

LCA analýza uhlíkovej stopy na čistiarni odpadových vôd

Mária DUBCOVÁ, Ivona ŠKULTÉTYOVÁ, Ivana MARKO, Michal HOLUBEC

Katedra zdravotného a environmentálneho inžinierstva, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Radlinského 11, 810 05 Bratislava, e-mail: maria.dubcova@stuba.sk

Súhrn

Cieľom príspevku je zhodnotenie environmentálnych dopadov ČOV s využitím komparatívnej metódy LCA na základe normy STN EN ISO 14040 a následná analýza uhlíkovej stopy, so zameraním sa na skleníkové plyny vytvorené priamymi alebo nepriamymi činnosťami ČOV s výsledným vplyvom na potenciál globálneho otepľovania (GWP). Na základe experimentálnych meraní a konštánt slúžiacich pre určenie GWP sa z údajov vyhodnocujú silné a slabé stránky fungovania ČOV s využitím vhodného LCA nástroja.

Kľúčové slová: LCA, uhlíková stopa, čistiareň odpadových vôd, globálne otepľovanie

Úvod

Odvádzanie odpadových vôd, ako aj ich následné čistenie na príslušnej ČOV predstavuje pre životné prostredie záťaž formou vytvárania emisií skleníkových plynov. Analýza uhlíkovej stopy zahŕňa všetky skleníkové plyny vytvorené priamymi alebo nepriamymi činnosťami vyplývajúcimi z rozličných stupňov životného cyklu čistiarene odpadových vôd. Potenciál globálneho otepľovania (GWP z ang. Global Warming Potential) spôsobený emisiami skleníkových plynov sa vzťahuje na oxid uhličitý (CO₂) ako referenčný plyn a zvyčajne sa vyjadruje ako ekvivalent oxidu uhličitého (CO₂e).

Priame emisie produkované na ČOV v priebehu čistenia odpadových vôd, ako aj pri nakladaní a spracovaní kalu predstavuje metán (CH₄) a oxid dusný (N₂O). Nepriame emisie skleníkových plynov predstavujú také emisie, ktoré sú vyprodukované prostredníctvom využívania elektrickej energie, pri spaľovaní fosílnych palív počas transportu, pri použití chemikálií a využívaní kalu.

LCA je metóda hodnotenia, ktorá sa snaží kvantifikovať a následne redukovať negatívne vplyvy výrobných procesov a výrobkov na životné prostredie. Negatívne vplyvy výrobkov a služieb predstavujú súhrn všetkých negatívnych vplyvov, ktorými výrobok pôsobí počas celého životného cyklu na životné prostredie¹.

Všeobecne chápeme LCA ako jednu z techník riadenia starostlivosti o životné prostredie, ktorá dopĺňa hodnotenie dopadu na ŽP (EIA), hodnotenie technológií (Technology Assessment), hodnotenie rizík (Risk Assessment), identifikáciu nebezpečnosti (Hazard Identification) a dohľad nad produktom (Product Stewardship). Hlavnou úlohou LCA je posúdenie veľkosti a rozsahu negatívnych dopadov výrobku na životné prostredie na základe energetických a látkových tokov vstupujúcich do procesu².

Charakteristika LCA analýzy

LCA je metóda hodnotenia, ktorá sa snaží kvantifikovať a následne redukovať negatívne vplyvy výrobných procesov a výrobkov na životné prostredie. Negatívne vplyvy výrobkov a služieb predstavujú súhrn všetkých negatívnych vplyvov, ktorými výrobok pôsobí počas celého životného cyklu na životné prostredie³.

Všeobecne chápeme LCA ako jednu z techník riadenia starostlivosti o životné prostredie, ktorá dopĺňa hodnotenie dopadu na ŽP (EIA), hodnotenie technológií (Technology Assessment), hodnotenie rizík (Risk Assessment), identifikáciu nebezpečnosti (Hazard Identification) a dohľad nad produktom (Product Stewardship). Hlavnou úlohou LCA je posúdenie veľkosti a rozsahu negatívnych dopadov

výrobku na životné prostredie na základe energetických a látkových tokov vstupujúcich do procesu [2].

