



Fakulta zemědělská
a technologická
Faculty of Agriculture
and Technology

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH FAKULTA ZEMĚDĚLSKÁ A TECHNOLOGICKÁ

Katedra agroekosystémů

Diplomová práce

Indoorové pěstitelské systémy z pohledu *Life Cycle Assessment*

Autorka práce: Bc. Adéla Kalkušová

Vedoucí práce: doc. Ing. Jaroslav Bernas, Ph.D.

České Budějovice
2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval(a) pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne

.....
Podpis

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá indoorovými pěstitelskými systémy z pohledu *Life Cycle Assessment* na konkrétním případě pěstování konopí.

V teoretické části se práce věnuje aktuálním trendům v oblasti zemědělství, zejména se zaměřením na indoorové pěstitelské systémy. Detailně analyzuje jejich aplikace, využití a prognózy do budoucna, přičemž se soustředí na komplexní problematiku této oblasti. Zároveň zkoumá environmentální aspekty a jejich dopad na zkoumané pěstitelské systémy. Dalším důležitým aspektem je posuzování životního cyklu a jeho jednotlivých fází, kterými se práce dále zabývá.

Cílem práce bylo vyhodnocení environmentálního dopadu vázaného na indoorové pěstitelské systémy s konopím setým z pohledu posuzování životního cyklu (*Life Cycle Assessment*).

V praktické části byla provedena inventarizace dat sledovaného rámce, analyzovány a zhodnoceny environmentální dopady. Dále bylo provedeno zpracování a interpretace dat, přičemž byly identifikovány hlavní body zátěže systému pomocí kontribuční analýzy, ze které vyplynulo, že největším přispěvatelem do systému byly environmentální toky, stojící za výrobou elektřiny. Spotřeba elektřiny ve všech sledovaných dopadových kategoriích měla účast přesahující 30 % u všech skupin. Při pomnutí vstupů energií, byly další významné vstup např. pesticidní přípravky. Na základě těchto analýz byla navržena opatření vedoucí k redukcí environmentálního zatížení daného systému.

Klíčová slova: LCA, indoorové pěstování, hydroponie, environmentální design

Abstract

The thesis deals with indoor cultivation systems from the perspective of Life Cycle Assessment in the specific case of hemp cultivation.

In the theoretical part, the thesis focuses on current trends in agriculture, particularly with a focus on indoor cultivation systems. It analyzes in detail their applications, utilization, and future outlook, concentrating on the complex issues within this field. Additionally, it examines the environmental aspects and their impact on the studied cultivation systems. Another important aspect is the assessment of the life cycle and its individual phases, which the thesis further explores.

The aim of the thesis was to evaluate the environmental impact associated with indoor cultivation systems for hemp cultivation from the perspective of Life Cycle Assessment.

In the practical part, an inventory of data from the monitored framework was conducted, and environmental impacts were analyzed and evaluated. Furthermore, data processing and interpretation were carried out, identifying the main stress points of the system through contribution analysis, revealing that the most significant contributor to the system was environmental flows associated with electricity production. Electricity consumption had a participation exceeding 30% in all monitored impact categories for all groups. When excluding energy inputs, other significant inputs included pesticide preparations. Based on these analyses, measures were proposed to reduce the environmental burden of the system.

Keywords: LCA, indoor cultivation, hydroponics, environmental design

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu své diplomové práce doc. Ing. Jaroslavu Bernasovi, Ph.D. za cenné rady, sdílení znalostí a vedení práce, dále Ing. Jaroslavu Neumannovi za pomoc a poskytnutí informací a v neposlední řadě také své rodině a přátelům za podporu během mého studia.

Obsah

Úvod.....	8
1 Zemědělství a nové trendy	9
2 Indoorové pěstitelské systémy	10
2.1 Hydroponické pěstitelské systémy.....	10
2.1.1 Elektrická vodivost a pH při hydroponické kultivaci	11
2.2 Stav poznání.....	12
2.3 Význam	12
2.4 Uplatnění.....	13
2.5 Budoucnost.....	13
2.6 Problematika	14
2.7 Ekonomická dostupnost	15
3 Environmentální aspekty.....	16
3.1 Související problematika dopadů na životní prostředí.....	16
3.2 Možnosti posuzování dopadů na životní prostředí metodou LCA.....	17
3.3 Význam LCA a obecná charakteristika.....	18
3.4 Fáze LCA	19
3.4.1 Definice cíle a rozsahu	19
3.4.2 Inventarizační analýza.....	20
3.4.3 Posouzení dopadů	20
3.4.4 Interpretace dat.....	21
4 Cíle práce	22
5 Metodika	23
5.1 Definice cíle a rozsahu	23
5.2 Zdroje dat a LCI.....	24
5.2.1 Popis systému – pěstební cyklus	25

5.2.2	Hodnocení kvality primárních dat pro LCI.....	27
5.2.3	Sekundární data (Background data).....	28
5.3	Posuzování dopadů na životní prostředí (<i>Life Cycle Impact Assessment</i> ; LCIA) 29	
6	Výsledky a diskuse.....	30
6.1	Charakterizace dat.....	30
6.2	Normalizace dat	36
6.3	Vážení	41
6.4	Návrhy a implementace řešení.....	42
	Závěr	44
	Seznam použité literatury.....	45
	Seznam obrázků	55
	Seznam tabulek	56
	Seznam grafů.....	57
	Seznam použitých zkratk.....	58
	Přílohy.....	59

Úvod

S narůstajícím počtem obyvatel na světě a rostoucí poptávkou po základních potřebách jako je dostatek potravy, čistá voda a prostor se stává stále důležitější nalézat inovativní přístupy k zemědělství. V této době se indoorové pěstitelské systémy jeví jako významná alternativa. Jejich využití nabízí řadu výhod, zahrnujících nejen možnost pěstování rostlin v kontrolovaném prostředí po celý rok bez ohledu na sezónu nebo klimatické podmínky, ale také minimalizaci negativních dopadů na životní prostředí. Indoorové pěstitelské systémy umožňují efektivní využití vody a živin, minimalizaci potřeby použití pesticidů a herbicidů a redukci emisí skleníkových plynů. Tyto systémy také umožňují lepší kontrolu nad produkčními podmínkami, což vede k vyšší kvalitě a výnosům plodin. I přesto je nezbytné využít metody, jako je Posuzování životního cyklu (*Life Cycle Assessment, LCA*), které umožňují přesně kvantifikovat dopady těchto inovativních systémů a identifikovat klíčové aspekty, na které je třeba se zaměřit pro dosažení udržitelného a ekologicky šetrného zemědělství.

Metody jako Posuzování životního cyklu (*LCA*) umožňují provést komplexní analýzu environmentálních dopadů na různých úrovních výrobního cyklu. Tento přístup umožňuje systematicky identifikovat a analyzovat potenciální environmentální problémy spojené s takovými systémy a nalézt možnosti jejich řešení. Díky podrobnému zkoumání jednotlivých fází životního cyklu produktu je možné identifikovat klíčové body zátěže a optimalizovat procesy tak, aby byly co nejúčinnější a nejméně zatěžující pro životní prostředí. Transparentnost a pečlivé hodnocení environmentálních dopadů poskytnuté těmito metodami mohou přispět k lepší informovanosti spotřebitelů a producentů, což v konečném důsledku podporuje rozhodování a praktiky v oblasti zemědělství, které jsou udržitelné a šetrné k životnímu prostředí.

Hlavním cílem práce bylo posoudit environmentální dopad indoorových pěstitelských systémů pro pěstování konopí z hlediska jejich životního cyklu. Tyto dopady byly dále podrobeny analýze a kategorizovány do příslušných kategorií dopadu, přičemž byla zohledněna jednotka hmotnosti – jeden kilogram sušiny květenství. Tento proces byl proveden s využitím softwaru SimaPro 9.5.0.2 Analyst umožňující komplexní zhodnocení environmentálních aspektů výrobků a procesů. Pro vyjádření dat byl použit jak charakterizační, tak normalizační přístup, což umožnilo podrobnější a srovnatelnější vyhodnocení environmentálního vlivu zkoumaných systémů.

1 Zemědělství a nové trendy

S ohledem na nárůst velikosti populace, kdy se do roku 2050 předpokládá na 9 miliard lidí na Zemi (Tilman et al., 2002), a s tím se zvyšujícími nároky lidstva na základní potřeby, je zřejmé, že na zemědělství bude s postupem času vyvíjen čím dál tím větší tlak. Zároveň samo zemědělství neovlivňuje jen množství produkce plodin poskytované lidem. Zemědělské postupy mají zásadní dopady na životní prostředí, čímž ovlivňují širokou škálu ekosystémových služeb jako je kvalita vody, opylování, koloběh živin, zadržování půdy, sekvestrace uhlíku v půdě a celkové zachování biologické rozmanitosti (Dale a Polasky, 2007).

Zemědělská expanze a konvenční intenzifikace související s růstem populace degradují biologickou rozmanitost a funkce ekosystémů, čímž podkopávají přírodní základy, na nichž je samo zemědělství postaveno. Odvrácení nejhorsích dopadů globálních změn životního prostředí a zajištění přínosů pro ekosystém vyžaduje transformaci zemědělství (Vanbergen et al., 2020).

Již v historii se řada zemědělských systémů přikláněla k alternativním způsobům zemědělství. Ve 20. letech 20. století původní školy ekologického zemědělství zahrnovaly přírodní zemědělství, jenž vycházelo z evropského romantismu a odklánělo se od hospodaření s dobyt看em. Navazoval na ně zrod biologicko-dynamického zemědělství, které se inspirovalo učením Rudolfa Steinera. Ve 40. letech 20. století se s růstem poznatků o přírodních procesech začaly formovat další nové metody jako např. organicko-biologické zemědělství, organické zemědělství v Británii a biologické zemědělství v poválečném Německu (Zagata a Kučerová, 2005).

Alternativní směry zemědělství se dodnes liší od konvenčního zemědělství i mezi sebou v jejich spoléhání na technologie, přírodu, na úroveň systémové změny a v samotných dopadech na biologickou rozmanitost (Vanbergen et al., 2020).

V současnosti zemědělský průmysl a vládní agentury investují značný čas a finance do výzkumu nových alternativních, udržitelných a uhlíkově šetrných procesů, kterými lze uspokojit globální poptávku po potravinách. Aplikace vysoce výnosných a levných technologií jako je indoor pěstování posouvá těžiště produkce potravin od tradičního intenzivního využívání půd a podpory výnosů plodin na bázi pesticidů k šetrnějším metodám produkce potravin (McKeon-Bennett a Hodkinson, 2021).

2 Indoorové pěstitelské systémy

Pěstování některých plodin pod širým nebem v různých částech planety může způsobovat problémy či dokonce může být znemožněno díky vnějším klimatickým podmínkám. V odlehlých oblastech jako jsou pouště a severní a jižní pól roste velmi málo druhů rostlin, které se často ani nemohou použít jako zdroj potravy. V těchto oblastech je tedy velmi složité potravu zaopatřit (Palande et al., 2018) a zároveň tradiční systém hospodaření v dnešní době nevyhovuje současné a budoucí poptávce po potravinách. Proto existuje skutečná potřeba přizpůsobit nový systém hospodaření, který stimuluje rostliny k rychlejšímu růstu (Gashgari et al., 2018). Jedním z klíčových řešení této potravinové nejistoty se jeví způsob indoorového pěstování. Uvnitř urbanizovaných oblastí je implementace tohoto řešení náročná, avšak jedna z možností pěstování plodin ve městě, kde bývá nedostatek prostoru, může být hydroponie ve vertikálním systému. Zároveň vnitřní systémy umožňují udržitelnou intenzifikaci produkce potravin s prokázanou vysokou produkcí plodin na pěstební plochu (Stanghellini, 2014).

Mezi primární metody vnitřního hospodaření patří skleníky a vnitřní vertikální farmy nebo pěstírny rostlin. Skleníky mají výhodu volného slunečního záření, které rostou na jedné úrovni na úkor vyšších provozních nákladů na vytápění a chlazení. Vnitřní vertikální farmy však umožňují pěstování na více úrovních, vysokou úroveň kontroly a úsporu vody, ale vyžadují více energie na provoz osvětlení, vytápění, ventilace a chlazení (Stein, 2021).

2.1 Hydroponické pěstitelské systémy

V pěstební rostlinné výrobě zahrnuje definice bezpůdní pěstování všechny systémy, které zajišťují rostlinnou produkci v bezpůdních podmínkách, ve kterých je dodávka vody a minerálů prováděna v živných roztocích s nebo bez pěstebního média (např. minerální vata, rašelina, perlit, pemza, kokosové vlákno atd.) (Goddek et al., 2019).

Výsev probíhá v inertním materiálu, jako je minerální vata nebo rašelina, který se zavlažuje vodou bohatou na živiny. Voda je podávána pomocí různých technik, od rozprašovačů jemné mlhy (aeroponie), přes *Nutrient Film Technique* (NFT), po *Deep Water culture* (DWC) až po zaplavovací a odvodňovací metody. Všechny jsou účinné a mají své pro a proti. Živiny pro hydroponické výrobní systémy ve větším měřítku obvykle pocházejí z rozpuštěných solí, které ionizují ve vodě. V některých menších systémech živiny pocházejí z na živiny bohaté vody rybích farem (tj. akvaponických systémů), které jsou v blízkosti systému rostlinné výroby a jsou s ním spojeny (Al-

Kodmany, 2018). Hydroponie je systém, který poskytuje značný stupeň kontroly nad elementárním prostředím obklopujícím kořen. Tato technika má zajímavou historii vývoje a použití sahající do poloviny 18. století, ačkoli pěstování rostlin ve vodě bohaté na živiny mohlo sahat již do rané historie člověka (Jones, 1982).

Bezpečné kultivační systémy, běžně známé jako hydroponické systémy, lze dále rozdělit na otevřené systémy, kde se přebytečný živný roztok nerecykluje, a uzavřené systémy, kde se přebytečný tok živin z kořenů shromažďuje a recykluje zpět do systému. Bezpečné kultivační systémy se vyvinuly jako jedno z možných řešení, jak se vyhnout chorobám přenášeným půdou, které byly vždy problémem ve skleníkovém průmyslu. Bezpečné pěstební systémy jsou v současnosti běžné v zahradnické praxi ve většině evropských zemí, i když ne v každé zemi k tomu dochází ve velkém měřítku (Goddek et al., 2019).

2.1.1 Elektrická vodivost a pH při hydroponické kultivaci

Technologie hydroponie se používá po celém světě. Bylo vyvinuto mnoho metod a technik. Podmínky, které se kontrolují při hydroponické kultivaci zahrnují okolní teplotu, světlo, teplotu roztoku, koncentraci kyslíku ve vodě, vlhkost prostředí, hladinu vody, elektrickou vodivost (EV), pH a hladinu dusičnanů. Většina hydroponických živných roztoků se připravuje tradičním způsobem, přičemž jejich EV a pH jsou ručně měřeny, často každý den. Živný roztok musí vyhovovat potřebám rostlin, výpočetní chyba při jeho přípravě může způsobit smrt rostlin a s tím spojené velké ekonomické ztráty (Chen et al., 2021). Klíčem ke stabilnímu hydroponickému růstu je rovnováha živného roztoku. Roztok je formulován s hnojivem požadovaným plodinou pro optimální růst až do sklizně (Pancawati a Yulianto, 2016).

Často je nutné upravit hodnoty pH, protože pH ovlivňuje fotosyntézu. CO_2 se snadno rozpouští ve vodě, což snižuje její pH (Nakaoka a Yamada, 2012). EV je indikátorem koncentrace živného roztoku (a dá se také říci, že je indikátorem koncentrace soli v roztoku). Hodnota EV představuje vodivost iontů na objem roztoku. Ionty mohou nést kladné nebo záporné náboje; s rostoucím EV odpor klesá. Proto vyšší EV indikuje vyšší koncentraci iontů v roztoku. Vysoké případy EV mohou způsobit smrt rostlin. EV a pH živného roztoku mohou být sníženy v důsledku faktorů prostředí, jako je vysoká teplota způsobující odpařování vody nebo absorpce živin rostlinami. Vzestup a pokles pH a EV může překročit rozsah, který rostlina vydrží, proto musí být pH a EV živného roztoku kontrolovány, aby se vytvořilo prostředí vhodné pro růst rostlin a minimalizovaly se výkyvy těchto hodnot (Lee et al., 2017)

2.2 Stav poznání

Skleníkové pěstování je nejintenzivnější formou rostlinné výroby s výnosem na jednotku obdělávané plochy až 10krát vyšším než u polních plodin. Zeleninové, okrasné, léčivé a ovocné plodiny se celosvětově pěstují ve skleníkových podmínkách. Samotná výroba skleníků vyžaduje použití velkého množství energie, vody a agrochemikálií a obvykle produkuje obrovské množství odpadu, který je třeba likvidovat (Vox et al., 2010).

Vnitřní bezpůdní kultivační systémy jsou stále více přijímány jako hlavní technologická složka v moderním světě indoor průmyslu. Hlavní výhodou bezpůdní kultury, často označované jako „hydroponie“, je nezávislost plodiny na půdě, která je jako přirozené médium heterogenní, pojme patogeny, má tendenci degradovat v monokulturních systémech a v některých případech může být i neplodná a zasolená. Při pěstování rostlin pro produkci plodové zeleniny a řezaných květin v indoorových pěstitelských systémech jsou nejčastěji používanými médii rockwool, perlit a kokos. Pro produkci listové zeleniny se používají především systémy vodních kultur, jako je plovoucí hydroponie, *Nutrient Film Technique* a aeroponie (Savvas a Gruda, 2018).

Skleníkové zařízení a krycí materiál zajišťují kontrolované mikroklima, které lze přizpůsobit potřebám plodin, což vede k vyššímu výnosu, kvalitě a prodloužení dostupnosti produktů na trhu (Vox et al., 2010). Indoor pěstování zahrnuje velké množství technologií, proto poskytnutí vhodných podmínek pro růst plodin indoor vyžaduje značné množství energie (zejména v chladném a horkém klimatu) (Chen et al., 2016). Pro komerční produkci plodin je nutný dodatečný přísun oxidu uhličitého (CO₂) (Noh a Jeong, 2021), jelikož v dobře utěsněných sklenících a zejména v plastových sklenících může být vnitřní koncentrace CO₂ v důsledku fotosyntézy a příjmu CO₂ rostlinami mnohem nižší než v okolním prostředí, což má za následek dramatické snížení růstu plodin a výtěžku (Baille, 2001).

2.3 Význam

Indoorové pěstitelské systémy představují rozmanité řady nastavení navržené tak, aby usnadnily růst rostlin uvnitř, často se k tomu využívají hydroponické, aeroponické nebo akvaponické metody. Tyto systémy poskytují kontrolované prostředí, kde jsou faktory, jako je teplota, vlhkost, světlo a úroveň živin, optimalizovány pro maximalizaci růstu rostlin a výnosů. Na rozdíl od tradičního venkovního pěstování umožňuje

pěstování indoor přesnou manipulaci s těmito proměnnými, což má za následek rychlejší růst, vyšší výnosy a potenciál pro pěstování rostlin, kterým se v místních klimatických podmínkách nemusí dařit (Despommier, 2010; Savvas a Gruda, 2018).

2.4 Uplatnění

Indoorové pěstitelské systémy jsou prostorově velmi efektní. Je možné navrhnout vertikální uspořádání pro zvýšení produkce (Velazquez-Gonzalez et al., 2022). Indoorové pěstitelské systémy umožňují pěstovat potraviny všude, kde lze implementovat kontrolované prostředí, v němž lze například vědomě kontrolovat množství vody dodávané do substrátu, jelikož přemokření nebo podmáčení může mít na rostliny škodlivé účinky. Vědecké studie zdůrazňují důležitost udržování správné úrovně vlhkosti a dopad různých zavlažovacích technik v kontrolovaném prostředí (Vergara et al., 2016).

Systémy vnitřní kultivace se ukázaly jako slibná metoda produkce vysoce kvalitního léčebného konopí, neboť je zajištěna přesná kontrola životního prostředí, zvýšená biologická bezpečnost a možnost celoročního pěstování. Vnitřní kultivační systémy umožňují nepřetržitou produkci bez ohledu na vnější sezónní výkyvy. Toto důsledné celoroční pěstování například zajišťuje spolehlivou dodávku standardizovaných léčivých konopných produktů pro pacienty a poskytovatele zdravotní péče (Jain et al., 2023). Zajímavostí potom je, že dokonce i v rámci průzkumu hlubokého vesmíru je považována hydroponie za hlavní zdroj potravy pro posádky vesmírných lodí (Velazquez-Gonzalez et al., 2022).

2.5 Budoucnost

Moderní farmy a zemědělské provozy se rychle mění; technologické inovace v elektronice vedly k přijetí strojů, snímačů teploty a vlhkosti, leteckého snímkování a GPS, což způsobilo revoluci v zemědělství. Pojem průmysl 4.0 v oblasti zemědělství se zrodil v roce 2017, kdy byly koncepty jako umělá inteligence (AI), Internet věcí (IoT) a Big Data (BD) integrovány do autonomních systémů produkce potravin pro přesné zavlažování, kontrolu škůdců, identifikace chorob rostlin a řízení výroby (Li et al., 2020). Nedávný vývoj v oblasti automatizace a umělé inteligence umožnil zemědělcům na dálku monitorovat a řídit různé aspekty pěstování jako je zavlažování, osvětlení a dodávání živin. Systémy řízené umělou inteligencí mohou analyzovat data a optimalizovat kultivační parametry pro lepší výnosy (Magagnini et al., 2018).

Zemědělství 4.0, jak je tato revoluce známá, má za cíl hladce spojit zemědělské postupy s nejmodernější technologií včetně senzorů, zařízení, strojů a informačních

technologií. Složitě technologie jako jsou roboti, teplotní a vlhkostní senzory, letecké a satelitní zobrazování a technologie GPS, se stále více používají k posílení celého potravinového hodnotového řetězce a přispívají k tomu, že podniky jsou ziskovější, efektivnější, bezpečnější a ekologičtější (De Clercq et al., 2018).

Hydroponie dokonale zapadá do rámce Zemědělství 4.0, protože velké společnosti stále více využívají průlomové objevy v indoorovém vertikálním zemědělství, umělé inteligenci a biologii rostlin k pěstování rozsáhlé řady produktů (Hati a Singh, 2021). S podporou pokročilých a převratných technologií a spolehlivých vědeckých poznatků, které zaručují vysoký výnos, můžeme s jistotou říci, že hydroponie si zajistila ústřední místo v budoucích systémech výroby potravin. Vnitřní produkce vede k rozvoji malých podniků, a tím stimuluje růst místních ekonomik. Úkolem je přenést tyto technologické pokroky do středních a malých provozů v městských a příměstských sídlech, kde hydroponie může významně přispět k dosažení SDG 11: udržitelnost a odolnost městských komunit (Avgoustaki a Xydis, 2020; Sustainable Development Goals, 2015; Velazquez-Gonzalez et al., 2022).

2.6 Problematika

Indoorový pěstitelský systém je závislý na elektřině, výpadky proudu mohou způsobit poškození vysazených plodin a značné poškození produkce (Sardare a Admane, 2013). Indoorové pěstitelské systémy inklinují k vyšší rychlosti růstu rostlin (Gashgari et al., 2018) a ačkoli již mnoho studií prokázalo, že indoorový pěstitelský systém má výhody oproti běžnému obdělávání půdy, existují stále určitá omezení související s jejich realizací.

Problémem na počátku zahájení využívání těchto systémů může být vysoká počáteční investice vzhledem k ceně potřebných surovin a zařízení pro provoz systému. Zároveň je pro provoz nutná kvalifikovaná a řádně vyškolená pracovní síla, rozsáhlé operace vyžadují pracovníky s hlubokými znalostmi zemědělství, fyziologie rostlin, chemie a sofistikovanými řídicími a informačními systémy (Velazquez-Gonzalez et al., 2022). Ve skutečnosti indoorové pěstitelské systémy vyžadují dovednosti a dobrou znalost jeho principů pro udržení celkové produkce (Samangoeei et al., 2016).

Při provozu indoorových systémů může dojít k znečištění životního prostředí. Pokud není zbytkový živný roztok řádně zlikvidován, může vypuštěný roztok, jenž je obohacený fosforem a dusičnany, vytvářet nadměrný růst řas a jiných mikroorganismů

ve vodních plochách a odpadních vodách, což způsobuje vážné ekologické problémy (Velazquez-Gonzalez et al., 2022).

2.7 Ekonomická dostupnost

Hlavní překážkou implementace indoorových pěstitelských systémů jsou vysoké počáteční náklady. Na druhou stranu mnoho prvků indoorového zemědělství pomáhá převážit počáteční náklady, jakmile je systém v provozu. Nejdůležitějším faktorem, který dělá indoorové zemědělství ekonomicky životaschopným, jsou však kontrolované podmínky, za kterých funguje. Na rozdíl od tradiční zemědělské výroby mají vnější podmínky prostředí, které způsobují zemědělcům další náklady, na vnitřní pěstování velmi omezený vliv. Například potřeba hnojiv a pesticidů (a s tím související náklady) by byla téměř zcela eliminována, protože plodiny by nebyly přístupné přírodním živlům a byly by tak nedostupné pro škůdce (Benke a Tomkins, 2017). Některé plodiny jako například salát hlávkový (lat. *Lactuca sativa*) jsou zvláště vhodné pro produkci v indoorových pěstitelských systémech díky svému kompaktnímu růstu, rychlé akumulaci biomasy na trhu a vysokému tržnímu významu, což umožňuje vyšší výnos na plochu s efektivním využitím prostoru (Beacham et al. 2019). Cenová dostupnost indoorových pěstitelských systémů se bude nyní každým rokem zvyšovat, protože změna klimatu stále více ohrožuje orné půdy. Jinými slovy, zvýšené výdaje, které budou potřeba k udržení zemědělského sektoru v důsledku deteriorace půdy a podmínek prostředí pro růst plodin, začnou zastiňovat vyšší kapitálové náklady indoorového zemědělství (Benke a Tomkins, 2017).

