

ZLEPŠENIA V EMISNEJ INVENTÚRE A DOPAD IMPLEMENTÁCIE EMEP/EEA METODICKEJ PRÍRUČKY Z ROKU 2023 NA EMISIE ZNEČISŤUJÚCICH LÁTKOK NA SLOVENSKU

PETRA KRŠÁKOVÁ, KRISTÍNA TONHAUZER, JANKA SZEMESOVÁ, ZUZANA JONÁČEK,
JÁN HORVÁTH, MARCEL ZEMKO

Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava, petra.krsakova@shmu.sk

This study aims to present the improvements and changes in the emission inventory for individual economic sectors and emission categories, following the implementation of the EMEP/EEA Guidebook 2023 and to compare it with the emission inventory prepared according to the EMEP/EEA Guidebook 2019. The most significant changes in the emission inventory methodology concerned the sectors of fugitive emissions, agriculture, and waste. The results will lead to an overall improvement in emission inventories, in the line with the UN principles of transparency, accuracy, consistency, comparability, and completeness.

Cieľom príspevku je predstavenie zlepšení a zmien v emisnej inventúre pre jednotlivé ekonomické sektory a emisné kategórie, po implementovaní metodologickej príručky EMEP/EEA z roku 2023 a jej porovnanie s emisnou inventúrou vypracovanou podľa EMEP/EEA metodologickej príručky z roku 2019. Najvýznamnejšie zmeny v metodike emisnej inventúry sa týkali sektorov fúgítívne emisie, poľnohospodárstvo a odpady. Výsledky prinesú celkové skvalitnenie emisných inventúr v súlade s požiadavkami kladenými na princípy OSN, akými sú transparentnosť, presnosť, konzistentnosť, porovnateľnosť a kompletnosť.

Key words: emissions inventory, emission reduction, Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution, methodological improvement

1 ÚVOD

Inventarizácia emisií znečisťujúcich látok Slovenskej republiky sa realizuje v rámci povinností daných v Dohovore o diaľkovom znečisťovaní ovzdušia prekračujúcom hranice štátov (Dohovor LRTAP) Hospodárskej komisie OSN pre Európu (UNECE) a zároveň aj pod smernicou Európskej únie 2016/2284 o znížení národných emisií určitých znečisťujúcich látok (NEC smernica). Každoročne sa reportujú emisie šiestnástich povinných znečisťujúcich látok a ďalších nepovinných.

Medzi hlavné znečisťujúce látky patria oxidy dusíka (NO_x), nemetánové prchavé organické zlúčeniny (NMVOC), oxidy síry (SO_x) a amoniak (NH_3). Medzi pevné častice PM patria jemné častice ($\text{PM}_{2.5}$), hrubé častice (PM_{10}), TSP (celkové suspendované častice) a čierny uhlík (BC). Medzi iné znečisťujúce látky patrí oxid uhoľnatý (CO). Reportované ťažké kovy (ŤK) delíme na prioritné ťažké kovy a ostatné ťažké kovy. Medzi prioritné ťažké kovy patria olovo (Pb), kadmium (Cd) a ortuť (Hg). Medzi ostatné ťažké kovy patria arzén (As), chróm (Cr), meď (Cu), nikel (Ni), selén (Se) a zinok (Zn). Perzistentné organické znečisťujúce látky (POPs) sú polychlórované dibenzodioxíny/dibenzofurány (PCDD/Fs) a polycyklické aromatické uhľovodíky (PAHs). PAH-y ďalej delíme na benzo(a)pyrén [B(a)P], benzo(b)fluoranten [B(b)F], benzo(k)fluoranten [B(k)F] a indeno(1,23-c,d)pyrén [I(P)]. Medzi POPs-y patrí aj hexachlórbenzén (HCB) a polychlórované bifenyle (PCBs).

NEC smernica 2284/2016 stanovuje národné záväzky na znížovanie emisií členských štátov EÚ, pre päť NMVOC, SO_2 , NH_3 a $\text{PM}_{2.5}$. Stanovené záväzky pre Slovenskú republiku sú znázornené v Tab. 1.

Tabuľka 1. Záväzky znížovania emisií stanovené pre Slovenskú republiku.

Table 1. Emission Reduction Commitments set for the Slovak Republic.

Znečisťujúca látka	2020 – 2029	od 2030
SO_2	57 %	82 %
NO_x	36 %	50 %
NMVOC	18 %	32 %
NH_3	15 %	30 %
$\text{PM}_{2.5}$	36 %	49 %

Východiskovým rokom pre tieto záväzky znížovania emisií je rok 2005. Rok 2005 je stanovený ako referenčný rok pre smernicu č. 2016/2284 (NECD). Rok 2005 ako referenčný rok je spoločný pre všetky krajiny EÚ z dôvodu dodržania kritéria porovnateľnosti. Plnenie záväzkov je stanovené pre každý rok od roku 2020 do roku 2029 a pre ktorýkoľvek rok od roku 2030 (lineárna trajektória plnenia). Slovensko v súčasnosti spĺňa oba záväzky pre SO_2 , NMVOC a $\text{PM}_{2.5}$. Pre NO_x a NH_3 Slovensko v súčasnosti spĺňa záväzok len pre obdobie 2020 – 2029.

2 METODICKÁ PRÍRUČKA EMEP/EEA

Dohovor LRTAP bol prijatý v roku 1979. Dohovor, prijatý pod záštitou Európskej hospodárskej komisie Spojených národov (EHK OSN), bol prvou medzinárodnou dohodou o životnom prostredí, ktorá riešila hrozbu znečistenia ovzdušia pre ľudské zdravie a životné prostredie. Program spolupráce pre monitorovanie a hodnotenie diaľkového prenosu látok znečisťujúcich ovzdušie v Európe (EMEP) je zodpovedný za poskytovanie informácií zmluvným stranám dohovoru o depozícii a koncentrácii látok znečisťujúcich ovzdušie a o množstve a význame rozsahu prenosu látok znečisťujúcich ovzdušie a tokov cez hranice. Pri poskytovaní týchto informácií je EMEP podporovaný rôznymi pracovnými skupinami, napríklad TFEIP (Pracovná skupina pre inventarizáciu emisií a projekcie). TFEIP je technickým fórom na výmenu informácií a harmonizáciu emisných inventúr a projekcií emisií, vrátane emisných faktorov, metodík a usmernení. TFEIP v súčasnosti zodpovedá za technický obsah metodických príručiek EMEP/EEA a za jej publikáciu je zodpovedná EEA. Metodická príručka je základným nástrojom na zostavenie inventúr emisií do ovzdušia, ktoré sa podávajú podľa protokolov dohovoru LRTAP a smernice NEC. Momentálne platná metodická príručka z roku 2023 (*EMEP/EEA Guidebook 2023*) bola prijatá výkonným orgánom Dohovoru o ovzduší na svojom 42. zasadnutí v Ženeve, v dňoch 12.–16. decembra 2022. Samotný dokument bol publikovaný Európskou environmentálnou agentúrou v júni 2023. Proces prípravy revízie je rozdelený do dvoch pod-procesov. Technické klastre, ktoré sú sektorovo rozdelené, identifikujú potenciálne oblasti pre revíziu. Nominanti do tohto klastru sú prihlasovaní na základe dobrovoľnosti a pochádzajú z členských krajín signatárov dohovoru LRTAP. Ich výstupy sú následne prezentované na zasadaniach TFEIP-u, posledná revízia bola diskutovaná a prijatá na stretnutí v Oxforde v roku 2023 v záverečnom dokumente.

