

LCA v sektore vodného hospodárstva

Michaela Majčinová¹, Marek Holba¹, Aleš Paulu², Vladimír Koč²

¹ASIO TECH, spol. s r.o., Kšírova 552/45, 619 00 Brno, e-mail: majcinova@asio.cz

²Ústav udržitelnosti a produktové ekologie, Fakulta technologie ochrany prostředí, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Jankovcova 23, 170 00 Praha 7

Súhrn

LCA (z ang. Life Cycle Assessment) je analytický nástroj environmentálneho managementu, ktorý slúži k hodnoteniu životného cyklu produktov z hľadiska ich dopadu na životné prostredie. V súčasnosti je táto metóda čoraz viac propagovaná, a to najmä v súvislosti s prechodom na obehové hospodárstvo. Vďaka svojej robustnosti a transparentnosti nachádza LCA uplatnenie v širokej škále priemyselných odvetví vrátane vodného hospodárstva. V tomto sektore predstavuje užitočný nástroj na porovnanie rôznych procesných scenárov na čistiarni a pre posúdenie nových vodohospodárskych technológií z hľadiska ich možných environmentálnych vplyvov.

Kľúčové slová: LCA, odpadová voda, uhlíková stopa

Summary

LCA (Life Cycle Assessment) is an analytical tool of environmental management that is used to evaluate a product's life cycle in terms of its environmental impacts. Currently, this method is being increasingly promoted, specifically in relation to the transition to a circular economy. Due to its robustness and transparency, LCA is applied in a wide range of industries, including water management. In this sector, it represents a useful tool to compare different process scenarios at a wastewater treatment plant and to assess new water technologies in terms of their possible environmental impacts.

Keywords: LCA, wastewater, carbon footprint

Úvod

Zhoršujúci sa stav klimatickej krízy spôsobil, že téma ochrany životného prostredia sa dostáva do popredia aj v tých najvyšších politických kruhoch. Udržateľnosť, klimatická zodpovednosť, obehové hospodárstvo – to je len zlomok z pojmov, ktoré sú dnes už bežnou súčasťou slovníka európskych politických lídrov. Aby nezostalo len pri prázdnych slovách, v roku 2019 predstavila Európska únia tzv. Európsku zelenú dohodu (z ang. European Green Deal), ktorá má významne prispieť k zvládnutiu súčasných environmentálnych hrozieb. Hlavnou víziou Európskej únie v kontexte Zelenej dohody je do roku 2030 znížiť emisie skleníkových plynov aspoň o 55 % a do roku 2050 ako prvý kontinent dosiahnuť klimatickú neutralitu¹. K naplneniu týchto ambiciózných cieľov je potrebná súčinnosť na úrovni členských štátov, finančného trhu a jednotlivých priemyselných sektorov vrátane samotných podnikov. Tie musia v súlade s Taxonómiou EÚ preukázať aktivity smerujúce k udržateľnosti a nízko uhlíkovej ekonomike. Taxonómia EÚ kladie zvlášť významný dôraz na metódy životného cyklu, ktoré svojou podstatou prispievajú k prechodu na obehové hospodárstvo². A to je dôvod prečo je metodika LCA (z ang. Life Cycle Assessment) v súčasnej dobe tak často skloňovaná.

LCA je analytický nástroj environmentálneho managementu, ktorý slúži na posúdenie potenciálnych environmentálnych vplyvov produktov v priebehu celého ich životného cyklu³. Pod životným cyklom produktu sa rozumejú všetky fázy „života“ produktu, do ktorých produkt počas svojej existencie vstupuje: získavanie surovín, výroba produktu, využívanie produktu a konečné odstránenie produktu. Metóda LCA hodnotí všetky tieto fázy z pohľadu vzniknutých emisií a ich množstvá vzťahuje na vopred definovanú funkčnú jednotku, čím vytvára tzv. inventarizačný profil produktu. Inventarizačný profil sa následne prevádza na indikátory kategórií dopadu, ktoré definujú do akej miery sa posudzovaný produkt podieľa na rozvoji špecifického problému životného prostredia ako je globálne otepľovanie, eutrofizácia či

ekotoxická⁴. Robustnosť a transparentnosť, s akou LCA pristupuje k posudzovaniu vplyvov na životné prostredie, z nej robia univerzálnu metódu, ktorá nachádza uplatnenie v širokej škále priemyselných odvetví vrátane vodného hospodárstva.