Při snaze dosáhnout decentralizace a každodenní ekonomické produkce čerstvé zeleniny lze například implementovat „*Smart Office Farm*“ (SOF). Tento indoorový pěstitelský systém je určen pro automatizovanou produkci bylinek a listové zeleně v kancelářích (Specht et al. 2019). Dle Cichockiho et al. (2022) se však jeví tento systém jako velmi nákladný oproti běžné polní produkci. Avšak do ceny produktů ze SOF se nezapočítává obchodní marže a náklady na dopravu. Dodávka elektřiny do SOF je největší příspěvatelem k celkovým provozním nákladům kancelářské rostlinné výroby, proto by SOF mohly být více výhodné, pokud by provozující subjekty byly ve výrobě elektřiny soběstačné.

3 Environmentální aspekty

3.1 Související problematika dopadů na životní prostředí

Indoorové pěstitelské systémy, zejména hydroponie, nabízejí slibné možnosti pro řešení ekologických problémů spojených s tradičním zemědělstvím. Indoorové pěstitelské systémy optimalizují využití půdy tím, že umožňují vertikální nebo kompaktní růst, takže jsou vhodné pro městské zemědělství. Toto efektivní využívání půdy snižuje tlak na přírodní ekosystémy. Kromě toho hydroponické systémy produkují minimální zemědělský odpad díky absenci tradičních pěstebních médií. Hydroponie je známá svým efektivním využíváním vody ve srovnání s konvenčním zemědělstvím (Savvas a Gianquinto, 2020).

Pomoni et al. (2023) zjistili, že hydroponické systémy mohou využívat až o 90 % méně vody ve srovnání s tradičním zemědělstvím, jenž využívá půdu. Řízená recirkulace vody bohaté na živiny minimalizuje plýtvání vodou a přispívá k úsilí o její zachování. Například Barbosa et al. (2015) uvádí, že konvenční salát pěstovaný v jihozápadní Arizoně vyžaduje 250 l/kg vody oproti 20 l/kg pro salát pěstovaný hydroponicky; tj. jen asi 8 %. V hydroponii jsou živiny přímo dodávány rostlinám kontrolovaným způsobem, což snižuje nadměrnou potřebu hnojiv. Tento cílený přístup tak navíc snižuje odtok živin do vodních útvarů, který by mohl vést ke znečištění vody. Přesné dodávání živin hydroponií minimalizuje dopady na životní prostředí související se znečištěním živinami (Savvas a Gianquinto, 2020). Raviv a Lieth (2008) zdůrazňují důležitost udržitelných energetických postupů pro zmírnění potenciálních emisí skleníkových plynů spojených s hydroponickými zařízeními.

Vnitřní farmy se vyznačují několika parametry, které ovlivňují dopady na životní prostředí:

- Způsob pěstování a média,
- zdroj živin,
- požadavky na osvětlení,
- kapacita zařízení,
- klimatizace,
- ekonomika.

Indoorové pěstování omezuje několik externalit souvisejících se vzduchem, půdou a vodou. Indoorové zemědělství snižuje produkci emisí skleníkových plynů jako je

metan, oxidy dusíku a oxid uhličitý. Vnitřní zemědělství také zmírňuje negativní dopady stékání vody, eroze půdy, používání pesticidů a zatížení živinami. Kromě toho indoorové pěstitelské systémy odebírají motivaci k přeměně velmi omezené nabídky pozemků na zemědělskou půdu. Umožňují, aby se více pozemků přeměnilo zpět na lesy nebo louky, a tím se zmírnilo uvolňování CO₂ a podpořila se sekvestrace uhlíku (Stein, 2021).

Avšak do indoorových pěstitelských systémů se používají převážně minerální hnojiva, jako je chemicky vyráběný dusík a těžžený fosfor, jejichž těžba mění a narušuje rovnováhu nejen agroekosystémů, ale i přírodních ekosystémů, což ohrožuje biologickou rozmanitost (Rockström et al., 2009). Výroba a používání hnojiv v průmyslu způsobuje asi 2,5 % (1203 Tg CO₂ ekv.) celosvětových emisí skleníkových plynů (Christensen et al., 2014). Výroba fosforečných a dusíkatých hnojiv se navíc opírá o neobnovitelné a vyčerpávané zdroje, které se vyčerpávají (Daneshgar et al., 2018) a jsou soustředěny (např. fosfor) pouze na několika místech planety (Desmidt et al., 2015). Indoorové pěstitelské systémy se vyznačují vysokou energetickou náročností. Vysoké náklady na energii nutí pěstitele, aby se vyhýbali používání skleníku v extrémních povětrnostních podmínkách. Na druhou stranu využití obnovitelných zdrojů energie (OZE) i přes vysoké počáteční náklady nabízí možnost pěstování „zelených“, ekologicky šetrných produktů se sníženou uhlíkovou stopou a vysokou přidanou komerční hodnotou (Ntinias et al., 2020, Terrosi et al., 2020).

3.2 Možnosti posuzování dopadů na životní prostředí metodou LCA

V dnešní době dochází k nárůstu lidských činností ve světě, což vede k multifunkčnímu využití naší suchozemské krajiny i moří. Tato multifunkčnost jde ruku v ruce s výzvou zaručit udržitelné využívání a hospodaření s našimi přírodními zdroji a zajistit ekonomický růst při zachování bohatých suchozemských a vodních ekosystémů (Wu, 2013; Lee et al., 2020). Některé činnosti nemusí mít bezprostřední vliv na životní prostředí a jiné na něj mohou mít globálnější dopad. Kromě toho některé dopady na životní prostředí vedou ke kumulativním a synergickým efektům v prostoru a čase (Azapagic, 1999). Například 59 % mořských oblastí pocítuje kumulativní dopady různých stresorů jako je změna klimatu, nadměrné využívání zdrojů a znečištění (Halpern et al., 2019). Degradace suchozemských i vodních ekosystémů ohrožuje blahobyt 3,2 miliardy lidí (OSN, 2020). V současnosti jsou k dispozici různé metodiky pro hodnocení lokálních, regionálních a globálních dopadů lidských činností na ekosystémy,

kteřé zahrnují hodnocení environmentálních rizik (ERA), hodnocení ekosystémových služeb (ESA), posuzování vlivů na životní prostředí (EIA) a především hodnocení životního cyklu (LCA). Komplexní posouzení a pozitivních i negativních dopadů lidských činností v různých geografických měřících je možné pouze při integraci těchto metodologií (Peña et al., 2022; Glasson a Therivel, 2013)

Hodnocení životního cyklu (LCA) je metodický rámec pro odhadování a hodnocení dopadů na životní prostředí, které lze připsat životnímu cyklu produktu a jednotlivým dopadovým kategoriím, jako např. globální oteplování, úbytek stratosférického ozonu, tvorba troposférického ozonu (smog), eutrofizace, acidifikace, toxikologický stres na člověka, zdraví a ekosystémy, vyčerpávání zdrojů, využívání vody, využívání půdy a hluk – a další (Rebitzer et al., 2004). V současné době je k dispozici řada indikátorů pro hodnocení vlivů na životní prostředí, zejména v oblasti hodnocení dopadů životního cyklu (LCIA – *Life Cycle Impact Assessment*) (Steinmann et al., 2016).

3.3 Význam LCA a obecná charakteristika

LCA patří k nástrojům environmentálního managementu, jako *Eco Management and Audit Scheme* (Spindler, 1998) nebo *Kriterien umweltverträglicher Landbewirtschaftung* (KUL [kritéria pro zemědělství kompatibilní s životním prostředím]; Eckert et al., 1999), jež byly vyvinuty pro zkoumání celkového environmentálního chování farem. Tyto systémy se používají (1) k detekci možností zlepšení a (2) k porovnání nebo sledování dopadu farem na životní prostředí (Consoli, 1993). Je třeba zdůraznit, že LCA je stále se vyvíjející aplikace s kořeny ve výzkumu souvisejícím s energetickými požadavky v 60. letech (Curran, 1996).

Metodika hodnocení životního cyklu (LCA) se stále více uplatňuje a rozvíjí napříč všemi ekonomickými sektory a je široce používána pro odhadování dopadů na životní prostředí (Klöppfer, 2014). Metoda LCA se stala neocenitelným nástrojem pro podporu rozhodování, který mohou používat výrobci, dodavatelé, zákazníci, tvůrci politik a další zúčastněné strany (Rebitzer et al., 2004). LCA je mocný nástroj pro holistické srovnání mezi možnými nebo konkurenčními systémy a také pro optimalizaci stávajícího systému, což je také forma srovnání (Curran, 2017). V zemědělství byla metoda LCA široce přijata pro hodnocení a porovnávání výrobních řetězců díky své schopnosti identifikovat environmentální hot spoty (Gasol et al. 2012; Miller et al. 2006).

Aby bylo možné analyzovat zemědělské produkty, měl by být prozkoumán dopad samotného produktu a celého výrobního systému na jeho výrobu na životní prostředí

(Consoli, 1993). Je třeba vzít v úvahu celý systém produkce, tj. u systémů rostlinné výroby analyzovat nejen činnosti na poli, ale také všechny dopady související s produkcí surovin (minerály, fosilní paliva) a zemědělských vstupů, jako jsou hnojiva, látky na ochranu rostlin, stroje nebo semena (Brentrup et al., 2004). Metodika hodnocení životního cyklu (LCA) byla navržena tak, aby studovala všechny environmentální dopady spojené s celým výrobním systémem (Consoli, 1993). Avšak při provádění LCA je fáze návrhu/vývoje obvykle vyloučena, protože se často předpokládá, že nepřispěje významně. Je však třeba poznamenat, že rozhodnutí ve fázi návrhu/vývoje značně ovlivňují dopady na životní prostředí v ostatních fázích životního cyklu (Rebitzer et al., 2004).

Hlavním cílem rámce *Life Cycle Assessment* je kvantifikovat a posoudit všechny potenciální environmentální dopady lidských činností (ISO, 2006), avšak studium výsledků v příliš širokém rozsahu vlivů na životní prostředí se může stát neefektivní a vést k nejasným závěrům (Steinmann et al., 2016).

3.4 Fáze LCA

LCA je metodika pro hodnocení všech dopadů na životní prostředí spojených s produktem, procesem nebo činností pomocí účtování a vyhodnocování spotřeby zdrojů a emisí. Podle ISO 14044 (ISO, 2006) je LCA rozdělena do čtyř kroků, kterými jsou (1) definice cíle a rozsahu (*Goal and scope definition*), (2) inventarizace (*Inventory analysis*), (3) posouzení dopadů (*Impact assessment*) a (4) interpretace dat (*Interpretation, improvement assessment*).

3.4.1 Definice cíle a rozsahu

Prvním krokem v LCA je definice cíle a rozsahu studie. Tento krok definuje důvody pro studii LCA a zamýšlené použití výsledků. Pro studie LCA v zemědělském sektoru by to mohlo být například zkoumání environmentálních dopadů různých intenzit v rostlinné produkci nebo analýza výhod a nevýhod systémů intenzivního nebo extenzivního zemědělství. Dále tento krok popisuje zkoumaný systém, jeho funkci a hranice. Následně je definována referenční jednotka (ISO, 2006), ke které se vztahují všechny vlivy na životní prostředí a která by měla představovat funkci analyzovaného systému. Norma ISO 14040 z roku 2006 uvádí, že „rozsah by měl být dostatečně dobře definován, aby bylo zajištěno, že šíře, hloubka a podrobnosti studie budou kompati-

bilní a dostatečné k dosažení stanoveného cíle“. Je také kritický pro nasměrování budoucího úsilí o sběr dat (fáze inventarizační analýzy). Význam správného definování cíle a rozsahu studie LCA nelze přeceňovat.

Se stanovením cílů je spojen výběr funkční jednotky (FJ), což je jedinečná vlastnost LCA, která ji odlišuje od ostatních přístupů k hodnocení životního prostředí. FJ vhodně popisuje zkoumaný produkt nebo proces. Definice FJ je zásadní pro budování a modelování produktového systému v LCA. FJ je kvantifikovaný popis funkce produktu, který slouží jako referenční základ pro všechny výpočty týkající se posouzení dopadů. Funkce může být založena na různých vlastnostech zkoumaného produktu, jako je výkon, estetika, technická kvalita, doplňkové služby, náklady atd. Odráží funkci, kterou systém poskytuje na úrovni jednotky produktu. Ta je pak dále utvářena cílem studie (Curran, 2017; Arzoumanidis et al., 2020). Důležité je správně nastavit měřítko funkčního celku. Pokud je nastaveno příliš malé, hodnocení dopadu by mohlo vykázat malý podíl (často téměř nekonečně malý) celkového vstupu do systému nebo emisí ze systému (Finnveden et al. 2009). Výrobky často plní více než jednu funkci. Když je cílem LCA porovnat dva nebo více produktů, měly by produkty ve studiích mít ekvivalentní použití (Curran, 2017).

3.4.2 Inventarizační analýza

Druhý krok metody LCA spočívá v sestavení inventáře příslušných energetických a materiálových vstupů a úniků do životního prostředí (analýza inventury životního cyklu (LCI – *Life Cycle Inventory*)) (Curran, 2017). LCI představuje zásadní krok, protože data jsou páteří každé studie LCA a jsou primárním hnacím motorem kvality i nejistoty. Existují čtyři důležité kroky analýzy LCI: sestavení vývojového diagramu, sběr dat, provádění výpočtů, stejně jako interpretaci výsledků a vyvozování závěrů (Arvidsson a Ciroth, 2021). LCI je jednou z časově nejnáročnějších a nejobtížnějších úloh při LCA (Saavedra-Rubio et al., 2022).

3.4.3 Posouzení dopadů

Ve fázi posouzení dopadů životního cyklu (LCIA) jsou výsledky inventarizační analýzy převedeny na příspěvky do příslušných kategorií dopadů jako je acidifikace, poškození ozonové vrstvy, aj. (Guinée, 2002). Obecné kategorie environmentálních dopadů, které je třeba zvážit v LCA zahrnují využívání zdrojů, lidské zdraví a ekologické následky (Baumann a Tillman, 2004). Posouzení dopadů potřebuje vyhodnotit relativní význam různých environmentálních stresorů (emise, využívání zdrojů a půdy)

souvisejících s životním cyklem. To vyžaduje definici společné metriky buď pro všechny dopady (např. CO₂ eq pro kategorii dopadu globální oteplování), nebo pro skupiny dopadů (Hertwich a Hammitt, 2001).

3.4.4 Interpretace dat

Interpretace životního cyklu je čtvrtou a poslední fází LCA. Laurent et al. (2020) tuto fázi definují jako: „Interpretace životního cyklu je fáze LCA, která kvantitativně a kvalitativně identifikuje, kontroluje a vyhodnocuje výsledky kroků inventarizace životního cyklu (LCI) a posouzení dopadů životního cyklu (LCIA) týkající se cíle a definice rozsahu. Jeho cílem je poskytnout robustní závěry a doporučení cílovému publiku studie (např. osobě s rozhodovací pravomocí, která si musí vybrat z několika zkoumaných možností), a zároveň umožnit vhodnou komunikaci výsledků. Tato fáze je iterativní, umožňuje tedy určit potenciál zlepšení v ostatních fázích LCA, a tak nabízí vodítka ke zvýšení konzistence a úplnosti studie LCA v další iteraci. Fáze interpretace nezahrnuje sdělení výsledků zainteresovaným stranám.“ Vzhledem k tomu, že jde o ústřední fázi propojující všechny ostatní fáze a závěry a doporučení ze studie LCA, představuje náročný úkol. Existuje velké množství možností vyobrazení souhrnu dat, např. na úrovni midpointů či endpointů pomocí strukturalizační tabulky. ISO 14040–44 definuje interpretaci dat v pěti krocích:

- I. Kontrola úplnosti,
- II. kontrola konzistence,
- III. kontrola citlivosti,
- IV. identifikace významných problémů,
- V. závěry.

4 Cíle práce

Cílem práce bylo vyhodnocení environmentálního dopadu vázaného na indoorové pěstitelské systémy s konopím setým z pohledu posuzování životního cyklu (*Life Cycle Assessment*).

Součástí cílů práce bylo vytvoření literárního přehledu vázaného na danou problematiku. Dílčím úkolem bylo definovat cíle a rozsah sledovaného rámce dle norem pro metodu hodnocení životního cyklu (ISO 14040, 14044), inventarizovat data sledovaného rámce, vyhodnotit environmentální dopady, zpracovat a interpretovat data, na základě provedené kontribuční analýzy detekovat hot spot systému a představit návrh opatření vedoucích k redukci environmentálního zatížení posuzovaného systému.

V rámci diplomové práce byly stanoveny hypotézy s cílem ověřit následující předpoklady a očekávání týkající se zkoumané problematiky:

- I. Dle dostupných literárních zdrojů a jejich výsledků lze predikovat, že nejvýznamnější podíl environmentálního zatížení bude spojeno se vstupy elektrické energie.
- II. Dle výsledků studií LCA zabývajících se problematikou indoorových systémů lze očekávat, že nejsilněji dotčené kategorie dopadu budou kategorie ekotoxicity/toxicity.

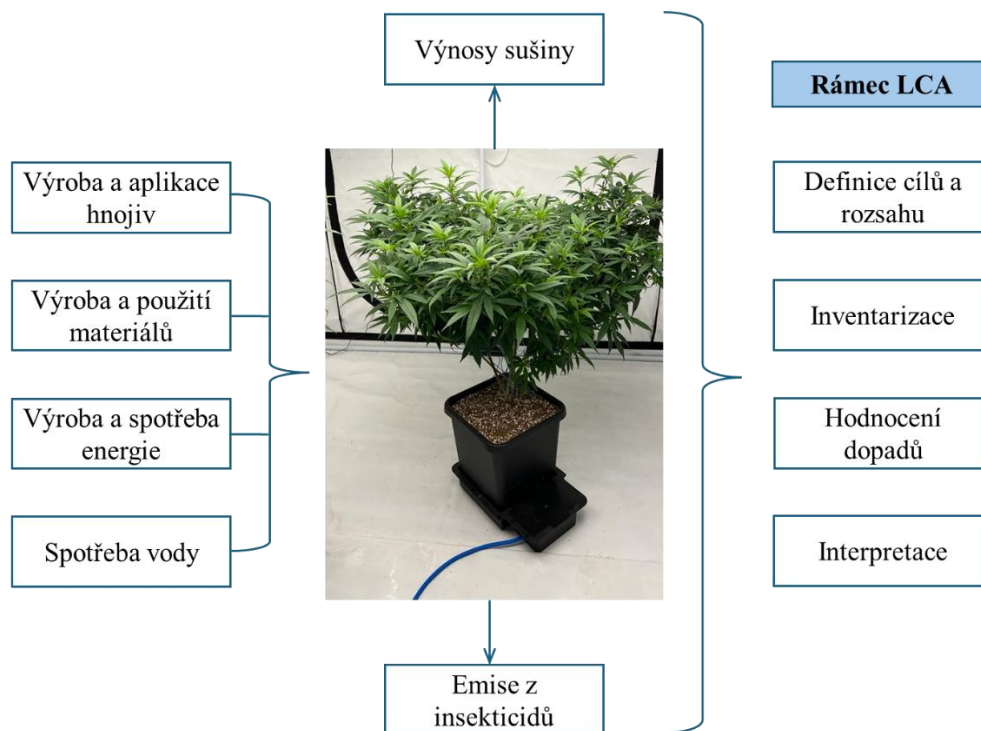
5 Metodika

Hodnocení životního cyklu bylo provedeno podle norem ISO 14040 a ISO 14044 (2006). Související metodika zahrnuje následující kroky: definice cíle a rozsahu, inventarizace životního cyklu (Life cycle inventory; LCI), posouzení dopadu životního cyklu (LCIA) a interpretaci dat.

5.1 Definice cíle a rozsahu

Cílem této studie bylo kvantifikovat environmentální dopady pěstování technického konopí v indoorových pěstítkách. Nástrojem k vyhodnocení environmentálních dopadů byla analýza životního cyklu – LCA, jejíž cílem bylo vyhodnocení environmentálních dopadů v rámci dopadových kategorií a také spotřeby materiálů a energií v celém životním cyklu definovaného indoorového systému.

Se stanovením cílů byl též spojen výběr funkční jednotky, která sloužila jako referenční základ pro všechny výpočty environmentálních dopadů systému. Jako funkční jednotka této studie bylo stanoveno 1 kg sušiny konopného květenství vázaného na jednu pěstební skupinu.



Obrázek 1: Zjednodušené schéma fází LCA a hranic systému (foto: Ing. Jaroslav Neumann)

Hranice systému zahrnovaly všechny procesy tzv. od kolébky až po bránu podniku (ang. *From cradle to factory gate*), tedy procesy související se získáním primár-

ních surovin a fází užití vstupů relevantních k pěstebnímu postupu. Tedy byly inventarizovány vstupy od přípravy pěstebního setu po sklizeň a posklizňové zpracování rostlin. Hranice systému zahrnovaly jednotkové procesy, nejmenší části výrobního systému, pro které byly sbírány údaje. Hranice systému byly vztaženy k rozsahu samotného definovaného pokusu (Obrázek 1). Ve studii nejsou uvažovány koprodukty. V rámci zelené části rostlin (myšleno fytohmoty vyjma květenství) bylo uvažován scénář kompostování bez ekonomického zhodnocení. Proto nebyly uplatněny alokační přístupy.

V této studii bylo zkoumáno pěstování konopí v indoorovém pěstitelském systému v 8 různých skupinách dle intenzity umělého osvětlení a množství dodaných živin či jiných agrochemikálií. Předchozí studie LCA na téma indoorových pěstebních systémů povětšinou nezahrnují modely počítající s jinými dávkami světla a živin. V této studii se dále ukazuje důležitost těchto modifikovaných faktorů v návaznosti na výnos sušiny konopí. Dá se předpokládat, že výsledky této studie budou moci být použity pro motivaci nových i stávajících indoorových pěstitelů při zohlednění environmentálních faktorů společně s úrovní výnosu a celkovou ekonomickou bilancí. Výsledky mohou přinést dobrý vhled do environmentálních dopadů indoorového pěstování, jež díky změnám populace, klimatu a množství zdrojů bude v budoucnu stále více používané a nezbytné pro zajištění kvalitní potravy a materiálů pro lidstvo. Začínající indooroví pěstitelé mohou výsledky této studie použít jako pomůcku před investicí do nových pěstebních technologií.

5.2 Zdroje dat a LCI

V této práci byla využita data poskytnutá společností specializující se od roku 2018 na indoor pěstování technického konopí. Tato společnost se specializuje na rozvoj v oblasti pěstování konopí s důrazem na maximalizaci obsahu CBD složek. Jejich odborný přístup k indoor pěstování poskytl kvalitní a konzistentní data, která byla použita v rámci této studie.

Procesy začleněné do modelového systému zahrnovaly spotřebu vody pro závlahové systémy či ředění přípravků pro ochranu rostlin, dále procesy zahrnující výrobu, využití a spotřebu plastových nádob/sadbovačů, výrobu a užití pěstební media (kokosové vlákno), vstupy živin – jejich výroba, distribuce a užití, výroba a spotřeba elektrické energie pro osvětlení, klimatizaci a sušení. Konečné odpadové hospodářství

bylo v rámci stanoveného rámce studie uvažováno pouze na úrovni produkce kompostu z kokosového vlákna. Byla využita funkční jednotka vztažená k výrobní jednotce (1 kg sušiny). Jako primární data byla využita data z pěstebního pokusu (data o spotřebě energií a materiálů a data související s výstupy pěstebního cyklu).

5.2.1 Popis systému – pěstební cyklus

Kultivační cyklus 1 a Kultivační cyklus 2 probíhal každý na 16 rostlinách z komerčního kultivaru Peach Goliath s obsahem THC do 1 %.

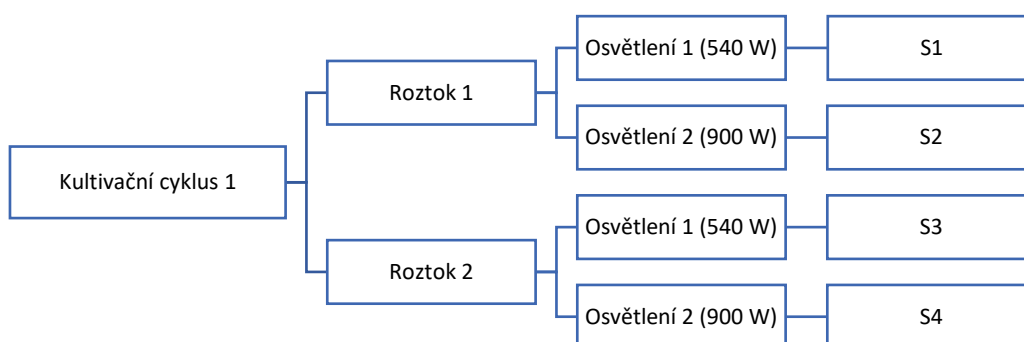
Při kultivačním cyklu 1 byly rostliny rozděleny do 2 skupin R1 (roztok 1) a R2 (roztok 2) po 8 rostlinách (Tabulka 1)

Tabulka 1: Celková spotřeba živin v celém pěstebním cyklu 1 v gramech

Roztok	NO ₃	NH ₄	P	K	Ca	Mg	S	Fe	B	Cu	Zn	Mn	Mo
R1	38,65	1,87	3,81	27,46	31,56	7,84	3,24	0,42	0,37	0,01	0,04	0,12	0,21
R2	32,16	1,72	30,30	59,78	29,63	15,17	18,11	0,59	0,05	0,05	0,05	0,25	0,01

R1= roztok 1, R2= roztok 2, hodnoty uváděné v gramech

Primární skupiny s diverzifikovaným roztokem byly dále rozděleny na další dvě podskupiny svítidlo 540 W a svítidlo 900 W po 4 rostlinách. Pro pokus byly vytvořeny skupiny s názvem S1 (Roztok 1, Svítidlo 540 W); S2 (Roztok 1, Svítidlo 900 W); S3 (Roztok 2, Svítidlo 540 W) a S4 (Roztok 2, Svítidlo 900 W) (Obrázek 2).



