

**Národně specifická metodika
pro stanovení faktoru F (podílu
metanu ve skládkovém plynu)
ve zdrojové kategorii 5.A.1
(emise ze skládek)**

Česká informační agentura
životního prostředí

Autoři:

Ing. Márton Boráros, Mgr. Miroslav Havránek, RNDr. Ivana Kopecká, Ph.D., Ing. Markéta Sequensová, Ing. Jakub Skála, Ing. Jiří Valta

Oponenti: doc. Ing. Martin Pavlas, Ph.D., doc. Dr. Ing. Martin Kubal

T A Tato metodika byla vytvořena se státní podporou Technologické agentury ČR
Č R v rámci Programu Théta.

Národně specifická metodika pro stanovení faktoru F (podílu metanu ve skládkovém plynu) ve zdrojové kategorii 5.A.1 (emise ze skládek) – TK02010056-V29

Česká informační agentura životního prostředí

Seznam zkratk

CENIA	Česká informační agentura životního prostředí
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DDOC _m	rozložitelný organický uhlík (Decomposable Degradable Organic Carbon)
DDOC _{m_{ac}}	rozložitelný organický uhlík akumulovaný na skládce na konci roku
DDOC _{m_{ac last year}}	rozložitelný organický uhlík akumulovaný na skládce z posledního roku
DDOC _{m_{dec}}	rozkládaný rozložitelný organický uhlík
DDOC _{m_{dT}}	organický uhlík rozkládající se za rok skládkování
DDOC _{m_{NR}}	nereagující rozložitelný organický uhlík za rok skládkování
DOC	rozložitelný organický uhlík (Degradable Organic Carbon)
DOC _f	frakce organického uhlíku schopná rozkladu (Degradable Organic Carbon Fraction)
exp1, exp2	koeficienty vycházející z konstanty tvorby metanu pro danou skupinu odpadu
F	frakce metanu ve skládkovém plynu
FOD	rozklad prvního řádu (First Order Decay)
GWP	potenciál globálního oteplování (Global Warming Potential)
H _i	výhřevnost jedné složky směsi
H _m	výhřevnost směsi plynů
IPCC	Mezivládní panel pro změnu klimatu (Intergovernmental Panel on Climate Change)
k	konstanta tvorby metanu pro danou skupinu odpadu
L _o	potenciál tvorby metanu
M	měsíc, kdy reakce začíná, s průměrným zpožděním +7 měsíců
MCF	korekční faktor metanu (Methane Correction Factor)
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
N	počet složek směsi
NIR	Národní inventarizační zpráva (National Inventory Report)
NIS	Národní inventarizační systém
OX _T	oxidační faktor metanu za rok
R _T	využitý metan za rok (Recovered metan)
SWDS	skládka odpadu (Solid Waste Disposal Site)

T	inventurní rok
$t_{1/2}$	poločas rozpadu odpadů
UNFCCC	Mezinárodní rámcová úmluva OSN o změně klimatu (United Nations Framework Convention on Climate Change)
W	hmotnost odpadu na skládce
X	kategorie odpadu
y_i	frakce jednotlivé složky
$y_{pr, i}$	průměrná frakce jednotlivé složky

Obsah

Seznam zkratk.....	2
1. Úvod	5
2. Skládování, tvorba skládkového plynu	5
3. Cíl metodiky	7
4. Popis dat	7
5. Postup výpočtu	9
6. Uplatnění metodiky v CENIA.....	16
7. Ekonomické aspekty metodiky	16
8. Závěr	16
9. Seznam literatury.....	16

1. Úvod

V rámci globálního monitoringu emisí a propadů skleníkových plynů pod Mezinárodní rámcovou úmluvou Organizace spojených národů (OSN) o změně klimatu (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC) a jejím Kjótským protokolem je Česká republika povinna provozovat Národní inventarizační systém (NIS) a každoročně vydávat Národní report emisí a propadů skleníkových plynů – National Inventory Report (NIR). Emise jsou publikovány v základních kategoriích, přičemž jednou z nich jsou i odpady (kategorie č. 5 v CRF databázi UNFCCC), které se dělí na další podkategorie. Pod kategorií 5.A Odstraňování odpadů spadají podkategorie 5.A.1 Řízené skládky odpadů, 5.A.2 Neřízené skládky odpadů a 5.A.3 Černé skládky.

Tato metodika se zabývá problematikou stanovení tzv. faktoru F, který ve výpočtech emisí skleníkových plynů reprezentuje průměrný obsah metanu ve skládkovém plynu ze skládek v České republice, které jsou řízené a jejichž provoz je dán přesně stanovenými pravidly (podkategorie 5.A.1). Aktuálně platná směrnice IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) národních inventur skleníkových plynů z roku 2006 uvádí pro metody výpočtu nejnižší úrovně (Tier 1) doporučenou výchozí hodnotu F faktoru 0,5. Přejít na pokročilejší metody výpočtu (Tier 2) je podmíněn vytvořením národní metodiky s národně specifickou hodnotou F faktoru. V minulosti již byly ze strany ČR učiněny pokusy o vytvoření národně specifického F faktoru, avšak nebyly na oficiální úrovni schváleny.

