



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

Bakalářská práce

Indoorové pěstitelské systémy z pohledu *Life Cycle Assessment*

Autor práce: Karel Procházka

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

České Budějovice

2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě, ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách

V Českých Budějovicích dne

Podpis

Abstrakt

Cílem této práce bylo kvantifikovat environmentální dopady pěstování zeleniny v indoor systému pomocí metody Life Cycle Assessment (LCA). Práce zahrnovala samotný experiment a sběr dat, dále vytvoření literárního přehledu, definování cílů a rozsahu hodnocení dle norem ISO 14040, 14044, inventarizaci dat, vyhodnocení dopadů a interpretaci dat s cílem detekovat hlavní zdroje environmentální zátěže a navrhnout opatření pro jejich redukci. Byl představen model hydroponického pěstování salátové okurky v rámci projektu na Jihočeské univerzitě, kde byly zohledněny všechny procesy od získávání surovin po produkci, včetně spotřeby vody, materiálů, energií a produkce odpadů. Hypotézy předpokládaly, že největší dopady budou spojeny se spotřebou energie a že nejvíce ovlivněné kategorie budou toxicita a spotřeba vody. Výsledky studie poukazují na významný environmentální dopad, který je spojen se vstupy energií. Elektrická energie, její výroba a spotřeba, představuje v rámci modelu až 92 % z celkového environmentálního zatížení.

Klíčová slova: Enviromentální dopady, hydroponické pěstování zeleniny, LCA

Abstract

The aim of this work was to quantify the environmental impacts of growing vegetables in an indoor system using the Life Cycle Assessment (LCA) method. The work included the experiment itself and data collection, as well as creating a literature review, defining the goals and scope of the assessment according to ISO 14040, and 14044 standards, data inventory, impact evaluation, and data interpretation with the aim of detecting the main sources of environmental burden and proposing measures for their reduction. a model of hydroponic cultivation of salad cucumber was presented as part of a project at the University of South Bohemia, where all processes from the acquisition of raw materials to production, including the consumption of water, materials, energy, and waste production, were taken into account. Hypotheses assumed that the

greatest impacts would be associated with energy consumption and that the most affected categories would be toxicity and water consumption. The results of the study point to a significant environmental impact associated with energy inputs. Electrical energy, its production and consumption, represents up to 92 % of the total environmental load within the model.

Keywords: Environmental impacts, hydroponic vegetable cultivation, LCA

Poděkování

V první řadě bych rád poděkoval vedoucímu práce doc. Ing. Jaroslavu Bernasovi Ph.D. za cenné rady a všestrannou pomoc při vedení mé bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval kolegům doc. Ing. Janu Mrázovi, Ph.D. Ing. Radku Gebauerovi, Ph.D. a Ing. Pavlu Frantovi, za odborné připomínky a umožnění provedení experimentu v prostorách Akvaponické haly Fakulty rybářství a ochrany vod. Ing. Pavlovi Frantovi také děkuji za vynikající spolupráci při získávání dat a péči o systémy a rostliny v době mé nepřítomnosti na skleníku. v neposlední řadě bych také rád poděkoval mé přítelkyni Radce Kvantové, rodině a přátelům za trpělivost a podporu během mého studia. Nakonec bych chtěl poděkovat studijnímu oddělení a vedení naší fakulty za skvělý přístup a ochotu při řešení studijních záležitostí.

Obsah

Úvod.....	8
1 Literární přehled.....	9
1.1 Zemědělství a nové trendy: Obecně o vývoji zemědělství a inklinaci k moderním pěstitelským technologiím.....	9
1.2 Indoorové pěstitelské systémy	10
1.3 Definice hydroponie a stav poznání	10
1.4 Akvaponie	10
1.5 Princip pěstitelských systémů a základní typy.....	11
1.6 Historie hydroponie.....	13
1.7 Současnost hydroponie a akvaponie	15
1.8 Budoucnost hydroponie	16
1.9 Enviromentální aspekty.....	17
1.9.1 Související problematika dopadů na životní prostředí	17
1.9.2 Posuzování dopadů na životní prostředí metodou LCA	18
1.9.3 Význam LCA a obecná charakteristika.....	19
1.10 Fáze LCA	20
1.10.1 Definice cíle a rozsahu	20
1.10.2 Inventarizace životního cyklu (LCI).....	21
1.10.3 Hodnocení dopadů životního cyklu (LCIA)	22
1.10.4 Interpretace dat.....	22
2 Cíl práce	24
2.1 Hypotézy	24
3 Metodika	25
3.1 Definice cíle a rozsahu	25

3.2	Zdroje dat a LCI.....	26
3.2.1	Primární data	26
3.2.2	Sekundární data.....	30
3.3	Posuzování dopadů na životní prostředí (Life cycle impact assessment; LCIA) 32	
4	Výsledky a diskuze	33
4.1	Interpretace dat – charakterizační model	33
4.2	Interpretace dat – normalizační model	34
4.3	Interpretace dat – Damage assessment a vážení dat (data weighting)	35
4.4	Komparativní studie	38
4.5	Návrh opatření vedoucích ke snížení dopadu na životní prostředí	42
	Závěr	43
	Zdroje (dle systému APA)	44
	Seznam obrázků	48
	Seznam tabulek	49
	Seznam použitých zkratk.....	50
	Přílohy	51

Úvod

Zhoršující se kvalita životního prostředí vyžaduje globální neodkladná a efektivní řešení současného stavu. Šetrné nakládání se zdroji a odpovědné zemědělství jsou metody, které nám mohou udržitelným způsobem pomoci zachovat další vývoj lidstva, a omezit s ním spojené negativní dopady na planetu, v mezích nezbytných pro přežití člověka v budoucnosti a zajištění důstojného života pro další generace. Hlavní problémy, kterým dnešní svět čelí jsou natolik závažné, že potřebujeme prohloubit znalosti a urychlit aplikaci metod hospodaření, které budou dlouhodobě udržitelné. Odpovědné zemědělství, bez nadměrného zatěžování přírodních zdrojů, které zahrnuje šetrné metody obhospodařování půdy, ochranu vodních zdrojů a minimalizaci používání chemických látek, včetně anorganických hnojiv, je zásadní pro udržení biodiverzity a produkci dostatečného množství kvalitních potravin pro rostoucí populaci. Tyto principy jsou široce podporovány vědeckou komunitou a mezinárodními organizacemi zabývajícími se životním prostředím a udržitelným rozvojem. Témata jako cirkularita, waste management a akvaponie jsou perspektivními obory, které mohou být jedním ze způsobů, jak čelit budoucím krizím. Význam a potencionální přínos této práce spočívá v kvantifikaci environmentálních dopadů a detekci hot spot při pěstování okurek v hydroponickém systému z pohledu LCA (*Life cycle assesment*). Pomocí metody LCA lze komplexně zhodnotit dopady konkrétního produktu nebo procesu na životní prostředí. Práce hodnotí konkrétní vstupy do hydroponického systému pěstování zeleniny, vztažené k produkci okurek za dobu trvání pokusu. Zároveň čtenáři představí srovnání dvou systémů, akvaponického a hydroponického, a rozdíl mezi vstupy použitých minerálních hnojiv. Samotný experiment a sběr dat proběhl v Akvaponické hale Fakulty rybářství a ochrany vod, na Jihočeské univerzitě v Českých Budějovicích. z výsledků této práce je možné zhodnotit pozitivní přínos akvaponie pro pěstování zeleniny v našich podmínkách z pohledu LCA. Tato práce poskytuje komplexní pohled na environmentální dopady pěstování okurek v rámci experimentu, což umožňuje informovanější rozhodování s ohledem na udržitelnost a ochranu životního prostředí.

1 Literární přehled

1.1 Zemědělství a nové trendy: Obecně o vývoji zemědělství a inklinaci k moderním pěstitelským technologiím

V dnešním světě je většina lidí závislá na produktech zemědělství pro svou každodenní obživu, přesto jde o poměrně nedávný vývoj v evoluci lidstva. Moderní lidé (*Homo sapiens*) se objevili v Africe před 100 000 lety a během následujících 50 000 let se rozšířili jako lovci-sběrači po většině Eurasie. Ale teprve před asi 10 000 lety začaly některé skupiny v jihozápadní Asii pěstovat obiloviny a luštěniny a staly se tak prvními zemědělci na světě. Přejít od shánění potravy k farmaření zásadně změnil vztah lidí k jejich životnímu prostředí, a protože umožnil zásobit potravinami více lidí na jednotku plochy obdělávané půdy, vydláždil cestu pro usdlý život na vesnici, a nakonec i pro městskou civilizaci (Harris, 2012). Mnoho zemědělských produkčních oblastí po celém světě se vyznačuje vysokou variabilitou podmínek zásobování vodou nebo jednoduše nedostatkem vody, což vytváří závislost na zavlažování již od neolitu. ve starověkém Egyptě pravidelné záplavy řekou Nil znamenaly, že rané zemědělství pravděpodobně spočívalo v sázení semen do půdy, která byla zaplavena a zúrodněna záplavovou vodou a usazeninami bahna. na druhé straně v suchých a polosuchých oblastech zemědělci využívali trvalé prameny a sezónní odtok za okolností zcela odlišných od říčních civilizací Mezopotámie, Egypta, Indie a raných dynastií v Číně (Angelakis, et al., 2020). Aztékové využívali sítě kanálů a plovoucích ostrovů zvaných chinampas, které jim zajišťovaly produkci potravin i v místech, kde nebyl dostatek orné půdy. Chinampas můžeme považovat za předchůdce dnešních raftových hydroponických systémů a kolébkou akvaponie (Ebel, 2020).



Obrázek 1-1 Ilustrace Chinampas (<https://mexicanroutes.com>)

1.2 Indoorové pěstitelské systémy

1.3 Definice hydroponie a stav poznání

Hydroponie může být definována jako věda o pěstování rostlin bez použití půdy, ale s využitím inertního média, jako je štěrk, písek, rašelina, vermikulit, pemza, perlite, kokosové vlákno, piliny, slupky rýže nebo jiné substráty, ke kterým je přidán výživný roztok obsahující všechny nezbytné prvky potřebné pro normální růst a vývoj rostliny (Resh, 2022). Způsob pěstování rostlin bez půdy nazývaný hydroponie, je úspěšně využíván pro růst zeleniny a květin. Princip spočívá v používání živinového roztoku v prostředí, jehož podmínky jsou pečlivě kontrolovány, což zvyšuje produktivitu ve srovnání s tradičním zemědělstvím. Hydroponické systémy mohou být využity jako část procesu čištění odpadních vod nebo recyklované vody před jejich uvolněním do životního prostředí (Vaillant, et al., 2003). S rostoucím zájmem o akvaponii, vertikální zemědělství a produkci zeleniny a legálního konopí stoupá také zájem o tyto technologie, a použití recyklované vody jako živinového roztoku by mohlo být nakonec ekonomicky životaschopné. Využití recyklované vody jako zdroje živin v hydroponických systémech ukázalo příznivé výsledky a jeho zařazení jako alternativy pro produkci plodin se stává stále životaschopnějším. Odstranění živin, jako jsou N, P a K, v hydroponických systémech jako metoda čištění odpadních vod je činí alternativou k prevenci znečištění vody a nedostatku vody (Magwaza, et al., 2020). i když může být považováno za ekologičtější techniku než konvenční zemědělství, existuje nesouhlas v považování hydroponie za plně organickou zemědělskou techniku kvůli použití umělého osvětlení a živinových roztoků na bázi chemických hnojiv. Použití recyklované vody by mohlo zásobovat hydroponické systémy vyššími úrovněmi organických látek a živin a teoreticky být považováno za organické zemědělství. Nicméně, stále existuje omezený počet studií, které by referovaly o úspěchu hydroponie s recyklovanou vodou na komerční úrovni (Cifuentes-Torres, et al., 2021).

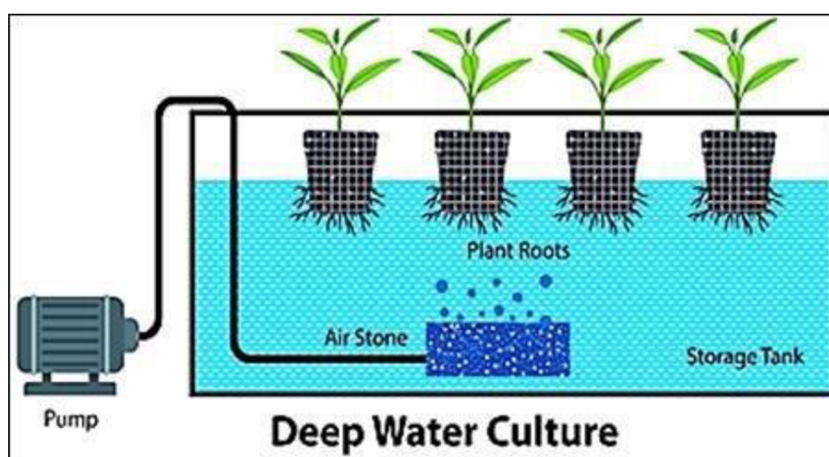
1.4 Akvaponie

Akvaponie se rychle rozvíjí, protože se zvyšuje potřeba udržitelné produkce potravin a zásoby sladké vody a fosforu se zmenšují (Palm, H. W., et al., 2018). Akvaponie, jako uzavřený systém skládající se z prvků hydroponie a akvakultury, by mohla přispět k řešení těchto problémů. Nicméně, existuje nedostatek kvantitativního výzkumu, který by podpořil vývoj ekonomicky proveditelných systémů akvaponie. Ačkoli

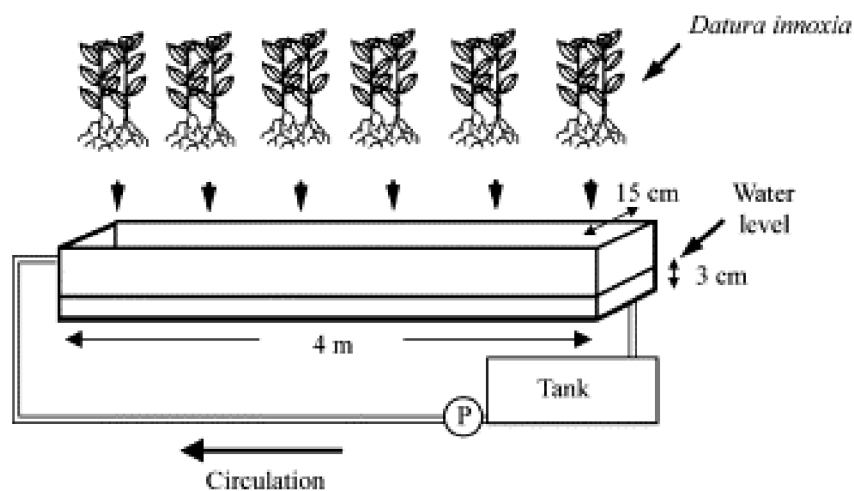
mnoho studií se zabývalo některými vědeckými aspekty, omezený důraz byl kladen na komerční implementaci. Akvaponie má potenciál stát se důležitým motorem pro rozvoj integrovaných systémů produkce potravin (Godek et al., 2015). Průzkumy však ukazují, že produkce aquaponických systémů v Evropě je stále velmi omezená a velmi málo společností je ekonomicky životaschopných (Turnsek et al., 2020). Suché oblasti trpící nedostatkem vody budou mít zvláštní prospěch z této technologie provozované v komerčním prostředí. S ohledem na skutečnost, že akvaponie dodržuje principy opětovného využívání živin a vody, zdá se být slibným řešením pro udržitelné praktiky akvakultury a hydroponie. Nicméně, další výzkumy a vývoje nových technologií jsou nezbytné. Tyto výzvy je třeba řešit s cílem zřídit plně kontrolované a standardizované akvaponické systémy, které budou snadno ovladatelné a ekonomicky životaschopné. Konkurenceschopnost výrobní metody závisí na technologickém vývoji, místních trzích a klimatických a geografických podmínkách, které je třeba posoudit a nelze je zobecnit. Pouze důkladné řešení těchto faktorů nakonec potvrdí akvaponii jako udržitelnou alternativu v produkci potravin (Godek et al., 2015).