Obrázek 2: Blokové schéma Pokusu 1 s definovanými skupinami

Kultivační cyklus 2 proběhl na vzorku 16 rostlin za stejných podmínek jako u kultivačního cyklu 1 s rozdílem osmého týdnu ve fázi květu, kdy rostliny byly zalaty

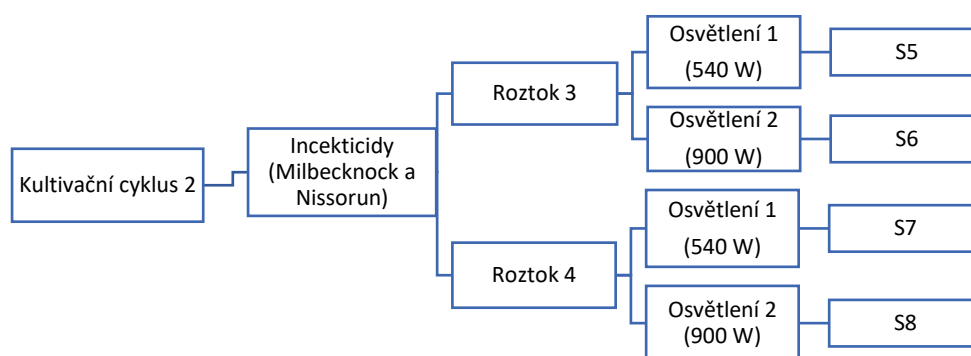
pouze vodou bez hnojiv ve stejném rozvrhu (3x týdně 900 ml). Rostliny byly rozděleny do dvou skupin na R3 (roztok 3) a R4 (roztok 4) (Tabulka 2).

Tabulka 2: Celková spotřeba živin v celém pěstebním cyklu 2 v gramech

Roztok	NO ₃	NH ₄	P	K	Ca	Mg	S	Fe	B	Cu	Zn	Mn	Mo
R3	32,98	1,59	3,23	23,42	26,95	6,69	2,76	0,36	0,31	0,01	0,03	0,10	0,18
R4	27,92	1,46	25,35	51,00	25,24	12,95	15,16	0,51	0,04	0,05	0,05	0,22	0,01

R3= roztok 3, R4= roztok 4, hodnoty uváděné v gramech

Dále byly k ošetření rostlin použity insekticidy Milbecknock 3 g (milbemectin) a Nissorun 2 g (hexythiazox). Celkový objem roztoku byl 1 l. Pro kultivační pokus 2 byly vytvořeny skupiny s názvem S5 (Roztok 3, Svítidlo 540 W); S6 (Roztok 3, Svítidlo 900 W); S7 (Roztok 4, Svítidlo 540 W) a S8 (Roztok 4, Svítidlo 900 W) (Obrázek 3).



Obrázek 3: Blokové schéma pokusu 2 s definovanými skupinami

Ve vegetační fázi byla závlaha realizována manuálně pomocí odměrných válců. Poté pěstování probíhalo ve fázi květu v květináčích se systémem Autopot (obrázek 1) o objemu 11 plněných kokosovým substrátem.

Ve 3. týdnu vegetační fáze byly rostliny zkráceny, tzv. topovány, aby se na rostlině zachovalo prvních 6 terminálů.

Na přelomu druhého a třetího týdne květu byly rostlinám ostříhány slabé větve od spodní části cca do jedné třetiny, u kterých byl předpoklad nedostatečně kvalitního květenství. Výnosy veškerých skupin jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3: Výnosy jednotlivých skupin, součet 4 rostlin ve skupině (v sušině)

Skupina	Výnos
S1	266 g
S2	460 g
S3	338 g
S4	448 g
S5	463 g
S6	757 g
S7	349 g
S8	731 g

S1= Roztok 1, Svítidlo 540 W; S2= Roztok 1, Svítidlo 900 W; S3= Roztok 2, Svítidlo 540 W; S4= Roztok 2, Svítidlo 900 W; S5= Roztok 3, Svítidlo 540 W; S6= Roztok 3, Svítidlo 900 W; S7= Roztok 4, Svítidlo 540 W; S8= Roztok 4, Svítidlo 900 W

5.2.2 Hodnocení kvality primárních dat pro LCI

Mezinárodní organizace pro normalizaci (ISO) definuje kvalitu dat jako charakteristiky dat, které jsou schopny uspokojit stanovené požadavky (ISO, 2006). Indikátory kvality dat (IKD) jsou strukturovány tak, aby umožnily dosažení cíle a rozsahu studie.

Hodnocení kvality dat (*Data quality assessment*) bylo v této práci provedeno v souladu s *Guidance on Data Quality Assessment for Life Cycle Inventory Data* (Edelen a Ingwersen, 2016), jenž identifikuje pět IKD: Spolehlivost toku, časová korelace, geografická korelace, technologická korelace a metody sběru dat, které byly hodnoceny na škále od 1 do 5 (1 znamená nejvyšší kvalitu) (Tabulka 4)

Tabulka 4: Hodnocení kvality primárních dat pro LCI

Indikátor kvality dat	Spolehlivost toku	Časová korelace	Geografická korelace	Technologická korelace	Metody sběru dat
Spotřeba vody	1	1	1	1	1
Kokosové vlákno	1	1	1	1	1
Roční amortizace květináčů	1	1	1	1	1
Dusičnaté hnojivo	1	1	1	1	1
Amonné hnojivo	1	1	1	1	1
Fosforečné hnojivo	1	1	1	1	1
Draselné hnojivo	1	1	1	1	1
Vápenaté hnojivo	1	1	1	1	1
Hořečnaté hnojivo	1	1	1	1	1
Sířičité hnojivo	1	1	1	1	1
Mikronutrientové hnojivo	1	1	1	1	1
Insekticidní ochrana	1	1	1	1	1
Spotřeba elektřiny – světlo	2	1	2	1	1
Spotřeba elektřiny – větráky/ventilace	2	1	2	1	1
Spotřeba elektřiny – vysoušeče	2	1	2	1	1

Primární data poskytnutá společností specializující se na indoor pěstování konopí

5.2.3 Sekundární data (Background data)

Dále byla použita data softwarových knihoven (tzv. background/sekundární data) odpovídající primárně evropským podmínkám. Tato data byla převzata z databáze Ecoinvent v3.9 (Wernet et al., 2016), Agri-footprint v6.0 (van Paassen et al., 2019), AGRIBALYSE® (Koch a Salou, 2016) nebo WFLDB (Nemecek et al., 2019). Veškerá inventarizovaná data jsou součástí *Life Cycle Inventory*. Veškeré vstupy a výstupy jednotlivých skupin jsou uvedeny v Tabulce 5.

Tabulka 5: Vstupy a výstupy životního cyklu skupin S1-S8

	Jednotka	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Výstupy									
Výnos sušiny	g	266	460	338	448	463	757	349	731
Emise									
Emise z insekticidní ochrany	g					0,5	0,5	0,5	0,5
Vstupy									
Zdroje									
Spotřeba vody	l	156,4	156,4	156,4	156,4	156,4	156,4	156,4	156,4
Materiály/paliva									
Kokosové vlákno	kg	31,68	31,68	31,68	31,68	31,68	31,68	31,68	31,68
Roční amortizace květináčů	p	1	1	1	1	1	1	1	1
Dusičnaté hnojivo	g	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1
Amonné hnojivo	g	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
Fosforečné hnojivo	g	4,36	4,36	34,7	34,7	3,7	3,7	29	29
Draselné hnojivo	g	16,5	16,5	36	36	14,1	14,1	30,7	30,7
Vápenaté hnojivo	g	39,4	39,4	37	37	33,7	33,7	31,5	31,5
Hořečnaté hnojivo	g	6,5	6,5	12,6	12,6	5,55	5,55	10,7	10,7
Siřičité hnojivo	g	5,01	5,01	27,2	27,2	4,14	4,14	22,7	22,7
Mikronutrientové hnojivo	g	0,58	0,58	0,51	0,51	0,50	0,50	0,44	0,44
Insekticidní ochrana	g					5	5	5	5
Elektrina/vytápění									
Spotřeba elektřiny – světlo	kWh	272,2	419	272,2	419	272,2	419	272,2	419
Spotřeba elektřiny – větráky/ventilace	kWh	157,9	157,9	157,9	157,9	141,1	141,1	141,1	141,1
Spotřeba elektřiny – vysoušeče	kWh	514,8	514,8	514,8	514,8	436,8	436,8	436,8	436,8

S1= Roztok 1, Svítidlo 540 W; S2= Roztok 1, Svítidlo 900 W; S3= Roztok 2, Svítidlo 540 W; S4= Roztok 2, Svítidlo 900 W; S5= Roztok 3, Svítidlo 540 W; S6= Roztok 3, Svítidlo 900 W; S7= Roztok 4, Svítidlo 540 W; S8= Roztok 4, Svítidlo 900 W

5.3 Posuzování dopadů na životní prostředí (*Life Cycle Impact Assessment; LCIA*)

Pro kvantifikaci dopadů na životní prostředí byla použita metoda LCA. Výsledky tohoto modelu se týkaly 9 dopadových kategorií: Globální oteplování (kg CO₂ eq), suchozemská acidifikace (kg SO₂ eq), sladkovodní eutrofizace (kg P eq), mořská eutrofizace (g N eq), suchozemská ekotoxicita (g 1,4 DB eq), sladkovodní ekotoxicita (g 1,4 DB eq), vodní stopa (m³ eq), toxicita pro člověka (kg 1,4 DB eq) a úbytek surovin (kg oil eq). Volba kategorií byla vymezena pro zemědělské LCA (Dijkman et al. 2018). Všechny kategorie dopadů byly poté pro účely vážení specifikovány do třech hlavních kategorií dopadu: (1) lidské zdraví, (2) ekosystémy, (3) zdroje.

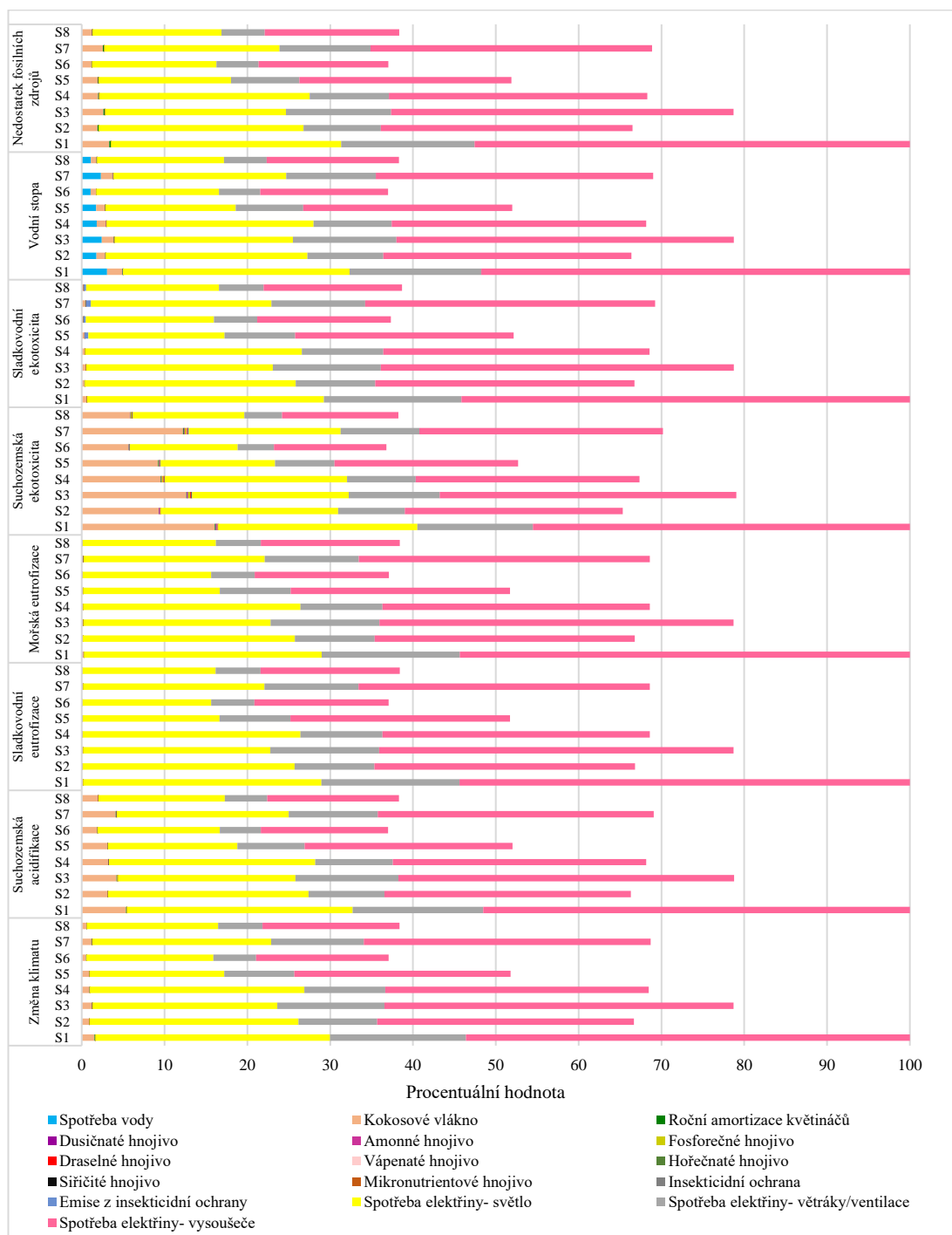
Byl využit software SimaPro 9.5.0.2 Analyst, ReCiPe 2016 Midpoint and Endpoint, Hierarchical (H) V1.05 / World (2010) H, integrovaná metoda (Huijbregts et al., 2016) a především přístup Cut-off System Model používané pro hodnocení environmentálních aspektů. Pro vyjádření dat byl použit charakterizační i normalizační přístup. Vážení dat (data weighting) bylo použito jako poslední krok pro aplikaci hodnotového úsudku v rámci výsledku modelace LCA. Ke zpracování dat byla dále použita analýza Monte Carlo (analýza nejistoty), ve které byl definován průměr, medián, směrodatná odchylka, variační koeficient, kvantily 2,5 %, 97,5 % a střední chyba průměru jednotlivých skupin (Datové soubory; Tabulka 7-14). Design indoor pokusů a související změny intenzity vstupů v rámci modelů (intenzita osvětlení, rozdíly ve vstupech živin na úrovni roztoků) byly současně uvažovány jako analýza citlivosti.

6 Výsledky a diskuse

6.1 Charakterizace dat

Charakterizace je povinný prvek LCA, při kterém se provádí přepočítání výsledků LCI na společnou jednotku indikátoru kategorie (ISO, 2006).

Graf 1: Kontribuční analýza pro dopady na životní prostředí s veškerými vstupy



Software SimaPro 9.5.0.2 Analyst, metoda ReCiPe midpoint (H), charakterizační model, výsledky vyjádřeny v procentuálním podílu, se všemi vstupy, funkční jednotka 1 kg sušiny konopného květenství, S1= Roztok 1, Svítidlo

540 W; S2= Roztok 1, Svítidlo 900 W; S3= Roztok 2, Svítidlo 540 W; S4= Roztok 2, Svítidlo 900 W; S5= Roztok 3, Svítidlo 540 W; S6= Roztok 3, Svítidlo 900 W; S7= Roztok 4, Svítidlo 540 W; S8= Roztok 4, Svítidlo 900 W

Hypotéza I. Analýza dostupných literárních zdrojů a příslušných výsledků naznačuje, že největší podíl environmentální zátěže v oblasti energetiky je spojen s vstupy elektrické energie byla podrobena analýze s cílem ověřit, zda se výsledky shodují s hypotézou. Výsledky kontribuční analýzy (Graf 1, datový soubor; Tabulka 17) jasně ukázaly, že největší vliv na environmentální zátěž mají faktory spojené se vstupy elektrické energie, především pak s osvětlením, provozem větráků/ventilace a vysoušečů. Tento závěr potvrzuje předpoklady hypotézy a poukazuje na význam optimalizace spotřeby elektrické energie pro snižování celkového environmentálního dopadu. Skupinou s největšími dopady byla ve všech kategoriích skupina S1.

V grafu 1 je patrný vliv jednotlivých vstupů na různé dopadové kategorie skupin S1 – S8 měřené v jednotkách daných kategorií na 1 kilogram (kg) sušiny konopného květenství. Skupina 1 (S1) je v tomto grafu zastoupena 100 % jako referenční skupina, což naznačuje její významný dopad na všechny sledované kategorie. S1 má nejnižší výnos, který činí 266 g, který přispěl k nejvyššímu dopadu na sledované kategorie. Následuje skupina 3 (S3) s výnosem 338 g, která má kolem 80 % dopadu S1. Skupiny 4 (S4) a 2 (S2) jsou těsně za S3 a mají o něco menší dopad než skupina 3 (S3). Skupiny 6 (S6) a 8 (S8) vykazují nejnižší dopad na sledované kategorie, což lze přičíst relativně vysokým výnosům (S6 = 757 g a S8 = 731 g), i přes aplikaci insekticidu a vyšší intenzitě osvětlení (900 W).

Pro indoorové vertikální farmy a další formy zemědělství s řízeným prostředím je energie nanejvýš důležitá (Graamans et al., 2018). Torrellas et al. (2012) zjistil, že hlavní ekologickou zátěží produkce rajčat ve skleníku v severoevropských zemích je spotřeba energie na vytápění a osvětlení. Ve výsledcích studie od Zang et al. (2017) autoři zmiňují, že ze vstupů spotřeby elektřiny, výměny žárovky a uvolněného tepla je největším přispěvatelem ve všech kategoriích zmíněná spotřeba elektřiny. Z předchozího výzkumu bylo zjištěno, že největší podíl dopadů IVF na životní prostředí pochází z energetické náročnosti systémů LED (*Light-Emitting Diode*) a topení, větrání a klimatizace; viz např. zjištění v Graamans et al. (2018). I přesto Zang et al. (2017) ve své studii uvádí, že přijetí LED osvětlení pro pěstování ve skleníku, oproti používání sodíkových výbojek, může vést k 40% snížení dopadu v kategoriích jako je globální oteplování. I přesto, že jsou výhody náhrady LED zářivek vysoké, použití

těchto zdrojů světla způsobuje o 12 % větší dopad na kategorii karcinogenity (Zhang et al., 2017)

Podle statistik Českého statistického úřadu (2023) fosilní paliva stále hrají klíčovou roli v českém energetickém mixu. Hlavními zdroji jsou uhlí a zemní plyn, které spolu tvoří většinu produkce elektřiny. Dalším významným zdrojem je jaderná energie. Vzhledem k velkému podílu emisí ze zdrojů energie jsou navíc výsledky vysoce citlivé na zdroj a následnou volbu souboru dat LCI pro elektřinu. Při provádění LCA pro indoorové systémy se doporučuje použít regionální energetický mix (Martin a Orsini, 2023; Martin a Molin, 2019). Jako příklad Martin et al. (2019, 2022) ukazují citlivost použití švédského elektrického mixu oproti severskému mixu elektřiny na environmentální výkonnost indoorových systémů, což potvrzuje významné rozdíly mezi těmito dvěma možnostmi. Nadměrná spotřeba energie při indoorovém pěstování může vést k mnoha environmentálním problémům jako je globální oteplování a zvýšené množství skleníkových plynů (Khoshnevisan et al., 2014). Faktory spotřeby energie jsou klíčovými determinanty energetické efektivity a jejich optimalizace je nezbytná pro dosažení udržitelného provozu a minimalizaci environmentálního dopadu (Al-Rubaye a Price, 2023).

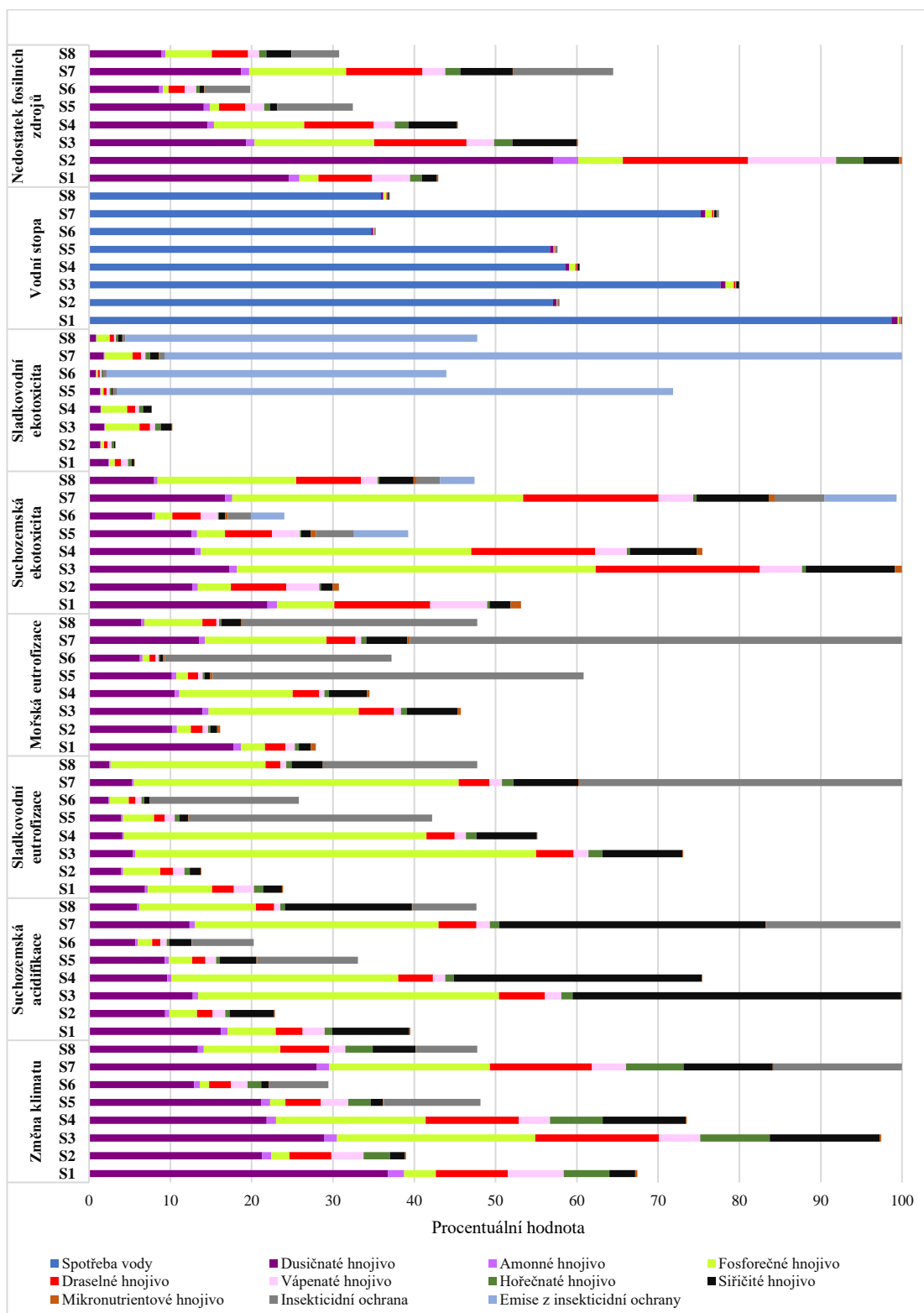
Pěstování indoor se stává stále populárnější alternativou pro zemědělce i amatérské pěstitele, avšak zvyšující se spotřeba elektrické energie představuje výzvu pro udržení environmentálních dopadů tohoto způsobu zemědělství na nízké úrovni. Jak zdůrazňuje Majeed et al. (2023), při pěstování indoor jsou nároky na elektřinu vysoké, což zvyšuje závislost na konvenčním elektrickém zdroji a zatěžuje místní energetickou infrastrukturu. Implementace vlastních obnovitelných zdrojů, jako jsou solární panely či větrné turbíny, by mohla snížit negativní dopad na distribuční síť a přispět k udržitelnějšímu provozu indoor pěstování. Taková opatření by mohla vést k ekonomické efektivitě a snížení environmentálního otisku v rámci pěstování indoor.

Na dopadovou kategorii vodní stopa se výrazně projevila spotřeba vody, což je výsledkem její nezastupitelnosti při hydroponického pěstování. Tento způsob pěstování vyžaduje velké množství vody, které je potřeba pro udržení optimálních podmínek pro růst a vývoj rostlin. Systém hydroponického pěstování umožňuje kontrolovat všechny aspekty prostředí, včetně množství závlahy, což vede k vysoké spotřebě vody ve srovnání s tradičními zemědělskými metodami, kde se často spoléhá na přirozené množství srážek.

Výsledky kontribuční analýzy odhalily, že spotřeba kokosové vlákna představuje vstup s výrazným dopadem na kategorie globální oteplování, suchozemská acidifikace, suchozemská ekotoxicita, vodní stopa a úbytek surovin. U indoorového pěstování může mít výběr substrátu významný vliv na environmentální výkonnost systému. Předchozí výzkumy ukázaly, že substráty jako perlit a rašelina mohou mít velké dopady na životní prostředí, zatímco nižší dopady na životní prostředí byly zjištěny u vedlejších produktů, jako je kokosové vlákno (Martin et al., 2019, Toboso-Chavero et al., 2021; Vinci a Rapa, 2019). Analýza potenciálního dopadu ukázala, že aktivita, která vyvolala nejvýznamnější dopad (hot spot) při pěstování kokosových ořechů, byla ve fázi hnojení (Puspaningrum et al., 2023). Je třeba také poznamenat, že vlastní vlastnosti různých substrátů mohou také ovlivnit jejich způsoby nakládání s odpady. Pro anorganické substráty může být jedinou možností skládkování nebo spalování, zatímco pro jiné materiály na biologické bázi lze použít kompostování nebo recyklaci. To může mít také vliv na nakládání s odpady a mělo by být zohledněno při návrhu systému, např. podporovat více uzavřených nebo kruhových systémů (Martin a Orsini, 2023).

