

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství
Studijní obor: Agroekologie – Ekologické zemědělství
Katedra: Katedra agroekosystémů
Vedoucí katedry: doc. Ing. Petr Konvalina, Ph.D.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Environmentální aspekty pěstování mužáku prorostlého (*Silphium
perfoliatum* L.)**

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaroslav Bernas, Ph.D.
Autor diplomové práce: Bc. Dominika Maršíková

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Dominika MARŠÍKOVÁ**
Osobní číslo: **Z17152**
Studijní program: **N4101 Zemědělské inženýrství**
Studijní obor: **Agroekologie - Ekologické zemědělství**
Název tématu: **Environmentální aspekty pěstování mužáku prorostlého
(*Silphium perfoliatum* L.)**
Zadávací katedra: **Katedra agroekosystémů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Úvodní část: Úvod do problematiky pěstování *Silphium perfoliatum* L..
2. Literární přehled: Sestavit literární přehled shrnující aktuální problematiku pěstování mužáku prorostlého (*Silphium perfoliatum* L.).
3. Metodická část: Seznámit se s metodikou zakládání a ošetřování porostů mužáku prorostlého (*Silphium perfoliatum* L.) v rámci polních pokusů, podílet se na praktickém ošetřování porostu a sledovat růstové vlastnosti v průběhu vegetace, studium doporučené literatury a zpracování rešeršní části práce, zpracování a analýza vzorků dle dostupných metod. Definovat cíle a rozsah sledovaného rámce, inventarizovat data sledovaného rámce, vyhodnotit environmentální dopady a interpretovat data.
4. Výsledková část: Zpracování experimentálních dat, posouzení vhodnosti mužáku prorostlého (*Silphium perfoliatum* L.) pro energetické účely na základě získaných dat, vyhodnocení výsledků práce a kvantifikace dat prostřednictvím specializovaného software a integrované databáze.
5. Diskuzní část: Srovnání výsledků s údaji dostupnými v literatuře
6. Závěrečná část práce: Shrnutí hlavních výsledků práce.
7. Seznam literatury dle vybrané citační normy

Rozsah grafických prací: dle potřeby (tabulky, grafy, fotografická příloha)

Rozsah pracovní zprávy: 40-50 stran včetně příloh

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická


Seznam odborné literatury:

- [1] Albrecht, K. A., & Goldstein, W. (1997, June). Silphium perfoliatum: A North American prairie plant with potential as a forage crop. In Conference June 8-19 Conference Year, Winnipeg (pp. 167-168).
- [2] Gansberger, M., Montgomery, L. F., & Liebhard, P. (2015). Botanical characteristics, crop management and potential of Silphium perfoliatum L. as a renewable resource for biogas production: A review. *Industrial Crops and Products*, 63, 362-372.
- [3] Haag, N. L., Nägele, H. J., Reiss, K., Biertümpfel, A., & Oechsner, H. (2015). Methane formation potential of cup plant (*Silphium perfoliatum*). *Biomass and Bioenergy*, 75, 126-133
- [4] Miňovský, O., Krtková, E., Fott, P. (2013): National Greenhouse Gas Inventory of the Czech Republic. ČHMÚ, Praha, 327 p.
- [5] Slepetyš, J., Kadziuliene, Z., Sarunaite, L., Tilvikiene, V., & Kryzeviciene, A. (2012). Biomass potential of plants grown for bioenergy production. In *Proceedings of the International Scientific Conference "Renewable Energy and Energy Efficiency"* (pp. 66-72).
- [6] Stanford, G. (1990, August). *Silphium perfoliatum* (cup-plant) as a new forage. In *Proceedings of the Twelfth North American Prairie Conference*, Cedar Falls, IA (pp. 33-37).
- [7] Ušák, S. (2012). Možnosti pěstování mužáku prorostlého *Silphium perfoliatum* L. pro výrobu bioplynu. *Metodika pro praxi*, Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 31 s.. ISBN: 978-80-7427-099-4

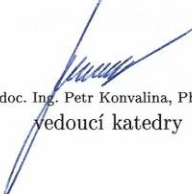
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jaroslav Bernas**
Katedra agroekosystémů

Datum zadání diplomové práce: **15. února 2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **15. dubna 2019**


prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., dr. h. c.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentůvká 1888, 370 05 České Budějovice


doc. Ing. Petr Konvalina, Ph.D.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 21. března 2018

Abstrakt

Pěstování rostlin pro krmivářské či energetické účely v podmínkách České republiky je stále řešeným tématem. V tomto ohledu se využívá především *Zea mays* L. Pěstování *Zea mays* L. s sebou nese řadu environmentálních problémů. Jednou z možností, jak tyto dopady snižovat, je náhrada *Zea mays* L. jinými rostlinami vhodnými k těmto účelům. Alternativu představuje pěstování víceletých energetických rostlin. Jednou z nich může být nově zaváděný *Silphium perfoliatum* L. Tato práce prezentuje výsledky hodnocení environmentálních aspektů pěstování *Silphium perfoliatum* L. pro účely zisku fytomasy v porovnání s běžně uplatňovanými technologiemi pěstování *Zea mays* L. Výsledky vycházejí z 3letého sledování v rámci malometrážních polních pokusů. Environmentální zátěž vázaná na sledované pěstební postupy byla hodnocena na základě metody LCA v rámci vybraných dopadových kategorií za využití software SimaPro v.7.3.2 s integrovanou metodou ReCiPe Midpoint (H). Dle výsledků lze pěstovat *Silphium perfoliatum* L. s obecně nižšími environmentálními dopady, než je tomu v případě *Zea mays* L.

Klíčová slova: *Zea mays*, *Silphium perfoliatum*, environmentální aspekty, LCA

Abstract

Growing plants for feed or energy purposes in the Czech Republic is still a topic of concern. In this respect, mainly *Zea mays* L. is used. Growing *Zea mays* L. brings with it a number of environmental problems. One way to reduce these impacts is by replacing *Zea mays* L. with other plants suitable for these purposes. The alternative is to grow perennial energy plants. One of these may be the newly introduced species *Silphium perfoliatum* L. This work presents the results of the evaluation of the environmental aspects of growing *Silphium perfoliatum* L. for the purpose of obtaining phytomass compared to commonly used sowing techniques. The results are based on a 3-year follow-up in small field trials. The environmental burden related to the monitored cultivation procedures was evaluated on the basis of the LCA method within selected impact categories using the SimaPro v.7.3.2 software with the integrated ReCiPe Midpoint (H) method. According to the results, *Silphium perfoliatum* L. can be grown with generally lower environmental impacts than in the case of *Zea mays* L.

Keywords: *Zea mays*, *Silphium perfoliatum*, environmental aspects, LCA

Prohlášení

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce a to- v nezkrácené podobě- v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných zemědělskou fakultou - elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 15. dubna 2019

.....
Bc. Dominika Maršíková

autor

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Jaroslavu Bernasovi, Ph.D. za jeho vstřícnost, cenné rady, trpělivost a veškerou pomoc při vypracování diplomové práce.