1.5 Princip pěstitelských systémů a základní typy

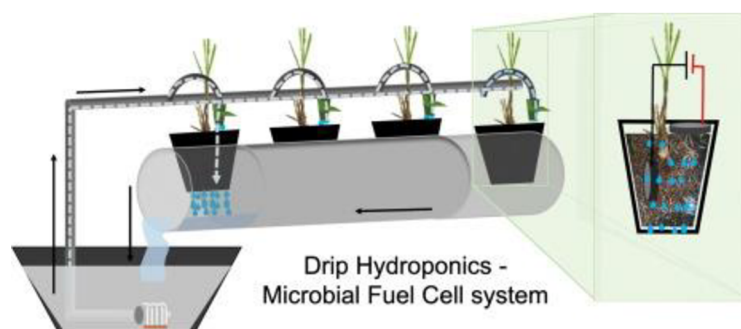
V hydroponii existuje řada systémů lišících se technologií, vlastní konstrukcí a způsobem pěstování rostlin v těchto systémech. Zobrazené obrázky představují základní typy hydroponických systémů a jejich technologii.



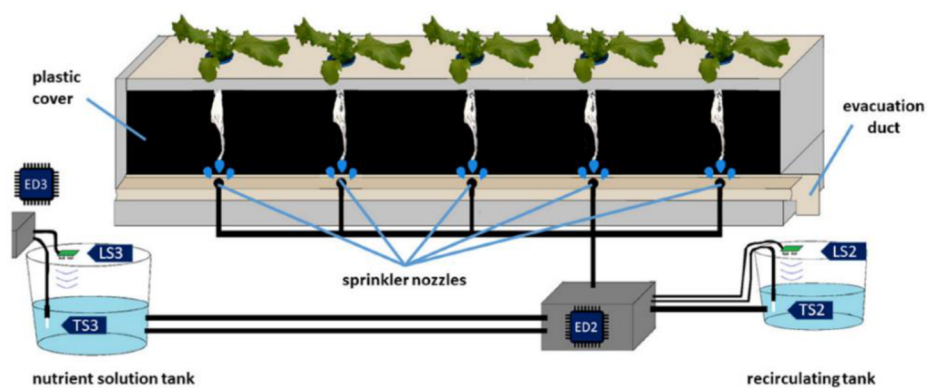
Obrázek 1-2 DWC technika hluboké vodní kultury (rafty) - Deep Water Culture (Rani, et al., 2022).



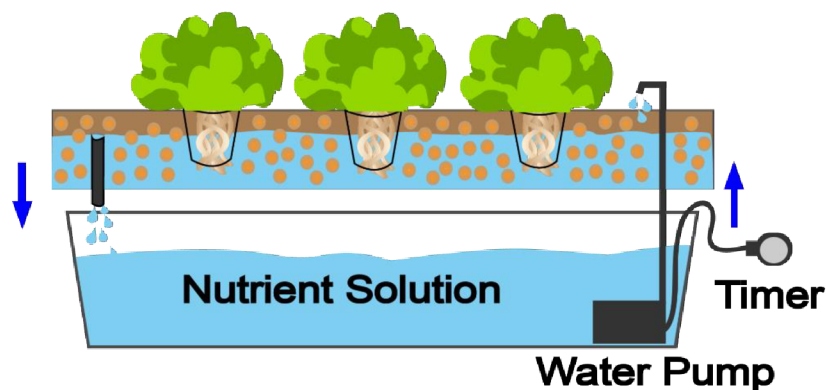
Obrázek 1-3 NFT technika tenkého filmu živin - Nutrient Film Technique (Vaillant, et al., 2003).



Obrázek 1-4 Systémy kapkové závlahy - Drip system (Yadav, et al., 2020).



Obrázek 1-5 Aeroponické systémy – Aeroponics (Méndez-Guzmán, et al., 2022).



Obrázek 1-6 Záplavové systémy (MFB – Media Filled Beds) – Ebb and flow (Rani, et al., 2022).

Při návrhu pěstebních systémů může být aplikováno několik různých hydroponických technologií. To závisí na environmentálních a finančních okolnostech, typu pěstované plodiny a dostupném prostoru (Godek et al., 2015). pro správnou funkci vody a živin v hydroponickém systému je třeba měřit elektrickou vodivost roztoku – konduktivitu (EC), pH, rozpuštěný kyslík a teplotu. Protože se koncentrace iontů v živinových roztocích s časem mění, což vede k nerovnováze živin v uzavřených hydroponických systémech, a to může vést k deficiencím a zdravotním problémům rostlin, jsou vyžadována reálná měření všech živin, avšak tato měření často nejsou k dispozici kvůli technické složitosti a cenové dostupnosti přesných analýz. Namísto toho se v komerčních farmách používají hydroponické systémy založené pouze na měření elektrokonduktivity (EC) a recyklování přibližně 30 % použitého nutričního roztoku. pro stabilní produkci plodin jsou v hydroponických systémech nezbytné dezinfekční systémy využívající filtry, dezinfekční prostředky, teplo, ozón a ultrafialové záření (Son, et al.2020).

1.6 Historie hydroponie

Hydroponie je poměrně nový termín používaný pro pěstování rostlin bez použití půdy, avšak tato metoda má mnohem starší původ. Visuté zahrady Babylonské, plovoucí zahrady aztéckého Mexika zvané chinampas a čínská rýžová pole byly formou hydroponické kultury, ačkoli tak nebyly označovány. Dokonce i egyptské hieroglyfické známky několika set let př. n. l. popisují pěstování rostlin ve vodě (Resh, 2022). v roce 1699 bylo angličanem Johnem Woodwardem zjištěno, že rostliny pěstované ve vodě obsahující různé typy půd nejvíce rostly ve vodě, která obsahovala nejvíce půdy, přesněji minerálních látek. Dospěl k závěru, že růst rostlin byl výsledkem určitých látek

ve vodě, získaných z půdy, a ne pouze z vody samotné (Kumar, D. R., & Kumar, B. S., 2023). Další pokrok ve výzkumu byl pomalý, dokud nebyly vyvinuty sofistikovanější analytické metody a nedošlo k dalšímu poznání v oblasti chemie. v roce 1804 navrhl De Saussure, že rostliny jsou složeny z chemických prvků získaných z vody, půdy a vzduchu. Tento návrh byl později v roce 1851 ověřen Boussingaultem, francouzským chemikem, v jeho experimentech s rostlinami pěstovanými v písku, křemenné drti a uhlí, ke kterým byly přidány roztoky bohaté na živiny. Výzkumníky bylo do té doby prokázáno, že rostliny mohou být pěstovány v inertním médiu zvlhčováním vodním roztokem obsahujícím minerály potřebné pro rostliny (Resh, 2022). Dalším krokem bylo úplné odstranění média a pěstování rostlin ve vodním roztoku obsahujícím tyto minerály. Toho bylo dosaženo v letech 1860–1861 dvěma německými vědci, Sachsem a Knopem (Kumari, et al., 2021). Toto byl počátek "nutrikultury", a podobné techniky jsou stále používány dnes při laboratorních studiích fyziologie a výživy rostlin. Tyto rané výzkumy v oblasti výživy rostlin ukázaly, že normální růst rostlin lze dosáhnout ponořením kořenů rostliny do vodního roztoku obsahujícího soli dusíku (N), fosforu (P), síry (S), draslíku (K), vápníku (Ca) a hořčíku (Mg), které jsou nyní definovány jako makroelementy nebo makroživiny (prvky vyžadované v relativně velkém množství). S dalším zdokonalením laboratorních technik a chemie bylo vědci objeveno sedm prvků, které jsou rostlinami vyžadovány v relativně malých množstvích - mikroelementy nebo stopové prvky. Tyto zahrnují železo (Fe), chlor (Cl), mangan (Mn), bor (B), zinek (Zn), měď (Cu) a molybden (Mo). v následujících letech bylo výzkumníky vyvinuto mnoho základních formulí pro tvorbu živinových roztoků a studium výživy rostlin. Někteří z těchto pracovníků byli Arnon, Hoagland, Robbins, Shive, Tollens, Tottingham a Trelease. Tyto roztoky jsou stále používány v laboratorním výzkumu výživy a fyziologie rostlin (Li, & Cheng, 2015). Zájem o praktické využití této „nutrikultury“ stagnoval až do roku 1925, kdy skleníkový průmysl vyjádřil zájem o její použití. Skleníkové půdy musely být často nahrazovány, aby bylo překonáno řešení problémů se strukturou půdy, úrodností a škůdci a chorobami. v důsledku toho si výzkumní pracovníci uvědomili potenciální využití hydroponie k nahrazení tradičních pěstitelských metod. Mezi lety 1925 a 1935 proběhl rozsáhlý vývoj v modifikaci laboratorních technik nutrikultury pro produkci plodin ve velkém měřítku. na počátku 30. let 20. století W.F. Gericke z Kalifornské univerzity přenesl laboratorní ex-

perimenty s výživou rostlin na komerční úroveň (Swain, et al., 2021). Při tomto přenesení nazval tyto systémy nutrikultury hydroponií. Slovo bylo odvozeno ze dvou řeckých slov hydro („voda“) a ponos („práce“) - doslova „práce s vodou“. Hydroponicky Gericke pěstoval zeleninu a okrasné rostliny, včetně kořenových a hlíznatých plodin, jako jsou řepy, ředkvičky, mrkve a brambory. Pěstováním ve vodní kultuře dosáhl takové výšky rajčat, že je musel sklízet s pomocí žebříku. Americký tisk to nazval objevem století (Resh, 2022). Výrazný rozdíl v produkci plodin mezi hydroponií a klasickým zemědělstvím byl pozorován například u špenátu, kde byly roční výnosy 16,35 kg na m² v hydroponii, ve srovnání s 2,7 kg m² při klasickém hospodaření v půdě (Goh et al., 2023). po neklidném období, kdy nereseriozni lidé se snažili z této myšlenky těžít prodejem neužitečného vybavení, byl proveden praktičtější výzkum a hydroponie byla uznána na pevném vědeckém základu v zahradnictví a v zemědělství, s uznáním jejích dvou hlavních výhod, vysokých výnosů plodin a jejího možného využití v neúrodných regionech světa. Hydroponie se brzy osvědčila tím, že poskytovala jídlo pro vojáky umístěné na neúrodných ostrovech v Tichém oceánu na počátku 40. let 20. století. v roce 1945 vyřešilo americké letectvo svůj problém se zásobováním svého personálu čerstvou zeleninou tím, že praktikovalo hydroponii ve velkém měřítku na skalnatých ostrovech, které obvykle nebyly schopny takové plodiny produkovat. Komerční využití hydroponie se v 50. letech 20. století rozšířilo po celém světě do zemí jako Itálie, Španělsko, Francie, Anglie, Německo, Švédsko, SSSR a Izrael (Resh, 2022).

1.7 Současnost hydroponie a akvaponie

Hydroponie, jako moderní metoda pěstování, efektivně řeší problémy jako jsou klimatické změny, nedostatek sladké vody a zvyšující se spotřeba potravin. Tato technologie umožňuje produkci kvalitních potravin, rychlejší růst plodin, celoroční produkci a minimalizuje rizika nemocí, škůdců a pracně náročné úkony jako pletí a zavlažování (Kumar & Singh, 2023). S rozvojem plastů udělala hydroponie další velký krok vpřed, protože osvobodily pěstitele od nákladné výstavby spojené s dříve používanými betonovými lůžky a nádržemi. Díky vývoji vhodných čerpadel, časových spínačů, plastového potrubí, ventilů a dalšího vybavení nyní může být celý hydroponický systém automatizován, čímž se snižují jak kapitálové, tak provozní náklady. Mnoho moderních

skleníkových provozů nyní využívá automatizaci při instalaci a pohybu pěstebních kanálů uvnitř skleníku a automatizovaného, robotického sázení a sklizně (Resh, 2022). Včetně automatizace, která zajišťuje optimalizované mikroklimatické podmínky (Erfianto et al., 2020). Hydroponie se stala pro skleníkové pěstitele realitou a po celém světě existují velká hydroponická zařízení pro pěstování květin i zeleniny. Nejdůležitějšími komerčními hydroponickými plodinami jsou rajčata, okurky, papriky, salát a květiny a tento způsob pěstování je nyní používán téměř v každé zemi světa. V aridních oblastech, jsou vyvíjeny hydroponické komplexy často kombinované s jednotkami na odsolování mořské vody, která je po úpravě využívána pro závlivku. Jako pěstební médium v těchto oblastech se často využívá písek jako lokální zdroj (Resh, 2022). S rozvojem bioochrany a automatizace v oblasti ochrany rostlin je v dnešní době možné výrazně omezit použití agrochemikálií na ochranu rostlin, převážně insekticidů a fungicidů (Gossen & McDonald, 2020).

1.8 Budoucnost hydroponie

V relativně krátkém období prošla hydroponie významným vývojem, od základních systémů až po vysoce specializovanou kulturu v kosmickém programu (De Pascale, et. al., 2021). Hydroponické technologie mohou být použity ve vývojových zemích třetího světa k poskytování intenzivní produkce potravin na omezené ploše. Omezeními pro širší využití jsou převážně zdroje sladké vody a živin a elektrické energie, a vysoké pořizovací náklady na technologie, i přes to má potenciální uplatnění při produkci potravin v oblastech s rozsáhlými plochami neúrodné půdy a vysoce početnou populací. Hydroponie je cennou metodou pěstování čerstvé zeleniny i v místech, jejichž hlavním průmyslem je turismus. v takových zemích mohou turistická zařízení, jako jsou rekreační hotely, pěstovat vlastní produkty místo jejich dovozu z velkých vzdáleností, s dlouhými dodacími lhůtami. Typickými příklady takových regionů jsou Západní Indie a Havaj, které mají rozsáhlý turistický průmysl a velmi málo zemědělské půdy pro produkci zeleniny (Resh, 2022). Skleníkové hydroponické provozy budou čím dál tím více spojeny s průmyslovými odvětvími, která produkují odpadní teplo nebo využívají alternativní zdroje energie. Takové projekty kogenerace již existují i u nás v České republice. Bioplynové stanice pro zpracování živočišných odpadů jsou dobrým příkladem využití této praxe (Mráz, et. al., 2018). Elektrárny využívají vodu

