



Studie posuzování životního cyklu LCA nakládání s plastovými a hliníkovými obaly na nápoje

FAKULTA TECHNOLOGIE OCHRANY PROSTŘEDÍ, VŠCHT PRAHA

VLADIMÍR KOČÍ

Studie posuzování životního cyklu LCA nakládání s plastovými a hliníkovými obaly na nápoje

Praha, Česká republika

© Vladimír Kočí, prosinec 2018

Zpracovatel

Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

veřejná vysoká škola zřízená dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách

se sídlem: Technická 1905/5, 160 00 Praha 6

zastoupená: Ing. Ivanou Chválnou, kvestorkou

bankovní spojení: ČSOB, a.s.

č. ú.: 130197294/0300

IČO: 60461373

DIČ: CZ60461373 (je plátcem DPH)

Odborný řešitel doc. Ing. Vladimír Kočí, PhD, MBA, Fakulta technologie ochrany prostředí

dále jen „zhotovitel“

Zadavatel

Karlovarské minerální vody, a.s.

se sídlem: Horova 1361/3, 360 01 Karlovy Vary

zastoupená: Alessandrem Pasquale, statutárním ředitelem

bankovní spojení: ČSOB, a.s., č.ú.: 117905233/0300

IČ: 14706725

DIČ: CZ14706725

Souhrn

Ve studii bylo metodou posuzování životního cyklu – LCA v souladu s ČSN ISO 14040 provedeno posouzení potenciálních environmentálních dopadů dvou systémů nakládání s použitými nápojovými lahvemi z PET, hliníku a oceli. Jednalo se o systém nezálohový a o systém zálohový. Environmentální dopady obou posuzovaných systémů byly určeny na základě inventarizace životního cyklu s následnou charakterizací pomocí metodiky ReCiPe. Průkaznost rozdílů mezi výsledky byla testována stochastickou metodou Monte Carlo s výsledkem, že rozdíly mezi posuzovanými systémy jsou s výjimkou kategorie dopadu humánní toxicita statisticky významné.

Na základě zjištěných dat lze konstatovat, že zavedení zálohového systému by vedlo k poklesu environmentálních dopadů souvisejících s balením nápojů až o cca 28%. Zálohový systém vykazuje ve srovnání s nezálohovým systémem nižší environmentální dopady v následujících kategoriích dopadu: klimatické změny/globální oteplování, spotřeba fosilních surovin, radiace, spotřeba kovů, tvorba prachových částic, tvorba fotooxidantů, půdní acidifikace, půdní ekotoxicita a spotřeba vody.

Na celkových environmentálních dopadech nezálohového i zálohového systému se největší měrou podílejí následující kategorie dopadu: klimatické změny (globální oteplování) a to jak na úrovni ekosystémové, tak z pohledu lidského zdraví; úbytek fosilních surovin; úbytek kovů a tvorba prachových částic. Zavedením zálohového systému by došlo ke statisticky významnému poklesu hodnot výsledků indikátorů všech hodnocených kategorií dopadu s výjimkou kategorie dopadu humánní toxicita, ve které jsou oba posuzované systémy hodnoceny jako srovnatelné.

Za hlavní omezení této studie lze považovat skutečnost, že různobarevné PET lahve mají omezenou možnost recyklace a druhotného využití, což nebylo ve studii pro nedostatek relevantních dat zohledněno (Využitelnost PET lahví jakožto druhotné suroviny by se zvýšila používáním bezbarvých PET lahví). V rámci studie nebylo uvažováno opakované použití PET lahví. Model byl vystaven na zpracování PET lahví jako druhotné suroviny, která nahrazuje surovinu primární.

Obsah

1	Úvod	7
2	Popis posuzovaných systémů – hranice systému.....	9
3	Definice cílů a rozsahu studie.....	11
3.1	Cíl studie LCA	11
3.2	Definice rozsahu studie LCA	11
3.2.1	Funkce posuzovaných produktů.....	11
3.2.2	Funkční jednotka	11
3.2.3	Časový rozsah	11
3.2.4	Geografický rozsah	11
3.2.5	Referenční tok	11
3.3	Použité kategorie dopadu	12
3.4	Použitý LCA software.....	15
3.5	Přijaté předpoklady a omezení platnosti studie.....	15
4	Inventarizace životního cyklu	17
4.1	Sběr dat	17
4.2	Jednotkové procesy LCA modelu a specifické hodnoty přijatých předpokladů	17
4.2.1	Littering	17
4.2.2	Dopravní vzdálenosti	19
4.2.3	Vracení lahví spotřebitelem	19
4.2.4	Počet kontejnerů	20
4.2.5	Dotřídovací linka / pásový dopravník.....	20
4.2.6	RVM	20
4.2.7	Centra na sčítání lahví a lisování	21
4.2.8	Cementárna	22
4.3	Schémata LCA modelů.....	23
4.4	Výstupy inventarizační analýzy – spotřeba surovinových zdrojů.....	31
5	Hodnocení dopadů životního cyklu	32

5.1	Výsledky hodnocení dopadů životního cyklu	32
5.2	Ověření míry shody výsledků jednotlivých systémů metodou Monte Carlo	44
5.3	Normalizované a vážené výsledky.....	56
5.4	Vliv jednotlivých technologických okruhů.....	62
6	Interpretace studie LCA.....	64
6.1	Formulace významných zjištění.....	64
6.2	Analýzy citlivosti – výsledky alternativních scénářů.....	65
6.2.1	Analýza citlivosti na změnu hmotnosti a velikosti lahví	65
6.2.2	Analýza citlivosti na změnu počtu vrácených lahví	67
6.2.3	Analýza citlivosti na změnu dopravních vzdáleností	69
6.2.4	Shrnutí analýz citlivosti.....	71
7	Závěr	72

1 Úvod

Cílem této studie je v podmínkách České republiky porovnat metodou posuzování životního cyklu (LCA – Life Cycle Assessment) potenciální environmentální dopady současného systému nakládání s použitými nápojovými lahvemi z PET, hliníku z ocelového plechu s alternativním scénářem zálohování těchto typů lahví. Tato studie je součástí projektu zadaného roku 2018 organizací Karlovarské minerální vody, a.s. a provedena ve spolupráci s Institutem cirkulární ekonomiky, z.ú. a společností Eunomia a je třeba ji přijímat v kontextu celého projektu.

Metoda posuzování životního cyklu (Life Cycle Assessment LCA) je analytický nástroj založený na měření technologických, provozních i environmentálních parametrů jednotlivých organizací či průmyslových podniků, které se podílejí na výrobě, transportu, provozu či odstranění jakéhokoli materiálu, zařízení, paliva či energetického nosiče vstupujícího do jakéhokoli stádia životního cyklu produktu. Metoda LCA se provádí dle ČSN EN ISO 14040¹ a ČSN EN ISO 14044², je to robustní a transparentní nástroj kvantifikace potenciálních environmentálních dopadů svázaných s jednotlivými vstupními i výstupními materiály a energiemi. LCA je mezinárodně používaná metoda, kterou prosazuje i UNEP OSN³ a v současnosti se o ní hovoří v souvislosti s přechodem na oběhové hospodářství. Podstatou metody LCA je určení látkových a energetických toků směrem dovnitř a ven z posuzovaného systému, kde se sleduje se jejich množství, složení, charakter a závažnost pro životní prostředí. Od zjištěného množství materiálových a energetických toků se pak odvíjí příčiny a následky, podle kterých se pak určují výsledné potenciální změny v životním prostředí.

Zvolenou funkční jednotkou studie, tedy kvantifikovaným vyjádřením velikosti funkce posuzovaného systému, bylo nakládání s takovým množstvím lahví z PET, hliníku a ocelového plechu, které odpovídá ročnímu uvedení na trh v České republice v roce 2017. Veškerá data pro tok nápojových obalů v roce 2017 vycházejí z oficiálních údajů společnosti EKO-KOM a.s. Základním scénářem pro porovnávání je současný způsob nakládání s použitými lahvemi na skládkách, v zařízeních pro energetické využití odpadu, v cementárnách a v recyklačních linkách. Tento základní scénář je ve studii označován jako *Baseline*. Scénář uvažující zálohování lahví je označován jako *DRS* (z angl. Deposit Refund System).

Studie LCA je koncipována jako atribuční, s cílem zhodnotit potenciální environmentální dopady posuzovaných scénářů. Důsledky, jaké by mělo zavedení depositního systému například na systém nakládání s odpadními či recyklovanými plasty v současném systému odpadového hospodářství, nebyly pro nedostupnost prokazatelných údajů a vzhledem k plánovanému rozsahu práce do studie

¹ ČSN EN ISO 14040 Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Zásady a osnova, ČNI 2006.

² ČSN EN ISO 14044 Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Požadavky a směrnice, ČNI 2006.

³ <http://www.uneptie.org/pc/sustain/lcinitiative/>

zahrnutý. Pro zpracování konsekvenční LCA by byla třeba řada dalších informací, jejichž získání je nad rámec této studie.

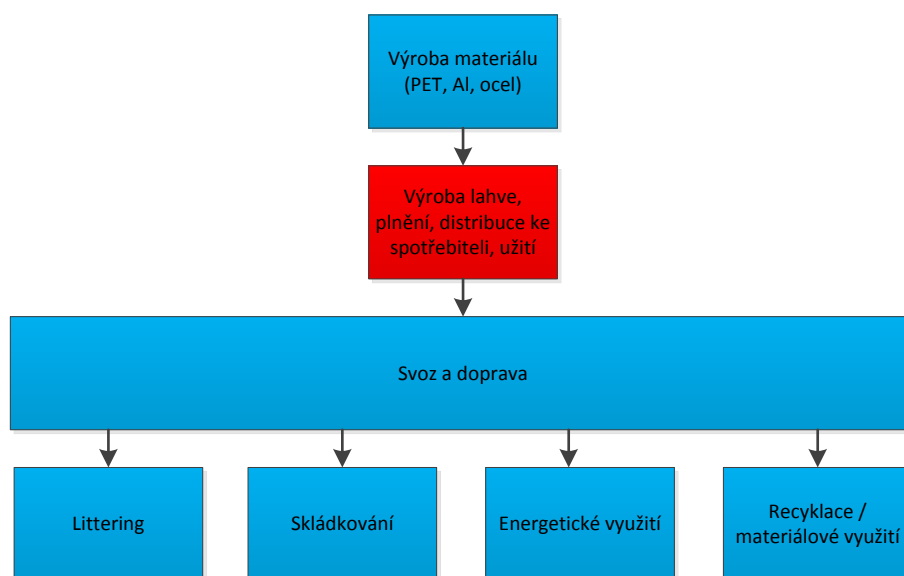
2 Popis posuzovaných systémů – hranice systému

Předmětem posuzování potenciálních dopadů jsou dva systémy nakládání s použitými nápojovými obaly z PET, hliníku a ocelového plechu:

- a) Stávající systém (*Baseline*) ve kterém je nezálohovaná použitá láhev předmětem odpadového hospodářství a je odstraněna buď na skládce, nebo energeticky využita v zařízení pro energetické využití odpadů či recyklována a materiálově využita. Část lahví vstupuje do prostředí jako littering.
- b) Zálohový depozitní systém (*DRS*) ve kterém jsou obaly na nápoje zálohovány a vykupovány. Menší část lahví (než-li v *Baseline* systému) je odstraněna na skládce, je energeticky využita v zařízení pro energetické využití odpadů či vstupuje do prostředí jako littering.

Základní schéma materiálových toků obou posuzovaných systémů je shodné, liší se v množství jednotlivých toků, které končí v materiálovém či energetickém využití, či na skládce a volně pohozené v přírodě a otevřených prostranstvích (littering). Skupiny operací zahrnuté do hranic systému jsou uvedeny v následujícím schématu. Modře znázorněné procesy jsou do hranic systému zahrnuty, procesy v červeném poli nikoli. Procesy podílející se na plnění lahví či jejich distribuci k zákazníkovi lze považovat pro obě varianty za shodné a lze je tudíž z hranic systému vyloučit.

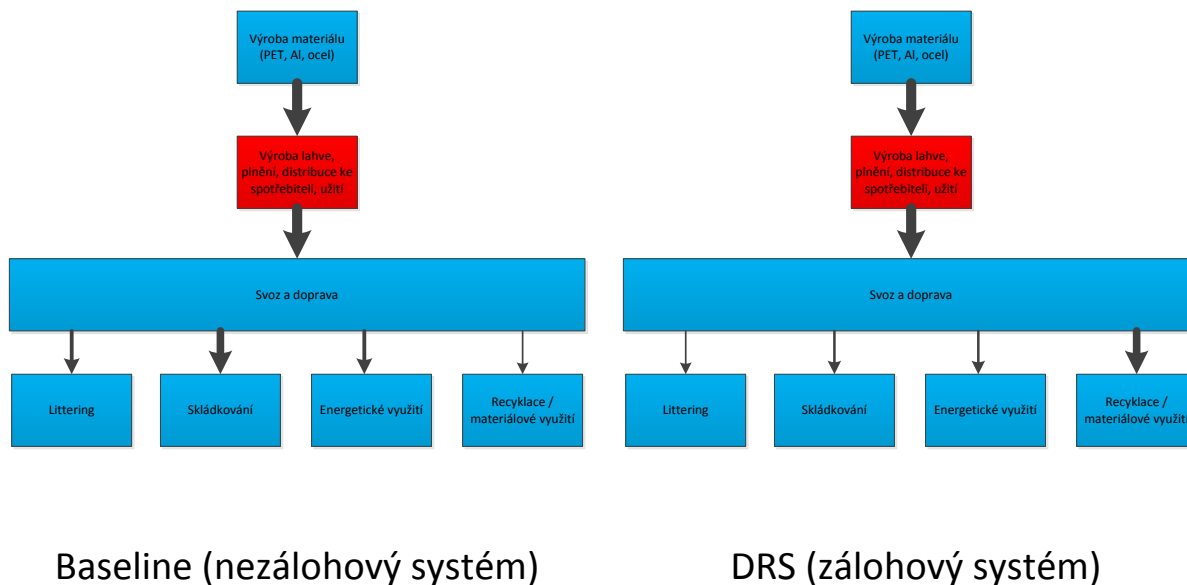
Obrázek 1 Procesy zahrnuté do hranic systému



Pro LCA modelování a porovnání obou systémů byl přijat předpoklad, že zavedením zálohového systému dojde ke snížení množství lahví pohozených v přírodě a jinde (definováno jako Littering), lahví odstraněných na skládkách a energeticky využitých v ZEVO. Předpokládá se, že zavedením zálohového systému dojde ke zvýšení materiálového využití použitých lahví, což je na následujícím

obrázku znázorněno různou šířkou šipek vyjadřujících větší či menší velikost materiálového toku odpadu. Změny v množství jednotlivých toků před a po zavedení zálohového systému byly určeny organizací Eunomia (viz Tabulka 1 a Tabulka 2 v další kapitole).

Obrázek 2 Ukázka změny velikostí materiálových toků po zavedení DRS (šířky šipek jsou pouze orientační)



3 Definice cílů a rozsahu studie

3.1 Cíl studie LCA

Tato studie je určena pro společnost Karlovarské minerální vody, a.s. s cílem pomoci najít odpověď na otázku, zda zavedení depozitního systému na nápojové lahve povede v České republice ke snížení environmentálních dopadů systému výroby a odstraňování nápojových lahví a zda tedy má smysl o zavedení zálohového systému uvažovat z environmentálního hlediska.

3.2 Definice rozsahu studie LCA

3.2.1 Funkce posuzovaných produktů

Pro účely této studie je funkcí produktových systémů zajištění materiálů pro výrobu nápojových obalů a následné nakládání s použitými nápojovými obaly včetně jejich případného materiálového či energetického využití.

3.2.2 Funkční jednotka

Ve studiích LCA je funkční jednotka vztažnou hodnotou, vůči které se jednotlivé varianty produktových systémů porovnávají. Jako funkční jednotka této studie LCA bylo zvoleno nakládání s takovým množstvím PET, respektive hliníkových či ocelových obalů, které odpovídá množství těchto obalů uvedených na český trh v rámci jednoho kalendářního roku.

3.2.3 Časový rozsah

Za časový rozsah studie byl zvolen kalendářní rok 2017.

3.2.4 Geografický rozsah

Geografický rozsah studie, co se dovážených surovin týče není omezen, a lze jej považovat za globální. Co se týče zpracování použitých nápojových lahví, předpokládá se, že lahve budou zpracovány či odstraněny v rámci České republiky. Dopravní vzdálenosti uvažované ve výpočtech jsou podrobně rozepsány níže.

3.2.5 Referenční tok

Referenční tok je množství posuzovaných produktů potřebných k realizaci funkční jednotky. Následující tabulka přehledně ukazuje hodnoty jednotlivých toků, jak byly určeny společností Eunomia⁴ na základě podkladových dat MFA (Material Flow Analysis) společnosti EKO-KOM a.s., zpracovaných Institutem cirkulární ekonomiky z.ú. Tyto hodnoty byly následně v této studii použity pro tvorbu LCA modelů.

⁴ Eunomia Research & Consulting, 70 Cowcross Street, London, EC1M 6EJ, Velká Británie, <http://www.eunomia.co.uk/>

Tabulka 1 Hodnoty referenčních toků jednotlivých komodit pro variantu Baseline⁴

Baseline, hmotnosti toků, tuny	PET	Ocel	Al
Uvedení na trh	49 446,0	444,5	8 455,0
Recyklace celkem	32 148,0	133,4	2 536,5
Směsný plast / Kovy	1 148,0	133,4	2 536,5
PET	31 000,0	0,0	0,0
Odpadové hospodářství	16 068,0	300,1	5 708,2
Energetické využití	2 598,0	69,5	1 322,6
Cementárna	5 020,0	0,0	0,0
Skládkování	8 450,0	230,6	4 385,6
Littering	1 230,0	11,1	210,3

Tabulka 2 Hodnoty referenčních toků jednotlivých komodit pro variantu DRS⁴

DRS, hmotnosti toků, tuny	PET	Ocel	Al
Uvedení na trh	49 446,0	444,5	8 455,0
Recyklace celkem	46 324,0	406,0	7 810,9
Směsný plast / Kovy	82,2	406,0	7 810,9
PET	46 241,7	0,0	0,0
Odpadové hospodářství	3 322,3	40,2	676,9
Energetické využití	722,9	10,4	186,3
Cementárna	297,1	3,1	5,6
Skládkování	2 302,3	26,7	484,9
Littering	246,0	2,2	42,1

3.3 Použité kategorie dopadu

Vyjádření potenciálních environmentálních dopadů výstupů z inventarizace bylo provedeno metodou ReCiPe, která je v současnosti považována za nejlépe propracovaný komplexní přístup pro hodnocení dopadů životního cyklu. V této studii byl použit charakterizační model ReCiPe 1.08^{5,6}, který oproti novější verzi ReCiPe 2016 poskytuje i normalizační a váhové faktory, čímž umožňuje do určité míry a

⁵ Mark A.J. Huijbregts, Zoran J.N. Steinmann, Pieter M.F. Elshout, Gea Stam, Francesca Verones, Marisa Vieira, Michiel Zijp, Anne Hollander, Rosalie van Zelm. ReCiPe2016: a harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. International Journal of LCA, DOI 10.1007/s11367-016-1246-y.

⁶ https://www.rivm.nl/en/Topics/L/Life_Cycle_Assessment_LCA/Downloads

v určitém zjednodušení vzájemně porovnávat výsledky pro různé kategorie dopadu. V metodice ReCiPe jsou inventarizační data vyjádřena jako potenciální dopady k následujícím midpointovým i endpointovým kategoriím dopadu. Midpointové hodnocení je založeno na srovnávání účinků jednotlivých emisí s referenční látkou a vyjádřeno jak kilogramy ekvivalentů této referenční látky. Endpointové hodnocení je založeno na vyčíslení měřitelných změn v životním prostředí, které považujeme za nepříznivé.

Tabulka 3 Kategorie environmentálních dopadů použité ve studii. Použit byl charakterizační model ReCiPe 1.08 (E)

Kategorie dopadu	Název endpointové kategorie dopadu [jednotka]	Název midpointové kategorie dopadu [jednotka]	Stručný popis
Klimatické změny / Globální oteplování	Climate change Ecosystems, default, excl biogenic carbon [species.yr] Climate change Human Health, default, excl biogenic carbon [DALY]	Climate change, default, excl biogenic carbon [kg CO ₂ -Equiv.]	Základním indikátorem uhlíkové stopy je midpointový potenciál globálního oteplování GWP, jenž se vyjadřuje v kg CO ₂ -ekv. Na úrovni endpointů se hovoří o klimatických změnách a jimi vyvolaném úbytku biologických druhů [species.yr] či nárůstu pracovní neschopnosti lidí vyjádřené jako DALY.
Spotřeba fosilních surovin	Fossil depletion [\$]	Fossil depletion [kg oil eq]	Spotřeba fosilních surovin se na endpointové úrovni vyjadřuje monetárně (obvykle USD) a na úrovni midpointové jako ekvivalenty kg ropy.
Sladkovodní ekotoxicita	Freshwater ecotoxicity [species.yr]	Freshwater ecotoxicity [kg 1,4-DB eq]	Účinky toxických látek na rovnováhu sladkovodních ekosystémů se na endpointové úrovni vyjadřuje počtem v lokalitě ovlivněných biologických druhů živočichů vynásobených počtem let tohoto ovlivnění. Na úrovni midpointů se ekotoxicita vyjadřuje ekvivalentním množstvím kg 1,4 dichlorbenzenu.
Sladkovodní eutrofizace	Freshwater eutrophication [species.yr]	Freshwater eutrophication [kg P eq]	Zatížení sladkovodních ekosystémů nadbytkem živin a biologicky rozložitelných látek, eutrofizace, se na endpointové úrovni vyjadřuje počtem v lokalitě ovlivněných biologických druhů živočichů vynásobených počtem let tohoto ovlivnění. Na midpointové úrovni se vyjadřuje ekvivalentním množstvím kg fosforu.
Humánní toxicita	Human toxicity [DALY]	Human toxicity [kg 1,4-DB eq]	Emise látek působících toxicky na člověka se na endpointové úrovni vyjadřují jako počet let pracovní neschopnosti populace lidí (DALY). Na midpointové úrovni se humánní toxicita vyjadřuje ekvivalentním množstvím kg 1,4 dichlorbenzenu.

Kategorie dopadu	Název endpointové kategorie dopadu [jednotka]	Název midpointové kategorie dopadu [jednotka]	Stručný popis
Radiace	Ionising radiation [DALY]	Ionising radiation [kg U ²³⁵ eq]	Emise radioaktivních látek se na endpointové úrovni vyjadřují jako počet let pracovní neschopnosti populace lidí (DALY). Na midpointové úrovni se vyjadřuje ekvivalentním množstvím kg uranu U ²³⁵ .
Spotřeba kovů	Metal depletion [\$]	Metal depletion [kg Fe eq]	Spotřeba kovů se na endpointové úrovni vyjadřuje monetárně (obvykle USD) a na úrovni midpointové jako kg ekvivalentů železa.
Ozonová díra	Ozone depletion [DALY]	Ozone depletion [kg CFC-11 eq]	Rozklad stratosférického ozonu se na endpointové úrovni vyjadřují jako počet let pracovní neschopnosti populace lidí (DALY). Na midpointové úrovni se vyjadřuje ekvivalentním množstvím kg freonu CFC11.
Tvorba prachových částic	Particulate matter formation [DALY]	Particulate matter formation [kg PM10 eq]	Nepříznivé dopady tvorby prachových částic a jejich uvolňování do atmosféry se na endpointové úrovni vyjadřují jako počet let pracovní neschopnosti populace lidí (DALY). Na midpointové úrovni se vyjadřuje ekvivalentním množstvím kg prachových částic PM10.
Tvorba fotooxidantů	Photochemical oxidant formation [DALY]	Photochemical oxidant formation [kg NMVOC]	Uvolňování reaktivních a radikálových emisí do atmosféry se na endpointové úrovni vyjadřují jako počet let pracovní neschopnosti populace lidí (DALY). Na midpointové úrovni se vyjadřuje množstvím kg těkavých uhlovodíků s vyloučením methanu.
Půdní acidifikace	Terrestrial acidification [species.yr]	Terrestrial acidification [kg SO ₂ eq]	Účinky kyselinotvorných látek na rovnováhu půdních ekosystémů se na endpointové úrovni vyjadřuje počtem v lokalitě ovlivněných biologických druhů živočichů vynásobených počtem let tohoto ovlivnění. Na úrovni midpointů se půdní acidifikace vyjadřuje množstvím kg ekvivalentů oxidu siřičitého.
Půdní ekotoxicita	Terrestrial ecotoxicity [species.yr]	Terrestrial ecotoxicity [kg 1,4-DB eq]	Účinky toxických látek na rovnováhu půdních ekosystémů se na endpointové úrovni vyjadřuje počtem v lokalitě ovlivněných biologických druhů živočichů vynásobených počtem let tohoto ovlivnění. Na úrovni midpointů se půdní ekotoxicita vyjadřuje množstvím kg ekvivalentů 1,4 dichlorbenzenu.
Mořská eutrofizace	-	Marine eutrophication [kg N-Equiv.]	Zatížení mořských ekosystémů nadbytkem živin a biologicky rozložitelných látek, se na endpointové úrovni nevyjadřuje. Na midpointové úrovni se vyjadřuje ekvivalentním množstvím kg dusíku.

Kategorie dopadu	Název endpointové kategorie dopadu [jednotka]	Název midpointové kategorie dopadu [jednotka]	Stručný popis
Spotřeba vody		Water depletion [m ³]	Spotřeba vody se hodnotí pouze na midpointové úrovni a vyjadřuje se v m ³ spotřebované vody.

3.4 Použitý LCA software

Pro výpočty a pro modelování životních cyklů produktů či organizací se používají specializované software a databáze inventarizačních dat. V této studii byl použit profesionální LCA software GaBi 8⁷.

