



ParaBAT

Metodika progresivních postupů ke zdokonalení systémů vedoucích k minimalizaci produkce odpadů pocházejících z průmyslových činností

Vladimír Kočí
a kolektiv



ParaBAT

Metodika progresivních postupů ke zdokonalení systémů vedoucích k minimalizaci produkce odpadů pocházejících z průmyslových činností

Vladimír Kočí
a kolektiv

VŠCHT Praha
Praha 2024



Autoři metodiky

Vladimír Kočí

Ivanna Harasymchuk

Eliška Purkarová

Tatiana Trecáková

Lektoroval

Ing. Libor Ansorge Ph.D.

Ing. Luboš Nobilis

© Vladimír Kočí, Ivanna Harasymchuk, Eliška Purkarová, Tatiana Trecáková, 2024

ISBN 978-80-7592-266-3

Poděkování

**T A
Č R**

Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je financován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva životního prostředí ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.



Certifikovaná metodika byla vytvořena v rámci projektu SS02030008 „Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost“ řešeného s finanční podporou Technologické Agentury České republiky 2020 - 2026.



Osvědčení / Protokol o schválení (certifikaci) metodiky na Ministerstvu životního prostředí

Číslo jednací	č.j.MZP/2024/710/5170
Identifikace výzkumné aktivity (projekt, výzkumný záměr apod.), poskytovatel dotace	Projekt SS02030008 „Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost“, část 1.E Průmyslové odpady TAČR, Program Prostředí pro život
Číslo nebo jiné označení udělené certifikace přidělené vnějším certifikačním / akreditačním orgánem (maximální délka 254 znaků) Nevyplňovat u metodik, které schválila sekce MŽP	n/a
Název metodiky (maximální délka 254 znaků)	ParaBAT Metodika progresivních postupů ke zdokonalení systémů vedoucích k minimalizaci produkce odpadů pocházejících z průmyslových činností
Interní identifikační označení metodiky (maximální délka 32 znaků)	SS02030008 Č.j. MZP/2024/710/5170 ISBN 978-80-7592-266-3
Místo uložení metodiky (maximální délka 254 znaků)	Ministerstvo životního prostředí Technologická agentura ČR
Ekonomické parametry metodiky (ekonomické parametry charakterizující metodiku - např. roční zvýšení objemu výroby, zisku, export atd., resp. komentář k ekonomickým aspektům metodiky – maximální délka 254 znaků);	Odpadová politika Evropské unie a konkrétně balíček oběhové hospodářství prosazuje možnosti využití životního cyklu v odpadovém hospodářství. Jednou z nejpoužívanějších metod posuzování environmentálních dopadů je právě metoda LCA (LCA – Life Cycle Assessment – Posuzování životního cyklu). Metodika ParaBAT vhodným způsobem používá metodu LCA a specifikuje její použití právě pro účely hodnocení dosahování cílů BAT.
Sekce MŽP, která metodiku schválila a doporučila pro využití v praxi	Sekce ochrany životního prostředí Odbor posuzování vlivů na životní prostředí a integrované prevence Oddělení IPPC a IRZ



Certifikační / akreditační orgán, který metodiku schválil a doporučil pro využití v praxi - úplný název a sídlo (případně stát) certifikačního / akreditačního orgánu, který metodiku certifikoval / akreditoval – (maximální délka 254 znaků) Nevyplňovat u metodik, které schválila sekce MŽP	n/a
Datum schválení (certifikace / akreditace) metodiky (datum, kdy bylo příslušnou sekcí MŽP, resp. vnějším certifikačním / akreditačním orgánem, vydáno osvědčení o schválení metodiky resp. rozhodnutí o certifikaci / akreditaci metodiky)	18.prosince 2024
Identifikace nejméně dvou nezávislých oponentních posudků (název, datum zpracování, zpracovatel)	1) Ing. Luboš Nobilis NEPCon Group s.r.o. (Preferred by Nature) Datum zpracování : 28.8.2024 2) Ing. Libor Ansorge, PhD Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Datum zpracování: 28.8.2024
Popis metodiky v českém jazyce včetně popisu novosti postupů (minimální délka 64 znaků, maximální délka 1016 znaků)	Metodika ParaBAT si klade za cíl metodicky upřesnit postupy definované ISO normou ČSN ISO 14040:2006 při zavádění nejlepších dostupných technologií (BAT – best available technologies) při snižování emisí znečišťujících látek do životního prostředí. Cílem aplikace metodiky ParaBAT je dosáhnout nejnižší environmentální zátěže v celém dodavatelsko-odběratelském řetězci resp. v celém životním cyklu. Účelem metodiky ParaBAT je popis uceleného postupu stanovení a vymezení hranic systému a určování hodnot indikátorů environmentálních dopadů využitelný pro komplexní a transparentní hodnocení technologií BAT a BAT se blížících technologií z pohledu celého jejich životního cyklu tak, aby byl použitelný pro studie LCA prováděné v souladu s ČSN ISO 14040. Novost postupů spočívá ve stanovení přesného a jednoznačného postupu pro hodnocení environmentálních dopadů metodou PEF (Product Environmental Footprint) v České republice se zaměřením na technologie pro výrobu druhotných surovin a recyklátů.



Popis metodiky v anglickém jazyce včetně popisu novosti postupů (minimální délka 64 znaků, maximální délka 1016 znaků)	The ParaBAT methodology aims to methodically specify the procedures defined by the ISO standard ČSN ISO 14040:2006 in the implementation of the best available technologies (BAT) in reducing emissions of pollutants into the environment. The goal of the ParaBAT application is the lowest environmental burden in the supply-customer chain or throughout the life cycle. The purpose of the ParaBAT methodology is to describe a comprehensive procedure for establishing and delimiting the boundaries of the system and determining the values of environmental impact indicators that can be used for a comprehensive and transparent assessment of BAT technologies and BAT with approaching technologies from the point of view of their entire life cycle, so that it can be used for LCA studies conducted in accordance with the ČSN ISO 14040. The novelty of the procedures consists in establishing a precise and unambiguous procedure for evaluating environmental impacts using the PEF (Product Environmental Footprint) method in the Czech Republic, with a focus on technologies for the production of secondary raw materials and recycles.		
Uživatel metodiky (název, adresa, jméno pracovníka, e-mail, telefon)	Ministerstvo životního prostředí, Vršovická 1442/65, Praha 10, Česká informační agentura životního prostředí (CENIA) Moskevská 1523/63, 101 00 Praha 10		
Datum uzavření smlouvy/potvrzení o využití výsledku s uživatelem metodiky			
Odborný garant – jméno / podpis / datum	RNDr. Helena Kameníčková		18.12.2024
Vedoucí oddělení – jméno / podpis / datum	Ing. Jana Harzerová		18.12.2024
Ředitel odboru – jméno / podpis / datum	Mgr. Evžen Doležal		19.12.2024
Vrchní ředitel sekce ochrany životního prostředí – jméno / podpis / datum	Mgr. David Surý		19.12.2024



Obsah

1	Úvod	7
2	Definice pojmů a termínů	10
3	Cílová skupina.....	14
4	Účel a rozsah metodiky ParaBAT	15
4.1	Základní koncepce metodiky ParaBAT	15
4.2	Omezení metodiky	16
5	Princip metody LCA	17
5.1	Definice cílů a rozsahu	17
5.2	Funkční jednotka	17
5.3	Hranice systému.....	18
5.4	Fáze životního cyklu (moduly).....	18
5.5	Volba energetického mixu pro tvorbu LCA modelu	22
5.6	Systémový diagram	22
5.7	Omezující kritéria	23
5.8	Alokační pravidla	23
5.9	Požadavky na kvalitu dat.....	24
5.10	Kategorie dopadu.....	25
5.11	Charakterizační profil	28
5.12	Suma celkových environmentálních dopadů – „Environmentální stopa“	28
5.13	Ostatní požadavky (jednotky, obsah studie, informace o provozovateli)	28
5.14	Porovnatelnost LCA studií	28
6	Aplikace metodiky ParaBAT	28
7	Vyjádření přínosů – volba kategorií dopadu	31
7.1	Zúžený výběr hodnocených dopadů	31
7.2	Hodnocení s použitím všech dostupných kategorií dopadu – normalizace a vážení	31
8	Příklad aplikace ParaBAT	33
8.1	Scénář 1 Aktuální stav technologie pyrolýzy plastových odpadů	33
8.2	Scénář 2 Efektivnější nakládání s odpady v souladu s doporučeními BAT	35
8.3	Scénář 3 Změna dopravy materiálů a způsobu paliva	37
8.4	Scénář 4 Nahrazení zdrojů energie elektřinou z obnovitelných zdrojů	39



8.5	Scénář 5 Dodatečné použití katalyzátoru	41
8.6	Scénář 6: Další zpracování a využití vznikajících produktů	43
8.7	Výsledky	45
9	Závěr	48
10	Reference	50

1 Úvod

Dle zákona č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci a omezování znečištění, jsou nejlepší dostupné techniky (BAT – Best Available Techniques) definované jako nejúčinnější a nejpokročilejší stadium vývoje technologií a činností a způsobů jejich provozování, které ukazují praktickou vhodnost určitých technik jako základu pro stanovení emisních limitů a dalších závazných podmínek provozu zařízení, jejichž smyslem je předejít vzniku emisí, nebo pokud to není možné, omezit emise a jejich nepříznivé dopady na životní prostředí jako celek.

Dosažení nejlepších dostupných technik při provozu velkých průmyslových a zemědělských zařízení představuje jeden z nejvýznamnějších nástrojů v ochraně životního prostředí jako celku a je nejdůležitější součástí procesu integrované prevence a omezování znečištění (IPPC). Při hodnocení se vychází především z technické úrovně zařízení, zejména z pohledu dosahované úrovně emisí do ovzduší, vody a půdy, množství produkovaných odpadů, materiálové a energetické náročnosti, nástrojů environmentálního řízení, ekonomických možností provozovatele zařízení, a to při dosažení regionálních standardů kvality životního prostředí. Důležitými podklady, které musí být zohledněny, jsou plány snižování emisí, plány odpadového hospodářství, podmínky provozu vycházející z dokumentace a stanoviska EIA a podobně.

Požadavek úpravy technologie na limity odpovídající BAT s sebou obvykle nese větší nebo menší změnu technologického postupu. Dosahování emisních limitů, nebo dokonce spodní hranice emisního limitu BAT tedy obvykle vyžaduje zapojení nějaké nové techniky či úpravy stávající technologie. Úprava stávajícího stavu technologie mající za cíl snížení emisí určitých látek na nižší limity může vyžadovat další materiálové a energetické vstupy. Získávání či výroba těchto materiálových či energetických vstupů s sebou obvykle nese rovněž technologické postupy, které svým provozem mohou vypouštět větší či menší množství emisí do různých složek prostředí.

Snížení emisí na limity BAT (přímé emise) u jedné technologie může vyžadovat jiné materiálové či energetické vstupy, které sice na jiném místě, ale přesto mohou do životního prostředí vnášet nežádoucí látky (nepřímé emise). Dosahování limitů BAT tedy může představovat přesouvání environmentální zátěže v dodavatelsko-odběratelském řetězci. Metodika ParaBAT má za cíl umožnit hodnocení skutečného přínosu snižování emisních limitů v celém dodavatelsko-odběratelském řetězci. Metodika může za vhodných podmínek sloužit k odůvodnění, proč není u hodnocené technologie splněna spodní přísnější hranice emisního limitu BAT.

Odpadová politika Evropské unie a konkrétně balíček oběhové hospodářství prosazuje možnosti využití životního cyklu v odpadovém hospodářství. Jednou z nejpoužívanějších metod posuzování environmentálních dopadů je právě metoda LCA (LCA – Life Cycle Assessment – Posuzování životního cyklu). Metodika ParaBAT vhodným způsobem používá metodu LCA a specifikuje její použití právě pro účely hodnocení dosahování cílů BAT. Následující dva příklady přibližují možnou aplikaci metodiky Parabat:

1) Čistírny odpadních vod

Čistírny odpadních vod jsou klíčovou součástí infrastruktury pro ochranu životního prostředí a veřejného zdraví. Dosahování limitů BAT je nezbytné pro zajištění vysoké kvality vyčištěné vody. Nicméně samotné splnění těchto limitů často nestačí k významnému snížení celkových dopadů na životní prostředí. Hlavní technologické procesy v čistírně odpadních vod zahrnují hrubé předčištění, kde se odstraňují velké pevné částice pomocí česlí a sítěk, a primární sedimentaci, která umožňuje

usazování pevných částic v usazovacích nádržích. Následuje biologické čištění, při němž se odstraňují rozpuštěné organické látky prostřednictvím aktivovaného kalu nebo biofilmových reaktorů. Třetí stupeň čištění zahrnuje odstranění nutrientů, jako jsou dusík a fosfor, a mikrobiálních kontaminantů pomocí chemických srážedel, filtrací a dezinfekce (např. UV zářením nebo ozónem). Nakonec probíhá odvodnění kalů pomocí centrifug nebo pásových lisů a jejich následná likvidace nebo využití, například prostřednictvím anaerobní digesce. V současném stavu ČOV dosahuje limitů BAT pro kvalitu vyčištěné vody. Primární, sekundární a terciární čištění zajišťuje odstranění těžkých kovů, organických látek a nutrientů. Energetická náročnost je však vysoká, hlavně kvůli použití UV dezinfekce a membránové filtrace. Vyčištěná voda je vypouštěna do řeky, kde úroveň čistoty neodpovídá standardům dosaženým v ČOV. Ačkoli dosažení limitů BAT je nezbytné, existuje několik klíčových otázek:

- BAT se zaměřuje na kvalitu vyčištěné vody, ale nepřihlíží k emisím spojeným s výrobou a spotřebou energie, chemikálií nebo dopravou odpadů.
- Pokročilé procesy, jako je UV dezinfekce nebo membránová filtrace, jsou energeticky náročné.
- Vyčištěná voda je vypouštěna do vodních toků, které mohou mít nižší kvalitu vody, což může negativně ovlivnit ekosystémy.