Základem této metodiky je rešerše dostupných vědeckých studií a metodik, NIR dalších států a analýza dostupných dat, která jsou v ČR každoročně ohlašována provozovateli největších skládek odpadů.

2. Skládkování, tvorba skládkového plynu

Skládkový plyn je jedním z produktů rozkladných procesů probíhajících na skládkách. Jeho vznik je podmíněn přítomností mikroorganismů, které degradují přítomné organické látky na jednodušší sloučeniny s malou účastí volatilizace a chemických reakcí mezi složkami odpadu [1]. Skládkový plyn vzniká rozkladem komunálního odpadu, primárně jeho biologické složky, v průběhu komplexních biochemických procesů.

Rozkladný proces má čtyři fáze [2,3]:

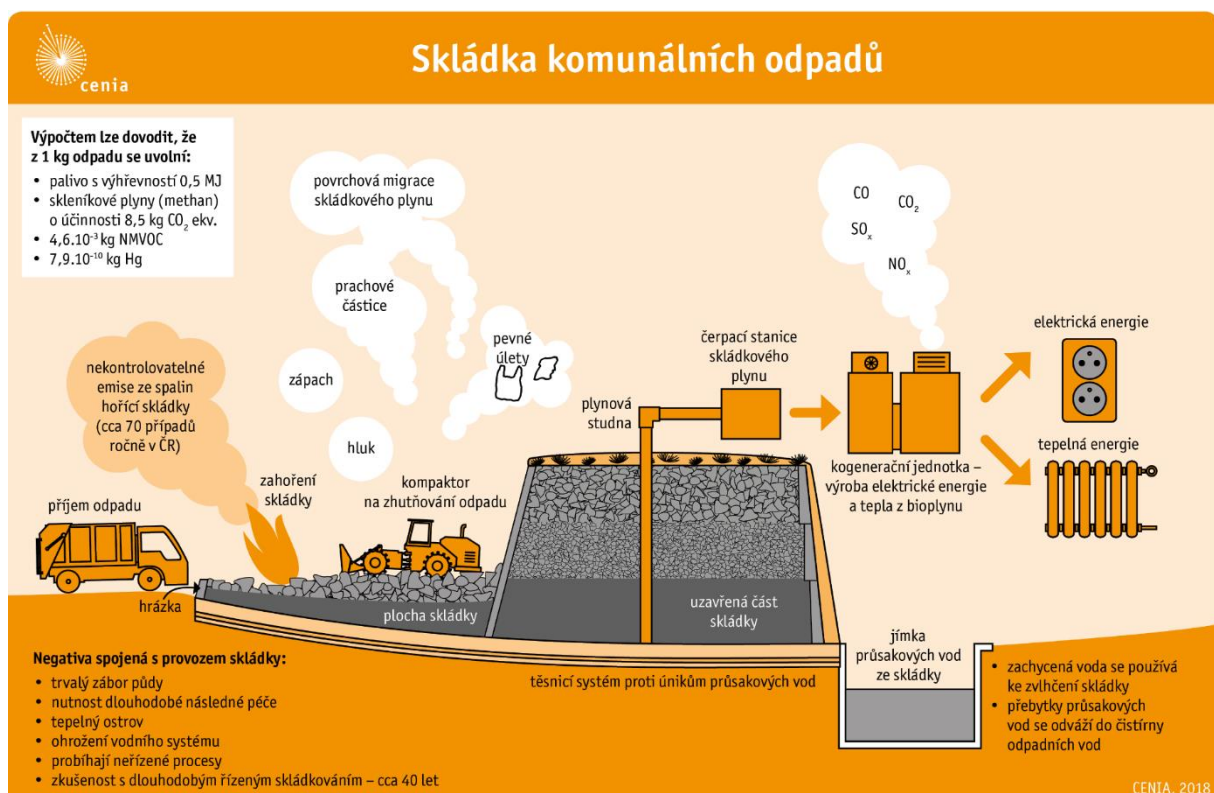
- I. hydrolyza – působením extracelulárních enzymů fakultativně anaerobních mikroorganismů dochází k hydrolytickému štěpení makromolekulárních látek na jednodušší sloučeniny jako např. jednoduché cukry, mastné kyseliny, alkoholy a vodu. Je uvolňován i oxid uhličitý, který postupně potlačuje výskyt aerobních bakterií;
- II. acidogeneze – acidofilní mikroorganismy dále transformují substráty;
- III. acetogeneze – octové bakterie vytváří acetáty, oxid uhličitý a vodík;
- IV. metanogeneze – striktně anaerobní metanogenní archea produkují metan, oxid uhličitý a vodu.

Skládkový plyn je složen ze směsi stovek různých plynů. Objemově jsou však hlavními složkami metan (45 – 60 %) a oxid uhličitý (40 – 60 %) [1]. Poměr těchto dvou složek je závislý na fázi metanogenního procesu, stáří skládky a její vyčerpanosti. Složení a množství vyprodukovaného plynu také závisí na vlhkosti, pH, druhu ukládaného odpadu, hutnění, poréznosti či stupni rozkladu [1]. Skládkový plyn dále obsahuje i různá stopová množství organických a anorganických sloučenin, ze kterých jsou nejdůležitější těkavé organické kyseliny, vodík a sirovodík, který je zvláště nebezpečný díky korozivnímu účinku na potrubí plynovodu, a proto je nutné skládkový plyn odsiřovat [2,3].