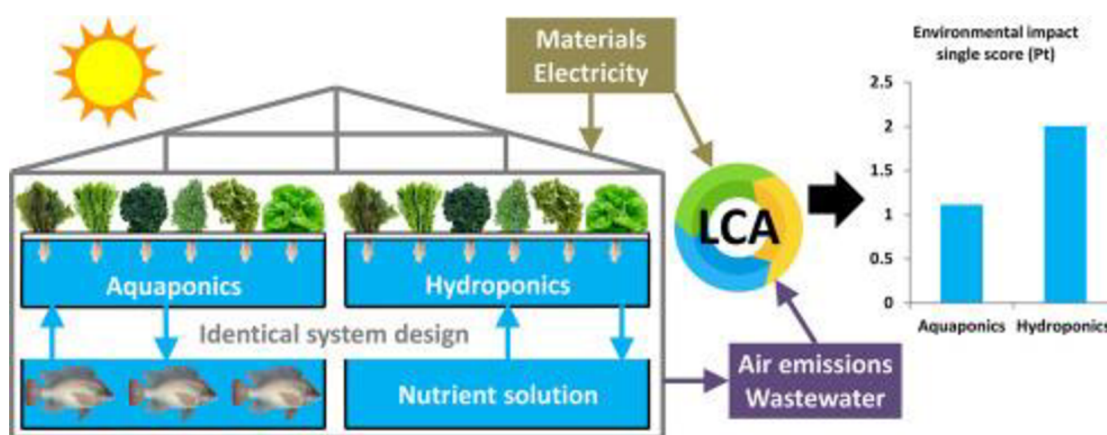
ve svých chladicích věžích. Tato ohřátá voda může být použita jak pro vytápění skleníku, tak pro poskytování destilované vody bez minerálů pro pěstování rostlin v hydroponických systémech. S příchodem nové technologie umělého osvětlení se pěstování rostlin s využitím umělého osvětlení stane ekonomicky proveditelným, zejména na severnějších šířkách, kde je sluneční světlo omezené během roku, od pozdního podzimu do časného jara. v tomto období jsou samozřejmě ceny produkce mnohem vyšší než v letních měsících. Nová LED světla mají tento potenciál, ale v současné době jsou příliš drahá a vyžadují instalaci ve velkém počtu k poskytnutí dostatečného intenzity světla (Promratrak, 2017). Teplo generované světly by mohlo být použito k doplnění vytápění. ve světě existuje mnoho lokalit s geotermálními zdroji tepla, v budoucnu by mohly být velké skleníky umístěny blízko geotermálních lokalit, aby využívaly teplo, jak se to již děje na Hokkaidu v Japonsku. Výzkum pokračuje a jsou navrhovány a testovány uzavřené recirkulační systémy pro provoz v mikrogravitačních (velmi nízkých gravitačních) prostředích. Takové hydroponické systémy budou pěstovat potraviny pro vyživení astronautů na dlouhých vesmírných misích (De Pascale, 2021). ve velkých městech, kde je čerstvá zelenina často přepravována na dlouhé vzdálenosti, existuje potenciál pro hydroponické skleníkové zahrady na střeších nebo pro vertikální systémy, které by mohly pěstovat produkty uvnitř budov. Hydroponické systémy by byly použity ve spojení se solárními články, odpadním teplem a čištěná odpadní voda, případně voda dešťová by zavlažovala rostliny (Resh, 2022). Moderní akvaponické systémy se dnes rozvíjí hlavně v Severní Americe a Austrálii, kde na jejich rozvoj příznivě působí vhodné klimatické podmínky a rostoucí zájem společnosti o pěstování organických potravin. Evropa rovněž postupně začíná akvaponii více vnímat a zařazovat ji do centra svého zájmu. (Mráz, et al., 2018).

1.9 Enviromentální aspekty

1.9.1 Související problematika dopadů na životní prostředí

Integraci obnovitelných zdrojů energie a využitím odpadního tepla může být snížena závislost hydroponického zemědělství na fosilních palivech. Spotřeba elektřiny pro vytápění a chlazení, případně pro přisvětlování, může být v budoucnu nahrazena obnovitelnou energií (Pomoni, et al., 2023). Akvaponie má až o 45 % nižší konečný environmentální dopad než hydroponie (Chen, et al., 2020). Výhody hydroponie oproti konvenčnímu zemědělství zahrnují efektivnější využití půdy (plochy), omezení emisí

skleníkových plynů díky menší spotřebě agrochemikálií, nízké spotřebě vody a možnostem opětovného využití ošetřených odpadních vod. Ohrožení biodiverzity, které je spojené s nadměrným a často nešetrným využíváním půdy, a nadužíváním pesticidů, je v případě hydroponického pěstování nižší (Raven, et al., 2021). Ochrana přírodních zdrojů a absence znečištění půdy hnojivy a chemikáliemi, které by mohly kontaminovat vodní zdroje a přispívat tak k eutrofizaci a dalšímu znečištění jsou nespornou výhodou hydroponického pěstování. Na druhé straně, hlavní nevýhodou je vyšší spotřeba energie na vytápění, chlazení, osvětlení a provoz zařízení, což může vést k většímu uhlíkové stopě, pokud energie není alespoň částečně získávána z obnovitelných zdrojů (Pomoni, et al., 2023).



Obrázek 1-7 Srovnání environmentálních dopadů akvaponie vs. hydroponie z pohledu LCA (Chen, et al., 2020).

1.9.2 Posuzování dopadů na životní prostředí metodou LCA

V současné době se klade velký důraz na rozvíjení technologií, které jsou šetrné k životnímu prostředí. Toto se netýká pouze vývoje technologií s nižší energetickou náročností, ale obecně strategie snižování negativních dopadů na životní prostředí spojených s provozem určitých zařízení a užíváním konkrétních produktů (Kočič, 2010). Metoda posouzení životního cyklu (LCA) je typicky aplikována na produkty a procesy, ale potenciál jejího využití ke komplexnímu posuzování dopadů na životní prostředí je vysoký. Posuzování environmentálních dopadů člověka je náročná disciplína. Sběr dat je jedním z klíčových prvků LCA, kvalita analýzy do značné míry závisí na dostupnosti a kvalitě požadovaných dat (Goermer, et al., 2020). Doposud nejzná-

mějším nástrojem pro posuzování dopadů na životní prostředí je Environmental Impact Assessment (EIA), která se ale zásadně odlišuje od posouzení životního cyklu produktu (LCA). LCA je specifickým nástrojem pro hodnocení životního prostředí. EIA je spíše procedura než nástroj, ve kterém může být využití LCA velmi užitečné. Zejména u strategických a projektových EIA mohou být relevantní environmentální srovnání procesních a zmírňovacích alternativ. Ačkoliv tyto alternativy mohou vést k rozdílným emisím a dopadům na místě samotného procesu (což je obvykle hlavní zaměření projektových EIA), mohou také ovlivnit poptávku po činnostech v předchozích a následujících fázích výrobního řetězce. Zahrnutí takových sekundárních efektů do EIA, které mohou být zásadní pro správné srovnání alternativ, vyžaduje systémový přístup, který zohledňuje všechny relevantní efekty. To je ve skutečnosti možné s použitím metody LCA (Tukker, 2020). v hodnocení environmentálních dopadů vlastních technologických procesů jsou brány v úvahu pouze možné emise, jejich množství a rizika spojená s jejich vznikem a uvolňováním. v hodnocení environmentálních dopadů samotných produktů je postupováno podstatně konkrétněji. Je zohledněn nejen vznik emisí při výrobě produktu, ale také surovinová a energetická náročnost jeho výroby a užívání, jeho životnost a zároveň i environmentální dopady jeho konečné likvidace. Ochrana kvality životního prostředí pro příští generace je hlavním důvodem, pro který jsou hodnoceny environmentální dopady technologií a produktů (Kočí, 2006). v tradičních projektových EIA, které jsou nejběžnějším typem, je vybraný systém obvykle omezen na jednu průmyslovou továrnu a hodnocení dopadů se obvykle soustředí na účinky na přímé okolí. LCA je navrženo pro srovnání dopadů souvisejících s centrální funkcí produktu. Proto je zahrnut celý systém související s touto funkcí produktu, a hodnocení dopadů je obecné a nezávislé na čase a místě (Tukker, 2020). Metoda LCA může výrazně přispět ke zlepšení životního prostředí a k ochraně biodiverzity. Touto metodou lze zhodnotit environmentálně šetrnější variantu technologického uspořádání provozu či volit environmentálně šetrnější technologie (Kočí, 2010).

1.9.3 Význam LCA a obecná charakteristika

Metoda hodnocení environmentálních dopadů, známá jako LCA, je nástroj, s jehož pomocí jsou posuzovány možné dopady na životní prostředí spojené s životním cyklem určitého výrobku, služby, případně technologie (Kočí, 2006). Tato metoda vznikla v 60. letech ve Spojených státech, během energetické krize, za účelem nacházení způsobů, které umožní omezit spotřebu energií (Guine, 2002). Během existence každého

produktu existují stádia, v nichž dojde k různým dopadům na životní prostředí. Životní cyklus produktů, podobně jako život organismu, zahrnuje narození, vývoj, aktivní fázi života a nakonec smrt/ukončení životního cyklu, a v rámci LCA je rozdělen do čtyř hlavních stádií: získávání surovin, výroba produktu, jeho užívání spotřebitelem, a nakonec jeho odstranění (recyklace, re-use, skládkování/spalování atp.). v metodě LCA jsou celkové environmentální dopady všech těchto stádií hodnoceny tak, že se emise do prostředí z každého stádia sčítají a výsledné množství emisí je vztahováno k určitému množství produktu, čímž vzniká tzv. inventarizační profil. Dále je inventarizační profil přetvářen na indikátory kategorií dopadu, přičemž každá kategorie dopadu odpovídá specifickému environmentálnímu problému, který je ovlivněn lidskou činností prostřednictvím výměny látek či energie s okolím. Příklady kategorií dopadu zahrnují globální oteplování, úbytek stratosférického ozónu, eutrofizaci, acidifikaci, ekotoxicitu a lidské zdraví. Indikátor kategorie dopadu je pak veličina ukazující míru, jakým se produkt podílí na dané kategorii dopadu (Kočí, 2010). Hlavním závěrem je, že posouzení životního cyklu je velmi cenné pro začlenění environmentálních aspektů do vývoje udržitelnějších systémů pro produkci a konzumaci potravin. Například, LCA je vynikajícím nástrojem pro edukaci a pro zvyšování environmentálního povědomí společností stejně jako společnosti obecně. Očekávané výsledky z metody LCA však musí být rozumné; existují otázky, na které LCA ještě nedokáže odpovědět. Například, toxikologické problémy a lokální environmentální efekty. Existují také jiné koncepty pro environmentální hodnocení výrobních systémů, které se vyvíjejí paralelně; mělo by se dbát na výběr nejvhodnější metody nebo kombinace metod pro každou konkrétní aplikaci (Andersson, (2000).

1.10 Fáze LCA

1.10.1 Definice cíle a rozsahu

V této fázi se určuje účel studie LCA, její rozsah a detailnost. Zahrnuje definování hranic studie, výrobu surovin, výrobní procesy, distribuci, používání, recyklaci a likvidaci (Kočí, 2006; Hauschild at al., 2018). Jedná se o pečlivé vymezení parametrů studie, které jsou klíčové pro její interpretaci a praktické uplatnění. Tato etapa zpracování studie LCA se nevěnuje sběru dat ani jejich vyhodnocování (Bernas, 2018). na úvod každé studie je nezbytné jasně specifikovat v jejích cílech, komu je určena,

proč byla zpracována a jaké je zamýšlené využití jejích výsledků. Otevřené deklarování příjemce přispívá k lepší transparentnosti studie a usnadňuje pochopení kontextu, ve kterém jsou výsledky platné, což je klíčové, jelikož různí příjemci mohou mít rozdílné požadavky na specifické aspekty (Jelínková, 2018). Dále se zde specifikují hlavní funkce produktu nebo systému. Stanovení rozsahu studie zahrnuje především určení klíčových prvků jako jsou funkce, funkční jednotky, referenční tok, hranice systému, postupy alokace a metody pro zajištění kvality vstupních dat (Hauschild at al., 2018). Je nutné specifikovat, která data a informace budou vyžadována pro řádné provedení studie. Již v této fázi je důležité vybrat relevantní kategorie dopadů pro hodnocení dopadů na životní prostředí (LCIA). Dále je nezbytné, aby byl rozsah studie detailně definován tak, aby hloubka a šířka analýzy odpovídaly stanoveným cílům. Všechny hranice studie, metodologie, datové kategorie a předpoklady musí být jasně stanoveny a viditelně prezentovány. To zahrnuje určení geografického rozsahu studie, který může být místní, regionální, státní, kontinentální nebo globální, stejně jako stanovení časového horizontu, který odpovídá životnosti produktu, trvání procesů a dopadů na životní prostředí. Správné vymezení těchto parametrů umožňuje efektivní začlenění jednotlivých procesů do studie s ohledem na jejich environmentální dopady a zvolenou komplexnost analýzy. Jakékoliv vynechání stádií životního cyklu, procesů nebo dat musí být jasně a logicky zdůvodněno, aby byla zajištěna úplnost a přesnost celé studie (Kočí, 2006; Hauschild at al., 2018).

1.10.2 Inventarizace životního cyklu (LCI)

Během inventarizace se shromažďují data o všech vstupech (např. suroviny, energie) a výstupech (např. emise, odpady) do systému nebo produktu v rámci jeho životního cyklu. v rámci inventarizační analýzy jsou systematicky shromažďovány také podrobné informace o všech procesech zapojených do produktového systému, které byly identifikovány ve fázi definice cílů a rozsahu studie. Aby bylo možné správně hodnotit a zajišťovat návaznost těchto procesů, je nutné, aby výstup z jednoho procesu byl vždy vyjádřen stejnými jednotkami jako vstup do následujícího procesu (Hauschild et al., 2018). Dalším metodickým krokem v rámci LCI je tzv. alokace. Alokace hraje zásadní roli v této fázi, neboť se zabývá spravedlivým rozdělením environmentálních nákladů a výnosů mezi různé procesy (Kočí, 2006). Alokace znamená rozdělení celkové environmentální zátěže mezi jednotlivé výstupy (Jelínková, 2018). Výsledky inventarizace by měly být zobrazeny v přehledné formě, která ukazuje, jaké množství a jaké látky

vstupují do systému z okolního prostředí a kolik z nich je ze systému uvolněno do okolního prostředí. Tyto informace jsou následně využity pro hodnocení dopadů životního cyklu (Bernas, 2018).

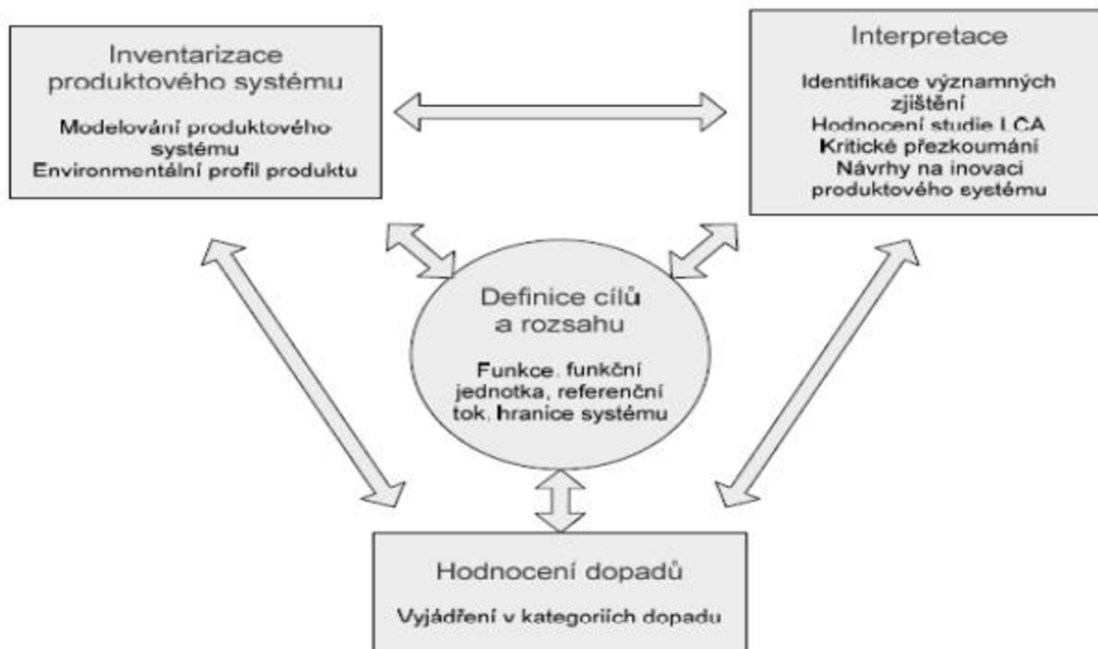
1.10.3 Hodnocení dopadů životního cyklu (LCIA)

V této fázi se analyzují data shromážděná během inventarizace s cílem určit a kvantifikovat environmentální dopady produktu nebo systému. Hodnotí se různé kategorie dopadů, jako je globální oteplování, kyselá dešť, eutrofizace, ekotoxicita, spotřeba zdrojů a další (Kočí, 2006). pro každou kategorii dopadu je třeba stanovit indikátor, na jehož ekvivalentní jednotky se převedou výsledky inventarizační analýzy přiřazené této kategorii. Jako příklad, pro skleníkové plyny se používá jednotka ekvivalentu kilogramu oxidu uhličitého (kg CO₂ eq) (Hauschild et al., 2018). Výstupem fáze inventarizační analýzy je sada dat, která obsahuje informace o materiálových tocích, které vstupují a vystupují z produktového systému během celého životního cyklu produktu. pro efektivní využití výsledků inventarizace je nutné provést jejich interpretaci a určit, které emisní toky mají zásadní význam pro životní prostředí. Tento proces je znám jako hodnocení dopadů životního cyklu (LCIA), kde jsou výsledky z inventarizační fáze přiřazeny k různým kategoriím dopadů. Cílem LCIA je srovnání těchto dopadů a určení, které emise jsou nejvýznamnější. na základě výsledků hodnocení, lze přistoupit ke komplexnímu zhodnocení dopadů na životní prostředí (Kočí, 2006).

