

Národní metodika výpočtu emisí skleníkových plynů z kategorie 5.C.2 Otevřené spalování odpadů

CENIA, česká informační
agentura životního prostředí

Autoři:

Mgr. Miroslav Havránek, Mgr. Jana Esterlová, Ing. Jakub Skála, Ing. Jiří Valta

Oponenti: doc. Ing. Mgr. Jana Soukopová, doc. Ing. Martin Pavlas, Ph.D.

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

Národní metodika výpočtu emisí z kategorie 5.C.2 Otevřené spalování odpadů – TK02010056-V14

CENIA, česká informační agentura životního prostředí

Praha, 2021

Seznam zkratek

CF	celkový obsah uhlíku (Carbon Fraction)
CRF	reportovací databáze (Common Reporting Format)
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
dm	obsah sušiny (dry matter)
EF	emisní faktor
FCF	podíl fosilního uhlíku (Fossil Carbon Fraction)
h	hloubka prohoření materiálu
HZS	Hasičský záchranný sbor České republiky
IČZ	identifikační číslo zařízení
IPCC	Mezivládní panel pro změnu klimatu (Intergovernmental Panel on Climate Change)
ISOH	Informační systém odpadového hospodářství
ISPOP	Integrovaný systém plnění ohlašovacích povinností
IW	množství odpadu (Incinerated Waste)
IW _o	množství shořelého odpadu za jeden ohlášený požár (ostatní požáry)
IW _s	množství shořelého odpadu za jeden ohlášený požár na skládce
k _a	koeficient provzdušnění
m _{celek}	celková hmotnost odpadu uloženého na skládku za jeden rok
m _i	hmotnost odpadu jednoho katalogového čísla odpadu uloženého na skládku za rok
NIR	Národní inventarizační zpráva (National Inventory Report)
NIS	Národní inventarizační systém (emisí a propadů skleníkových plynů)
NMVOCs	nemethanové těkavé organické látky (Nonmethane Volatile Organic Compounds)
NO _x	oxidy dusíku (NO a NO ₂)
OF	oxidační faktor
OSN	Organizace spojených národů
S	plocha požáru
SO _x	oxidy síry
SW	množství odpadu (Solid Waste)
UNFCCC	Mezinárodní rámcová úmluva OSN o změně klimatu (United Nations Framework Convention on Climate Change)
WF	podíl odpadu (Waste Fraction)
ρ	hustota odpadu

Obsah

Seznam zkratk	2
1. Úvod	4
2. Cíl metodiky	4
3. Popis dat	4
4. Postup výpočtu	5
4.1. Množství spáleného odpadu	5
4.1.1. Množství spáleného odpadu – ostatní požáry	6
4.1.2. Množství spáleného odpadu – skládky	7
4.2. Výpočet emisí skleníkových plynů	9
4.2.1. Výpočet emisí oxidu uhličitého	10
4.2.2. Výpočet emisí methanu	11
4.2.3. Výpočet emisí oxidu dusného	11
4.2.4. Emisní faktory a složení odpadu	12
4.3. Vzorový příklad výpočtu	14
5. Uplatnění metodiky v CENIA	15
6. Ekonomické aspekty metodiky	15
7. Závěr	16
8. Seznam literatury	17

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 povinná provozovat národní inventarizační systém (NIS) a každoročně vydávat národní report emisí a propadů skleníkových plynů – National Greenhouse Gas Inventory Report (NIR).

Emise jsou publikovány v základních kategoriích, přičemž jednou z nich jsou i odpady (pokyn č. 5 v CRF databázi UNFCCC), které se dělí na další podkategorie. Otevřené spalování odpadu se nachází v podkategorii 5.C společně s incinerací – řízeným spalováním bez energetického využití (5.C.1 – Incinerace, 5.C.2 – Otevřené spalování). Podkategorie 5.C.1 je každoročně reportována, podkategorie 5.C.2 nikoliv [1]. O otevřeném spalování neexistuje systematická evidence, jelikož je takovýto způsob nakládání s odpady nelegální [2]. Zároveň jsou tyto emise považovány za zanedbatelné. Evidence požárů Hasičského záchranného sboru ČR (HZS) ale dokládá mnoho případů zahoření odpadů. Požáry vznikají nelegálními činnostmi občanů i spontánní cestou. Metodika tedy přináší postup, jak s těmito existujícími daty nakládat.

Spalování odpadu je stejně jako jakékoliv jiné spalování zdrojem oxidu uhličitého (CO_2), který je významným skleníkovým plynem. Dalšími emitovanými skleníkovými plyny jsou pak methan (CH_4) a oxid dusný (N_2O). Oxid uhličitý ale svým množstvím dominuje. Odhady emisí těchto plynů se vypočítávají na základě metodik Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC) [3].

Kromě emisí skleníkových plynů jsou v rámci NIS sledovány i tzv. tradiční polutanty (prekurzory skleníkových plynů) jako nemethanové volatilní organické látky (NMVOCs), oxid uhelnatý (CO), oxidy dusíku (NO_x) a oxidy síry (SO_x). Pro výpočet těchto emisí IPCC v rámci své metodiky neposkytuje výpočetní postupy, ale odkazuje na již existující metodiky EMEP/CORINAIR v Emission Inventory Guidebook [3]. Z hoření odpadu se navíc uvolňuje velké množství dalších (často toxických) látek, které jsou diskutovány v navazující příloze Technická zpráva – Otevřené spalování odpadů (dále jen „příloha“), ale nejsou předmětem této metodiky.

2. Cíl metodiky

Cílem této metodiky je vytvořit postup výpočtu hmotnosti ročních emisí skleníkových plynů ze zdrojové kategorie 5.C.2 Otevřeného spalování odpadů v České republice, konkrétně skleníkových plynů CO_2 , CH_4 a N_2O . Tato kategorie zahrnuje veškeré požáry odpadů nahlášené HZS ČR. Předmětem metodiky nejsou emise unikajícího skládkového plynu. Tato metodika je důležitá pro vlastní lepší přehled o emisní situaci v dané oblasti a je důležitá i pro potřeby plnění povinností ČR vůči UNFCCC. Pro úplnost reportovaných emisí je České republice opakovaně doporučováno tuto kategorii zavést. V našem případě se výsledky budou vykazovat pouze jako jedna celková kategorie. Metodiku bude využívat především CENIA, jakožto subjekt participující v NIS a zpracovávající sektor odpadů.

