



# EMISNÍ FAKTORY TĚŽKÝCH KOVŮ A POP<sub>s</sub> ZE SPALOVACÍCH PROCESŮ



Datum: 10. 1. 2017

Pracoviště: Oddělení emisí a zdrojů

Zpracoval: Ing. Miloslav Modlík

Místo: Praha



# Úvod

Česká republika (ČR) je jednou ze smluvních stran Úmluvy o dálkovém znečišťování ovzduší přesahujícím hranice států (CLRTAP) a jejích protokolů, mezi které patří i Protokol o těžkých kovech a Protokol o perzistentních organických látkách (POPs). Jejich ratifikací se ČR zavázala ke snižování emisí těchto znečišťujících látek vzhledem k referenčnímu roku 1990. K vyhodnocení plnění závazků Úmluvy je každoročně prováděna inventura emisí. Ze skupiny těžkých kovů je požadováno monitorování emisí olova (Pb), kadmia (Cd), rtuti (Hg), arzenu (As), chromu (Cr), mědi (Cu), niklu (Ni), selenu (Se), zinku (Zn). Monitoring emisí POPs je zaměřen na polychlorované dibenzodioxiny a dibenzofurany (PCDD/F), polychlorované bifenyly (PCB), hexachlorbenzen (HCB) a polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH) vyjádřené jako součet benzo(b)fluorantenu, benzo(k)fluorantenu, benzo(a)pyrenu, Indeno(1,2,3-cd)pyrenu. Pro některé z těchto znečišťujících látek národní legislativa stanovuje imisní limity pro ochranu zdraví, které jsou na území České republiky překračovány (Kolářová 2016). Emisní limity a povinnost měření emisí těžkých kovů a POPs předepisuje národní legislativa pouze pro omezenou skupinu zdrojů znečišťování. Registr emisí a stacionárních zdrojů (REZZO) proto neobsahuje dostatek údajů k provedení emisní inventury těchto znečišťujících látek. Metodika inventarizace emisí těžkých kovů a POPs kombinuje údaje z monitoringu emisí na jednotlivých zdrojích a emisní faktory. Výsledky měření emisí těchto znečišťujících látek jsou velice proměnlivé. Měření emisí se v některých případech provádí v intervalech jednou za tři roky, jednou za pět let nebo i delších. Z toho vyplývá, že údaje o emisích těžkých kovů a POPs zjištěné přímo provozovateli zdrojů v rámci souhrnné provozní evidence nepříznivě ovlivňují konzistentnost, správnost a porovnatelnost emisní inventury. Hlavním cílem této práce je stanovit emisní faktory těžkých kovů a POPs ze spalovacích procesů v kategoriích REZZO 1 a REZZO 2, které by co nejlépe reflektovaly úroveň znečišťování ovzduší těmito látkami v ČR a zároveň byly v co největší možné míře v souladu s doporučeními EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook (EEA 2016).

## Metodika

### Zdroje dat

Informace o emisích těžkých kovů a POPs z jednotlivě sledovaných spalovacích stacionárních zdrojů lze získat z databáze REZZO, která obsahuje údaje o emisích těchto látek zjišťované jednorázovým měřením v předepsaných intervalech. Povinnost zjišťovat emise Pb, Cd, Hg, As, PCDD/F, PCBs a PAH měřením stanovuje zákon č. 201/2012 Sb. v příloze č. 4 spalovacím stacionárním zdrojům se jmenovitým tepelným příkonem 50 MW a vyšším spalujícím tuhé nebo kapalné palivo. V obdobném rozsahu tyto povinnosti ukládal i předchozí zákon 86/2002 Sb. Podle § 3 odst. 4 vyhlášky 415/2012 Sb. se jednorázové měření emisí těchto látek provádí při prvním uvedení zdroje do provozu, při změně paliva nebo při zásahu do konstrukce nebo vybavení zdroje, který by mohl vést ke změně emisí. Výjimku představují emise Hg s intervalem měření jednou za rok. V době před platností této prováděcí vyhlášky se měření opakovala v intervalu jednou za tři roky. Kromě těchto znečišťujících látek požadují krajské úřady u vybraných zdrojů s tepelným příkonem nad 100 MW i monitoring emisí Ni. Údaje o emisích těžkých kovů a POPs v databázi REZZO nezahrnují některé důležité informace z průběhu měření (zastoupení kongenerů, popis měřicích míst, podmínky při měření apod.) a jsou často zatíženy chybou způsobenou ohlašovateli dat. Z toho důvodu byly pro další analýzu shromážděny protokoly z měření emisí, které pro tyto účely poskytla Česká inspekce životního

prostředí (ČIŽP) a někteří provozovatelé zdrojů. Podařilo se tak shromáždit datový soubor zahrnující 373 provedených měření na spalovacích zdrojích za období 2003-2016.

## Zpracování dat

Hmotnostní koncentrace, hmotnostní toky a měrné výrobní emise (MVE) uvedené v protokolech v papírové i elektronické podobě byly převedeny do jednotné databáze propojené s údaji REZZO. Databáze umožňuje třídění výsledků měření podle identifikačních údajů provozovatele a provozovny, kategorie zdroje, druhu paliva a odběrného místa.

MVE u spalovacích zdrojů jsou v protokolech z jednorázového měření emisí nejčastěji uváděny jako hmotnost znečišťující látky vztažené na množství vyrobeného tepla, v některých případech na množství přivedeného tepla nebo na hmotnost vyrobené páry. Pro inventarizaci emisí ze spalovacích zdrojů, která vychází z údajů v databázi REZZO, je nejvhodnější vyjadřovat MVE a emisní faktory jako hmotnost znečišťující látky vztažené na množství přivedeného tepla. Při další analýze dat ze spalovacích zdrojů se proto dále pracuje pouze s tímto způsobem vyjádření výsledků MVE. Přibližný převod z vyjádření MVE vztažené na množství vyrobeného tepla ( $MVE_{Tv}$ ) na MVE vztažené na množství přivedeného tepla ( $MVE_{Tp}$ ) lze provést vynásobením tepelnou účinností ( $\eta_t$ ) spalovacího zařízení uvedené v protokolu z měření nebo v databázi REZZO.

$$MVE_{Tp} = MVE_{Tv} \cdot \eta_t$$

MVE vztažená na hmotnost vyrobené páry ( $MVE_{vp}$ ) byla převedena na MVE vztaženou na množství vyrobeného tepla ( $MVE_{Tv}$ ) s využitím znalosti jmenovitého tepelného výkonu spalovacího zařízení ( $P_{jm,t}$ ) a jmenovitého parního výkonu spalovacího zařízení ( $P_{jm,p}$ ).

$$MVE_{Tv} = \frac{P_{jm,p} \cdot MVE_{vp}}{3,6 \cdot P_{jm,t}}$$

Naměřené hodnoty hmotnostních koncentrací těžkých kovů a POPs vycházejí často menší než nejistota stanovení užitě metody. V takovém případě jsou v protokolech z měření obvykle označeny znakem „<“ s hodnotou meze stanovitelnosti. Při výpočtech se v těchto případech pracuje s polovinou hodnoty meze stanovitelnosti a tyto údaje jsou v databázi označeny znakem „()“.

Do roku 2008 legislativa (vyhláška 356/2002 Sb.) definovala PAH jako sumu 10 složek (fluoranten, pyren, benzo(a)antracen, chrysen, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(a)pyren, dibenzo(a,h)antracen, benzo(g,h,i)perylen, indeno(1,2,3-cd)pyren), po roce 2008 (vyhláška 205/2009 Sb. a 415/2012 Sb.) jako sumu 4 složek (benzo(a)pyren, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, indeno(1,2,3-cd)pyren). Při přebírání dat z protokolů došlo ke sjednocení údajů PAH s požadavky CLRTAP. V případě, že protokol z měření neobsahoval informace o zastoupení jednotlivých kongenerů PAH, nebyly výsledky do vyhodnocení zahrnuty.

