m^3. Podľa metodiky WHO bolo vypočítané, že v priemere takmer 10 % zo všetkých prirodzených úmrtí na Slovensku bolo predčasných v dôsledku znečistenia ovzdušia časticami $PM_{2,5}$.

Na Obr. *16* sú vykreslené oblasti, kde priemerná ročná koncentrácia $PM_{2,5}$ prekročila hodnotu 20 µg/m^3. Použité sú výstupy troch rôznych modelov (interpolačné modely RIO a IDWA a chemicko-transportný model CMAQ), pričom sú farebne odlíšené oblasti s prekročením limitnej hodnoty pre $PM_{2,5}$ podľa jednotlivých modelov.



Obr. 16 *Oblasti, kde priemerné ročné koncentrácie $PM_{2,5}$ prekračujú 20 µg/m^3. Oblasti boli identifikované použitím troch rôznych modelov kvality ovzdušia. Vysvetlivky: Červenou farbou sú vyznačené oblasti identifikované modelom CMAQ, modrá - model RIO a zelená model IDW.*

Ak zlepšíme kvalitu ovzdušia tak, že všetky miesta, ktoré v súčasnosti prekračujú ročnú limitnú hodnotu pre $PM_{2,5}$ (20 µg/m^3) budú dosahovať koncentrácie presne 20 µg/m^3 a v ostatných miestach sa koncentrácie nezmenia, očakávame ročne v priemere o 250 predčasných úmrtí menej ako v súčasnom stave (Štefánik, 2020a).

Závery

V posledných rokoch sa kvalita ovzdušia z viacerých hľadísk zlepšila – poklesli počty prekročení dennej limitnej hodnoty pre PM_{10} a priemerné ročné koncentrácie PM_{10} a $PM_{2.5}$ neprekračovali limitnú hodnotu. Treba však brať do úvahy aj fakt, že toto zlepšenie možno zo značnej časti pripísať meteorologickým podmienkam ktoré sa vyskytovali v zimnom období. Pre väčšinu monitorovacích staníc v horských oblastiach počet prekročení priemernej dennej koncentrácie PM_{10} obvykle pomerne dobre negatívne koreluje s priemernými teplotami v najchladnejšej časti roka. V tomto smere boli zimy posledných rokov relatívne mierne (odhliadnuc od výnimočne chladného mesiaca január 2017). Dá sa očakávať, že v prípade výskytu chladnejších zím sa problémy kvality ovzdušia znova výraznejšie prejavia.

Ďalší problém môže nastať už v tomto roku (2020) v súvislosti so sprísnením limitnej hodnoty pre priemernú ročnú koncentráciu $PM_{2.5}$, ktorá bola znížená na 20 µg.m^{-3}. Súdiac s doterajších hodnôt je pravdepodobné, že nová limitná hodnota bude na viacerých miestach prekročená.

V neposlednom rade je nutné sústrediť pozornosť aj na benzo(a)pyrén, v prípade ktorého je cieľová hodnota 1 ng.m^{-3} prekračovaná na väčšine monitorovaných lokalít.

Z analýz uvedených v predchádzajúcich kapitolách vyplýva, že problémy s prekročeniami limitných hodnôt PM a benzo(a)pyrénu sa vyskytujú najmä na miestach v horských dolinách s nepriaznivými rozptylovými podmienkami a dobrou dostupnosťou palivového dreva. Pri takejto konfigurácii terénu a spôsobe vykurovania ich možno očakávať aj na miestach, kde je nie sú monitorovacie stanice.

Priemerné ročné koncentrácie NO_2 na miestach dopravných staníc s veľkou intenzitou dopravy v mestách väčšinou kolíšu okolo limitnej hodnoty. Aj tieto koncentrácie sú do určitej miery je závislé aj od meteorologických podmienok, obzvlášť nízkych teplôt počas zimných mesiacov, ale vyskytujú sa nielen v horských oblastiach, ale vo veľkých mestách s intenzívnou dopravou kdekoľvek na Slovensku.

Z cieľom zvýšiť reprezentatívnosť monitorovacej siete, SHMÚ momentálne dokončuje inštaláciu trvalých monitorovacích staníc v ďalších lokalitách. Vzhľadom na členitý terén krajiny však ostáva stále dôležitá úloha pre uplatnenie numerických modelov kvality ovzdušia.

Vyššie uvedené fakty a analýzy poukazujú na nasledujúce potreby:

- Prijatie účinných opatrení v oblasti vykurovania domácností, pričom je potrebné sústrediť sa hlavne na oblasti s nepriaznivými rozptylovými podmienkami, kde sa zároveň sústreďuje vysoká koncentrácia kotlov na tuhé palivo
- Prijímať opatrenia na zníženie emisií v cestnej doprave, vrátane emisií z resuspenzie z povrchu ciest.
- V prípade obmedzených finančných zdrojov je potrebné zamerať sa primárne na oblasti v ktorých je expozícia obyvateľstva zhoršenej kvalite ovzdušia najvyššia.
- Je potrebné ďalej upresňovať geografické vymedzenie oblastí pravdepodobne ohrozených zhoršenou kvalitou ovzdušia. Úvodnými indíciami, ktoré slúžia na vytýčenie takýchto území sú rozptylové podmienky a rozmiestnenie zdrojov znečisťovania ovzdušia. Pre takto vybrané oblasti je možné podľa potreby vykonať modelovanie s vysokým priestorovým rozlíšením alebo indikatívne merania pomocou mobilných monitorovacích staníc

Žiadna z uvedených aktivít sa nezaobíde bez dostatočne presnej **lokálnej inventarizácie zdrojov emisií**. V prípade veľkých a stredných zdrojov znečisťovania existuje databáza NEIS. V prípade inventarizácie lokálnych kúrenísk je však situácia veľmi nepriaznivá, existujúce dáta sú veľmi nepresné a modely, ktoré sa v súčasnosti na odhad priestorových emisií z lokálnych kúrenísk využívajú (Krajčovičová, 2020) sa zákonite vyznačujú vysokou neurčitosťou vypočítaných emisií. Preto je nevyhnutné iniciovať pravidelnú inventarizáciu lokálnych kúrenísk na úrovni obcí. V prípade dát o intenzitách dopravy by bolo vhodné povzbudzovať najmä veľké mestá, pre ktoré je doprava jednou z hlavných príčin zlej kvality ovzdušia, aby iniciatívne monitorovali intenzity dopravy na svojom území, najlepšie pomocou objektívnych technologických zariadení na meranie dopravy.

Literatúra

Air Quality in Europe - 2019. EEA report No 10/2019. ISBN 978-92-9480-088-6. ISSN 1977-8449. doi:10.2800/8223.

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

Hooyberghs J., Mensink C., Dumont G. and Fierens F., Spatial interpolation of ambient ozone concentrations from sparse monitoring points in Belgium J. Environ. Monit., 2006, 8, 1129-1135

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.

Krajčovičova, J. Matejovičova, J., Kremler, M. Nemček, V. 2016: Air quality modeling of non-attainment areas as a basis for air quality plans. 17th Conference on Harmonization Within Atmospheric Dispersion Modeling, Budapest, Hungary, 9 – 12 May 2016.

Nemček V., Krajčovičová J., Štefánik, D. 2020, Stanovenie rizikových oblastí kvality ovzdušia ohrozených prachovými časticami z lokálneho vykurovania na Slovensku, Meteorologický časopis, Ročník 23, číslo 1, ISSN 1335-339X, dostupné: http://www.shmu.sk/sk/?page=31, posledný prístup 19.8.20.

Szabó, G., 1997 : Metodika výpočtu znečistenia ovzdušia zo stacionárnych zdrojov, Zb. prác SHMÚ Bratislava, zv. 40, 1997, 155 s.

Štefánik, D. 2019, Kvalita ovzdušia v okresoch SR. Zborník z konferencie Ochrana ovzdušia 2019 p. 67-74.

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. 2020a, Expozícia znečisťujúcimi látkami PM2,5 na území Slovenska v roku 2017 a počet predčasných úmrtí, Meteorologický časopis, Ročník 23, číslo 1, ISSN 1335-339X, dostupné: http://www.shmu.sk/sk/?page=31, posledný prístup 19.8.20.

Štefánik, D., Matejovičová, J., Krajčovičová, J., Šedivá, T., Nemček, V., Beňo, J., 2020b: 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.

Príloha 1
Hodnotenie kvality ovzdušia podľa koncentrácií nameraných na monitorovacích staniciach NMSKO

Hodnotenie kvality ovzdušia je založené na monitorovaní kvality ovzdušia, ktoré dopĺňa matematické modelovanie. Tento text sa zaoberá stručným zhodnotením výsledkov monitoringu kvality ovzdušia.