Skladba plynu se může lišit jak prostorově, tak časově. Podíl metanu ve skládkovém plynu vznikající uvnitř tělesa skládky v rámci rozkladných metanogenních procesů, tedy samotný F faktor, by neměl být zaměňován s naměřeným množstvím metanu v plynu fugitivně emitovaném z otevřeného povrchu skládky (aktivní plochy) či zachyceném v odplyňovacím, příp. drenážním systému, jelikož je v průsakových vodách skládky přeměněno značné množství CO₂ na hydrogenuhličitán, což má za následek zvýšení podílu metanu v plynu emitovaném ze skládky [4].

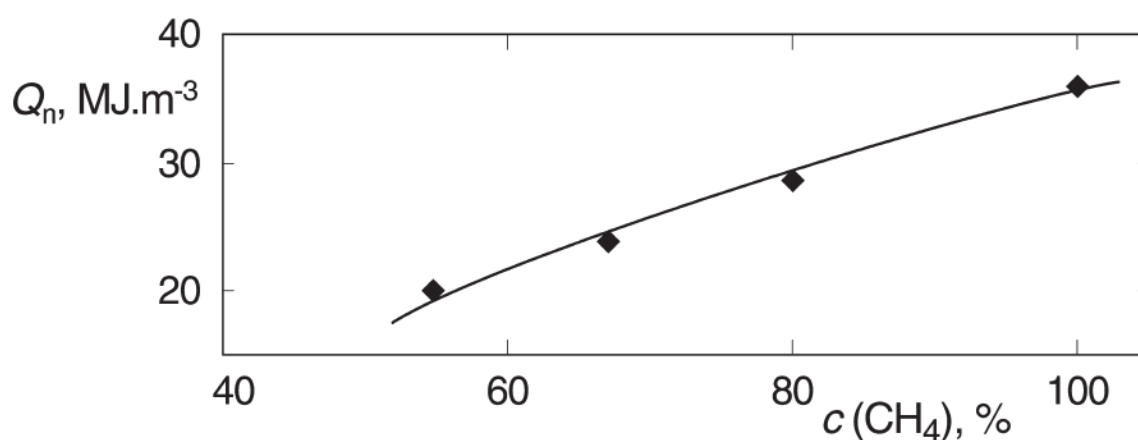
Primárním důvodem monitorování skládkového plynu a legislativního zakotvení nakládání s ním (*Česká technická norma ČSN 83 8034 Skládání odpadu – Odplynění skládek*) je skutečnost, že jeho hlavní složky jsou známé svým negativním dopadem na životní prostředí [5]. Z tohoto pohledu jsou emise metanu vnímány jako podstatně problematictější, neboť metan má daleko větší potenciál globálního oteplování (Global Warming Potential, GWP) než emise CO₂, a tudíž je prioritní snaha o jeho odstranění z produkovaných emisí [4].

Systém odplynění skládek ukládajících biologicky rozložitelné odpady (v ČR skládky podskupiny S-003) bývá zakončen technologií pro pasivní nebo aktivní odstranění, resp. využití, skládkových plynů. Pasivní systém je tvořen biofiltrem, jehož cílem je odstranění metanu (majoritní složky skládkového plynu) za pomoci bakterií. Aktivní systém (u skládek s vysokou metanogenezí) je tvořen čerpací stanicí osazenou kontinuálním analyzátozem složení skládkového plynu, zásobníkem skládkového plynu a kogenerační jednotkou, nebo jejich soustavou. Systém bývá vybaven také flérou pro bezpečné odstranění přebytků skládkového plynu v případě závady systému. Spalováním plynu vytváří kogenerační jednotka elektrickou energii a odpadním teplem se podílí na vytápění objektů v areálu skládky (šatny, kanceláře, třídící linky, garáže, sklady apod.) [6]. Schematické znázornění systému odplynění skládek je patrné z **Obr. 1.**



Obrázek 1: Schematické znázornění systému odplynění skládek (zdroj: CENIA)

Analýza jednotlivých komponent skládkových plynů probíhá na čerpací stanici, která je kromě čerpadla vybavena i analyzátozem plynů. Přístroj je schopen kvantitativně určit množství jednotlivých složek ve vzorku skládkového plynu na bázi výhřevnosti směsi, která závisí na jejich zastoupení (viz **Obr. 2**).



Obrázek 2: Závislost výhřevnosti bioplynu Q_n na procentuální koncentraci metanu c (%), kde c je $F \cdot 100$ [7]

3. Cíl metodiky

Cílem této metodiky je stanovit národně specifickou hodnotu F faktoru pro Českou republiku, která představuje průměrný podíl metanu ve skládkovém plynu na bázi kvalitních naměřených dat z různých skládek odpadů z celé republiky. Tato metodika se vztahuje na kategorii 5.A.1 Řízené skládky odpadů. Kategorie 5.A.2 Neřízené skládky odpadů a 5.A.3 Černé skládky nejsou v rámci národní inventarizace kalkulovány. Tato metodika je potřebná pro podporu přestupu České republiky na vyšší úroveň výpočtů národních emisí (Tier 2) a tím pro zlepšení přehledu o emisní situaci v oblasti. Je důležitá pro plnění povinností ČR vůči UNFCCC. Metodiku bude využívat především Česká informační agentura životního prostředí (CENIA), jakožto subjekt participující v NIS a zpracovávající agendu emisí skleníkových plynů za sektor odpadů.