Obsah

1.1	Mužák prorostlý (<i>Silphium perfoliatum</i> L.).....	10
1.1.1	Historie.....	10
1.1.2	Botanické zařazení rostliny a její charakteristika.....	10
1.1.3	Chemické složení.....	12
1.1.4	Klimatické a půdní požadavky <i>Silphium perfoliatum</i> L.	13
1.1.5	Pěstování <i>Silphium perfoliatum</i> L.	14
1.2	Metoda posuzování životního cyklu (LCA).....	19
1.2.1	Historické pozadí metody <i>Life Cycle Assessment</i>	19
1.2.2	Jednotlivé fáze metody LCA.....	20
2	Cíl práce.....	26
2.1	Hypotézy.....	26
3	Materiál a metodika.....	27
3.1	Fáze první: Definice cílů a rozsahu.....	27
3.1.1	Hranice systému.....	27
3.1.2	Funkční jednotka (definovaná jednotka).....	28
3.1.3	Zdroje dat pro inventarizaci.....	28
3.1.4	Vybraná plodina.....	29
3.1.5	Sklizeň.....	30
3.2	Fáze druhá: Inventarizace dat.....	30
3.3	Fáze třetí: Hodnocení dopadů.....	31
3.3.1	Polní emise a jejich stanovení.....	33
4	Výsledky a diskuze.....	34
4.1	Environmentální aspekty vázané na jednotku produkce.....	35
4.2	Environmentální aspekty vázané na jednotku plochy.....	46
5	Závěr.....	57
6	Seznam použité literatury.....	58
7	Internetové zdroje.....	65
8	Seznam zkratk.....	66

9	Seznam obrázků.....	67
10	Seznam tabulek	68
11	Seznam grafů.....	69

Úvod

Rostlina *Silphium perfoliatum* L. se dostala do podvědomí se vzrůstajícím zájmem o zachování biologické rozmanitosti v agroekosystémech. Vzhledem k poklesu stavu hospodářských zvířat a úbytku víceletých pícnin v běžně uplatňovaných osevních sledech došlo k nepříznivému snížení kvality zemědělské půdy. Výsledkem je mimo jiné ztuhnutí půdy, zvýšená erodovatelnost půd vedoucí k redukci obsahu půdní organické hmoty a celkové zhoršení půdních úrodností.

Jednou z typických plodin pěstovaných v podmínkách České republiky pro krmivářské účely či účely bioplynových stanic je *Zea mays* L. (dále kukuřice setá). Kukuřice setá, jako jednoletá, širokořádková plodina, se spolu s intenzivní agrotechnikou a vysokými nároky na živiny stává rizikovou plodinou z pohledu mnoha environmentálních aspektů. V tomto ohledu mohou být řešením vytrvalé plodiny, které svým charakterem a obecně nižšími požadavky na vstupy některé z těchto aspektů redukuje. Jednou z těchto rostlin může být *Silphium perfoliatum* L., neboli mužák prorostlý. Jedná se o ekologicky hodnotnou, vytrvalou a žlutě kvetoucí rostlinu z čeledi hvězdnicovitých. Představuje energetickou rostlinu s vysokými výnosy biomasy, ale minimálními nároky na ošetření. *Silphium perfoliatum* L. pochází ze severní Ameriky a její produkční schopnost je přibližně 20-25 let. Další pozitivní vlastností je vhodnost pěstování v podmínkách mírného klimatického pásma. V České republice je *Silphium perfoliatum* L. pěstován převážně v rámci polních pokusů. Pro tyto účely jsou používány kultivary.

Při úvahách o zařazení této vytrvalé rostliny na ornou půdu a tedy do pěstebních plánů samotných zemědělců je nutno zohlednit i environmentální aspekty spojené s jejím pěstováním. Pro tyto účely lze využít metodu hodnocení životního cyklu (angl. *Life Cycle Assessment*), která je uznávanou metodou pro řešení otázek environmentálních aspektů zemědělských aktivit.

Literární přehled

1.1 Mužák prorostlý (*Silphium perfoliatum* L.)

1.1.1 Historie

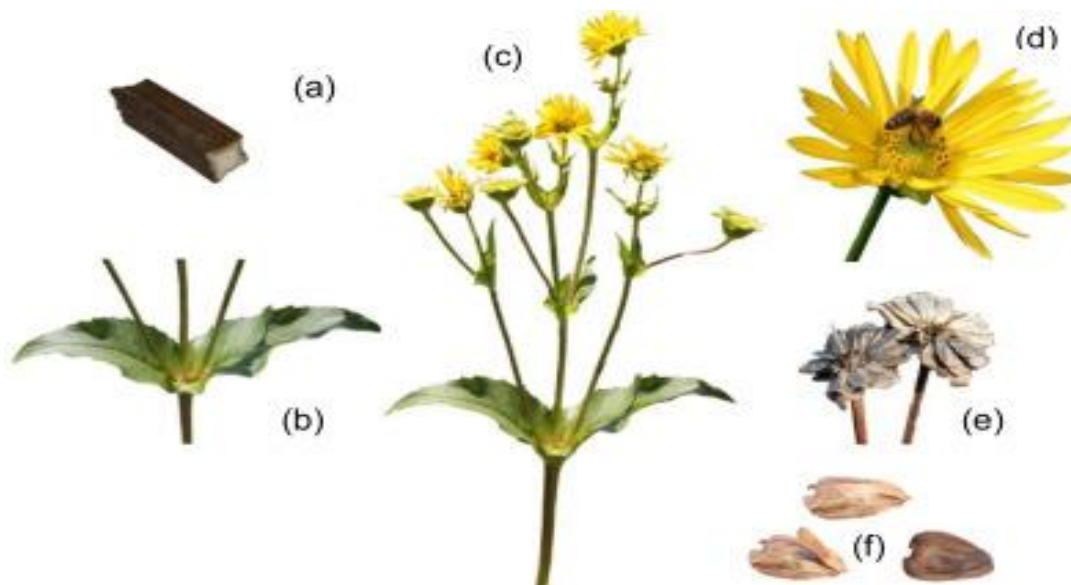
Mužák prorostlý je víceletá bylina patřící do čeledi *Asteraceae* (hvězdnicovité). Mužák se vyskytuje v údolích řek, jezer a náleží mezi druhy préríjní vegetace. Jeho původ je situován v severní Americe (Ust'ak, 2012). Z této oblasti byl v 18. století introdukovan do Evropy. Díky svým dekorativním rysům se podílel na výsadbě parků a zahrad. Pro krmivářské účely byl pěstován v Sovětském svazu a na Ukrajině. V té době byly provedeny studie zabývající se chemickým složením dané energetické rostliny. Na základě výzkumů bylo zjištěno, že *Silphium perfoliatum* L. obsahuje vyšší množství fenolových kyselin, a proto je z hlediska krmných účelů nevhodný. Uplatnění našel ve farmaceutickém průmyslu kvůli vyššímu obsahu saponinových složek obsažených na listech rostliny (Wrobel *et al.*, 2013).

