

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV ŘÍZENÍ A EKONOMIKY PODNIKU



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Posouzení životního cyklu průmyslového výrobku v Beneš a Lát, s.r.o.

Life Cycle Assessment of Industrial Product in Beneš a Lát, s.r.o.

AUTOR: Aruzhan Yerzhanova

STUDIJNÍ PROGRAM: Teoretický základ strojního inženýrství

VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Barbora Stieberová, Ph.D.

PRAHA 2023

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Yerzhanova** Jméno: **Aruzhan** Osobní číslo: **501379**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav řízení a ekonomiky podniku**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Posouzení životního cyklu průmyslového výrobku v Beneš a Lát, s. r. o.

Název bakalářské práce anglicky:

Life Cycle Assessment of Industrial Product in Beneš a Lát, s. r. o.

Pokyny pro vypracování:

1. Úvod do problematiky posuzování životního cyklu
2. Charakteristika metodiky LCA a zásad jejího zpracování
3. Zpracování LCA studie vybraného produktu
4. Interpretace výsledků
5. Závěrečné zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

1. KOČÍ, Vladimír. Environmentální dopady: posuzování životního cyklu. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2013. ISBN 978-80-7080-858-0.
2. HAUSCHILD, Michael Z., Ralph K. ROSENBAUM a Stig Irving OLSEN, ed. Life Cycle Assessment [online]. 2018. Cham: Springer International Publishing, 2018. ISBN 978-3-319-56474-6.
3. CASTELLS, Francesc, SONNEMANN, Guido, Michael TSANG a Marta SCHUHMACHER, ed. Integrated Life-Cycle and Risk Assessment for Industrial Processes [online]. CRC Press, 2003. ISBN 9781135462376.
4. GRAEDEL, Thomas E. a Braden R. ALLENBY. Industrial Ecology (2nd Edition). 2. Pearson College Div; Subsequent edition, 2002. ISBN 13: 9780130467133.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Barbora Stieberová, Ph.D. ústav řízení a ekonomiky podniku FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **04.04.2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **21.07.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **29.02.2024**

Ing. Barbora Stieberová, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Miroslav Žilka, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně, a to výhradně s použitím pramenů a literatury, uvedených v seznamu citovaných zdrojů.

V Praze dne:

.....

Podpis

Poděkování

Chtěla bych poděkovat paní Ing. Barboře Stieberové, Ph.D., za odborné vedení při zpracování bakalářské práce, cenné rady a připomínky, konzultace a trpělivost. Dále bych ráda poděkovala firmě Beneš a Lát, s.r.o., která mi poskytla data pro zpracování praktické části. Mé poděkování patří též panu Ing. Františku Šulcovi za vstřícnost při získávání údajů pro praktickou část. V neposlední řadě děkuji své rodině za podporu po celou dobu studia.

Anotace

Předmětem této bakalářské práce je hodnocení vlivu procesu výroby průmyslového produktu na životní prostředí. První část je teoretická a popisuje metody a nástroje, které se používají k posuzování environmentálního dopadu. Druhá část je praktická, je v ní provedena analýza samotného procesu výroby pomocí metody LCA v softwaru SimaPro na základě znalosti technologických procesů a dat získaných od společnosti Beneš a Lát, s.r.o.

Klíčová slova

LCA analýza, environmentální dopady, životní cyklus výrobku, SimaPro

Annotation

The subject of the bachelor's thesis is the assessment of the production process impact of an industrial product on the environment. The first part is theoretical and describes the methods and tools used to assess the environmental impact. The second part is practical, in which the LCA analysis of a production process is elaborated on the base of knowledge of the technological process and data obtained from the company Beneš a Lát, s.r.o. with the help of the software SimaPro.

Keywords

LCA analysis, environmental impacts, emissions, product life cycle, SimaPro

Obsah

Úvod.....	9
1 Charakteristika metody LCA.....	11
1.1 Definování cíle	11
1.2 Definování rozsahu	12
1.2.1 Hranice systému.....	14
1.3 Inventarizace životního cyklu	15
1.4 Hodnocení dopadů životního cyklu	19
1.5 Definování pojmu charakterizační model	20
1.6 Postup posuzování dopadu životního cyklu.....	21
1.6.1 Klasifikace	22
1.6.2 Charakterizace	23
1.6.3 Normalizace	24
1.6.4 Vážení	25
1.7 Interpretace.....	25
1.8 Metoda IMPACT 2002+	25
1.8.1 Kategorie dopadu metody IMPACT 2002+.....	26
2 Představení společnosti	29
3 LCA studie konstrukčního dílu pro dětské hřiště	31
3.1 Cíl, funkční jednotka a hranice systému	31
3.2 Vstupní data pro analýzu.....	33
3.2.1 Výroba pískového jádra	33
3.2.2 Výroba formy.....	39
3.2.3 Proces tavení a lití.....	40
3.2.4 Tepelné zpracování	44
3.2.5 Soustružení.....	47
3.2.6 Povrchová úprava	49
4 Výsledky.....	50
4.1 Výsledky – výroba pískového jádra	50
4.2 Výroba formy	51

4.3	Tavení a lití včetně jádra a formy	53
4.4	Soustružení	54
4.5	Dopad všech procesů bez recyklace	55
4.6	Dopad všech procesů s recyklací	57
5	Závěr.....	59
6.	Literatura.....	60
7.	Seznam obrázků tabulek a grafů	64

Úvod

Environmentální dopady se dnes stávají nejen hlavními kritérii při realizaci udržitelného rozvoje společnosti, ale také velmi akutními pro samotné přežití člověka. Antropogenní dopad na životní prostředí dosáhl svého kritického maxima. Rychlý vědeckotechnický pokrok po průmyslové revoluci, který zásadně zlepšil kvalitu života lidstva, zároveň přivedl k problémům znečištění atmosféry, vody a půdy, vyčerpání přírodních zdrojů a globálnímu oteplování [36]

V důsledku toho stojí v současné době před průmyslovými podniky úkol udržovat rovnováhu mezi uspokojením potřeb klientů a ekologickým způsobem výroby při zachování zisku. Při návrhu výrobního procesu by se měl brát ohled na hodnocení dostupnosti surovin, jejich těžbu, zpracování a dopravu mezi jednotlivými fázemi.

Lze si všimnout, že každá činnost má určitý vliv na životní prostředí. Například těžba a spalování fosilních paliv vytváří 75 % celosvětových emisí skleníkových plynů [1], kromě toho způsobuje ztráty biologické rozmanitosti, a navíc dochází ke spotřebě velkého množství vodních zdrojů [2]. Výfukové plyny dopravních prostředků obsahují různé chemické látky, kupříkladu oxid uhelnatý, oxid dusíku, uhlovodíku, které mají negativní dopad na životní prostředí. V každé etapě samotného výrobního procesu se produkuje určité množství škodlivých látek, jež různým způsobem ovlivňuje stav životního prostředí. K získání komplexního pohledu na problematiku vlivu výrobních procesů na znečištění prostředí nám pomůže LCA analýza. Tato metoda je jediným způsobem, jak objektivně určit, které materiály a technologické procesy jsou skutečně šetrné k životnímu prostředí [36]

Hodnocení životního cyklu (LCA) je systematický, standardizovaný přístup ke kvantifikaci potenciálního dopadu produktu nebo procesu na životní prostředí ve všech fázích jeho životního cyklu: od těžby surovin přes výrobu, použití, opravy, údržbu až po stadium likvidací nebo recyklace. Metodologie LCA jsou definovány řadou 14040 Mezinárodní organizace pro standardizaci (ISO).

Výsledky LCA mohou pomoci identifikovat oblasti pro zlepšení výrobního procesu, minimalizovat environmentální zátěž, napomáhá také při strategickém plánování. Tato metoda je zásadní pro vývoj nových produktů – například srovnání nejrůznějších existujících variant pro suroviny při zavádění nového produktu nám umožní porovnat, kolik zdrojů bude vynaloženo a kolik emisí bude produkováno na jednotku produktu. Společně tyto ukazatele pomáhají optimalizovat možný negativní dopad na životní prostředí ještě před zahájením výroby.

V mnoha průmyslových odvětvích se většina všech dopadů na životní prostředí odehrává v dodavatelském řetězci, což znamená, že pozornost věnovaná zdrojům dodávek a ekologickým zásadám samotných dodavatelů může mít zásadní dopad na produkt. Výběr správného dodavatele zpravidla není jen otázkou ceny, ale vyžaduje posouzení dalších, ne vždy zřejmých faktorů, takže postup LCA může poskytnout významné informace o tom, jakou volbu by z hlediska dodávek měla společnost učinit.

Posouzení životního cyklu pomáhá upozornit na silné a slabé stránky produktu z hlediska jeho dopadu na životní prostředí a umožňuje využít tyto znalosti v marketingových kampaních tvořících konkurenční výhody, jež lze mimo jiné vyjádřit výběrem obalu produktu a propagační strategie. Často firmy nabízejí dobrý produkt, přitom ho balí do nerecyklovatelných nebo špatně recyklovatelných materiálů, které pak nelze zlikvidovat. LCA pomáhá zohlednit všechny tyto nuance a nabízí udržitelný produkt v každé fázi [3].

Cílem LCA metody je tudíž porovnání celé škály environmentálních dopadů posuzovaných výrobků a služeb kvantifikací všech vstupů a výstupů materiálových toků a vyhodnocením toho, jak tyto materiálové toky ovlivňují životní prostředí. Tyto informace se používají ke zlepšení procesů výroby a slouží jako vhodný nástroj při rozhodování, jestli použít tuto, nebo jinou technologii pro výrobu.

Cílem této práce je zpracovat LCA analýzu výrobního procesu pro výrobu hliníkové konstrukce pro dětská hřiště.

1 Charakteristika metody LCA

Cílem této kapitoly je detailnější popis postupu posuzování životního cyklu, principu jeho sestavování a rozboru jednotlivých fází LCA metody, mezi něž řadíme definice cíle a rozsahu, inventarizace, hodnocení dopadu životního cyklu a interpretace životního cyklu.

Posouzení životního cyklu je metodologie pro hodnocení dopadu na životní prostředí spojeného se všemi fázemi životního cyklu komerčního produktu, procesu nebo služby. Například u průmyslového výrobku se posuzuje vliv na životní prostředí od těžby a zpracování surovin (kolébka) přes výrobu, distribuci a použití výrobku až po zpracování nebo konečnou likvidaci materiálů, ze kterého se skládá (hrob) [3, 4].

Studie LCA zahrnuje důkladnou inventarizaci energie a materiálů požadovaných v celém průmyslovém hodnotovém řetězci pro produkt, proces nebo službu a vypočítává související emise do životního prostředí. LCA tedy vyhodnocuje kumulativní potenciální dopad na životní prostředí. Cílem je zdokumentovat a zlepšit celkový environmentální profil produktu [3].

Široce uznávané postupy LCA jsou zahrnuty do řady norem environmentálního managementu Mezinárodní organizace pro normalizaci (ISO) 14000, zejména ISO 14040 a ISO 14044. ISO 14044 obsahuje popis požadavků a pokynů. V úvodní části normy ISO 14040 je LCA definován takto: LCA studuje environmentální aspekty a potenciální dopady během životního cyklu produktu (tj. od kolébky do hrobu) od získávání surovin až po výrobu, použití a likvidaci [3, 4, 5].

Mezi obecné kategorie dopadů na životní prostředí, které je třeba vzít v úvahu, patří využívání zdrojů, dopad na lidské zdraví a dopady na životní prostředí.

1.1 Definování cíle

Na začátku procesu vyhodnocování je nutné jednoznačně stanovit cíl a mít kompletní přehled o zkoumaném předmětu. Správné definování cíle studie ovlivní účinnost celého procesu analýzy. Účelem hodnocení cyklu může být posouzení vlivu konkrétního produktu nebo procesu na životní prostředí a získání informací o tom, jak zlepšit environmentální výkonnost daného provozu. Například pokud tato analýza byla provedena v rané fázi vývoje produktu, může být cílem srovnání dvou nebo tří alternativních návrhů jeho výroby [3].

V této části musí být podrobně popsány následující informace:

1. Specifikace důležitých vlastností a charakteristik zkoumaného předmětu.

Čím detailněji bude charakterizován výrobek, jehož životní cyklus se bude analyzován, tím přesnější budou výsledky studie [3].

2. Kým a jak se budou využívat výsledky studie?

Dle zadavatele studie se mohou lišit finální data. Pro podnikatelské subjekty budou mít pravděpodobně význam jiné aspekty než pro neziskový sektor. Znalosti o příjemci zvyšují transparentnost a vedou k lepšímu pochopení získaných údajů [3].

3. Oblast a účel použití

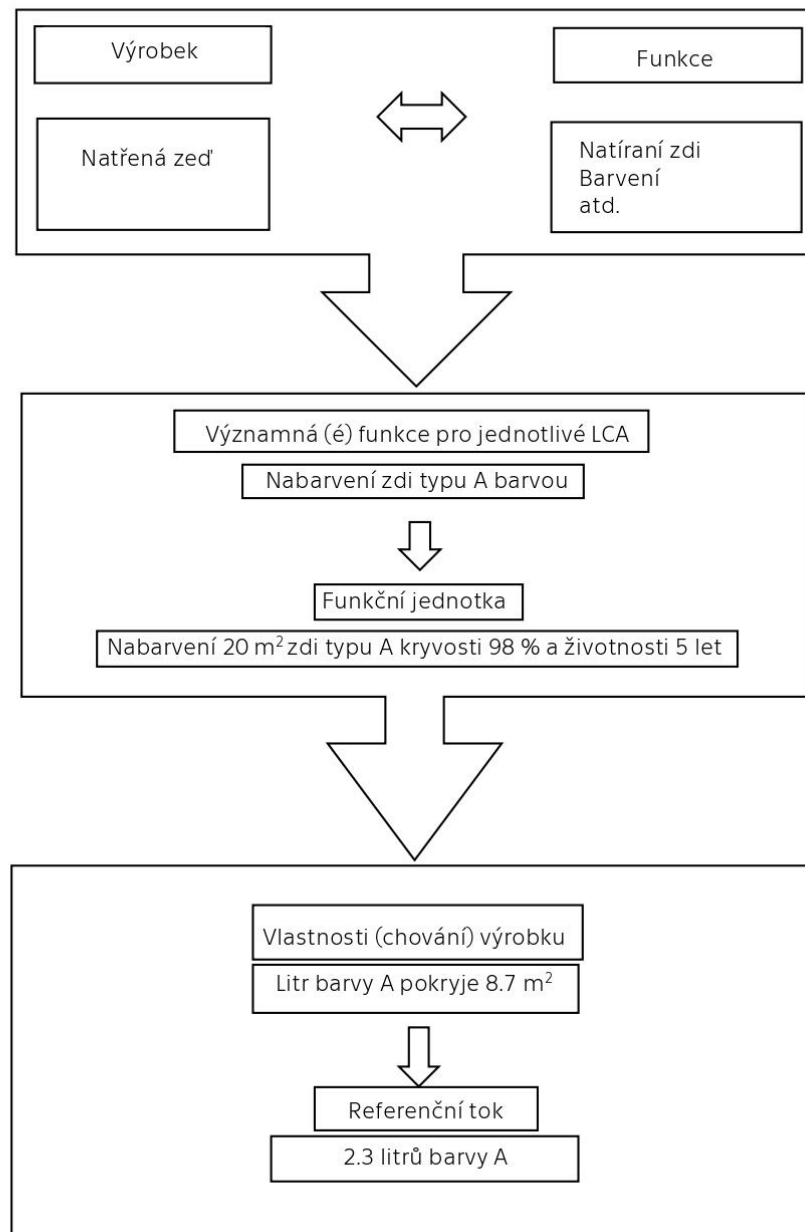
Mnohem větší nároky jsou kladeny na studie, ve kterých se porovnávají environmentální dopady dvou či více produktů z hlediska transparentnosti a kvality prováděného průzkumu. Analýza za účelem minimalizace antropogenního vlivu na životní prostředí ukazuje, že bude mít zjednodušené předpoklady, za kterých samotná studie bude probíhat [3].

1.2 Definování rozsahu

Prováděná studie má určité rozmezí platnosti získaných dat, omezených stanovenými předpoklady, které byly použité při jejím vypracování. V této části je zapotřebí určit rozsah analýzy a zkontrolovat, jestli šířka a hloubka studie byly přiměřeným a dostatečným způsobem definované pro dosažení dříve stanovených cílů. V této fázi je nutné také zmínit funkční charakteristiky produktu, za jakým účelem se používá a jaké funkce a požadavky splňuje. Tyto znalosti se využívají pro stanovení funkční jednotky, která je důležitým kvantitativním parametrem. Funkční jednotka je měřitelnou vlastností, k níž se vztahují vstupy a výstupy produkčního systému. Účelem zavádění funkční jednotky je možnost porovnání životních cyklů zkoumaných výrobků, z čehož vyplývá, že funkční jednotka musí mít faktickou veličinu, která má příslušnou měřitelnou jednotku, například mm^2 , kilogramy, m^2/rok [3, 6, 8].

Po definování funkční jednotky je nezbytné také předvést kvantitativní charakteristiku, která zajistí splnitelnost uvedené funkce produktu. Hodnota referenčního toku souvisí s provozními vlastnostmi produktu a poskytuje informace o potřebném množství výrobku ke splnění požadované funkce [4, 6].

Například u barvy je referenční tok obvykle vyjádřen jako množství litrů potřebných k pokrytí plochy určené funkční jednotkou. Při standardním testu lze určit, že 1 litr barvy typu A může pokrýt 8,7 m² povrchu. Z příkladu na obrázku 2 tedy vyplývá, že pokrytí 20 m² (funkční jednotka) vyžaduje 2,3 litru barvy (referenční tok), přičemž podmínky standardního testu by měly být podobné podmínkám použití [7].