4. Popis dat

V souladu s aktuálně platnou směrnicí IPCC národních inventur skleníkových plynů z roku 2006 [4] je metodou použitou pro odhad emisí metanu ze zdrojové kategorie 5.A tzv. FOD (First Order Decay) model. Tato metoda předpokládá, že rozložitelná organická složka odpadu (DOC) se v tělese skládky pomalu rozkládá v anaerobních podmínkách v průběhu několika desetiletí, během kterých se tvoří, kromě dalších plynů, zejména CH_4 a CO_2 . Pokud jsou podmínky konstantní, závisí rychlost produkce metanu pouze na množství zbývajících uhlíku v odpadu. Emise metanu z odpadů uložených na skládku jsou tedy nejvyšší v prvních letech uložení a pak postupně klesají, jak je rozložitelný uhlík v odpadu spotřebováván [8].

Poločasy rozpadu různých typů odpadů se liší od několika let až po několik desetiletí i více. Metoda FOD vyžaduje časovou řadu dat o ukládání odpadu pokrývající nejlépe 50 a více let, protože tento časový rámec poskytuje přijatelně přesné výsledky. Vychází-li se z kratší časové řady, mělo by být doloženo, že nedochází k žádnému významnému podhodnocení vypočtených emisí [4].

Metodika IPCC uvádí, že pro metody výpočtu nejnižší úrovně (Tier 1) má být použit FOD model a doporučené hodnoty vstupních parametrů. Metody výpočtu vyšší úrovně (Tier 2) využívají také FOD model a u některých parametrů doporučené hodnoty, ale současně je vyžadována dobrá kvalita

historických i současných národně-specifických dat o ukládání odpadů na skládky. Metody nejvyšší úrovně (Tier 3) jsou založeny na kvalitních národně-specifických datech o ukládání odpadů na skládky (obdobně jako u Tier 2) a použití modelu FOD s klíčovými parametry upřesněnými na národní úrovni. Není vyloučeno ani použití jiné metody než FOD, pokud budou výstupy ve stejné nebo vyšší kvalitě. Klíčovými parametry pro všechny tři úrovně výpočtů jsou poločas rozpadu odpadu ($t_{1/2}$) a buď potenciál tvorby metanu (L_0) nebo obsah DOC v odpadu a podíl rozložitelného DOC (DOC_f) [4].

Mezi další parametry, které ovlivňují odhad emisí ze skládek, patří i množství uložených odpadů, složení odpadu, množství zachyceného a využitého skládkového plynu, oxidační faktor metanu (OX_t), korekční faktor metanu pro anaerobní rozklad (MCF), reakční konstanta metanu (k) a podíl metanu ve skládkovém plynu (F faktor). Všechny tyto hodnoty jsou každoročně naměřeny specificky pro Českou republiku nebo vychází z tabelovaných hodnot doporučených podle IPCC, jelikož jsou součástí inventarizačních reportů pro emise plynů [4].

F faktor udává podíl metanu v celkovém množství skládkového plynu na řízených skládkách odpadů. V minulosti byla při výpočtech emisí metanu ze skládek odpadů použita hodnota 0,61 [9]. Tato hodnota však vycházela z měření na omezeném počtu lokalit [10] a byla vyšší než rozsah 0,5 - 0,6 doporučený metodikami IPCC, takže od jejího používání bylo upuštěno. Další revize hodnoty F faktoru byla založena na datech shromažďovaných **Ministerstvem průmyslu a obchodu (MPO)**. MPO každý rok získává hlášení od provozovatelů skládek, na kterých je zachycován skládkový plyn. Součástí hlášení jsou i hodnoty výhřevnosti zachyceného skládkového plynu. Tato hodnota byla porovnána s výhřevností čistého metanu a výsledkem byla vypočtená národně specifická hodnota F faktoru 0,55, která již spadala do doporučeného rozmezí, a proto byla používána při výpočtech emisí až do roku 2020 [11].

Na základě doporučení kontrolního týmu IPCC však byla v NIR 2021 změněna tato národně specifická hodnota na doporučenou hodnotu 0,5, protože výpočet prý nebyl dostatečně empiricky podložen. Celá časová řada byla v souladu s touto změnou přepočítána.

Tato metodika je založena na stejném principu, jaký je uveden v publikaci Straka (2001) [10], tedy na výpočtu frakce metanu ve skládkovém plynu podle naměřené výhřevnosti plynu pomocí tabelované hodnoty výhřevnosti metanu. Při vypracování metodiky byla snaha napravit nedostatky staré metody a doložit podrobnější empirický základ pro výpočty.