3.5 Přijaté předpoklady a omezení platnosti studie

- Při vytváření modelu studie posuzování životního cyklu bylo nutno přijmout určité předpoklady. Uzávěry z HDPE PET lahví nebyly zahrnuty do modelu. Jedná se o materiálový tok, který by v uvažovaném zálohovém systému procházel stejnou cestou (stejným scénářem) jako v současné situaci. Jedná se tedy z pohledu porovnání současného stavu a zálohového systému o konstantu, kterou lze od posuzovaného systému oddělit.
- Sekundární a terciální balení nebylo do hranic systému zahrnuto, neboť by se jednalo o shodnou položku jak pro stávající systém, tak pro systém zálohový.
- Další dílčí předpoklady týkající se jednotlivých procesů jsou blíže specifikovány v následující kapitole věnované inventarizaci životního cyklu. Obecně byl ve studii zvolen tak zvaně konzervativní přístup k volbě předpokladů. Konzervativním přístupem se má na mysli volba takových předpokladů, které jsou spíše ve prospěch stávajícího systému, tedy nezálohového systému nakládání s použitými lahvemi. K hodnocení nového, alternativního, tedy zálohového systému je třeba přistupovat konzervativně, tedy s větší mírou opatrnosti.
- Vliv některých předpokladů majících vliv na výsledné hodnocení posuzovaných systémů je znázorněn v následující tabulce. Symbol $\searrow$ znázorňuje, že uvedený předpoklad snižuje výsledné hodnoty environmentálních dopadů a v hodnocení tedy „napomáhá“ či „nadržuje“ danému systému. Symbol $\nearrow$ znázorňuje, že uvedený předpoklad zvyšuje výsledné hodnoty environmentálních dopadů daného systému.

⁷ <https://www.thinkstep.com/software/gabi-lca/>

Tabulka 4 Vliv některých předpokladů na výsledné hodnoty environmentálních indikátorů obou posuzovaných systémů.
Symbol ↗ znázorňuje, že uvedený předpoklad zvyšuje výsledné hodnoty environmentálních dopadů daného systému.

Předpoklad	Stávající systém	Depositní systém DRS
Sběrné kontejnery na plasty nebyly do hranic systémů zahrnuty. Pro zálohované lahve nejsou kontejnery na plast potřeba.	↘	↗
1 papírový vratný lístek na vracení lahví pro 5 kusů lahví	↘	↗
Nezahrnutí potenciálních dopadů mikroplastů uvolněných do prostředí z litteringu	↘	↗
Konzervativnější odhady dopravních vzdáleností	↘	↗

- V rámci této studie nebyla brána do úvahy skutečnost, že různobarevné PET lahve mají omezenou možnost recyklace a druhotného využití. Využitelnost PET lahví jakožto druhotné suroviny by se zvýšila používáním jednobarevných (či bezbarvých) PET lahví.
- V rámci studie nebylo uvažováno opakované užití PET lahvích. Model byl vystaven na zpracování PET lahví jako druhotné suroviny, která nahrazuje surovinu primární. Znovuužití lahví (opakované plnění lahví nápojem) by v případě depozitního systému vedlo k ještě nižším výsledkům indikátorů kategorií dopadu, neboť (jak bude níže uvedeno) procesem, který se dominantně podílí na výsledných environmentálních dopadech je produkce PET materiálu.

4 Inventarizace životního cyklu

4.1 Sběr dat

Veškeré generické procesy použité pro tvorbu LCA modelů pochází z databáze Professional poskytovatele software GaBi (thinkstep) a z databáze Ecoinvent 3.4.

Specifické hodnoty materiálových toků nápojových lahví vstupujících na trh v ČR a do jednotlivých operací nakládání s odpady a operací souvisejících s materiálovým a energetickým využitím byly určeny organizací Eunomia, viz odstavec 3.2.5.

Specifické hodnoty týkající se výroby a provozu sběrných zařízení (RVM – Reverse Vending Machine) byly zjištěny od výrobce (Tomra). Další specifické informace mají vztah ke svozu odpadů, byly zjištěny od organizace Pražské služby, a.s. Specifické hodnoty pro jednotlivé procesy LCA modelu jsou uvedeny v následujícím odstavci popisujícím jednotkové procesy.

4.2 Jednotkové procesy LCA modelu a specifické hodnoty přijatých předpokladů

Model LCA je sestaven jednak z obecných (generických / databázových) procesů a jednak z procesů vytvořených pro konkrétní operace (site specific). Ty procesy, které bylo třeba v rámci této studie vytvořit, jsou blíže popsány v následujících odstavcích.

4.2.1 Littering

V případě PET nebyl littering součástí hodnocení environmentálních dopadů, neboť pro plasty v životním prostředí (včetně mikroplastů) dosud nejsou k dispozici odpovídající charakterizační faktory. Rovněž informací o konkrétních škodlivých účincích mikroplastů na biotu je k dispozici minimálně. Množství plastů uvolněných do prostředí bylo tedy v této studii pouze inventarizováno a vyjádřeno hmotnostně. Dle dat od Eunomia by zavedení DRS vedlo k poklesu množství plastů uvolněných do prostředí z hodnoty 1230 tun na hodnotu 246 tun. Zavedení DRS by tedy vedlo ke snížení do prostředí uvolněných plastů z nápojových obalů o 80%.

Co se týká zapojení vyčíslení environmentálních dopadů litteringu hliníkových a lahví z ocelového plechu, byla charakterizace provedena na základě materiálového složení lahví poskytnuté Ústavem kovových materiálů a korozního inženýrství VŠCHT Praha⁸. Hliníková lahev je tvořená dvěma slitinami. Plášť je Al-Mn (max. cca 2 % Mn) a víčko je Al-Mg (přibližně 3 hm. % Mg). Co se ocelové lahve/plechovky týče, předpokládají se méně jakostní oceli než korozivzdorné, tudíž se u těchto lahvích dá očekávat přibližně následující složení: 0,05-1 % C; 0,2-2 % Mn; do 6 % Cr; 0,3-2 % Si; do 3 %

⁸ doc. Ing. Pavel Novák, Ph.D., Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství VŠCHT Praha.

Mo; do 3 % V; do 5 % Ni; stopy síry a fosforu (obvykle do 0,01 %) a zbytek je železo. Vše je uvedeno v hmotnostních %. Pro charakterizaci environmentálních dopadů byl přijat předpoklad, že 1/3 hmotnosti bude uvolněna do zemědělsky či lesnický využívané půdy, 1/3 hmotnosti bude uvolněna do průmyslově využívané půdy a 1/3 do povrchových vod. Konkrétní hodnoty elementárních toků uvolněných z litteringu do jednotlivých složek prostředí jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Tabulka 5 Littering hliníkových lahví

Elementární tok [Složka prostředí]	Množství uvolněného elementárního toku do složky prostředí z 1 kg litteringu, kg
Aluminium [Inorganic emissions to industrial soil]	0,316667
Aluminium [Inorganic emissions to fresh water]	0,316667
Aluminium [Inorganic emissions to agricultural soil]	0,316667
Magnesium [Inorganic emissions to industrial soil]	0,01
Magnesium [Inorganic emissions to fresh water]	0,01
Magnesium [Inorganic emissions to agricultural soil]	0,01
Manganese [Heavy metals to industrial soil]	0,006667
Manganese [Heavy metals to fresh water]	0,006667
Manganese [Heavy metals to agricultural soil]	0,006667

Tabulka 6 Littering ocelových lahví

Elementární tok [Složka prostředí]	Množství uvolněného elementárního toku do složky prostředí z 1 kg litteringu, kg
Chromium [Heavy metals to industrial soil]	0,016667
Chromium [Heavy metals to fresh water]	0,016667
Chromium [Heavy metals to agricultural soil]	0,016667
Iron [Heavy metals to industrial soil]	0,273333
Iron [Heavy metals to fresh water]	0,273333
Iron [Heavy metals to agricultural soil]	0,273333
Manganese [Heavy metals to industrial soil]	0,006667
Manganese [Heavy metals to fresh water]	0,006667
Manganese [Heavy metals to agricultural soil]	0,006667
Molybdenum [Heavy metals to industrial soil]	0,01
Molybdenum [Heavy metals to fresh water]	0,01
Molybdenum [Heavy metals to agricultural soil]	0,01
Nickel [Heavy metals to industrial soil]	0,016667
Nickel [Heavy metals to fresh water]	0,016667
Nickel [Heavy metals to agricultural soil]	0,016667
Vanadium [Heavy metals to industrial soil]	0,01
Vanadium [Heavy metals to fresh water]	0,01
Vanadium [Heavy metals to agricultural soil]	0,01

4.2.2 Dopravní vzdálenosti

V modelech byly použity konzervativní dopravních vzdáleností, to znamená vyšší než očekávané ve skutečnosti. Celkové pojetí modelu tedy nadhodnocuje význam environmentálních dopadů dopravy. V reálné situaci lze tudíž očekávat nižší vliv dopravy, než-li vyplýne z výsledků této studie. Na tomto místě je možné předeslat, že na základě níže uvedených výsledků nemají dopravní vzdálenosti z pohledu LCA významný vliv na environmentální dopady systému jako celku, a tedy ani na hodnocení a vzájemné srovnání obou posuzovaných systémů (viz kapitola 5.4 Vliv jednotlivých technologických okruhů). Konzervativnější odhady dopravních vzdáleností byly uvažovány především u DRS systému. Konkrétní vzdálenosti použité ve výpočtech LCA modelu jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 7 Dopravní vzdálenosti použité ve výpočtech základního LCA modelu

Typ dopravy	Současný systém	DRS – zálohový systém
Vrácení lahve zákazníkem	-	15 km
Svoz odpadu v kontejnerech	35 km	35 km
Doprava na skládku	20 km	20 km
Doprava k energetickému využití odpadu (ZEVO, cementárna)	150 km	150 km
Doprava do sběrného centra		250 km
Doprava do recyklační linky	200 km	150 km

Dle informací ZEVO⁹ jsou svozové okruhy v Praze cca 35 km a za jeden den se svozový okruh jede dvakrát. K dopravě průměrného odpadu v Praze je tedy třeba svozovým vozem ujet vzdálenost 35 km. V ČR jsou však regiony, které sváží svůj odpad do spalovny (SAKO Brno) z větší vzdálenosti (i více než 100 km).

4.2.3 Vracení lahví spotřebitelem

Bližší pozornost si zaslouží způsob modelování dopravy použitých lahví spotřebitelem k výkupu. Informace týkající se průměrné dopravní vzdálenosti obyvatel k nákupu (zejména s ohledem na vrácení lahví) nejsou k dispozici. Variabilita dojezdových vzdáleností i variabilita počtu vrácených lahví vnáší do systému značné nejistoty. Pro modelování zálohového systému byl zvolen následující konzervativní přístup:

Dojezd k výkupnímu místu byl zvolen 15 km, což v situaci, kdy značný počet obyvatel chodí na nákup pěšky anebo nakupuje při cestě osobním vozem ze zaměstnání nebo při jiné cestě automobilem, je pravděpodobně nadsazená hodnota (konzervativní přístup). Počet při jedné cestě vrácených lahví byl odhadnut na 10. Při nižším počtu lahví by pravděpodobně obyvatelé šli vrátit lahve při pěším nákupu nebo při jiné cestě okolo obchodu/vratného místa. Jelikož se dá předpokládat, že většina cest

⁹ Ing. Tomáš Baloch, ZEVO Praha Malešice

souvisejících s vrácením lahví nebude podniknuta jen za účelem vrácení lahví, ale rovněž za účelem nákupu, je třeba environmentální dopady dopravy rozdělit (alokovat) mezi vrácené lahve a samotný nákup. Pro alokaci environmentálních dopadů mezi nákup a vrácené lahve bylo zvoleno alokační pravidlo založené na poměru hmotnosti nákupu a hmotnosti vrácených lahví. Hmotnost lahví byla určena vynásobením hmotnosti jedné lahve jejich počtem (10 ks) a hmotnost nákupu byla zvolena na 30 kg. Hmotnost 30 kg nákupu lze považovat za poměrně konzervativní a nízkou (vyšší hodnota hmotnosti nákupu by v modelu vedla k nižší alokaci dopadů vrácení lahví). Pro představu je vhodné zmínit, že při navrácení 10 kusů 1,5L PET lahví a při nákupu stejného počtu plných lahví bude nákup vážit minimálně $10 \cdot 1,5 = 15$ kg.

4.2.4 Počet kontejnerů

Počet kontejnerů potřebný pro sběr určitého množství lahví může být velice variabilní a je závislý na celkové logistice systému a prioritách zainteresovaných stran. Značnou variabilitu do určení počtu potřebných kontejnerů rovněž vnáší chování spotřebitelů – například zda budou použité lahve do kontejnerů odkládat v původním stavu nebo zmáčknuté. Sběrné kontejnery nebyly do hranic systému zahrnuty. Tím, že DRS systém kontejnery pro zálohované lahve nepoužívá, je tento předpoklad v neprospěch DRS systému.

4.2.5 Dotřídovací linka / pásový dopravník

Dotřídovací linka byla ve studii modelována jako pásový dopravník (Conveyor belt) se specifickou spotřebou elektrické energie. Spotřeba elektrické energie byla určena na základě dat firmy Respono¹⁰, a.s. Ze známého množství dotřídovaných plastů (r. 2016 2099 tun; r. 2017 2769,33 tun), z příkonu dopravníkového pásu (0,55 kW)¹¹, z příkonu osvětlení a z počtu hodin dvousměnného provozu za 1 kalendářní rok byla určena roční spotřeba elektrické energie na dotřídování. Jelikož poměr PET k celkovému množství plastu v separovaném plastu je zhruba $0,8 / (5,7 + 0,8) = 0,12$ ¹², bylo PET přiřazeno právě 12% elektřiny spotřebované na třídění.

4.2.6 RVM

Počet strojů na vrácení lahví označovaných jako RVM (z angl. Reverse Vending Machine) potřebných pro zajištění DRS je pro ČR odhadován organizací Eunomia na 3808 kusů. Stroj na vrácení lahví byl modelován na základě dat uvedených v následující tabulce:

¹⁰ Zuzana Ambrožová; Respono, a.s., <https://www.respono.cz/>

¹¹ Pásový dopravník 6,0 m CXL6000 HD

¹² http://www.nemcicenah.cz/files/zivotni-prostredi/vysledky_rozboru_nemcice_nad-hanou.pdf

Tabulka 8 Vstupy jednotkového procesu výroby stroje na vracení lahví RVM

Inputs				
Parameter	Flow	Quantity	Amount	Unit
	Polystyrene part (PS) [Plastic parts]	Mass	65	kg
	Steel sheet 1.5mm hot dip galvan. (0.01mm;1s) [Metals]	Mass	520	kg
	Styrene-butadiene-rubber (SBR) [Plastics]	Mass	16,5	kg
	Glass blocks [Minerals]	Mass	16,5	kg
	GLO: electronics, for control units [allocatable product]	Mass	32	kg
Outputs				
Parameter	Flow	Quantity	Amount	Unit
	Reverse vending machine [Assemblies]	Number of pieces	1	pcs.

Provoz stroje na vracení lahví je napájen elektrickou energií. Dle výrobce je spotřebovává RVM TOMRA T-9 v klidovém režimu 65 W. Pro výpočty byla v modelu použita konzervativnější hodnota 100 W. Celková roční spotřeba elektřiny je pak určena na 876 kWh. Ve srovnání s hodnotou 525 kWh použitou v Norské studii¹³ a poskytnutou výrobcem RVM Tomra¹⁴ se jedná o vyšší, tedy rovněž konzervativnější hodnotu. Do modelu byl rovněž zahrnut životní cyklus papíru potřebného k tisku zálohových lístků. Ve výpočtu byla zvolena situace, kdy jeden lístek slouží k vrácení 5 lahví. Jedná se opět o konzervativní odhad, lze předpokládat, že zákazníci budou při jedné vracení lahví vracet vyšší počet. Tento konzervativní odhad vede k vyšší spotřebě papíru při vracení lahví, a tudíž zvyšuje potenciální dopady DRS systému.

4.2.7 Centra na sčítání lahví a lisování

Dle dat poskytnutých organizací Eunomia bude třeba vybudovat 2 centra obsahující 5 sčítacích strojů a 2 lisy. Hodnoty použité pro vytvoření LCA procesů výroby strojů na sčítání lahví a lisů jsou uvedeny v následující tabulce. Spotřeba elektrické energie na výrobu strojů nebyla do modelu zahrnuta. Spotřeba elektrické energie na provoz strojů je součástí modelu.

Tabulka 9 Vstupy jednotkového procesu výroby stroje na počítání lahví (Counting machine)

Inputs				
Parameter	Flow	Quantity	Amount	Unit
	Aluminium part [Metal parts]	Mass	9,831143	kg
	Brass component [Metal parts]	Mass	1,179737	kg
	Cast iron part [Metal parts]	Mass	56,17796	kg

¹³ Hanne Lerche Raadal, Ole Magnus Kålås Iversen and Ingunn Saur Modahl: LCA of beverage container production, collection and treatment systems. Østfoldforskning, Kråkerøy 2016, ISBN no.: 978-82-7520-746-1

¹⁴ <https://www.tomra.com/>

Inputs				
Parameter	Flow	Quantity	Amount	Unit
	Copper sheet [Metals]	Mass	0,019803	kg
	Nylon 6 part (PA 6) [Plastic parts]	Mass	0,983114	kg
	Polyester resin (unsaturated; UP) [Plastics]	Mass	4,213347	kg
	Polyethylene high density part (HDPE/PE-HD) [Plastic parts]	Mass	12,64004	kg
	Polyurethane (PU) [Plastics]	Mass	4,381881	kg
	Polyvinylchloride injection moulding part (PVC) [Plastic parts]	Mass	2,808898	kg
	Steel billet (20MoCr4) [Metals]	Mass	44,38059	kg
	Styrene-butadiene-rubber (SBR) [Plastics]	Mass	5,140283	kg
Outputs				
Parameter	Flow	Quantity	Amount	Unit
	Counting machine [Assemblies]	Number of pieces	1	pcs.

Tabulka 10 Vstupy jednotkového procesu výroby stroje na počítání lahví (Baler machine)

Inputs				
Parameter	Flow	Quantity	Amount	Unit
	Aluminium part [Metal parts]	Mass	14,15685	kg
	Brass component [Metal parts]	Mass	0,786491	kg
	Cast iron part [Metal parts]	Mass	383,8827	kg
	Copper sheet [Metals]	Mass	0,013202	kg
	Nylon 6 part (PA 6) [Plastic parts]	Mass	0,65541	kg
	Polyester resin (unsaturated; UP) [Plastics]	Mass	1,947503	kg
	Polyethylene high density part (HDPE/PE-HD) [Plastic parts]	Mass	5,730152	kg
	Polyurethane (PU) [Plastics]	Mass	3,295774	kg
	Polyvinylchloride injection moulding part (PVC) [Plastic parts]	Mass	1,498079	kg
	Steel billet (20MoCr4) [Metals]	Mass	22,8457	kg
	Styrene-butadiene-rubber (SBR) [Plastics]	Mass	3,426855	kg
Outputs				
Parameter	Flow	Quantity	Amount	Unit
	Baler machine [Assemblies]	Number of pieces	1	pcs.

4.2.8 Cementárna

Použití PET v cementárně bylo modelováno jako náhrada jiného paliva (hnědého uhlí) na základě energetického obsahu odpadního PET materiálu.

4.3 Schémata LCA modelů

Na základě vstupních informací byly vytvořeny následující modely životního cyklu jednotlivých posuzovaných scénářů nezálohového i zálohového systému nakládání s nápojovými obaly, které byly následně použity k výpočtu environmentálních indikátorů. Na pozadí každého v obrázku znázorněného procesu je dynamicky propojená databáze environmentálních dopadů, která je použita k výpočtům. Barevně jsou jednotlivé procesy seskupeny do následujících skupin reflektující jejich příslušnost k danému technologickému celku. Jedná se o následující skupiny:

- Žlutá: výroba a užití materiálů, ze kterých jsou nápojové lahve vyrobeny.
- Světle zelená: doprava v rámci odpadového hospodářství.
- Tmavě zelená: doprava v rámci materiálového využití.
- Hnědá: odpadové hospodářství včetně benefitů získaných využitím výstupů odpadového hospodářství (např. energetické využití skládkového plynu).
- Růžová: littering.
- Světle modrá: Vracení zálohovaných lahví zákazníkem.
- Modrá: Recyklace lahví.

V případě schématu znázorňujícího operace podílející se na zálohovém systému (Obrázek 9 - DRS operations) byly použity následující barvy pro znázornění seskupení zúčastněných procesů:

- Oranžová: Výroba, provoz a odstranění zařízení na vracení lahví – RVM včetně výroby a odstranění papírových zálohových lístků.
- Zelená: Výroba, provoz a odstranění třídící stanice.

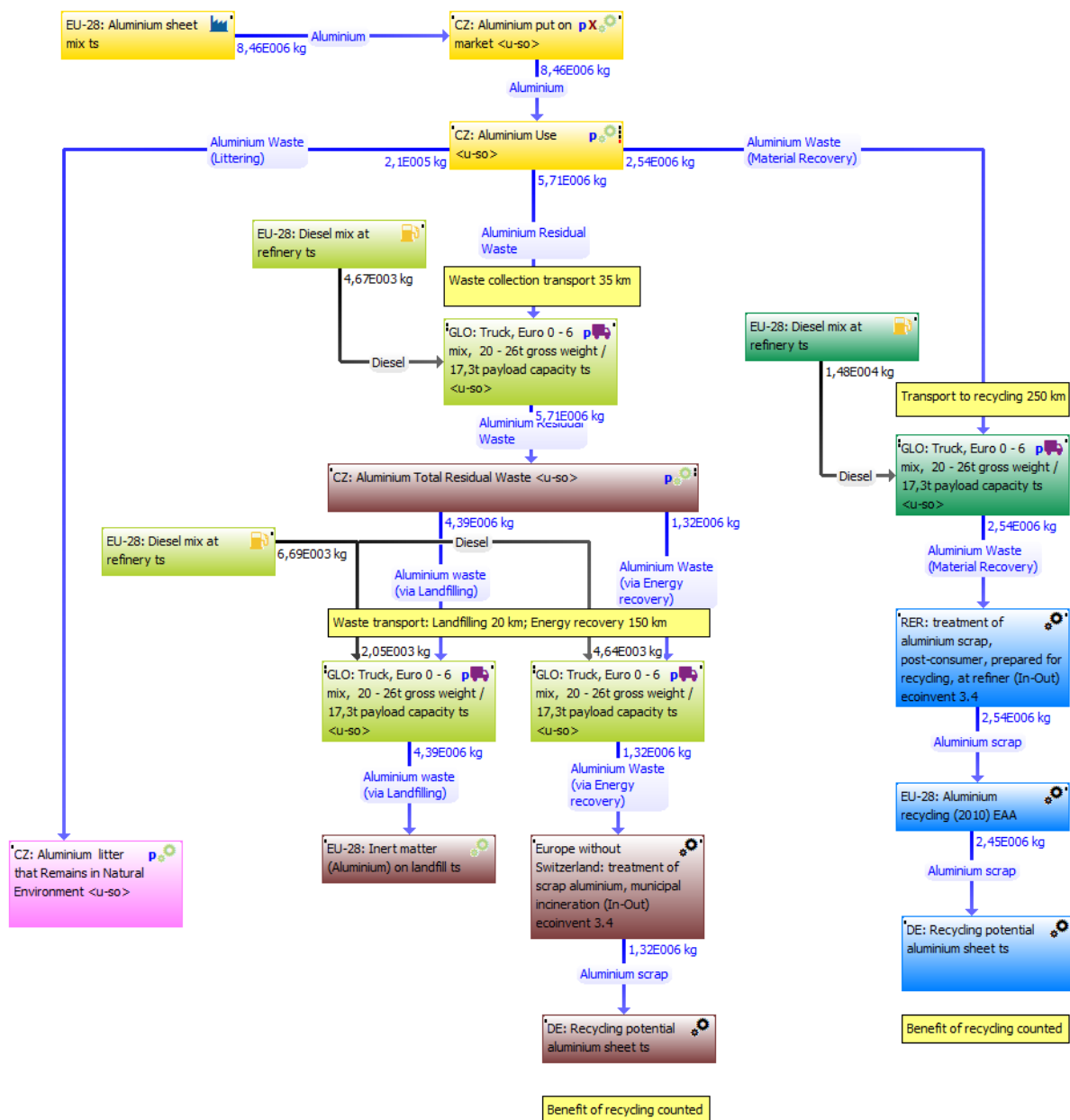
PET
Process plan: Reference quantities
The names of the basic processes are shown



Obrázek 4 Schéma životního cyklu zálohového systému lahví z hliníku (Aluminium Baseline)

Aluminium

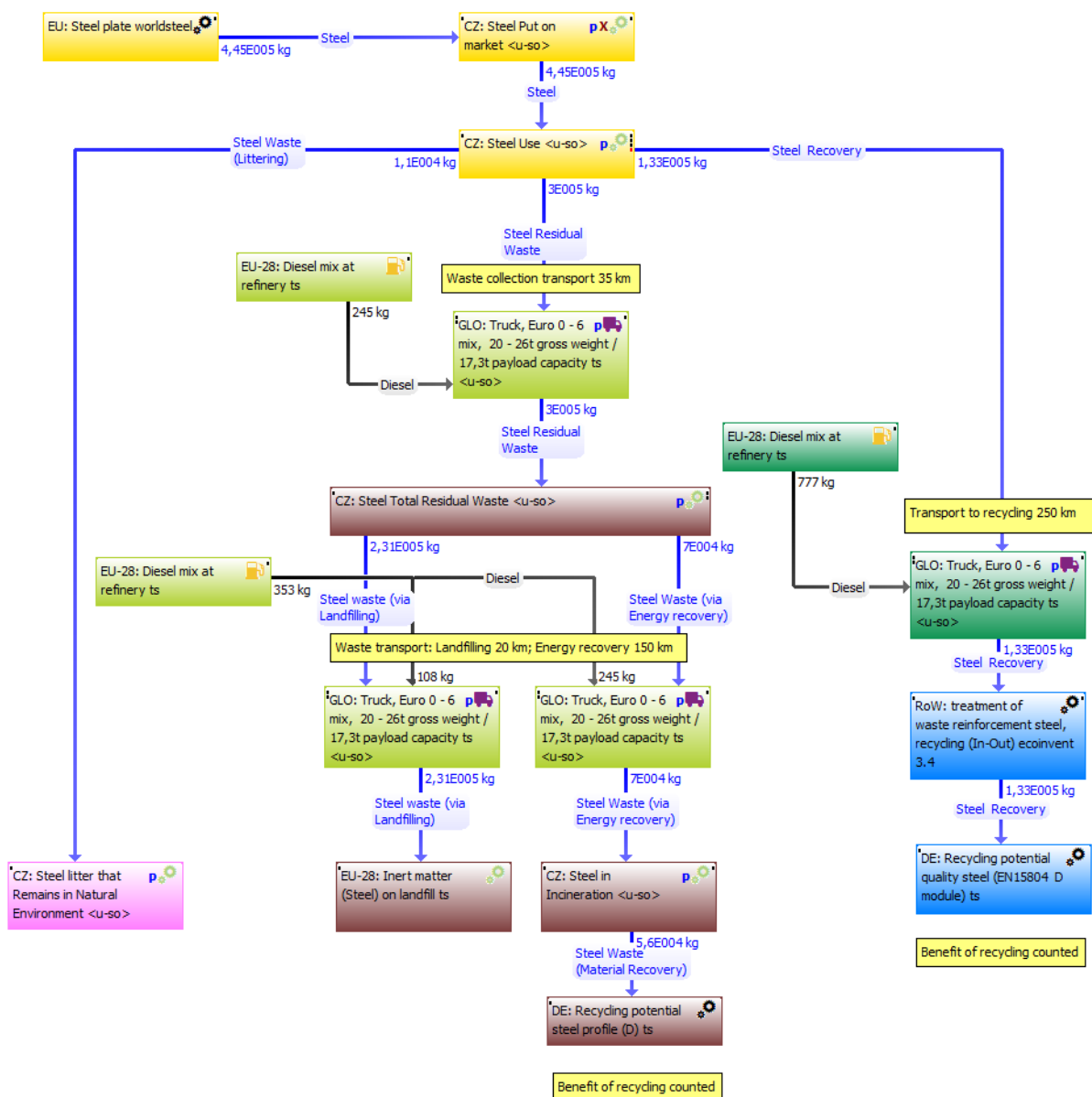
Process plan: Reference quantities
The names of the basic processes are shown.