Obr. 1 Schéma příkladu [7]

1.2.1 Hranice systému

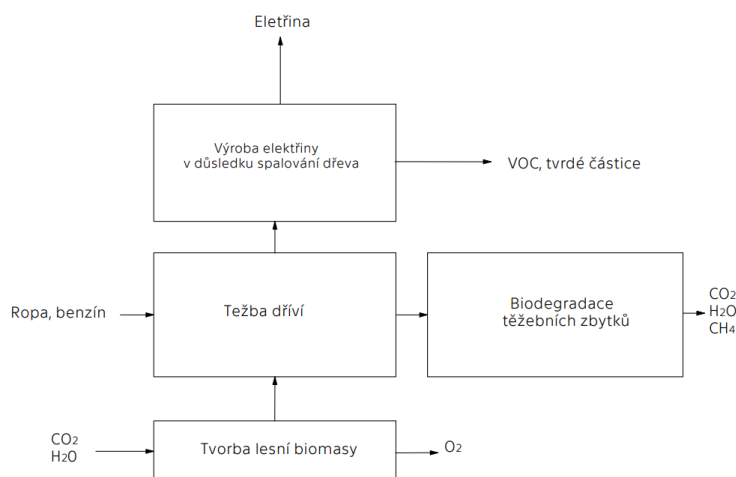
Životní cyklus produktu se skládá z různých hlavních a vedlejších procesů. Při posuzování životního cyklu je zapotřebí vymežit hranicemi oblast, v níž budeme studii provádět. Hranice systému určují, které samotné procesy by měly být zahrnuty do analýzy. Přitom stanovení hranic závisí na řadě faktorů: zamýšlené aplikaci, účelu studie, vytvořených předpokladech a omezeních, kritériích výběru a finančních nákladech. Za ideální model se považuje ten, u kterého za provádění studie nedošlo k zanedbávání žádného stadia výroby, jímž produkt prochází. Čím širší jsou hranice systému, tím spolehlivější a efektivnější výsledky lze na konci získat, ale tím obtížnější je shromáždit a zpracovat potřebná počáteční data. V mnoha případech není dostatek dat a zdrojů k provedení úplné analýzy. Stanovením hranic oddělíme podstatné procesy od nepodstatných a tím zjednodušíme model, se kterým následně budeme pracovat. Evidentně je zapotřebí dbát na správné určování hranic posuzovaného systému, to značně ovlivňuje konečné výsledky prováděné analýzy. Následně to vyvolává otázku, do jaké míry lze zanedbávat nějaké procesy a která stadia jsou pro studii důležitá [3, 6].

Hranice úrovně detailizace

Jedním ze způsobů, jak stanovit, které věci se musí vzít v úvahu a co se naopak může zanedbat, je pravidlo 5 %: pokud materiál nebo součást tvoří méně než 5 % hmotnosti produktu, je v LCA zanedbáván. Výjimkou z tohoto pravidla je zahrnutí jakýchkoliv komponent se zvláště závažnými dopady na životní prostředí. Například olověná baterie v autě váží méně než 5 %, ale kvůli toxicitě olova je rozumné zahrnout baterii do LCA [8].

Hranice přírodních ekosystémů

V řadě průmyslových procesů dochází k interakci přírodních procesů s technologickými. Rozeberme si to na příkladě výroby elektřiny v důsledku spalování dřeva. Do průmyslových komponentů patří těžba dřeva (palivo pro těžbu dříví a doprava) a samotný proces spalování. Přírodními komponenty jsou tvorba lesní biomasy (tj. růst stromů) a biodegradace těžebních zbytků. V některých studiích byly zvoleny hranice pouze kolem průmyslových složek procesu, zatímco v jiných se braly v potaz i přírodní složky. V druhém případě by byla studie považována za úplnější, ale zahrnutí přírodních složek by pravděpodobně analýzu značně komplikovalo [8].



Obr. 2 Výroba elektřiny v důsledku spalování dřeva [8]

Hranice v prostoru a čase

Vliv na životní prostředí je charakteristický tím, že jeho vliv může působit na značně velké vzdálenosti a po dlouhou dobu. Uvolňování velkých částic sazí má lokální efekt, emise oxidů a dusíku způsobují kyselé deště ve vzdálenosti stovek kilometrů a emise oxidu uhličitého ovlivňují energetickou bilanci planety. Analogicky emise, které způsobují fotochemický smog, trvají jen den nebo dva. Naproti tomu vliv průmyslových emisí trvá několik desetiletí a stimulují globální změnu klimatu na několik století. Hranice LCA lze nastavit pro krátkodobé a malé vzdálenosti, dlouhodobé a planetární vzdálenosti nebo někde uprostřed. Volba kterékoli z těchto možností pro hranici v prostoru a čase může být vhodná v závislosti na rozsahu LCA [8].

1.3 Inventarizace životního cyklu

V rámci LCA je inventarizace životního cyklu považována za krok, kde jsou identifikovány a vyhodnoceny všechny environmentální zátěže nebo vlivy na životní prostředí generované produktem nebo službou během jeho životního cyklu. Environmentální zátěže jsou zde definovány jako množství látek, záření, hluku vyzařovaných nebo odstraňovaných z okolí, které způsobují potenciální nebo skutečné škodlivé účinky. V rámci této definice lze nalézt: spotřebu surovin a energie, emise do ovzduší a vody, tvorbu odpadů, záření, hluk, vibrace atd., což je běžně známé jako znečištění životního prostředí [3, 6].

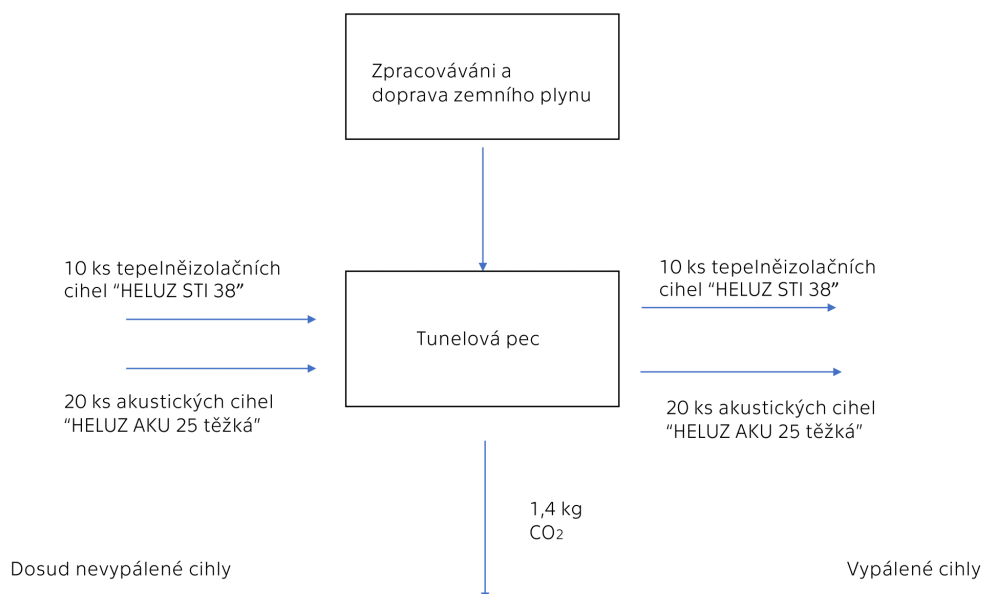
Inventarizační analýza zahrnuje proceduru sběru a vyčíslení dat za účelem kvantifikace energetických a materiálových toků produkčního systému. V počáteční fázi inventarizace se sestavuje výchozí seznam vstupních a výstupních toků a ukazuje se možnost jejich modelování ve výrobním systému [3, 6, 9].

V inventarizaci je jedním z patrných a zároveň z hlediska realizace komplikovaných princip modelování „od kolébky do hrobu“. Tento přístup spočívá v tom, že do životního cyklu produktu zařazuje procesy jako získávání potřebných materiálů, samotnou výrobu, užívání výrobku, a nakonec odstranění nebo recyklace produktu. Častěji se setkáme v praxi se zkráceným principem modelování „od kolébky k bráně“, kde posouzení životního cyklu produktu se provádí pouze po hranice závodu, což znamená, že jsou vyloučeny fáze přepravy, distribuce, použití a likvidace. Tento koncept výrazně snižuje složitost LCA a pomáhá rychleji porozumět environmentálnímu dopadu interních výrobních procesů na životní prostředí [3, 6, 9].

V této části studie máme 4 základní činnosti, které je zapotřebí splnit, než přistoupíme k následující fázi hodnocení:

1. Sestavení produktového systému.

Sjednocením informací o etapách zjištěných v předchozích hranicích a rozsahu by se měl sestavit pomocí softwarových nástrojů produktový systém s ohledem na energetické a materiálové toky. Často se setkáváme při vytváření modelu s problémem, že environmentální dopad je dán obecnou hodnotou, která je vztažena na více produktů. Vysvětlíme podrobněji na příkladě cihly vyráběné firmou Heluz. V cihlářské peci jsou vyhřívané dva různé druhy cihel spalováním zemního plynu. Vloží se do ní deset kusů tepelněizolačních cihel HELUZ STI 38 a dvacet kusů akustických cihel HELUZ AKU 25. Spotřeba zemního plynu se rovná $0,8 \text{ m}^3$. K provedení LCA analýzy je nutné počítat se spotřebou zemního plynu, vztaženou na určitý jednotlivý druh výrobku. Nabízí se otázka, jakým způsobem rozdělit emise mezi dvěma výrobky [6].



Obr. 3 Příklad alokace pro cihly [6]

Existují 3 alokační pravidla, která můžeme použít k řešení tohoto problému.

a) Alokační pravidlo

HELUZ STI 38 a akustické cihly HELUZ AKU 25 považujeme za rovnocenné a bere se v úvahu pouze jejich počet [6].

b) Alokační pravidlo

Důležitým údajem je dle druhého pravidla hmotnost. Jestliže tepelněizolační cihla HELUZ STI 38 má hmotnost 13,2 kg a akustická cihla HELUZ AKU 25 váží 21,7 kg, pak z poměrů hmotnosti stanovíme množství zemního plynu potřebné pro vypálení jedné cihly [6].

c) Alokační pravidlo

Za hlavní parametr se volí cena produktu, reprezentující ekonomický význam používání pece pro provozovatele zařízení. Potřebné množství zemního plynu může být vyjádřeno následujícím způsobem (za předpokladu, že tepelněizolační cihla HELUZ STI 38 stojí bez DPH 49,00 Kč a akustická cihla HELUZ AKU 25 – 85,90 Kč) [6]:

$$ZP = \frac{49,00 \text{ Kč}}{(10 \cdot 49,00 \text{ Kč} + 20 \cdot 85,90 \text{ Kč}) \cdot 0,8 \text{ m}^3} = 0,0177 \frac{\text{m}^3}{\text{ks}}$$

2. Výpočet ekovektoru systému

Pro lepší názornost a porozumění výsledkům studie se používají prvky matematického aparátu, z nichž jedním je ekovektor. Podstatou každého výrobního procesu je přeměna vstupních zdrojů na výstupní s možností interakce elementárních toků

z okolí. Ekovektor představuje operátor, jehož každý řádek právě obsahuje informace o těchto přeměnách: totiž hodnoty produkovaného emisního toku do prostředí či množství potřebných surovin pro výrobu. Všechny používané hodnoty v tomto vektoru musí být vztaženy k funkční jednotce zvolené v předchozí fázi v souvislosti s referenčním tokem posuzovaného produktu, na jehož základě provádíme výpočty výsledných hodnot všech jednolitých elementárních toků. V následujícím kroku provedeme výpočet samotného ekovektoru pomocí maticové algebry, kde se řeší soustava rovnic o vyšším počtu neznámých. Výpočet ekovektoru objasníme podrobněji na příkladě výroby elektrické energie v generátoru poháněném benzínem za předpokladu zanedbání ostatních relativních toků. Při spotřebě 2 litrů benzínu se vyrobí 10 kWh elektřiny a zároveň vyprodukuje 1 kg CO₂ a 0,1 kg SO₂ (proces A). Jelikož počítáme s tím, že vyrobenou energii použijeme dále, musíme přiřadit toku příslušný ekovektor, který bude obsahovat spotřebu benzínu a údaje o emisích. Ekovektor 1 kWh vypadá následovně, kde vstup má kladnou hodnotu a u výstupu odlišíme zápornou hodnotou [3].

$$v_{1e} = \begin{bmatrix} -0,2_l_benzínu \\ 0,1_kg_CO_2 \\ 0,01_kg_SO_2 \\ 1kWh_elektrické_energie \end{bmatrix}$$

Je nutné si uvědomit, že v průběhu výroby benzínu dochází také k uvolňování oxidu siřičitého, oxidu uhličitého a jiných chemických látek (proces B), proto bereme v úvahu elementární toky procesu výroby benzínu, kde vycházíme ze zjednodušeného předpokladu, že z 250 litrů ropy vyrobíme 100 litrů benzínu za současné emise 66 kg CO₂ a 0,3 kg SO₂ [3].

$$v_{2m} = \begin{bmatrix} -2,5_l_ropy \\ 0,66_kg_CO_2 \\ 0,003_kg_SO_2 \\ 1_l_benzínu \end{bmatrix}$$

Dle uváděného indexu rozlišujeme, k čemu byl vztažen daný ekovektor, kde m je hmotnost a e je energetickou jednotkou toku. Ekovektor, který bude zahrnovat i vlivy procesu B, získáme sjednocením dvou jednotlivých vektorů následujícím způsobem [3]:

$$v_{celk.e} = v_1 + 0,2 \times v_2 = \begin{bmatrix} (-0,2_l_benzínu) + 0,2 \times (1_l_benzínu) \\ (0,1_kg_CO_2) + 0,2 \times (0,66_kg_CO_2) \\ (0,01_kg_SO_2) + (0,003_kg_SO_2) \\ (1kWh_elektrické_energie) + 0,02 \times (0) \\ (0) + 0,2 \times (-2,5_l_ropy) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -0,5_l_ropy \\ 0,232_kg_CO_2 \\ 0,0106_kg_SO_2 \\ 1_kWh_elektrické_energie \end{bmatrix}$$

3. Normalizace procesu

Na základě údajů o množství použitých materiálů, látek produkovaných do prostředí během výroby, procesech podílech na výrobě produktu byl definován ekovektor. Jelikož má výroba určitý stanovený objem, je evidentní, že v tomto souboru dat budou získané výrobní parametry vztaženy k odlišným velikostem vstupu nebo výstupu, což znemožňuje přímé použití těchto hodnot. Pro vyřešení vzniklé komplikace je zapotřebí normalizovat velikost procesů. Z praktického hlediska se doporučuje na začátku nevztahovat vstupní a výstupní hodnoty k referenčnímu toku, ale předem normalizovat výstupy z daného procesu tak, aby údaje byly vyjádřeny v jednotkovém množství [3, 9]

4. Vytvoření inventarizační tabulky

Inventarizační tabulka poskytuje přehledný pohled na suroviny používané v procesu výroby, což umožní získat informace o podílu a míře zásahu do životního prostředí v jednotlivých výrobních fázích [3, 6].

1.4 Hodnocení dopadů životního cyklu

Vyhodnocování environmentálního dopadu produktu je zapotřebí provést na základě vyčíslení škod způsobených na životním prostředí. Jelikož porovnání dvou ekovektorů vede ke komplikacím, kdy se velikost nejmenších hodnot některých elementárních toků může lišit v závislosti na produktu, je nutné předčasně převést elementární toky ekovektorů systému na hodnoty jiných veličin popisujících environmentální dopad na životní prostředí [3, 6, 10].

Je třeba si uvědomit, že environmentální dopad výrobku se posuzuje v souvislosti s veškerým množstvím toxických látek spojených s životním cyklem produktu. Pro měření množství těchto jedovatých látek zavádíme veličinu zvanou indikátor kategorie dopadu s přesně danými jednotkami. Pomocí indikátoru kategorie dopadu se sleduje náchylnost ke vzniku negativních účinků v životním prostředí. Podle typu indikátoru rozlišujeme dvě kategorie [3, 6, 10]:

- Midpointový indikátor;
- Endpointový indikátor.

Indikátor na úrovni midpointu se používá, jestliže se hodnocení provádí na základě platnosti předpokladu zanedbání způsobených škod elementárním tokem v životním prostředí, ale potenciální škodlivost elementárních toků se stanovuje vzhledem k definované referenční látce. Jako příklad midpoint-indikátoru lze uvést problémy globálního oteplování, kde porovnáme schopnost zachycení energie skleníkovým plynem v atmosféře vzhledem k referenční látce, za niž byl zvolen oxid uhličitý [4, 6, 10].

O endpointovém indikátoru hovoříme, když elementární toky, které se jeví jako následek chemicko-fyzikálního a biologického zásahu do okolního prostředí, obvykle způsobí zjevné ekologické újmy, jejichž účinky jsme schopni změřit. Indikátor na úrovni endpointu je parametr pomoci, který lze vyjádřit číselně a který může vyhodnotit ekonomicky environmentální zátěž z působení elementárního toku v životním prostředí. Na příkladě globálního oteplování lze sledovat endpointový indikátor kategorie dopadu z nárůstu mořské hladiny, změny klimatických a vegetačních zón, ze zvýšení rizik ohrožujících zdraví lidstva [3, 6, 10].

1.5 Definování pojmu charakterizační model

Charakterizační model poskytuje standardizovaný přístup k hodnocení vlivu produktů a procesů na životní prostředí, lze ho použít k informování při rozhodování a vedení rozvoje udržitelnějších postupů. Charakterizační modely využívají určitý postup, na jehož základě lze stanovit způsob vyjádření vlivu elementárního toku na jakoukoli z kategorií dopadů [3, 10].

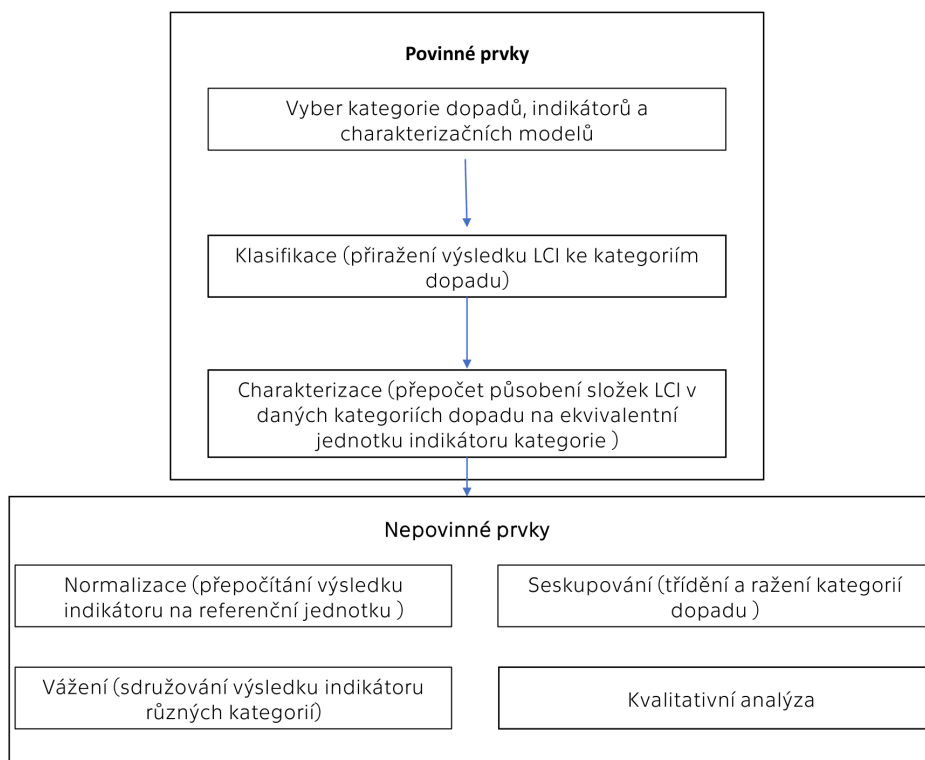
Na příkladu potenciálu globálního oteplování rozebereme význam charakterizačního modelu (GWP). Tento model kvantifikuje dopad emisí skleníkových plynů při změně klimatu výpočtem ekvivalentního množství oxidu uhličitého (CO₂), které by způsobilo stejnou úroveň oteplení za určité časové období [3, 10].