V první fázi přípravy metodiky byla provedena rešerše NIR jiných států s cílem zjistit, zda v některých zemích používají národně specifickou hodnotu F faktoru namísto doporučené hodnoty 0,5, a jakým způsobem jsou tato data podložena, jaký je jejich zdroj. Ukázky hodnot F faktorů využívaných pro reporting emisí v posledních verzích NIR v jednotlivých zemích EU jsou shrnuty v **Tab. 1**.

Tabulka 1: Hodnoty F faktoru v jiných zemích podle NIR

Stát	NIR, rok	Hodnota F faktoru
Česká republika	NIR, 2021	0,61 (NIR 2004) 0,55 (do roku 2020) 0,5 (od roku 2021)
Rakousko	NIR, 2021	0,55 (1950–2008) lineární pokles z 0,55 (2008) na 0,5 (2018) 0,5 od roku 2018
Belgie	NIR, 2021	0,5

Německo	NIR, 2022	0,5
Dánsko	NIR, 2021	0,5
Španělsko	NIR, 2021	0,5
Itálie	NIR, 2021	0,5
Polsko	NIR, 2021	0,5
Slovensko	NIR, 2021	0,5
Velká Británie	NIR, 2021	0,5
Ruská federace	NIR, 2021	0,5
Moldavská republika	NIR, 2021	0,5
Švédsko	NIR, 2022	0,5

5. Postup výpočtu

Pro upřesnění národně specifické hodnoty F faktoru byla v rámci této metodiky použita data naměřená kontinuálními analyzátory složení skládkového plynu na 53 různých skládkách na území České republiky v průběhu šesti let, tedy v období 2016 až 2021, a reportovaná Českému hydrometeorologickému ústavu (ČHMÚ) v rámci ohlašovací povinnosti stanovené zákonem č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší a jeho prováděcích právních předpisů. Využita byla informace ohlašovaná formulářem F_OVZ_SPE, hlášení souhrnné provozní evidence vyjmenovaných zdrojů znečišťování ovzduší (viz **Tab. 2**). Jedná se širší datovou základnu než v předchozích pokusech o stanovení národní hodnoty F faktoru. Měřena byla výhřevnost skládkového plynu na vstupu z tělesa skládky prostřednictvím odplyňovacího systému tvořeného soustavou plynových studní, horizontálních a vertikálních drénů do čerpací stanice, která je součástí kogenerační jednotky. Z těchto dat byl následně vypočítán podíl metanu v plynu pomocí tabelovaných hodnot výhřevnosti čistého metanu, která činí **33 806 kJ/m³**. Výpočet se provádí podle rovnice [1]:

$$H_m = \sum_{i=1}^N y_i * H_i \rightarrow y_{pr.i} = \frac{H_m}{H_i} \quad (1)$$

H_m ... výhřevnost směsi plynů (kJ/m³)

N ... počet složek směsi

y_i ... podíl určitého plynu na celkový skládkový plyn

$y_{pr.i}$... průměrná frakce jedné složky

H_i ... výhřevnost jednotlivé složky (kJ/m³)

Naměřené hodnoty výhřevnosti skládkového plynu z jednotlivých skládek pro výpočet F faktoru v roce 2021 jsou vidět v **Tab. 2** (zdroj: ČHMÚ). Hodnota podílu metanu je vypočtena jako podíl výhřevnosti skládkového plynu ku výhřevnosti metanu, podle **Rovnice 1**.

Tabulka 2: Vstupní hodnoty pro výpočet F faktoru z dat reportovaných v rámci hlášení souhrnné provozní evidence zdrojů znečišťování ovzduší, které plyn jímají v roce 2021

Číslo skládky	Kraj	Výhřevnost skl. plynu (kJ/m ³)	Výhřevnost metanu (kJ/m ³)	Podíl metanu
1	Hlavní Město Praha	14753	33806	0,436402
2	Středočeský	19000	33806	0,56203
3	Středočeský	19000	33806	0,56203
4	Středočeský	18600	33806	0,550198
5	Středočeský	16300	33806	0,482163
6	Středočeský	19000	33806	0,56203
7	Jihočeský	17100	33806	0,505827
8	Jihočeský	18600	33806	0,550198
9	Jihočeský	17700	33806	0,523576
10	Jihočeský	18600	33806	0,550198
11	Jihočeský	15200	33806	0,449624
12	Hlavní Město Praha	18600	33806	0,550198
13	Karlovarský	22500	33806	0,665562
14	Pardubický	19000	33806	0,56203
15	Středočeský	15900	33806	0,470331
16	Ústecký	18600	33806	0,550198
17	Ústecký	18600	33806	0,550198
18	Ústecký	13462	33806	0,398213
19	Ústecký	23300	33806	0,689227
20	Ústecký	18600	33806	0,550198
21	Ústecký	18600	33806	0,550198
22	Ústecký	17700	33806	0,523576
23	Liberecký	18600	33806	0,550198