LCA vo vodohospodárstve

Prvá aplikácia LCA v sektore vodného hospodárstva sa objavila v 90-tych rokoch minulého storočia s cieľom posúdiť environmentálne dopady vybraných čistiarní odpadových vôd. Vďaka svojmu holistickému prístupu sa už v tej dobe preukázala ako efektívny nástroj na posúdenie prevádzky týchto zariadení z pohľadu ich vplyvov na životné prostredie. Odvtedy možno pozorovať vzrastajúci záujem vedcov a odborníkov z oblasti vodohospodárstva o využívanie metódy posudzovania životného cyklu. Výsledkom sú početné LCA štúdie zamerané predovšetkým na problematiku odpadových vôd. Drvivá väčšina z nich má komparatívny charakter a zameriava sa na porovnanie rôznych technológií čistenia odpadových vôd (aeróbne vs anaeróbne procesy, chemické vs biologické procesy) a procesných scenárov na ČOV (predradené vs zaradené zrážanie fosforu). V menšej miere sú zastúpené štúdie, ktoré majú za cieľ posúdiť environmentálny dopad 1 systému a prípadne aj optimalizovať jeho prevádzku⁵.

Ako funkčná jednotka, ku ktorej sa vzťahujú všetky vstupné a výstupné toky posudzovaného systému, sa v rámci vodohospodárstva najčastejšie využíva objem surovej alebo vyčistenej vody⁵. Objemová jednotka však nemusí byť vždy reprezentatívna vzhľadom k tomu, že neodzrkadľuje vplyv zloženia vstupujúcej vody ani účinnosť odstránenia sledovaných polutantov. To môže viesť k zavádzajúcim záverom v prípade porovnávania dvoch systémov s rozdielnou kvalitou surovej vody či s rozdielnou účinnosťou čistenia. V takom prípade sa odporúča vziať do úvahy vstupné dáta na jednotku ekvivalentného obyvateľa, ktorá popri kvantite zohľadňuje aj kvalitu privádzanej vody z pohľadu organického znečistenia. Menej častou voľbou sú časovo-orientované funkčné jednotky ako prevádzkový deň či celková životnosť technológie⁶.

Prevádzka čistiarní odpadových vôd najviac zasahuje kategórie dopadu klimatická zmena, eutrofizácia a toxicita. Klimatická zmena, je do veľkej miery ovplyvnená emisiami skleníkových plynov, ktoré sú spojené so spotrebou elektrickej energie na pohon aeračných zariadení. Nezanedbateľný príspevok ku klimatickej zmene so sebou prinášajú aj anaeróbne procesy v podobe emisií CH_4 a procesy biologického odstraňovania dusíka (nitrifikácia a denitrifikácia), ktoré sú zdrojom emisií N_2O . Spoľahlivé metódy kvantifikácie týchto emisií sú v súčasnosti predmetom intenzívnych výskumov. Kategória dopadu eutrofizácia je zasiahnutá predovšetkým zvyškovými koncentráciami dusíka a fosforu vo vyčistenej vode. Do určitej miery je ovplyvnená aj emisiami N_2O do atmosféry, u ktorých sa počíta s čiastočnou depozíciou do vodných systémov. Kategórie dopadu spojené s toxicitou sú ovplyvnené prítomnosťou ťažkých kovov v prebytočnom kale pri jeho aplikácii na poľnohospodársku pôdu. Negatívny dopad čistiarenskeho kalu vyvažuje jeho hnojivá funkcia. Z pohľadu LCA to znamená náhradu minerálnych hnojív, čo sa pozitívne prejavuje v kategórii dopadu spotreba surovín (minerály a kovy)⁷. Samotná spotreba nerastných surovín môže zohrávať nemalú rolu v celkovom environmentálnom dopade posudzovanej technológie, a to v prípade zaradenia fázy výstavby do hraníc posudzovaného systému⁶.

Projekt „Aplikace LCA analýzy ve vodním hospodářství“

Projekt „Aplikace LCA analýzy ve vodním hospodářství“, ktorý je riešený firmou ASIO TECH, spol. s r.o. v spolupráci s Vysokou školou chemicko-technologickou v Prahe, má za cieľ vypracovať LCA analýzy vybraných výrobkov a technologických celkov firemného portfólia a tým posúdiť ich dopady na životné prostredie. Očakáva sa, že výsledky LCA analýz prinesú firme prehľad o uhlíkovej stope svojich produktov a budú základom pre skvalitnenie jej portfólia z hľadiska udržateľnosti. V rámci predkladaného príspevku budú prezentované výsledky LCA štúdií technológie čistenia a recyklácie bazénových vôd AS-POOLREC a typovej rady mechanicko-biologických čistiarní AS-HSBR pre bytové objekty a menšie obce.

LCA technológií úpravy bazénových vôd

Cieľom LCA štúdie technológií úpravy bazénových vôd je posúdenie environmentálnych dopadov technológie čistenia a recyklácie bazénových vôd AS-POOLREC v porovnaní s konvenčnou bazénovou technológiou bez recyklácie. Za týmto účelom bola zvolená konkrétna aplikácia technológie AS-POOLREC v kúpeľoch Bechyně (*Scenár s recykláciou*) a jej environmentálny dopad bol porovnaný so stavom pred zavedením recyklačnej technológie (*Scenár bez recyklácie*).