3. Popis dat

Primární data k výpočtu emisí skleníkových plynů z otevřeného spalování odpadů pochází z několika zdrojů. Data o požárech poskytuje HZS ČR, data o jednotlivých skládkách pochází z databáze Informačního systému odpadového hospodářství (ISOH) [8], kterou CENIA spravuje.

Data z HZS se získávají v podobě tabulky, která je výstupem informačního systému HZS. Data o konkrétní události vyplňuje operátor při přijetí hlášení o požáru a následně slouží jako evidence

zásahů a požárů pro HZS. Sledované období je od roku 2006 do roku 2018. V tabulce je zaznamenán čas započetí a ukončení zásahu hasičů, identifikace místa (obec a okres, IČO), vlastník (existuje-li), hrubý popis požáru (např. co hořelo), zasažená plocha a iniciátor požáru (nedbalost, nehoda, úmyslné jednání). Z tabulky bohužel v mnoha případech není možné vyčíst, zda se jednalo o požár přímo skládky, požár budovy, jiného přilehlého zařízení, stroje v areálu skládky aj. Takovéto údaje bývají někdy uvedeny v poznámce, ale není to pravidlem. Proto by tabulka měla být upravena následujícím způsobem: Do tabulky ke každému požáru doplnit identifikační číslo zařízení ke zpracování odpadu (IČZ) odpovídající informaci o poloze požáru. Tedy pouze v případě, že se požár týkal zařízení evidovaného jako zařízení pro nakládání s odpady (tedy nebylo v poznámce uvedeno např. černá skládka, popelnice, kontejner atd.). IČZ je od roku 2016 trvalým identifikátorem každého zařízení na zpracování odpadu, dle kterého je pak možno data spárovat s informacemi z databáze ISOH. IČZ zůstává stejné i po změně majitele nebo přejmenování.

V databázi ISOH jsou data z ročních hlášení o produkci a nakládání s odpady, která obsahují informace o druzích, množství odpadů, způsobech nakládání s nimi a také informace o partnerských subjektech (komu byl odpad předáván či od koho byl přebírán). Databáze ISOH tedy obsahuje informace o odpadech a jednotlivých zařízeních, tedy i o odpadech uložených na jednotlivé skládky (ale nikoliv o odpadech z každé konkrétní popelnice nebo kontejneru). Data pocházejí od původců či zpracovatelů odpadu (hlášení do systému ISPOP – Integrovaný systém plnění ohlašovacích povinností) a přes orgány obcí (s rozšířenou působností) a krajů se dostávají do datového skladu. Systém obsahuje veškerá oficiálně nahlášená data o produkci a nakládání s jednotlivými druhy (katalogovými čísly) odpadů, o producentech odpadů a také o zařízeních, která s odpady různými způsoby nakládají. Způsobů nakládání je omezené množství a každý povolený způsob je specificky vymezen (vyhláška č. 383/2001 Sb.) a má svůj vlastní kód. Legálně není možné s odpady nakládat nějakým jiným způsobem než jedním z kódů nakládání. Taktéž je nutné každému odpadu při jeho vzniku přiřadit katalogové číslo (dle vyhlášky č. 93/2016 Sb.). V databázi ISOH je možné dohledat každý vzniklý odpad, jeho původce, způsob, jakým s ním bylo nakládáno a v jakém zařízení. Stejně tak je možné obdobná data zjistit o každém zařízení: jaké odpady a v jakém množství zpracovává, jakým způsobem je zpracovává (kód nakládání), od koho je získává, komu je případně poskytuje atd.

Systém tak nabízí vzhled do toho, jaké druhy odpadů mohly na skládce hořet. Nedostatkem zůstává zmiňovaná neúplnost informací ohledně přesného místa požáru v rámci areálu, plochy požáru, počátku požáru, a také fakt, že HZS doplňuje informaci pouze o IČO, které pod sebou může provozovat více IČZ. Pokud tedy není v poznámce specifikováno zařízení, určování složení shořelého odpadu je zatíženo velkou nejistotou.

4. Postup výpočtu

Výpočet emisí skleníkových plynů z otevřeného spalování odpadů (kategorie 5.C.2) se skládá ze dvou základních částí. Nejprve je třeba identifikovat množství spáleného odpadu, a to pomocí výpočtu, protože přímá data v ČR nejsou dostupná. Vypočtené množství spáleného odpadu následně slouží jako vstupní veličina pro výpočet emisí. Jednotlivé kroky výpočtu jsou detailně popsány v následujících podkapitolách.

4.1. Množství spáleného odpadu

Při požáru skládky, popelnice nebo kontejneru není evidováno množství odpadu, které bylo spáleno (v podstatě to není ani technicky možné). Hmotnost je tedy nutno odhadnout. Klíčovým vstupem jsou data HZS o požárech, která jsou doplněna o složení směsného komunálního odpadu, o data z databáze

ISOH atd. Množství spáleného odpadu se vypočítá dvěma různými způsoby pro menší požáry (např. kontejner, popelnice) a pro požáry skládek. Tabulka HZS v některých případech obsahuje stručné poznámky o požáru (více v kapitole 3. Popis dat). Pokud je v tabulce HZS poznámkou specifikováno, že se jedná o požár skládky, vychází se z dat evidence ISOH a postupuje se dle kapitoly 4.1.2. Jedná-li se však o požár mimo skládku (např. požár kontejneru na plasty, požár popelnice na směsný komunální odpad, požár suché slámy apod.), nevychází se z dat evidence ISOH a využívá se jednoduššího způsobu dle kapitoly 4.1.1.

4.1.1. Množství spáleného odpadu – ostatní požáry

Ostatními požáry jsou myšleny požáry, při nichž hořel odpad, ale neodehrály se na skládce. Dle údajů v tabulce od HZS se zpravidla jedná o daleko homogennější směs, co se týče zastoupených druhů odpadů. Druh shořelého odpadu (nebo hořící směsi) je znám díky poznámce v tabulce HZS. K tomuto druhu odpadu se přiřadí jeho hustota nebo hustota materiálu nejvíce se blížíící tomuto odpadu. Množství shořelého odpadu se pak dále odhaduje na základě plochy požáru (S) a délky jeho trvání. Délka trvání je v tabulce uvedena vždy, plocha někdy chybí, ale většinou je takový požár doplněn o specifikaci požáru jako např. „hoří kontejner na plasty“ – tento kontejner má známé rozměry. Hloubka požáru (h) vychází buď ze známých rozměrů hořícího tělesa (např. kontejneru), nebo se odhaduje v závislosti na čase a většinou nepřesahuje 1 m (více v následujícím oddílu o požárech skládek, u kterých se tato neznámá vyskytuje vždy).

