

Národní metodika výpočtů emisí z kategorie 5.B.2 Anaerobní digesce odpadů – TK02010056-V16

CENIA, česká informační
agentura životního prostředí

Autoři:

Mgr. Miroslav Havránek, Mgr. Jana Esterlová, RNDr. Ivana Kopecká, Ph.D., Ing. Jakub Skála, Ing. Jiří Valta

Oponenti: MSc. Risto Saarikivi, Mgr. Dušan Vácha

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

Národní metodika výpočtů emisí z kategorie 5.B.2 Anaerobní digesce odpadů – TK02010056-V16

Česká informační agentura životního prostředí

Praha, 2022

Obsah

Seznam použitých zkratek	2
1. Úvod	3
2. Cíl metodiky.....	3
3. Anaerobní digesce	4
4. Diskuse původní metodiky	5
5. Národní metodika pro zdrojovou kategorii 5.B.2 Anaerobní digesce	6
5.1. Množství jímaného methanu R.....	6
5.2. Zdroje úniků bioplynu z BPS	7
5.3. Faktor úniku - U	8
6. Diskuse a shrnutí	12
6.1. Dvojitá započítávání a nejistota	12
6.2. Návrh metodiky sběru dat o únicích methanu z bioplynových stanic.....	13
7. Uplatnění metodiky v CENIA	13
8. Ekonomické aspekty	13
9. Závěr.....	14
10. Seznam literatury	14

Seznam použitých zkratk

AD	Anaerobní digesce
BPS	Bioplynová stanice
BRKO	Biologicky rozložitelné komunální odpady
BRO	Biologicky rozložitelné odpady
CENIA	Česká informační agentura životního prostředí
CRF	Common Reporting Format – reportovací formát do databáze UNFCCC
ČOV	Čistírna odpadních vod
DPZ	Dálkový průzkum země
EF	Emisní faktor
EFDB	Emission Factor Database – Databáze emisních faktorů
FID	Flame Ionization Detection – Plamenoionizační detekce
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy) – Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change – Mezivládní panel pro změnu klimatu
ISOH	Informační systém odpadového hospodářství
ISPOP	Integrovaný systém plnění ohlašovacích povinností
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
NIR	National Greenhouse Gas Inventory Report – Národní inventarizační zpráva skleníkových plynů
NIS	Národní inventarizační systém
OSN	Organizace spojených národů
SF ₆	Suphur hexafluorid – fluorid sírový
TDLAS	Tunable Diode Laser Absorption spectroscopy – Nastavitelná diodová laserová absorpční spektroskopie
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change – Mezinárodní rámcová úmluva OSN o změně klimatu

1. Úvod

V rámci globálního úsilí na potlačení změny klimatu probíhá celosvětově inventarizace emisí a propadů skleníkových plynů. Tuto inventarizaci řídí Mezinárodní rámcová úmluva OSN o změně klimatu (UNFCCC) a následné protokoly k této smlouvě. Dle úmluvy je Česká republika povinna provozovat národní inventarizační systém (NIS) a každoročně vydávat národní report emisí a propadů skleníkových plynů (NIR). Emise jsou inventarizovány v pěti zdrojových kategoriích dle metodiky IPCC [1]. Zdrojová kategorie číslo pět se zabývá odpady a odpadovým hospodářstvím a zahrnuje i dílčí zdrojovou kategorii 5.B zaměřenou na zdroje, které zpracovávají odpad pomocí biologických procesů. Kategorie 5.B – biologické nakládání s odpady zahrnuje dvě podkategorie – emise z kompostování odpadů a emise z anaerobní digesce (AD).

Metodika inventarizace emisí pracuje s územní teritorialitou – zaměřuje se na národní úroveň emisí. Metodika sice harmonizuje inventarizační postupy, ale umožňuje různé úrovně přesnosti a složitosti výpočtů jednotlivých zdrojových kategorií (tzv. *tiers*) s tím, že základní úroveň komplexnosti (tzv. *tier 1*) je povinná pro všechny státy úmluvy a vyšší úrovně jsou dobrovolné podle významnosti, znalostní báze a datové základny dané kategorie.

Anaerobní digesce je v rámci metodiky řízeným procesem vzniku bioplynu, většinou v průmyslovém zařízení, jehož hlavní složkou jsou dva důležité skleníkové plyny – methan (CH_4) a oxid uhličitý (CO_2). Jejich zastoupení je mezi různými provozy, kde k AD dochází, proměnlivé, ale methan je převažující složkou tvořící objemově 50-85 % plynu [2]. V rámci metodiky dochází k vykazování methanu, přičemž emise CO_2 se uvádějí pouze pro informaci (tzv. *memo item*), protože CO_2 z procesů AD pochází z biogenního uhlíku a ten se dle principů inventarizace bere se jako klimaticky neutrální.

