



FAKULTA TECHNOLOGIE
OCHRANY PROSTŘEDÍ
VŠCHT PRAHA

POSOUZENÍ ENVIRONMENTÁLNÍCH DOPADŮ DŘEVĚNÝCH PRODUKTŮ METODOU LCA

Vladimír Kočí
VŠCHT Praha



FAKULTA TECHNOLOGIE
OCHRANY PROSTŘEDÍ
VŠCHT PRAHA

Praha, Česká republika

© Vladimír Kočí, duben 2016

Spolupracoval

Matěj Švehlík

Výzkumný a vývojový ústav dřevařský, Praha, s.p.

Řešitel:

Doc. Ing. Vladimír Kočí, PhD.,

Fakulta technologie ochrany prostředí VŠCHT Praha

Zpracovatel studie:

Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

se sídlem Technická 5, 166 28 Praha 6 - Dejvice

zastoupena: kvestorkou, Ing. Ivanou Chválnou

IČO: 604 61 373 DIČ: CZ 604 61 373

bankovní spojení: ČSOB

číslo účtu: 130197294/0300

Zadavatel studie:

Výzkumný a vývojový ústav dřevařský, Praha, s.p.

se sídlem v Praze 1, Na Florenci 7-9, PSČ 111 71

zastoupený Ing. Jitkou Beránkovou, Ph.D., pověřenou řízením

bankovní spojení: Fio banka, a.s., č.ú.: 2900972576/2010

IČ: 00014125

DIČ: CZ00014125

Obsah

1	ÚVOD.....	6
2	METODA POSUZOVÁNÍ ŽIVOTNÍHO CYKLU - LCA.....	8
2.1	Princip metody	8
2.1.1	Produktový systém	9
2.1.2	Materiálové a energetické toky.....	9
2.1.3	Procesy	9
2.1.4	Elementární toky	13
2.1.5	Princip posuzování environmentálních dopadů	13
2.2	Použité kategorie dopadu.....	15
2.3	Normalizace.....	17
2.4	Použitý LCA software	18
2.5	Použití LCA.....	18
2.5.1	Srovnávání alternativních produktů – komparativní studie	19
2.5.2	Interní zlepšování výrobních systémů	19
2.5.3	Komunikace s veřejností.....	19
2.5.4	Environmentální značení	20
2.5.5	LCA v odpadovém hospodářství	20
2.5.6	Ekodesign.....	22
3	HODNOCENÍ DŘEVĚNÝCH VÝROBKŮ METODOU LCA	24
3.1	Produkce dřevěného konstrukčního prvku	24
3.1.1	Produkce dřeva.....	24
3.1.2	Výsledky hodnocení metodou LCA	26
3.1.3	Zhodnocení environmentálních dopadů produkce dřevěného konstrukčního dílu	29
3.2	Porovnání nosníků.....	30
3.2.1	Lepený dřevěný KVH nosník	31
3.2.2	Lepený dřevěný nosník typu „I“	34
3.2.3	Ocelový nosník.....	37
3.2.4	Betonový nosník	39

3.2.5	Výsledky hodnocení nosníků	42
3.2.6	Zhodnocení nosníků	45
3.3	Porovnání konstrukcí obvodových stěn	49
3.3.1	Difúzně otevřená konstrukce rámové dřevostavby	49
3.3.2	Difúzně uzavřená konstrukce rámové dřevostavby	53
3.3.3	CLT panel	57
3.3.4	Roubená stěna	59
3.3.5	Stěna z pálených cihel	62
3.3.6	Výsledky hodnocení konstrukcí metodou LCA	65
3.3.7	Zhodnocení konstrukcí	66
3.4	Porovnání fasád	68
3.4.1	Dřevěná odvětraná fasáda	68
3.4.2	Fasáda s minerální omítkou	70
3.4.3	Výsledky hodnocení metodou LCA	73
3.4.4	Zhodnocení fasád	75
3.5	Porovnání podlah	76
3.5.1	Podlaha z masivních dřevěných profilů	76
3.5.2	Podlaha z PVC	78
3.5.3	Podlaha z OSB desky	80
3.5.4	Výsledky hodnocení metodou LCA	81
3.5.5	Zhodnocení podlah	82
4	ZÁVĚR	83

1 Úvod

Předmětem této studie je posouzení environmentálních dopadů životního cyklu vybraných produktů ze dřeva a z konkurenčních materiálů se zaměřením na stavební materiály, respektive konstrukce. V rámci studie byly posuzovány skupiny produktů, kdy v každé byl uveden zástupce materiálově na bázi dřeva a srovnatelný zástupce na bázi „konkurenčního“ nedřevěného materiálu.

Jednalo se o tyto skupiny produktů:

- obecný dřevěný konstrukční prvek,
- stropní / podlahový nosník,
- obvodová konstrukce stavby,
- fasáda,
- podlahová krytina.

Posuzovány byly konstrukce obvodových zdí sestavené z různých materiálů. Jelikož mohou být obálky budov různým způsobem architektonicky řešeny, je jako základní funkční jednotka (velikost posuzovaného produktu) zvolena jednotková plocha obvodové konstrukce obálky budovy o velikosti 1 m². Pro posouzení environmentálních dopadů byly zvoleny varianty s odpovídajícími tepelně – izolačními vlastnostmi. V případě nosníků byla jako funkční jednotka zvolena jednotková délka nosníku - 1 m. Posuzovány byly nosníky pro překlenutí různých rozponů (2,5 m, 4,5 m, 6,5 m). U fasád a podlahových krytin byl posuzován opět charakteristický výřez o jednotkové ploše 1 m².

Pro posuzování environmentálních dopadů životního cyklu produktů byla použita metoda LCA prováděná v souladu s ČSN EN ISO 14040¹ a ČSN EN ISO 14044².

V rámci šetření bylo zjištěno, že hlavní podíl na celkových environmentálních dopadech výroby dřevěného konstrukčního prvku mají procesy pily a sušení dřeva a produkce dřeva. Podíl dopravy na celkových environmentálních dopadech se pohybuje v rozmezí 0 až 20%. Nejnižší environmentální dopady, či dokonce pozitivní přínosy pro prostředí, vykazují výrobky s co největším podílem dřevní hmoty. Čím se jedná o výrobek komplexnější, například difúzně otevřená či uzavřená konstrukce obvodové zdi, začínají v důsledku

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.

přítomnosti dalších materiálů narůstají celkové environmentální dopady daného produktu. Ve srovnání se zmíněnými konstrukcemi vychází roubená stěna jako environmentálně nejšetrnější. Roubená konstrukce vykazuje z posuzovaných systémů nejnižší environmentální dopady. V případě konečného energetického využití dřeva dokonce vykazuje pozitivní bilanci, tedy snížení environmentálních dopadů způsobené využitím ve dřevu obsažené energie pro výrobu tepla a elektrické energie, které jsou v současnosti v ČR vyráběny technologiemi produkujícími více emisí než spalování dřeva (uhlí, jádro). V pořadí další konstrukcí, vykazující souborně nejnižší environmentální dopady je difúzně otevřená konstrukce rámové dřevostavby. Klíčovou výhodou dřevěných materiálů je možnost jejich energetického využití na konci jejich životního cyklu. Dochází tím jednak k úspoře jiných energetických surovin a předcházení vzniku z nich uvolněných emisí, ale rovněž i k minimalizaci vzniklého demoličního odpadu, který nutně z cihlových či betonových konstrukcí vzniká.

Ocelový i betonový nosník mají znatelně vyšší environmentální dopady než nosník dřevěný a dřevěný lepený „I“ nosník. S vyšším podílem dřevotřísky na hmotnosti „I“ nosníků rostou i environmentální dopady tohoto typu nosníku.

Dvouvrstvé řešení fasády s dřevěným obkladem vykazuje výrazně nižší environmentální dopady ve srovnání s kontaktním systémem s minerální omítkou.

Výsledky porovnání environmentálních dopadů podlahových krytin ukazují jako jednoznačně nejšetrnější podlahovou krytinu z masivního dřeva. Varianta s podílem OSB desky vykazuje vyšší environmentální dopady. Nejvyšší dopady byly dle očekávání zaznamenány u podlahy z PVC.

Ačkoli z pohledu prevence rozvoje posilování skleníkového jevu je použití dřevěných výrobků příznivé, s ohledem na jiné environmentální problémy, jako je například eutrofizace či acidifikace tomu tak již být nemusí. Ačkoli je globální oteplování, tedy posilování skleníkového jevu, významným dopadem na životní prostředí, není to problém jediný. Zohledňování ostatních problémů životního prostředí při posuzování různých výrobků či materiálů je potřebné.

2 Metoda posuzování životního cyklu - LCA

2.1 Princip metody

Metoda posuzování životního cyklu (anglicky Life Cycle Assessment, zkratka 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 likvidaci jakéhokoli materiálu, zařízení, paliva či energetického nosiče vstupujícího do jakéhokoli stádia životního cyklu stavby.

Metoda LCA se provádí dle ČSN EN ISO 14040³ a ČSN EN ISO 14044⁴, je to robustní a transparentní nástroj kvantifikace konkrétních environmentálních dopadů svázaných s jednotlivými vstupními i výstupními materiály a energiemi. LCA je mezinárodně používaná metoda, kterou prosazuje i UNEP OSN⁵ 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. Sleduje se jejich množství, složení, charakter a závažnost pro životní prostředí. Od těchto toků se pak odvíjí příčiny a následky, podle kterých se následně určí výsledné změny v životním prostředí. Základní data se zpracovávají inventarizační analýzou. Předem ohraničená část životního cyklu posuzovaného systému se rozloží na jednotkové procesy a mapují se toky mezi nimi. Následuje hodnocení environmentálních dopadů a konečná interpretace.

Metoda LCA se nejčastěji používá jako:

- a) nástroj podporující a/nebo zdůvodňující určité rozhodnutí,
- b) nástroj pro získávání informací,
- c) nástroj komunikace s veřejností B2C či stakeholdery B2B.

³ ČSN EN ISO 14040 Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Zásady a osnova, ČNI 2006.

⁴ ČSN EN ISO 14044 Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Požadavky a směrnice, ČNI 2006.

⁵ Program životního prostředí Organizce spojených národů. Sustainable Consumption & Production Branch. United Nations Environment Programme [online]. United Nations [cit. 2016-04-08]. Dostupné z: <http://www.uneptie.org/scp/>

Metoda LCA je vnímána jako jeden ze základních analytických nástrojů udržitelnosti. LCA hodnotí především environmentální dopady. V rozšíření o sféru ekonomickou (anglicky Life Cycle Costing, zkratka LCC) umožňuje porovnávat environmentální benefity s finančními náklady. Pro vnitřní regulaci volného tržního systému je velmi zajímavá skutečnost, že metodou LCA lze určit, který subdodavatel materiálu či energie má ve svém „životopise“ nižší ekologické dopady. Taková informace může být významná pro management a marketing podniků a organizací – umožní jim totiž vybrat takové subdodavatele, kteří přidají ke společnému koláči ekologických škod daného výrobku co nejmenší díl, a tím tedy snížit celkové environmentální dopady vlastní organizace.

2.1.1 Produktový systém

Všechny procesy a operace podílející se na jednotlivých fázích životního cyklu produktu tvoří jeden celek nazývaný produktový systém. Produktový systém při zpracování studií LCA sestává z procesů a toků. Procesy jsou jednotlivé operace přeměňující vstupy na výstupy. Toky jsou spojnice procesů, kdy jeden tok je výstupem z procesu předcházejícího a zároveň je vstupem do procesu následného.

2.1.2 Materiálové a energetické toky

Každý proces musí být popsán jednak vstupy a výstupy, ale také pozicí vzhledem k ostatním procesům. Propojení jednotlivých procesů a tím i určení jejich vzájemné pozice je realizováno materiálovými a energetickými toky. Každý jeden tok je výstupem z předchozího a zároveň vstupem do následného procesu.

Při modelování produktového systému je důležité dodržovat návaznost procesů. Jestliže z jednoho procesu vystupuje materiálový výstup, musí ten samý tok na vstupu do dalšího procesu být vyjádřen ve stejných jednotkách a musí mít stejnou velikost. Typickou jednotkou materiálových toků je hmotnost vyjádřená v kilogramech. Jinou jednotkou může být objem, plocha, počet kusů nebo čas. U energetických toků se obvykle jedná o MJ nebo kWh.

2.1.3 Procesy

Každé z jednotlivých stádií životního cyklu produktu je tvořeno různým počtem procesů. Proces je základní stavební kámen modelu produktového systému. Proces je operace měnící materiálové a energetické vstupy na výstupy. Složitější procesy se skládají z vnitřních podprocesů. Například proces čištění odpadních vod sestává z podprocesů separace pevných

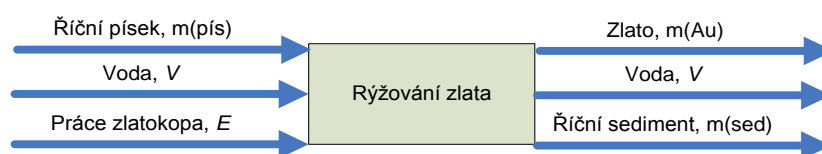
částic, biologické aktivace a separace kalu. Proces, který již není v modelu produktového systému dále dělen na podprocesy, se nazývá jednotkový proces.

Jako příklad jednotkového procesu se vstupy a výstupy si představme zlatokopa rýžujícího ve zlatonosném potoce zlato (Obr. 1).

Činnost zlatokopa nazvěme rýžování zlata a stejný název dejme i procesu, jenž by byl součástí nějakého produktového systému (například ražby zlatých mincí). Vstupem do procesu rýžování zlata je říční písek obsahující zlato, jehož celkovou hmotnost známe a označíme ji $m(pís)$. Řekněme, že toto je hmotnost říčního písku, který zlatokop zpracuje během jednoho dne.

Pro rýžování zlata je potřebný proud vody v potoce sloužící k separaci zlata uvnitř zlatokopovy rýžovací pánve. Objem vody, jenž zlatokop během dne použije, nechť je V . K rýžování zlata je nezbytná práce zlatokopa, již si můžeme vyjádřit jako energii E . Výstupem z procesu rýžování je separované zlato o hmotnosti $m(Au)$, říční sediment ochuzený o zlato o hmotnosti $m(sed)$, kde platí $m(pís) = m(sed) + m(Au)$ a říční voda, kterou zlatokop z pánve průběžně vyléval, dejme tomu o stejném objemu V .

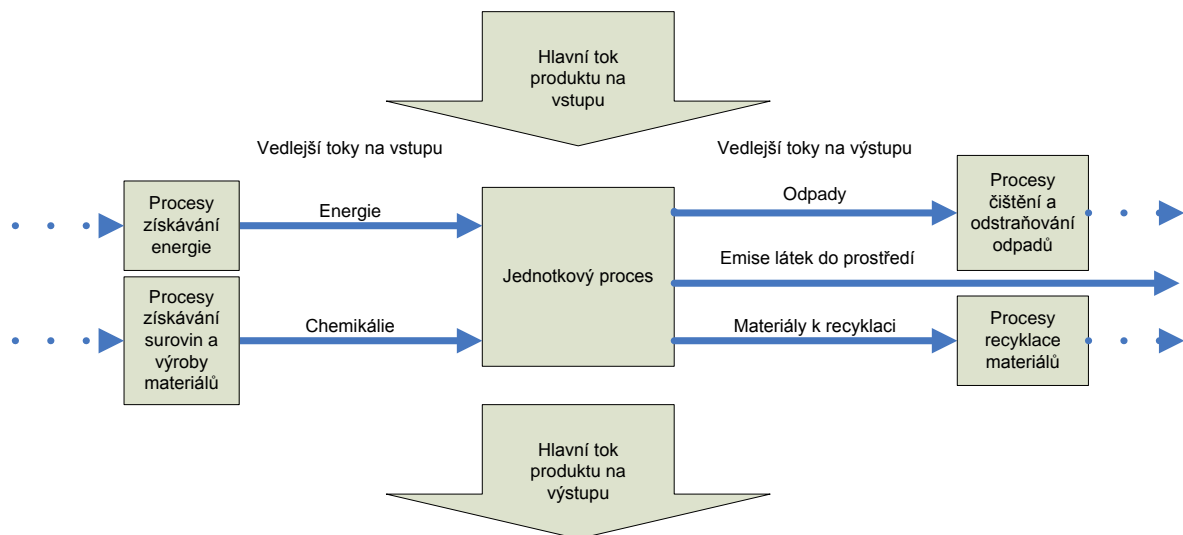
Při modelování produktového systému jednotkový proces rýžování zlata znázorníme jako obdélník, do něhož mířící šipky představují vstupy procesu, materiálové a energetické toky, konkrétně říční písek, vodu a energii zlatokopa. Výstupy jsou obdobně znázorněny šipkami vystupujícími z procesu.



Obr. 1: Proces rýžování zlata

V uvedeném příkladu s rýžováním zlata se voda vyskytuje jak na vstupu, tak na výstupu procesu. Jedná se o vedlejší materiálový tok, který sice není obsažen ve finálním produktu (zlato), ale je nezbytný pro daný dílčí proces produktového systému. Takový vedlejší tok nazýváme pomocný tok. Pomocnými toky na vstupu bývají obvykle elektrická energie či materiály jako jsou například chladicí vody, katalyzátory, detergenty, maziva, rozpouštědla.

Nesmíme ovšem zapomínat i na vedlejší toky na výstupu z procesů. Zde se obvykle jedná o odpadní materiály, odpadní vodu, odpadní teplo, nepovedené výrobky, emise látek do prostředí a podobně. Obecnější podobu jednotkového procesu s pomocnými vstupy a výstupy znázorňuje následující obrázek (Obr. 2)



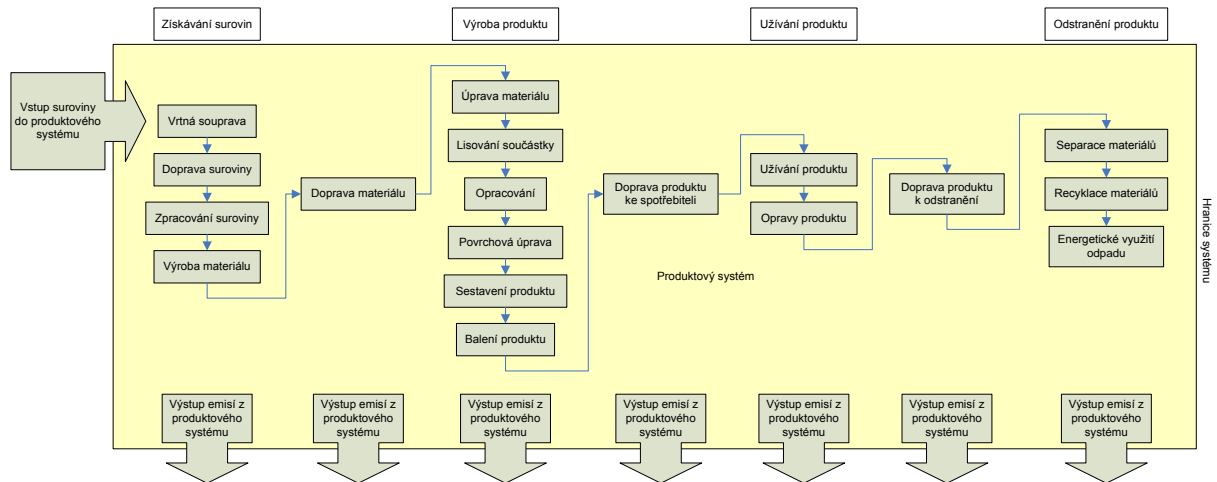
Obr. 2: Příklad vedlejších toků jednotkového procesu

Energie potřebná pro provoz jednotlivých procesů musí být nějak do systému přivedena. Výrobou energie se ve skutečnosti míní výroba určité podoby tak zvaného energonosiče: elektřiny, koxu, zemního plynu, uhlí a podobně.

Stejně tak musí být vyrobeny i pomocné materiálové toky. Následně zase musí být všechny materiálové toky po splnění své funkce odstraněny. Odstraňování je často samostatným procesem s vlastními environmentálními dopady. Hlavní i vedlejší materiálové a energetické toky mohou být z environmentálního hlediska stejně významné, musí proto být začleněny do produktového systému. Zapojení pomocných toků do hodnocení environmentálních dopadů produktů je jednou z ústředních myšlenek LCA.

Při modelování produktového systému používáme obvykle základní rovinu schématu zahrnující procesy bezprostředně se podílející na životním cyklu produktu a případně další roviny schématu zahrnující procesy související s vedlejšími či s pomocnými toky. Každý z procesů znázorněných na obrázku (Obr. 3) obdélníkem představuje v hlavním produktovém systému operaci podílející se na toku materiálů či energie procházejících produktovým

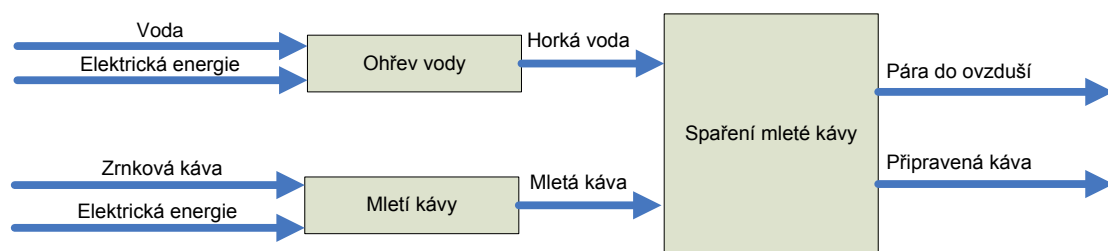
systémem. Většina z těchto jednotlivých procesů obsahuje další pomocné toky materiálů či energií a má své vlastní vstupy a výstupy.



Obr. 3: Základní rovina produktového systému plastového výrobku

Jiným typem další roviny produktového systému jsou podprocesy, jež často nebývají ve složitých schématech uvedeny. Podprocesy jsou ale přítomny na pozadí nadřazených procesů, jak znázorňuje následující příklad přípravy kávy (Obr. 4).

Na prvním schématu máme zobrazeny tři procesy podílející se na přípravě kávy. Jedná se o proces mletí kávy, do kterého vstupují toky káva a elektrická energie, o proces ohřevu vody se vstupem voda a elektrická energie a o proces spaření mleté kávy, do kterého vstupuje mletá káva, horká voda a vystupuje tok připravená káva.

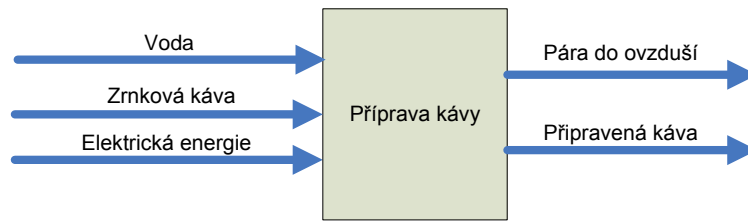


Obr. 4: Schéma podprocesů podílejících se na přípravě kávy

Uvedené schéma lze vyjádřit jako jeden proces s tím, že vstupy a výstupy původního schématu představují vstupy a výstupy námi vytvořeného procesu příprava kávy.

Stejně materiálové a energetické toky vstupující současně do více podprocesů lze vyjádřit jako jeden tok vstupující do nadřazeného procesu a vyjadřující součet toků vstupujících do

jednotlivých vnořených procesů. Spojení částí produktového systému do logických celků zastoupených jediným procesem značně zjednodušuje znázornění produktového systému (Obr. 5).



Obr. 5: Proces přípravy kávy zahrnující podprocesy

2.1.4 Elementární toky

Do každého produktového systému vstupují ze životního prostředí materiálové a energetické toky. Vstupy ze životního prostředí jsou obvykle suroviny, jako je ropa, rudy a energie, například ve formě slunečního záření. Produktový systém obvykle vytváří určité toky zaústěné do životního prostředí. Jedná se především o emise odpadních látek do vzduchu, vody a půdy. Vstupy a výstupy představující interakci mezi okolím a produktovým systémem označujeme jako elementární toky. Elementární tok překračuje hranice produktového systému a zajišťuje tak výměnu energie či hmoty s okolním prostředím.

2.1.5 Princip posuzování environmentálních dopadů

Posuzování environmentálních dopadů produktů je zaměřeno na zjišťování potenciálních dopadů. Nejedná se zde o konkrétní environmentální měření, analýzy či zkoušky, ale o co nejpřesnější zmapování materiálových a energetických toků souvisejících s celým životním cyklem daného produktu a zhodnocení jejich možných environmentálních dopadů. Princip hodnocení environmentálních dopadů produktů by tedy mohl být pro jednu emitovanou látku (elementární tok) vyjádřen následujícím vztahem.