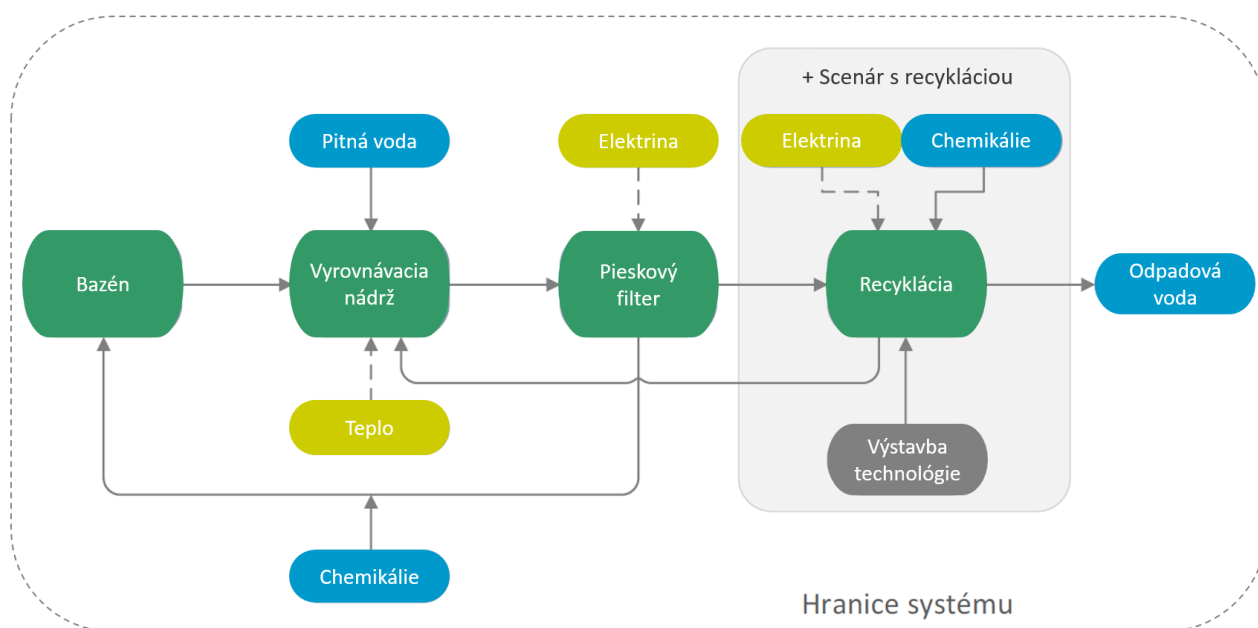
Charakteristika posudzovaných technológií

Scenár bez recyklácie: Scenár bez recyklácie reprezentuje klasickú technológiu úpravy bazénových vôd. Voda z bazéna je privádzaná do vyrovnávacej nádrže, kde dochádza k jej zmiešaniu s pitnou vodou a ohrevu na požadovanú teplotu. Takto vyhriata voda je upravovaná pomocou pieskovej filtrácie a chemickej dezinfekcie a následne privádzaná do bazéna. Voda z prania pieskových filtrov je odvádzaná do kanalizácie ako voda odpadová.

Scenár s recykláciou: Scenár s recykláciou vychádza zo scenára bez recyklácie. V tomto scenári sa ale uvažuje zo zaradením technológie na úpravu vody z prania pieskových filtrov (AS-POOLREC), ktorá je založená na systéme dvojstupňovej membránovej filtrácie. Takto upravená voda je späť privádzaná do vyrovnávacej nádrže. Voda z oplachu membránových jednotiek je odvádzaná do kanalizácie ako voda odpadová.