Obrázek 5 Schéma životního cyklu zálohového systému lahví z oceli (Steel Baseline)

Steel

Process plan: Reference quantities
The names of the basic processes are shown.



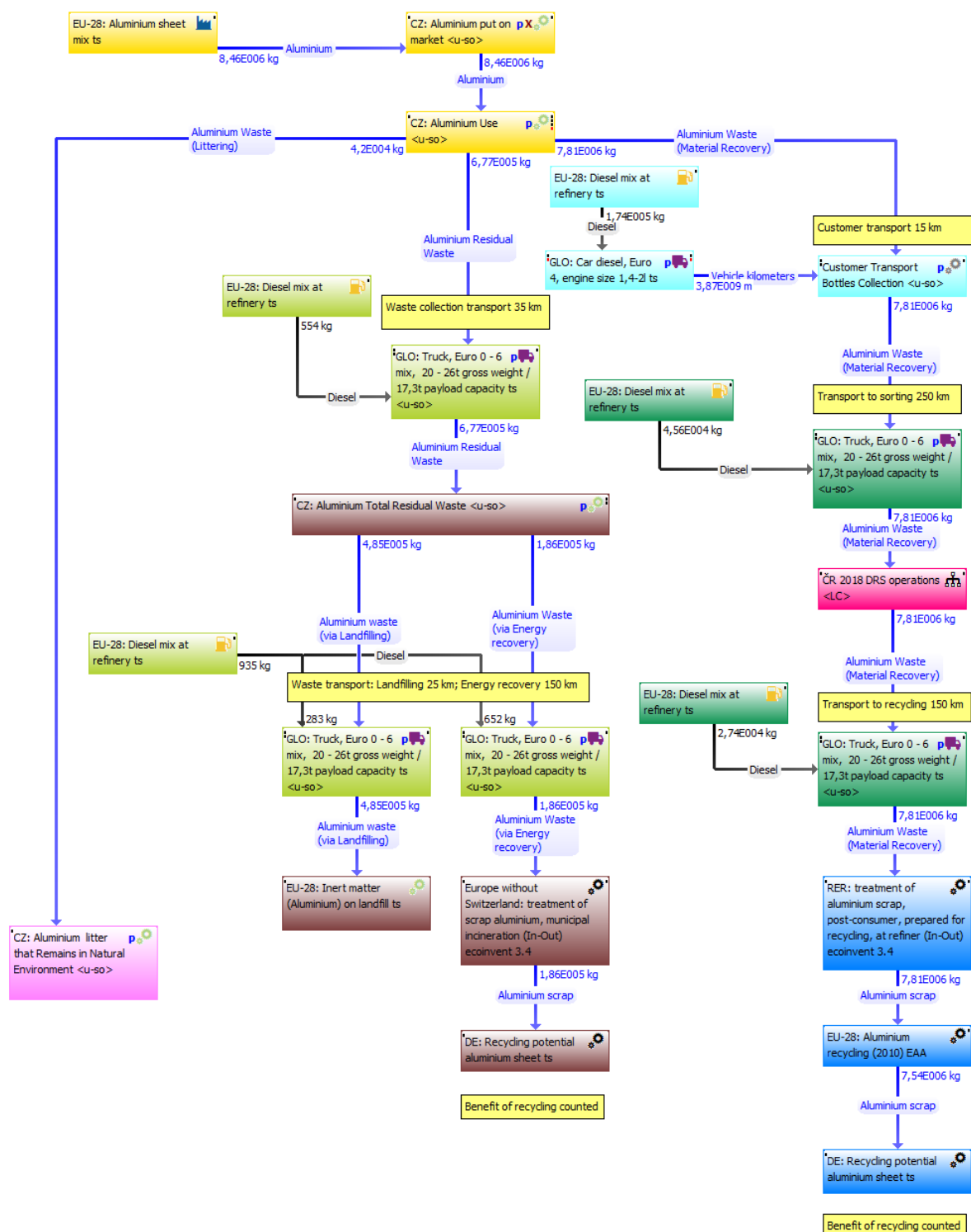
PET DRS
Process plan:Reference quantities
The names of the basic processes are shown.



Obrázek 7 Schéma životního cyklu zálohového systému lahví z hliníku (Aluminium DRS)

Aluminium DRS

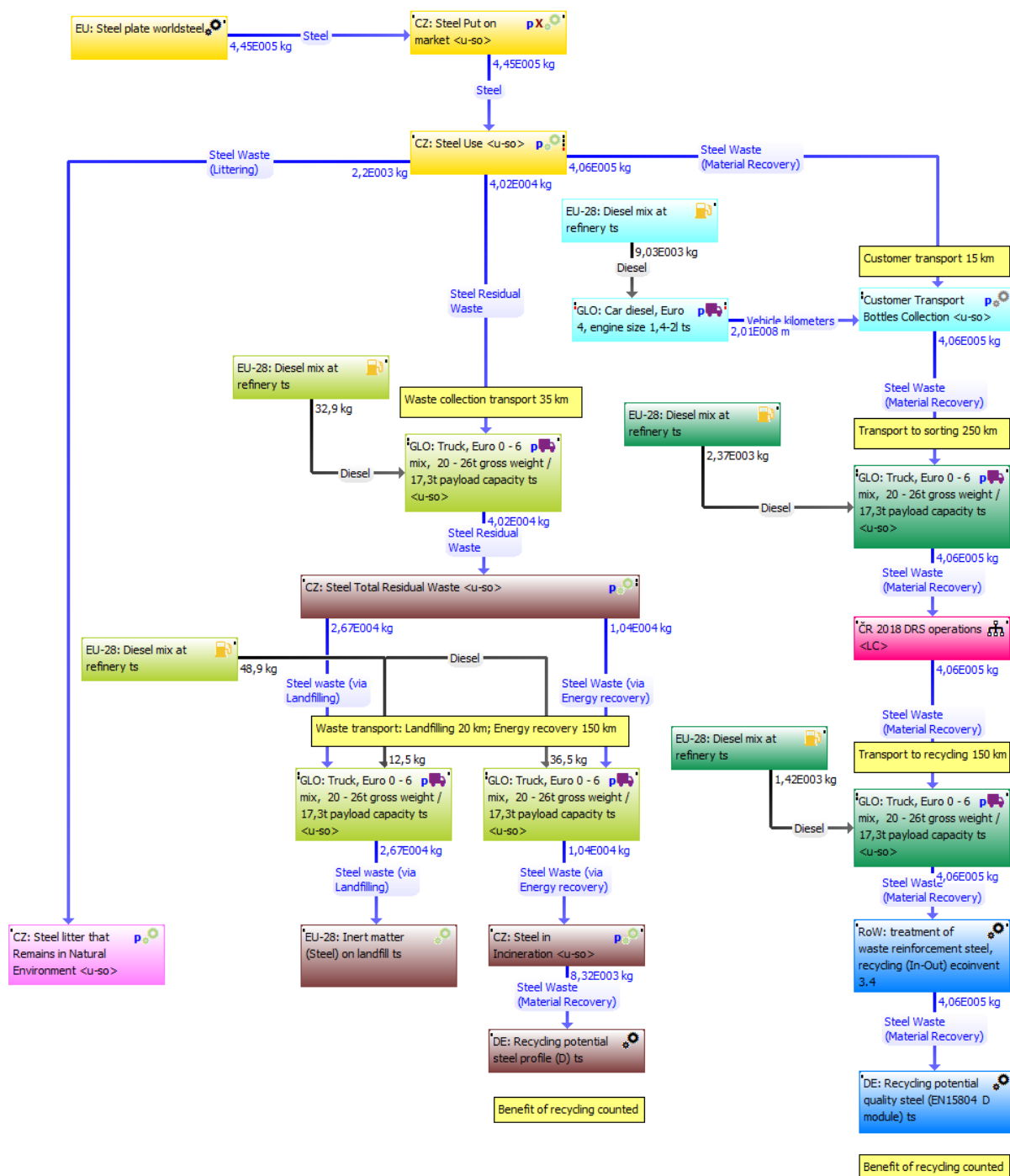
Process plan/Reference quantities
The names of the basic processes are shown.



Obrázek 8 Schéma životního cyklu zálohového systému lahví z oceli (Steel DRS)

Steel DRS

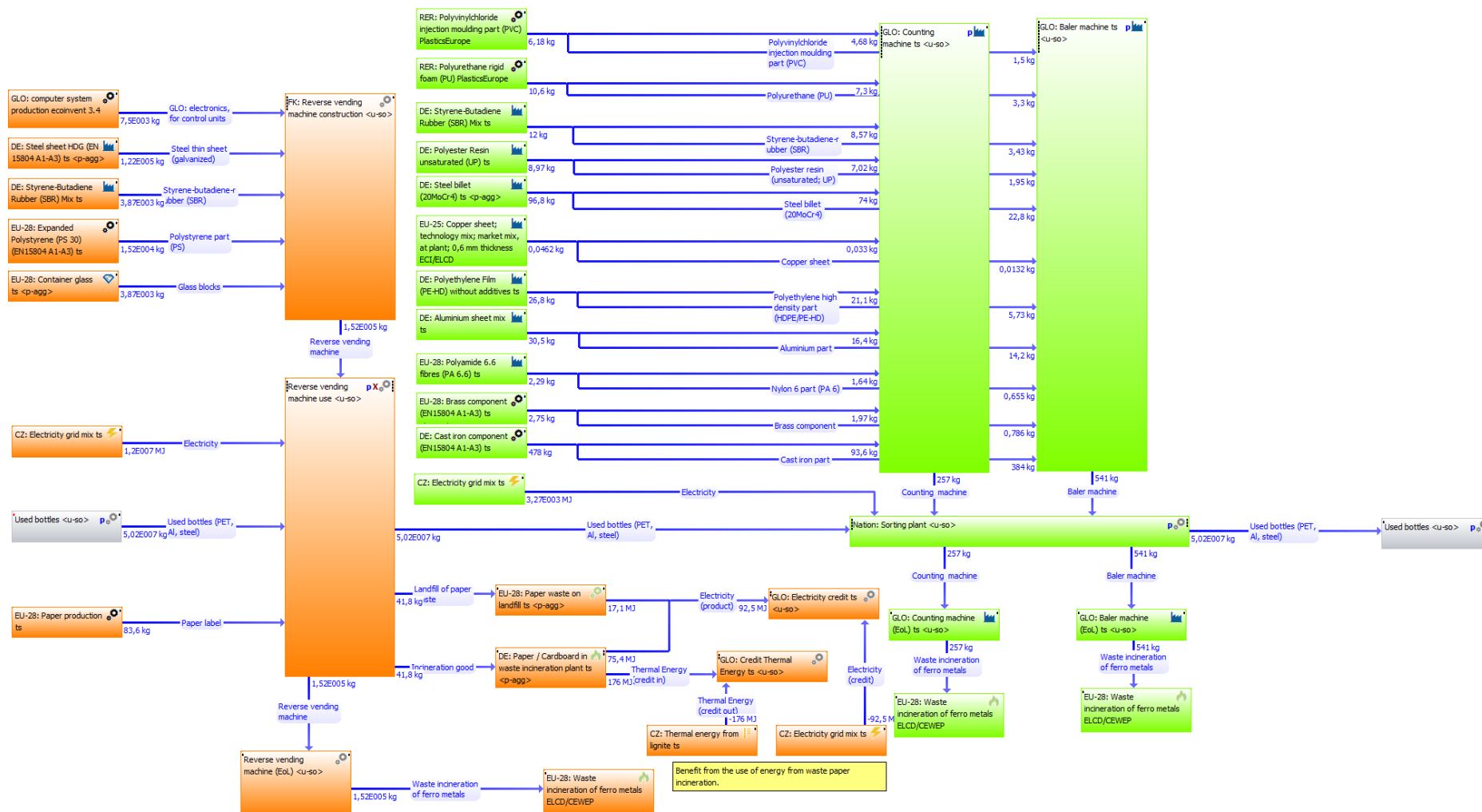
Process plan: Reference quantities
The names of the basic processes are shown.



Obrázek 9 Schéma životního cyklu operací podílejících se na provozu zálohového systému

DRS operations

Process plan: Reference quantities
The names of the basic processes are shown.



4.4 Výstupy inventarizační analýzy – spotřeba surovinových zdrojů

Výstupy inventarizační analýzy uvádějí data týkající se náročnosti jednotlivých posuzovaných systémů na surovinové zdroje a data uvádějící množství jednotlivých do životního prostředí emitovaných látek. Jelikož se jedná o poměrně rozsáhlý soubor dat, a jelikož jsou pro tuto studii významné především hodnoty spotřeby zdrojů energetických surovin, včetně ropy, jsou na tomto místě uvedeny výsledky pouze pro energetické suroviny. Úplný přehled výstupů inventarizační analýzy pro nezálohový systém je uveden v příloze č.1 a pro zálohový systém v příloze č.2.

Tabulka 11 Výsledky inventarizační analýzy – spotřeba energetických surovin nezálohového systému (Baseline)

Mass, kg	Baseline Total	Aluminium	PET	Steel
Crude oil (resource)	22 104 181	3 396 228	18 687 597	20 356
Hard coal (resource)	5 838 754	4 318 182	1 209 722	310 850
Lignite (resource)	234 550	674 200	-456 571	16 922
Natural gas (resource)	22 181 382	5 742 149	16 409 089	30 144
Uranium (resource)	304,1	130,4	173,3	0,4

Záporná hodnota spotřeby lignitu ve sloupci pro PET lahve je způsobena úsporou uhlí vzniklou spalováním PET jako paliva v cementárnách.

Tabulka 12 Výsledky inventarizační analýzy – spotřeba energetických surovin zálohového systému (DRS)

Mass, kg	DRS Total	Aluminium DRS	PET DRS	Steel DRS
Crude oil (resource)	12 422 087	1 483 519	10 913 630	24 939
Hard coal (resource)	2 154 819	87 181	1 890 541	177 096
Lignite (resource)	16 453 129	423 208	15 982 021	47 901
Natural gas (resource)	12 860 215	4 115 522	8 701 839	42 853
Uranium (resource)	183,4	-27,5	210,0	0,9

5 Hodnocení dopadů životního cyklu

Princip hodnocení environmentálních dopadů posuzování životního cyklu spočívá v převedení výstupů inventarizační analýzy (hodnot množství spotřebovaných surovin a emitovaných látek) na indikátory kategorií environmentálních dopadů. Toto převedení se realizuje pomocí zveřejněných charakterizačních faktorů odpovídajících zvolené metodice. V tomto projektu byla zvolena metodika ReCiPe (viz odstavec 3.3 Použité kategorie dopadu).

5.1 Výsledky hodnocení dopadů životního cyklu

Následující tabulky uvádějí výsledné hodnoty indikátorů kategorií dopadu nezálohového (Baseline) i zálohového systému (DRS). Pro každý systém jsou v tabulce uvedeny souhrnné výsledky (Total) a příspěvky jednotlivých typů lahví (PET, hliník, ocelový plech), tak jak pro ně byly vytvořeny modely LCA. V praxi by však bylo provozování systému odděleně pro jednotlivé typy lahví nebylo smysluplné, takže hodnoty příspěvků jednotlivých typů lahví je třeba brát jako přibližné.

Tabulka 13 Výsledky indikátorů endpointových i midpointových kategorií dopadu nezálohového systému (Baseline) - ReCiPe 1.08

Kategorie dopadu	Baseline Total	Aluminium	PET	Steel
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Ecosystems, default, excl biogenic carbon [species.yr]	2,26	0,878	1,36	0,0165
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Ecosystems, incl biogenic carbon [species.yr]	2,27	0,878	1,37	0,0165
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Human Health, default, excl biogenic carbon [DALY]	423	165	256	3,0900
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Human Health, incl biogenic carbon [DALY]	426	165	258	3,0900
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Fossil depletion [\$]	8260000	2070000	6150000	41900
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Freshwater ecotoxicity [species.yr]	0,021	0,0209	0,00004	0,0001
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Freshwater eutrophication [species.yr]	0,00010	0,00006	0,00004	0,00000
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Human toxicity [DALY]	185	80	63	41
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Ionising radiation [DALY]	0,159	0,081	0,078	0,000
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Metal depletion [\$]	515000	451000	25000	38700

Kategorie dopadu	Baseline Total	Aluminium	PET	Steel
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Ozone depletion [DALY]	-0,0001	0,0005	-0,0006	0,0000
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Particulate matter formation [DALY]	28,20	21,10	6,82	0,23
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Photochemical oxidant formation [DALY]	0,0087	0,0046	0,0040	0,0001
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Terrestrial acidification [species.yr]	0,0047	0,0033	0,0014	0,0000
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Terrestrial ecotoxicity [species.yr]	0,0270	0,0033	0,0112	0,0126
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Climate change, default, excl biogenic carbon [kg CO2 eq.]	1,21E+08	4,69E+07	7,28E+07	8,81E+05
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Climate change, incl biogenic carbon [kg CO2 eq.]	1,21E+08	4,69E+07	7,35E+07	8,82E+05
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Fossil depletion [kg oil eq.]	5,00E+07	1,25E+07	3,73E+07	2,54E+05
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Freshwater ecotoxicity [kg 1,4 DB eq.]	2,52E+07	2,51E+07	4,97E+04	7,33E+04
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Freshwater eutrophication [kg P eq.]	2290	1370	914	1
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Human toxicity [kg 1,4-DB eq.]	2,66E+08	1,15E+08	9,05E+07	6,00E+07
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Ionising radiation [U235 eq.]	9720000	4960000	4750000	10700
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Marine eutrophication [kg N eq.]	11000	4740	6150	80
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Metal depletion [kg Fe eq.]	7200000	6310000	350000	541000
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Ozone depletion [kg CFC-11 eq.]	0,608	0,949	-0,339	-0,002
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Particulate matter formation [kg PM10 eq.]	108000	81300	26200	891
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Photochemical oxidant formation [kg NMVOC eq.]	223000	117000	104000	2210
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Terrestrial acidification [kg SO2 eq.]	329000	230000	96100	2850
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Terrestrial ecotoxicity [kg 1,4-DB eq.]	178000	22100	72700	83400

Kategorie dopadu	Baseline Total	Aluminium	PET	Steel
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Water depletion [m3]	747000000	695000000	51700000	272000

Tabulka 14 Výsledky indikátorů endpointových i midpointových kategorií dopadu zálohového systému (DRS) - ReCiPe 1.08

Kategorie dopadu	DRS Total	Aluminium DRS	PET DRS	Steel DRS
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Ecosystems, default, excl biogenic carbon [species.yr]	1,530	0,444	1,080	0,010
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Ecosystems, incl biogenic carbon [species.yr]	1,540	0,444	1,080	0,010
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Human Health, default, excl biogenic carbon [DALY]	287	83	202	2
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Human Health, incl biogenic carbon [DALY]	289	83	203	2
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Fossil depletion [\$]	5380000	1100000	4250000	33100
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Freshwater ecotoxicity [species.yr]	0,064	0,064	0,000	0,000
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Freshwater eutrophication [species.yr]	0,00029	0,00019	0,00009	0,00000
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Human toxicity [DALY]	202	120	74	9
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Ionising radiation [DALY]	0,0302	-0,0365	0,0663	0,0004
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Metal depletion [\$]	340000	275000	41700	23300
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Ozone depletion [DALY]	0,001410	0,001430	-0,000022	0,000004
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Particulate matter formation [DALY]	22,500	14,200	8,180	0,160
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Photochemical oxidant formation [DALY]	0,0066	0,0028	0,0037	0,0001
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Terrestrial acidification [species.yr]	0,0037	0,0021	0,0016	0,0000
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Terrestrial ecotoxicity [species.yr]	0,0167	0,0073	0,0069	0,0025
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Climate change, default, excl biogenic carbon [kg CO2 eq.]	8,18E+07	2,37E+07	5,75E+07	5,55E+05

Kategorie dopadu	DRS Total	Aluminium DRS	PET DRS	Steel DRS
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Climate change, incl biogenic carbon [kg CO ₂ eq.]	8,22E+07	2,37E+07	5,79E+07	5,54E+05
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Fossil depletion [kg oil eq.]	3,26E+07	6,64E+06	2,58E+07	2,01E+05
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Freshwater ecotoxicity [kg 1,4 DB eq.]	7,73E+07	7,71E+07	1,60E+05	1,59E+04
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Freshwater eutrophication [kg P eq.]	6430	4370	2050	14
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Human toxicity [kg 1,4-DB eq.]	2,91E+08	1,72E+08	1,06E+08	1,27E+07
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Ionising radiation [U235 eq.]	1,84E+06	-2,23E+06	4,04E+06	2,23E+04
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Marine eutrophication [kg N eq.]	11200	3550	7610	82
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Metal depletion [kg Fe eq.]	4760000	3850000	584000	326000
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Ozone depletion [kg CFC-11 eq.]	2,890	2,920	-0,033	0,001
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Particulate matter formation [kg PM ₁₀ eq.]	8,66E+04	5,45E+04	3,15E+04	6,14E+02
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Photochemical oxidant formation [kg NMVOC eq.]	169000	71600	95900	1730
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Terrestrial acidification [kg SO ₂ eq.]	260000	148000	110000	2130
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Terrestrial ecotoxicity [kg 1,4-DB eq.]	110000	48500	45000	16800
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Water depletion [m ³]	419000000	377000000	41500000	414000

Po srovnání výsledků nezálohového a zálohového systému lze konstatovat, že ve většině kategoriích dopadu vykazuje zálohový systém nižší environmentální dopady, v některých vykazuje lepší výsledky systém nezálohový.