Rovnice 1: Environmentální dopad produktu

Environmentální dopad	=	Potenciál dopadu elementárního toku (charakterizační faktor*)	×	Suma množství elementárních toků ze všech procesů
-----------------------	---	---------------------------------------------------------------	---	---------------------------------------------------

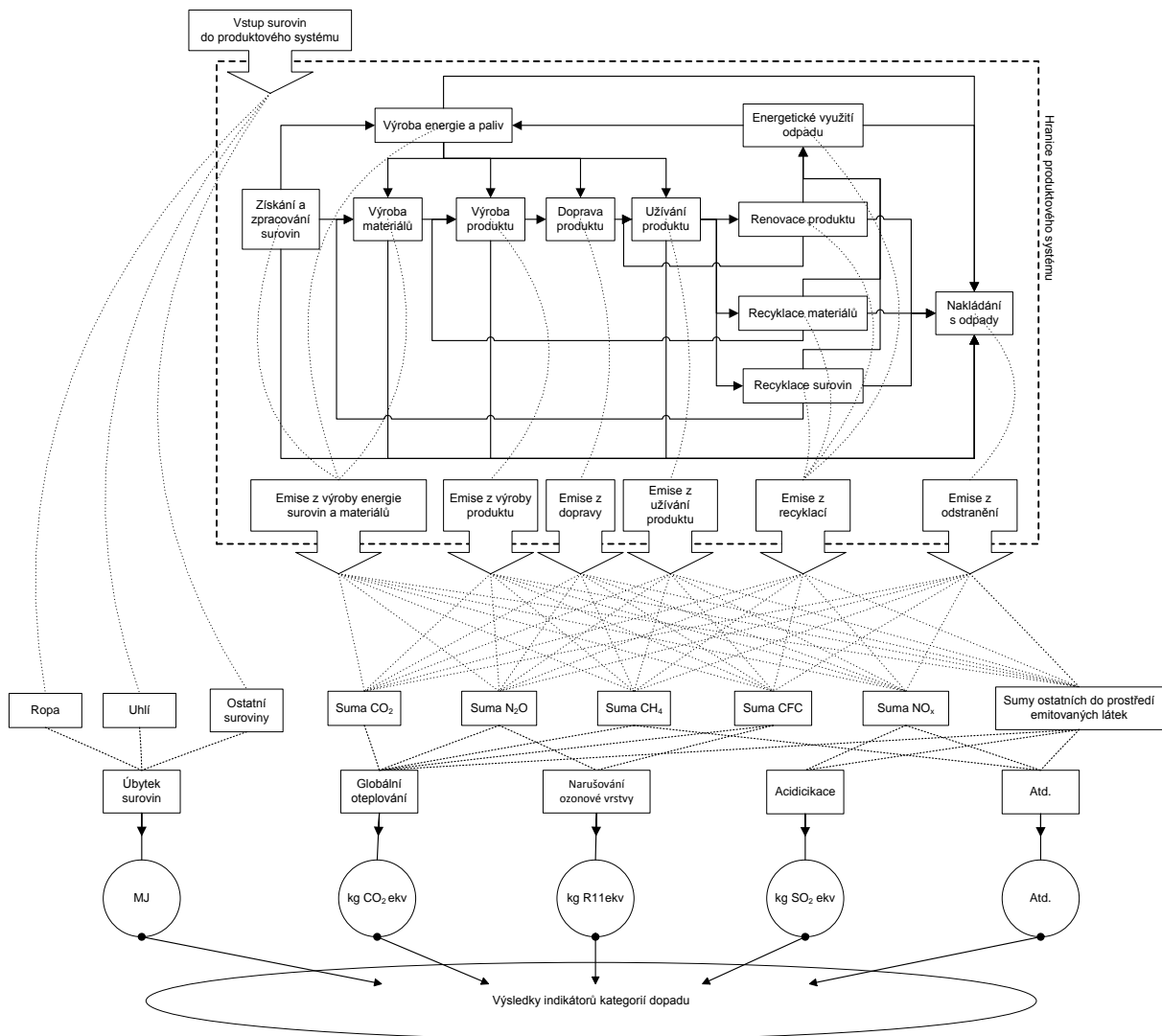
* viz vysvětlení v následujícím odstavci

Uvedený vztah vyjadřuje typickou vlastnost posuzování životního cyklu produktů: hodnotí se potenciální dopady všech látek vstupujících a vystupujících do produktového systému v jejich celkových součtech. Hodnotí se dopady látek vypouštěných do prostředí i dopady úbytků

primárních surovin. Potenciál dopadu určitého elementárního toku poškozovat životní prostředí se v LCA nazývá charakterizační faktor. Charakterizační faktory pro různé látky jsou tabelovány v metodikách hodnocení dopadů životního cyklu a slouží k vyčíslení, jak silně se daná látka podílí na rozvoji určitého problému životního prostředí označovaného jako kategorie dopadu.

Následujícím krokem je hodnocení dopadů životního cyklu. Výstupy z inventarizace jsou přesně popsány a specifikovány postupy, jak vyjadřovat intervence posuzovaného systému do životního prostředí pomocí indikátorů tak zvaných kategorií dopadu. Výstupy z hodnocení dopadů pak umožňují identifikovat dopady posuzovaných scénářů například na globální oteplování, eutrofizaci, acidifikaci a další zvolenou metodikou definované kategorie dopadu.

Schéma životního cyklu produktu a následné rozdělení dopadů na jednotlivé kategorie je uvedeno na následujícím obrázku (Obr. 6).



Obr. 6: Zjednodušené schéma životního cyklu produktu a následného hodnocení environmentálních dopadů převedením množství do prostředí emitovaných látek na výsledky indikátorů kategorií dopadu

2.2 Použité kategorie dopadu

Metoda LCA vyjadřuje potenciální environmentální dopady produktů či technologií pomocí hodnot výsledků indikátorů kategorií dopadu. Kategorie dopadu je přesně popsán mechanismus poškozování životního prostředí. V této studii byly použity následující kategorie dopadu (Tab. 1):

Tab. 1: Kategorie environmentálních dopadů použité ve studii

Název kategorie dopadu	Jednotka (zkratka) [jednotka angl.]	Stručný popis
Globální oteplování	kg CO ₂ ekv. (GWP 100 years) [kg CO ₂ -Equiv.]	<p>Skleníkový jev je přirozený jev zachycování energie skleníkovými plyny přítomnými v atmosféře. Emise skleníkových plynů způsobují stále intenzivnější zadržování energie v atmosféře a posílení jinak přirozeného skleníkového efektu.</p> <p>Zesílení skleníkového jevu se anglicky označuje jako global warming (globální oteplování). Důsledkem zesílení skleníkového efektu je zvýšení globální teploty a následně i klimatické změny. Klimatické změny jsou pozorované změny v počasí na globální, regionální či lokální úrovni.</p> <p>Mezi hlavní skleníkové plyny patří oxid uhličitý CO₂, metan CH₄, oxid dusný N₂O, hexafluorid sírový SF₆ a halogenované uhlovodíky, jako jsou freony a halony.</p> <p>Největší absolutní účinnost ze skleníkových plynů má vodní pára. Vzhledem k jejímu množství v atmosféře není její bilance člověkem dosud výrazně ovlivňována a její celkové množství je zhruba konstantní. Bylo pozorováno, že právě změny v koncentracích ostatních skleníkových plynů v atmosféře silně korelují se změnami v atmosféře zachycené energie a tudíž významně přispívají k nárůstu skleníkového efektu.</p>
Acidifikace	kg SO ₂ ekv. (AP) [kg SO ₂ -Equiv.]	<p>Acidifikace je proces okyselování půdního nebo vodního prostředí způsobený nárůstem koncentrace vodíkových kationů, protonů H⁺.</p> <p>Acidifikace je způsobena vypouštěním kyselinotvorných látek do atmosféry, vody a půdy. Kyselinotvorné látky jsou především takové látky, jež reakcí s vodou disociují a uvolňují do prostředí proton H⁺, který je nositelem kyselých účinků.</p> <p>Kyselinotvorné látky se v případě vzdušných emisí dostávají suchou a vlhkou depozicí a srážkami do dalších složek prostředí. Kyselinotvorné látky působí nepříznivě na biologické tkáně rostlin, živočichů i bakterií a rovněž narušují materiály. Hlavním faktorem ovlivňujícím intenzitu acidifikace je množství kyselinotvorných emisí.</p>
Eutrofizace	kg PO ₄ ³⁻ ekv. (EP) [kg	<p>Eutrofizace neboli úživnost je proces obohacování prostředí živinami. Je to problém povrchových vod, půd a moří.</p> <p>Viditelným důsledkem eutrofizace je zarůstání povrchových</p>

	Phosphate-Equiv.]	sladkovodních i mořských vod vodním květem sinic a řas, nedostatek kyslíku ve vodách, změna druhového složení ekosystémů, či zhoršená kvalita povrchových vod a zdrojů pitné vody.
Vznik fotooxidantů	kg C ₂ H ₄ ekv. (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	Vznik troposférického ozonu, častěji označovaný jako vznik fotooxidantů, je kategorií dopadu související s nepříznivým působením ozonu a dalších reaktivních látek v přízemní vrstvě atmosféry. Ozon, tříatomová molekula kyslíku, je přirozenou součástí zemské atmosféry. Vyšší koncentrace troposférického ozonu působí toxicky na živé organismy a oxidačními reakcemi se podílí na narušování materiálů. Přízemní ozon vzniká chemickými reakcemi za přítomnosti slunečního záření, oxidů dusíků a těkavých organických látek VOC. V důsledku lidské činnosti vzrostla koncentrace troposférického ozonu o 100 %. Hlavní příčinou tohoto stavu je nárůst automobilové dopravy emitující značné množství oxidů dusíku.
Úbytek minerálních surovin Úbytek fosilních surovin	kg Sb ekv. (ADP elements) [kg Sb-Equiv.] MJ (ADP fossil) [MJ]	Kategorie dopadu označovaná jako úbytek surovin zahrnuje vliv produktového systému na nevratné využívání neobnovitelných surovin a na spotřebovávání obnovitelných zdrojů. Tato kategorie dopadu se obvykle rozděluje na dvě, a sice na úbytek materiálových surovin a na úbytek energetických (fosilních) surovin. Místem účinku kategorie dopadu úbytek surovin je z přírodního hlediska celá planeta Země, ze socioekonomického pohledu pak globální trh.

Každá kategorie dopadu, tedy každý jednotlivý problém životního prostředí má své specifické jednotky, jež jsou uvedeny ve výše uvedené tabulce. Tyto tak zvané indikátory kategorií dopadu jsou základem pro vyčíslování, jak moc je daná kategorie dopadu posuzovaným výrobkem zasažena.

2.3 Normalizace

Výsledky environmentálních dopadů v různých kategoriích dopadu mají různé jednotky. Není proto možné přímo porovnávat zda je závažnější ta či ona kategorie dopadu. Jelikož nás ovšem obvykle zajímá, který produkt je celkově nejpříznivější na životní prostředí, zajímá nás, jakým způsobem souborně porovnat celkovou škodu daného produktu na životní

prostředí. Pro vzájemné porovnávání závažnosti zásahů do různých kategorií dopadu slouží normalizace.

Porovnááme-li dva systémy z hlediska jejich dopadů na životní prostředí, zřídka kdy je jeden z nich lepší ve všech směrech, šetrnější ke všem kategoriím dopadu. Obvykle nastává situace, kdy má například jeden systém větší dopad na eutrofizaci a druhý zase na acidifikaci. Jelikož výsledky indikátorů kategorií dopadu mají různé jednotky, nelze je vzájemně porovnávat. Úkolem normalizace je posoudit, která kategorie dopadu je v daném případě výrazněji zasažena.

Normalizace je převedení výsledků indikátorů kategorie V_{XY} na bezrozměrné hodnoty normalizovaných výsledků indikátorů kategorie dopadu NV_{XY} . Normalizace se provádí vztahem V_{XY} k referenční hodnotě výsledku indikátoru kategorie dopadu RV_{XY} mající stejnou jednotku. Hodnota NV_{XY} je bezrozměrná a vyjadřuje jak velký podíl (%) na referenčním výsledku indikátoru kategorie má náš výsledek indikátoru kategorie dopadu V_{XY} .

2.4 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 GaBi6, vytvořený Stuttgartskou firmou Thinkstep za spolupráce se Stuttgartskou technickou univerzitou⁶.

2.5 Použití LCA

Metoda LCA může být použita na podporu řady nejrůznějších typů rozhodnutí, např. na národní úrovni (MŽP), regionální úrovni (kraje, města a obce, svazky měst a obcí, soukromí investoři). Pokud jde o použití LCA jako nástroje pro sběr informací, jde především o shromažďování dat v inventarizační části LCA, která je v podstatě nejdůležitější složkou, jež ovlivňuje celkový výsledek.

Metoda LCA nám na konkrétních číslech ukazuje, jak lze změnou technologie či změnou určitého konstrukčního prvku změnit environmentální dopady výrobku. Ukázkovými úkoly pro LCA by mohlo být (a často bývá) vyčíslení, jak klesnou ekologické škody při změně

⁶ GaBi LCA Software. Thinkstep [online]. [cit. 2016-01-15]. Dostupné z: <https://www.thinkstep.com/software/gabi-lca/>

systemu vytápění z elektrického na zemní plyn, či jak snížíme celkové ekologické škody použitím kvalitnější tepelné izolace.

2.5.1 Srovnávání alternativních produktů – komparativní studie

Hlavním smyslem metody LCA je posuzování environmentálních dopadů produktů od kolébky do hrobu a to se zaměřením na porovnání produktů splňující stejnou uživatelskou funkci. LCA slouží k identifikaci těch procesů životního cyklu produktu, kde dochází k největší zátěži životního prostředí. Metoda LCA byla nejprve vyvinuta především pro hodnocení obalů, následně byla úspěšně aplikována i na celé spotřebitelské produkty, což je dnes bezesporu hlavní doménou využití LCA. Koncepce uvažování v životních cyklech ovšem přináší celou řadu nových podnětů, jak se dívat na interakce lidských aktivit a životního prostředí. Ukázalo se, že produktem, jenž můžeme pomocí LCA hodnotit, nemusí být čistě hmotný výrobek (PET vs. skleněná lahev), ale i služba nebo technologický proces. Doprava osob či materiálu je službou, jejíž environmentální dopady lze pomocí LCA posuzovat stejně úspěšně jako technologické procesy. Je šetrnější katalytický proces výroby určité chemikálie nebo stechiometrická reakce s přebytkem vstupních chemikálií? Významnou aplikační oblastí LCA konkrétních technologických procesů se stalo například stavebnictví či odpadové hospodářství.

2.5.2 Interní zlepšování výrobních systémů

Značný počet studií LCA byl zpracován pro interní účely průmyslových podniků. I do budoucna lze tuto oblast považovat za jednu z prioritních. LCA dokáže identifikovat možnosti interních zlepšení výrobních postupů v rámci jednotlivých podniků či korporací. Pomocí LCA lze určit ty jednotlivé procesy výroby, které představují nejen nejvyšší podíl na ekovektoru podniku, ale také pomoci managementu identifikovat procesy s největší spotřebou energie či paliv a tudíž i možnosti úspor. LCA je základním analytickým nástrojem tak zvané průmyslové ekologie podniků. Pro interní podnikové účely je velmi přínosné rozšíření LCA do oblasti ekonomické – LCC (angl. Life Cycle Costing).

2.5.3 Komunikace s veřejností

Výstupy z LCA jsou poměrně dobře prezentovatelné veřejnosti. Tohoto faktu využívá stále širší okruh průmyslových podniků (Volkswagen, Nokia, Shell, Motorola) k vytváření kvalitních vztahů s veřejností. Je ovšem mít na paměti, že v historii byly sestavovány i účelové studie LCA, jejichž kvalita spočívala právě jen v komunikaci s veřejností. Fakt, že vznikaly v 90. letech

účelové studie LCA byl hlavním podnětem k rychlé tvorbě pevného rámce metody ukotveného v řadě norem ČSN EN ISO 14040. V rozvinutých zemích je ovšem poskytnutí studie LCA na svůj produkt pro průmyslové partnery i pro nejširší veřejnost samozřejmostí. Sílicí zájem veřejnosti o environmentálně šetrné produkty vytváří tlak na výrobce, aby si nechávali zpracovávat studie LCA na své produkty, a také aby totéž vyžadovali i od svých subdodavatelů.

2.5.4 Environmentální značení

Zájem veřejnosti o environmentálně šetrné produkty se odráží v rozvoji environmentálního značení produktů, tak zvaných ekoznaček. Environmentální značení (angl. ecolabeling) je označování výrobků splňujících určitá kritéria značkami vyjadřujícími jejich nižší dopady na životní prostředí ve srovnání s konkurenčními výrobky. Cílem tak zvaných ekoznaček⁷ je informovat zákazníky a spotřebitele. Ekolabeling má význam nejen v informování zákazníků, ale také v jejich motivování volit si výrobky méně zatěžující životní prostředí. Zájem zákazníků o takto označené výrobky pak motivuje i výrobce o získání ekoznaček pro své produkty. V současnosti existují tři úrovně environmentálního značení: typ I, typ II a typ III. Environmentální deklarace o produktu (Typ III) je označení udělované dle ČSN ISO 14025⁸ a označuje se zkratkou EPD (angl. Environmental Product Declaration). Environmentální dopady produktů majících EPD jsou hodnoceny s ohledem na jejich celý životní cyklus – metodou LCA.

2.5.5 LCA v odpadovém hospodářství

Na první pohled by se mohlo zdát, že použití LCA pro řešení problematiky nakládání s odpady jde proti smyslu a poslání metody posuzovat environmentální dopady produktů od kolébky do hrobu. Z tohoto pohledu by odpadové hospodářství mělo být vždy součástí životních cyklů jednotlivých produktů stávajících se na konci fáze užití odpadem. Na druhé straně se na technologie nakládání s odpady můžeme dívat jako na službu, jejíž environmentální dopady nás zajímají. Je to podobné jako když posuzujeme dva systémy sušení rukou (papírové ubrousky vs. teplovzdušný větrák), kde nás také zajímá pouze konkrétní funkce (služba) produktu a nikoli „životní cyklus“ špinavých rukou.

⁷ www.ekoznacka.cz. Dříve se v ČR používalo označení „Ekologicky šetrný výrobek – EŠV“.

⁸ ČSN ISO 14025 Environmentální značení a prohlášení typu III. – Zásady a postupy, ČNI Praha 2006.

Metoda LCA může být v oblasti odpadového hospodářství použita za účelem porovnání environmentálních dopadů alternativních systémů nakládání s odpady nebo za účelem identifikace hlavní oblasti potencionálního zlepšení v daném konceptu nakládání s odpady či v dané konkrétní technologii. Výsledky LCA mohou být užitečnými podněty pro proces rozhodování. LCA v odpadovém hospodářství se zaměřuje zejména na identifikaci environmentálně významných procesů v řetězci zpracování odpadů; na identifikaci významných environmentálních zátěží v rámci procesu; na určení, zda návrhy na zlepšení končí v lokální optimalizaci (posun environmentálních zátěží na jiná místa), nebo jestli jsou environmentálně vhodnější pro celý systém nakládání s odpady; a na hodnocení environmentálního dopadu jednotlivých alternativ nakládání s odpady v rámci celého jejich životního cyklu.

Metodu LCA využívá již mnoho zemí při strategickém plánování v odpadovém hospodářství a tvorbě plánů odpadového hospodářství POH. Jen ve Velké Británii byly vyvinuty a aplikovány tři modely pro nakládání s tuhými odpady. Jsou to WISARD (vyvinut Environmentální agenturou a Ecobilan), IWM2 (Procter and Gamble) a model Wasteman (AEA technology). WISARD používají ve Velké Británii při tvorbě regionálních plánů odpadového hospodářství. Aplikaci uvažování životního cyklu (angl. Life Cycle Thinking) v odpadovém hospodářství prosazuje EU, ať už ve formě vydané Tematické strategie pro předcházení vzniku odpadů a jejich recyklaci, tak i v dalších aktivitách a projektech. Ve Velké Británii se metoda LCA využívá při tvorbě regionálních plánů odpadového hospodářství a aplikace této metody je doporučena v Odpadové strategii již z roku 2000. Metoda LCA se považuje za jeden z hlavních nástrojů při zavádění trvale udržitelného rozvoje.

V případě, že je naším cílem absolutní snižování kontaminační zátěže životního prostředí, musí nás zajímat i environmentální dopady spojené s provozem technologií odstraňujících v prostředí přítomné škodlivé látky (například škodlivé látky z kontaminovaných zemin nebo environmentální dopady spojené s provozem technologií odstraňujících škodlivé látky z médií do prostředí člověkem vypouštěných (odpadní vody, tuhé odpady, odpadní plyny). Lokality kontaminované toxickými látkami stejně jako odpadní vody či plyny jsou nejen nežádoucím dědictvím minulosti, ale rovněž s jejich vznikem musíme počítat do budoucnosti. Technologické procesy odstraňování škodlivin nesmí být v rozporu se strategií trvale

udržitelného rozvoje. Energetická a palivová náročnost technologií odstraňování škodlivých látek může představovat významné kritérium pro volbu technologického postupu či logistického uspořádání daných operací. Analytickým nástrojem vhodným k identifikaci operací s největšími environmentálními dopady a operací, kde by bylo možné tyto dopady snížit, je právě metoda LCA.

Metodu LCA je možné aplikovat pro porovnávání environmentální významnosti různých emisních toků mezi sebou, což je velmi užitečné pro oblast čistírenských, sanačních a dekontaminačních technologií bez rozdílu ať je čištěným médiem, vzduch, voda či pevné materiály. Každá taková technologie má za cíl snížit množství nežádoucích látek (obvykle toxických) v kontaminované lokalitě či médiu. Smyslem těchto technologií je tedy snížit environmentální zátěž v prostředí. Vyjádření environmentální zátěže kontaminace pouze vzhledem k poklesu koncentrace či množství kontaminantů v lokalitě či odpadním médiu přítomných není dostatečné, neboť se ukazuje, že samotný proces odstraňování škodlivin představuje spotřebou elektrické energie, pohonných hmot, materiálů a chemikálií rovněž zátěž životního prostředí. Tato zátěž ovšem dosud nebývá vnímána jako faktor ovlivňující účinnost a prospěšnost čistírenských technologií či sanačních zásahů.

2.5.6 Ekodesign

Ekodesign často označovaný environmentální design⁹ (angl. design for environment, DfE nebo D4E) usiluje o takový design výrobku nebo služby, jenž minimalizuje dopady na životní prostředí ve všech fázích jeho životního cyklu, a to při zachování požadované funkčnosti a ekonomické efektivity. Environmentální design rozšiřuje úkoly designu (vzhled, materiály, funkčnost, bezpečnost) o oblast environmentálních dopadů se současným zohledněním ekonomických aspektů. Ekodesign rozvíjí inovaci výrobku při dosahování udržitelného rozvoje a pomáhá řešit konflikt mezi žádoucími (služba) a nežádoucími (environmentální dopady) efekty ekonomických aktivit z pohledu celého životního cyklu produktů. Základními hesly environmentálního designu je dematerializace, detoxifikace, snížení energetické náročnosti. V ekodesignu je kladen důraz na zachování požadovaných vlastností produktu při udržení přijatelné ceny, kvality, trvanlivosti a spolehlivosti. Není smysluplné na prvním místě navrhovat výrobek jako takový, ale splnění funkce, kterou potřebujeme a od výrobku očekáváme. S ohledem na tato východiska se v ekodesignu často

⁹ O ecodesignu se lze více dozvědět na www.ecodesign.at.

hovoří o adaptovatelnosti, multifunkčnosti a aktualizovatelnosti vyvíjených produktů. Jedním ze základních předpokladů ekodesignu je používat environmentálně šetrné materiály, například dřevo.

3 Hodnocení dřevěných výrobků metodou LCA

Posuzované systémy jsou tvořeny na základě reálných v ČR dostupných konstrukčních prvků. V následujících odstavcích jsou uvedeny konkrétní materiály prodávané na trhu ČR od konkrétních výrobců. Ve výpočtech a LCA modelu jsou však použita data reprezentující odpovídající typ výrobku se shodnými či velmi podobnými technickými vlastnostmi. V rámci řešení tohoto projektu nebylo možné zpracovat LCA studie a sbírat potřebná data od konkrétních výrobců. Níže použité hodnoty však velmi dobře reprezentují dané materiály a konstrukční prvky.

3.1 Produkce dřevěného konstrukčního prvku

Níže je uvedena analýza produkce obecného dřevěného konstrukčního prvku. Vzhledem k nedostupnosti přesných informací jde o modelový příklad procesu, jehož výsledkem je řezivo ve formě fošen, prken, hranolů – produkční koš průměrného pilařského závodu.

3.1.1 Produkce dřeva

Data vztahující se k materiálovým a energetickým tokům produkce dřevní hmoty byla převzata z databáze GaBi Professional firmy Thinkstep, Stuttgart, Německo (<https://www.thinkstep.com/software/gabi-lca/>) a z databáze Ecoinvent firmy Ecoinvent centre, Zurich, Švýcarsko (<http://www.ecoinvent.org/>). Data uvedená v těchto databázích odpovídají regionu střední Evropy. Ačkoli se mohou vstupy a výstupy produkce dřevní hmoty v jednotlivých lokalitách lišit, reprezentují tyto data vhodnou střední hodnotu.

V případě potřeby zpřesnění a lokalizace na produkci dřeva v ČR by bylo nutné provést specializovaný sběr dat, který, především z časových důvodů, přesahuje rámec tohoto projektu. V současné době bohužel materiálové a energetické vstupy nutné k produkci dřevní hmoty nejsou k dispozici.

Potřebné hodnoty materiálových a energetických vstupů a výstupu dřevařského průmyslu, zpracování dřeva, byly získány z těchto zdrojů: M. Prokopec, M. Šedivý: Příručka pro pilaře, SNTL, 1962; Dřevařská příručka/1, SNTL, 1989; Údaje z pilařské výroby a z výroby lepeného dřeva za 1 rok.

V následujících odstavcích jsou stručně popsány materiálové a energetické vstupy jednotlivých procesů podílejících se na zpracování dřeva.