Metóda LCA je v norme STN EN ISO 14040 definovaná ako zhromažďovanie a vyhodnocovanie vstupov, výstupov a ich vplyvov na životné prostredie výrobkového systému počas celého životného cyklu.

Posudzovanie životného cyklu pozostáva z definovania cieľov a rozsahu, inventarizácie, hodnotenia dopadov a interpretácie výsledkov. Zo štruktúry LCA odvodzujeme, že sa jedná o iteračný proces, a teda poznatky z jednej fázy môžu ovplyvniť východiska predchádzajúcej fázy, ktorú je potrebné následne prehodnotiť a pokračovať znova k fáze nasledujúcej. Takéto prehodnocovanie značne uľahčuje použitie dostupného a vhodného softvéru vyvinutého práve pre danú oblasť.

Definícia cieľov a rozsahu je prvou fázou zostavovania štúdie LCA. Súčasťou definovania cieľu je tiež stanovenie rozsahu štúdie, funkčnej jednotky a hraníc systému. Cieľom LCA je porovnanie rôznych prístupov k výrobe toho istého výrobku, alebo porovnanie rôznych výrobkov, ktoré majú podobný alebo rovnaký účel a následná voľba toho spôsobu, ktorý je šetrnejší voči životnému prostrediu⁴.

Pri definovaní rozsahu štúdie podľa normy STN EN ISO 14040 je dôležité zamerať sa na:

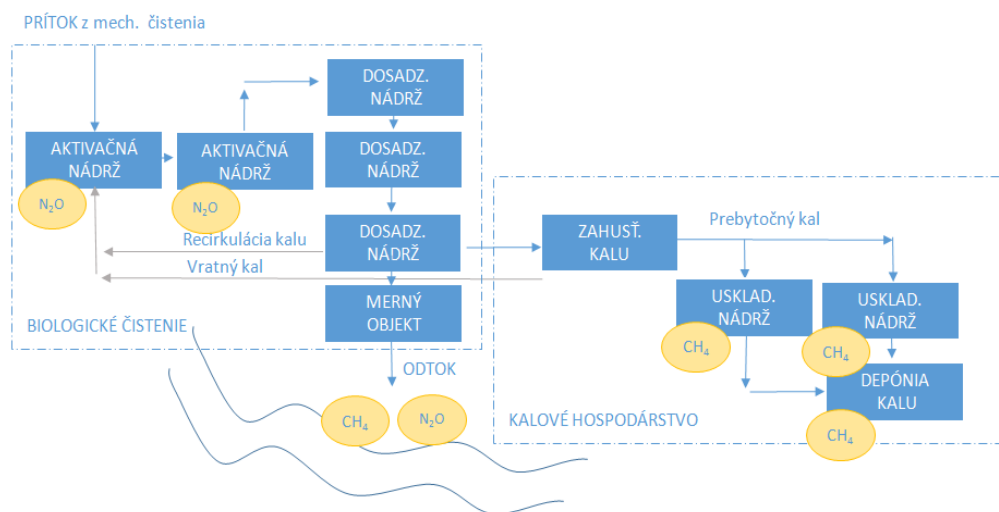
- funkciu systému produktu
- funkčnú jednotku
- skúmaný systém produktu
- hranicu systému
- typ a formu hodnotenia
- použitú interpretáciu
- predpoklady
- obmedzenia
- požiadavky na údaje a na kvalitu údajov
- výber hodnôt a voliteľné prvky⁴

Metodika posudzovania ČOV

Hranice posudzovaného systému sú určené vzhľadom k rozloženiu procesov na ČOV.