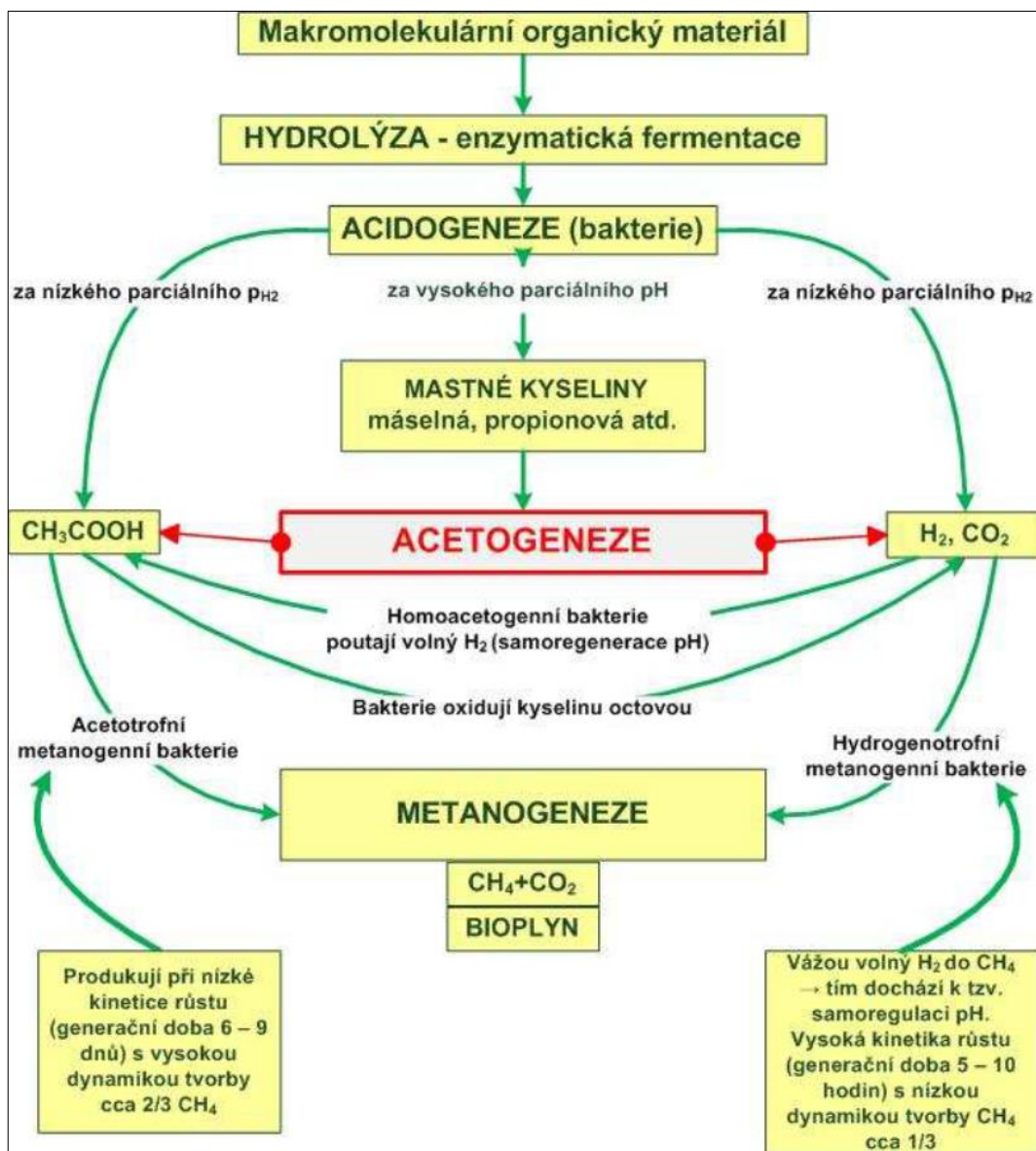
Dílčí zdrojová kategorie 5.B.2. – anaerobní digesce pracuje s predikamentem, že emise z národních procesů AD se vypočítají jako funkce hmotnostních vstupů do procesů AD v kombinaci s příslušným emisním faktorem. Toto zjednodušení (tzv. *top-down approach*) samozřejmě nepostihuje komplexnější realitu na jednotlivých stanicích, které je možné počítat jednotlivě na základě specifických parametrů a kumulativně do inventury načítat (tzv. *bottom-up approach*). Problém je ale pracnost a datová náročnost tohoto postupu, zejména při předpokladu, že emise z této kategorie by neměly být velké, protože se jedná o kontrolovaný proces, jehož cílem je výroba, zpracování a jímání bioplynu. Podle autorů této metodiky je vhodné pokusit se při výpočtu emisí z 5.B.2. o kombinaci obou přístupů.

2. Cíl metodiky

Cílem metodiky je zpřesnit a kodifikovat metodu výpočtu emisí methanu ze zdrojové kategorie 5.B.2 Biologické zpracování odpadů – anaerobní digesce. Nová metoda zohledňuje *top-down* i *bottom-up* národní data, národně specifická aktivní data a nejnovější poznatky o emisních faktorech, resp. únicích, založené na recentních publikacích. Tato metodika si klade za cíl zpřesnit emise skleníkových plynů ze zdrojové kategorie 5.B.2 vykazované v rámci NIS a také si klade za cíl posunout odbornou debatu a znalosti o emisní situaci v ČR a přispět, byť v limitovaném segmentu, k mezinárodní diskusi o emisích skleníkových plynů ze sektoru odpadů. V neposlední řadě je cílem metodiky také přispět k zefektivnění vlastní práce řešitelského týmu, protože CENIA, jakožto národní subjekt zpracovávající inventury v sektoru odpadů v rámci NIS, bude moci následně odhady této zdrojové kategorie zkvalitnit.

3. Anaerobní digesce

Anaerobní digesce (nebo též anaerobní vyhnívání, anaerobní fermentace či proces výroby bioplynu) je jedna z forem řízené mikrobiální degradace organického materiálu. Anaerobní se nazývá proto, že k této degradaci dochází bez přístupu kyslíku za následného vzniku bioplynu. Bioplyn se pak často využívá k výrobě tepla či elektrické energie, případně se používá jako náhražka zemního plynu v dopravě i jinde [3,4]. Zařízení určené k anaerobnímu rozkladu se obecně nazývá bioplynová stanice (BPS). BPS má, ve srovnání s kompostárnou, kde dochází k aerobnímu rozkladu organických látek, podstatně nižší požadavky na plochu, neuvolňuje pachové emise a z odpadů lze tedy takto získat energii [5].



Obrázek 1: Průběh čtyřfázové anaerobní fermentace [11]

BPS se zpravidla plní organickou hmotou průběžně, procesy vedoucí k tvorbě bioplynu tak na sebe navazují a nejsou odděleny ani místně ani časově. Výjimkou je rozběh BSP, případně dávkové (vsádkové) BPS, či víceetapňové BPS, kde fáze rozkladu probíhají odděleně. V takovýchto případech

může iniciace tvorby methanu trvat až několik týdnů [6]. Principiálně anaerobní digesce probíhá ve čtyřech na sobě závislých fázích, během kterých směsná kultura mikroorganismů rozkládá biologicky degradovatelnou organickou hmotu [3,7]. Fáze procesu se nazývají hydrolýza, acidogeneze, acetogeneze a methanogeneze. Všechny tyto fáze většinou probíhají v plynotěsné nádrži [8,9] a to za současného působení různých mikroorganismů, z nichž jsou pro samotný vývoj bioplynu nejdůležitější tzv. methanogeny. Během výše uvedených fází probíhají i doprovodné procesy, jež se aktivují v průběhu činnosti mikroorganismů nazývaných homoacetogeny, sulfátreduktanty a nitrátreduktanty [10]. Odpadním produktem fermentace je digestát, což je zbytek po vyhnívání, který má kašovitou konzistenci. Po ukončení fermentačního procesu se shromažďuje ve skladovacích nádržích a může být použit jako hnojivo. Je-li proces vyhnívání veden správně, a i ostatní technologické kroky jsou bez závad, pak digestát nezapáchá a obsahuje v průměru 4-8% sušiny. Po odseparování pevného podílu z digestátu vzniká tzv. separát (tuhý zbytek) a fugát (tekutý zbytek). Obě tyto složky lze použít jako hnojivo. Nevyužitě živiny tak mohou být vráceny do půdy [8].

Anaerobní digesce tedy umožňuje zpracování biologicky rozložitelných odpadů (bioodpadů) v bioplynových zařízeních. Podrobný seznam odpadů použitelných pro zpracování je uveden v příloze č. 1 vyhlášky č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady.