Při dopravě a zpracování dřeva byly uvažovány následující charakteristiky:

- lepené dřevo – 440 kg/m³, smrk, 12% vlhkost,
- masiv – 470 kg/m³, smrk, 20% vlhkost,
- masiv (fasáda, podlaha) – 600 kg/m³.

Doprava kulatiny z lesa na pilu byla modelována na vzdálenost 70 km. Kromě této hodnoty byly v modelu pro testování významnosti dopravy použity i varianty dopravního scénáře, a sice vzdálenosti dopravy na pilu 10 a 150 km.

Pro definování jednotkového procesu Pila byly použity následující hodnoty:

- Celkové množství na pilu dovezené kulatiny 28 000 m³.
- Z tohoto množství kulatiny bylo získáno:
 - a) výrobky (prkna, fošny, hranoly) 16 270 m³ (58%),
 - b) kůra 1 349 m³ (4,8%),
 - c) piliny 3 370 m³ (12,0%),
 - d) štěpky 7 042 m³ (25,2%).
- Výtěžnost dřevěných výrobků z 1m³ kulatiny tedy představovala 58% objemových.
- Při manipulaci se dřevem na pile bylo na 1 m³ kulatiny spotřebováno 1,092 l nafty (vykládka, manipulace, nakládka výrobků a odpadů) a 39,8 kWh elektřiny (včetně energie na vysušení výstupního výrobku).
- Ve výpočtech se jako základní scénář uvažuje doprava jednotlivých dílů na výsledné místo užití na vzdálenost 200 km. Jedná se spíše o konzervativní hodnotu.

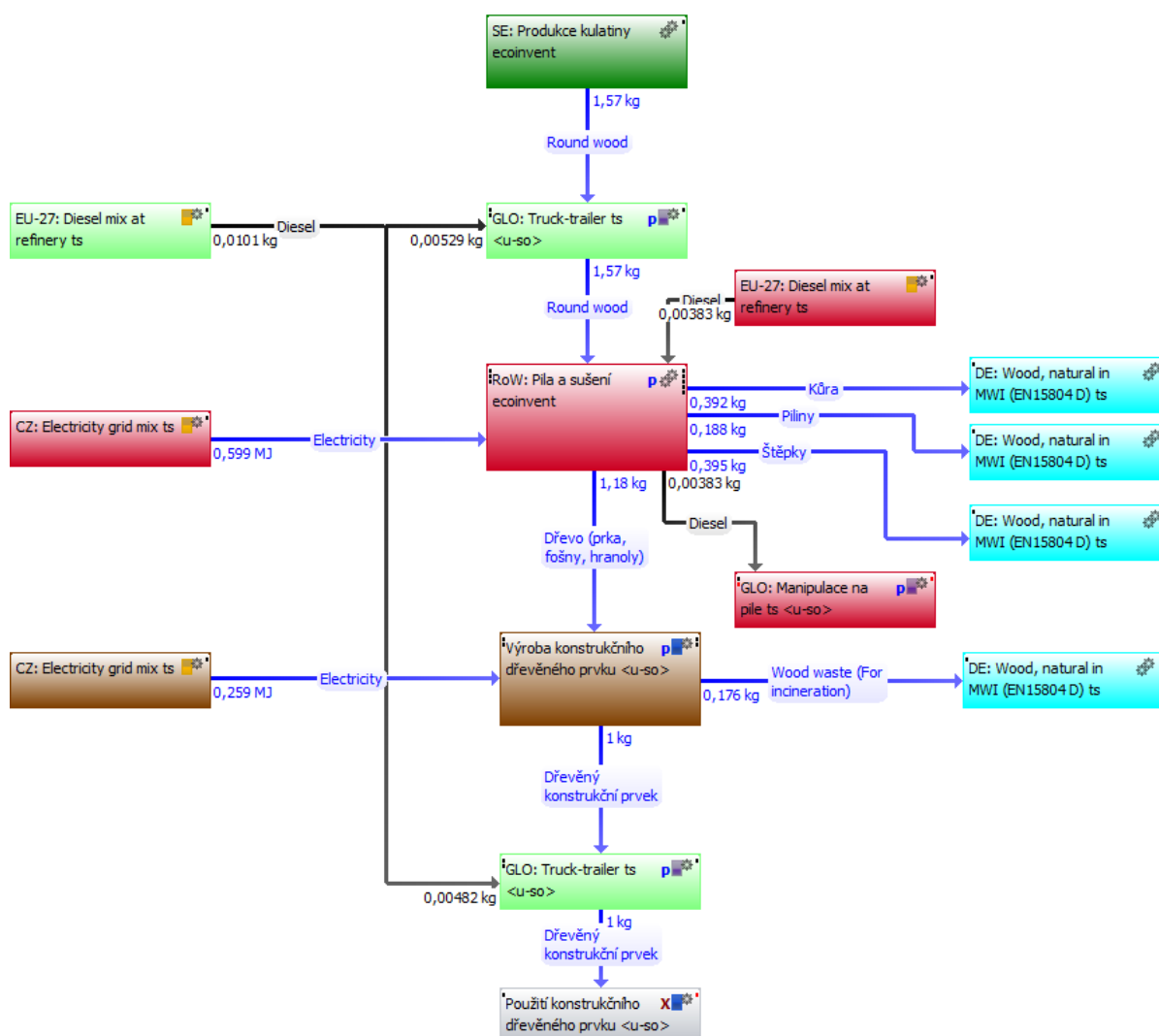
LCA model produktového systému produkce dřeva je znázorněn na následujícím schématu (Obr. 7).

Vysvětlivky k obrázku:

Diesel mix at refinery	= výroba nafty
Truck-trailer	= doprava nákladním vozem
Electricity grid mix	= výroba elektřiny
Wood natural in MWI	= spalování dřeva ve spalovně s využitím získané energie

Produkce dřevěného konstrukčního prvku

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



Obr. 7: Produktové schéma životního cyklu produkce dřevěného konstrukčního prvku

3.1.2 Výsledky hodnocení metodou LCA

V následující tabulce (Tab. 2) jsou uvedeny výsledky indikátorů jednotlivých kategorií dopadu produkce 1 kg dřevěného konstrukčního prvku. Kromě celkových hodnot uvedených ve sloupci označeném jako Celkem, jsou uvedeny i příspěvky jednotlivých procesů tvořících systém produkce dřevěného konstrukčního prvku. Záporné hodnoty v tabulce znamenají, že daný proces má příznivý dopad, tedy že snižuje zátěž v dané kategorii dopadu. Například záporná hodnota globálního oteplování v sloupci Produkce dřeva znamená, že růst dřeva absorbuje z atmosféry CO_2 a podílí se tedy na snižování skleníkového jevu. Záporné hodnoty ve sloupci Využití odpadů jsou způsobeny tím, že odpadem bylo odpadní dřevěné, které bylo

využito jako palivo a tím došlo k úspoře jiného, v případě ČR fosilního, energonosiče. Jsou-li energeticky bohaté odpady využity jako palivo, mají *de-facto* pozitivní přínos pro životní prostředí.

Tab. 2: Hodnoty indikátorů environmentálních dopadů produkce 1 kg dřevěného konstrukčního prvku při základním scénáři dopravy na vzdálenost 70 + 200 (km)

Kategorie dopadu	Celkem	Doprava	Pila a sušení	Produkce dřeva	Výroba prvku	Využití odpadního dřeva
Úbytek minerálních surovin (ADP elements) [kg Sb-Equiv.]	-5,38E-08	1,73E-09	2,38E-08	1,26E-07	9,88E-09	-2,15E-07
Úbytek fosilních surovin (ADP fossil) [MJ]	-8,445	0,359	1,375	0,896	0,515	-11,590
Acidifikace (AP) [kg SO2-Equiv.]	0,00002	0,00011	0,00037	0,00033	0,00014	-0,00093
Eutrofizace (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	0,00003	0,00003	0,00004	0,00010	0,00001	-0,00014
Globální oteplování (GWP 100 years) [kg CO2-Equiv.]	-3,86	0,03	0,13	-3,19	0,05	-0,88
Úbytek stratosférického ozonu (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	1,09E-08	1,20E-13	6,89E-13	1,09E-08	2,71E-13	-2,63E-11
Vznik fotooxidantů (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	-0,00003	-0,00004	0,00001	0,00009	0,00001	-0,00010

Pozn.: červeně jsou označeny hodnoty procesu s výrazným negativním dopadem, zeleně je znázorněn pozitivní dopad

Následující tabulka uvádí procentuální příspěvky jednotlivých procesů k celkovým environmentálním dopadům. S výjimkou globálního oteplování, které v důsledku absorpce CO₂ během růstu dřevní hmoty a v důsledku úspor spalování fosilních paliv vzniklých

energetickým využíváním odpadního dřeva jsou hlavními přispěvateli k nepříznivým environmentálním dopadům procesy sušení dřeva, produkce dřeva a pila.

Tab. 3: Podíly jednotlivých skupin procesů (uvedeno v %) na výsledných hodnotách indikátorů environmentálních dopadů produkce 1 kg dřevěného konstrukčního prvku při základním scénáři dopravy na vzdálenost 70 + 200 (km)

Kategorie dopadu	Doprava	Pila a sušení	Produkce dřeva	Výroba prvku
Úbytek minerálních surovin (ADP elements) [kg Sb-Equiv.]	1,07	14,72	78,09	6,12
Úbytek fosilních surovin (ADP fossil) [MJ]	11,40	43,74	28,49	16,36
Acidifikace (AP) [kg SO ₂ -Equiv.]	11,81	39,27	34,58	14,34
Eutrofizace (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	15,48	23,68	54,04	6,80
Globální oteplování (GWP 100 years) [kg CO ₂ -Equiv.]	9,58	48,59	22,97	18,86
Úbytek stratosférického ozonu (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	0,00	0,01	99,99	0,00
Vznik fotooxidantů (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	0,00	5,46	84,38	10,15

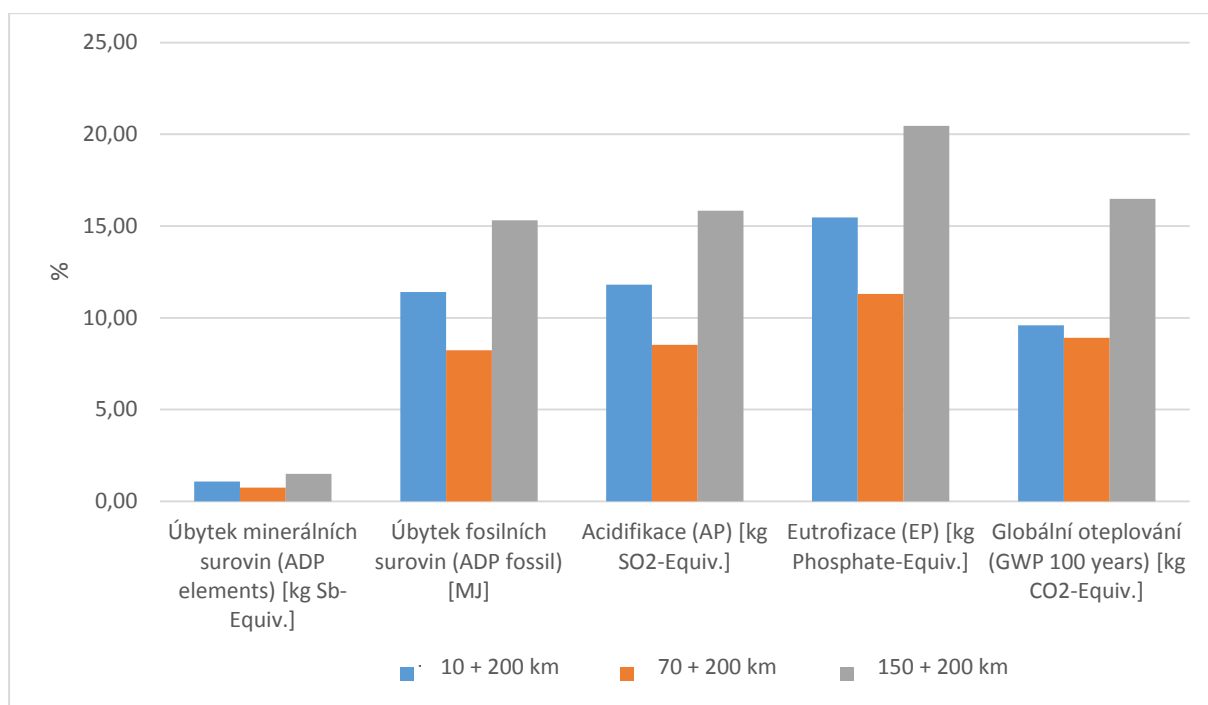
Pozn.: červeně jsou označeny hodnoty procesu s největším negativním dopadem

Vliv dopravní vzdálenosti z místa produkce dřeva na pilu na výsledné hodnoty environmentálních dopadů byl testován pro následující vzdálenosti:

- 70 km reprezentující základní scénář průměrné vzdálenosti dopravy,
- 10 km, reprezentující dopravu na místní pilu,
- 150 km reprezentující dopravu na pilu do větší vzdálenosti, například do zahraničí.

V modelu byla dále použita vzdálenost 200 km dopravy na místo stavby. V následujícím grafu (Obr. 8) jsou tyto scénáře uváděny jako 10 km + 200 km; 70 km + 200 km; 150 km + 200 km. Tyto tři scénáře dopravy jsou v obrázku znázorněny různými barvami, viz popisek v grafu.

Graf uvádí, jak velký podíl (%) má doprava na výsledných environmentálních dopadech.



Obr. 8: Vliv dopravy na hodnoty indikátorů environmentálních dopadů produkce 1 kg dřevěného konstrukčního prvku

Z grafu je patrné, že doprava nepředstavuje dominantní environmentální problém při produkci dřeva, nicméně její vliv rozhodně není zanedbatelný. Vliv dopravy se v závislosti na posuzované kategorii dopadu pohybuje v rozmezí 10 až 20%. Snížením dopravních vzdáleností při dopravě na pilu lze snížit míru zásahu do uvedených kategorií dopadu.

3.1.3 Zhodnocení environmentálních dopadů produkce dřevěného konstrukčního dílu

- Největší podíl na výsledných environmentálních dopadech produkce dřevěného konstrukčního dílu má proces produkce dřeva a proces pily včetně sušení dřeva. Toto platí pro všechny kategorie dopadu s výjimkou globálního oteplování.
- Produkce dřeva působí pozitivně na kategorii dopadu globální oteplování. To je způsobeno absorpcí CO₂ stromy během fáze růstu.
- Vliv dopravní vzdálenosti na výsledné hodnoty environmentálních dopadů není dominantní, ale podílí se v rozpětí cca 10 až 20 % zásahu do jednotlivých kategorií dopadu.

3.2 Porovnání nosníků

Ve studii byly porovnány environmentální dopady životních cyklů nosníků následujících materiálů:

- ocel,
- dřevěný „I“ nosník,
- lepený dřevěný KVH hranol,
- beton.

Pro účely studie byly zvoleny reprezentativní funkční jednotky odpovídající délce 1 metru nosníku pro překlenutí následujících vzdáleností (rozpon):

- 2,5 m,
- 4,5 m,
- 6,5 m.

Nosníky byly porovnávány z pohledu stejné únosnosti potřebné na překlenutí 3 vybraných rozponů. Pro dosažení co nejpřesnějšího srovnání nosníků nebyly brány v potaz výrobní a běžně používané rozměry jednotlivých materiálů.

Množství spotřebovaných materiálů pro výrobu jednotlivých nosníků pro jednotlivé rozpony je uvedeno v následující tabulce (Tab. 4).

Všechny dopravní vzdálenosti v následujících scénářích byly zvoleny 100 km. Jedná se spíše o konzervativní odhad. Skutečné vzdálenosti přepravy budou v reálu spíše nižší.

Tab. 4: Skladba nosníků pro jednotlivé rozpony, hmotnosti materiálů

		Rozpon		
		2,5 m	4,5 m	6,5 m
Produkt – typ nosníku	Materiál	Množství materiálu na jednotkovou délku nosníku (1 m)	Množství materiálu na jednotkovou délku nosníku (1 m)	Množství materiálu na jednotkovou délku nosníku (1 m)
Ocelový nosník	Ocel třídy S235	ocel I80 5,94 kg	ocel I140 14,4 kg	ocel I180 21,9 kg
Dřevěný „I“ nosník	Délkově napojované dřevo	0,012 m ³ 5,4 kg	0,012 m ³ 5,4 kg	0,012 m ³ 5,4 kg
	OSB, hustota 600 kg/m ³	0,00192 m ³ 1,152 kg	0,00384 m ³ 2,304 kg	0,00768 m ³ 4,608 kg

Lepený dřevěný nosník KVH	Délkově napojované dřevo, uměle sušené KVH, hustota 450 kg/m ³	0,012 m ³ 5,4 kg	0,028 m ³ 12,6 kg	0,0448 m ³ 20,16 kg
Betonový nosník	Beton, hustota 2200 kg/m ³	24,75 kg	69,3 kg	99 kg
	Ocelová výztuž	0,7 kg	1,33 kg	1,9 kg

3.2.1 Lepený dřevěný KVH nosník

KVH (Obr. 9), neboli délkově napojované, konstrukční řezivo je dnes nejpoužívanějším materiálem pro dřevěné konstrukce (dřevostavby atd.). Základními výhodami je třídění dle pevnosti, absence vad přesahujících kritéria třídění, rovinatost, vlhkost dřeva dosažená umělým sušením. Ve výpočtu byly použity následující rozměry (bez ohledu na vyráběné rozměry, pro co nejpřesnější porovnání s ostatními typy nosníků):

- šířka 100 mm, výška 140 mm pro rozpon 2,5 m,
- šířka 140 mm, výška 220 mm pro rozpon 4,5 m,
- šířka 160 mm, výška 300 mm pro rozpon 6,5 m.



Obr. 9: KVH hranoly, ilustrativní příklad. Zdroj: CO JSOU TO KVH HRANOLY? Artisan [online]. 2014 [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: <https://www.artisan.cz/co-jsou-to-kvh-hranoly>

- Doprava pořezu včetně byla modelována na vzdálenost 100 km.

- Spotřebovaná elektrická energie dosáhla hodnoty 72 kWh na 1 m³ kulatiny.
- Při výrobě nosníku bylo na 1m³ kulatiny spotřebováno 3,021 kg lepidla na bázi melaminu (1257) a 0,804 kg tužidla (7557).
- Celková výtěžnost objemu lepených vazníků dosáhla hodnoty 38%.
- Z 1m³ kulatiny bylo vyrobeno
 - 0,38 m³ lepených nosníků a bylo získáno
 - 0,048 m³ kůry (využití jako mulčovací hmota),
 - 0,12 m³ pilin (možnost využití jako palivo),
 - 0,252 m³ štěpky (možnost využití pro výrobu deskového materiálu),
 - 0,06 m³ odřezků (možnost využití na palivo nebo štěpky – výroba deskových materiálů) a
 - 0,145 m³ hoblin a pilin (možnost využití na palivo – přímo nebo pelety).

LCA model produktového systému je znázorněn na následujících schématech (Obr. 10, Obr. 11, Obr. 12).

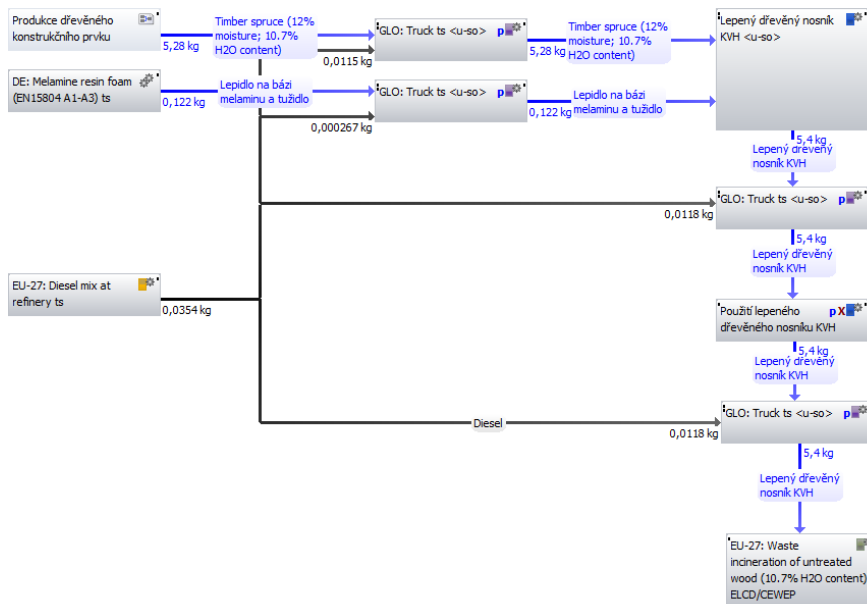
Procesy (obdélníky) na levé straně obrázku reprezentují procesy výroby daného materiálu. Následují procesy dopravy (truck). Závěr životního cyklu reprezentuje proces Waste incineration, který vyčísluje využití odpadního dřeva jako energetické suroviny s následným využitím tepelné energie.

Vysvětlivky k obrázku:

Diesel mix at refinery	= výroba nafty
Truck-trailer	= doprava nákladním vozem
Melamine resin foam	= výroba lepidla
Electricity grid mix	= výroba elektřiny
Waste incineration	= spalovna odpadního dřeva

Lepený dřevěný nosník KVH 2,5 m

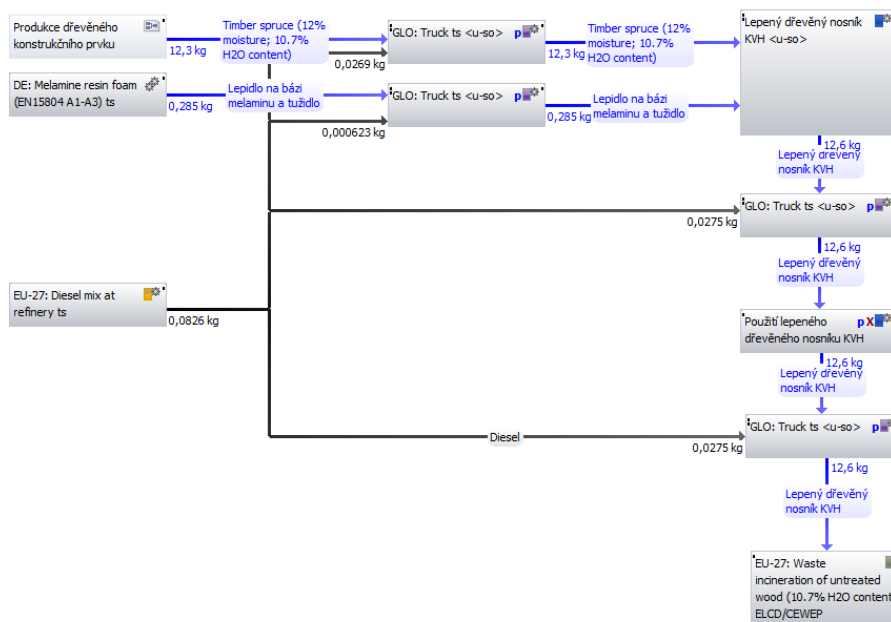
Process plan: Reference quantities
The names of the basic processes are shown.



Obr. 10: Produktové schéma životního cyklu lepeného KVH nosníku, schéma pro 1 m nosníku určeného pro rozpon 2,5 m

Lepený dřevěný nosník KVH 4,5 m

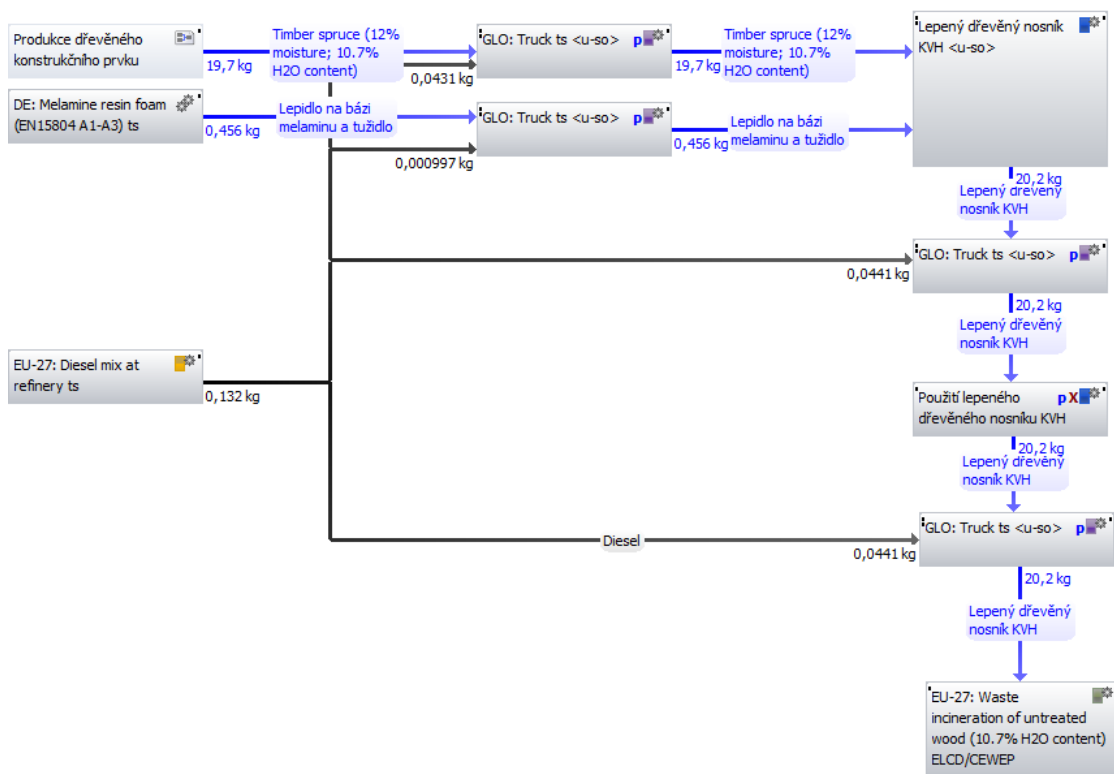
Process plan: Reference quantities
The names of the basic processes are shown.