Systém je rozdelený na dva posudzované podsystémy;

- 1. podsystém: biologické čistenie
- 2. podsystém : kalové hospodárstvo



Obr. č. 1. Schéma hraníc posudzovaného systému ČOV

Produkcia emisií na ČOV prebieha hlavne v podsysteme biologické čistenie a kalové hospodárstvo, ako je aj znázornené v grafickom zobrazení (Obr. č.1). Môžeme konštatovať, že najväčšie množstvo emisií CH₄ vzniká pri spracovaní a uskladnení kalu, a tieto sa následne vyskytujú aj v recipiente. Emisie N₂O sú tvorené prevažne pri aktivačnom procese, rovnako môžeme ich výskyt monitorovať aj na odtoku z ČOV. Obsah znečisťujúcich látok v prichádzajúcich odpadových vodách, pri čistení odpadových vôd, produkcii elektrickej energie, spracovávaní kalu, ako aj pri odvádzaných odpadových vôd je spracovávaný s využitím emisných faktorov typických pre oblasť centrálnej Európy.

Kalkulácia klimatického dopadu v rámci kategórie globálneho otepľovania GWP bola stanovená na základe emisií N₂O a CH₄ v rámci časového úseku 100 rokov s použitím nasledovných konštánt;

Tab č.1; Konštanty slúžiace pre určenie GWP (Global Warming Potential –Globálne otepľovanie)

Oxid uhličitý – 100 rokov	1 kg CO ₂ /kg CO ₂	Foster (2007)
Metán – 100 rokov	23 kg CO ₂ /kg CH ₄	IPCC (2013)
Oxid dusný	298 kg CO ₂ /kg N ₂ O	Foster (2007)

Vyčíslenie emisií N₂O z ČOV

Produkcia oxidu dusného súvisí s degradáciou dusíkatých zložiek v odpadových vodách v procese nitrifikácie a denitrifikácie. N₂O emisie vznikajú pri oboch procesoch, častejšie a vo väčších množstvách počas procesu denitrifikácie⁵.

$$N_2O \text{ emisie} = N_{\text{prítok}} * EF_{\text{odtok}} * 44/28 \quad (1)$$

Kde,

N_{prítok} – celkový dusík v prichádzajúcich odpadových vodách [kg N_{tot}/rok]

EF_{odtok} – emisný faktor pre N₂O emisie z odpadových vôd [kg N₂O –N/kg N]

Variabilný rozsah priamych emisií N₂O meraných na ČOV je široký. Emisný faktor je vyjadrený na základe konštánt emisií (Tab. č.2).

Výrazná variabilita pochádza najmä z významného vplyvu prevádzkových podmienok na produkciu emisií oxidu dusného. Stupeň odstraňovania dusíkatých látok a podmienky zaťaženia nádrží aktivovaným kalom boli identifikované ako hlavné operačné parametre vychádzajúce z dlhodobých meraní na monitorovanej ČOV, ktoré majú za následok produkciu emisií N₂O⁶.

Tab č.2; Konštanty slúžiace pre vyčíslenie emisií oxidov dusíka z ČOV

Priame emisie z ČOV		
Emisie oxidov dusíka z kalu	0,05 kg N ₂ O/kg NH ₄	Björlerius (1994)
Emisie oxidov dusíka	0,0157 kg N ₂ O/kg Ndenitřif.	Foley et al. (2010)
Emisie v recipiente		
N ₂ O emisie	0,0005 kg N ₂ O/kg N v prítoku	Foley (2008)