Metodika ParaBAT nabízí komplexní přístup, který zahrnuje:

- Komplexní LCA analýzu - získávání dat o spotřebě energie, chemikálií, emisích a odpadech během celého životního cyklu ČOV. Analýza dopadů na klima, kvalitu vody, kvalitu ovzduší, a ekosystémy.
- Instalace solárních panelů pro generování elektrické energie pro provoz ČOV.
- Využití Bioplynu pro generování energie z anaerobní digesce kalů
- Využití odpadního tepla z biologických reaktorů a kalových sušáren.
- Použití ozónu k oxidaci mikropolutantů a použití membránových bioreaktorů pro odstranění mikropolutantů a mikroplastů.
- Použití aktivního uhlí pro odstranění organických látek a mikropolutantů.
- Edukaci a zapojení místních komunit v ochraně vodních zdrojů a dosahování ekologických cílů.

2) Výroba oceli

Výroba oceli je jedním z nejvíce energeticky náročných průmyslových procesů a významně přispívá k emisím skleníkových plynů. Výroba zahrnuje několik hlavních technologických procesů. Prvním krokem je těžba železné rudy, která se následně drtí a třídí. Poté dochází k procesu spékání nebo peletizace, kde se ruda přeměňuje na aglomerát nebo pelety vhodné pro vysoké pece. Ve vysoké peci se železná ruda redukuje pomocí koksu a vzniká surové železo, které obsahuje vysoký podíl uhlíku a dalších nečistot. Následuje konvertorový proces, například v kyslíkovém konvertoru, kde se do surového železa vhání kyslík, čímž se snižuje obsah uhlíku a odstraňují nežádoucí příměsi. V další fázi, která zahrnuje pánvové metalurgické procesy, se upravuje složení oceli, přidávají se legovací prvky a odstraňují zbytkové nečistoty. Posledním krokem je odlévání oceli.

V současném stavu ocelárna dosahuje limitů BAT pro emise z vysokých pecí, konvertorů a obloukových pecí (EAF - Electric Arc Furnace). Emise CO₂, SO₂ a prachových částic jsou monitorovány

a snižovány pomocí základních filtračních a čistících systémů. Energetická náročnost je vysoká, hlavně kvůli použití fosilních paliv v procesech tavení a výroby oceli. Nepřímé emise z dodavatelského řetězce a přepravy nejsou plně zohledněny.

I když BAT stanoví přísné limity emisí z jednotlivých procesů, existuje několik klíčových otázek:

- Tavení železné rudy ve vysoké peci a výroba oceli v kyslíkovém konvertoru vyžadují velké množství energie. BAT se zaměřuje na přímé emise, ale nezohledňuje emise spojené s výrobou a spotřebou této energie, zejména pokud pochází z fosilních paliv.
- BAT nebere v úvahu emise z přepravy železné rudy, koksu a hotových ocelových produktů.
- Procesy spékání a peletizace produkují významné množství prachových částic a NO_x . Filtrační systémy a technologické úpravy předepsané BAT mohou snížit tyto emise, ale nezohledňují celkový energetický dopad a produkci sekundárních znečišťujících látek.
- Použití koksu v vysokých pecích je významným zdrojem CO_2 a dalších znečišťujících látek. BAT zahrnuje metody pro zvýšení energetické účinnosti a snížení emisí, ale neřeší plně problém využití fosilních paliv.
- Přidávání legovacích prvků a rafinace oceli generuje prachové emise a další znečišťující látky. BAT navrhuje specifické filtrační technologie, které mohou být energeticky náročné a nezahrnují nepřímé emise z výroby a dopravy legovacích prvků.

Metodika ParaBAT umožňuje zhodnotit například:

- Instalace systémů pro rekuperaci tepla z vysokých pecí a konvertorů.
- Přechod na elektřinu z obnovitelných zdrojů v EAF.
- Nahrazení části koksu biomasou ve vysokých pecích.
- Instalace systémů pro snižování NO_x emisí pomocí selektivní katalytické redukce

Metodika ParaBAT je navržena tak, aby vyhovovala potřebám široké škály organizací napříč různými průmyslovými odvětvími. Díky svému inovativnímu přístupu k hodnocení nepřímých emisí a využití druhotných surovin poskytuje ParaBAT jedinečný a originální způsob, jak dosáhnout skutečného ekologického a ekonomického pokroku.

Novost metodiky spočívá ve stanovení přesného a jednoznačného postupu pro hodnocení environmentálních dopadů metodou PEF (Product Environmental Footprint) v České republice se zaměřením na technologie pro výrobu druhotných surovin a recyklátů. Metodiku PEF (označovanou i jako EF) v současné době doporučuje Evropská Komise (FAZIO 2018) pro hodnocení dopadů životního cyklu produktů, ale i organizací a technologií.

2 Definice pojmů a termínů

Alokace

Proces rozdělení environmentálních dopadů mezi více produktů nebo služeb, které vznikají v rámci jednoho výrobního procesu.

Deklarovaná jednotka

Obvykle se jedná o množství produktu, jako je hmotnost nebo objem, na který jsou vztaženy výsledky hodnocení.

Druhotná surovina

"Druhotná surovina" se týká materiálu, který je získán z odpadu po jeho recyklaci nebo zpracování a může být znovu využit jako surovina pro výrobu nových produktů. Tento materiál již není považován za odpad, pokud splňuje podmínky stanovené zákonem. (více zákon č. 541/2020 Sb. § 11).

Ekovektor

Ekovektor představuje environmentální profil produktu nebo procesu a slouží pro vyhodnocení a porovnání environmentálních dopadů.

Environmentální stopa

Metrika, která kvantifikuje potenciální environmentální dopady spojené s výrobou produktů a služeb.

Funkční jednotka

Kvantifikovaný výkon produktového systému, procesu nebo organizace, který slouží jako referenční jednotka. Je-li referenční jednotka stanovena jako množství produktu (hmotnost, objem), označuje se jako deklarovaná jednotka.

Hranice systému

Soubor kritérií specifikujících, které jednotkové procesy jsou částí produktového systému nebo činností organizace.

Charakterizace

Charakterizace je postup, jak vyčíslovat vliv elementárních toků na určitou kategorii dopadu. Charakterizací se získají výsledky indikátorů kategorií dopadu.

Charakterizační faktor

Faktor převzatý z charakterizačního modelu, používaný pro přepočet přiřazeného výsledku inventarizační analýzy životního cyklu na společnou jednotku indikátoru kategorie. Společná jednotka umožňuje výpočet výsledku indikátoru kategorie.

Charakterizační profil

Soustava výsledků indikátorů kategorií dopadu.

Indikátor kategorie dopadu

Kvantifikovatelné vyjádření kategorie dopadu. Pro lepší srozumitelnost lze použít kratší výraz "indikátor kategorie".

Inventarizace

Výsledek inventarizační analýzy včetně seznamu a množství jednotlivých elementárních toků, které jsou využitelné při posuzování dopadů.

Inventarizační analýza (LCI)

Fáze posuzování životního cyklu zahrnující shromažďování a kvantifikaci vstupů a výstupů produktu během jeho životního cyklu.

Jednotkový proces

Nejmenší prvek uvažovaný v inventarizační analýze životního cyklu, pro který jsou kvantifikovány vstupní a výstupní údaje.

Kategorie dopadu

Třída reprezentující aktuální environmentální problémy, ke kterým mohou být výsledky inventarizační analýzy životního cyklu přiřazeny.

Modul

Definovaná část životního cyklu produktu nebo služby, která je posuzována samostatně, například výstavba, provoz, údržba nebo demolice zařízení.

Normalizace

Vztažení výsledků indikátoru kategorie dopadu k referenční hodnotě.

Odpad

Látky nebo předměty, které vlastník chce nebo má odstraňovat. Odpad na vstupu do zařízení pro produkci druhotných surovin může být odpad průmyslový i odpad komunální.

Odvrácené emise

Emise, které v důsledku využití druhotné suroviny nemusely být do prostředí uvolněny.

ParaBAT

Metodika umožňující hodnotit environmentální dopady technologií nad limity BAT.

Posuzování životního cyklu (LCA)

Shromažďování a vyhodnocování vstupů, výstupů a potenciálních dopadů produktového systému na životní prostředí během jeho životního cyklu.

Proces

Soubor vzájemně souvisejících nebo vzájemně se ovlivňujících činností, které přeměňují vstupy ve výstupy.

Produktový systém

Soubor jednotkových procesů s elementárními a produktovými toky plnící jednu nebo více definovaných funkcí, který modeluje životní cyklus produktu.

Recyklace

Způsob využití odpadu, jímž je odpad znovu zpracován na výrobky, materiály nebo látky, ať pro původní nebo pro jiné účely; recyklace odpadu zahrnuje přepracování organických materiálů, ale nezahrnuje energetické využití a přepracování na materiály, které mají být použity jako palivo nebo jako zásypový materiál.

Substituce

Rozšíření hranic systému a nahrazení nereferenčních produktů alternativním způsobem jejich poskytování, tj. procesy nebo produkty, které nereferenční produkt nahrazuje.

Surovinová bezpečnost

Soubor opatření k zabezpečení nezbytných surovin potřebných k zajištění ekonomiky státu.

Vážení

Vážení je vyjadřování významnosti kategorií dopadu s ohledem na ekonomicko-sociální hlediska. I v případě, kdy jsou dva různé výsledky indikátoru kategorie dopadu po normalizaci stejné, nemusí být stejně závažný jejich společenský význam.

Vedlejší produkt

Kterýkoliv ze dvou nebo více produktů vycházejících ze stejného jednotkového procesu nebo produktového systému.

Zákon o odpadech

Zákon č. 541/2020 Sb. Zákon o odpadech.

Životní cyklus

Po sobě jdoucí a provázaná stadia produktového systému od těžby nebo získávání surovin z přírodních zdrojů ke konečnému odstraňování.

Tabulka 1. Vysvětlení zkratk

Zkratka	Význam zkratky
AE	Accumulated Exceedance
AP	Acidification Potential
BAT	Best Available Techniques
CENIA	Česká informační agentura životního prostředí
CEVOOH	Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost
ChP	Charakterizační profil
CML	Centrum voor Milieukunde Leiden
CTUh	Comparative Toxic Unit for humans
CTUe	Comparative Toxic Unit for ecosystems



Zkratka	Význam zkratky
ČSN	Česká státní norma
EAf	Electric Arc Furnace
D	Demolice zařízení (volitelný modul)
EF	Environmental Footprint
EIA	Environmental Impact Assessment
ELCD	European Reference Life Cycle Database
EN	European Norm
EPD	Environmental Product Declaration
GWP	Global Warming Potential
IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control
ISO	International Organization for Standardization
kBq U ₂₃₅	Kilobecquerel U235
Kg CO ₂ ekv.	Kilogramy ekvivalentu CO ₂
kg NMVOC eq	Kilogramy nekontrolovaných těkavých organických látek
kg N eq	Kilogramy ekvivalentu dusíku
kg P eq	Kilogramy ekvivalentu fosforu
kg Sb eq	Kilogramy ekvivalentu antimonu
LCA	Life Cycle Assessment
LCIA	Life Cycle Impact Assessment
LCI	Life Cycle Inventory
MJ	Megajoule
mol H ⁺ eq	Molární ekvivalent protonů
mol H ⁺	Molární koncentrace protonů
mol N eq	Molární ekvivalent dusíku
m ³ world eq. deprived	Kubické metry ekvivalentu deprivace vody
ODP	Ozone Depletion Potential
PCR	Product Category Rules
PEF	Product Environmental Footprint
PM	Particulate Matter
PM _{2.5}	Particulate Matter 2.5 microns
P	Provoz zařízení (povinný modul)
PS	Substituce druhotných surovin nebo recyklátů
S	Výstavba zařízení (volitelný modul)
SI	Système International d'Unités
U	Úprava druhotných surovin (povinný modul, pokud relevantní)
UNEP	United Nations Environment Programme
USLCI	US Life Cycle Inventory

3 Cílová skupina

Metodika ParaBAT je určena především pro odborníky a profesionály v oblasti životního prostředí, odpadového hospodářství a průmyslových technologií, kteří se podílejí na hodnocení a optimalizaci environmentálních dopadů průmyslových procesů. Typickými uživateli této metodiky budou:

Průmyslové podniky

Firmy zabývající se odpady a recyklací

Vládní a nevládní organizace

Environmentalní inženýři a konzultanti

Výzkumníci a akademici

Pro efektivní využití metodiky ParaBAT je nezbytné, aby uživatelé měli pokročilé znalosti v oblasti posuzování životního cyklu, včetně práce s relevantním softwarem, např. SimaPro, LCA for Experts (dříve GaBi). A také měli přístup k databázím LCIA, např. Ecoinvent, Sphera. Kromě toho je důležité, aby byli obeznámeni s environmentálními regulacemi a standardy, jako jsou ČSN ISO 14040 a 14044, a měli praktické zkušenosti s prováděním environmentálních analýz. Technické vybavení zahrnuje výkonný počítač a spolehlivé internetové připojení, což umožňuje zpracování náročných výpočtů a přístup k online zdrojům. Použití metodiky ParaBAT pro osoby bez předchozí praxe by bylo velmi obtížné, protože vyžaduje hluboké technické znalosti a praktické zkušenosti s LCA a environmentálními analýzami.

4 Účel a rozsah metodiky ParaBAT

Účelem metodiky ParaBAT je popis uceleného postupu stanovení a vymezení hranic systému a určování hodnot indikátorů environmentálních dopadů využitelných pro komplexní a transparentní hodnocení technologií BAT a BAT se blížících technologií z pohledu celého jejich životního cyklu tak, aby byl použitelný pro studie LCA prováděné v souladu s ČSN ISO 14040 (ČSN ISO 14040:2006).