Dokument je revidovanou verziou Usmernení pre reportovanie údajov o emisiách podľa dohovoru z roku 2013 (*ECE/EB.AIR/125*), ktoré sú revidovanou verziou Usmernení pre vykazovanie údajov o emisiách z roku 2009 (*ECE/EB.AIR/97*).

Emisná inventúra znečisťujúcich látok sa vypracúva na základe postupov uvedených v metodickej príručke, ktorú vydáva Európska environmentálna agentúra (EEA) a Program spolupráce pre monitorovanie a hodnotenie znečistenia ovzdušia v Európe (EMEP). Preto sa označuje ako EMEP/EEA Metodická príručka inventarizácie emisií znečisťujúcich látok. Príručka je aktualizovaná každé štyri roky, preto v roku 2023 nahradila aktualizovaná verzia metodickú príručku z roku 2019. Príručka obsahuje štandardizované metodiky a dáta potrebné pre vypracovanie emisnej inventúry. Cieľom je zabezpečiť princípy transparentnosti, presnosti, konzistentnosti, porovnateľnosti a kompletnosti (TACCC) emisných inventúr medzi rôznymi krajinami pod Dohovorom LRTAP. Nové postupy a metodiky majú nepochybne vplyv na úroveň a trend emisií znečisťujúcich látok v jednotlivých členských krajinách. Preto sú dôležité ich dôkladné analýzy a dopadové štúdie v rozsahu tohto odborného článku (Szemesová J. et al., 2023).

Cieľom príspevku je zanalyzovať nové postupy v príručke EMEP/EEA z roku 2023 a posúdiť ich relevantnosť pre emisnú inventúru Slovenskej republiky. Vyhodnotiť dopad zmien v metodickej príručke na emisie znečisťujúcich látok Slovenskej republiky od roku 1990 a posúdiť vplyv zmien v metodickej príručke na spĺňanie záväzkov znižovania emisií znečisťujúcich látok stanovených v NECD.

3 POROVNANIE EMEP/EEA 2019 A 2023

Akékoľvek zmeny v postupoch uvedených v metodických príručkách majú zásadný vplyv na úroveň emisií reportovaných znečisťujúcich látok. Z hľadiska zachovania princípov TACCC je v prípadoch zmeny metodiky, zvýšenia alebo zníženia úrovne presnosti výpočtu alebo zmeny emisného faktora povinné prepočítať celý časový rad a uskutočniť porovnanie jednotlivých metodických postupov.

Keďže zmeny, ktoré priniesla aktualizácia EMEP/EEA Metodickej príručky medzi rokmi 2019 a 2023 boli významné (kapitola 3.1–3.4), zavedené postupy QA/QC vyžadujú vypracovanie podrobného porovnania na úrovni zmenených sektorov a kategórií. V nasledujúcich častiach je podrobne popísaná príčina zmeny, nová metodika a jej implikácia na emisný trend znečisťujúcich látok.

3.1 Porovnanie emisií znečisťujúcich látok za sektor Energetika (NFR 1)

Sektor Energetika zahŕňa všetky emisie pochádzajúce zo spaľovania palív (NFR 1.A), fugitívne emisie z manipulácie, transformácie a distribúcie palív (NFR 1.B). Inventarizácia emisií zo spaľovania palív pokrýva všetky reportované znečisťujúce látky. Sektor energetiky je kľúčový pre emisie NO_x s podielom takmer 78 % na celkových emisiách tejto znečisťujúcej látky na Slovensku, v roku 2022 (Kršáková P. et al., 2024). Kategória spaľovania palív v domácnostiach je kľúčová pre emisie PM_{2,5}, PM₁₀, BC a CO (Tissari J. et al., 2008). Podľa Informatívnej inventarizačnej správy o emisiách znečisťujúcich látok z roku 2024, spaľovanie palív v domácnostiach predstavuje 78 % celkových emisií PM_{2,5} v roku 2022 (Reff A. et al., 2009; Alves C. et al., 2011). Sektor energetiky je kľúčový aj pre emisie SO_x s podielom 65 % na celkových emisiách. Z toho najvýraznejší podiel tvorí Energetický priemysel, a to 30 % (Asghar U. et al., 2021). Kategória spaľovania palív v malých zdrojoch je kľúčovou kategóriou aj pre emisie HCB, s podielom 63 % na celkových emisiách HCB v roku 2022 (Kršáková P. et al., 2024; Šyc M. et al., 2011).

Sektor spaľovania palív je v rámci NFR rozdelený do piatich všeobecných kategórií 1.A.1 Energetický priemysel, 1.A.2 Výrobný priemysel a strojárstvo, 1.A.3 Doprava a 1.A.4 a 1.A.5 Spaľovanie v malých zdrojoch.

3.1.1 Spaľovanie palív v stacionárnych zdrojoch (NFR 1.A.1, 1.A.2, 1.A.4, 1.A.5)

Na základe analýzy aktualizovanej metodickej príručky z roku 2023 môžeme povedať, že počet zmien v sektore spaľovania palív v stacionárnych zdrojoch je minimálny.

V kategórii rafinácie ropy nastala revízia emisných faktorov pre PCDD a PCDF, zo spaľovania priemyselného odpadu s energetickým využitím. Okrem zmien v emisných faktoroch sa aktualizovali aj textové časti príručky. Pre kategóriu produkcia elektriny a tepla bolo do definície NMVOC doplnené, že emisie VOC sú zvyčajne výsledkom nedokonalého spaľovania. Vo veľkých zariadeniach býva proces automaticky regulovaný, a teda emisie VOC klesajú so zväčšovaním kapacity zariadenia. Definícia pre emisie CO bola doplnená o informáciu, že emisie CO sa môžu zvýšiť v prípade re-cirkulácie spalín, ktorou sa znižujú emisie NOx. Do definície pre NH₃ pribudlo, že v prípade umiestnenia selektívnej katalytickej redukcie (SCR) za systémom odsírenia spalín (na konci dráhy čistenia) a v prípade použitia selektívna nekatalytickej redukcie (SNCR) je možné očakávať vyššie emisie NH₃. Nižšie emisie možno naopak očakávať v prípade, ak je systém SCR umiestnený medzi systémom predhrievania vody a systémom predhrievania vzduchu (vysoká prašnosť).

Na úrovni metodiky Tier 1 bola upravená aj klasifikácia palív, pričom bola pridaná skupina bioplynov, ktorá zahŕňa bioplyn, kalový plyn a skládkový plyn. Pre skupinu bioplynov boli pridané nové emisné faktory.