Vynásobením plochy požáru (S) hloubkou hořícího odpadu (h) vzniká objem shořelého materiálu (zjednodušeně se uvažuje, že prohoří prostor tvaru kvádru). Následně se vynásobením tohoto objemu hustotou (ρ) daného odpadu získá hmotnost. Volně ležící haldy nebo kontejnery nebývají na rozdíl od skládky ztuhlé a v objemu se nachází značné množství vzduchu. Proto je hmotnost odpovídající objemu násobena koeficientem, který do objemu vnáší obsažený vzduch (k_a). Koeficient k_a se odhaduje dle charakteru hořícího odpadu a nabývá hodnot 0,25 (méně vzduchu) nebo 0,5 (více vzduchu). V případě použití hodnoty měrné hmotnosti (tj. hmotnost na jednotku objemu suplující hustotu nehomogenního materiálu) např. pro kontejner s tříděným plastem, se faktor k_a zanedbává, jelikož do této veličiny již vzduch započtený je.

Výpočet hmotnosti shořelého jednodruhového odpadu je označen jako IW_o a je shrnut v boxu č. 1. Výpočet se stanovuje zvlášť pro každý požár.

Box 1: Výpočet množství (hmotnosti) shořelého odpadu při jednom požáru odpadu mimo skládku

$$IW_o = S \cdot h \cdot \rho \cdot k_a \quad [t]$$

IW_o = množství shořelého odpadu za jeden ohlášený požár (ostatní požáry) [t]

S = plocha požáru [m^2]

h = hloubka prohoření materiálu [m]

ρ = hustota odpadu [t/m^3]

k_a = koeficient provzdušnění

4.1.2. Množství spáleného odpadu – skládky

Výpočet hmotnosti odpadu shořelého v případě skládky je o krok složitější, jelikož se skládka zpravidla neskládá z jednoho typu odpadu. Je tedy potřeba hmotnost shořelého odpadu vypočítat se zřetelem ke složení skládky, které je možno dohledat v databázi ISOH.

Podle tabulky s daty od HZS s připojenými IČZ (k dohledatelným zařízením) jsou pro tato zařízení vyhledána data o způsobu nakládání s odpady z databáze ISOH pro jednotlivé roky. Z dat od HZS nelze vyčíst, kde přesně na skládce hořelo. Proto je dán předpoklad, že skládky nejsou děleny na sektory, do kterých by se svázely jen určité druhy odpadu, ale že je odpad na skládce smíchán. Dále předpokládáme, že hořela svrchní vrstva odpadu, kterou tvořily odpady nashromážděné za daný rok. Tento předpoklad podporují i hodnoty délky trvání jednotlivých požárů (délky zásahu hasičů), které se ve většině případů pohybují v rámci několika málo hodin, což poukazuje na povrchový požár [4].

Tabulka z databáze ISOH obsahuje informaci o množství odpadů vyprodukovaných za daný rok rozdělených podle jednotlivých katalogových čísel a způsobu nakládání. Způsob nakládání je důležitou informací, jelikož skládka nemusí odpad pouze skládkovat, ale často jej např. předává jinému subjektu. Odpady, s nimiž bylo naloženo jiným způsobem než tím, že skončily v tělese skládky, se z evidence odstraní. Ponechají se odpady, které vykazují kód D1 – Ukládání v úrovni nebo pod úrovní terénu (skládkování). Dále se ponechají odpady, které sice kód nakládání D1 nevykazují, ale z jejich kódů nakládání je patrné, že v tělese skládky stejně skončily, tudíž se mohly účastnit požáru (např. N11 – Využití na rekultivace skládek, N12 – Ukládání odpadů jako technologický materiál na zajištění skládky apod.).

Z vytříděné tabulky se vypočte celková suma (hmotnost) uložených odpadů. Následně se dopočtou podíly jednotlivých katalogových čísel na této celkové sumě. Vzhledem k tomu, že některé skládky ukládají i více než 30 různých katalogových čísel odpadů, vyberou se v dalším kroku z tabulky jen ta katalogová čísla, jejichž podíl je roven nebo přesahuje 2 % celkové hmotnosti odpadů uložených na skládku v daném roce. V případě, že výběrem pouze katalogových čísel se zastoupením 2 % a vyšším není dosaženo 80 % celkové hmotnosti uložených odpadů, vybírají se postupně i katalogová čísla s nižším než 2 % zastoupením, dokud není 80 % dosaženo.

Těchto 80 (a více) % se následně doplní na 100 % poměrovým rozdělením zbývajících % (tedy v případě 80 % jde o 20 %) mezi jednotlivé druhy odpadu vybrané v předchozím kroku. V následných výpočtech se pak počítá s tímto novým procentuálním zastoupením.

Stejně jako v případě požáru kontejneru nebo jiného odpadu mimo skládku o specifickém složení se vypočte objem požáru na skládce z plochy požáru (S) uvedené v tabulce a z délky trvání požáru, která je dle Ettala et al. [4] převedena na hloubku (h). Požáry trvající kratší dobu – maximálně jeden den (převážná většina evidovaných požárů v ČR) nedosahují hloubky větší než 1 m, a je jim tedy přiřazena hloubka 1 m. Pokud požár trvá (je hašen) více dní, s každým dnem se k celkové hloubce připočte 1 m. Tímto způsobem je tedy získán objem shořelého materiálu, který se následně násobí hustotou katalogového čísla odpadu, nebo hustotou co nejpodobnějšího materiálu (tabulka hodnot zvláště pro každé katalogové číslo je uvedena v příloze). Takto získáme hmotnosti, které by měl daný odpad (katalogové číslo), kdyby zabíral celý prostor požáru, což ale víme, že tak není. Díky evidenci ISOH je zastoupení jednotlivých katalogových čísel ve skládce (a předpokládáme tedy že i v požáru) známé. Každá dílčí hmotnost se tedy vydělí celkovým množstvím odpadů (m_i/m_{celek}), které byly uloženy na skládku v daném roce (výpočet dle předchozího odstavce) a hustota (a objem) se tedy násobí rovnou tímto podílem. Tím je získáno hmotnostní zastoupení jednotlivých katalogových čísel odpadů v každém požáru.