Obr. 11: Produktové schéma životního cyklu lepeného KVH nosníku, schéma pro 1 m nosníku určeného pro rozpon 4,5 m

Lepený dřevěný nosník KVH 6,5 m

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



Obr. 12: Produktové schéma životního cyklu lepeného KVH nosníku, schéma pro 1 m nosníku určeného pro rozpon 6,5 m

3.2.2 Lepený dřevěný nosník typu „I“

Zde byl uvažován lepený dřevěný nosník typu „I“ se stojinou z OSB o tloušťce 12 mm a pásnicemi lepeného dřeva o rozměrech 100 x 60 mm (Obr. 13). Výška pásnice byla pro jednotlivé rozpony brána následující:

- 260 mm pro rozpon 2,5 m,
- 420 mm pro rozpon 4,5 m,
- 740 mm pro rozpon 6,5 m.



Obr. 13: Dřevěný nosník typu "I", ilustrativní zobrazení. Zdroj: Technická příručka: I-OSB Dřevěné nosníky [online]. Czech Pan, 2014 [cit. 2016-02-12]. Dostupné z: http://www.czechpan.cz/files/i-osb/itp_201405e_cz.pdf

Proces byl modelován následujícím způsobem:

- Doprava pořezu byla modelována na vzdálenost 100 km.
- Spotřebovaná elektrická energie dosáhla hodnoty 58 kWh na 1 m³ kulatiny.
- Výtěžnost z 1m³ kulatiny při použití masivního nosníku byla následující:
 - 0,42 m³ výrobek – masivní dřevěný hranol,
 - 0,05 m³ kůra (využití jako mulčovací hmota),
 - 0,28 m³ štěpky (možnost využití pro výrobu deskového materiálu) a
 - 0,25 m³ hoblin a pilin (možnost využití na palivo – přímo nebo pelety).

Ukončení životního cyklu dřevěných nosníků bylo modelováno energetickým využitím dřeva jako paliva.

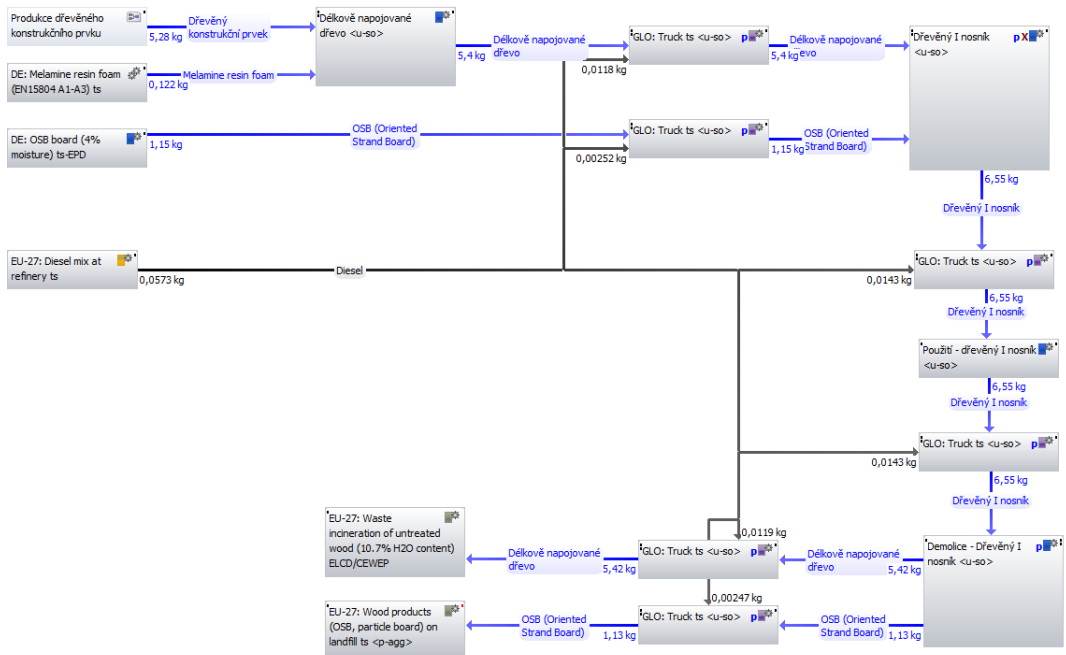
LCA model produktového systému je znázorněn na následujících schématech (Obr. 14, Obr. 15, Obr. 16).

Vysvětlivky k obrázku:

Diesel mix at refinery	= výroba nafty
Truck-trailer	= doprava nákladním vozem
Melamine resin foam	= výroba lepidla
OSB board	= výroba OSB desky
Electricity grid mix	= výroba elektřiny
Waste incineration	= spalovna odpadního dřeva
Wood products (OSB, particle board) on landfill	= skládkování odpadních materiálů

Dřevěný I nosník 2,5 m

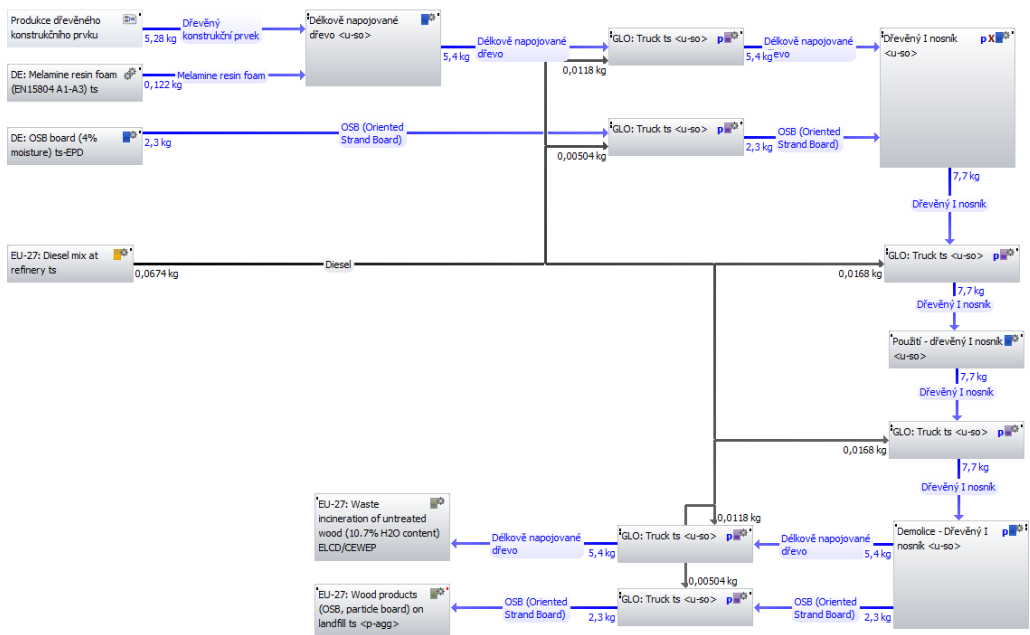
Process plan/Reference quantities
The names of the basic processes are shown.



Obr. 14: Produktové schéma životního cyklu lepeného dřevěného nosníku typu „I“, schéma pro 1 m nosníku určeného pro rozpon 2,5 m

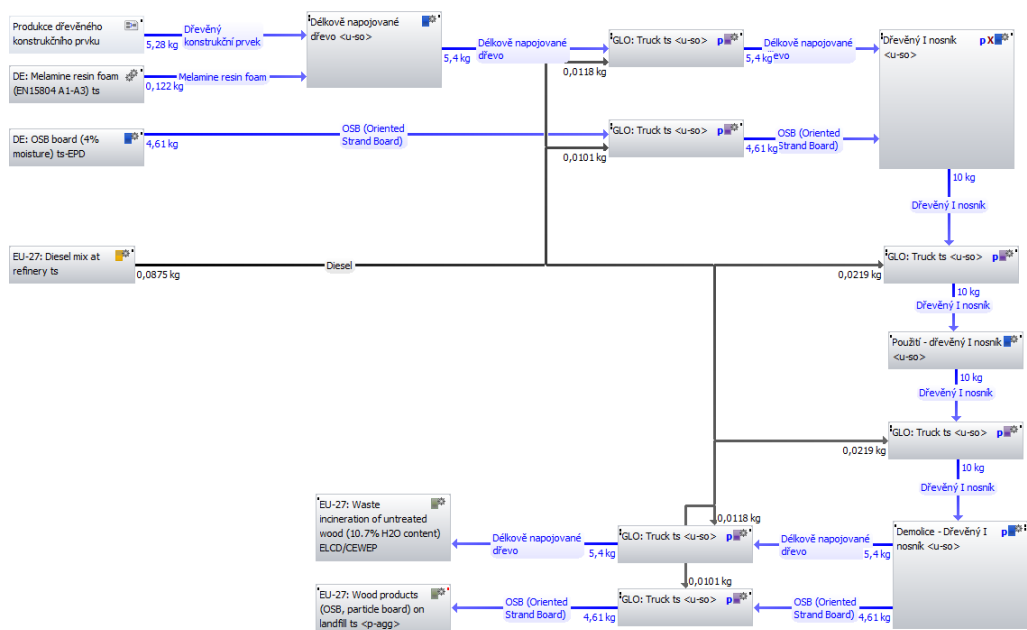
Dřevěný I nosník 4,5 m

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



Obr. 15: Produktové schéma životního cyklu lepeného dřevěného nosníku typu „I“, schéma pro 1 m nosníku určeného pro rozpon 4,5 m

Dřevěný I nosník 6,5 m
 Process plan-Reference quantities
 The names of the basic processes are shown.



Obr. 16: Produktové schéma životního cyklu lepeného dřevěného nosníku typu „I“, schéma pro 1 m nosníku určeného pro rozpon 6,5

3.2.3 Ocelový nosník

Porovnáván byl ocelový nosník (Obr. 17) typu IPN, ocel třídy S235, pro jednotlivé rozpony šlo o následující výšky nosníku:

- I80 (výška nosníku 80 mm) pro 2,5 m
- I140 (výška nosníku 140 mm) pro 4,5 m
- I180 (výška nosníku 180 mm) pro 6,5 m

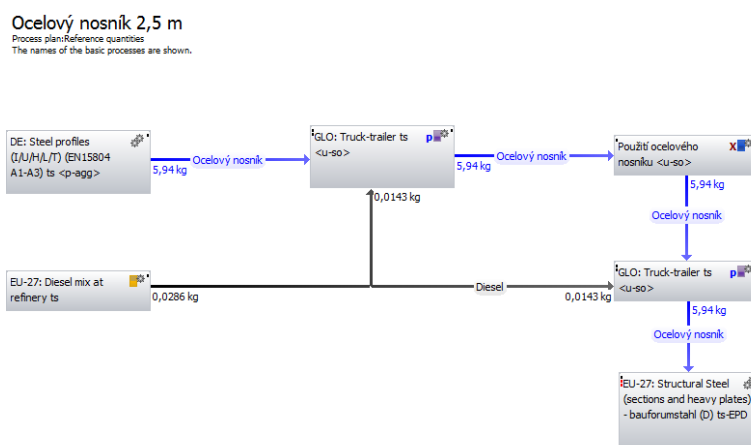


Obr. 17: Ocelový nosník, ilustrační zobrazení. Zdroj: Tumblr: Steel beams [online]. 2016 [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: <https://www.tumblr.com/search/steal%20beams>

Na základě vstupních dat uvedených v předchozí tabulce byl vytvořen LCA model životního cyklu ocelového nosníku. Ukončení životního cyklu je modelováno procesem recyklace oceli (EU-27: Structural Steel), což odpovídá současné praxi. Přehled o zahrnutých vstupech a výstupech uvádí následující schémata (Obr. 18, Obr. 19, Obr. 20).

Vysvětlivky k obrázkům:

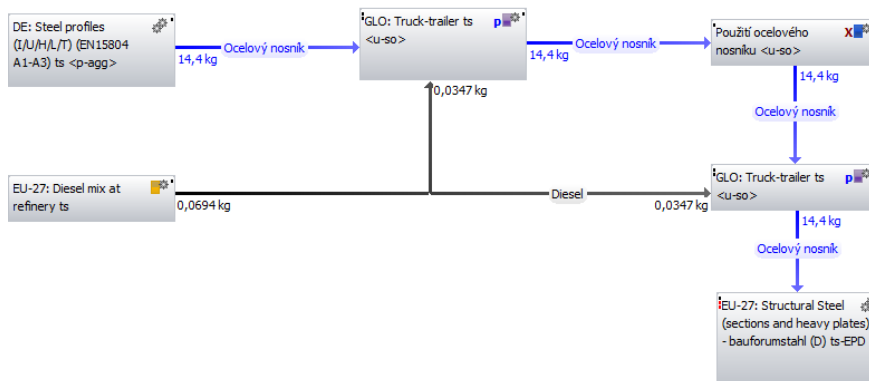
- Diesel mix at refinery = výroba nafty
- Truck-trailer = doprava nákladním vozem
- Steel profiles = výroba ocelových profilů
- Structural steel = recyklace použité oceli



Obr. 18: Produktové schéma životního cyklu ocelového nosníku, schéma pro 1 m nosníku určeného pro rozpon 2,5 m

Ocelový nosník 4,5 m

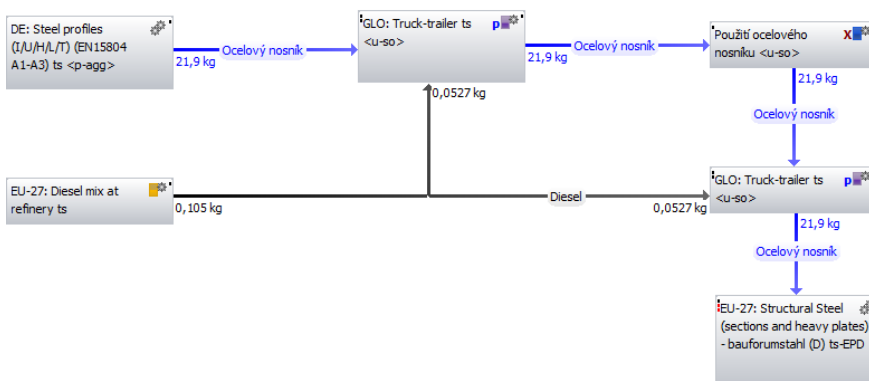
Process plan: Reference quantities
The names of the basic processes are shown.



Obr. 19: Produktové schéma životního cyklu ocelového nosníku, schéma pro 1 m nosníku určeného pro rozpon 4,5 m

Ocelový nosník 6,5 m

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



Obr. 20: Produktové schéma životního cyklu ocelového nosníku, schéma pro 1 m nosníku určeného pro rozpon 6,5 m

3.2.4 Betonový nosník

Betonový nosník (Obr. 21) byl modelován z betonu třídy C20/25, s ocelovou výztuží s krytím 20 mm, pro jednotlivé rozpory dle následujících parametrů:

- výška 150 mm, šířka 75 mm, ocelová výztuž u spodní strany 1xR10, ocelové třmínky průměru 6 mm po 80 mm pro rozpon 2,5m,
- výška 210 mm, šířka 150 mm, ocelová výztuž u spodní strany 2xR10, ocelové třmínky průměru 6 mm po 130 mm pro rozpon 2,5m,
- výška 300 mm, šířka 150 mm, ocelová výztuž u spodní strany 2xR12, ocelové třmínky průměru 6 mm po 130 mm pro rozpon 2,5m.



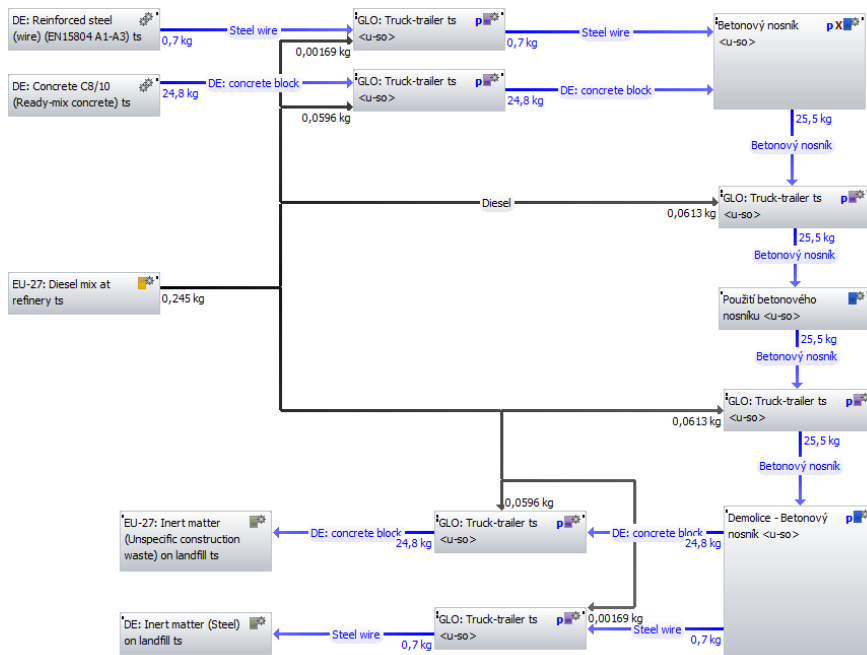
Obr. 21: Betonový nosník, ilustrativní zobrazení. Zdroj: ArchiExpo: Prestressed concrete beams. ArchiExpo [online]. 2016 [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: <http://www.archiexpo.com/architecture-design-manufacturer/prestressed-concrete-beam-41424.html>

Na základě vstupních dat uvedených v Tab. 4 byl vytvořen LCA model životního cyklu betonového nosníku. Ukončení životního cyklu betonového nosníku bylo modelováno jako uložení objemného inertního odpadu na skládku, což odpovídá současné situaci v ČR. Přehled o zahrnutých vstupech a výstupech uvádí následující schémata (Obr. 22, Obr. 23, Obr. 24).

Vysvětlivky k obrázkům:

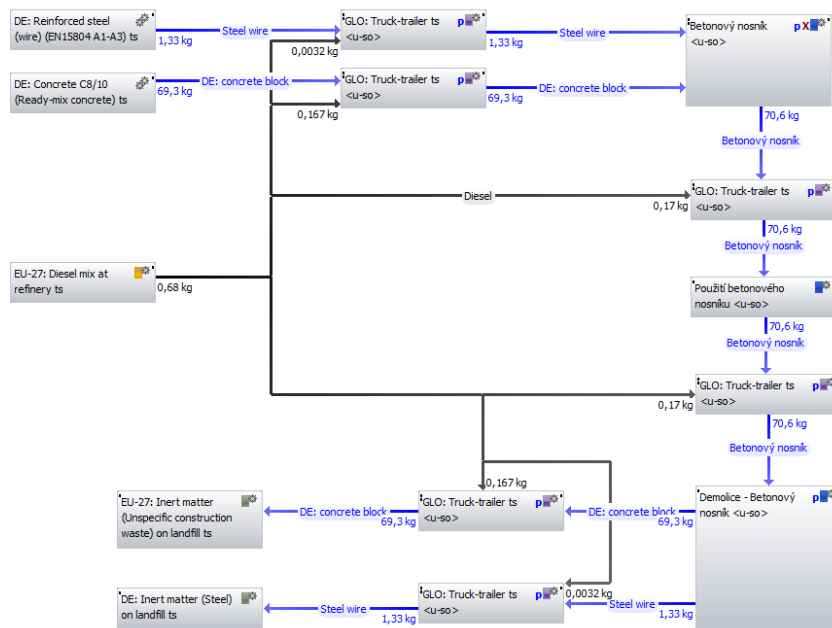
Diesel mix at refinery	= výroba nafty
Truck-trailer	= doprava nákladním vozem
Reinforced steel wire	= výroba ocelových prutů
Concrete	= výroba betonu
Inner matter	= skládkování inertních materiálů

Betonový nosník 2,5 m
 Process plan: Reference quantities
 The names of the basic processes are shown.



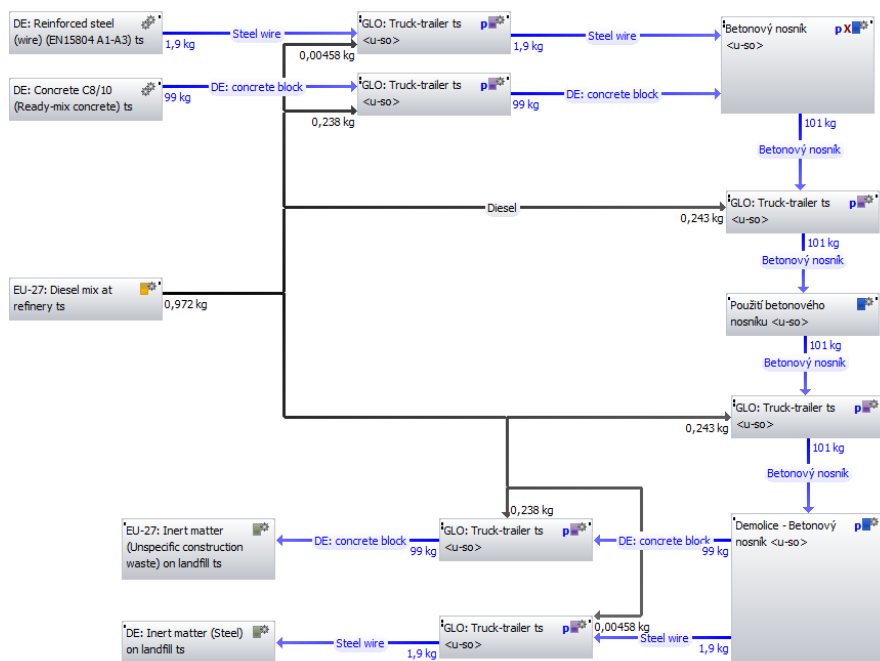
Obr. 22: Produktové schéma životního cyklu betonového nosníku, schéma pro 1 m nosníku určeného pro rozpon 2,5 m

Betonový nosník 4,5 m
 Process plan: Reference quantities
 The names of the basic processes are shown.



Obr. 23: Produktové schéma životního cyklu betonového nosníku, schéma pro 1 m nosníku určeného pro rozpon 4,5 m

Betonový nosník 6,5 m
 Process plan: Reference quantities
 The names of the basic processes are shown.



Obr. 24: Produktové schéma životního cyklu betonového nosníku, schéma pro 1 m nosníku určeného pro rozpon 6,5 m

3.2.5 Výsledky hodnocení nosníků

Environmentální dopady životních cyklů jednotlivých typů nosníků shrnují následující tabulky. V každé tabulce jsou shrnuty nosníky různého materiálu pro stejný rozpon 2,5 m, rozpon 4,5 m, rozpon 6,5 m.

Záporné hodnoty poukazují na skutečnost, že zvolený scénář nakládání s použitým dřevem – energetické využití za účelem nahrazení současným způsobem vyráběné elektrické energie či tepla – má nižší dopady. Jedná se tedy o environmentální benefity ve srovnání se současným realizovaným způsobem výroby elektrické energie či tepla z fosilních zdrojů, resp. současným energetickým mixem ČR.