V rámci zlepšení vizualizace a pochopení výsledků byl vytvořen kontribuční graf (Graf 2) z charakterizačního modelu (Datový soubor, Tabulka 18), který vyloučil vstupy elektřiny, kokosového vlákna a plastových květináčů. Tímto krokem se podařilo lépe identifikovat a porozumět vlivům a dopadům ostatních vstupů na sledované kategorie.

Graf 2: Kontribuční analýza pro dopady na životní prostředí bez vybraných vstupů



Software SimaPro 9.5.0.2 Analyst, metoda ReCiPe midpoint (H), charakterizační model, výsledky vyjádřeny v procentuálním podílu, bez vstupů elektřiny, plastu a kokosového vlákna, funkční jednotka 1 kg sušiny konopného květenství, S1= Roztok 1, Svítidlo 540 W; S2= Roztok 1, Svítidlo 900 W; S3= Roztok 2, Svítidlo 540 W; S4= Roztok 2, Svítidlo 900 W; S5= Roztok 3, Svítidlo 540 W; S6= Roztok 3, Svítidlo 900 W; S7= Roztok 4, Svítidlo 540 W; S8= Roztok 4, Svítidlo 900 W

Změna klimatu se v současné době stala jedním z nejnaléhavějších globálních problémů, který vyžaduje okamžitou pozornost a řešení. Její dopady jsou stále patrnější a zahrnují extrémní výkyvy počasí, ztrátu biodiverzity a další negativní jevy. Změna klimatu je úzce spojena s konceptem uhlíkové stopy, která měří celkové množství skleníkových plynů, zejména oxidu uhličitého, uvolněných do atmosféry při výrobě, používání a likvidaci produktu nebo služby. Snížení uhlíkové stopy je jedním z klíčových kroků k omezení globálního oteplování a zmírnění dopadů změny klimatu. Environmentální dopady indoorového pěstování na globální oteplování jsou značné, Summers et al. (2021) ve své studii o indoorovém pěstování konopí uvádí, že emise skleníkových plynů se pohybovali od 2,283 do 5,184 kg CO₂ eq na výrobu 1 kg květin. Zatímco v této studii byly zjištěny hodnoty od 0,233 do 0,79 kg CO₂ eq na kg sušeného květenství.

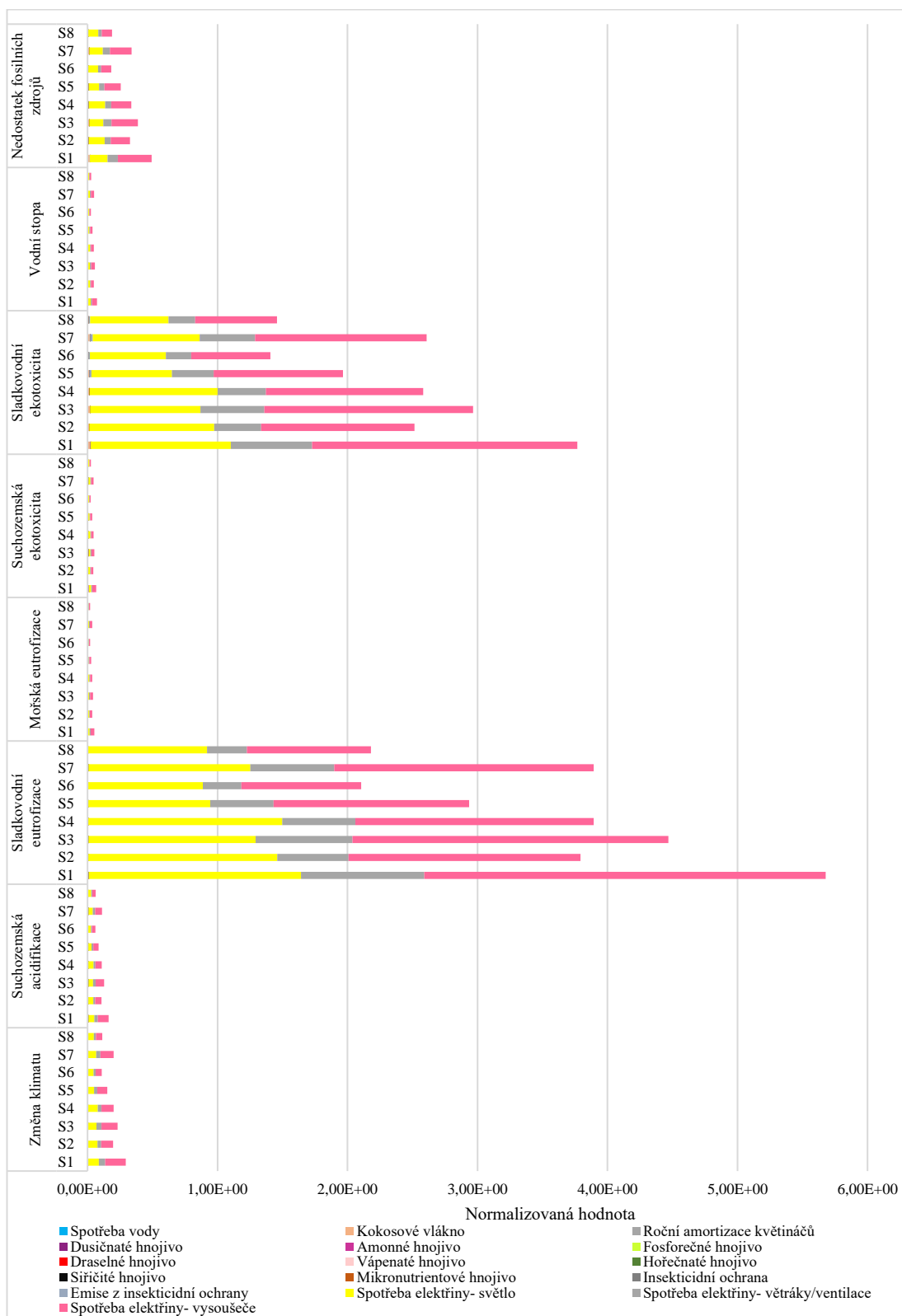
Z výsledků (Graf 2) vyplývá, že nejvýznamnější vstupy, které mají dopad na kategorii globální oteplování, jsou hnojiva, jejich výroba a užívání – převážně dusičnanová a fosforečná. Torrellas et al. (2012) ve své studii uvádí, že emise amoniaku a dusičnanů z dusíkatých hnojiv významně přispívají k acidifikaci a eutrofizaci. Při aplikaci roztoku 2 a roztoku 4 (S3, S4, S7, S8) s vyššími dávkami fosforu se procentuální hodnota skupiny výrazně zvýší. Bylo zjištěno, že pěstování plodin a jejich zpracování mají zvláštní vliv z hlediska dopadů změny klimatu. Je to způsobeno především vysokou spotřebou hnojiv a elektřiny při pěstování a zpracování plodin (Wu et al., 2016). Lidské aktivity však výrazně zintenzivnily přirozený cyklus P, což má za následek vážné environmentální problémy (Smil, 2000). Skupinou, která má největší vliv na dopadovou kategorii globálního oteplování je S7, především díky nízkému výnosu (349 g) a použití insekticidní ochrany.

Aplikace insekticidní ochrany významně ovlivnila dopadové kategorie sladkovodní eutrofizace (P eq) a mořské eutrofizace (N eq). Zvláště u vstupu insekticidní ochrany ve skupině 7 (roztok 4, osvětlení 540 W) byly zaznamenány vysoké dopady v oblasti mořské eutrofizace, přičemž tento faktor představoval více než 60 % celkového vlivu. Aktivní složky pesticidů přispívají k různým dopadům na životní prostředí v závislosti na jejich složkách, množství a způsobu uvolňování. Tsolidis (2022) ve své studii uvádí, že aplikace pesticidů měla velký vliv na sladkovodní eutrofizaci. Používání hnojiv má dalekosáhlé důsledky, které zahrnují degradaci půdy, znečištění vodních zdrojů a emise skleníkových plynů (Skowrońska a Filipek, 2014).

6.2 Normalizace dat

Normalizace dat v LCA je volitelný prvek, který přiřazuje váhy různým environmentálním indikátorům, aby bylo možné lépe porovnat jejich význam v rámci celkového vlivu pomocí převádění výsledků indikátoru tím, že ho rozděluje podle vybrané referenční hodnoty. Jedná se o výpočet velikosti indikátorů kategorie souvisejících s některými referenčními informacemi, umožňující kontrolu konzistence. Normalizované hodnoty pomáhají identifikovat hotspoty pro zlepšení environmentálního výkonu produktu či služby (Kim et al., 2013; ISO, 2006).

Graf 3: Analýza LCA pro dopady na životní prostředí, normalizační model, s veškerými vstupy



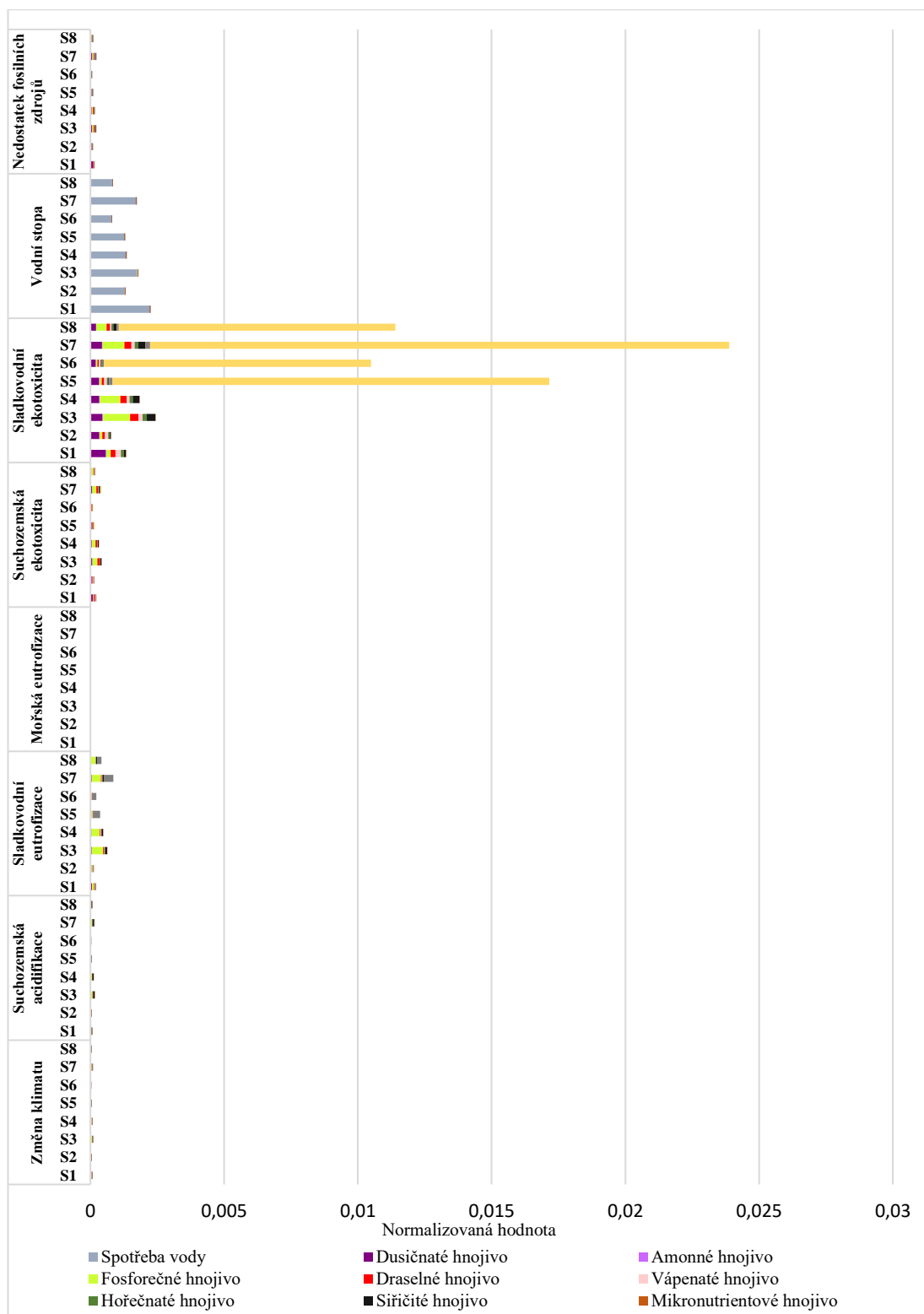
Software SimaPro 9.5.0.2 Analyst, metoda ReCiPe midpoint (H), normalizační model, výsledky vyjádřeny pomocí normalizované hodnoty, bez vstupů elektřiny, plastu a kokosového vlákna, funkční jednotka 1 kg sušiny konopného květenství, S1= Roztok 1, Svítidlo 540 W; S2= Roztok 1, Svítidlo 900 W; S3= Roztok 2, Svítidlo 540 W; S4= Roztok 2, Svítidlo 900 W; S5= Roztok 3, Svítidlo 540 W; S6= Roztok 3, Svítidlo 900 W; S7= Roztok 4, Svítidlo 540 W; S8= Roztok 4, Svítidlo 900 W

Z výsledků (Graf 3) normalizačního modelu (datový soubor; Tabulka 15) lze vyčíslit zřetelné vlivy vstupů elektřiny a environmentální toky, stojící za její výrobou (elektřina – větráky/ventilace, elektřina – světlo, elektřina – vysoušeče), plastu (roční amortizace květináčů) a kokosového vlákna na celkový environmentální dopad zkoumaného procesu. Nejvíce jsou zasaženy kategorie dopadu sladkovodní eutrofizace a sladkovodní ekotoxicita, v menší míře též změna klimatu a úbytek surovin. Tato identifikace klíčových vstupů na dopadové kategorie představuje důležitý krok v optimalizaci environmentální udržitelnosti. Výsledky odpovídají síle a množství jednotlivých vstupů, ale také objemu získané sušiny (výnosu)

Spotřeba elektřiny má ve všech skupinách nejvýznamnější vliv na sladkovodní eutrofizaci a ekotoxicitu. Hlavním faktorem ovlivňujícím tuto situaci je struktura energetického mixu. V České republice je tento mix z velké části závislý na uhlí, především na hnědém uhlí. Těžba, zpracování a spalování hnědého uhlí má výrazný negativní dopad na životní prostředí. Tímto způsobem související emise polutantů ovlivňují mnoho dopadových kategorií. Zejména nakládání s hlušinou, tedy materiálem, který je vytěžen během hlubinné těžby jako nezužitkovatelný materiál, jenž se většinou ukládá poblíž těžební oblasti v podobě hald po těžbě, představuje silný zdroj dopadu na sladkovodní eutrofizaci a ekotoxicitu (Wernet et al., 2016). Mnoho průmyslových procesů zahrnuje použití chemických látek, které mohou být toxické pro životní prostředí. Zejména emise uhelných elektráren ve formě oxidů síry (SO_x), oxidů dusíku (NO_x), těžkých kovů a další škodlivin a odpadních vod vypouštěných do okolí uhelných elektráren mohou velmi negativně ovlivňovat sladkovodní prostředí (Rafidah et al., 2012). Průmyslové procesy spojené s výrobou elektřiny mohou také produkovat emise dusíku a fosforu do vodních zdrojů, což může zvyšovat jejich obsah v ekosystémech, tím narušovat jejich rovnováhu a mohou vést k eutrofizaci. Také budování přehrad a vodních nádrží s cílem výroby elektřiny může způsobovat proces sedimentace a změnu proudění vody vedoucí k eutrofizaci (Arthington et al., 2006).

Pro lepší porozumění rozložení dopadů jednotlivých vstupů s opomenutím vstupů elektřiny, kokosového vlákna a plastových květináčů byl vytvořen dodatečný graf (Graf 4) normalizačního modelu (datový soubor; Tabulka 16).

Graf 4: Analýza LCA pro dopady na životní prostředí, normalizační model, bez vybraných vstupů



Software SimaPro 9.5.0.2 Analyst, metoda ReCiPe midpoint (H), normalizační model, výsledky vyjádřeny pomocí normalizované hodnoty, bez vstupů elektřiny, plastu a kokosového vlákna, funkční jednotka 1 kg sušiny koprného květenství, S1= Roztok 1, Svítidlo 540 W; S2= Roztok 1, Svítidlo 900 W; S3= Roztok 2, Svítidlo 540 W; S4= Roztok 2, Svítidlo 900 W; S5= Roztok 3, Svítidlo 540 W; S6= Roztok 3, Svítidlo 900 W; S7= Roztok 4, Svítidlo 540 W; S8= Roztok 4, Svítidlo 900 W

Z výsledků Grafu 4 vyplývá, že nejvíce postiženou kategorií ve skupinách, ve kterých proběhla aplikace insekticidu (S5-S8), je sladkovodní ekotoxicita, přičemž hlavním zdrojem tohoto negativního impaktu jsou emise z insekticidů související s jejich výrobou a aplikací. Toto zjištění zdůrazňuje významné dopady insekticidů na ekologii sladkovodních prostředí. Stehle a Schulz (2015) ve své práci zmiňují, že insekticidy jsou vysoce aktivní látky, které mohou ohrozit ekologickou integritu nejen vodních, ale i suchozemských ekosystémů. Brock et al. (2000) udává, že i insekticidy aplikované na rostliny pěstované indoor mohou mít nepřímé dopady na sladkovodní ekosystémy prostřednictvím kontaminace odpadních vod. Když jsou insekticidy použity na domácí nebo komerčně pěstované rostliny, jako jsou květiny, zelenina a léčivé rostliny, mohou se tyto chemikálie dostat do odpadních vod prostřednictvím odtokových systémů nebo prosaku z půdy. Účinky insekticidu mohou být jak akutní (krátkodobé) – například způsobení hromadného úhynu ryb po jediné aplikaci insekticidů – tak chronické (dlouhodobé) – například snížení reprodukční úspěšnosti vodních bezobratlých a obratlovců (Brooks et al., 2003).

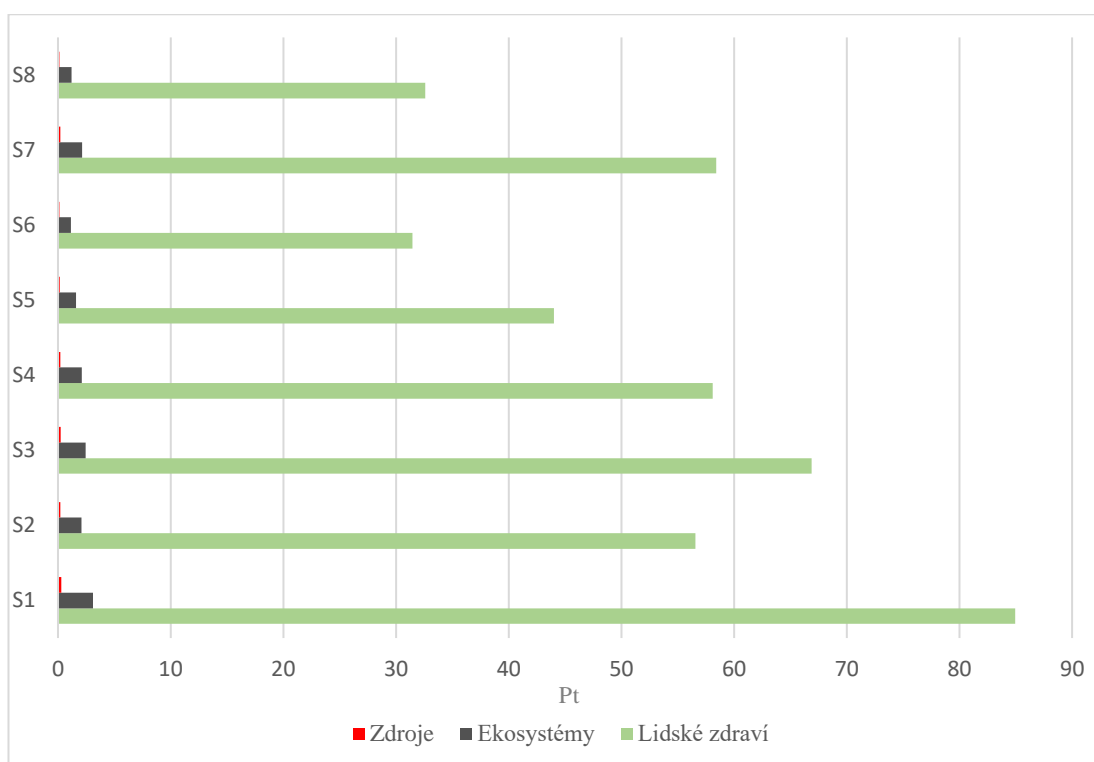
Ve skupinách, ve kterých byly použity roztoky 2 a 4 (S3, S4, S7, S8) obsahující větší množství fosforečného hnojiva než roztoky 1 a 3, je viditelný vliv fosforečného hnojiva především na dopadové kategorie sladkovodní eutrofizace, suchozemská ekotoxicita a sladkovodní ekotoxicita. Fosfor, který je často obsažen v hnojivech ve formě fosforečných sloučenin, je jedním z hlavních živin, které mohou přispívat k eutrofizaci sladkých vodních prostředí (Smith et al., 1999). Při aplikaci fosforečných hnojiv při indoorovém pěstování může dojít k úniku fosforu do okolních vodních toků a následnému zvýšení koncentrace živin ve vodě. To může vést k nadměrnému růstu řas a vodních rostlin, snížení obsahu kyslíku ve vodě a narušení rovnováhy vodního prostředí (Withers a Jarvie, 2008).

Hypotéza II. předpokládala, že nejvíce dotčené kategorie dopadu budou spojeny s ekotoxicitou nebo toxicitou. Nicméně výsledky ukázaly, že nejvíce zasaženými kategoriemi byla nejen sladkovodní ekotoxicita ale i sladkovodní eutrofizace. Toto zjištění naznačuje, že existují další kategorie, které mohou být dotčeny, a které nebyly zahrnuty v hypotéze.

6.3 Vážení

Vážení v analýze životního cyklu je volitelný prvek LCA, který může vylepšit přesnost a význam výsledků. Provádí se procesem převádění výsledků indikátorů různých kategorií dopadu (poškození lidského zdraví, ekosystémů a zdrojů) za použití číselných faktorů a přiřazení vah jednotlivým kategoriím podle jejich důležitosti či přínosu. V této práci byly kategorie poškození zahrnuty pro vyhodnocení celkového dopadu (ISO, 2006).

Graf 5: Vážení dopadů veškerých vstupů



Software SimaPro 9.5.0.2 Analyst, indikátor vážení, výsledky vyjádřeny v jednotce Pt, se všemi vstupy, funkční jednotka 1 kg sušiny konopného květenství, S1= Roztok 1, Svítidlo 540 W; S2= Roztok 1, Svítidlo 900 W; S3= Roztok 2, Svítidlo 540 W; S4= Roztok 2, Svítidlo 900 W; S5= Roztok 3, Svítidlo 540 W; S6= Roztok 3, Svítidlo 900 W; S7= Roztok 4, Svítidlo 540 W; S8= Roztok 4, Svítidlo 900 W

Z grafu vážení všech skupin se všemi vstupy (Graf 5) vyplývá, že největší dopad na životní prostředí je spojen s kategorií poškození lidského zdraví. Tento výsledek je způsobem důležitosti přemýšlení o lidském zdraví jako prioritním aspektu při posuzování environmentálních dopadů.

Dále lze z grafu vyčíst, že skupina 1 má největší dopad, což naznačuje její vysokou úroveň environmentální zátěže. Následuje skupina 3 s podobně významným do-

padem. Poté následují skupiny 7, 4 a 2, které také vykazují významné negativní dopady, i když na mírnější úrovni než předchozí skupiny. Naopak skupiny 5 a 8 vykazují nízké poškození, což může naznačovat nižší environmentální dopad. Nejnižší úroveň poškození je pozorována u skupiny 6, i přes použití insekticidu, což ukazuje na relativně pozitivní environmentální dopad této skupiny v porovnání s ostatními.

Dle grafu vážení (Graf 5) zkoumané pěstitelské systémy nemají téměř žádné dopady na kategorii poškození zdrojů. Jedním z hlavních faktorů může být použití zdrojů s nízkými environmentálními dopady.

6.4 Návrhy a implementace řešení

Jedním z cílů práce bylo představení návrhu opatření vedoucích k redukci environmentálního zatížení posuzovaného systému, který bude moci být použit pro motivaci nových i stávajících indoorových pěstitelů při zohlednění environmentálních faktorů společně s úrovní výnosu a celkovou ekonomickou bilancí. Většina současných vertikálních zemědělských systémů spoléhá na dovážení surovin a energie z jiných regionů. Využívání recyklovaných materiálů a obnovitelných zdrojů energie by v budoucnosti mohlo snížit environmentální dopady. Tím se stávají udržitelná řešení pro integrované potravinové, vodní, energetické a dopravní systémy stále důležitějšími. (Specht et al., 2014; Martin et al., 2019, 2022).

Vzhledem k tomu že poptávka po energii je jednou z nejvýznamnějších ovlivňujících vstupů na životní prostředí (Golzar et al., 2019), indooroví pěstitelé by měli klást důraz na využívání obnovitelných zdrojů energie a minimalizaci spotřeby energie, neboť tyto faktory vykazaly nejvýraznější dopady v rámci posuzovaného systému. Změna v energetickém mixu a účinnější využití energie mohou výrazně snížit environmentální následky indoorového zemědělství a přispět k celkové udržitelnosti tohoto odvětví. Přejít k obnovitelným zdrojům energie jako solární, větrné či vodní energii a implementace energeticky úsporných technologií mohou zásadně snížit emise skleníkových plynů a další negativní vlivy na životní prostředí (Majeed et al., 2023).