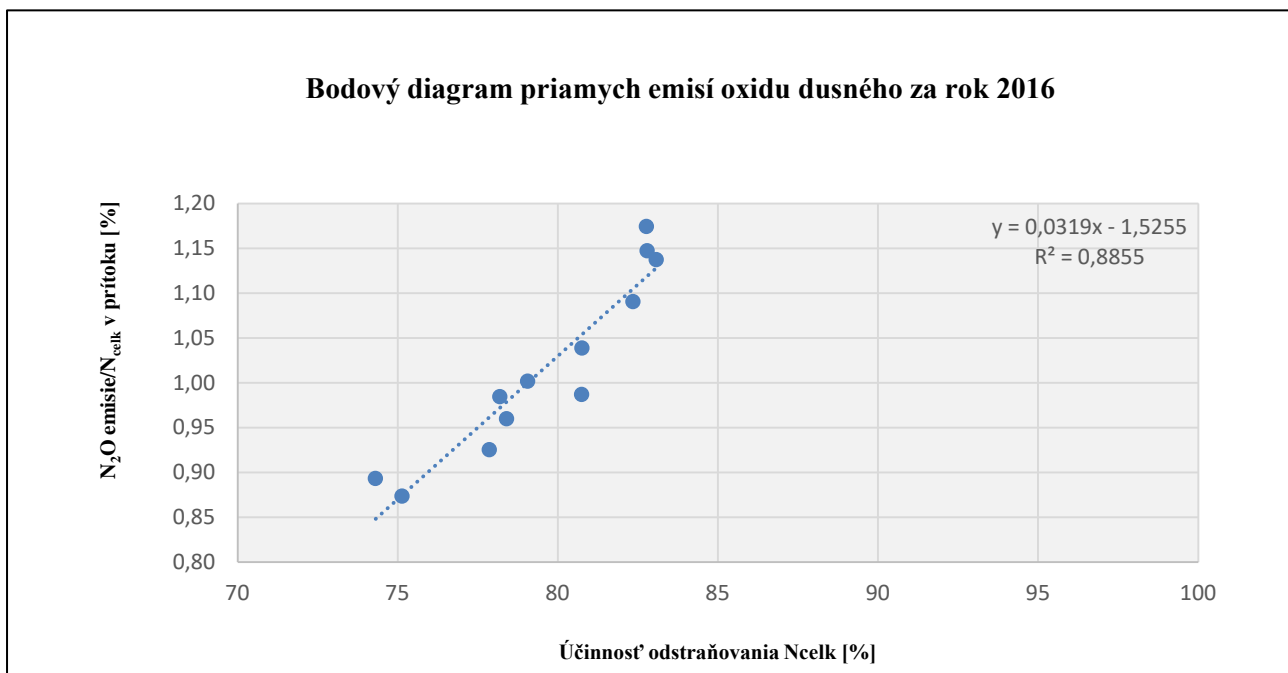
Výsledné hodnoty ročných produkcií emisií N₂O z ČOV boli v sledovaných rokoch 2012 - 2016 produkované rovnomerne. Najnižšie emisie pripadajú na rok 2016, kedy dosahovali hodnotu 0,077 t CO₂e/rok. Najviac produkovaných emisií bolo v roku 2015 s hodnotou 0,111 t CO₂e/rok (Tab.č.3).

Tab. č. 3; Ročné produkcie emisií N₂O z ČOV

Rok	Emisie N ₂ O [t CO ₂ e/rok]
2012	0,106
2013	0,087
2014	0,101
2015	0,111
2016	0,077

Priame emisie N₂O z modelu boli ďalej kalkulované na základe použitia lineárneho regresného modelu s aplikáciou EF priamych emisií z ČOV 0,0157 kg N₂O/kg Ndenitrif prostredníctvom percentuálneho vyjadrenia v závislosti od účinnosti odstraňovania N_{celk}.

Na základe zhotovenia grafov lineárnej regresie za jednotlivé roky sledovaného obdobia bol v rámci sledovaného obdobia (2012-2016) určený za referenčné obdobia rok 2016, vzhľadom na hodnotu koeficientu determinácie (R Square), ktorá predstavuje variabilitu emisií na približne 88%, ostatná časť predstavuje nevysvetlenú variabilitu, vplyvy náhodných činiteľov a iných nešpecifikovaných štatistických vplyvov.



Obr. č. 2. Bodový diagram priamych emisií N₂O z ČOV

Na základe zhotoveného modelu aeróbnej stabilizácie konštatujeme, že ČOV dosahovala pri odstraňovaní N_{celk} pri priemernej účinnosti 87%, produkciu 0,95% priamych emisií oxidu dusného do atmosféry.