Spaľovanie palív v domácnostiach (NFR 1.A.4.b.i)

Spaľovanie palív v domácnostiach je jednou z kľúčových kategórií pre emisie PM_{2,5}, PM₁₀, TSP, BC a CO. V kategórii rozlišujeme viaceré druhy spaľovacích zariadení s rôznymi hodnotami emisných faktorov. Z metodickej príručky EMEP/EEA sú používané emisné faktory pre kategórie spaľovacích zariadení: 1. krby, kachle, staršie kachľové pece a 2. moderné vstavané kachle, pece a peletové kachle. Pre zariadenia v domácnostiach, ktoré sú zaradené v kategóriách kotlov (prehorievacie, odhorievacie, splyňovacie a automatické), používame špecifické merané emisné faktory. Avšak pre niektoré znečisťujúce látky používame stále emisný faktor z metodickej príručky EMEP/EEA. Emisné faktory v metodických príručkách boli v kategórii Domácnosti od verzie 2023 zmenené pre látku NH₃. Prišlo tak aj k zmene celkového množstva emisií pre túto znečisťujúcu látku.

Pre znečisťujúce látky TZL, PM_{2,5} a PM₁₀ neboli zmenené EF, ale na základe neustáleho zlepšovania inventúry sme pre zvýšenie transparentnosti aktualizovali emisné faktory pre zariadenia v kategórii krby, kachle, staršie kachľové pece a tiež v kategórii moderné vstavané kachle, pece a vstavané peletové kachle.

3.1.2 Spaľovanie palív v mobilných zdrojoch (NFR 1.A.3)

V inventarizácii emisií znečisťujúcich látok z mobilných zdrojov (sektor Doprava) nastali v aktualizovanej metodickej príručke malé zmeny. Pri lodnej doprave revízia priniesla zmenu emisných faktorov a zároveň v našej inventúre nastala úplná harmonizácia aktivitných údajov so skleníkovými plynmi. Ostatná aktualizácia emisných faktorov sa týkala osobných vozidiel poháňaných CNG, naftových, hybridných autobusov a nevýfukových emisií.

V prípade cestnej dopravy sa na výpočet emisií znečisťujúcich látok využíva model COPERT. Tento model je aktualizovaný každoročne, kde sa upresňujú emisné faktory podľa najnovších poznatkov, pričom najnovšia verzia má označenie 5.7.3. Pre emisnú inventúru za rok 2023 je plánované použiť najaktuálnejšiu verziu modelu. Najbližšia aktualizácia modelu by mala prísť v septembri – októbri 2024, ale nie je zatiaľ jasné, aké úpravy emisných faktorov alebo nové zdroje bude obsahovať.

3.1.3 Fugitívne emisie v energetike (NFR 1.B)

Nové metodické príručky zaviedli v sektore Energetika zmeny výpočtov fugitívnych emisií. Pri premene palív bol pridaný nový zdroj emisií, ktorým je výroba dreveného uhlia. Pri tejto činnosti vznikajú emisie NOx a CO, pričom touto zmenou sa kategória premeny palív stala jednou z kľúčových kategórií pre emisie CO.

V prípade pevných palív (1.B.1.a Ťažba a spracovanie uhlia) bol pridaný nový zdroj prachových častíc. Týmto zdrojom je manipulácia s importovaným uhlím. Tento nový zdroj výrazne zvýši celkové emisie v kategórii, približne o 250 %. V dôsledku chýbajúcich údajov pre väčšinu časového radu bude implementácia týchto emisií závisieť od možnosti získať údaje o importe uhlia na Slovensko. Ďalšie zmeny v kategórii fugitívnych emisií, spojené s aktualizáciou EMEP/EEA metodickej príručky, sú popísané v Tab. 2.

3.2 Porovnanie emisií znečisťujúcich látok za sektor Priemyselné procesy a používanie produktov (NFR 2)

V sektore Priemyselné procesy a používanie produktov (IPPU) sa bilancujú emisie z technologických procesov a z používania rozpúšťadiel a výrobkov. Pri reportovaní emisií znečisťujúcich látok môžeme tento sektor rozdeliť do deviatich kategórií **A.** Výroba minerálnych produktov, **B.** Chemický priemysel, **C.** Výroba kovov, **D.** Rozpúšťadlá,

Tabuľka 2. Prehľad kategórií a zmien v inventúre 1.B, po implementácii EMEP/EEA metodickej príručky z roku 2023.

Table 2. Overview of categories and changes in the inventory of fugitive emissions, after the implementation of the EMEP/EEA methodological guidebook from 2023.

Kategória	Znečisťujúca látka	Reportovanie podľa EMEP/EEA 2023
1.B.1.a Ťažba a spracovanie uhlia	NMVOC, PM _{2,5} , PM ₁₀	Aktualizácia emisného faktora na základe metodiky IPCC 2019 Refinement
1.B.1.a Ťažba a spracovanie uhlia	PM _{2,5} , PM ₁₀ , TSP	Nový zdroj emisií pevných častíc z importu uhlia
1.B.2.a.i Ťažba a transport ropy	NMVOC	Nový emisný faktor prebratý z IPCC 2019 Refinement
1.B.2.a.i.v Spracovanie ropy	PCDD/PCDF, ťažké kovy	Nové emisné faktory
1.B.2.a.i.v Spracovanie ropy	PAHs	Zmena notačných kľúčov z „NA“ (neaplikovateľné) na „NE“ (neodhadované)
1.B.2.a.v Distribúcia ropných produktov	NMVOC	Zmena emisného faktora a rozdelenie palív, zosúladenie s emisnou inventúrou skleníkových plynov

G. Použitie produktov, **H.** Ostatné procesy, **I.** Spracovanie dreva, **J.** Produkcia POPs, **K.** Spotreba POPs a ťažkých kovov a **L.** Iná výroba, spotreba, skladovanie, preprava alebo manipulácia s veľkými výrobkami.

Aktivity v sektore IPPU produkujú emisie NO_x, SO_x a IPPU je kľúčovým sektorom pre emisie NMVOC, Pb a PCB (UNECE, 1990; Harrad S.J. et al., 1993). Emisný trend znečisťujúcich látok je prevažne klesajúci, čo je spôsobené prísnejšími technologickými limitmi, a zavádzaním opatrení na znižovanie emisií (Bellušová I., 2024). Legislatívnou smernicou stanovujúcou technologické limity je Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2010/75/EÚ o priemyselných emisiách.

Vo všeobecnosti je možné konštatovať, že nové metodické príručky 2023 nemali žiadny dopad na emisnú inventúru znečisťujúcich látok v sektore IPPU. Zmeny, ktoré obsahuje metodická príručka 2023, zahŕňajú zmeny emisných faktorov pre neutrálny sulfidový polo-chemický proces a mechanické rozvlákňovanie. Z hľadiska významu na emisné inventúry Slovenska sú tieto zmeny irelevantné.

3.3 Porovnanie emisií znečisťujúcich látok za sektor Poľnohospodárstvo (NFR 3)

Sektor Poľnohospodárstvo je kľúčovou kategóriou pre emisie NH₃ (Rösemann C. et al., 2011; Yan X. et al., 2003). V roku 2022 sa na celkových emisiách amoniaku na Slovensku podieľal 80 %, pričom z toho 75 % tvorí kategória poľnohospodárske pôdy a hnojenie (Tonhauzer K., 2024). Práve v rámci tejto kategórie nastala významná zmena emisných faktorov.