Charakteristika LCA štúdie

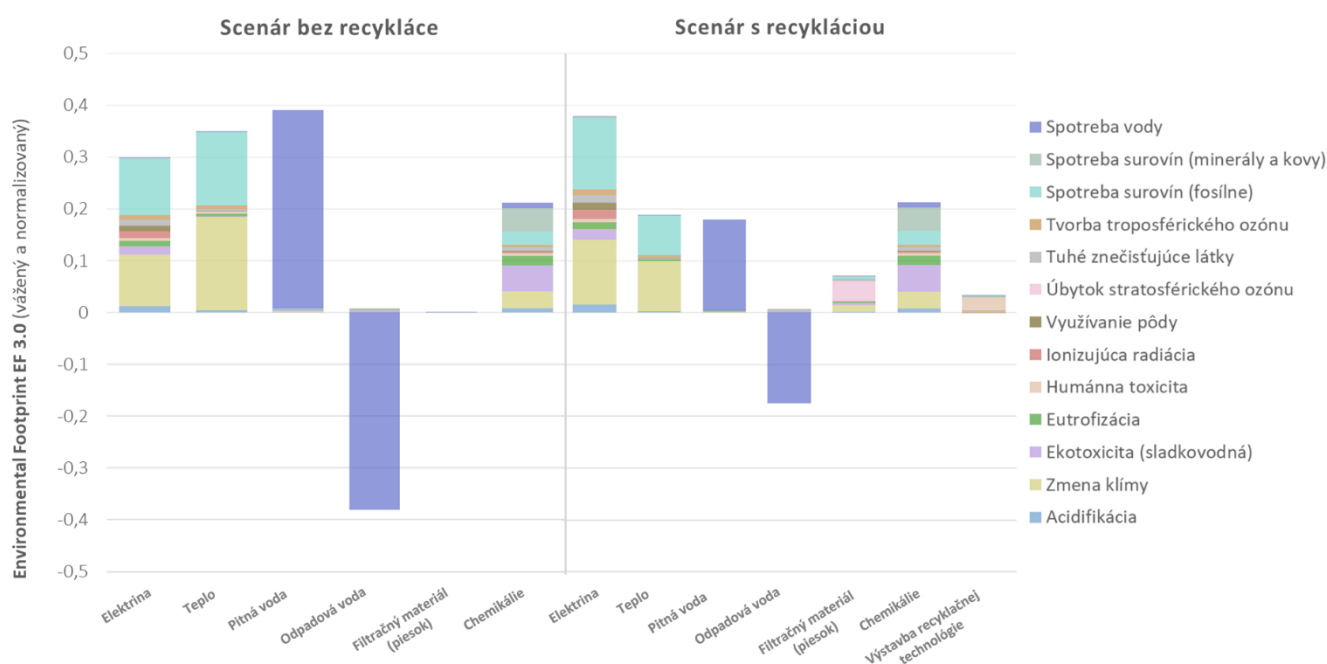
LCA štúdia bola vypracovaná podľa noriem ISO 14040 2006 a ISO 14044 2006 s využitím LCA modelovacieho software GaBi 10. Za funkčnú jednotku bol zvolený 1 prevádzkový deň technológie, čo zodpovedá dennej produkcii 267,7 m³ upravenej bazénovej vody. Pre vyčíslenie environmentálnych dopadov bol použitý charakterizačný model Environmental Footprint EF 3.0 s databázou charakterizačných, normalizačných a vážiacich faktorov v nasledovných kategóriách dopadu: acidifikácia, zmena klímy, ekotoxicita (sladkovodná), eutrofizácia, humánna toxicita, ionizujúca radiácia, využívanie pôdy, úbytok stratosférického ozónu, tuhé znečisťujúce látky, tvorba troposférického ozónu, spotreba surovín (fosílna), spotreba surovín (minerály a kovy) a spotreba vody. Špecifické dáta k posudzovaným technológiám vychádzajú z priamych meraní vykonaných firmou ASIO TECH, spol. s r.o. v kúpeľoch Bechyně v roku 2022. Generické dáta sú čerpané z databáz Gabi Professional a Ecoinvent 3.7. Pre oba posudzované scenáre boli nastavené hranice systému spôsobom „cradle-to-grave“. Hranice systému jednotlivých technológií sú graficky znázornené na Obrázku 1.