1.10.4 Interpretace dat

Poslední fáze zahrnuje analýzu a interpretaci výsledků získaných v předchozích fázích. Hlavní kroky interpretace zahrnují identifikaci klíčových zjištění, hodnocení jejich významnosti a formulaci závěrů a doporučení. Cílem je poskytnout ucelené závěry a doporučení na základě hodnocení životního cyklu. Začíná se shrnutím dat z předchozích fází LCA, což umožňuje identifikovat a strukturalizovat informace, které mají zásadní vliv na výsledky a závěry studie. Tyto závěry jsou základem pro rozhodování o budoucích akcích nebo změnách ve zkoumaném produktovém systému. (Kočí, 2006). Součástí interpretace je sestavení závěrečné zprávy, která obsahuje nejen popis řešení a zjištěných výsledků, ale také popis všech uplatněných zjednodušení, odhadů a předpokladů. Vliv těchto předpokladů na formulaci klíčových zjištění je ověřován prostřednictvím analýzy citlivosti. Závěrečným výstupem studie LCA je tedy soubor

zjištěných poznatků a soubor podmínek, které určují jejich platnost (Hauschild et al., 2018).



Obrázek 1-8 Schéma fází LCA (Kočí, 2010)

2 Cíl práce

Cílem této práce bylo kvantifikovat environmentální dopady pěstování zeleniny v indoor systému z pohledu posuzování životního cyklu metodou *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.

2.1 Hypotézy

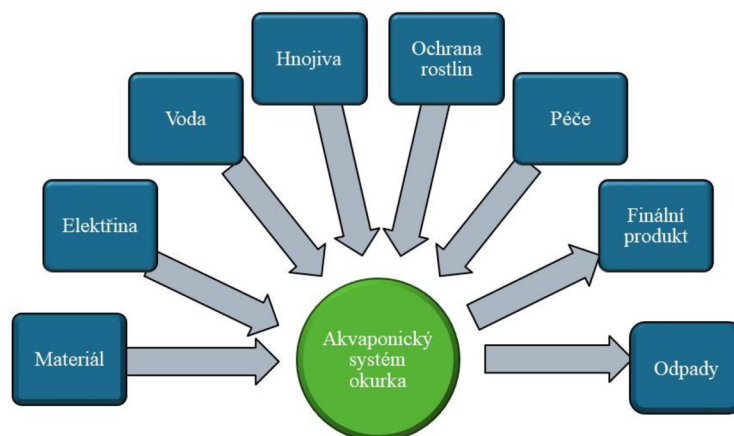
- I. Dle dostupných literárních zdrojů a jejich výsledků lze predikovat, že nejvýznamnější podíl environmentálního zatížení bude spojen se vstupy energií
- II. Dle výsledků provedených studií LCA zabývajících se problematikou indoorových systémů lze očekávat, že nejsilněji dotčené kategorie dopadu budou kategorie ecotoxicity/toxicity a kategorie spotřeby vody

3 Metodika

Hodnocení životního cyklu (*Life Cycle Assessment; LCA*) bylo provedeno podle norm 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 (*Life Cycle Impact Assessment; LCIA*) a interpretaci dat.

3.1 Definice cíle a rozsahu

Cílem této studie bylo kvantifikovat environmentální dopady pěstování zeleniny v indoor systému z pohledu posuzování životního cyklu metodou LCA. pro tyto účely byl sestaven model hydroponického pěstování salátové okurky Verdon vycházející z plnohodnotné praktické realizace v rámci Akvaponického skleníku Fakulty rybářství a ochrany vod, Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Hranice posuzovaného systému (hydroponické pěstování salátové okurky) zahrnovaly všechny procesy tzv. od kolébky až po bránu výrobní jednotky (ang. *From cradle to gate*), tedy procesy související se získáním primárních surovin a fází užití vstupů relevantních k pěstebnímu postupu. Tedy byly inventarizovány vstupy od přípravy pěstebního setu, vstupy související s managementem pokusu (spotřeba vody, spotřeba materiálů, kontrola škůdců, výživa rostlin, spotřeba energií, odpady) a informace o produkci. Hranice systému byly vztaženy k rozsahu samotného pokusu. Byla využita funkční jednotka vztažená k výrobní jednotce (1 kg čerstvé biomasy salátové okurky). v rámci studie nebyly uvažovány další produkty/koproducty (zelená část rostliny nepředstavuje profit a po ukončení pěstebního cyklu je kompostována in-situ), a proto nebyla uplatněna alokace. Výsledky této práce mohou být využity při optimalizaci indoorových pěstebních systémů a mohou sloužit jako motivační nástroj při úvahách o redukci environmentálního zatížení.



Obrázek 3-1 Zjednodušené hranice posuzovaného systému

3.2 Zdroje dat a LCI

3.2.1 Primární data

Samotný pokus a sběr dat probíhal v Akvaponické hale na Fakultě rybářství a ochrany vod v Českých Budějovicích. ve skleníku se nachází 5 typů hydroponických systémů: kapková závlaha, raftové systémy, záplavové stoly a MFB (Media filled bed) systémy, dále aeroponické systémy a NFT (Nutrient film technique). pro experiment byla využita část ze šesti kapénkových systémů, které se skládají z pěstebních žlabů s délkou 5,5 m a kapacitou 18 rostlin. Pěstební žlaby jsou vyrobené z galvanizovaného ocelového plechu (0,6mm) o rozměrech 21x12 cm s hloubkou a šířkou kanálku 4,5 cm, respektive 3 cm. Žlaby jsou umístěny na nerezových podstavcích, které jsou opatřeny svody pro odvod drenážní vody do nádrží pro živný roztok, který je následně částečně recyklován a využíván pro přípravu nového živného roztoku. Zálivka v systému byla řízena časovačem, rozvod živného roztoku k jednotlivým rostlinám zajišťovalo čerpadlo o výkonu 14 W, ke každé rostlině byla přivedena kapilára s jehlou kterou proudil roztok k jednotlivým rostlinám, typ použitého kapilárního systému je Top Spin. Systém pro samotný experiment se skládal ze dvou pěstebních řad (Drip 5 a Drip 6) o celkové délce 11 m (ilustrace pokusu: obrázek 3-2 a 3-3). Každá pěstební řada obsahovala 5ks pěstebních rohoží, ve kterých bylo vysázeno 18 rostlin. Celkem bylo tedy v systému 36 rostlin okurek Verdon. Sazenice byly předpěstovány z certifikovaných semen, rostliny nebyly roubovány na podnože. Okurky se sklízely postupně jak dozrávaly a byla zaznamenávána váha sklizených plodů. Celková sklizeň za sledované období

činila 659,07 kg plodů (v čerstvé hmotě). Tato odrůda je vhodná pro pěstování v krytech a v hydroponii.

Akvaponický skleník disponuje vlastním softwarem a automatizací, která umožňuje nastavení mikroklimatických podmínek a kontrolu klimatu v pěstební části. To zajišťují teplotní a světelná čidla, která předávají informace do řídicího softwaru a dle nastavení požadovaných parametrů otevírají/zavírají okna, zatahují/odtahují stínovku a spouští adiabatické chlazení. Adiabatické chlazení vzduchu s rozvody a vysokotlakými tryskami, které produkují vodní mlhu, která odpařováním ochlazuje prostor skleníku. Voda pro adiabatické chlazení je čerpána ze zásobních nádrží a filtrována přes jemný filtr. Průměrné hodnoty klimatu ve skleníku, během trvání pokusu jsou znázorněny v následující tabulce (3-1).

Tabulka 3-1 Průměrné hodnoty klimatu ve skleníku

Měsíc	Teplota [°C]	Vlhkost [%]	Světelná intenzita [Lux]	CO ₂ [ppm]
3	23.24	43.67	2569.14	439.33
4	22.01	54.76	2830.90	485.38
5	23.58	55.18	3563.28	350.83
6	20.91	55.48	3981.98	422.24
7	23.42	46.73	3969.64	376.83
8	25.11	68.41	2655.22	470.39
9	23.62	66.17	3160.66	461.56
10	22.22	66.66	2125.88	471.62
11	22.29	56.49	1256.26	503.66

Během trvání pokusu byly pravidelně, dvakrát týdně, měřeny hodnoty kvality živného roztoku, pomocí multimetru Hanna HI 98194. Konkrétně se sledovaly hodnoty: EC – elektrokonduktivita, tato hodnota udává vodivost roztoku, respektive množství rozpuštěných minerálních látek, potřebných pro výživu rostlin. Další sledovanou hodnotou bylo pH roztoku, optimální pH pro okurky v hydroponii je 5,5 – 6,0. Vyšší hodnoty pH jsou rostlinou tolerovány ale při hodnotách nad 7,5 již může docházet k růstovým poruchám a problémům s příjmem živin a odolností rostlin. pro úpravu hodnot pH v živném roztoku se používala 30% kyselina fosforečná H₃PO₄. Poslední sledovanou hodnotou byla teplota živného roztoku. Výsledky těchto měření jsou součástí příloh této práce. Dosvěcování pomocí pěstebních lamp probíhalo v měsících duben, září, říjen, listopad v průměrné délce 5 h denně, pouze tehdy, když intenzita slunečního záření byla nízká. Jako ochrana před škůdci a chorobami byla využívána bioochrana

a aplikace ekologicky nezávadných postřiků. Přípravek Biool, a parazitické vosičky *Encarsia formosa* proti molicím a *Aphidius colemani* proti mšicím.



Obrázek 3-2 Systém kapkové závlahy s okurkou Verdon

Procesy začleněné do modelového systému zahrnovaly spotřebu vody pro závlahové systémy či ředění přípravků pro ochranu rostlin, dále procesy zahrnující výrobu, využití a spotřebu pěstebních rohoží, plastových komponentů, výrobu a užití pěstebního media, vstupy živin – jejich výroba, distribuce a užití, výroba, distribuce a spotřeba elektrické energie pro osvětlení, čerpadla, vzduchování, topení atp. Konečné odpadové hospodářství bylo v rámci stanoveného rámce studie uvažováno na úrovni produkce recyklovatelného odpadu (polypropylen), produkce komunálního odpadu (pěstební rohože) a směsného plastového odpadu (fixační materiál – polypropylenové provázky). Tedy jako primární data byla využita data z prakticky vedeného pěstebního pokusu (data o spotřebě energií a materiálů a data související s výstupy pěstebního cyklu).



Obrázek 3-3 Okurka Verdon pěstovaná během pokusu v Akvapionické hale na Fakultě rybářství a ochrany vod v Českých Budějovicích

3.2.2 Sekundární data

Dále byla použita data softwarových knihoven (tzv. background 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 (Nemeček et al., 2019). Inventarizovaná data jsou součástí inventarizace (LCI) a inventarizační tabulky (3-2).

Tabulka 3-2 Inventory table (LCI)

		Okurka	
Výstupy		Jednotka	Množství
Výrobní jednotka – Zelená hmota okurky (Unit of production -green mass of cucumber		kg	659.07
		Jednotka	Množství
Vstupy			
Zdroje			
Voda, studená z řádu, zálivka (Water, cooling, unspecified natural origin, CZ)		1	11884.77
Voda, dešťová, zálivka (Water, rain)		1	1320.53
Voda, studená z řádu, ochrana rostlin (Water, cooling, unspecified natural origin, CZ)		1	60
Zábor půdy (Occupation, urban, CZ)		m ² a	6
Materiály/zdroje (Materials/fuels)			

Křemičitá vata/pěstební rohože (Stone wool)	kg	8.51
Polypropylen/klipsy na uchycení rostlin (Polypropylene, granulate)	g	146.88
Vstřikování/výroba plastů (Injection moulding)	g	146.88
Netkaný polypropylen/provázky (Textile, nonwoven polypropylene)	g	455.76
Biool/Ochrana rostlin	l	0.9
Hnojivo/mikroprvky (Total minerals)	g	668.795
Anorganické draselné hnojivo (Inorganic potassium fertiliser, as K ₂ O)	g	654.89508
Anorganické fosforčné hnojivo (Inorganic phosphorus fertiliser, as P ₂ O ₅)	g	1001.60424
Dusičnan vápenatý (Calcium nitrate)	g	6717.402
Dusičnan draselný (Potassium nitrate)	g	9713.62
Síran hořečnatý (Magnesium sulfate)	g	4099.145
Elektrina/topení		
Elektrina, čerpadlo (Electricity, high voltage, production mix)	kWh	9.03
Elektrina, pěstební lampy (Electricity, high voltage, production mix)	kWh	58.08
Elektrina, vдуchování (Electricity, high voltage, production mix)	kWh	15.48
Vytápění, ventilátor SAHARA (Heat, air-water heat pump 10kW)	kWh	346.356
Odpad (Final waste flows)		
Odpad k recyklaci, klipsy na rostliny (Waste to recycling)	g	146.88
Odpad, pěstební rohože (Waste mass, total, placed in landfill)	kg	8.51
Plastový odpad, provázky na rostliny (Plastic waste)	g	455.76
Waste to treatment		
Polypropylen, klipsy na rostliny (PP (waste treatment) recycling of PP)	g	146.88
(Odpad, pěstební rohože/křemičitá vata (Waste mineral wool, for final disposal)	kg	8.51
Pastový odpad/provázky na rostliny (Waste plastic, mixture)	g	455.76

Sekundární data pro model 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 (Nemeček et al., 2019).

