Stanovení emisních faktorů CH_4 a N_2O ze stacionárního spalování vybraných paliv v podmínkách České republiky

Determination of CH_4 and N_2O emission factors from stationary combustion of selected fuels under the conditions of the Czech Republic

Andrea Veselá, Barbora Votavová, Šárka Neužilová, Vladimír Neužil
KONEKO marketing, spol. s r. o.
Sojovická 2
197 00 Praha 9-Kbely
✉ veselkaandrea@icloud.com

The article presents the results of determining nationally specific emission factors of CH_4 and N_2O originating from stationary combustion of selected fuels under conditions typical for the Czech Republic. The values were derived from operational measurements at real sources classified mainly under categories 1A1a (Public Electricity and Heat Production) and 1A4a (Commercial/Institutional) according to the IPCC methodology. The fuels measured included lignite, co-firing of lignite and biomass, natural gas, light fuel oil and municipal solid waste. The results were compared with default emission factors currently used in the national inventory. The largest difference was found for N_2O from lignite combustion, where the determined values exceed the current default factor, particularly in relation to the prevalence of fluidized bed technologies. In contrast, for natural gas in large sources, both CH_4 and N_2O emission factors were lower than the default values. The results confirm that for non-CO_2 greenhouse gases, combustion technology and source size are as important as fuel type. The obtained data provide a basis for the gradual implementation of country-specific emission factors in key categories of the Czech inventory.

KLÍČOVÁ SLOVA: emisní faktor – metan – oxid dusný – stacionární spalování – IPCC – národní inventarizace – hnědé uhlí – zemní plyn

KEYWORDS: emission factor – methane – nitrous oxide – stationary combustion – IPCC – national inventory – brown coal – natural gas

1. Úvod

Problematika inventarizace emisí skleníkových plynů představuje klíčový nástroj pro hodnocení dopadů lidské činnosti na klima a pro tvorbu účinných opatření v oblasti jeho ochrany. Pro zajištění mezinárodní srovnatelnosti jsou inventarizace skleníkových plynů, včetně té české, počítány v souladu s metodikou 2006 IPCC Guidelines (IPCC 2006c; dále jen metodika). Metodika umožňuje použití tří úrovní výpočtu (Tier 1 až Tier 3). Tier 1 vychází z aktivitních dat (v energetice se jedná o údaje o spotřebě paliv) a defaultních emisních faktorů IPCC (standardní hodnoty emisního faktoru doporučené metodikou). Tier 2 používá národně specifické emisní faktory (country-specific emission factors, dále CS EF), které lépe odrážejí podmínky daného státu. Tier 3 využívá detailní data jednotlivých zdrojů, průběžná měření nebo modelové výpočty. Metodika taktéž doporučuje využívat minimálně Tier 2 z důvodu vyšší přesnosti pro tzv. klíčové kategorie (tj. kategorie s významným podílem na celkových národních emisích).

Jedním z nejvýznamnějších sektorů, který se na celkových emisích skleníkových plynů podílí, je energetika. Tento sektor zahrnuje široké spektrum činností od výroby elektřiny a tepla až po spalování paliv v průmyslu, dopravě a domácnostech, a proto představuje dominantní zdroj emisí ve většině zemí světa. Vysoký podíl emisí z energetiky je úzce spojen zejména se spalováním fosilních paliv, které je stále základním pilířem energetických systémů mnoha států včetně České republiky. V roce 2024 se v České republice energetika podílela na celkových emisích (CO_2, CH_4, N_2O) skleníkových plynů 78,77 % (ČHMÚ 2026). Vysoký podíl CO_2 souvisí hlavně se spalováním uhlí (které je stále významné v energetice ČR), CH_4 pochází zejména z úniků při těžbě a distribuci paliv a N_2O vzniká při spalování (především při nižších teplotách). V sektoru energetiky v České republice jednoznačně dominuje CO_2, který dlouhodobě tvoří přibližně 96–98 % emisí, zatímco podíl CH_4 a N_2O je výrazně nižší (v roce 2024 to bylo 3,5 %), avšak vzhledem k jejich vyšším hodnotám GWP (Global Warming Potential) zůstávají v problematice globálního oteplování významné. Dle páté Hodnotící zprávy IPCC je GWP (100letý horizont) pro CH_4 stanoven na 28 a pro N_2O na 265 (IPCC 2014). N_2O se v české národní inventarizaci propisuje i do klíčových kategorií, konkrétně v kategorii 1A1 (transformační sektor) a v 1A4 (ostatní). V obou případech se jedná o spalování pevných paliv. Z tohoto důvodu je kladen důraz na použití vyššího Tieru (CS EF nebo přímých dat), jak je zmíněno výše (ČHMÚ 2026).