Obrázok 1: Hranice systému technológií úpravy bazénových vôd

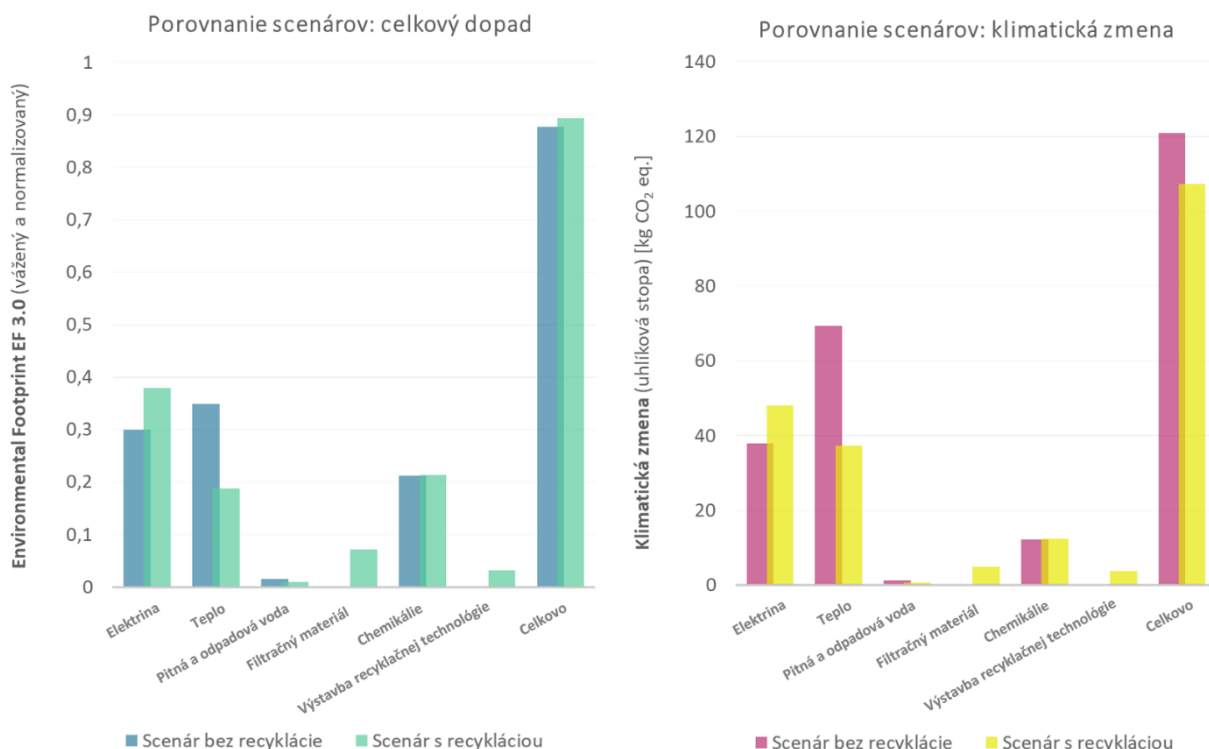
Výsledky a diskusia

Environmentálne dopady jednotlivých skupín v oboch posudzovaných scenároch sú graficky znázornené na Obrázku 2. Z výsledkov vyplýva, že životný cyklus odoberanej pitnej vody v Scenári bez recyklácie zásadne ovplyvňuje kategóriu dopadu spotreba vody. Tento dopad je však vynulovaný v životnom cykle produkcie odpadovej vody, kedy je spotrebovaná voda späť navrátená do životného prostredia. Obdobne je tomu tak aj v Scenári s recykláciou. V tomto prípade sú však analogické „píky“ menšie, a to v dôsledku recyklácie časti práce vody, čím sa významne znižuje spotrebované množstvo pitnej vody.



Obrázok 2: Environmental Footprint (EF) posudzovaných skupín pre Scenár bez recyklácie a Scenár s recykláciou

Najviac zasiahnutými kategóriami dopadu u oboch scenárov sú zmena klímy a spotreba fosílnych surovín, a to predovšetkým vplyvom životného cyklu spotrebovanej elektrickej a tepelnej energie na prevádzku technológií. Zavedením recyklačnej technológie sa síce príspevok elektrickej energie k celkovému environmentálnemu dopadu zvýšil, avšak proces vyžaduje výrazne nižšie množstvo tepla na ohrev bazénovej vody. Súvisí to s tým, že teplota práce vody sa v priebehu membránovej filtrácie významne neznižuje. Rozdiely v energetických nárokoch posudzovaných scenárov sú dobre viditeľné aj na Obrázku 3, ktorý porovnáva oba scenáre z hľadiska celkového environmentálneho dopadu a uhlíkovej stopy (kategória dopadu zmena klímy).



Obrázok 3: Porovnanie celkového dopadu pomocou Environmental Footprint pre Scenár bez recyklácie a Scenár s recykláciou (vľavo) a Porovnanie kategórie dopadu klimatická zmena pre Scenár bez recyklácie a Scenár s recykláciou (vpravo)

Z Obrázku 3 ďalej vyplýva, že zavedením recyklačnej technológie sa zvýšil celkový environmentálny dopad kúpeľného objektu, avšak jeho uhlíková stopa sa znížila. Dôvodom je počiatočná materiálová investícia do výstavby technológie a využitie membránových modulov, ktorých životný cyklus zasahuje do kategórií dopadu humánna toxicita, spotreba surovín a úbytok stratosférického ozónu.

LCA technológií mechanicko-biologického čistenia odpadových vôd

Cieľom LCA technológií mechanicko-biologického čistenia odpadových vôd je posúdenie environmentálnych dopadov typovej rady mechanicko-biologických čistiarní AS-HSBR pre bytové objekty, objekty poskytujúce služby a menšie obce. Za týmto účelom boli vybrané výrobky o veľkosti 200 EO s predradeným denitrifikačným stupňom v dvoch materiálových prevedeniach: betón (*Scenár HSBR Betón*) a plast (*Scenár HSBR Plast*). Pre prípad sprísnených požiadaviek na odstraňovanie nutričov bol modelovaný Scenár HSBR Betón (P) s doplnkovou technológiou na zrážanie fosforu.