Zálohový systém (DRS) vykazuje nižší environmentální dopady v následujících kategoriích dopadu a to jak na endpointové i midpointové úrovni:

- **Klimatické změny** – na úrovni ekosystémů [species.yr] i na úrovni lidského zdraví [DALY] a rovněž na midpointové úrovni dopadu jako posilování skleníkového jevu (GWP) [CO₂ ekv.]
- **Spotřeba fosilních surovin**

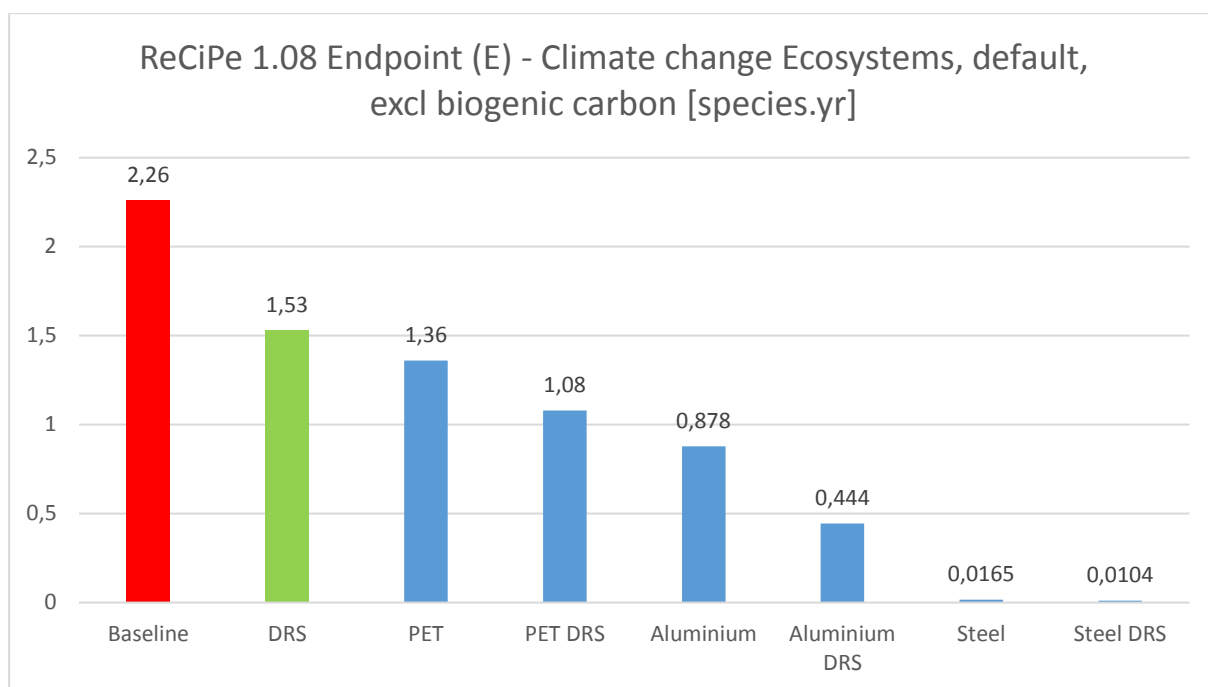
- Radiace
- Spotřeba kovů
- Tvorba prachových částic
- Tvorba fotooxidantů
- Půdní acidifikace
- Půdní ekotoxická
- Spotřeba vody

Nezálohový systém vykazuje nižší environmentální dopady ve srovnání se zálohovým systémem v následujících kategoriích dopadu:

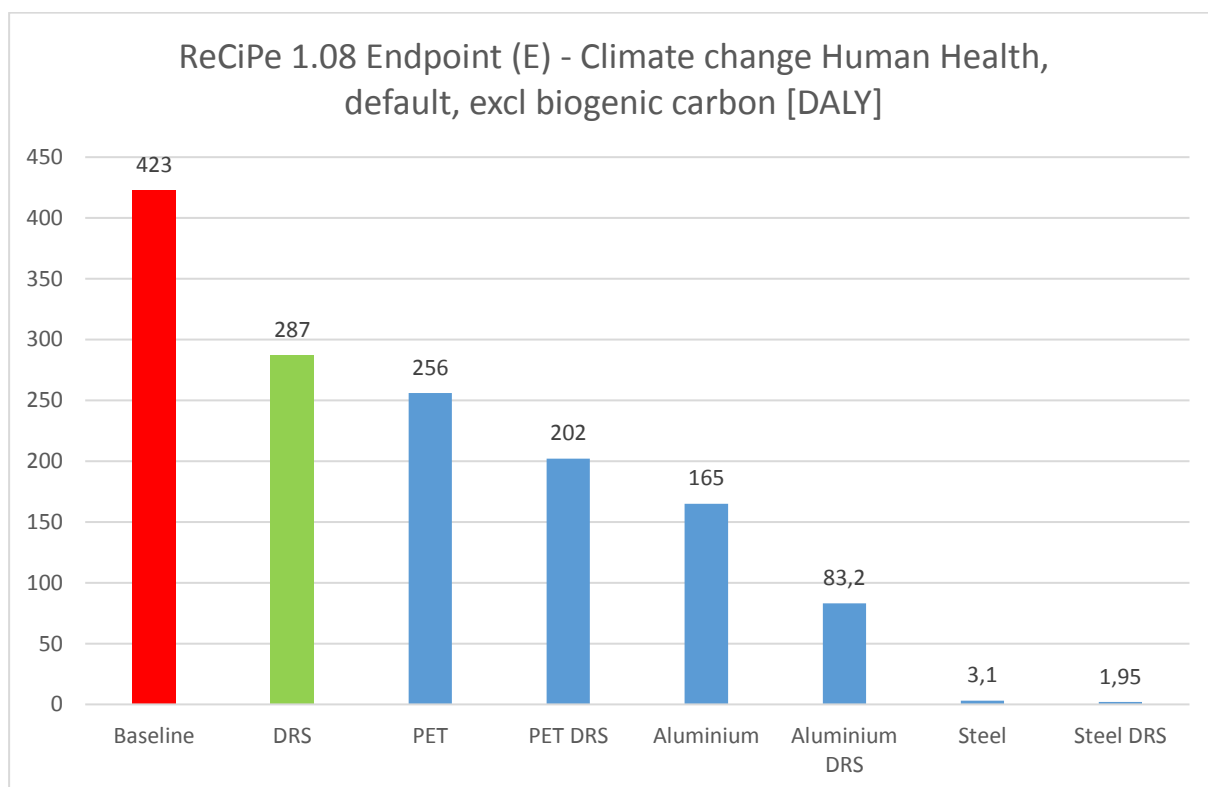
- Humánní toxicita
- Sladkovodní ekotoxická
- Sladkovodní eutrofizace
- Úbytek stratosférického ozonu

V tabulkách uvedené hodnoty je vhodné pro následnou interpretaci zobrazit graficky a zobrazit pro porovnání jednotlivých systémů. Jelikož různé kategorie dopadu mají různé jednotky i řádově rozdílné číselné hodnoty, není možné je všechny uvést v jednom souborném grafu (to bude provedeno až dále v textu pro normalizované a vážené výsledky). Následující grafy znázorňují výsledky jednotlivých scénářů životního cyklu v jednotlivých kategoriích dopadu. Jelikož trendy mezi výsledky jednotlivých scénářů na úrovni midpointů i endpointů jsou obdobné, jsou zde uvedeny pouze grafy pro endpointovou úroveň hodnocení a vybrané grafy pro midpointovou úroveň (GWP, úbytek fosilních surovin, spotřeba vody). V grafech jsou červeně znázorněny celkové hodnoty nezálohového a zálohového systému a modře příspěvky jednotlivých typů lahví (hliník, PET, ocel). Dominantní vliv na celkové výsledky mají v důsledku větších počtů lahví uvedených na trh systémy PET a hliníkových lahví, ocelové lahve přispívají k celkovým výsledkům marginálně.

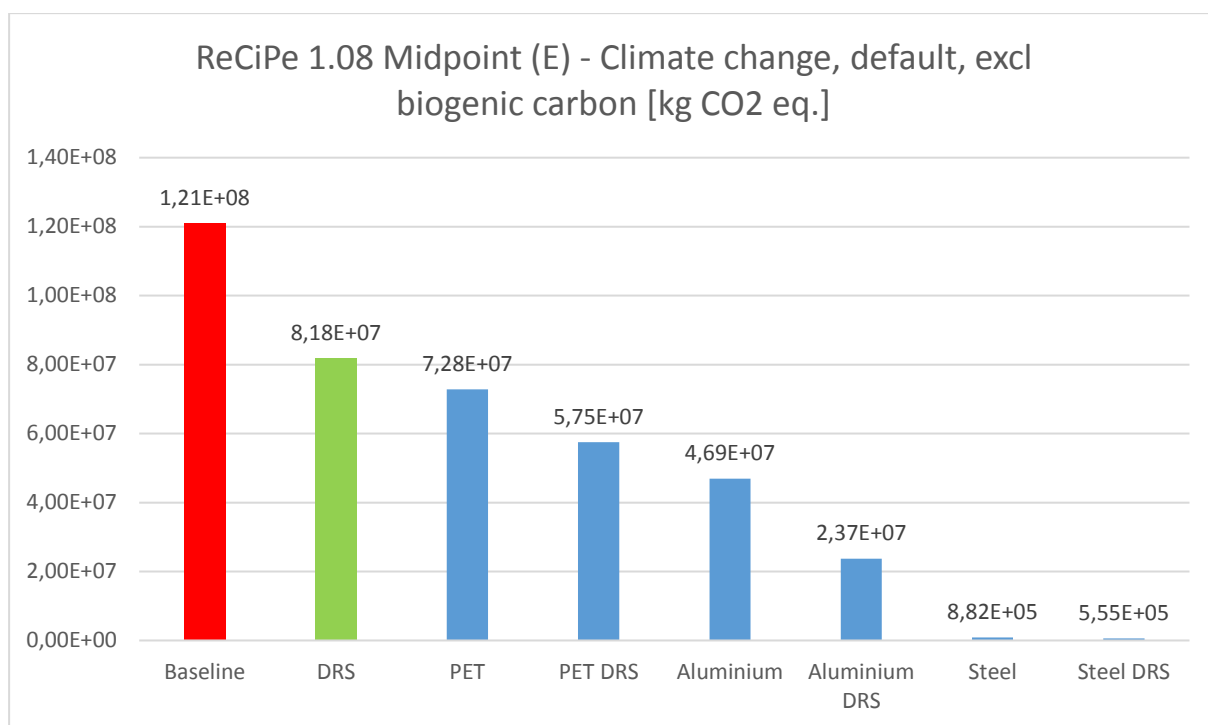
Obrázek 10 Srovnání výsledků indikátorů kategorie dopadu Klimatické změny – dopad na ekosystémy



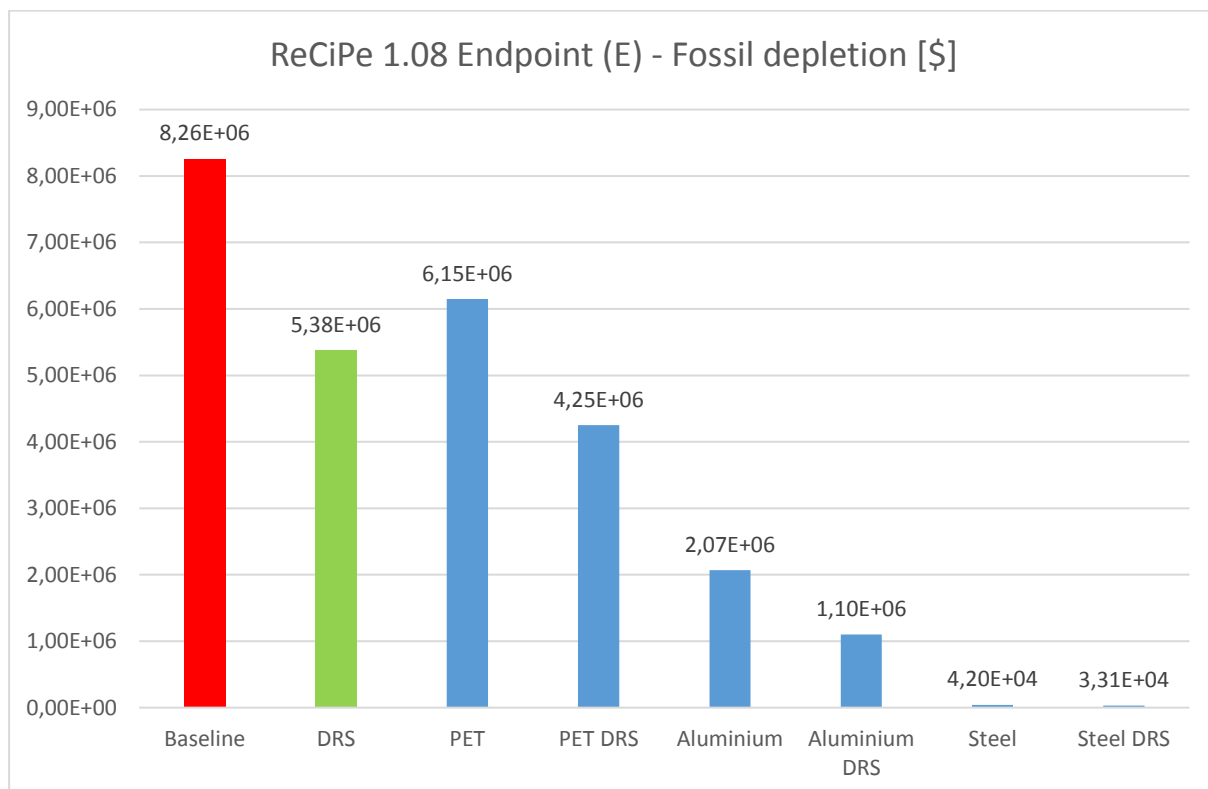
Obrázek 11 Srovnání výsledků indikátorů kategorie dopadu Klimatické změny – dopad na lidské zdraví



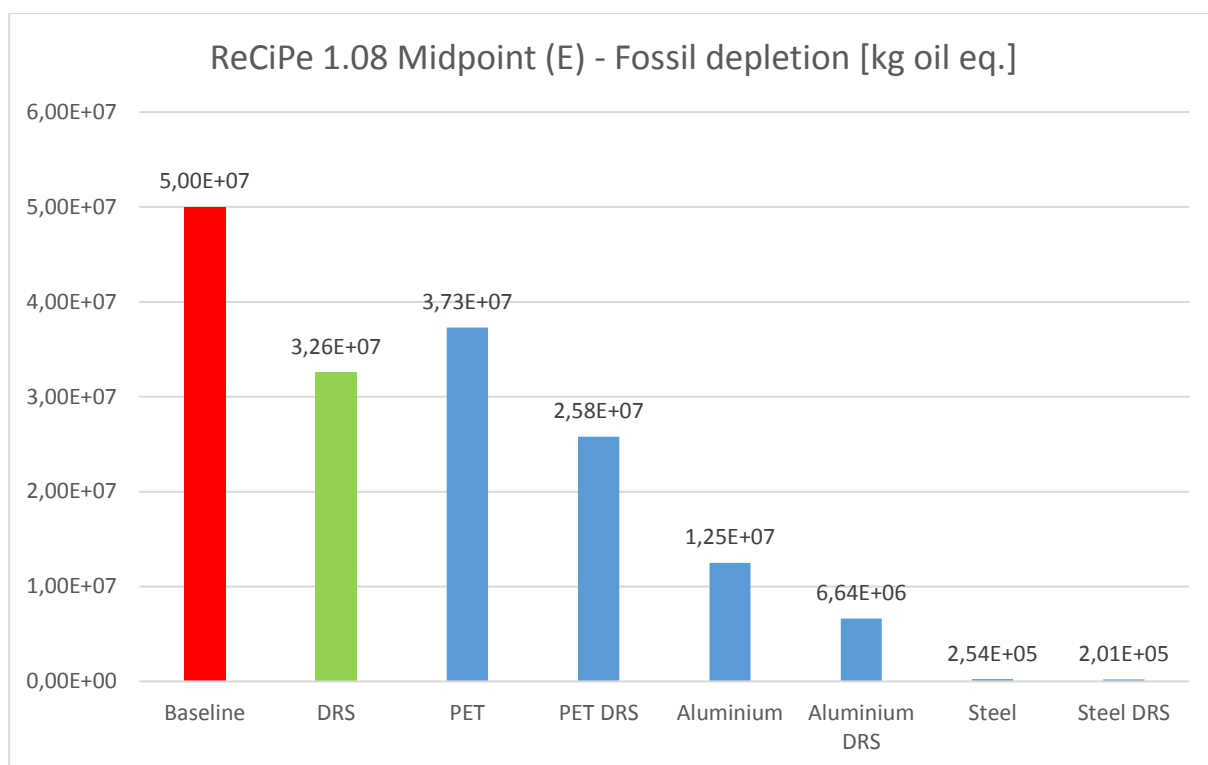
Obrázek 12 Srovnání výsledků indikátorů kategorie dopadu Posilování skleníkového jevu, GWP, CO₂ ekv.



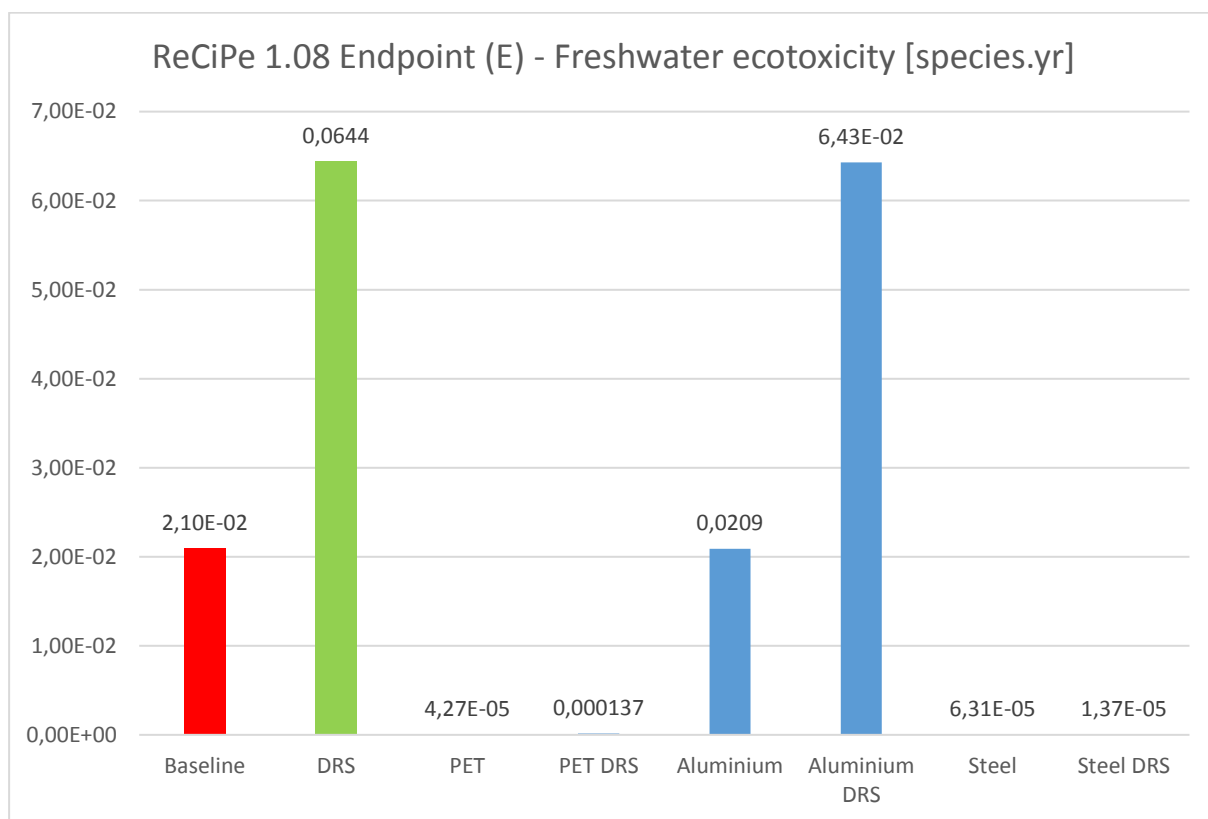
Obrázek 13 Srovnání výsledků indikátorů kategorie dopadu Spotřeba fosilních surovin [\$]



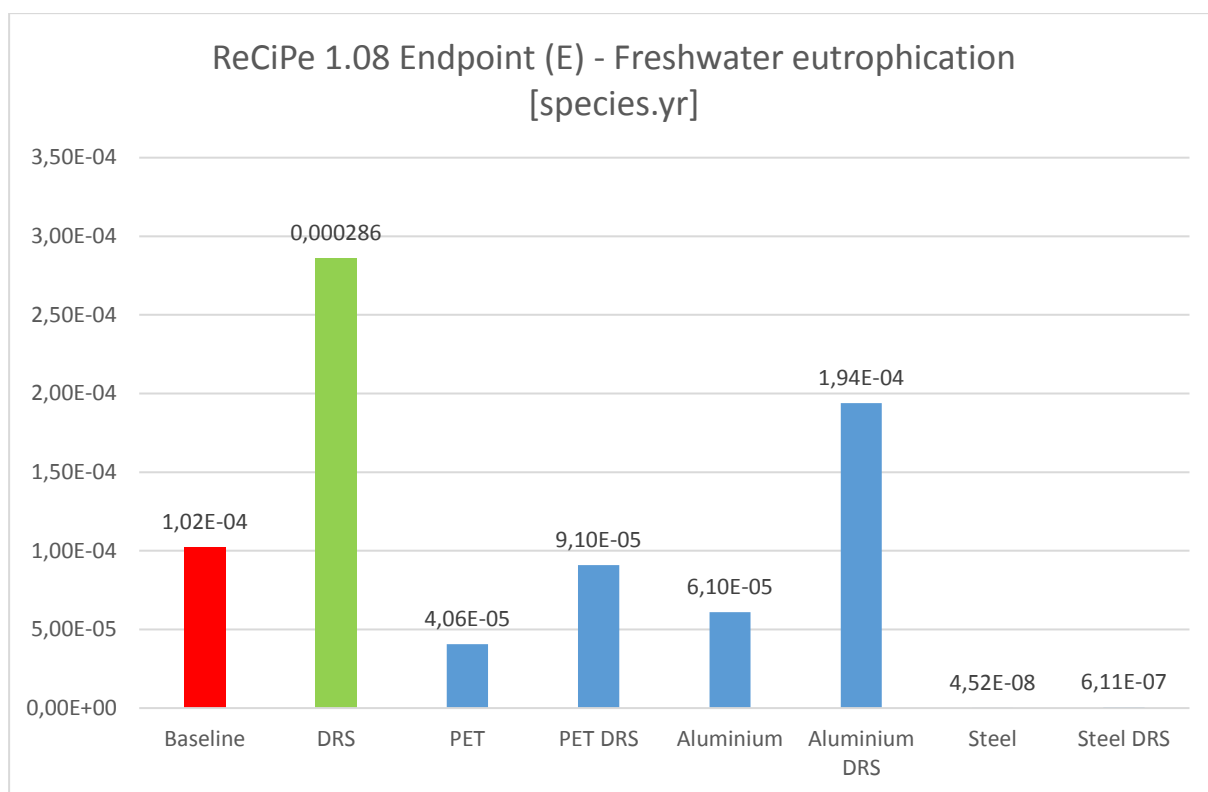
Obrázek 14 Srovnání výsledků indikátorů midpointové kategorie dopadu Spotřeba fosilních surovin [kg oil eq.]