3.3.1 Hnojný manažment (NFR 3.B.1) – emisie NMVOC z hnojného manažmentu

Zmena nastala pre výpočet emisií NMVOC z hnojného manažmentu. V predošlej verzii metodickej príručky boli prípustné predvolené hodnoty: 0,5, ak ide o prevládajúcu zložku v krmive v oboch kategóriách aj u dojníc a u ostatného hovädzieho dobytku. Nová úprava metodického postupu premenovala podiel na maximálny podiel siláže a prikazuje, aby krajina použila národne špecifickú hodnotu pre rôzne vekové kategórie hovädzieho dobytku, pre metódu na úrovni Tier 2.

Zmena nepriniesla revíziu v emisiách NMVOC, pretože v inventúre je implementovaná špecifická hodnota podielu siláže, ktorá je odhadnutá z kŕmnych dávok poskytnutých expertami z Výskumného ústavu živočíšnej výroby.

3.3.2 Poľnohospodárske pôdy – emisie NH₃ z hnojenia anorganickými dusíkatými hnojivami (NFR 3.D.1)

V kategórii poľnohospodárskych pôd nové pôdne experimenty priniesli spresnenie emisných faktorov, ktoré boli publikované v nových metodických príručkách EMEP/EEA 2023. Zmena priniesla všeobecne vyššie emisné faktory pri nízko-emisných hnojivách (fosforečnan amónny, dusičnan amónny, iné priame dusíkaté zlúčeniny (Tab. 3) Implementácia týchto revidovaných emisných faktorov do emisnej inventúry by priniesla vysoké navýšenie emisií amoniaku.

Tabuľka 3. Prehľad zmien emisných faktorov pre jednotlivé hnojivá v kategórii 3.D.

Table 3. Overview of changes in the emission factors for commonly used fertilizers in category 3.D.

Hnojivo	EF podľa EMEP/EEA	
	GB 2019 ¹	GB 2023 ¹
Bezvodý amoniak (AH)	19	20
Dusičnan amónny (AN)	15	24
Síran amónny (AS)	90	84
Dusičnan amónno-vápenatý (CAN)	8	24
N roztoky	98	87
Iné priame dusíkaté zlúčeniny	10	84
Močovina	155	195
Fosforečnan amónny (AP)	50	84
NK zmesi	15	24
NPK zmesi	50	84
NP zmesi	50	84

¹EF pre normálne, max. pH = 7

3.4 Porovnanie emisií znečisťujúcich látok za sektor Odpady (NFR 5)

Sektor Odpady zahŕňa viaceré spôsoby spracovania odpadu, akými sú skládkovanie, spaľovanie bez energetického využitia, kompostovanie, biologické zhodnocovanie, ako aj emisie z čistenia a spracovania odpadových vôd. V sektore odpadov sa bilancujú emisie všetkých reportovaných znečisťujúcich látok. Aj keď sa so sprísňujúcou legislatívou zvyšujú požiadavky na bezpečnejšie skládkovanie a spaľovanie odpadu, produkcia odpadov má stúpajúci trend, čím rastie aj potreba spracovania a zhodnocovania odpadov, čo má vplyv aj na produkciu emisií znečisťujúcich látok.

3.4.1 Skládkovanie (NFR 5.A)

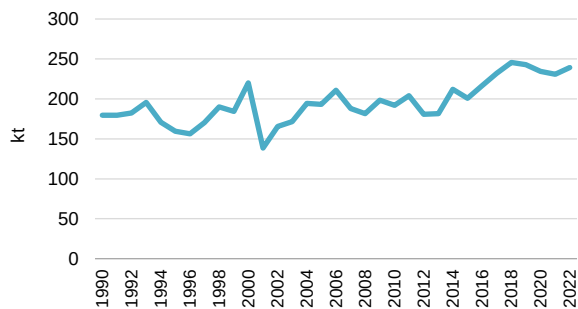
V roku 2022 bolo 39 % vyprodukovaného komunálneho odpadu spracované skládkovaním, preto je možné konštatovať, že skládkovanie stále tvorí prevládajúci spôsob spracovania komunálneho odpadu na Slovensku. Pre priemyselný odpad bolo hlavným spôsobom spracovania odpadu materiálové zhodnotenie a recyklácia, ktorá predstavovala 50 % podiel (Jonáček Z., 2024).

V kategórii skládkovania sa bilancujú emisie NMVOC, PM_{2,5}, PM₁₀ a TSP. Implementovaním novej metodickej príručky z roku 2023 bola upravená metodika výpočtu všetkých reportovaných znečisťujúcich látok, čím sa výrazne znížili emisie zo skládkovania. Zmeny sú popísané v Tab. 4.

3.4.2 Spaľovanie odpadov (NFR 5.C)

Kategória spaľovania odpadov je jednou z kľúčových kategórií pre emisie ťažkých kovov a emisie POPs (Berdowski J.J.M. et al., 1997; Morselli L. et al., 2002). Aj keď množstvo spáleného komunálneho odpadu medziročne rastie (Obr. 1), emisie sa znižujú zavádzaním najlepších dostupných technológií, ktoré zefektívňujú zachytávanie znečisťujúcich látok Obr. 2 (Jonáček Z., 2024). Značný pokles emisií bol zaznamenaný v roku 2002, kedy bola modernizovaná spaľovňa odpadov v Bratislave. S cieľom dosiahnuť súlad s emisnými normami bola v roku 2005 modernizovaná spaľovňa odpadov v Košiciach. Súčasťou týchto modernizácií bola inštalácia zariadení s dobrým systémom regulácie spalín a kontroly znečisťujúcich látok.

Obrázok 1. Množstvo spaľeného komunálneho odpadu v spaľovniach odpadov od roku 1990 (NEIS).
Figure 1: Amount of municipal waste incinerated in waste incineration plants since 1990 (NEIS).



Obrázok 2. Emisie PCDD/PCDF vyprodukované, v kategórii spaľovania komunálneho odpadu, od roku 1990
Figure 2. PCDD/PCDF emissions produced in the category of municipal waste incineration since 1990.



Takéto systémy môžu znížiť emisie PCDD/PCDF až o 99 % (UNEP, 2013; Wang H.C. et al., 2007). Emisie zo spaľovania komunálneho odpadu sa reportujú v sektore energetika, keďže ide o spaľovanie s energetickým zhodnotením.

Implementáciou metodologickej príručky z roku 2023 nastali zmeny vo výpočte emisií dioxínov a furánov zo spaľovania priemyselného a nebezpečného odpadu (EMEP/EEA GB, 2023). Emisný faktor bol znížený z 350 μg I-TEQ/Mg spaľeného odpadu na 10 μg I-TEQ/Mg spaľeného odpadu. Tieto zmeny vyplývajú z príručky UNEP z roku 2013, nižší emisný faktor predstavuje zariadenia s dobrým systémom regulácie spalín a kontroly znečisťujúcich látok. Koncentrácia PCDD/PCDF je v takomto zariadení približne 1 ng TEQ/Nm³ (pri 11 % O₂) a objemová rýchlosť prúdenia spalín je 10 000 Nm³/t nebezpečného odpadu (UNEP, 2013).