Model GWP přiřazuje každému skleníkovému plynu faktor na základě jeho potenciálu oteplování ve vztahu k oxidu uhličitému. Například metan má GWP 28krát vyšší než oxid uhličitý, což znamená, že jedna tuna emisí metanu odpovídá 28 tunám emisí oxidů uhličitého, pokud se řeší problém globálního oteplování. Podobně oxid dusný má GWP 265krát vyšší než oxid uhličitý, zatímco GWP faktory chlorfluoruhlodíků (CFC) mohou pohybovat v tisících nebo desetitisících [3, 10].

Pomocí modelu GWP se může posuzovat dopad různých činností nebo produktů na životní prostředí a porovnat je ve společném měřítku, což vede k hledání řešení a rozhodování o tom, jak snížit emise a zmírnit změnu klimatu [3, 10].

1.6 Postup posuzování dopadu životního cyklu

Proces hodnocení dopadu životního cyklu různých produktů a procesů etapou klasifikace, ve které probíhá identifikace příslušných kategorií dopadů na životní prostředí prostřednictvím postupného zpracování dat obsažených v ekovektoru produktového systému. Druhý krok zahrnuje charakterizaci kategorií dopadů určením rozsahu, v jakém přispívají ke zhoršování životního prostředí, k čemuž se využívají vědecké modely určené ke kvantifikaci míry environmentální zátěže spojené s každou kategorií. Výstupem předchozích dvou fází je tabulka s přepracovanými údaji o velikosti působení produktového systému na určitou kategorii dopadu. V třetím kroku provádíme normalizaci kategorií dopadu pro srovnání napříč různými produkty a procesy, tato fáze zahrnuje vyjádření dopadu každé kategorie na životní prostředí pomocí společné jednotky měření. Na konci procesu hodnocení dopadu se provádí vážení kategorií dopadů na základě jejich relativní důležitosti, což znamená přiřazení hodnoty každé kategorii dopadu na základě jejího vnímaného (ekonomického nebo průmyslového) významu z hlediska dopadu na životní prostředí [3, 9, 11].



Obr. 4 Postup při posuzování životního cyklu produktu [11]

1.6.1 Klasifikace

Cílem této fáze vyhodnocování dopadu životního cyklu je přiřazení elementárních toků podle působení v okolním prostředí příslušným kategoriím dopadu. Například emise oxidů uhličitých souvisí s problémem globálního oteplování, emise této látky přiřadíme ke kategorii změny klimatu, jelikož některé z emitovaných látek mohou mít vícenásobný dopad, což vede ke komplikacím s jednoznačným přiřazením elementárních toků [3, 10].

Z hlediska působení v okolním prostředí existují 2 modely:

- Paralelně – látka má několik současných účinků. Například oxid siřičitý je kyselinotvorný oxid, který může být příčinou kyselých dešťů a zároveň je toxický pro dýchací procesy člověka [10].
- V sérii – látka má nepříznivý účinek, který se sám v důsledku stává příčinou dalšího nežádoucího účinku. Například oxid siřičitý způsobuje okyselení, které pak může mobilizovat těžké kovy v půdě, škodlivé pro lidský organismus a ekosystémy [10].

Tento krok vyžaduje značné porozumění a odborné znalosti o dopadech na životní prostředí a obvykle jsou pro tento krok využívány nástroje softwaru [4, 10].

1.6.2 Charakterizace

Charakterizace je krokem v metodě hodnocení životního cyklu, jež zahrnuje převedení výsledků inventarizační analýzy do potenciálních následků ovlivňujících životní prostředí tím, že se inventarizační data spojí s kategoriemi dopadů vybranými v předchozím kroku LCA. Do fáze charakterizace také patří vyhodnocování následků metodami založenými na vztazích příčiny a následku mezi inventarizačními údaji a potenciálními dopady na životní prostředí [3, 10].

Pro možnost porovnávání různých vlivů výrobků nebo služeb na životní prostředí je nutné vyjádřit číselně hodnotu elementárního toku, k čemuž lze použít tak zvané charakterizační faktory [3, 10].

Charakterizační faktor se používá k popisu relativního příspěvku látky nebo činnosti ke konkrétní kategorii dopadů na životní prostředí, jako jsou globální oteplování, poškozování ozonové vrstvy nebo acidifikace. Výpočet hodnoty charakterizačního faktoru se provádí pomocí modelu mechanismu prostředí, který co nejrealističtěji reprezentuje řetězec příčin a následků ovlivňujících životní prostředí pro všechny elementární toky, které v tomto prostředí působí [3, 10].

Jednotka charakterizačního faktoru je stejná pro všechny elementární toky v rámci kategorie dopadu a může vyjadřovat dopady buď přímo v absolutních hodnotách (například počet případů onemocnění/jednotky toxických emisí), nebo nepřímo prostřednictvím jejich vztahu k dopadu referenčního elementárního toku (například ekvivalenty oxidu uhličitého/jednotky emisí skleníkových plynů). Pro označení charakterizačního faktoru používáme zkratku $CF_{i,xy}$, kde i vyjadřuje hodnotu, jež měří účinek této látky na příslušnou kategorii dopadu (XY) [3,10].

Výstupem fáze charakterizace je informace o hodnotě indikátoru kategorie dopadu, který vyjadřuje míru působení produktového systému vůči změně dané kategorie dopadu. Výsledek indikátoru kategorie dopadu se označuje V_{xy} a pro jednotlivý elementární tok se vypočítá následujícím způsobem:

$$V_{xy} = CF_{i,xy} \times m_i ,$$

kde $CF_{i,xy}$ je výše uvedeným charakterizačním faktorem pro látku i a m_i odráží množství elementárního toku této látky [3, 10].

Pokud doplníme informace o emisních tocích, v nichž je látka uvolněna do okolního prostředí, vzorec zmodifikuje do následujícího tvaru [3, 10]:

$$V_{xy} = CF_{i,xy} \times \sum_r m_i$$

Je nutné vzít v úvahu, že kategorie dopadu často zahrnuje vliv několika současně působících elementárních toků, v tomto případě výsledek indikátoru kategorie dopadu lze spočítat pomocí následujícího vzorce [3, 10]:

$$V_{xy} = CF_{látka\ 1,XY} \times \sum_r m_{látka\ 1} + CF_{látka\ 2,XY} \times \sum_r m_{látka\ 2} + \dots + CF_{látka\ i,XY} \times \sum_r m_{látka\ i}$$

1.6.3 Normalizace

Normalizace slouží pro porovnávání dopadů různých produktů nebo procesů na životní prostředí ve společném měřítku pomocí referenční hodnoty specifické pro určitou kategorii dopadu. Pro možnost vzájemného propojení výsledků z předchozích kroků a stanovení nejvíce zasažené kategorie dopadu je nutné převést výsledky indikátoru kategorie V_{xy} na bezrozměrné normalizované veličiny těchto kategorií NV_{xy} . Pro normalizaci používáme referenční hodnotu výsledků kategorií dopadu RV_{xy} se stejnou jednotkou. Pro získání normalizovaného výsledku NV_{xy} vztáhneme k referenční hodnotě RV_{xy} výsledek indikátoru kategorie V_{xy} [3, 10]:

$$NV_{xy} = \frac{V_{xy}}{RV_{xy}}$$

Z toho je vidět, že normalizovaný výsledek indikátoru kategorie dopadu je bezrozměrná veličina, která se udává v procentech a popisuje, jak silně se právě zkoumaný indikátor podílí na referenční hodnotě výsledku indikátoru kategorie dopadu [3, 10].

Normalizace může být užitečná pro:

- Poskytování informací o relativních velikostech míry zásahu do životního prostředí.
- Presentaci výsledků ve formě vhodné pro následné vážení.
- Kontrolu konzistence a spolehlivosti.
- Sdělování výsledků. [10].

1.6.4 Vážení

V této fázi lze určit, jakou roli hraje jednotlivý dopad v procesu posuzování životního cyklu. Tento krok lze provést pouze po procesu normalizace a umožňuje upřednostnění kategorií dopadu použitím různých nebo stejných vah na každý ukazatel kategorie. Je důležité si uvědomit, že pro tento krok neexistuje žádný vědecký ani objektivní základ, což znamená, že bez ohledu na použitou metodu vážení nebo schéma bude vždy založeno na subjektivních faktorech [3, 10].

1.7 Interpretace

Fáze interpretace výsledků spočívá v tom, že se na základě dat získaných v předchozích etapách vyvozují závěry a dávají doporučení. V této fázi se často získá vysvětlení potřeb a příležitostí ke snížení environmentálních dopadů probíhajících nebo navrhovaných průmyslových činností. Fáze interpretace může zahrnovat iterační proces zkoumání a revize rozsahu LCA, povahy a kvality údajů, které byly shromážděny pro daný účel. Všechna předpokládaná zjednodušení, přibližné hodnoty, odhady v průběhu procesu analýzy životního cyklu musí být zmíněny v fázi interpretace výsledků [3, 10].

1.8 Metoda IMPACT 2002+

Environmentální dopad všech etap výroby posuzovaného produktu v této práci bude vyhodnocen pomocí metodologie IMPACT 2002+. Tato metoda byla původně vyvíjena Švýcarským federálním technologickým institutem v Lausanne, současným vývojem se zabývá stejný tým výzkumníků, ale nyní pod názvem ecointesys-life cycle systems. Při vyhodnocování se využívá kombinovaný přístup midpoint/škodlivé účinky (midpoint/damage), který propojuje různé typy výsledků inventarizace životního cyklu pomocí 14 midpointových kategorií a 4 kategorií škodlivých účinků. Metodologie využívá jak midpointové ukazatele (jako např. CML), tak i ukazatele založené na

škodlivých účincích (jako např. eco-indicator 99). Charakterizační faktory pro lidskou toxicitu a ekotoxicitu vodní a suchozemské fauny a flóry byly převzaty z metody IMPACT 2002. Ostatní kategorie byly upraveny podle existujících charakterizačních metod (Eco-indicator 99, CML 2001, IPCC and the Cumulative Energy Demand). IMPACT 2002+ využívá nové poznatky a metody pro srovnávací hodnocení lidské toxicity a ekotoxicity, jako je například výpočet faktorů lidského poškození pro karcinogeny a nekarcinogeny [34].

1.8.1 Kategorie dopadu metody IMPACT 2002+

V této části podrobně rozebereme význam endpointových a midpointových indikátorů.

Midpointové indikátory kategorie dopadu:

- Human toxicity (Toxicita na lidské zdraví)

Uvolňování toxických chemických látek do životního prostředí, které v důsledku způsobují zvýšení rizika onemocnění člověka a negativně ovlivňuje celkový zdravotní stav. Rozlišuje se dva druhy indikátorů: jeden ze kterých má karcinogenní následky (výskyt rakovinných nádorů) a druhý je nekarcinogenní [35].

- Respiratory inorganics (Respirační anorganické části)

Respirační anorganické částice, které jsou obvykle příčinou dýchacích potíží. Obvykle jsou produktem spalování fosilních paliv [35].

- Ionizing radiation (Ionizační záření)

Ionizující záření je forma energie, prostřednictvím které se uvolňují atomy ve formě elektromagnetických vln nebo částic. V důsledku dlouhodobého vystavení ionizujícímu záření dochází k narušení normálního průběhu biologických procesů v organismu [35].

- Ozone layer depletion (Úbytek ozónové vrstvy)

Ozónovou vrstvu ničí chemické látky uvolňovanými do atmosféry. Hlavní chemikálie, které poškozují vrstvu ozonu, jsou chlor-fluorované uhlovodíky (CFC), hydrochlorofluorohlovodíky (HCFC), halony a methylbromidy (CH₃Br). Ozon pohlcuje ultrafialové záření ze slunce, jehož vysoké dávky způsobují rakovinu a snižuje se schopnost těla odolávat infekcím [35].

- Respiratory organics (Respirační onemocnění způsobené organickými látkami)

Organické částice, které se zvyšuje pravděpodobnost respiračních nemocí [35].

- Aquatic ecotoxicity (Ekotoxická voda)

Ekotoxická voda se definuje na základě látek, které pronikly do vodních toků, což v důsledku ovlivňuje vodní ekosystém, snižuje produkci vodních rostlin a zároveň zhoršuje kvalitu pitné vody [35].

- Terrestrial ecotoxicity (Půdní ekotoxická)

Vlivem lidské činnosti se do půdy mohou dostat toxické látky, což negativně ovlivňuje půdní ekosystém, způsobí pokles živočichů a rostlin [35].

- Terrestrial and aquatic acidification (Acidifikace půd/vody)

Kyselé polutanty mají různé účinky na půdu, podzemní a povrchové vody, živé organismy. Řada emisí zahrnuje kyseliny vznikající za určitých lidských činností. Příklady takových emisí jsou oxid siřičitý (vytváří kyselinu sírovou) a oxid dusičitý (vytváří kyselinu dusičnou). Pro procesy nakládání s odpady jsou nejvýznamnější oxid dusičitý vznikající při tepelných procesech, amoniak – při biologických procesech [35].

- Terrestrial and aquatic eutrophication (Eutrofizace vod/půdy)

Eutrofizace zahrnuje potenciální dopady makroživin, z nichž nejdůležitější jsou dusík a fosfor. Zvyšování úrovně živin může způsobit nežádoucí změny v druhovém složení a nárůst biomasy ve vodních i suchozemských ekosystémech. [35]

- Land occupation (Užívání půdy)

Patří sem například případ eroze půdy, což znemožňuje použití pro potřebné účely [35].

- Global warming (Globální oteplování)

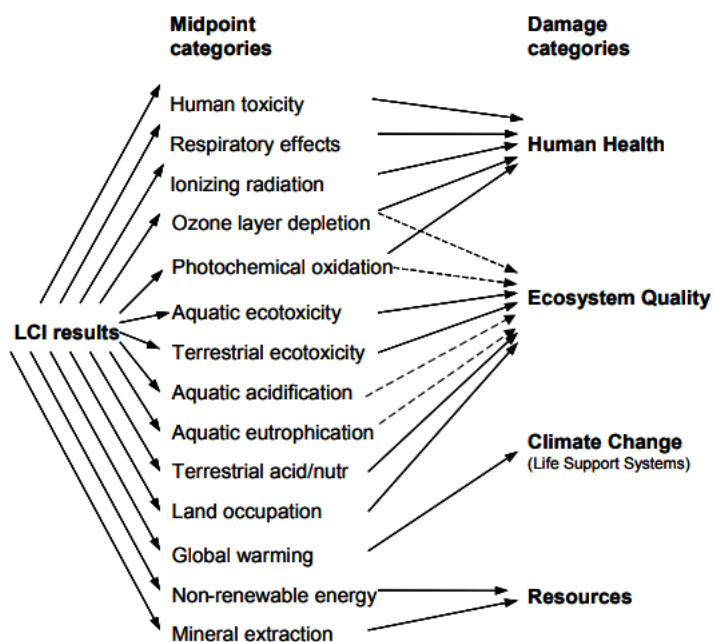
Oxid uhličitý (CO₂), metan (CH₄) a další tzv. skleníkové plyny produkované do atmosféry zvyšují absorpci infračervených vln v atmosféře, což vede ke zvýšení teploty na povrchu Země. V důsledku dochází ke tání ledovců, vymírání druhů atp [35].

- Non-renewable energy (Energie z neobnovitelných zdrojů)

Spotřeba velkého množství neobnovitelných přírodních zdrojů [35].

- Mineral extraction (Těžba surovin)

Omezené množství nerostných uložišť, které nepodléhají obnově [35].



Obr. 5- Kategorie dopadů metody IMPACT 2002+ [34]

Endpointové kategorie dopadu:

Představují účinky příslušných mindpointových indikátorů podle oblasti působení [35].

Tab. 1 : Přehled endpointových indikátorů IMPACT 2002+

Anglický název	Český název	Co zahrnuje?
Human health	Lidské zdraví	Respirační onemocnění, anorganické ionizační záření, organické ionizační záření, zředění ozonové vrstvy.
Ecosystem quality	Kvalita ekosystému	Ekotoxicita vod, terestrická ekotoxicita, acidifikace a eutrofizace půdy a vod, užívání krajiny
Climate change	Klimatické změny	Globální oteplování
Resources	Zdroje	Těžba surovin a energie z neobnovitelných zdrojů

2 Představení společnosti

V roce 1934 získal Josef Beneš první živnostenské oprávnění „Slévárna a strojírna J. Beneš“. Od okamžiku svého založení až do současnosti prošla společnost velkými zásadními změnami: rozšířily se a zvýšily výrobní kapacity, zdokonalují se výrobní procesy podniku. Dnes je tato společnost známá daleko za hranicemi České republiky, na trhu je již 85 let, obsluhuje 1000 zákazníků a ročně vyrobí 3800 tun výrobků, roční obrat firmy v roce 2019 činil 771 298 000 Kč a zaměstnává kolem 450 pracovníků [12].

Beneš a Lát s. r. o. nabízí svým zákazníkům komplexní služby od projektování, topologické a materiálové optimalizace, způsobu výroby přes konstrukci až po sériové dodávky výrobků [12].

Tato společnost podniká s ohledem na dodržování vysokých moderních standardů kvality výrobků a také splňuje všechna přísná ekologická kritéria. Firma si také stanovila jako jeden z úkolů udržet zdravé životní prostředí pro budoucí generace. Specialisté, kteří pracují na zlepšování výrobních procesů, zavádějí nové metody a formy práce, zajišťují především bezpečné a ekologické způsoby realizace výroby [12].