1.1.2 Botanické zařazení rostliny a její charakteristika

Silphium perfoliatum L. je vytrvalá rostlina z čeledi *Asteraceae* (hvězdnicovité) patřící do rodu *Silphium perfoliatum* L. (Gansberger *et al.*, 2015). Detailní morfologická studie prováděná v 60. letech minulého století prokázala genetickou vybavenost mužáku složenou ze 14 diploidních chromozomů (Settle, 1997). *Silphium perfoliatum* L. je heterogenní rostlina s širokou genetickou variabilitou. V současnosti je k dispozici osivo odlišného zeměpisného původu, které nemá typické vlastnosti (Gansberger *et al.*, 2015). V České republice jsou pěstovány pouze kultivary, pocházející z přírodní flóry nebo zavlečené z Ameriky, či Ruska (Ust'ak, 2012).

Pro klíčení semen je vhodné střídání teplot (Gansberger *et al.*, 2015). Na jaře po vyklíčení semen rostlina pomalu roste a v přízemní růžici se vytvoří okolo 12-15 listů (Stanford, 1990). Dochází k postupnému vývoji stonku, který nese přibližně 17 listů. Stonek dosahuje výšky 2 - 4 m a šířky 1 -3 cm (Stanford, 1990), jehož tvar bývá při průřezu charakteristicky čtyřhranný, někdy i osmihranný (Langmaier, 2018). Ve druhém roce vyrůstají z pupenů další stonky. Dané pupeny se vytvořily v předešlém roce (Gansberger *et al.*, 2015). Na počátku druhého vegetačního období,

kdy se teploty pohybují okolo 5°C, začíná další růstová fáze *Silphium perfoliatum* L. (Gansberger *et al.*, 2015). Po vzniku dvanáctého až patnáctého listu dojde k tvorbě vertikálních čtyřhranných stonků, které jsou pokryty listy (Sokolov, 1972). Celkový počet stonků se zvyšuje s věkem rostliny. Počet stonků se ve většině případů pohybuje v rozmezí 10 – 25 (Gansberger *et al.*, 2015). Stonky jsou složeny 8 – 12 internody o velikosti 20 – 30 cm a vyplněny houbovitou hmotou (Wrobel *et al.*, 2013). Listy mužáku jsou uspořádány do páru a svým vzhledem připomínají pohár (Stanford, 1990). Tvar listů je trojúhelníkový až oválný o délce 40 centimetrů a šířce 25 cm (Neumerkel *et al.*, 1982). Povrch listů bývá drsný a tmavě zelený (Stanford, 1990). V době rozkvětu dosahuje *Silphium* výšky 116 – 131 cm a vzhledem k jeho stavbě má vysokou pokryvnost (Daniel *et al.*, 1994). Výše zmiňovaná rostlina kvete od července do konce září a barva květů je sytě žlutá (Wrobel *et al.*, 2013). Fáze kvetení je delší, protože se květy formují 10 – 12 dní. Na jeden stonek připadá 8 – 10 květů (Neumerkel *et al.*, 1982). Květní úbor se skládá z trubkovitých a jazykových květů. Ve střední části úboru se nachází pravidelné trubkovité květy s trubkovitou korunou vytvářející terč. Plocha jazykových květů je souměrná s trubkovitou korunou doplněná o nápadnou a plochou ligulu (Ust'ak, 2012). Nektar z květů je zdrojem potravy pro včely a jiné opylovače (Jablonski *et al.*, 2005). I v nekvetoucím období je *Silphium perfoliatum* L. velmi hodnotná rostlina, jelikož slouží jako potrava pro hmyz, dále podporuje dobrý zdravotní stav včel a zvyšuje atraktivní vzhled krajiny (Gansberger *et al.*, 2015). *Silphium perfoliatum* L. je vysoce odolný vůči nízkým teplotám. Dle Wrobel *et al.* (2013) je rostlina schopna přetrvat v teplotách nižších než – 25°C. Semena jsou šedo-hnědé nažky. Velikost semen odpovídá délce 0,9 – 1,5 cm, šířce 0,6 – 0,9 cm a tloušťce maximálně 0,1 cm (silně zploštělé) - (Gansberger *et al.*, 2015). Dle Neumerkel *et al.* (1982) a Kowalski *et al.* (2004) se hmotnost tisíce semen pohybuje v rozmezí 14 g – 21 g. Pro lepší představu popisuje jednotlivé části mužáku prorostlého Obrázek 1.



Obrázek 1: Mužák prorostlý (*Silphium perfoliatum* L.) - (a) čtyřhranný stonek, (b) list, (c) stonek s květy a listy, (d) květní úbor s trubkovitými a jazykovitými květy, (e) odkvetlý květ, (f) nažka (semena)

Zdroj: Gansberger *et al.*, 2015

1.1.3 Chemické složení

Na základě vědeckého zkoumání je zjištěno, že druhy *Silphium perfoliatum* L. obsahují látky minerální a primární metabolity, jako například bílkoviny, kyselinu L- askorbovou a sacharidy. Dále se zde nacházejí sekundární metabolity, tj. fenolové kyseliny, flavonoidy, terpeny s esenciálními oleji, karoteny a triterpenové saponiny-oleanosidy (Kowalski *et al.*, 2007; Langmaier, 2018). Právě fenolové kyseliny vyskytující se v této rostlině mohou negativně působit na mikroflóru bacheru (Piřat *et al.*, 2007). Značný obsah karotenu byl zaznamenán ve studii zaměřené na porovnání biochemického složení *Silphium perfoliatum* L. a *Helianthus tuberosus* L., která byla publikována v roce 2013 (Tabulka 1 a Tabulka 2). Hodnota karotenu v sušině dosahovala 165,17 mg/kg. Jako další poznatek této studie lze uvést vysoký obsah fosforu, draslíku, vápníku, mědi a stroncia (Ťiřei *et al.*, 2013). V porovnání s *Helianthus tuberosus* (slunečnice roční) disponuje mužák vyšším obsahem esenciálních aminokyselin, např. leucin, izoleucin, lysin, methionin, threonin a valin (Ťiřei *et al.*, 2013). Kořeny a oddenky fungují jako hlavní zásobárna inulinu (Kowalski *et al.*, 2004). Dle Kowalski *et al.*, (2004) mohou být semena využita jako alternativní zdroj pro výrobu funkčních potravin.

Tabulka 1: Biochemické složení makroelementů (g/kg) v *Silphium perfoliatum* L. a *Helianthus tuberosus* L.

	Fosfor	Draslík	Vápník	Hořčík
<i>Silphium perfoliatum</i> L.	3,06	23,78	17,13	2,85
<i>Helianthus tuberosus</i> L.	2,53	16,31	12,65	4,10

Zdroj: Ťiței *et al.*, 2013

Tabulka 2: Biochemické složení mikroelementů (mg/kg) *Silphium perfoliatum* L. a *Helianthus tuberosus* L.