Takto upravené hmotnosti se následně sečtou, čímž je dosaženo celkové hmotnosti shořelého odpadu při daném požáru na skládce. Jelikož je plocha a hloubka prohořelého materiálu (tj. u všech odpadů) stejná, je možné tyto veličiny ve vzorci vytknout a tím vznikne vzorec, který znázorňuje box č. 2. V případě skládky se získaná hmotnost nenásobí koeficientem zohledňujícím obsah vzduchu, jelikož se skládky kompaktují, aby zde bylo vzduchu co nejméně (tedy nejlépe žádný).

Objem požáru je zatížen poměrně velkou nejistotou vzhledem k tomu, že požáru trvajícím dvě hodiny je přiřazena stejná hloubka jako požáru trvajícím 24 hodin. Na druhou stranu ani HZS většinou neví, jak dlouho požár doopravdy trval. Doba požáru se počítá až od chvíle, kdy byl vůbec požár zaznamenán, což může být také klidně několik hodin po jeho vzplanutí. V této situaci tedy hlubší vztah mezi dobou trvání požáru a hloubkou požáru nepřináší velký smysl. Navíc je požár ovlivněn řadou dalších faktorů, jako jsou meteorologické podmínky, přítomnost skládkového plynu, hořlavost jednotlivých uložených odpadů atd. Objemu shořelého odpadu je také pro zjednodušení přiřazen tvar kvádrů.

Box 2: Výpočet množství shořelého odpadu při jednom požáru na skládce

$$IW_s = \sum_i \left(\rho_i \cdot \left(\frac{m_i}{m_{celek}} \right) \right) \cdot S \cdot h \quad [t]$$

IW_s = množství shořelého odpadu za jeden ohlášený požár na skládce [t]

S = plocha požáru [m^2]

h = hloubka prohoření skládky [m]

ρ = hustota daného druhu odpadu i [t/m^3]

$\frac{m_i}{m_{celek}}$ = hmotnost odpadu jednoho katalogového čísla odpadu i dělena celkovou hmotností odpadu uloženého na skládku za jeden rok (veličina se nezapočítává, pokud je menší než 0,02)

i = druh odpadu

Pro získání veličiny celkové množství spáleného odpadu, kterou požadují výpočty metodiky IPCC, se sečtou hmotnosti všech jednodruhových shořelých odpadů a všech odpadů shořelých při požárech na skládkách v daném roce (převáděno na kilotony, hmotnost je ve vlhké váze) (box č. 3).

Box 3: Výpočet celkového množství spáleného odpadu za jeden rok

$$IW = \sum IW_o + \sum IW_s \quad [t/r]$$

Tato hodnota pak může být vložena do výpočetních rovnic za proměnné IW nebo SW. Pro výpočet emisí z CH_4 a N_2O se používá zkr. IW a pro výpočet emisí CO_2 zkr. SW, jelikož výpočet emisí CO_2 se dělí na rovnici pro pevné a kapalně odpady, zatímco pro CH_4 a N_2O k tomuto dělení nedochází. V našem případě neuvažujeme žádný kapalně odpad, jsou tedy tyto veličiny zaměnitelné.

Vlastní výpočet emisí skleníkových plynů z otevřeného spalování odpadů je založen na metodice Mezivládního panelu pro změnu klimatu 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Emission Inventories (vol. 5 – Waste) [3]. Otevřené spalování se řídí stejnými rovnicemi jako incinerace a jsou společně prezentovány v kapitole 5 Incineration and Open Burning of Waste.

IPCC metodika [3] také nabízí rovnici pro výpočet množství shořelého odpadu. Ta se ale věnuje fenoménu spalování odpadů v domácnostech a vychází tedy i z údajů o něm. V našem případě se věnujeme odpadům shořelým při požárech nahlášených HZS, jelikož o fenoménu domácího spalování neexistují jednoznačná data a odhad těchto emisí by do kategorie vnesl další nejistotu. Zároveň existuje důvodný předpoklad, že nelegální spalování odpadů v domácnostech v posledních letech pokleslo díky legislativní úpravě a plošné výměně kotlů podpořené řadou dotací. Nicméně se tento jev nepovažuje za neexistující. Do budoucna proto budou vynaloženy snahy na kvantifikaci i tohoto fenoménu.

4.2. Výpočet emisí skleníkových plynů

V IPCC směrnici (metodice) z roku 2006 [3] je otevřené spalování odpadu definováno jako spalování nežádoucích hořlavých materiálů (např. papír, dřevo, plasty) v přírodě na otevřených skládkách, kdy jsou veškeré spaliny vypouštěny fugitivně, tj. volně do ovzduší bez průchodu jakýmkoliv výduchem (komínem nebo zařízením na čištění spalin), nebo jsou spáleny ve spalovacím zařízení, které však nedosahuje potřebných teplot hoření a doby setrvání odpadu, aby bylo dosaženo kompletního spálení. Příkladem může být spalování v domácnostech. Druhý případ je cílen zejména na rozvojové státy, které v rámci svých finančních a technologických možností ještě nedospěly k takové bezpečnosti spalování jako státy rozvinuté. I v rozvinutých zemích ale může k takovému nekontrolovanému nedokonalému spalování docházet, zejména ve venkovských oblastech. Zatímco v rozvinutých zemích bývá požár skládky nechtěným úkazem, v jiných zemích je spalování odpadu na skládkách dokonce řízeným legálním procesem snižujícím objem uložených odpadů [3].

Při požárech skládek dochází k hoření materiálů obsahujících uhlík fosilního i biogenního původu. Do celkových emisí CO₂ se započítávají pouze emise ze spalování (z oxidace) uhlíku, který je fosilního původu (plasty, některé textilie, rozpouštědla apod.). K oddělení fosilní části z celkového uhlíku slouží faktor FCF (podíl fosilního uhlíku) ve výpočtové rovnici (více v kapitole Výpočet emisí oxidu uhličitého a Emisní faktory). Emise z uhlíku biogenního původu (papír, zbytky jídla, dřevo apod.) se neberou jako antropogenní příspěvek k emisím skleníkových plynů, jelikož se jimi do ovzduší vypouští pouze takové množství oxidu uhličitého, které bylo dříve biomasou z atmosféry odebráno [3]. Tato praxe se používá i v ostatních IPCC kategoriích. Emise CO₂ z biomasy se započítávají pouze v případě, že se energie ze spáleného odpadu dále využívá (teplo, elektrická energie), nebo se nejedná o emise CO₂, ale o emise jiného silnějšího skleníkového plynu [3]. V této metodice se energetické využívání odpadu neuvažuje (Česká republika již v rámci reportování pod Mezinárodní rámcovou úmluvou o změně klimatu hodnoty o energetickém využívání odpadu vykazuje ve zvláštní kategorii).