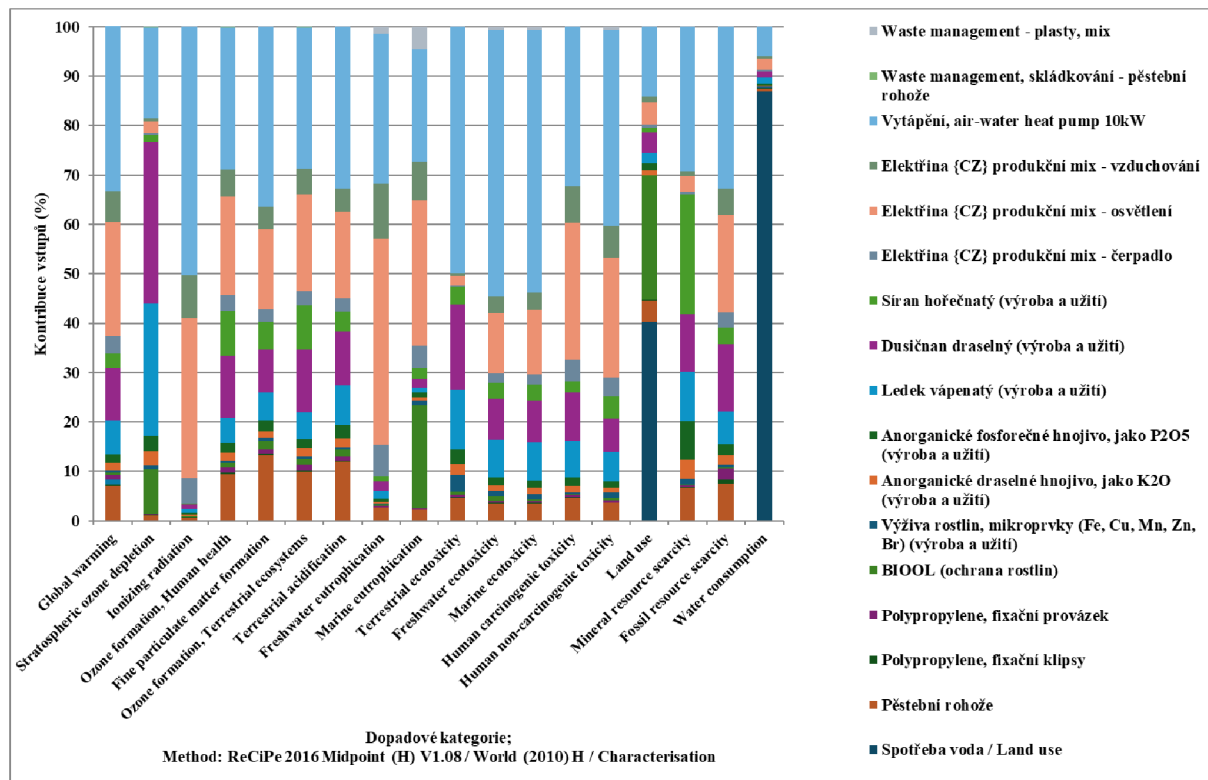
3.3 Posuzování dopadů na životní prostředí (Life cycle impact assessment; LCIA)

Pro kvantifikaci dopadů na životní prostředí byla použita metoda LCA. Výsledky tohoto modelu se týkaly 18 dopadových kategorií: Global warming (kg CO₂ eq), stratospheric ozone depletion (kg CFC11 eq), ionizing radiation (kBq Co-60 eq), ozone formation, human health (kg NO_x eq), fine particulate matter formation (kg PM_{2.5} eq), ozone formation, terrestrial ecosystems (kg NO_x eq), terrestrial acidification (kg SO₂ eq), freshwater eutrophication (kg P eq), marine eutrophication (kg N eq), terrestrial ecotoxicity (kg 1,4-DCB), freshwater ecotoxicity (kg 1,4-DCB), marine ecotoxicity (kg 1,4-DCB), human carcinogenic toxicity (kg 1,4-DCB), human non-carcinogenic toxicity (kg 1,4-DCB), land use (m²a crop eq), mineral resource scarcity (kg Cu eq), fossil resource scarcity (kg oil eq), and water consumption (m³). Všechny kategorie dopadů byly poté specifikovány do třech hlavních kategorií dopadu: (1) human health, (2) ecosystem quality, (3) resources. 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 (data weighting) dat 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; součástí přílohy práce; tabulka 0-1) pro pěstební model okurky. 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.

4 Výsledky a diskuze

4.1 Interpretace dat – charakterizační model

Graf 4-1 Kontribuční analýza

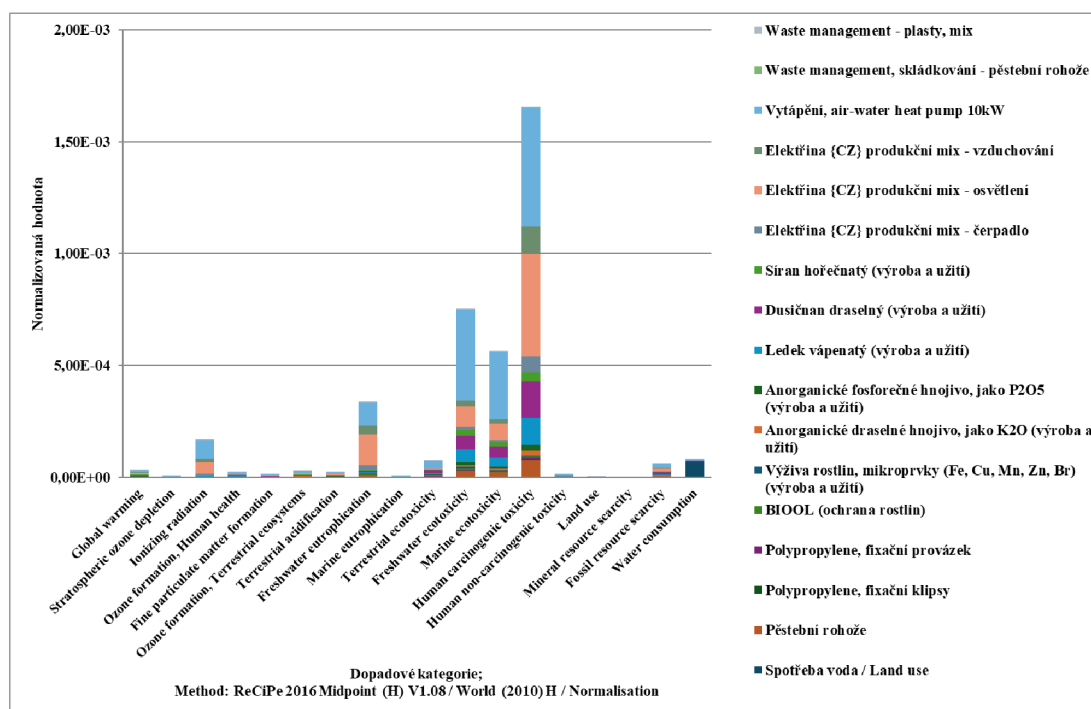


Graf 4-1 prezentuje kontribuční analýzu environmentálních dopadů pro vybrané kategorie. Barevné bloky představují různé kategorie materiálových a energetických toků a jejich relativní příspěvek k celkovému environmentálnímu dopadu (%). Celkově nejvyšší dopad na všechny kategorie, kromě kategorie „spotřeba vody“, má elektřina a vytápění, respektive výroba energie a její spotřeba v rámci posuzovaného systému. Například v dopadové kategorii ionizační záření zaujímá vstup elektřiny a vytápění (horkovzdušný ventilátor – sahara) až 90 % celkového dopadu, a v kategorii sladkovodní eutrofizace až 85 %. Samotné vytápění má pak výrazný dopad od 50 % do 55 % na kategorii sladkovodní suchozemské a sladkovodní ekotoxicity. Nejnižší dopad má pak vytápění v kategorii spotřeby vody. Samotná spotřeba elektrické energie systémem má pak nejvyšší dopad na sladkovodní eutrofizaci, a to a 59 % a nejnižší dopad 24 % na acidifikaci půd. Environmentální dopady vázané na vstupy energie jsou odvislé od charakteru jejího mixu. pro účely posuzovaného systému byl využit model

energetického mixu relevantního pro Českou republiku (databáze Ecoinvent). Významný podíl na energii tak představují neobnovitelné fosilní zdroje, jejichž získávání (těžba), zpracování, logistika a využití je spojeno se silnými emisními vstupy do všech složek životního prostředí, což se projevuje ve všech dopadových kategoriích. Vstup elektřiny tak lze označit za jednoznačný hot spot systému. Stejného závěru bylo docíleno ve studii Chen et al. (2020).

4.2 Interpretace dat – normalizační model

Graf 4-2 Normalizační model

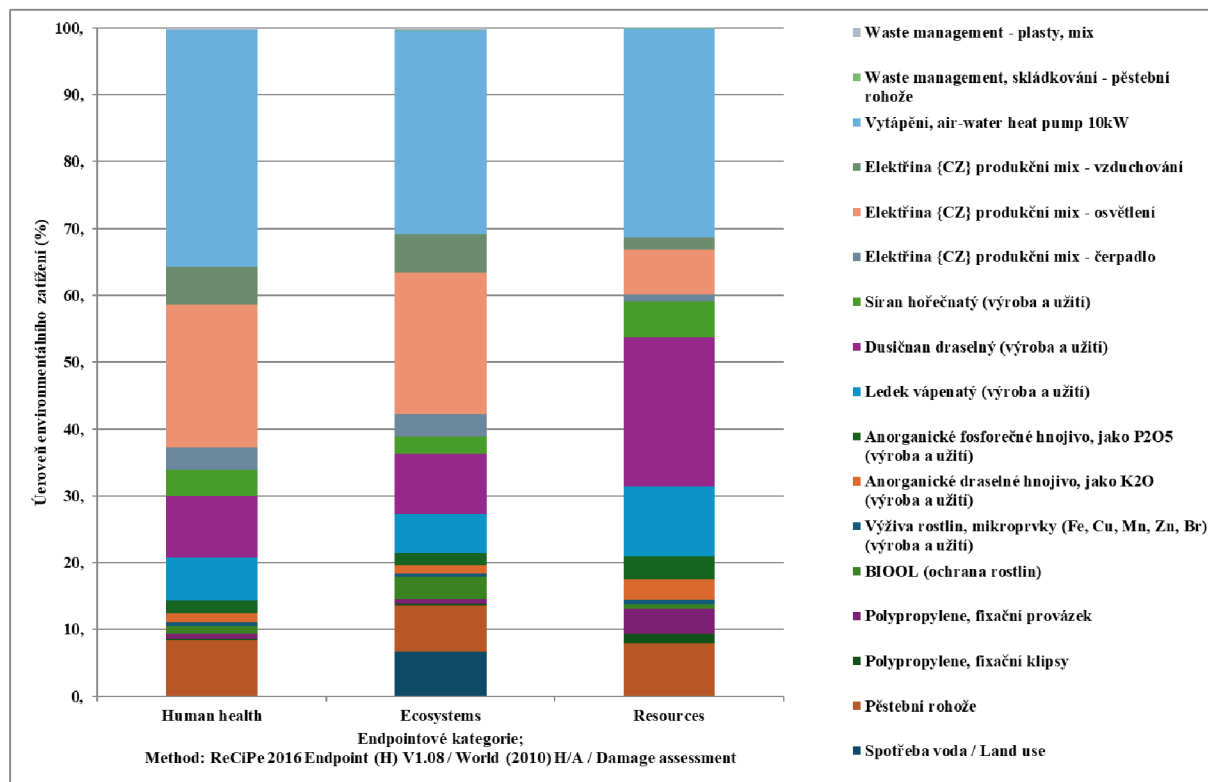


Graf 4-2 představuje tzv. normalizační porovnání kategorií produktů a procesů s jejich potenciálním vlivem na sledované dopadové kategorie. Data jsou normalizována, což znamená, že hodnoty jsou přepočítány tak, aby byly jednotlivé dopadové kategorie srovnatelné mezi sebou (pozn.: v rámci charakterizačního modelu má každá dopadová kategorie vlastní jednotku). Díky normalizaci dat tak lze detekovat tzv. hot spot systému a účinně na ně reagovat (Castellani et al. 2017). Nejvýrazněji dotčené dopadové kategorie jsou v oblasti toxicity, převážně v kategorii „lidská karcinogenní toxicita“. Stejně jako v předchozím grafu, má nejvýraznější vliv na dopadové kategorie vytápění a spotřeba elektrické energie. Naproti tomu dopad na kategorii úbytek ozónové vrstvy, zábor půdy nebo snižování zásob minerálních zdrojů je zcela zanedbatelný. z tohoto grafu můžeme odvodit, v jakých oblastech lze hledat řešení pro dosažení udržitelnosti

a kde je nezbytné implementovat inovativní a efektivní řešení. Strategie jako recyklace, používání obnovitelných zdrojů energie a snížení spotřeby vody mohou přispět k nižšímu dopadu na životní prostředí a podpořit udržitelný rozvoj (Pomoni, et al., 2023).

4.3 Interpretace dat – Damage assessment a vážení dat (data weighting)

Graf 4-3 Damage assessment

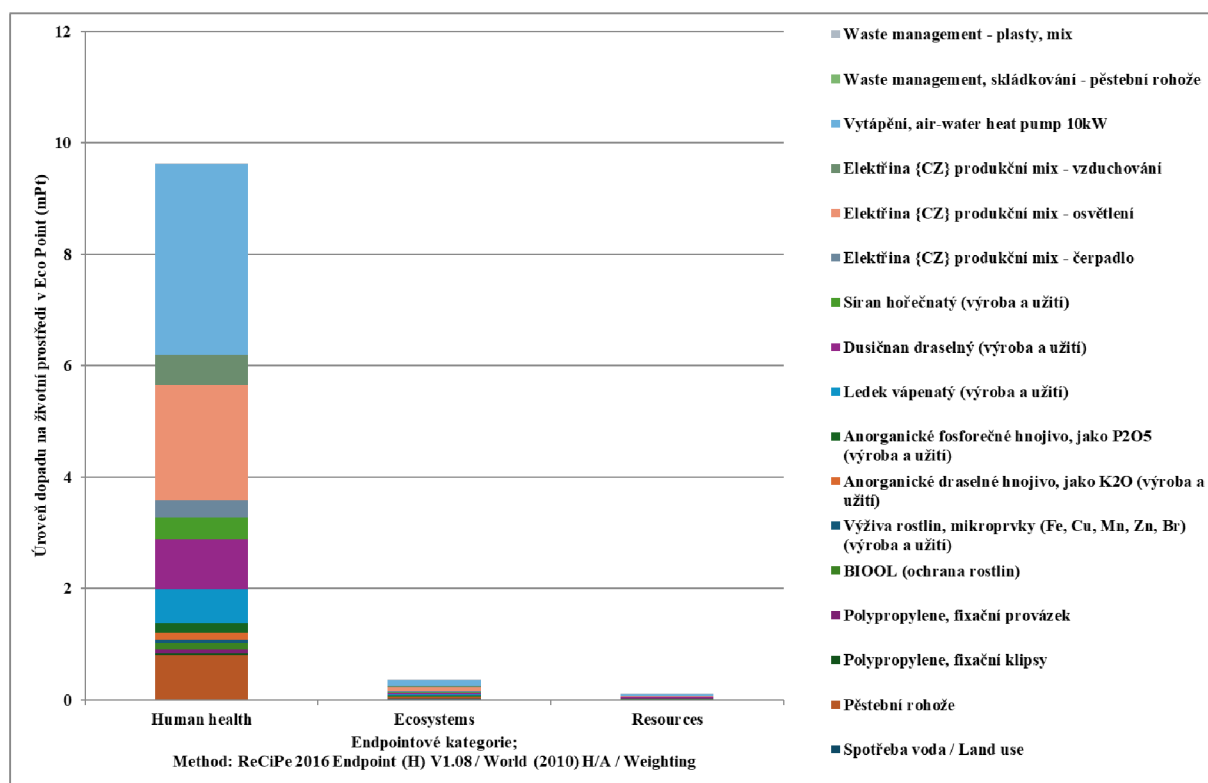


Graf 4-3 prezentuje úroveň enviromentálního zatížení v rámci Damage Assessment a ukazuje procentuální rozdělení dopadů různých produktů a procesů, vstupujících do pěstebního systému, při seskupení do třech hlavních kategorií: lidské zdraví, ekosystémy a zdroje (tzv. Endpointové kategorie). Stejně jako v předchozích grafech nejvyšší dopad na všechny kategorie má vytápění a výroba a spotřeba elektřiny, a to více jak 60 % v případě lidského zdraví. Krom vstupů energie má také výrazný dopad (od 15 % do 33 %) výroba a užití anorganických hnojiv, převážně dusičnanu draselného KNO_3 a ledku vápenatého $Ca(NO_3)_2$. Výrazné zastoupení až 8 % zaujímají také pěstební rohože z minerální vaty (tedy jejich výroba a užití). Při úvahách o způsobech

redukce environmentálního zatížení by měla být pozornost věnována právě těmto vstupům. Nejnižší dopad mají naopak mikroprvky (Fe, Cu, Mn, Zn, Br), které jsou součástí živných roztoků.