Pěstitelé by měli klást důraz na množství použitých hnojiv, zejména s ohledem na výnos plodiny. Důsledné sledování stavu rostlin a přizpůsobení hnojivých dávek podle potřeb rostlin a obsahu živin v půdě, či živném roztoku a úrovně výnosu může minimalizovat nadměrné používání hnojiv a snížit riziko negativních dopadů na životní prostředí. Torrellas et al. (2012) doporučuje úpravu dávek hnojiv a uzavřené zavlažo-

vací systémy pro snížení ekologické zátěže. Tímto způsobem pěstitelé nejenže optimalizují výnos a kvalitu plodin, ale také přispívají k udržitelnějšímu a ekologičtějším zemědělství.

Ve studii bylo zjištěno, že použití insekticidů má významný dopad na široké spektrum kategorií. Nesprávné používání pesticidů může způsobit znečištění životního prostředí, což zahrnuje kontaminaci půdy, vody a ovzduší, stejně jako kontaminaci potravin (Tudi et al., 2021). Proto je vhodné zvážit jejich samotné použití a preferovat šetrnější alternativy s nižším dopadem na životní prostředí. Významný krok v udržitelnosti indoor pěstování je též vhodná prevence rostlin.

Závěr

Cílem práce bylo posoudit environmentální dopady indoorových pěstitelských systémů konopí pomocí metody hodnocení životního cyklu (*Life Cycle Assessment*).

Dále byla v práci provedena kontribuční analýza charakterizačního modelu, díky které bylo možno identifikovat hot spoty, které ve všech skupinách byly tvořeny především vstupem elektřiny a environmentálními toky, které stojí za její výrobou a byly tak nejvýznamnějšími přispěvateli ke všem sledovaným dopadovým kategoriím. Bylo zjištěno, že vstupy elektřiny hrají klíčovou roli ve všech sledovaných dopadových kategoriích s účastí přesahující 30 % u všech sledovaných skupin. V rámci výsledků byla zaznamenána nejvyšší míra vlivu ze strany skupiny 1 (roztok 1, osvětlení 540 W), především díky nízkému výnosu (266 g sušiny ze 4 rostlin).

V rámci práce byla provedena normalizace, z jejíž výsledků vyplynulo, že nejvíce dotčené kategorie byly sladkovodní ekotoxicita a sladkovodní eutrofizace, zejména díky vstupům elektřiny, plastu a kokosového vlákna.

V práci byly identifikovány hlavní vstupy ovlivňující environmentální dopady a byly navrženy konkrétní řešení zaměřené především na možnost využívání obnovitelné energie, optimalizaci spotřeby elektřiny, hnojiv a pesticidů k redukci environmentálních dopadů

Práce reflektuje dosažené cíle analýzy životního cyklu konopí pěstovaného v indoorových systémech. Je důležité zdůraznit, že i přes dosažené výsledky existují určitá omezení jako například omezené množství dostupných dat nebo specifické podmínky provozu. Pro budoucí výzkum by bylo užitečné zaměřit se na detailnější analýzu specifických vlivů různých typů hnojiv a pesticidů na environmentální výkonnost indoorových pěstitelských systémů. Tato práce poskytuje možnost pro další studie v oblasti udržitelného zemědělství a optimalizace indoorových pěstitelských metod.

Seznam použité literatury

Odborná literatura

1. Al-Kodmany, K. (2018). The vertical farm: A review of developments and implications for the vertical city. *Buildings*, 8(2), 24.
 2. Al-Rubaye, S. A., & Price, E. C. (2023). The Economic Impacts of Using Renewable Energy Technologies for Irrigation Water Pumping and Nanoparticle Fertilizers on Agri-Food Production in Iraq. *Sustainability*, 15(6), 5478.
 3. Arthington, A. H., Bunn, S. E., Poff, N. L., & Naiman, R. J. (2006). The challenge of providing environmental flow rules to sustain river ecosystems. *Ecological Applications*, 16(4), 1311-1318.
 4. Arvidsson, R., & Ciroth, A. (2021). Introduction to “life cycle inventory analysis”. *Life Cycle Inventory Analysis: Methods and Data*, 1-14.
 5. Arzoumanidis, I., D’Eusanio, M., Raggi, A., Petti, L. (2020). Functional Unit Definition Criteria in Life Cycle Assessment and Social Life Cycle Assessment: A Discussion. In: Traverso, M., Petti, L., Zamagni, A. (eds) *Perspectives on Social LCA*. SpringerBriefs in Environmental Science. Springer, Cham.
 6. Avgoustaki, D. D., & Xydis, G. (2020). Indoor vertical farming in the urban nexus context: Business growth and resource savings. *Sustainability*, 12(5), 1965.
 7. Azapagic, A. (1999). Life cycle assessment and its application to process selection, design and optimisation. *Chemical engineering journal*, 73(1), 1-21.
 8. Baille, A. (2001). *Acta Horticulturae* 2001, 559, 161-170
 9. Baumann, H., & Tillman, A. M. (2004). *The hitch hiker’s guide to LCA*.
 10. Beacham, A. M., Vickers, L. H., & Monaghan, J. M. (2019). Vertical farming: a summary of approaches to growing skywards. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 94(3), 277-283.
 11. Benke, K., & Tomkins, B. (2017). Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 13(1), 13-26.
 12. Brentrup, F., Küsters, J., Kuhlmann, H., & Lammel, J. (2004). Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology: I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. *European Journal of Agronomy*, 20(3), 247-264.
-

-
13. Brock, T. C. M., Van Wijngaarden, R. P. A., & Van Geest, G. J. (2000). Ecological risks of pesticides in freshwater ecosystems; Part 2: Insecticides (No. 89). Alterra.
 14. Brooks, B. W., Foran, C. M., Richards, S. M., Weston, J., Turner, P. K., Stanley, J. K., ... & Solomon, K. R. (2003). Aquatic ecotoxicology of fluoxetine. *Toxicology Letters*, 142(3), 169-183.
 15. Cichocki, J., von Cossel, M., & Winkler, B. (2022). Techno-Economic Assessment of an Office-Based Indoor Farming Unit. *Agronomy*, 12(12), 3182.
 16. Consoli, F. (1993). Guidelines for life-cycle assessment. A code of practice.
 17. Curran, M. A. (2017). Overview of goal and scope definition in life cycle assessment (pp. 1-62). Springer Netherlands.
 18. Curran, M., A., (Ed.). (1996). The history of LCA, McGraw-Hill, New York, USA (1996), pp. 1.1-1.9
 19. Dale, V. H., Polasky, S. (2007). Measures of the effects of agricultural practices on ecosystem services. *Ecological economics*, 64(2), 286-296.
 20. Daneshgar, S., Callegari, A., Capodaglio, A. G., & Vaccari, D. (2018). The potential phosphorus crisis: resource conservation and possible escape technologies: a review. *Resources*, 7(2), 37.
 21. De Clercq, M., Vats, A., & Biel, A. (2018). Agriculture 4.0: The future of farming technology. *Proceedings of the world government summit, Dubai, UAE*, 11-13.
 22. Desmidt, E., Ghyselbrecht, K., Zhang, Y., Pinoy, L., Van der Bruggen, B., Verstraete, W., ... & Meesschaert, B. (2015). Global phosphorus scarcity and full-scale P-recovery techniques: a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45(4), 336-384.
 23. Despommier, D. (2010). *The vertical farm: feeding the world in the 21st century*. Macmillan.
 24. Dijkman TJ, Basset-Mens C, Antón A, Núñez M (2018) LCA of food and agriculture. *Life Cycle Assessment*. Springer, Cham, pp 723–754.
 25. Eckert, H., Breitschuh, G., & Sauerbeck, D. (1999). Kriterien einer umweltverträglichen Landbewirtschaftung (KUL)-ein Verfahren zur ökologischen Bewertung von Landwirtschaftsbetrieben (Criteria of Environmentally friendly land use (KUL)-a method for the environmental evaluation of farms). *Agriculture Biotechnology Research* 52: 57-76. Persian with English Summary.
-

-
26. Edelen, A., & Ingwersen, W. W. (2016). Guidance on Data Quality Assessment for Life Cycle Inventory Data. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-16/096.
 27. Gashgari, R., Alharbi, K., Mughrbil, K., Jan, A., & Glolam, A. (2018). Comparison between growing plants in hydroponic system and soil based system. In *Proceedings of the 4th World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering* (Vol. 18, pp. 1-7). Madrid, Spain: ICMIE.
 28. Gasol, C. M., Salvia, J., Serra, J., Antón, A., Sevigne, E., Rieradevall, J., & Garrell, X. (2012). A life cycle assessment of biodiesel production from winter rape grown in Southern Europe. *Biomass and Bioenergy*, 40, 71-81.
 29. Glasson, J., & Therivel, R. (2013). Introduction to environmental impact assessment. Routledge.
 30. Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Burnell, G. M. (2019). Aquaponics food production systems: combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future (p. 619). Springer Nature.
 31. Golzar, F., Heeren, N., Hellweg, S., & Roshandel, R. (2019). A comparative study on the environmental impact of greenhouses: A probabilistic approach. *Science of the total environment*, 675, 560-569.
 32. Graamans, L., Baeza, E., Van Den Dobbelsteen, A., Tsafaras, I., & Stanghellini, C. (2018). Plant factories versus greenhouses: Comparison of resource use efficiency. *Agricultural Systems*, 160, 31-43.
 33. Guinée, J. B. (Ed.). (2002). Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards (Vol. 7). Springer Science & Business Media.
 34. Halpern, B. S., Frazier, M., Afflerbach, J., Lowndes, J. S., Micheli, F., O'Hara, C., ... & Selkoe, K. A. (2019). Recent pace of change in human impact on the world's ocean. *Scientific reports*, 9(1), 11609.
 35. Hati, A. J., & Singh, R. R. (2021). Smart indoor farms: leveraging technological advancements to power a sustainable agricultural revolution. *AgriEngineering*, 3(4), 728-767.
 36. Hertwich, E. G., & Hammitt, J. K. (2001). A decision-analytic framework for impact assessment part I: LCA and decision analysis. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 6, 5-12.
-

-
37. Huijbregts, M. A., Steinmann, Z. J., Elshout, P. M., Stam, G., Verones, F., Vieira, M. D. M., Hollander, A., Zijp, M. & van Zelm, R. (2016). ReCiPe 2016: A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. Report I: Characterization. RIVM Report 2016-0104.
 38. Chen, C. H., Jeng, S. Y., & Lin, C. J. (2021). Fuzzy logic controller for automating electrical conductivity and pH in hydroponic cultivation. *Applied Sciences*, 12(1), 405.
 39. Chen, J., Yang, J., Zhao, J., Xu, F., Shen, Z., & Zhang, L. (2016). Energy demand forecasting of the greenhouses using nonlinear models based on model optimized prediction method. *Neurocomputing*, 174, 1087-1100.
 40. Christensen, B., Brentrup, F., Six, L., Pallière, C., & Hoxha, A. (2014). Assessing the Carbon Footprint of fertilizers at production and full life cycle. International Fertiliser Society. In Proceedings 751, Paper presented to the International Fertiliser Society at a Conference in London, UK, on 3rd July (Vol. 90).
 41. ISO 14040 (2006a) Environmental management–Life cycle assessment–Principles and framework. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland
 42. ISO 14044 (2006b) Environmental management–Life cycle assessment–Requirements and guidelines; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland
 43. Jain, S., Kore, D. S., GK, K., Mohapatra, A., Baksh, H., Kumar, V., ... & Haokip, S. W. (2023). A Comprehensive Review on Protected Cultivation of Horticultural Crops: Present Status and Future Prospects. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(11), 3521-3531.
 44. Jones Jr, J. B. (1982). Hydroponics: its history and use in plant nutrition studies. *Journal of plant Nutrition*, 5(8), 1003-1030.
 45. Khoshnevisan, B., Shariati, H. M., Rafiee, S., & Mousazadeh, H. (2014). Comparison of energy consumption and GHG emissions of open field and greenhouse strawberry production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 316-324.
 46. Kim, J., Yang, Y., Bae, J., & Suh, S. (2013). The importance of normalization references in interpreting life cycle assessment results. *Journal of Industrial Ecology*, 17(3), 385-395.
 47. Klöpffer, W. (Ed.). (2014). Background and future prospects in life cycle assessment. Springer Science & Business Media.
-

-
48. Koch P. and Salou T. 2016. AGRIBALYSE®: Rapport Méthodologique – Version 1.3. November 2016. Ed ADEME. Angers. France. 335 p.
 49. Lages Barbosa, G., Almeida Gadelha, F. D., Kublik, N., Proctor, A., Reichelm, L., Weissinger, E., ... & Halden, R. U. (2015). Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. conventional agricultural methods. *International journal of environmental research and public health*, 12(6), 6879-6891.
 50. Laurent, A., Weidema, B. P., Bare, J., Liao, X., Maia de Souza, D., Pizzol, M., ... & Verones, F. (2020). Methodological review and detailed guidance for the life cycle interpretation phase. *Journal of Industrial Ecology*, 24(5), 986-1003.
 51. Lee, J. Y., Rahman, A., Azam, H., Kim, H. S., & Kwon, M. J. (2017). Characterizing nutrient uptake kinetics for efficient crop production during *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* Alef. growth in a closed indoor hydroponic system. *PloS one*, 12(5), e0177041.
 52. Lee, K. H., Noh, J., & Khim, J. S. (2020). The Blue Economy and the United Nations' sustainable development goals: Challenges and opportunities. *Environment international*, 137, 105528.
 53. Liu, W., Li, F., & Li, Y. (2020). Development and Future Trends of Internet of Things. In *Cyber Security Intelligence and Analytics* (pp. 648-656). Springer International Publishing.
 54. M. Samangoei, P. SaSSi and A. Iack, (2016). Soil-less systems vs. soil-based systems for cultivating edible plants on buildings in relation to the contribution towards sustainable cities. *Future of Food: Journal on Food, Agriculture and Society*, vol. 4, no. 2, pp. 24-39.
 55. M. Sardare and S. Admane, (2013). A Review on Plant without Soil-Hydroponics. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 2, no. 3, pp. 299-304.
 56. Magagnini, G., Grassi, G., & Kotiranta, S. (2018). The effect of light spectrum on the morphology and cannabinoid content of *Cannabis sativa* L. *Medical Cannabis and Cannabinoids*, 1(1), 19-27.
 57. Majeed, Y., Khan, M. U., Waseem, M., Zahid, U., Mahmood, F., Majeed, F., ... & Raza, A. (2023). Renewable energy as an alternative source for energy management in agriculture. *Energy Reports*, 10, 344-359.
-

-
58. Martin, M., & Molin, E. (2019). Environmental assessment of an urban vertical hydroponic farming system in Sweden. *Sustainability*, 11(15), 4124.
 59. Martin, M., & Orsini, F. (2023). Life cycle assessment of indoor vertical farms.
 60. Martin, M., Poulidikidou, S. and Molin, E. (2019). Exploring the environmental performance of urban symbiosis for vertical hydroponic farming. *Sustainability* 11(23), 6724.
 61. Martin, M., Weidner, T., & Gullström, C. (2022). Estimating the potential of building integration and regional synergies to improve the environmental performance of urban vertical farming. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 849304.
 62. McKeon-Bennett, M. M., & Hodkinson, T. R. (2021). Sphagnum moss as a novel growth medium in sustainable indoor agriculture systems. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 22, 100269.
 63. Miller, S. A., Landis, A. E., & Theis, T. L. (2006). Use of Monte Carlo analysis to characterize nitrogen fluxes in agroecosystems. *Environmental science & technology*, 40(7), 2324-2332.
 64. Nakaoka, S., & Yamada, A. (2012). A system for measuring the photosynthetic activity of water plants based on carbon dioxide absorption. In 2012 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS) (pp. 29-31). IEEE.
 65. Nemecek T., Bengoa X., Lansche J., Roesch A., Faist-Emmenegger M., Rossi V. & Humbert S. (2019). Methodological Guidelines for the Life Cycle Inventory of Agricultural Products. Version 3.5, December 2019. World Food LCA Database (WFLDB). Quantis and Agroscope, Lausanne and Zurich, Switzerland.
 66. Noh, K., & Jeong, B. R. (2021). Increased carbon dioxide by occupants promotes growth of leafy vegetables grown in indoor cultivation system. *Sustainability*, 13(23), 13288.
 67. Ntinas, G. K., Dannehl, D., Schuch, I., Rocks, T., & Schmidt, U. (2020). Sustainable greenhouse production with minimised carbon footprint by energy export. *Biosystems Engineering*, 189, 164-178.
 68. Palande, V., Zaheer, A., & George, K. (2018). Fully automated hydroponic system for indoor plant growth. *Procedia Computer Science*, 129, 482-488.
 69. Pancawati, D., & Yulianto, A. (2016). Implementasi fuzzy logic controller untuk mengatur pH nutrisi pada sistem hidroponik Nutrient Film Technique (NFT). *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 5(2), 278-289.
-

-
70. Peña, L. V. D. L., Taelman, S. E., Pr eat, N., Boone, L., Van der Biest, K., Cust odio, M., ... & Dewulf, J. (2022). Towards a comprehensive sustainability methodology to assess anthropogenic impacts on ecosystems: Review of the integration of Life Cycle Assessment, Environmental Risk Assessment and Ecosystem Services Assessment. *Science of the Total Environment*, 808, 152125.
 71. Pomoni, D. I., Koukou, M. K., Vrachopoulos, M. G., & Vasiliadis, L. (2023). A review of hydroponics and conventional agriculture based on energy and water consumption, environmental impact, and land use. *Energies*, 16(4), 1690.
 72. Puspaningrum, T., Indrasti, N. S., Indrawanto, C., & Yani, M. (2023). Life cycle assessment of coconut plantation, copra, and charcoal production.
 73. Rafidah Yahaya, N., Murad, M., & Fizani Ahmad Fizri, F. (2012). Environmental impact of electricity consumption in crushing and grinding processes of traditional and urban gold mining by using life cycle assessment (LCA). *Iranica Journal of Energy & Environment*, 3(5).
 74. Raviv, M., & Lieth, J. H. (2008). *Soilless culture: Theory and practice*. Elsevier.
 75. Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., ... & Pennington, D. W. (2004). Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment international*, 30(5), 701-720.
 76. Rockstr om, J., Steffen, W., Noone, K., Persson,  ., Chapin, F. S., Lambin, E. F., ... & Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *nature*, 461(7263), 472-475.
 77. Saavedra-Rubio, K., Thonemann, N., Crenna, E., Lemoine, B., Caliandro, P., & Laurent, A. (2022). Stepwise guidance for data collection in the life cycle inventory (LCI) phase: Building technology-related LCI blocks. *Journal of Cleaner Production*, 366, 132903.
 78. Savvas, D., & Gianquinto, G. (2020). Soilless culture systems and plant nutrition management strategies for sustainable soilless greenhouse and vertical farming. *Agronomy*, 10(11), 1641.
 79. Savvas, D., Gruda, N. (2018). Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry—A review. *Eur. J. Hortic. Sci*, 83(5), 280-293.
 80. Skowro nska, M., & Filipek, T. (2014). Life cycle assessment of fertilizers: a review. *International Agrophysics*, 28(1).
-

-
81. Smil, V. (2000). Phosphorus in the environment: natural flows and human interferences. *Annual review of energy and the environment*, 25(1), 53-88.
 82. Smith, V. H., Tilman, G. D., & Nekola, J. C. (1999). Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, 100(1-3), 179-196.
 83. Specht, K., Siebert, R., Opitz, I., Freisinger, U., Sawicka, M., Werner, A., Thomaier, S., Henckel, D., Walk, H. and Dierich, A. (2014). Urban agriculture of the future: An overview of sustainability aspects of food production in and on buildings. *Agric. Human Values* 31, 33–51.
 84. Specht, K., Zoll, F., Schümann, H., Bela, J., Kachel, J., & Robischon, M. (2019). How will we eat and produce in the cities of the future? From edible insects to vertical farming—A study on the perception and acceptability of new approaches. *Sustainability*, 11(16), 4315.
 85. Spindler, E. A. (Ed.). (2013). *Agrar-Öko-Audit: Praxis und Perspektiven einer umweltorientierten Land-und Forstwirtschaft*. Springer-Verlag.
 86. Stanghellini, C. (2014). Horticultural production in greenhouses: Efficient use of water. *Acta Hortic*, 1034, 25–32.
 87. Stehle, S., & Schulz, R. (2015). Agricultural insecticides threaten surface waters at the global scale. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(18), 5750-5755.
 88. Stein, E. W. (2021). The transformative environmental effects large-scale indoor farming may have on air, water, and soil. *Air, Soil and Water Research*, 14, 1178622121995819.
 89. Steinmann, Z. J., Schipper, A. M., Hauck, M., & Huijbregts, M. A. (2016). How many environmental impact indicators are needed in the evaluation of product life cycles?. *Environmental science & technology*, 50(7), 3913-3919.
 90. Summers, H. M., Sproul, E., & Quinn, J. C. (2021). The greenhouse gas emissions of indoor cannabis production in the United States. *Nature Sustainability*, 4(7), 644-650.
 91. Terrosi, C., Cacini, S., Burchi, G., Cutini, M., Brambilla, M., Bisaglia, C., ... & Fedrizzi, M. (2020). Evaluation of Compressor Heat Pump for Root Zone Heating as an Alternative Heating Source for Leafy Vegetable Cultivation. *Energies*, 13(3), 745.
-

-
92. Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., and Polasky, S. (2002). Agriculture sustainability and intensive production practices. *Nature* 418, 671–677. doi: 10.1038/nature01014.
 93. Toboso-Chavero, S., Madrid-López, C., Villalba, G., Gabarrell Durany, X., Hückstädt, A. B., Finkbeiner, M. and Lehmann, A. (2021). Environmental and social life cycle assessment of growing media for urban rooftop farming. *Int. J. Life Cycle Assess.* 26(10), 2085–2102.
 94. Torrellas, M., Antón, A., Ruijs, M., Victoria, N. G., Stanghellini, C., & Montero, J. I. (2012). Environmental and economic assessment of protected crops in four European scenarios. *Journal of Cleaner Production*, 28, 45-55.
 95. Tsalidis, G. A. (2022). Human health and ecosystem quality benefits with life cycle assessment due to fungicides elimination in agriculture. *Sustainability*, 14(2), 846.
 96. Tudi, M., Daniel Ruan, H., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., ... & Phung, D. T. (2021). Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. *International journal of environmental research and public health*, 18(3), 1112.
 97. van Paassen, M., Braconi, N., Kuling, L., Durlinger, B., & Gual, P. (2019). *Agri-Footprint 5.0*. Blonk Consultants: Gouda, The Netherlands, 134.
 98. Vanbergen, A. J., Aizen, M. A., Cordeau, S., Garibaldi, L. A., Garratt, M. P., Kovács-Hostyánszki, A., ... & Young, J. C. (2020). Transformation of agricultural landscapes in the Anthropocene: Nature's contributions to people, agriculture and food security. In *Advances in Ecological Research* (Vol. 63, pp. 193-253). Academic Press.
 99. Velazquez-Gonzalez, R. S., Garcia-Garcia, A. L., Ventura-Zapata, E., Barceinas-Sanchez, J. D. O., & Sosa-Savedra, J. C. (2022). A review on hydroponics and the technologies associated for medium-and small-scale operations. *Agriculture*, 12(5), 646.
 100. Vergara, D., White, K. H., Keepers, K. G., & Kane, N. C. (2016). The complete chloroplast genomes of *Cannabis sativa* and *Humulus lupulus*. *Mitochondrial DNA Part A*, 27(6), 3797-3798.
 101. Vinci, G. and Rapa, M. (2019). Hydroponic cultivation: life cycle assessment of substrate choice. *Br. Food J.* 121(8), 1801–1812.
-

-
102. Vox, G., Teitel, M., Pardossi, A., Minuto, A., Tinivella, F., & Schettini, E. (2010). Sustainable greenhouse systems. *Sustainable Agriculture: Technology, Planning and Management*; Salazar, A., Rios, I., Eds, 1-78.
 103. VUZT (2023). Technology and economics of crop. Research institute of agricultural engineering, p.r.i. [online]. 2023, 31.12.2022 [cit. 2023-11-28]. Dostupné z: <http://vuzt.cesnet.cz/vuzt0/svt/vuzt/code.htm>
 104. Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., Weidema, B., 2016. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *Int J Life Cycle Assess* 21, 1218–1230. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1087-8>
 105. Withers, P. J., & Jarvie, H. P. (2008). Delivery and cycling of phosphorus in rivers: A review. *Science of the Total Environment*, 400(1-3), 379-395.
 106. Wu, H., Gao, L., Yuan, Z., & Wang, S. (2016). Life cycle assessment of phosphorus use efficiency in crop production system of three crops in Chaohu Watershed, China. *Journal of cleaner production*, 139, 1298-1307.
 107. Wu, J. (2013). Landscape sustainability science: ecosystem services and human well-being in changing landscapes. *Landscape ecology*, 28, 999-1023.
 108. Zagata, L., Kučerová, E. (2005). ZNALOSTI A PŘÍSTUPY K EKOLOGICKÉMU ZEMĚDĚLSTVÍ V ČESKÉ REPUBLICE, ISBN 80-213-1372-2, In: Agrární perspektivy IVX., s.151–158.
 109. Zhang, H., Burr, J., & Zhao, F. (2017). A comparative life cycle assessment (LCA) of lighting technologies for greenhouse crop production. *Journal of cleaner production*, 140, 705-713.