V kategorii otevřeného spalování odpadů se stanovují tyto skleníkové plyny [3]:

- Oxid uhličitý (CO₂)
- Methan (CH₄)
- Oxid dusný (N₂O)

Metody odhadování emisí CO₂, CH₄ a N₂O se liší, a to zvláště kvůli různým faktorům, které úroveň emisí jednotlivých plynů při otevřeném spalování ovlivňují. Základním parametrem, od kterého se odvíjí emise uváděných skleníkových plynů (CO₂, CH₄, N₂O), je množství a složení odpadu. Zatímco efektivita spalování je při incineraci téměř 100 %, u otevřeného spalování je daleko nižší [3].

Pokyny pro výpočet emisí skleníkových plynů z otevřeného spalování jsou v rámci IPCC metodiky shodné s výpočty emisí z incinerace nebo jiného spalování odpadů. Dochází pouze ke změnám některých parametrů (více v kapitole 4.2.4. Emisní faktory a složení odpadu).

Pro výpočty emisí bude využito úrovně 1 (tzv. Tier 1), nejnižší úrovně výpočtu, jelikož se nepředpokládá, že by kategorie 5.C.2 Otevřené spalování odpadu bylo klíčovou kategorií a úrovní odpovídá i dostupná datová základna.

Tabulka 1: Požadavky jednotlivých úrovní výpočtu emisí skleníkových plynů [3]

Úroveň	Požadavky
Tier 1	Použití defaultních emisních faktorů a parametrů, kategorie není klíčová
Tier 2	Použití územně specifických emisních faktorů a parametrů a podrobnějších dat
Tier 3	Použití emisních faktorů a parametrů specifických pro jednotlivá zařízení

Emise se dle IPCC metodiky [3] stanovují pro jednotlivé typy tuhých odpadů (komunální, průmyslový, nebezpečný, zdravotnický a čistírenský kal). V našem případě se výsledky budou vykazovat pouze jako jedna celková kategorie, nikoliv výše zmíněné typy, jelikož i celková suma odpadu odstraněného při otevřeném spalování se pohybuje ve velmi nízkých hodnotách a z hlediska emisí skleníkových plynů se nejedná o významné zdroje.

4.2.1. Výpočet emisí oxidu uhličitého

Metoda stanovování emisí CO₂ je založena na odhadu obsahu celkového uhlíku v odpadu (CF), podílu fosilního uhlíku (FCF) a množství tohoto odpadu (převáděno na sušinu). Tyto veličiny se vynásobí oxidačním faktorem (OF), čímž získáme množství zoxidovaného fosilního uhlíku, které je převedeno na CO₂ pomocí podílu molárních hmotností (44/12) [3].

Emise CO₂ je dle IPCC [3] s těmito parametry možno spočítat dvěma způsoby. Jeden z nich kvantifikuje emise ze všech druhů tuhých odpadů (komunální, průmyslový, nebezpečný atd.), druhý se zaměřuje pouze na (směsný) komunální odpad. Otevřené spalování odpadů se v rámci ČR netýká jen komunálního odpadu, jelikož velkou část tvoří požáry skládek, na které jsou ukládány i další druhy odpadů. Bude tedy využita rovnice kvantifikující emise CO₂ pro všechny odpad. Její částečně upravená verze je uvedena v boxu 4 (originál pak v příloze).

Box 4: Výpočet emisí CO₂ z otevřeného spalování odpadu dle rovnice 5.1 metodiky IPCC, 2006 [3]

$$Emise\ CO_2 = dm \cdot CF \cdot FCF \cdot OF \sum_j SW_j \cdot \frac{44}{12} \quad [kt/r]$$

SW = celkové množství spáleného odpadu ve vlhké váze [kt/r] (z anglického „solid waste“)

dm = obsah sušiny (suchá váha) ve spáleném odpadu (z anglického „dry matter“)

CF = frakce uhlíku v sušině (celkový obsah uhlíku) (z anglického „carbon fraction“)

FCF = podíl fosilního uhlíku na celkovém obsahu uhlíku (z anglického „fossil carbon fraction“)

OF = oxidační faktor

$\frac{44}{12}$ = konverzní faktor z C na CO₂ ($\frac{\text{molekulová hmotnost CO}_2}{\text{atomová hmotnost C}}$)

j = typ spalovaného odpadu

Typ spalovaného odpadu *j* je v tomto případě zjednodušen na dva typy – komunální a průmyslový. Za komunální odpad jsou brány všechny odpady skupiny 20 katalogu odpadů (Vyhláška č. 93/2016 Sb. o Katalogu odpadů [7]), průmyslový odpad je pak kategorií zjednodušující, která zastřešuje všechny zbylé odpady, kdy se ale z velké části skutečně jedná o odpady související s průmyslem.

Jednotlivé parametry (CF, FCF atd.) nabývají různých hodnot pro průmyslový odpad a pro odpad komunální a jejich výsledná hodnota je kombinací těchto. Pro oxidační faktor OF uvádí IPCC [3] jen jednu hodnotu, a to pro komunální odpad. Z důvodu nepřítomnosti OF pro odpad průmyslový, bude využit tento jediný oxidační faktor. Podrobnostmi ohledně používaných faktorů se detailněji zabývá kapitola Emisní faktory.

4.2.2. Výpočet emisí methanu

Základní úroveň výpočtu (Tier 1) existuje také pro methan. Emise methanu ze spalování odpadu jsou výsledkem nedokonalého hoření. Důležitými faktory ovlivňujícími tyto emise jsou teplota spalování, doba spalování a poměr objemu vzduchu k množství spalovaného odpadu. Zatímco ve velkých dobře konstruovaných spalovnách jsou emise methanu malé, při otevřeném spalování odpadů dochází poměrně často k podmínkám vhodným pro nedokonalé hoření. Velká část uhlíku tedy není zoxidována na CO₂ a vzniká oxid uhelnatý (CO), CH₄ (a další uhlíkaté produkty, např. uhlovodíky) [3].