Pri bilancii emisií zo spaľovania klinického odpadu nastala zmena pri účinnosti odlučovacích zariadení, podľa novej metodologickej príručky sú odlučovacie zariadenia účinné len pre SO_x, TSP, PCDD a PCDF, pričom nie sú účinné pre ťažké kovy. V metodologickej príručke EMEP/EEA z roku 2019 boli odlučovacie zariadenia rozdelené na dve technológie: spaľovanie v rotačnej peci a spaľovanie s riadeným prívodom vzduchu. Podľa novej metodologickej príručky sú odlučovacie zariadenia zaradené len do jednej technológie, a to je spaľovanie s riadeným prívodom vzduchu (UNEP, 2013). Zmeny v účinnosti odlučovacích zariadení sú popísané v Tab. 4 a Tab. 5

Tabuľka 4. Účinnosť odlučovacej technológie, spaľovanie s riadeným prívodom vzduchu, v %, podľa metodologickej príručky z roku 2019 a z roku 2023.
Table 4. Efficiency of separation technology, controlled air incineration, in %, according to the methodological guideline from 2019 and 2023.

CA	NOx	SOx	TSP	CO	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Ni	PCDD/F
GB19	-	92	90	-	99	96	96	59	100	97	0	93
GB23	-	76	98,4	-	-	-	-	-	-	-	-	90

Tabuľka 5. Účinnosť odlučovacej technológie, spaľovanie v rotačnej peci, v %, podľa metodologickej príručky z roku 2019 a z roku 2023.
Table 5. Efficiency of separation technology, rotary kiln, in %, according to the methodological guideline from 2019 and 2023.

RT	NOx	SOx	TSP	CO	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Ni	PCDD/F
GB19	-	59	99	88	-	100	98	100	100	73	99	99
GB23	-	76	98,4	-	-	-	-	-	-	-	-	90

Na základe implementácie odporúčania z NECD revízneho procesu pre emisné inventúry z roku 2023 sa po prepočte v kategórii spaľovania odpadov zvýšili emisie pevných častíc. Emisie zo spaľovania lesných zvyškov sa v predchádzajúcich emisných inventúrach, bilancovali v kategórii Lesných požiarov (NFR 11.B), pričom táto kategória sa podľa EMEP/EEA metodiky nezapočítava do celkových emisných totálov (Jonáček Z. et al., 2023). Táto alokácia emisií bola pri revízii emisnej inventúry vyhodnotená ako nesprávna, pretože v tejto kategórii sa podľa EMEP/EEA metodologickej príručky majú bilancovať emisie len z prirodzených lesných požiarov. Aktivita spaľovania lesných zvyškov bola z toho dôvodu re-alokovaná do kategórie spaľovania odpadu na otvorenom priestore (5.C.2). Všetky implementované zmeny v sektore odpadov sú popísané v Tab. 6.

4 VÝSLEDKY A ZÁVER

Implementácia aktualizovanej metodologickej príručky EMEP/EEA z roku 2023 priniesla významné zmeny v inventarizácii emisií znečisťujúcich látok. Tieto zmeny sa týkali predovšetkým spresnenia používaných emisných faktorov a upresnenia metodiky výpočtu emisií, najvýraznejšie zmeny nastali v sektore fugitívne emisie (1.B), poľnohospodárstvo (3) a odpady (5).

Aj keď sú zmeny výrazné v jednotlivých kategóriách, nedotýkajú sa najdôležitejších kľúčových kategórií pre jednotlivé znečisťujúce látky, a preto nemajú zásadný vplyv na plnenie záväzkov znižovania emisií, stanovené pre SR. Jediným sektorom, v ktorom by implementácia nových emisných faktorov ovplyvnila plnenie stanovených záväzkov, je sektor poľnohospodárstvo a emisie NH₃.

Tabuľka 6. Prehľad kategórií a zmien v inventúre odpadov po implementovaní EMEP/EEA metodologickej príručky z roku 2023.
 Table 6. Overview of categories and changes in the waste sector inventory, after the implementation of the EMEP/EEA methodological guideline from 2023.

Kategória	Znečisťujúca látka	Reportovanie podľa EMEP/EEA 2023
5.A Skládkovanie	NMVOC	Zmena metodiky výpočtu na základe údajov o objeme metánu, zmena emisného faktora
5.A Skládkovanie	PM _{2,5} , PM ₁₀ , TSP	Zmena výpočtu aktivitných údajov na základe množstva minerálneho odpadu, s ktorým sa v danom roku nakladalo
5.C.1.b.i a 5.C.1.b.ii	PCDD/PCDF	Zmena emisného faktora
5.C.1.b.iii	ťažké kovy	Zmena účinnosti odlučovania – neúčinná pre ťažké kovy
5.C.2	PM _{2,5} , PM ₁₀ , TSP	Re-alokácia emisií zo spaľovania lesných zvyškov z kategórie 11.B do kategórie 5.C.2

4.1 Emisná inventúra znečisťujúcich látok v sektore Spaľovania palív v stacionárnych zdrojoch (NFR 1.A.1, 1.A.2, 1.A.4, 1.A.5)

Implementáciou novej metodologickej príručky boli v kategórii rafinácie ropy revidované emisné faktory pre PCDD a PCDF zo spaľovania priemyselného odpadu s energetickým využitím, avšak táto kategória nie je kľúčová pre emisie tejto znečisťujúcej látky, preto nemala významný vplyv na celkové zníženie emisií PCDD a PCDF (Obr. 3).

Výraznejšie zmeny emisných faktorov nastali v kategórii spaľovania palív v domácnostiach. Revidované boli emisné faktory pre NH₃, pre spaľovacie zariadenia ako sú krby, kachle, staršie kachľové pece a moderné vstavané kachle, pece a peletové kachle. Implementáciou nových emisných faktorov sa znížili emisie amoniaku približne o 88 % v celom časovom rade. Tieto zmeny sú znázornené na Obr. 4. Sektor Energetika tvorí 7 % celkových emisií amoniaku. Implementáciou nových emisných faktorov sa podiel na celkových emisiách NH₃ zníži približne o 4 %, v roku 2022. Emisie v kategórii Domácnosti sú počítané na základe aktivitných údajov, teda množstve rôznych druhov spáleného paliva v domácnostiach použitého na vykurovanie a ohrev teplej vody. Výpočet prebieha na základe vzorca:

$$E_{ZL} = \sum_{z=1}^6 EF_z \times Act,$$

kde E_{ZL} je množstvo emisií danej znečisťujúcej látky, EF_z predstavuje emisný faktor pri používaní určitého typu zariadení (pri výpočte používame 6 typov zariadení) a Act je aktivitný údaj o spotrebe paliva. Podľa metodologickej príručky počítame emisie NH₃ len pri spaľovaní dreva, drevených peliet, brikiet a inej biomasy.