Je důležité vzít v úvahu, že opatření zaměřená na snížení dopadu na jednu oblast mohou neúmyslně zvýšit dopad/tlak na jinou, tedy může docházet takzvaně k přenašeni problému z jednoho místa na druhé (Kočí, 2010). Proto je důležité zvážit všechny tři kategorie při návrhu a implementaci environmentálních strategií, a přijmout komplexní opatření, a vzít v úvahu celkový dopad při vývoji udržitelných řešení. Výsledky tohoto grafu mohou sloužit jako důležitý podklad pro rozhodovací procesy ve firmách i vládních politikách, a to v souladu s principy udržitelnosti a efektivního využívání zdrojů, jak ve své studii zmiňuje také (Chen et al., 2020).

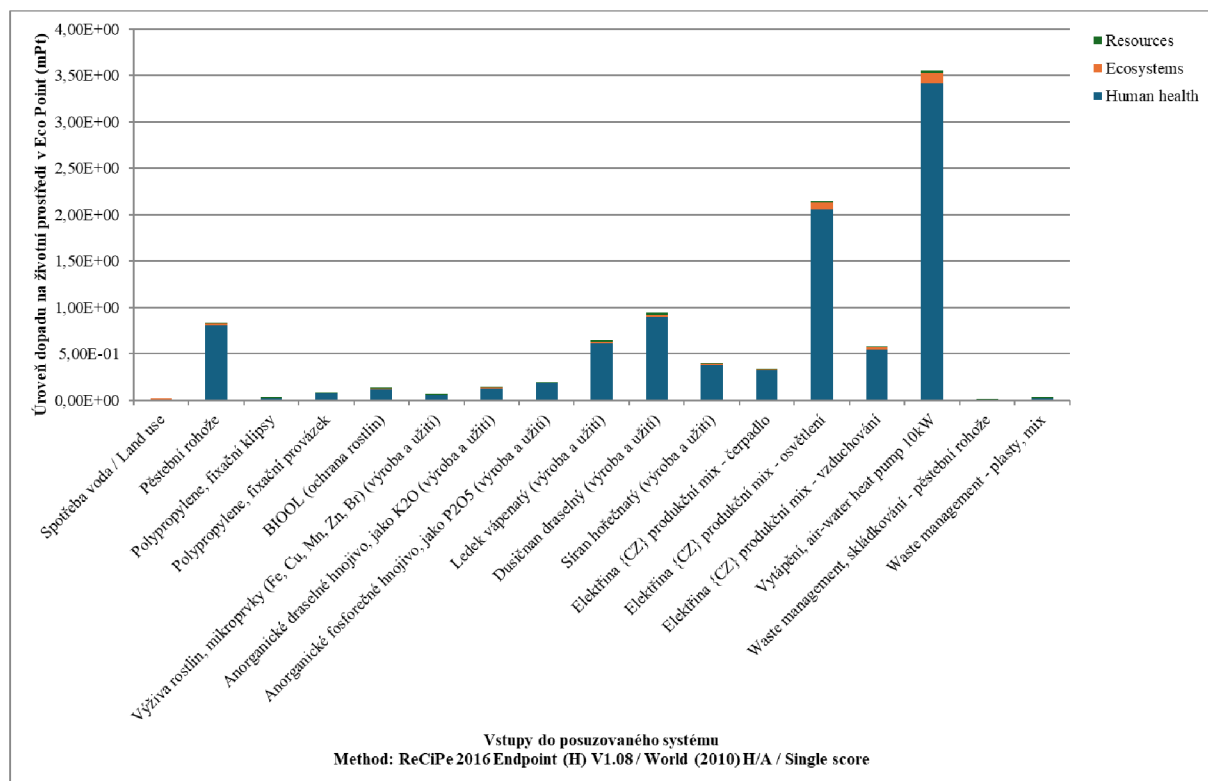
Graf 4-4 Vázení dat



Graf 4-4 zobrazuje úroveň dopadu na životní prostředí v rámci přístupu vážení dat (data weighting) pro tři hlavní kategorie dopadů: lidské zdraví, ekosystémy a zdroje. Hodnoty jsou vyjádřeny v „Eco Points“, což je zjednodušená metrika používaná k sumarizaci dopadů na životní prostředí do jediného ukazatele. Graf poskytuje užitečný přehled o tom, kde by se měly soustředit snahy o snížení environmentálního dopadu, v tomto případě zejména v endpointové kategorii lidské zdraví. pro firmy, politiky

a další zúčastněné je takový graf cenným nástrojem pro rozhodování o tom, kde implementovat změny pro dosažení udržitelnějších postupů. z grafu jednoznačně vyplívá, že nejvyšší dopad všech produktů nebo procesů, které vstupují do systému pěstování ovlivňuje energetické zajištění, výživa rostlin a materiálové zajištění systému.

Graf 4-5 Single score



Graf 4-5 zobrazuje jednotlivé vstupy do systému vztažené na tři hlavní endpointové kategorie dopadu: lidské zdraví, ekosystémy a zdroje v rámci přístupu single score. Hodnoty jsou opět vyjádřeny v „Eco Points“. Toto vyjádření navazuje a doplňuje informační rámec pro Damage assessment and data weighting. Podtrhuje tak zjištění o nejrelevantnějších vstupech vázaných na vytápění, elektřinu a anorganická hnojiva. Spotřeba vody nebo waste management (pěstební matrace, recyklace plastových odpadů, kompostování) má minoritní dopad.

4.4 Komparativní studie

Tabulka 4-1 Charakterizační data pro komparaci úrovně environmentálního zatížení systémů při vstupu odpadní aquaponické vody

Impact category	Unit	Cucumber aquaponics	Cucumber hydroponics
Global warming	kg CO ₂ eq	2,48E-01	2,71E-01
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	2,26E-07	2,95E-07
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	7,90E-02	7,99E-02
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	4,63E-04	5,07E-04
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	3,12E-04	3,40E-04
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	4,83E-04	5,29E-04
Terrestrial acidification	kg SO ₂ eq	8,88E-04	9,88E-04
Freshwater eutrophication	kg P eq	2,19E-04	2,25E-04
Marine eutrophication	kg N eq	2,06E-05	2,11E-05
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,12E+00	1,29E+00
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,90E-02	2,08E-02
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	2,45E-02	2,69E-02
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	1,70E-02	1,87E-02
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	3,94E-01	4,26E-01
Land use	m ² a crop eq	1,65E-02	1,71E-02
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	1,24E-03	1,51E-03
Fossil resource scarcity	kg oil eq	5,84E-02	6,41E-02
Water consumption	m ³	2,08E-02	2,11E-02

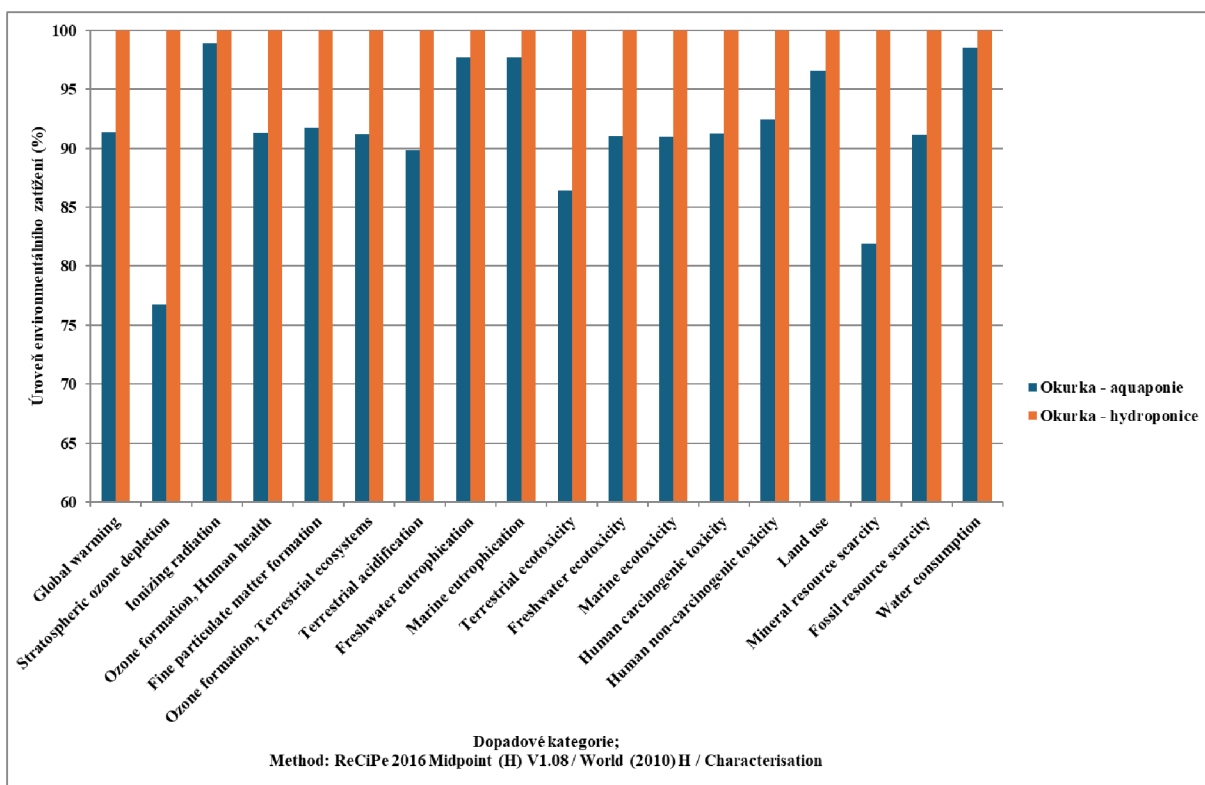
Metodika SW: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.08 / World (2010) H, Charakterizační model

Tabulka 4-1 a graf 4-6 prezentují srovnání dopadů pěstování okurek při nahrazení závlahové vody pro hydroponii (studená voda z řádu) vstupem vody z RAS (Recirculation aquaculture system – recykulační akvakulturní systém), obohacené o živiny (informace o složení v příloze práce; tabulka 0-2), na různé environmentální kategorie. o vodě z RAS (v celkovém objemu 13 205,3 litrů) je v rámci studie uvažováno jako o odpadním produktu, který do hydroponického systému vstupuje jako input s nulovou environmentální zátěží, který substituuje odpovídající množství živin, které by byly do systémů dodány v podobě průmyslově vyráběných minerálních živin (jeden

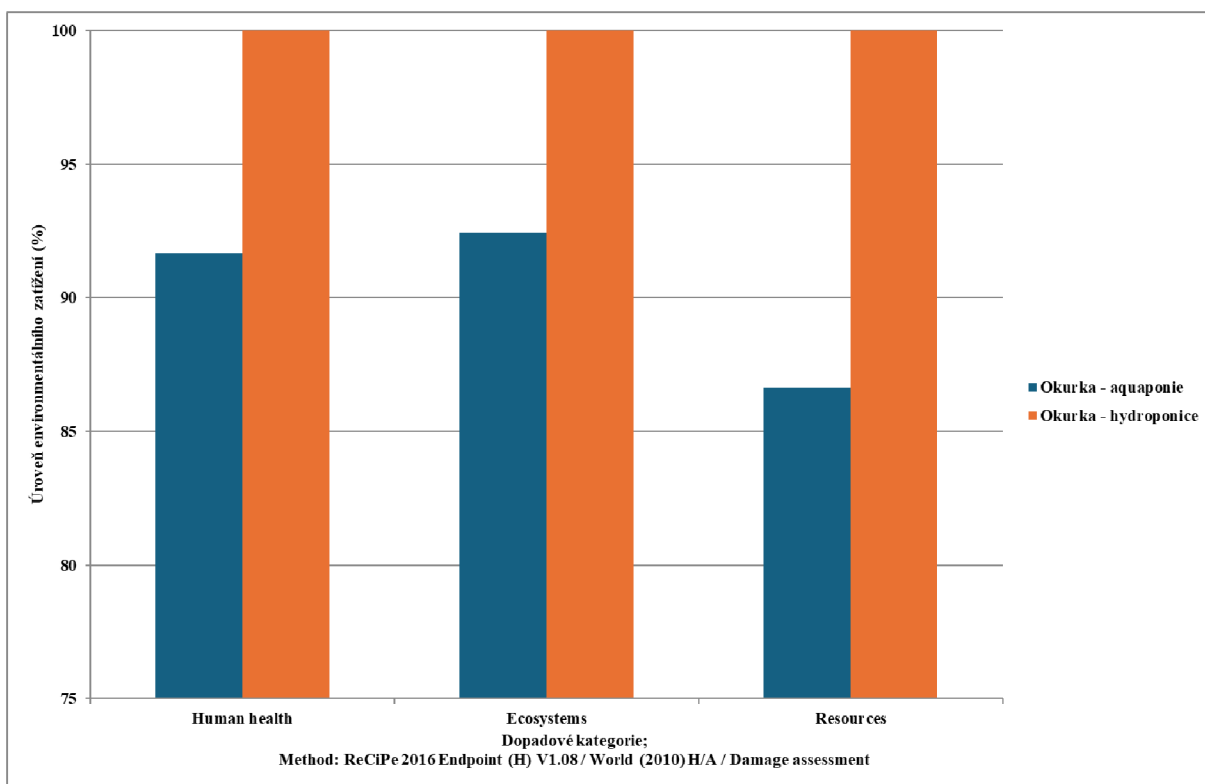
z principů cyrkularity). v tomto modelu (komparativním srovnání) je tak řešena související úspora hnojiv a související dopad na životní prostředí. Nejedná se o posouzení plnohodnotných systémů. z tabulky vyplývá, že použití vody z RAS přináší významné environmentální úlevy (zhruba 5 až 20 % na celkovém dopadu) v rámci všech dopadových kategorií. Tedy má vliv na celkově nižší dopad než je tomu u čistě hydroponického pěstování. Většina dopadových kategorií vykazuje snížení dopadů na životní prostředí díky materiálových a energetickým úsporám spojeným s výrobou odpovídajícího množství minerálních hnojiv. Rozdíly mezi posuzovanými systémy nejsou zanedbatelné, i přesto by při rozhodování o výběru metody mělo být zohledněno více faktorů, včetně ekonomických a operativních aspektů obou systémů.