Základní IPCC rovnice nezahrnuje všechny výše popsané proměnné, ale zjednodušuje se pouze na výpočet na základě celkového spáleného odpadu (IW) s použitím emisního faktoru (EF). Původní IPCC rovnice je sumou těchto součinů pro různé druhy odpadu. Jelikož v případě otevřeného spalování odpadů existuje EF jen pro komunální odpad jako celek, není v rovnici zahrnuto dělení na různé druhy odpadů. Originální IPCC rovnice je uvedena v příloze.

Box 5: Výpočet emisí CH₄ upravený podle IPCC [3]

$$Emise\ CH_4 = (IW \cdot EF) \cdot 10^{-6} \quad [kt/r]$$

IW = množství spáleného tuhého odpadu [kt/r]

EF = emisní faktor CH₄ [kg CH₄/kg odpadu]

10⁻⁶ = konverzní faktor pro převod z kg na kt (Gg)

4.2.3. Výpočet emisí oxidu dusného

V podstatě stejná rovnice jako pro CH₄ platí pro emise N₂O (box 6). Oxid dusný při otevřeném spalování vzniká zejména z důvodu nízkých spalovacích teplot (500-950 °C). Záleží také na obsahu dusíku ve spalovaném odpadu [3]. Výpočet je opět prováděn na základní úrovni Tier 1, kdy klíčovým vstupem je opět množství spáleného odpadu, které také není děleno na jednotlivé druhy, jako je děleno v originální IPCC rovnici (která je rovněž v příloze).

Box 6: Výpočet emisí N₂O upravený podle IPCC [3]

$$Emise\ N_2O = (IW \cdot EF) \cdot 10^{-6} \quad [kt/r]$$

IW = množství spáleného tuhého odpadu [kt/r]

EF = emisní faktor N₂O [kg N₂O/kt odpadu]

10⁻⁶ = konverzní faktor pro převod z kg na kt (Gg)

Emise N₂O vznikají i nepřímo z jiných dusíkatých emisí. Emise NO_x a NH₃ jsou v atmosféře transportovány, a poté deponovány do půdy. Tam může docházet k mikrobiálním procesům, které přicházející NO_x mění na N₂O. NO_x mohou přispívat i ke vzniku jiných skleníkových plynů, konkrétně ozónu, když společně s NMVOCs reagují za působení slunečního záření a vytváří přízemní ozón. Pokud má stát informace o NO_x a NH₃ emisích, je dobrou praxí odhadovat emise N₂O z dostupných dat pomocí metodiky IPCC pro odhadování nepřímých emisí [3]. Česká republika však nemá k dispozici emise výše zmíněných plynů z otevřeného spalování odpadů. Tyto emise N₂O tedy budou zanedbány.

4.2.4. Emisní faktory a složení odpadu

Jak je z předchozích rovnic patrné, pro výpočet emisí skleníkových plynů je zapotřebí použít emisní faktory. Pro kategorii 5.C.2 Otevřené spalování odpadu budou použity defaultní hodnoty faktorů z metodiky IPCC. Nejprve z metodiky z roku 2006 a po uvedení v platnost hodnoty z doplňku k metodice 2006 z roku 2019 (2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines [5]). Byly hledány i jiné zdroje faktorů, ale žádné nebyly shledány vhodnějšími než tyto.

Tabulka 2: Faktory IPCC pro otevřené spalování komunálního odpadu [3,5,6]

	IPCC, 2006	IPCC, 2019
Oxidační faktor (OF) [%]	58	71
Emisní faktor (EF) pro CH₄ [g/t odpadu]*	6 500	6 500
Emisní faktor (EF) pro N₂O [g/t odpadu]**	150	150

* mokrá váha, **suchá váha

Změna oproti roku 2006 nastala pouze u oxidačního faktoru z 58 % na 71 %. Tyto hodnoty budou používány pro výpočet, i když se kolektiv autorů domnívá, že otevřený požár odpadu nemůže takovéto oxidační efektivity dosáhnout. Tyto faktory se vztahují ke komunálnímu odpadu, ale budou používány pro celou kategorii.

Výpočet na základě suché váhy je ošetřen přepočtovou rovnicí IPCC v boxu 7.

Pro faktory CF, FCF a dm z rovnice pro výpočet emisí CO₂ (box 4) jsou taktéž využity defaultní IPCC hodnoty, které existují zvláště pro průmyslový odpad, zdravotnický odpad atd. Každý z faktorů neexistuje jako jedno číslo pro komunální odpad jako celek. Komunální odpad se v rámci IPCC dělí na několik subkategorií, které jsou svými vlastnostmi tak odlišné, že si každá z nich zasluhuje své vlastní hodnoty parametrů CF, FCF a dm. IPCC nabízí i defaultní složení tohoto (směsného) komunálního odpadu, a to i pro ČR ve svém doplňku z roku 2019. Toto složení vychází z českého NIR 2018 [10], kde se dělení uplatňuje v emisní kategorii 5.A Odstranění odpadů uložením (skládkování), ale není zcela totožné. Proto bude pro potřeby otevřeného spalování zásadně používáno stejné složení, jako se bude vyskytovat v kategorii 5.A. S každou změnou v kategorii 5.A se změní složení odpadu i v kategorii 5.C (složení komunálního odpadu ovlivňuje i některé emisní faktory v kategorii 5.C.1 Incinerace). Zachování shody v použití stejného složení odpadů napříč jednotlivými kategoriemi je základním předpokladem IPCC metodiky.

Složení směsného komunálního odpadu zůstává za ČR vykazováno se stejnými hodnotami od roku 2009 a v současnosti se plánuje jeho aktualizace. Současně používané složení i s faktory pro každý druh komunálního odpadu je uvedeno v tabulce č. 4 společně s emisními faktory pro odpad průmyslový. Jelikož je do rovnice potřeba hodnota jen jedna, získává se celková hodnota faktoru vytvořením váženého průměru. Nejprve se dílčí hodnoty patřičného faktoru (např. obsahu sušiny) průměrují napříč kategoriemi komunálního odpadu, kde váhovým faktorem je procentuální zastoupení každé složky.

Jako příklad rovnice tohoto výpočtu může posloužit rovnice pro výpočet sušiny (dm), kterou uvádí IPCC metodika (box 7) [3]. Obdobným způsobem je možno vypočítat ostatní faktory. V druhém kroku se vzniklé faktory pro komunální odpad zprůměrují s patřičnými faktory pro průmyslový odpad. Poměr složky komunální a průmyslové bude vytvořen každý rok na základě dat z databáze ISOH a bude taktéž použit v kategorii 5.A. Jakmile tedy bude složení aktualizováno, změní se i celkové hodnoty faktorů, které zde z tohoto důvodu nejsou prezentovány.