Neustálym zlepšovaním emisnej inventúry boli revidované pôvodne používané emisné faktory pre znečisťujúce látky TZL, PM_{2,5} a PM₁₀, pre rovnaké spaľovacie zariadenia ako sú krby, kachle, staršie kachľové pece a moderné vstavané kachle, pece a peletové kachle. Emisné faktory boli implementované podľa EMEP/EEA metodologickej príručky z roku 2023. Táto zmena nemala výrazný vplyv na trend emisií pevných častíc zo spaľovania palív v domácnostiach. Zaznamenaný pokles po implementácii nových emisných faktorov je na úrovni 4 % pre PM_{2,5}, v roku 2022 v porovnaní s vypočítanými emisiami podľa emisných faktorov použitých v poslednej emisnej inventúre. Metodika výpočtu emisií PM_{2,5} je rovnaká ako metodika výpočtu emisií amoniaku.

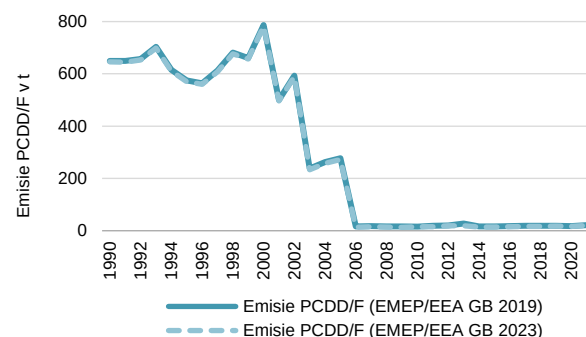
Tabuľka 7. Porovnanie starých a nových EF pre amoniak pre rôzne typy spaľovacích zariadení.

Table 7. Comparison of emission factors for ammonia for different types of combustion devices.

EF NH ₃ (g/GJ)	GB verzia	Prehrievacie kotle	Odhrievacie kotle	Zplyňovacie kotle	Automatické kotle	Krby kachle, vstavané pece	Moderné vstavané pece a peletové pece a kachle
Drevo (Biomasa)	2023	8	8	8	1	8	1
Drevo (Biomasa)	2019	74	37	37	12	74	12

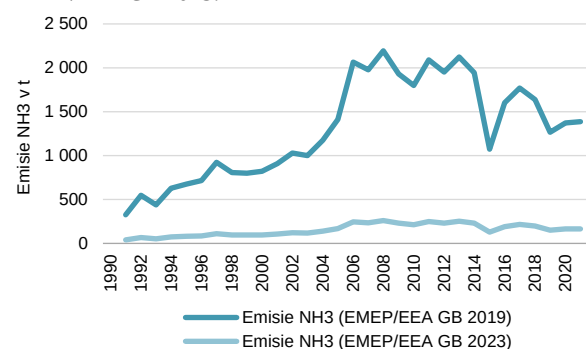
Obrázok 3. Porovnanie emisií PCDD/F v sektore Energetika, stacionárne spaľovanie palív podľa metodiky EMEP/EEA z roku 2019 a z roku 2023.

Figure 3. Comparison of PCDD/F emissions in Energy sector, stationary combustion of fuels according to the EMEP/EEA GB 2019 and EMEP/EEA GB 2023.



Obrázok 4. Porovnanie emisií NH₃ v kategórii spaľovanie palív v domácnostiach podľa metodiky EMEP/EEA z roku 2019 a z roku 2023.

Figure 4. Comparison of NH₃ emissions in combustion of fuels in households according to the EMEP/EEA GB 2019 and EMEP/EEA GB 2023.



4.2 Emisná inventúra znečisťujúcich látok v sektore Doprava (NFR 1.A.3)

V sektore Doprava sa implementované zmeny súvisiace s revíziou EMEP/EEA metodické príručky z roku 2023 týkali lodnej dopravy. Revidované boli emisné faktory pre PCDD a PCDF, tiež sa zosúladiť metodika aktívnych údajov znečisťujúcich látok so skleníkovými plynmi. Táto kategória však nie je kľúčová pre emisie PCDD a PCDF, preto zmena nemala vplyv na celkové zníženie emisií PCDD a PCDF v sektore Doprava (Obr. 5). Aktivitný údaj podľa EMEP/EEA metodické príručky predstavuje kvantitatívny údaj, ktorý opisuje rozsah a intenzitu činnosti, ktorá je zdrojom emisií znečisťujúcich látok. V rámci lodnej dopravy aktivitný údaj predstavuje údaj o spotrebe palív, revízia aktívnych údajov prebehla v podobe rozdelenia spotreby palív pre medzinárodnú a vnútroštátnu lodnú dopravu, ako to bolo už dlhšie stanovené pri skleníkových plynch.

4.3 Emisná inventúra znečisťujúcich látok v sektore Fugitívne emisie (NFR 1.B)

Výraznejšie zmeny v emisnej inventúre nastali v sektore fugitívnych emisií, implementovaním novej metodické príručky EMEP/EEA. Zníženie emisií NMVOC bolo zapríčinené implementáciou nových emisných faktorov, rozde-

lením palív a zosúladením emisnej inventúry znečisťujúcich látok so skleníkovými plynmi. V celom časovom rade bolo zaznamenané zníženie emisií, približne o 50 %, tieto zmeny sú znázornené na Obr. 6.

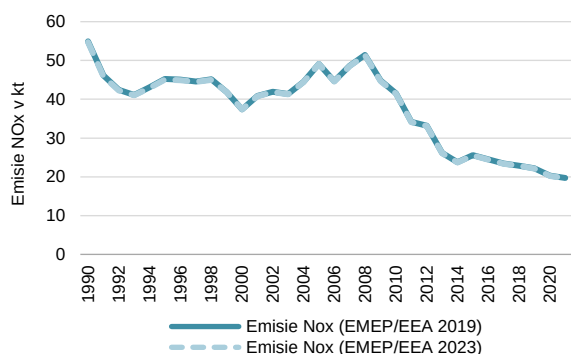
Zníženie emisií pevných častíc PM bolo zapríčinené implementovaním nových emisných faktorov v kategórii ťažby a spracovania uhlia. Tieto zmeny sú znázornené na Obr. 7. Avšak v rovnakej kategórii bol pridaný nový zdroj emisií pevných častíc, ktorým je manipulácia s importovaným uhlím. Na výpočet emisií z tejto činnosti v celom časovom rade nemáme dostatok údajov, avšak očakávaný nárast emisií pevných častíc dosahuje 250 %. Táto kategória nepatrí medzi kľúčové kategórie pre emisie PM, preto by zvýšenie nemalo mať významný vplyv na celkové zvýšenie emisií pevných častíc v celej emisnej inventúre a plnenie stanovených záväzkov znižovania emisií.

4.4 Emisná inventúra znečisťujúcich látok v sektore Poľnohospodárstvo (NFR 3)

Zmena emisných faktorov v kategórii poľnohospodárskych pôd má najvýznamnejší vplyv na celkový nárast emisií amoniaku. Implementácia revidovaných emisných faktorov priniesla vysoké navýšenie emisií amoniaku, od 33 % v roku 2005 po 100 % v roku 2020. Tieto zmeny sú znázornené na Obr. 8.