24	Královéhradecký	16400	33806	0,485121
25	Královéhradecký	18600	33806	0,550198
26	Královéhradecký	18600	33806	0,550198
27	Pardubický	18600	33806	0,550198
28	Pardubický	15800	33806	0,467373
29	Pardubický	18600	33806	0,550198
30	Středočeský	17100	33806	0,505827
31	Vysočina	18600	33806	0,550198
32	Vysočina	18000	33806	0,53245
33	Jihomoravský	17450	33806	0,516181
34	Jihomoravský	15000	33806	0,443708
35	Jihomoravský	16050	33806	0,474768
36	Jihomoravský	24000	33806	0,709933
37	Jihomoravský	15000	33806	0,443708
38	Hlavní Město Praha	18600	33806	0,550198
39	Jihomoravský	14850	33806	0,439271
40	Vysočina	18000	33806	0,53245
41	Olomoucký	15028	33806	0,444536
42	Olomoucký	18600	33806	0,550198
43	Olomoucký	18600	33806	0,550198
44	Zlínský	18600	33806	0,550198
45	Ústecký	23000	33806	0,680353
46	Hlavní Město Praha	14753	33806	0,436402
47	Středočeský	15680	33806	0,463823
48	Ústecký	18600	33806	0,550198
49	Moravskoslezský	22000	33806	0,650772
50	Moravskoslezský	16700	33806	0,493995
51	Moravskoslezský	15000	33806	0,443708
52	Jihočeský	16450	33806	0,4866
53	Moravskoslezský	17250	33806	0,510264

F faktor ČR				0,5284
--------------------	--	--	--	---------------

Z hodnot frakcí připadajících jednotlivým složkám ve směsi plynu byl následně vypočítán aritmetický průměr pro jednotlivé roky z období měření, který má demonstrovat průběh změn zastoupení jednotlivých frakcí ve skládkovém plynu s časem. **Tab. 3** ukazuje hodnoty národně specifického F faktoru v průběhu šesti let, tedy podíl zastoupení metanu.

Tabulka 3: Přibližné hodnoty národně specifického F faktoru v období 2016 až 2021

Rok	2016	2017	2018	2019	2020	2021
F faktor	0,54	0,53	0,52	0,52	0,51	0,53

6. Použití F faktoru – modelový výpočet emise CH₄

Základní výpočty podle modelu FOD popisují následující rovnice [4]:

$$CH_4 Emissions = \left[\sum_x CH_4 generated_{x,T} - R_T \right] * (1 - OX_T) \quad (2)$$

CH₄ Emissions ... emise metanu za rok, Gg

T ... inventurní rok

X ... kategorie odpadu

R_T ... využitý metan za rok, Gg

OX_T ... oxidační faktor za rok

$$L_0 = DDOCm * F * 16/12 \quad (3)$$

L₀ ...potenciál tvorby metanu, Gg

F ... frakce metanu ve skládkovém plynu

16/12 ... poměr molekulových hmotností CH₄/C

$$DDOCm = W * DOC * DOC_f * MCF \quad (4)$$

DDOCm ... hmotnost rozložitelného uhlíku na skládce, Gg

W ... hmotnost odpadu na skládce, Gg

DOC ... rozložitelný organický uhlík skládkován za rok, Gg C/ Gg odpad

DOC_f ... frakce DOC schopná rozkladu

MCF ... korekční faktor metanu pro anaerobní rozklad pro rok skládkování

Pro praktické výpočty se používá komplexnější postup, který představují rovnice [4]:

$$exp1 = exp^{-k} \quad (5)$$

k ... konstanta tvorby metanu pro danou skupinu odpadu

$$exp2 = exp^{-k * (\frac{13-M}{12})} \quad (6)$$

M ... měsíc, kdy reakce začíná, s průměrným zpožděním + 7 měsíců

$$DDOCm_{NR} = DDOCm * exp2 \quad (7)$$

$DDOCm_{NR}$... $DDOCm$ za rok skládkování, který nereaguje (Gg)

exp2 ... koeficient vypočítaný z konstanty tvorby metanu

$$DDOCm_{dT} = DDOCm * (1 - exp2) \quad (8)$$

$DDOCm_{dT}$... $DDOCm$, který se rozkládá za rok skládkování (Gg)

$$DDOCm_{ac} = DDOCm_{NR} + (DDOCm_{ac \text{ last year}} * exp1) \quad (9)$$

$DDOCm_{ac}$... $DDOCm$ akumulovaný v SWDS na konci roku (Gg)

$DDOCm_{ac \text{ last year}}$... $DDOCm_{ac}$ z posledního roku (Gg)

$$DDOCm_{dec} = DDOCm_{dT} + (DDOCm_{ac \text{ last year}} * (1 - exp1)) \quad (10)$$

$DDOCm_{dec}$... $DDOCm$ rozkládaný (Gg)

$$CH_4 \text{ generated}_{x,T} = DDOCm_{dec} * F * 16/12 \quad (11)$$

$DDOCm_{dec}$... $DDOCm$ rozkládaný (Gg)

$CH_{4x,T}$... množství metanu vygenerovaného odpadem druhu x za čas T (rok) (Gg)

Výpočty jsou prováděny pro všechny předepsané složky odpadu na skládkách (potravinový odpad, zahradní odpad, papír, dřevo a seno, textil, jednorázové pleny a odpadní kaly) zvlášť a pak jsou sečteny pro výpočet celkových emisí. Připočítá se ještě emise z průmyslových odpadů na skládce.