4. Diskuse původní metodiky

Dle základní metodiky IPCC (*default method - tier 1*) je postup při výpočtu následující:

$$CH_4emise = \sum_i (M_i \times EF_i) \times 10^{-3} - R$$

kde:

i = typy nakládání s odpady (v tomto případě *i* jsou způsoby anaerobní digesce),

M = je hmotnost organického odpadu odstraňovaného metodou *i*,

EF = emisní faktor pro typ nakládání *i* a *R*

R = množství jímaného methanu v Gg CH₄ za rok

Rovnice 1: Základní metodika výpočtu AD na národní úrovni (tier 1)

Jak je z nastíněného výpočtu vidět, jedná se o velmi jednoduchou rovnici, kde hlavní tři parametry jsou hmotnost odpadu zpracovávaného AD, emisní faktor pro tento typ technologie a odečítá se množství methanu jímaného z provozu (případně flérováno či jinak cíleně zneškodněného). V českých podmínkách se jedná o data CENIA – nakládání s odpady, data MPO ze statistického šetření o využívání OZE a defaultní hodnoty uvedené v manuálu IPCC [1] pro danou technologii. Přímočarý výpočet, který by měl po zajištění datových zdrojů dát spolehlivý výpočet. Problém ale je v hodnotě *R*, protože data o jímaném plynu nezohledňují, jestli plyn pochází čistě z odpadů, nebo i z jiné vsázky (např. zemědělské koprodukty a rezidua, případně kaly apod.) a použitím tohoto *tier* pro podmínky ČR vychází hodnoty, které jsou na jednotku zneškodněného odpadu (tzv. *implied emission factors*) řádově jiné než ve světě a než je teoreticky možné, nebo se dokonce dosahuje negativních emisí. Problémem totiž je, že bioplynové stanice v ČR velmi často zneškodňují, nebo spíše využívají, kromě odpadu i další materiály a hodnota *R* tedy přesahuje potenciální množství, které se získá výpočtem z vsázky pouhého odpadu. Toto by bylo možné ošetřit tím, že by se do parametru *M* zahrnuly i ostatní vstupy. Protože se ale jedná o produkty – výrobky/materiály, nikoliv odpady,

neexistuje zákonná povinnost tyto ostatní vsázky evidovat a v národním měřítku tato data neexistují. Proto navrhujeme národní metodu výpočtu, která zohlední tento problém, a sníží výslednou nejistotu vypočtené hodnoty.

5. Národní metodika pro zdrojovou kategorii 5.B.2 Anaerobní digesce

Národní metodika anaerobní digesce má následující matematický zápis, který je dále v této kapitole konkretizován:

$$CH_4\ emitse = \sum_i R \times U \times GWP_{CH_4}$$

přičemž

$$R = \frac{E_{bp}}{50,009}$$

a

$$U = \frac{\sum_{s=n} U}{n}$$

kde:

$CH_4\ emitse$ = emise methanu v Gg CO_2 evk.

GWP_{CH_4} = faktor globálního ohřevu methanu popisující kolikrát je CH_4 efektivnější skleníkový plyn (současná hodnota je 25 [1])

R = množství methanu jímaného provozovatelem bioplynové stanice i (Gg)

U = faktor úniku, zlomek popisující únik v poměru k vyrobenému/jímanému methanu (bezrozměrný zlomek)

E_{bp} = Energie paliva - spalné teplo (TJ)

50,009 = spalné teplo čistého methanu CH_4 (TJ/Gg)

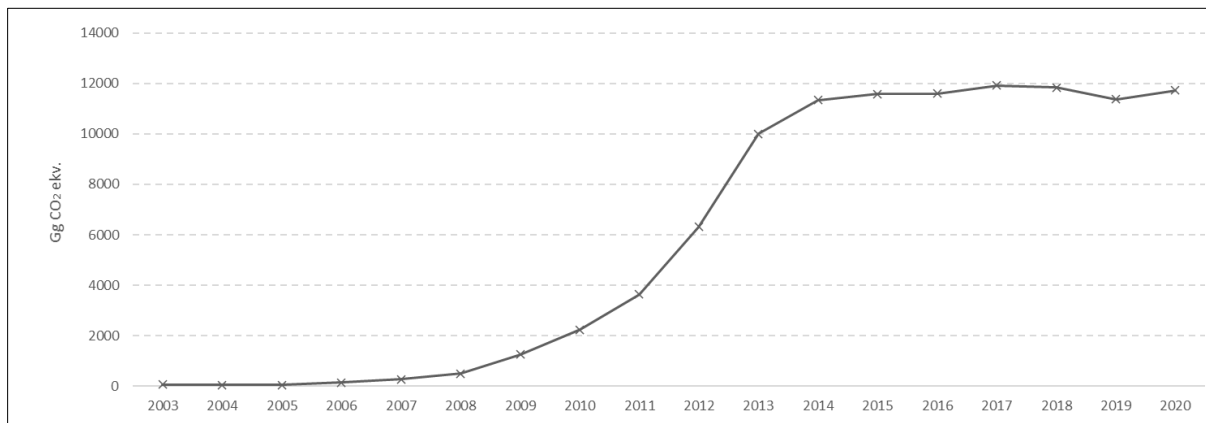
R = množství jímaného methanu v Gg CH_4 za rok

Rovnice 2: Navrhovaná metodika výpočtu AD na národní úrovni (tier 2)

5.1. Množství jímaného methanu R

Data o bioplynu jsou každoročně získávána od Ministerstva průmyslu a obchodu (MPO) z Oddělení analýz a datové podpory koncepcí (Odbor strategie a mezinárodní spolupráce v energetice) v podobě produkce energie obsažené v palivu v joulech. Energie obsažená v palivu je ekvivalent fyzikální veličiny spalného tepla, což je jiná veličina než výhřevnost (výhřevnost je spalné teplo umenšené o kondenzační energii vody ve spalínách). Protože emisní inventury jsou vedeny v hmotnostních jednotkách, je nutné převést energii obsaženou v palivu na hmotnost paliva, resp. hmotnost methanu. Složení bioplynu se liší zdroj od zdroje, ale všeobecně lze o bioplynu jakékoli výhřevnosti či spalného tepla říci, že hlavní část tvoří methan. Bioplyn sice může obsahovat různé příměsi (například oxid uhelnatý, sloučeniny síry), které teoreticky oxidovatelné jsou, a mohou

přispívat ke spalnému teplu bioplynu jako celku, ale tento příspěvek je zanedbatelný v porovnání s methanem. Pro účely výpočtu tedy pracujeme s předikamentem, že jediný zdroj energie měřitelný právě jako spalné teplo je v bioplynu methan. Výpočet proto pracuje s tím, že přes teoretické spalné teplo čistého methanu ($50,009 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) se dopočte teoretická hmotnost methanu, který byl jímán provozovateli bioplynových stanic. Tento methan zahrnuje i methan, který vznikl anaerobní digescí jiných materiálů než odpadů, nicméně vzhledem k tomu, že do výpočtu nyní nevstupují odpady jako hmotnostní tok, dává výsledek větší smysl. Nicméně problém nastíněný v minulé kapitole do jisté míry přetrvává a je diskutován na konci metodiky v kapitole Diskuse a shrnutí.