Metodika popisuje rámec a základní postup posouzení environmentálních dopadů technologií BAT včetně započtení vstupujících materiálů a energií a vystupujících vedlejších produktů, tedy včetně započtení nepřímých emisí provozu hodnocené technologie.

4.1 Základní koncepce metodiky ParaBAT

Základní koncepce metodiky ParaBAT je znázorněna v následující tabulce shrnující environmentální přínosy získané úpravou sledované technologie tak, aby dosahovala emisní limity BAT. Jedna a tatáž modelová technologická úprava je v tabulce znázorněna pomocí procent vyjadřující míru environmentální zátěže (např. uhlíková stopa, toxicita, ekotoxicita a další).

Varianta hodnocení 1 znázorňuje situaci, kdy úprava technologie na emisní limit BAT vede ke snížení emisí na úroveň 50 % původního stavu. Tato varianta představuje běžný způsob náhledu na environmentální přínos dosažení snížením emisí do životního prostředí. Tato varianta nehodnotí environmentální zátěž vznikající v dodavatelsko-odběratelském řetězci.

Varianta hodnocení 2a přináší do výpočtu environmentální dopady vznikající při výrobě materiálů, chemikálií, elektřiny a podobně spotřebovaných v dané technologii navíc oproti výchozímu stavu. Jinak řečeno, snížení emisí technologie bude vyžadovat určité dodatečné materiálové a energetické vstupy. Budou-li tyto vstupy v sumě představovat například 30 % emisí škodlivých látek, tak snížení množství emisí ze samotné technologie na úroveň 50 % nepředstavuje čistou 50% úsporu emisí, ale úsporu o hodnotě $50\% - 30\% = 20\%$. Teoreticky může nastat situace označená jako **Varianta hodnocení 2b**. Jedná se o situaci, kdy výroba činidel a energií spotřebovaných technologií za účelem dosažení limitu BAT může představovat vyšší environmentální zátěž než přínos získaný snížením přímých emisí. V této variantě sice došlo k 50% snížení přímých emisí, nepřímé emise však představují vyšší zátěž (v našem příkladu 60%) než benefit získaný dosažením limitů BAT. V této variantě teoreticky dochází dosažením emisního limitu BAT ke zhoršení celkové environmentální situace, než jaká byla před úpravou technologie.

Varianta hodnocení 3a rozšiřuje předchozí variantu 2a o využití druhotné suroviny. Je-li vedle primárního produktu technologie k dispozici i odpad, který může být materiálově či energeticky využit, lze v kontextu dodavatelsko-odběratelského řetězce uvažovat i o započtení benefitů (odvrácených emisí), které nastanou, bude-li tento druhotný materiál využit. V tabulce uvedený příklad uvažuje benefit odvrácených emisí v hodnotě -20 %. Při započtení přínosu odvrácených emisí tak dochází k nepřímému snížení celkových emisí posuzovaného systému. Zajímavý případ ilustruje **Varianta hodnocení 3b**. Jedná se o případ, kdy je nedosažení emisních limitů BAT, v tomto případě pouze 60%, vykoupeno získáním druhotného materiálu, jehož využití vede k odvrácení většího množství emisí (zde -40 %). Tím dochází k celkově lepší situaci s větším environmentálním přínosem,

než by bylo při dosažení emisního limitu BAT, při kterém ovšem nevzniká druhotná surovina k potenciálně smysluplnému využití.

Tabulka 2 Vysvětlení koncepce metodiky ParaBAT

% environmentální zátěže	Přímé emise		Nepřímé emise		Výsledná suma environmentální zátěže	Dosažené zlepšení
	Původní stav technologie	Technologie po dosažení limitů BAT	Dodatečná zátěž z dodavatelského řetězce	Odvracené emise v důsledku využití druhotného materiálu		
Varianta hodnocení 1	100 %	50 %	Nezahrnuto	Nezahrnuto	* 50 %	* 50 %
Varianta hodnocení 2a	100 %	50 %	30 %	Nezahrnuto	80 %	20 %
Varianta hodnocení 2b	100 %	50 %	60 %	Nezahrnuto	110 %	-10 %
Varianta hodnocení 3a	100 %	50 %	30 %	-20 %	60 %	40 %
Varianta hodnocení 3b	100 %	** 60 %	30 %	-40 %	50 %	50 %
Vysvětlivky						
*	Zlepšení stavu na 50 % je jen zdánlivé, protože nejsou započteny nepřímé emise.					
**	nedošlo k dosažení nejnižší meze limitu BAT					

4.2 Omezení metodiky

Výsledky posuzování technologií v záměru, tedy technologií, které dosud nejsou provozovány, může být zatíženo chybou, vznikající rozdílem mezi projektovými a reálnými daty. Při použití výsledků jako pokladu pro strategické rozhodování nebo rozhodnutí o poskytnutí finanční podpory je nezbytné zvážit toto riziko nebo do rozhodování a podmínek doplnit pravidla, pokud by se výsledky posouzení na základě projektových a reálných dat výrazněji lišily.

Jedná se o první verzi metodiky, která byla zpracována na základě pilotního projektu v rámci řešení projektu CEVOOH. V případě potřeby doporučujeme metodiku aktualizovat na základě analýzy výsledků posouzení dalších technologií.

5 Princip metody LCA

Metoda LCA je popsána v ISO standardu (ČSN ISO 14040). Jedná se ovšem o obecný popis použité této metody, který nespecifikuje detaily zpracování pro různá průmyslová odvětví. Pro účely hodnocení environmentálních dopadů technologií ve vztahu k BAT je třeba standardní postup LCA, v jednotlivých oblastech více konkretizovat.

Jelikož je metodika ParaBAT postavena na základech analytického postupu LCA – posuzování životního cyklu, je metoda LCA v této kapitole krátce shrnuta.

Metoda LCA je analytickým postupem umožňujícím hodnotit potenciální environmentální dopady produktů, technologií i služeb s ohledem na široké spektrum zúčastněných procesů a také s ohledem na široké spektrum potenciálních environmentálních dopadů. Významným přínosem metody LCA je možnost hodnotit posuzovaný systém v širokém kontextu zahrnujícím celý dodavatelsko-odběratelský řetězec, a tedy i poměrně široké environmentální souvislosti.

V současné době se rozvíjí stále více možností a prostoru pro využití metody LCA jak v průmyslové praxi, tak i ve státní správě. Pro různá průmyslová odvětví začínají být studie LCA nejen zajímavým podkladem pro hledání cest snižování environmentálních dopadů, ale také nástrojem komunikace se zákazníkem, především v "podnik-podnik" rovině.

Významným přínosem používání metody LCA je vyjadřování potenciálních environmentálních dopadů nikoli pouhým výčtem různých emisí do jednotlivých složek prostředí, ale převedením těchto dat na tzv. výsledky indikátorů kategorií dopadu.

Jednotlivé fáze metody LCA jsou na obecné rovině definovány v mezinárodním standardu ČSN ISO z roku 2006. Podrobněji jsou v českém jazyce jednotlivé činnosti sestavování studií LCA rozebrány v publikaci Posuzování životního cyklu (Kočí 2009). V základní rovině se metoda LCA skládá ze čtyř základních okruhů činností:

- 1) Definice cílů a rozsahu,
- 2) Inventarizační analýza,
- 3) Hodnocení dopadů životního cyklu,
- 4) Interpretace životního cyklu.

5.1 Definice cílů a rozsahu

Účelem této fáze je definovat studovaný objekt a popsat pravidla, požadavky a postupy pro posouzení technologií pro produkci druhotných surovin metodou LCA.

5.2 Funkční jednotka

Funkční jednotkou (deklarovanou jednotkou v případě omezených hranic systému) je obvykle 1 tuna výrobku. V případě produkce více než jednoho produktu v jednom zařízení se jedná za předpokladu hmotnostní alokace o 1 tunu produktů. V odůvodněných případech, např. energetika, lze zvolit i jinou funkční jednotku, např. MJ.

5.3 Hranice systému

Hranice systému pro posuzování technologií jsou stanoveny v rozsahu jednotlivých povinných a volitelných modulů. Každý produktový systém se skládá z různého množství procesů a toků. S životním cyklem posuzovaného produktu mohou souviset i další procesy, které však nejsou pro hodnocení podstatné. Pro rozlišení podstatných a nepodstatných procesů slouží právě tzv. hranice systému.

Pro stanovení hranic systémů platí dva základní principy, které vychází i ze zahraničních norem a metodik (např. EN 15804):

Princip „modularity“ – V případě, že procesy ovlivňují environmentální vlastnosti produktu v průběhu jeho životního cyklu, musí být přiřazeny k tomu modulu životního cyklu, ve kterém se vyskytují. Všechny environmentální aspekty a dopady jsou deklarovány v té fázi životního cyklu, ve které se objevují.

Princip „znečišťovatel platí“ – Procesy zpracování odpadu musí být přiřazeny k produktovému systému, který tento odpad generuje, až po dosažení stavu, kdy odpad přestává být odpadem. Podrobně je to popsáno v zákoně č. 541/2020 Sb. § 10.

5.4 Fáze životního cyklu (moduly)

Pro účely možností analýzy výsledků a získání informací o možnostech a potenciálu snižování environmentálních dopadů v jednotlivých fázích, je životní cyklus technologií rozdělen do následujících modulů:

S Výstavba zařízení (volitelný modul)

- S1 Vstupní materiály, suroviny
- S2 Doprava vstupních materiálů/surovin na stavbu
- S3 Výstavba zařízení

P Provoz zařízení (povinný modul)

- P1 Vstupní materiály, suroviny
- P2 Doprava vstupních odpadů, materiálů/surovin do zařízení
- P3 Provoz - zpracování odpadů a produkce druhotných surovin nebo recyklátů
- P4 Údržba a opravy zařízení

U Úprava druhotných surovin (povinný modul, pokud relevantní)

- U1 Přeprava druhotných surovin do místa úpravy
- U2 Vstupní materiály, suroviny
- U3 Doprava vstupních materiálů/surovin do zařízení

- U4 Úprava druhotných surovin
- D Demolice zařízení (volitelný modul)**
- D1 Demolice zařízení
- D2 Přeprava
- D3 Zpracování odpadů
- D4 Odstranění odpadů

Indikátory jednotlivých kategorií dopadu musí být kvantifikovány odděleně dle výše uvedených modulů.

Popis modulů a procesů do nich náležících

S Výstavba technologického zařízení (volitelný modul)

S1 Vstupní materiály, suroviny

Do modulu S1 náleží procesy těžby a výroby surovin a materiálů použitých na výstavbu zařízení vč. spotřeby energie a dalších médií a také včetně nakládání s odpady v rámci výroby surovin a materiálů.

S2 Doprava vstupních materiálů/surovin na stavbu

Do modulu S2 náleží procesy přepravy surovin a materiálů použitých na výstavbu zařízení z výrobního zařízení na stavbu.

S3 Výstavba zařízení

Do modulu S3 náleží procesy samotné výstavby nového technologického zařízení, přičemž modul S3 specifikuje procesy samotné výstavby a S1 a S2 pokrývají přípravu materiálů a jejich dopravu. Tento modul zahrnuje například tyto procesy: spotřeba PHM (pohonných hmot) nebo elektřiny zařízení/strojů, které zajišťují výstavbu zařízení, spotřeba elektřiny a dalších médií, které jsou nezbytné pro realizaci fáze výstavby vč. spuštění zařízení (např. tlakový vzduch, elektřina, plyn atd.). Do modulu S3 náleží i procesy nakládání s odpady vzniklých v průběhu výstavby zařízení, až po stav, kdy odpady přestávají být odpady. V případě stávajícího zařízení by modul S3 měl být "0". Přesah do modulu P1 by mohl vzniknout, pokud by se po výstavbě zařízení začaly řešit procesy, které se týkají provozu zařízení.

P Provoz zařízení (povinný modul)

P1 Vstupní materiály, suroviny

Do modulu P1 náleží procesy těžby a výroby surovin a materiálů použitých v rámci provozu zařízení vč. spotřeby energie a dalších médií a také včetně nakládání s odpady v rámci výroby surovin a materiálů. U vstupního odpadu, který je v zařízení zpracováván, musí být popsán jeho původ a druh v rozlišení, zda se jedná o odpad komunální nebo průmyslový.