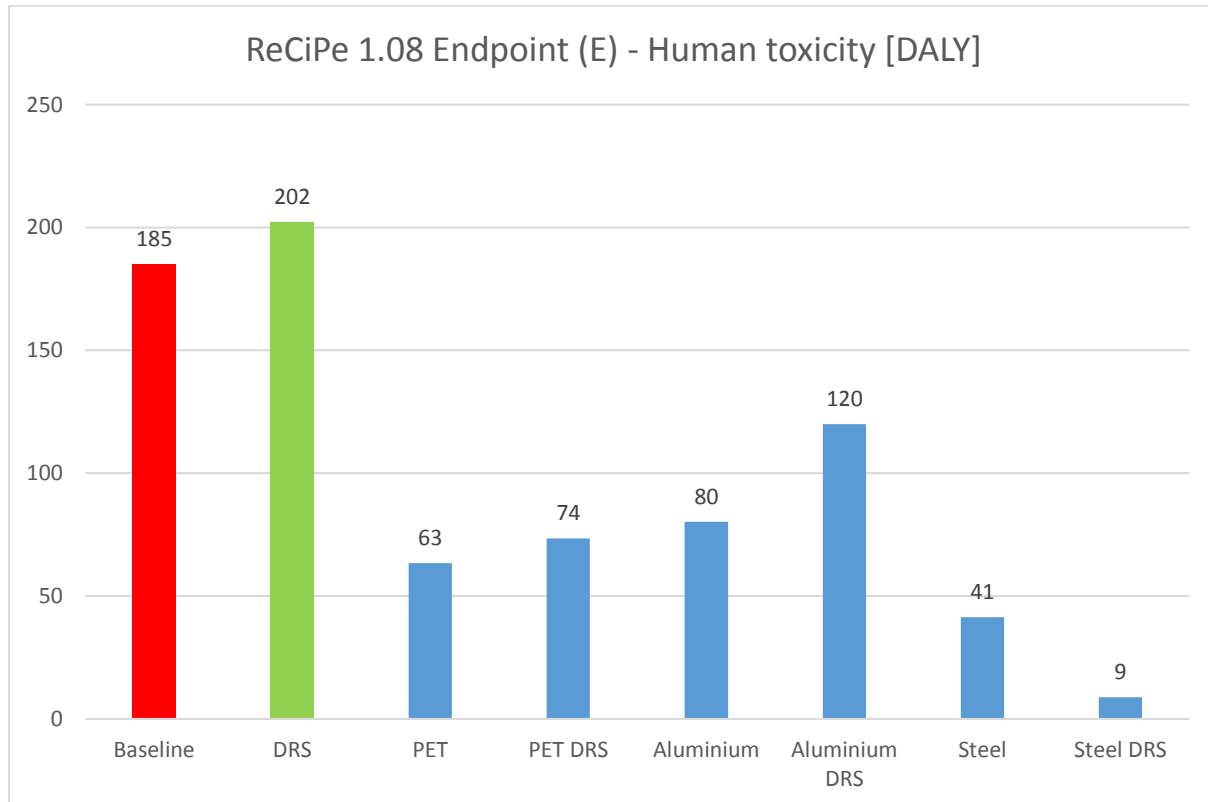
Obrázek 15 Srovnání výsledků indikátorů kategorie dopadu Sladkovodní ekotoxicita



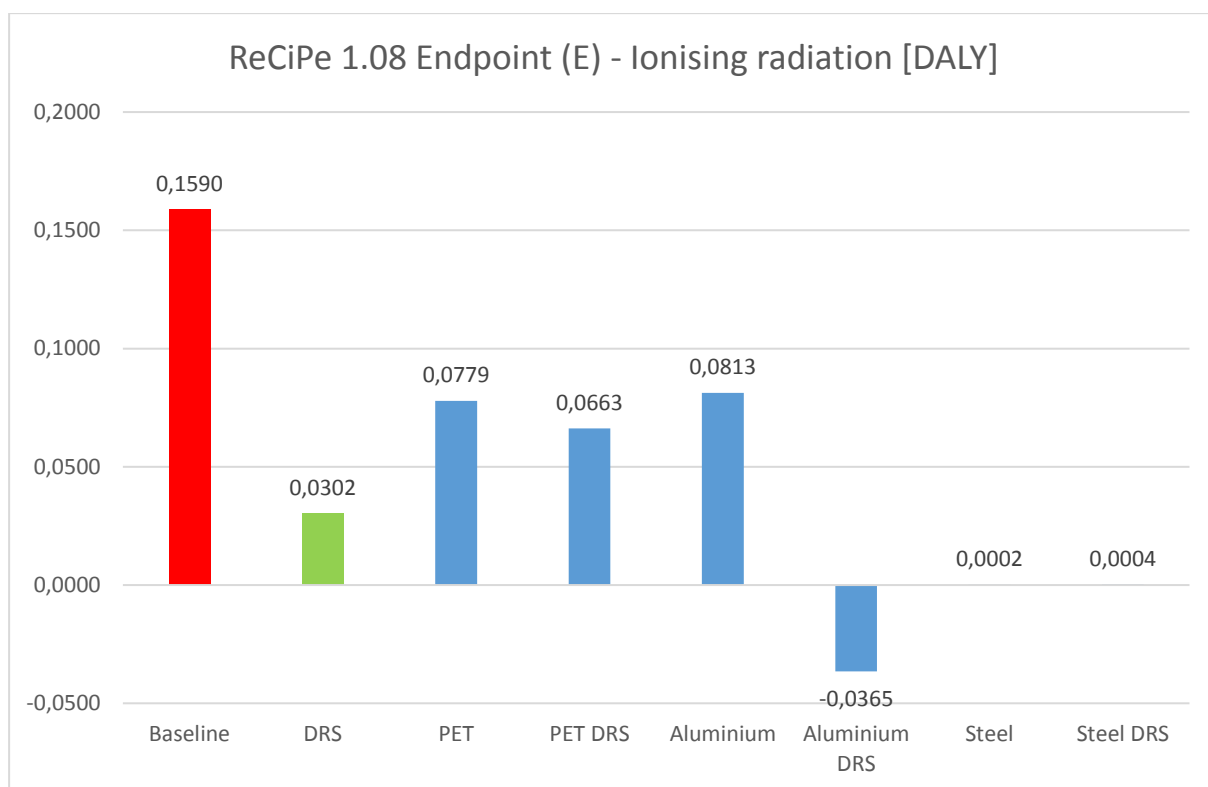
Obrázek 16 Srovnání výsledků indikátorů kategorie dopadu Sladkovodní eutrofizace



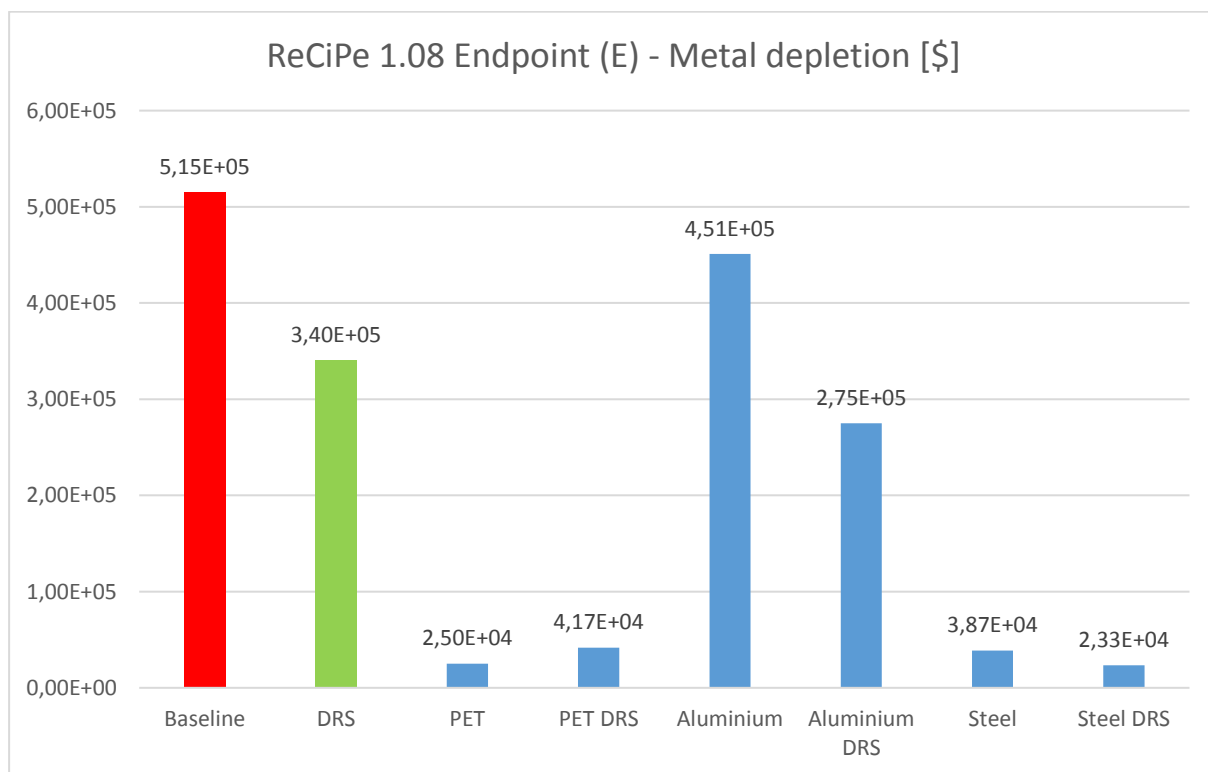
Obrázek 17 Srovnání výsledků indikátorů kategorie dopadu Humánní toxicita



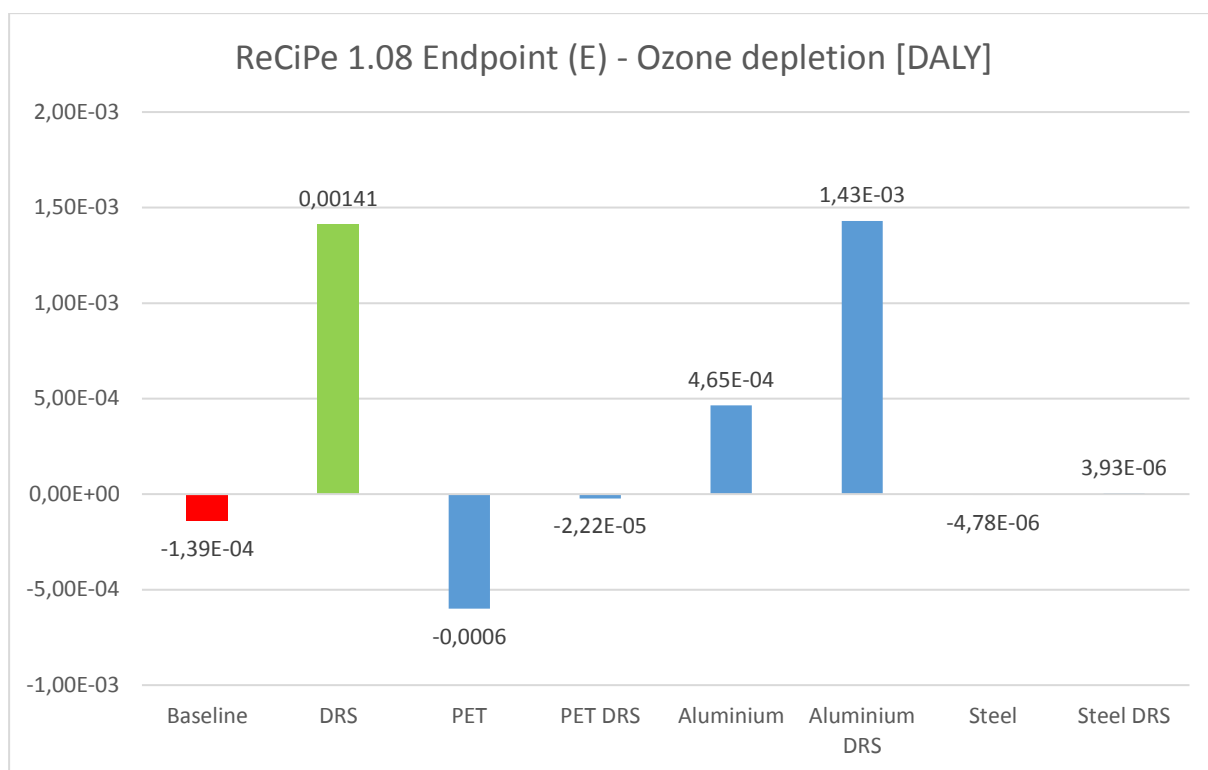
Obrázek 18 Srovnání výsledků indikátorů kategorie dopadu Radiace



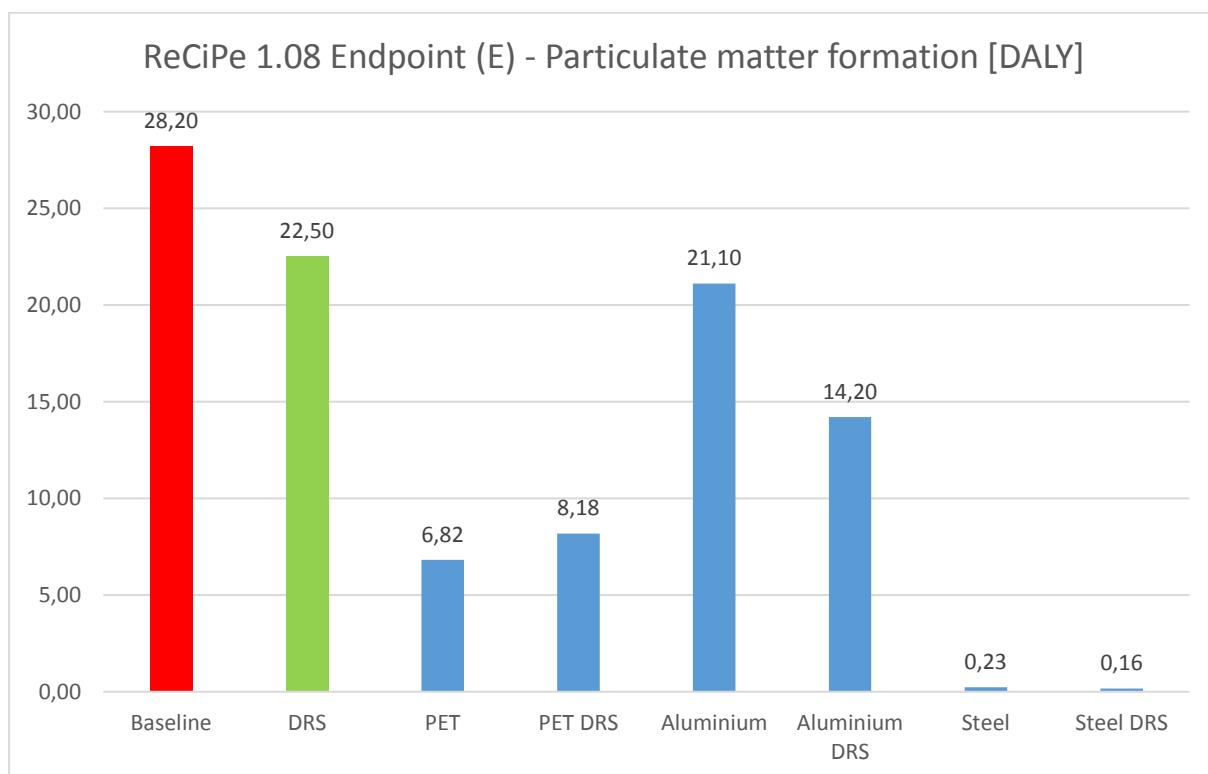
Obrázek 19 Srovnání výsledků indikátorů kategorie dopadu Spotřeba kovů



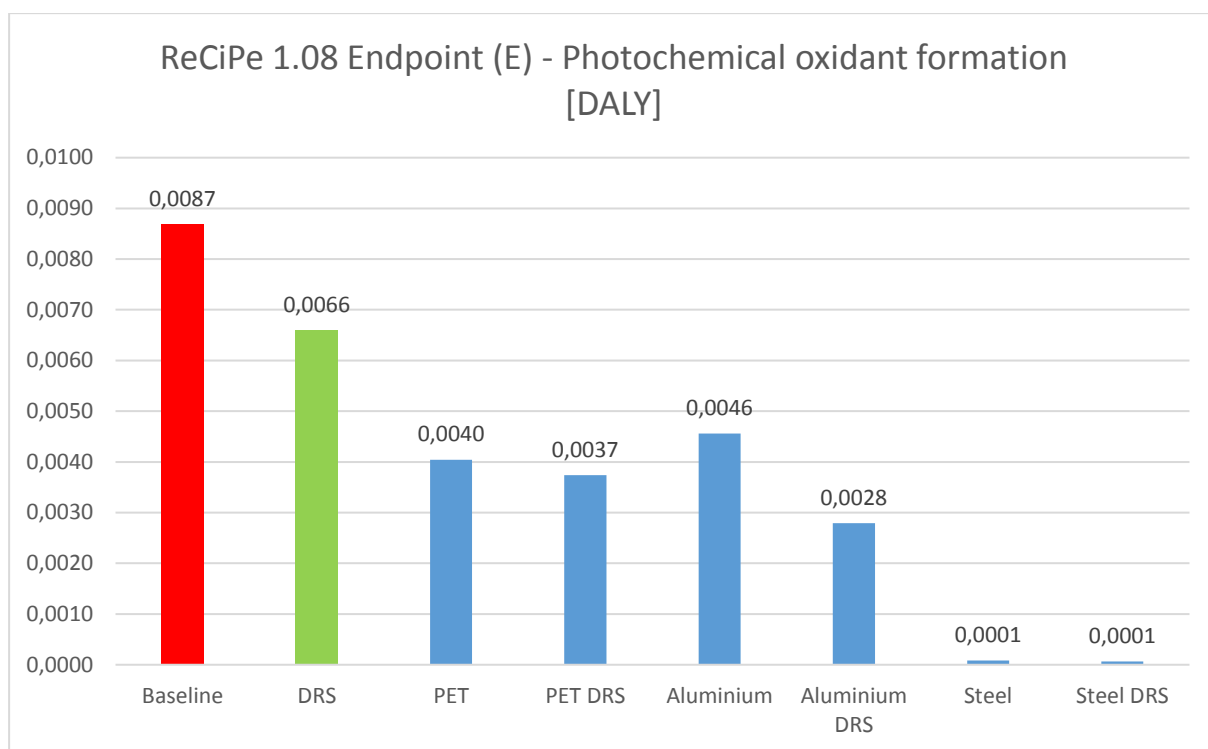
Obrázek 20 Srovnání výsledků indikátorů kategorie dopadu Ozonová díra



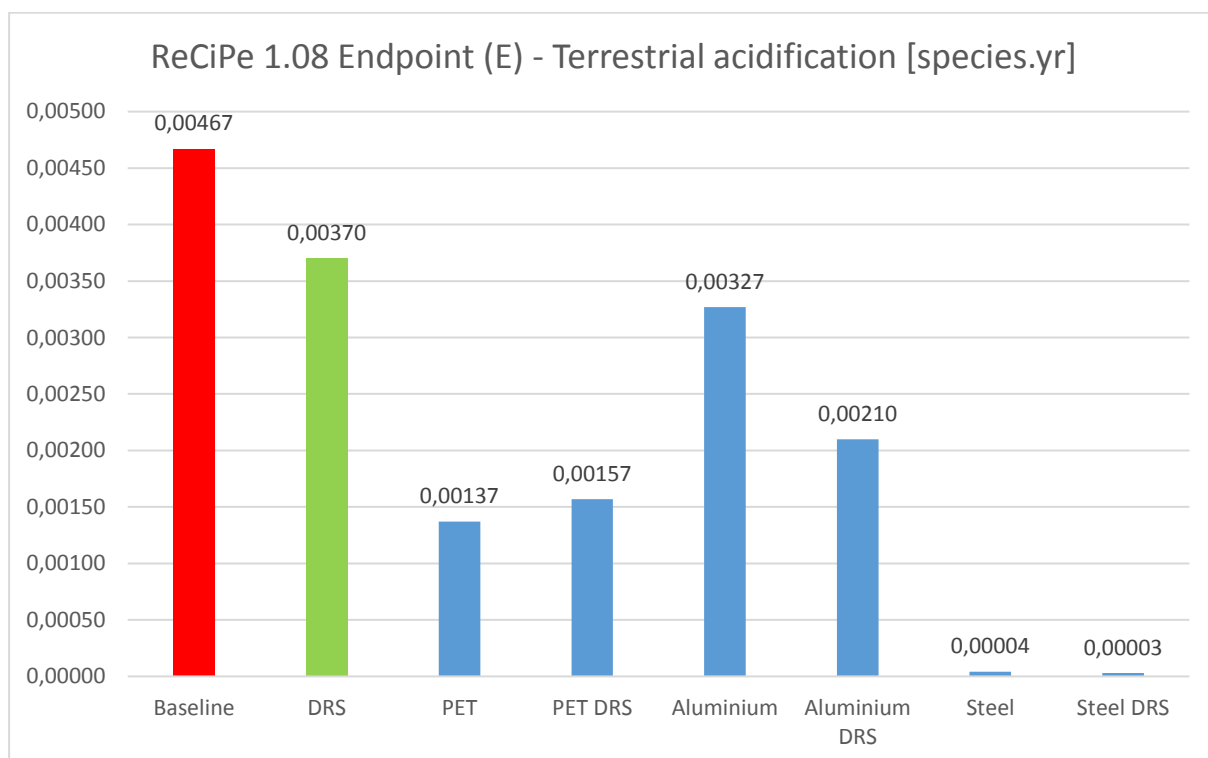
Obrázek 21 Srovnání výsledků indikátorů kategorie dopadu Tvorba prachových částic



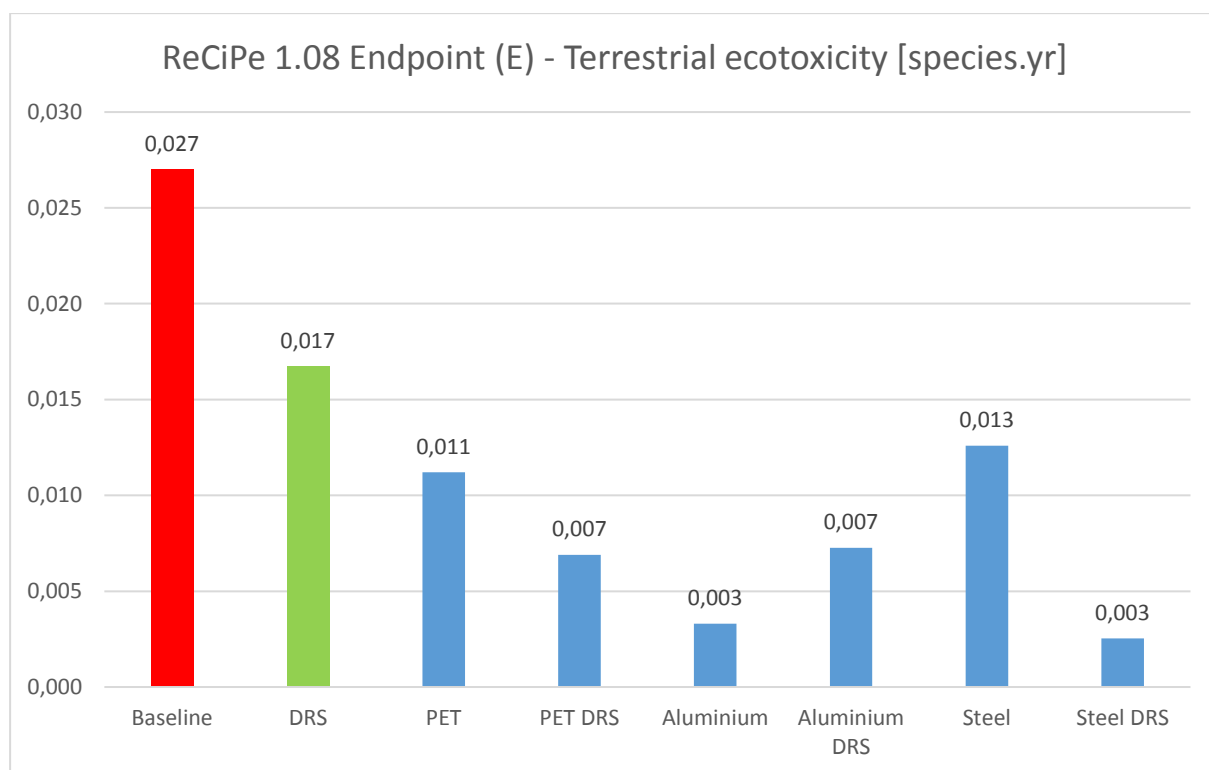
Obrázek 22 Srovnání výsledků indikátorů kategorie dopadu Tvorba fotooxidantů



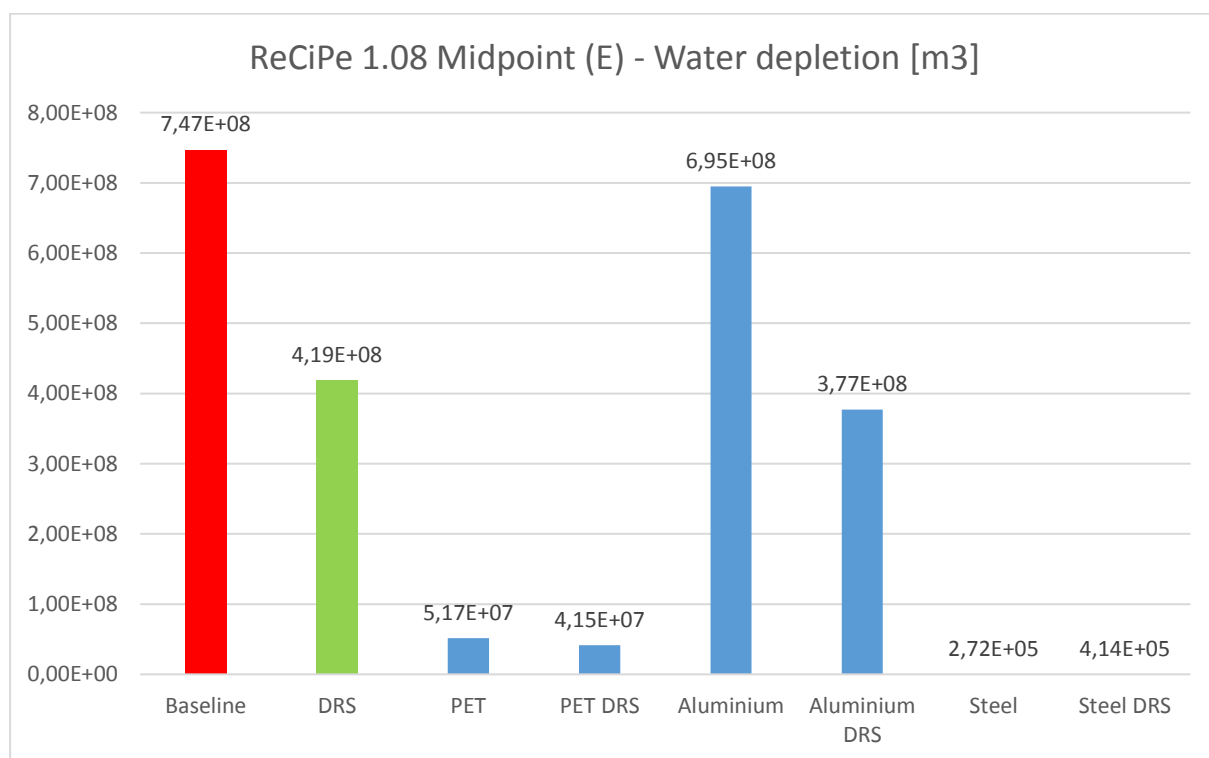
Obrázek 23 Srovnání výsledků indikátorů kategorie dopadu Půdní acidifikace



Obrázek 24 Srovnání výsledků indikátorů kategorie dopadu Půdní ekotoxicita



Obrázek 25 Srovnání výsledků indikátorů kategorie dopadu Spotřeba vody



5.2 Ověření míry shody výsledků jednotlivých systémů metodou Monte Carlo

Pro určení intervalů spolehlivosti získaných výsledků indikátorů kategorií dopadu byla použita stochastická metoda Monte Carlo. Dle odhadu materiálových toků z MFA provedených INCEN na

základě dat od EKO-KOM a.s. byla pro výpočet celkové variability systému zvolena 10% variabilita toků nežálohového i zálohového systému (viz Tabulka 1 a Tabulka 2).

Stochastickým přístupem s použitím 1000 iterací byly vypočteny průměrné hodnoty výsledků indikátorů kategorií dopadu a jejich směrodatné odchylky. Zjednodušené shrnutí tohoto výpočtu je uvedeno v následujících tabulkách.