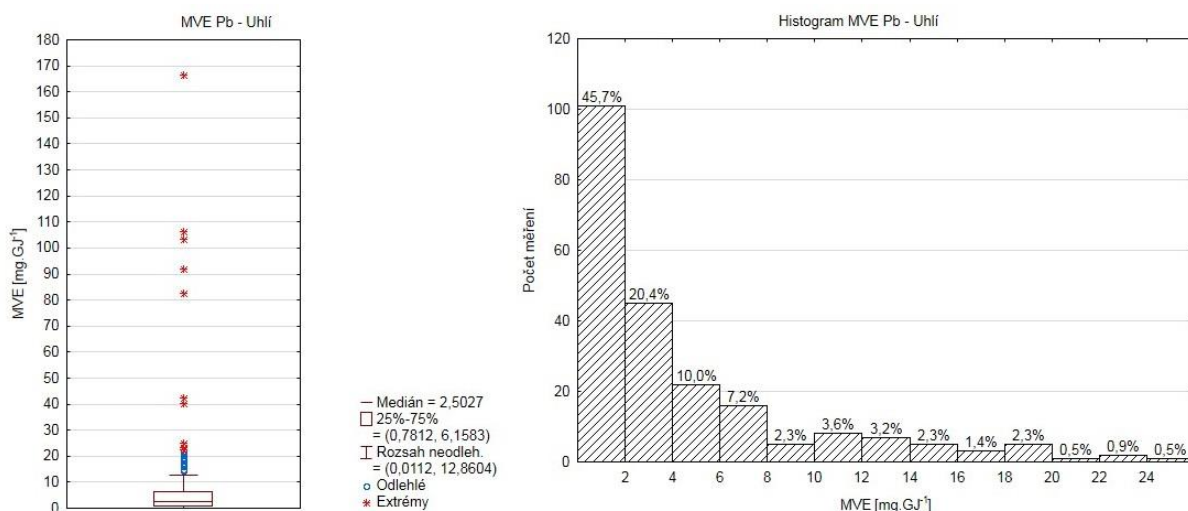
Požadavky CLRTAP na inventarizaci emisí definují PCB jako celkovou hmotnost jednotlivých kongenerů, zatímco výsledky měření uváděné v protokolech často vyjadřují PCB jako hmotnost kongenerů přepočtenou na ekvivalent toxicity. Při zpracování dat proto proběhlo sjednocení údajů PCB s požadavky CLRTAP. V případě, že protokol z měření neobsahoval informace o zastoupení jednotlivých kongenerů PCB, nebyly výsledky pro další vyhodnocení uvažovány.

## Způsob vyhodnocení dat

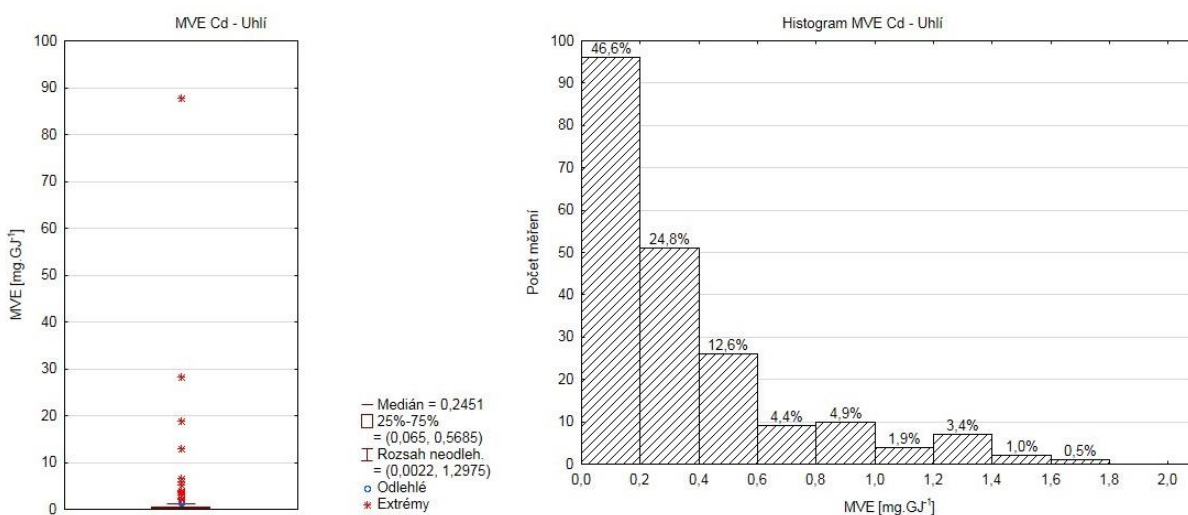
Vyhodnocení základních statistických charakteristik datového souboru naměřených údajů MVE proběhlo v programu STATISTICA 12. V datovém souboru byla provedena analýza odlehlých a extrémních hodnot, výpočet mediánu, aritmetického průměru, geometrického průměru, minimálních a maximálních hodnot.

## Výsledky

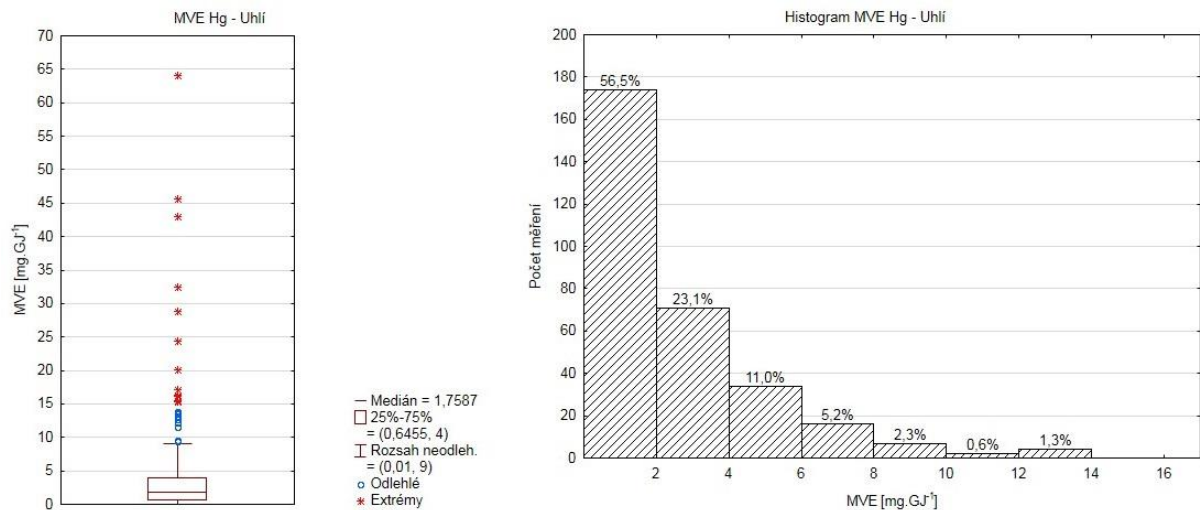
Výsledky zpracování databáze MVE ze spalování paliv zahrnují emise Pb, Cd, Hg, As, Ni, PCDD/F, PCB a PAH (benzo(a)pyren, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, indeno(1,2,3-cd)pyren). Pro každou z těchto látek byly definovány odlehlé a extrémní hodnoty a vytvořen histogram bez zahrnutí extrémních hodnot (Obr. 1-9).