Vzhledem k rozmanitosti druhů technologií výroby mají pracovníci široký přehled o možnostech výroby a mohou navrhnout řešení, které bude nejlépe vyhovovat požadavkům stanovených zákazníkem a zároveň bude výhodné z ekonomického hlediska. Jedná se o podnik, který bude moci uspokojit potřeby zákazníků buď malou sérií výroby pořadového produktu, nebo na velkou sériovou výrobu. Po procesu odlévání získané odlitky lze podrobit tepelnému zpracování před následujícími úpravami [12].

Společnost je flexibilní a dokáže zajistit a realizovat zakázky v souladu s tím, jak se budou v čase měnit potřeby zákazníků z hlediska výroby, může pomoci klientům při přechodu z jedné technologie na druhou nebo při výměně jednoho materiálu za jiný [12].

Činnost společnosti byla vysoce ceněna v mnoha oblastech a získala prestižní tituly a ocenění. V roce 2007 získala prestižní titul „Česká firma roku 2007“. Dne 31. května 2022 byla oceněna 3. místem v Národní ceně České republiky za kvalitu v rodinném podnikání. Dne 25. října 2022 obsadila 2. místo v soutěži IBM Firma roku [12].

Od prvních dnů svého založení až do současnosti je jednou z prioritních oblastí činnosti společnosti ekologická výroba, minimalizace používání škodlivých produktů a snižování emisí škodlivých látek do životního prostředí [12].

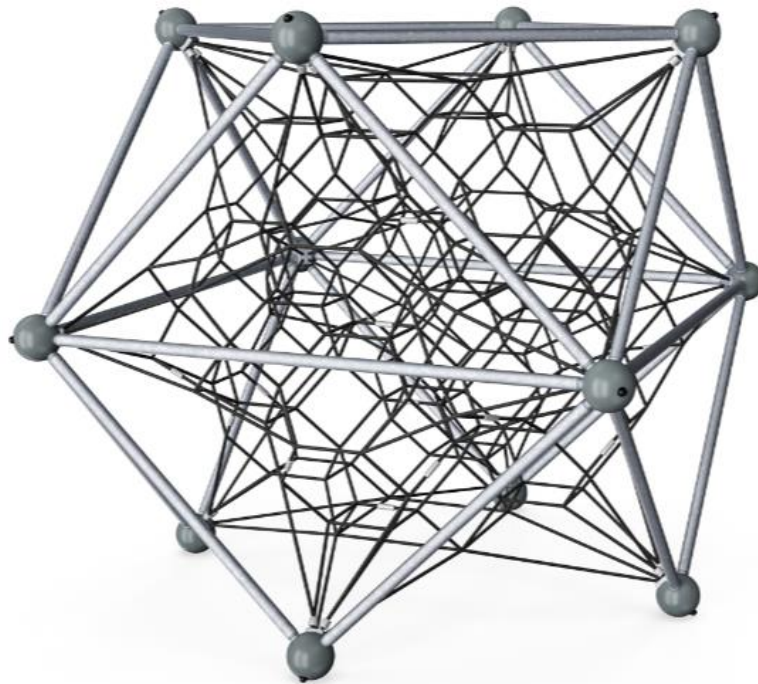
3 LCA studie konstrukčního dílu pro dětské hřiště

hřiště

V této části práce bude provedena LCA analýza odlitku konstrukčního dílu pro dětské hřiště. Nejprve je definována funkční jednotka a stanoveny hranice posuzovaného systému. Poté následuje inventarizační analýza vytvořená na základě dat dodaných společnostmi Beneš a Lát s. r. o. a rovněž procesů z databáze Ecoinvent. V závěru jsou prezentovány výsledky této analýzy.

3.1 Cíl, funkční jednotka a hranice systému

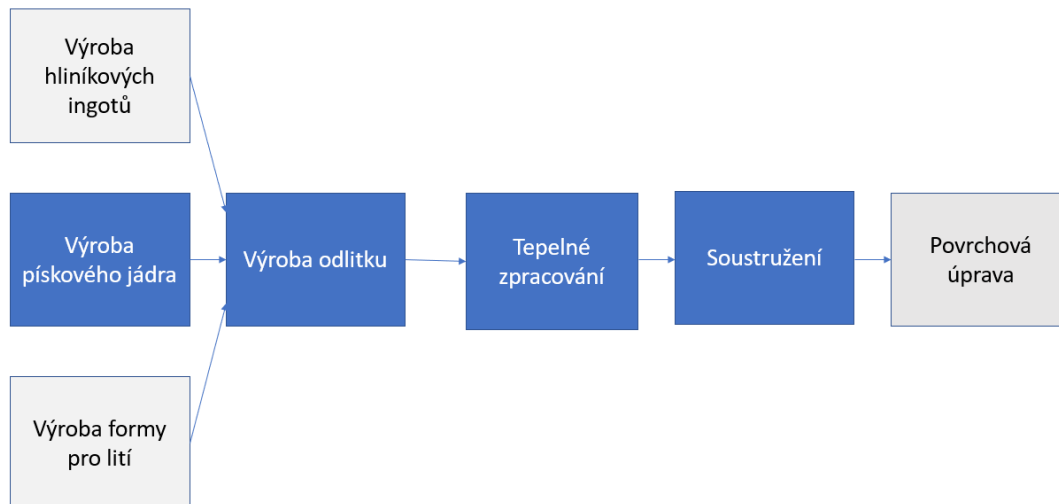
Cíl LCA analýzy spočívá v získání komplexního přehledu o environmentálním dopadu procesu výroby konstrukčního dílu pro dětské hřiště a nalezení fází zpracování součástí, které se nejvíce podílejí na environmentálním dopadu.



Obr.6 Konstrukční díl pro dětské hřiště [materiály společnosti]

Jako funkční jednotka bylo zvoleno množství produktu, to jest jeden díl. Životnost analyzovaného produktu se předpokládá neomezená, není nutná údržba během celého cyklu. Hmotnost produktu je 4,95 kilogramu.

Na následujícím obrázku je schéma výrobních procesů zahrnutých v analýze.



Obr. 7 Schéma procesů zahrnutých v LCA analýze

V podniku jsou realizovány tmavě označené procesy – výroba pískového jádra, výroba odliťku a jeho frézování do požadovaného tvaru.

V LCA analýze jsou zahrnuty tyto procesy:

1. Výroba pískového jádra (v podniku)

- Vstupní materiály: pryskyřice, katalyzátory, isopropanol, hmota na úpravu povrchu a písek.
- Energie vstřelovacího stroje.
- Emise VOC a TZL.

2. Výroba ocelové formy (dodána)

3. Proces tavení a odlévání slitiny hliníku (v podniku)

- Materiály: hliníková slitina AlSi7Mg06 a rafinační sůl.
- Spotřeba zemního plynu na proces tavení slitiny.
- Energetická spotřeba na proces nízkotlakového lití.

4. Tepelné zpracování (Homogenizace a uměle stárnutí) (v podniku)

- Energetická spotřeba tepelné linky na ohřev a výdrž.

5. Soustružení (v podniku).

- Množství odebíraného materiálu
- Chladicí kapalina.
- Spotřeba elektrické energie CNC stroje na proces obrábění.

6. Povrchová úprava (neprovádí se v podniku)

V průběhu života se nepředpokládají dopady na životní prostředí. Po skončení života lze celou kouli recyklovat, znovuvyužití materiálu je uvažováno v LCA studii a snižuje celkový dopad výrobku na životní prostředí.

V LCA není zahrnuto:

- Transporty (předpokladem je nízký dopad na životní prostředí).
- Recyklace písků a šrotu.

Podrobná data použitá pro LCA analýzu jsou uvedena v další části.

3.2 Vstupní data pro analýzu

V této části jsou podrobně popsány procesy, které jsou realizovány v podniku Beneš a Lát s. r. o. Jsou uvedeny inventarizační matice jednotlivých procesů a také je uvedeno, jakým způsobem byly jednotlivé procesy modelovány v Simapro.

3.2.1 Výroba pískového jádra

Písková jádra jsou součástí formy, vyrábí se samostatně, slouží k formování otvorů, vybrání vnitřních dutin, složitých vnějších ploch v odlitcích. Při procesu odlévání je jádro ze všech stran omýváno rozžhaveným tekutým kovem, v důsledku tomu je vystaveno vysokému mechanickému zatížení a vysokým teplotám, proto se kladou velké nároky a požadavky na kvalitu formované směsi. Zvýšení pevnosti jader se dosáhne zvýšením obsahu pojiv ve směsi. Kvalita jádra je dána jeho vysokou pevností, propustností pro plyny, poddajností a nízkou hygroskopicitou [14] [15].

Technologie výroby

Konstrukční prvek, jehož environmetální dopad na životní prostředí vyhodnocujeme, se vyrábí metodou Cold-Box. Cold Box je jednou ze slévárenských technologií vyvinutých ve Spojených státech amerických před více než 50 lety [16].

Proces začíná přípravou plniva, jímž je obvykle křemičitý písek. V závislosti na výrobním procesu může být čistý, nebo regenerovaný. Dále se plnivo smíchá s fenolformaldehydovou pryskyřicí v požadovaném poměru. Výsledná směs je pomocí proudu vzduchu přiváděna do vstřelovacího zařízení. Díky tomu se forma plní rovnoměrně, netvoří se v ní dutiny ani žádné vady. Po vytvarování se do něj napumpuje připravený katalyzátor s proudem suchého vzduchu [16].

Pryskyřice, která přichází do styku s terciárními aminy, krystalizuje poměrně rychle (od 2 minut). Změnou poměrů můžete řídit dobu polymerace směsi. Přívod vzduchu se provádí pomocí specializovaných generátorů plynu[16].



Obr. 8 Pískové jádro [17]

Zařízení pro tvorbu pískového jádra

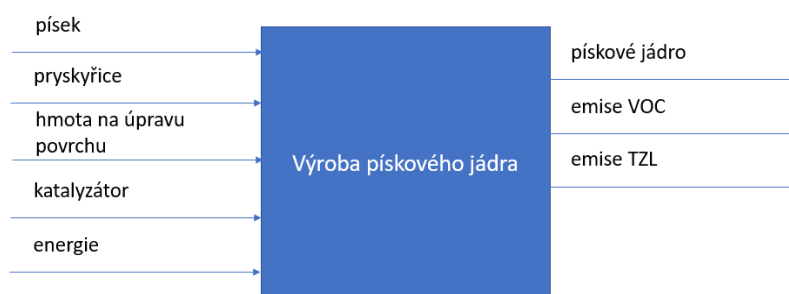
V podmínkách hromadné a velkosériové výroby jsou jádra malých a středních rozměrů vyráběna na vstřelovacích strojích. Hlavní pracovní komponentou stroje je nádrž. Pracovní nádrž stroje má ofukovací desku s otvory, jimiž je směs z nádrže vháněna do jádrového boxu. Stlačený vzduch je přiváděn do pracovní nádrže shora [18].



Obr. 9 Vstřelovací stroj [17]

Jádra na vstřelovacích strojích se vyrábí v následujícím pořadí: pracovní nádrž je plněna jádrovou směsí z násypky umístěné nad strojem. Současně je na pracovním stole stroje instalována jádrová skříň. Poté se nádrž přesune do pracovní polohy pod foukací ventil. Poté se směs vstřeluje do jádrového zásobníku, pak se hotová forma vyjímá ze zařízení [18].

Schéma vstupů a výstupů procesu výroby pískového jádra



Obr. 10 Schéma vstupů a výstupů procesu výroby pískového jádra

V následující tabulce jsou vstupy a výstupy na výrobu jednoho pískového jádra.

Tab. 2 Vstupy a výstupy procesu výroby pískového jádra (vztaženo na 1 pískové jádro)

Výroba jednoho pískového jádra		
	Množství	Jednotka
Vstupy		
písek	6.5928	kg/jádro
pryskyřice 1 (Signature 7902) – fenolová pryskyřice v organických rozpouštědlech)	0.0536	kg/jádro
pryskyřice 2 Signature 7245 – difenylmetan	0.0536	kg/jádro
katalyzátor GH	0,0148	kg/jádro
hmota na úpravu povrchu	0,0466	kg/jádro
rozpouštědlo	0,0502	kg/jádro
energie vstřelovacího stroje	0,2338	kWh/jádro
Výstupy		
Pískové jádro	6,7	kg/ks
Emise VOC	0,0073	kg/jádro
Emise TZL	0,000034	kg/jádro

Množství katalyzátoru, hmoty na úpravu povrchu, rozpouštědla, emisí VOC, emisí prachu byly vypočítány pomocí roční spotřeby písku.

Tab. 3 Vstupy a výstupy procesu výroba pískového jádra (roční hodnoty)

Roční spotřeba materiálu a produkce	
Zpracovaný hliník	973,417 tun/rok
Zpracovaný písek	187 tun/rok
Katalyzátor GH	414 kg/rok
Hmota na úpravu povrchu	1300 kg/rok
Rozpouštědlo	1400 kg/rok
Energie vstřelovacího stroje	880 provozních hodin/rok
Emise VOC	205 kg/rok
Emise TZL	9,7 kg/rok
Roční produkce koulí	960 ks
Hmotnost hotového výrobku	4,5 kg

Množství katalyzátoru:

$$\text{katalyzátor} = \frac{414}{187000} \cdot 6,7 = 0,0148 \text{ kg}$$

Množství hmoty na úpravu povrchu:

$$\text{hmota na úpravu povrchu} = \frac{1300}{187000} \cdot 6,7 = 0,0466 \text{ kg}$$

Množství rozpouštědla:

$$\text{rozpouštědlo} = \frac{1400}{187000} \cdot 6,7 = 0,0502 \text{ kg}$$

Emise VOC na jeden výrobek:

$$\text{VOC} = \frac{6,7}{187000} \cdot 205 = 0,0073 \text{ kg}$$

Emise TZL na jeden výrobek:

$$\text{TZL} = \frac{6,7}{187000} \cdot 9,7 = 0,000034 \text{ kg}$$

Čas potřebný pro výrobu jednoho pískového jádra na vstřelovacím stroji:

$$\text{čas} = \frac{880}{\frac{187000}{6,7}} \cdot 60 = 1,8918 \text{ min}$$

Spotřeba elektrické energie na jeden cyklus:

Výkon byl zvolen z katalogu výrobce vstřelovacích strojů (viz následující tabulka.): $P = 9 \text{ kWh}$

$$\text{energie na jeden výrobek} = P \cdot t = 0,223877 \text{ kWh}$$

Tab. 4 Stroje a.s. „BELNIIIT“ [19]

Charakteristika / model	4749B1K2	4751B1K2	4753B1K1
Maximální hmotnost jádra, kg	6	10	32
Produktivita, cyklů/hodinu	60–80	55–60	25–40
Typ umístění	Vertikální		
Rozměry formy pro jádro	400 × 320 × 200	540 × 300 × 320	900 × 450 × 320
Instalovaný výkon, kW	5	5–9	17
Celkové rozměry	1850 × 1590 × 2660	2260 × 2685 × 3045	4495 × 3520 × 3700
Hmotnost, kg	3200	5000	12000

Modelování vstupů a výstupů v Simapro:

- Písek

Pro křemičitý písek byl použit proces z databáze Ecoinvent: Silica sand at plant.

- Pryskyřice 1

Jedná se o fenolovou pryskyřici v organických rozpouštědlech (Signature 7902) je modelována na základě informací z bezpečnostního listu:

Tab. 5 Složení prvního druhu pryskyřice (Sigmacure 7902N P1) [20]

Informace o složkách pryskyřice 1		
CAS 6474242-95-6 (Číslo ES: 918-688-5) Reg.nr.: 01-2119455851-35-XXXX	Solventní nafta (ropná), lehká aromatická	30–40 %
CAS: 108-95-2 (EINECS:203-632-7) Reg.nr.:01-2119471329-32-XXXX	Fenol	≥ 3–5 %
CAS: 67-56-1 (EINECS: 200-659-6) Reg.nr.:01-2119433307-44-XXXX	Methanol	< 0,3 %

V Simapro byly využity látky uvedené v tabulce 4:

Tab. 6 Vstupy na 1 kg pryskyřice 1

Model pryskyřice 1 v SimaPro			
Latka	množství	jednotka	Model (SimaPro)
Phenolic resin	0,4	kg	Phenolic resin at plant
Methanol	0,03	kg	Methanol, production
Solventní nafta	0,4	kg	Petroleum, market for

- Pryskyřice 2

Pryskyřice druhého typu – Signature 7245 – je modelována na základě informací z bezpečnostního listu:

Tab. 7

Tab.7 Složení druhého druhu pryskyřice (Sigmacure 7245 P2) [21]

Informace o složkách pryskyřice 2		
CAS: 9016-87-9	Difenylmethandiisokynat (isomery a homology)	80–90 %
CAS: 67774-74-7 (EINECS:267-051-0) Reg.nr.:01-2119498372-31-XXXX	benzene	15–20 %
CAS: 10025-87-3 (EINECS: 233-046-7) Reg.nr.:01-2119433306-46-XXXX	Oxichlorid fosforečný	< 0,5 %

V Simapro byly použity látky:

Tab. 8 Vstupy na 1 kg pryskyřice 2

Model pryskyřice 2 v SimaPro			
Látka	množství	jednotka	Model (SimaPro)
Phenylisocyanate (difenylmethandisokyanát)	0,85	kg	Phenyl isocyanate, production
Benzen	0,15	kg	Benzen production
Oxichlorid fosforečný	0,05	kg	Phosphoryl chlorid, at plant

- Hmota na úpravu povrchu

V tabulce je uvedené složení hmoty na úpravu povrchu získané z bezpečnostního listu

Tab. 9 Složení druhého druhu pryskyřice (Sigmacure 7245 P2) [22]

Složení hmoty na úpravu povrchu		
CAS 64-17-5 10-40 (CE 200-578-6) INDEX 603-002-00-5 (Reg. č. 01-2119457610-43)	Ethanol	10–40 %
CAS 67-56-1 1 - 3 3 H301 (CE 200-659-6) INDEX 603-001-00-X Reg. č. 01-2119433307-44	Methanol	1–3 %
CAS 67-63-0 (CE 200-661-7) INDEX 603-117-00-0 (Reg. č. 01-2119457558-25)	2-Propanol	1–3 %
CAS 67-64-1 (CE 200-662-2) INDEX 606-001-00-8 (Reg. č. 01-2119471330-49)	Aceton	0,1–1 %
CAS 108-95-2 (CE 203-632-7) INDEX 604-001-00-2 (Reg. č. 01-2119471329-32)	Fenol	0,00–0,1 %

Model hmoty na úpravu povrchu vztažený na jeden kilogram této látky v SimaPro byl vytvořen následujícím způsobem:

Tab. 10 Vstupy na 1 kg hmoty pro úpravu povrchu

Model hmoty na úpravu povrchu v SimaPro			
látka	množství	jednotka	Model (SimaPro)
Ethanol	0,4	kg	Ethanol without water
Methanol	0,02	kg	Methanol, market for
2-Propanol	0,02	kg	Isopropanol
Aceton	0,055	kg	Acetone, liquide
Fenol	0,005	kg	Phenol, market for

- Katalyzátor GH 50/1

Podle bezpečnostního listu bylo modelováno složení katalyzátoru GH 50/1:

Tab. 11 Složení katalyzátoru GH 50/1 [23]

Informace o složkách katalyzátoru GH 50/1		
CAS 926-63-6 ES:213-139-9	N, N-Dimetyl (propyl)amin	50– <75 %
CAS: 996-35-0 ES 213-635-5	N, N-dimethylisopropylamin	40– <50 %

Model katalyzátoru GH 50/1 byl vytvořen pomocí následujících látek:

Tab. 12 Vstupy na 1 kg katalyzátoru GH 50/1

Model katalyzátoru GH 50/1			
látka	množství	jednotka	Model (SimaPro)
N, N-Dimetyl (propyl)amin	0,5	kg	Ethylamin {GLO} market
N, N-dimethylisopropylamin	0,5	kg	Propylamine {GLO}

- Rozpouštědlo

Složení rozpouštědla používaného na výrobu pískového jádra :

Tab. 13 Složení rozpouštědla GH 50/1 [24]

Informace o složkách rozpouštědla		
Index: 603-117-00-0 CAS: 67-63-0 (ES: 200-661-7)	Hlavní složka látky: isopropanol	>99 %

V Simapro použít Isopropanol.