Tab. 5: Porovnání environmentálních dopadů nosníků pro rozpon 2,5 m

Kategorie dopadu	Betonový nosník 2,5 m	Dřevěný I nosník 2,5 m	Lepený dřevěný nosník KVH 2,5 m	Ocelový nosník 2,5 m
Úbytek minerálních surovin (ADP elements) [kg Sb-Equiv.]	3,26E-06	2,49E-06	1,45E-06	1,55E-07
Úbytek fosilních surovin (ADP fossil) [MJ]	29,1	-63,3	-72,7	20,9
Acidifikace (AP) [kg SO ₂ -Equiv.]	0,010	-0,021	-0,023	0,010
Eutrofizace (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	0,0018	0,0018	-0,0001	0,0009
Globální oteplování (GWP 100 years) [kg CO ₂ -Equiv.]	3,64	-14,06	-14,53	0,06
Úbytek stratosférického ozonu (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	3,88E-11	-2,85E-07	-3,29E-07	1,79E-10
Vznik fotooxidantů (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	-0,0005	-0,0010	-0,0016	-0,0006

Pozn.: Červeně jsou označeny kategorie dopadu s nejvíce negativním výsledkem pro každý typ materiálu

Tab. 6: Porovnání environmentálních dopadů nosníků pro rozpon 4,5 m

Kategorie dopadu	Betonový nosník 4,5 m	Dřevěný I nosník 4,5 m	Lepený dřevěný nosník KVH 4,5 m	Ocelový nosník 4,5 m
Úbytek minerálních surovin (ADP elements) [kg Sb-Equiv.]	8,99E-06	3,53E-06	3,37E-06	3,77E-07
Úbytek fosilních surovin (ADP fossil) [MJ]	76,5	-54,2	-169,6	50,7
Acidifikace (AP) [kg SO ₂ -Equiv.]	0,028	-0,019	-0,054	0,024
Eutrofizace (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	0,0050	0,0036	-0,0003	0,0021
Globální oteplování (GWP 100 years) [kg CO ₂ -Equiv.]	9,77	-13,59	-33,91	0,13
Úbytek stratosférického ozonu (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	9,28E-11	-2,38E-07	-7,68E-07	4,35E-10
Vznik fotooxidantů (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	-0,0015	-0,0003	-0,0037	-0,0014

Pozn.: Červeně jsou označeny kategorie dopadu s nejvíce negativním výsledkem pro každý typ materiálu

Tab. 7: Porovnání environmentálních dopadů nosníků pro rozpon 6,5 m

Kategorie dopadu	Betonový nosník 6,5 m	Dřevěný I nosník 6,5 m	Lepený dřevěný nosník KVH 6,5 m	Ocelový nosník 6,5 m
Úbytek minerálních surovin (ADP elements) [kg Sb-Equiv.]	1,28E-05	5,61E-06	5,40E-06	5,73E-07
Úbytek fosilních surovin (ADP fossil) [MJ]	109,3	-36,2	-271,3	77,1
Acidifikace (AP) [kg SO ₂ -Equiv.]	0,040	-0,014	-0,087	0,036
Eutrofizace (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	0,0071	0,0074	-0,0004	0,0033
Globální oteplování (GWP 100 years) [kg CO ₂ -Equiv.]	13,95	-12,69	-54,26	0,20
Úbytek stratosférického ozonu (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	1,33E-10	-1,47E-07	-1,23E-06	6,61E-10
Vznik fotooxidantů (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	-0,0022	0,0011	-0,0060	-0,0021

Pozn.: Červeně jsou označeny kategorie dopadu s nejvíce negativním výsledkem pro každý typ materiálu

3.2.6 Zhodnocení nosníků

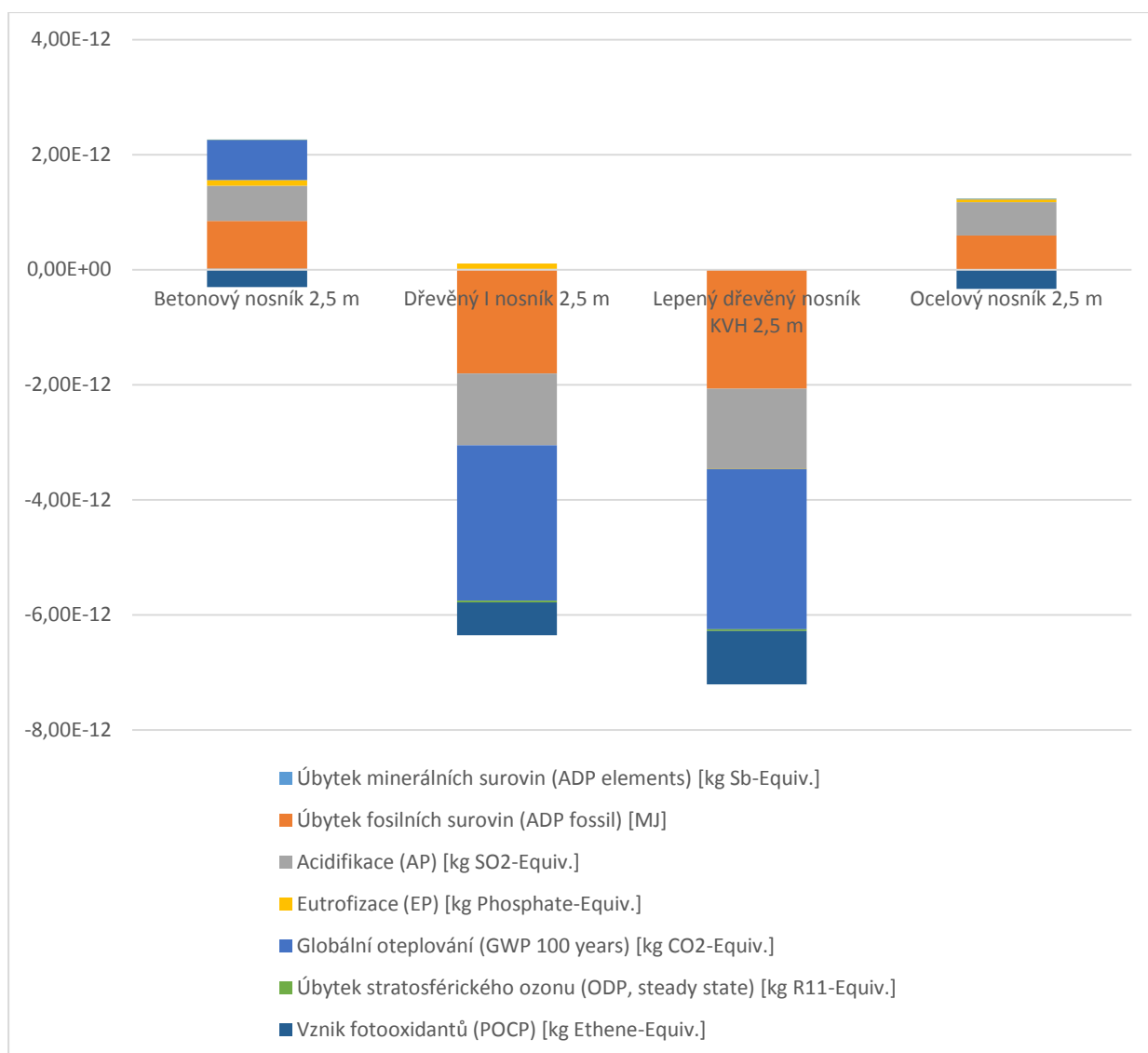
Z pohledu kategorie dopadu globální oteplování je jednoznačně nejpříznivější lepený dřevěný nosník. Dřevěný I nosník již vykazuje vyšší dopady na GWP, což je způsobeno použitím dřevotřísky. Betonový i ocelový nosník vykazují vyšší dopady na globální oteplování.

Z pohledu ostatních kategorií dopadu již nevychází dřevěné nosníky vždy nejlépe. Použití dřevěných nosníků však jednoznačně napomáhá snižovat spotřebu fosilních surovin (ADP fossil) a kategorie dopadu acidifikace a úbytek stratosférického ozonu. Normalizované výsledky indikátorů kategorií dopadu pro jednotlivé rozpony a materiály nosníků jsou uvedeny v následujících grafech. Sloupce nad vodorovnou osou značí, že daný produkt vykazuje kladný příspěvek k výsledným environmentálním dopadům, tudíž poškozují životní prostředí. Mají-li normalizované výsledky zápornou hodnotu, sloupce jsou pod vodorovnou osou, tak vykazují pozitivní přínos vůči životnímu prostředí.

Pozitivní přínos pro životní prostředí je dán dvěma skutečnostmi:

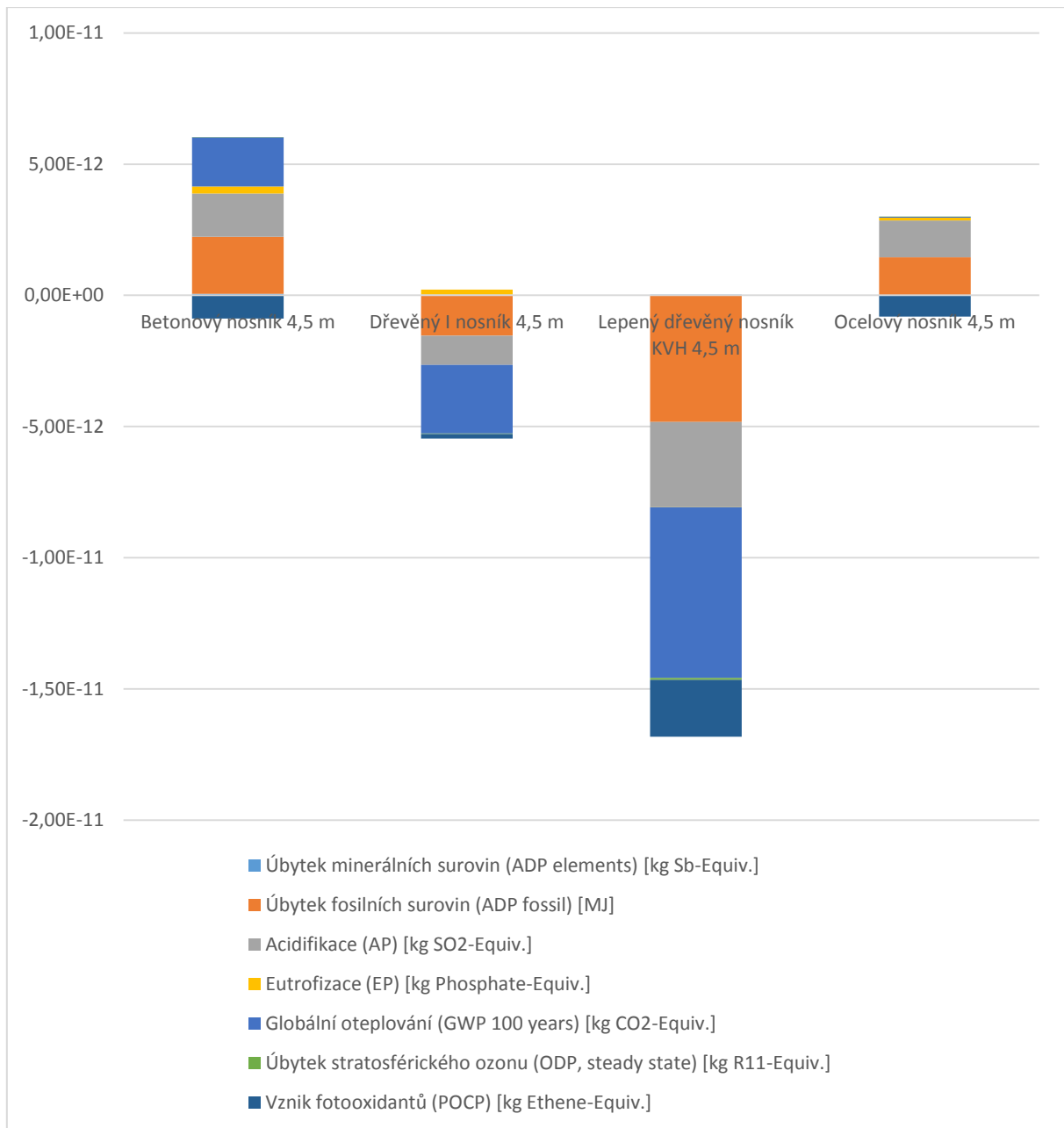
1. Tím, že dřevní hmota ve fázi růstu absorbuje CO₂ z atmosféry, podílí se na žádoucím snižování skleníkového jevu.
2. Využití dřeva na konci jeho užité fáze jako paliva umožňuje od daného scénáře odečíst environmentální dopady, které by nutně musely nastat, kdyby se odpovídající množství tepelné energie muselo vyrobit z fosilních zdrojů, což je v současné době většinový postup v ČR.

Z následujících grafů (Obr. 25, Obr. 26, Obr. 27) jednoznačně vyplývá, že dřevěné nosníky mají výrazně nižší environmentální dopady, nežli nosníky betonové či ocelové.



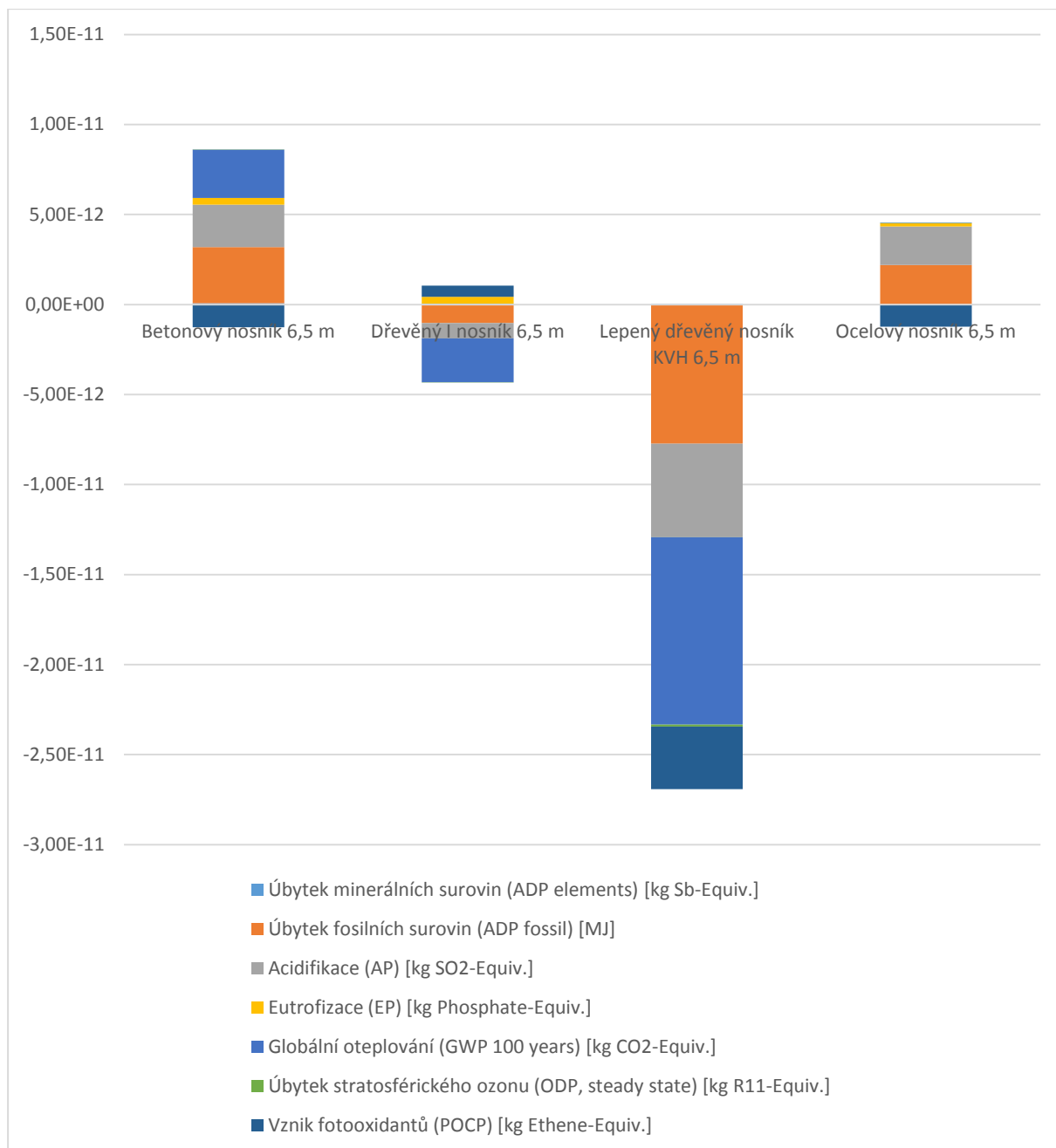
Obr. 25: Normalizované výsledky indikátorů kategorií dopadu 1m nosníků pro rozpon 2,5 m

Graf dokresluje, že nejvyšší souborné environmentální dopady vykazuje betonový nosník a dále ocelový nosník. Dřevěný I nosník a lepený dřevěný nosník mají nejen nižší environmentální dopady, ale rovněž vykazují i výrazné environmentální benefity. Celkově z environmentálního hlediska vychází nejlépe lepený dřevěný nosník KVH.



Obr. 26: Normalizované výsledky indikátorů kategorií dopadu 1m nosníků pro rozpon 4,5 m

Zvýšením rozponu zdi dochází k větší spotřebě materiálu na výrobu nosníku. Tím dochází ke zvýraznění rozdílů v environmentálních dopadech jednotlivých typů nosníků. Nejhůře vychází nosník betonový, nejlépe nosník lepený dřevěný KVH.



Obr. 27: Normalizované výsledky indikátorů kategorií dopadu 1m nosníků pro rozpon 6,5 m

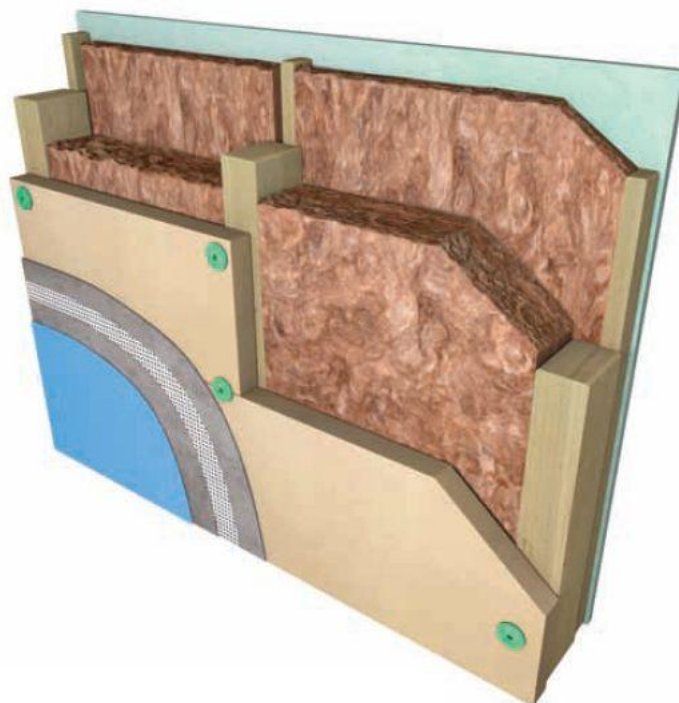
Zvýšení rozponu zdí ze 4,5 m na 6,5 vede ještě k většímu zvýraznění benefitů používání dřevěného lepeného nosníku KVH. Tento typ nosníku vychází z environmentálního pohledu jako nejvíce šetrný. Nejvyšší environmentální dopady vychází u nosníku betonového.

3.3 Porovnání konstrukcí obvodových stěn

V této kapitole byly porovnávány konstrukce obvodových stěn obytných budov. Jako základní požadavek byla vybrána hodnota součinitele prostupu tepla, tedy v současné době nejvíce sledovaný parametr obvodových konstrukcí vyjadřující jejich tepelně-izolační schopnosti. Porovnávány byly varianty skladeb jednotlivých materiálů přibližující se hodnotou součinitele prostupu tepla k $0,300 \text{ W/m}^2\text{K}$.

3.3.1 Difúzně otevřená konstrukce rámové dřevostavby

Rámová konstrukce je nejpoužívanějším konstrukčním systémem dřevostaveb v současné době. Jeho předností je rychlá výstavba a dobrý poměr obestavěného a užitného prostoru (tedy nízká tloušťka zdí ve srovnání s jinými stavebními systémy). Podle skladby materiálů v konstrukci a jejich propustnosti pro vodní páry lze rozlišovat konstrukci difúzně otevřenou (umožňující omezený přístup vodních par z interiéru přes konstrukci do exteriéru) a difúzně uzavřenou, neumožňující přístup vodních par konstrukcemi. V první variantě bývá obvykle větší procento materiálů na přírodní bázi (i když to nemusí být pravidlem). Skladba difúzně možné skladby difúzně otevřené konstrukce je na následujícím obrázku (Obr. 28).



Obr. 28: Skladba difúzně otevřené konstrukce rámové dřevostavby, ilustrativní příklad. Zdroj: POJAR, Petr. Dřevostavby v kožichu z minerální vaty. České stavby [online]. 2011 [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: <http://www.ceskestavby.cz/clanky/jak-se-zatepluje-drevostavba-19855.html>

Pro vyčíslení environmentálních dopadů difúzně otevřené konstrukce byl použit výřez o ploše 1 m² se součinitelem prostupu tepla 0,298 W/m²K složen z následujících materiálů:

- sádrovláknitá deska
- dřevěný rošt
- sádrovláknitá deska
- dřevěná rámová konstrukce
- minerální izolace
- dřevovláknitá deska
- stěrkořací hmota se síťovinou
- fasádní omítka

Přehled o modelovaných vstupech difúzně otevřené konstrukce uvádí následující tabulka (Tab. 8).

Tab. 8: Skladba difúzně otevřené konstrukce, tloušťka a hmotnost materiálů

Číslo vrstvy	Název materiálu	Tloušťka (mm)	Objem (m ³)	Objemová hmotnost (kg/m ³)	Hmotnost (kg)	Poznámky
1	Sádrovláknitá deska	12,5	0,0125	1150	14,375	<i>system Fermacell</i>
2	Dřevěný rošt	40	0,00384	450	1,728	<i>uzavřená vzduchová dutina, SM KVH 60/40 mm po 625mm</i>
3	Sádrovláknitá deska	12,5	0,0125	1150	14,375	Fermacell Vapor
4	Dřevěná rámová konstrukce	120	0,0115	450	5,184	<i>SM KVH 60/120 mm po 625mm</i>
4	Minerální izolace	120	0,12	100	12	Ursa TWP 1, na bázi skla
5	Dřevovláknitá deska	35	0,035	160	5,6	Steico
6	Stěrkořací hmota se síťovinou	6	0,006	1400	8,4	<i>StoLevell Uni</i>
7	Omítka	2	0,002	1800	3,6	<i>StoSilcoK</i>

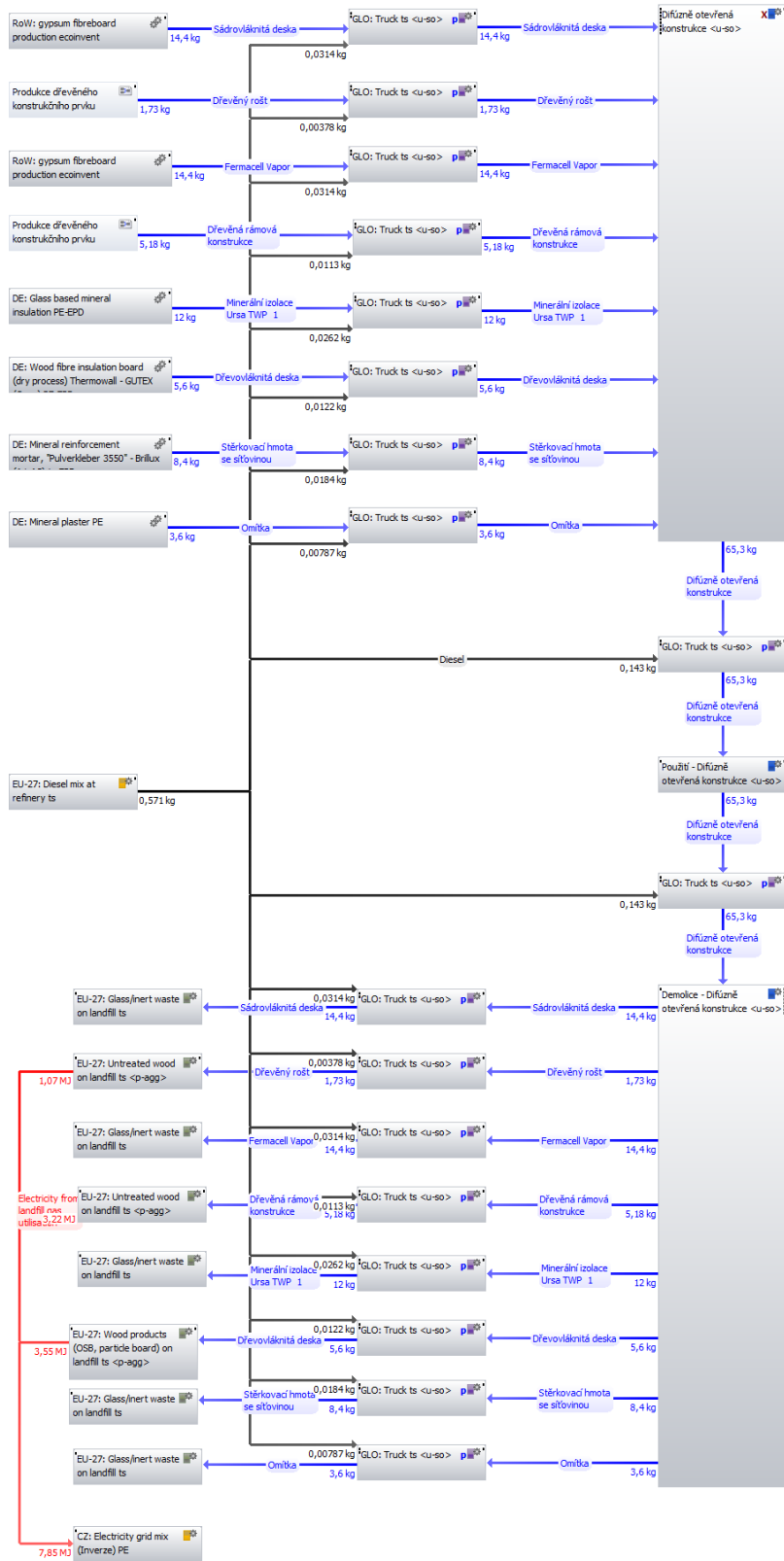
LCA model produktového systému je znázorněn na následujícím schématu (Obr. 29).