Box 7: Výpočet obsahu sušiny v odpadu dle IPCC [3]

$$dm = \sum_j (WF_j \cdot dm_j)$$

WF = podíl odpadu typu j v SW ve vlhké váze (z anglického „waste fraction“)
dm = obsah sušiny (suchá váha) ve spáleném odpadu (z anglického “dry matter”)
j = typ spalovaného odpadu

Tabulka 3: Zastoupení jednotlivých složek směsného komunálního odpadu a patřičné faktory [3,10]

	Papír	Textil	Odpady z jídla	Dřevo	Plasty, ostatní inertní odpad*	Průmyslový odpad
Složení směsného komunálního odpadu v ČR [%]¹	16,3	8,4	35,2	12,9	27,2	
Obsah sušiny (dm) [%]²	90	80	40	85	95	90 ³
Frakce uhlíku v sušině (CF) [%]²	46	50	38	50	39	50 ⁴
Podíl fosilního uhlíku (FCF) [%]²	1	20	-	-	100	90 ⁴

* pozměněný sloupec ve směrnici IPCC

1 [10]

2 tab. 2.4 v IPCC Guidelines, vol. 5 Waste [3]

3 tab. 2.5 v IPCC Guidelines, vol. 5 Waste hodnota Water content z řádku Other (10 %) odečtena od 100 % [3]

4 tab. 5.2 v IPCC Guidelines, vol. 5 Waste [3]

Předposlední sloupec tabulky prezentuje hodnoty pro plasty a inertní odpady dohromady. Toto není běžnou praxí, ale specifikem, kterého je využíváno v kategorii 5.A. Dle doplňku IPCC směrnice [5] se v kolonce plasty má nacházet nula a hodnota 27 % (resp. 28 % [5]) má patřit pouze ostatnímu inertnímu odpadu. To ale není v souladu s kategorií 5.A, kde se inertní odpady shlukují do společné kategorie s plasty, což ale neznamená, že celou kategorii reprezentují jen plasty, nebo naopak jen jiné inertní odpady než plasty. Je třeba vědět, z jakých dílčích hodnot souhrnná kategorie vznikla. Z vlastní databáze CENIA i jiných zdrojů víme, že množství plastu ve směsném komunálním odpadu není nulové. Bude tedy použita tato smíšená kategorie (je možné, že v pozdějším aktualizovaném složení odpadu budou kategorie opět rozdělené). Hodnoty pro dm, CF a FCF pro kolonku „plasty, ostatní inertní odpad“ jsou vytvořeny zprůměrováním hodnot pro plast a ostatní odpad z IPCC metodiky 2006 [3].

IPCC dělí komunální odpad na více složek, než je prezentováno v tab. 4. Zde jsou uvedeny jen ty složky, které pro ČR dle IPCC 2019 [5] a kategorie 5.A nejsou v současnosti nulové. Ostatní kategorie i s patřičnými hodnotami faktorů jsou zařazeny v příloze.

Defaultních hodnot faktorů využívají i státy vykazující v rámci NIS emise z kategorie 5.C.2. Využívají výpočet přes rovnice pro komunální odpad [11,12].

4.3. Vzorový příklad výpočtu

První data se získávají z tabulky HZS. Tabulka č. 4 znázorňuje příklad jednoho řádku tabulky HZS, kde byly ponechány pouze sloupce podstatné pro výpočet. Tento požár je fiktivní.

Tabulka 4: Příklad požárové položky v databázi HZS (fiktivní)

IČZ	ZAČÁTEK POŽÁRU	KONEC POŽÁRU	DOBA TRVÁNÍ	KRAJ	OBEC	TYP POŽÁRU	CO HOŘELO	PLOCHA [m2]
CZL00282	25.05.2015 12:00:00	25.05.2015 20:50:50	8:50:50	Liberecký	Volfartice	požár sklárky	domovní odpad	30

První sloupec „IČZ“ je do tabulky doplňován z Registru zařízení, obchodníků a spisů [9] a to dle geografické polohy požáru a povahy požáru. Zde je ve sloupci „Typ požáru“ uveden požár sklárky, byla tedy vyhledána nejbližší sklárka a doplněna do tohoto sloupce. V případě požáru např. popelnice by IČZ dohledáváno nebylo.

Z databáze ISOH byla pro tuto sklárku v patřičném roce (2015) získána data o hmotnosti odpadů (pro jednotlivá katalogová čísla), se kterými sklárka nějakým způsobem zacházela. Data jsou opět fiktivní, neodpovídají žádné reálné skládce.

Tabulka 5: Příklad složení odpadu na skládce a dopočítání procentuálního zastoupení jednotlivých odpadů (fiktivní)

Katalogové číslo odpadu	Odpad	Kód nakládání	Hmotnost [t]	Podíl na celkové hmotnosti
040209	Odpady z kompozitních tkanin	D1	50	0,25%
150106	Směsné obaly	D1	250	1,25%
170101	Beton	D1	370	1,85%
170504	Zemina a kamení (...)	D1	900	4,50%
170904	Směsné stavební a demoliční odpady (...)	N3	1500	
190503	Kompost nevyhovující jakosti	N11	1200	6,00%
200202	Zemina a kameny	N12	350	1,75%
200301	Směsný komunální odpad	D1	12700	63,50%
200303	Uliční smetky	D1	380	1,90%
200307	Objemný odpad	D1	3800	19,00%
	CELKEM		20000	100,00%
	Vyhovující odpady			93,00%

Z tabulky 6 jsou pro další výpočet vynechány odpady s kódy nakládání, ze kterých je patrné, že se odpad nestal součástí sklárky, v tomto případě tedy odpad 170904 s kódem N3 (byl předán jinému subjektu). Ostatní kódy nakládání jsou v pořádku. Hmotnosti odpadů se sečtou a následně se pro každou odpadovou položku vytvoří její procentuální hmotnostní zastoupení na skládce. Následně se vyberou jen ty položky, které jsou zastoupeny z více než 2 % s přesností na dvě desetinná místa (v tabulce žlutě

vyznačeny). Součet procent těchto odpadů je vyšší než 80 %, není tedy potřeba přistupovat k zapojení odpadů s menším než 2% zastoupením.