	Měď	Zinek	Mangan	Železo	Stroncium	Sodík
<i>Silphium perfoliatum</i> L.	4,19	19,59	25,18	127,6	28,40	55,95
<i>Helianthus tuberosus</i> L.	2,54	19,68	59,90	155,80	41,97	196,84

Zdroj: Ťiței *et al.*, 2013

1.1.4 Klimatické a půdní požadavky *Silphium perfoliatum* L.

Obecně lze říci, že mužáku se daří hlavně v podmínkách subkontinentálního klimatu (Gansberger *et al.*, 2015). Nejvhodnějšími půdními podmínkami pro pěstování jsou vodou dostatečně zásobené půdy s vyšším obsahem živin (Stanford, 1990). Nevhodné pro pěstování jsou trvale zamokřené (hydromorfní) půdy, protože dochází k uhnívání kořinek (Aurbacher *et al.*, 2012; Ust'ak 2012). Této plodině vyhovují i odlišné podmínky klima v Evropě (Neumerkel *et al.*, 1982). Pro optimální růst vyžaduje rostlina dlouhý sluneční svit a teplotu 20°C. Podle některých autorů jsou vhodné především svahy orientující se na jih nebo jihozápad (Ust'ak, 2012).

Jak již bylo řečeno, tato rostlina dokáže odolat i teplotám nižším než – 30°C. Dle Gansberger *et al.* (2015) se zvyšující nadmořskou výškou dochází ke zkrácení vegetační doby, a tím ke snížení výnosů. Naproti tomu, vyskytuje-li se ve vhodných půdních podmínkách, dosahuje vysokých výnosů. Na růst této rostliny velmi nepříznivě působí: vysoká kyselost (pH menší než 5,5), alkalita půdy (pH větší než 8,5) a nízký obsah fosforu (pod 50 mg/kg) – (Ust'ak, 2012).

Mužák disponuje silným kořenovým systémem, který mu umožňuje získávat vodu z hlubších půdních vrstev (Schoo *et al.*, 2013). Vzhledem k uspořádání a tvaru

listů dokáže zadržet a odpařovat dešťovou vodu, a tím překonat období sucha (Stanford, 1990). Minimální požadavky této rostliny se pohybují okolo 400 až 500 mm vody za rok. Ve vegetačním období potřebuje přibližně 200 až 250 mm vody (Gansberger *et al.*, 2015). Z hlediska využití vody se mužák ukázal jako velice tolerantní rostlina. V letech 2005 – 2009 byly provedeny experimentální studie zabývající se výnosy mužáku a kukuřice v jednotlivých obdobích. V této studii *Silphium perfoliatum* L. dosáhl vyššího výnosu v době sucha, oproti kukuřici, které se dařilo ve srážkovém období (Pan *et al.*, 2011).

1.1.5 Pěstování *Silphium perfoliatum* L.

1.1.5.1 Vhodný výběr předplodiny a následné plodiny

Silphium perfoliatum L. je vytrvalá rostlina, kterou lze využívat, v závislosti na lokalitě, přibližně 15 let bez přesazení (Gansberger *et al.*, 2015). V prvním roce pěstování disponuje *Silphium perfoliatum* L. nízkou konkurenční schopností vůči plevelům. Z tohoto důvodu je doporučeno vybírat takové předplodiny, které mají odplevelovací účinky (Biertümpfel *et al.*, 2018). Jak už bylo zmíněno výše, *Silphium perfoliatum* L. lze využívat více let, proto v následujících letech nejsou účinky předplodiny tak důležité (Aurbacher *et al.*, 2012). Mužák není vhodné vysévat na lokalitách, kde byly v předešlých letech aplikovány přípravky s účinnou látkou trifluralin, chlorsulfuron a atrazine (Ušťák, 2012). Do osevního postupu je nevhodné zařazení krycích plodin, jelikož je plodina v prvním roce vegetace náročná na světelné podmínky (Ušťák, 2012). Na druhou stranu mezi vhodné předplodiny patří okopaniny, kukuřice nebo obilniny (Aurbacher *et al.*, 2012). Výsadba po zimních meziplodinách je také možná (Biertümpfel *et al.*, 2018). Za účelem zúrodnění půdy lze použít jako následnou plodinu jetelotravní nebo travní směs, kterou je třeba založit na dobu 3 – 5 let, a tím dojde ke zvýšení organické hmoty v půdě, její struktury a biologické aktivity (Ušťák, 2012).

1.1.5.2 Příprava půdy

Po sklizni předplodiny je nutné provést intenzivní orbu, aby došlo k redukci plevelů (Aurbacher *et al.*, 2012). Následně je zapotřebí pečlivé ošetření před setbou, které udrží půdní vlhkost, umožňující optimální podmínky pro vývoj semen. Pro správné vzcházení semen by měla mít půda drobtovitou strukturu (Aurbacher *et al.*,

2012). Pro urovnání povrchu, utužení půdy a zajištění lepších vláhových poměrů pro vzcházení rostliny je nutné provést válení (Gansberger *et al.*, 2015). Přibližně tři nebo čtyři týdny před setím Ust'ak (2012) doporučuje převláčet pozemek lehkými bránami, nebo jej prokypřit rotavátorem či kombinátorem.

1.1.5.3 Založení porostu

Založení porostu *Silphium perfoliatum* L. lze uskutečnit přímou setbou semen nebo výsadbou sazenic (Aurbacher *et al.*, 2012). Doporučený termín výsevu je dle Gansberger *et al.* (2015) na konci podzimu, to znamená nejpozději 15 – 20 dní před začátkem prvních nočních mrazů. Podzimní termín setí se pohybuje od konce října do 10. listopadu. Jarní termíny setí se provádí od 20. do 30. dubna (Ust'ak, 2012). Výsev semen bez krycí plodiny vede k lepšímu vývoji rostliny, než výsev semen do krycí plodiny (Vetter *et al.*, 2010). Pro dosažení nejvyšší výtěžnosti biomasy je zapotřebí vysázet semena ve vzdálenosti 10 cm od sebe. Vzdálenost mezi řádky by měla splňovat 50 cm (Gansberger *et al.*, 2015). Obvykle se výsevek pohybuje v rozmezí 15 – 20 kg/ha a do hloubky 1,5 – 2 cm. V závislosti na kvalitě semen může být výsevek ponížen. Při vyšší kvalitě semen je doporučené množství výsevku dle Biertümpfel *et al.* (2018) 2-2,5 kg/ha.

Dalším způsobem založení porostu je výsadba sazenic. Jako velkou výhodou lze uvést zajištění rovnoměrného rozmístění plodin na pozemku (Gansberger *et al.*, 2015; Vetter *et al.*, 2010). Doporučený termín výsadby se dle Stolzenburg *et al.*, (2012) pohybuje v období od konce května až začátkem června. Tentýž autor se zabýval i výzkumem hustoty založení porostu sazenic. Stolzenburg *et al.*, (2012) doporučují 4 sazenice na metr čtvereční. Nejvyšší výnosy biomasy, v prvním roce sklizně, jsou dosaženy při vysázení sazenic ve vzdálenosti 50 cm od sebe.