- P2** Do modulu P2 náleží procesy přepravy vstupních odpadů, surovin a materiálů spotřebovaných v rámci provozu zařízení.
- P3** Provoz – výroba primárního produktu a případně zpracování odpadů a výroba druhotných surovin nebo recyklátů.
- Do modulu P3 náleží samotný provoz zařízení (třídění, drcení, čištění, peletizace, extruze, zplyňování, chemická úprava atd.) včetně spotřeby elektrické energie, tepla, páry. Do modulu P3 náleží i procesy týkající se jakýchkoliv předběžných úprav odpadu (např. předtřídění, lisování atd.), které by měly být zahrnuty do hranic systémů, pokud jsou prováděny (externě nebo interně).
- Do modulu P3 náleží taky procesy výroby a dopravy obalových materiálů, potřebných k balení vyprodukovaných druhotných surovin nebo recyklátů. Do tohoto modelu náleží tedy i emise spojené s provozem zařízení (emise do ovzduší, vody, půdy). U zařízení pro výrobu druhotných surovin a recyklátů je nezbytné měřit nebo odborně kvantifikovat (dle standardizovaných metodik) emise do ovzduší včetně emisí skleníkových plynů, vody a půdy. Do modulu P3 náleží i procesy nakládání s odpady, které vznikají při provozu zařízení až do momentu, kdy odpad přestává být odpadem.
- P4** Údržba a opravy zařízení
- Do modulu P4 náleží procesy výroby náhradních dílů a materiálů potřebného k údržbě, která probíhá častěji než jednou za tři roky (Tříleté období lépe zachycuje skutečný cyklus údržby a umožňuje přesnější rozložení nákladů a dopadů těchto dílů na životní prostředí. Přestože referenční období pro celkovou analýzu je obvykle jeden rok, tříleté období poskytuje realističtější obraz pro díly, které se nemění každý rok, ale například jen jednou za několik let).
- Do modulu P4 náleží proces výroby energií (elektřiny, plynu, páry), pokud je jejich spotřeba součástí údržby a opravy zařízení.
- PS** Substituce druhotných surovin nebo recyklátů – započtení odvrácených emisí.
- Do modulu PS náleží procesy substituce výroby primárních surovin odpovídající kvalitě vyrobených druhotných surovin nebo recyklátů, které jsou výstupem posuzované technologie.
- U** **Úprava druhotných surovin (povinný modul, pokud relevantní)**
- Modul U se týká procesů další úpravy druhotných surovin nezbytných ke zvýšení jejich kvality, bez které by druhotné suroviny nebyly na trhu prodejně. V případě, že druhotné suroviny vystupující ze zařízení v rámci modulu P jsou před prodejem ještě dále upravovány, tyto procesy musí být začleněny do hranic systému.
- U1** Přeprava druhotných surovin do místa úpravy

- Do modulu U1 náleží procesy přepravy vyprodukovaných druhotných surovin do zařízení k dalšímu zpracování druhotných surovin.
- U2** Vstupní materiály, suroviny
- Do modulu U2 náleží procesy těžby a výroby surovin a materiálů použitých v rámci provozu zařízení k úpravě druhotných surovin vč. spotřeby energie a dalších médií a procesů nakládání s odpady.
- U3** Doprava vstupních materiálů/surovin do zařízení
- Do modulu U3 náleží procesy přepravy surovin a materiálů spotřebovaných v rámci provozu zařízení k úpravě druhotných surovin.
- U4** Úprava druhotných surovin
- Do modulu U4 náleží samotný provoz zařízení včetně spotřeby elektrické energie, tepla, páry.
- Do modulu U4 náleží taky procesy výroby a dopravy obalových materiálů, potřebných k balení vyprodukovaných druhotných surovin.
- Do tohoto modelu náleží tedy i emise spojené s provozem zařízení (emise do ovzduší, vody, půdy).
- Pozn. U zařízení pro úpravu druhotných surovin je nezbytné měřit nebo odborně kvantifikovat (dle standardizovaných metodik) emise do ovzduší včetně emisí skleníkových plynů, vody a půdy.
- Do modulu U4 náleží i procesy nakládání s odpady, které vznikají při provozu zařízení až do momentu, kdy odpad přestává být odpadem.
- US** Substituce druhotných surovin
- Do modulu US náleží procesy substituce výroby primárních surovin odpovídající kvalitě vyrobených druhotných surovin, které jsou výstupem posuzované technologie.
- PS** Substituce druhotných surovin nebo recyklátů
- Tento modul zahrnuje započítání tzv. odvrácených emisí, což znamená, že se do environmentální bilance zahrnou emise, které byly "odvráceny" tím, že nebyly vyprodukovány při výrobě primárních surovin.
- US** Substituce druhotných surovin
- Je specifický pro případy, kdy se suroviny dále upravují, aby se zvýšila jejich kvalita na úroveň potřebnou pro prodej. Tento modul zajišťuje, že všechny procesy nutné pro úpravu a následnou substituci jsou zahrnuty do environmentálního hodnocení.
- D** **Demolice zařízení (volitelný modul)**
- D1** Demolice zařízení

Do modulu D1 náleží procesy týkající se samotné demolice zařízení, např. spotřeba PHM nebo dalších energií (elektřina, plyn, atd.) demoličních zařízení/strojů. Do modulu D1 náleží i emise spojené s demolicí, například emise do ovzduší nebo vod.

D2 Přeprava

Do modulu D2 náleží procesy přepravy jednotlivých druhů materiál nebo odpadů z demolice určených k dalšímu využití, recyklaci nebo odstranění.

D3 Zpracování odpadů

Do modulu D3 náleží procesy recyklace a využití odpadů (energetické využití) ze stavby do momentu, kdy odpad přestane být odpadem.

D4 Odstranění odpadů

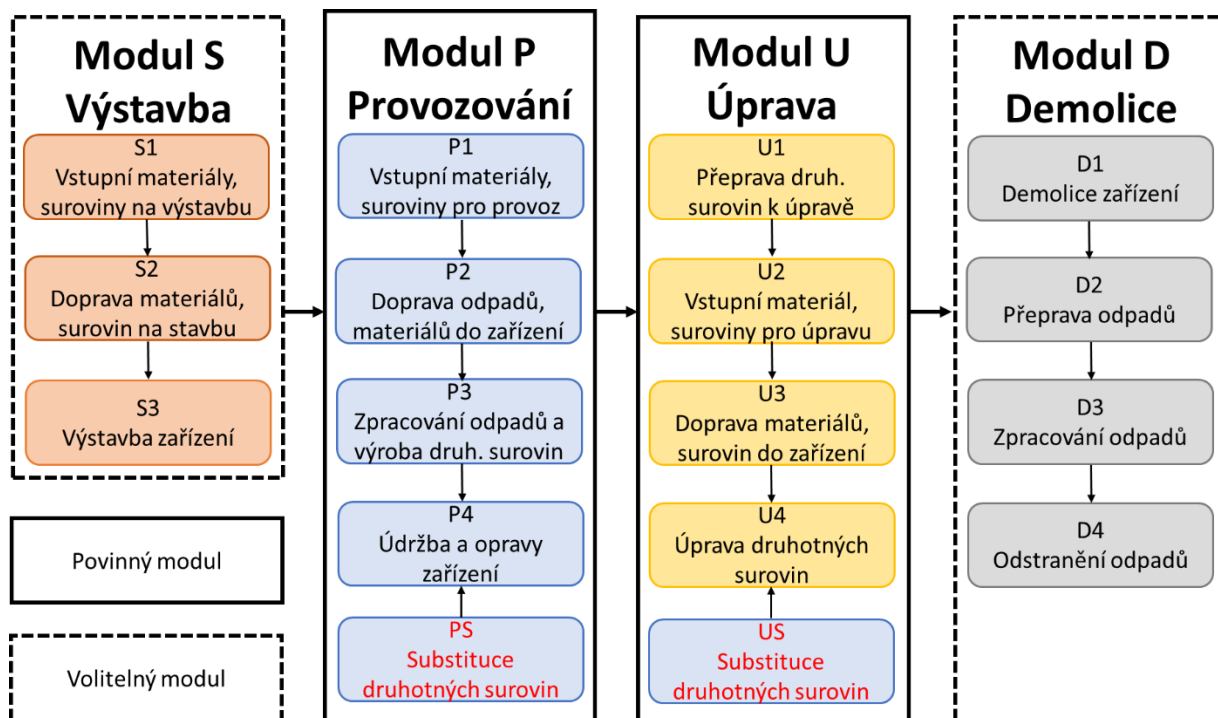
Do modulu D4 náleží procesy odstranění odpadu ze stavby (skládkování nebo spálení bez energetického využití).

5.5 Volba energetického mixu pro tvorbu LCA modelu

V případě, že je známo konkrétní složení energetických zdrojů u spotřeby elektřiny v zařízení, je doporučováno použít konkrétní složení od dodavatele. V tomto případě, je nezbytné do LCA studie doplnit i informaci o konkrétním složení a dodavateli např. formou záruk původu. V případě, že se zásadně změní složení původu elektrické energie je nezbytné výsledky studie LCA aktualizovat. V případě, že není známo konkrétní složení elektrické energie, je použit reziduální energetický mix České republiky.

5.6 Systémový diagram

Na obrázku 1 jsou znázorněny hranice systému pro posouzení technologií pro produkci druhotných surovin. Modul P je povinný, modul U je povinný v případě, že je relevantní a vyrobené druhotné suroviny nebo recykláty vycházející z modulu P jsou před prodejem ještě upravovány v dalším zařízení. Začlenění modulů S a D není povinné. Moduly S a D má smysl zapojovat v případě, kdy je známa celková produkce zařízení během celé doby jeho používání. Tato informace je potřebná pro provedení alokace, tedy započtení podílu těchto modulů na funkční jednotku (1 tuna). Jelikož celková produkce obvykle není známá, není možné tuto alokaci přesně provést. Tento postup lze také obvykle obhájit skutečností, že celková produkce zařízení několika řádově přesahuje velikost funkční jednoty. Započtení modulů S a D je tedy obvykle pod mezí přesnosti provozní části modelu (moduly P a U).



Obrázek 1 Znáznornění hranic systému. Členění na jednotlivé moduly včetně substitute užití druhotných surovin (odvrácené emise)

5.7 Omezující kritéria

V souladu se standardizovanými postupy v provádění LCA studií je stanoveno pravidlo zohlednění všechny jednotkové procesy přispívající minimálně k 99% deklarovaných environmentálních dopadů. Na úrovni produktového systému, musí být tedy zahrnuto minimálně 99% energetických a hmotnostních toků.

5.8 Alokační pravidla

V souladu se zahraničními metodikami (např. PCR pro EPD viz www.environdec.com) jsou přijata následující pravidla alokace (rozdělení) environmentálních dopadů mezi různé produkty, které vznikají v rámci jednoho procesu:

1. Pokud možno, alokaci má být zamezeno rozdělením procesu na dílčí procesy a přiřazením environmentálních dopadů těmto dílčím procesům.
2. Pokud se nelze alokaci vyhnout, rozdělí se environmentální dopady mezi jednotlivé produkty na základě fyzikálních vztahů, tedy na základě způsobu, jakým je ovlivňována produkce jednotlivých produktů (pokud možno určit).
3. Pokud nelze provést alokaci na základě bodů 1 a 2, tak se environmentální dopady mezi jednotlivé produkty rozdělí na základě alokace hmotnostní nebo cenové, případně obou.

V LCA existují různé metody řešení problematiky alokace, které se používají k rozdělení environmentálních dopadů mezi produkty vycházející z jednoho procesu, například:

1. **Alokace na základě fyzikálních vztahů** - rozděluje dopady na základě fyzikálních vlastností, například energie, objemu nebo hmotnosti jednotlivých produktů. Používá se, pokud lze určit, jakým způsobem a v jakém poměru fyzikální vlastnosti ovlivňují produkci různých produktů.
2. **Finanční nebo cenová alokace** - pokud nelze použít předchozí metody, dopady se rozdělí na základě ekonomické hodnoty produktů. Hmotnostní alokace je vhodná, pokud produkty mají různé hmotnosti; cenová alokace se použije, když produkty mají různou ekonomickou hodnotu.
3. **Odstranění nutnosti alokace rozšířením hranic systému** - tento přístup spočívá v rozdělení (pokud je možné) komplexního procesu na jednotlivé dílčí procesy, kde každý dílčí proces je spojen s konkrétním produktem. Ideální použití, když existuje jasné a jednoznačné přiřazení dopadů k produktům.

Kromě výše uvedených hlavních metod alokace existují další metody, které se v LCA mohou použít (alokace na základě energetického obsahu, funkčních jednotek). Konkrétní způsob alokace musí být v LCA studii popsán včetně důvodů proč byla konkrétní metoda alokace zvolena.

V případě, že cílem studie bude i porovnání environmentálních ukazatelů s alternativními technologiemi pro nakládání s odpady, bude použit princip substituce pro druhotné suroviny vystupující z posuzovaných technologií. V tomto případě bude zvolena substituce (odvrácené emise) druhotných surovin a recyklátů výrobou primárních surovin nebo výrobků o odpovídající kvalitě a použitelnosti získaného materiálu. Substituce neboli benefity (odvrácené emise) v rámci posuzovaného systému (modul P nebo modul U) by měly být uvedeny odděleně a transparentně.

5.9 Požadavky na kvalitu dat

Pro LCA studii jsou potřebná kvalitní a relevantní data týkající se environmentálních aspektů posuzovaného systému (materiálové a energetické toky) a data týkající se konkrétních dopadů těchto materiálových a energetických toků. Data týkající se environmentálních aspektů, tedy materiálové a energetické toky by měli být co nejpřesnější a reprezentativní pro danou LCA studii. Tato data se obvykle získávají sběrem z konkrétních zařízení. Data je tedy možné získat ze dvou zdrojů, a to z konkrétního zařízení (specifická data) nebo ze specializovaných databází (obecná data).

Specifická data (neboli primární data, „site-specific“ data) jsou data získána sběrem dat z konkrétního zařízení, data ohledně konkrétního složení energetického mixu získaného od dodavatele elektřiny, konkrétní přepravní vzdálenosti, konkrétní typy přepravních prostředků, konkrétní emise a jejich množství uvolnění do životního prostředí, atd.

Obecná data (neboli sekundární data) jsou data dostupné v specializovaných LCA databázích pro specifické procesy, např. výrobu vstupních surovin nebo materiálu, pro procesy přepravy, procesy nakládání s odpady dle jednotlivých druhů a způsobů atd. Do obecných dat řadíme také tzv. „proxy“ data, což jsou sekundární data pro proces, který se nejvíce blíží procesu, pro který data potřebujeme získat. Příspěvek procesů modelovaných na základě „proxy“ dat nemůže přesáhnout 10% celkových environmentálních dopadů posuzovaného systému.

Pokud možno je doporučeno použít prioritně specifická data. Specifická data musí být použita pro moduly **S3, P3 a P4, U4 a D1**. U ostatních modulů je možné použít obecná data, ale s použitím konkrétních informací ohledně materiálových a energetických toků.

Specifická data pro posouzení environmentálních dopadů investičních záměrů budou vycházet z projektové dokumentace. Nezbytnou součástí posouzení bude citlivostní analýza na vstupní data. Doporučuje se aktualizace LCA posouzení na základě dat ze zkušebního provozu a poté na základě dat z reálného provozu.

Použitá specifická data z reálného provozu by měla reprezentovat průměrné hodnoty za konkrétní referenční rok. Referenční rok by měl být zvolen z období posledních dvou let. V opodstatněných případech lze použít i kratší období. Ve studii musí být popsán typ specifických dat (projekt, zkušební provoz, reálný provoz), důvod a relevance volby referenčního období.