3.2.2 Výroba formy

Jelikož se forma pro odlévání posuzované součásti vyrábí externí firmou, data o způsobu výroby formy, energetické náročnosti procesu výroby a používaném materiálu nejsou k dispozici.

Při navrhování modelu procesu výroby formy využijme informace obsažené v databázi: Ecoinvent 3. Pro materiál: Steel, low-alloyed. Jako technologii výroby formy předpokládáme soustružení a úběr 40 % (Milling, steel, average). Životnost formy je 20000 odliteků. V tabulce jsou uvedeny údaje na jeden odlitek.

Tab. 14 Model výroby ocelové formy

Výroba formy		
Vstupy	Množství	Jednotka
Nízkolegovaná ocel	13/20000	kg/koule
Frézování (úběr 40 %)	0,00026	kg/koule
Výstupy		
Pískové jádro	6,7	kg/ks

3.2.3 Proces tavení a lití

Tavení

Hlavní technologické metody používané při tavení většiny hliníkových slitin jsou přibližně stejné a nezávisí na typu tavicí jednotky. Výjimkou jsou žáruvzdorné a korozivzdorné slitiny [25, 26].

Proces přípravy tekutého kovu lze rozdělit do několika fází: spuštění pece, příprava a plnění vsázky, tavení. Jelikož při tavení se hliníkové slitiny snadno oxidují a nasycují vodíkem a dalšími nekovovými vměstkami. Poněvadž je škodlivý vliv rozpuštěných plynů na kvalitu odlitků patrný již při malém množství nežádoucích prvků v tavenině, musí se provést rafinace [25, 26].

Čistota taveniny je také ovlivněna maximální rychlostí tavení a minimální dobou zdržení taveniny v peci před litím [25, 26].

V závislosti na teplotě, parciálním tlaku kyslíku a vodní páry a také na kinetických podmínkách interakce vzniká při oxidaci oxid hlinitý (Al_2O_3) a suboxid (Al_2O a AlO) [25, 26].

Za normálních podmínek tání je termodynamicky stabilní fází oxid hlinitý $\gamma = \text{Al}_2\text{O}_3$, který se v hliníku nerozpouští a netvoří sloučeniny s nízkou teplotou tání [25, 26].

Kromě oxidů hliníku mohou taveniny obsahovat: oxid hořečnatý (MgO), magnesiový spinel MgAl_2O_4 , hliník, hořčík, nitridy titanu (AlN , TiN), karbidy hliníku (Al_4C), boridy hliníku a titanu (AlB_2 , TiB_2) atd. [25, 26].

Lití

Odlévání kovů je dnes jedním z nejvýznamnějších technologických postupů, který umožňuje vyrábět kovové díly téměř jakéhokoli tvaru, struktury, geometrie povrchu, mající jak malou hmotnost od několika gramů, tak velkou do desítek tun. Odlévání kovů je technologický proces získávání různých polotovarů ze slitin kovů. Během tohoto procesu se speciálně připravená forma naplní horkým tekutým kovem nebo plastem. Po ochlazení kovu se obrobek vyjme z formy. Tímto způsobem je možné získat nejen kovové polotovary pro jejich následné zpracování, ale také různé díly [26].

V současné době je většina dílů používaných ve výrobě, strojírenství, stavebnictví, přístrojové technice a dalších průmyslových odvětvích vyráběna technologií odlévání. Například konstrukce osobního auta má více než sto dílů vyráběných pomocí technologie slévání [26].

Existují následující typy odlévání kovů:

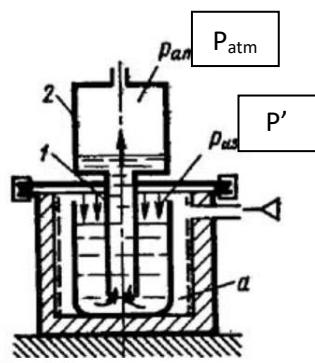
- plynulé lití,
- lití ve vakuu,
- kokilové lití,
- odstředivé lití,
- nízkotlaké lití,
- tlakové lití.

Výrobek, jehož dopad na okolní prostředí vyhodnocujeme, se vyrábí pomocí technologie odlévání metodou lití pod nízkým tlakem.

Nízkotlaké lití

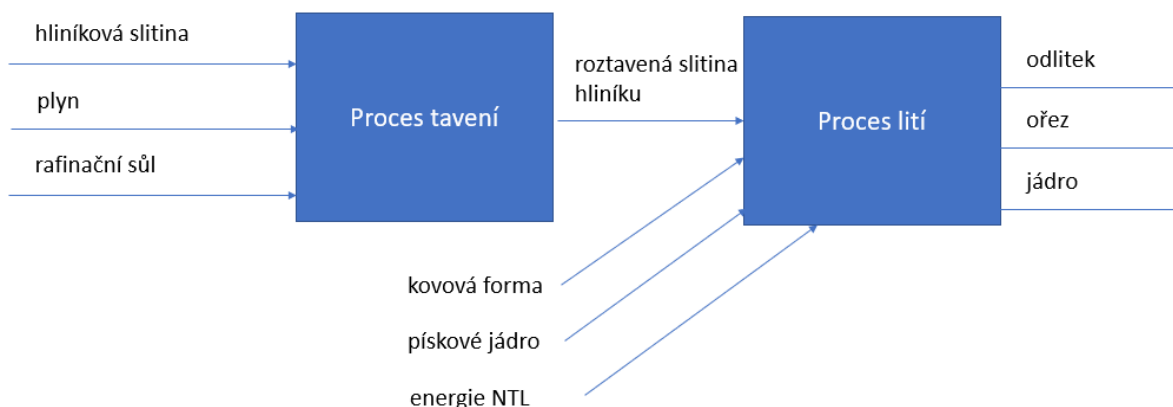
Nízkotlaké lití je jednou z možností optimalizace tradičních technologií tlakového a kokilového lití. I když tuto metodu nelze použít při výrobě tak složitých a tenkostěnných odlitků jako u technologie tlakového lití, má však řadu výhod. Mezi hlavní výhody patří: menší nároky na formu, snížená vstřikovací síla a mnohem jednodušší zařízení [26, 27].

Technologické schéma odlévání pod nízkým tlakem je na následujícím obrázku, z něhož je patrné, že pokud je do utěsněné komory **a** přiváděn stlačený vzduch nebo plyn pod tlakem $P' > P_{atm}$, pak v důsledku rozdílu tlaků bude tekutý kov stoupat podél kovového drátu **1** a vyplní formu **2** na úroveň odpovídající. Termín „nízký tlak“ se používá proto, že ke zvednutí taveniny a naplnění formy je zapotřebí přetlak menší než 0,1 MPa [26, 27].



Obr. 11 Zařízení pro nízkotlaké lití [27]

Schéma procesu:



Obr. 12 Vstupy a výstupy procesu lití

Vstupní a výstupní data k procesu tavení hliníkové slitiny jsou uvedena v následující tabulce:

Tab. 15 Vstupy a výstupy procesu tavení slitiny hliníku

Tavení a lití		
	Množství	Jednotka
Materiál – hliníková slitina (AlSi ₇ Mg0 ₆)	6,9 kg	kg/odlitek
Zpracovaný hliník v podniku	973,417	tun/rok
Rafinační sůl	0,005	kg/1 kg slitiny
Spotřeba plynu	3254552	m ³ /rok
Spotřeba elektrické energie na hlavní technologické procesy	352458	kWh
Odlitek koule		
Surový odlitek (při odlití)	6,9	kg/odlitek
Hrubý odlitek (po ořezu vtoků)	5,057	kg/odlitek
Ořez		vrací se do výroby
Odpad pískové jádro	6,7	kg/odlitek, odpad kat. č. 10 10 08

Emise jsou nízké a nesledují se.

Spotřeba plynu na tavení 1 kg slitiny (plynová kelímková pec):

$$\text{plyn na jeden kilogram slitiny} = \frac{\text{roční spotřeba plynu}}{\text{množství zpracovaného hliníku}} = \frac{3254552}{973417} = 0,334 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

Spotřeba elektřiny na lití 1 kg slitiny (kelímková pec, teplota udržovaná el. energií):

$$\text{plyn na jeden kilogram slitiny} = \frac{\text{roční spotřeba plynu}}{\text{množství zpracovaného hliníku}} = \frac{352458}{973417} = 0,362 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}$$

V následující tabulce jsou vstupy a výstupy vztaženy na jeden výrobek:

Tab. 16 Vstupy a výstupy na jeden výrobek

Tavení		
Vstupy	Množství	Jednotka
Hliníková slitina (AlSi7Mg06)	5,057 kg	kg/ ks
Rafinační sůl	0,0345	kg/ks
Spotřeba plynu	2,3046	m ³ /ks
Spotřeba el. energie	2,461	kWh/ks
Kovová forma	1/20000	ks/ks
Pískové jádro	1	ks/ks
Výstupy		
Odlitek koule bez ořezů	5,057	kg/jeden kus
Odpad pískové jádro	6,7	kg/na odlitek
Emise		

Modelování vstupu a výstupu v SimaPro:

- Hliníková slitina

Hliníková slitina **AlSi7Mg06** se modeluje na základě slitiny AlMg6 z databázi Ecoinvent, v níž se musí nejdříve pro další zpracování upravit obsah legujících prvků podle následující tabulky:

Tab. 17 Složení slitiny hliníku (obsah je uveden v procentech) [28]

Al	Cu	Fe	Mg	Nb+Ta	Mn	Si	Ti	N	Zn	Other each	Other total
Balance	0,05	0,19	0,45–0,70	/	0,10	6,50–7,50	/	0	0,07	0,03	0,10

Model slitiny hliníku v programu SimaPro:

Tab. 18 Model slitiny Al7SiMg06

Model slitiny hliníku			
Látka	množství	jednotka	Model (SimaPro)
Al	0,9199	kg	Aluminum, production mix, cast alloy
Fe	0,0019	kg	Cast iron,
Cu	0,0005	kg	Copper,
Mn	0,001	kg	Manganese
Mg	0,006	kg	Magnesium
Si	0,07	kg	MG-silicon
Zn	0,0007	kg	Zinc, primary
Energie na výrobu	1,59	kWh	Electricity mix

Předpokládá se, že v Aluminum, production mix, cast alloy je pouze 20 % hliníku z primárních zdrojů. Jinak by samozřejmě dopady s uvažováním jen primárních zdrojů byly velké.

- Rafinační sůl

Jelikož v databázi rafinační sůl není k dispozici, byl udělán model podle katalogu výrobce:

Tab. 19 Složení rafinační soli (obsah je uveden v procentech) [29]

Na	Cl	Al	F	O ₂	C	Mg	Ca	K	Si
22	44	1,5	7,8	3,5	1	0,7	1	18,5	2,6

V Simapro bude složení rafinační soli:

Tab. 20 Model rafinační soli v SimaPro

Model slitiny hliníku			
Látka	množství	jednotka	Model (SimaPro)
Al	0,015	kg	Aluminum, production mix
Na	0,22	kg	Sodium {GLO} market for
Cl	0,44	kg	Chlorine, production mix
F	0,078	kg	Fluorine, liquid
O ₂	0,035	kg	Oxygen, liquid
C	0,01	kg	Carbon black
Mg	0,007	kg	Magnesium {GLO} market for
Ca	0,01	kg	Calcium carbide, technical grade
K	0,185	kg	Potassium carbonate
Si	0,02	kg	Silicone product {RER} production

Po procesu odlévání následuje tepelné zpracování součástí na lince v režimu T6. Bližší informace jsou uvedeny v následujícím textu.

3.2.4 Tepelné zpracování

Tepelné zpracování materiálu je technologický postup, který umožňuje upravovat krystalovou mřížku a vnitřní strukturu hliníku a jeho slitin. Vliv různých teplotních režimů má významný vliv na fyzikální a chemické vlastnosti materiálů a umožňuje získat výrobky nebo polotovary s požadovanými charakteristikami. Typ použitého tepelného zpracování v tomto případě závisí na složení slitiny, účelu výrobku nebo jeho dalším zpracování a také na způsobu výroby samotného obrobku.

Tepelné zpracování hliníkových slitin je určeno k úpravě jejich pevnosti a tvrdosti. Typickými typy tepelného zpracování jsou žhání, homogenizace, rozpouštěcí tepelné zpracování, přirozené a umělé stárnutí. V závislosti na konkrétních požadavcích se teplota pece může pohybovat od 115 do 600 °C [30].

Homogenizace

Homogenizace je proces zahřívání kovu na teplotu velmi blízkou jeho bodu tání a následného pomalého ochlazování. Homogenizace se používá k zajištění rovnoměrnějšího přerozdělení legujících prvků v celém hliníkovém dílu. Když se díl ochladí, nejprve se ochladí vnější okraj, který je v přímém kontaktu s formou. V důsledku toho se vytvoří oblast s nerovnoměrným rozložením hliníkových zrn nebo krystalů. Část odlitku končí tak, že některé oblasti jsou měkké, zatímco jiné jsou tvrdé. Toto oddělení mezi částmi může být redukováno pomocí homogenizace [30].

Součást se homogenizuje zahřátím na teplotu o něco nižší, než je teplota tání, která se typicky pohybuje od 480 °C do 537 °C. Jakmile celý díl dosáhne této homogenizační teploty, musí pomalu chladnout. Ve výsledku získáme odlitek, který bude mít jednotnou vnitřní strukturu [30].

Umělé stárnutí

Aby některé slitiny hliníku dosáhly maximální tvrdosti, musí se různé rozpuštěné prvky zcela vysrážet. Ne všechny hliníkové slitiny však mohou dosáhnout dostatečné tvrdosti v důsledku přirozeného stárnutí při pokojových teplotách. Problém se řeší pomocí precipitačního vytvrzování, což je umělé stárnutí [30, 31].

Pro získání vytvrzeného polotovaru se zahřeje na určitou teplotu (obvykle 115–240 ± 5 °C). Při této teplotě se slitina udržuje 6–24 hodin a poté se ochladí na teplotu místnosti. V důsledku kalení a stárnutí je dosaženo výrazného zvýšení meze kluzu a o něco menšího zvýšení pevnosti v tahu doprovázené poklesem tažnosti [30, 31].



Obr. 13 Linka tepelného zpracování [17]

Tab. 21 Informace o tepelném zpracování

Tepelné zpracování: homogenizace plus umělé stárnutí		
Vstupy	Množství	Jednotka
Koule (5,057 kg)	1	ks
homogenizace: 525 ± 5°C	300	min
umělé stárnutí: 175 ± 5°C	400	min
El. energie homogenizace: 525 ± 5°C	215	kW
El. energie umělé stárnutí: 175 ± 5°C	155	kW
Výstupy		
Koule tepel. upravená	1	ks

Jelikož je na lince zpracováváno několik dílů najednou, je nutné vypočítat elektrickou energii potřebnou na jeden výrobek následujícím způsobem.

V lince tepelného zpracování může být současně umístěno 28 košů (12 kusů v prvním stupni TZP, 16 kusů v druhém). Hmotnost odlitků se pohybuje v rozmezí od 75 kg do 180 kg.

Nadále budeme počítat s průměrnou hmotností odlitku:

$$\text{průměrná hmotnost odlitku} = \frac{75 + 180}{2} = 127,5 \text{ kg}$$

Celková hmotnost všech odlitků nacházející se v lince vychází:

$$mc = 127,5 \cdot 28 = 3570 \text{ kg}$$

Výpočet elektrické energie pro tepelné zpracování:

$$\text{el. energie na homogenizaci} = \frac{300}{60} \cdot 215 = 1075 \text{ kWh}$$

$$\text{el. energie na umělé stárnutí} = \frac{400}{60} \cdot 155 = 1033,333 \text{ kWh}$$

$$\text{celková spotřeba} = 1075 \text{ kWh} + 1033,333 \text{ kWh} = 2108,333 \text{ kWh}$$

Vztáhneme elektrickou energii na jeden kilogram:

$$\text{el. energie na kilogram} = \frac{2108,333}{3570} = 0,5905 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}$$

Odlitek, jehož vyhodnocení provádíme, váží po ořezu vtokové soustavy 5,057 kg:

$$\text{energie na jeden odlitek} = 0,5905 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} \cdot 5,057 \text{ kg} = 2,9862 \text{ kWh}$$

3.2.5 Soustružení

Mezi nejběžnější způsoby výroby dílů se stanovenými geometrickými parametry patří soustružení kovů. Podstatou této techniky, která také umožňuje získat povrch s požadovanou drsností, je odstranění přebytečné vrstvy kovu z obrobku [32].