Jelikož odpady z tabulky 5 reprezentují jen 93 % složení skládky, je v tabulce č. 6 poměrné zastoupení odpadů přepočteno tak, aby původních 93 % bylo převedeno na 100 % a k tomu poměrově i všechny dílčí odpady. K odpadům je dále přiřazena jejich hustota.

Tabulka 6: Přepočet procent a doplnění hustoty k vybraným odpadům

Katalogové číslo odpadu	Odpad	Hmotnost [t]	Podíl na celkové hmotnosti	Přepočtené podíly	Hustota/ Objemová hmotnost [t/m ³]	Zdroj
170504	Zemina a kamení (...)	900	4,50%	4,84%	1,8	[14]
190503	Kompost nevyhovující jakosti	1 200	6,00%	6,45%	0,7	[14]
200301	Směsný komunální odpad	12 700	63,50%	68,28%	0,2	[14]*
200307	Objemný odpad	3 800	19,00%	20,43%	1	*

* jedná se o částečný (zdroj + *), nebo úplný odhad (*) vzhledem k nemožnosti nalézt konkrétní hodnotu (často z důvodu přílišné nehomogenity odpadu), nebo původní hodnota obsahuje příliš mnoho vzduchu

Dále následuje už jen výpočet podle boxu č. 2 (jelikož se jedná o požár skládky), kdy je každá hustota vynásobena novým poměrovým zastoupením (bez procent), tyto hodnoty jsou sečteny a následně vynásobeny plochou 30 m² z tabulky a hloubkou 1 m, která odpovídá trvání požáru ne delšímu než 1 den.

$$IW_s = ((1,8 \cdot 0,0484) + (0,7 \cdot 0,0645) + (0,2 \cdot 0,6828) + (1 \cdot 0,2043)) \cdot 30 \cdot 1 \quad [t]$$

Výsledná hodnota je hmotností shořelého odpadu za jeden požár. Sečtením všech dílčích požárů získáme shořelé množství za rok, které je veličinou IW nebo SW, která se následně vkládá do IPCC rovnic.

5. Uplatnění metodiky v CENIA

Tato metodika bude využívána k výpočtu emisí skleníkových plynů ze zdrojové kategorie 5.C.2 NIS. Četnost jejího použití bude záviset na hodnocení důležitosti této kategorie kontrolními orgány. V současnosti není v plánu každoroční použití, ale uvažuje se nad horizontem přibližně 1x za 3-5 let.

6. Ekonomické aspekty metodiky

Metodika byla vytvořena za finanční podpory Technologické agentury ČR v rámci programu Théta jako součást projektu MEMORESP. Finance byly využity účelně, nicméně bylo shledáno, že časová náročnost aplikace této metodiky může převyšovat její reálné přínosy. Z tohoto důvodu bude metodika sloužit spíše jako validační, využívána bude v širším časovém horizontu, nikoliv každoročně, aby se v budoucnu předešlo neefektivnímu ekonomickému jednání. 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.

7. Závěr

První aplikace metodiky ukazují, že množství odpadů spálených při otevřeném spalování odpadů je v ČR zanedbatelné a vznikající emise skleníkových plynů taktéž. Jejich množství se nachází pod reportovací hranicí 500 kt CO₂ eq./r nebo 0,05 % celkových emisí skleníkových plynů (ročně) za stát [13]. Pravděpodobně tedy nebude metodika užívána každoročně, ale jen jednou za čas pro ověření, zda se situace dramaticky nezměnila.

V metodice je zároveň množství nejistot kvůli nemožnosti získat přesná data o množství a složení shořelého odpadu a dalších parametrech požárů. Změna pouze jednoho parametru může celkové emise násobně zvýšit, nebo naopak snížit. V rámci zkušebních výpočtů ale i tak hodnoty vždy zůstaly pod zmiňovanou reportovací hranicí.

Metodika je inovativní zejména co se týče oblasti výpočtu spáleného odpadu. Je pravděpodobné, že se do budoucna vyskytnou změny v části výpočtu emisí, např. kvůli doporučení orgánů vykonávajících kontrolu nad vykazováním emisí skleníkových plynů, nebo při aktualizování IPCC metodiky či díky novým vědeckým poznatkům. Zároveň je v plánu spustit systém monitoringu složení směsného komunálního odpadu, jehož každoroční výsledky by pak byly využívány.

8. Seznam literatury

- [1] Czech Hydrometeorological Institute, 2020: National Greenhouse Gas Inventory Report of the Czech Republic. Submission under UNFCCC and under Kyoto Protocol, reported inventories 1990-2018.
- [2] Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší, v platném znění.
- [3] IPCC, 2006: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol. 5 Waste. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). ISBN 4-88788-032-4.
- [4] Ettala, M., Rahkonen, P., Rossi, E., Mangs., J., Keski-Rahkonen, O., 1996: Landfill fires in Finland. Waste Management & Research (1996) 14, s. 377-384.
- [5] IPCC, 2019: 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol. 5 Waste. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). ISBN 978-4-88788-232-4.
- [6] EFDB, 2019: Intergovernmental Panel on Climate Change Emission Factor Database (online) [cit. 2020.2.25] Online http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/find_ef.php?ipcc_code=4.C.2&ipcc_level=2
- [7] Vyhláška č. 93/2016 Sb. o katalogu odpadů
- [8] Databáze ISOH, 2019: CENIA, česká informační agentura životního prostředí.
- [9] Databáze ISOH – Registr zařízení a spisů, 2019: CENIA, česká informační agentura životního prostředí.
- [10] Czech Hydrometeorological Institute, 2019: National Greenhouse Gas Inventory Report of the Czech Republic. Submission under UNFCCC and under Kyoto Protocol, reported inventories 1990-2017.
- [11] Republic of Estonia, Ministry of the Environment, 2019: Greenhouse Gas Emissions in Estonia 1990-2017, National Inventory Report. Submission to the UNFCCC Secretariat.
- [12] Turkish Statistical Institute, 2019: Turkish Greenhouse Gas Inventory 1990-2017. National Inventory Report for submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change.
- [13] Environment and Climate Change Canada, 2019: 2019 National Inventory Report 1990-2017: Greenhouse Gas Sources and Sinks in Canada. Canada's Submission to the United Nations Framework Convention on Climate Change
- [14] Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i, ©2005: Orientační přepočtová tabulka množství odpadu (online) [cit. 2020.04.23] Dostupné z: https://www.ceho.cz/files/pdf/evidence_ohlasovani/prepocetova_tabulka_07_2000.pdf.