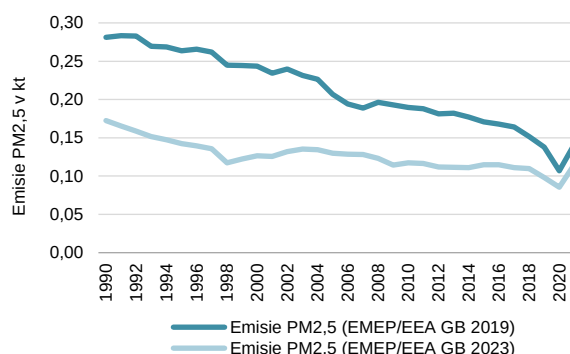
Obrázok 5. Porovnanie emisií NO_x v sektore Doprava podľa metodiky EMEP/EEA z roku 2019 a z roku 2023.

Figure 5. Comparison of NO_x emissions in Transport sector according to the EMEP/EEA GB 2019 and EMEP/EEA GB 2023.



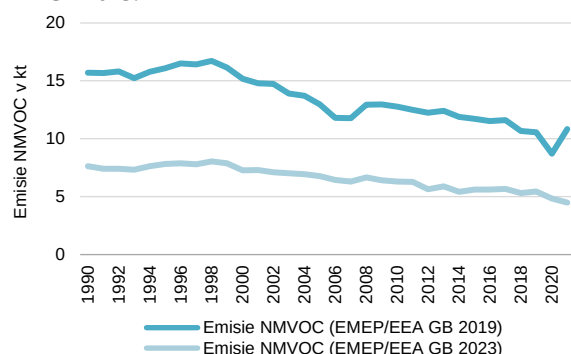
Obrázok 7. Porovnanie emisií PM_{2,5} v sektore Fugitívne emisie podľa metodiky EMEP/EEA z roku 2019 a z roku 2023.

Figure 5. Comparison of PM_{2,5} emissions in Fugitive emissions sector according to the EMEP/EEA GB 2019 and EMEP/EEA GB 2023.



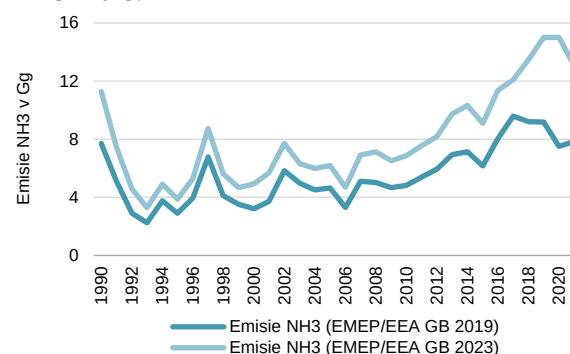
Obrázok 6. Porovnanie emisií NMVOC v sektore Fugitívne emisie podľa metodiky EMEP/EEA z roku 2019 a z roku 2023.

Figure 4. Comparison of NMVOC emissions in Fugitive emissions sector according to the EMEP/EEA GB 2019 and EMEP/EEA GB 2023.



Obrázok 8. Porovnanie emisií NH₃ v sektore Poľnohospodárske pôdy podľa metodiky EMEP/EEA z roku 2019 a z roku 2023.

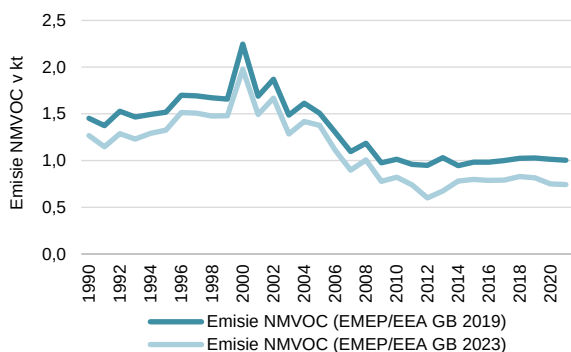
Figure 6. Comparison of NH₃ emissions in Agricultural soils sector according to the EMEP/EEA GB 2019 and EMEP/EEA GB 2023.



Slovensko má veľmi nevýhodnú situáciu pri spĺňaní redukčných záväzkov pre amoniak, keďže v roku 2005 bola spotreba hnojív na úrovni iba 99,76 kt dusíkatých anorganických hnojív. V roku 2014 to už bolo 119 kt a v roku 2021 sa spotreba dusíkatých anorganických hnojív pohybovala na úrovni 127,5 kt. Kombináciou zmeny emisných faktorov (nárastu) a zvýšenia spotreby hnojív v porovnaní so základným rokom 2005 bude mať Slovensko veľký problém s redukčnými záväzkami, ktoré sú v roku 2030 na úrovni –30 % v porovnaní so základným rokom 2005.

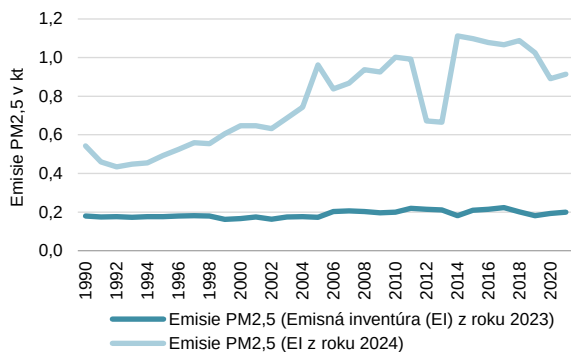
Obrázok 9. Porovnanie emisií NMVOC v sektore Odpady podľa metodiky EMEP/EEA z roku 2019 a z roku 2023.

Figure 9. Comparison of NMVOC emissions in Waste sector according to the EMEP/EEA GB 2019 and EMEP/EEA GB 2023.



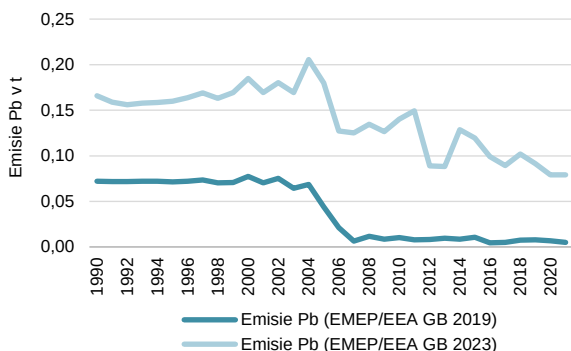
Obrázok 10. Porovnanie emisií PM_{2,5} v sektore Odpady po implementovaní odporúčania z review v roku 2023.

Figure 10. Comparison of PM_{2,5} emissions in Waste sector according to the 2023 review recommendations.



Obrázok 11. Porovnanie emisií Pb v sektore Odpady podľa metodiky EMEP/EEA z roku 2019 a z roku 2023.

Figure 11. Comparison of Pb emissions in Waste sector according to the EMEP/EEA GB 2019 and EMEP/EEA GB 2023.