https://doi.org/10.59984/mz.2026.03.01

Stanovení a využití CS EF je v národních inventurách poměrně běžné u CO_2, protože jeho emise lze přímo odvozovat od obsahu uhlíku v palivu a jeho výhřevnosti. U CH_4 a N_2O je situace odlišná. Jejich vznik není jednoduchou funkcí složení paliva, ale závisí na technologii spalování, teplotě, přebytku spalovacího vzduchu, promíchání paliva se vzduchem, době setrvání spalin v reakční zóně a provozním režimu zařízení. Nejčastěji se tyto CS EF objevují v sektoru dopravy, kde je využíván program COPERT, a proto je stanovení CS EF odlišné. Pokud má některý stát vypočtené tyto CS EF v sektoru stacionárního spalování, bývá to pro sektor 1A1 energetický průmysl, omezeně i pro sektor průmyslového zpracování (1A2). Mezi státy, které alespoň částečně využívají CS EF pro CH_4 a N_2O, patří Nizozemsko, Francie a v největší míře je mají stanovené Německo a Japonsko. Severské státy používají CS EF zejména pro spalování biomasy, Švédsko pak i pro spalování zemního plynu a ropných produktů. Polsko zatím používá CS EF pro spalování černého a hnědého uhlí a biomasy v kategorii 1A1 pro CH_4.

Jak je zmíněno výše, vznik CH_4 a N_2O má svá specifika. Při ideálním (dokonalém) spalování plynných i pevných paliv ve spalovacích zařízeních dochází k úplné oxidaci uhlovodíků, přičemž například hlavní složka zemního plynu – CH_4 – reaguje s O_2 za vzniku CO_2 a H_2O (Turns 2012; Glassman et al. 2014).

V reálných provozních podmínkách však spalování často není dokonale homogenní ani za dostatečně vysokého koeficientu přebytku kyslíku. Při nedostatku spalovacího vzduchu, nízké teplotě plamene nebo špatném promíchání paliva se vzduchem dochází k tzv. nedokonalému spalování, které vede ke vzniku meziproduktů – zejména CO a nespálených uhlovodíků včetně CH_4 (Heywood 1988; Warnatz et al. 2006). CH_4 tak v tomto kontextu nevzniká primárně jako produkt chemické reakce spalování, ale jako důsledek jeho nedokončení: část paliva uniká spalovací zónou bez úplné oxidace. Tento jev byl potvrzen i v českých studiích zaměřených na spalování pevných fosilních paliv a provoz velkých spalovacích zdrojů, kde bylo prokázáno, že nedokonalé promíchání paliva a vzduchu, lokální nedostatek kyslíku a nehomogenní teplotní pole vedou ke vzniku CO a nespálených uhlovodíků, včetně CH_4, ve spalinách (Straka 2011; Dlouhý et al. 2012). Tyto fenomény jsou typické zejména pro spalování práškového uhlí v energetických kotlích, kde je průběh spalování silně závislý na aerodynamice plamene a lokálních podmínkách v ohništi. Při spalování kapalných paliv (např. lehkých topných olejů) CH_4 obvykle nevzniká jako významný primární produkt; podobně jako u plynných paliv vzniká spíše jako krátkodobý meziprodukt rozkladných reakcí než jako stabilní emisní složka (Turns 2012; Baukal 2013).