Internetové zdroje

1. Český statistický úřad. (2023). Statistická ročenka České republiky - 2023 [online] [cit. 5. 4. 2024]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/statisticka-rocenka-ceske-republiky-2023>.
 2. United Nations. (2023). Sustainable Development Goals [online] [cit. 22. 2. 2024]. Dostupné z: <https://sdgs.un.org/goals>.
-

Seznam obrázků

Obrázek 1: Zjednodušené schéma fází LCA a hranic systému (foto: Ing. Jaroslav Neumann).....	23
Obrázek 2: Blokové schéma Pokusu 1 s definovanými skupinami	25
Obrázek 3: Blokové schéma pokusu 2 s definovanými skupinami.....	26
Obrázek 4: Environmentální toky ovlivňující dopadovou kategorii změny klimatu S6= Roztok 3, Svítidlo 900 W	68
Obrázek 5: Environmentální toky ovlivňující dopadovou kategorii sladkovodní ekotoxicity S6= Roztok 3, Svítidlo 900 W	69
Obrázek 6: Environmentální toky ovlivňující dopadovou kategorii sladkovodní eutrofizace S6= Roztok 3, Svítidlo 900 W	70

Seznam tabulek

Tabulka 1: Celková spotřeba živin v celém pěstebním cyklu 1 v gramech.....	25
Tabulka 2: Celková spotřeba živin v celém pěstebním cyklu 2 v gramech.....	26
Tabulka 3: Výnosy jednotlivých skupin, součet 4 rostlin ve skupině (v sušině).....	27
Tabulka 4: Hodnocení kvality primárních dat pro LCI.....	27
Tabulka 5: Vstupy a výstupy životního cyklu skupin S1-S8.....	28
Tabulka 6: Aktualizovaná matice věrohodnosti kvality dat – ukazatele toku (Edelen a Ingwersen, 2016).....	59
Tabulka 7: Simulation Monte Carlo skupina 1 (S1)	59
Tabulka 8: Simulation Monte Carlo skupina 2 (S2)	60
Tabulka 9: Simulation Monte Carlo skupina 3 (S3)	61
Tabulka 10: Simulation Monte Carlo skupina 4 (S4)	62
Tabulka 11: Simulation Monte Carlo skupina 5 (S5)	63
Tabulka 12: Simulation Monte Carlo skupina 6 (S6)	64
Tabulka 13: Simulation Monte Carlo skupina 7 (S7)	65
Tabulka 14: Simulation Monte Carlo skupina 8 (S8)	66
Tabulka 15: Normalizační model s veškerými vstupy.....	71
Tabulka 16: Normalizační model bez vstupů elektřiny, plastu a kokosového vlákna.....	72
Tabulka 17: Charakterizační model s veškerými vstupy	73
Tabulka 18: Charakterizační model bez vstupů elektřiny, plastu a kokosového vlákna	74

Seznam grafů

Graf 1: Kontribuční analýza pro dopady na životní prostředí s veškerými vstupy....	30
Graf 2: Kontribuční analýza pro dopady na životní prostředí bez vybraných vstupů	34
Graf 3: Analýza LCA pro dopady na životní prostředí, normalizační model, s veškerými vstupy	37
Graf 4: Analýza LCA pro dopady na životní prostředí, normalizační model, bez vybraných vstupů	39
Graf 5: Vážení dopadů veškerých vstupů	41
Graf 6: Simulation Monte Carlo skupina 1 (S1)	60
Graf 7: Simulation Monte Carlo skupina 2 (S2)	61
Graf 8: Simulation Monte Carlo skupina 3 (S3)	62
Graf 9: Simulation Monte Carlo skupina 4 (S4)	63
Graf 10: Simulation Monte Carlo skupina 5 (S5)	64
Graf 11: Simulation Monte Carlo skupina 6 (S6)	65
Graf 12: Simulation Monte Carlo skupina 7 (S7)	66
Graf 13: Simulation Monte Carlo skupina 8 (S8)	67

Seznam použitých zkratk

Elektrická vodivost (EV)

Funkční jednotka (FJ)

Indikátory kvality dat (IKD)

Life Cycle Assessment (LCA)

Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Life Cycle Inventory (LCI)

Mezinárodní organizace pro normalizaci (ISO)

Smart Office Farm (SOF)

Přílohy

Tabulka 6: Aktualizovaná matice věrohodnosti kvality dat – ukazatele toku (Edelen a Ingwersen, 2016)

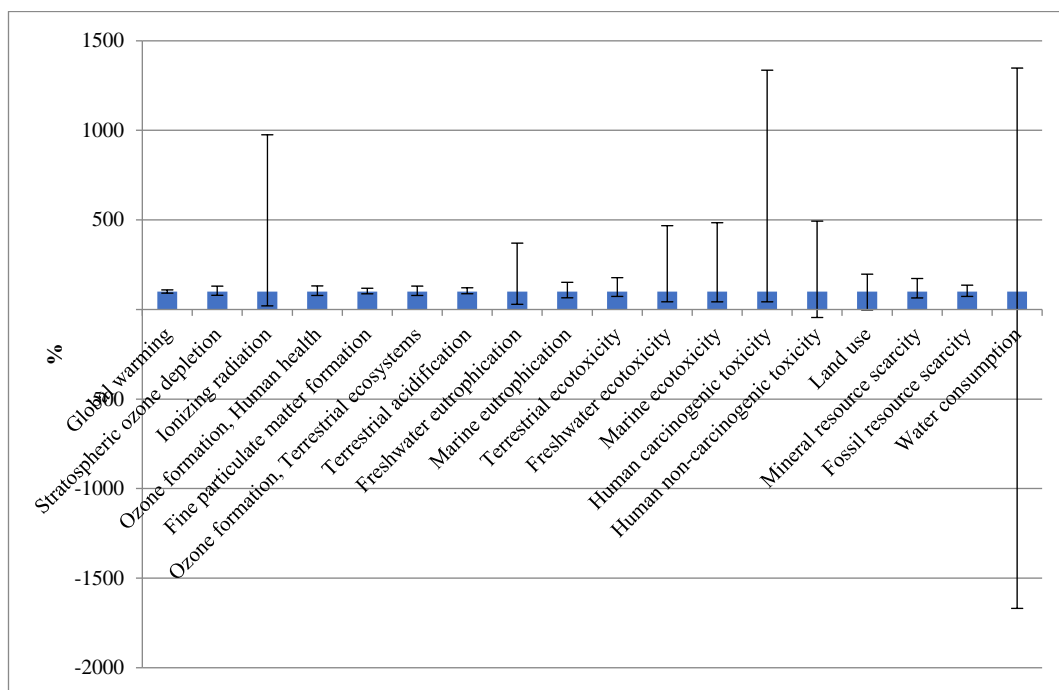
		← Highest score			→ Lowest score	
Indicator		1	2	3	4	5 (default)
Flow reliability		Verified ¹ data based on measurements	Verified data based on a calculation or non-verified data based on measurements	Non-verified data based on a calculation	Documented estimate	Undocumented estimate
Flow Representativeness	Temporal correlation	Less than 3 years of difference ²	Less than 6 years of difference	Less than 10 years of difference	Less than 15 years of difference	Age of data unknown or more than 15 years
	Geographical correlation	Data from same resolution and same area of study	Within one level of resolution and a related area of study ³	Within two levels of resolution and a related area of study	Outside of two levels of resolution but a related area of study	From a different or unknown area of study
	Technological correlation	All technology categories ⁴ are equivalent	Three of the technology categories are equivalent	Two of the technology categories are equivalent	One of the technology categories is equivalent	None of the technology categories are equivalent
	Data collection methods	Representative data from >80% of the relevant market ⁵ , over an adequate period ⁶	Representative data from 60-79% of the relevant market, over an adequate period or representative data from >80% of the relevant market, over a shorter period of time	Representative data from 40-59% of the relevant market, over an adequate period or representative data from 60-79% of the relevant market, over a shorter period of time	Representative data from <40% of the relevant market, over an adequate period of time or representative data from 40-59% of the relevant market, over a shorter period of time	Unknown or data from a small number of sites and from shorter periods

Tabulka 7: Simulation Monte Carlo skupina 1 (S1)

Impact category	Unit	Mean	Median	SD	CV	2,5%	97,5%	SEM
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	2,17	2,14	0,17	7,92	1,88	2,54	0,01
Fossil resource scarcity	kg oil eq	478,61	472,00	75,40	15,75	344,94	642,11	2,38
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	97,27	68,79	102,61	105,49	29,51	321,97	3,24
Freshwater eutrophication	kg P eq	3,60	2,90	2,71	75,20	0,84	10,74	0,09
Global warming	kg CO2 eq	2346,42	2344,66	104,23	4,44	2144,92	2563,69	3,30
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	165,98	71,66	389,20	234,48	30,69	957,48	12,31
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	3876,70	2977,20	4791,17	123,59	-1328,19	14694,99	151,51
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	974,30	512,33	1405,99	144,31	103,60	4997,56	44,46
Land use	m2a crop eq	30,59	30,96	15,95	52,15	-0,77	61,11	0,50
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	133,82	93,16	145,21	108,51	39,70	451,42	4,59
Marine eutrophication	kg N eq	0,24	0,24	0,05	21,33	0,16	0,36	0,00
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	1,65	1,57	0,45	27,12	1,01	2,72	0,01
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	4,06	4,01	0,54	13,35	3,14	5,28	0,02
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	4,13	4,08	0,55	13,21	3,20	5,34	0,02
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0,00	0,00	0,00	13,08	0,00	0,00	0,00
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	6,64	6,57	0,54	8,10	5,78	7,96	0,02
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1018,23	953,72	261,90	25,72	696,52	1695,54	8,28
Water consumption	m3	62,05	139,02	1051,56	1694,61	-2319,76	1874,34	33,25

Method: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.08 / World (2010) H, confidence interval: 95 %, S1= Roztok 1, Svítidlo 540 W, indicator: characterisation, SD= Standard deviation, CV= Coefficient of variation, SEM= Standard Error of the Mean

Graf 6: Simulation Monte Carlo skupina 1 (S1)



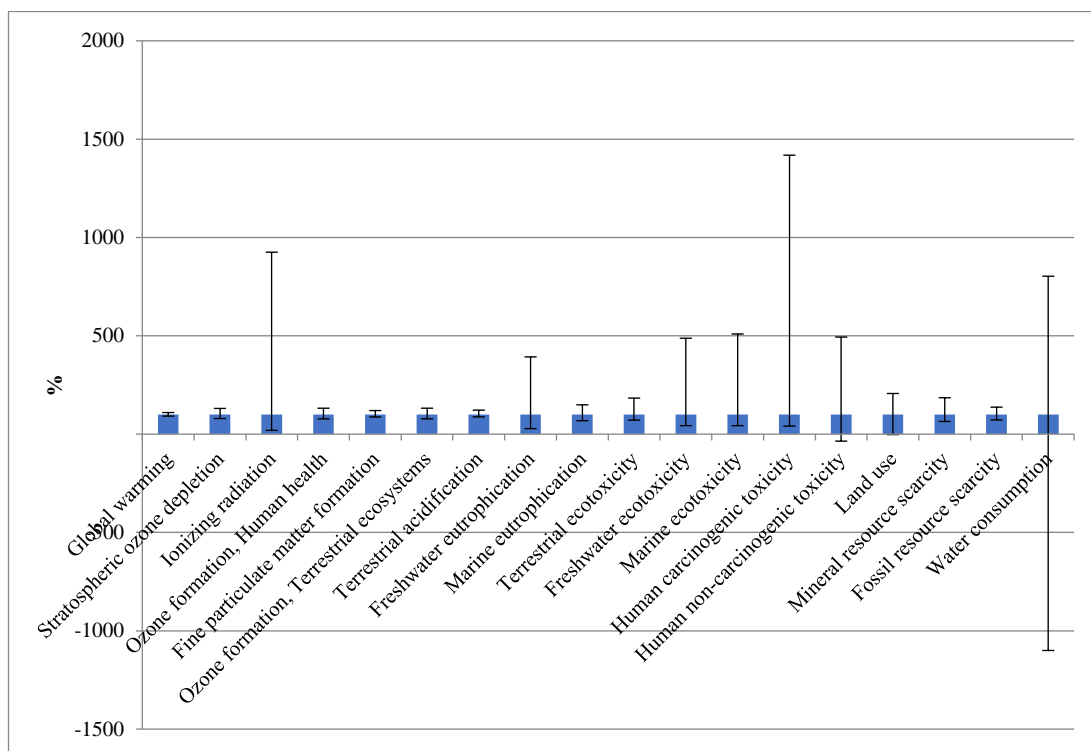
Method: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.08 / World (2010) H, confidence interval: 95 %, S1= Roztok 1, Svitídlo 540 W, indicator: characterisation

Tabulka 8: Simulation Monte Carlo skupina 2 (S2)

Impact category	Unit	Mean	Median	SD	CV	2,5%	97,5%	SEM
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	1,44	1,43	0,12	8,43	1,24	1,71	0,00
Fossil resource scarcity	kg oil eq	319,99	315,33	51,00	15,94	227,01	433,50	1,61
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	64,85	46,13	69,98	107,90	19,98	225,01	2,21
Freshwater eutrophication	kg P eq	2,36	1,90	1,76	74,52	0,53	7,45	0,06
Global warming	kg CO2 eq	1565,26	1559,88	70,12	4,48	1432,66	1712,97	2,22
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	121,64	50,93	268,32	220,58	20,92	722,52	8,49
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	2660,59	2018,50	3260,98	122,57	-716,67	9970,72	103,12
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	643,51	346,91	912,10	141,74	66,66	3209,74	28,84
Land use	m2a crop eq	20,67	20,39	9,85	47,67	-0,51	42,15	0,31
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	89,28	62,00	99,02	110,91	26,75	315,77	3,13
Marine eutrophication	kg N eq	0,16	0,16	0,03	20,71	0,11	0,24	0,00
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	1,10	1,04	0,31	28,25	0,67	1,93	0,01
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	2,68	2,64	0,37	13,83	2,04	3,48	0,01
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	2,72	2,68	0,37	13,68	2,08	3,54	0,01
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0,00	0,00	0,00	13,02	0,00	0,00	0,00
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	4,40	4,35	0,37	8,47	3,81	5,31	0,01
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	683,54	639,48	218,15	31,92	455,76	1173,42	6,90
Water consumption	m3	30,82	141,76	700,96	2274,47	-1559,55	1138,35	22,17

Method: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.08 / World (2010) H, confidence interval: 95 %, S2= Roztok 1, Svitídlo 900 W, indicator: characterisation, SD= Standard deviation, CV= Coefficient of variation, SEM= Standard Error of the Mean

Graf 7: Simulation Monte Carlo skupina 2 (S2)



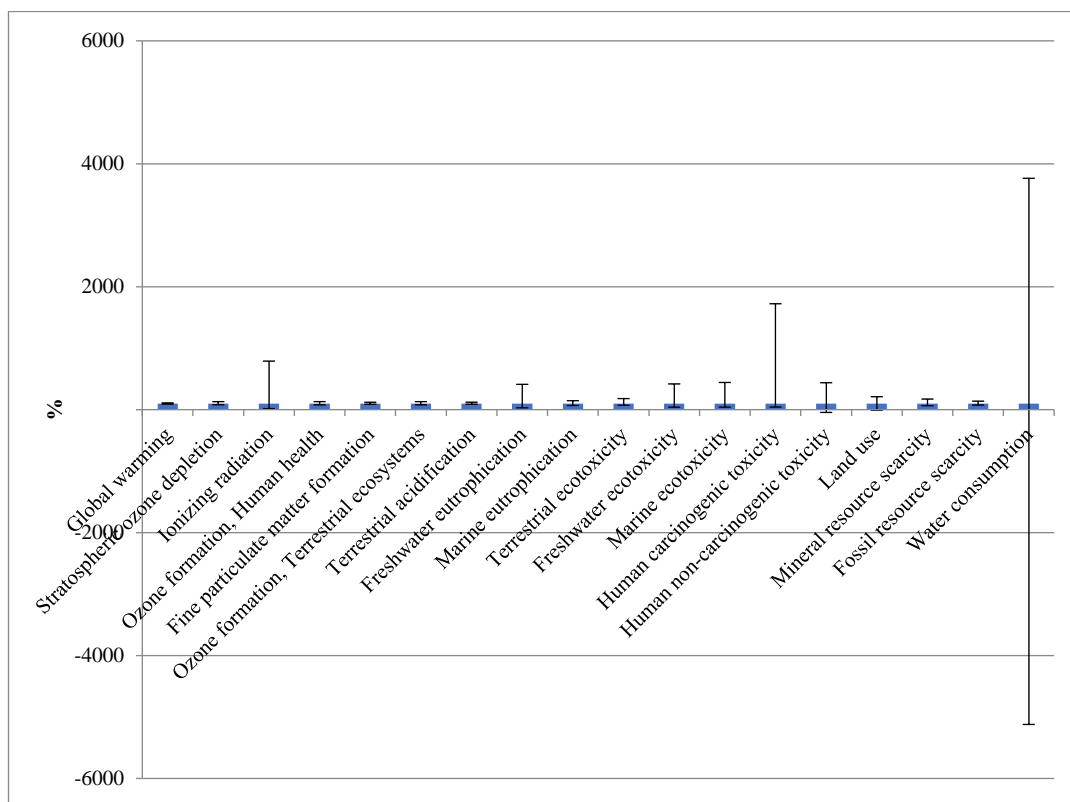
Method: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.08 / World (2010) H, confidence interval: 95 %, S2= Roztok 1, Svítidlo 900 W, indicator: characterisation

Tabulka 9: Simulation Monte Carlo skupina 3 (S3)

Impact category	Unit	Mean	Median	SD	CV	2.5%	97.5%	SEM
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	1,71	1,69	0,14	8,30	1,48	2,04	0,00
Fossil resource scarcity	kg oil eq	381,14	374,26	60,11	15,77	280,52	518,76	1,90
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	72,13	54,28	59,90	83,04	22,09	226,92	1,89
Freshwater eutrophication	kg P eq	2,84	2,23	2,38	83,68	0,67	9,19	0,08
Global warming	kg CO2 eq	1848,66	1848,38	82,29	4,45	1686,92	2014,18	2,60
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	186,46	58,85	762,55	408,97	25,37	1013,81	24,11
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	2956,15	2369,96	3128,53	105,83	-1072,96	10378,83	98,93
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	793,76	443,84	1307,10	164,67	76,96	3505,65	41,33
Land use	m2a crop eq	23,19	23,40	11,83	50,99	-1,97	49,24	0,37
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	99,15	73,06	84,73	85,45	29,85	323,13	2,68
Marine eutrophication	kg N eq	0,19	0,19	0,04	19,91	0,13	0,27	0,00
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	1,32	1,25	0,34	25,66	0,80	2,17	0,01
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	3,22	3,17	0,43	13,34	2,47	4,15	0,01
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	3,27	3,22	0,43	13,17	2,52	4,20	0,01
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0,00	0,00	0,00	12,62	0,00	0,00	0,00
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	5,23	5,17	0,45	8,53	4,54	6,28	0,01
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	813,65	766,11	211,72	26,02	546,81	1380,77	6,70
Water consumption	m3	-40,46	39,27	878,22	-2170,74	-2011,29	1478,28	27,77

Method: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.08 / World (2010) H, confidence interval: 95 %, S3= Roztok 2, Svítidlo 540 W, indicator: characterisation SD= Standard deviation, CV= Coefficient of variation, SEM= Standard Error of the Mean

Graf 8: Simulation Monte Carlo skupina 3 (S3)



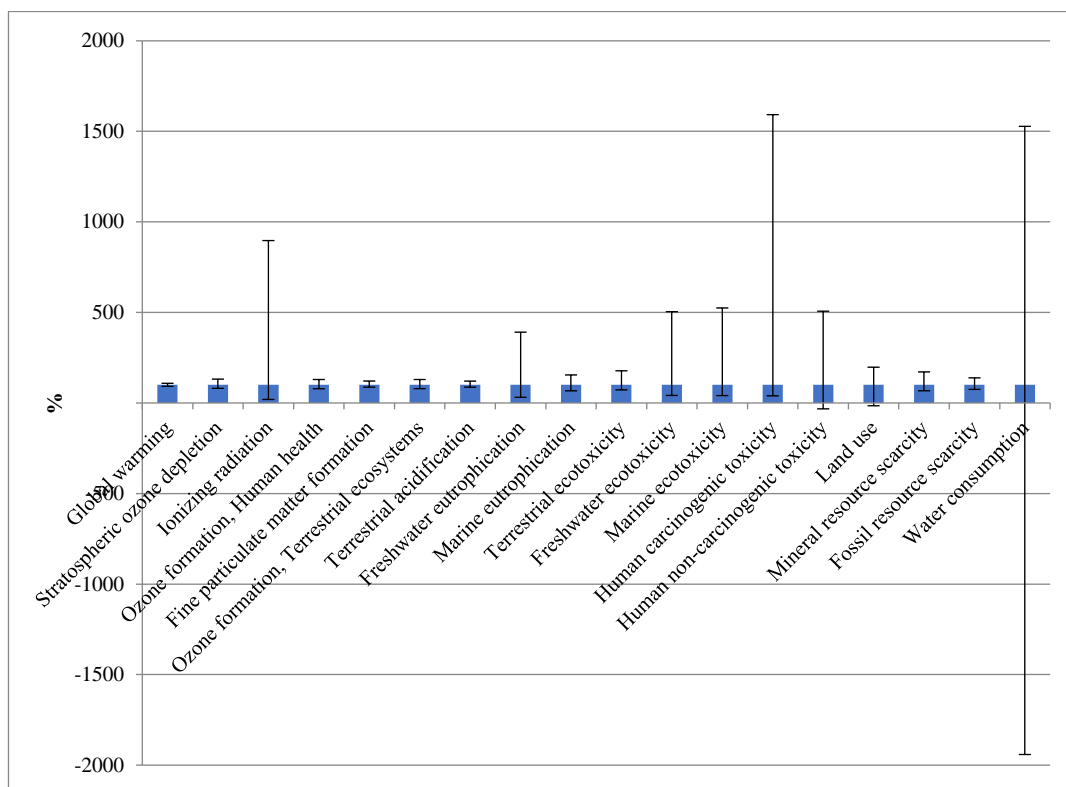
Method: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.08 / World (2010) H, confidence interval: 95 %, S3= Roztok 2, Svitidlo 540 W, indicator: characterisation

Tabulka 10: Simulation Monte Carlo skupina 4 (S4)

Impact category	Unit	Mean	Median	SD	CV	2,5%	97,5%	SEM
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	1,48	1,46	0,12	8,44	1,28	1,77	0,00
Fossil resource scarcity	kg oil eq	330,14	324,48	52,10	15,78	243,27	450,00	1,65
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	66,48	47,76	62,64	94,22	19,87	240,74	1,98
Freshwater eutrophication	kg P eq	2,46	1,94	1,92	77,98	0,61	7,57	0,06
Global warming	kg CO2 eq	1604,84	1603,59	68,24	4,25	1474,12	1742,61	2,16
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	144,73	53,08	575,32	397,50	20,88	845,23	18,19
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	2676,41	2096,36	2952,74	110,32	-684,35	10626,61	93,37
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	700,37	361,39	1144,94	163,48	70,70	3241,42	36,21
Land use	m2a crop eq	20,41	20,55	10,63	52,10	-3,18	40,63	0,34
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	91,47	64,74	88,56	96,82	26,44	339,68	2,80
Marine eutrophication	kg N eq	0,17	0,16	0,04	21,30	0,11	0,25	0,00
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	1,14	1,08	0,29	25,77	0,73	1,85	0,01
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	2,75	2,72	0,35	12,83	2,14	3,53	0,01
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	2,80	2,76	0,36	12,69	2,18	3,58	0,01
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0,00	0,00	0,00	12,94	0,00	0,00	0,00
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	4,51	4,47	0,38	8,47	3,90	5,40	0,01
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	686,03	645,44	182,76	26,64	465,91	1146,24	5,78
Water consumption	m3	-12,67	88,30	797,64	-6293,28	-1714,32	1349,04	25,22

Method: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.08 / World (2010) H, confidence interval: 95 %, S4= Roztok 2, Svitidlo 900 W, indicator: characterisation, SD= Standard deviation, CV= Coefficient of variation, SEM= Standard Error of the Mean

Graf 9: Simulation Monte Carlo skupina 4 (S4)



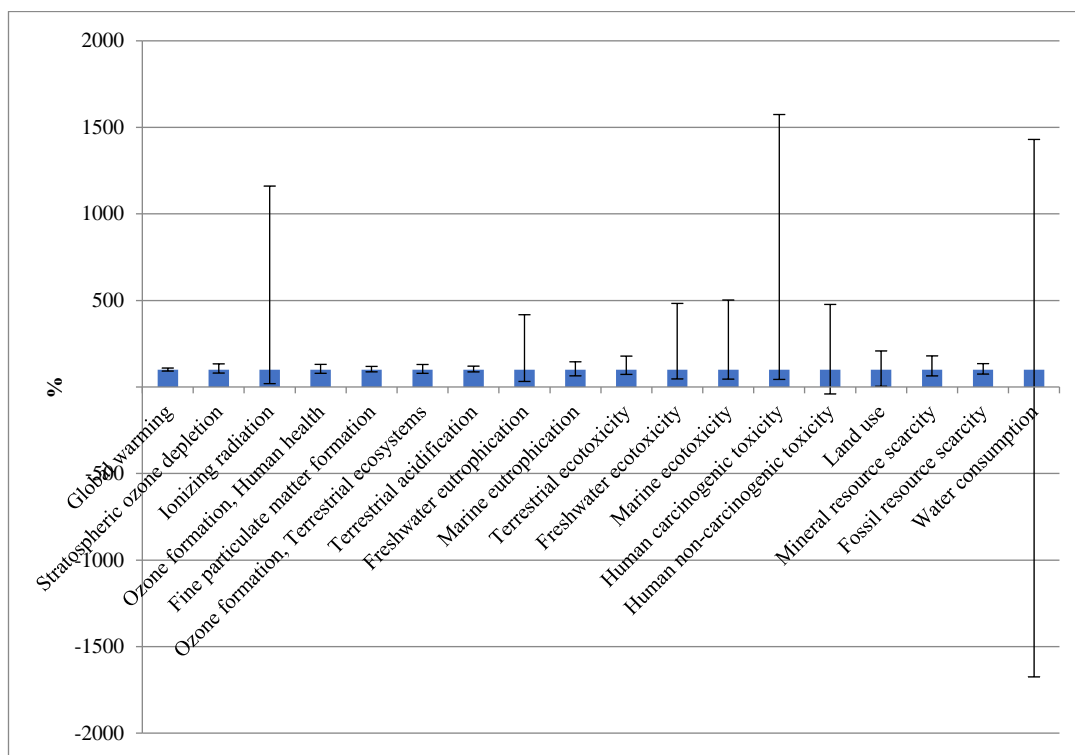
Method: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.08 / World (2010) H, confidence interval: 95 %, S4= Roztok 2, Svítidlo 900 W, indicator: characterisation