Tabulka 15 Výstupy výpočtu variabilit metodou Monte Carlo nezálohového systému (Baseline)

Type of Flow	Impact category	Unit	Result	Mean value	Standard deviation	10% Percentil	25% Percentil	Median	75% Percentil	90% Percentil
Outputs	ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Ecosystems, default, excl biogenic carbon	species.yr	2,26E+00	2,26E+00	6,75%	2,06E+00	2,16E+00	2,26E+00	2,36E+00	2,45E+00
Outputs	ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Ecosystems, incl biogenic carbon	species.yr	2,33E+00	2,34E+00	6,56%	2,14E+00	2,24E+00	2,34E+00	2,44E+00	2,53E+00
Outputs	ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Human Health, default, excl biogenic carbon	DALY	4,23E+02	4,24E+02	6,75%	3,87E+02	4,05E+02	4,25E+02	4,43E+02	4,59E+02
Outputs	ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Human Health, incl biogenic carbon	DALY	4,38E+02	4,38E+02	6,56%	4,02E+02	4,20E+02	4,39E+02	4,58E+02	4,74E+02
Inputs	ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Fossil depletion	\$	8,26E+06	8,27E+06	12,80%	6,94E+06	7,58E+06	8,29E+06	9,02E+06	9,57E+06
Outputs	ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Freshwater ecotoxicity	species.yr	2,10E-02	2,10E-02	9,78%	1,84E-02	1,96E-02	2,10E-02	2,24E-02	2,36E-02
Outputs	ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Freshwater eutrophication	species.yr	1,02E-04	1,02E-04	6,47%	9,34E-05	9,71E-05	1,02E-04	1,06E-04	1,09E-04
Outputs	ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Human toxicity	DALY	1,85E+02	1,85E+02	5,44%	1,72E+02	1,79E+02	1,86E+02	1,92E+02	1,98E+02
Outputs	ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Ionising radiation	DALY	1,59E-01	1,59E-01	6,94%	1,46E-01	1,52E-01	1,59E-01	1,67E-01	1,74E-01
Inputs	ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Metal depletion	\$	5,15E+05	5,15E+05	3,43%	4,93E+05	5,03E+05	5,15E+05	5,27E+05	5,38E+05
Outputs	ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Ozone depletion	DALY	-1,39E-04	-1,39E-04	-67,50%	-2,59E-04	-2,03E-04	-1,39E-04	-7,64E-05	-1,44E-05
Outputs	ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Particulate matter formation	DALY	2,82E+01	2,82E+01	3,94%	2,67E+01	2,74E+01	2,82E+01	2,89E+01	2,96E+01

Type of Flow	Impact category	Unit	Result	Mean value	Standard deviation	10% Percentil	25% Percentil	Median	75% Percentil	90% Percentil
Outputs	ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Photochemical oxidant formation	DALY	8,69E-03	8,69E-03	6,33%	7,99E-03	8,34E-03	8,70E-03	9,06E-03	9,39E-03
Outputs	ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Terrestrial acidification	species.yr	4,67E-03	4,67E-03	4,10%	4,42E-03	4,55E-03	4,68E-03	4,80E-03	4,92E-03
Outputs	ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Terrestrial ecotoxicity	species.yr	2,71E-02	2,71E-02	6,13%	2,51E-02	2,59E-02	2,71E-02	2,83E-02	2,93E-02
Outputs	ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Climate change, default, excl biogenic carbon	kg CO2 eq.	1,21E+08	1,21E+08	6,75%	1,10E+08	1,16E+08	1,21E+08	1,26E+08	1,31E+08
Inputs	ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Water depletion	m3	7,55E+08	7,55E+08	3,22%	7,26E+08	7,39E+08	7,56E+08	7,72E+08	7,87E+08

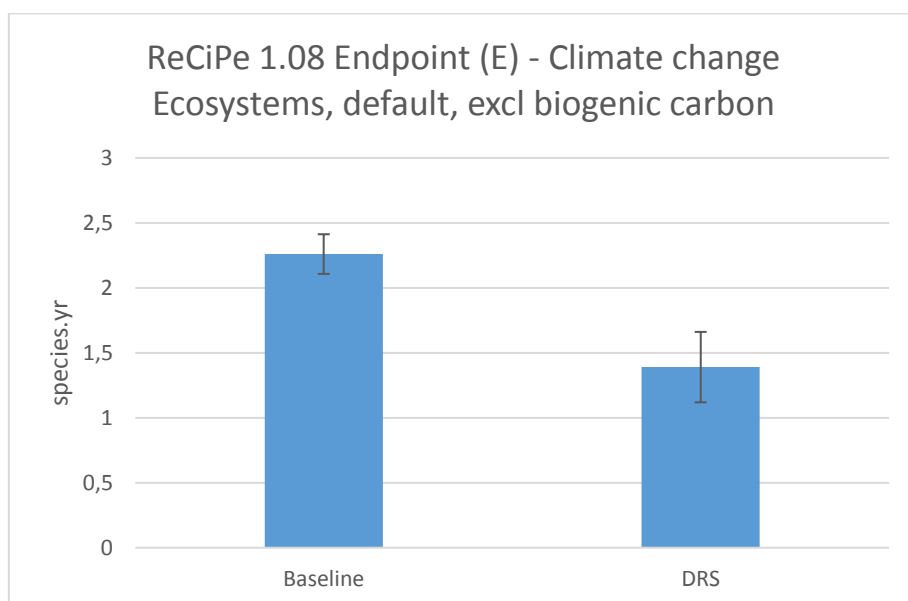
Tabulka 16 Výstupy výpočtu variabilit metodou Monte Carlo zálohového systému (DRS)

Type of Flow	Impact category	Unit	Result	Mean value	Standard deviation	10% Percentil	25% Percentil	Median	75% Percentil	90% Percentil
Outputs	ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Ecosystems, default, excl biogenic carbon	species.yr	1,41E+00	1,39E+00	19,50%	1,02E+00	1,22E+00	1,41E+00	1,58E+00	1,72E+00
Outputs	ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Ecosystems, incl biogenic carbon	species.yr	1,49E+00	1,47E+00	18,50%	1,10E+00	1,30E+00	1,49E+00	1,66E+00	1,80E+00
Outputs	ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Human Health, default, excl biogenic carbon	DALY	2,65E+02	2,61E+02	19,50%	1,92E+02	2,29E+02	2,65E+02	2,97E+02	3,23E+02
Outputs	ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Human Health, incl biogenic carbon	DALY	2,81E+02	2,76E+02	18,50%	2,07E+02	2,44E+02	2,80E+02	3,12E+02	3,38E+02

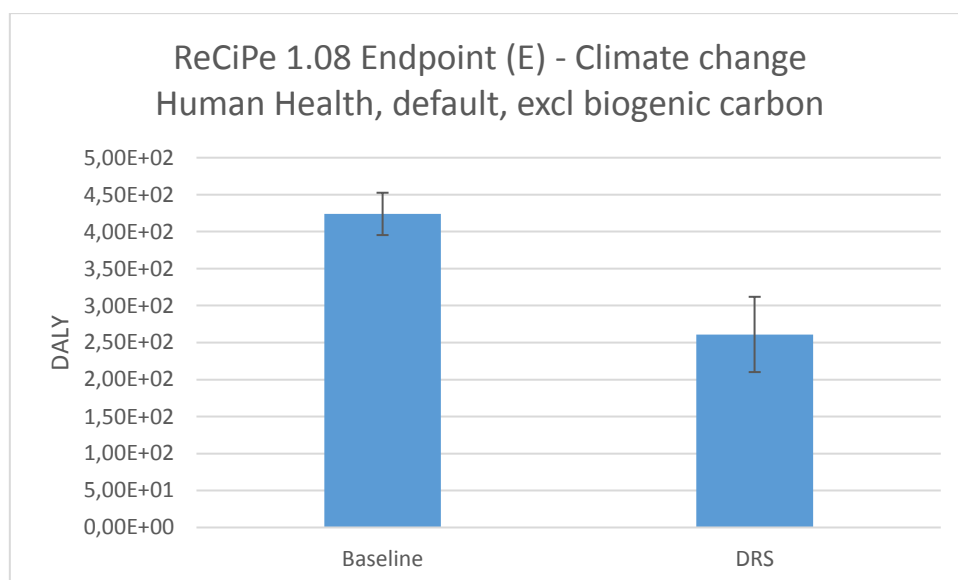
Type of Flow	Impact category	Unit	Result	Mean value	Standard deviation	10% Percentil	25% Percentil	Median	75% Percentil	90% Percentil
Inputs	ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Fossil depletion	\$	4,54E+06	4,38E+06	44,30%	1,77E+06	3,19E+06	4,52E+06	5,77E+06	6,77E+06
Outputs	ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Freshwater ecotoxicity	species.yr	6,44E-02	6,45E-02	10,50%	5,58E-02	5,99E-02	6,49E-02	6,91E-02	7,29E-02
Outputs	ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Freshwater eutrophication	species.yr	2,87E-04	2,88E-04	8,15%	2,57E-04	2,71E-04	2,88E-04	3,04E-04	3,18E-04
Outputs	ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Human toxicity	DALY	1,95E+02	1,94E+02	7,61%	1,75E+02	1,85E+02	1,95E+02	2,04E+02	2,13E+02
Outputs	ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Ionising radiation	DALY	2,50E-02	2,38E-02	111%	-1,08E-02	5,64E-03	2,35E-02	4,22E-02	5,92E-02
Inputs	ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Metal depletion	\$	3,38E+05	3,37E+05	11,80%	2,88E+05	3,11E+05	3,35E+05	3,64E+05	3,89E+05
Outputs	ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Ozone depletion	DALY	1,41E-03	1,41E-03	10,80%	1,21E-03	1,31E-03	1,42E-03	1,51E-03	1,60E-03
Outputs	ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Particulate matter formation	DALY	2,20E+01	2,19E+01	9,31%	1,92E+01	2,05E+01	2,19E+01	2,33E+01	2,46E+01
Outputs	ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Photochemical oxidant formation	DALY	6,23E-03	6,15E-03	15,60%	4,87E-03	5,53E-03	6,21E-03	6,79E-03	7,30E-03
Outputs	ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Terrestrial acidification	species.yr	3,61E-03	3,58E-03	9,87%	3,13E-03	3,34E-03	3,59E-03	3,82E-03	4,04E-03
Outputs	ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Terrestrial ecotoxicity	species.yr	1,70E-02	1,71E-02	6,51%	1,57E-02	1,64E-02	1,70E-02	1,79E-02	1,86E-02
Outputs	ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Climate change, default, excl biogenic carbon	kg CO2 eq.	7,56E+07	7,45E+07	19,50%	5,47E+07	6,52E+07	7,55E+07	8,45E+07	9,19E+07
Inputs	ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Water depletion	m3	4,45E+08	4,43E+08	14%	3,67E+08	4,02E+08	4,40E+08	4,85E+08	5,24E+08

Srovnání výsledků analýzy Monte Carlo pro oba posuzované systémy ukazují následující grafy.

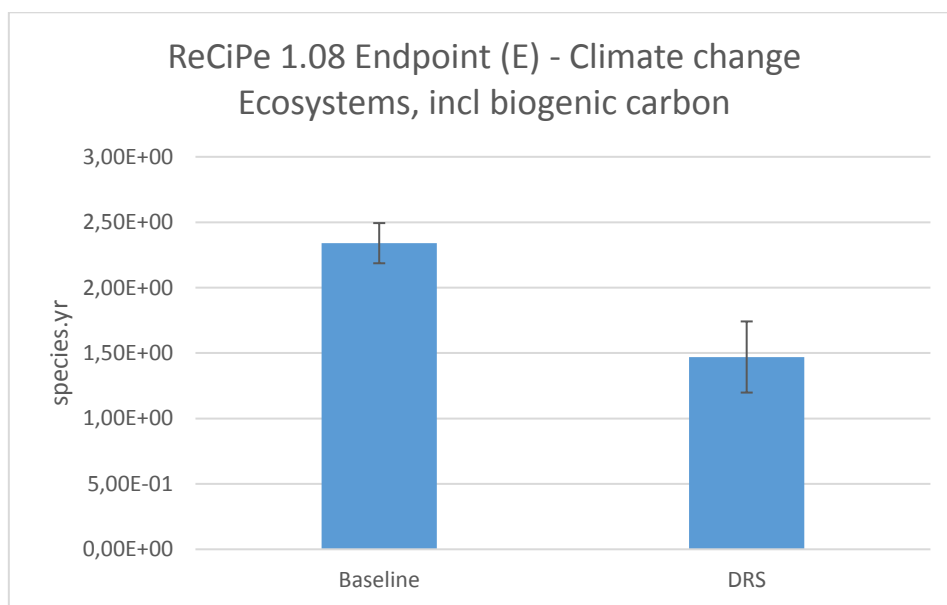
Tabulka 17 Srovnání výsledků analýzy Monte Carlo pro kategorii dopadu ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Ecosystems, excl. biogenic carbon



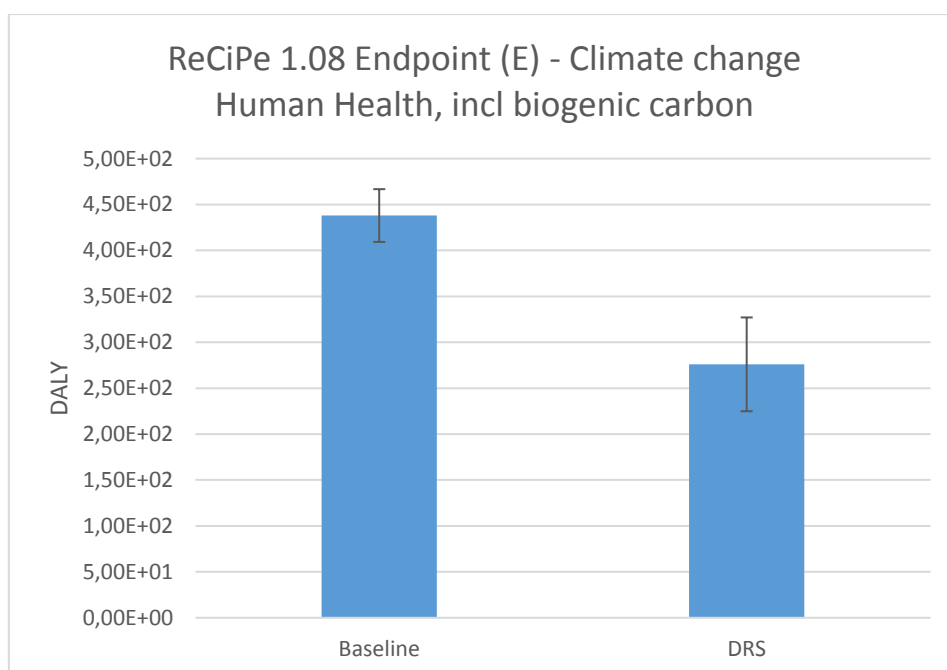
Tabulka 18 Srovnání výsledků analýzy Monte Carlo pro ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Human Health, excl. biogenic carbon



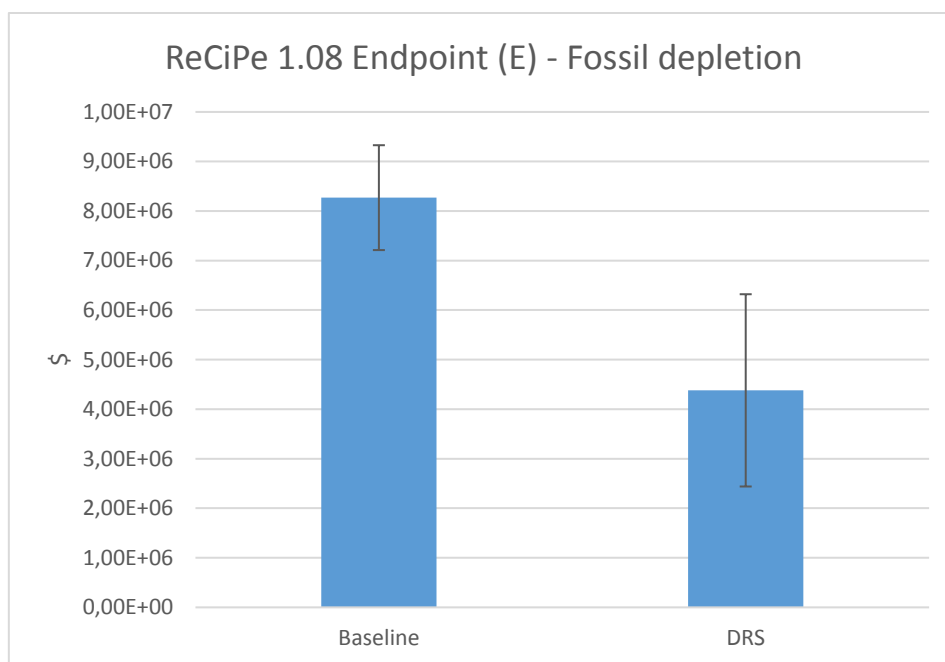
Tabulka 19 Srovnání výsledků analýzy Monte Carlo pro kategorii dopadu ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Ecosystems, incl biogenic carbon



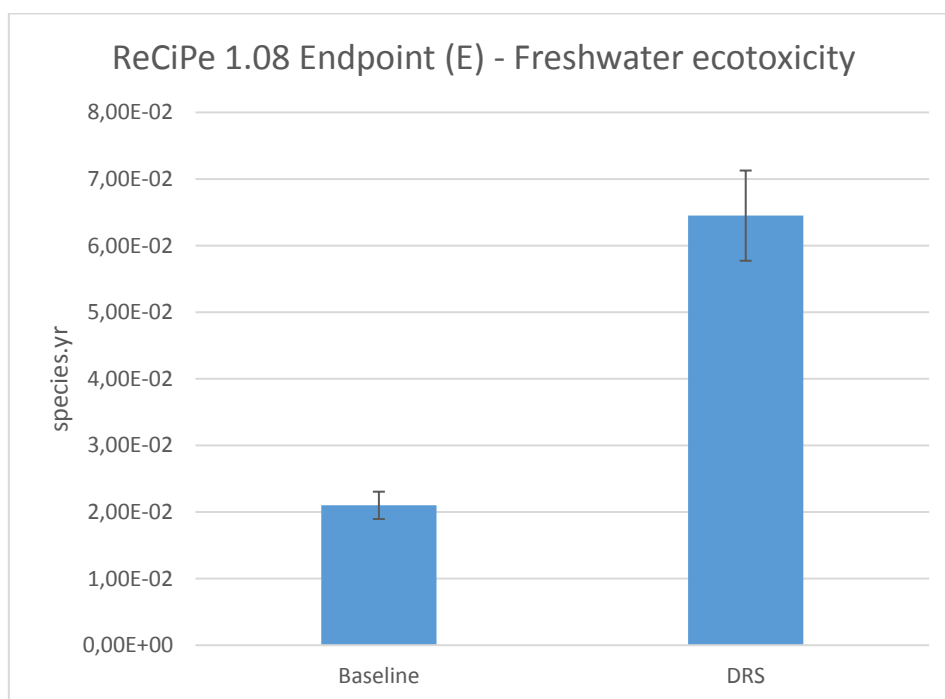
Tabulka 20 Srovnání výsledků analýzy Monte Carlo pro ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Human Health, incl biogenic carbon



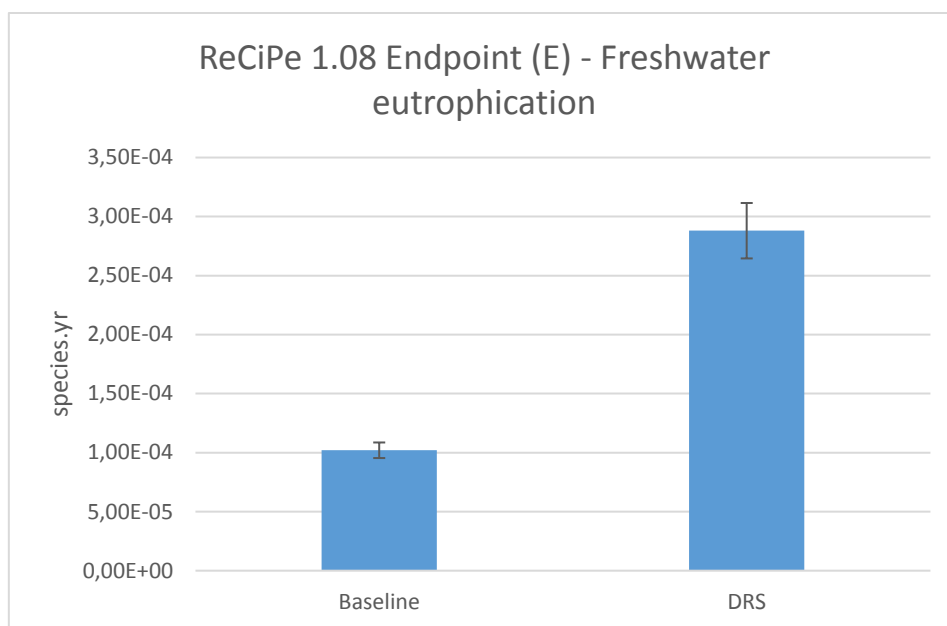
Tabulka 21 Srovnání výsledků analýzy Monte Carlo pro ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Fossil depletion



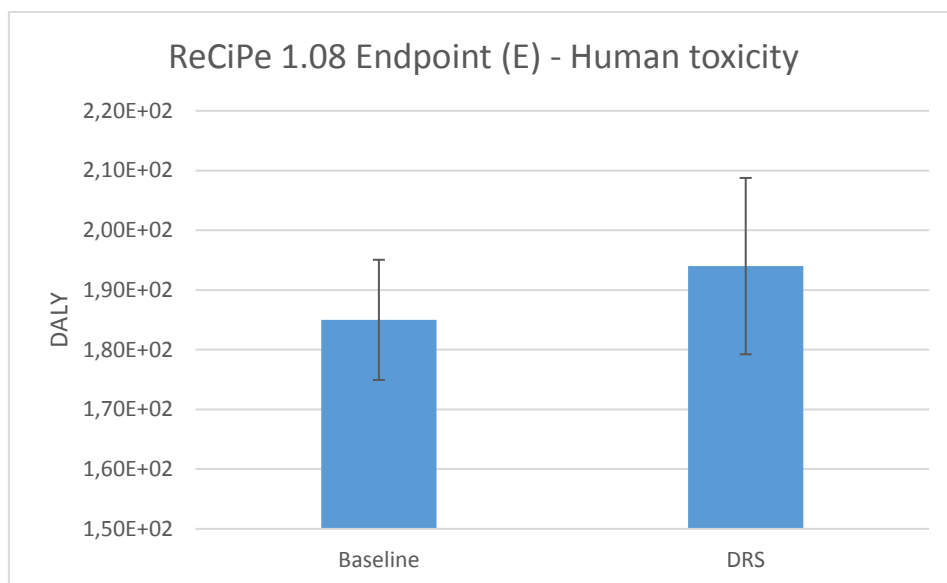
Tabulka 22 Srovnání výsledků analýzy Monte Carlo pro ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Freshwater ekotoxicity



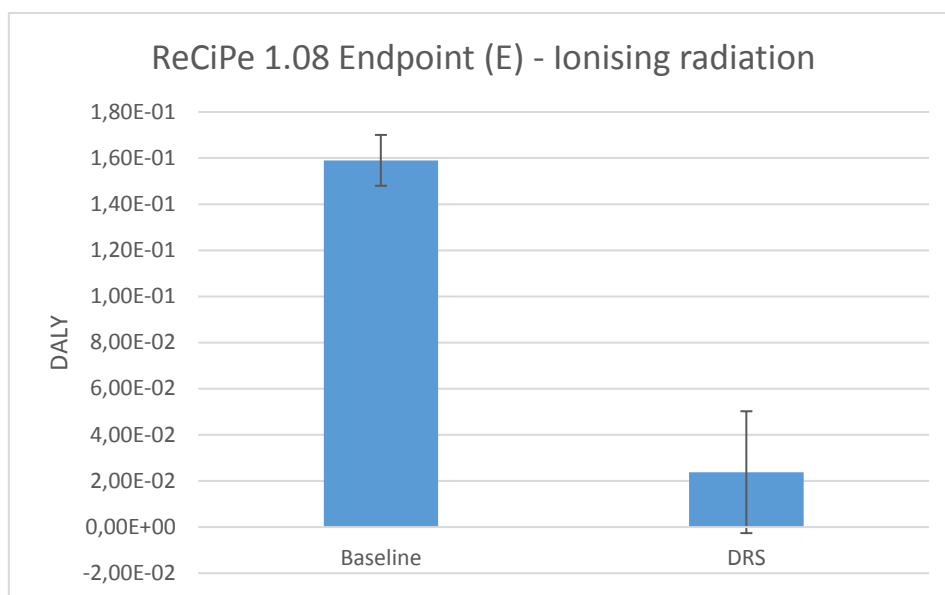
Tabulka 23 Srovnání výsledků analýzy Monte Carlo pro ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Freshwater eutrophication



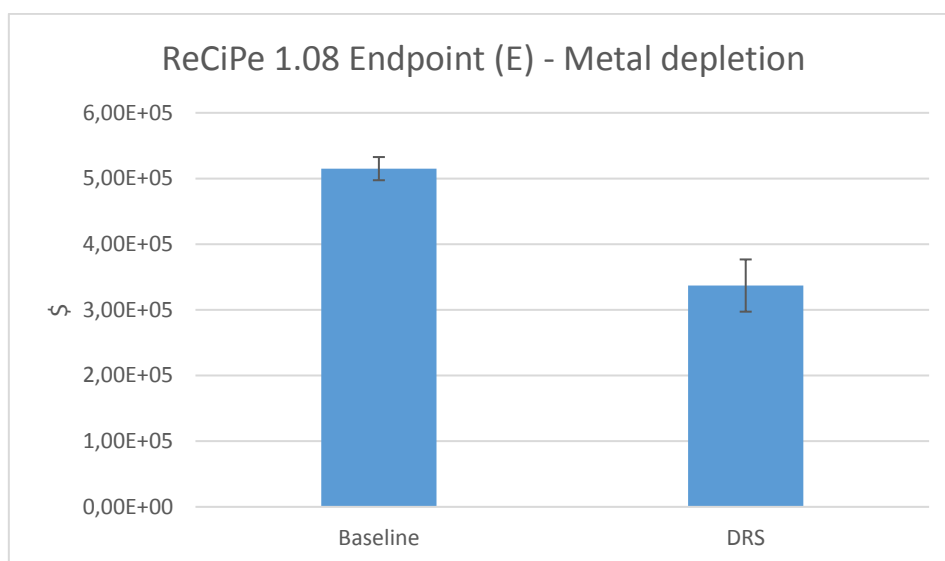
Tabulka 24 Srovnání výsledků analýzy Monte Carlo pro ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Human toxicity