Při spalování pevných paliv vzniká N_2O jako vedlejší produkt reakcí dusíkatých složek paliva i vzduchu, přičemž jeho tvorba je výrazně citlivá na teplotu a lokální podmínky v plameni. Na rozdíl od oxidů dusíku (NO a NO_2), které dominují při vysokoteplotním spalování, se N_2O tvoří především při nižších teplotách (cca 800–900 °C), typicky při spalování uhlí nebo v zařízeních s fluidní vrstvou. Mechanismus jeho vzniku zahrnuje především tzv. „fuel-NO_x“ cestu, kdy N vázaný v palivu (např. v hnědém nebo černém uhlí) přechází přes meziprodukty, jako jsou kyanovodík (HCN) nebo amoniak (NH_3), které následně reagují za vzniku N_2O (De Soete 1990; Straka 2011; Turns 2012). Významnou roli hraje také přebytek spalovacího vzduchu a doba setrvání spalin v reakční zóně – nižší teplota spalování a omezená oxidace podporují tvorbu N_2O, zatímco při vyšších teplotách dochází k jeho rozkladu na N_2 a NO. Emise N_2O jsou proto obecně nízké u klasických vysokoteplotních uhelných kotlů, ale mohou být vyšší zejména u nízkoteplotních technologií, např. fluidního spalování (Warnatz et al. 2006; Glassman et al. 2014; Dlouhý et al. 2012). U plynných paliv, která obsahují minimum vázaného dusíku, je tvorba N_2O obecně nižší, avšak může vznikat i z molekulárního N_2 ve vzduchu prostřednictvím tzv. „prompt-NO_x“ mechanismů a následných redukčních reakcí. Při spalování kapalných paliv je princip vzniku N_2O stejný, ale kapalná paliva jako např. lehké topné oleje obsahují velmi nízký podíl dusíku a spalují se při vyšších lokálních teplotách, což obecně podporuje spíše vznik NO_x než stabilitu N_2O (Warnatz et al. 2006). Významným zdrojem N_2O v České republice jsou dále emise vznikající při výrobě kyseliny dusičné jako nezáměrný vedlejší produkt vysokoteplotní katalytické oxidace amoniaku. Tyto emise jsou v národní inventarizaci vykazovány v sektoru Průmyslových procesů a užití produktů (ČHMÚ 2026; IPCC 2006b).

Cílem této studie bylo stanovit emisní faktory CH_4 a N_2O pro vybraná paliva a typy stacionárních zdrojů v podmínkách České republiky, porovnat je s defaultními hodnotami používanými v současné inventarizaci a posoudit jejich využitelnost pro budoucí zpřesnění národní inventury. Měření byla provedena na provozovaných spalovacích zařízeních v reálných podmínkách, což zvyšuje jejich vypovídací hodnotu pro inventarizační praxi.

2. Metodika

2.1 Výběr zdrojů a měření paliv

Měření byla realizována ve spolupráci s akreditovanými měřicími pracovišti: Technické služby ochrany ovzduší Praha a. s. a Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Výzkumné energetické centrum. Cílem měření bylo získat údaje o koncentracích CH_4 a N_2O ve spalinách z reálně provozovaných spalovacích zařízení. Součástí měření bylo dále stanovení obsahu O_2 a vodní páry. Tyto údaje byly posléze použity pro přepočet koncentrací na referenční podmínky a pro následné stanovení emisních faktorů. Během měření byl taktéž sledován výkon zařízení, které bylo po celou dobu měření v průměrném provozním zatížení. Naměřené hodnoty byly následně vyhodnoceny akreditovanými pracovišti dle postupu uvedeného v ČSN EN 14181.

Paliva, která byla měřena, byla vybrána na základě požadavků národní inventarizace a možností tato paliva na zdrojích měřit. Konkrétně byla měření provedena na zařízeních spalujících zemní plyn, lehký topný olej, hnědé uhlí, komunální odpad a spoluspalování hnědého uhlí a biomasy (poměr mezi palivy byl 25–35 % hnědého uhlí a 65–75 % biomasy). Souhrnně bylo provedeno 69 měření (38 v kategorii 1A1a, 31 měření v 1A4a), přičemž pro každé palivo bylo provedeno minimálně 6 měření.

Mezi analyzovanými spalovacími zařízeními byly tyto typy: fluidní cirkulační zařízení, stacionární fluidní zařízení, granulační zařízení, roštové zařízení, ZEVO (zařízení pro energetické využití odpadu), zařízení na spalování topných olejů.

2.2 Zpracování dat

Výchozím bodem analýzy bylo rozdělení získaných dat do jednotlivých kategorií IPCC, a to konkrétně 1A1a (elektrárny a teplárny) a 1A4a (instituce a komerční prostory). Sekundárně

byly zdroje děleny podle uvedeného tepelného výkonu zdroje, který vychází z členění REZZO (REZZO – Registr emisí a zdrojů znečišťování ovzduší). Velké a zvláště velké zdroje (> 5 MW) jsou řazeny do kategorie 1A1a a do 1A4a byly zahrnuty střední spalovací zdroje (0,2–5 MW).