Seznam osvědčených zdrojů sekundárních a proxy dat, které splňují požadavky na kvalitu a jsou široce uznávány v oblasti LCA:

- Ecoinvent - jeden z nejrozsáhlejších a nejuznávanějších databází pro LCA, poskytující detailní data o environmentálních aspektech široké škály produktů a procesů.
- LCA for Experts (dříve GaBi) Database - významná databáze, která poskytuje data o environmentálních aspektech pro různé průmyslové sektory. Je integrována s softwarem GaBi pro LCA analýzy.
- US Life Cycle Inventory (USLCI) Database – spravovaná Americkou agenturou pro ochranu životního prostředí, obsahující data pro LCA zaměřená na Spojené státy.
- European Reference Life Cycle Database (ELCD) - spravovaná Evropskou komisí, která poskytuje LCA data pro produkty a procesy relevantní v evropském kontextu.
- Agri-footprint - databáze zaměřená na zemědělství, potravinu a související procesy.
- Databases from Industry Associations - mnoho průmyslových asociací vytváří vlastní LCA databáze, např. PlasticsEurope nebo World Steel Association.

5.10 Kategorie dopadu

Indikátory kategorií dopadu jsou pro účely této metodiky definovány v souladu s metodikou pro posuzování produktů EF 3.0 (Environmental Footprint¹), která je doporučována Evropskou komisí.

Výsledky posouzení technologií pro produkci druhotných surovin nebo recyklátů budou ve studii LCA prezentovány v členění na jednotlivé moduly v níže uvedených kategoriích dopadu:

Tabulka 3 Použité kategorie environmentálních dopadů, metodika EF 3.0

Kategorie dopadu	Původní název kategorie dopadu	Indikátor	Jednotka	Metodika
Klimatická změna GWP - celkem	Climate change - total	Radiative forcing; GWP100	Kg CO ₂ ekv.	Základní model s GWP100 navržený IPCC (Myhre, Shindell et al. 2013)

¹ <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/EnvironmentalFootprint.html>

Kategorie dopadu	Původní název kategorie dopadu	Indikátor	Jednotka	Metodika
Klimatická změna GWP - biogenní	Climate change - biogenic	Radiative forcing; GWP100	Kg CO ₂ ekv.	Základní model s GWP100 navržený IPCC (Myhre, Shindell et al. 2013)
Klimatická změna GWP - fosilní	Climate change - fossil	Radiative forcing; GWP100	Kg CO ₂ ekv.	Základní model s GWP100 navržený IPCC (Myhre, Shindell et al. 2013)
Klimatická změna GWP – využití půdy a změna využití půdy	Climate change – land use and land use change	Radiative forcing; GWP100	Kg CO ₂ ekv.	Základní model s GWP100 navržený IPCC (Myhre, Shindell et al. 2013)
Úbytek stratosférického ozonu	Stratospheric ozone depletion	ODP	Kg CFC11 ekv.	Steady-state ODP faktory doporučené WMO (WMO 1999)
Humánní toxicita, kancerogenní účinky - celkem	Human toxicity cancer effects - total	Comparative Toxic Unit for humans (CTU _h)	CTUh	USEtox 2.1. model (Rosenbaum, Bachmann et al. 2008)
Humánní toxicita, kancerogenní účinky – anorganické látky	Human toxicity cancer effects - inorganics	Comparative Toxic Unit for humans (CTU _h)	CTUh	USEtox 2.1. model (Rosenbaum, Bachmann et al. 2008)
Humánní toxicita, kancerogenní účinky - kovy	Human toxicity cancer effects - metals	Comparative Toxic Unit for humans (CTU _h)	CTUh	USEtox 2.1. model (Rosenbaum, Bachmann et al. 2008)
Humánní toxicita, kancerogenní účinky – organické látky	Human toxicity cancer effects - organics	Comparative Toxic Unit for humans (CTU _h)	CTUh	USEtox 2.1. model (Rosenbaum, Bachmann et al. 2008)
Humánní toxicita, nekancerogenní účinky - celkem	Human toxicity non-cancer effects - total	Comparative Toxic Unit for humans (CTU _h)	CTUh	USEtox 2.1. model (Rosenbaum, Bachmann et al. 2008)
Humánní toxicita, nekancerogenní účinky – anorganické látky	Human toxicity non-cancer effects - inorganics	Comparative Toxic Unit for humans (CTU _h)	CTUh	USEtox 2.1. model (Rosenbaum, Bachmann et al. 2008)
Humánní toxicita, nekancerogenní účinky - kovy	Human toxicity non-cancer effects - metals	Comparative Toxic Unit for humans (CTU _h)	CTUh	USEtox 2.1. model (Rosenbaum, Bachmann et al. 2008)
Humánní toxicita, nekancerogenní účinky – organické látky	Human toxicity non-cancer effects - organics	Comparative Toxic Unit for humans (CTU _h)	CTUh	USEtox 2.1. model (Rosenbaum, Bachmann et al. 2008)
Tvorba prachových částic	Particulate matter/Respiratory inorganics	Human health effects associated with exposure to PM _{2.5}	Disease incidences	PM metoda doporučená UNEP (UNEP 2016)
Ionizační záření	Ionising radiation, human health	Human exposure efficiency relative to U ²³⁵	kBq U ²³⁵	Human health effect model (Dreicer, Tort et al. 1995, Frischknecht, Braunschweig et al. 2000)
Fotochemický smog	Photochemical ozone formation	Tropospheric ozone concentration increase	kg NMVOC eq	LOTOS-EUROS model vyvinutý v metodice ReCiPe (van Zelm, Huijbregts et al. 2008)
Acidifikace	Acidification	Accumulated Exceedance (AE)	mol H ⁺ eq	Accumulated exceedance (Frischknecht,

Kategorie dopadu	Původní název kategorie dopadu	Indikátor	Jednotka	Metodika
				Braunschweig et al. 2000, Seppälä, Posch et al. 2006)
Půdní eutrofizace	Eutrophication, terrestrial	Accumulated Exceedance (AE)	mol N eq	Accumulated exceedance (Frischknecht, Braunschweig et al. 2000, Seppälä, Posch et al. 2006)
Sladkovodní eutrofizace	Eutrophication, aquatic freshwater	Fraction of nutrients reaching freshwater end compartment (P)	kg P eq	EUTREND model (Goedkoop, Heijungs et al. 2013)
Marinní eutrofizace	Eutrophication, aquatic marine	Fraction of nutrients reaching marine end compartment (N)	kg N eq	EUTREND model (Goedkoop, Heijungs et al. 2013)
Sladkovodní ekotoxicita - celkem	Ecotoxicity freshwater - total	Comparative Toxic Unit for ecosystems (CTUe)	CTUe	USEtox 2.1. model (Rosenbaum, Bachmann et al. 2008)
Sladkovodní ekotoxicita – anorganické látky	Ecotoxicity freshwater - inorganics	Comparative Toxic Unit for ecosystems (CTUe)	CTUe	USEtox 2.1. model (Rosenbaum, Bachmann et al. 2008)
Sladkovodní ekotoxicita - kovy	Ecotoxicity freshwater - metals	Comparative Toxic Unit for ecosystems (CTUe)	CTUe	USEtox 2.1. model (Rosenbaum, Bachmann et al. 2008)
Sladkovodní ekotoxicita – organické látky	Ecotoxicity freshwater - organics	Comparative Toxic Unit for ecosystems (CTUe)	CTUe	USEtox 2.1. model (Rosenbaum, Bachmann et al. 2008)
Užití krajiny	Land use	Soil quality index (Biotic production, Erosion resistance, Mechanical filtration and groundwater replenishment)	Pt Bezrozměrný agregovaný index:	Soil quality index based on LANCA (Bos, Horn et al. 2016)
Spotřeba vody	Water use	User deprivation potential (deprivation-weighted water consumption)	m ³ world eq. deprived	Available WATER REmaining - AWARE (UNEP 2016)
Spotřeba minerálních surovin	Resource use, minerals and metals	Abiotic resource depletion (ADP ultimate reserves)	kg Sb eq	CML (Guinee 2002, Van Oers, de Koning et al. 2002)
Spotřeba fosilních surovin	Resource use, energy carriers	Abiotic resource depletion – fossil fuels (ADP-fossil)	MJ	CML (Guinee 2002, Van Oers, de Koning et al. 2002)

5.11 Charakterizační profil

Výstupem metody LCA je soustava hodnot jednotlivých indikátorů kategorií dopadu. Tato soustava hodnot se označuje jako charakterizační profil. Pro následné používání charakterizačního profilu v maticové algebře je vhodné, aby byl charakterizační profil organizován formou tzv. ekovektoru, kde jsou položky jednotlivých kategorií dopadu uváděny vždy na stejné pozici.

5.12 Suma celkových environmentálních dopadů – „Environmentální stopa“

Celkový výsledek posouzení technologií, tzv. environmentální stopa, bude ve studii LCA prezentována v členění na jednotlivé moduly. Environmentální stopa je výslední hodnota, která vznikne normalizací a vážením výsledků v jednotlivých kategoriích dopadu.

5.13 Ostatní požadavky (jednotky, obsah studie, informace o provozovateli)

Studie LCA provedená v souladu s touto metodikou musí splňovat tyto další požadavky:

1. Použití jednotek v souladu s Mezinárodním systémem jednotek (Soustava SI)
2. Uvedení dále uvedených informací:
 - a. Popis posuzované technologie včetně vstupních odpadů a produkováných druhotných surovin a jejich kvality
 - b. Funkční/deklarovaná jednotka
 - c. Rozsah hranic systému dle jednotlivých modulů
 - d. Použitá data (primární, sekundární/obecná) s uvedením referenčního období a složení energetického mixu použitého ve studii
 - e. Použitá alokace, předpoklady, omezující kritéria
 - f. Použitý software (SW) a databáze pro zpracování LCA studie
 - g. Výsledky jednotlivých indikátorů kategorií dopadů v členění dle jednotlivých modulů vztažené na funkční jednotku
 - h. Citlivostní analýza

5.14 Porovnatelnost LCA studií

Posuzování environmentálních dopadů se vždy vztahuje k funkční (případně deklarované) jednotce, ke které je stejným způsobem vztažen i výsledek.

Porovnání výsledků LCA studií se standardně provádí na základě výsledků indikátorů jednotlivých kategorií a dále dle souhrnného indikátoru environmentální stopy. Důležité je, aby porovnání bylo provedeno na stejnou funkční jednotku a pro stejné hranice systému.

6 Aplikace metodiky ParaBAT

Cílem metody ParaBAT je vyčíslit environmentální přínos změny technologického postupu směrem k dosahování emisních limitů BAT. Postup hodnocení sestává z následujících kroků:

1. Výpočet LCA charakterizačního profilu technologie v rozsahu modulů P+U (volitelně S+P+U+D) před technologickou změnou (počáteční stav).

Rovnice 1 Charakterizační profil na počátku před technologickou změnou

$$\mathbf{ChP}_{Počátek} = \begin{bmatrix} AP & hodnota & mol H^+ \\ GWP & hodnota & kg CO_2 ekv. \\ \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}$$

2. Výpočet LCA charakterizačního profilu technologie v rozsahu modulů P+U (volitelně S+P+U+D) po úpravě technologie v návaznosti na emisní limity BAT.

Rovnice 2 Charakterizační profil po technologické změně mající za cíl dosažení emisních limitů BAT

$$\mathbf{ChP}_{BAT} = \begin{bmatrix} AP & hodnota & mol H^+ \\ GWP & hodnota & kg CO_2 ekv. \\ \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}$$

3. Výpočet snížení celkové environmentální zátěže zapříčiněné změnou technologie z počátečního stavu na stav v souladu s emisními limity BAT.

Rovnice 3 Výpočet environmentálních přínosů realizovaných změnou technologie směrem k emisním limitům BAT

$$\mathbf{ChP}_{přínos} = \mathbf{ChP}_{Počátek} - \mathbf{ChP}_{BAT}$$

4. V řadě případů může být vhodné uvádět potenciální benefit (odvrácené emise) získané druhotné suroviny separátně. Různé scénáře využití druhotné suroviny mohou poskytovat jiné výsledky environmentálních parametrů. V takovém případě by bylo vhodné uvádět rovnici získaných environmentálních benefitů následujícím způsobem:

Rovnice 4 Výpočet environmentálních benefitů získaných změnou technologie směrem k emisním limitům BAT

$$\mathbf{ChP}_{přínos} = \mathbf{ChP}_{Počátek} - \mathbf{ChP}_{BAT} + \mathbf{ChP}_{Benefit}$$

Benefity odvrácených emisí bývají často v LCA softwarech vyjadřovány se záporným číslem. To je z toho důvodu, že se jedná o snižování environmentální zátěže. Ve výše uvedené rovnici se však jedná o připočtení absolutní hodnoty. Získá se tím představa o míře pozitivního efektu dané technologie, respektive díky technologii získané a následně využitě druhotné suroviny.

5. Závěrečným krokem je výběr environmentální kategorie dopadu pro prezentování výsledků, případně prezentace výsledků souborně po normalizaci a vážení, které metodika PEF Evropské Komise nabízí.

7 Vyjádření přínosů – volba kategorií dopadu

Jak bylo zmíněno na závěr předchozí kapitoly, je pomocí metodiky ParaBAT možné vyjadřovat environmentální dopady v širokém spektru kategorií dopadu, které poskytuje metodika PEF (EF 3.0) Evropské Komise. V opodstatněném případě lze pro porovnání metodou ParaBAT použít vybranou kategorii dopadu, například potenciál globálního oteplování (tzv. uhlíkovou stopu). Obecně je však vhodné doporučit používat pro porovnávání environmentální zátěže vždy co nejširší skupinu environmentálních dopadů. Ačkoli je v současné době (rok 2024) velmi aktuální a v praxi zdůrazňovaná uhlíková stopa, nejedná se o univerzální environmentální indikátor. Metodika ParaBAT umožňuje vyčíslit environmentální benefit technologické změny pro výše uvedenou (Tabulka 3 Použité kategorie environmentálních dopadů, metodika EF 3.0) širokou množinu environmentálních dopadů.