Vysvětlivky k obrázku:

Diesel mix at refinery	= výroba nafty
Truck-trailer	= doprava nákladním vozem
Gypsum	= výroba sádrovláknité desky
Gypsum fibreboard	= výroba sádrovláknité desky Fermacell Vapor
Glass based mineral insulation	= výroba minerální izolace
Wood fibre insulation board	= výroba dřevovláknité desky
Mineral reinforcement	= výroba stěrkovací hmoty se síťovinou
Mineral plaster	= výroba omítky
Electricity grid mix	= výroba elektřiny
Glass/inert	= skládkování sádrovláknité desky
Landfill	= skládkování daného materiálu
Electricity grid mix (Inverze)	= využití získaného tepla pro výrobu elektřiny

Difúzně otevřená konstrukce

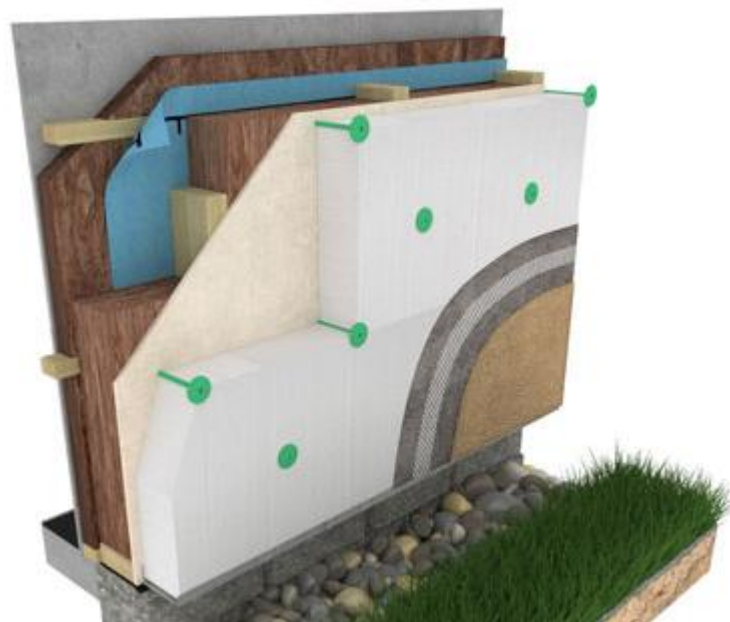
Process plan: Reference quantities
The names of the basic processes are shown.



Obr. 29: Produktové schéma životního cyklu difúzně otevřené konstrukce rámové dřevostavby

3.3.2 Difúzně uzavřená konstrukce rámové dřevostavby

Rámová konstrukce je nejčastěji realizovanou variantou stavebních systémů s využitím dřeva a materiálů na bázi dřeva. Rozdíl mezi difúzně otevřeným a uzavřeným systémem obvodových konstrukcí byl vysvětlen v předchozí kapitole. I přes nesporné výhody difúzně otevřené konstrukce je difúzně uzavřená verze realizována pravděpodobně ve většině případů (údaje nejsou k dispozici, ovšem v posledních letech stoupá počet realizovaných systémů difúzně otevřených na úkor difúzně uzavřených), zejména z důvodu nižší ceny. Příklad skladby konstrukce je na níže uvedeném obrázku (Obr. 30).



Obr. 30: Příklad možné skladby konstrukce difúzně uzavřené rámové dřevostavby, ilustrativní zobrazení. Zdroj: Difúzně uzavřená obvodová stěna dřevostavby. Knauf Insulation [online]. 2016 [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: <http://www.knaufinsulation.cz/difuzne-uzavrena-konstrukce-drevostavby>

Pro vyčíslení environmentálních dopadů difúzně uzavřené konstrukce byla použita konstrukce o ploše 1 m² se součinitelem prostupu tepla 0,306 W/m²K složená z následujících materiálů:

- sádrovláknitá deska
- dřevěný rošt
- parozábrana
- dřevěná rámová konstrukce
- minerální izolace
- sádrovláknitá deska
- lepící tmel na polystyren

- tepelná izolace expandovaný polystyren
- lepicí tmel se síťovinou
- fasádní omítka

Přehled o modelovaných vstupech difúzně uzavřené konstrukce uvádí následující tabulka (Tab. 9).

Tab. 9: Skladba difúzně uzavřené konstrukce, tloušťka a hmotnost materiálů

Číslo vrstvy	Název materiálu	Tloušťka (mm)	Objem (m ³)	Objemová hmotnost (kg/m ³)	Hmotnost (kg)	Poznámky
1	Sádrovláknitá deska	12,5	0,0125	1150	14,375	<i>system Fermacell</i>
2	Dřevěný rošt	40	0,00384	450	1,728	<i>uzavřená vzduchová dutina, SM KVH 60/40 mm po 625mm</i>
3	Parozábrana	0,25	0,00025	300	0,075	
4	Dřevěná rámová konstrukce	120	0,0115	450	5,184	<i>SM KVH 60/120 mm po 625mm</i>
4	Minerální izolace	120	0,12	30	3,6	
5	Sádrovláknitá deska	15	0,015	1150	17,25	<i>system Fermacell</i>
6	Lepicí tmel na polystyren	5	0,005	1300	6,5	
7	Tepelná izolace EPS 70F	20	0,02	15	0,3	
8	Lepicí tmel se síťovinou	2	0,002	1600	3,2	
9	Omítka	3	0,003	1800	5,4	

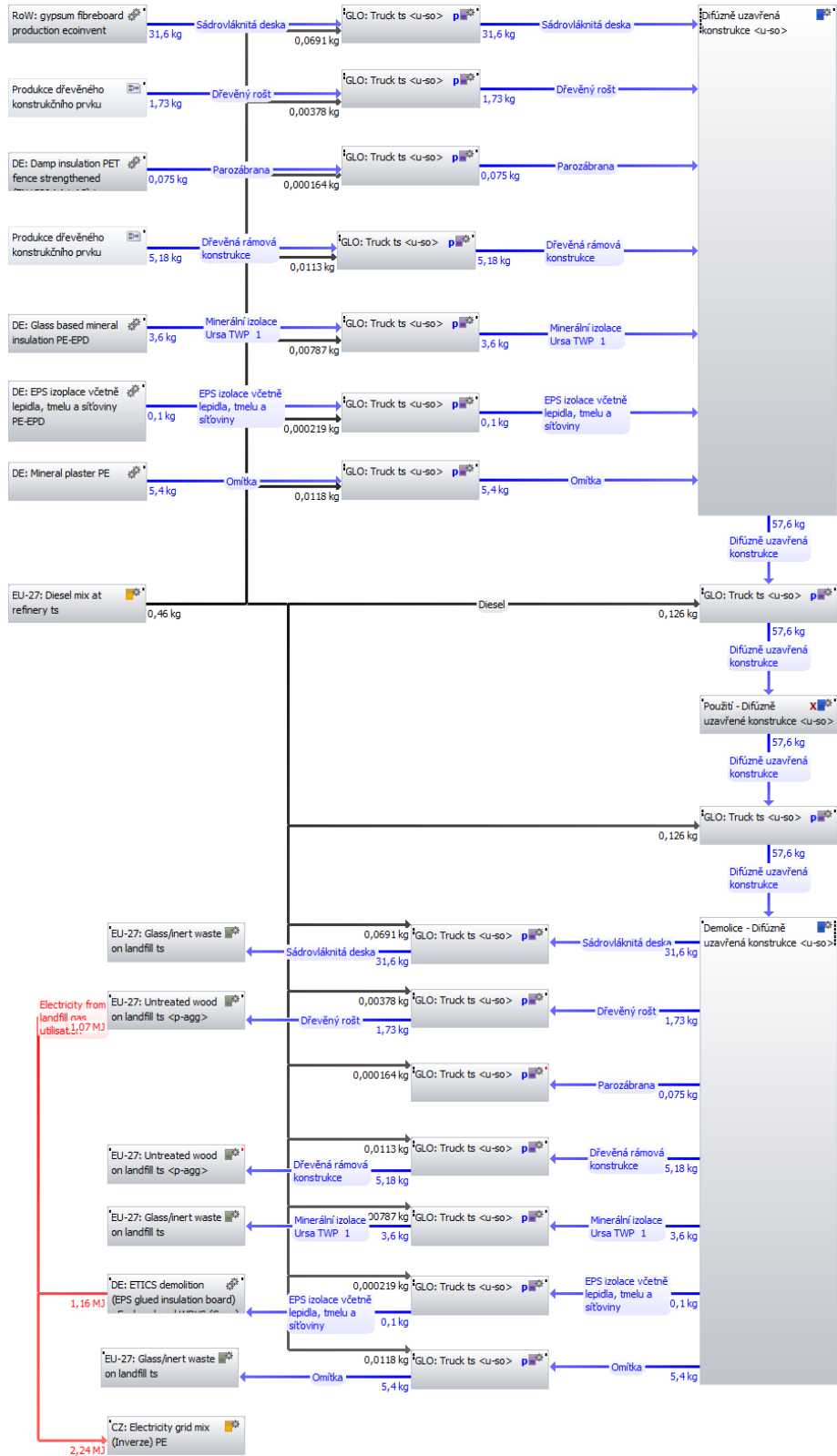
LCA model produktového systému je znázorněn na následujícím schématu (Obr. 31).

Vysvětlivky k obrázku:

Diesel mix at refinery	= výroba nafty
Truck-trailer	= doprava nákladním vozem
Gypsum	= výroba sádrovláknité desky
Gypsum fibreboard	= výroba sádrovláknité desky Fermacell Vapor
Glass based mineral insulation	= výroba minerální izolace
Mineral reinforcement	= výroba stěrkovací hmoty se síťovinou

Mineral plaster	= výroba omítky
Electricity grid mix	= výroba elektřiny
Glass/inert	= skládkování sádrovláknité desky
Landfill	= skládkování daného materiálu
Electricity grid mix (Inverze)	= využití získaného tepla pro výrobu elektřiny

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



Obr. 31: Produktové schéma životního cyklu difúzně uzavřené konstrukce rámové dřevostavby

3.3.3 CLT panel

V současné době se čím dál častěji využívá pro konstrukci obvodových stěn také masivních dřevěných lepených panelů. I přes vyšší spotřebu dřeva a vyšší cenu si tento materiál získává oblibu zejména díky vysokému podílu dřeva v poměru k ostatním ne-přírodním materiálům a přívětivému povrchu vnitřních konstrukcí tvořenému masivním dřevem. Z vnější strany je na nosný panel většinou instalován dřevěný rošt, do nějž se vkládá tepelná izolace (viz Obr. 32).



Obr. 32: Varianta skladby obvodové konstrukce s nosným CLT panelem, ilustrativní příklad.
Zdroj: CLT konštrukcia. Drevstav Slovakia [online]. 2016 [cit. 2016-04-22]. Dostupné z:
<http://www.drevstavlovakia.sk/nizkoenergeticky-dom/clt-konstrukcia>

Pro vyčíslení environmentálních dopadů byl použit CLT panel o ploše 1 m² a tloušťce 84mm se součinitelem prostupu tepla 0,302 W/m²K složený s následujícími materiály:

- CLT panel (křížem lepený dřevěný masivní panel)
- dřevovláknitá deska
- dřevěný laťový rošt
- dřevovláknitá deska
- pojistná difuzní fólie
- odvětrávaná mezera
- dřevěný obklad

Přehled o modelovaných vstupech CLT panelu uvádí následující tabulka (Tab. 10).

Tab. 10: Skladba obvodové konstrukce s CLT panelem, tloušťka a hmotnost materiálů

Číslo vrstvy	Název materiálu	Tloušťka (mm)	Objem (m ³)	Objemová hmotnost (kg/m ³)	Hmotnost (kg)	Poznámky
1	Novatop solid	84	0,084	490	41,16	CLT panel
2	Dřevovláknitá deska	70	0,070	160	11,2	Steico therm
3	Dřevěná lať	40	0,00384	450	1,728	Lať 40x60mm
3	Dřevovláknitá deska	40	0,03616	50	1,808	Steico flex
4	Pojistná difuzní fólie HD-PE	0,35	0,00035	180	0,1	Hmotnost dle udané plošné hmotnosti
5	Odvětrávací mezera	30	0,00288	450	1,296	Dřevěná lať 30x60mm, po 624 mm
6	Dřevěný obklad	18	0,018	450	8,1	

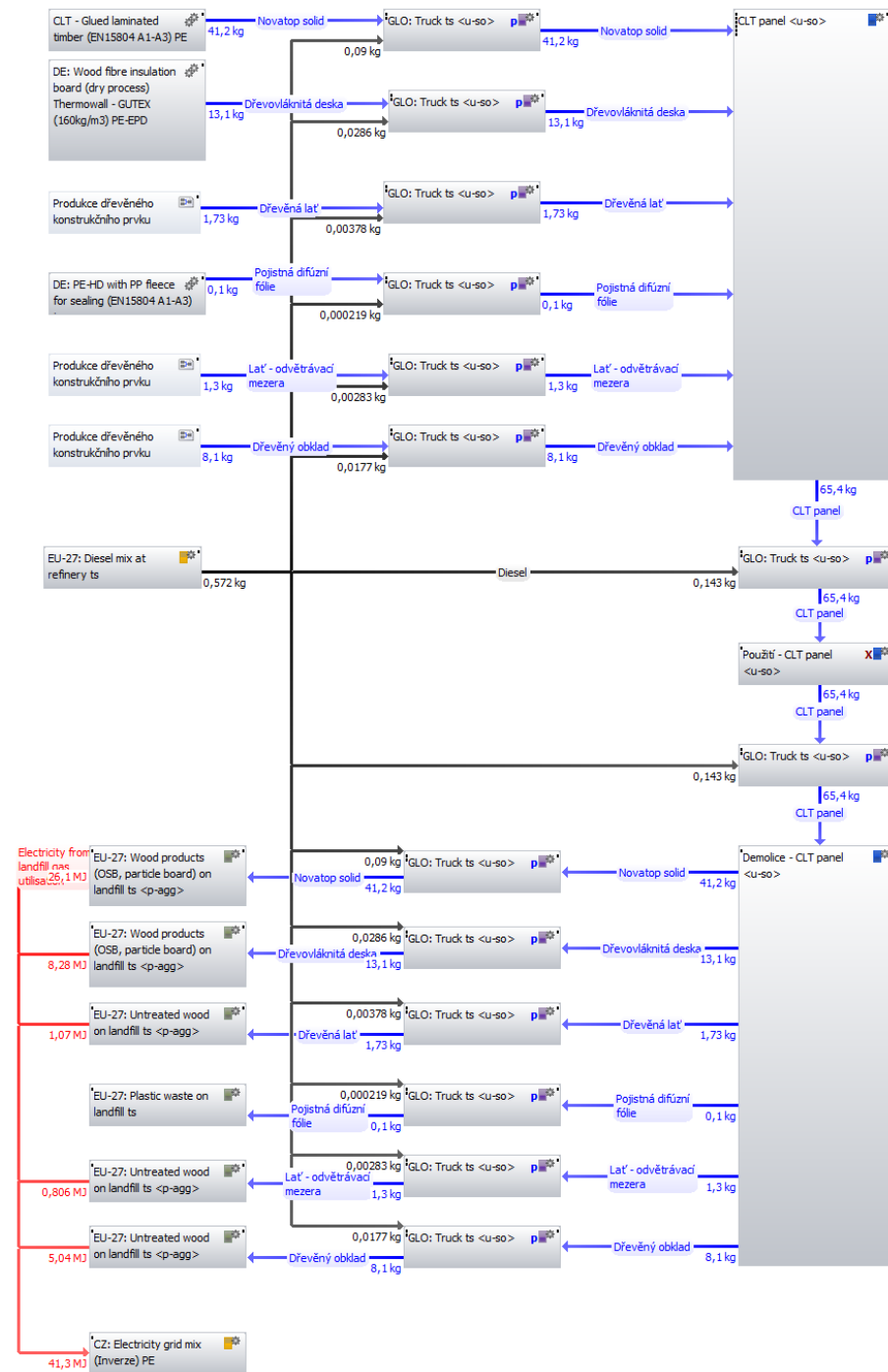
LCA model produktového systému je znázorněn na následujícím schématu (Obr. 33).

Vysvětlivky k obrázku:

Diesel mix at refinery	= výroba nafty
Truck-trailer	= doprava nákladním vozem
Glued laminated imber	= výroba CLT panelu
Wood fibre insulation	= výroba dřevovláknité desky
PE+HD with PP fleece	= výroba difúzní fólie
Landfill	= skládkování daného materiálu
Electricity grid mix (Inverze)	= využití získaného tepla pro výrobu elektřiny

CLT panel

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



Obr. 33: Produktové schéma životního cyklu obvodové stěny s CLT panelem

3.3.4 Roubená stěna

I přes fakt, že jde o koncepčně velmi starou konstrukci, i v současné době je realizováno stabilní procento staveb z masivního dřeva, či masivního dřeva lepeného jako roubené či srubové domy. Tato konstrukce má své nesporné výhody v jednoduchosti skladby a zejména

v recyklovatelnosti a znovuužitelnosti nosného materiálu (masivní, nebo lepené dřevo), viz Obr. 34.



Obr. 34: Varianta masivní roubené stěny z lepeného dřeva, ilustrativní příklad. Zdroj: ROUBENKY Z VYSUŠENÝCH HRANOLŮ. České roubenky [online]. 2013 [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: <http://www.ceskeroubenky.cz/roubenky-z-vysusenych-hranolu/>

Pro vyčíslení environmentálních dopadů byla použita roubená stěna o ploše 1 m² tloušťce 400 mm se součinitelem prostupu tepla 0,30 W/m²K složená s následujícími materiály:

- lepené dřevo
- lepidlo na bázi PU nebo melaminu.

Přehled o modelovaných vstupech roubené stěny uvádí následující tabulka (Tab. 11).

Tab. 11: Skladba roubené stěny, tloušťka a hmotnost materiálů.

Číslo vrstvy	Název materiálu	Tloušťka (mm)	Objem (m ³)	Objemová hmotnost (kg/m ³)	Hmotnost (kg)	Poznámky
1	Dřevo	400	0,4	500	200	
2	Lepidlo na bázi PU nebo melaminu				3	200-350 g/m ² spoje

Ukončení životního cyklu roubené stěny bylo modelováno jako energetické využití dřeva pro výrobu elektřiny a páry.

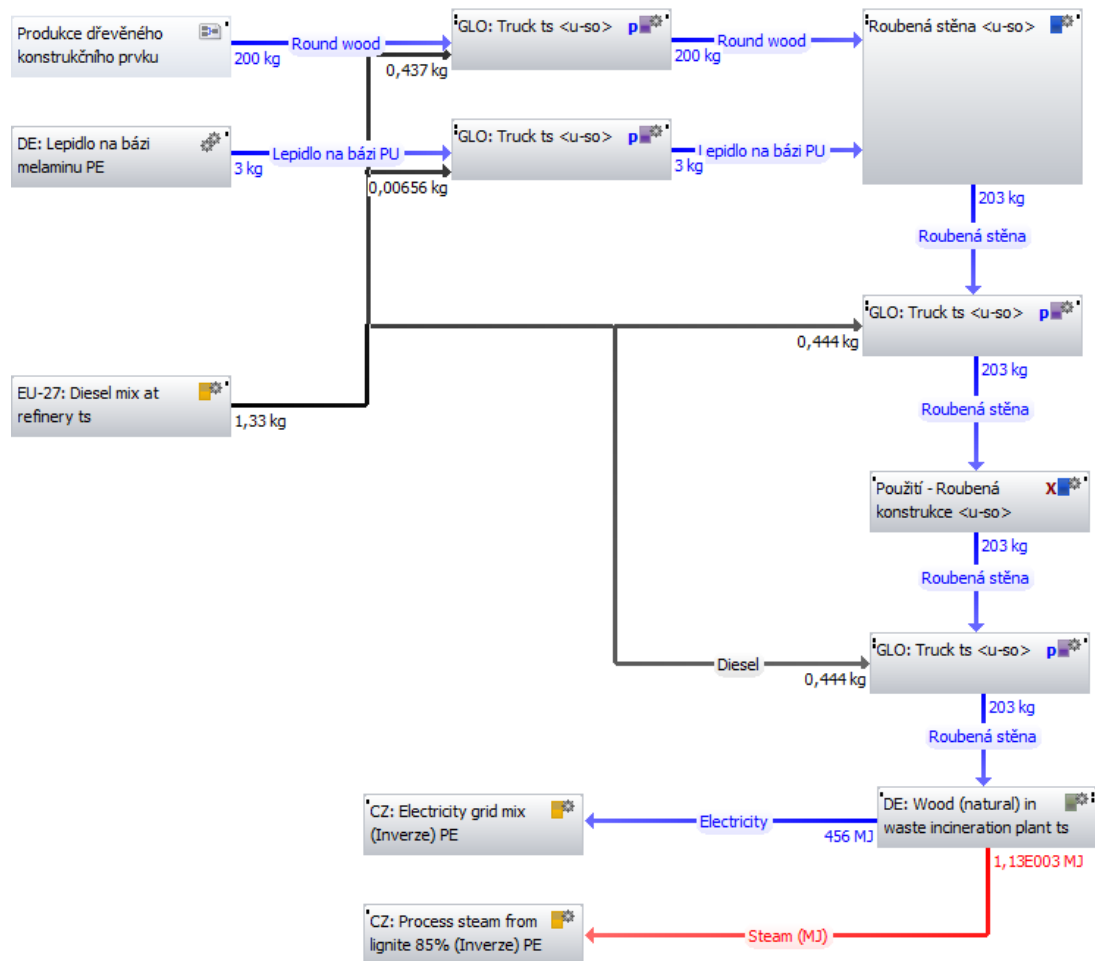
LCA model produktového systému je znázorněn na následujícím schématu (Obr. 35).

Vysvětlivky k obrázku:

Diesel mix at refinery	= výroba nafty
Truck-trailer	= doprava nákladním vozem
Electricity grid mix	= výroba elektřiny
Wood (natural) in waste incineration	= spálení dřeva ve spalovně
Electricity grid mix (Inverze) elektřiny	= využití získaného tepla pro výrobu elektřiny
Process steam from lignite	= využití odpadního tepla k výrobě páry

Roubená konstrukce

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



Obr. 35: Produktové schéma životního cyklu roubené stěny

3.3.5 Stěna z pálených cihel

Výrobci cihel v současné době reagují na stále zvyšující se požadavky normativních předpisů na tepelně izolační schopnosti obvodových konstrukcí výrobou dutinových cihel velkých tloušťek (např. 500 mm), či výrobou cihel s vloženou tepelnou izolací minerální vatou, nebo expandovaným polystyrenem. I přes nevýhodu v podobě vysoké tloušťky stěn je jednoplášťový systém obvodových stěn bez tepelné izolace stále značně využíván.

Pro vyčíslení environmentálních dopadů byla použita konstrukce z pálených cihel Porotherm (Obr. 36) o ploše 1 m² tloušťce 490 mm se součinitelem prostupu tepla 0,300 W/m²K složená s následujícími materiály:

- pálené cihly,

- zdící malta,
- vnitřní a vnější omítky.



Obr. 36: Příklad obvodové stěny s pálených cihel, ilustrativní zobrazení. Zdroj: Termo Opeka POROTHERM PROFI: Gelena Gardnja [online]. 2015 [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: <http://www.zelenagradnja.si/prodaja/ogrevanje/termo-opeka-porotherm-profi/>

Přehled o modelovaných vstupech stěny z pálených cihel uvádí následující tabulka (Tab. 12).

Tab. 12: Skladba stěny z pálených cihel, tloušťka a hmotnost materiálů

Číslo vrstvy	Název materiálu	Tloušťka (mm)	Objem (m ³)	Objemová hmotnost (kg/m ³)	Hmotnost (kg)	Poznámky
1	Baumit hlazená omítka	10	0,01	1450	14,5	
2	cihla Porotherm 44 P+D	440	0,44	770	338,8	
2	Zdící malta LM5			1950	21	
3	Baumit termo omítka	40	0,004	1350	5,4	

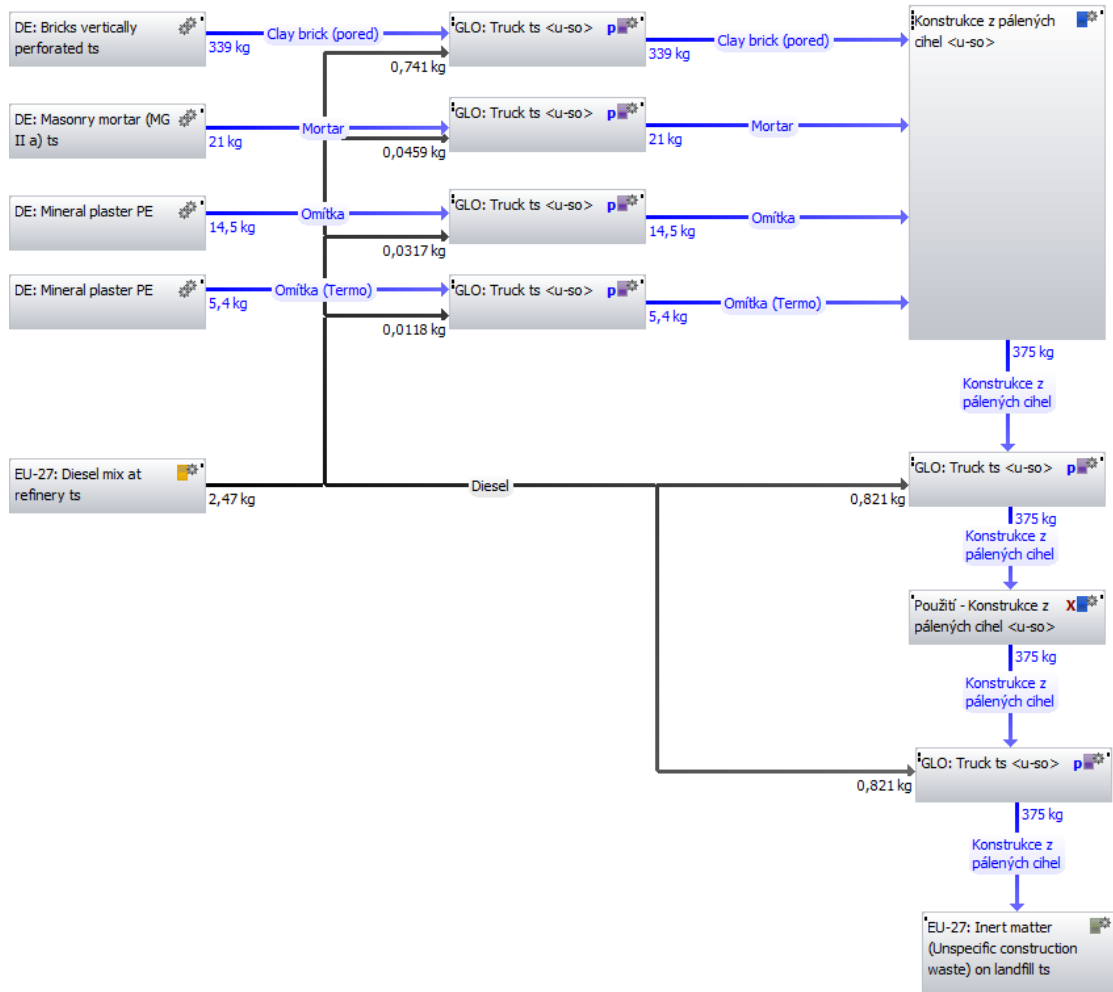
LCA model produktového systému je znázorněn na následujícím schématu (Obr. 37).