Pro zajímavost, při komplexním srovnání plnohodnotných akvaponických a hydroponických systémů jsou pak celkové environmentální aspekty akvaponie hodnoceny jako šetrnější k životnímu prostředí ve srovnání s hydroponickým pěstováním (Ahmed & Turchini, 2021). Je třeba však vzít v úvahu odkud pochází energie pro provoz samotných systémů, pokud tyto systémy nejsou provozovány v tropických oblastech. Je nutné vždy posoudit environmentální dopad všech energetických zdrojů. v určitých případech může nahrazení fosilních zdrojů obnovitelnou energií ve výsledku učinit hydroponii udržitelnějším systémem z hlediska globálního oteplovacího potenciálu (GWP), kyselosti (AP) a environmentálního dopadu (EP) (Chen et al., 2020). Budoucí studie LCA by mohly poskytnout jasnější kvantitativní hodnocení environmentálních přínosů specifických systémů akvaponie. Taková hodnocení by mohla posloužit politikům, a odpovědným osobám, a umožnit analýzu nákladů a přínosů akvaponie pro opodstatnění veřejné podpory rozvoje akvaponie (Grenfeld et al., 2022).

Graf 4-6 Charakterizační data - komparace úrovně environmentálního zatížení systémů při vstupu odpadní aquaponické vody



Graf 4-7 Damage assessment - úspora materiálových a energetických vstupů a související vyjádření environmentálního dopadu



Graf 4-7 znázorňuje srovnání dopadu pěstování okurek při vstupu vody z RAS po seskupení do endpointových dopadových kategorií: lidské zdraví, ekosystémy a spotřeba zdrojů. Vstup vody z RAS vychází z pohledu LCA jako šetrnější metoda pěstování okurek. Nejvýznamnější rozdíl (přibližně 13,5 % z celkového environmentálního dopadu) je patrný v kategorii zdrojů, což je způsobeno převážně úsporou anorganických hnojiv, nutných pro přípravu živných roztoků v hydroponii. Co se týče ekosystémů, tak zde je rozdíl v celkových dopadech kolem 8 %.

4.5 Návrh opatření vedoucích ke snížení dopadu na životní prostředí

Ke snížení dopadů na životní prostředí při pěstování okurek pomocí aquaponie a hydroponie je možné navrhnout následující opatření:

- Energetická účinnost použitých zařízení: Implementace energeticky účinných systémů a technologií může výrazně snížit celkový dopad na životní prostředí. To zahrnuje použití LED osvětlení, efektivní čerpadla a izolace pro udržení teploty bez nadměrné spotřeby energie.
- Obnovitelná energie: Přejít na obnovitelné zdroje energie, jako jsou solární panely nebo větrné turbíny a vodní elektrárny, může snížit závislost na fosilních palivech a tím i dopady na globální oteplování a spotřebu zdrojů.
- Optimalizace využití vody: Sběr dešťové vody, recyklace vody a použití systémů pro její efektivní cirkulaci v rámci pěstebního cyklu mohou minimalizovat spotřebu vody.
- Vyvážený poměr živin: Precizní řízení dodávky živin může snížit riziko eutrofizace vodních zdrojů a minimalizovat dopady na ekosystémy.
- Kvalitní a specializovaná krmiva: stále se pracuje na vývoji kvalitních krmiv pro akvaponii, která budou svým obsahem příznivě ovlivňovat jak zdraví a růst ryb tak i složení odpadní vody, používané k přípravě živných roztoků, které zásadním způsobem ovlivňují kvalitu a zdraví rostlin.
- Dlouhodobé udržitelné plánování a prevence: Průběžné monitorování a hodnocení systémů s cílem identifikovat oblasti pro zlepšení a implementovat preventivní opatření.
- Vzdělávání a školení: Vzdělávání personálu a zainteresovaných stran o udržitelných metodách a praxi může vést k lepšímu porozumění a angažovanosti v otázkách životního prostředí.
- Inovace a výzkum: Investice do výzkumu a vývoje nových technologií a metod může přinést efektivnější a udržitelnější postupy pěstování.

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo kvantifikovat a posoudit environmentální dopady pěstování zeleniny v indoor hydroponických systémech, s využitím metodiky Life Cycle Assessment (LCA) podle norem ISO 14040 a ISO 14044. Studie se soustředila na komplexní hodnocení v rámci přístupu od kolébky po bránu výrobní jednotky a byla podpořena rozsáhlým sběrem primárních dat z praktické realizace v Akvaponické hale na Fakultě rybářství a ochrany vod v Českých Budějovicích, a sekundárních dat z relevantních databází specializovaného SW (SimaPro Analyst). Hypotézy stanovené na začátku práce byly potvrzeny. Bylo zjištěno, že největší podíl environmentálního zatížení je spojen se vstupy energií. v rámci prováděné kontribuční analýzy byly identifikovány hot spoty, a bylo zjištěno, že největší dopad měla spotřeba energie, konkrétně elektřina a vytápění. Dále byly provedeny normalizační a damage assessment analýzy, které poskytly srovnání dopadů na lidské zdraví, ekosystémy a zdroje. na základě zjištění této studie jsou doporučena následující opatření vedoucí ke snížení environmentálního dopadu indoor pěstebních systémů: Zvýšení energetické účinnosti systémů, například přechodem na LED osvětlení a využitím efektivních izolačních materiálů. Integrace obnovitelných zdrojů energie. Optimalizace využití vody prostřednictvím recyklace a efektivní cirkulace v rámci systému. Vyvážené živinové poměry živných roztoků a inovace v krmivech pro akvaponické systémy. Dlouhodobé plánování a průběžná prevence za účelem snížení negativního dopadu na životní prostředí. Investice do vzdělávání, školení a výzkumu nových technologií a postupů.

Výsledky této práce nabízí cenné informace, které mohou posloužit ke zlepšení praxe v indoor pěstebních systémech a k rozvoji strategií zaměřených na udržitelnost. Implementace doporučených opatření může přispět k výraznému snížení dopadů na životní prostředí a lidské zdraví, a podpořit tak dlouhodobý udržitelný rozvoj v zemědělském sektoru.

Zdroje (dle systému APA)

- [1] Ahmed, N., & Turchini, G. M. (2021). Recirculating aquaculture systems (RAS): Environmental solution and climate change adaptation. *Journal of Cleaner production*, 297, 126604.
- [2] Andersson, K. (2000). LCA of food products and production systems. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 5, 239-248.
- [3] Angelakis, A. N., Zaccaria, D., Krasilnikoff, J., Salgot, M., Bazza, M., Roccaro, P., . . . & Fereres, E. (2020). Irrigation of world agricultural lands: Evolution through the millennia. *Water*, 12(5), 1285. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/5/1285>
- [4] Aruzhan, Y. (2023). Posouzení životního cyklu průmyslového výrobku v Be- neš a Lát, sro (Bachelor's thesis, České vysoké učení technické v Praze. Vy- početni a informační centrum.).
- [5] Bernas, J. (2018). Environmentální, energetické a ekonomické aspekty pěstování vybraných energetických rostlin. Disertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
- [6] Bernas, J., Bernasová, T., Gerstberger, P., Moudrý, J., Konvalina, P., & Moudrý, J. (2021). Cup plant, an alternative to conventional silage from a LCA perspective. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26, 311-326.
- [7] Castellani, V., Sala, S., & Benini, L. (2017). Hotspots analysis and critical in- terpretation of food life cycle assessment studies for selecting eco-innovation options and for policy support. *Journal of Cleaner Production*, 140, 556-568.
- [8] Cifuentes-Torres, L., Mendoza-Espinosa, L. G., Correa-Reyes, G., & Daesslé, L. W. (2021). Hydroponics with wastewater: a review of trends and oppor- tunities. *Water and Environment Journal*, 35(1), 166-180.
- [9] De Pascale, S., Arena, C., Aronne, G., De Micco, V., Pannico, A., Paradiso, R., & Roupheal, Y. (2021). Biology and crop production in Space environ- ments: Challenges and opportunities. *Life Sciences in Space Research*, 29, 30-37.
- [10] De Pascale, S., Arena, C., Aronne, G., De Micco, V., Pannico, A., Pa- radiso, R., & Roupheal, Y. (2021). Biology and crop production in Space en- vironments: Challenges and opportunities. *Life Sciences in Space Re- search*, 29, 30-37.
- [11] Ebel, R. (2020). Chinampas: An urban farming model of the Aztecs and a potential solution for modern megalopolis. *HortTechnology*, 30(1), 13- 19.
- [12] Erfianto, B., Rakhmatsyah, A., & Ariyanto, E. (2020, June). Micro- climate control for hydroponics in greenhouses. In 2020 8th International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT) (pp. 1- 6). IEEE.
-

-
- [13] Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K. V., Jijakli, H., & Thorarinsdottir, R. (2015). Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *Sustainability*, 7(4), 4199-4224.
- [14] 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.
- [15] Goermer, M., Lehmann, A., & Finkbeiner, M. (2020). Life-LCA: assessing the environmental impacts of a human being—challenges and perspectives. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25, 141-156.
- [16] Gossen, B. D., & McDonald, M. R. (2020). New technologies could enhance natural biological control and disease management and reduce reliance on synthetic pesticides. *Canadian journal of plant pathology*, 42(1), 30-40.
- [17] Greenfeld, A., Becker, N., Bornman, J. F., Spatari, S., & Angel, D. L. (2022). Is aquaponics good for the environment?—evaluation of environmental impact through life cycle assessment studies on aquaponics systems. *Aquaculture International*, 1-18.
- [18] Guine, J. B., Gorrée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., Udo de Haes, H. A., ... & Wrisberg, M. N. (2002). Life cycle assessment. An operational guide to ISO standards, vols, 1-3.
- [19] Hao, Y., Ding, K., Xu, Y., Tang, Y., Liu, D., & Li, G. (2020). States, trends, and future of aquaponics research. *Sustainability*, 12(18), 7783.
- [20] Harris, D. R. (2012). Origins and spread of agriculture. In *The Cultural History of Plants* (pp. 19-32): Routledge.
- [21] Hauschild, M. Z., Rosenbaum, R. K., & Olsen, S. I. (2018). Life cycle assessment (Vol. 2018). Springer International Publishing, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3>.
- [22] Huijbregts, M. A., Steinmann, Z. J., Elshout, P. M., Stam, G., Veronesi, 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.
- [23] Chen, P., Zhu, G., Kim, H. J., Brown, P. B., & Huang, J. Y. (2020). Comparative life cycle assessment of aquaponics and hydroponics in the Midwestern United States. *Journal of Cleaner Production*, 275, 122888.
- [24] Chen, P., Zhu, G., Kim, H. J., Brown, P. B., & Huang, J. Y. (2020). Comparative life cycle assessment of aquaponics and hydroponics in the Midwestern United States. *Journal of Cleaner Production*, 275, 122888.
- [25] ISO. ISO 14040—Environmental Management—Life Cycle Assessment—Principles and Framework; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2006.
- [26] ISO. ISO 14044—Environmental Management—Life Cycle Assessment—Requirements and Guidelines; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2006.
-

-
- [27] Jelínková, Z. (2018). Enviromentální aspekty produkce potravin. Di-
sertační práce, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, (2018).
- [28] Kočí, V. (2010). Metoda posuzování životního cyklu a chemický prů-
mysl. Chem. listy, 104, 921-
- [29] Kočí, V. (2010). Příručka základních informací o posuzování život-
ního cyklu: LCA. VŠCHT Praha, 27.
- [30] Kočí, V. Hodnocení environmentálních dopadů technologií. (2006)
- [31] Koch P. and Salou T. 2016. AGRIBALYSE®: Rapport Méthodolo-
gique – Version 1.3. November 2016. Ed ADEME. Angers. France. 335 p.
- [32] Kumar, D. R., & Kumar, B. S. (2023). HYDROPONICS SYSTEM
AT GOVERNMENT DEGREE & PG COLLEGE (A) SIDDIPET DISTRICT
OF TELANGANA STATE.
- [33] Kumar, V., & Singh, J. (2023). Trends in Hydroponics Practice/Tech-
nology in Horticultural Crops: a Review. International Journal of Plant & Soil
Science, 35(2), 57-65.
- [34] Kumari, A., Upadhyaya, A., Jeet, P., Prakash, V., Ahamed, A., &
Saurabh, K. (2021). Soilless farming: a worthwhile effort towards smart ag-
riculture.
- [35] Li, H., & Cheng, Z. (2015). Hoagland nutrient solution promotes the
growth of cucumber seedlings under light-emitting diode light. Acta Agricul-
turae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science, 65(1), 74-82.
- [36] Magwaza, S. T., Magwaza, L. S., Odindo, A. O., & Mditshwa, A.
(2020). Hydroponic technology as decentralised system for domestic waste-
water treatment and vegetable production in urban agriculture: a re-
view. Science of the Total Environment, 698, 134154.
- [37] Méndez-Guzmán, H. A., Padilla-Medina, J. A., Martínez-Nolasco, C.,
Martinez-Nolasco, J. J., Barranco-Gutiérrez, A. I., Contreras-Medina, L. M.,
& Leon-Rodriguez, M. (2022). Iot-based monitoring system applied to aéro-
ponics greenhouse. Sensors, 22(15), 5646.
- [38] Mráz, J., Lunda, R., & Stejskal, V. Konstrukce recirkulačních akvapo-
nických systémů (2018).
- [39] 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.
- [40] Palm, H. W., Knaus, U., Appelbaum, S., Goddek, S., Strauch, S. M.,
Vermeulen, T., ... & Kotzen, B. (2018). Towards commercial aquaponics:
a review of systems, designs, scales and nomenclature. Aquaculture internati-
onal, 26, 813-842.
- [41] 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.
- [42] Promratrak, L. (2017). The effect of using LED lighting in the growth of crops hydroponics. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, 6(2), 133-140.
- [43] Rani, R. S., Kumar, H. V., Mani, A., Reddy, B. S., & Rao, C. S. (2022). Soilless Cultivation Technique, Hydroponics-A Review. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 41(13), 22-30.
- [44] Raven, P. H., & Wagner, D. L. (2021). Agricultural intensification and climate change are rapidly decreasing insect biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(2), e2002548117.
- [45] Resh, H. M. (2022). *Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower*. CRC press.
- [46] Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2014). Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming. *FAO Fisheries and aquaculture technical paper*, (589), I.
- [47] Son, J. E., Kim, H. J., & Ahn, T. I. (2020). Hydroponic systems. In *Plant factory* (pp. 273-283). Academic Press.
- [48] Swain, A., Chatterjee, S., & Vishwanath, M. (2021). Hydroponics in vegetable crops: a review. *The Pharma Innovation Journal*, 10(6), 629-634.
- [49] Tukker, A. (2000). Life cycle assessment as a tool in environmental impact assessment. *Environmental impact assessment review*, 20(4), 435-456.
- [50] Turnsek, M., Joly, A., Thorarinsdottir, R., & Junge, R. (2020). Challenges of commercial aquaponics in Europe: beyond the hype. *Water*, 12(1), 306.
- [51] Vaillant, N., Monnet, F., Sallanon, H., Coudret, A., & Hitmi, A. (2003). Treatment of domestic wastewater by an hydroponic NFT system. *Chemosphere*, 50(1), 121-129.
- [52] van Paassen, M., Braconi, N., Kuling, L., Durlinger, B., & Gual, P. (2019). *Agri-Footprint 5.0*. Blonk Consultants: Gouda, The Netherlands, 134.
- [53] 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>
- [54] Yadav, R. K., Chiranjeevi, P., & Patil, S. A. (2020). Integrated drip hydroponics-microbial fuel cell system for wastewater treatment and resource recovery. *Bioresource technology reports*, 9, 100392.
-

Seznam obrázků

Obrázek 1-1 Ilustrace Chinampas (https://mexicanroutes.com)	9
Obrázek 1-2 DWC technika hluboké vodní kultury (rafty) - Deep Water Culture (Rani, et al., 2022).....	11
Obrázek 1-3 NFT technika tenkého filmu živin - Nutrient Film Technique (Vaillant, et al.,2003).....	12
Obrázek 1-4 Systémy kapkové závlahy - Drip system (Yadav, et al., 2020).	12
Obrázek 1-5 Aeroponické systémy – Aeroponics (Méndez-Guzmán, et al.,2022). ..	12
Obrázek 1-6 Záplavové systémy (MFB – Media Filled Beds) – Ebb and flow (Rani, et al., 2022).	13
Obrázek 1-7 Srovnání enviromentálních dopadů akvaponie vs. hydroponie z pohledu LCA (Chen, et al., 2020).....	18
Obrázek 1-8 Schéma fází LCA (Kočí, 2010).....	23
Obrázek 3-1 Zjednodušené hranice posuzovaného systému.....	26
Obrázek 3-2 Systém kapkové závlahy s okurkou Verdon	29
Obrázek 3-3 Okurka Verdon pěstovaná během pokusu v Akvaponické hale na Fakultě rybářství a ochrany vod v Českých Budějovicích.....	30

Seznam tabulek

Tabulka 3-1 Průměrné hodnoty klimatu ve skleníku

Tabulka 3-2 Charakterizační data pro komparaci úrovně environmentálního zatížení systémů při vstupu odpadní aquaponické vody

Tabulka 4-1 Charakterizační data pro komparaci úrovně environmentálního zatížení systémů při vstupu odpadní aquaponické vody

Seznam použitých zkratk

DWC - Deep Water Culture (hydroponická metoda pěstování, hluboká vodní kultura)

EC - Electroconductivity (elektrokonduktivita)

ISO - International organization for normalization (Mezinárodní organizace pro normalizaci)

LCA - Lyfe cycle assesment

LED - Light Emitting Diode (elektroluminiscenční dioda)

MFB - Media Filled Bed (hydroponická metoda pěstování, záplavový systém)

NFT - Nutrient Film Technique (hydroponická metoda pěstování, s nízkou hladinou roztoku)

pH - Potential of hydrogen (potencionál vodíku)

Přílohy

Tabulka měření denních parametrů živného roztoku včetně množství aplikované 30% kyseliny fosforečné (H₃PO₄) pro úpravu pH, a kontroly zdravotního stavu rostlin a výskytu škůdců.