Principy soustružení

Technologie soustružení kovů se provádí na speciálních strojích (CNC stoje, soustruh) pomocí řezných nástrojů, které ze součásti odebírají vrstvu materiálu požadované velikosti. Soustružení se realizuje kombinací dvou pohybů: hlavního (rotace obrobku upevněného ve sklíčidle, nebo čelní desce) a posuvového pohybu vykonávaného nástrojem při opracování dílů na zadané parametry jejich velikosti, tvaru a kvality povrchu [32].

Vzhledem k tomu, že existuje mnoho způsobů kombinace těchto pohybů, operace soustružení umožňuje pracovat s díly různých konfigurací [32].

CNC soustružení

CNC soustružení je proces, při němž řezný nástroj, obvykle nerotující součást soustruhu nebo soustružnického centra, odebírá materiál z rotující součásti. Výsledkem tohoto procesu jsou díly různých tvarů a velikostí v závislosti na použitých soustružnických operacích [32].

Řízení CNC strojů provádí operátor, který na elektronickém řídicím systému nastavuje algoritmus práce ručně, nebo programováním, a ten zase prostřednictvím výkonných mechanických jednotek a sestav realizuje příkazy pro zpracování obrobku [32].

Práce na CNC strojích umožňuje zpracovávat materiály ve 3, 4 a dokonce 5 rovinách, které ztělesňují i ty nejsložitější konstrukční prvky výkresů. Díly se složitou geometrií vyžadují výkonný stroj s chladicím systémem a odvodem odpadu ve formě třísek [32].

Vlastnosti soustružení hliníku a jeho slitin

Relativně nízká měrná hmotnost a zvýšená tažnost jsou dvě důležité vlastnosti hliníku a hliníkových slitin, které je třeba vzít v úvahu při zpracování. Zpracování hliníku pomocí soudružení zpravidla nezpůsobuje významné potíže, ale stále má svá specifika. Někdy má tento proces negativní vedlejší účinky [33].

Hlavním problémem hliníku a jeho slitin jako tažného měkkého kovu je tendence přilnout k ostří rezného nástroje. Kov se může roztavit a přilnout k nástroji kvůli ohřevu materiálu během zpracování, čímž se dostatečně komplikuje celý proces výroby [33].

Druhým negativním faktorem je vysoká tažnost některých hliníkových slitin. Tato vlastnost vede k sestupu dlouhých kovových třísek, které se namotávají kolem nástroje a ucpávají drážky, což může vést k poškození nástroje [33].

Dalším nepříjemným momentem je tvorba nárůstků při řezání kovu. Zdeformované částice obráběného materiálu tvoří nárůstky. Následky tvorby nárustků jsou následující: mění se rozměry obrobku od požadovaných, zhoršení jakosti obrobené plochy [33].

Hodnoty, tykající se procesu soustružení:

Tab. 22 Vstupní a výstupní hodnoty procesu soustružení

Soustružení		
Vstupy	Množství	Jednotka
Odlitek	5,057	kg/ ks
Doba soustružení	7	min/odlitek
Množství ubíraného materiálu	0,107	kg/odlitek
Spotřeba stroje	4,95	kWh/hodinu
Chladicí kapalina	0,1	l/hodinu
Výstupy		
Obrobek	4,95	kg/ ks
Odebíraný materiál	0,107	kg/ks

Množství chladicí kapaliny:

$$\text{chladicí kapalina} = \frac{0,1 \cdot 7 \text{ min}}{60 \text{ min}} = 0,011667 \text{ l/odlitek}$$

Elektrická energie:

$$\text{el. energie} = \frac{4,9 \text{ kWh} \cdot 7 \text{ min}}{60 \text{ min}} = 0,5716 \text{ kWh/odlitek}$$

Model procesu soustružení pro úběr jednoho kg materiálu byl vytvořen pomocí procesu Tournig aluminium, CNC average z databáze Simapro, byla změna výše elektrické energie potřebná pro úběr 1 kg materiálu v podniku, ostatní bylo ponecháno.

Tab. 23 Model procesu obrábění (vstupy na 1 kg odebíraného materiálu)

Látka	Množství	Proces v SimaPro
Lubrikační olej	0,00382 kg	Lubricating oil, at plant/RER U
Elektrická energie	5,33 kWh/ na kg odebíraného materiálu	Electricity, low voltage, production UCTE, at grid
Metal working machine	0,000174	
Metal working factory	0,00000000202	
Metal working factory operation, average heat energy	4,41 kg	

Odebíraný materiál je odpadem, který se dále recykluje.

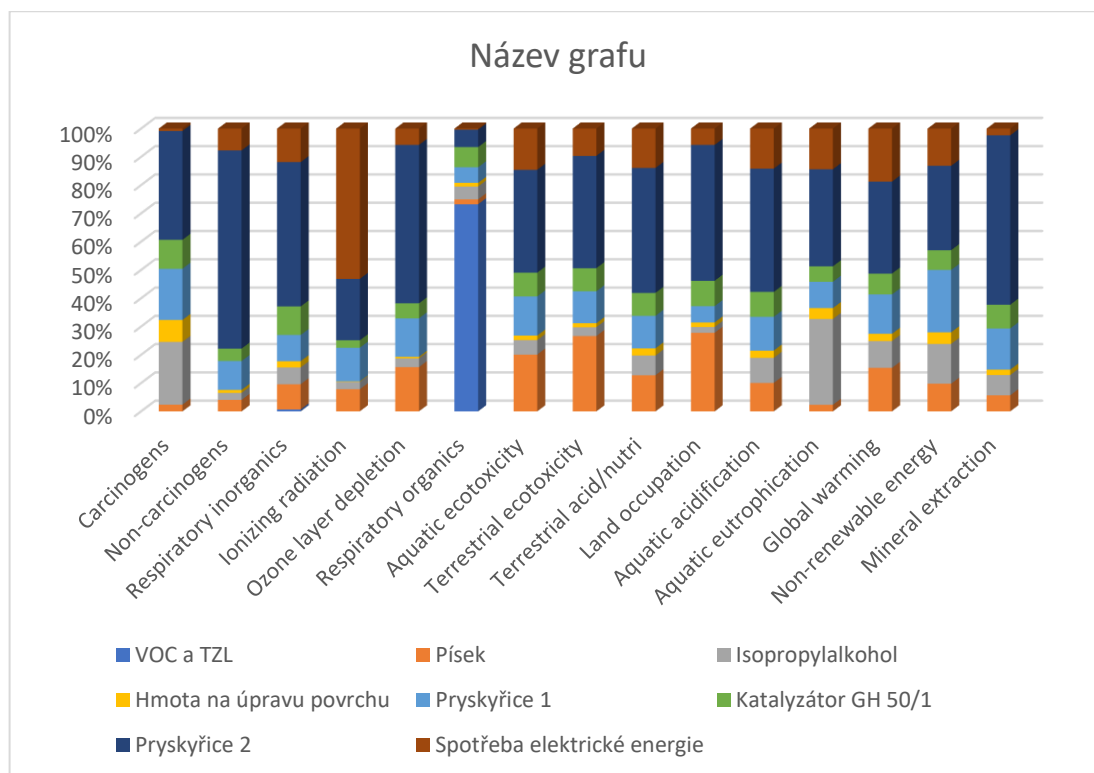
3.2.6 Povrchová úprava

Neprovádí se v podniku. Pro modelování povrchové úpravy byl použit proces z databáze Ecoinvent: Powder coating on aluminium panel pro povrch koule ve výši 0,077 m².

4 Výsledky

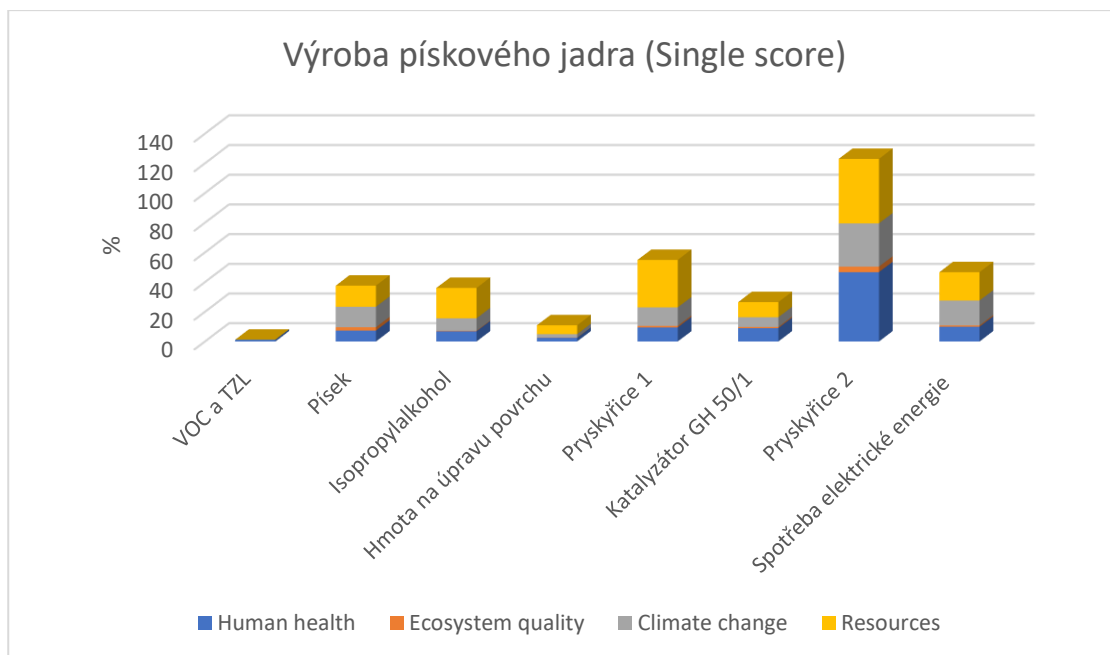
V této části jsou uvedeny grafy s dopady na úrovni midpoint a endpoint indikátorů metody Impact 2002 plus pro jednotlivé výrobní procesy zvlášť i souhrnně.

4.1 Výsledky – výroba pískového jádra



Graf 1 – Midpoint indikátory výroby pískového jádra

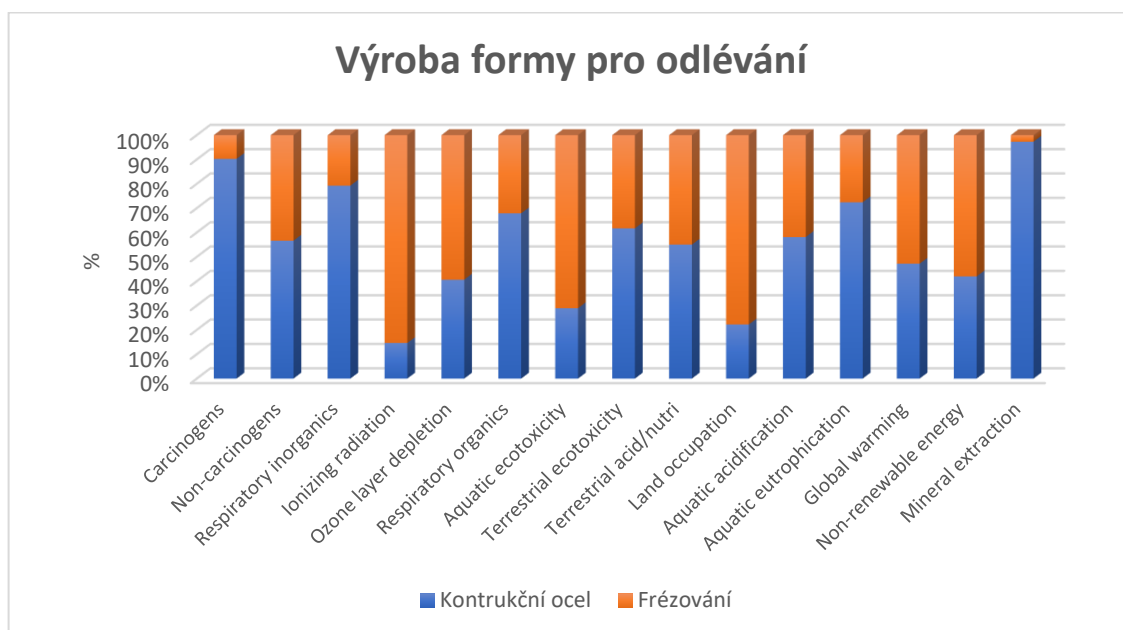
Na grafu je znázorněn enviromentální dopad procesu výroby pískového jádra podle 14 midpointových indikátorů, které zobrazují zátěž používaných procesů v příslušné oblasti. Na základě získaných výsledků si lze všimnout, že největší vliv skoro ve všech indikátorech má Pryskyřice 2 (Sigmacure 7245). Je to především kvůli látce Phenyl isocyanate. Kromě pryskyřice má velký vliv v jednotlivých midpointových indikátorech také použití isopropanolu. Pryskyřice prvního druhu a katalyzátor skoro v stejném poměru působí na každý indikátor. V porovnání s ostatními látkami používanými v procesu výroby jádra má nejmenší vliv hmota na úpravu povrchu (Casting cover).



Graf 2 - Single score – výroba pískového jádra

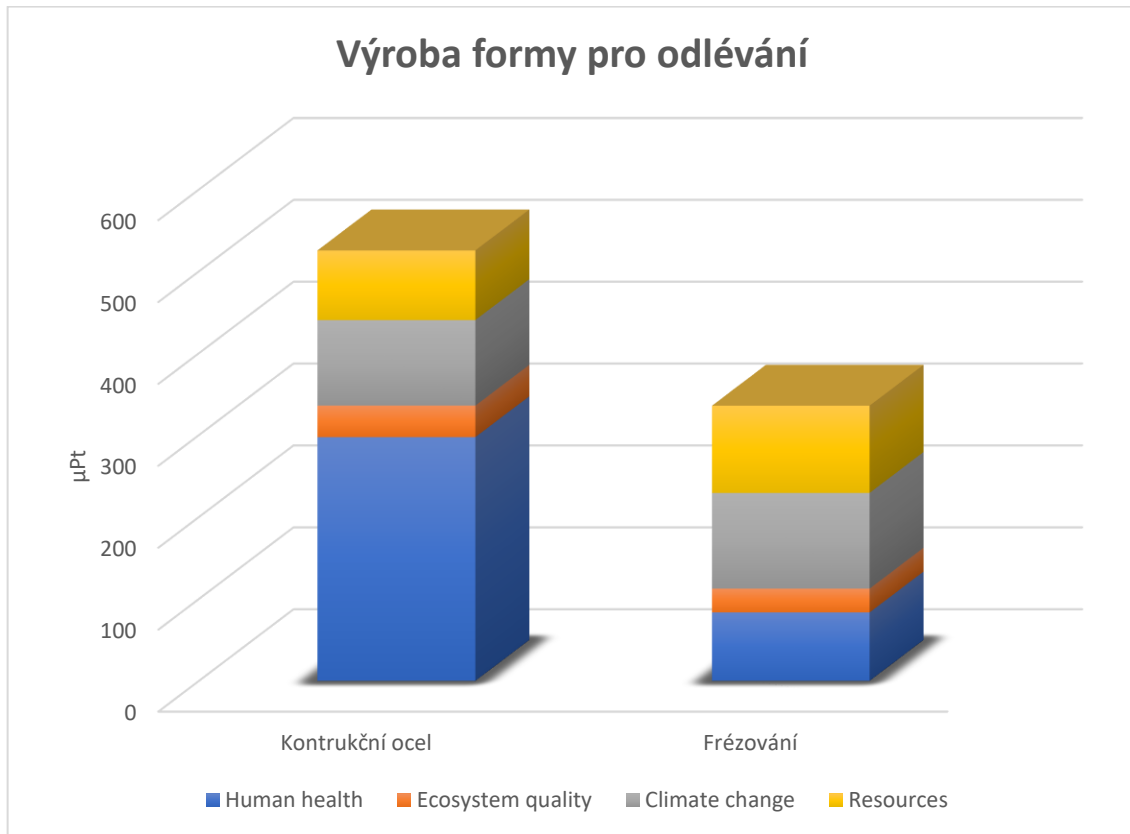
Na následujícím grafu jsou zobrazeny grafy s endpointovými indikátory, které jsou založeny na vážení příslušných midpointových indikátorů. Podle těchto výsledků je vidět, která látka má největší vliv na životní prostředí v rámci čtyřech endpointových kategorií. Je zřejmé, že nejvyšší environmentální dopad mají pryskyřice. Velký vliv má rovněž elektrická energie.

4.2 Výroba formy



Graf 3 – Midpoint indikátory výroby formy

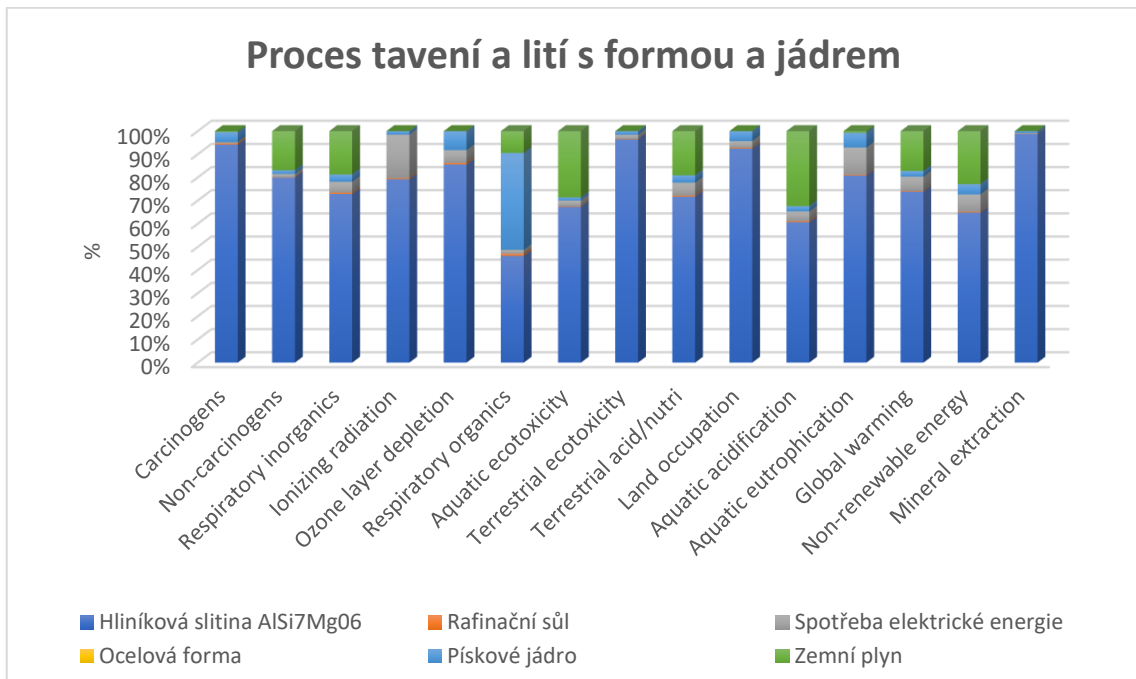
Z grafu je vidět, že na environmetálním dopadu etapu výroby formy se nejvíce podílí výroba samotného materiálu, což lze předpokládat, protože dochází k větší spotřebě energie a produkuje se více škodlivých látek. Samotný proces frézování ovlivňuje více pouze 4 indikátory: exotoxicitu vod, využívání půdy, ionizační záření a spotřebu energie neobnovitelných zdrojů.