Tabulka 11: Simulation Monte Carlo skupina 5 (S5)

Impact category	Unit	Mean	Median	SD	CV	2,5%	97,5%	SEM
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	1,13	1,13	0,09	8,05	0,98	1,34	0,00
Fossil resource scarcity	kg oil eq	250,79	247,19	38,53	15,36	184,87	333,54	1,22
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	46,81	35,33	43,64	93,23	16,31	170,56	1,38
Freshwater eutrophication	kg P eq	1,89	1,44	1,59	84,02	0,46	5,99	0,05
Global warming	kg CO2 eq	1214,80	1212,25	54,94	4,52	1116,34	1328,96	1,74
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	86,35	37,25	191,03	221,22	16,27	586,34	6,04
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	1869,33	1501,55	2154,38	115,25	-608,69	7159,98	68,13
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	572,97	269,28	1111,85	194,05	51,66	3126,37	35,16
Land use	m2a crop eq	15,51	15,75	8,12	52,38	0,66	32,76	0,26
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	63,76	47,46	61,68	96,74	21,58	238,52	1,95
Marine eutrophication	kg N eq	0,13	0,12	0,03	21,23	0,08	0,18	0,00
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	0,86	0,82	0,24	27,58	0,52	1,47	0,01
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	2,14	2,11	0,27	12,76	1,66	2,76	0,01
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	2,17	2,15	0,27	12,59	1,69	2,80	0,01
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0,00	0,00	0,00	13,20	0,00	0,00	0,00
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	3,47	3,44	0,29	8,45	2,99	4,14	0,01
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	543,79	510,50	161,03	29,61	370,73	911,40	5,09
Water consumption	m3	21,33	68,30	529,11	2480,39	-1144,33	976,88	16,73

Method: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.08 / World (2010) H, confidence interval: 95 %, S5= Roztok 3, Svítidlo 540 W, indicator: characterisation, SD= Standard deviation, CV= Coefficient of variation, SEM= Standard Error of the Mean

Graf 10: Simulation Monte Carlo skupina 5 (S5)



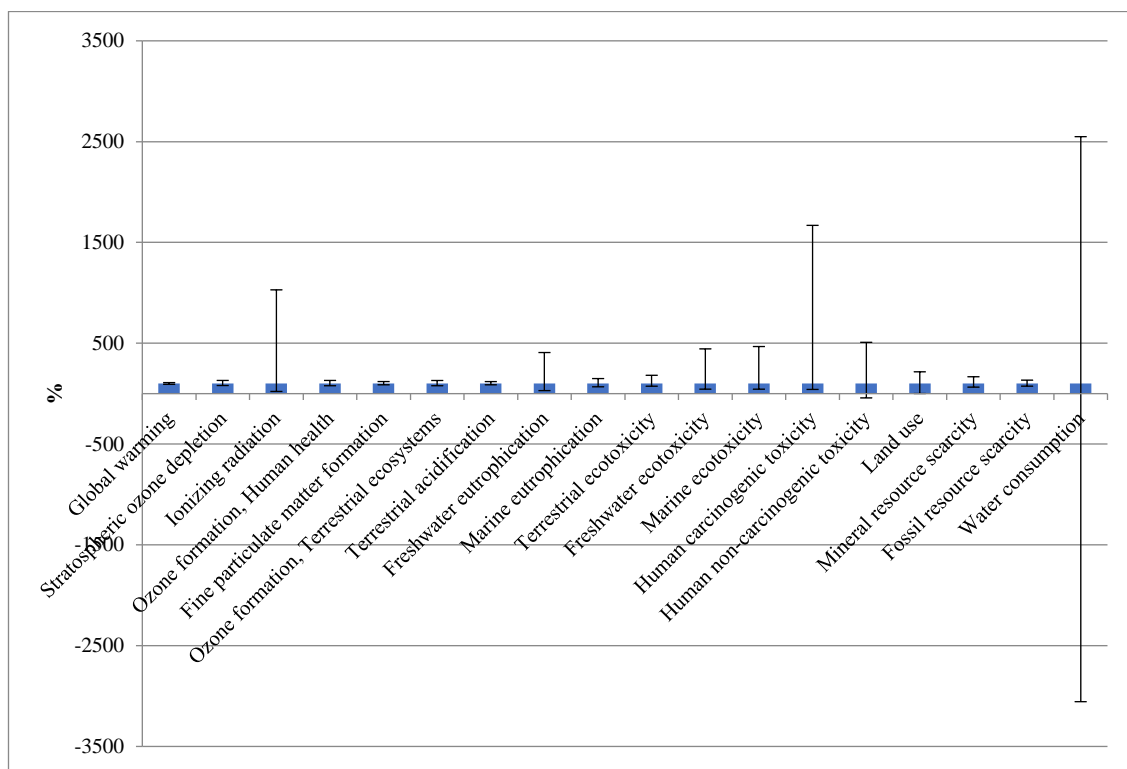
Method: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.08 / World (2010) H, confidence interval: 95 %, S5= Roztok 3, Svítidlo 540 W, indicator: characterisation

Tabulka 12: Simulation Monte Carlo skupina 6 (S6)

Impact category	Unit	Mean	Median	SD	CV	2,5%	97,5%	SEM
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	0,80	0,79	0,07	8,23	0,69	0,95	0,00
Fossil resource scarcity	kg oil eq	177,89	175,70	27,21	15,30	130,39	235,51	0,86
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	36,09	25,90	45,33	125,60	11,59	114,96	1,43
Freshwater eutrophication	kg P eq	1,40	1,07	1,10	78,25	0,32	4,38	0,03
Global warming	kg CO2 eq	869,40	867,80	39,07	4,49	799,98	951,36	1,24
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	86,62	27,97	395,65	456,75	11,68	466,93	12,51
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	1402,57	1053,24	1974,03	140,74	-448,14	5363,33	62,42
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	414,64	201,93	709,32	171,07	43,71	2078,72	22,43
Land use	m2a crop eq	11,34	11,06	5,65	49,86	0,10	23,94	0,18
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	49,35	34,61	64,21	130,11	15,35	161,73	2,03
Marine eutrophication	kg N eq	0,09	0,09	0,02	20,48	0,06	0,13	0,00
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	0,61	0,58	0,16	26,39	0,38	0,98	0,01
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	1,51	1,49	0,20	13,21	1,17	1,95	0,01
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	1,53	1,51	0,20	13,07	1,18	1,97	0,01
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0,00	0,00	0,00	12,61	0,00	0,00	0,00
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	2,45	2,42	0,20	8,26	2,12	2,90	0,01
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	379,67	355,78	105,54	27,80	262,86	648,10	3,34
Water consumption	m3	2,17	30,03	404,20	18620,63	-917,61	765,54	12,78

Method: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.08 / World (2010) H, confidence interval: 95 %, S6= Roztok 3, Svítidlo 900 W, indicator: characterisation, SD= Standard deviation, CV= Coefficient of variation, SEM= Standard Error of the Mean

Graf 11: Simulation Monte Carlo skupina 6 (S6)



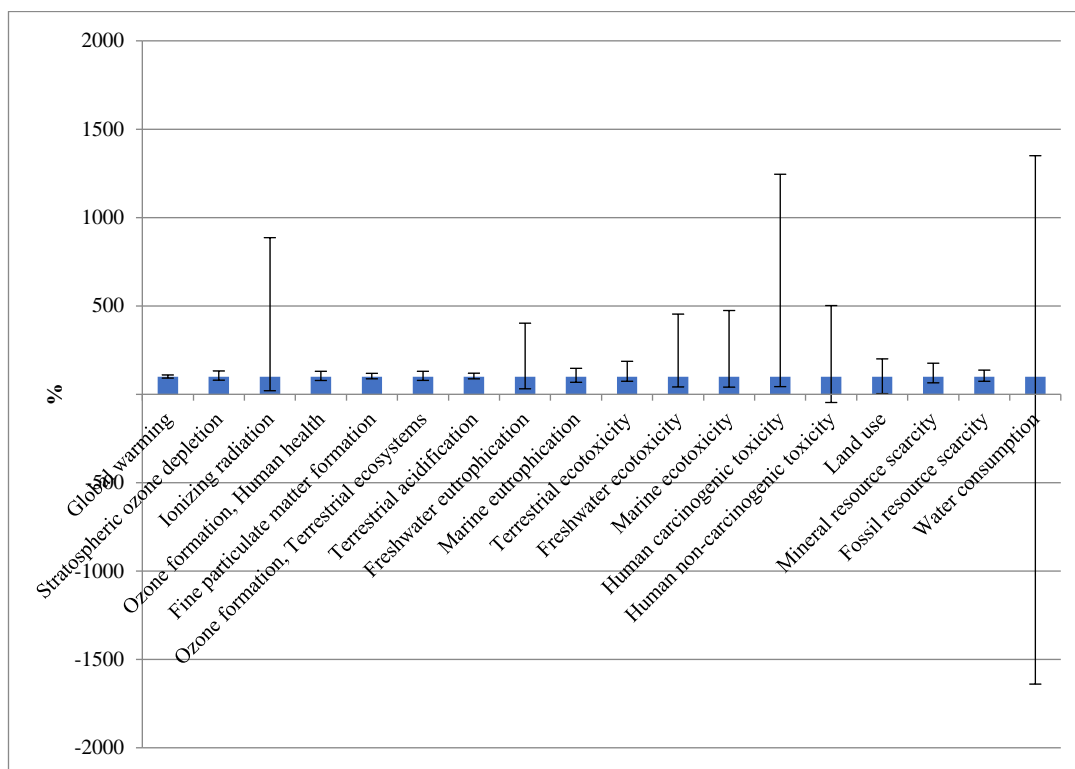
Method: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.08 / World (2010) H, confidence interval: 95 %, S6= Roztok 3, Svitídlo 900 W, indicator: characterisation

Tabulka 13: Simulation Monte Carlo skupina 7 (S7)

Impact category	Unit	Mean	Median	SD	CV	2,5%	97,5%	SEM
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	1,49	1,48	0,12	7,86	1,30	1,76	0,00
Fossil resource scarcity	kg oil eq	333,97	331,10	53,23	15,94	243,65	453,88	1,68
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	64,97	47,18	64,03	98,55	19,57	214,22	2,02
Freshwater eutrophication	kg P eq	2,66	2,06	2,20	82,95	0,64	8,30	0,07
Global warming	kg CO2 eq	1613,74	1611,76	72,64	4,50	1483,19	1761,56	2,30
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	114,89	50,04	299,71	260,88	21,78	623,09	9,48
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	2745,91	2107,94	4387,44	159,78	-976,84	10584,52	138,74
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	656,96	362,28	912,38	138,88	73,09	3210,72	28,85
Land use	m2a crop eq	20,92	20,56	10,39	49,65	0,81	41,16	0,33
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	88,63	63,03	90,49	102,10	25,64	298,84	2,86
Marine eutrophication	kg N eq	0,17	0,17	0,03	20,46	0,11	0,24	0,00
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	1,16	1,10	0,31	27,00	0,71	1,93	0,01
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	2,83	2,80	0,37	13,09	2,19	3,65	0,01
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	2,88	2,85	0,37	12,96	2,24	3,71	0,01
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0,00	0,00	0,00	12,49	0,00	0,00	0,00
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	4,57	4,54	0,37	8,05	3,97	5,43	0,01
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	723,54	676,50	204,72	28,29	498,97	1263,36	6,47
Water consumption	m3	38,52	101,96	741,15	1924,11	-1671,81	1376,51	23,44

Method: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.08 / World (2010) H, confidence interval: 95 %, S7= Roztok 4, Svitídlo 540 W, indicator: characterisation, SD= Standard deviation, CV= Coefficient of variation, SEM= Standard Error of the Mean

Graf 12: Simulation Monte Carlo skupina 7 (S7)



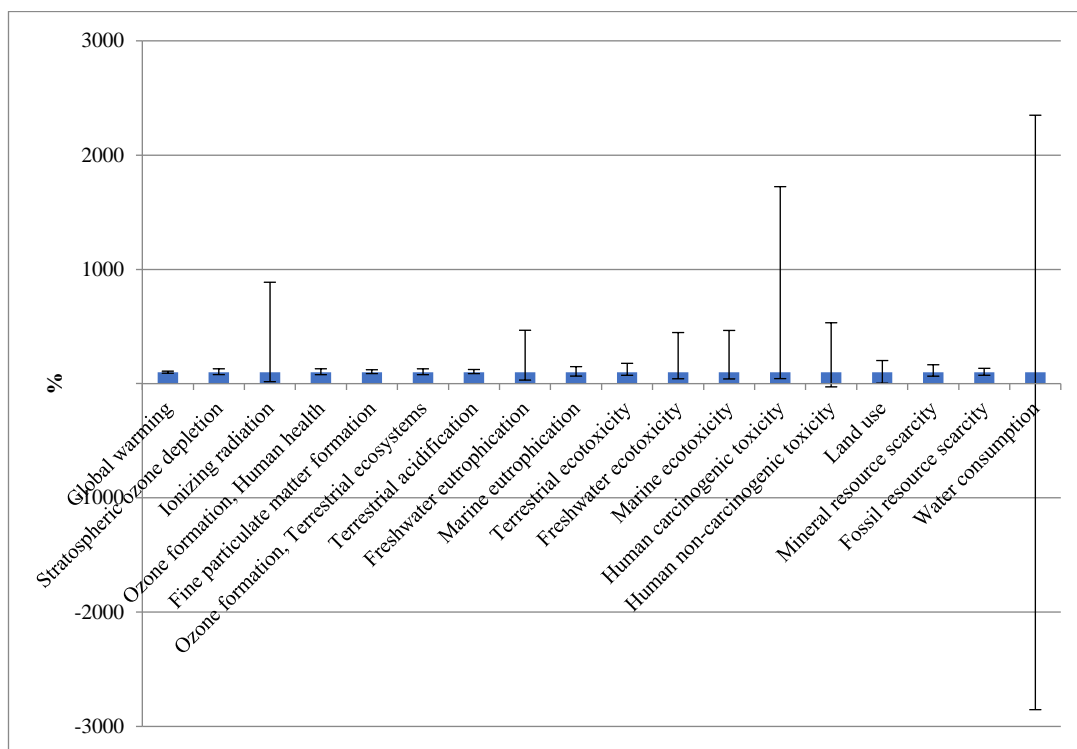
Method: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.08 / World (2010) H, confidence interval: 95 %, S7= Rožtok 4, Svítidlo 540 W, indicator: characterisation

Tabulka 14: Simulation Monte Carlo skupina 8 (S8)

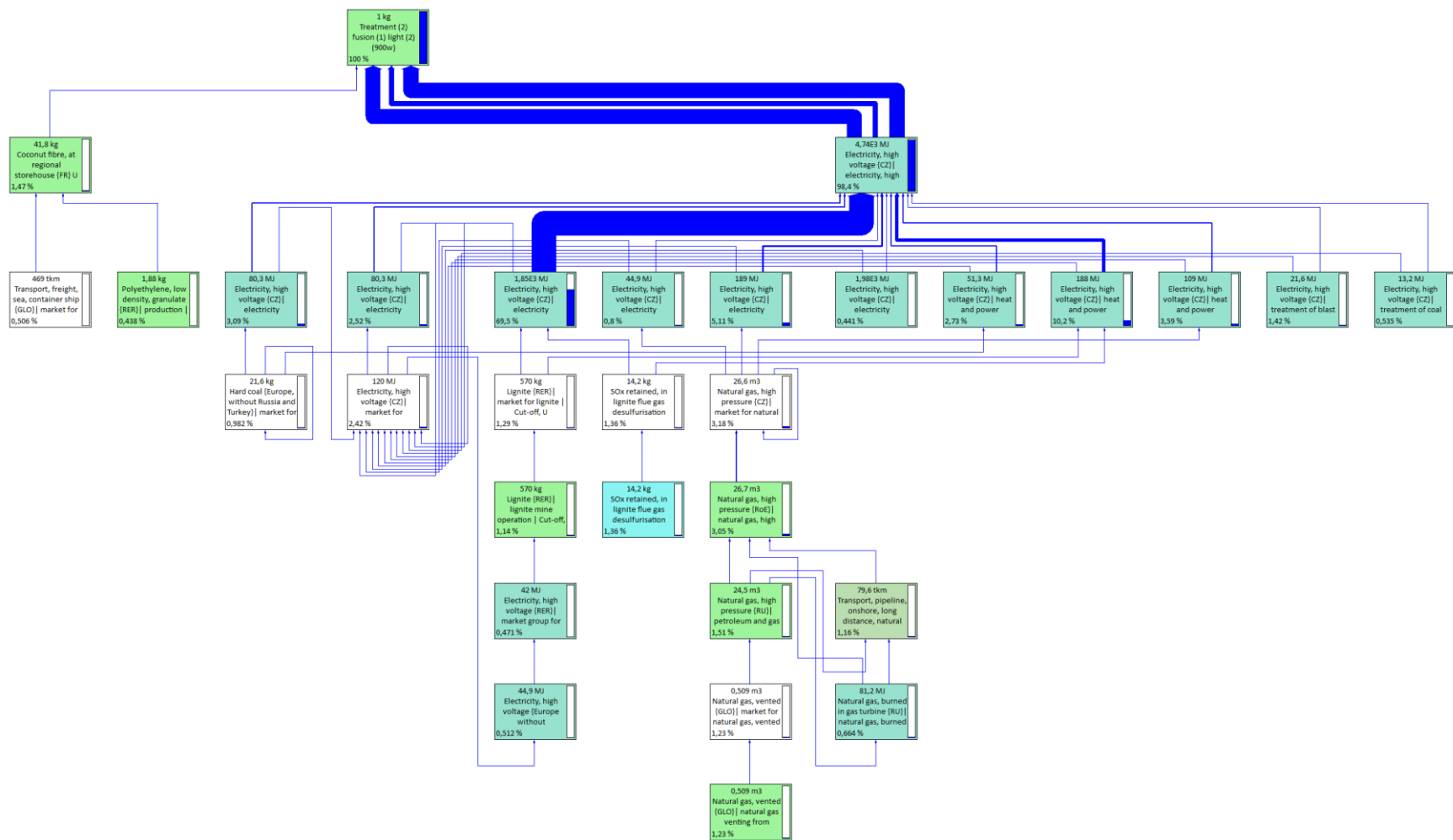
Impact category	Unit	Mean	Median	SD	CV	2,5%	97,5%	SEM
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	0,84	0,83	0,07	8,38	0,73	1,01	0,00
Fossil resource scarcity	kg oil eq	184,61	182,40	28,88	15,65	133,41	244,29	0,91
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	36,79	27,73	30,25	82,24	11,79	123,95	0,96
Freshwater eutrophication	kg P eq	1,49	1,11	1,29	86,51	0,35	5,16	0,04
Global warming	kg CO2 eq	901,90	901,14	41,48	4,60	823,05	987,05	1,31
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	86,95	27,61	460,94	530,09	12,13	475,87	14,58
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	1510,16	1114,78	1692,39	112,07	-317,03	5937,95	53,52
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	373,85	204,22	535,14	143,14	35,40	1812,30	16,92
Land use	m2a crop eq	11,66	11,69	5,83	49,99	0,51	23,63	0,18
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	50,33	37,28	42,82	85,08	15,22	173,57	1,35
Marine eutrophication	kg N eq	0,09	0,09	0,02	20,11	0,06	0,14	0,00
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	0,63	0,61	0,16	25,93	0,40	1,01	0,01
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	1,56	1,55	0,20	13,02	1,21	2,01	0,01
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	1,59	1,57	0,20	12,86	1,24	2,04	0,01
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0,00	0,00	0,00	13,05	0,00	0,00	0,00
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	2,55	2,53	0,22	8,58	2,22	3,13	0,01
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	389,09	364,75	101,68	26,13	265,31	647,83	3,22
Water consumption	m3	12,90	31,89	404,02	3131,48	-909,80	749,04	12,78

Method: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.08 / World (2010) H, confidence interval: 95 %, S8= Rožtok 4, Svítidlo 900 W, indicator: characterisation, SD= Standard deviation, CV= Coefficient of variation, SEM= Standard Error of the Mean

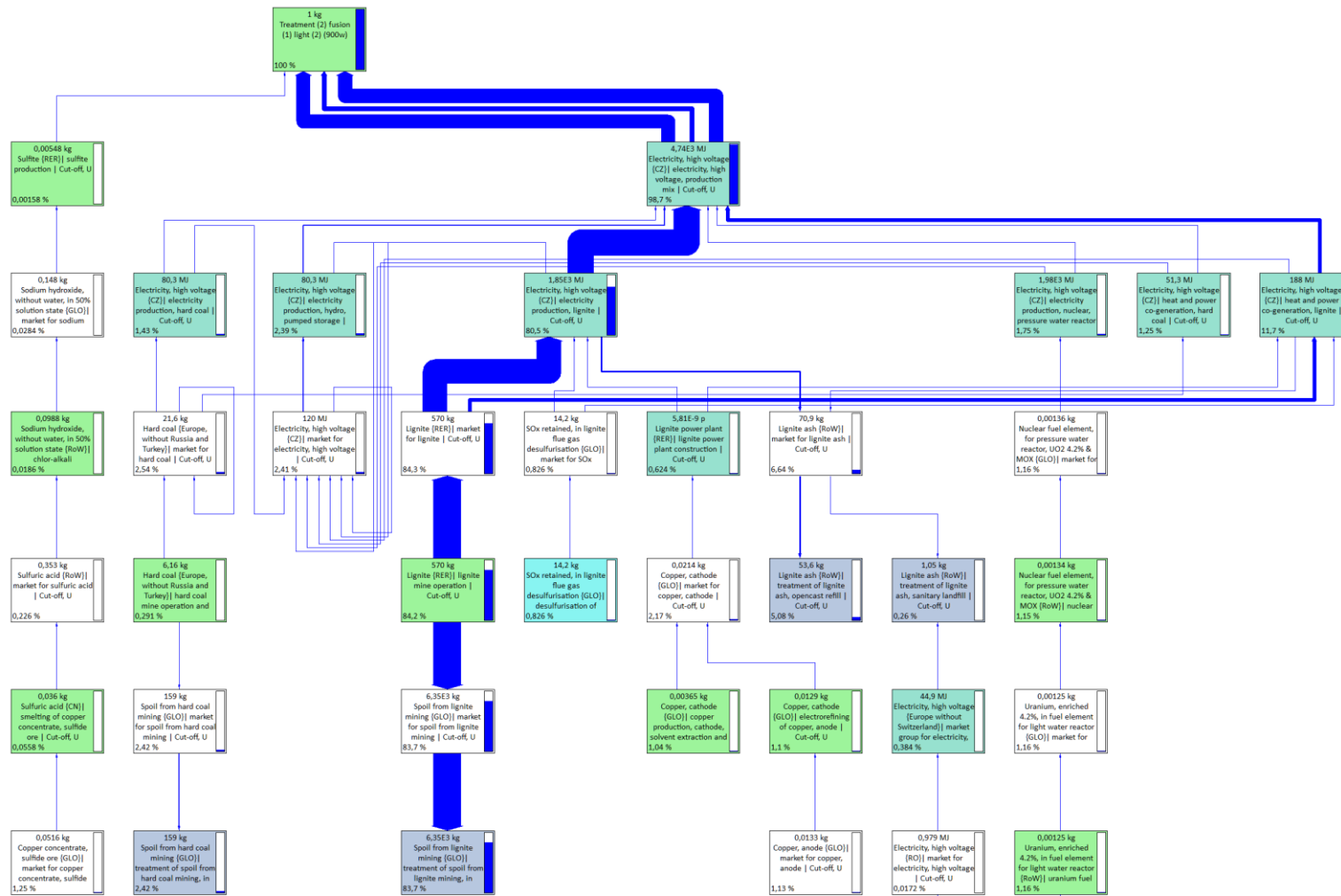
Graf 13: Simulation Monte Carlo skupina 8 (S8)



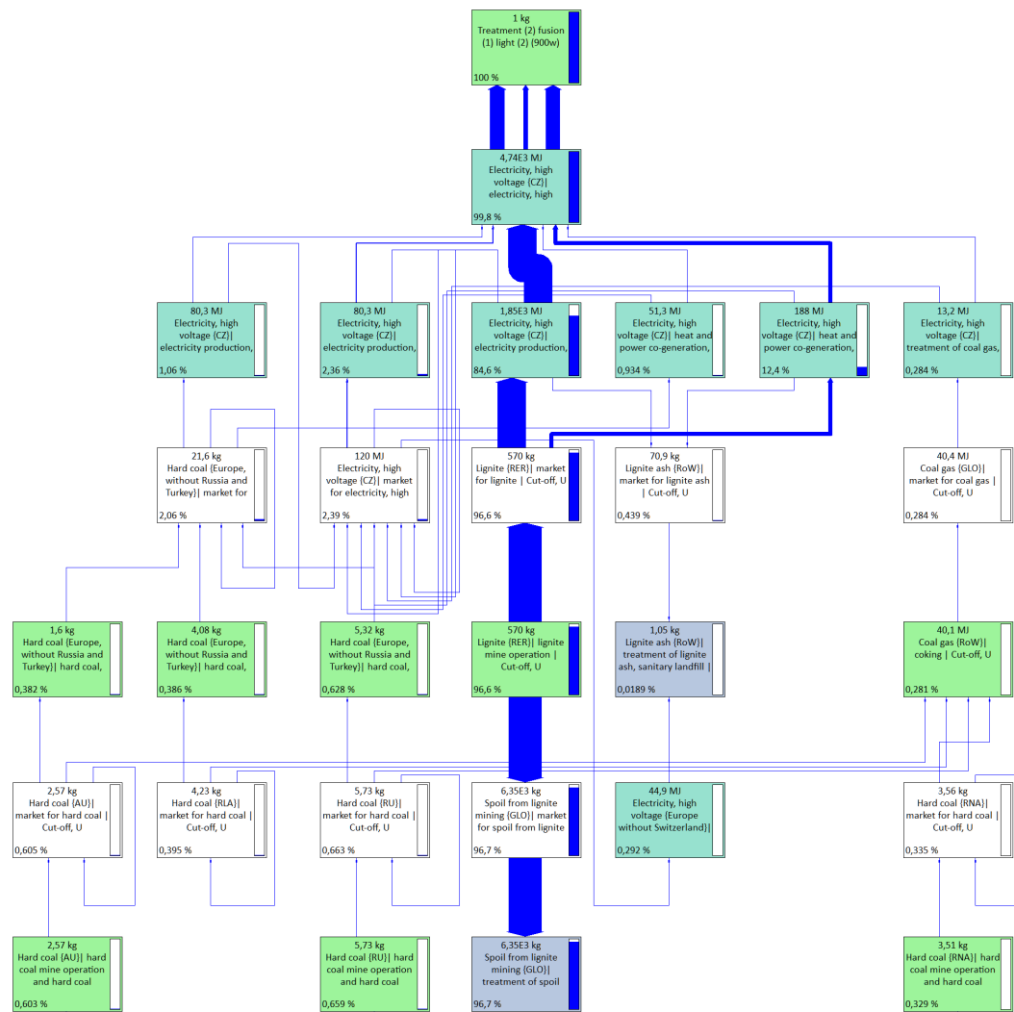
Method: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.08 / World (2010) H, confidence interval: 95 %, S8= Rožtok 4, Svítidlo 900 W, indicator: characterisation