Přesazení sazenic do systému 16.3.2023		Řada 1 (označení rostliny NO. 1 - 18) = DRIP5					Řada 2 (označení rostliny NO. 19-36) = DRIP6				
DAY	MONTH	pH	TEMP.	EC	pH down [ml]	Pests, dise- ases	pH	TEMP.	EC	pH down [ml]	Pests, di- seases
18	3	7.71	18.95	3085	12		7.74	19.1	3000	12	
20	3	6.62	20.26	2683	11		6.75	20.4	2614	12	
21	3	5.85	22.18	2752			5.86	22.31	2693		
25	3	5.93	20.41	2814			5.94	20.51	2758		
27	3	5.95	19.25	2841			5.94	18.82	2794		
31	3	5.94	19.62	1936			5.87	19	2864		
3	4	5.97	18.6	3060			6	18.55	3001		
7	4	5.89	19.21	3098			6.07	18.39	3110		
10	4	6.71	18.59	3202	5		6.79	18.9	3250	5	
14	4	5.63	18.1	3290			5.76	17.82	3290		
19	4	6.81	17.88	3237	10		6.97	18.4	3529	10	
21	4	5.98	17.97	2959			6.01	18.42	3066		
25	4	6.8	17.56	4180			6.87	17.57	4496		
29	4	6.36	20.89	4031	8		6.18	21.42	3958	6	
3	5	6.28	17	5007			6.23	14.51	5013		
6	5	6.24	20.95	5140			6.25	21.2	6990		
9	5	6.65	18.47	6195	12		6.79	18.46	6076	12	
11	5	6.07	20.37	6141			6.06	20.72	5572		
15	5	6.56	19.41	4919			6.67	19.78	4548		
20	5	6.74	19.51	4326			6.85	19.76	4114		
22	5	7.02	26.44	4017			7.02	27.45	3523		
25	5	6.96	19.6	3911	12		6.68	19.6	3968	10	
29	5	7.28	19.99	3847	14		7.19	20.12	4327	13	
2	6	7.69	19.68	3488			7.43	19.72	3468		
5	6	6.78	20.18	4630			6.94	20.29	4501		
9	6	6.91	22.4	3404	12		6.76	22.5	2336	10	
11	6	7.35	20.14	3468	18		6.96	20.38	2160	12	
16	6	8	19.79	3129		A	7.86	20.06	1468		
23	6	6.72	29.28	3333	12		7.35	23.03	2258	20	
28	6	7.75	21.39	3323	26	A	7.86	21.39	2269	26	A
1	7	7.62	21.24	3604		A,W	8.05	21.23	2366		A
3	7	7.98	20.53	3979	25	A, W	7.43	21.01	3289	20	A, W
7	7	7.11	22.33	2415	15	A, W	7.49	22.27	1684	20	A, W
10	7	7.12	24.74	2110	20		7.26	24.68	1337	20	

14	7	6.1	20.89	3814		T, A	6.09	20.67	3003		T,A
17	7	5.82	23.6	5351		A	5.7	23.79	4519		A
21	7	6.35	22.23	3060			6.39	22.12	2847		
24	7	5.98	22.64	3688			5.82	22.56	3469		
28	7	6.23	20.65	4295			5.94	20.79	4241		
31	7	6.23	20.89	4549			6.02	20.89	4470		
5	8	6.31	20.6	3612		D	6.36	20.8	3011		D
7	8	6.37	19.12	3468		T	6.4	19.13	2688		T
11	8	6.09	20.39	3728		T	6.17	20.8	3127		T
14	8	6	25.19	4978		T,S,A,W	6.05	25.25	3829		T,A
21	8	6.45	25.28	3302		A, T, S, W	6.55	25.31	2942		A, T, S, W
25	8	6.87	23.82	3041		A, T, S, W, D	7.11	23.59	2650		T,A
28	8	6.31	20.98	3901		W, D	6.56	20.96	3652		W, T
1	9	6.77	20.79	3160	10		7.1	20.81	2574	12	W, T
4	9	6.73	20	2448		T	7.03	20.04	2026	14	T
8	9	7.06	19.49	2420		W	6.71	19.45	1997		A
11	9	6.98	21.22	3460		W, S	6.9	20.83	3091		W, S
15	9	6.94	19.42	2120	8	A, W	6.99	19.13	1855	8	A, W
18	9	6.9	20.9	1473		T, W, S	6.9	20.73	1362		S, T,W,A
22	9	6.76	19.85	2210		S, T, A, W	6.81	19.7	1975		S, T, W, A
25	9	6.69	18.55	2401		A, W, T	6.63	18.55	2396		S, T, W, A
29	9	6.76	18.26	1953	10	A, W, T	6.79	18.37	1519	10	A, W, T
1	10	6.72	20.27	2460	6		6.96	20.02	1760	7	
6	10	6.89	19.23	3578			6.93	19.45	3140		
9	10	6.68	17.58	3814	12		6.73	17.51	3310	14	
14	10	5.91	21.26	4236		S	5.93	21.44	3822		S
16	10	6.35	18.57	4452			6.04	18.49	4070		
20	10	6.04	19.16	4866		S, W, A, D	6.06	19.2	4529		S, W, A, D
23	10	6.44	17.49	3195			6.23	18.56	4435		
27	10	6.09	19.49	4684		W	6.05	19.67	4535		W
30	10	6.14	20.38	4935		D, W	6.1	20.45	4997		D, W
3	11	6.33	1849	5500			6.34	18.45	5850		
6	11	6.67	18.76	5489			6.85	18.86	5363		
10	11	6.85	18.42	5185	8		6.74	18.6	6180	8	
13	11	6.53	18.1	5199			6.53	18.11	5389		

Označení škůdců a chorob

- A=** Mšice (APHIDS)
D= Padlí (DOWNY MILDEW)
T= Třasněnky (THRIPS)
S= Svílušky (SPIDER MITE)
W = Molice (WHITE FLIES)

Software HydroBuddy v1.8 pro výpočet složení živného roztoku použitého během experimentu

HydroBuddy v1.8 - Programmed and Designed by Dr. Daniel Fernandez Ph.D at <http://scienceinhydroponics.com>

Welcome Main Page Results About

Element	Target Conc. (ppm)	Result (ppm)
N (NO3-)	267	233.826
N (NH4+)	7	15.696
P	55	40.28
K	350	361.835
Mg	40	40
Ca	220	244.651
S	53	62.354
Fe	3	3
Zn	0.1	0.1
B	0.3	0.3
Mn	0.8	0.8
Cu	0.07	0.07
Mo	0.03	0
Na	0	0
Si	0	0
Cl	0	0

Zero all targets Disable Pop-ups Small Window

Cucumber 2nd stage (Howard Resl) **Substance Selection**

Delete Formulation From DB Copy Commercial Nutrient Formulation

Add Formulation to DB Set Water Quality Parameters

Cucumber 2nd stage (Howard) Set Instrument Precision Values

Volume: 13205.3
 Gallons Liters Cubic Meters

Concentration Units: ppm mM M mN

Mass Units: Grams Ounces

EC Model: LMC Empirical

Solution Preparation type: Concentrated A + B Solutions Direct Addition

Concentration Factor: 100 Calculate liquids in mL

Choose Degree of Freedom

Calculation Type: Input Desired Concentrations Concentrations from Weights

Carry Out Calculation Copy Weight Results to DB

HydroBuddy v1.8 - Programmed and Designed by Dr. Daniel Fernandez Ph.D at <http://scienceinhydroponics.com>

Welcome Main Page Results About

Substance Name [click for url]	Formula	Mass (g) [Edit to fine-tune]	Preparation Cost
Yara Krista MKP (PotPhosp)	Potassium phosphate	1926.162	0
Y. Boric Acid	H3BO3	19.564	2
Y. Cu EDTA	CuEDTA	5.659	1.8
Y. Mn EDTA	MnEDTA	76.591	18.7
Y. Iron DTPA	FeDTPA	560.282	126.6
Yara Liva CALCINIT 15,5-0-0-19Ca	5Ca(NO3)2.NH4NO3.10H2O	6717.402	0
Yara Krista K Plus (PotNitr)	Potassium nitrate	9713.62	0
Yara Krista Mgs (MagSulph)	Magnesium sulphate	4099.145	0
Y. Zn EDTA	ZnEDTA	6.162	1.6
Y. Ammonium molbydate technical grade		0	0

Element	Result (ppm)	Gross Error	Instrumental Error
N (NO3-)	233.826	-34.8%	+/- 0%
K	361.835	-7.5%	+/- 0%
P	40.28	-39.8%	+/- 0%
Mg	40	-25.5%	+/- 0%
Ca	244.651	-56.1%	+/- 0%
S	62.354	-23.9%	+/- 0%
Fe	3	-1%	+/- 0%
Zn	0.1	-30%	+/- 0.1%
B	0.3	-13.7%	+/- 0%
Cu	0.07	-14.3%	+/- 0.2%
Mo	0	-100%	+/- 0%
Na	0	0%	+/- 0%
Si	0	0%	+/- 0%
Cl	0	0%	+/- 0%
Mn	0.8	-5.8%	+/- 0%
N (NH4+)	15.696	-20.1%	+/- 0%

Total Cost is 150.7

Values calculated for the preparation of 13205.3 liters

Predicted EC Value: **EC=2.111 mS/cm**

Stock Solution Analysis

Nutrient Ratio Analysis

Detailed Per Substance Contribution Analysis

Export To Csv

Tabulka 0-1 Simulation Monte Carlo pro model hydroponického pěstování okurky Verdon

Impact category	Unit	Mean	Median	SD	CV	2,5%	97,5%	SEM
Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	0,00034	0,00033	0,00003	10,18429	0,00028	0,00042	0,00000
Fossil resource scarcity	kg oil eq	0,06386	0,06344	0,00722	11,30711	0,05127	0,08013	0,00023
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0,02060	0,01952	0,00661	32,08544	0,01226	0,03744	0,00021
Freshwater eutrophication	kg P eq	0,00022	0,00019	0,00014	61,88782	0,00007	0,00058	0,00000
Global warming	kg CO2 eq	0,27092	0,26901	0,01986	7,33151	0,23726	0,31694	0,00063
Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	0,01794	0,01263	0,02135	119,01081	0,00562	0,06743	0,00068
Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	0,49364	0,47276	1,37190	277,91288	-2,31651	3,11688	0,04338
Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	0,08217	0,04391	0,18639	226,84821	0,00850	0,38013	0,00589
Land use	m2a crop eq	0,01710	0,01698	0,00199	11,63797	0,01361	0,02130	0,00006
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0,02659	0,02511	0,00877	32,99254	0,01579	0,04884	0,00028
Marine eutrophication	kg N eq	0,00002	0,00002	0,00000	13,40784	0,00002	0,00003	0,00000
Mineral resource scarcity	kg Cu eq	0,00151	0,00145	0,00031	20,31779	0,00114	0,00230	0,00001
Ozone formation, Human health	kg NOx eq	0,00051	0,00050	0,00006	11,07724	0,00042	0,00064	0,00000
Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	0,00053	0,00052	0,00006	10,94649	0,00044	0,00067	0,00000
Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	0,00000	0,00000	0,00000	18,51307	0,00000	0,00000	0,00000
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	0,00099	0,00098	0,00010	9,79525	0,00083	0,00121	0,00000
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	1,29257	1,15250	0,55497	42,93555	0,69121	2,59148	0,01755
Water consumption	m3	0,01766	0,02571	0,13012	736,87971	-0,27589	0,26233	0,00411

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

Tabulka 0-2 Rozbor vody z RAS (Recirculation aquaculture system – recykulační akvakulturní systém)

Poznámka¹⁾: REM₃₄₅

Ukazatel	Výsledek	Jednotka	Limitní hodnota (typ)	Nejistota měření	Použitá metoda	¹⁾
amonné ionty (NH ₄)	12,8	mg/l		15 %	(A) SOP 6	
dusík amoniakální (N-NH ₄)	9,95	mg/l		15 %	(A) SOP 6	
sířany	62,6	mg/l		15 %	(A) SOP 10	
dusičnany (NO ₃)	145	mg/l		15 %	(A) SOP 11	
dusík dusičnanový	32,7	mg/l		15 %	(A) SOP 11	
dusitany (NO ₂)	2,50	mg/l		10 %	(A) SOP 12	
dusík dusitanový (N-NO ₂)	0,761	mg/l		10 %	(A) SOP 12	
síra (S)	20,9	mg/l		15 %	(N) SOP 10	
Hoičik (Mg)	8,03	mg/l		10 %	(A) SOP 450-1	
Vápník (Ca)	139	mg/l		10 %	(A) SOP 450-1	
Draslík (K)	45,0	mg/l		10 %	(A) SOP 450-1	
Fosfor (P)	4,37	mg/l		10 %	(A) SOP 450-1	
Sodík (Na)	26,5	mg/l		10 %	(A) SOP 450-1	
Měď (Cu)	0,01	mg/l		10 %	(A) SOP 450-1	
Zinek (Zn)	0,011	mg/l		15 %	(A) SOP 450-1	
Železo (Fe)	0,03	mg/l		10 %	(A) SOP 450-1	
Mangan (Mn)	<0,010	mg/l		---	(A) SOP 450-1	
Molybden (Mo)	<0,010	mg/l		---	(A) SOP 450-1	
Kobalt (Co)	<0,005	mg/l		---	(A) SOP 450-1	
Bor (B)	0,027	mg/l		10 %	(A) SOP 450-1	