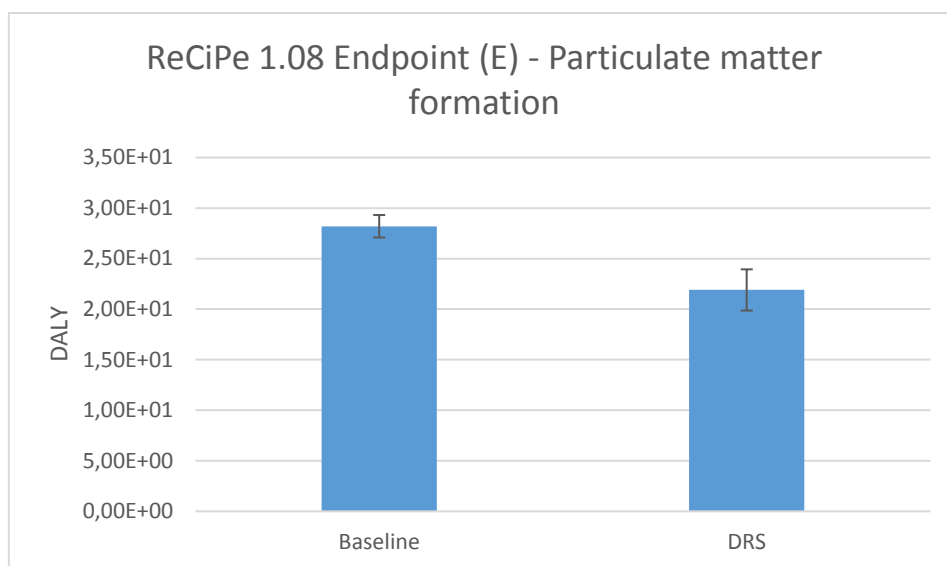
Tabulka 25 Srovnání výsledků analýzy Monte Carlo pro ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Ionising radiation



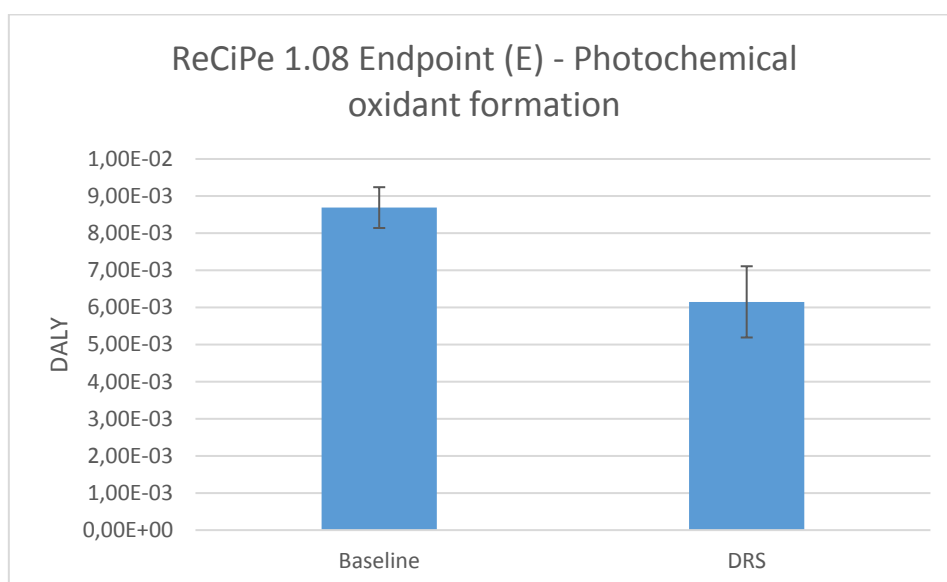
Tabulka 26 Srovnání výsledků analýzy Monte Carlo pro ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Metal depletion



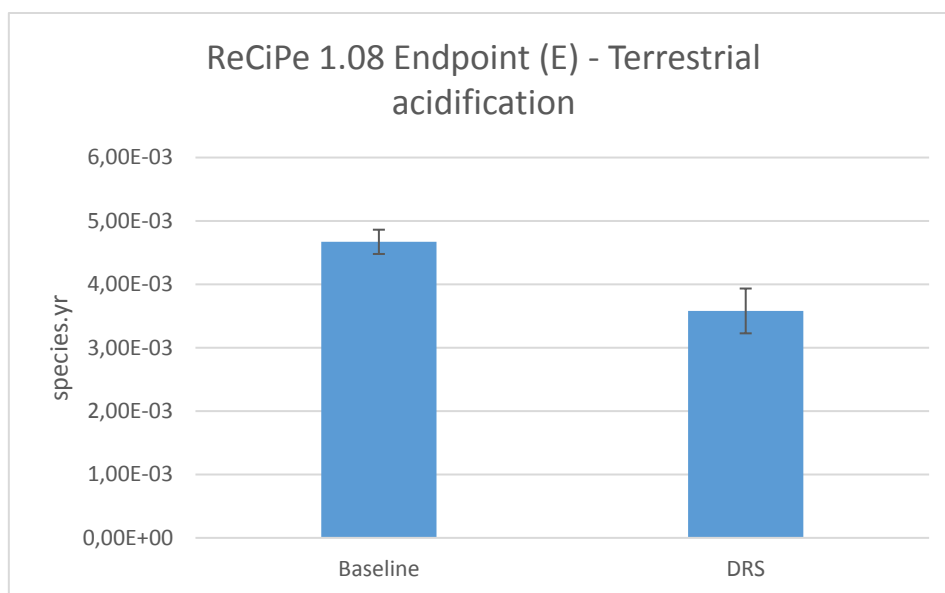
Tabulka 27 Srovnání výsledků analýzy Monte Carlo pro ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Particulate matter formation



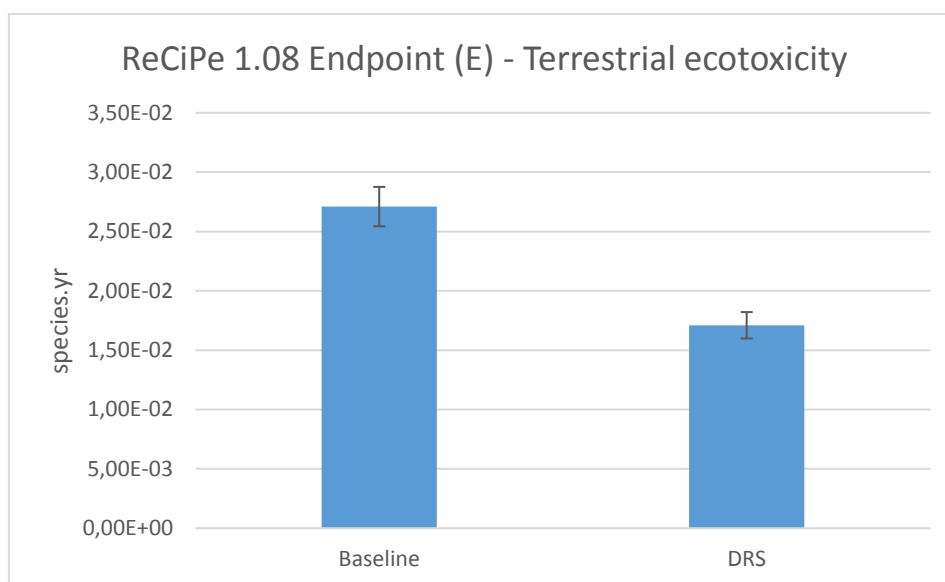
Tabulka 28 Srovnání výsledků analýzy Monte Carlo pro ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Photochemical oxidant formation



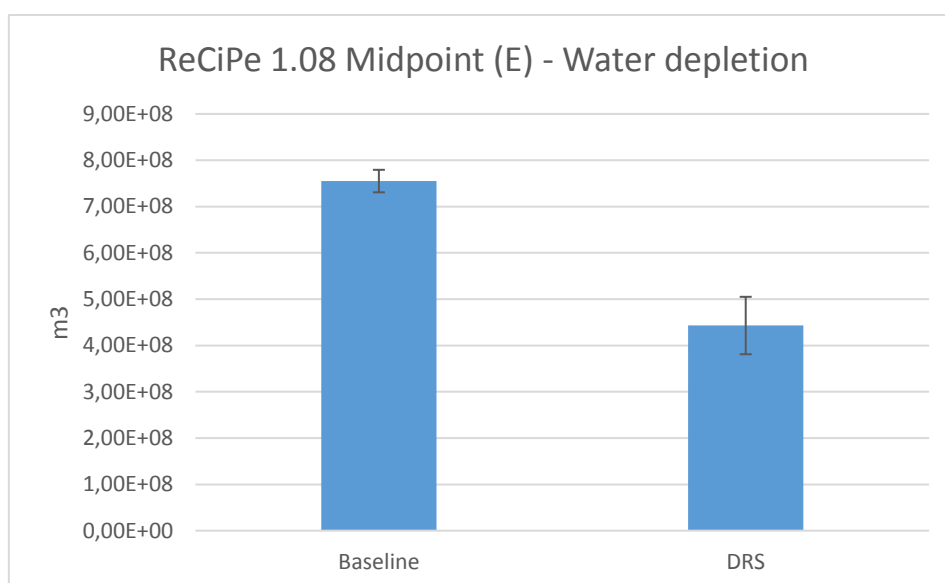
Tabulka 29 Srovnání výsledků analýzy Monte Carlo pro ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Terrestrial acidification



Tabulka 30 Srovnání výsledků analýzy Monte Carlo pro ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Terrestrial ekotoxicity.



Tabulka 31 Srovnání výsledků analýzy Monte Carlo pro ReCiPe 1.08 Midpoint (E) – Water depletion.



Z analýzy Monte Carlo vyplývá statisticky významný rozdíl mezi výsledky posuzovaných systémů ve všech hodnocených kategoriích dopadu. Výjimku tvoří kategorie dopadu humánní toxicita, kde rozdíly mezi výsledky obou systémů nejsou statisticky významné a lze je proho hodnotit jako srovnatelné. Ve většině kategoriích dopadu vykazuje nezálohový systém (Baseline) vyšší environmentální dopady než systém zálohový (DRS).

5.3 Normalizované a vážené výsledky

Jak je na předešlých grafech patrné, nevykazuje zálohový systém nakládání s použitými lahvemi nižší hodnoty ve všech kategoriích environmentálních dopadů. Pro celkové zhodnocení obou systémů bude tedy třeba vzájemně srovnat význam jednotlivých kategorií dopadu a posoudit, zda ty kategorie dopadu, ve kterých je zálohový systém horší, nemají vyšší environmentální závažnost. Pro celkové zhodnocení jednotlivých systémů je nutno vhodným způsobem interpretovat všechny kategorie dopadu současně, a to přesto, že jsou vyjádřeny v různých jednotkách. Společné hodnocení různých kategorií dopadu je v LCA s přijetím určitých omezení umožněno pomocí normalizace, kterou se výsledky indikátorů kategorií dopadu převádějí na bezrozměrná čísla a následně pomocí vážení, kterým se zohledňuje závažnost každé kategorie dopadu.

Zohlednění aktuálního významu jednotlivých kategorií dopadu se provádí vážením normalizovaných výsledků indikátorů kategorií dopadu. Normalizace a vážení výsledků indikátorů kategorií dopadu bylo provedeno pomocí odpovídající sady normalizovaných výsledků indikátorů kategorií dopadu *ReCiPe 1.08 (E), End-point Normalization, Europe, excl biogenic carbon (person equivalents)* a pomocí váhových faktorů *ReCiPe 1.08 (E/A), excl biogenic carbon (Person equivalents weighted)*. Jedná se o

poslední, aktuální, verzi normalizačních a váhových faktorů zveřejněných pro metodiky ReCiPe 1.08. Normalizované a vážené výsledky indikátorů kategorií dopadu jsou v následujících tabulkách.

Tabulka 32 Normalizované a vážené výsledky indikátorů kategorií dopadu nezálohového systému (Baseline). Pro normalizaci byly použity evropské referenční výsledky indikátorů kategorií dopadu se započtením vlivu biogenního cyklu CO₂ - ReCiPe 1.08 (E), End-point Normalization, Europe, excl. biogenic carbon (person equivalents) a pro vážení byly použity odpovídající váhové faktory - ReCiPe 1.08 (E/A), excl biogenic carbon (Person equivalents weighted).

ReCiPe 1.08 (E/A), excl. biogenic carbon (Person equivalents weighted)	Baseline Total	Aluminium	PET	Steel
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Ecosystems, excl. biogenic carbon	3,28E+06	1,28E+06	1,98E+06	2,40E+04
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Human Health, excl. biogenic carbon	4,13E+06	1,61E+06	2,49E+06	3,02E+04
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Fossil depletion	5,36E+06	1,34E+06	3,99E+06	2,72E+04
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Freshwater ecotoxicity	3,05E+04	3,04E+04	62,1	91,8
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Freshwater eutrophication	148	88,7	59,1	0,0657
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Human toxicity	1,80E+06	7,82E+05	6,19E+05	4,04E+05
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Ionising radiation	1,55E+03	793	760	1,71
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Metal depletion	3,34E+05	2,93E+05	1,62E+04	2,52E+04
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Ozone depletion	-1,36	4,54	-5,85	-0,0467
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Particulate matter formation	2,75E+05	2,06E+05	6,65E+04	2,26E+03
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Photochemical oxidant formation	84,7	44,5	39,4	0,842
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Terrestrial acidification	6,80E+03	4,75E+03	1,99E+03	58,9
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Terrestrial ecotoxicity	3,93E+04	4,80E+03	1,62E+04	1,83E+04

Tabulka 33 Normalizované a vážené výsledky indikátorů kategorií dopadu zálohového systému (DRS). Pro normalizaci byly použity evropské referenční výsledky indikátorů kategorií dopadu se započtením vlivu biogenního cyklu CO₂ - ReCiPe 1.08 (E), End-point Normalization, Europe, excl. biogenic carbon (person equivalents) a pro vážení byly použity odpovídající váhové faktory - ReCiPe 1.08 (E/A), excl biogenic carbon (Person equivalents weighted).

ReCiPe 1.08 (E/A), excl. biogenic carbon (Person equivalents weighted)	DRS Total	Aluminium DRS	PET DRS	Steel DRS
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Ecosystems, excl. biogenic carbon	2,22E+06	6,45E+05	1,56E+06	1,51E+04
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Human Health, excl. biogenic carbon	2,80E+06	8,12E+05	1,97E+06	1,90E+04
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Fossil depletion	3,49E+06	7,11E+05	2,76E+06	2,15E+04
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Freshwater ecotoxicity	9,37E+04	9,35E+04	200	19,9
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Freshwater eutrophication	416	283	132	0,889
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Human toxicity	1,97E+06	1,17E+06	7,18E+05	8,57E+04
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Ionising radiation	294	-356	647	3,56
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Metal depletion	2,21E+05	1,79E+05	2,71E+04	1,51E+04
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Ozone depletion	13,7	13,9	-0,217	0,0383
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Particulate matter formation	2,20E+05	1,38E+05	7,99E+04	1,56E+03
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Photochemical oxidant formation	64,4	27,2	36,5	0,657
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Terrestrial acidification	5,39E+03	3,06E+03	2,28E+03	44,1
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Terrestrial ecotoxicity	2,43E+04	1,06E+04	1,00E+04	3,68E+03

Pro znázornění míry významu a určení klíčových kategorií dopadu majících největší díl na celkových environmentálních dopadech posuzovaných systémů je příspěvek jednotlivých kategorií vyjádřen v následujících tabulkách procentuálně.

Tabulka 34 Určení významných environmentálních dopadů nezálohového systému (Baseline)

Kategorie dopadu	Baseline Total	Aluminium	PET	Steel
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Ecosystems, excl. biogenic carbon	21,50%	23,06%	21,57%	4,52%

Kategorie dopadu	Baseline Total	Aluminium	PET	Steel
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Human Health, excl. biogenic carbon	27,07%	29,00%	27,12%	5,68%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Fossil depletion	35,13%	24,14%	43,46%	5,12%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Freshwater ecotoxicity	0,20%	0,55%	0,00%	0,02%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Freshwater eutrophication	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Human toxicity	11,80%	14,09%	6,74%	76,04%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Ionising radiation	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Metal depletion	2,19%	5,28%	0,18%	4,74%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Ozone depletion	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Particulate matter formation	1,80%	3,71%	0,72%	0,43%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Photochemical oxidant formation	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Terrestrial acidification	0,04%	0,09%	0,02%	0,01%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Terrestrial ecotoxicity	0,26%	0,09%	0,18%	3,44%
Suma: ReCiPe 1.08 (E/A), excl. biogenic carbon (Person equivalents weighted)	100%	100%	100%	100%

Tabulka 35 Určení významných environmentálních dopadů zálohového systému (DRS)

Kategorie dopadu	DRS Total	Aluminium DRS	PET DRS	Steel DRS
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Ecosystems, incl biogenic carbon	20,10%	17,14%	21,88%	9,34%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Human Health, incl biogenic carbon	25,35%	21,58%	27,64%	11,75%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Fossil depletion	31,60%	18,90%	38,72%	13,30%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Freshwater ecotoxicity	0,85%	2,49%	0,00%	0,01%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Freshwater eutrophication	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Human toxicity	17,84%	31,10%	10,07%	53,00%

Kategorie dopadu	DRS Total	Aluminium DRS	PET DRS	Steel DRS
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Ionising radiation	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Metal depletion	2,00%	4,76%	0,38%	9,34%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Ozone depletion	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Particulate matter formation	1,99%	3,67%	1,12%	0,96%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Photochemical oxidant formation	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Terrestrial acidification	0,05%	0,08%	0,03%	0,03%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Terrestrial ecotoxicity	0,22%	0,28%	0,14%	2,28%
Suma: ReCiPe 1.08 (E/A), incl biogenic carbon (Person equivalents weighted)	100%	100%	100%	100%

Pomocí výpočtu procentuálního příspěvku dané kategorie dopadu k celkovým (normalizovaným a váženým) výsledkům environmentálních dopadů byly přibližně určeny významné kategorie dopadu mající dominantní vliv na porovnání, zda je z environmentálního pohledu výhodnější nezálohový či zálohový systém. Kategorie dopadu mající nižší příspěvek k sumě environmentálních dopadů než 1% jsou považovány za nevýznamné, minoritní. Po vyloučení minoritních kategorií dopadu budou do následujícího hodnocení zahrnuté kategorie dopadu pokrývající v sumě více než 98% environmentálních dopadů, jak to znázorňuje následující tabulka.

Tabulka 36 Podíl významných kategorií dopadu na celkových environmentálních dopadech.

Podíl na celkových environmeních dopadech	Celkem	Al	PET	Ocel
Nezálohový systém (Baseline)				
Zahrnuté kategorie dopadu (dopad každé z nich vyšší než 1%)	99,49%	99,26%	99,79%	98,53%
Nezahrnuté kategorie dopadu (dopad každé z nich nižší než 1%)	0,51%	0,74%	0,21%	3,47%
Zálohový systém (DRS)				
Zahrnuté kategorie dopadu (dopad každé z nich vyšší než 1%)	98,88%	97,15%	99,81%	97,68%
Nezahrnuté kategorie dopadu (dopad každé z nich nižší než 1%)	1,12%	2,85%	0,19%	2,32%

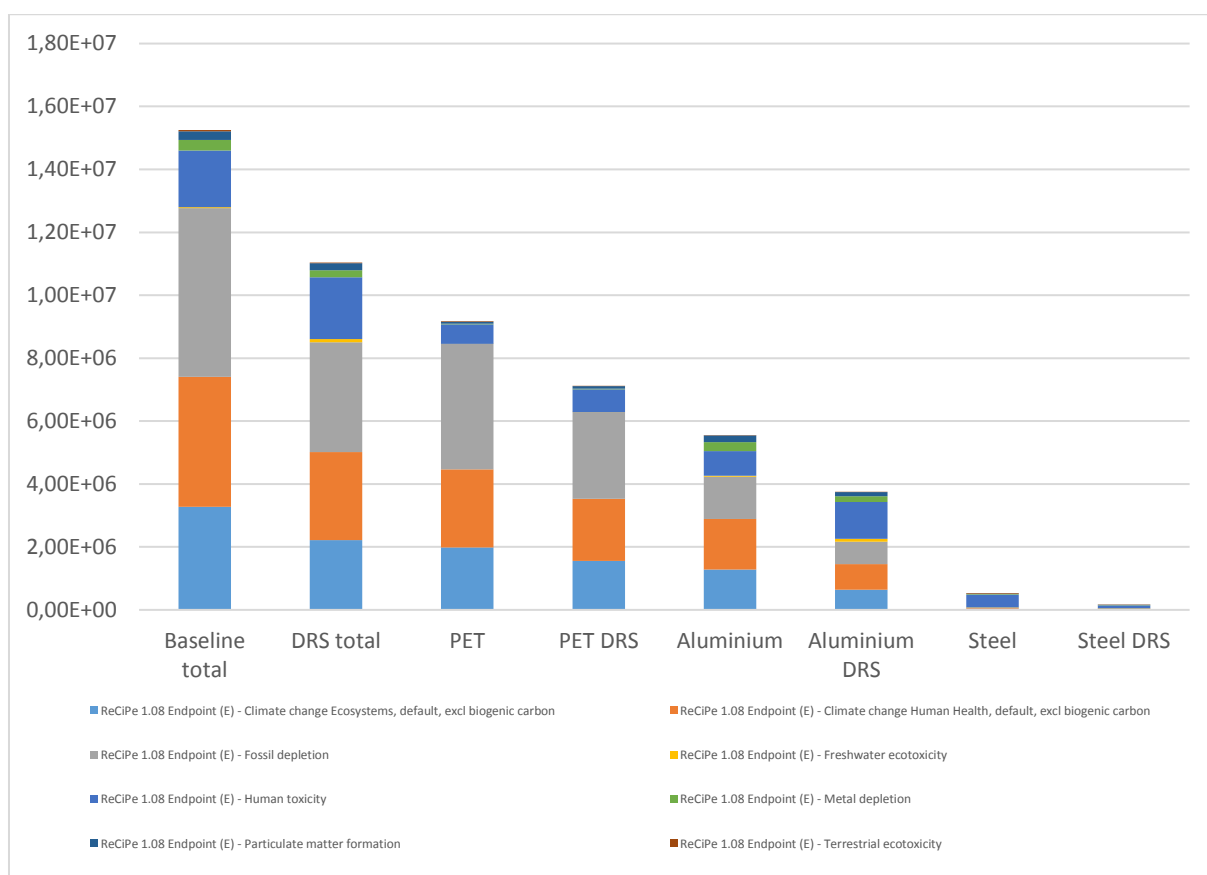
Následující kategorie dopadu tedy lze považovat pro odnocení nezálohového a zálohového systému v České republice za významné (každá z nich se podílí minimálně na 1% sumy environmentálních dopadů):

- ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Ecosystems, incl biogenic carbon

- ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Human Health, incl biogenic carbon
- ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Fossil depletion
- ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Human toxicity
- ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Metal depletion
- ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Particulate matter formation
- ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Terrestrial ecotoxicity.

Celkové zhodnocení jednotlivých scénářů umožňuje následující graf, kde jsou vyjádřeny příspěvky jednotlivých významných kategorií dopadu k celkovým environmentálním dopadům.