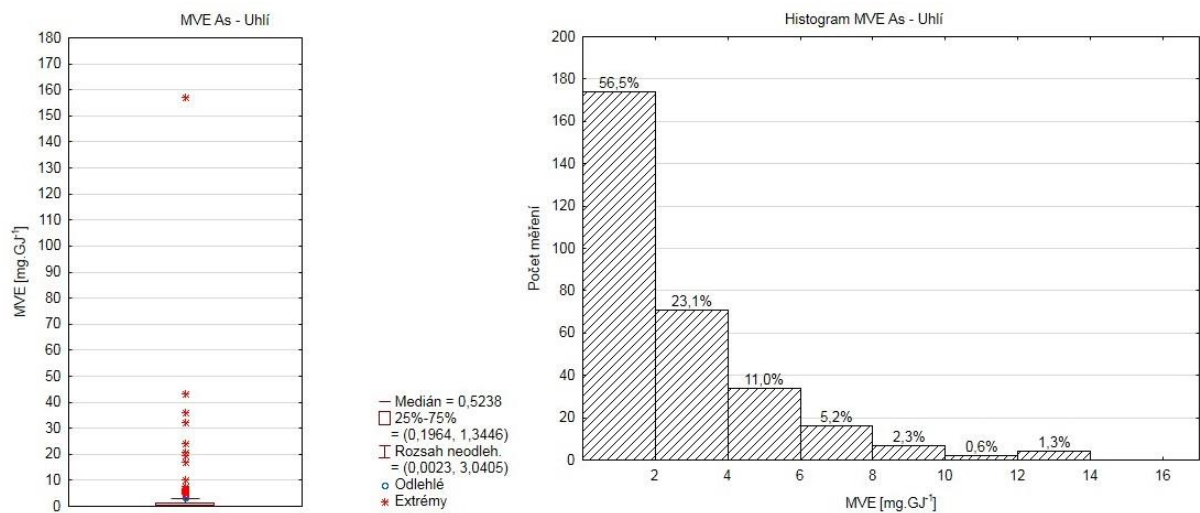
Obr. 1 Rozsah naměřených hodnot MVE Pb – Spalování uhlí



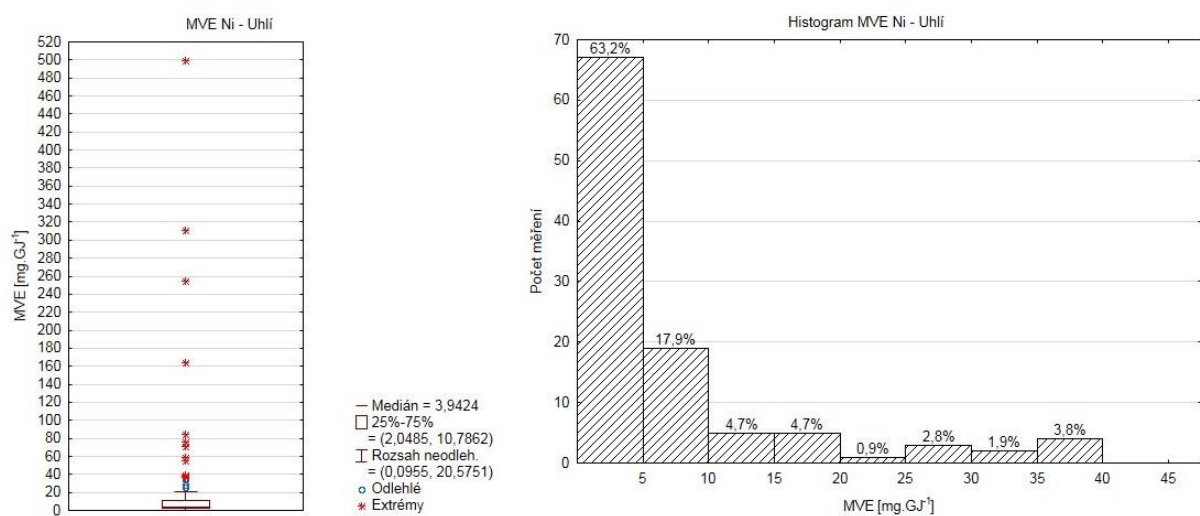
Obr. 2 Rozsah naměřených hodnot MVE Cd – Spalování uhlí



**Obr. 3** Rozsah naměřených hodnot MVE Hg – Spalování uhlí

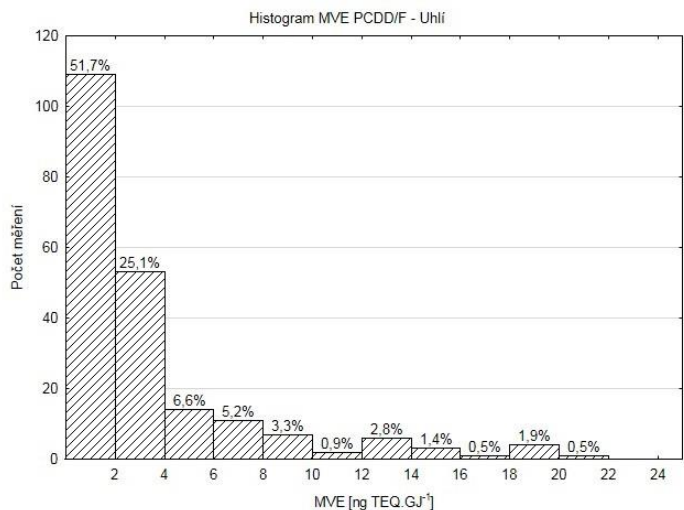
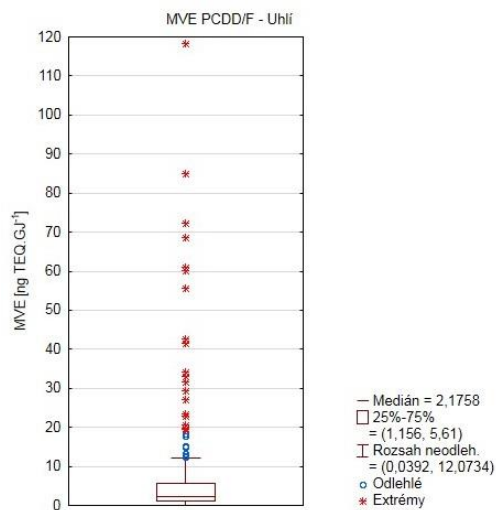


**Obr. 4** Rozsah naměřených hodnot MVE As – Spalování uhlí

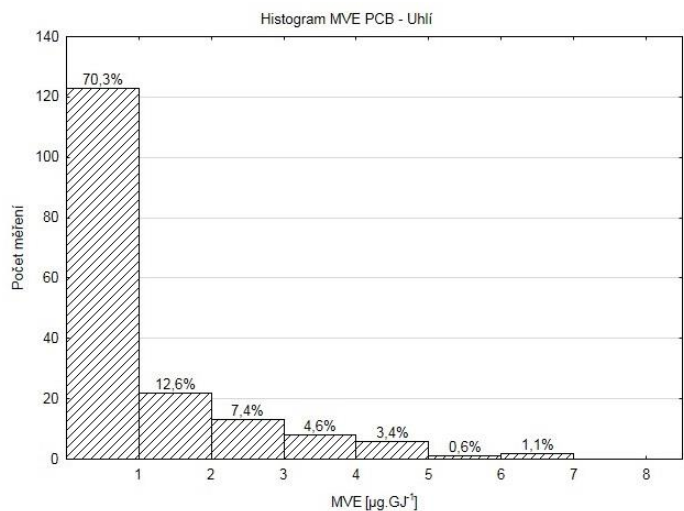
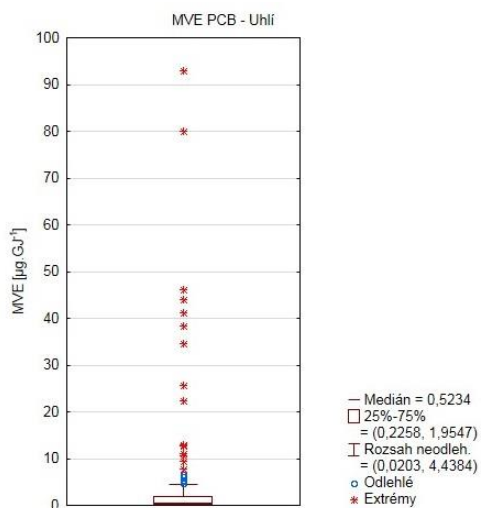