Vyčíslenie emisií CH₄ z ČOV

Odpadové vody spolu so zložkami kalu môžu produkovať CH₄, hlavne pri anaeróbných procesoch. Rozsah produkcie emisií metánu závisí od množstva odbúrateľného organického materiálu v odpadovej vode, od teploty a typu čistenia⁵.

$$\text{CH}_4 \text{ produkcia} = (\text{BSK}_{\text{prítok}} - \text{BSK}_{\text{odtok}}) * \text{EF} \quad (2)$$

Kde,

BSK_{prítok} - BSK5 v prichádzajúcich odpadových vodách [kg BSK5/rok]

BSK_{odtok} - BSK5 v odchádzajúcich odpadových vodách [kg BSK5/rok]

EF – emisný faktor 0,05 kg metánu/kg odstráneného BSK

Na ČOV s aeróbnou stabilizáciou sa predpokladá, že 75% z množstva celkových CH₄ emisií pochádza z kalového hospodárstva. CH₄ emisie sa na základe literatúry pohybujú v rozmedzí 0% až 11% v závislosti od stabilizácie kalu, spracovania a jeho skladovania⁷.

Emisný faktor použitý pri kalkulácii je možné rozdeliť na niekoľko skupín (Tab. č. 3).

Tab. č.4; Konštanty slúžiace pre vyčíslenie emisií CH₄ z ČOV

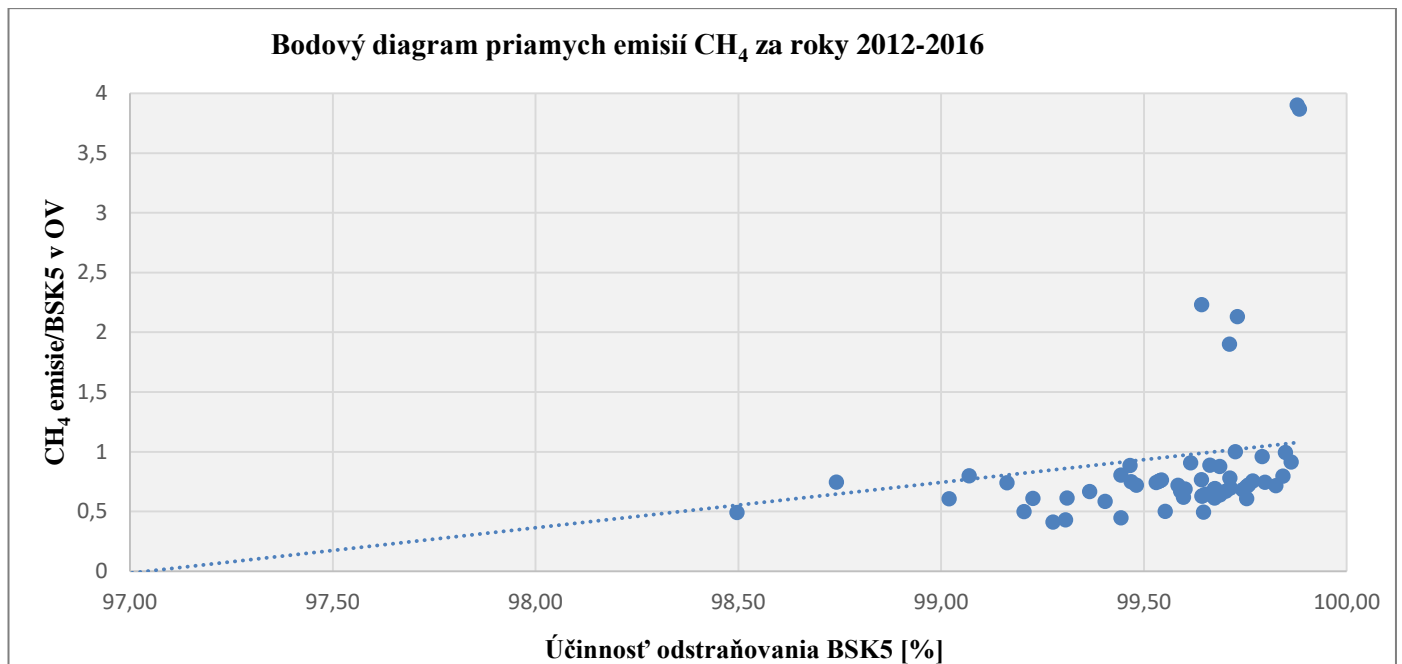
Priame emisie z ČOV		
Emisie metánu	0,0025 CH ₄ /kg CHSK	Gustavsson and Tumlin (2012)
Emisie v recipiente		
CH ₄ emisie	max. 0,025 kg CH ₄ /BSK v prítoku	IPCC (2006)
Emisie metánu zo spaľovania	0,003 kg CH ₄ /kg spáleného CH ₄	Brown et al. (2010)

Najvyššie ročné produkcie emisií CH₄ z ČOV boli zaznamenané v roku 2016, kedy predstavovali 198,9 t CO_{2e} za rok. Porovnateľné produkcie emisií sa prejavili v rokoch 2013 -2014, s hodnotami od 61,8 do 66,5 t CO_{2e} za rok (Tab.č.5).