4.5 Emisná inventúra znečisťujúcich látok v sektore Odpady (NFR 5)

Na základe implementácie upravenej metodologickej príručky EMEP/EEA z roku 2023 nastalo v sektore odpadov významné zníženie emisií NMVOC. V sektore skládkovania bola revidovaná metodika výpočtu emisií NMVOC, čím sa znížili tieto emisie o 26 % v roku 2021. Tieto zmeny sú znázornené na Obr. 9.

Zmena sa týkala aj výpočtu aktivitných údajov pre pevné častice (zahrňujúce PM_{2,5}, PM₁₀, TSP a BC), čím sa znížili emisie týchto látok. Implementovaním odporúčania z roku 2023 sa zvýšili emisie v kategórii otvoreného spaľovania odpadu, čím stúpili emisie PM_{2,5} v sektore odpadov o 358 %. Táto kategória sa zároveň stala jednou z kľúčových kategórií pre emisie pevných častíc. Tieto zmeny sú znázornené na Obr. 10.

V kategórii spaľovania klinického odpadu nastala zmena v účinnosti odľučovacích zariadení. Podľa novej metodologickej príručky nie sú odľučovacie zariadenia účinné pre ťažké kovy. Zvýšenie emisií olova v sektore Odpady je znázornené na Obr. 11.

5 LITERATÚRA

- Alves, C.–Gonçalves, C.–Fernandes, A.P.–Tarelho, L.–Pio, C., 2011, *Fireplace and woodstove fine particle emissions from combustion of western Mediterranean wood types*. *Atmospheric Research*, 101(3), 692–700.
- Asghar, U.–Rafiq, S.–Anwar, A.–Iqbal, T.–Ahmed, A.–Jamil, F.–Khurram, M.S.–Akbar, M.M.–Farooq, A.–Shah, N.S.–Park, Y.-K., 2021, *Review on the progress in emission control technologies for the abatement of CO₂, SO_x and NO_x from fuel combustion*. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5), 106064.
- Bellušová, I., 2024, *Industry (NFR 2) In: Informative inventory report*. Slovak Hydrometeorological Institute. 206–279. ISBN 978-80-99929-71-6.
- Berdowski, J.J.M.–Baas, J.–Bloos, J.P.–Visschedijk, A.J.H.–Zandveld, P.Y.J., 1997, *The European Atmospheric Emission Inventory for Heavy Metals and Persistent Organic Pollutants*. Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Luftreinhaltung. Forschungsbericht 104 02 672/03. TNO, Apeldoorn, The Netherlands.
- EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019. [online]. [cit. 2024-16-7]. Dostupné na: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>.
- EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2023. [online]. [cit. 2024-16-7]. Dostupné na: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2023>.
- Harrad, S.J.–Sewart, A.P.–Alcock, R.–Boumphrey, R.–Burnett, V.–Duarte-Davidson, R.–Halsall, C.–Sanders, G.–Waterhouse, K.–Wild, S.R.–Jones, K.C., 1994, *Polychlorinated biphenyls (PCBs) in the British environment: Sinks, sources and temporal trends*. *Environmental Pollution*, 85(2), 131–146.
- Jonáček, Z., 2024, *Waste (NFR 5)*. In: *Informative inventory report*. Slovak Hydrometeorological Institute. 338–386. ISBN 978-80-99929-71-6.

- Kršáková, P.–Câmpian, M.–Horváth J.–Bellušová I.–Danielik V.–Tonhauzer, K.–Jonáček, Z.–Zemko, M.–Jalšovská, M., 2024, Informative Inventory Report. Slovak Hydrometeorological Institute. 529 p. ISBN 978-80-99929-71-6. <https://oeab.shmu.sk/app/cmsSiteBoxAttachment.php?ID=284&cmsDataID=0>.
- Morselli, L.–Passarini, F.–Bartoli, M., 2002, The environmental fate of heavy metals arising from a MSW incineration plant, *Waste Management* 22, 875–881.
- Reff, A.–Bhave, P.V.–Simon, H.–Pace, T.G.–Pouliot, G.A.–Mobley, J.D.–Houyoux, M., 2009, Emissions Inventory of PM_{2.5} Trace Elements across the United States. *Environmental Science & Technology*, 43(15), 5790–5796.
- Rösemann, C.–Haelen, H.D.–Poddey, E.–Dämmgen, U.–Döhler, H.–Eurich-Menden, B.–Laubach, P.–Dieterle, M.–Osterburg B., 2011, Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990–2009, *Landbauforschung vTI Agriculture and Forestry Research, Sonderheft 342* [online]. [cit. 4.10.2024] Dostupné na: https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn048142.pdf.
- Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2010/75/EÚ z 24. novembra 2010 o priemyselných emisiách(integrovaná prevencia a kontrola znečisťovania životného prostredia). [online]. [citované 9.10.2024] Dostupné na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/?uri=celex%3A32010L0075>.
- Szemesová, J.–Tonhauzer, K.–Horváth, J., 2024, Dopad implementácie IPCC Refinement z roku 2019 na emisie na Slovensku. *Meteorologický časopis*. 27, 13–24.
- Šyc, M.–Horák, J.–Hopan, F.–Křpec, K.–Tomšej, T.–Ocelka, T.–Pekárek, V., 2011, Effect of Fuels and Domestic Heating Appliance Types on Emission Factors of Selected Organic Pollutants. *Environmental Science & Technology*, 45(21), 9427–9434.
- Tissari, J.–Lyyräinen, J.–Hytönen, K.–Sippula, O.–Tapper, U.–Frey, A.–Saarnio, K.–Pennanen, A.S.–Hillamo, R.–Salonen, R.O.–Hirvonen, M.–Jokiniemi, J., 2008, Fine particle and gaseous emissions from normal and smoldering wood combustion in a conventional masonry heater. *Atmospheric Environment* 42(2008), 7862–7873.
- Tonhauzer, K., 2024, Agriculture (NFR 3) In: Informative inventory report. Slovak Hydrometeorological Institute. 280–336. ISBN 978-80-99929-71-6.
- UNECE, 1990, Emissions of volatile organic compounds (VOC) from stationary sources and possibilities for their control, United Nations Economic Commission for Europe, University of Karlsruhe.
- UNEP, 2013, Toolkit for Identification and Quantification of Releases of Dioxins, Furans and Other Unintentional POPs. [online]. [cit. 2024-3-10]. Dostupné na <file:///C:/Users/p6241/Downloads/UNEP-POPS-TOOLKIT-TOOLK-PCDD-PCDF-2012.En.pdf>.
- Wang, H.C.–Hwang, J.F.–Chi, K.H.–Chang, M.B., 2007, Formation and removal of PCDD/Fs in a municipal waste incinerator during different operating periods. *Chemosphere*, 67(9), S177–S184.
- Yan, X.–Akimoto, H.–Ohara, T., 2003, Estimation of nitrous oxide, nitric oxide and ammonia emissions from croplands in East, Southeast and South Asia. *Global Change Biology*, (9) 1080–1096.
- 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories . [online]. [cit. 2024-16-7]. Dostupné na: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>.
- 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. [online]. [cit. 2024-16-7]. Dostupné na: <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>.