Obrázek 2: Ilustrativní produkce metanu obsaženého v bioplynu z BPS, ČR, 2003-2020, zdroj výpočet autorů

Data o odpadech zpracovaných BPS jsou dostupná jako data o množství odpadu přijatého bioplynovými stanicemi z databáze ISOH (Informační systém odpadového hospodářství), kterou spravuje CENIA. Jedná se ale pouze o data k bioplynovým stanicím zpracovávajícím odpad, který prošel evidencí odpadového hospodářství, jiná data zahrnuta nejsou. Především z tohoto důvodu data z ISOH posloužila jen pro potřeby tvorby této metodiky a její ověření, kdy výpočty na základě hmotnostního toku byly použity jako tzv. *check method* – metoda ověření, abychom si byli jisti, že výsledky navrhované metody budou ve stejném řádu, byť se číselně budou lišit. Použití *check method* je dobrou praxí dle IPCC [1].

5.2. Zdroje úniků bioplynu z BPS

Byly hledány záznamy o konkrétních zdrojích uniklých emisí (např. v rámci jednotlivých provozních budov bioplynových stanic, při různých způsobech skladování biomasy, vady na potrubním vedení apod.), ale literatury, která by se tímto fenoménem zabývala takto do hloubky v rámci ČR, je velmi omezené množství. Obecnou představu o hlavních zdrojích úniků a jejich podílu na celkových emisích je zčásti možné si utvořit na základě studií a dat ze zahraničí.

Plynové hospodářství stanice by mělo být za normálního provozu nastaveno tak, aby ztráty tohoto systému byly zanedbatelné (v řádu desetin % celkové výroby) [12]. Za nestandardních situací však k únikům methanu docházet může, a to jak náhodně (chyby v obsluze zařízení, neoptimalizované nastavení procesu, úniky na vstupech, výstupech i potrubí) [13,14], tak úmyslně. K tomu dochází zejména v situaci, kdy množství vyprodukovaného methanu/bioplynu převyšuje poptávku. Podobná praxe byla doložena především v některých rozvojových zemích (např. Indie, Pákistán), kde data naznačují, že emise methanu z domácích bioplynových zařízení mohou dosahovat až 40 %, což zhruba odpovídá ztrátě 4,5 Tg/rok, tedy 1 % globálních emisí či 10 % emisí z produkce rýže [15]. Množství takto uvolněných emisí se navíc může lišit v závislosti na podnebí. Roční emise CH₄ ze zařízení s objemem

2 m³ mohou být až 53,2 kg CH₄/rok v regionech s teplým podnebím a 22,3 kg CH₄/rok v regionech s chladnějším podnebím. Hodnoty byly vypočteny pro předpokládanou produkci 0,4 m³ bioplynu/m³ plochy fermentoru/den, což odpovídá ztrátě 17 %, resp. 14 % bioplynu [14,15]. Pomocí tzv. break-even analýzy bylo dokonce doloženo, že emise z anaerobní digesce v malých bioplynových stanicích (tj. typicky s objemem 6–10 m³ a produkcí 0,1–0,3 m³ plynu/m³ objemu fermentoru/den) mohou být natolik velké, že negativní dopad na globální oteplování převáží potenciální úspory plynoucí ze sníženého spalování tradičních paliv. V závislosti na typu nahrazovaného paliva může tento „zlom“ nastat, uvolní-li se 3–51 % vyprodukovaného bioplynu [15].

Koncové sklady digestátu, kde může docházet ke zbytkovému vývinu methanu, jsou dalším významným zdrojem jeho emisí v případě, kdy nejsou dostatečně plynotěsně zakryty. Produkce digestátu v BPS může být v některých případech značná. Na každou vyprodukovanou megawatthodinu (MWh) el. energie připadá cca vyprodukovaní 2 t digestátu v závislosti na složení vstupního substrátu a procesních podmínkách [16]. V součtu s emisemi uvolněnými při delších výpadcích spotřeby, například při poruchách či plánovaných odstávkách kogenerační jednotky, jsou ztráty methanu ze skladování digestátu mnohdy významné a mohou dosahovat až jednotek procent roční výroby bioplynu [12]. Doloženy jsou i případy, kdy díky zdržení substrátu v neodpovídajících fermentorech a zároveň nedostatečně uzpůsobených skladech digestátu z hlediska plynotěsnosti, může docházet k emisím CH₄ tak vysokým, že je ve výsledku negativně ovlivněn plánovaný ekologický přínos takového zařízení k omezení a bilanci emisí ekvivalentu CO₂. Úniky methanu se v těchto případech mohou pohybovat na úrovni odpovídající 30–50 % emisního faktoru pro produkci elektřiny při spalování uhlí [12,17]. Naproti tomu v případě krytých nádrží s digestátem a anaerobních lagun bylo Mezivládním panelem pro změnu klimatu ve zprávě o offsetových metodologiích doporučeno předpokládat 0–5 % fugitivních emisí z těchto zařízení [18].

Studie provedená pod záštitou Dánské energetické agentury a tamního ministerstva (Ministry of Energy, Utilities and Climate, Denmark) ukázala, že jednotlivých zdrojů úniků CH₄ může být i v případě některých zařízení v Evropě opravdu velké množství [19]. Ve 4 sledovaných BPS bylo identifikováno od 8 do 16 jednotlivých zdrojů emisí, zároveň se ale prokázalo, že většina emisí vždy pochází pouze z několika málo z nich. Jedná se zejména o již výše zmíněný otevřený sklad digestátu (53 % emisí v rámci dané BPS), což je v souladu s předchozími studiemi o emisích CH₄ ze zařízení s otevřenými skladovacími nádržemi digestátu [20,21]. Dalším významným zdrojem emisí může být plynový motor (gas engine) (45 % emisí z dané BPS), kogenerační jednotka (38 % emisí z dané BPS), dále odvětrávací systém budovy (často vč. biofiltru), nádrže pro příjem a míchání biomasy či jednotka pro úpravu bioplynu. Celkově se emise z jednotlivých BPS podařilo v této studii pomocí DPZ stanovit v rozmezí 5,5–13,5 kg CH₄/h, což odpovídalo ztrátě 1,4–8,3 % produkce CH₄. Souhrnný průměr (součet emisí všech čtyř BPS/součet výroby všech čtyř BPS) byl 2,7 %, což je srovnatelné se ztrátami 3,1 % hlášenými ze zemědělské BPS [22] a 0,6–2,1 % z BPS zpracovávající čistírenské kaly [21].

5.3. Faktor úniku - U

Výpočet emisí spočívá ve vynásobení vyprodukovaného bioplynu faktorem úniku (U). Emise skleníkových plynů by měly být založeny na sumarizaci možných úniků v rámci celého areálu bioplynové stanice, ale případně i na poruchách či haváriích. Dle metodiky IPCC se zpravidla jedná o 0–10 % vyprodukovaného methanu. Doporučená defaultní hodnota je v metodice uváděna 5 %. Tento postup je v rámci metodiky IPCC [1] popsán v odstavci o anaerobní digestaci v podkapitole 4.1 *Methodological issues*. Jak ale ukazuje tabulka č. 1 [23], kvantifikované emise se ve skutečnosti mohou pohybovat i v mnohem širším rozmezí. Řada států proto přistupuje ke stanovení vlastního faktoru U,

který je specifitější. Tomuto postupu většinou předchází měřící monitorovací kampaň v jednotlivých typech BPS, podložená ještě například podrobnou rešerší dostupných literárních a datových zdrojů.