Tab. č.5; Ročné produkcie emisií CH₄ z ČOV

Rok	Emisie CH ₄ [t CO _{2e} /rok]
2012	65,5
2013	61,8
2014	66,5
2015	79,45
2016	198,9

Emisie metánu boli vypočítané ako priame emisie z ČOV vo vzťahu k účinnosti čistenia BSK₅ za pomoci EF 0,0025 CH₄/kg BSK, na základe bodového diagramu znázorňujúceho percentuálny podiel CH₄ emisií v závislosti od účinnosti odstraňovania BSK₅.



Obr. č. 3. Bodový diagram priamych emisií CH₄ z ČOV

Priemerná účinnosť odstraňovania BSK₅ bola v rámci sledovaného obdobia ustálená v rozmedzí 99 až 100%, pričom sa produkcia priamych CH₄ emisií pohybovala v rozmedzí 0,3-1%.

Záver

Aplikáciou emisných závislostí na čistiareň odpadových vôd zisťujeme vplyv ČOV na tvorbu konkrétnych emisií vypúšťaných do prostredia. Environmentálny prínos rôznych ČOV je aj napriek spĺňaniu legislatívnych limitov rôzna. Niektoré čistiarne spotrebujú pri odstraňovaní nežiadúcich látok z odpadových vôd väčšie množstvá energie a chemických látok, ktorých produkcia predstavuje záťaž pre životné prostredie.

Cieľom príspevku bolo predstaviť problematiku aplikácie metódy životného cyklu a vytvoriť metodiku aplikovateľnú na čistiareň odpadových vôd v súlade so všeobecnou normou STN EN ISO 14 040. Kľúčom k správnej implementácii je pochopenie životného cyklu ČOV a následné dodržanie jednotlivých postupov hodnotenia.

Súčasť príspevku predstavuje vyčíslenie priamych emisií metánu a oxidu dusného pomocou LCA metodiky, ktoré sa počas čistiarenských procesov uvoľňujú do prostredia.

PodĎakovanie

Táto práca bola podporovaná Vedeckou grantovou agentúrou MŠVVaŠ SR a SAV v rámci projektu VEGA 1/0574/19

Literatúra

1. Kapustová, B., 2006. *Development of the methods and Procedures for environmental life cycle assessment and practical use possibilites*. In: Zem v pasci: Analýza zložiek životného prostredia, Zvolen: TU, 2006, ISBN 80-228-1553-5.
2. Rusko M., Halázcs J., et al., 2008. *Environmentálna a bezpečnostná informatika*. Žilina: STRIX, s. 413, ISBN 978-80-89281-19-0
3. Hybská, H., Knapcová, I., et al., 2018. *Testing toxicity of water contaminated by oils*. In: Waste Forum, Issue 2, 2018, 190-197.
4. ISO 14040: *Environmental management, Life cycle assessment, Principles and framework* by International S. Organization, 2006.
5. Gupta, D., Singh, S. K., *Greenhouse Gas Emissions from Wastewater Treatment Plants: A case Study of Noida*. Journal of Water Sustainability, Volume 2, Issue 2, June 2012, 131–139.
6. Kampschreuer, M.J., Temmink, H., Kleerebezem, R., Jetten, M.S.M., van Loosdrecht, M.C.M., Nitrus oxide emission during wastewater treatment. Water Res 2009, 43: 4093-4130
7. Daelman, MR. J., van Voorthuizen E. M., et al.; *Methane emission during municipal wastewater treatment*. Wat Res 2012, 46: 3657-3670.