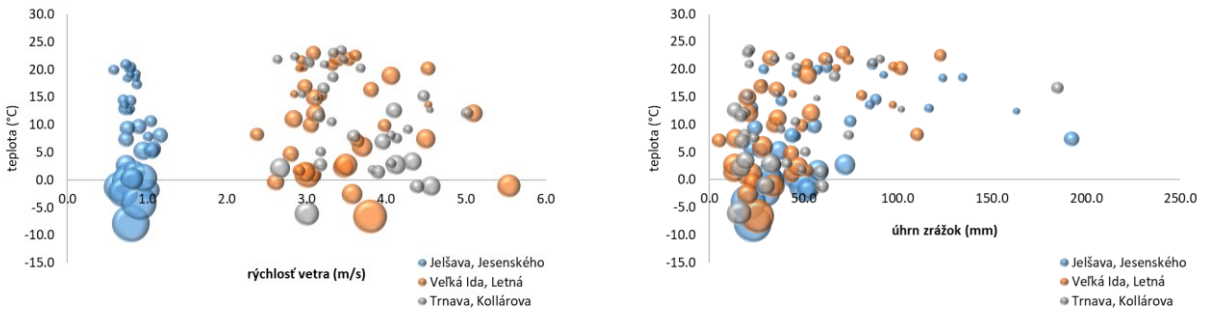
Monitorovaním kvality ovzdušia je poverený Slovenský hydrometeorologický ústav, ktorý prevádzkuje Národnú monitorovaciu sieť kvality ovzdušia (NMSKO), okrem toho sú dostupné výsledky merania monitorovacích staníc kvality ovzdušia prevádzkovaných veľkými zdrojmi znečisťovania ovzdušia[1]. Monitorovací program NMSKO zahŕňa v súčasnosti meranie PM_{10}, $PM_{2,5}$, SO_2, CO, NO_2, NO_x, Hg, troposferického ozónu a benzénu v ovzduší automatickými meracími prístrojmi. Okrem toho sú odoberané denné vzorky pre analýzu ťažkých kovov a polycyklických aromatických uhľovodíkov. Kvalita atmosférických zrážok sa meria na regionálnych monitorovacích staniciach, ktoré majú širší monitorovací program aj v oblasti monitoringu ovzdušia (Tieto stanice sa riadia monitorovacím programom EMEP[2]).

PM_{10}, $PM_{2.5}$

Zvýšené koncentrácie atmosférického aerosólu v ovzduší predstavujú komplikovaný problém z hľadiska rôznorodosti zdrojov aj z hľadiska osudu znečisťujúcej látky v atmosfére.

Prachové častice, obzvlášť jemná veľkostná frakcia ($PM_{2.5}$), v ovzduší len pomaly sedimentujú, zotrvávajú v ovzduší niekoľko dní, v závislosti od prúdenia vzduchu sa môžu prenášať na veľké vzdialenosti a prispievať tak k pozaďovým koncentráciám v oblastiach vzdialených od pôvodných zdrojov znečistenia. K vysokým koncentráciám prispievajú nielen primárne častice priamo emitované zo zdroja do ovzdušia, ale aj sekundárne častice, ktoré vznikajú v ovzduší kondenzáciou horúcich spalín alebo chemickými reakciami z plynných látok (prekurzorov), ako sú oxidy síry, dusíka, amoniak, prchavé organické látky. Na ilustráciu možno spomenúť vznik dusičnanu amónneho reakciou amoniaku, ktorého zdrojom je najmä chov hospodárskych zvierat a oxidov dusíka, ktoré sa môžu uvoľňovať napríklad zo spaľovacích motorov v cestnej doprave.

Emisie z cestnej dopravy a z malých zdrojov (vykurovanie domácností) sú uvoľňované väčšinou v blízkosti dýchacej zóny (t.j. relatívne nízko nad zemou, keďže rodinné domy majú komíny nižšie ako priemyselné zdroje, či elektrárne), majú preto vplyv na expozíciu obyvateľov v najmä v blízkosti sídiel. Emisie z jednotlivých vysokých komínov veľkých zdrojov sa vo vyšších hladinách efektívne rozptýlia a prispievajú obvykle viac k vysokej úrovni pozadia, než k lokálnym hodnotám. Za istých meteorologických podmienok (napríklad ak je pri nízkej rýchlosti vetra vlečka komína vďaka stabilnému vertikálnemu zvrstveniu „uzavretá“ v prízemnej vrstve) sa však ich vplyv môže prejaviť aj lokálne. V tomto prípade je možné namerať epizódy vyšších koncentrácií znečisťujúcich látok, vrátane PM_{10}, $PM_{2.5}$. Vplyv meteorologických podmienok na koncentrácie PM_{10} ilustruje Obr. 17.



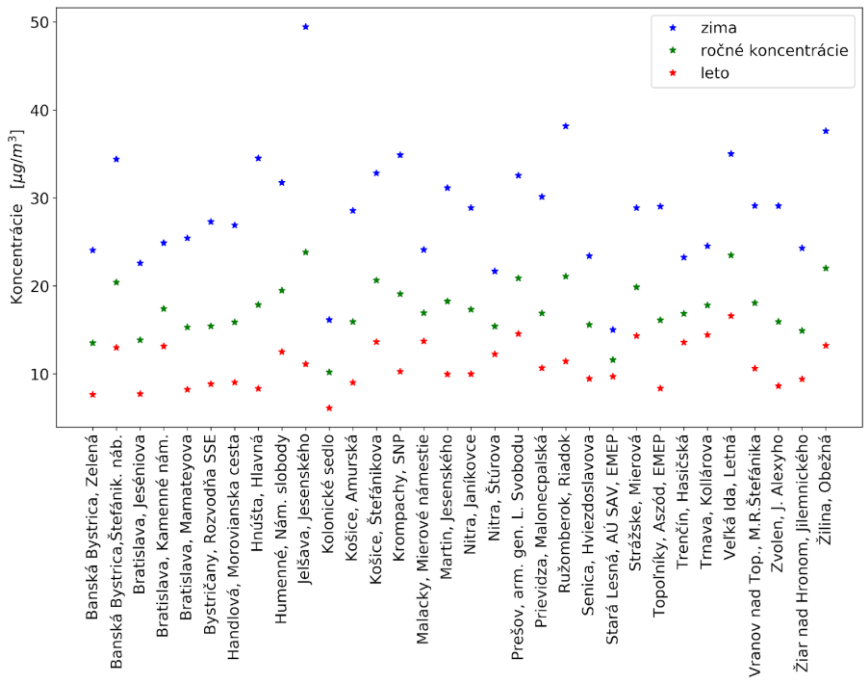
Obr. 17 Ilustrácia priemerných mesačných koncentrácií PM_{10} na mestskej pozaďovej monitorovacej stanici Jelšava, Jesenského; predmestskej priemyselnej stanici Veľká Ida, Letná a mestskej dopravnej stanici Trnava, Kollárova v závislosti od teploty a rýchlosti vetra (vľavo) a od teploty a úhrnu zrážok (vpravo) v rokoch 2017-2019. (Koncentrácie sú vyjadrené veľkosťou krúžkov).

[1] *http://www.shmu.sk/File/oko/rocenky/2019%20Priloha%20A.pdf*

[2] *The co-operative programme for monitoring and evaluation of the long-range transmission of air pollutants in Europe, https://www.emep.int/*

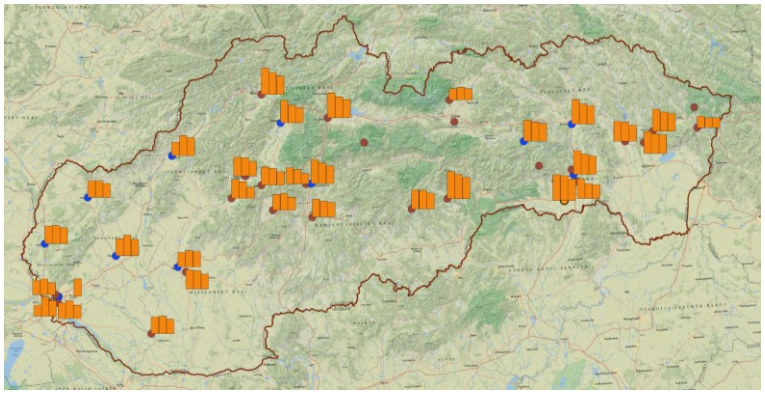
PM_{10} a $PM_{2.5}$ sa na monitorovacích staniciach siete NMSKO monitoruje kontinuálne, metóda je založená na oscilačnej gravimetrii, resp. beta absorpcii, výstupom merania sú priemerné hodinové koncentrácie.

V posledných rokoch neprišlo na žiadnej monitorovacej stanici k prekročeniu limitnej hodnoty pre priemernú ročnú koncentráciu PM_{10} a $PM_{2,5}$. Počet prekročení dennej limitnej hodnoty pre PM_{10} na niektorých lokalitách (Tab. 2) poklesol v porovnaní so stavom pred 15 rokmi viac než o polovicu. Zlepšenie je čiastočne možné pripísať pravdepodobne aj teplejším zimám, menej náročným na vykurovanie, ako naznačuje na Obr. 17. nárast PM_{10} s klesajúcou teplotou a priebeh priemerných mesačných hodnôt na Obr. 19, kde je možné rozoznať vysoké hodnoty v studenom januári 2017. Limitné hodnoty podľa WHO sú prekračované na väčšine monitorovacích staníc (Príloha 2).



Obr. 18 Priemerné ročné, letné (jún-august) a zimné (december – február) koncentrácie $PM_{2.5}$ v sieti NMSKO rokoch 2017-2019.