Pro stanovení emisních faktorů CH_4 a N_2O bylo zapotřebí přepočítat uvedenou spotřebu pomocí výhřevnosti paliv na celkový tepelný příkon (Q_A) v GJ/h. Dále byly suché teoretické spaliny přepočítány na skutečný objem spalin dle koncentrace kyslíku ve spalinách. Jako poslední krok bylo zapotřebí stanovit korelovaný příkon z tepelného příkonu, objemového průtoku suchého plynu a skutečného objemu spalin. Pokud nebylo možné některou hodnotu spolehlivě stanovit, nebyla zahrnuta do výpočtu průměrného emisního faktoru. Poté už byly dostupné všechny hodnoty pro výpočet emisního faktoru ze vztahu:

$$EF_i = (m_i / P) \cdot 1\,000 \qquad (1)$$

kde EF_i je emisní faktor sledované látky i (kg/TJ), m_i je hmotnostní tok sledované látky (kg/h) a P je korelovaný tepelný příkon paliva (GJ/h). Násobek 1 000 vyjadřuje převod z kg/GJ na kg/TJ. Pro výpočet průměrných emisních faktorů byly použity vyhodnocené hodnoty z jednotlivých měření.

Pro každý emisní faktor podle studovaného paliva, skleníkového plynu a kategorie IPCC byly rovněž stanoveny hodnoty relativních nejistot emisních faktorů, které jsou uvedeny níže v tabulkách 1 a 2. Tyto nejistoty byly odhadnuty v souladu s metodikou IPCC a metodickým postupem každoročně aplikovaným při zpracování národní inventarizace emisí skleníkových plynů. Tento postup podrobně popsali Veselá et al. (2020). Relativní nejistota je dle metodiky IPCC definována jako charakteristika, která vyjadřuje rozptyl hodnot, jež lze přiměřeně přiřadit odhadované veličině. V případě emisního faktoru tedy jde o nejistotu samotné hodnoty EF, nikoliv o nejistotu emisí jako celku. Pro stanovení nejistot vypočtených emisních faktorů CH_4 a N_2O byly využity dva nezávislé expertní odhady, jejichž výsledné hodnoty byly následně zprůměrovány. Při odhadu nejistot byly zohledněny zejména nepřesnosti měření, variabilita mezi jednotlivými měřeními a reprezentativnost datového souboru pro všechny zdroje zahrnuté v dané kategorii.

3. Výsledky a diskuze

Stanovené emisní faktory byly porovnány s hodnotami používanými v současné české národní inventarizaci, které vycházejí z defaultních faktorů metodiky IPCC. Výsledky pro kategorii 1A1a jsou uvedeny v tab. 1 a výsledky pro kategorii 1A4a v tab. 2.

Emisní faktor CH_4, stanovený pro hnědé uhlí spalované v zařízeních zařazených do kategorie 1A1a, byl téměř shodný s hodnotou uváděnou metodikou IPCC. Naopak velký rozdíl se objevil u EF N_2O. Tento jev může být způsoben několika faktory. V našich naměřených vzorcích byla převaha fluidních technologií, které jsou známy tím, že se v nich snadno tvoří a málo rozkládá N_2O vzhledem k nižší spalovací teplotě oproti práškovým kotlům (Andersson 1988). I metodika IPCC uvádí členění emisních faktorů dle typu technologie a pro fluidní kotle na pevná paliva doporučuje používat emisní faktor pro N_2O 61 kg/TJ (IPCC 2006a), tedy ještě výrazně vyšší než námi stanovený. Případně u fluidních technologií mohl být použit sekundární vzduch, který opět navyšuje N_2O ve spalinách. Výzkumný tým nedisponuje dostatečně podrobnými daty o technologiích, na kterých byla provedena měření. Z volně dostupných informací (Šťastný 2010; Knápek et al. 2021) lze usuzovat, že instalace právě stacionárních fluidních kotlů je v posledních desetiletích v teplárenství na vzestupu, tudíž i převaha fluidních technologií v našich měřeních pravděpodobně koresponduje s realitou. Emisní faktor N_2O je značně variabilní a závisí zejména na teplotě spalování, míře přebytku vzduchu a použité technologii.