**Obr. 5** Rozsah naměřených hodnot MVE Ni – Spalování uhlí



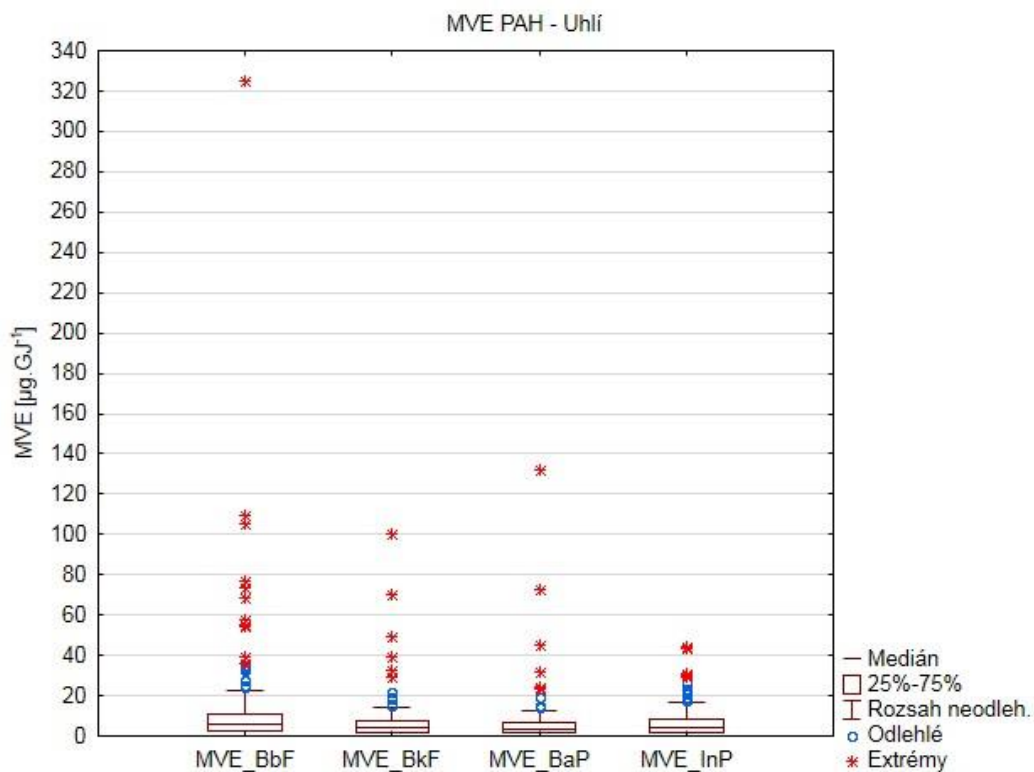


Obr. 6 Rozsah naměřených hodnot MVE PCDD/F – Spalování uhlí

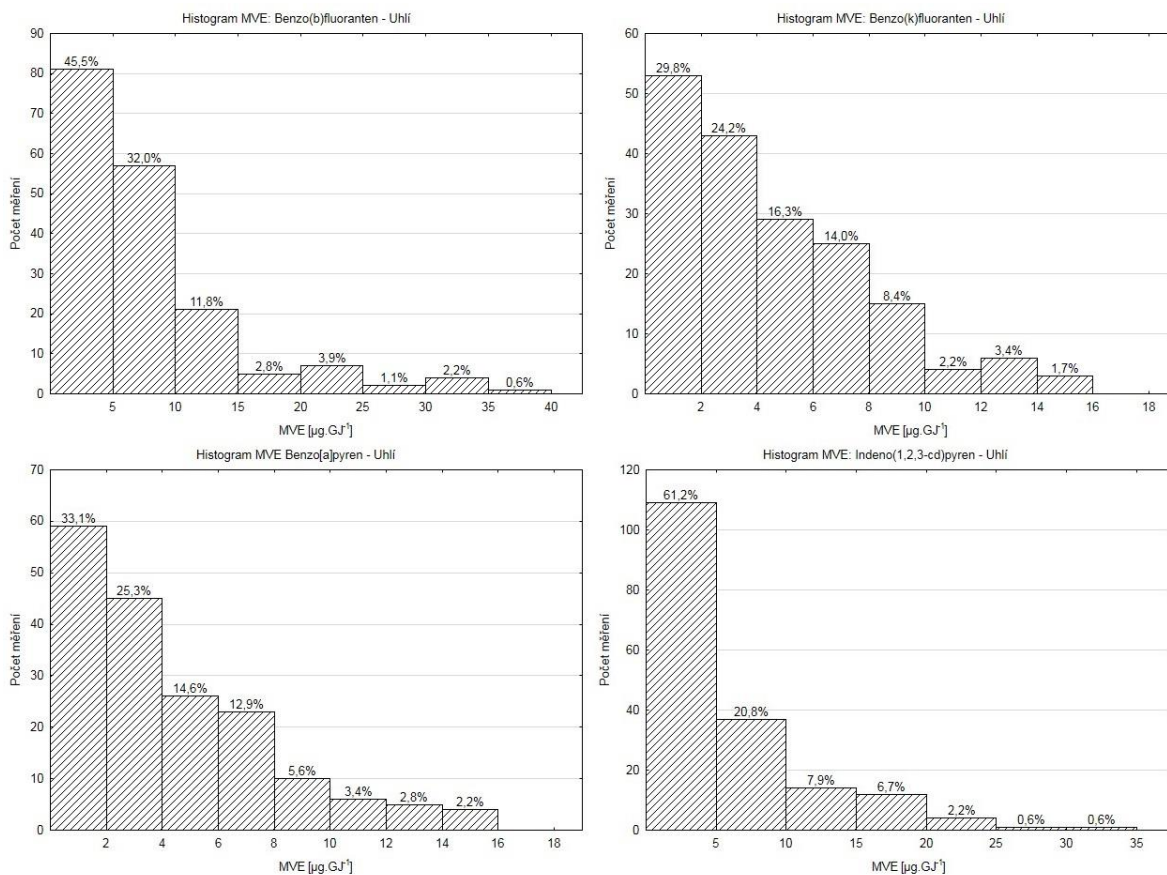


Obr. 7 Rozsah naměřených hodnot MVE PCB – Spalování uhlí





**Obr. 8** Rozsah naměřených hodnot (box plot) MVE PAH – Spalování uhlí



**Obr. 9** Rozsah naměřených hodnot (histogramy) MVE PAH – Spalování uhlí

Data MVE byla podrobněji rozdělena podle druhu paliva, typu topeniště a celkového jmenovitého tepelného příkonu. V případě, že zdroj spaloval během měření více druhů paliv, bylo třídění provedeno podle převažujícího paliva (Tab. 1-7).

Práškové topeniště, celkový tepelný příkon <=100 MW, hnědé uhlí									
Polutant	EF původní*	EF EIG 2016	Počet měření	Průměr	Geom. pr.	Medián	Minimum	Maximum	Jednotka
Pb	3,796	15,000	21	3,910	1,208	1,653	0,046	18,140	mg.GJ <sup>-1</sup>
Cd	1,102	1,800	18	0,246	0,114	0,125	0,009	1,044	mg.GJ <sup>-1</sup>
Hg	5,030	2,900	32	5,391	1,883	2,240	0,010	64,044	mg.GJ <sup>-1</sup>
As	3,161	14,300	20	2,113	0,894	0,829	0,076	20,880	mg.GJ <sup>-1</sup>
PCDD/F	4,913	10,000	22	15,554	5,100	6,525	0,044	85,000	ng TEQ.GJ <sup>-1</sup>
PCB	3,437	3,300	12	13,079	1,674	1,066	0,117	92,973	µg.GJ <sup>-1</sup>
benzo(b)fluoranten	0,847	37,000	14	11,604	4,377	2,731	0,787	57,760	µg.GJ <sup>-1</sup>
benzo(k)fluoranten	0,656	29,000	14	6,146	2,355	2,324	0,294	32,239	µg.GJ <sup>-1</sup>
benzo(a)pyren	1,660	1,300	14	5,975	1,776	1,971	0,075	31,675	µg.GJ <sup>-1</sup>
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,681	2,100	14	5,574	2,159	2,095	0,209	28,880	µg.GJ <sup>-1</sup>

\*tepelný výkon <50 MW

Tab. 1 Emisní faktory – práškové topeniště, celkový tepelný příkon <=100 MW, hnědé uhlí