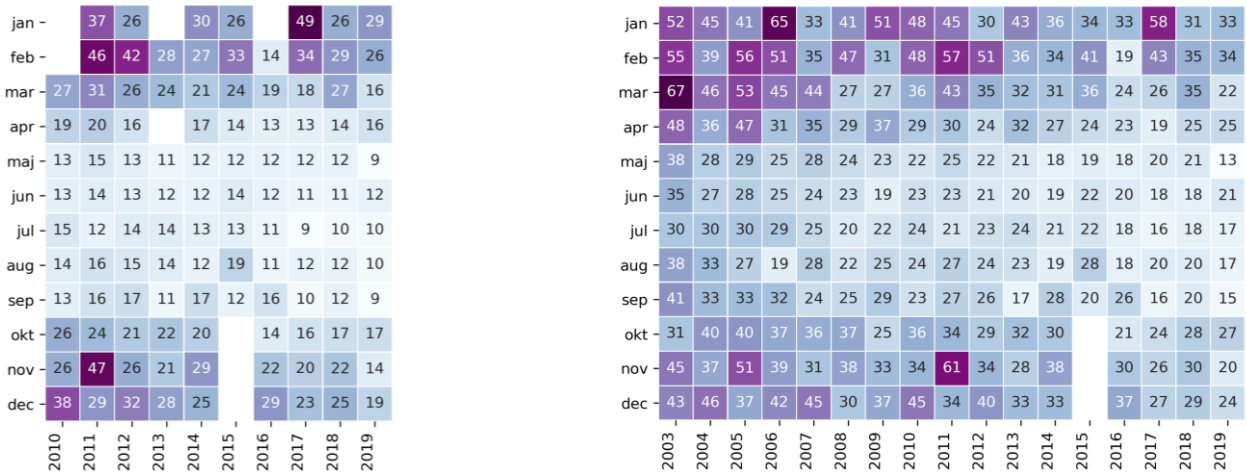
Na Obr. 18 je porovnanie priemerných ročných koncentrácií $PM_{2.5}$ s priemernými letnými a zimnými koncentráciami pre jednotlivé monitorovacie stanice. Rozdiel letných a zimných hodnôt je najväčší na tých staniciach, ktoré sú ovplyvnené vykurovaním domácností (najvýraznejšie je to v Jelšave), zimné a letné koncentrácie sa najmenej líšia na vidieckej pozaďovej stanice v Starej Lesnej a na dopravných staniciach, ako Trnava, Kollárova. Je zaujímavé, že už v letnom období, kedy sú hodnoty koncentrácií $PM_{2.5}$ najnižšie, sa na viacerých lokalitách blížia limitnej hodnote podľa WHO (10 µg.m^{-3}).



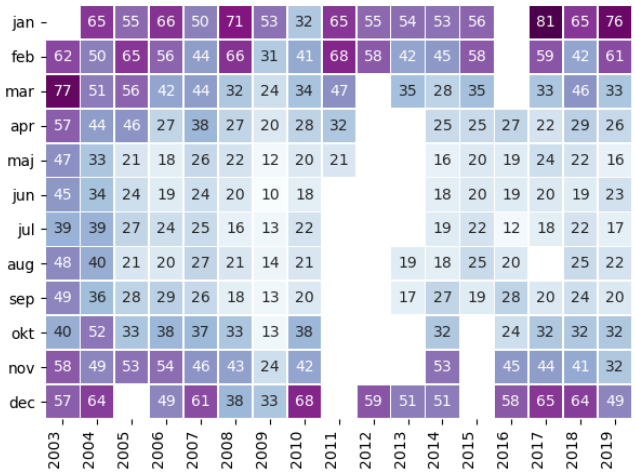
Obr. 19 Priemerné ročné koncentrácie $PM_{2.5}$ v sieti NMSKO rokoch 2017-2019.
(Minimum Kolonické sedlo a Banská Bystrica, Zelená 10 µg.m^{-3} v r.2019,
maximum Jelšava 27 µg.m^{-3} v r. 2017).
Dopravné stanice sú označené modrými a mestské pozaďové hnedými krúžkami.

V posledných rokoch neboli zaznamenané výrazné zmeny v priemerných ročných koncentráciách $PM_{2.5}$ (Obr. 19). Koncentrácie boli na väčšine staníc vyššie v roku 2017, na čom má podiel studený január, náročný na vykurovanie (Obr. 21).

Prekročenia limitnej hodnoty na ochranu ľudského zdravia pre 24-hodinové koncentrácie PM_{10} boli v posledných rokoch zaznamenané na monitorovacích staniciach vo Veľkej Ide, Jelšave a na viacerých dopravných monitorovacích staniciach kvality ovzdušia (Tab. 2). Dominantný vplyv vo Veľkej Ide má metalurgický komplex, ktorého vplyv sa aj na stanici Košice, Štefánikova epizodicky prejavuje popri emisiách z cestnej dopravy, v menšej miere sa prejavuje vykurovanie domácností. V Jelšave je hlavným zdrojom PM_{10} vykurovanie domácností tuhým palivom, blízky priemyselný zdroj zohráva menšiu úlohu.



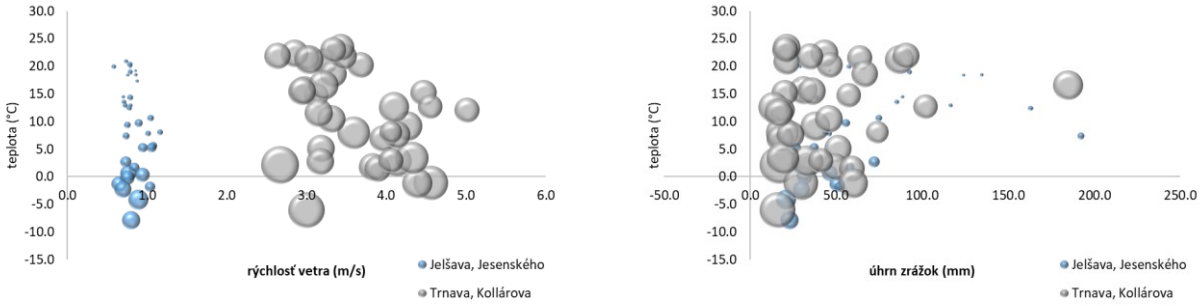
Obr. 20 Priemerné mesačné koncentrácie $PM_{2.5}$ (vľavo) a PM_{10} v sieti NMSKO ($\mu g.m^{-3}$).



Obr. 21 Priemerné mesačné kocentrácie PM_{10} ($\mu g.m^{-3}$) na monitorovacej stanici Jelšava, Jesenského.

NO_2

NO_2 sa v sieti NMSKO meria kontinuálne, metóda je založená na chemiluminiscencii, výstupom merania sú priemerné hodinové koncentrácie.

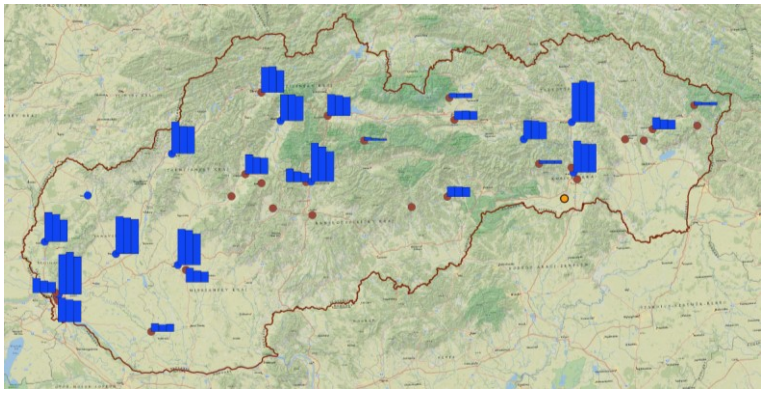


Obr. 22 Ilustrácia priemerných mesačných koncentrácií NO_2 na staniciach Jelšava, Jesenského a Trnava, Kollárova v závislosti od teploty a rýchlosti vetra (vľavo) a od teploty a úhrnu zrážok (vpravo) v rokoch 2017-2019.

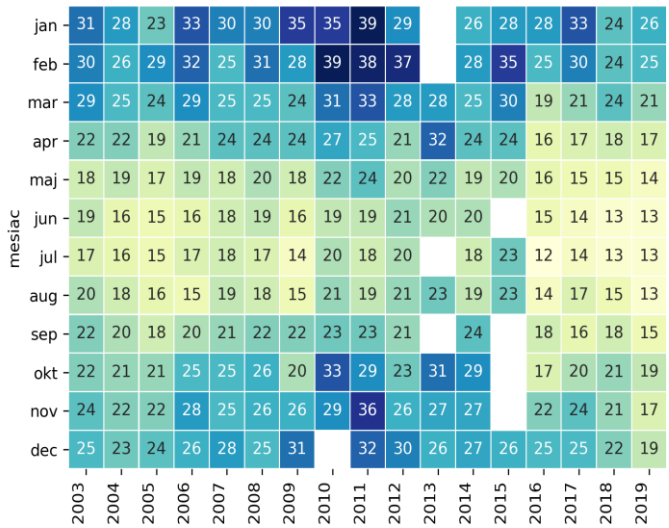
Hlavným zdrojom emisií NO_2 je cestná doprava, výroba tepla a elektrickej energie a spaľovacie procesy v priemysle. Najvyššie koncentrácie sa NO_2 sa vyskytujú v priemere v zimných mesiacoch (Obr. 24), ako dôsledok časového profilu zdrojov (príspevok vykurovania) a nepriaznivých rozptylových podmienok. Porovnanie vplyvu meteorologických podmienok koncentrácie NO_2 na monitorovacej stanici ovplyvnenej najmä vykurovaním domácností (Jelšava, Jeséniova) a dopravnej stanici (Trnava, Kollárova) ilustruje Obr. 22.