Tabulka 1: Přehled studií kvantifikujících emise methanu z BPS pomocí různých metod (převzato z [23] doplněno o relevantní studie citované v této metodice

	Zdroje emisí	Typ měření	Metoda měření	Ztráty methanu	Zdroj
1	Nezakrytá dobytčí kejda v BPS	na místě	Metoda uzavřené komory	87–176 g m ⁻² d ⁻¹	Khoiyangbam a kol. (2004a)*
2	Přikrmovací komora BPS	na místě	Metoda uzavřené komory	7–120 g m ⁻² d ⁻¹	Khoiyangbam a kol. (2004) [14]
3	Prasečí a kravská kejda	na místě	Dynamická FTIR spektrometrie v otevřené komoře	(71,7 %) 16 %	Amon a kol. (2004)*
4	Kravská ekologická farma	na místě	Metoda disperze trasovací látky (SF6)	35 C g m ⁻³ d ⁻¹ (10 %)	Sneath a kol. (2006)*
5	Prasečí farma	DPZ	Metoda inverzního disperzního modelování s využitím laserové spektroskopie (TDLAS) a zpětného Lagrangeova stochastického modelu	3 203 gfar m ⁻¹ d ⁻¹	Harper a kol. (2010)*
6	BSP zpracovávající statkový hnůj	na místě	Offsetové metody	0-5 %	Martin (2008) [24]
7	Zemědělská BPS	DPZ	Metoda inverzního disperzního modelování s využitím laserové spektroskopie (TDLAS) a zpětného Lagrangeova stochastického modelu	3,2 kg h ⁻¹ (3,1 %)	Flesch a kol. (2011) [22]
8	10 zemědělských BPS s kogenerační jednotkou	na místě	Spektroskopická (TDLAS) a plameno-ionizační (FID) detekce netěsností; kvantifikace emisí z jednotlivých zdrojů s využitím metody statické a dynamické komory	0,40–3,28 %	Liebetrau a kol. (2013) [20]
9	ČOV	DPZ	Metoda disperze stopovacího plynu s jeho řízeným uvolňováním	2,07–32,7 %	Yoshida a kol. (2014)*
10	Bioplynové stanice	DPZ	Metoda inverzního disperzního modelování s využitím laserové spektroskopie (TDLAS) a zpětného Lagrangeova stochastického modelu	7,2 kg h ⁻¹ (4 %)	Hrad a kol. (2015)*
11	Bioplynová stanice	DPZ	Metoda inverzního disperzního modelování s využitím laserové spektroskopie (TDLAS) a zpětného Lagrangeova stochastického modelu	2,8 g s ⁻¹ (4 %)	Groth a kol. (2015) [25]

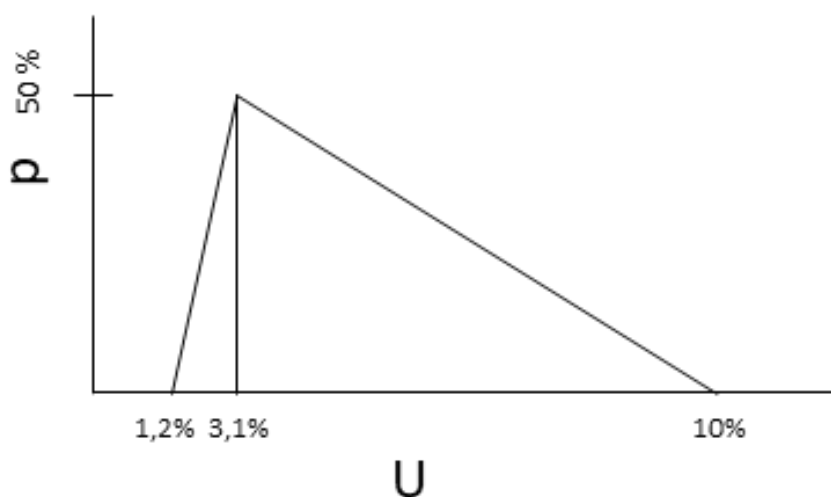
12	Provoz tlakových ventilů BPS	na místě	Explozi odolný snímač rychlosti proudění	3,88 %	Reinelt a kol. (2016)*
13	BPS zpracovávající kravský hnůj a potravinářské odpady	DPZ	Metoda inverzního disperzního modelování s využitím laserové spektroskopie (TDLAS) a zpětného Lagrangeova stochastického modelu	19 g d ⁻¹ (12 %)	Baldé a kol. (2016)*
14	BPS zpracovávající organický odpad	DPZ a na místě	Měření pomocí pozemního dálkového průzkumu a velkoobjemového vzorkovače	5–25 kg h ⁻¹ (0,6–3 %)	Reinelt a kol. (2017) [21]
15	Mokrý proces čištění spalin BPS	na místě	Analyzátor plynu	9,90 %	Kapoor a kol. (2017)*
16	Zařízení na zpracování biologického odpadu	DPZ	Metoda disperze stopovacího plynu s jeho řízeným uvolňováním	30,1 kg h ⁻¹	Jensen a kol. (2017)*
17	ČOV	DPZ	Metoda disperze stopovacího plynu s jeho řízeným uvolňováním	1–21 %	Delre a kol. (2017)*
18	Skladovací nádrže s digestátem	DPZ	Mikrometeorologická metoda hmotnostní bilance	76 g kg ⁻¹ (hnůj)	Maldaner a kol. (2018)*
19	4 BSP (3 zemědělské a 1 jako součást ČOV)	na místě i DPZ	Metoda disperze stopovacího plynu s jeho řízeným uvolňováním	5,5 – 13,5 kg h ⁻¹ (1,4 – 8,3 %)	Fredenslund a kol. (2018) [19]
20	9 BPS s jednotkou na čištění bioplynu	na místě	Vzorkování a analytická měření	0,04–1,7 %	Kvist a kol. (2019) [23]
21	13 BPS zpracovávající ČOV kaly	na místě	Metoda disperze stopovacího plynu s jeho řízeným uvolňováním	7,5 %	Scheutz a Fredenslund (2019) [26]
22	10 BSP zpracovávající zemědělský a organický odpad	na místě	Metoda disperze stopovacího plynu s jeho řízeným uvolňováním	2,4 %	Scheutz a Fredenslund (2019) [26]

FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) – Infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací, SF6 (Sulphur hexafluorid) – fluorid sírový, TDLAS (Tunable Diode Laser Absorption spectroscopy) – Nastavitelná diodová laserová absorpční spektroskopie, FID (Flame Ionization Detection) – Plamenoionizační detekce, DPZ – Dálkový průzkum země, ČOV – Čistírna odpadních vod; * kompletní citace uvedena ve zdroji [23].