Práškové topeniště, tepelný příkon <=100 MW, černé uhlí									
Polutant	EF původní*	EF EIG 2016	Počet měření	Průměr	Geom. pr.	Medián	Minimum	Maximum	Jednotka
Pb	0,662	7,300	39	1,737	0,588	0,515	0,037	23,355	mg.GJ <sup>-1</sup>
Cd	0,026	0,900	39	0,532	0,060	0,048	0,004	12,986	mg.GJ <sup>-1</sup>
Hg	0,249	1,400	42	3,121	0,635	0,476	0,020	32,451	mg.GJ <sup>-1</sup>
As	0,177	7,100	39	0,275	0,120	0,122	0,002	2,249	mg.GJ <sup>-1</sup>
PCDD/F	0,674	10,000	39	2,515	1,715	2,055	0,257	9,744	ng TEQ.GJ <sup>-1</sup>
PCB	33,651	3,300	34	0,343	0,276	0,244	0,106	1,195	µg.GJ <sup>-1</sup>
benzo(b)fluoranten	10,050	37,000	35	7,349	4,828	5,066	0,365	34,277	µg.GJ <sup>-1</sup>
benzo(k)fluoranten	7,860	29,000	35	3,496	2,507	2,640	0,280	13,398	µg.GJ <sup>-1</sup>
benzo(a)pyren	0,762	0,700	35	3,454	2,277	2,271	0,280	15,295	µg.GJ <sup>-1</sup>
Indeno(1,2,3-cd)pyren	8,612	1,100	35	3,071	2,202	2,232	0,379	12,760	µg.GJ <sup>-1</sup>

\*tepelný výkon <50 MW

Tab. 2 Emisní faktory – práškové topeniště, celkový tepelný příkon <=100 MW, černé uhlí



Práškové topeniště, tepelný příkon >100 MW, hnědé uhlí									
Polutant	EF původní*	EF EIG 2016	Počet měření	Průměr	Geom. pr.	Medián	Minimum	Maximum	Jednotka
Pb	0,900	15,000	76	9,735	4,177	4,071	0,114	166,538	mg.GJ <sup>-1</sup>
Cd	0,860	1,800	76	2,082	0,358	0,292	0,018	87,885	mg.GJ <sup>-1</sup>
Hg	0,280	2,900	108	3,753	2,684	2,965	0,179	20,097	mg.GJ <sup>-1</sup>
As	5,459	14,300	76	3,722	1,013	0,760	0,094	43,242	mg.GJ <sup>-1</sup>
Ni	10,947	9,700	62	18,690	4,460	3,374	0,500	499,162	mg.GJ <sup>-1</sup>
PCDD/F	4,913	10,000	72	4,004	2,327	1,925	0,343	42,557	ng TEQ.GJ <sup>-1</sup>
PCB	3,437	3,300	62	3,546	0,684	0,547	0,020	80,083	µg.GJ <sup>-1</sup>
benzo(b)fluoranten	0,847	37,000	66	16,330	6,136	6,187	0,180	325,226	µg.GJ <sup>-1</sup>
benzo(k)fluoranten	0,656	29,000	66	6,997	4,067	4,915	0,090	100,668	µg.GJ <sup>-1</sup>
benzo(a)pyren	1,660	1,300	66	5,535	3,756	4,653	0,090	45,366	µg.GJ <sup>-1</sup>
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,681	2,100	66	8,103	5,176	5,664	0,192	43,691	µg.GJ <sup>-1</sup>

\*tepelný výkon >50 MW

Tab. 3 Emisní faktory – práškové topeniště, celkový tepelný příkon >100 MW, hnědé uhlí

Práškové topeniště, tepelný příkon >100 MW, černé uhlí									
Polutant	EF původní*	EF EIG 2016	Počet měření	Průměr	Geom. pr.	Medián	Minimum	Maximum	Jednotka
Pb	4,493	7,300	37	7,265	2,566	2,722	0,011	106,377	mg.GJ <sup>-1</sup>
Cd	0,515	0,900	37	0,889	0,211	0,268	0,010	18,907	mg.GJ <sup>-1</sup>
Hg	0,615	1,400	57	2,682	0,781	0,668	0,036	43,000	mg.GJ <sup>-1</sup>
As	0,541	7,100	37	0,826	0,359	0,339	0,002	6,130	mg.GJ <sup>-1</sup>
PCDD/F	0,674	10,000	37	5,278	1,919	1,314	0,405	68,640	ng TEQ.GJ <sup>-1</sup>
PCB	33,651	3,300	33	4,517	1,060	1,176	0,087	43,918	µg.GJ <sup>-1</sup>
benzo(b)fluoranten	10,050	37,000	26	8,153	4,224	5,433	0,221	36,219	µg.GJ <sup>-1</sup>
benzo(k)fluoranten	7,860	29,000	26	7,479	2,972	3,786	0,107	70,274	µg.GJ <sup>-1</sup>
benzo(a)pyren	0,762	0,700	26	6,823	2,493	2,844	0,118	72,325	µg.GJ <sup>-1</sup>
Indeno(1,2,3-cd)pyren	8,612	1,100	26	6,441	2,743	3,662	0,130	44,192	µg.GJ <sup>-1</sup>

\*tepelný výkon >50 MW

Tab. 4 Emisní faktory – práškové topeniště, celkový tepelný příkon >100 MW, černé uhlí

Fluidní topeniště, hnědé uhlí									
Polutant	EF původní	EF EIG 2016	Počet měření	Průměr	Geom. pr.	Medián	Minimum	Maximum	Jednotka
Pb	1,317	15,000	36	7,437	2,397	2,037	0,057	82,809	mg.GJ <sup>-1</sup>
Cd	0,039	1,800	34	0,700	0,284	0,282	0,002	6,591	mg.GJ <sup>-1</sup>
Hg	0,162	2,900	54	2,730	1,476	1,500	0,078	16,192	mg.GJ <sup>-1</sup>
As	1,287	14,300	36	6,390	1,004	0,922	0,061	157,059	mg.GJ <sup>-1</sup>
Ni	12,391	9,700	26	31,324	5,781	4,803	0,095	310,592	mg.GJ <sup>-1</sup>
PCDD/F	1,484	10,000	36	5,362	2,629	2,778	0,039	19,670	ng TEQ.GJ <sup>-1</sup>
PCB	1,860	3,300	27	3,366	0,938	1,449	0,063	38,472	µg.GJ <sup>-1</sup>
benzo(b)fluoranten	0,524	37,000	30	9,256	5,879	7,621	0,222	25,353	µg.GJ <sup>-1</sup>
benzo(k)fluoranten	0,791	29,000	30	5,268	3,336	5,321	0,157	12,254	µg.GJ <sup>-1</sup>
benzo(a)pyren	1,126	1,300	30	5,967	3,403	5,148	0,104	23,928	µg.GJ <sup>-1</sup>
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,874	2,100	30	9,636	5,024	5,559	0,222	30,604	µg.GJ <sup>-1</sup>

Tab. 5 Emisní faktory – fluidní topeniště, hnědé uhlí

Roštové topeniště, celkový tepelný příkon >5 MW, hnědé uhlí									
Polutant	EF původní	EF EIG 2016	Počet měření	Průměr	Geom. pr.	Medián	Minimum	Maximum	Jednotka
Pb	16,367	-	9	15,413	3,135	6,670	0,066	91,716	mg.GJ <sup>-1</sup>
Cd	0,367	-	9	1,450	0,310	0,495	0,012	5,917	mg.GJ <sup>-1</sup>
Hg	1,933	-	16	3,381	1,556	1,924	0,011	17,160	mg.GJ <sup>-1</sup>
As	15,021	-	9	2,911	1,110	2,102	0,040	10,059	mg.GJ <sup>-1</sup>
PCDD/F	1,484	-	11	19,849	9,918	7,680	1,288	60,198	ng TEQ.GJ <sup>-1</sup>
PCB	1,860	-	9	0,839	0,654	0,757	0,280	2,544	µg.GJ <sup>-1</sup>
benzo(b)fluoranten	0,524	-	10	21,478	9,016	7,973	1,952	109,810	µg.GJ <sup>-1</sup>
benzo(k)fluoranten	0,791	-	10	9,870	4,566	4,047	1,030	48,980	µg.GJ <sup>-1</sup>
benzo(a)pyren	1,126	-	10	17,103	3,786	3,147	0,420	131,930	µg.GJ <sup>-1</sup>
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,874	-	10	8,304	4,754	4,203	0,841	31,284	µg.GJ <sup>-1</sup>

Tab. 6 Emisní faktory – roštové topeniště, celkový tepelný příkon >5 MW, hnědé uhlí