V metodice IPCC se nevyskytuje navržený emisní faktor pro směs hnědého uhlí a biomasy. Tato palivová směs je zde uvedena pro porovnání se spalováním pouze hnědého uhlí. Z provedených měření vychází EF CH_4 1,70 kg/TJ, tedy mírně vyšší než hodnota pro samotné hnědé uhlí. Vyšší hodnota EF může být podmíněna opět tím, že měření probíhalo výhradně na fluidním loži, kde je nižší teplota spalování, a tudíž těkavé látky z biomasy nestihly dostatečně zreagovat (ASHRAE 2017). Co se týče EF N_2O, ten by měl být přídavkem biomasy k uhlí snižován, což lze pozorovat i na datech získaných v rámci tohoto výzkumu. Tento efekt je způsoben tím, že biomasa obsahuje obecně méně dusíku než hnědé uhlí, a navíc jej obsahuje v reaktivnějších formách, takže se častěji přemění na N_2 místo vzniku N_2O (Saikaew et al. 2012).

Z porovnání emisních faktorů pro zemní plyn vyplývá, že EF navržené metodikou IPCC jsou vyšší než vypočtené z našich reálných dat. Z hodnot je patrné, že spalování zemního plynu ve vybraných zařízeních v kategorii 1A1a (velké zdroje) je velmi efektivní a vznikají jen minimální emise CH_4 i N_2O.

Zajímavou částí je spalování komunálního odpadu v ZEVO (zařízení pro energetické využití odpadu). Ze stanovených emisních faktorů vyplývá, že spalování odpadů vede k vyšší tvorbě N_2O než CH_4. To je dáno skutečností, že dochází k vysokoteplotnímu spalování (900–1 200 °C), kde se CH_4 téměř kompletně oxiduje, a naopak je zde značné množství dusíku z odpadu, který je ještě doplněn z vedlejších reakcí při redukčních technologiích, jako např. selektivní nekatalytická redukce, při níž dochází ke vstřikování amoniaku nebo močoviny přímo do spalin (Pražské služby 2026). Dochází tím k odstranění NO_x za

Tab. 1 Porovnání emisních faktorů defaultních a vypočtených pro 1A1a.
Table 1. Comparison of default and calculated emission factors for 1A1a.

1A1a						
Palivo	EF IPCC [kg/TJ]		EF stanovený [kg/TJ]		Nejistota [%]	
	CH_4	N_2O	CH_4	N_2O	CH_4	N_2O
Hnědé uhlí (HU)	1	1,5	1,12	16,56	20	55
Hnědé uhlí a biomasa (HU+BM)	nestanoveno	nestanoveno	1,7	14,53	34,5	48
Zemní plyn (ZP)	1	0,1	0,12	0,02	7	27,5
Komunální odpad (KO)	30	4	1,76	5,93	27,5	48,5

Tab. 2 Porovnání emisních faktorů defaultních a vypočtených pro 1A4a.
Table 2. Comparison of default and calculated emission factors for 1A4a.

1A4a						
Palivo	**EF IPCC [kg/TJ]**		**EF stanovený [kg/TJ]**		**Nejistota [%]**	
	CH_4	**N_2O**	**CH_4**	**N_2O**	**CH_4**	**N_2O**
Hnědé uhlí (HU)	10	1,5	neměřeno	13,72	–	57,5
Zemní plyn (ZP)	5	0,1	1,53	0,4	14	27,5
Lehký topný olej (LTO)	10	0,6	0,88	0,64	9	16

Tab. 3 Porovnání výsledných emisí za použití nově stanovených EF s defaultními EF dle metodiky IPCC (kt/rok).
Table 3. Comparison of resulting emissions using newly determined EFs with default EFs according to the IPCC methodology (kt/year).

Palivo	**CH_4**			
1A1a	**Default**	**CS EF**	**kt**	**%**
Hnědé uhlí (HU)	0,257	0,288	0,031	12,06
Zemní plyn (ZP)	0,046	0,005	–0,041	–89,13
Komunální odpad (KO)	0,105	0,006	–0,099	–94,286
1A4a	Default	CS EF	kt	%
Hnědé uhlí (HU)	0,004	NA	–	–
Zemní plyn (ZP)	0,193	0,121	–0,072	–37,306
Lehký topný olej (LTO)	0,00043	0,00004	–0,00039	–90,698
	N_2O			
1A1a	**Default**	**CS EF**	**kt**	**%**
Hnědé uhlí (HU)	0,385	4,25	3,865	1 003,90
Zemní plyn (ZP)	0,193	0,1215	–0,072	–37,097
Komunální odpad (KO)	0,00043	0,00004	0,00039	–91,212
1A4a	**Default**	**CS EF**	**kt**	**%**
Hnědé uhlí (HU)	0,001	0,005	0,004	814,50
Zemní plyn (ZP)	0,004	0,059	0,055	1 422,98
Lehký topný olej (LTO)	0,000026	0,000027	0,000	6,88