Za účelem získání přesnějších faktorů úniku pro CH₄ než IPCC defaultních (z metodiky 2006) byla nejprve prověřena IPCC databáze emisních faktorů EFDB [27]. Databáze poskytla vhodnou studii z Německa [25], ve které byla pro stanovení emisí methanu z bioplynové stanice v Porýní-Falcku použita metoda dálkového průzkumu Země. K odvození míry emisí byl použit model inverzní disperze. Tato technika vyžaduje jedno měření koncentrace methanu pomocí otevřeného laserového absorpčního spektrometru (TDLAS) po větru a proti větru od zdroje a základní informace o větru, jako je rychlost a směr větru. V nerušených provozních režimech dosahovaly emise methanu v průměru 2,8 g/s, což odpovídá 4 % produkce methanu dané bioplynové stanice. Další relevantní údaje byly zjištěny z NIR Německa vydané v roce 2021 [28]. Pro reporting emisí methanu z AD využívá Německo národní EF = 2,800 kg CH₄/kt bioodpadu, což odpovídá ztrátě 5,7 % z celkové produkce methanu. Tento specifický faktor byl stanoven na základě monitorovacího projektu [29], v němž byly kalkulovány emise pocházející ze zařízení na digesti biologického odpadu, který primárně tvoří odděleně sbíraný biologický odpad z domácností, potravinový odpad z jídelen a restaurací a biologický odpad z výroby a zpracování potravin. Nezahrnují se emise z vyhívání čistírenských kalů.

Flesch a kol. (2011) [22] měřili fugitivní emise methanu z bioplynové stanice v Kanadě pomocí techniky inverzní disperse. Zařízení využívá anaerobní digesce za účelem výroby bioplynu (z hnoje dobytka a jiných organických surovin), který se následně spaluje s cílem vyprodukovat elektřinu (kapacita 1 MW) a teplo. Jedná se tedy o waste-to-energy proces, celkové emise z něj jsou reportovány v rámci energetické kategorie inventarizace, nicméně uvedená metoda měření a zjištěné hodnoty se pro srovnání využít dají. Fugitivní emise související s provozem BPS během čtyř sezónních kampaní byly v průměru stanoveny na 3,2, 0,8 a 26,6 kg CH₄·h⁻¹ pro období normálního provozu, období údržby, resp. období flérování. Při běžném provozu odpovídalo průměrné množství fugitivních emisí 3,1 % celkové produkce methanu. Svě vlastní emisní faktory mají např.: Dánsko 4,2 % [30], Švýcarsko 1-2,5 % s poznámkou, že měření v místě bioplynových stanic neprokázalo závislost mezi množstvím vyprodukovaného bioplynu a unikajícími emisemi, průměrně unikne 1,23 t methanu z BPS za rok [31], Japonsko 2 % úniku při podílu methanu v bioplynu 60 % [32], Lucembursko 3,1 % [33]. Naopak sousední Rakousko do roku 2015 využívalo stejně jako ČR defaultní EF 5 % z produkce bioplynu. Předpokladem však je, že v horizontu let 2016 až 2030 bude únik emisí postupně klesat tak, aby se ustálil na hodnotě 1 %. Důvodem tohoto předpokládaného trvalého poklesu je zavedení legislativního nařízení, které stanovuje, že pro získání povolení k výstavbě nové BPS je nutnost zajistit plynotěsnost zásobníků i uskladňovacích tanků. Vzhledem k tomu, že průměrná životnost bioplynové stanice je odhadována na 15 let, lze očekávat, že do roku 2030 budou v provozu pouze plynotěsné bioplynové stanice. Stále se však bude předpokládat únik ve výši 1 % a to i po roce 2030 [34].

Na základě provedené rešerše je patrné, že datová základna konkrétních měření emisí methanu z AD v zahraničí existuje. Stanovené národní EF se však značně liší. Množství datových zdrojů o konkrétních únicích methanu z provozu jednotlivých BPS v ČR je naopak považováno za omezené. Dle dostupných informací se nepodařilo doložit, že by v rámci ČR byl dosud proveden dlouhodobější experimentální či provozní monitoring emisí z AD odpadů, který by poskytl datovou základnu pro výpočet reálně uniklých emisí. Na základě těchto hodnot by pak bylo možné po vzoru řady evropských zemí upravit národní emisní faktor a při výpočtech ho poté používat místo defaultně stanoveného U (5 %).



Obrázek 3: Navrhované rozdělení pravděpodobnosti

Na základě výše uvedených data a stanovisek lze demonstrovat, že doporučená default hodnota pravděpodobně převyšuje reálné úniky v průmyslově vyspělých zemích. Zde se pro řádně provozované stanice pohybují emise mezi 1,2% (Japonsko) až po 4,2 % (Dánsko). Pro Českou republiku by tedy mělo být dobrou praxí používat nižší faktor úniku, než je doporučená základní hodnota. Jako

nejpravděpodobnější hodnotu na základě dostupných pramenů doporučujeme používat střední hodnotu mezi hodnotou základní (5%) a nejnižší hodnotou (1,2% Japonsko) s tím, že rozptyl tohoto faktoru bude zohledněn v nejistotě (roz. Kapitola metodiky IPCC *Uncertainty management*), kde navrhujeme rozdělení pravděpodobnosti parametru U jako jednoduchou trojúhelníkovou funkci s mezními hodnotami 1,2%, nejpravděpodobnější hodnotou s 50% pravděpodobnosti na hodnotu 3,1% a druhou mezní hodnotu na 10% (viz Obrázek 3). Zároveň konstatujeme národní EF aktuálně přesně vyčíslit dle výsledků vlastní měřicí kampaně.

6. Diskuse a shrnutí

Inventarizace emisí skleníkových plynů ze sektorů odpadů je zatížena velkými nejistotami (*uncertainty*). Metodika IPCC odhaduje, že nejistota kategorie v absolutní hodnotě má rozmezí +/- 40%, což se na rozdíl od energetiky (+/- 3%) může zdát hodně, ale tato nejistota pramení z obrovské heterogenity procesů v odpadovém hospodářství, roztržité datové základny s neharmonizovanými daty a postupy a také z ne vždy přesné znalosti biologických postupů stojících za zdrojovými kategoriemi (např. emise N₂O z vody). Navíc v oblasti odpadů jsou některé zdrojové kategorie natolik malé (např. kompostování), že náklady na provedení přesné a detailní inventury *bottom-up* by třeba mohlo snížit nejistotu kategorie, ale za cenu enormních nákladů a pokud významnost této kategorie je minimální, je z pohledu omezených zdrojů racionální alokovat zdroje na zpřesnění do kategorií, které jsou klíčové. I z tohoto důvodu velmi často není cílem inventarizace GHG přijít s absolutní přesnou hodnotou, ale spíše s nejpravděpodobnějším odhadem, a tento transparentně komunikovat na mezinárodní úrovni.