Roštové topeniště, celkový tepelný příkon >5 MW, černé uhlí									
Polutant	EF původní	EF EIG 2016	Počet měření	Průměr	Geom. pr.	Medián	Minimum	Maximum	Jednotka
Pb	0,502	-	10	5,515	0,891	2,656	0,015	19,189	mg.GJ <sup>-1</sup>
Cd	0,009	-	10	1,023	0,200	0,823	0,010	3,160	mg.GJ <sup>-1</sup>
Hg	0,748	-	13	6,951	2,346	1,744	0,055	45,600	mg.GJ <sup>-1</sup>
As	0,000	-	10	1,816	0,342	0,243	0,010	7,728	mg.GJ <sup>-1</sup>
PCDD/F	0,306	-	10	11,220	3,078	2,299	0,254	55,556	ng TEQ.GJ <sup>-1</sup>
PCB	39,606	-	13	2,897	0,691	0,395	0,098	22,261	µg.GJ <sup>-1</sup>
benzo(b)fluoranten	134,000	-	9	8,752	5,232	4,768	1,017	27,360	µg.GJ <sup>-1</sup>
benzo(k)fluoranten	80,000	-	9	5,195	3,017	3,085	0,636	18,080	µg.GJ <sup>-1</sup>
benzo(a)pyren	4,400	-	9	4,195	2,405	2,400	0,510	12,610	µg.GJ <sup>-1</sup>
Indeno(1,2,3-cd)pyren	15,700	-	9	5,502	2,502	2,080	0,502	31,280	µg.GJ <sup>-1</sup>

Tab. 7 Emisní faktory – roštové topeniště, celkový tepelný příkon >5 MW, černé uhlí

## Diskuse

Soubor naměřených výsledků MVE lze u všech sledovaných znečišťujících látek charakterizovat širokým rozpětím hodnot, které jsou soustředěny především v oblastech nižších hodnot (Obr. 1-9). Naměřené hodnoty mají asymetrické logaritmicke-normální rozdělení, jak uvádějí i předchozí práce na toto téma (Kurfürst 2000). Vyhodnotit emisní faktor (střední hodnotu) z tohoto souboru dat použitím aritmetického průměru proto není vhodné, protože by výsledek výrazně ovlivnily vysoké hodnoty, které jsou měřeny s malou četností. Jako nejpravděpodobnější hodnota emisního faktoru byla proto zvolena hodnota mediánu. Emise těžkých kovů a POPs ze spalovacích procesů je ovlivněno mnoha faktory, zejména prvkovým složením paliva, způsobem vedení spalovacího procesu, typem topeniště, druhem a technickým stavem zařízení ke snižování emisí. Zvýšené koncentrace těžkých kovů v palivu nebo zhoršený technický stav zařízení ke snižování emisí mohou vést ke vzniku odlehklých a extrémních hodnot během měření. Emisní faktor stanovený jako medián není těmito hodnotami významně ovlivněn, proto byly v datovém souboru ponechány.

Podle údajů databáze REZZO z roku 2015 spalovací zdroje spalující pevná fosilní paliva do celkového jmenovitého tepelného příkonu 5 MW byly provozovány s mechanickými odlučovači nebo bez odlučovače, zdroje v rozmezí 5-50 MW byly vybaveny mechanickými odlučovači, elektrostatickými

odlučovači a tkaninovými filtry, u zdrojů v rozmezí 50-100 MW převažovaly elektrostatické odlučovače a tkaninové filtry. Spalovací zdroje s celkovým jmenovitým tepelným příkonem vyšším než 100 MW využívaly převážně vícestupňový systém snižování emisí (elektrostatické odlučovače/tkaninové filtry a odsiřovací zařízení). Původní členění emisních faktorů podle jmenovitého tepelného výkonu do 50 MW včetně a nad 50 MW bylo nahrazeno podrobnějším členěním podle celkového jmenovitého tepelného příkonu zdroje v souladu s požadavky na plnění emisních limitů TZL podle přílohy č. 2 vyhlášky 415/2012 Sb.

Hodnoty nově navržených emisních faktorů se od původních národních emisních faktorů v některých případech výrazně liší (Tab. 1-7). Je to způsobeno tím, že původní národní emisní faktory představovaly hodnotu aritmetického průměru z poměrně malého souboru dostupných dat (Machálek 1999). Emisní faktory úrovně Tier 2 pro spalování uhlí doporučené EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook (EEA 2016) v kapitole 1.A.1 Energy industries jsou zejména v případě Pb, As a PCDD/F výrazně vyšší než navržené hodnoty a jejich použití pro inventarizaci emisí v podmínkách ČR není vhodné. Statistické vyhodnocení výsledků MVE ukázalo, že spalování černého uhlí se při porovnání s hnědým uhlím vyznačuje nižšími hodnotami emisních faktorů. U zdrojů se jmenovitým tepelným příkonem vyšším než 100 MW jsou emisní faktory u většiny sledovaných znečišťujících látek vyšší než u zdrojů s nižším tepelným příkonem. Hlavní příčinou vyšších hodnot emisních faktorů je pravděpodobně spalování uhlí horší kvality v tepelných elektrárnách.

Výsledný návrh emisních faktorů (Tab. 8-13) zahrnuje i znečišťující látky, typy spalovacích zdrojů a paliv, u kterých se v ČR monitoring neprovádí. Tyto údaje byly převzaty z EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook (EEA 2016). V případě, že doporučené hodnoty emisních faktorů nereprezentovaly úroveň znečišťování ze zdrojů v ČR, byla jejich hodnota upravena odborným odhadem. Mezi tyto případy patří spalování biomasy, pro které jsou v kapitole 1.A.1 Energy industries na úrovni Tier 2 doporučovány pouze emisní faktory pro granulární typ topeniště bez opatření ke snižování emisí TZL (Table 3-13). Odborný odhad kombinuje doporučené emisní faktory se zahrnutím vlivu odlučivosti jednotlivých znečišťujících látek pro elektrostatický odlučovač (Meij, Te Winkel 2007) s výsledky několika měření, provedených na zdrojích v ČR.

Kapitoly 1.A.1 Energy industries a 1.A.4 Small combustion neuvádí na úrovni Tier 2 emisní faktory pro roštové typy topenišť. Emisní faktory pro tyto typy topenišť s celkovým jmenovitým tepelným příkonem do 5 MW spalující hnědé uhlí byly převzaty podle projektu VaV/520/1/97 (Bureš 1998). V případě spalování černého uhlí vychází odborný odhad emisních faktorů z výsledků několika měření na zdrojích v ČR s měřicím místem před odlučovacími zařízeními ke snižování emisí TZL nebo při jeho poruše a odlučivosti cyklónového typu odlučovače pro jednotlivé znečišťující látky zjištěné v projektu VaV/520/1/97 (Bureš 1998). Pro Cr, Cu, Ni, Se a Zn byly použity doporučené emisní faktory z kapitoly 1.A.4 Small combustion, Table 3-27. Pro spalování biomasy v roštových typech topenišť s celkovým jmenovitým tepelným příkonem do 5 MW nejlépe vyhovovaly emisní faktory z kapitoly 1.A.4 Small combustion, úroveň Tier 1, Table 3-10.

Spalování kapalných paliv na zdrojích se jmenovitým tepelným příkonem vyšším než 50 MW v ČR probíhalo pouze ojediněle a nepodařilo se shromáždit dostatečné množství výsledků měření pro vyhodnocení emisních faktorů. V případě spalování kapalných a plyných paliv byla proto přijata doporučení EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook (EEA 2016). Výjimku představuje

emisní faktor PCB, který v doporučeních není pro kapalná paliva uveden a jeho hodnota byla odvozena z výsledků projektu VaV/520/1/97 (Bureš 1998). Doporučení rovněž nezahrnují emisní faktory všech kongenerů PAH při spalování kapalných paliv, proto byly jejich hodnoty stanoveny odborným odhadem podle výsledků několika provedených měření.