Graf 4 - Single score – Charakteristika výroby formy

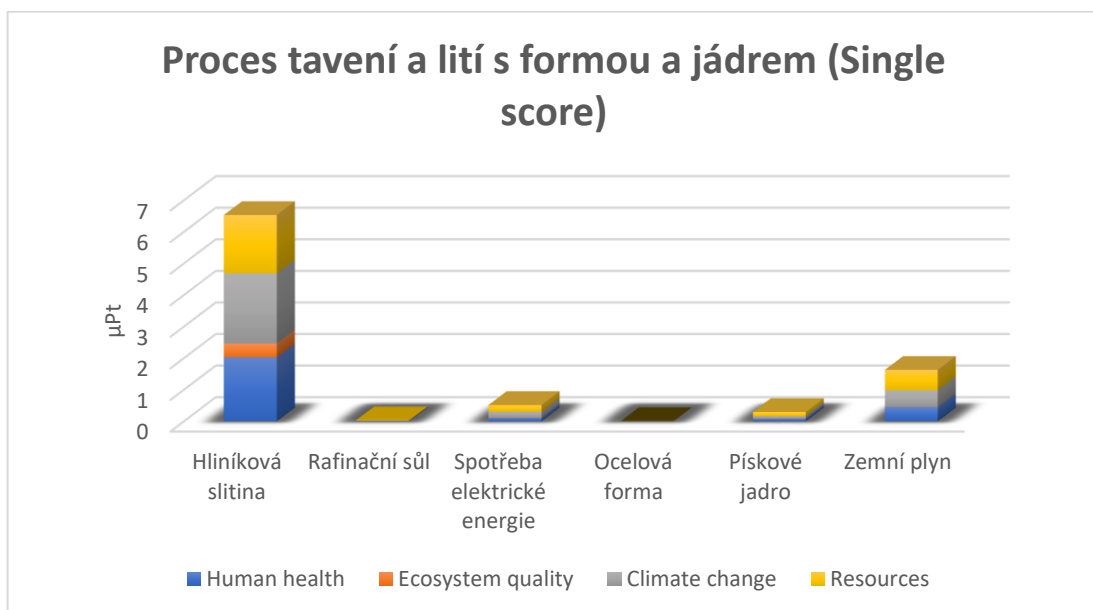
Z grafu, obsahujícího endpointové indikátory je patrný souhrnný vážený vliv ve čtyřech endpointových indikátorech. Největší dopad výroby formy má nízkolegovaná ocel a to v oblasti lidského zdraví. Dopady vlivu materiálu by se uvažováním recyklace formy snížily.

4.3 Tavení a lití včetně jádra a formy



Graf 5 – Midpoint indikátory procesu tavení a lití

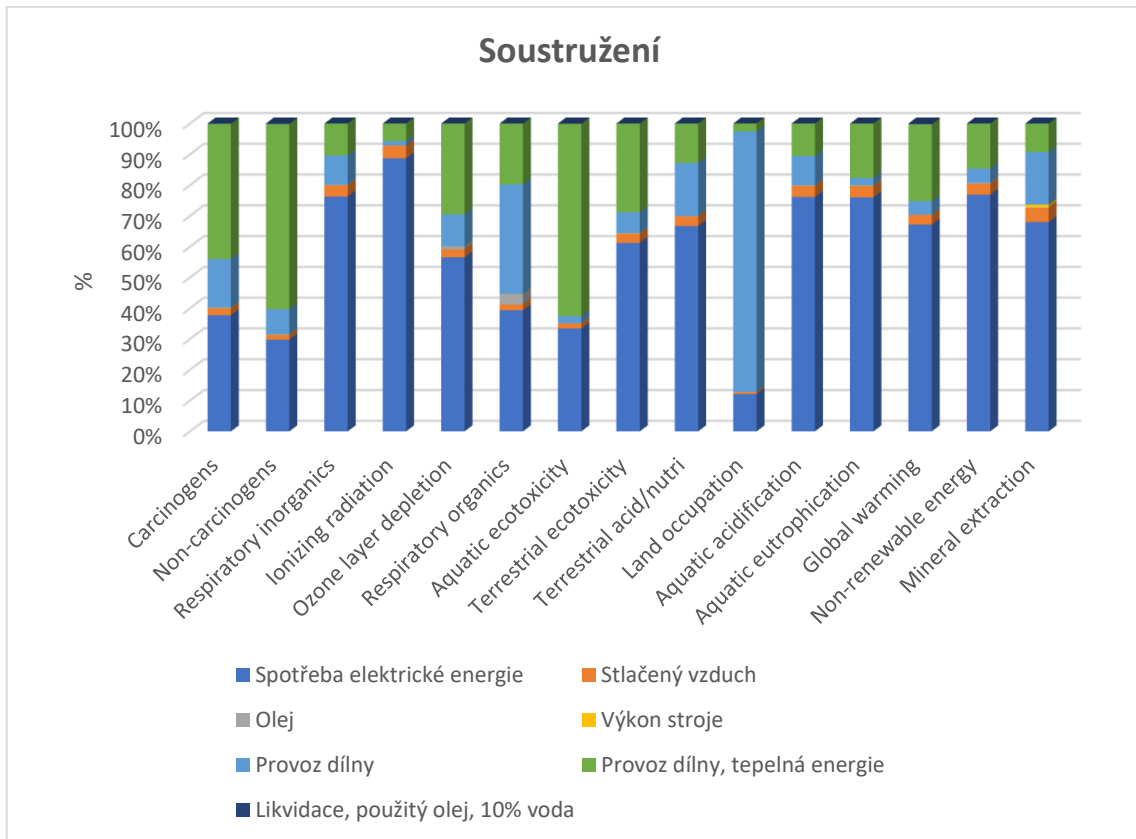
U procesu tavení je zřejmé, že největší dopad v rámci jednotlivých indikátorů má proces těžby a výroby samotného materiálu součásti. Jedinou oblastí, jejíž dopad je méně ovlivněn etapou výroby hliníkové slitiny je indikátor respiračních onemocnění. Jelikož pískové jádro obsahuje organické látky, které mohou být velice toxické pro lidský organismus, největší vliv na indikátor respiračních onemocnění bude mít právě pískové jádro.



Graf 6 – Single score – Charakteristika procesu tavení a lití

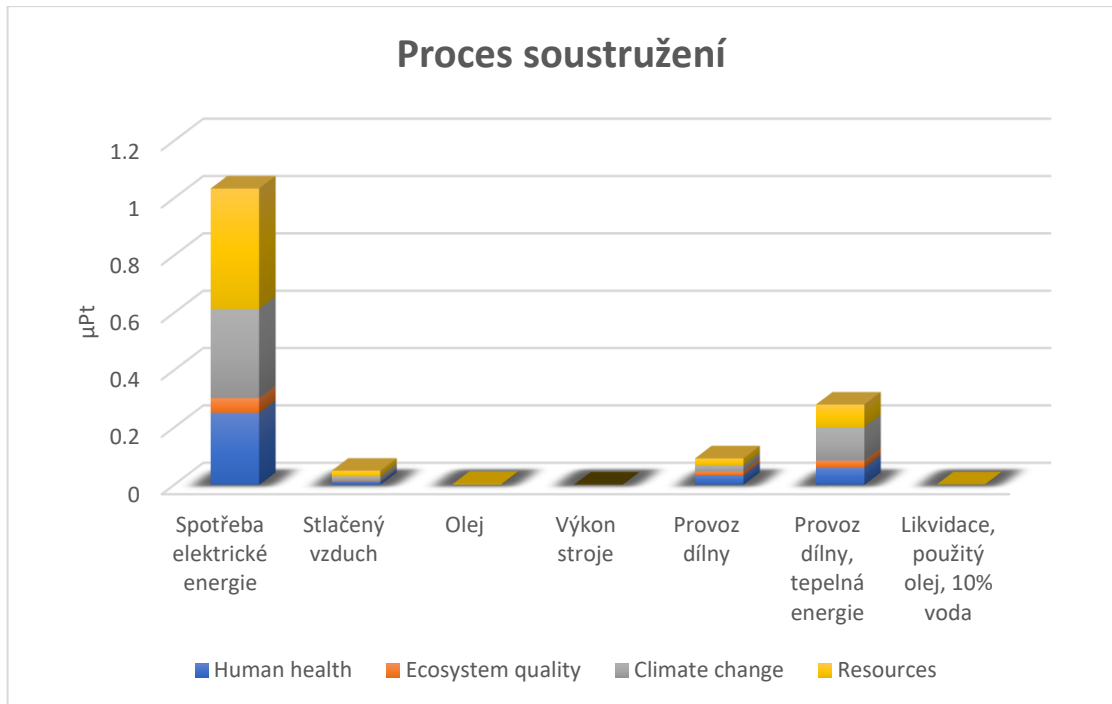
Jednotlivé endpointové indikátory potvrzují významný vliv použitého materiálu. Jeho vliv lze v celém životním cyklu recyklací snížit, jak bude ukázáno později.

4.4 Soustružení



Graf 7 – Midpoint indikátory procesu soustružení

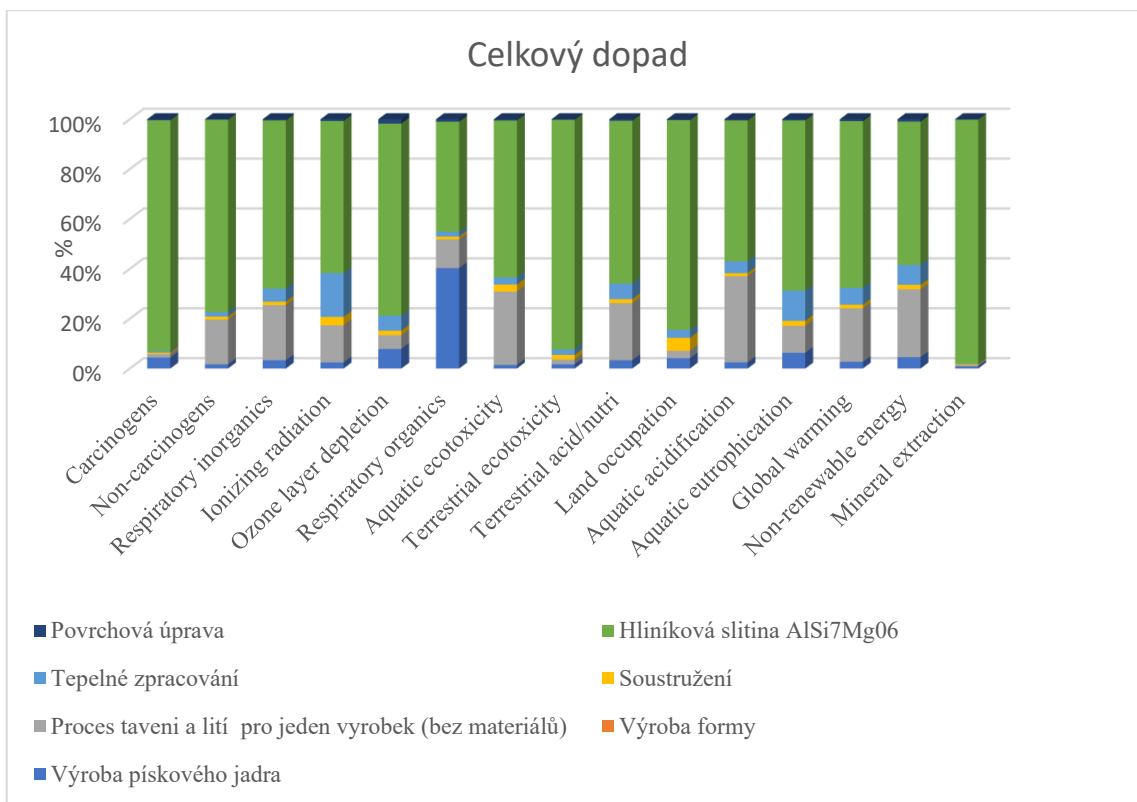
V procesu obrábění je skoro ve všech indikátorech patrný významný dopad elektrické energie. V Midpointu zaměřeném na zábor půdy je největší dopad samotné obrobny. Endpoint indikátory pro proces obrábění jsou na následujícím obrázku.



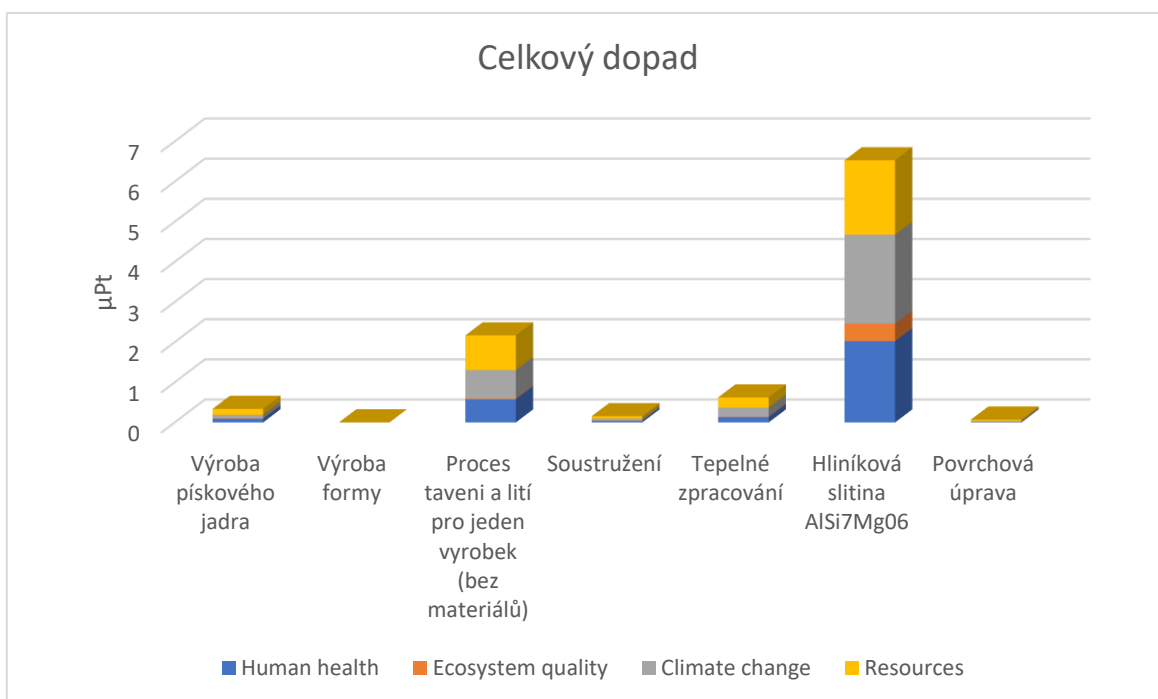
Graf 8 – Single score – Charakteristika procesu soustružení

4.5 Dopad všech procesů bez recyklace

Jak je již zřejmé z předchozích grafů, tak největší environmentální vliv ve všech kategoriích dopadu má použitý materiál. V kategorii dopady Respiratory organics má ještě podstatný vliv výroba pískového jádra. Dalším procesem, který má významnější dopad v jednotlivých kategoriích je samotný proces tavení a lití a rovněž tepelné zpracování.