Na druhou stranu kategorie AD není zcela bezvýznamnou. Sice nepatří mezi klíčové zdrojové kategorie (tzv. *key categories* – tedy kategorie které v kumulativním součtu od největšího k nejmenšímu tvoří 95 % národní inventury), ale její význam bude narůstat ze dvou důvodů. První důvod je podpora OZE, kam bioplyn patří a bude patřit a s implementací plánu obnovy (recovery plan), a zelené dohody (Green Deal) bude narůstat objem AD instalací na našem území. Druhý nárůst významu je i v tom, že v rámci zelené dohody by se v Evropě měly postupně zahrnout pod systém emisního obchodování (EU ETS) i další sektory nad rámec stávajících a odpadové hospodářství je jedním z takto diskutovaných sektorů. Evropská zelená dohoda také stanovuje závazné indikátory na snížení emisí z tohoto sektoru. Z těchto důvodů je nutné mířit k vyšším *tiers* inventarizace a zpřesňovat odhady emisí z této zdrojové kategorie.

6.1. Dvojitá započítávání a nejistota

Z důvodu toho, že nejsme schopni oddělit na výstupu z bioplynové stanice bioplyn vzniklý z odpadů a bioplyn vzniklý zejména z kalu (ale může se to týkat například bioplynu ze zvířecích exkrementů), může docházet ke dvojitému započítání této části emise v kategorii 5.D nakládání s odpadními vodami a v kategorii 3. B. Na základě průzkumu dat i znalosti metodiky se nezdá, že by toto potenciální dvojitá započítání významně ovlivnilo výsledek nad rámec inherentní nejistoty, kterou tato kategorie má, ale při implementaci této metodiky do NIS je nutné tento aspekt konzultovat se sektorem 3 Agriculture a zohlednit i do kategorie 5.D, kde je anaerobní zneškodňování kalu ošetřeno parametricky (např. zdůvodněným snížením rozmezí faktoru).

6.2. Návrh metodiky sběru dat o únicích methanu z bioplynových stanic

I s ohledem na rostoucí význam kategorie 5.B.2 je vhodné je zvážit naplánování a provedení experimentálního monitoringu emisí methanu ve vtypovaných BPS, např. pro různé kategorie BPS dle jejich výkonu, který lze v ČR očekávat v rozsahu cca 100 kW – 1200 kW. Vhodné je experimentálně podložit i úniky methanu v rámci jednotlivých částí BPS. Zejména u skladu digestátu lze očekávat rozdíly v závislosti na tom, jak je takový sklad konstruován, a zda je plynotěsně zakryt či nikoliv. Experimentální monitoring by měl proběhnout i při různých módech chodu BPS (období flérování vs. standardní chod). Monitoring by bylo možno nastavit například dle metodik využitých ke zpřesnění EF okolními státy či publikovanými v renomovaných mezinárodně recenzovaných periodících. Příkladem může být inverzní disperzní technika [22,25], monitorovací výzkumný projekt provedený v Německu [27], či další metody uvedené v tabulce č. 1.

V případě, že by se na základě měřící monitorovací kampaně (nutně doplněné i o *state-of-the-art review* dostupné literatury k problematice emisí skleníkových plynů z AD odpadů) podařilo zjistit reálné úniky emisí methanu, bylo by možno stanovit ještě přesnější národní EF a ten následně využít pro výpočet celkových emisí methanu.

V rámci měření by měly být postihnuty zejména tyto části BPS/situace:

- i. digestát a prostory pro jeho skladování
- ii. množství uniklého plynu při startování a provozu kogenerační jednotky
- iii. množství uniklého plynu při startování a provozu fléry
- iv. potrubní rozvody
- v. bioplynový reaktor a související rozvody
- vi. havarijní úniky
- vii. skladování materiálu (vstupního, výstupního)
- viii. další zařízení specifická dané BPS, kde by mohlo docházet k únikům

Měření by se mělo provést na několika stanicích obdobné konstrukce a provozu, případně na různých zařízeních ve více opakováních a za příznivých meteorologických podmínek. Pokud bude chtít ČR udržet emisní faktor aktuální, mělo by se měření po několika (např. pěti) letech, nebo po významných legislativních či technologických změnách, opakovat.

7. Uplatnění metodiky v CENIA

CENIA je řešitelem sektoru odpadů v rámci NIS, sama tedy zjištěné poznatky využije. Navíc oblast anaerobní digesce odpadů není v rámci IPCC příliš do detailů rozpracovaná v porovnání s jinými kapitolami. Tato metodika by tedy mohla sloužit jako návrh postupu i pro ostatní země, jak kalkulaci emisí z AD zpřesnit a jak postupovat v případě snahy o zavedení národního EF.

8. Ekonomické aspekty

Technologie anaerobní digesce je jedním z pilířů pro dosažení principů oběhového hospodářství v sektoru nakládání s komunálními a biologicky rozložitelnými odpady, což má reálné pozitivní ekonomické dopady. Intenzivnějším využitím této technologie lze dosáhnout přesunu části

odpadů produkovaných municipalitami, občany a potravinářskými a zemědělskými podniky ze skládek či dalších méně ekologických způsobů odstranění, resp. využití, směrem k technologii, na jejímž konci je reálně ekonomicky zhodnotitelný produkt/služba (např. el. energie, vytápění). Produkovaný bioplyn z anaerobní digesce je hlavním finančním příjmem BPS, proto je provozovatel vysoce motivován k maximálnímu využití energetického potenciálu produkovaného bioplynu a minimalizaci jeho úniků jak v samotné technologii, kdy musí být potenciální úniky na co nejnižší úrovni v souladu s principy správné provozní praxe a technickými normami, tak z jednotlivých součástí BPS (např. úniky reziduálního bioplynu z digestátu). Obecný předpoklad, že úniky jsou zcela minimální, je hlavním důvodem, proč dosud nebylo prováděno systematické sledování zbytkového bioplynu při obligatorních měřeních souvisejících s environmentálními povoleními provozu příslušných zařízení. Realizace navržených způsobů měření bude vyžadovat zajištění finančních prostředků pro provedení měřicí kampaně, která položí základ pro výpočet národního EF. Do doby realizace monitorovací kampaně bude tato metodika výpočtu sloužit jako validační a bude využívána v širším časovém horizontu. 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 ekonomická.

9. Závěr

Metodika výpočtu emisí z kategorie 5.B.2 povede k výraznému zpřesnění inventarizace emisí skleníkových plynů z této kategorie, nicméně příprava rešeršní části metodiky odhalila, že na území ČR dosud nebyl proveden vlastní monitoring emisí methanu z AD, na základě něhož by byl stanoven přesný národně-specifický EF (*tier 3*). Ke zpřesnění bylo naopak přistoupeno pouze na základě zhodnocení kampaní a naměřených dat ze zahraničí, EF tak byl nově upřesněn na hodnotu specifikovanou v kapitole 5. V návaznosti na tato zjištění je doporučeno provedení vlastní reprezentativní série měření množství reziduálního CH₄ na BPS v ČR zejména v digestátu a jeho skladech, resp. dalších zdrojích v rámci BPS, které byly na základě této metodiky identifikovány jako významné. Předpoklad minimálního reziduálního množství CH₄ v digestátu by měl být ověřen i z důvodu ekonomického tlaku na provozovatele BPS k maximálnímu energetickému využití vyprodukovaného plynu v kogeneračních jednotkách příslušné BPS. Následně bude možné dle v této metodice popsaného postupu opětovně revidovat U a tedy i celkovou emisi.