Charakteristika posudzovaných technológií

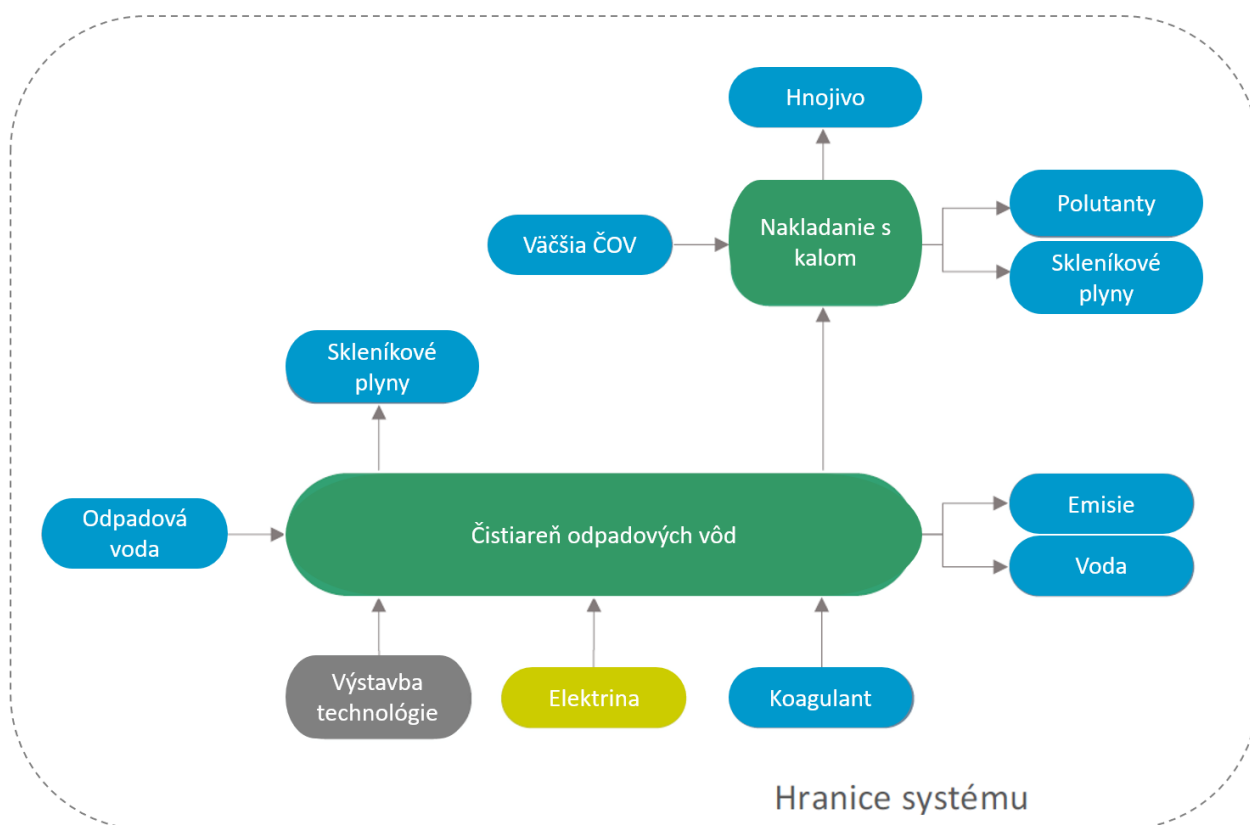
Scenár HSBR Betón: Technológia HSBR Betón je založená na semikontinuálnom procese čistenia odpadových vôd. Odpadová voda v prvom kroku priteká do primárnej nádrže s usadzovacím a kalovým priestorom, kde je zbavená mechanických, plávajúcich a usaditeľných nečistôt. Predčistená voda je následne vedená cez predradenú denitrifikačnú sekciu do aktivačného priestoru SBR, kde prebiehajú procesy biologického čistenia, sedimentácie aktivovaného kalu a odťahu vyčistenej vody. Technologické vybavenie ČOV je osadené do betónovej prefabrikovanej nádrže.

Scenár HSBR Plast: Technologický proces Scenáru HSBR Plast je totožný s procesom Scenáru HSBR Betón. Rozdiel spočíva v konštrukčnom prevedení nádrží. V tomto prípade je technológia umiestnená v obetónovanom plastovom skelete.

Scenár HSBR Betón (P): Scenár HSBR Betón (P) vychádza zo Scenáru HSBR Betón, ktorý je doplnený o vybavenie na chemické zrážanie fosforu.