Kým v Jelšave koncentrácie pri poklese teploty výrazne rastú, na dopravnej stanici tento trend oveľa menej zreteľný.

Priemerná ročná koncentrácia na problémových lokalitách, ktorými sú dopravne vyťažené cestné komunikácie (napr. Bratislava, Trnavské mýto a Prešov, Arm. gen. L. Svobodu) väčšinou kolíše okolo limitnej hodnoty a napriek tomu, že koncentrácie na mnohých miestach oproti stavu spred 15 rokov poklesli, prekročenie limitnej hodnoty v budúcich rokoch nie je vylúčené.



Obr. 23 Priemerné ročné koncentrácie NO2 v sieti NMSKO rokoch 2017-2019.
(Maximum Prešov, arm. gen. L. Svobodu a Bratislava, Trnavské Mýto 41 $\mu g.m^{-3}$ v r.2018).
Dopravné stanice sú označené modrými a mestské pozaďové hnedými krúžkami.



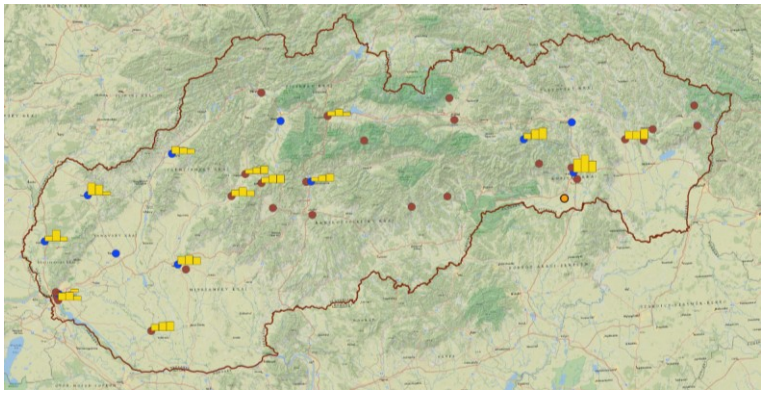
Obr. 24 Priemerné mesačné koncentrácie NO_2 (µg.m^{-3}) v sieti NMSKO rokoch 2003-2019.

SO_2

SO_2 sa v sieti NMSKO meria kontinuálne, metóda je založená na UV fluorescencii, výstupom merania sú priemerné hodinové koncentrácie.

Hlavným zdrojom emisií SO_2 sú spaľovacie procesy, ktoré používajú ako hlavné palivo fosílne palivá – uhlie. Hoci tepelné elektrárne sú nezanedbateľným zdrojom emisií SO_2 v regióne, ťažisko problému sa aj v prípade SO_2 presúva k malým zdrojom, k vykurovaniu domácností nekvalitným hnedým uhlím s vysokým obsahom síry. Výška komínov v prípade veľkých zdrojov prispieva k efektívnemu rozptylu znečisťujúcich látok, kým emisie z malých zdrojov sa uvoľňujú nižšie nad povrchom a väčšinou na miestach s väčšou pravdepodobnosťou expozície obyvateľstva.

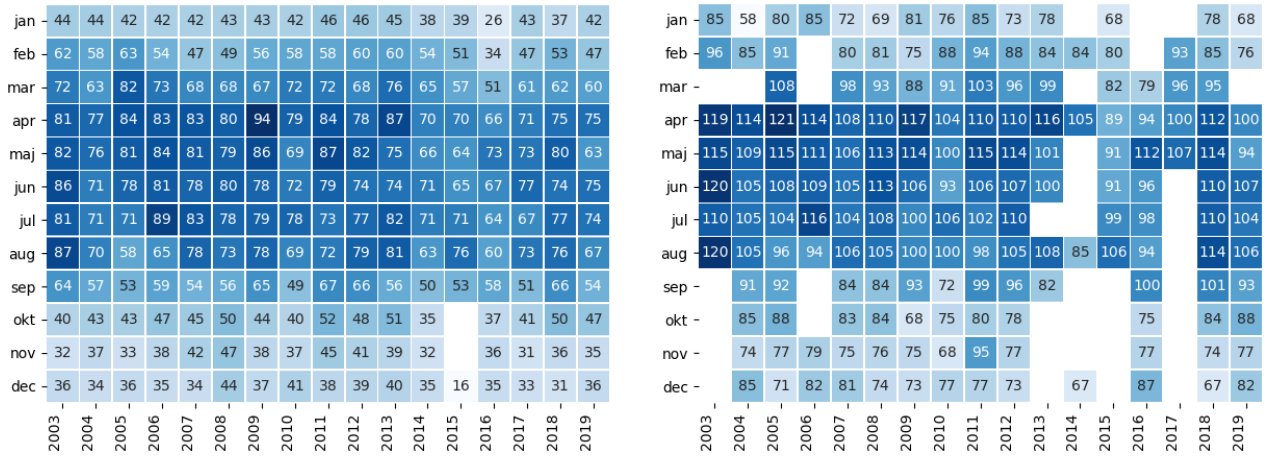
Od roku 2011 nebolo namerané prekročenie limitnej hodnoty pre SO_2, koncentrácie sú dlhodobo pod limitnou hodnotou. Vyššie hodnoty sa môžu vyskytnúť epizodicky.



Obr. 25 Priemerné ročné koncentrácie SO_2 v sieti NMSKO rokoch 2017-2019.
Dopravné stanice sú označené modrými a mestské pozaďové hnedými krúžkami.

O_3

Ozón v atmosfére vzniká pri fotochemických reakciách z prekurzorov, ktorými sú oxidy dusíka, CO a prchavé organické uhľovodíky. Na rozdiel od PM a NO_2 sú preto maximálne hodnoty prízemného ozónu dosahované v najčastejšie mesiacoch apríl – august, ako vidieť na

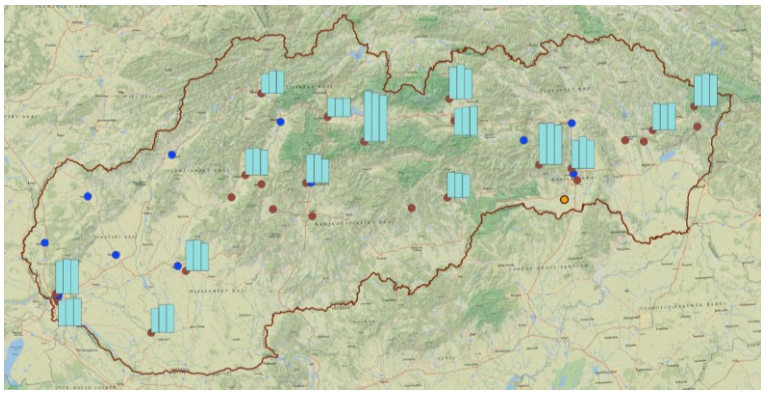


Obr. 28. Vďaka titrácii ozónu oxidmi dusíka z cestnej dopravy sú koncentrácie pri rušných cestných komunikáciách nízke, vyššie koncentrácie sa vyskytujú na mestských pozaďových staniciach.

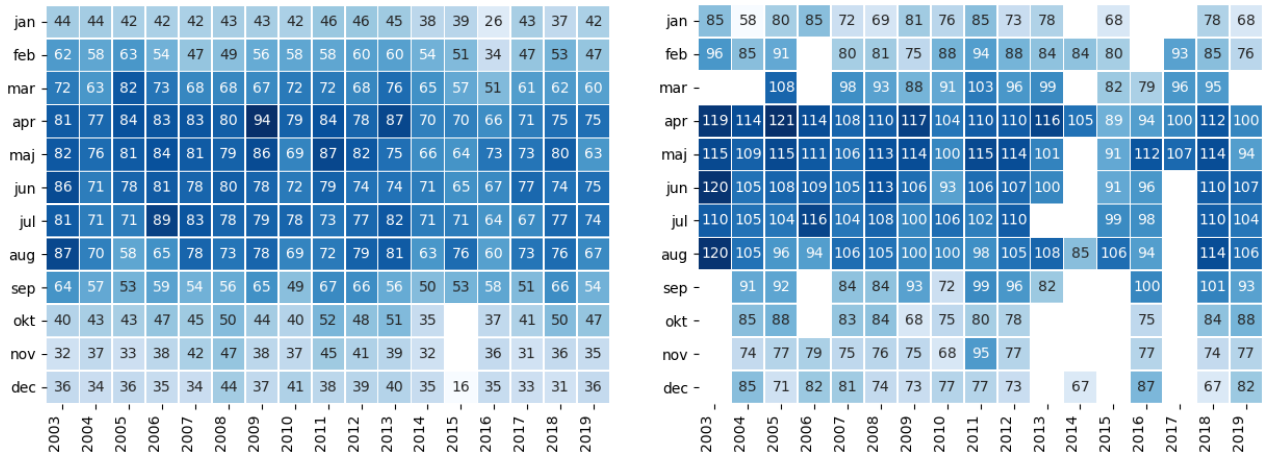
O_3 sa v sieti NMSKO meria kontinuálne, metóda je založená na UV absorpcii, výstupom merania sú priemerné hodinové koncentrácie.