Vysvětlivky k obrázku:

Diesel mix at refinery	= výroba nafty
Truck-trailer	= doprava nákladním vozem
Bricks vertically perforated	= výroba pálených cihel perforovaných
Mineral plaster	= výroba omítky
Electricity grid mix	= výroba elektřiny
Inert mater on landfill	= skládkování inertních materiálů

Konstrukce z pálených cihel

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



Obr. 37: Produktové schéma životního cyklu stěny z pálených cihel

3.3.6 Výsledky hodnocení konstrukcí metodou LCA

Následující tabulka (Tab. 13) uvádí výsledky indikátorů kategorií dopadu pro 1 m² obvodové zdi domu s výše uvedenými charakteristikami.

Tab. 13: Porovnání výsledků indikátorů kategorií dopadu pro 1 m² obvodové zdi domu

Kategorie dopadu	CLT panel	Difúzně otevřená konstrukce	Difúzně uzavřená konstrukce	Konstrukce z pálených cihel	Roubená konstrukce
Úbytek minerálních surovin (ADP elements) [kg Sb-Equiv.]	0,00001	0,00114	0,00119	0,00034	0,00005
Úbytek fosilních surovin (ADP fossil) [MJ]	366	279	463	975	-1507
Acidifikace (AP) [kg SO ₂ -Equiv.]	0,03	0,16	0,18	0,19	-1,38
Eutrofizace (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	0,09	0,03	0,03	0,03	-0,03
Globální oteplování (GWP 100 years) [kg CO ₂ -Equiv.]	-1,58	12,97	28,03	95,81	-134,56
Úbytek stratosférického ozonu (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	3,96E-07	1,31E-06	1,29E-06	1,06E-09	2,09E-10
Vznik fotooxidantů (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	0,032	0,013	0,070	0,002	-0,080

Pozn.: Červeně jsou označeny kategorie dopadu s nejvíce negativním výsledkem pro každý typ materiálu. Zeleně nejnižší/pozitivní dopady.

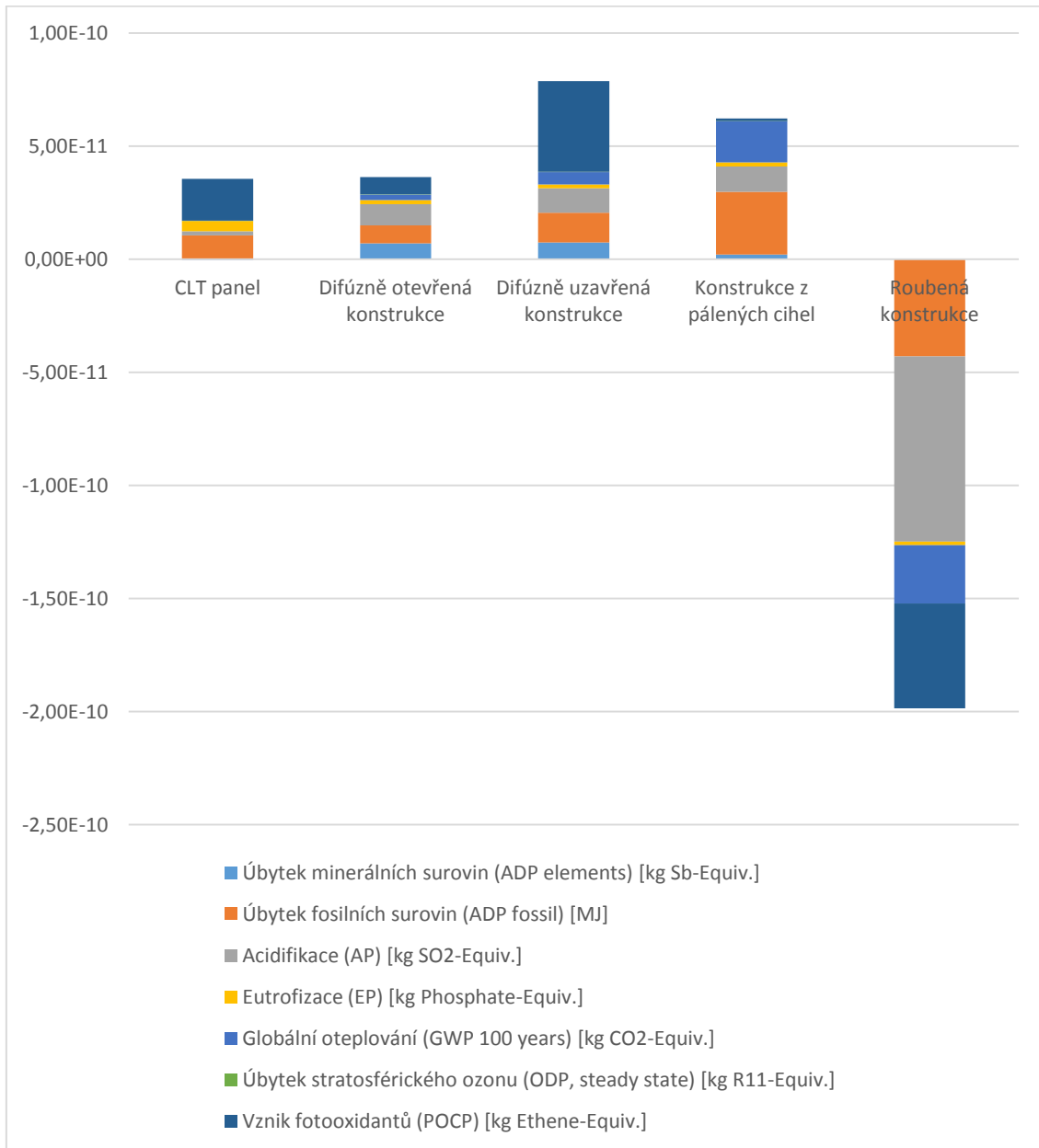
3.3.7 Zhodnocení konstrukcí

Z porovnání výsledků indikátorů kategorií dopadu vychází jako jednoznačně environmentálně nejvíce příznivá roubená konstrukce. Roubená konstrukce vykazuje nejnižší environmentální dopady ve všech kategoriích dopadu. Záporné hodnoty znamenají, že daná konstrukce má vzhledem k využití materiálu jako energetické suroviny (spálení dřeva) pozitivní bilanci vzhledem k tomu, že se tím ušetří značné množství ze „špinavé“ energetiky založené na spalování hnědého uhlí.

Jako další varianty s nejnižšími dopady vycházejí CLT panel a difúzně otevřená konstrukce.

Konstrukce z pálených cihel je z hlediska většiny kategorií dopadu jednoznačně nejvíce zatěžující životní prostředí.

Následující graf zobrazuje normalizované výsledky indikátorů kategorií pro jednotlivé konstrukce obvodových stěn (Obr. 38Obr. 38).



Obr. 38: Normalizované výsledky indikátorů kategorií dopadu 1m² konstrukcí obvodových zdí

3.4 Porovnání fasád

Jak v případě dřevostaveb, tak i u staveb na bázi cihel, betonu a dalších je možné realizovat kontaktní fasádu s omítkou, nebo fasádu odvětrávanou s využitím dřevěného obkladu. Níže je uvedeno porovnání těchto dvou variant.

3.4.1 Dřevěná odvětraná fasáda

Pro porovnání environmentálních dopadů byla použita dřevěná fasáda sestávající z (Obr. 39):

- pojistné difuzní folie (jako u difúzně otevřené konstrukce),
- dřevěných latí tvořících nosný rošt,
- fasádních prken,
- a z nerezových vrtů.



Obr. 39: Odvětraná fasáda s dřevěným obkladem, ilustrativní příklad řešení. Zdroj: Zdroj: Difúzně otevřená obvodová stěna dřevostavby. Knauf Insulation [online]. 2016 [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: <http://www.knaufinsulation.cz/difuzne-otevrena-konstrukce-drevostavby>

Zpracování dřeva za účelem výroby dřevěných palubek bylo modelováno následovně:

- Z 1m³ kulatiny bylo vyrobeno 0,38 m³ dřevěných palubek za spotřeby 58 kWh elektrické energie.
- Dalšími výstupy procesu výroby palubek byly:

- 0,10 m³ kůra (využití jako mulčovací hmota),
- 0,27 m³ štěpky (možnost využití pro výrobu deskového materiálu),
- 0,25 m³ hoblin a pilin (možnost využití na palivo – přímo nebo pelety).

Přehled o modelovaných vstupech dřevěné fasády uvádí následující tabulka (Tab. 14).

Tab. 14: Skladba dřevěné fasády, hmotnosti materiálů

Název materiálu	Objem (m ³ /m ²)	Objemová hmotnost (kg/m ³)	Hmotnost (kg/m ²)	Poznámky
Pojistná difuzní folie			0,19	HDPE
Latě dřevěné	0,00384	450	1,728	
Fasádní prkna	0,019031	590	11,23	
Nerezové vruty			5,5 g	5 ks

LCA model produktového systému je znázorněn na následujícím schématu (Obr. 40).

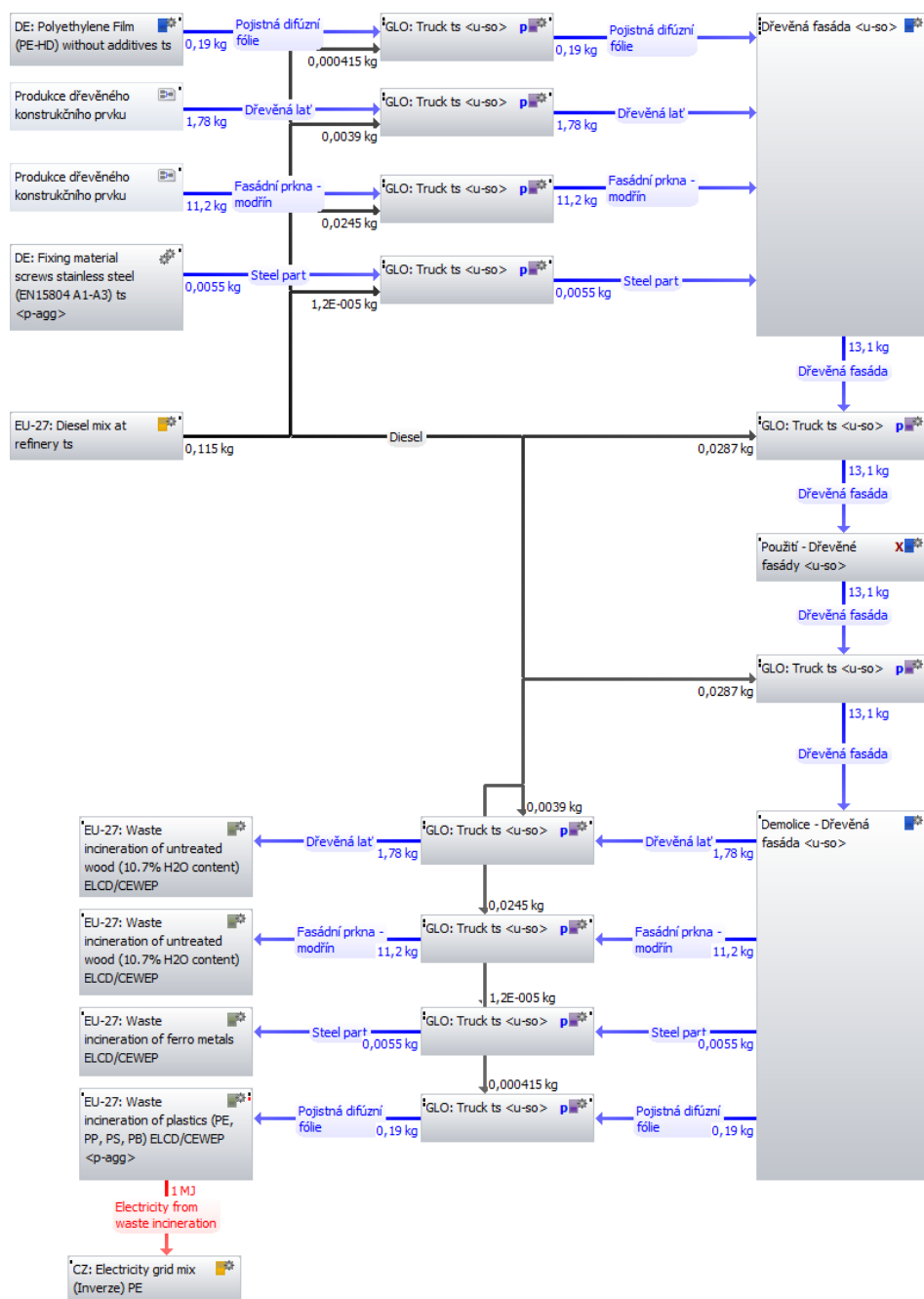
Ukončení životního cyklu dřevěných dílů bylo modelováno jako energetické využití.

Vysvětlivky k obrázku:

Diesel mix at refinery	= výroba nafty
Truck-trailer	= doprava nákladním vozem
Polyetylénové film	= výroba pojistné difúzní fólie
Fixing material	= výroba spojovacího materiálu
Electricity grid mix	= výroba elektřiny
Waste incineration	= spalování odpadů
Electricity grid mix (Inverze)	= využití získaného tepla pro výrobu elektřiny

Dřevěná fasáda

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



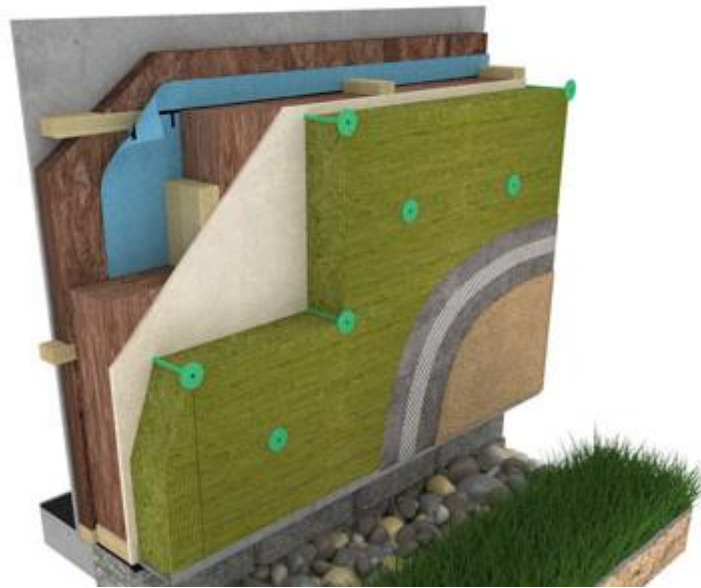
Obr. 40: Produktové schéma životního cyklu dřevěné odvětrané fasády

3.4.2 Fasáda s minerální omítkou

Pro porovnání environmentálních dopadů byla posuzována skladba kontaktní fasády s minerální omítkou (Obr. 41) sestávající z:

- minerální armovací hmoty,
- výztužné sítoviny,
- vodou ředitelného plněného disperzně silikátového mezinátěru a

- silikonově pryskyřičné omítky.



Obr. 41: Kontaktní fasádní systém s omítkou, ilustrativní příklad. Zdroj: Odvětraná fasáda s dřevěným obkladem, ilustrativní příklad řešení. Zdroj: Difúzně otevřená obvodová stěna dřevostavby. Knauf Insulation [online]. 2016 [cit. 2016-03-11]. Dostupné z <http://www.knaufinsulation.cz/difuzne-otevrena-konstrukce-drevostavby>

Přehled o modelovaných vstupech fasády s minerální omítkou uvádí následující tabulka (Tab. 15).

Tab. 15: Skladba minerální omítky, hmotnosti materiálů

Název materiálu	Hmotnost (kg/m ²)	Poznámky
Termo Uni	8	minerální armovací hmota
TermoGewebe	0,176	výztužná sklovláknitá síťovina
TermoGrund Diffu	0,4	vodou ředitelný plněný disperzně silikátový mezinátěr
TermoSilcon K 1,5	2,4	silikonově pryskyřičná omítky

LCA model produktového systému je znázorněn na následujícím schématu (Obr. 42).

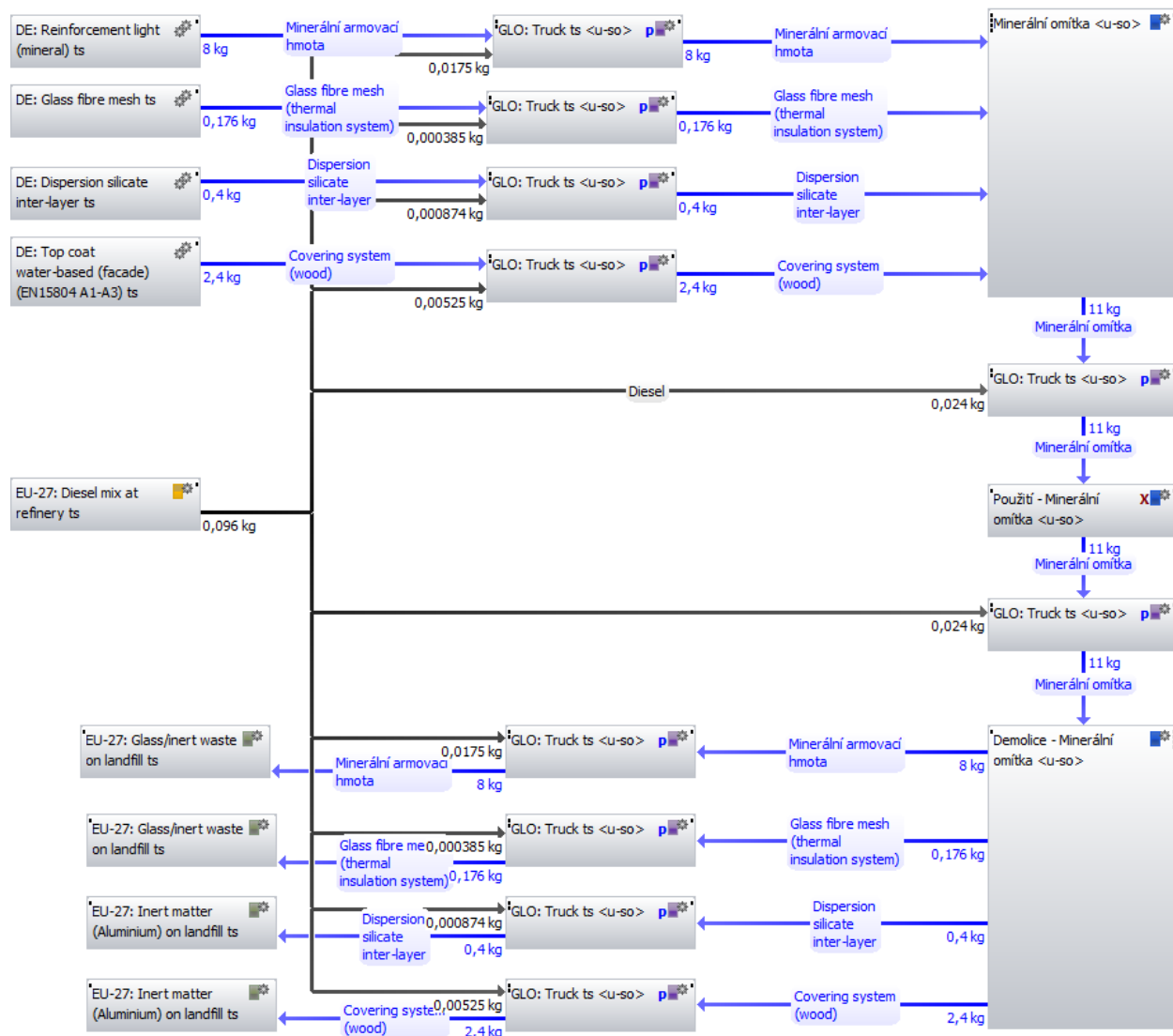
Vysvětlivky k obrázku:

Diesel mix at refinery	= výroba nafty
Truck-trailer	= doprava nákladním vozem
Electricity grid mix	= výroba elektřiny
Reinforcement light	= výroba minerální armovací hmoty

Glass fibre mesh	= výroba síťoviny
Dispersion silicate	= výroba silikátů
Top coat water based	= výroba přípravku na úpravu fasády
Glass/inert	= skládkování sádrovláknité desky
Landfill	= skládkování daného materiálu
Electricity grid mix (Inverze)	= využití získaného tepla pro výrobu elektřiny

Minerální omítka

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



Obr. 42: Produktové schéma životního cyklu fasády s minerální omítkou

3.4.3 Výsledky hodnocení metodou LCA

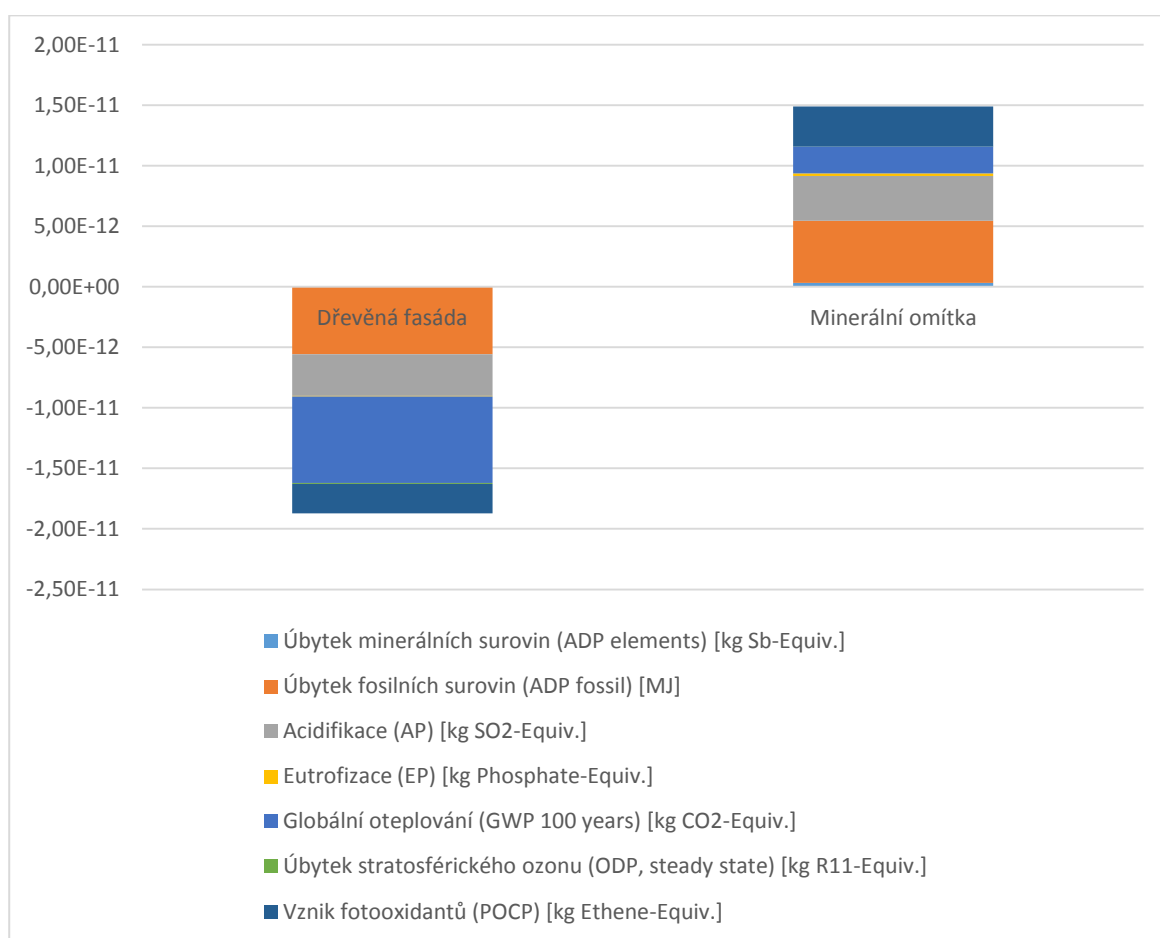
Následující tabulka uvádí výsledky indikátorů kategorií dopadu pro 1 m² fasád (Tab. 16). Dřevěná fasáda vychází ve všech hodnocených kategoriích dopadu jako výrazně environmentálně šetrnější nežli minerální omítka.