Charakteristika LCA štúdie

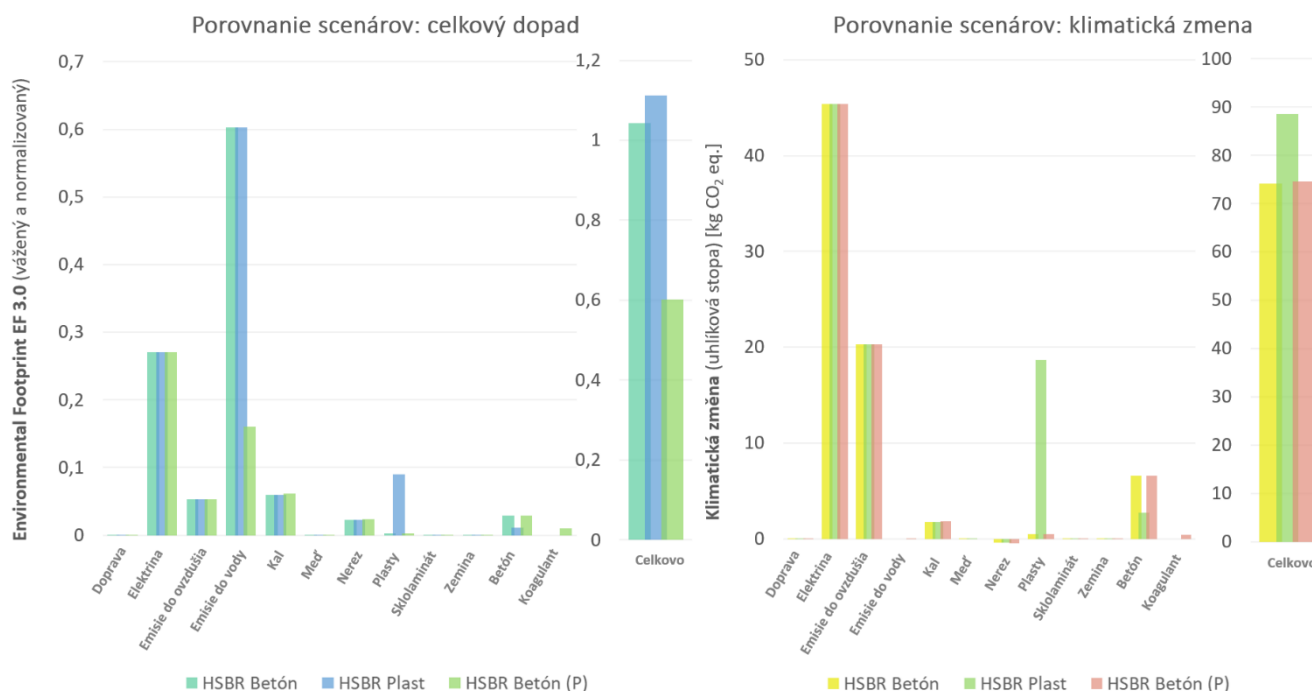
LCA štúdia bola vypracovaná podľa noriem ISO 14040 2006 a ISO 14044 2006 s využitím LCA modelovacieho software GaBi 10. Za funkčnú jednotku bol zvolený 1 prevádzkový deň technológie, čo zodpovedá dennej produkcii 20 m³ vyčistenej vody. Pre vyčíslenie environmentálnych dopadov bol použitý charakterizačný model Environmental Footprint EF 3.0 s databázou charakterizačných, normalizačných a vážiacich faktorov v rovnakých kategóriách dopadu ako v prípade LCA technológií úpravy bazénových vôd. Špecifické dáta k posudzovaným technológiám vychádzajú z projekčno-inštalačných podkladov typovej rady AS-HSBR. Generické dáta sú čerpané z databáz Gabi Professional a Ecoinvent 3.7. Pre všetky posudzované scenáre boli nastavené hranice systému spôsobom „cradle-to-grave“. Hranice systému jednotlivých technológií sú graficky znázornené na Obrázku 4.



Obrázok 4: Hranice systému technológií mechanicko-biologického čistenia odpadových vôd

Výsledky a diskusia

Environmentálne dopady posudzovaných skupín technológií mechanicko-biologického čistenia odpadových vôd sú znázornené na Obrázku 5. Z výsledkov vyplýva, že najviac zasiahnutou kategóriou dopadu, ktorá zásadným spôsobom prispieva k celkovému environmentálnemu dopadu, je eutrofizácia. Tá je v prevažnej miere ovplyvnená priamymi emisiami fosforu vo vyčistenej vode. Implementáciou technológie chemického zrážania fosforu v Scenári HSBR Betón (P) sa podarilo dopad na eutrofizáciu výrazne znížiť. Ďalšími nezanedbateľne zasiahnutými kategóriami dopadu sú zmena klímy, spotreba fosílnych surovín a humánna toxicita. Dopad na prvé dve menované kategórie má súvis najmä so spotrebou elektrickej energie na prevádzku technológií. Na zmene klímy sa značne podieľajú aj emisie vznikajúce v priebehu procesu čistenia, predovšetkým N₂O. V Scenári HSBR Plast sa navyše objavuje príspevok životného cyklu polypropylénu použitého na výstavbu nádrží. Kategória dopadu humánna toxicita je ovplyvnená emisiami ťažkých kovov do pôdy počas kompostovania kalu a využitím nerezovej ocele na výstavbu technológií.