7.1 Zúžený výběr hodnocených dopadů

Při výběru hodnoceného environmentálního parametru je pro účely ParaBAT vždy přihlédnout minimálně ke skupině emisí látek, které má daná technologie opatřením BAT snižovat. Jelikož lze očekávat, že snížením určité skupiny emisí dojde v předmětné kategorii dopadu ke zlepšení environmentální situace (např. acidifikace, ekotoxická) není vhodné se v hodnocení přínosu dané technologie zaměřovat výhradně na tuto oblast. Jak již bylo zmíněno výše, snížení přímých emisí určitého typu může být příčinou zvýšení množství nepřímých emisí typu jiného.

S přihlédnutím k prioritnímu zájmu současnosti lze (s vědomím jistých omezení) použít v rámci metodiky ParaBAT hodnocení zaměřené pouze na uhlíkovou stopu – tedy na indikátor Klimatická změna GWP. Pro většinu případů je však z pohledu komplexnosti možných environmentálních dopadů nutné provést hodnocení s použitím celého rozsahu kategorií dopadu.

Stejným způsobem jako u dopadů na Klimatickou změnu GWP lze provést hodnocení přínosu či zátěže technologické změny pro všechny jednotlivé environmentální kategorie dopadu. Získá se tím přehled, ve kterých kategoriích došlo ke zlepšení a ve kterých ke zhoršení. Tento přehled ovšem nemusí zřetelně ukazovat, zda celkové hodnocení technologické změny je kladné či záporné. Pro souborné zhodnocení je třeba přistoupit k normalizaci a vážení.

7.2 Hodnocení s použitím všech dostupných kategorií dopadu – normalizace a vážení

Správným přístupem k vyhodnocování environmentálního přínosu či zátěže technologií je souhrnný přístup zohledňující různé možné typy environmentálních interakcí. Je tedy do hodnocení potřeba zahrnout všechny výše (Tabulka) uvedené kategorie dopadu.

V řadě případů nastává situace, kdy technologickou změnou jedna skupina environmentálních dopadů dosahuje zlepšení a druhá naopak zhoršení.

Tabulka 4 Normalizace a vážení výsledků z charakterizace

Výstup charakterizace	Normalizace + Vážení dle EF 3.0 Bezrozměrné hodnoty
Klimatická změna GWP – celkem, Kg CO ₂ ekv.	EF 3.0 Climate Change - total
Klimatická změna GWP – biogenní, Kg CO ₂ ekv.	

Výstup charakterizace	Normalizace + Vážení dle EF 3.0 Bezrozměrné hodnoty
Klimatická změna GWP – fosilní, Kg CO ₂ ekv.	EF 3.0 Ozone depletion
Klimatická změna GWP – využití půdy a změna využití půdy, Kg CO ₂ ekv.	
Úbytek stratosférického ozonu, Kg CFC11 ekv.	
Humánní toxicita, kancerogenní účinky – celkem, CTUh	EF 3.0 Human toxicity, cancer - total
Humánní toxicita, kancerogenní účinky – anorganické látky, CTUh	
Humánní toxicita, kancerogenní účinky – kovy, CTUh	
Humánní toxicita, kancerogenní účinky – organické látky, CTUh	
Humánní toxicita, nekancerogenní účinky – celkem, CTUh	EF 3.0 Human toxicity, non-cancer - total
Humánní toxicita, nekancerogenní účinky – anorganické látky, CTUh	
Humánní toxicita, nekancerogenní účinky – kovy, CTUh	
Humánní toxicita, nekancerogenní účinky – organické látky, CTUh	
Tvorba prachových částic, Disease incidences	EF 3.0 Particulate matter
Ionizační záření, kBq U ²³⁵	EF 3.0 Ionising radiation, human health
Fotochemický smog, kg NMVOC eq	EF 3.0 Photochemical ozone formation, human health
Acidifikace, mol H ⁺ eq	EF 3.0 Acidification
Půdní eutrofizace, mol N eq	EF 3.0 Eutrophication, terrestrial
Sladkovodní eutrofizace, kg P eq	EF 3.0 Eutrophication, freshwater
Marinní eutrofizace, kg N eq	EF 3.0 Eutrophication, marine
Sladkovodní ekotoxicita – celkem, CTUe	EF 3.0 Ecotoxicity, freshwater - total
Sladkovodní ekotoxicita – anorganické látky, CTUe	
Sladkovodní ekotoxicita – kovy, CTUe	
Sladkovodní ekotoxicita – organické látky, CTUe	
Užití krajiny, Pt Bezrozměrný agregovaný index	EF 3.0 Land Use
Spotřeba vody, m ³ world eq. Deprived	EF 3.0 Water use
Spotřeba minerálních surovin, kg Sb eq	EF 3.0 Resource use, mineral and metals
Spotřeba fosilních surovin, MJ	EF 3.0 Resource use, fossils

8 Příklad aplikace ParaBAT

Pyrolýza plastů je technologický proces, který využívá teplo k rozkladu odpadních plastů na menší molekuly. Plastový odpad se nejprve zbaví nečistot, poté se zahřívá v reaktoru na teploty v rozmezí 300 a 900 °C. Bez přístupu kyslíku se plastové polymery rozkládají na nižší molekuly, což vede ke vzniku tří hlavních produktů: pyrolýzního oleje, plynu a pevného zbytku. Pyrolýzní olej je tekutý produkt, který lze dále rafinovat a použít jako palivo nebo jako chemickou surovinu. Pyrolýzní plyn je směs plynů, kterou lze rovněž využít jako palivo nebo jako surovinu pro chemickou syntézu. Pevný zbytek (char) je uhlíkatý materiál, který se může použít jako palivo, půdní aditivum nebo materiál pro další průmyslové aplikace. Tyto tři produkty pyrolýzy jsou po rozkladu odděleny a ochlazeny, což umožňuje zkapalnění oleje a skladování plynu.

Smyslem použití metodiky ParaBAT bylo provedení zhodnocení environmentálních dopadů spojených s pyrolýzou 1 tuny plastových odpadů a identifikace klíčových fází a kritických míst pro zlepšení procesu a snížení dopadu na životní prostředí.

Funkční jednotka - 1 tuna plastového odpadu.

Hranice systému začínají v recyklačním závodě separací, drcením a čištěním plastového odpadu a končí výrobou pyrolýzních produktů (olej, plyn, char). Do hranic systému jsou zahrnuty činnosti spojené s odstraněním odpadu. V tomto případě se uvažuje situace, kdy předúprava plastu, pyrolýza i následná manipulace s odpady probíhají na různých místech. Mezi jednotlivými fázemi je tudíž nutná přeprava materiálů.

Data potřebná pro modelování tohoto procesu byla získána na základě údajů databáze Ecoinvent, databáze Sphera, dokumentace BAT/BREF a výsledků následujících studií: Khoo 2019; Eggels et al. 2001; Perugini et al. 2005; Pires Costa et al. 2022; Das et al. 2022; Alston and Arnold 2011. Na základě získaných údajů bylo vypracováno 5 scénářů pyrolýzy 1 tuny plastových odpadů.

8.1 Scénář 1 Aktuální stav technologie pyrolýzy plastových odpadů

Výchozí scénář zahrnuje současný stav procesu pyrolýzy bez jakýchkoli dalších opatření. Na schématu je zelenou barvou znázorněn proces přípravy plastového odpadu pro pyrolýzu. V této fázi plast prochází tříděním, poté je plast rozdrčen na menší částice a následně probíhá proces sušení. Rozdrčený a vysušený plast je odeslán na pyrolýzu (na schématu je tento proces označen růžovou barvou), voda je přivedena na čistírnu odpadních vod a odpad, který vzniká při mytí plastu, je odvezen na skládku. Proces pyrolýzy probíhá v reaktoru, který je ohříván zemním plynem. Tato fáze zahrnuje proces kondenzace, tedy přeměnu par vzniklých v reaktoru na výstupní produkty. V důsledku kondenzace je získáván pyrolýzní olej (65-70 hm.%), pyrolýzní plyny (20 hm.%) a char (10 hm.%). Pyrolýzní olej je nadále používán jako výstupní produkt, pyrolýzní plyny jsou spalovány a char je odeslán na skládku. Využití tepla z chlazení reaktoru není v tomto scénáři zohledněno. Benefity získané v důsledku tohoto procesu jsou označeny fialovou barvou.



8.2 Scénář 2 Efektivnější nakládání s odpady v souladu s doporučeními BAT

V tomto scénáři se oproti scénáři 1 spaluje odpad vzniklý při čištění plastu a spaluje se char s následným využitím vzniklé tepelné a elektrické energie. Tento scénář také zahrnuje rekuperaci tepla získaného během chlazení reaktoru a kondenzace pyrolýzních par.



Obrázek 3 Schéma procesu pyrolýzy 1 tuny plastu. Scénář 2

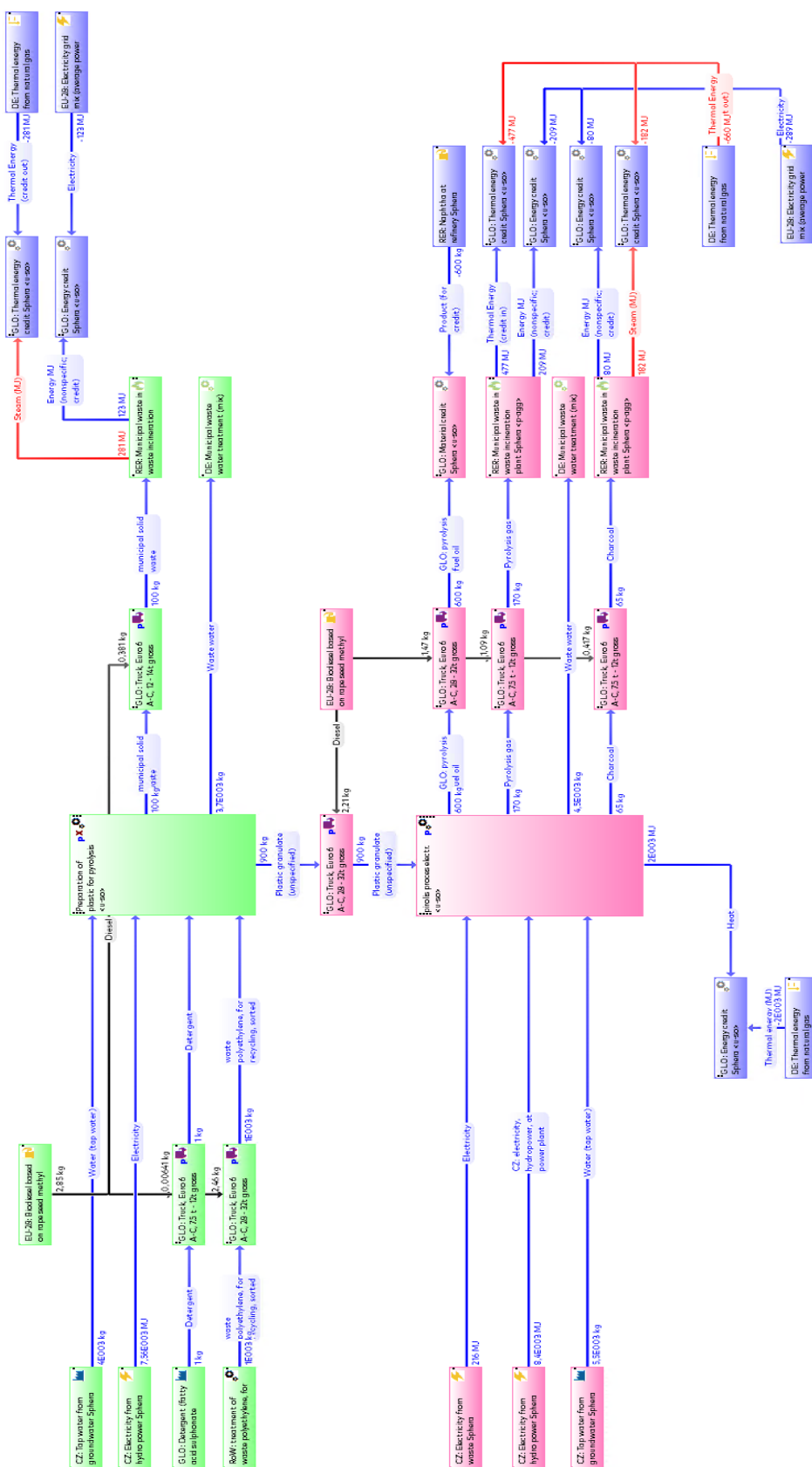
8.3 Scénář 3 Změna dopravy materiálů a způsobu paliva

V tomto scénáři se zvažuje změna procesu přepravy materiálů. Staré nákladní automobily byly nahrazeny novými, které splňují přísnější emisní normy. Nákladní doprava Euro 6 splňuje normy stanovené Evropskou komisí v roce 2014. Také bylo vyměněno palivo, místo dieselového mixu byl použit bionafta. Rovněž byla pečlivě vybrána nosnost dopravních prostředků s cílem maximálního využití automobilů.



8.4 Scénář 4 Nahrazení zdrojů energie elektřinou z obnovitelných zdrojů

Tento scénář se zaměřuje na změnu zdroje energie používané k technologickým procesům. V procesu pyrolýzy se spotřebovává energie k rozdrcení plastu, jeho vysušení a k ohřevu reaktoru. V předchozích scénářích jsme pro drcení a sušení použili elektřinu z "českého elektrického mixu" a tento typ energie byl také použit pro systémy chlazení a kondenzace, zatímco pro přímé ohřívání reaktoru byl použit zemní plyn. V tomto případě je pro procesy přípravy plastu použita elektřina z hydroelektráren, která byla také použita jako zdroj pro přímý ohřev reaktoru. Pro ostatní systémy (chlazení a kondenzace) byla použita elektřina získaná z odpadu.