Cieľová hodnota prízemného ozónu je prekračovaná na mestských aj vidieckych pozaďových staniciach, najvyššie hodnoty sú dosahované vo vyšších horských polohách. (Obr. 26 – stanice sú zoradené zostupne podľa nadmorskej výšky). Najvyššie koncentrácie troposferického ozónu boli namerané vo fotochemicky veľmi aktívnom roku 2003.

Obr. 26 Priemerné ročné koncentrácie troposférického ozónu v sieti NMSKO rokoch 2008-2019 v porovnaní s r. 2003.



Obr. 27 Priemerné ročné koncentrácie troposférického ozónu v sieti NMSKO rokoch 2017-2019.



Obr. 28 Priemerné mesačné koncentrácie O_3 (µg.m^{-3}) v sieti NMSKO (vľavo) a na Chopku (vpravo) v rokoch 2003-2019.

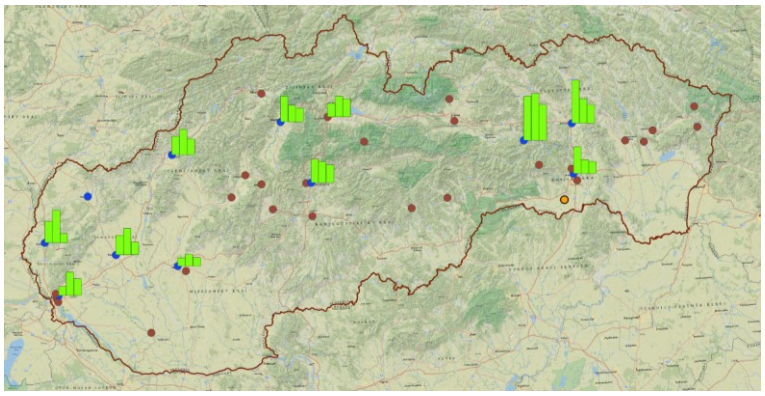
Keďže O_3 vzniká pri fotochemických reakciách, maximálne koncentrácie O_3 sú merané v letných mesiacoch (Obr. 27). Vo vysokohorských polohách (napr. Chopok, Obr. 27 vpravo) sú merané vyššie hodnoty troposférického ozónu v porovnaní s priemernými hodnotami z meraní v celej monitorovacej sieti (Obr. 28 vľavo). Cieľová hodnota je dlhodobo prekračovaná v zóne Slovensko, aj v aglomerácii Bratislava. V období 2017-2019 bola cieľová hodnota pre prízemný ozón prekročená na monitorovacích staniciach v Bratislave (Jeséniova, Mamateyova), v Nitre (Janíkovce) a na Chopku. Problematika troposférického ozónu má regionálny charakter - vzhľadom na pravdepodobne výrazný podiel diaľkového prenosu ozónu aj jeho prekurzorov sú možnosti riešenia v lokálnej mierke obmedzené.

CO

Hlavným zdrojom emisií sú spaľovacie procesy. CO sa v sieti NMSKO meria kontinuálne, výstupom merania sú priemerné hodinové koncentrácie. Koncentrácie CO sú dlhodobo pod limitnou hodnotou.

Benzén

Hlavným zdrojom emisií benzénu je cestná doprava a petrochemický priemysel. Benzén sa v sieti NMSKO meria kontinuálne, výstupom merania sú priemerné hodinové koncentrácie. Hodnoty priemerných ročných koncentrácií sú výrazne pod limitnou hodnotou 5 µg.m^{-3}. Epizodicky sa vyskytujú vyššie koncentrácie, podobne ako pre SO_2. Výška koncentrácií kolíše v závislosti od prevádzkového stavu zdrojov a meteorologických podmienok.



Obr. 29 Priemerné ročné koncentrácie benzénu v sieti NMSKO rokoch 2017-2019.

Ťažké kovy (arzén, kadmium, nikel, olovo)

Vzorky na analýzu ťažkých kovov sa odoberajú každý druhý deň počas 24 hodín na nitrocelulózový filter, následne sú analyzované metódou indukčne viazanej plazmy s hmotnostnou detekciou (ICP-MS).

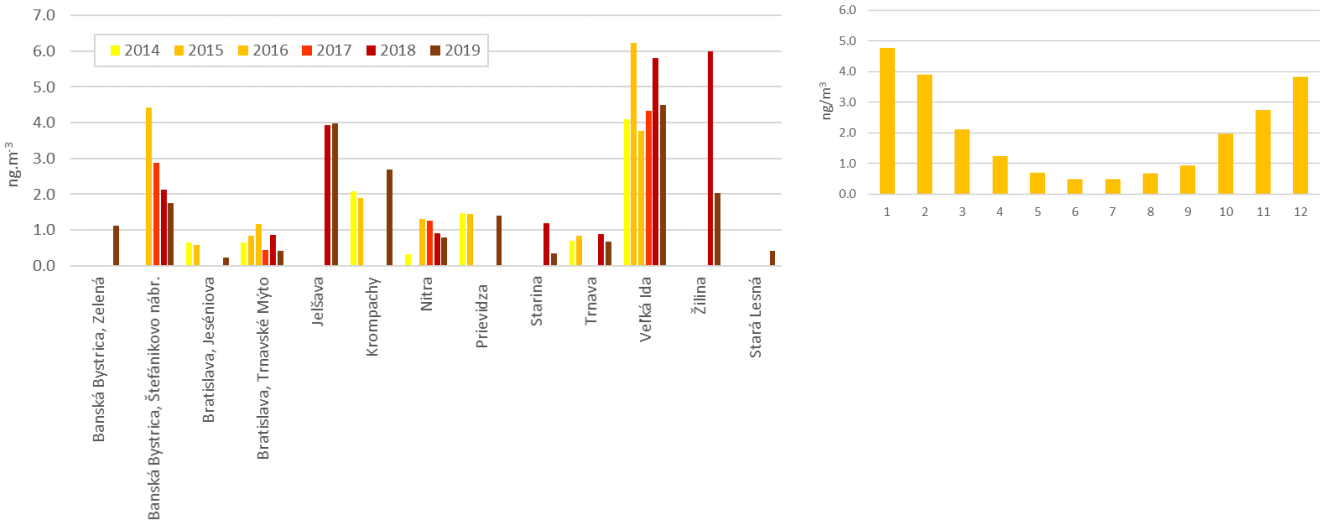
Monitorovacia stanica v Prievidzi je jedinou stanicou v NMSKO, v ktorej bolo od roku 2010 zaznamenané prekročenie cieľovej hodnoty pre arzén. Priemerná ročná koncentrácia arzénu v roku 2015 bola 6.4 $ng.m^{-3}$. Pravdepodobným zdrojom arzénu v okrese Prievidza je spaľovanie fosílnych palív, najmä uhlia. Koncentrácie ťažkých kovov v súčasnosti neprekračujú limitné ani cieľové hodnoty.

Priemerné ročné koncentrácie ťažkých kovov namerané na staniciach NMSKO sú väčšinou len zlomkom cieľovej, resp. limitnej hodnoty.

Benzo(a)pyrén

Benzo(a)pyrén (BaP) je polycyklický aromatický uhľovodík s piatimi benzénovými jadrami, vyskytuje sa najmä v jemnej veľkostnej frakcii prachových častíc v ovzduší, vzniká pri nedokonalom spaľovaní. Z hľadiska celoslovenských emisií je najvýdatnejším zdrojom vykurovanie domácností pevným palivom, v našich podmienkach najmä nedostatočne vysušeným palivovým drevom. Ďalším zdrojom je výroba koksu, cestná doprava, tepelné elektrárne, cestná doprava a ďalšie spaľovacie procesy v priemysle, najmä v metalurgii.

Vzorky na analýzu BaP sa odoberajú každý druhý deň počas 24 hodín na filter, následne sú analyzované metódou plynovej chromatografie s hmotnostnou detekciou (GC-MS).