## Závěr

Stanovení národních emisních faktorů těžkých kovů a POPs ze spalovacích procesů v kategoriích REZZO 1 a REZZO 2 a jejich porovnání s emisními faktory doporučovanými pro inventarizaci emisí podle CLRTAP nebylo doposud možné provést kvůli nedostatku vhodných podkladů. Díky spolupráci s ČIŽP se nyní podařilo shromáždit a zpracovat rozsáhlý soubor výsledků z jednorázových měření emisí těchto látek na zdrojích v ČR. Zpracování těchto dat potvrdilo závěry dřívějších prací, že nejvhodnější způsob vyjádření hodnoty emisních faktorů těchto látek je hodnota mediánu. Těmito emisními faktory byly aktualizovány původní emisní faktory stanovené jako aritmetický průměr. Porovnání nově stanovených emisních faktorů pro spalování pevných fosilních paliv s emisními faktory v EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook (EEA 2016) ukázalo, že doporučované hodnoty jsou ve většině případů několikanásobně vyšší a nejsou reprezentativní pro použití k inventarizaci emisí v podmínkách ČR. Pro další aktualizaci emisních faktorů těžkých kovů a POPs ze spalovacích procesů by bylo vhodné realizovat více měření emisí těchto látek ze spalování uhlí a biomasy v kotlích nižších příkonů.

## Literatura

KOLÁŘOVÁ, L., 2016. Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2015. Praha: ČHMÚ, ISBN 978-80-87577-60-8

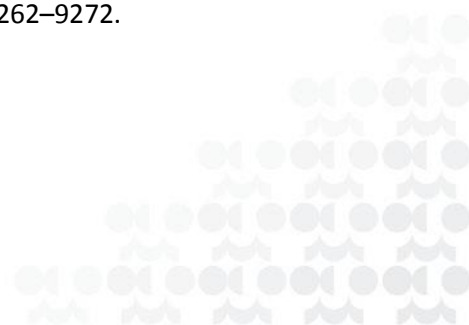
EEA, 2016. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016. Luxembourg: European Environment Agency. ISBN 978-92-9213-806-6, ISSN 1977-8449 [online]. [cit. 8. 7. 2017]. Dostupné z WWW / Available at: <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>

KURFÜRST, J., 2000. Stanovení emisních faktorů stopových znečišťujících látek s využitím statistických metod. *Ochrana ovzduší*, roč. 12, č. 4-5, s. 11-15. ISSN 1211-0337.

MACHÁLEK, P. a kol., 1999. Emisní bilance respektující stav a vývoj inventarizace emisí v České republice a v zahraničí. DÚ 05 projektu VaV/520/1/97 Výzkum a vývoj vědeckých podkladů kvantifikace znečišťování ovzduší ČR, Praha: ČHMÚ.

BUREŠ, V., 1998. Realizace měření emisí těžkých kovů a POP, stanovení hmotnostních toků a koncentrací těžkých kovů na určených zdrojích. Dílčí zprávy k DÚ 01 etapě E04 a DÚ 02 etapě E02 projektu VaV/520/1/97 Výzkum a vývoj vědeckých podkladů kvantifikace znečišťování ovzduší ČR, Praha: TESO Praha, a.s.

Meij, R., Te Winkel, H., 2007. The emissions of heavy metals and persistent organic pollutants from modern coal-fired power stations. *Atmospheric Environment*, č. 41, s. 9262–9272.



Typ topeniště	Palivo	Příkon MW	Pb mg.GJ <sup>-1</sup>	Cd mg.GJ <sup>-1</sup>	Hg mg.GJ <sup>-1</sup>	As mg.GJ <sup>-1</sup>	Cr mg.GJ <sup>-1</sup>	Cu mg.GJ <sup>-1</sup>	Ni mg.GJ <sup>-1</sup>	Se mg.GJ <sup>-1</sup>	Zn mg.GJ <sup>-1</sup>
Roštové topeniště	Hnědé uhlí	<5	59,471	1,294	2,382	60,967	38,383	69,545	62,104	5,192	30,756
		5 - 50	6,67	0,495	1,924	2,102	9,1	1	27,67	45	8,8
		50 - 100	6,67	0,495	1,924	2,102	9,1	1	27,67	45	8,8
		>100	6,67	0,495	1,924	2,102	9,1	1	27,67	45	8,8
Roštové topeniště	Černé uhlí	<5	13,687	2,456	9,051	9,402	15	10	10	2	150
		5 - 50	2,656	0,823	1,744	0,243	4,5	7,8	4,9	23	19
		50 - 100	2,656	0,823	1,744	0,243	4,5	7,8	4,9	23	19
		>100	2,656	0,823	1,744	0,243	4,5	7,8	4,9	23	19
Roštové topeniště	Biomasa	<5	27	13	0,56	0,19	23	6	2	0,5	512
		5 - 50	1,606	0,169	1,268	0,871	0,027	0,106	0,085	0,211	1,991
		50 - 100	1,606	0,169	1,268	0,871	0,027	0,106	0,085	0,211	1,991
		>100	1,606	0,169	1,268	0,871	0,027	0,106	0,085	0,211	1,991
Práškové topeniště	Hnědé uhlí	<5	1,653	0,125	2,24	0,829	9,1	1	9,7	45	8,8
		5 - 50	1,653	0,125	2,24	0,829	9,1	1	9,7	45	8,8
		50 - 100	1,653	0,125	2,24	0,829	9,1	1	9,7	45	8,8
		>100	4,071	0,292	2,965	0,76	9,1	1	3,374	45	8,8
Práškové topeniště	Černé uhlí	<5	0,515	0,048	0,476	0,122	4,5	7,8	3,399	23	19
		5 - 50	0,515	0,048	0,476	0,122	4,5	7,8	3,399	23	19
		50 - 100	0,515	0,048	0,476	0,122	4,5	7,8	3,399	23	19
		>100	2,722	0,268	0,668	0,339	4,5	7,8	4,537	23	19
Práškové topeniště	Biomasa	<5	1,606	0,169	1,268	0,871	0,027	0,106	0,085	0,211	1,991
		5 - 50	1,606	0,169	1,268	0,871	0,027	0,106	0,085	0,211	1,991
		50 - 100	1,606	0,169	1,268	0,871	0,027	0,106	0,085	0,211	1,991
		>100	1,606	0,169	1,268	0,871	0,027	0,106	0,085	0,211	1,991
Fluidní topeniště	Hnědé uhlí	<5	2,037	0,282	1,5	0,922	9,1	1	4,803	45	8,8
		5 - 50	2,037	0,282	1,5	0,922	9,1	1	4,803	45	8,8
		50 - 100	2,037	0,282	1,5	0,922	9,1	1	4,803	45	8,8
		>100	2,037	0,282	1,5	0,922	9,1	1	4,803	45	8,8
Fluidní topeniště	Černé uhlí	<5	0,515	0,048	0,476	0,122	4,5	9	3,399	23	90
		5 - 50	0,515	0,048	0,476	0,122	4,5	9	3,399	23	90
		50 - 100	0,515	0,048	0,476	0,122	4,5	9	3,399	23	90
		>100	0,515	0,048	0,476	0,122	4,5	9	3,399	23	90
Fluidní topeniště	Biomasa	<5	1,606	0,169	1,268	0,871	0,027	0,106	0,085	0,211	1,991
		5 - 50	1,606	0,169	1,268	0,871	0,027	0,106	0,085	0,211	1,991
		50 - 100	1,606	0,169	1,268	0,871	0,027	0,106	0,085	0,211	1,991
		>100	1,606	0,169	1,268	0,871	0,027	0,106	0,085	0,211	1,991
-	Kapalná paliva	<5	4,56	1,2	0,341	3,98	2,55	5,31	255	2,06	87,8
		5 - 50	4,56	1,2	0,341	3,98	2,55	5,31	255	2,06	87,8
		50 - 100	4,56	1,2	0,341	3,98	2,55	5,31	255	2,06	87,8
		>100	4,56	1,2	0,341	3,98	2,55	5,31	255	2,06	87,8
-	Plynná paliva	<5	0,0015	0,00025	0,1	0,12	0,00076	0,000076	0,00051	0,0112	0,0015
		5 - 50	0,0015	0,00025	0,1	0,12	0,00076	0,000076	0,00051	0,0112	0,0015
		50 - 100	0,0015	0,00025	0,1	0,12	0,00076	0,000076	0,00051	0,0112	0,0015
		>100	0,0015	0,00025	0,1	0,12	0,00076	0,000076	0,00051	0,0112	0,0015

	projekt VaV520/1/97
	EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, Tier 2
	protokoly
	odborný odhad