Pěstování mužáku prorostlého je velmi finančně nákladné. Ve studii provedené v roce 2013 byly porovnávány počáteční náklady na výsadbu a výsev. Dle zjištění Biertümpfel *et al.* (2018) se náklady na výsadbu pohybovaly okolo 130 tisíc korun na hektar. Počáteční náklady na výsev činily přibližně 51 tisíc korun na hektar, avšak hrozilo vyšší riziko nevyvinutí rostliny. Počáteční náklady v prvním roce vegetace byly navýšeny z důvodu zajištění ochrany rostlin (Biertümpfel *et al.*, 2018).

1.1.5.4 Výživa *Silphium perfoliatum* L.

Výživa mužáku prorostlého závisí na dostatečném zásobení půdy živinami. K dosažení správného vývoje rostliny a vysokých výnosu je důležité vypracovat plán hnojení. *Silphium perfoliatum* L. velmi dobře získává živiny z půdy a dokáže s nimi dlouhodobě nakládat (Gansberger *et al.*, 2015).

Před založením porostu je nutno na kyselých půdách provést vápnění. V případě těžších půd je třeba použít 1,5-2 t/ha páleného vápna. Naproti tomu u lehčích půd lze hnojit za pomoci dolomitického vápence přibližně 2-2,5 t/ha (Ust'ak, 2012). Při poklesu hodnoty pH pod 5,5 je třeba vápnění opakovat po 4 – 6 letech (Ust'ak, 2012).

Během podzimní orby Ust'ak (2012) doporučuje aplikaci vyššího množství draslíku a fosforu, přesněji 300 kg/ha K₂O a 75 kg/ha P₂O₅. Na pozemcích s nízkým obsahem fosforu a dostatečnou zásobou draslíkem je vhodné provést úpravu těchto dávek. V daných lokalitách se aplikuje množství 120 kg/ha fosforu a 150 kg/ha dusíku (Ust'ak, 2012). V závislosti na zdroji živin v půdě je nezbytné hnojení hořčíkem. Množství použitého hořčíku se pohybuje okolo 60 kg/ha. Někteří autoři se domnívají, že k vyšším výnosům dochází po zajištění nadměrné dávky dusíku (Pichard, 2012). Podle Aurbacher *et al.* (2012) je vhodné hnojit 50 kg dusíku na hektar v prvním roce vegetace a v následujících letech hnojit podle stavu dusíku v půdě. Nadměrné hnojení dusíkem způsobuje toxicitu rostliny, a tím dochází k jejímu polehání (Aurbacher *et al.*, 2012; Pichard, 2012).

Jako další vhodná hnojiva lze uvést minerální a organická. Mužák prorostlý dosáhl vyšších výnosů při použití směsi minerálních hnojiv a kapalného digestátu (Vetter *et al.*, 2010). Navrhované množství organických hnojiv se pohybuje v rozmezí 40-60 t/ha (Ust'ak, 2012).

1.1.5.5 Fytosanitární opatření

Vzhledem k pomalému růstu mužáku má v prvním roce vývoje nízkou pokrývnost půdy, a proto se zde vyskytuje značné riziko rozvoje plevelů. Během vegetativní fáze je důležité kypřit půdu a prořezávat meziřádkové prostory, aby se zabránilo jejich přítomnosti (Aurbacher *et al.*, 2012; Gansberger *et al.*, 2015). Podle některých autorů je vhodné použít selektivní herbicidy. V současnosti nejsou žádné registrované preparáty, které jsou v souladu s pěstováním mužáku (Gansberger

et al., 2015; Vetter *et al.*, 2010). Ve druhém roce vývoje rostlina dostatečně pokryje povrch půdy, a proto není nutná další intenzivní péče (Gansberger *et al.*, 2015).

Škůdci z řádu *Lepidoptera* způsobují značné škody na listech mužáku prorostlého. Z tohoto řádu lze jmenovat zástupce: *Autographa gama*, *Hecatera bicolorata* a *Amphipyra tragopogonis*. V zahraničních oblastech je hlavní příčinou masivního poškození rostlin larva *Eucosma giganteana*. Larvy požírají vrcholovou část meristému, včetně oddenku a pupenů, a tím dochází k úplnému odumření rostliny (Johnson *et al.*, 2012).

Plísňe jsou další příčinou malé výtěžnosti rostlin. Vlhká letní období podporují vývoj plísňe *Sclerotinia* spp., která napadá stonek (Aurbacher *et al.*, 2012; Gansberger *et al.*, 2015; Stolzenburg *et al.*, 2012) Pro zabránění rozvoje této plísně, je vhodné provést předčasnou sklizeň (Aurbacher *et al.*, 2012; Gansberger *et al.*, 2015). Na produkci biomasy a semen mají vliv i jiné plísně, jako například *Fusarium* spp., *Botrytis* spp. a *Alternaria* spp. Semena rostlin napadají převážně plísně typu *Fusarium* spp. a *Botrytis* spp. (Gansberger *et al.*, 2015). Rozvoj plísňe *Botrytis* spp. je podpořen převážně v období studených a vlhkých podzimů. Hlavním projevem napadení této plísně je zvadnutí a zčernání pupat (Stanford *et al.*, 1990). V minulých letech byly také diagnostikovány houbové patogeny. Do těchto patogenů lze zařadit *Uromyces silphii*, *Septoria silphii*, *Puccinia silphii*, *Ascochyta compositarum* a *Ascochyta silphii* (Bedlan *et al.*, 2014; Gansberger *et al.*, 2015). V současné době nejsou dostupné žádné specifické fungicidy určené k aplikaci při pěstování mužáku (Biertümpfel *et al.*, 2018). Při experimentech prováděných Stolzenburg *et al.*, 2012 byl zjištěn výskyt bakteriální infekce *Pseudomonas syringae*.

1.1.5.6 Sklizeň

Sklizeň mužáku prorostlého se provádí stejnými pracovními operacemi jako sklizeň kukuřice. Plodina se nařeže pomocí řezacího stroje a následně je silážována (Aurbacher *et al.*, 2012). *Silphium perfoliatum* L. se sklízí jednou až dvakrát ročně. Sklizeň prováděna jedenkrát ročně probíhá na konci kvetení. V našich podmínkách se sklizeň uskuteční v měsíci září (Aurbacher *et al.*, 2012). V jiném případě může být sklizeň prováděna dvakrát ročně. První sklizeň probíhá ve fázi vytváření pupat, což je polovina června. V září následuje druhá sklizeň, která musí být ukončena

před prvními mrazy (Gansberger *et al.*, 2015). Během dvojnásobné sklizně jsou teoreticky vyšší výnosy metanu z důvodu nižšího obsahu vlákniny v rostlině. Přestože je výtěžek metanu vyšší, výnosy sušiny na hektar jsou nižší, a proto je zapotřebí provádět dvě sklizně (Aurbacher *et al.*, 2012). Pichard (2012) poukázal na vyšší celkové výnosy u sklizně prováděné jednou ročně. Z ekologického pohledu je výhodou této sklizně prodloužení doby kvetení, a tím dlouhodobý zdroj potravy a úkrytu pro mnoho živočichů.