Obr. 30 Priemerné ročné (vľavo).a priemerné mesačné (vpravo) koncentrácie benzo(a)pyrénu v sieti NMSKO rokoch 2014-2019

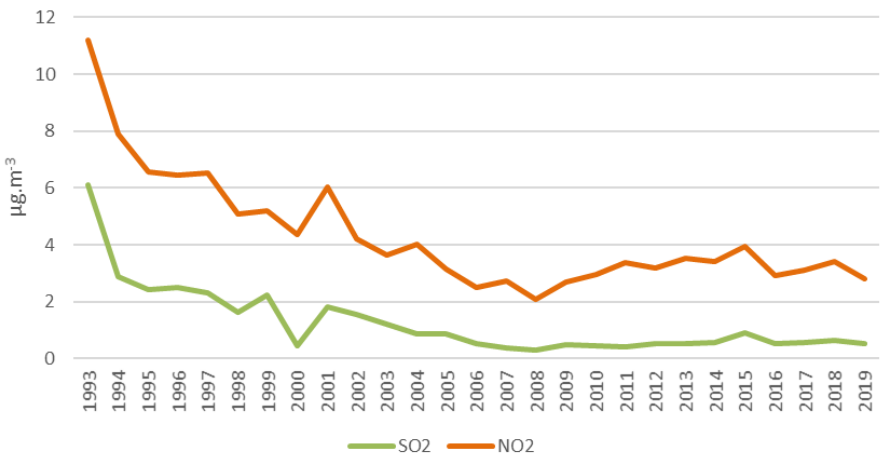
Priemerné ročné hodnoty koncentrácií BaP na staniciach Veľká Ida, Letná; Banská Bystrica, Štefánikovo nábr.; Žilina, Obežná, Prievidza Malonecpalská, Krompachy, SNP a Jelšava, Jesenského prekračujú cieľovú hodnotu

1 ng.m^{-3}. Prekročenie cieľovej hodnoty na AMS vo Veľkej Ide môžeme pripísať priemyselnej činnosti (najmä výrobe koksu) a čiastočne aj vykurovaniu domácností, v Jelšave sa prejavil najmä vplyv vykurovania domácností tuhým palivom, na ostatných dvoch staniciach je najvýraznejším problémom v súvislosti s BaP cestná doprava. BaP na všetkých staniciach okrem Veľkej Idy je charakteristický výrazne vyššími hodnotami v chladnom polroku, keď sa prejavuje vplyv vykurovania aj nepriaznivých rozptylových podmienok. V niektorých rokoch sa v závislosti od meteorologických podmienok môže objaviť prekročenie cieľovej hodnoty na monitorovacích staniciach, ktoré odrážajú vplyv cestnej dopravy.

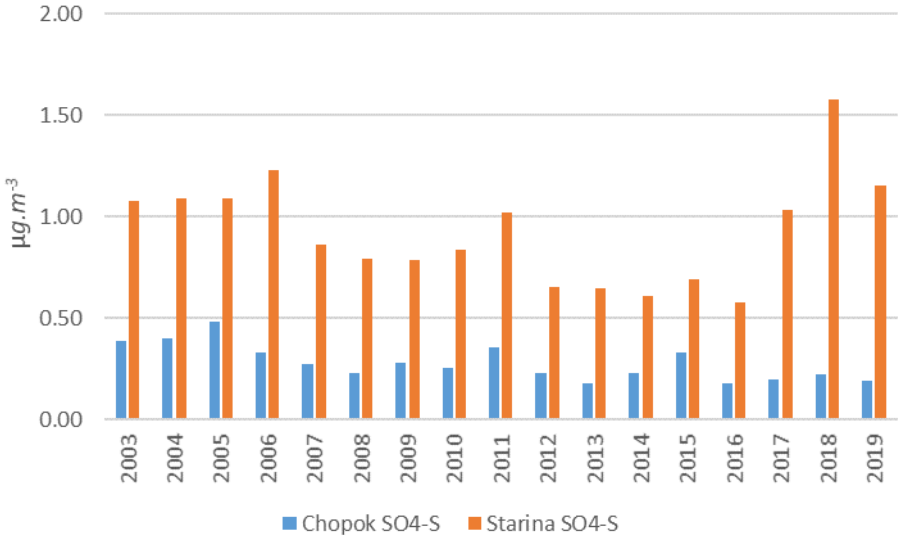
Monitoring kvality ovzdušia a zrážok na regionálnych pozaďových staniciach

Dlhodobý trend vo vývoj kvality ovzdušia je možné posúdiť podľa vývoja na pozaďových regionálnych staniciach. Kým priebeh koncentrácií nameraných na mestských dopravných aj mestských pozaďových staniciach odrážajú okamžité zmeny emisií, ktoré môžu mať krátkodobý charakter, regionálne stanice, vzdialené od veľkých zdrojov znečisťovania ovzdušia, sú lokalizované tak, aby poskytovali informácie s koncentráciách pozadia, ktoré sú ovplyvnené hlavne regionálnym prenosom a tvorbou sekundárnych znečisťujúcich látok. Na vývoji koncentrácií SO_2 a NO_2 na EMEP stanici Chopok (2008m n.m.) je možné pozorovať pokles koncentrácií začiatkom deväťdesiatych aj na začiatku 21. storočia (Obr. 31). Na všetkých EMEP staniciach bol nameraný pokles kyslosti zrážok (Obr. 33). Závislosť úrovne síranov, ktoré sú súčasťou sekundárnych $PM_{2.5}$, na nadmorskej výške ilustruje Obr. 32.

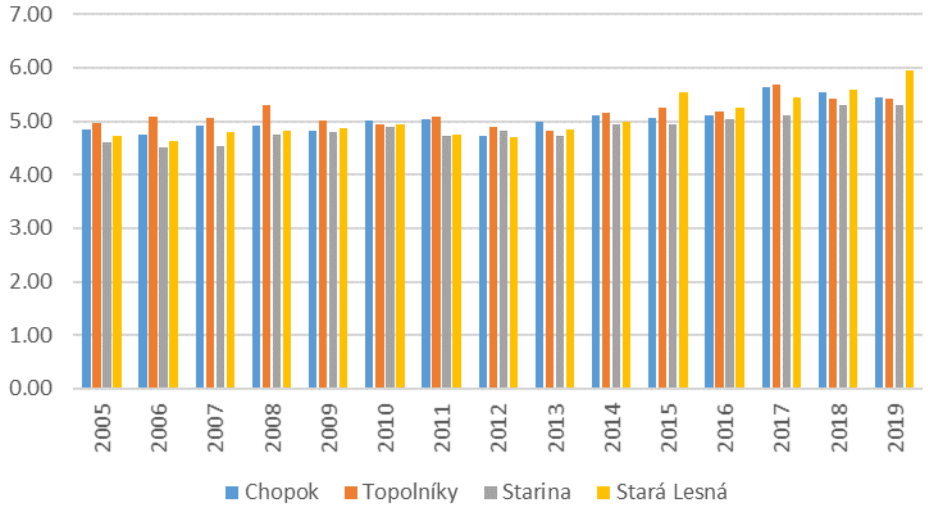
Kým pokles koncentrácií od sedemdesiatych rokov bol spôsobený prijatím prísnych legislatívnych opatrení, vďaka ktorým poklesli emisie veľkých a stredných zdrojov, v osemdesiatych rokoch sa prejavil vplyv plynofikácie, v deväťdesiatych rokoch išlo aj o útlm výroby v mnohých oblastiach. Situácia v posledných rokoch je vyrovnaná, kolíše okolo viac menej ustálených hodnôt a odráža najmä vplyv meteorologických podmienok.



Obr. 31 Priemerné ročné koncentrácie SO_2 a NO_2 na Chopku v rokoch 1993-2019



Obr. 32 Priemerné ročné koncentrácie síranov na Chopku a na Starine v rokoch 2003-2019 (Hodnoty sú vyjadrené v síre).



Obr. 33 Priemerné ročné hodnoty pH zrážok na EMEP staniciach v rokoch 2003-2019.

Príloha 2
Vyhodnotenie znečisťujúcich látok podľa limitných hodnôt pre EU a WHO

PM_{10}

Tab. 1 Priemerné ročné koncentrácie PM_{10} (µg.m^{-3}) namerané v sieti NMSKO v rokoch 2003-2019.