Obrázek 5 Schéma procesu pyrolýzy 1 tuny plastu. Scénář 4

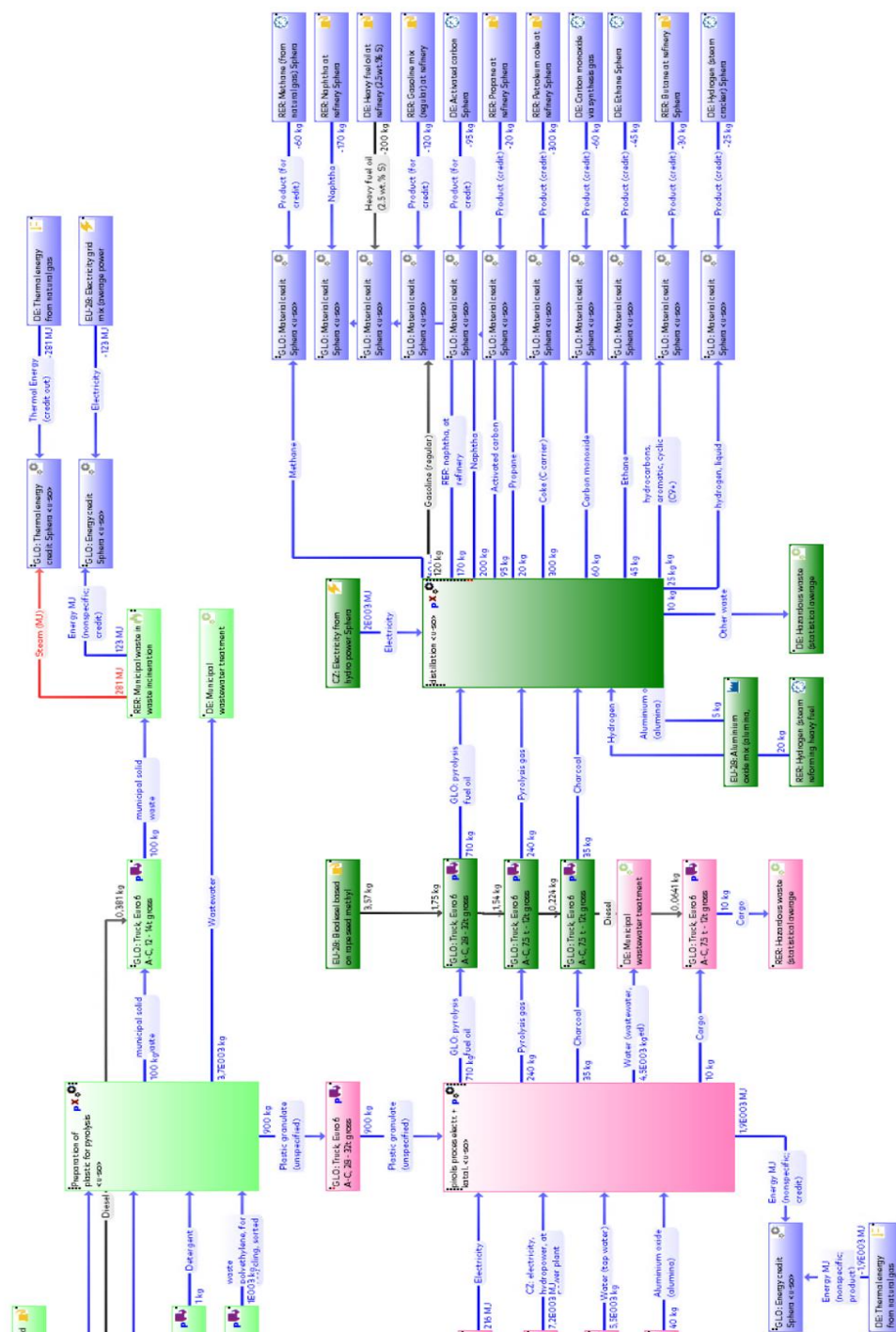
8.5 Scénář 5 Dodatečné použití katalyzátoru

V tomto scénáři je uvažováno použití katalyzátorů s cílem zlepšit průběh pyrolýzního procesu a získat čistší a kvalitnější produkty na výstupu. Díky použití katalyzátoru lze proces pyrolýzy provádět při nižších teplotách, což znamená menší spotřebu energie pro ohřev reaktoru, avšak zároveň to přináší dodatečnou zátěž ve formě odpadů a zbytků katalyzátoru.



8.6 Scénář 6: Další zpracování a využití vznikajících produktů

V tomto scénáři je zvažováno a modelováno zapojení procesu destilace produktů získaných pyrolýzou s cílem zvýšení jejich kvality a rozšíření rozsahu využití pyrolýzních produktů. Na schématu jsou další kroky označeny tmavě zelenou barvou.



Obrázek 7 Schéma procesu pyrolýzy 1 tuny plastu. Scénář 6

8.7 Výsledky

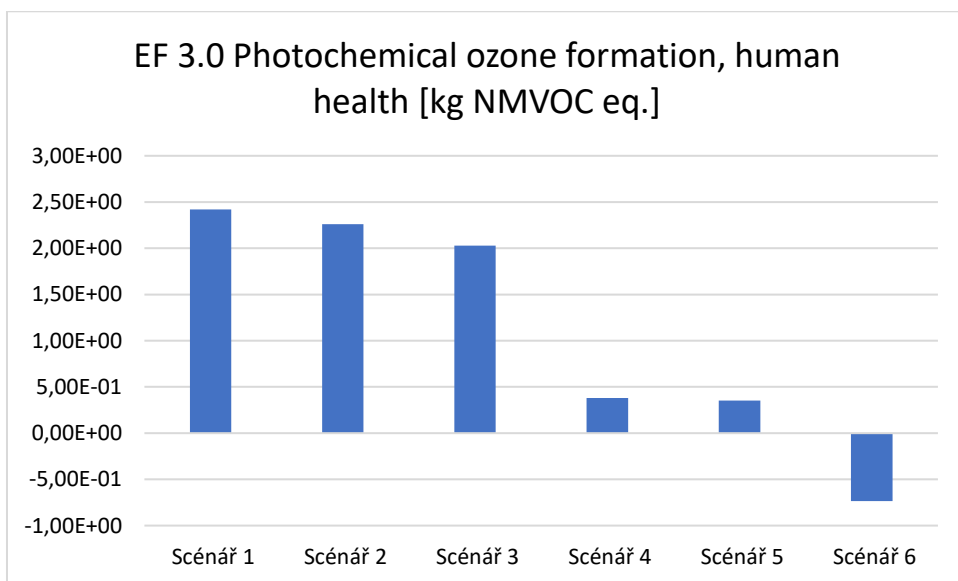
Z vypracovaných modelů životního cyklu jednotlivých scénářů zpracování odpadních plastů pyrolýzou byly metodikou EF 3.0 vypočteny výsledky indikátorů kategorií dopadu. Výsledky jsou shrnuty v následující tabulce.

Tabulka 5 Výsledky hodnocení environmentálních dopadů

Kategorie dopadu	Scénář 1	Scénář 2	Scénář 3	Scénář 4	Scénář 5	Scénář 6
EF 3.0 Acidification [Mole of H+ eq.]	3,22E+00	3,10E+00	2,95E+00	8,07E-02	7,82E-02	-1,28E+00
EF 3.0 Climate Change - total [kg CO ₂ eq.]	1,45E+03	1,19E+03	1,20E+03	-2,41E+01	-2,82E+01	-4,64E+02
EF 3.0 Climate Change, biogenic [kg CO ₂ eq.]	1,62E+02	3,05E+01	3,06E+01	1,93E+01	1,89E+01	1,64E+01
EF 3.0 Climate Change, fossil [kg CO ₂ eq.]	1,29E+03	1,16E+03	1,17E+03	-4,62E+01	-5,02E+01	-4,83E+02
EF 3.0 Climate Change, land use and land use change [kg CO ₂ eq.]	3,15E-01	2,96E-01	2,96E+00	2,87E+00	3,06E+00	2,09E+00
EF 3.0 Ecotoxicity, freshwater - total [CTUe]	9,68E+03	9,41E+03	9,18E+03	1,61E+03	-1,95E+03	-4,24E+03
EF 3.0 Ecotoxicity, freshwater inorganics [CTUe]	-1,57E+04	-1,58E+04	-1,61E+04	-1,95E+04	-2,30E+04	-2,51E+04
EF 3.0 Ecotoxicity, freshwater metals [CTUe]	2,54E+04	2,53E+04	2,53E+04	2,12E+04	2,11E+04	2,09E+04
EF 3.0 Ecotoxicity, freshwater organics [CTUe]	-3,59E+01	-5,74E+01	-4,50E+01	-5,44E+01	-7,15E+01	-9,07E+01
EF 3.0 Eutrophication, freshwater [kg P eq.]	6,48E-02	6,13E-02	6,34E-02	5,96E-02	5,97E-02	5,65E-02
EF 3.0 Eutrophication, marine [kg N eq.]	1,12E+00	1,06E+00	9,51E-01	3,55E-01	3,74E-01	-2,79E-02
EF 3.0 Eutrophication, terrestrial [Mole of N eq.]	9,43E+00	9,08E+00	8,11E+00	1,97E+00	2,20E+00	-2,21E+00
EF 3.0 Human toxicity, cancer - total [CTUh]	1,92E-07	1,66E-07	1,75E-07	5,81E-07	7,82E-07	1,30E-06
EF 3.0 Human toxicity, cancer inorganics [CTUh]	-1,31E-18	7,98E-19	1,17E-18	-8,69E-18	-8,25E-18	-3,75E-18
EF 3.0 Human toxicity, cancer metals [CTUh]	-6,53E-08	-7,80E-08	-6,88E-08	-1,49E-07	9,53E-08	5,61E-07
EF 3.0 Human toxicity, cancer organics [CTUh]	2,58E-07	2,44E-07	2,44E-07	7,30E-07	6,86E-07	7,44E-07
EF 3.0 Human toxicity, non-cancer - total [CTUh]	6,74E-06	5,25E-06	7,38E-06	-5,42E-06	2,87E-05	8,45E-05
EF 3.0 Human toxicity, non-cancer inorganics [CTUh]	2,97E-06	2,67E-06	2,59E-06	-2,09E-06	-2,65E-06	-3,65E-06
EF 3.0 Human toxicity, non-cancer metals [CTUh]	3,36E-06	2,37E-06	4,58E-06	-3,52E-06	3,11E-05	8,79E-05
EF 3.0 Human toxicity, non-cancer organics [CTUh]	4,30E-07	2,28E-07	2,26E-07	1,09E-07	8,30E-08	-2,00E-08
EF 3.0 Ionising radiation, human health [kBq U235 eq.]	1,90E+02	1,87E+02	1,88E+02	-5,12E+00	-5,76E+00	-2,84E+00
EF 3.0 Land Use [Pt]	1,02E+04	1,01E+04	1,28E+04	5,40E+03	5,60E+03	2,75E+03

Kategorie dopadu	Scénář 1	Scénář 2	Scénář 3	Scénář 4	Scénář 5	Scénář 6
EF 3.0 Ozone depletion [kg CFC-11 eq.]	4,00E-06	3,99E-06	3,99E-06	3,98E-06	3,98E-06	3,98E-06
EF 3.0 Particulate matter [Disease incidences]	4,12E-05	4,01E-05	3,82E-05	1,64E-05	1,76E-05	-2,88E-05
EF 3.0 Photochemical ozone formation, human health [kg NMVOC eq.]	2,42E+00	2,26E+00	2,03E+00	3,82E-01	3,53E-01	-7,34E-01
EF 3.0 Resource use, fossils [MJ]	7,87E+02	-2,24E+03	-2,54E+03	-2,93E+04	-3,43E+04	-4,98E+04
EF 3.0 Resource use, mineral and metals [kg Sb eq.]	1,66E-03	1,66E-03	1,67E-03	1,67E-03	1,66E-03	1,64E-03
EF 3.0 Water use [m ³ world equiv.]	1,17E+02	1,39E+02	1,42E+02	2,06E+02	2,08E+02	1,64E+02

Z výše uvedené tabulky lze vyčíst výsledky jednotlivých indikátorů kategorií dopadu pro hodnocené scénáře a vzájemně srovnat environmentální benefity scénářů. Kupříkladu pro potenciál fotochemické tvorby ozonu, lze na základ dat v tabulce vytvořit následující graf, ze kterého je patrné, že scénáře 4, 5 a 6 mají výrazně nižší potenciál, z nichž vůbec nejnižší vykazuje scénář 6. Záporná hodnota je v modelu v pořádku, jedná se o vyjádření odvrácených emisí, tedy emisí, které byly uspořeny využitím druhotného materiálu.