1.1.5.7 Skladování

Skladování je prováděno formou silážování. Tento proces funguje na základě působení mléčného kvašení cukrů obsažených v píce. Pozitivní vlastností silážování je schopnost potlačit rozvoj nežádoucích mikroorganismů. Jiným typem skladování je sušení. Daný typ skladování není vhodný pro místní povětrnostní podmínky (Gansberger *et al.*, 2015).

V 90. letech minulého století probíhaly výzkumy zaměřující se na silážování mužáku, protože byl považován za vhodné krmivo pro hospodářská zvířata. Dále silážování je přijatelnou metodou pro skladování energetických plodin. *Silphium perfoliatum* L. obsahuje vysoké množství sacharidů rozpustných ve vodě, které jsou žádoucí při mléčném kvašení cukrů. Dle Daniel *et al.*, (1994) a Gansberger *et al.*, (2015) vzniká při mléčném kvašení kyselina mléčná, čímž dochází ke snížení pH prostředí. Ve sklizené biomase mužáku prorostlého je příliš nízký obsah sušiny, což vede k vysokým ztrátám živin. Obsah sušiny u mužáku sklizeného na začátku léta se pohyboval okolo 11 %. Pozorované ztráty sušiny byly okolo 11 % (Gansberger *et al.*, 2015). Vyšší obsah sušiny lze získat uvadáním rostlin, a tím je zvýšena kvalita sušiny. Na základě studií je prokázáno, že vadnutí rostlin po dobu 48 hodin zvýší obsah kyseliny mléčné. Po silážování jsou ztráty sušiny okolo 5 % (Han *et al.*, 2000_[1]; Han *et al.*, 2000_[2]). V případě doplňkového přidání sacharidů a silážních aditiv, např. kyselina mravenčí, jsou ztráty minimalizovány a proces silážování podpořen (Daniel *et al.*, 1994; Gansberger *et al.*, 2015; Vetter *et al.*, 2010). Dalším způsobem k podpoření efektivnosti siláže je namíchání mužáku se pšenicí, ovsem a kukuřicí (Gansberger *et al.*, 2015).

1.2 Metoda posuzování životního cyklu (LCA)

1.2.1 Historické pozadí metody *Life Cycle Assessment*

Vlivem současné energetické politiky narůstá spotřeba energie. Během několika let došlo k výraznému nárůstu emisí skleníkových plynů, který je zapříčiněn expandující populací a zvyšujícími se nároky na fosilní paliva. Převážně emise CO₂ mají vzrůstající tendenci. V některých publikacích je uváděno až 39 %. Vzhledem ke stoupající poptávce po fosilních palivech dochází k vyčerpání fosilních zdrojů. Použití biomasy na výrobu energie je jednou z možností pro zmírnění změn klimatu a závislosti na fosilních palivech. V tomto případě je bioenergie nadějnou alternativou k obnovitelné energii. Do přeměny biomasy na bioenergii jsou zahrnuty vstupní a výstupní toky, které mohou ovlivnit celkový vliv na životní prostředí. (Cherubini *et al.*, 2011).

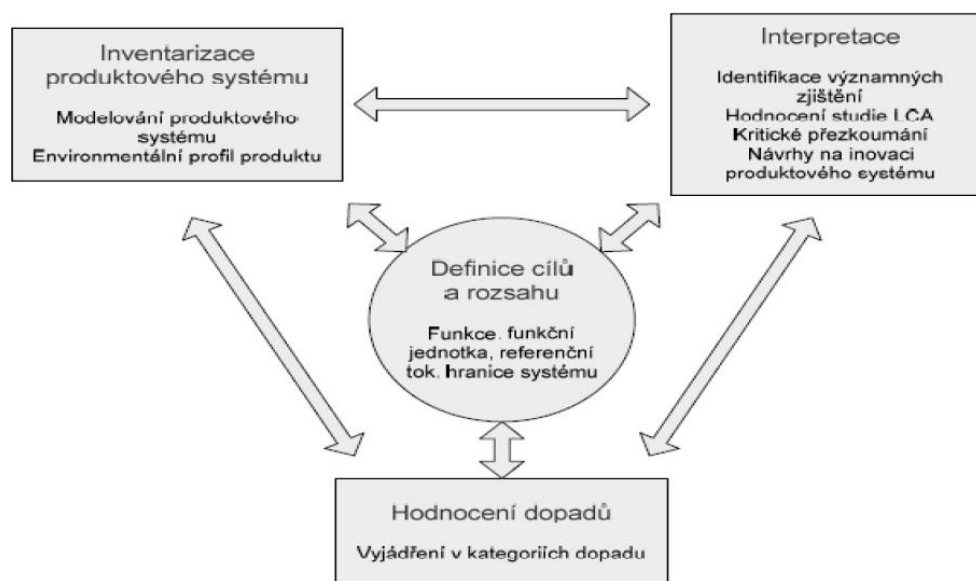
Metoda LCA se zabývá hodnocením environmentálních dopadů produktů. Dopady produktů jsou hodnoceny od období získávání, výroby výchozích materiálů, výroby samotného produktu a jeho užívání až po fázi odstranění, či opětovného užití nebo recyklaci. Environmentální dopady hodnotíme na základě posouzení vlivu energetických a materiálových toků, které monitorovaný systém vymění s životním prostředím. Tato metoda poskytuje jako jediná komplexní přístup k hodnocení dané problematiky (Bernas, 2018). Důležitým přínosem metody posuzování životního cyklu je vyhodnocení kategorie dopadu. Kategorii dopadu lze charakterizovat jako určitý problém životního prostředí, na kterém má zásadní podíl lidská činnost. Jedná se o důsledek výměny energií a látek s okolním prostředím. Do této kategorie se řadí eutrofizace, úbytek stratosférického ozonu nebo globální oteplování (Kočí, 2009).

Metoda *Life Cycle Assessment* (dále jen LCA) byla vyvinuta na přelomu 60. až 70. let v USA. Původně byla metoda známa pod názvem *Resource and Environmental Profile Analysis* (REPA), která se zaměřovala na hodnocení výrobku z pohledu spotřeby energie a surovin. V tomto období se neposuzoval vliv daného výrobku na lidské zdraví, životní prostředí, či přírodní ekosystémy. v 80. letech byla věnována zvýšená pozornost na zbytečně velkou spotřebu obalů, čímž došlo k obnovení metody REPA. Následně byly zpracovány studie zabývající se obalovými materiály z pohledu jejich celkových nároků na energetické a surovinové zdroje. Do pojmu celkové nároky se zahrnovaly spotřeby energií a surovin celého výrobního

procesu daného obalu. Na počátku 90. let se začaly výrobky hodnotit i z hlediska vlivu na životní prostředí a lidské zdraví. Do hodnocení se započítávala spotřeba surovin, energie a konečná životní etapa výrobku. Nakonec došlo k zavedení určité standardizace hlavních principů metody a výběru podstatných ekologických problémů (Remtová, 2003).