Tento dokument byl vytvořen za finanční podpory Technologické agentury ČR v rámci programu Théta jako součást projektu MEMORESP.

10. Seznam literatury

- [1] IPCC, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol. 5 Waste. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). ISBN 4-88788-032-4
- [2] Straka, F. a autorský kolektiv, 2003. Bioplyn. Příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů, 306 str., ISBN 80-7328-029-9.
- [3] Zhang, Q., Jianjun, H., Duu-Jong, L., 2016. Biogas from anaerobic digestion processes: Research updates. Renewable Energy 98, 108-119. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148116301306>

- [4] Albuquerque, J.A., De La Fuente, C., Ferrer-Costa, A., 2012. Assessment of the fertiliser potential of digestates from farm and agroindustrial residues. *Biomass and Bioenergy*, 40, 181-189. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953412001110>
- [5] Kuraš M., 1994. Odpady, jejich využití a zneškodňování. Český ekologický ústav, Praha, 171 str., ISBN 80-85087-32-4.
- [6] Červená, K., Lyčková, B., Kučerová, L., Bouchalová, M., Barabášová, T., 2007. Anaerobní digesce. Biologické metody zpracování odpadů. VŠB – TUO. Dostupné z: <http://hgf10.vsb.cz/546/bmzo/pages/index.html>
- [7] Kouďa, J., 2008. Bioplynové stanice s mokřým procesem. Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT), Informační centrum ČKAIT, Praha, ISBN 978-80-87093-33-7.
- [8] Tenza, 2017. Bioplynové stanice. TENZA, Brno. Dostupné z: <http://www.tenza.cz/cz/aktivity/energetika/energeticke-stavby/bioplynove-stanice/>
- [9] Ochodek, T., Koloničný, J., Branc, M., 2007. Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy: studie v rámci projektu "Možnosti lokálního vytápění a výroby elektřiny z biomasy". VŠB – Technická univerzita Ostrava, ISBN 978-80-248-1426-1.
- [10] Straka, F., Ciahotný, K., 2010. Bioplyn. Příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů. 3. zkrác. vyd., Gas, Praha, ISBN 978-80-7328-235-6.
- [11] Karafiát, Z., Vítěz, T., 2009. Biogas transformation of liquid substrates. Mendelova univerzita v Brně. Dostupné
- [12] SEVEn Středisko pro efektivní využívání energie, 2011. Energetická efektivnost bioplynových stanic – Možná opatření pro vyšší stupeň využití bioplynu, 15 str. Dostupné z: <https://www.czba.cz/files/ceska-bioplynova-asociace/uploads/files/EnEfBPS-komplet.pdf>
- [13] Nazir, M., 1991. Biogas plants construction technology for rural areas. *Bioresource Technology* 35, 283-289.
- [14] Khoiyangbam, R.S., Kumar, S., Jain, M.C., Gupta, N., Kumar, A., Kumar, V., 2004. Methane emission from fixed dome biogas plants in hilly and plain regions of northern India. *Bioresource Technology* 95, 35–39.
- [15] Brunn, S., Jensen, L.S., Vu, V.T.K., Sommer, S., 2014. An option for global warming mitigation or a potential climate bomb? *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 33, 736-741.
- [16] Ditl, P., Nápravník, J., Šulc, R., 2017. Chemical pre-treatment of fugate from biogas stations. *Biomass and Bioenergy* 96, 180-182.
- [17] EU AGRO BIOGAS PROJECT, 2009. XXXIII CIOSTA – CIGR V Conference, Reggio Calabria (Italy) "Technology and management to ensure sustainable agriculture, agro-systems, forestry and safety", 6 str. Dostupné z: <https://edepot.wur.nl/169548>
- [18] EPA, 2008. Climate leaders greenhouse gas inventory protocol offset project methodology for project type: managing manure with biogas recovery systems (Version 1.3) Clim. Prot. Partnerships Division/Climate Change Division. Office of Atmospheric Programs, U.S. Environmental Protection Agency.
- [19] Fredenslund, A.M., Hinge, J., Holmgren, M.A., Rasmussen, S.G., Scheutz, C., 2018. On-site and ground-based remote sensing measurements of methane emissions from four biogas plants: A comparison study. *Bioresource Technology* 270, 88–95.
- [20] Liebetrau, J., Reinelt, T., Clemens, J., Hafermann, C., Friehe, J., Weiland, P., 2013. Analysis of greenhouse gas emissions from 10 biogas plants within the agricultural sector. *Water Science Technology* 67, 1370–1379. Dostupné z: <https://doi.org/10.2166/wst.2013.005>
- [21] Reinelt, T., Delre, A., Westerkamp, T., Holmgren, M.A., Liebetrau, J., Scheutz, C., 2017. Comparative use of different emission measurement approaches to determine methane emissions from a biogas plant. *Waste Management* 68, 173–185. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.053>.

- [22] Flesch, T.K., Desjardins, R.L., Worth, D., 2011. Fugitive methane emissions from an agricultural biodigester. *Biomass and Bioenergy* 35(9), 3927–3935.
- [23] Kvist, T., Aryal, N., 2019. Methane loss from commercially operating biogas upgrading plants. *Waste Management* 87, 295–300.
- [24] Martin, J.H., 2008. Methane to markets: international guidance for quantifying and reporting the performance of anaerobic digestion systems for livestock manures. EPA. Contract No. EP-W-07-067.
- [25] Groth, A., Maurer, C., Martin Reiser, M., Kranert, M., 2015. Determination of methane emission rates on a biogas plant using data from laser absorption spectrometry. *Bioresource Technology* 178, 359–361. doi: 10.1016/j.biortech.2014.09.112
- [26] Scheutz, C., Fredenslun, A.M., 2019. Total methane emissions and losses from 23 biogas plants. *Waste Management* 97, 38-46.
- [27] Databáze emisních faktorů EFDB. Dostupné z: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php>
- [28] NIR Německo. Dostupné z: <https://unfccc.int/documents/273433>
- [29] Cuhls, C., Mähl, B., Clemens, J., Herrmann, T., 2015. Ermittlung der Emissionssituation bei der Verwertung von Bioabfällen. Dessau-Roßlau, 39, 148 str., ISSN 1862-4804. Dostupné z: <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ermittlung-der-emissionssituation-bei-der>
- [30] NIR Dánsko. Dostupné z: <https://unfccc.int/documents/273129>
- [31] NIR Švýcarsko. Dostupné z: <https://unfccc.int/documents/271462>
- [32] NIR Japonsko. Dostupné z: <https://unfccc.int/documents/271503>
- [33] NIR Lucembursko. Dostupné z: <https://unfccc.int/documents/271572>
- [34] NIR Rakousko. Dostupné z: <https://unfccc.int/documents/273471>