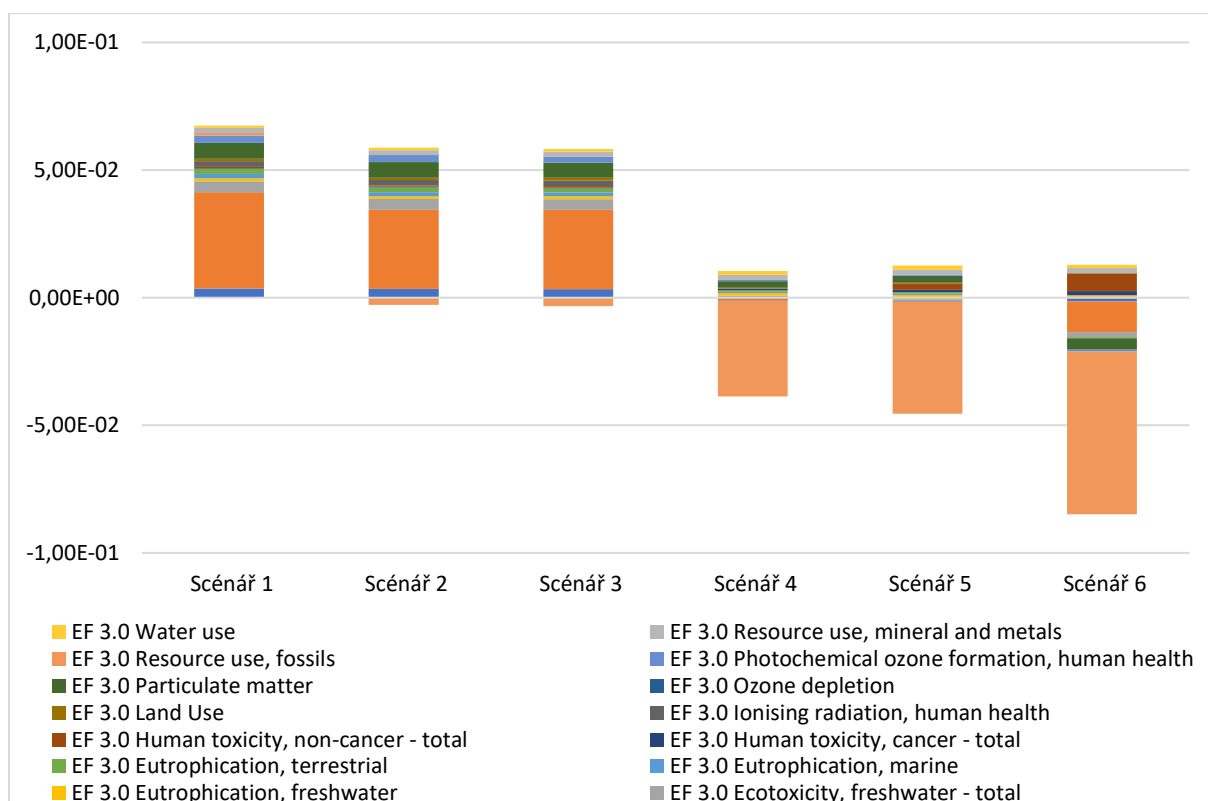


Obrázek 2 Porovnání potenciálů fotochemické tvorby ozonu jednotlivých scénářů

Pro celkové zhodnocení posuzovaných scénářů s ohledem na všechny hodnocené kategorie dopadu lze pomocí metodiky EF 3.0 provést normalizaci a vážení výsledků. Tím se získá přehled o významnosti jednotlivých kategorií dopadu a zároveň bude možné důsledně porovnat scénáře s ohledem na jejich celkové environmentální dopady.

Tabulka 6 Výsledky po normalizaci a vážení

Kategorie dopadu	Scénář 1	Scénář 2	Scénář 3	Scénář 4	Scénář 5	Scénář 6
EF 3.0 Acidification	3,60E-03	3,46E-03	3,29E-03	9,00E-05	8,73E-05	-1,42E-03
EF 3.0 Climate Change - total	3,77E-02	3,10E-02	3,12E-02	-6,26E-04	-7,34E-04	-1,21E-02
EF 3.0 Ecotoxicity, freshwater - total	4,36E-03	4,23E-03	4,13E-03	7,26E-04	-8,77E-04	-1,91E-03
EF 3.0 Eutrophication, freshwater	1,13E-03	1,07E-03	1,11E-03	1,04E-03	1,04E-03	9,84E-04
EF 3.0 Eutrophication, marine	1,70E-03	1,61E-03	1,44E-03	5,38E-04	5,66E-04	-4,22E-05
EF 3.0 Eutrophication, terrestrial	1,98E-03	1,91E-03	1,70E-03	4,13E-04	4,63E-04	-4,65E-04
EF 3.0 Human toxicity, cancer - total	2,42E-04	2,09E-04	2,21E-04	7,32E-04	9,85E-04	1,64E-03
EF 3.0 Human toxicity, non-cancer - total	5,40E-04	4,21E-04	5,91E-04	-4,34E-04	2,30E-03	6,77E-03
EF 3.0 Ionising radiation, human health	2,26E-03	2,23E-03	2,23E-03	-6,08E-05	-6,84E-05	-3,37E-05
EF 3.0 Land Use	9,90E-04	9,79E-04	1,24E-03	5,24E-04	5,42E-04	2,67E-04
EF 3.0 Ozone depletion	4,70E-06	4,70E-06	4,70E-06	4,69E-06	4,69E-06	4,68E-06
EF 3.0 Particulate matter	6,20E-03	6,04E-03	5,74E-03	2,46E-03	2,65E-03	-4,34E-03
EF 3.0 Photochemical ozone formation, human health	2,85E-03	2,66E-03	2,39E-03	4,50E-04	4,16E-04	-8,64E-04
EF 3.0 Resource use, fossils	1,01E-03	-2,87E-03	-3,25E-03	-3,75E-02	-4,38E-02	-6,37E-02
EF 3.0 Resource use, mineral and metals	1,97E-03	1,97E-03	1,98E-03	1,98E-03	1,97E-03	1,95E-03
EF 3.0 Water use	8,67E-04	1,03E-03	1,06E-03	1,53E-03	1,54E-03	1,22E-03



Obrázek 3 Grafické znázornění příspěvků jednotlivých kategorií dopadu k celkovým environmentálním dopadům (bezrozměrné hodnoty)

V následující tabulce jsou shrnuty součty normalizovaných a vážených výsledků kategorií dopadu a vyjádřeno procentuální snížení environmentální zátěže v důsledky přijatých opatření. Na základě tohoto srovnání lze vybrat scénář s nejnižší environmentální zátěží. Tento ukázkový příklad uvádí dva různé přístupy k volbě nejvhodnějšího scénáře. Scénář 4 má nejnižší environmentální zátěž a z pohledu zátěže by tedy mohl být zvolen jako nejlepší. Scénář 6 má sice vyšší environmentální zátěž než scénář 4, ale poskytuje výrazné benefity v oblasti odvrácených emisí. Pro konečnou volbu je vždy třeba přihlédnout ke konkrétní situaci. Je třeba totiž zvážit, zda skutečně k odvrácení daných emisí v realitě může nastat, nebo nastane.

Tabulka 7 Celkové srovnání posuzovaných scénářů

Kategorie dopadu	Scénář 1	Scénář 2	Scénář 3	Scénář 4	Scénář 5	Scénář 6
EF 3.0	0,067	0,056	0,055	-0,028	-0,033	-0,072
%	100	83	82	-42	-49	-107

9 Závěr

Smyslem metodiky ParaBAT je poskytnout nástroj pro kritické zhodnocení skutečných environmentálních přínosů změn technologických provozů na limity BAT a to tak, aby byly zohledněny jak přímé emise (obvykle snížené díky přísnějším limitům BAT), tak nepřímé emise (vznikající na jiném místě hodnotového řetězce dané technologie – vstupy a výstupy).

Metodika ParaBAT je postavena na metodě posuzování životního cyklu LCA a umožňuje tedy vyčíslit environmentální přínosy či naopak zátěž technologií a technologických změn napříč širokým spektrem environmentálních dopadů. Následující tabulka shrnuje základní parametry metodiky ParaBAT ve vztahu k limitům BAT.

Tabulka 8 Porovnání dosažení limitů BAT a metodiky ParaBAT

	ParaBAT	BAT
Výhody	Vytváří přesnější obraz celkového dopadu celého hodnotového řetězce hodnocené technologie na životní prostředí a identifikuje více možností pro snížení environmentální zátěže.	Jasně a srozumitelně dodržování požadavků, které zajišťuje garantovanou úroveň snížení emisí.
	Umožňuje přijímat strategická rozhodnutí s cílem maximalizovat zlepšení životního prostředí, vyvážit náklady a proveditelnost.	Přímé vylepšení technologie vede k okamžitému snížení škodlivých emisí.
	Podporuje praktiky, které přispívají k dlouhodobé udržitelnosti.	Snadnější zavedení, protože předpokládá použití jasně definovaných technologií a postupů.

	ParaBAT	BAT
	Zapojení zainteresovaných stran.	
	Umožňuje různé přístupy, včetně inovací a optimalizace procesů.	
	Zohledňuje jak přímé, tak nepřímé emise celého hodnotového řetězce hodnocené technologie.	
Nevýhody	Možné vyšší počáteční investice. Ve srovnání s technologickými investicemi patrně zanedbatelné.	Potenciálně významné nepřímé emise nejsou zohledněny, což vede k neúplnému environmentálnímu obrazu.
	Obtíže při získávání spolehlivých údajů od dodavatelů mohou se bránit komplexnímu hodnocení.	Celkový dopad na životní prostředí zůstává vysoký kvůli nevyřešeným emisím v dodavatelském řetězci.
	Vyžaduje podrobnější analýzu a koordinaci mezi různými subjekty.	Dodržování minimálních nezbytných standardů může vést k omezení rozvoje dalších inovací.

Průmyslové organizace mohou pomocí metodiky ParaBAT snadněji a efektivněji analyzovat směry investic porovnáváním různých scénářů dopadu na životní prostředí. Mnohem efektivněji lze dosáhnout souladu s regulačními požadavky a konkurenční výhody, přičemž se zároveň zvýší jejich účinnost.

Na základě vytvořené metodiky bude založena databáze ParaBAT, která bude obsahovat údaje, které mohou být klíčové na cestě k rozhodování a rozvoji udržitelnosti. Tento přístup je obzvláště výhodný pro zlepšení ADP (Advanced Data Processing - pokročilé zpracování dat). Ve sféře udržitelného rozvoje je pokročilé zpracování dat klíčové pro sběr, analýzu a interpretaci velkých objemů dat souvisejících s ekologickými, ekonomickými a sociálními aspekty. Dostupnost informativních dat přispívá k optimalizaci dopravních a energetických sítí a systémů nakládání s odpady. Tyto údaje jsou podpůrným nástrojem pro kontrolu a optimalizaci celého dodavatelského řetězce. Informace tohoto typu jsou užitečné pro vytváření nových politik, stanovení priorit investic a podporu ekologičtějších postupů, zvýšení transparentnosti a odpovědnosti.

Metodiku ParaBAT lze uplatnit v jakémkoli sektoru, kde jsou důležité dopady na životní prostředí a udržitelnost. Jejich komplexní přístup pomáhá organizacím nejen splňovat regulační požadavky, ale také dosahovat širších cílů udržitelného rozvoje, což ji činí aktuální v kontextu současných zpráv, trendů a zákonů, které podporují ekologickou kontrolu a udržitelný rozvoj.

10 Reference

- Alston, S. M., & Arnold, J. C. (2011). Environmental Impact of Pyrolysis of Mixed WEEE Plastics Part 2: Life Cycle Assessment. *Environmental Science & Technology*, 45(21), 9386-9392. doi: 10.1021/es2016654.
- ČSN ISO 14040 (2006). Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Zásady a osnova. Praha: Český normalizační institut.
- ČSN ISO 14044 (2006). Environmentální management - Posuzování životního cyklu – Požadavky a směrnice. Praha: Český normalizační institut.
- ČSN EN 15804+A2 (2022). Udržitelnost staveb – Environmentální prohlášení o produktu – Základní pravidla pro produktovou kategorii stavebních produktů. Praha: Český normalizační institut.
- ČSN EN ISO 14067 (2022). Skleníkové plyny – Uhlíková stopa produktů – Požadavky a směrnice pro kvantifikaci. Praha: Český normalizační institut.
- Das, S., Liang, C., & Dunn, J. B. (2022). Plastics to fuel or plastics: Life cycle assessment-based evaluation of different options for pyrolysis at end-of-life. *Waste Management*, 153, 81-88. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.08.015>.
- European Platform on Life Cycle Assessment. (n.d.). Environmental Footprint. Retrieved from <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/EnvironmentalFootprint.html>.
- Fazio, S., Biganzoli, F., De Laurentiis, V., Zampori, L., Sala, S., & Diaconu, E. (2018). Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment methods, version 2, from ILCD to EF 3.0. EUR 29600 EN. Ispra: European Commission. ISBN 978-92-79-98584-3. doi: 10.2760/002447.
- Guinee, J. (2002). Handbook on life cycle assessment - Operational guide to the ISO standards. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 6(5), 255-255.
- Kočí, V. (2009). Posuzování životního cyklu – Life Cycle Assessment – LCA. Chrudim: Ekomonitor.
- Khoo, H. H. (2019). LCA of plastic waste recovery into recycled materials, energy and fuels in Singapore. *Resources, Conservation and Recycling*, 145, 67-77. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.02.010>.
- Eggels, P., Ansems, A., & van Der Ven, B. (2001). Eco-efficiency of recovery scenarios of plastic packaging. TNO Report. Brussels: Association of Plastic Manufacturers in Europe (APME).
- PCR 2013:08, version 2:13 (2021). Plastic waste and scrap recovery (recycling) services. EPD International AB.
- PCR 2022:08, version 1.0 (2022). Basic aluminium products and special alloys. EPD International AB.

Perugini, F., Mastellone, M. L., & Arena, U. (2005). A life cycle assessment of mechanical and feedstock recycling options for management of plastic packaging wastes. *Environmental Progress*, 24(2), 137-154.

Pires Costa, L., Vaz de Miranda, D. M., & Pinto, J. C. (2022). Critical Evaluation of Life Cycle Assessment Analyses of Plastic Waste Pyrolysis. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 10(12), 3799-3807. doi: 10.1021/acssuschemeng.2c00265.

Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR. (2019). Aktualizace politiky druhotných surovin České republiky pro období 2019-2022.

UNEP. (2016). UNEP-SETAC Life Cycle Initiative – Global Guidance for Life Cycle Impact Assessment Indicators.

Autoři: Vladimír Kočí, Ivanna Harasymchuk, Eliška Purkarová, Tatiana Trecáková

Název certifikované metodiky: ParaBAT. Metodika progresivních postupů ke zdokonalení systémů vedoucích k minimalizaci produkce odpadů pocházejících z průmyslových činností

Vydala: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

Technická 5, 166 28 Praha 6

Rok vydání: 2024

Počet stran: 52

Jedná se o elektronickou verzi ve formátu PDF.