AGLOMERÁCIA/zóna	AMS	typ oblasti	typ stanice	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
BRATISLAVA	Bratislava, Kamenné nám.	U	B	32	28	30	29	23	21	26	24	30	26	24	23	24		19	26	22
	Bratislava, Trnavské Mýto	U	T	42	37	41	41	29	25	32	34	42	36	34	32	32	29	25	29	24
	Bratislava, Jeséniova	S	B				25	25	23	28	24	29	25	22	25	23	20	20	24	19
	Bratislava, Mamateyova	U	B	49	35	37	31	24	22	23	32	33	27				21	23	26	21
KOŠICE	Košice, Štefánikova	U	T								36	39	35		31			33	33	29
	Košice, Amurská	U	B								25	34	29	27				28	24	23
KOŠICE/Košický kraj	Veľká Ida, Letná	S	I	82	59	65	46	48	50	51	47	45	39	40	41			36	38	30
Banskobystrický kraj	Banská Bystrica,Štefánik. náb.	U	T						46	39	50	48	35	35	31			33	30	26
	Banská Bystrica, Zelená	U	B															20	21	16
	Banská Bystrica, Nám. slobody	U	B	41	32	35	39	35												
	Jelšava, Jesenského	U	B	55	46	38	37	37	34	22	32				32	30	28	37	36	33
	Hnúšta, Hlavná	U	B	41	42	41	39	38	35	33	33	33	28	26	25	26	23	27	26	22
	Zvolen, J. Alexyho	U	B						26	26	28	32	27	26	22		20	24	20	21
	Žiar nad Hronom, Duk. hrdinov	U	B	22	17	25	24	30	28											
	Žiar nad Hronom, Jilemnického	U	B								27	27	22	22	20			19	19	16
Bratislavský kraj	Malacky, Mierové námestie	U	T												27		19	23	27	23
	Malacky, Sasinkova	U	T						33											
Košický kraj	Košice, Strojárska	U	B	41	36	32	28	31	32											
	Košice, Štúrova	U	T	49	38	39	33	34	30											
	Strážske, Mierová	U	B	36	28	32	32	28	25	23	29	35	30	27	28	26		27	25	23
	Krompachy, Lorenzova	U	B	39	31	32	24	30	31											
	Krompachy, SNP	U	T								41	35	34		28	29		27	24	25
Nitriansky kraj	Nitra, Janka Krála	U	B		57	46	37	27	25											
	Nitra, Janíkovce	U	B							29	35	38	26		26		22	24	24	21
	Nitra, Štúrova	U	T									38	30	26	26		26	28	28	24
Prešovský kraj	Humenné, Nám. slobody	U	B	36	31	30	30	27	24	25	27	34	31	25				26	22	23
	Prešov, Solivarská	U	B	33	20	32	32	30	35											
	Prešov, arm. gen. L. Svobodu	U	T								38	40	36	34	34	30		34	30	28
	Vranov nad Top., M.R.Štefánika	U	B	44	38	39	31	33	36	37	35	33		25	27			26	23	23
	Stará Lesná, AÚ SAV, EMEP	R	B						23	15	18	22	19	18	18		14	13	15	14
	Kolonické sedlo	R	B							25	23	25		19			17	18	18	18
Trenčiansky kraj	Prievidza, Malonecpalská	U	B					42	32	32	34	38			25			26	23	20
	Bystričany, Rozvodňa SSE	S	B	50	45	51	50	33	30	32	34	38	35	35				27	23	20
	Handlová, Morovianska cesta	U	B	32	29	30	27	30	29	31	29	33	23	24	25		23	23	22	17
	Trenčín, Hasičská	U	T				35	32	26	23	36	40	32		35		29	30	29	25
Trnavský kraj	Senica, Hviezdoslavova	U	T	34	32	36	33	26	26	22	29	31	27	29	30			25	27	21
	Trnava, Kollárova	U	T		44	43	39	28	32	29	35	37	28	31	31		27	24	29	24
	Topoľníky, Aszód, EMEP	R	B				26	21	21	18	25	27	24				23	24	26	21
Žilinský kraj	Martin, Jesenského	U	T	35	31	36	47	42	36	42	37	36	29	28	27	26		28	28	19
	Ružomberok, Riadok	U	B	61	49	59	68	51	37	46	51	51	40	35	34			30	27	24
	Žilina, Obežná	U	B	33	30	39	44	38	33	34	38	39	35		33			30	27	23

Pozn.: Uvedené sú monitorovacie stanice s minimálne 75% platných meraní v danom roku.

Vysvetlivky: hrubým červeným písmom sú zvýraznené hodnoty > limitná hodnota podľa EU (40 µg.m^{-3})
hrubým čiernym písmom sú zvýraznené hodnoty > limitná hodnota podľa WHO (20 µg.m^{-3})
Pozn. Uvedené sú hodnoty pre tie monitorovacie stanice, ktoré v danom roku dosiahli minimálne 75% platných meraní.

Tab. 2 Počty prekročení dennej limitnej hodnoty pre PM_{10} zaznamenané v sieti NMSKO.

AGLOMERÁCIA /zóna	AMS	typ oblasti	typ stanice	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
BRATISLAVA	Bratislava, Kamenné nám.	U	B	**43**	28	18	15	16		0	19	8
	Bratislava, Trnavské Mýto	U	T	**90**	**65**	**60**	**41**	**40**	23	24	19	11
	Bratislava, Jeséniova	S	B	34	22	9	12	12	9	25	20	9
	Bratislava, Mamateyova	U	B	**53**	**36**				7	25	21	9
KOŠICE	Košice, Štefánikova	U	T	**89**	**58**		**42**			**55**	**44**	**42**
	Košice, Amurská	U	B	**66**	31	28				**36**	9	15
KOŠICE/Košický kraj	Veľká Ida, Letná	S	I	**118**	**77**	**79**	**97**			**62**	**63**	**45**
Banskobystrický kraj	Banská Bystrica,Štefánik. náb.	U	T	**127**	**62**	**57**	**52**			**67**	**39**	25
	Banská Bystrica, Zelená	U	B							19	11	2
	Jelšava, Jesenského	U	B				**67**	**39**	35	**82**	**74**	**61**
	Hnúšta, Hlavná	U	B	**62**	34	23	15	11	15	**42**	24	15
	Zvolen, J. Alexyho	U	B	**57**	30	19	4		7	32	8	5
	Žiar nad Hronom, Jilemnického	U	B	35	9	10	1			20	7	0
Bratislavský kraj	Malacky, Mierové námestie	U	T				27		5	20	21	9
Košický kraj	Strážske, Mierová	U	B	**63**	**38**	22	21	11		30	15	20
	Krompachy, SNP	U	T	**77**	**63**		30	30		**38**	19	23
Nitriansky kraj	Nitra, Janíkovce	U	B	**63**	22		15		9	25	13	10
	Nitra, Štúrova	U	T	**67**	**37**	11	18		12	27	19	14
Prešovský kraj	Humenné, Nám. Slobody	U	B	**50**	33	16				**36**	6	20
	Prešov, arm. gen. L. Svobodu	U	T	**89**	**51**	**54**	**43**	24		**51**	32	28
	Vranov nad Top., M.R.Štefánika	U	B	**57**		24	21			29	9	20
Trenčiansky kraj	Prievidza, Malonecpalská	U	B	**63**			13			24	11	7
	Bystričany, Rozvodňa SSE	S	B	**68**	**60**	**48**				30	13	6
	Handlová, Morovianska cesta	U	B	**59**	32	7	12		12	25	6	3
	Trenčín, Hasičská	U	T	**86**	**47**		**67**		35	**41**	**37**	21
Trnavský kraj	Senica, Hviezdoslavova	U	T	**40**	26	28	33			25	18	10
	Trnava, Kollárova	U	T	**59**	28	32	35		15	29	27	15
	Topoľníky, Aszód, EMEP	R	B	**41**	15				15	27	20	11
Žilinský kraj	Martin, Jesenského	U	T	**69**	25	23	20	17		29	33	13
	Ružomberok, Riadok	U	B	**131**	**72**	**47**	**51**			**44**	35	24
	Žilina, Obežná	U	B	**95**	**64**		**51**			**44**	29	21

Vysvetlivky: Hrubým čiernym písmom sú zvýraznené hodnoty > limitná hodnota (35 prekročení)
Pozn.: Uvedené sú monitorovacie stanice s minimálne 75% platných meraní v danom roku.

$PM_{2,5}$

Tab. 3 Priemerné ročné koncentrácie $PM_{2.5}$ ($\mu g.m^{-3}$) namerané v sieti NMSKO v rokoch 2005-2019.

AGLOMERÁCIA/ zóna	AMS	typ oblasti	typ stanice	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
BRATISLAVA	Bratislava, Kamenné nám.	U	B													11	19	15
	Bratislava, Trnavské Mýto	U	T															18
	Bratislava, Jeséniova	S	B											16	13	14	16	12
	Bratislava, Mamateyova	U	B											22	15	15	17	13
KOŠICE	Košice, Štefánikova	U	T						22	28	22	20	21	24	19	23	20	18
	Košice, Amurská	U	B						21	26	19	16	20	19	15	19	15	14
KOŠICE/ Košický kraj	Veľká Ida, Letná	S	I						24	31	26	25	25	20	21	25	24	
Banskobystrický kraj	Banská Bystrica,Štefánik. náb.	U	T						30	43			22	24	19	23		18
	Banská Bystrica, Zelená	U	B						18	22	18	17	16		14	16	14	10
	Jelšava, Jesenského	U	B						22	35	45	27	24	22	19	27	24	21
	Hnúšta, Hlavná	U	B						18	24	18	15	19	18	14	19		16
	Zvolen, J. Alexyho	U	B						20	27	22	20	17	16	14	18	16	14
	Žiar nad Hronom, Jilemnického	U	B						18	22	17	14	15	19	12	15		13
Bratislavský kraj	Malacky, Mierové námestie	U	T												18	17		16
Košický kraj	Strážske, Mierová	U	B						19	24	21	20	21	20	19	22	19	19
	Krompachy, SNP	U	T						24	28	26	30	22	22	12	21	19	18
	Kojšovská hoľa	R	B															
Nitriansky kraj	Nitra, Janíkovce	U	B						22	24	19	15	18	17	17	19	18	15
	Nitra, Štúrova	U	T						33	44			21	23	16	14	16	15
Prešovský kraj	Humenné, Nám. slobody	U	B						19	27	23	18	21	19	18	22	19	18
	Prešov, arm. gen. L. Svobodu	U	T						24	29	24	19	23	21	13	24	20	18
	Vranov nad Top., M.R.Štefánika	U	B						20	26	22	17	18	18	17	20		16
	Stará Lesná, AÚ SAV, EMEP	R	B						10	15	12	12	10	11	12	11	12	11
	Kolonické sedlo	R	B						13	16	18	12	13	9	9	11		10
Trenčiansky kraj	Prievidza, Malonecpalská	U	B			27	24	24	25	28	29	25	19	15	21	18	18	14
	Bystričany, Rozvodňa SSE	S	B						20	27	22	22	20	23	16	19	17	
	Handlová, Morovianska cesta	U	B						20	25	24	16	18	16	16	18		13
	Trenčín, Hasičská	U	T						22	29	21	18	24	22	18	13	20	
Trnavský kraj	Senica, Hviezdoslavova	U	T						19	24	21	16	21	14	14	16	16	14
	Trnava, Kollárova	U	T						23	25	22	20	22	18	18	17	20	16
	Topoľníky, Aszód, EMEP	R	B		14	13	15	16	18	24	21	16	22	14	15	16	18	
Žilinský kraj	Martin, Jesenského	U	T	21	22	20	24	30	25	26	18	17	17	17	16	22	18	15
	Ružomberok, Riadok	U	B						27	32	29	21	23	23	20	24	21	18
	Žilina, Obežná	U	B	26	33	26	25	27	31	32	28	25	20		23	26	22	18