Pro základní úroveň výpočtů (Tier 1) se hodnoty jednotlivých používaných koeficientů a faktorů vybírají z tabelovaných hodnot z příručky IPCC [4]. V rámci této metodiky je snahou úroveň výpočtů pro reporting dat za Českou republiku zvýšit na úroveň Tier 2 pomocí stanovení národně-specifické hodnoty F faktoru, tedy frakce metanu ve skládkovém plynu. Samotné rovnice pro výpočty emisí zůstávají totožné dle předepsané IPCC metodiky z roku 2006 [4].

Pro modelový výpočet emisí skleníkových plynů byla dále jako ukázková použita odpadová data za roku 2020, jelikož data za roku 2021 ještě v době přípravy metodiky nebyla publikována. Vstupní hodnoty potřebné pro výpočty jsou shrnuty v **Tab. 4**.

Tabulka 2: Vstupní hodnoty pro výpočet emisí z jednotlivých skupin odpadů uložených na skládce

Skupina odpadu	DOC (Gg C/Gg odpad)	Zastoupení typu odpadu na skládce (Gg)	k	exp1	exp2	DDOC _{ac last year} (Gg)
Potraviny	0,15	851	0,185	0,83	1	367
Zahrada	0,2	0	0,1	0,9	1	0
Papír	0,4	268	0,06	0,94	1	1457
Dřevo a seno	0,43	861	0,03	0,97	1	2126
Textil	0,24	62	0,06	0,094	1	301
Jednorázové plenky	0,24	0	0,1	0,9	1	0
Čistírenský kal	0,05	0	0,185	0,83	1	0
Průmyslový odpad	0,15	260	0,09	0,91	1	203

Některé vstupní hodnoty, jako např. DOC_f a MCF, jsou konstantní pro všechny skupiny odpadů. Tyto hodnoty shrnuje **Tab. 5**. Ve stejné tabulce je patrné i množství využitého metanu R_T, které se vypočítá z energetické hodnoty jímaného plynu a dělí se výhřevností metanu. Zdrojem hodnot jsou defaultní data stanovená v metodice IPCC 2006 [4], případně data poskytovaná ČHMÚ v jednotlivých letech.

Tabulka 3: Vstupní hodnoty pro výpočty konstantní pro všechny skupiny odpadů použité pro inventarizaci emisních plynů

OX _T	R _T (Gg)	MCF	DOC _f
0,1	16,7	1	0,5

Používané rovnice a jednotlivé kroky výpočtu emisí:

- 1) nejprve je nutno pro jednotlivé skupiny odpadů uložených na skládce určit množství rozložitelného organického uhlíku (DDOC_m) (pozn.: vysvětlivky ostatních veličin viz. kap. 5 Postup výpočtu, případně Seznam zkratk):

$$DDOC_m = W * DOC * DOC_f * MCF$$

$$DDOC_m = 851 * 0,15 * 0,5 * 1$$

$$DDOC_m = 64 \text{ Gg}$$

- 2) následně se vypočítá množství rozložitelného organického uhlíku, který za rok skládkování nezreaguje (DDOC_{m_{NR}}). Tento krok počítá s hodnotou exp2, která je pro všechny skupiny odpadů 1, což znamená, že DDOC_{m_{NR}} = DDOC_m.
- 3) poté je nutno vypočítat množství rozložitelného organického uhlíku, který se rozkládá za rok skládkování (DDOC_{m_{DT}}). Jelikož všechny hodnoty exp2 se rovnají 1, celková hodnota DDOC_{m_{DT}} bude nulová.
- 4) v dalším kroku se vypočítá množství rozložitelného organického uhlíku, které je akumulované na skládce na konci roku (DDOC_{m_{ac}}), a to podle rovnice:

$$DDOC_{m_{ac}} = DDOC_{m_{NR}} + (DDOC_{m_{ac \text{ last year}}} * exp1)$$

$$DDOCm_{ac} = 64 + (367 * 0,83)$$

$$DDOCm_{ac} = 369 \text{ Gg}$$

- 5) následně je potřeba vypočítat hodnotu pro organický uhlík, který se rozložil ($DDOCm_{dec}$), pomocí následující rovnice:

$$DDOCm_{dec} = DDOCm_{dT} + (DDOCm_{ac \text{ last year}} * (1 - exp1))$$

$$DDOCm_{dec} = 0 + (367 * (1 - 0,83))$$

$$DDOCm_{dec} = 62 \text{ Gg}$$

- 6) pomocí těchto hodnot už je možné vypočítat generované množství metanu z dané skupiny odpadů. Vypočítané hodnoty u jednotlivých skupin odpadů jsou uvedeny níže v **Tab. 6**.

$$CH_4 \text{ generated}_{x,T} = DDOCm_{dec} * F * 16/12$$

$$CH_4 \text{ generated}_{x,T} = 62 * 0,5284 * 16/12$$

$$CH_4 \text{ generated}_{x,T} = 44 \text{ Gg}$$

Tabulka 4: Vypočítané hodnoty vztahující se k organickému uhlíku a generovaným emisím u jednotlivých skupin odpadů