Tab. 8 Emisní faktory těžkých kovů ze spalování paliv v kotlích



Typ topeniště	Palivo	Příkon MW	PCBs µg.GJ <sup>-1</sup>	PCDD/F ng TEQ.GJ <sup>-1</sup>	BaP µg.GJ <sup>-1</sup>	BbF µg.GJ <sup>-1</sup>	BkF µg.GJ <sup>-1</sup>	InP µg.GJ <sup>-1</sup>	PAH µg.GJ <sup>-1</sup>	HCB µg.GJ <sup>-1</sup>
Roštové topeniště	Hnědé uhlí	<5	5,059	4,986	320,06	518,48	518,48	400,32	1757,3	6,7
		5 - 50	0,757	7,68	3,147	7,973	4,047	4,203	19,37	6,7
		50 - 100	0,757	7,68	3,147	7,973	4,047	4,203	19,37	6,7
		>100	0,757	7,68	3,147	7,973	4,047	4,203	19,37	6,7
Roštové topeniště	Černé uhlí	<5	8,073	14,657	10,975	18,54	10,966	5,956	46,437	6,7
		5 - 50	0,395	2,299	2,4	4,768	3,085	2,08	12,33	6,7
		50 - 100	0,395	2,299	2,4	4,768	3,085	2,08	12,33	6,7
		>100	0,395	2,299	2,4	4,768	3,085	2,08	12,33	6,7
Roštové topeniště	Biomasa	<5	0,007	100	10000	16000	5000	4000	35000	5
		5 - 50	2,233	11,348	46,462	144,33	67,897	33,073	291,76	5
		50 - 100	2,233	11,348	46,462	144,33	67,897	33,073	291,76	5
		>100	2,233	11,348	46,462	144,33	67,897	33,073	291,76	5
Práškové topeniště	Hnědé uhlí	<5	1,066	6,525	1,971	2,731	2,324	2,095	9,121	6,7
		5 - 50	1,066	6,525	1,971	2,731	2,324	2,095	9,121	6,7
		50 - 100	1,066	6,525	1,971	2,731	2,324	2,095	9,121	6,7
		>100	0,547	1,925	4,653	6,187	4,915	5,664	21,419	6,7
Práškové topeniště	Černé uhlí	<5	0,244	2,055	2,271	5,066	2,64	2,232	12,209	6,7
		5 - 50	0,244	2,055	2,271	5,066	2,64	2,232	12,209	6,7
		50 - 100	0,244	2,055	2,271	5,066	2,64	2,232	12,209	6,7
		>100	1,176	1,314	2,844	5,433	3,786	3,662	15,725	6,7
Práškové topeniště	Biomasa	<5	2,233	11,348	46,462	144,33	67,897	33,073	291,76	5
		5 - 50	2,233	11,348	46,462	144,33	67,897	33,073	291,76	5
		50 - 100	2,233	11,348	46,462	144,33	67,897	33,073	291,76	5
		>100	2,233	11,348	46,462	144,33	67,897	33,073	291,76	5
Fluidní topeniště	Hnědé uhlí	<5	1,449	2,778	5,148	7,621	5,321	5,559	23,649	6,7
		5 - 50	1,449	2,778	5,148	7,621	5,321	5,559	23,649	6,7
		50 - 100	1,449	2,778	5,148	7,621	5,321	5,559	23,649	6,7
		>100	1,449	2,778	5,148	7,621	5,321	5,559	23,649	6,7
Fluidní topeniště	Černé uhlí	<5	0,244	2,055	2,271	5,066	2,64	2,232	12,209	6,7
		5 - 50	0,244	2,055	2,271	5,066	2,64	2,232	12,209	6,7
		50 - 100	0,244	2,055	2,271	5,066	2,64	2,232	12,209	6,7
		>100	0,244	2,055	2,271	5,066	2,64	2,232	12,209	6,7
Fluidní topeniště	Biomasa	<5	2,233	11,348	46,462	144,33	67,897	33,073	291,76	5
		5 - 50	2,233	11,348	46,462	144,33	67,897	33,073	291,76	5
		50 - 100	2,233	11,348	46,462	144,33	67,897	33,073	291,76	5
		>100	2,233	11,348	46,462	144,33	67,897	33,073	291,76	5
-	Kapalná paliva	<5	3,334	2,5	3,678	12,673	3,968	6,484	26,803	-
		5 - 50	3,334	2,5	3,678	12,673	3,968	6,484	26,803	-
		50 - 100	3,334	2,5	3,678	12,673	3,968	6,484	26,803	-
		>100	3,334	2,5	3,678	12,673	3,968	6,484	26,803	-
-	Plynná paliva	<5	-	0,5	0,56	0,84	0,84	0,84	3,08	0,00308
		5 - 50	-	0,5	0,56	0,84	0,84	0,84	3,08	0,00308
		50 - 100	-	0,5	0,56	0,84	0,84	0,84	3,08	0,00308
		>100	-	0,5	0,56	0,84	0,84	0,84	3,08	0,00308

	projekt VaV520/1/97
	EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016, Tier 2
	protokoly
	odborný odhad

Tab. 9 Emisní faktory POPs ze spalování paliv v kotlích

Typ topeniště	Palivo	Pb mg.GJ <sup>-1</sup>	Cd mg.GJ <sup>-1</sup>	Hg mg.GJ <sup>-1</sup>	As mg.GJ <sup>-1</sup>	Cr mg.GJ <sup>-1</sup>	Cu mg.GJ <sup>-1</sup>	Ni mg.GJ <sup>-1</sup>	Se mg.GJ <sup>-1</sup>	Zn mg.GJ <sup>-1</sup>
Plynové turbíny	Plynná paliva	0,0015	0,0003	0,1	0,12	0,0008	8E-05	0,0005	0,0112	0,0015
Stacionární motory	Plynná paliva	0,04	0,003	0,1	0,05	0,05	0,01	0,05	0,2	2,91
Stacionární motory	Kapalná paliva	4,07	1,36	1,36	1,81	1,36	2,72	1,36	6,79	1,81

Tab. 10 Emisní faktory těžkých kovů pro spalování paliv v plynových turbínách a stacionárních motorech

Typ topeniště	Palivo	PCBs μg.GJ <sup>-1</sup>	PCDD/F ng TEQ.GJ <sup>-1</sup>	BaP μg.GJ <sup>-1</sup>	BbF μg.GJ <sup>-1</sup>	BkF μg.GJ <sup>-1</sup>	InP μg.GJ <sup>-1</sup>	PAH μg.GJ <sup>-1</sup>	HCB μg.GJ <sup>-1</sup>
Plynové turbíny	Plynná paliva	-	0,5	0,56	0,84	0,84	0,84	3,08	0,0031
Stacionární motory	Plynná paliva	-	0,57	1,2	9	1,7	1,8	13,7	-
Stacionární motory	Kapalná paliva	0,0001	0,99	116	502	98,7	187	903,7	0,22

Tab. 11 Emisní faktory POPs pro spalování paliv v plynových turbínách a stacionárních motorech

Typ topeniště	Palivo	Pb mg.GJ <sup>-1</sup>	Cd mg.GJ <sup>-1</sup>	Hg mg.GJ <sup>-1</sup>	As mg.GJ <sup>-1</sup>	Cr mg.GJ <sup>-1</sup>	Cu mg.GJ <sup>-1</sup>	Ni mg.GJ <sup>-1</sup>	Se mg.GJ <sup>-1</sup>	Zn mg.GJ <sup>-1</sup>
Procesní pece	Rafinérský plyn	1,79	0,712	0,086	0,343	2,74	2,22	3,6	0,42	25,5

Tab. 12 Emisní faktory těžkých kovů pro spalování rafinérského plynu v procesních pecích

Typ topeniště	Palivo	PCBs μg.GJ <sup>-1</sup>	PCDD/F ng TEQ.GJ <sup>-1</sup>	BaP μg.GJ <sup>-1</sup>	BbF μg.GJ <sup>-1</sup>	BkF μg.GJ <sup>-1</sup>	InP μg.GJ <sup>-1</sup>	PAH mg.GJ <sup>-1</sup>	HCB μg.GJ <sup>-1</sup>
Procesní pece	Rafinérský plyn	-	-	0,669	1,14	0,631	0,631	3,071	-

Tab. 13 Emisní faktory POPs pro spalování rafinérského plynu v procesních pecích