Tab. 4 Porovnání CS EF stanoveného v rámci publikace s CS EF (kg/TJ) jiných států z jejich NID.
Table 4. Comparison of the CS EF determined in this study with CS EFs (kg/TJ) of other countries based on their NIDs.

	CH_4					
1A1a	**ČR**	**Německo**	**Švédsko**	**Japonsko**	**Nizozemsko**	**Polsko**
Hnědé uhlí (HU)	1,12	0,63	NA	NA	NA	0,34
Zemní plyn (ZP)	0,12	10,93	1	0,23	7,45	NA
Komunální odpad (KO)	1,76	1,8	5	1,16*	5,17	NA
1A4a						
Hnědé uhlí (HU)	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Zemní plyn (ZP)	1,53	0,16	1	1,26	0,32	NA
Lehký topný olej (LTO)	0,88	0,03	0,9	0,83	NA	NA
1A1a	**N_2O**					
Hnědé uhlí (HU)	16,56	10,7	NA	NA	NA	NA
Zemní plyn (ZP)	0,02	0,9	0,1	0,17	0,26	NA
Komunální odpad (KO)	5,9	1,2	4	5,70*	0	NA
1A4a						
Hnědé uhlí (HU)	13,72	NA	NA	NA	NA	NA
Zemní plyn (ZP)	0,4	0,33	0,1	0,17	0,1	NA
Lehký topný olej (LTO)	0,64	0,55	0,6	0,22	NA	NA

* průměr spočítaný dle informací v národním dokumentu

NA – není v národní inventarizaci stanoven CS EF nebo se palivo v dané kategorii nespaluje

požadovaného vzniku N_2, ovšem za nesprávných teplot též N_2O (Ravina et al. 2018). Vysoký emisní faktor pro CH_4 navržený metodikou IPCC může být ovlivněn tím, že komunální odpad je palivo velice proměnlivého složení a typu a velmi závisí na dané spalovací technologii.

Výsledky získané pro druhou IPCC kategorii 1A4a, která zahrnuje menší zdroje vytápějící instituce a komerční prostory, vykazují výrazně větší podobnost mezi EF navrženými metodikou a námi stanovenými EF. Větší rozdíl je u EF CH_4 pro LTO, z dat, která byla zpracována, vyšel emisní faktor řádově nižší než uváděný metodikou. Stanovená hodnota naznačuje, že měřená spalovací zařízení měla správně seřízené hořáky, a tudíž nedocházelo k nedokonalému spalování, a LTO tak vykazoval nízký EF CH_4, což odpovídá dostupné literatuře (United States Environmental Protection Agency 2010).

Jak bylo zmíněno v textu výše, emisní faktory stanovené z měření byly použity pro modelový výpočet emisí CH_4 a N_2O s aktivitními daty za rok 2024 z národní inventarizace. Výsledky samozřejmě kopírují rozdíly mezi doporučovanými a nově stanovenými emisními faktory, což je shrnuto v tab. 3. Přestože u některých paliv se jedná o velké procentní změny, nárůst nebo pokles v absolutních číslech nedosahuje často ani jedné kilotuny.