Obrázek 26 Srovnání nezálohového a zálohového systému pomocí sumy vážených výsledků vybraných významných kategorií environmentálních dopadů (ReCiPe 1.08 Endpoint Person equivalents weighted)



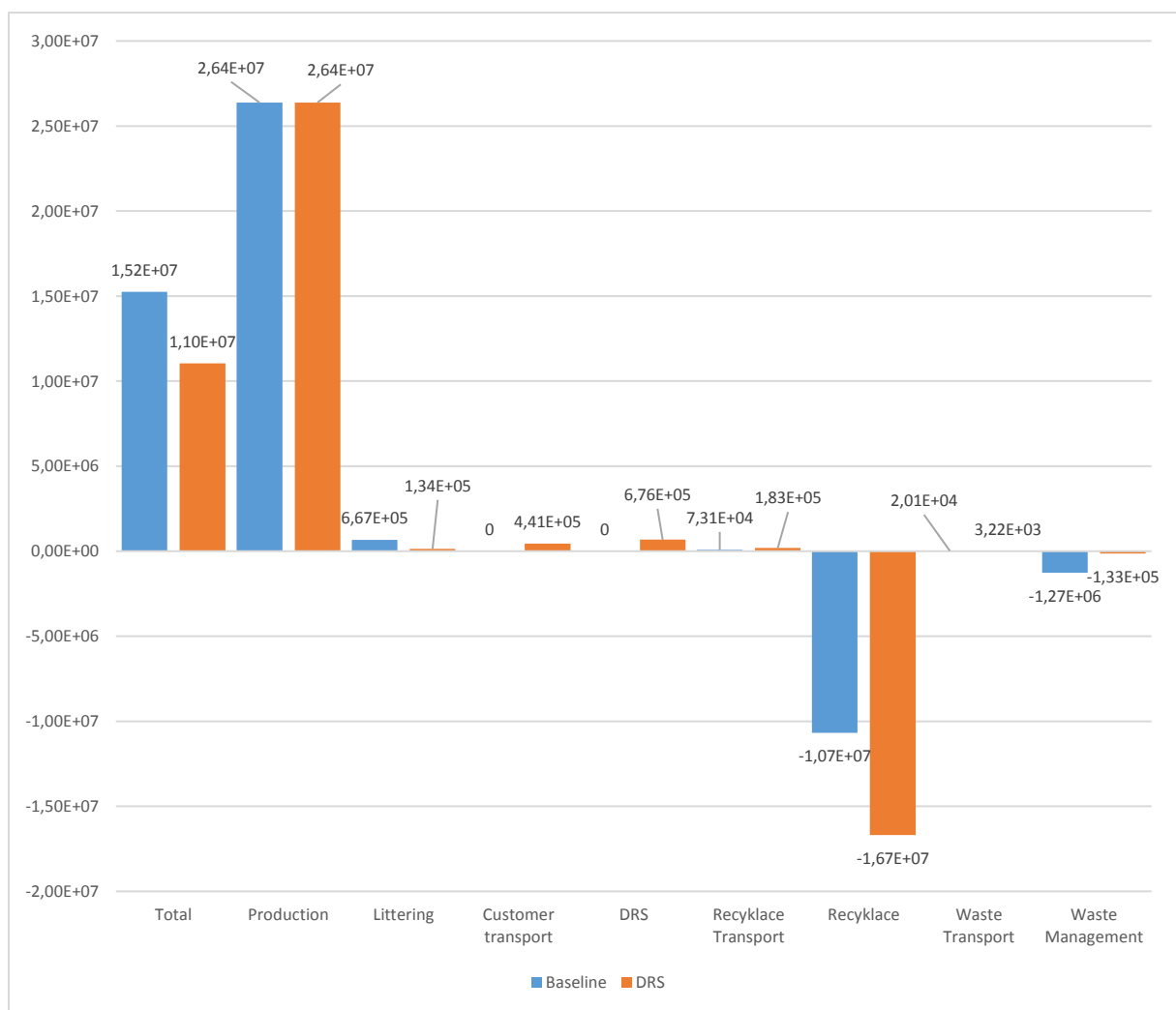
Sečtené hodnoty vážených a normalizovaných výsledků indikátorů kategorií dopadu jsou pro nezálohový systém 1,66E+07 [ReCiPe 1.08 (E/A), excl biogenic carbon (Person equivalents weighted)] a pro zálohový systém 1,04E+07 [ReCiPe 1.08 (E/A), excl biogenic carbon (Person equivalents weighted)]. **Zálohový systém vykazuje o 28% nižší hodnoty sumárních environmentálních dopadů než systém nezálohový.**

5.4 Vliv jednotlivých technologických okruhů

Pro účely dalšího zlepšování jednotlivých systémů, ať se již jedná o nezálohový či zálohový systém nakládání s lahvemi na nápoje je užitečné mít představu, které fáze či které technologické okruhy přispívají větší měrou k výsledným environmentálním dopadům. V následujícím grafu a tabulkách jsou uvedeny příspěvky jednotlivých technologických okruhů k celkovým environmentálním dopadům posuzovaných systémů. Jedná se o stejné technologické okruhy, které jsou je výše uvedených schématech označeny barevně (Obrázek 3 až Obrázek 9). Záporné hodnoty ukazují environmentální přínosy daných technologických okruhů (recyklace, energetické využití). Jedná se o případy, kdy materiálovým a energetickým využitím použitých lahví či odpadů došlo k tak zvanému odvrácení environmentálních dopadů, které by jinak nastaly, kdyby se obvyklým způsobem vyrobilo odpovídající množství materiálu či energie.

Z grafu vyplývá poznatek, že **hlavní technologické okruhy mající zásadní vliv na výsledné environmentální dopady má výroba materiálů, ze kterých jsou lahve vyrobeny (Production). Odpadové hospodářství, ale především recyklace materiálů výrazně snižuje materiálovým a energetickým využitím použitých lahví celkové environmentální dopady posuzovaných systémů. Environmentální dopady související se sběrem a dopravou zálohovaných lahví i odpadních materiálů nehrají v systému podstatnou roli.**

Obrázek 27 Grafické znázornění příspěvku jednotlivých technologických okruhů k celkovým environmentálním dopadům.



6 Interpretace studie LCA

6.1 Formulace významných zjištění

Na základě výše uvedených výsledků inventarizace životního cyklu a hodnocení environmentálních dopadů životního cyklu nezálohového a zálohového systému nakládání s použitými nápojovými lahvemi jsou formulována následující významná zjištění.

- 1) Zavedením zálohového systému na nápojové lahve by došlo k poklesu environmentálních dopadů souvisejících s balením nápojů až o 28%.**
- 2) Zálohový systém (DRS) vykazuje ve srovnání s nezálohovým systémem nižší environmentální dopady v následujících kategoriích dopadu, a to jak na endpointové, tak i na midpointové úrovni: klimatické změny/globální oteplování, spotřeba fosilních surovin, radiace, spotřeba kovů, tvorba prachových částic, tvorba fotooxidantů, půdní acidifikace, půdní ekotoxicita a spotřeba vody.**
- 3) Na celkových environmentálních dopadech nezálohového i zálohového systému se největší měrou podílejí následující kategorie dopadu: klimatické změny (globální oteplování) a to jak na úrovni ekosystémové, tak z pohledu lidského zdraví, úbytek fosilních surovin, úbytek kovů a tvorba prachových částic. Zavedením zálohového systému dochází ke statisticky významnému poklesu hodnot výsledků indikátorů environmentálních dopadů uvedených kategorií dopadu výjimkou kategorie dopadu humánní toxicita, ve které jsou oba posuzované systémy hodnoceny jako srovnatelné.**
- 4) Ze všech procesů podílejících se na systému balení a dopravy nápojů ke spotřebiteli má největší environmentální dopady proces výroby PET, respektive hliníku či oceli. Klíčovým bodem snížení environmentálních dopadů systému balení nápojů je tedy snížení materiálové náročnosti obalů či zvýšení podílu recyklovaného materiálu ve výrobě lahví.**
- 5) Hlavním okruhem životního cyklu lahví mající zásadní vliv na výsledné environmentální dopady je výroba materiálů, ze kterých jsou lahve vyrobeny (Production). Odpadové hospodářství, ale především recyklace materiálů, výrazně snižuje materiálovým a energetickým využitím použitých lahví celkové environmentální dopady posuzovaných systémů. Environmentální dopady související se sběrem a dopravou zálohovaných lahví i odpadních materiálů nehrají v systému podstatnou roli.**
- 6) Zavedení zálohového systému DRS by vedlo k 80% snížení litteringu vznikajícího z plastových lahví.**

6.2 Analýzy citlivosti – výsledky alternativních scénářů

Analýzy citlivosti slouží ve studiích LCA k ověření, zda zvolené předpoklady ovlivňují výslednou interpretaci výsledků. Ověřuje se tedy, zda jsou zjištěné výsledky platné i za jiných vstupních podmínek nebo za alternativních scénářů.

6.2.1 Analýza citlivosti na změnu hmotnosti a velikosti lahví

Jelikož je na trhu větší množství různě tvarovaných, a především různě objemných nápojových lahví, je třeba ověřit, zda získané výsledky platí i pro různé velikosti, a tedy i jednotkové hmotnosti nápojových lahví. Tato studie LCA je založena na hmotnostním toku PET, hliníkových a ocelových lahví. Velikost lahví tedy pro základní technologické celky (modelované hmotnostně) nehraje zásadní roli. Různá míra slisování lahví není brána do úvahy, má vliv především na míru naplnění svozových nákladních automobilů a ovlivňuje tedy především dopravní vzdálenosti. Změnám dopravních vzdáleností je věnována třetí analýza citlivosti (viz 6.2.3). Tato analýza citlivosti tedy postihuje především alokaci dopravy spotřebitele k výkupu lahví, která je založena na poměru hmotnosti vykupovaných lahví a hmotnosti nákupu.

Pro analýzu citlivosti výsledků na změnu hmotnosti PET lahví byly použity rozpětí hmotností lahví uváděných na trh společností Karlovarské minerální vody, a.s.¹⁵. Pro určení rozpětí hodnot pro hliníkové lahve byla použita studie Marie Tiché zpracované pro MŽP ČR¹⁶. Hmotnost jedné lahve z ocelového plechu byla použita ve shodě s partnerem projektu Eunomia⁴. Rozpětí hmotnosti ocelových lahví bylo odhadnuto na +/- 5 g. Hodnoty hmotností lahví použitých v základním scénáři i rozpětí hmotností lahví jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 37 Hmotnosti lahví v základním i v alternativních scénářích. V závorce uveden objem lahve.

	Základní scénář	Alternativní scénáře – rozpětí hmotností lahví Minimální – Maximální hmotnost
PET	31,5 g	21,7 - 46,4 g
Al	25,0 g	11,4 g – 35,0 g
Steel (na trhu minoritní)	35 g	30 - 40 g

Výsledky analýzy citlivosti jsou shrnuty v následující tabulce. Tabulka ukazuje procentuální rozdíly výsledků indikátorů kategorií dopadu alternativních scénářů, tedy výsledků určených pro minimální (Min) a maximální (Max) hmotnost jedné lahve.

¹⁵ KMV, a.s., mgr. Magda Michalíková

¹⁶ Ing. Marie Tichá MT KONZUL, LCA Nápojových obalů, Ministerstvo životního prostředí ČR, Projekt VaV: SP/II/2f1/16/07

Tabulka 38 Výsledky analýzy citlivosti na změnu hmotnosti lahví

Alternativní scénář	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Kategorie dopadu	PET DRS (21,7 g)	PET DRS (46,4 g)	Aluminium DRS (11,4 g)	Aluminium DRS (35 g)	Steel DRS (30 g)	Steel DRS (40 g)
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Ecosystems, default, excl biogenic carbon [species.yr]	0,00%	6,48%	4,25%	0,01%	0,00%	0,00%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Ecosystems, incl biogenic carbon [species.yr]	0,00%	6,48%	4,25%	0,01%	0,00%	0,00%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Human Health, default, excl biogenic carbon [DALY]	0,00%	6,44%	4,25%	0,01%	-0,51%	0,51%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Human Health, incl biogenic carbon [DALY]	0,00%	6,40%	4,25%	0,01%	-0,52%	0,52%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Fossil depletion [\$]	0,00%	6,35%	4,56%	0,01%	-0,30%	0,30%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Freshwater ecotoxicity [species.yr]	0,00%	5,84%	9,58%	0,00%	0,00%	0,00%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Freshwater eutrophication [species.yr]	0,00%	6,37%	9,58%	0,00%	0,00%	0,00%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Human toxicity [DALY]	-0,14%	6,26%	-7,54%	0,00%	0,00%	0,00%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Metal depletion [\$]	0,00%	6,24%	5,47%	0,00%	-0,43%	0,43%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Ozone depletion [DALY]	0,00%	6,31%	9,60%	0,00%	0,00%	0,00%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Particulate matter formation [DALY]	-0,12%	6,23%	6,07%	0,00%	0,00%	0,00%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Photochemical oxidant formation [DALY]	0,00%	6,42%	5,52%	0,01%	-0,30%	0,30%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Terrestrial acidification [species.yr]	0,00%	6,37%	5,85%	0,00%	-0,33%	0,33%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Terrestrial ecotoxicity [species.yr]	0,00%	6,23%	9,17%	0,00%	0,00%	0,00%

Alternativní scénář	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Kategorie dopadu	PET DRS (21,7 g)	PET DRS (46,4 g)	Aluminium DRS (11,4 g)	Aluminium DRS (35 g)	Steel DRS (30 g)	Steel DRS (40 g)
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Climate change, default, excl biogenic carbon [kg CO2 eq.]	0,00%	6,26%	4,25%	0,01%	-0,36%	0,36%
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Water depletion [m3]	0,00%	6,27%	5,09%	0,00%	0,00%	0,00%

Rozdíly mezi výsledky inidkátorů kategorií dopadu pro minimální a maximální uvažovanou hmotnost lahví oproti základnímu scénáři (PET 31,5 g; Al 25,0 g; ocel 35 g) nedosahují ani 10%¹⁷, což je méně než procentuální změna hmotnosti lahví. Výsledky analýzy citlivosti ukazují, že změna hmotnosti jedné lahve nemá zásadní vliv na výše formulovaná významná zjištění.

6.2.2 Analýza citlivosti na změnu počtu vrácených lahví

Různě velký počet vrácených lahví při jedné cestě k výkupu má vliv na množství papíru potřebného k vytištění zálohového lístku a rovněž také na alokaci environmentálních dopadů dopravy lahví do výkupu. Pro následující analýzu citlivosti byly zvoleny 3 alternativní scénáře pro DRS PET (základní scénář), z nichž každý charakterizuje jinou situaci. V prvním scénáři označeném jako „Malý nákup“ se předpokládá vrácení pouze 1 lahve na kratší vzdálenost (2 km) s nákupem o nízké hmotnosti (3 kg). Druhý scénář označený jako „Střední nákup“ popisuje situaci, kdy zákazník vrací 5 lahví na vzdálenost 30 km a pořizuje si nákup o hmotnosti 30 kg. Třetí scénář označený jako „Velký nákup“ předpokládá vrácení 20 lahví při dopravě na vzdálenost 35 km a hmotnosti nákupu 60 kg. Uvažované scénáře shrnuje následující tabulka.

Tabulka 39 Charakteristiky scénářů pro analýzu citlivosti na změnu velikosti nákupu

Scénář	Základní model (PET DRS)	Malý nákup	Střední nákup	Velký nákup
Počet vrácených lahví, ks	10	1	5	20
Dojezdová vzdálenost k vrácení lahví / k nákupu, km	15	2	30	40
Hmotnost nákupu, kg	30	3	30	60

¹⁷ Nesymetričnost rozdílů Min a Max scénáře oproti střední hodnotě není chybou, ale vyplývá ze složitosti systému.

Výsledné hodnoty analýzy citlivosti hodnocených scénářů jsou uvedeny v následující tabulce. Tabulka ukazuje procentuální rozdíly výsledků kategorií dopadu oproti základnímu scénáři (jelikož se jedná o vztažný scénář, není v tabulce uveden).

Kategorie dopadu	Malý nákup (1 lahev)	Střední nákup (5 lahví)	Velký nákup (20 lahví)
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Ecosystems, default, excl biogenic carbon [species.yr]	2,04%	6,19%	2,04%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Ecosystems, incl biogenic carbon [species.yr]	2,01%	6,08%	2,01%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Human Health, default, excl biogenic carbon [DALY]	2,04%	6,19%	2,04%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Human Health, incl biogenic carbon [DALY]	2,01%	6,08%	2,01%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Fossil depletion [\$]	1,51%	4,58%	1,51%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Freshwater ecotoxicity [species.yr]	0,12%	0,36%	0,12%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Freshwater eutrophication [species.yr]	0,30%	0,91%	0,30%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Human toxicity [DALY]	1,25%	3,78%	1,25%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Ionising radiation [DALY]	0,08%	0,25%	0,08%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Metal depletion [\$]	0,12%	0,35%	0,12%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Ozone depletion [DALY]	0,00%	0,00%	0,00%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Particulate matter formation [DALY]	2,39%	7,24%	2,39%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Photochemical oxidant formation [DALY]	3,27%	9,91%	3,27%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Terrestrial acidification [species.yr]	2,31%	6,99%	2,31%

Kategorie dopadu	Malý nákup (1 lahev)	Střední nákup (5 lahví)	Velký nákup (20 lahví)
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Terrestrial ecotoxicity [species.yr]	0,13%	0,40%	0,13%
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Climate change, default, excl biogenic carbon [kg CO2 eq.]	2,04%	6,19%	2,04%
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Water depletion [m3]	0,17%	0,52%	0,17%

Hodnoty uvedené v tabulce potvrzují platnost základního scénáře. Rozdíly alternativních scénářů jsou oproti základnímu scénáři nízké s maximální hodnotou 9,91% u alternativního scénáře *Střední nákup*, který se oproti základnímu scénáři liší dvojnásobnou dojezdovou vzdáleností. Celkový rozdíl alternativních scénářů od scénáře základního je uveden v následující tabulce.

Tabulka 40 Shrnutí analýzy citlivosti na změnu velikosti nákupu

Název scénáře	Malý nákup	Střední nákup	Velký nákup
Rozdíl oproti základnímu scénáři	1,80%	5,45%	1,80%

Alternativní scénáře velikosti nákupu a počtu vrácených lahví nemají významný vliv na formulaci významných zjištění.

6.2.3 Analýza citlivosti na změnu dopravních vzdáleností

Různé dopravní vzdálenosti realizované při svozu a dopravě lahví a odpadních materiálů či materiálů určených k materiálovému a energetickému využití vedou k rozdílným hodnotám environmentálních dopadů jednak samotné dopravy (např. emise výfukových plynů) a jednak procesů souvisejících s výrobou paliv. Dopravní vzdálenosti lze pro účely studie LCA modelovat v různém rozsahu ve snaze pokrýt zvoleným intervalem značně variabilní reálné hodnoty. Navýšením odhadovaných dopravních vzdáleností lze rovněž postihnout zvýšené dopravní nároky při svozu většího objemu lahví, který narůstá v případě, že lahve nejsou slisované či uživatelem zmáčknuté. V analýze citlivosti získaných výsledků na změnu přepravních vzdáleností byly uvažovány alternativní dopravní vzdálenosti v hodnotách 0% (hypotetický scénář s nulovou dopravou), 50%, 150% a 300% původního základního scénáře. Na tomto místě je třeba připomenout, že již základní scénář počítá s konzervativními, tedy vyššími odhady přepravních vzdáleností (viz 4.2.2).

Tabulka 41 Dopravní vzdálenosti použité v analýze citlivosti

Typ dopravy	DRS – zálohový systém
-------------	-----------------------

	Základní scénář (alternativní dopravní vzdálenosti)
Svoz odpadu v kontejnerech	35 (17,5; 52,5; 105) km
Doprava na skládku	20 (10; 30; 60) km
Doprava k energetickému využití odpadu (ZEVO, cementárna)	150 (75; 225; 450) km
Doprava do sběrného centra	250 (125; 375; 750) km
Doprava do recyklační linky	150 (75; 225; 450) km

Následující tabulka ukazuje výstupy analýzy citlivosti výsledků ke změně dopravních vzdáleností. K výraznější změně výsledků na úrovni 2,62% dochází pouze u kategorie dopadu klimatické změny, respektive posilování skleníkového jevu a to ovšem pouze až u poměrně extrémního scénáře, ve kterém jsou uvažovány dvojnásobné přepravní vzdálenosti oproti základnímu scénáři. Změna přepravních vzdáleností tedy nevede k významným změnám v interpretaci výsledků studie.

Tabulka 42 Výsledky analýzy citlivosti na změnu dopravních vzdáleností

Kategorie dopadu	Alternativní scénáře			
	0%	50%	150%	200%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Ecosystems, default, excl biogenic carbon [species.yr]	-2,62%	-1,31%	1,31%	2,62%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Ecosystems, incl biogenic carbon [species.yr]	-2,57%	-1,29%	1,29%	2,57%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Human Health, default, excl biogenic carbon [DALY]	-2,62%	-1,31%	1,31%	2,62%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Climate change Human Health, incl biogenic carbon [DALY]	-2,57%	-1,29%	1,29%	2,57%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Fossil depletion [\$]	-1,94%	-0,97%	0,97%	1,94%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Freshwater ecotoxicity [species.yr]	-0,15%	-0,08%	0,08%	0,15%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Freshwater eutrophication [species.yr]	-0,39%	-0,19%	0,19%	0,39%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Human toxicity [DALY]	-1,60%	-0,80%	0,80%	1,60%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Ionising radiation [DALY]	-0,11%	-0,05%	0,05%	0,11%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Metal depletion [\$]	-0,15%	-0,07%	0,07%	0,15%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Ozone depletion [DALY]	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Particulate matter formation [DALY]	-1,11%	-0,56%	0,56%	1,11%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Photochemical oxidant formation [DALY]	-1,18%	-0,59%	0,59%	1,18%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Terrestrial acidification [species.yr]	-1,08%	-0,54%	0,54%	1,08%
ReCiPe 1.08 Endpoint (E) - Terrestrial ecotoxicity [species.yr]	-0,17%	-0,08%	0,08%	0,17%
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Climate change, default, excl biogenic carbon [kg CO2 eq.]	-2,62%	-1,31%	1,31%	2,62%
ReCiPe 1.08 Midpoint (E) - Water depletion [m3]	-0,22%	-0,11%	0,11%	0,22%

6.2.4 Shrnutí analýz citlivosti

V rámci ověření platnosti formulovaných významných zjištění byly provedeny tři analýzy citlivosti. Nejprve byl testován vliv různých velikostí, a tedy i hmotností nápojových lahví. Dále byl testován vliv počtu vracených lahví během jedné cesty k vratnému místu a současně s tím i vliv různé hmotnosti nákupu, která ovlivňuje alokaci environmentálních dopadů dopravy lahví k výkupu. Třetí analýza citlivosti sloužila k určení vlivu změny přepravních vzdáleností na zjištěné výsledky.

Změna vstupních parametrů analýz citlivosti nevedla k významné změně výsledků. Celkově lze hodnotit vliv velikosti lahví i velikosti nákupu na formulaci významných zjištění za nízký. **Výše formulovaná významná zjištění lze na základě této analýzy citlivosti považovat za platná.**

7 Závěr

V této studii byly metodou LCA posouzeny potenciální environmentální dopady dvou systémů nakládání s použitými nápojovými lahvemi z PET, hliníku a oceli: systém nezálohový a systém zálohový. Environmentální dopady obou posuzovaných systémů byly určeny na základě inventarizace životního cyklu s následnou charakterizací pomocí metodiky ReCiPe. Průkaznost rozdílů mezi výsledky byla testována stochastickou metodou Monte Carlo s výsledkem, že rozdíly mezi výsledky indikátorů kategorií dopadu posuzovaných systémů jsou s výjimkou kategorie dopadu humánní toxicita statisticky významné.

- Na základě zjištěných dat lze konstatovat, že zavedení zálohového systému by vedlo k poklesu environmentálních dopadů souvisejících s balením nápojů o cca 28%.
- Zálohový systém vykazuje ve srovnání s nezálohovým systémem nižší environmentální dopady v následujících kategoriích dopadu, a to jak na endpointové, tak i midpointové úrovni: klimatické změny/globální oteplování, spotřeba fosilních surovin, radiace, spotřeba kovů, tvorba prachových částic, tvorba fotooxidantů, půdní acidifikace, půdní ekotoxicita a spotřeba vody.
- Na celkových environmentálních dopadech nezálohového i zálohového systému se největší měrou podílejí následující kategorie dopadu: klimatické změny (globální oteplování) a to jak na úrovni ekosystémové, tak z pohledu lidského zdraví, úbytek fosilních surovin, úbytek kovů a tvorba pracových částic. Zavedením zálohového systému dochází ke statisticky významnému poklesu hodnot výsledků indikátorů environmentálních dopadů s výjimkou kategorie dopadu humánní toxicita, ve které jsou oba posuzované systémy hodnoceny jako srovnatelné.
- Ze všech procesů podílejících se na systému balení a dopravy nápojů ke spotřebiteli má největší environmentální dopady proces výroby PET, respektive hliníku či ocelového plechu. Klíčovým bodem snížení environmentálních dopadů systému balení nápojů je tedy snížení materiálové náročnosti obalů či zvýšení podílu recyklovaného materiálu ve výrobě lahví.
- Hlavní technologické okruhy mající zásadní vliv na výsledné environmentální dopady jsou: výroba materiálů, ze kterých jsou lahve vyrobeny. Odpadové hospodářství, ale především recyklace materiálů, výrazně snižuje materiálovým a energetickým využitím použitých lahví celkové environmentální dopady posuzovaných systémů. Environmentální dopady související se sběrem a dopravou zálohovaných lahví i odpadních materiálů nehrají v systému podstatnou roli.

- Littering PET lahví byl pouze předmětem inventarizace a nebyl součástí hodnocení environmentálních dopadů, neboť pro plasty v prostředí (včetně mikroplastů) dosud nejsou k dispozici odpovídající charakterizační faktory. Množství plastů uvolněných do prostředí bylo pouze inventarizováno a vyjádřeno hmotnostně. Zavedení DRS vede dle dat Eunomia ke snížení množství plastů uvolněných do prostředí jako littering o 80%. Littering hliníkových a ocelových lahví byl zahrnut i do hodnocení environmentálních dopadů, protože pro kovy obsažené v plechových obalech charakterizační faktory k dispozici jsou.

Následující závěrečný komentář vyplývá ze studie v širším měřítku, nevychází výhradně z výsledků inventarizace či hodnocení dopadů životního cyklu. Z pohledu výrobce uvádějícího na trh obalové materiály je smysluplné uvažovat o materiálovém využití PET. Zavedení zálohového systému by se z tohoto úhlu pohledu mohlo jevit jako varianta obchodních vztahů, kdy se platí pouze za službu, nikoli za produkt. Obal by zde mohl být vnímán jako pronajatý výrobek, který se vrací výrobci. Z úhlu pohledu státní správy či managementu odpadového hospodářství na úrovni krajů či regionů by z krátkodobého hlediska mohlo zavedení zálohového systému přivést určité komplikace. V současné době je PET v odpadovém hospodářství plast s největší ekonomickou hodnotou a díky ziskům z recyklace PET je financováno nakládání i s ostatními druhy odpadních plastů. V případě vyčlenění hodnotného PET ze systému nakládání s odpadními plasty lze očekávat nedostatek finančních prostředků pro separaci, recyklaci, či odstranění ostatních plastů. Vyčleněním PET z odpadního toku plastů by pravděpodobně došlo k potřebě nastavení jiných finančních podmínek pro nakládání s odpadními plasty. Tato skutečnost by ovšem mohla následně vést k rozvoji nových způsobů využívání odpadních plastů či k prevenci jejich uvádění na trh. Je také možné položit si otázku, nakolik je řešení (*de-facto* spolufinancování) problematiky odpadních plastů jiných než PET záležitostí výrobců balených nápojů uvádějící na trh právě PET lahve.