Skupina odpadů	DDOCm	DDOCm _{NR}	DDOCm _{dT}	DDOCm _{ac}	DDOCm _{dec}	CH ₄ generated _{x, T} (Gg)
Potraviny	64	64	0	369	62	44
Zahrada	0	0	0	0	0	0
Papír	54	54	0	1426	85	60
Dřevo a seno	185	185	0	2248	63	44
Textil	7	7	0	291	18	12
Jednorázové plenky	0	0	0	0	0	0
Odpadový kal	0	0	0	0	0	0
Průmysl	20	20	0	205	17	12
Součet						172

- 7) v posledním kroku se ze součtu generovaného množství metanu vypočítá skutečná hodnota emisí metanu:

$$CH_4 \text{ Emissions} = \left[\sum_x CH_4 \text{ generated}_{x,T} - R_T \right] * (1 - OX_T)$$

$$CH_4 \text{ Emissions} = (172 - 16,7) * (1 - 0,1)$$

$$CH_4 \text{ Emissions} = 140 \text{ Gg}$$

7. Uplatnění metodiky v CENIA

Tato metodika bude využívána k výpočtu emisí skleníkových plynů ze zdrojových kategorií 5.A Odstraňování odpadů na skládkách, do které spadají podkategorie 5.A.1 Řízené skládky odpadů, 5.A.2 Neřízené skládky odpadů a 5.A.3 Černé skládky. Četnost jejího použití bude záviset na hodnocení důležitosti této kategorie kontrolními orgány.

8. Ekonomické aspekty metodiky

Metodika byla vytvořena za finanční podpory Technologické agentury ČR v rámci programu Théta jako součást projektu MEMORESP. Využití financí je považováno za účelné zejména proto, že metodika má sloužit k plnění požadavků reportingu emisí skleníkových plynů, který se ČR zavázala plnit na základě přistoupení k UNFCCC. Dle mezinárodně závazných stanov musí být tvorba odhadů emisí nutně ekonomická. V případě, že bude národně specifická hodnota F faktoru stanovená v rámci této metodiky, uznána jako aplikovatelná i ze strany UNFCCC (toto hodnocení proběhne automaticky v případě první aplikace nově stanoveného F při inventarizaci), předpokládá se, že tato hodnota nebude aktualizována každoročně, ale naopak v delším časovém horizontu pro ověření (cca 3-5 let), zda se tento parametr výrazně nemění.

9. Závěr

Na základě naměřených dat složení skládkového plynu z 53 různých skládek na území České republiky byla upravena národně specifická hodnota F faktoru na hodnotu 0,5284. Tuto hodnotu lze použít pro výpočet emisí skleníkových plynů v Národních inventarizačních reportech ČR, jak se uvádí v kapitole **Modelový výpočet**. Jelikož jde o národně specifickou hodnotu, měla by sloužit a umožnit přestup České republiky při výpočtech emisí skleníkových plynů v rámci inventarizačních povinností na úroveň Tier 2 metodik IPCC 2006 [4].

10. Seznam literatury

- [1] Sherri Berge *et al.*, 2001: Landfill Gas Primer – An Overview for Environmental Health Professionals, Chapter 2: Landfill Gas Basics. Online: [ATSDR - Landfill Gas Primer - Chapter 2: Landfill Gas Basics \(cdc.gov\)](https://www.cdc.gov/atsdr/publications/2001/landfill_gas_primer_chapter_2_landfill_gas_basics.html)
- [2] Heinz Schulz a Barbara Eder, 2004: Bioplyn v praxi. ISBN 80-86167-21-6
- [3] František Straka *et al.*, 2003: Bioplyn – příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových stanic. ISBN 80-7328-029-9
- [4] IPCC, 2006: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol. 5 Waste. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). ISBN 4-88788-032-4
- [5] Česká technická norma, 2018: ČSN 83 8034 Skládování odpadů – Odplynění skládek.
- [6] Karolína Kepřtová a Jan Kolář, 2021: Způsoby nakládání se skládkovým plynem na skládkách v režimu integrované prevence. Paliva, 13(1), 24-29.
- [7] Petr Horbaj, 2004: Teoretický výpočet vzniku metanu z komunálního odpadu. Chemické listy 98, 137–141.
- [8] Nirmala Menikpura *et al.*, 2013: Climate co-benefits of energy recovery from landfill gas in developing Asian cities: A case study in Bangkok. Waste Management & Research, 0(0), 1-10.

- [9] Czech Hydrometeorological Institute, 2004: National Greenhouse Gas Inventory Report of the Czech Republic. Submission under UNFCCC and under Kyoto Protocol, reported inventories 1990-2018.
- [10] František Straka, 2001: Metody likvidace a energetického využití odpadů, Díl 1: Skládky. ISBN 80-85122-07-3
- [11] Czech Hydrometeorological Institute, 2020: National Greenhouse Gas Inventory Report of the Czech Republic. Submission under UNFCCC and under Kyoto Protocol, reported inventories 1990-2018.
- [12] John R. Fanchi, 2010: Integrated Reservoir Asset Management – Principles and Best Practices (2010), 17-32.