V tab. 4 je shrnuto porovnání zemí, které již ve svých inventarizačních dokumentech používají své CS EF a mají ve svých NID (National Inventory Document) tyto hodnoty uvedeny. Z porovnání je patrné, že se emisní faktory pro téměř všechna paliva v obou kategoriích mezi jednotlivými zeměmi značně liší, což je dáno fyzikálními podmínkami vzniku obou plynů, jak je již zmíněno výše. Velký rozdíl je například u emisního faktoru CH_4 zemního plynu v kategorii 1A1a, přičemž Německo a Nizozemsko ho mají výrazně vyšší. Z jejich dokumentů NID vyplývá, že takto vysoký emisní faktor je způsoben spalováním surového zemního plynu (Nizozemsko) a detekcí velkých úniků metanu z nespáleného zemního plynu (Německo). U spalování hnědého uhlí je patrné, že není CS EF stanovován příliš často. Je to dáno tím, že ve zmíněných zemích (vyjma Německa) již nedochází k jeho spalování nebo jen v omezeném množství, a tudíž mu není věnována přílišná pozornost. Česká republika stále spaluje hnědé uhlí a v těchto dvou kategoriích (1A1a, 1A4a) se dosud jedná o dominantní palivo. Stanovené emisní faktory pro ČR jsou vyšší než německé, případně polské, což je dáno mixem spalovacích zařízení v našem vzorku dat. Emisní faktory pro lehký topný olej jsou poměrně vyrovnané napříč státy, zatímco emisní faktory pro komunální odpad se značně liší, což je dáno jejich velmi proměnlivým složením.

4. Závěr

Pro stanovení emisních faktorů CH_4 a N_2O v klíčových kategoriích národní inventarizace v sektoru energetiky byla získána data z reálných spalovacích zdrojů. Data z protokolů byla přepočítána na emisní faktory, které byly porovnány s EF používanými v současné době v národní inventarizaci a které vycházejí z doporučení metodiky IPCC pro Tier 1. Nově stanovené emisní faktory byly také použity pro modelový výpočet s aktivitními daty z roku 2024, což je poslední inventarizovaný rok. Výsledné emise CH_4 a N_2O jsou ve většině případů nižší než emise vypočtené s defaultními EF. U vybraných paliv by stanovené EF mohly sloužit jako výchozí hodnoty pro stanovení CS EF a jejich postupné zavedení do inventarizace, což by zásadně zvýšilo její přesnost. V souvislosti s plánovaným odstavením uhelných zdrojů pro výrobu tepla a elektřiny lze posléze očekávat významné snížení emisí všech skleníkových plynů v této kategorii. Při úplném odklonu od fosilních paliv, jak předpokládá aktualizace státní energetické koncepce z roku 2024 (MPO 2024), by mohlo dojít až k 90% snížení emisí skleníkových plynů do roku 2050.

Poděkování:

Článek byl připraven s finanční podporou Technologické agentury České republiky (TAČR) v rámci Programu Prostředí pro život (projekt SS 02030031 Integrovaný systém výzkumu, hodnocení a kontroly kvality ovzduší).

Literatura:

ANDERSSON, S. B., ÅMAND, L.-E., LECKNER, B., 1988. N_2O emissions from fluidized bed combustion. In: *Proceedings of the IEA AFBC Technical Meeting*. Amsterdam.

ASHRAE, 2017. ASHRAE *Handbook – Fundamentals*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. ISBN 978-1-939200-58-7.

BAUKAL, C. E., 2013. The John Zink Hamworthy Combustion Handbook. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press. ISBN 978-1-4398-8629-8.

CITEPA, 2025. National Inventory Report for France under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. Paris: CITEPA. Dostupné z: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/CCNUCC_France_mars2025.pdf.

ČHMÚ, 2026. National Inventory Document 2026: Greenhouse Gas Inventories of the Czech Republic (1990–2024). Praha: ČHMÚ. Dostupné z: https://unfccc.int/documents/.

DE SOETE, G. G., 1990. Overall reaction rates of NO and N_2O formation from fuel nitrogen. *Symposium (International) on Combustion*, roč. **23**, č. 1, s. 1257–1264. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/S0082-0784(06)80366-9.

DLOUHÝ, T., DUPAL, T., DLOUHÝ, J., 2012. A Pulverized Coal-Fired Boiler Optimized for Oxyfuel Combustion Technology. *Acta Polytechnica*, roč. **52**, č. 4. Praha: České vysoké učení technické v Praze.

GLASSMAN, I., YETTER, R. A., GLUMAC, N. G., 2014. Combustion. 5th ed. Amsterdam: Academic Press. ISBN 978-0-12-407913-5.

HEYWOOD, J. B., 1988. Internal Combustion Engine Fundamentals. New York: McGraw-Hill. ISBN 978-0-07-028637-5.

IPCC, 2006a. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2: Energy. Chapter 2: Stationary Combustion. Hayama: Institute for Global Environmental Strategies. Dostupné z: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf.

IPCC, 2006b. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 3: Industrial Processes and Product Use. Chapter 3: Chemical Industry Emissions. Section 3.3: Nitric Acid Production. Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES).