1.2.2 Jednotlivé fáze metody LCA

LCA je analytická metoda založená na hodnocení možných environmentálních dopadů související s životním cyklem určitého výrobku, technologie a služby. Environmentální dopady jsou zde hodnoceny v souvislosti s definovanými problémy životního prostředí, tzv. kategorie dopadu. Na obr. 2 lze vidět metodu LCA, která se skládá ze čtyř základních fází. První fází je definice cílů a rozsahu, poté dochází k inventarizaci, následuje hodnocení dopadů a interpretace. Hlavním cílem této metody je vytvořit přehled celého produktového systému a identifikovat procesy podílející se významně na environmentálních dopadech (Kočí, 2009).



Obrázek 2: Schéma LCA

Zdroj: Kočí, 2009

1.2.2.1 První fáze LCA: definice cílů a rozsahu

Fáze definice cílů a rozsah je nejdůležitější část metody LCA. V této části jsou definovány produkt a jeho funkce, referenční tok, hranice systému a funkční

jednotka (Roy, *et al.*, 2009). Stanovení cílů je prvním krokem metody LCA. Při definování cílů a rozsahu je nutné si uvědomit, z jakého důvodu se studie vypracovává, k jakému účelu budou výsledky využity a komu bude studie LCA určena (Remtová, 2003). Další částí této fáze je definice rozsahu dělící se na technickou a procedurální specifikaci. Do technické specifikace spadá funkce produktu, funkční jednotka a referenční tok, hranice systému, volba kategorií dopadu.

U každého produktu se definuje jeho funkce. Správné identifikování funkce má zásadní roli v hodnocení environmentálních aspektů produktu. Dalším důležitým bodem je určení funkční jednotky (Kočí, 2009). Na základě funkční jednotky se porovnávají jednotlivé produkty (Hospido *et al.*, 2010). Funkční jednotka je chápána jako měřitelná velikost funkce sloužící pro účely LCA (Kočí, 2009). Dle Aziz *et al.* (2019) je funkční jednotka v bioenergetických systémech obvykle založena na hmotnosti, energii, vzdálenosti, objemu a hektaru zemědělské půdy. Pro označení funkční jednotky v případě produkce bioplynu lze uvést, např. kg, t, MJ, kWh, MWh, km nebo ha (Aziz *et al.*, 2019). Dalším termínem v souvislosti s metodou LCA je referenční tok, což je nezbytné množství produktu k uskutečnění dané funkce. Na základě hranice systému jsou odděleny podstatné a nepodstatné procesy, které jsou součástí produktového systému (Kočí, 2009). Finnveden *et al.* (2009) uvádí tři hlavní typy systémových hranic: mezi technickým systémem a životním prostředím, významnými a bezvýznamnými procesy, a nakonec mezi technologickým systémem a dalšími technologickými procesy. V rámci hranice systému mohou být zmíněny i časové a geografické limity, které se dle Finnveden *et al.* (2009) vyskytují v ojedinělých případech. Uvnitř této hranice jsou hodnoceny negativní dopady na životní prostředí a další významné faktory ovlivňující tento systém (Remtová, 2003). Kategorie dopadu pojednává o potenciálních dopadech na životní prostředí. Pod pojmem dopady na životní prostředí si lze představit nežádoucí účinky lidské činnosti na kvalitu zdraví člověka, životního prostředí, množství biotických a abiotických surovin (Kočí, 2009). Dále je třeba uvést klíčové předpoklady, z nichž studie vychází (Remtová, 2003).

1.2.2.2 Druhá fáze LCA: inventarizace

Další částí metody LCA je inventarizační analýza. Tato fáze obsahuje postupy shromažďování, výpočtu údajů a má klíčový význam, jelikož dané údaje jsou základem studie. Úplnost údajů je velmi důležitá. V případě jejich nedostatků dochází ke změně rozsahu a cílů studie. Khasreen *et al.* (2009) definuje několik úrovní fáze inventarizace. Inventarizace začíná sběrem dat z dostupných a vysoce kvalitních zdrojů. Pokračuje kalkulací, která zahrnuje ověřování získaných dat. Poslední částí jsou alokační postupy zabývající se řešením systému zahrnující více produktů a recyklační systémy (Khasreen *et al.*, 2009). Cílem inventarizace je zjistit a vyčíslit všechny materiálové a energetické toky, které svým vstupem a hlavně výstupem znehodnocují životní prostředí. Tento krok je založen na hmotnostní a energetické bilanci shromažďující a kvantifikující vstupy (suroviny, přírodní zdroje, materiály, energie) a výstupy (odpad a další emise) ve vztahu k systému (Jacquemin *et al.*, 2012; Remtová, 2003). Základní myšlenkou inventarizace je sběr dat sloužící k vyčíslení hodnot elementárních toků. Dle některých autorů patří mezi způsoby získávání dat přímé měření na místě, výpočty, kvalifikované odhady, databáze, či pohovory s pracovníky v daném podniku (Remtová, 2003). V konečné fázi inventarizace je výsledkem inventarizační tabulka, která se skládá ze souboru dat (ekovektor) obsahující vstupující a vystupující materiálové toky přes hranici systému (Kočí, 2009). Tato část studie je výchozím bodem pro fázi interpretace (Cao, 2017).

Alokace je podstatný prvek modelování produktového systému. Alokaci je třeba řešit, pokud je tok vystupující z jednoho procesu napojen do dvou následných procesů, anebo se paralelně účastní vzniku dvou různých produktů v jednom procesu. K druhé situaci dochází, jestliže do jednoho procesu je zaústěn identický tok ze dvou předešlých procesů (dvou různých zdrojů) - (Kočí, 2009). Na základě doporučení některých autorů je vhodné se alokačním postupům vyvarovat, protože představují v hodnoceném systému značnou nejistotu (Jelínková, 2018; Kočí, 2009). V případě rozšíření hranice systému se vyloučí riziko výskytu alokace (Khasreen *et al.*, 2009). Dle některých autorů je jedním z nejvíce diskutovaných metodických problémů při posuzování životního cyklu (Ekvall *et al.*, 2001; Finnveden *et al.*, 2009; Heijungs *et al.*, 2007).