Tab. 16: Porovnání výsledků indikátorů kategorií dopadu pro 1 m² fasád

Kategorie dopadu	Dřevěná fasáda	Minerální omítka
Úbytek minerálních surovin (ADP elements) [kg Sb-Equiv.]	2,17E-06	5,29E-05
Úbytek fosilních surovin (ADP fossil) [MJ]	-196	180
Acidifikace (AP) [kg SO ₂ -Equiv.]	-0,058	0,062
Eutrofizace (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	-0,0011	0,0039
Globální oteplování (GWP 100 years) [kg CO ₂ -Equiv.]	-37,2	11,6
Úbytek stratosférického ozonu (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	-7,89E-07	3,63E-10
Vznik fotooxidantů (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	-0,0042	0,0057

Pozn.: Oranžově jsou označeny kategorie dopadu s nejvíce negativním výsledkem pro každý typ materiálu

Normalizované výsledky indikátorů kategorií dopadu pro 1m² porovnávaných fasádních systémů zobrazuje následující graf (Obr. 43).



Obr. 43: Normalizované výsledky indikátorů kategorií dopadu 1m² fasádních systémů

3.4.4 Zhodnocení fasád

Dřevěná fasáda vykazuje výrazně nižší environmentální dopady ve srovnání s minerální omítkou. Dřevěná fasáda vykazuje jednak nižší environmentální dopady, ale zároveň i vyšší benefity pro životní prostředí, a to především v oblasti úspory fosilních a minerálních surovin a v oblasti předcházení acidifikaci. Minerální omítka naopak výrazně poškozuje kategorii dopadu acidifikace, vznik fotooxidantů a globální oteplování. Minerální omítka je rovněž náročnější na spotřebu fosilních surovin.

3.5 Porovnání podlah

Bylo provedeno porovnání tří podlahových krytin, a to masivního dřeva, PVC (také nazýváno jako vinylová podlaha) a OSB (užíváno v manipulačních prostorách, jako dočasné podlahy atd.).

3.5.1 Podlaha z masivních dřevěných profilů

Vzhledem k nedostupnosti dat pro běžně používané tvrdé dřeviny byl případ modelován s užitím smrkového dřeva, s využitím lamel tloušťky 20 mm lepených k podkladu (Obr. 44).



Obr. 44: Lepená masivní dřevěná podlaha, ilustrativní příklad. Zdroj: Pokládka a montáž. Dřevěné podlahy [online]. TM COMPLEX s.r.o. [cit. 2016-02-26]. Dostupné z: <http://drevene-podlahy.org/pokladka-a-montaz>

Zpracování dřeva za účelem výroby masivní dřevěné podlahy bylo modelováno následovně:

- Z 1m³ kulatiny bylo vyrobeno 0,38 m³ dřevěných podlahových profilů za spotřeby 60 kWh elektrické energie.
- Dalšími výstupy procesu výroby palubek byly:
 - 0,10 m³ kůra (využití jako mulčovací hmota),
 - 0,27 m³ štěpky (možnost využití pro výrobu deskového materiálu),
 - 0,25 m³ hoblin a pilin (možnost využití na palivo – přímo nebo pelety).

- Vzhledem k omezené dostupnosti dat byl proces získávání dřeva nahrazen procesem Výroba dřevěného konstrukčního prvku, který použil databázové hodnoty produkce smrkové dřevní hmoty.

Přehled o modelovaných vstupech podlahy z masivních dřevěných profilů uvádí následující tabulka (Tab. 17).

Tab. 17: Skladba lepené dřevěné podlahy

Název materiálu	Objem (m ³ /m ²)	Objemová hmotnost (kg/m ³)	Hmotnost (kg/m ²)	Poznámky
Dřevo masiv	0,02	650	13	prkna pero drážka, tloušťky 20 mm, substituováno daty pro smrk
Přírodní olej			0,04 l/m ²	
Lepidlo			1	

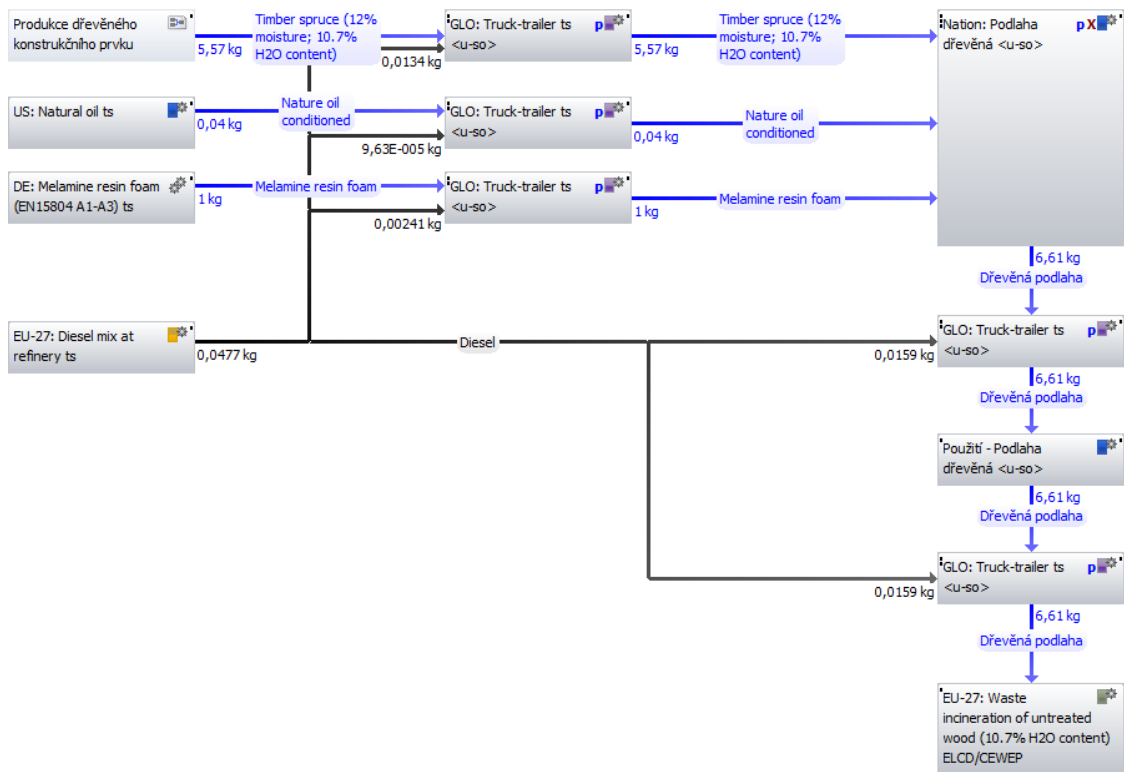
Přehled o modelovaných vstupech a výstupech podává následující schéma (Obr. 45). Ukončení životního cyklu dřevěné podlahy bylo modelováno jako energetické využití dřeva.

Vysvětlivky k obrázku:

Diesel mix at refinery	= výroba nafty
Truck-trailer	= doprava nákladním vozem
Natural oil	= výroba oleje k povrchové úpravě
Melamine resin foam	= výroba melaminové pěny
Electricity grid mix	= výroba elektřiny
Waste incineration	= spalování odpadů

Podlaha dřevěná

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



Obr. 45: Produktové schéma životního cyklu podlahy z masivních dřevěných profilů

3.5.2 Podlaha z PVC

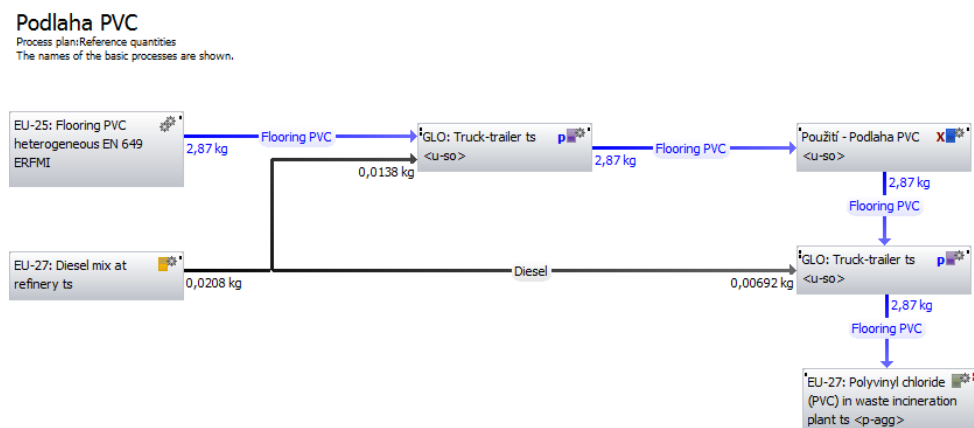
Modelování životního cyklu podlahy z PVC (Obr. 46) bylo realizováno pomocí generických databázových LCA procesů. Modelovány jsou vstupy a výstupy 1 m² podlahové plochy. LCA model produktového systému je znázorněn na následujícím schématu (Obr. 47).



Obr. 46: Podlaha PVC, ilustrativní příklad. Zdroj: Pokládání PVC podlahy, lepení, svařování, lištování PVC. YouTube [online]. Videopodlahy CZ, 2013 [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=25vxB56dcYI>

Vysvětlivky k obrázku:

Diesel mix at refinery	= výroba nafty
Truck-trailer	= doprava nákladním vozem
Flooring PVC	= výroba podlahové krytiny z PVC
Polyvinyl chloride in waste	= spalování PVC



Obr. 47: Produktové schéma životního cyklu podlahy z PVC

3.5.3 Podlaha z OSB desky

Modelování životního cyklu podlahy z OSB desky (Obr. 48) bylo realizováno pomocí generických databázových LCA procesů, které zahrnují i povrchovou úpravu. Modelovány jsou vstupy a výstupy 1 m² podlahové plochy. Přehled o modelovaných vstupech OSB desky uvádí následující tabulka. Jedná se o lepenou OSB podlahu poskytnutou v LCA databázi. Charakteristiku dřevotřísky uvádí následující tabulka.

Tab. 18: Spotřeba materiálu OSB na podlahu

Parametry	
Tloušťka desky (mm)	18
Plocha desky (m ²)	3,125
Hmotnost desky (kg)	17,40
Hmotnost 1m ² desky (kg)	5,568



Obr. 48: Podlaha z OSB, ilustrativní příklad. Zdroj: Podlaha z OSB desek: Výběr a montáž
Zdroj: <http://www.drevostavitel.cz/clanek/podlaha-z-osb-desek>. Dřevostavitel [online]. [cit. 2016-01-06]. Dostupné z: <http://www.drevostavitel.cz/clanek/podlaha-z-osb-desek>

LCA model produktového systému je znázorněn na následujícím schématu (Obr. 49).

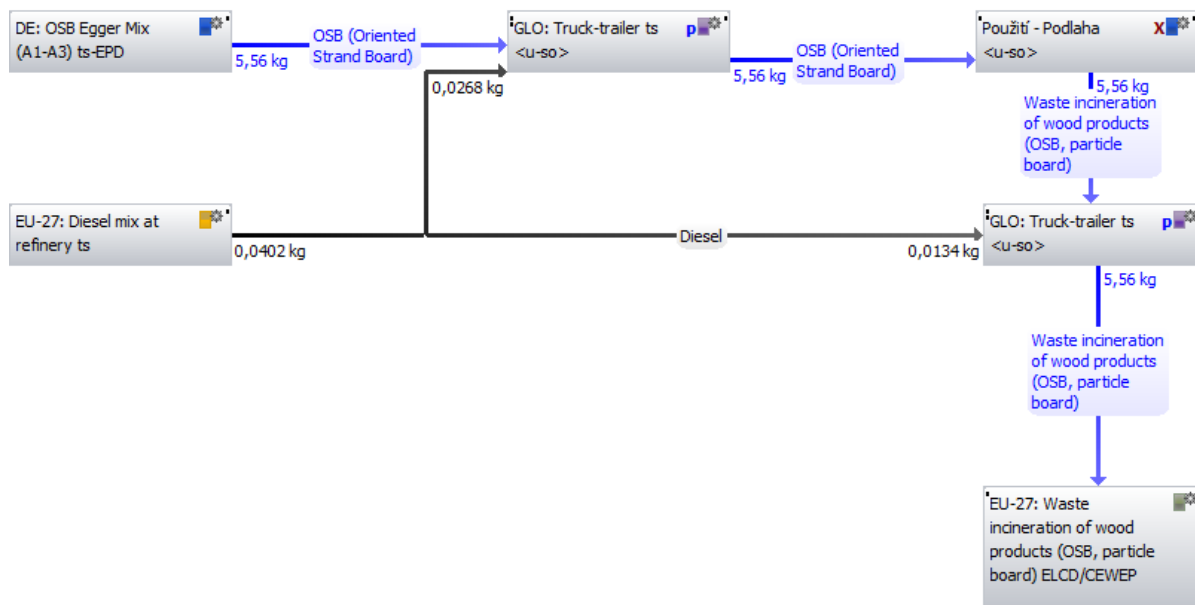
Vysvětlivky k obrázku:

- Diesel mix at refinery = výroba nafty
- Truck-trailer = doprava nákladním vozem
- Wood fibreboard = výroba dřevotřískové podlahové krytiny;
- Wood in waste incineration = spalování dřeva ve spalovně

Podlaha OSB

Process plan: Reference quantities

The names of the basic processes are shown.



Obr. 49: Produktové schéma životního cyklu podlahy z OSB

3.5.4 Výsledky hodnocení metodou LCA

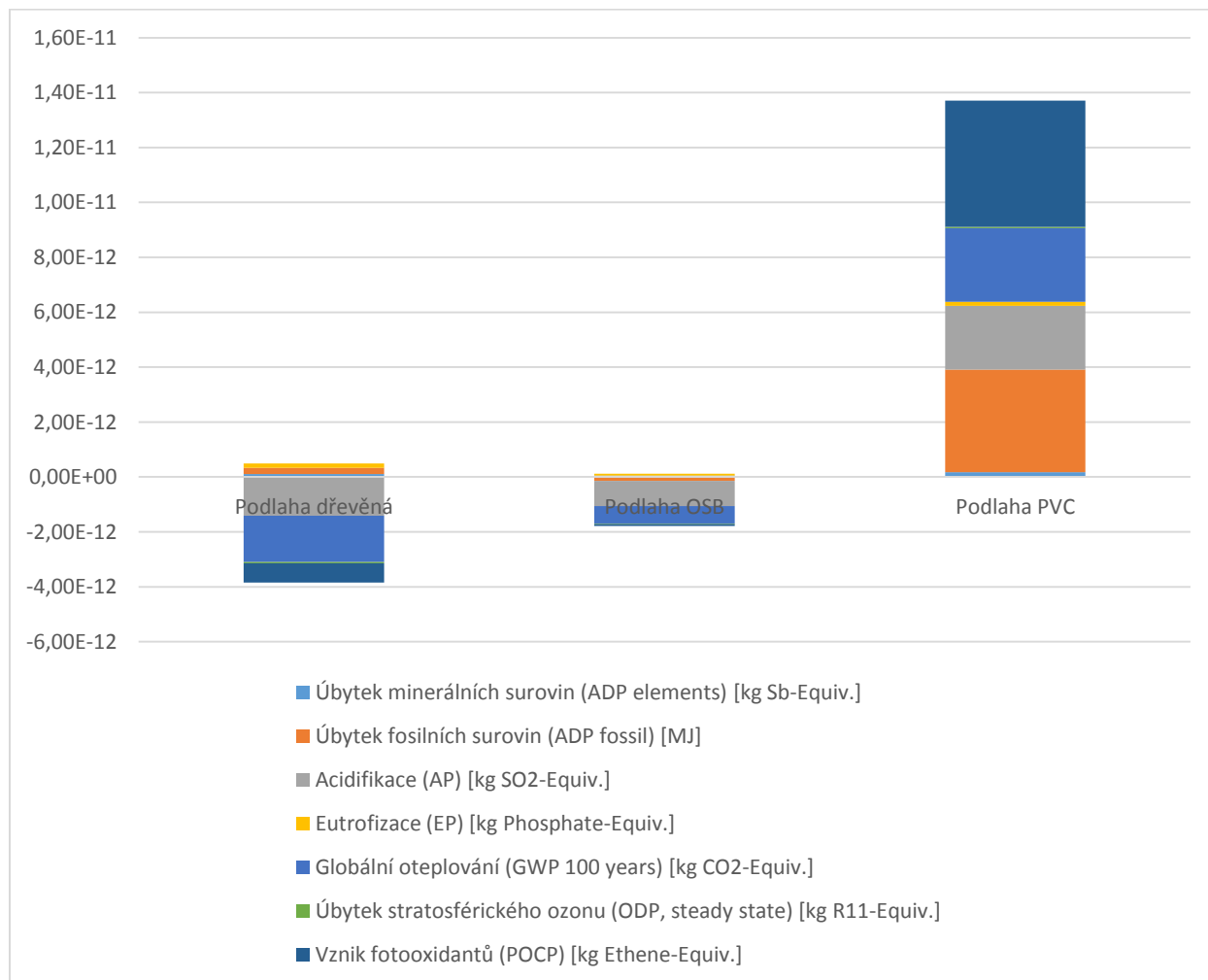
Následující tabulka uvádí výsledky indikátorů kategorií dopadu pro 1 m² podlah (Tab. 19).

Tab. 19: Porovnání výsledků indikátorů kategorií dopadu pro 1 m² podlah

Kategorie dopadu	Podlaha dřevěná	Podlaha OSB	Podlaha PVC
Úbytek minerálních surovin (ADP elements) [kg Sb-Equiv.]	1,73E-05	8,19E-06	2,78E-05
Úbytek fosilních surovin (ADP fossil) [MJ]	7,9	-4,9	131,3
Acidifikace (AP) [kg SO ₂ -Equiv.]	-0,024	-0,016	0,039
Eutrofizace (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	0,0029	0,0013	0,0027
Globální oteplování (GWP 100 years) [kg CO ₂ -Equiv.]	-8,80	-3,30	14,01
Úbytek stratosférického ozonu (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	-4,12E-07	-2,69E-07	4,47E-07
Vznik fotooxidantů (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	-0,0012	-0,0001	0,0080

Pozn.: Červeně jsou označeny kategorie dopadu s nejvíce negativním výsledkem pro každý typ materiálu

Normalizované výsledky indikátorů kategorií jednotlivých variant podlah uvádí následující graf (Obr. 50).



Obr. 50: Normalizované výsledky indikátorů kategorií dopadu 1m² podlah

3.5.5 Zhodnocení podlah

Ze vzájemného porovnání environmentálních dopadů různých podlah vychází jako jednoznačně nejvíce environmentálně škodlivá podlaha z PVC. Celkové nejnižší environmentální dopady, vzhledem k možnosti energetického využití, vykazuje podlaha dřevěná. OSB deska má sice nižší dopady než podlaha dřevěná, zároveň má však nižší benefity v rámci jejího konečného odstranění, spálení.

4 Závěr

V této studii byly metodou posuzování životního cyklu – LCA – porovnány potenciální environmentální dopady dřevěného konstrukčního prvku, čtyř druhů nosníků pro tři různé rozpony nosných stěn, pět různých typů konstrukcí obvodových zdí staveb, dva typy konstrukcí fasád a tři typy podlahových krytin. Vždy se jednalo o výrobky, či konstrukce, kdy základním materiálem bylo dřevo či dřevěný výrobek a jiné typy odpovídajících výrobků na bázi jiného materiálu. Ze zjištěných výsledků vyplývá, že dřevěné výrobky vykazují nižší environmentální dopady než obdobné výrobky z jiných materiálů. Závěry studie lze shrnout do následujících zjištění:

- **Čím větší obsah dřeva ve výrobku, tím jsou nižší jeho environmentální dopady.**

Čím více druhů materiálů tvoří daný výrobek, to znamená čím menší podíl dřeva je ve výrobku, tím menší jsou rozdíly oproti nedřevěným výrobkům. Největší environmentální benefity vykazují výrobky obsahující masivní dřevo. Výrobky obsahující dřevotřísku vykazují vyšší environmentální dopady, než výrobky obsahující pro obdobné funkce pouze dřevo.

- **Odpadní dřevo lze energeticky využít.**

Významným benefitem dřeva je, v případě vhodné povrchové úpravy či vhodného ošetřování přípravky neobsahující toxické látky, možnost energetického využití dřeva jako paliva na konci jeho životního cyklu. V případě, že je ve dřevě obsažená energie (výhřevnost) využita jako náhrada za teplo či elektrickou energii vyráběnou ze současného složení paliv v ČR (energetický mix), tak použití dřevěného konstrukčního prvku v rámci celého životního cyklu vykazuje pozitivní přínos vůči životnímu prostředí. Tento pozitivní vliv je do značné míry dán tím, že český energetický mix vykazuje na 1 MJ vyrobené energie poměrně vysoké množství nežádoucích emisí. Je-li tedy nahrazena výroba elektrické energie či tepla z fosilních paliv (ČR mix) výrobou tepla získanou spalováním dřeva, dochází k výrazným environmentálním benefitům. V případě, že by český energetický mix vykazoval nižší environmentální dopady, jako například ve Švédsku, tak by i benefity nahrazení výroby energie či tepla spalováním dřeva nebyly tak výrazné. Spálením dřeva a využitím v něm obsažené energie se totiž předejde vzniku

většího množství emisí z fosilní energetiky, než kolik emisí uvolní životní cyklus dřevěného konstrukčního prvku.

- **Produkce dřeva, pila a sušení dřeva mají největší podíl na environmentálních dopadech**

Z posouzení životního cyklu dřevěného konstrukčního prvku vyplývá, že největší environmentální dopady vznikají při produkci dřevní hmoty a na pile, kde dochází i k sušení dřeva (respektive při výrobě energie potřebné pro sušení). V případě možnosti zefektivnění sušení dřeva, či náhrady zdroje energie pro vytápění, by bylo možno právě ve fázi sušení dřeva dosáhnout snížení environmentálních dopadů.

- **Dřevo a globální problematika skleníkových plynů**

Zvýšení využití dřeva jako materiálu vede k naplňování strategie snižování produkce skleníkových plynů.

- **Dřevo a logistika**

Doprava má vliv na výsledné environmentální dopady. Doprava dřeva v rámci uvažovaných vzdáleností, tedy 70 km z lesa na pilu a 200 km na stavbu má měřitelný vliv na celkové environmentální dopady. V tomto uvažovaném scénáři doprava vykazovala podíl cca od 10 do 20% environmentálních dopadů v jednotlivých kategoriích dopadu. Logicky, čím větší přepravní vzdálenosti tím se generuje větší množství emisí z dopravy. Snížením dopravních vzdáleností lze v řádu jednotek až desítek procent snížit celkové environmentální dopady dřevěných výrobků.

- **Dřevo a oběhové hospodářství**

Používání dřeva jako udržitelného materiálu napomáhá implementaci politiky oběhového hospodářství, která se připravuje k realizaci v návaznosti na Sdělení EU Akční plán EU pro oběhové hospodářství a Sdělení Evropské komise „Směrem k oběhovému hospodářství: program nulového odpadu pro Evropu“ COM(2014) 398 final.

- **Dřevo a předcházení vzniku odpadů ve stavebnictví**

Program předcházení vzniku odpadů ČR (MŽP ČR) v návaznosti na směrnici Evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES o odpadech, která nově specifikovala požadavky pro předcházení vzniku odpadů a povinnost vytvoření rámcových strategií na národních úrovních vyžaduje snížení množství vznikajících odpadů. Značné množství odpadů vzniká

z demolic staveb. Používání dřeva ve stavebním průmyslu umožňuje na konci jeho užitné fáze jej spálit a tím nejen získat ve dřevě obsaženou energii, ale zároveň i minimalizovat množství vznikajících odpadů.

- **Dřevo a udržitelnost**

Na základě této studie lze konstatovat, že zvýšení využití dřeva v řadě výrobků vede k zvyšování udržitelnosti, k lepší realizaci udržitelného rozvoje. Součástí strategie udržitelnosti hospodářství je rovněž předcházení vzniku odpadů a jejich minimalizace.

- **Absence lokálních dat týkajících se produkce dřeva v ČR**

Na závěr je třeba připomenout, že data týkající se produkce dřevní hmoty byla založena výhradně na zahraničních zdrojích. V ČR nebyly hodnoty týkající se spotřeby paliv, energií, chemikálií či dalších energetických či materiálových toků potřebné k produkci dřeva k dispozici. Jelikož na základě zahraničních dat je právě proces produkce dřeva zodpovědný za většinu environmentálních dopadů posuzovaných produktů, s výjimkou globálního oteplování – tedy absorpce CO₂ z atmosféry, bylo by možná do budoucna vhodné uvažovat o lokalizaci těchto hodnot a jejich zpřesnění na podmínky ČR.