IPCC, 2006c. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC. ISBN 4-88788-032-4.

IPCC, 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC. ISBN 978-92-9169-143-2.

KNÁPEK, J., VALENTOVÁ, M., KREJCAR, R., VAŠÍČEK, J., VECKA, J., 2021. Klimaticko-energetické investice v teplárenství 2014–2030. Praha: ČVUT. Dostupné z: https://ekonom.fel.cvut.cz/cs/katedra/lide/valenmi7/cic2030/reports/ipp-teplarenstvi-report-final.pdf

KOBiZE, 2025. National Inventory Report 2025: Greenhouse Gas Inventory for 1988–2023. Warszawa: National Centre for Emissions Management. Dostupné z: https://unfccc.int/documents/.

MPO, 2024. Aktualizace Státní energetické koncepce (SEK) [online]. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 7. 2. 2024 [cit. 30. 7. 2026]. Dostupné z: https://mpo.gov.cz/cz/rozcestnik/pro-media/tiskove-zpravy/aktualizace-statni-energeticke-koncepce--sek--279668/.

MINISTRY OF THE ENVIRONMENT, JAPAN, 2025. National Inventory Report of Japan 2025. Tokio: Ministry of the Environment, Japan. Dostupné z: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/NID-JPN-2025-v3.0.pdf.

PRAŽSKÉ SLUŽBY, a. s., 2026. Princip technologie ZEVO [online]. [cit. 22. 4. 2026]. Dostupné z: https://www.psas.cz/princip-technologie-zevo.

RAVINA, M., PANEPINTO, D., ZANETTI, D., 2018. Greenhouse gas emissions from waste incineration: a review. *Waste Management*, roč. **73**, s. 609–620. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.030.

RIVM, 2025. National Inventory Report 2025: Greenhouse Gas Emissions in the Netherlands 1990–2023. Bilthoven: RIVM. Dostupné z: https://unfccc.int/documents/.

SAIKAEW, T., SUPUDOMMAK, P., MEKASUT, L., PIUMSOMBOON, P., KUCHONTHARA, P., 2012. Emission of NO_x and N_2O from co-combustion of coal and biomasses in CFB combustor. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, roč. **10**, s. 26–32. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2012.05.014.

STRAKA, R., 2011. Computational Model of Pulverized Coal Combustion and Nitric Oxide Production. Praha: České vysoké učení technické v Praze. Disertační práce. Dostupné z: http://hdl.handle.net/10467/8052.

SWEDISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2025. National Inventory Report Sweden 2025: Greenhouse Gas Emissions 1990–2022. Stockholm: Swedish Environmental Protection Agency. Dostupné z: https://unfccc.int/documents/.

ŠŤASTNÝ, V., 2010. Kotle uhelné [online]. Praha: Verlag Dashöfer [cit. 29. 4. 2026]. Dostupné z: https://www.techportal.cz/33/kotle-uhelne-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EqWeX-UDwEJOgUA-KRM5WLkjVRYFLS2WAvA/.

TURNS, S. R., 2012. An Introduction to Combustion: Concepts and Applications. 3rd ed. New York: McGraw-Hill. ISBN 978-0-07-338019-3.

UMWELTBUNDESAMT, 2025. National Inventory Report for the German Greenhouse Gas Inventory 1990–2023. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Dostupné z: https://unfccc.int/documents/.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2010. AP-42, Fifth Edition, Volume I: Chapter 1.3 Fuel Oil Combustion [online]. Research Triangle Park (NC): U.S. EPA. [cit. 22. 4. 2026]. Dostupné z: https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-09/documents/1.3_fuel_oil_combustion.pdf.

VESELÁ, A., MIKLOVÁ, B., KRTKOVÁ, E., NEUŽIL, V., 2020. Výpočet nejistot v rámci inventarizací emisí skleníkových plynů v sektoru Energetika. *Meteorologické zprávy*, roč. **73**, č. 6, s. 161–166. ISSN 0026-1173.

WARNATZ, J., MAAS, U., DIBBLE, R. W., 2006. Combustion: Physical and Chemical Fundamentals, Modeling and Simulation, Experiments, Pollutant Formation. 4th ed. Berlin: Springer. ISBN 978-3-540-25992-3.

Lektoři (Reviewers):
Doc. Ing. Juraj Labovský, Ph.D., Ing. Marek Staf, Ph.D.