Obrázok 6: Porovnanie celkového dopadu pomocou Environmental Footprint pre všetky posudzované scenáre mechanicko-biologického čistenia odpadových vôd (vľavo) a Porovnanie kategórie dopadu klimatická zmena pre všetky posudzované scenáre mechanicko-biologického čistenia odpadových vôd (vpravo)

Záver

Cieľom príspevku bolo predstavenie LCA analýzy v kontexte vodného hospodárstva a prezentácia výsledkov vybraných LCA štúdií vypracovaných v rámci projektu „Aplikace LCA analýzy ve vodním hospodářství“.

Účelom štúdie LCA technológií úpravy bazénových vôd bolo určenie environmentálnych dopadov technológie čistenia a recyklácie bazénových vôd AS-POOLREC v porovnaní s konvenčnou bazénovou technológiou bez recyklácie. Z výsledkov vyplynuli nasledovné zistenia:

- Scenár s recykláciou má vyšší celkový environmentálny dopad ako referenčný Scenár bez recyklácie. Zavedením recyklačnej technológie však došlo k zníženiu uhlíkovej stopy kúpeľného objektu.
- Najvýznamnejšie sa na celkových environmentálnych dopadoch oboch scenárov podieľa spotreba elektrickej a tepelnej energie, ktoré zasahujú kategórie dopadu zmena klímy a spotreba fosílnych surovín.

LCA štúdia technológií mechanicko-biologického čistenia odpadových vôd bola zameraná na posúdenie environmentálnych dopadov typovej rady čistiarní AS-HSBR v dvoch materiálových vyhotoveniach betón a plast. Osobitne bol modelovaný scenár betónovej varianty čistiarne s doplnkovou technológiou na zrážanie fosforu. Na základe výsledkov možno formulovať nasledovné závery:

- Scenár HSBR Plast vykazuje vyšší celkový environmentálny dopad rovnako aj uhlíkovú stopu ako Scenár HSBR Betón. Dôvodom je väčšie množstvo polypropylénu potrebného na výstavbu nádrží.
- Najväčší príspevok k celkovým environmentálnym dopadom všetkých scenárov majú emisie fosforu do vody a spotreba elektrickej energie, ktoré ovplyvňujú kategórie dopadu eutrofizácia a zmena klímy.

- Zaradením technológie na zrážanie fosforu sa výrazne znížilo množstvo fosforu emitovaného do životného prostredia. To viedlo k zníženiu dopadu na kategóriu eutrofizácia a v konečnom dôsledku aj k zníženiu celkového environmentálneho dopadu.

PodĎakovanie

Projekt „Aplikace LCA analýzy ve vodním hospodářství“ č. CZ.01.1.02/0.0/0.0/20_358/0027733 je financovaný s podporou Ministerstva průmyslu a obchodu v rámci operačního programu Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost. Projekt je řešený firmou ASIO TECH, spol. s r.o. v spolupráci s Vysokou školou chemicko-technologickou v Praze v období od 12/2021 do 7/2022.

Literatúra

1. Directorate-General for Communication (2022). *A European Green Deal*, European Commission website, accessed 5 August 2022, <https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en>.
2. TEG (2020). Taxonomy: Final report of the Technical Expert Group on Sustainable Finance.
3. Guinée, J. (2002). Handbook on life cycle assessment – Operational guide to the ISO standards. *International Journal of Life Cycle Assessment* 6(5): 255-255.
4. Kočí, V. (2010). Metoda posuzování životního cyklu a chemický průmysl. *Chem. Listy* 104, 921-925.
5. Rebello, T. A., Roque, R. P., Goncalves, R. F., Calmon, J. L., Queiroz, L. M. (2021). Life Cycle Assessment of Urban Wastewater Treatment Plants: A Critical Analysis and Guideline Proposal. *Water Sci. Technol.* 83, 501-514.
6. Corominas, Ll., Foley, J., Guest, J. S., Hospido, A., Larsen, H. F., Morera, S., Shaw, A. (2013). Life cycle assessment applied to wastewater treatment: State of the art. *Water Res.* 121, 186-196.
7. Moreira, M. T., Andrea, A., Feijoo, G. (2018). Municipal Wastewater and Sewage Sludge Treatment Life Cycle Assessment of Wastewater Treatment. In *Life Cycle Assessment of Wastewater Treatment*, Taylor & Francis Group: London, UK, 2018.