Pozn.: Uvedené sú monitorovacie stanice s minimálne 75% platných meraní v danom roku.

Vysvetlivky:
hrubým tmavočerveným písmom sú zvýraznené hodnoty > limitná hodnota podľa EU 25 $\mu g.m^{-3}$
kurzívou hrubým červeným písmom sú zvýraznené hodnoty > súčasná limitná hodnota 20 $\mu g.m^{-3}$
červeným písmom sú zvýraznené hodnoty > limitná hodnota podľa WHO 10 $\mu g.m^{-3}$

NO_2

Tab. 4 Priemerné ročné koncentrácie NO_2 (µg.m^{-3}) namerané v sieti NMSKO v rokoch 2003-2019.

AGLOMERÁCIA/ zóna	AMS	typ oblasti	typ stanice	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
BRATISLAVA	Bratislava, Kamenné nám.	U	B	40	34	32	33													
	Bratislava, Trnavské Mýto	U	T	**54**	38	38	**44**	37	33	**41**	**49**	**51**	39	35	37	**49**	**41**	39	**41**	37
	Bratislava, Jeséniova	S	B					15	16	14	13	14	25	13	14	17	13	14	12	10
	Bratislava, Mamateyova	U	B	33	28	28	28	25	25	29	22	22	23	35	23	26	22	24	22	21
KOŠICE	Košice, Štefánikova	U	T								**52**	33	32	34	33	18	29	31	28	28
KOŠICE/Košický kraj	Veľká Ida, Letná	S	I	18	31	17	14													
Bansko-bystrický kraj	Banská Bystrica,Štefánik. náb.	U	T						**48**	**50**	**62**	**56**	**50**	34	29	36	33	38		29
	Banská Bystrica, Zelená	U	B								13	10	5	7	6	9	10	13	10	9
	Banská Bystrica, Nám. slobody	U	B	20	16	23	26	23												
	Jelšava, Jesenského	U	B	17	13	11	14									14	8	10	10	9
	Hnúšta, Hlavná	U	B	14	10	7	11													
	Žiar nad Hronom, Duk. hrdinov	U	B	13	10	20	14													
Bratislavský kraj	Malacky, Mierové námestie	U	T											32	21	19	26	29	27	22
	Malacky, Sasinkova	U	T					26	26	30										
Košický kraj	Košice, Strojárska	U	B	17	19	25	24													
	Košice, Štúrova	U	T	24	18	19	26	36	32											
	Strážske, Mierová	U	B	20	14	20	19													
	Krompachy, Lorenzova	U	B	14	13	9	13	27	19	15										
	Krompachy, SNP	U	T								14	16	7	17	12	12	11	19	18	17
	Kojšovská hoľa	R	B														2	3		
Nitriansky kraj	Nitra, Janka Krála	U	B	35	40	38	**41**	23	26	23										
	Nitra, Janíkovce	U	B						25	15	8	15	17	13	12	11	11	14	11	10
	Nitra, Štúrova	U	T								**48**	**47**	27	36	39	32	31	35	34	31
Prešovský kraj	Gánovce, Meteo. st.	R	B														6	9	9	8
	Humenné, nám. slobody	U	B								26						10	11	9	9
	Prešov, Levočská	U	B	24	27	23	24													
	Prešov, Solivarská	U	B	30	21	17	18	19	19	16										
	Prešov, arm. gen. L. Svobodu	U	T								33	36	37	35	**46**	**42**	36	38	**41**	39
	Vranov nad Top., M.R.Štefánika	U	B	19	16	12	16													
	Stará Lesná, AÚ SAV, EMEP	R	B			3	4	6	5		9					7	4	4	4	5
	Starina, Vodná nádrž, EMEP	R	B					5	4								3	3	3	3
	Kolonické sedlo	R	B						4											
Trenčiansky kraj	Prievidza, J. Hollého	U	B	25	18	24	31													
	Prievidza, Malonecpalská	U	B													22	16	19	16	16
	Bystričany, Rozvodňa SSE	S	B	18	10	9	8													
	Handlová, Morovianska cesta	U	B	16	23	15	13													
	Trenčín, Hasičská	U	T			38	36	29	30	33	32	32	24	33	20	24	27	31	27	
Trnavský kraj	Senica, Hviezdoslavova	U	T	17	23	21	29													
	Trnava, Kollárova	U	T	30	31	23	**41**	37	36	39	40	22	21	26	37	**41**	37	37	35	34
	Topoľníky, Aszód, EMEP	R	B				11	6	7		9	7	8			9	7	8	7	
Žilinský kraj	Chopok, EMEP	R	B														2	3	2	2
	Martin, Jesenského	U	T	23	35	21	32	26	28	33	33	25	22	38	23	25	24	26	26	24
	Ružomberok, Riadok	U	B	20	13	12	20									26	20	21	20	18
	Žilina, Obežná	U	B	25	19	19	25	21	27	33	35	30	26	17	14	18	20	25	25	21
	Žilina, Veľká Okružná	U	T	22	24	28	28													

Pozn.: Uvedené sú monitorovacie stanice s minimálne 75% platných meraní v danom roku.

Vysvetlivky:
hrubým tmavočerveným písmom sú zvýraznené hodnoty > limitná hodnota 40 µg.m^{-3}
(limitná hodnota podľa WHO je tiež 40 µg.m^{-3})

Benzo(a)pyrén

Tab. 5 Priemerné ročné koncentrácie BaP (ng.m^{-3}) namerané v sieti NMSKO v rokoch 2003-2019.

AGLOMERÁCIA/zóna	AMS	typ oblasti	typ stanice	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
	Bratislava, Trnavské Mýto	U	T					0.7	**1.1**						
BRATISLAVA	**Bratislava, Jeséniova**	S	B	0.4				0.8	1.0						
KOŠICE/Košický kraj	**Veľká Ida, Letná**	S	I		**3.5**	**4.9**	**4.2**	**3.3**	**5.3**	**4.1**		**3.8**	**4.3**	**5.8**	**4.5**
	Banská Bystrica,Štefánik. náb.	U	T										**2.9**	**2.1**	**1.7**
	Banská Bystrica, Zelená	U	B												**1.1**
Banskobystrický kraj	**Jelšava, Jesenského**	U	B												**4.0**
Košický kraj	**Krompachy, SNP**	U	T	**1.6**	**1.9**	**2.6**	**2.5**	**2.9**	**2.8**	**2.1**					**2.7**
Nitriansky kraj	**Nitra, Štúrova**	U	T					0.7		0.3			**1.3**	0.9	0.8
Prešovský kraj	**Stará Lesná, AÚ SAV, EMEP**	R	B												0.4
Prešovský kraj	**Starina, Vodná nádrž, EMEP**	R	B	0.2											0.4
Prešovský kraj	**Kolonické sedlo**	R	B												
Trenčiansky kraj	**Prievidza, Malonecpalská**	U	B		**1.5**	**1.8**	**2.1**	**1.7**	**1.9**	**1.5**					
Trnavský kraj	**Trnava, Kollárova**	U	T					0.9		0.7					0.7
Trnavský kraj	**Topoľníky, Aszód, EMEP**	R	B	0.5											
Žilinský kraj	**Žilina, Obežná**	U	B												**2.0**

Pozn.: Uvedené sú monitorovacie stanice s minimálne 75% platných meraní v danom roku.

Vysvetlivky:
hrubým písmom sú zvýraznené hodnoty > cieľová hodnota 1 ng.m^{-3}
(limitná hodnota podľa WHO nie je stanovaná, hodnotu 0.12 ng.m^{-3} používa EEA (2019))