Obrázek 4: Environmentální a materiálové toky ovlivňující dopadovou kategorii změny klimatu, S6 (Rožtok 3, Svítidlo 900 W)



Obrázek 5: Environmentální a materiálové toky ovlivňující dopadovou kategorii sladkovodní ekotoxicity, S6 (Roztok 3, Světlo 900 W)



Obrázek 6: Environmentální toky ovlivňující dopadovou kategorii sladkovodní eutrofizace, S6 (Roztok 3, Svítidlo 900 W)

Tabulka 16: Normalizační model bez vstupů elektřiny, plastu a kokosového vlákna

Dopadová kategorie	Skupina	Spotřeba vody	Dusíkaté hnojivo	Amonné hnojivo	Fosforečné hnojivo	Draselné hnojivo	Vápenaté hnojivo	Hofčnaté hnojivo	Siřičité hnojivo	Mikronutrientové hnojivo	Insekticidní ochrana	Emise z insekticidní ochrany
Změna klimatu	S1	0	3,65E-05	1,95E-06	3,86E-06	8,80E-06	6,81E-06	5,57E-06	3,15E-06	2,44E-07		
	S2	0	2,11E-05	1,13E-06	2,23E-06	5,09E-06	3,94E-06	3,22E-06	1,82E-06	1,41E-07		
	S3	0	2,87E-05	1,54E-06	2,42E-05	1,51E-05	5,04E-06	8,49E-06	1,34E-05	1,67E-07		
	S4	0	2,17E-05	1,16E-06	1,82E-05	1,14E-05	3,80E-06	6,40E-06	1,01E-05	1,26E-07		
	S5	0	2,10E-05	1,12E-06	1,88E-06	4,31E-06	3,34E-06	2,73E-06	1,49E-06	1,20E-07	1,18E-05	0
	S6	0	1,28E-05	6,85E-07	1,15E-06	2,64E-06	2,04E-06	1,67E-06	9,13E-07	7,33E-08	7,21E-06	0
	S7	0	2,78E-05	1,49E-06	1,96E-05	1,24E-05	4,15E-06	7,02E-06	1,09E-05	1,39E-07	1,56E-05	0
	S8	0	1,33E-05	7,10E-07	9,36E-06	5,94E-06	1,98E-06	3,35E-06	5,20E-06	6,62E-08	7,47E-06	0
Suchozemská acidifikace	S1	0	2,68E-05	1,43E-06	9,78E-06	5,46E-06	4,48E-06	1,54E-06	1,57E-05	2,61E-07		
	S2	0	1,55E-05	8,28E-07	5,65E-06	3,16E-06	2,59E-06	8,88E-07	9,05E-06	1,51E-07		
	S3	0	2,11E-05	1,13E-06	6,12E-05	9,35E-06	3,31E-06	2,34E-06	6,68E-05	1,78E-07		
	S4	0	1,59E-05	8,50E-07	4,62E-05	7,05E-06	2,49E-06	1,76E-06	5,04E-05	1,34E-07		
	S5	0	1,54E-05	8,23E-07	4,76E-06	2,67E-06	2,20E-06	7,53E-07	7,43E-06	1,28E-07	2,06E-05	0
	S6	0	9,41E-06	5,03E-07	2,91E-06	1,64E-06	1,34E-06	4,60E-07	4,55E-06	7,82E-08	1,26E-05	0
	S7	0	2,04E-05	1,09E-06	4,96E-05	7,72E-06	2,73E-06	1,93E-06	5,42E-05	1,48E-07	2,73E-05	0
	S8	0	9,75E-06	5,21E-07	2,37E-05	3,68E-06	1,30E-06	9,23E-07	2,59E-05	7,07E-08	1,30E-05	0
Stadkovodní eutrofizace	S1	0	5,92E-05	3,16E-06	6,78E-05	2,32E-05	2,14E-05	9,68E-06	1,99E-05	1,12E-06		
	S2	0	3,42E-05	1,83E-06	3,92E-05	1,34E-05	1,24E-05	5,60E-06	1,15E-05	6,48E-07		
	S3	0	4,66E-05	2,49E-06	4,24E-04	3,97E-05	1,58E-05	1,47E-05	8,48E-05	7,65E-07		
	S4	0	3,51E-05	1,88E-06	3,20E-04	2,99E-05	1,19E-05	1,11E-05	6,40E-05	5,77E-07		
	S5	0	3,40E-05	1,82E-06	3,30E-05	1,13E-05	1,05E-05	4,75E-06	9,43E-06	5,49E-07	2,58E-04	0
	S6	0	2,08E-05	1,11E-06	2,02E-05	6,94E-06	6,42E-06	2,90E-06	5,77E-06	3,36E-07	1,58E-04	0
	S7	0	4,51E-05	2,41E-06	3,44E-04	3,28E-05	1,30E-05	1,22E-05	6,87E-05	6,36E-07	3,42E-04	0
	S8	0	2,15E-05	1,15E-06	1,64E-04	1,56E-05	6,22E-06	5,82E-06	3,28E-05	3,04E-07	1,63E-04	0
Mořská eutrofizace	S1	0	2,75E-06	1,47E-07	4,58E-07	3,91E-07	1,78E-07	7,51E-08	2,25E-07	9,86E-08		
	S2	0	1,59E-06	8,50E-08	2,65E-07	2,26E-07	1,03E-07	4,34E-08	1,30E-07	5,70E-08		
	S3	0	2,16E-06	1,16E-07	2,87E-06	6,70E-07	1,32E-07	1,14E-07	9,62E-07	6,73E-08		
	S4	0	1,63E-06	8,73E-08	2,16E-06	5,06E-07	9,93E-08	8,63E-08	7,26E-07	5,08E-08		
	S5	0	1,58E-06	8,45E-08	2,23E-07	1,92E-07	8,74E-08	3,68E-08	1,07E-07	4,83E-08	7,07E-06	0
	S6	0	9,66E-07	5,17E-08	1,36E-07	1,17E-07	5,35E-08	2,25E-08	6,55E-08	2,96E-08	4,33E-06	0
	S7	0	2,10E-06	1,12E-07	2,32E-06	5,53E-07	1,09E-07	9,46E-08	7,80E-07	5,60E-08	9,38E-06	0
	S8	0	1,00E-06	5,35E-08	1,11E-06	2,64E-07	5,18E-08	4,52E-08	3,72E-07	2,67E-08	4,48E-06	0
Suchozemská ekotoxičita	S1	0	9,03E-05	4,83E-06	2,90E-05	4,84E-05	2,89E-05	1,30E-06	1,06E-05	5,25E-06		
	S2	0	5,22E-05	2,79E-06	1,68E-05	2,80E-05	1,67E-05	7,51E-07	6,11E-06	3,04E-06		
	S3	0	7,11E-05	3,80E-06	1,82E-04	8,30E-05	2,13E-05	1,98E-06	4,51E-05	3,58E-06		
	S4	0	5,36E-05	2,87E-06	1,37E-04	6,26E-05	1,61E-05	1,49E-06	3,40E-05	2,70E-06		
	S5	0	5,19E-05	2,77E-06	1,41E-05	2,37E-05	1,42E-05	6,37E-07	5,02E-06	2,57E-06	1,91E-05	2,75E-05
	S6	0	3,17E-05	1,70E-06	8,64E-06	1,45E-05	8,66E-06	3,90E-07	3,07E-06	1,57E-06	1,17E-05	1,68E-05
	S7	0	6,88E-05	3,68E-06	1,47E-04	6,85E-05	1,76E-05	1,64E-06	3,66E-05	2,98E-06	2,53E-05	3,65E-05
	S8	0	3,29E-05	1,76E-06	7,02E-05	3,27E-05	8,40E-06	7,81E-07	1,75E-05	1,42E-06	1,21E-05	1,74E-05
Stadkovodní ekotoxičita	S1	0	5,67E-04	3,03E-05	1,61E-04	1,83E-04	2,02E-04	1,06E-04	7,66E-05	1,78E-05		
	S2	0	3,28E-04	1,75E-05	9,34E-05	1,06E-04	1,17E-04	6,13E-05	4,43E-05	1,03E-05		
	S3	0	4,46E-04	2,39E-05	1,01E-03	3,13E-04	1,49E-04	1,61E-04	3,27E-04	1,21E-05		
	S4	0	3,37E-04	1,80E-05	7,62E-04	2,36E-04	1,13E-04	1,22E-04	2,47E-04	9,16E-06		
	S5	0	3,26E-04	1,74E-05	7,86E-05	8,96E-05	9,93E-05	5,20E-05	3,64E-05	8,72E-06	1,24E-04	1,63E-02
	S6	0	1,99E-04	1,07E-05	4,81E-05	5,48E-05	6,07E-05	3,18E-05	2,22E-05	5,34E-06	7,58E-05	9,98E-03
	S7	0	4,32E-04	2,31E-05	8,19E-04	2,59E-04	1,23E-04	1,33E-04	2,65E-04	1,01E-05	1,64E-04	2,17E-02
	S8	0	2,06E-04	1,10E-05	3,91E-04	1,24E-04	5,89E-05	6,37E-05	1,26E-04	4,82E-06	7,85E-05	1,03E-02
Vodní stopa	S1	2,20E-03	1,70E-05	9,10E-07	3,52E-06	2,92E-06	1,81E-06	4,41E-07	1,77E-06	4,55E-07		
	S2	1,28E-03	9,83E-06	5,26E-07	2,04E-06	1,69E-06	1,05E-06	2,55E-07	1,02E-06	2,63E-07		
	S3	1,74E-03	1,34E-05	7,16E-07	2,20E-05	5,01E-06	1,34E-06	6,71E-07	7,53E-06	3,11E-07		
	S4	1,31E-03	1,01E-05	5,40E-07	1,66E-05	3,78E-06	1,01E-06	5,06E-07	5,68E-06	2,34E-07		
	S5	1,27E-03	9,77E-06	5,23E-07	1,72E-06	1,43E-06	8,90E-07	2,16E-07	8,38E-07	2,23E-07	5,02E-06	0
	S6	7,75E-04	5,98E-06	3,20E-07	1,05E-06	8,76E-07	5,44E-07	1,32E-07	5,13E-07	1,36E-07	3,07E-06	0
	S7	1,68E-03	1,30E-05	6,93E-07	1,79E-05	4,14E-06	1,11E-06	5,55E-07	6,11E-06	2,58E-07	6,66E-06	0
	S8	8,02E-04	6,19E-06	3,31E-07	8,53E-06	1,97E-06	5,28E-07	2,65E-07	2,92E-06	1,23E-07	3,18E-06	0
Nedostatek fosilních zdrojů	S1	0	8,62E-05	4,61E-06	8,26E-06	2,33E-05	1,63E-05	5,13E-06	6,55E-06	5,73E-07		
	S2	0	4,99E-05	2,67E-06	4,78E-06	1,35E-05	9,44E-06	2,97E-06	3,79E-06	3,32E-07		
	S3	0	6,79E-05	3,63E-06	5,17E-05	3,99E-05	1,21E-05	7,81E-06	2,80E-05	3,91E-07		
	S4	0	5,12E-05	2,74E-06	3,90E-05	3,01E-05	9,10E-06	5,89E-06	2,11E-05	2,95E-07		
	S5	0	4,95E-05	2,65E-06	4,02E-06	1,14E-05	8,01E-06	2,51E-06	3,11E-06	2,81E-07	3,24E-05	0
	S6	0	3,03E-05	1,62E-06	2,46E-06	6,98E-06	4,90E-06	1,54E-06	1,90E-06	1,72E-07	1,98E-05	0
	S7	0	6,57E-05	3,51E-06	4,19E-05	3,29E-05	9,95E-06	6,46E-06	2,27E-05	3,25E-07	4,30E-05	0
	S8	0	3,14E-05	1,68E-06	2,00E-05	1,57E-05	4,75E-06	3,08E-06	1,08E-05	1,55E-07	2,05E-05	0

Software SimaPro 9.5.0.2 Analyst, metoda ReCiPe midpoint (H), normalizační model, výsledky vyjádřeny pomocí normalizované hodnoty, bez vstupů elektřiny, plastu a kokosového vlákna, funkční jednotka 1 kg sušiny konopného květenství, S1= Roztok 1, Svítidlo 540 W; S2= Roztok 1, Svítidlo 900 W; S3= Roztok 2, Svítidlo 540 W; S4= Roztok 2, Svítidlo 900 W; S5= Roztok 3, Svítidlo 540 W; S6= Roztok 3, Svítidlo 900 W; S7= Roztok 4, Svítidlo 540 W; S8= Roztok 4, Svítidlo 900 W

Tabulka 18: Charakterizační model bez vstupů elektřiny, plastu a kokosového vlákna

Dopadové kategorie	Skupina	Spotřeba vody	Dusičnaté hnojivo	Amonné hnojivo	Fosforečné hnojivo	Draselné hnojivo	Vápenaté hnojivo	Hořečnaté hnojivo	Siřičité hnojivo	Mikronu trientové hnojivo	Insekticidní ochrana	Emise z insekticidní ochrany
Změna klimatu	S1	0	2,92E-01	1,56E-02	3,09E-02	7,04E-02	5,45E-02	4,46E-02	2,52E-02	1,96E-03		
	S2	0	1,69E-01	9,02E-03	1,79E-02	4,07E-02	3,15E-02	2,58E-02	1,46E-02	1,13E-03		
	S3	0	2,30E-01	1,23E-02	1,94E-01	1,21E-01	4,03E-02	6,79E-02	1,07E-01	1,33E-03		
	S4	0	1,73E-01	9,27E-03	1,46E-01	9,10E-02	3,04E-02	5,12E-02	8,10E-02	1,01E-03		
	S5	0	1,68E-01	8,97E-03	1,51E-02	3,45E-02	2,67E-02	2,19E-02	1,19E-02	9,59E-04	9,43E-02	0
	S6	0	1,03E-01	5,48E-03	9,21E-03	2,11E-02	1,64E-02	1,34E-02	7,31E-03	5,86E-04	5,77E-02	0
	S7	0	2,22E-01	1,19E-02	1,57E-01	9,96E-02	3,32E-02	5,61E-02	8,71E-02	1,11E-03	1,25E-01	0
	S8	0	1,06E-01	5,68E-03	7,49E-02	4,75E-02	1,59E-02	2,68E-02	4,16E-02	5,30E-04	5,97E-02	0
Suchozemská acidifikace	S1	0	1,10E-03	5,87E-05	4,01E-04	2,24E-04	1,83E-04	6,29E-05	6,42E-04	1,07E-05		
	S2	0	6,35E-04	3,39E-05	2,32E-04	1,29E-04	1,06E-04	3,64E-05	3,71E-04	6,18E-06		
	S3	0	8,64E-04	4,62E-05	2,51E-03	3,83E-04	1,36E-04	9,58E-05	2,74E-03	7,29E-06		
	S4	0	6,52E-04	3,49E-05	1,89E-03	2,89E-04	1,02E-04	7,23E-05	2,07E-03	5,50E-06		
	S5	0	6,31E-04	3,37E-05	1,95E-04	1,10E-04	9,00E-05	3,08E-05	3,05E-04	5,24E-06	8,43E-04	0
	S6	0	3,86E-04	2,06E-05	1,19E-04	6,70E-05	5,50E-05	1,89E-05	1,86E-04	3,20E-06	5,16E-04	0
	S7	0	8,37E-04	4,47E-05	2,03E-03	3,16E-04	1,12E-04	7,92E-05	2,22E-03	6,07E-06	1,12E-03	0
	S8	0	3,99E-04	2,14E-05	9,70E-04	1,51E-04	5,34E-05	3,78E-05	1,06E-03	2,90E-06	5,34E-04	0
Stadkovodní eutrofizace	S1	0	3,84E-05	2,05E-06	4,40E-05	1,50E-05	1,39E-05	6,29E-06	1,29E-05	7,27E-07		
	S2	0	2,22E-05	1,19E-06	2,54E-05	8,70E-06	8,03E-06	3,63E-06	7,46E-06	4,21E-07		
	S3	0	3,02E-05	1,62E-06	2,75E-04	2,58E-05	1,03E-05	9,57E-06	5,51E-05	4,96E-07		
	S4	0	2,28E-05	1,22E-06	2,08E-04	1,94E-05	7,74E-06	7,22E-06	4,15E-05	3,75E-07		
	S5	0	2,21E-05	1,18E-06	2,14E-05	7,37E-06	6,81E-06	3,08E-06	6,13E-06	3,57E-07	1,67E-04	0
	S6	0	1,35E-05	7,22E-07	1,31E-05	4,51E-06	4,17E-06	1,88E-06	3,75E-06	2,18E-07	1,02E-04	0
	S7	0	2,93E-05	1,57E-06	2,23E-04	2,13E-05	8,47E-06	7,91E-06	4,46E-05	4,13E-07	2,22E-04	0
	S8	0	1,40E-05	7,48E-07	1,07E-04	1,02E-05	4,04E-06	3,78E-06	2,13E-05	1,97E-07	1,06E-04	0
Mořská eutrofizace	S1	0	1,27E-05	6,78E-07	2,11E-06	1,80E-06	8,21E-07	3,46E-07	1,04E-06	4,54E-07		
	S2	0	7,33E-06	3,92E-07	1,22E-06	1,04E-06	4,75E-07	2,00E-07	6,01E-07	2,63E-07		
	S3	0	9,97E-06	5,33E-07	1,32E-05	3,09E-06	6,07E-07	5,27E-07	4,43E-06	3,10E-07		
	S4	0	7,52E-06	4,02E-07	9,97E-06	2,33E-06	4,58E-07	3,98E-07	3,34E-06	2,34E-07		
	S5	0	7,28E-06	3,89E-07	1,03E-06	8,83E-07	4,03E-07	1,70E-07	4,93E-07	2,23E-07	3,26E-05	0
	S6	0	4,45E-06	2,38E-07	6,29E-07	5,40E-07	2,46E-07	1,04E-07	3,02E-07	1,36E-07	1,99E-05	0
	S7	0	9,66E-06	5,17E-07	1,07E-05	2,55E-06	5,00E-07	4,36E-07	3,59E-06	2,58E-07	4,32E-05	0
	S8	0	4,61E-06	2,47E-07	5,11E-06	1,22E-06	2,39E-07	2,08E-07	1,72E-06	1,23E-07	2,06E-05	0
Suchozemská ekotoxicita	S1	0	1,37E+00	7,34E-02	4,41E-01	7,36E-01	4,39E-01	1,97E-02	1,61E-01	7,98E-02		
	S2	0	7,94E-01	4,24E-02	2,55E-01	4,26E-01	2,54E-01	1,14E-02	9,29E-02	4,62E-02		
	S3	0	1,08E+00	5,78E-02	2,76E+00	1,26E+00	3,24E-01	3,01E-02	6,85E-01	5,45E-02		
	S4	0	8,15E-01	4,36E-02	2,08E+00	9,52E-01	2,45E-01	2,27E-02	5,17E-01	4,11E-02		
	S5	0	7,88E-01	4,22E-02	2,15E-01	3,61E-01	2,15E-01	9,68E-03	7,62E-02	3,91E-02	2,90E-01	0,41817352
	S6	0	4,82E-01	2,58E-02	1,31E-01	2,21E-01	1,32E-01	5,92E-03	4,66E-02	2,39E-02	1,77E-01	0,25576531
	S7	0	1,05E+00	5,59E-02	2,24E+00	1,04E+00	2,67E-01	2,49E-02	5,56E-01	4,53E-02	3,84E-01	0,554768882
	S8	0	4,99E-01	2,67E-02	1,07E+00	4,97E-01	1,28E-01	1,19E-02	2,65E-01	2,16E-02	1,83E-01	0,264862298
Stadkovodní ekotoxicita	S1	0	1,43E-02	7,64E-04	4,07E-03	4,61E-03	5,10E-03	2,67E-03	1,93E-03	4,48E-04		
	S2	0	8,26E-03	4,42E-04	2,35E-03	2,66E-03	2,95E-03	1,54E-03	1,12E-03	2,59E-04		
	S3	0	1,12E-02	6,01E-04	2,55E-02	7,89E-03	3,77E-03	4,07E-03	8,23E-03	3,06E-04		
	S4	0	8,48E-03	4,53E-04	1,92E-02	5,96E-03	2,84E-03	3,07E-03	6,21E-03	2,31E-04		
	S5	0	8,20E-03	4,39E-04	1,98E-03	2,26E-03	2,50E-03	1,31E-03	9,16E-04	2,20E-04	3,12E-03	0,41120074
	S6	0	5,02E-03	2,68E-04	1,21E-03	1,38E-03	1,53E-03	8,01E-04	5,60E-04	1,34E-04	1,91E-03	0,251500585
	S7	0	1,09E-02	5,82E-04	2,06E-02	6,52E-03	3,11E-03	3,36E-03	6,67E-03	2,54E-04	4,14E-03	0,54551846
	S8	0	5,20E-03	2,78E-04	9,85E-03	3,11E-03	1,48E-03	1,61E-03	3,19E-03	1,21E-04	1,98E-03	0,260445886
Vodní stopa	S1	0,587969925	4,53E-03	2,43E-04	9,39E-04	7,80E-04	4,84E-04	1,18E-04	4,71E-04	1,21E-04		
	S2	0,34	2,62E-03	1,40E-04	5,43E-04	4,51E-04	2,80E-04	6,79E-05	2,72E-04	7,02E-05		
	S3	0,462721893	3,57E-03	1,91E-04	5,88E-03	1,34E-03	3,58E-04	1,79E-04	2,01E-03	8,28E-05		
	S4	0,349107143	2,69E-03	1,44E-04	4,43E-03	1,01E-03	2,70E-04	1,35E-04	1,52E-03	6,25E-05		
	S5	0,337796976	2,61E-03	1,39E-04	4,57E-04	3,82E-04	2,37E-04	5,76E-05	2,24E-04	5,95E-05	1,34E-03	0
	S6	0,20660502	1,59E-03	8,52E-05	2,80E-04	2,34E-04	1,45E-04	3,52E-05	1,37E-04	3,64E-05	8,19E-04	0
	S7	0,448137536	3,46E-03	1,85E-04	4,76E-03	1,10E-03	2,95E-04	1,48E-04	1,63E-03	6,89E-05	1,78E-03	0
	S8	0,213953488	1,65E-03	8,83E-05	2,27E-03	5,26E-04	1,41E-04	7,06E-05	7,78E-04	3,29E-05	8,48E-04	0
Nedostatek fosilních zdrojů	S1	0	8,45E-02	4,52E-03	8,10E-03	2,28E-02	1,60E-02	5,03E-03	6,42E-03	5,62E-04		
	S2	0	4,89E-02	2,61E-03	4,68E-03	1,32E-02	9,26E-03	2,91E-03	3,71E-03	3,25E-04		
	S3	0	6,65E-02	3,56E-03	5,07E-02	3,91E-02	1,18E-02	7,66E-03	2,74E-02	3,84E-04		
	S4	0	5,02E-02	2,68E-03	3,82E-02	2,95E-02	8,93E-03	5,78E-03	2,07E-02	2,90E-04		
	S5	0	4,86E-02	2,60E-03	3,94E-03	1,12E-02	7,86E-03	2,47E-03	3,05E-03	2,76E-04	3,18E-02	0
	S6	0	2,97E-02	1,59E-03	2,41E-03	6,84E-03	4,80E-03	1,51E-03	1,86E-03	1,69E-04	1,94E-02	0
	S7	0	6,44E-02	3,45E-03	4,11E-02	3,23E-02	9,76E-03	6,33E-03	2,22E-02	3,19E-04	4,22E-02	0
	S8	0	3,08E-02	1,65E-03	1,96E-02	1,54E-02	4,66E-03	3,02E-03	1,06E-02	1,52E-04	2,01E-02	0

Software SimaPro 9.5.0.2 Analyst, metoda ReCiPe midpoint (H), charakterizační model, bez vstupů elektřiny, plastu a kokosového vlákna, funkční jednotka 1 kg sušiny konopného květenství, S1= Roztok 1, Svítidlo 540 W; S2= Roztok 1, Svítidlo 900 W; S3= Roztok 2, Svítidlo 540 W; S4= Roztok 2, Svítidlo 900 W; S5= Roztok 3, Svítidlo 540 W; S6= Roztok 3, Svítidlo 900 W; S7= Roztok 4, Svítidlo 540 W; S8= Roztok 4, Svítidlo 900 W