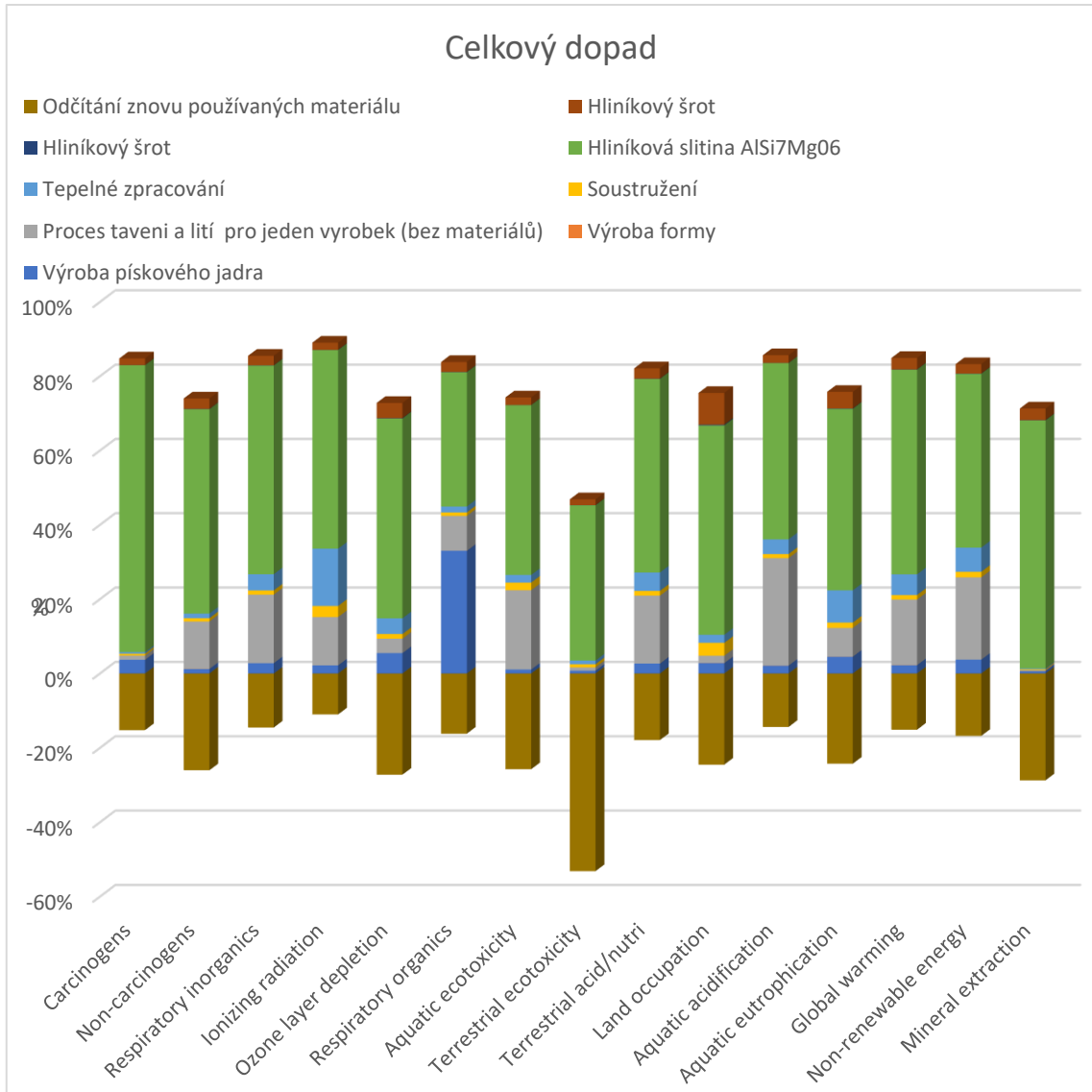
Graf 9 – Midpoint indikátory všech procesů bez recyklace



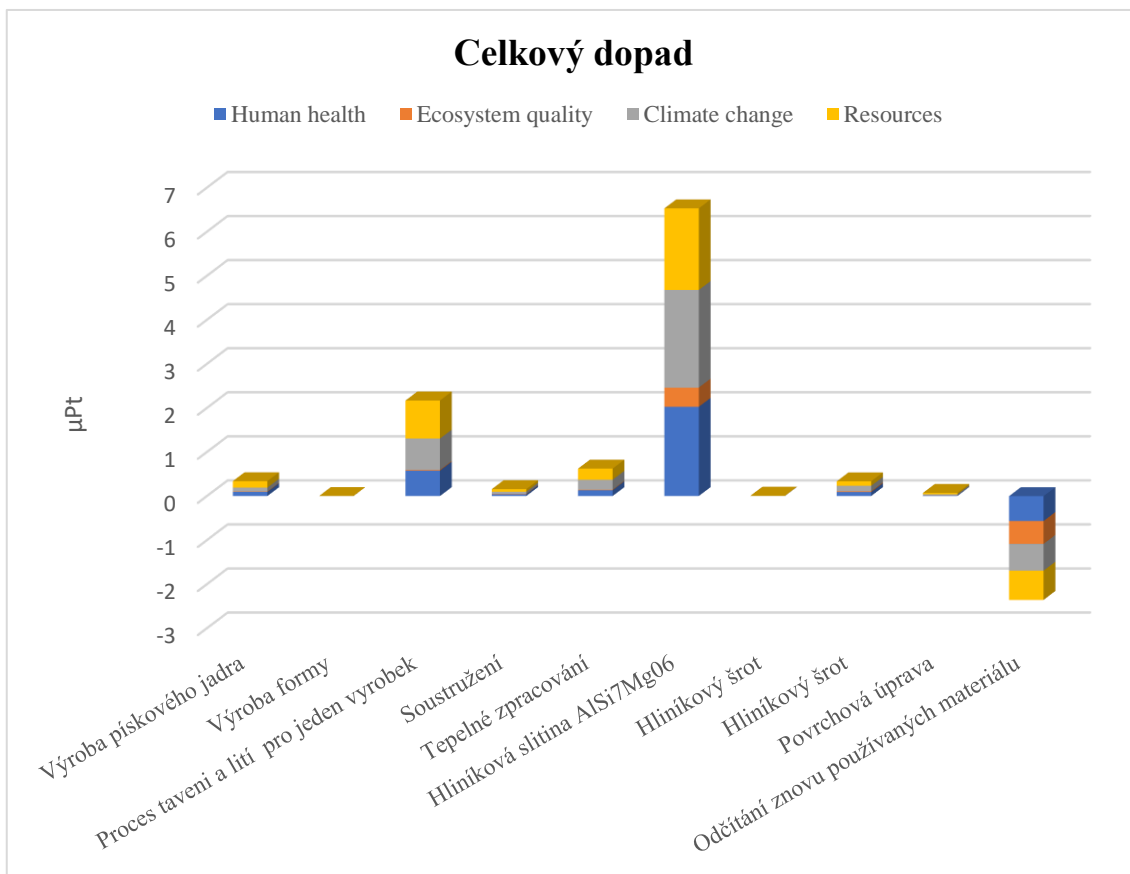
Graf 10 – Single score –Dopad všech procesů bez recyklace

4.6 Dopad všech procesů s recyklací

Na následujícím obrázku je situace po zahrnutí recyklace odpadu z obrábění a také recyklace celého výrobku po skončení životnosti.



Graf 11 – Midpoint indikátory - celkový dopad s recyklací



Graf 12 – Single score – celkový dopad s recyklací

Po zahrnutí recyklace na konci životnosti konstrukčního prvku je vidět významný pokles ve všech kategoriích dopadu a rovněž graf 12 tento pokles ukazuje v rámci endpointových kategorií.

5 Závěr

V své bakalářské jsem se zabývala analýzou dopadu životního cyklu hliníkového výrobku (konstrukce pro dětská hřiště) odlévanou pomocí metody nízkotlakového lití. Byla zkoumána míra dopadu na životního prostředí každého jednotlivého procesu, kterým výrobek prochází. Cílem práce tedy bylo vyhodnotit enviromentální zátěž jednotlivých výrobních procesů.

Ve fázi výroby pískového jádra byly nejvíce škodlivými látkami použité pryskyřice, které mají velký dopad na skoro každý indikátor dopadu. Nevětší zásah mají do lidského zdraví a do těžby surovin.

Druhým poznatkem je, že nejvíce bude zatěžovat životní prostředí výroba použitého materiálu tedy slitiny hliníku. V celém životním cyklu by se dopad díky recyklaci materiálu snížil.

Třetím neočekávaným výsledkem byla velice nízká úroveň spotřeby elektrické energie a plynu na procesy tavení a lití připadající na jeden výrobek, což lze považovat za důkaz o nízkém dopadu procesů společnosti na životní prostředí a plnění emisních norem.

I když proces výroby má nízké emise, existují možnosti zlepšení, a to snížení produkovaní emisí VOC. Základním principem je vytvořit pojivový systém na bázi vody jako jediného rozpouštědla a zcela anorganické pojivové matrice. V závislosti na typu pojiva by se matrice skládala z kombinace fosfátových, silikátových a boritanových skupin. Vlastnosti jednotlivých typů slévárenských pojiv lze cíleně nastavit kombinací a změnou struktury matrice pojiva.

Zavedení této technologie ve slévárnách zlepší prostředí na pracovišti, umožní snížit množství používání organických pojiv, čímž se výrazně sníží množství škodlivých emisí. Takto vyrobené směsi jsou také regenerovatelné, což znamená možnost opětovného použití směsí.

Snížení dopadu v oblasti emisí CO₂ lze využitím příznivějšího energetického mixu založeném více na obnovitelných zdrojích.

6.Literatura

- [1] OTEVŘENÁ DATA O KLIMATU. Energetika. *Faktaoklimatu.cz* [online]. © 2023 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/temata/energetika>
- [2] KLIMOV, Andrey. *Fosilní zdroje energie: Výhledy a vliv na životní prostředí*. Praha, 2014. Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze. Vedoucí práce Luboš Matějček.
- [3] KOČÍ, Vladimír. *Environmentální dopady: posuzování životního cyklu*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2013. ISBN 978-80-7080-858-0.
- [4] STIEBEROVÁ, Barbora. *Environmentální modelování: Analýza životního cyklu výroby*. Praha, 2018. Prezentace na přednášku. Fakulta strojní ČVUT v Praze.
- [5] ČSN EN ISO 14040. *Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Zásady a osnova*. Praha: Český normalizační institut, 2006. Třídící znak 010940.
- [6] KOČÍ, Vladimír. *LCA a EPD stavebních výrobků: posuzování životního cyklu a environmentální prohlášení o produktu jako cesta k udržitelnému stavebnictví*. Praha: Česká rada pro šetrné budovy, 2012. ISBN 978-80-260-3504-6.
- [7] *Environmentální management – Posuzování životního cyklu: Příklady aplikace ISO 14041 pro stanovení cíle a rozsahu inventarizační analýzy*. 2001.
- [8] GRAEDEL, Thomas E. a Braden R. ALLENBY. *Industrial Ecology*. 2nd ed. New York: Pearson College Div, 2002. ISBN 9780130467133.
- [9] WEIDEMA, Bo a Miguel BRANDAO. Life Cycle Assessment: Theory and Practice: Theory and Practice. *Journal of Industrial Ecology* [online]. 2020, 24(3), 726–730 [cit. 2023-03-19]. ISSN 1530-9290. Dostupné z: doi:10.1111/jiec.12955
- [10] HAUSCHILD, Michael Z., Ralph K. ROSENBAUM a Stig Irving OLSEN, ed. *Life Cycle Assessment* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2018 [cit. 2023-03-19]. ISBN 978-3-319-56474-6. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-56475-3
- [11] WEINZETTEL, Jan, Ivan KUDLÁČEK a Pavel ROKOS. *LCA elektrotechnického výrobku: manuál pro posuzování životního cyklu výrobku*. Praha: SVÚOM, 2008. ISBN 978-80-903933-2-5.

- [12] BENEŠ a LÁT. O nás. *Benesalat.cz* [online]. © 2023 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.benesalat.cz/o-nas/>
- [13] MANNANOV, Azat a Margarita GALIMOVA. Assessment of environmental friendliness of foundry technology. *Modern materials, technics and technology: Scientific and practical journal* [online]. 2016, 5(8), 203 [cit. 2023-05-14]. ISSN 2411-9792. Dostupné z: <https://nauka46.ru/sovremennye-materialy-tehnika-i-tehnologii/>
- [14] NĚMEC, Milan, Jan SUCHÁNEK a Jan ŠANOVEC. *Základy technologie I. 2.*, přeprac. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04867-2.
- [15] BARANOVSKY, Konstantin. *Foundry technology production: teaching aid for practical exercises and course design for students of specialty 1-42 01 01-01 01 „Foundry of ferrous and non-ferrous metals“* [online]. Minsk: BNTU: Belarusian national technical university, 2021 [cit. 2023-05-14]. ISBN 978-985-583-299-8. Dostupné z: https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/108144/Tekhnologiya_litejnogo_proizvodstva.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [16] MELNIKOV, Alexey, David KUKUY a A.V. CHERAPOVICH. Creation of special equipment for the production of large rods using the cold-box-amin-process. *Casting and metallurgy* [online]. 2008, 4 (49), 7 [cit. 2023-05-14]. ISSN 1683-6065. Dostupné z: <https://cyberleninka.ru/article/n/sozdanie-spetsialnogo-oborudovaniya-dlya-proizvodstva-krupnyh-sterzhney-po-cold-box-amin-protssessu/viewer>
- [17] BENEŠ a LÁT. Fotografie z procesu výroby. *Benesalat.cz* [online]. © 2023 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://www.benesalat.cz/> - doporučujeme konkretizovat
- [18] *Company AHB: Core shooter machines* [online]. Nizhny Tagil [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://en.ruslitmash.com/equipment/core-shooter-machines/ahb/>
- [19] BELNIILIT. Core-making machines. *Belniilit.by* [online]. © 2023 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://belniilit.by/en/products/sterzhnevye-mashiny/>
- [20] *Bezpečnostní list podle 1907/2006/ES, Článek 31.* Hüttenes-Albertus CZ s.r.o. Tovární 63, Děčín 32 – Boletice nad Labem, 2022.
- [21] *Bezpečnostní list podle 1907/2006/ES, Článek 31.* Hüttenes-Albertus CZ s.r.o. Tovární 63, Děčín 32 – Boletice nad Labem, 2020. – stejný zdroj jako č. 20

- [22] F.lli Mazzon S. p .A. DE21410 – CASTING COVER 2001: *Bezpečnostní List*. 36015 Schio VI Italia, 2022.
- [23] *Bezpečnostní list podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 (Reach) a nařízení Komise (EU) č. 453/2010: Katalyzátor GH 50/1*. Hüttenes-Albertus CZ s.r.o. Tovární 63, Děčín 32 – Boletice nad Labem, 2015.
- [24] *Bezpečnostní list podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č.1907/2006 (Reach), v platném znění: Isopropylalkohol*. Penta s.r.o. Radiová 1122/1, Praha 10, 102 00, Česká republika.
- [25] *Aluminum smelting process: melting, overheating and refining* [online]. Balashikha, Pokrovsky passage, 2018 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://trastcomp.ru/process-plavki-alyuminiya-rasplavlenie-peregrev-i-rafinirovanie/> – nelze ověřit
- [26] NOVOTNÝ, Jiljí. *Technologie I: (slévání, tváření, svařování a povrchové úpravy)*. Praha: ČVUT, 1996. ISBN 80-01-01420-7.
- [27] *Casting agency: Low pressure casting method* [online]. Ukraine, Kiev, 2013 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://on-v.com.ua/novosti/texnologii-i-nauka/znakomstvo-technologiejtexnologiej-litya-pod-nizkim-davleniem/>
- [28] *SLM Solutions: Al-Alloy AlSi7Mg0,6*. Germany. Dostupné také z: <https://www.slm-solutions.com/>
- [29] *SpheroLite – own modern production: Universal flux*. Smolensk, Krasninskoe highway. Dostupné také z: <https://sferolit.ru/catalog.php?p=35>
- [30] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II. 2.*, opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 8072042483.
- [31] ČIŽMÁROVÁ, Elena a Jana SOBOTOVÁ. *Nauka o materiálu I. a II.: cvičení*. Praha: ČVUT, 2014. ISBN 978-80-01-05550-2.
- [32] MÁDL, Jan. *Technologie obrábění. 2.*, přeprac. vyd. Praha: ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03752-2.
- [33] JELÍNEK, Adam. *Analýza podmínek obrábění hliníku a jeho slitin*. Brno, 2009. Bakalářská práce. Vysoké technické učení v Brně. Vedoucí práce Bohumil Bumbálek.

[34] FRISCHKNECHT, R.; JUNGBLUTH, N.; ALTHAUS, H.J.; DOKA, G.; DONES, R.; HISCHIER, R.; HELLWEG, S.; HUMBERT, S.; MARGNI, M.; NEMECEK, T.; SPIELMANN, M. 2007. Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods: Data v2.0. ecoinvent report No. 3, Swiss centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland

[35] JOLLIET, O., et al, IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology. The international Journal of Life Cycle Assessment. 2003. 8 (6), 324-330. DOI: 10.1007/BF02978505

[36] ADAMOVIÁ, Eva, QUASNITZOVÁ, Klára a Jiří HLAVÁČEK, ed. Česká republika a mnohostranné environmentální smlouvy v letech 2007-2009. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2008. Planeta (Ministerstvo životního prostředí). ISBN 978-80-7212-478-7.

7. Seznam obrázků tabulek a grafů

Obr. 1 Schéma příkladu [7].....	13
Obr. 2 Výroba elektřiny v důsledku spalování dřeva [8].....	15
Obr. 3 Příklad alokace pro cihly [6]	17
Obr. 4 Postup při posuzování životního cyklu produktu [11].....	22
Obr. 5 Kategorie dopadů metody IMPACT 2002+ [34].....	28
Obr. 6 Konstrukční díl pro dětské hřiště [materiály společnosti]	31
Obr. 7 Schéma procesů zahrnutých v LCA analýze	32
Obr. 8 Pískové jádro [17].....	34
Obr. 9 Vstřelovací stroj [17]	34
Obr. 10 Schéma vstupů a výstupů procesu výroby pískového jádra	35
Obr. 11 Zařízení pro nízkotlaké lití [27].....	41
Obr. 12 Vstupy a výstupy procesu lití	42
Obr. 13 Linka tepelného zpracování [17]	45
Tab. 1 Přehled endpointových indikátorů IMPACT 2002+.....	28
Tab. 2 Vstupy a výstupy procesu výroby pískového jádra (vztaženo na 1 pískové jádro).35	
Tab. 3 Vstupy a výstupy procesu výroba pískového jádra (roční hodnoty)	35
Tab. 4 Stroje a.s. „BELNILIT“ [19].....	37
Tab. 5 Složení prvního druhu pryskyřice (Sigmacure 7902N P1) [20]	37
Tab. 6 Vstupy na 1 kg pryskyřice 1	37
Tab. 7 Složení druhého druhu pryskyřice (Sigmacure 7245 P2) [21]	378
Tab. 8 Vstupy na 1 kg pryskyřice 2	38
Tab. 9 Složení druhého druhu pryskyřice (Sigmacure 7245 P2) [22]	38
Tab. 10 Vstupy na 1 kg hmoty pro úpravu povrchu	38
Tab. 11 Složení katalyzátoru GH 50/1 [23].....	39
Tab. 12 Vstupy na 1 kg katalyzátoru GH 50/1	39
Tab. 13 Složení rozpouštědla GH 50/1 [24]	39
Tab. 14 Model výroby ocelové formy	39
Tab. 15 Vstupy a výstupy procesu tavení slitiny hliníku.....	42
Tab. 16 Vstupy a výstupy na jeden výrobek.....	43
Tab. 17 Složení slitiny hliníku (obsah je uveden v procentech) [28]	43

Tab. 18 Model slitiny Al7SiMg06.....	43
Tab. 19 Složení rafinační soli (obsah je uveden v procentech) [29].....	44
Tab. 20 Model rafinační soli v SimaPro	44
Tab. 21 Informace o tepelném zpracování.....	46
Tab. 22 Vstupní a výstupní hodnoty procesu soustružení	48
Tab. 23 Model procesu obrábění (vstupy na 1 kg odebíraného materiálu)	49
Graf 1 – Midpoint indikátory výroby pískového jádra.....	50
Graf 2 - Single score – výroba pískového jádra.....	51
Graf 3 – Midpoint indikátory výroby formy.....	51
Graf 4 - Single score – Charakteristika výroby formy.....	52
Graf 5 – Midpoint indikátory procesu tavení a lití	53
Graf 6 – Single score – Charakteristika procesu tavení a lití.....	53
Graf 7 – Midpoint indikátory procesu soustružení	54
Graf 8 – Single score – Charakteristika procesu soustružení	55
Graf 9 – Midpoint indikátory dopad – všech procesů bez recyklace.....	56
Graf 10 – Single score –Dopad všech procesů bez recyklace.....	56
Graf 11 – Celkový dopad s recyklací	57
Graf 12 – Single score – Celkový dopad s recyklací.....	58