1.2.2.3 Třetí fáze LCA: hodnocení dopadů

Cílem posouzení životního cyklu je pochopit a vyhodnotit dopady na životní prostředí na základě inventarizace v rámci cíle a rozsahu studie. V této fázi jsou výsledky inventarizace přiřazeny různým kategoriím dopadů na základě očekávaných typů dopadů na životní prostředí (Roy *et al.*, 2009). Na počátku studie je důležité definovat, které kategorie dopadu budou použity, včetně jejich environmentálních mechanismů. Environmentální mechanismy tvoří základ pro hodnocení dopadů (Kočí, 2012). Dle Roy *et al.* (2009) se posouzení dopadů v LCA skládá z klasifikace, charakterizace, normalizace, seskupování a oceňování (vážení). Klasifikace je proces, při kterém jsou hodnoty jednotlivých elementárních toků přiřazovány k vybraným kategoriím dopadu. Dané hodnoty jsou získány inventarizací. V rámci charakterizace dochází ke stanovení velikosti dopadů daných elementárních toků na jednotlivé kategorie dopadu. K vyjádření jednotlivých elementárních toků na kategorie dopadu se používá indikátor kategorie dopadu. Indikátorem kategorie dopadu se rozumí kvantifikovatelná veličina vyjadřující změny v kategorii dopadu (Kočí, 2009). Normalizace hodnotí, která kategorie dopadu je výrazněji zasažena v dané situaci. Normalizace je uváděna pomocí hodnoty normalizovaného výsledku indikátoru kategorie dopadu. Procentuální podíl je základní jednotka normalizace (Kočí, 2009). V metodě LCA jsou rozlišovány dva typy normalizace: externí a interní. Externí normalizace se používá při studii kategorie dopadu způsobenou lidskou činností v dané lokalitě. Naopak interní normalizace porovnává environmentální dopady dvou produktů (Kočí, 2009). Posledními kroky při hodnocení dopadů jsou oceňování a seskupování (Finnveden *et al.*, 2009). Seskupování využívá společné znaky kategorií dopadu a jejich indikátorů k zařazení do skupin. Zařazení probíhá na základě důležitosti, které je předem stanoveno v první fázi LCA (Jelínková, 2018). Oceňování různých kategorií dopadů je založeno na preferencích a hodnotách jednotlivců, organizací nebo celé společnosti. Vzhledem k odlišným subjektivním názorům jednotlivých zpracovatelů dochází k odlišnému posouzení důležitosti kategorie dopadu (Schmidt *et al.*, 2002). Tato část studie je výchozím bodem pro fázi interpretace (Khasreen *et al.*, 2009).

1.2.2.4 Čtvrtá fáze LCA: interpretace

Účelem této fáze je poskytnout srozumitelnou interpretaci výsledků metody LCA (Roy, *et al.*, 2009). Výsledky z kategorie inventarizační analýzy a hodnocení dopadu jsou v této části shrnuty a následně interpretovány formou závěrů nebo doporučení (International Standard Organization, 1997). Podle Cao (2017) fáze interpretace zahrnuje identifikaci významných zjištění, která je založena na výsledcích z fáze inventarizace a hodnocení dopadu. Dalším bodem je hodnocení studie s ohledem na kontrolu citlivosti, úplnosti a konzistence. Posledním krokem je formulace doporučení nebo závěru.

Identifikace významným zjištění je prvním krokem obsaženým v interpretaci životního cyklu. Významná zjištění zachycují klíčové poznatky z předešlé fáze inventarizace a hodnocení dopadu, na kterých dále závisí další kroky interpretace (Kočí, 2012). Klíčovými poznatky se rozumí vstupy a výstupy z inventarizace a z kategorie hodnocení dopadu. Identifikace zahrnuje výsledky z různých fází LCA ve formě diagramů, grafů nebo tabulek (Jensen *et al.*, 1997). Dle Kočí (2009) se strukturalizace dat provádí pomocí strukturalizačních tabulek. Strukturalizační tabulky obsahují poznatky o energetických a materiálových tocích dílčích procesů nebo celého životního cyklu (Kočí, 2012).

Dalším krokem interpretace je hodnocení studie. Cílem toho kroku je zvýšit důvěryhodnost této studie vycházející z předešlých výsledků. Hodnocení je prováděno v souladu s cílem a rozsahem studie a dále zohledňuje konečné použití studie (Jensen *et al.*, 1997). Nezbytnou součástí tohoto kroku je kontrola úplnosti, konzistence a citlivosti, které jsou dále doplněny o analýzu nejistot a hodnocení kvality dat (Kočí, 2012). Kontrola úplnosti je zaměřena na kompletnost a dostupnost všech významných informací, které jsou důležité pro studii. Pro ověření shody mezi metodami, údaji a předpoklady s definicí cílů a rozsahu je používána kontrola konzistence. Analýza citlivosti je soustředěna na věrohodnost výsledků metody LCA. Ověřování vlivu nepřesnosti dat na konečné výsledky dané studie probíhá za pomoci analýzy nejistot. Kvalita dat je hodnocena na základě předem určených indikátorů. Nejčastěji používanými indikátory jsou statistické ukazatele (Kočí, 2009).

Posledním krokem interpretace je formulace závěrů a doporučení (Jensen *et al.*, 1997). Všechna významná zjištění a souhrn analýz je nutné uvést v závěru. V první řadě jsou definovány předběžné závěry, které jsou po ověření označeny jako

závěry konečné. U konečných závěrů je důležité vymezit jejich platnost. V neposlední řadě je v závěru formulováno doporučení. Dané doporučení je určeno pro zadavatele. Definice cílů a rozsahu spolu s konečnými závěry jsou stěžejní pro vytvoření doporučení (Kocí, 2012).

Cíl práce

Vytrvalé rostliny pěstované jako alternativa pro tradiční píce a energetické plodiny mají v podmínkách České republiky již dlouholetou tradici. Jejich zavádění na ornou půdu však v mnoha případech nepřináší požadované ekonomické a energetické benefity a zájem o jejich rozšiřování tak stagnuje, až klesá. Známost, avšak v našich podmínkách prakticky nevyužívanou rostlinou je *Silphium perfoliatum* L., neboli mužák prorostlý. Vytrvalá rostlina z čeledi hvězdnicovitých má díky výnosovým schopnostem, kvalitativním parametrům a environmentálním benefitům potenciál nahrazovat tradičně pěstované rostliny pro účely bioplynových stanic či pro účely zisku píce ke krmivářství.

Cílem diplomové práce je vypracování literárního přehledu zabývajícího se aktuální problematikou pěstování mužáku prorostlého (*Silphium perfoliatum* L.), podílet se na zpracování experimentálních dat získaných z praktického pěstování *Silphium perfoliatum* L. v rámci malo-parcelových pokusů, sledovat růstové vlastnosti v průběhu vegetace, vyhodnotit výnosové parametry a prostřednictvím metody pro hodnocení dopadů na životní prostředí definovat environmentální aspekty jejího pěstování. Součástí environmentálního hodnocení je definice cíle a rozsahu sledovaného rámce, inventarizace dat sledovaného rámce, vyhodnocení environmentálních dopadů a interpretace dat.

1.3 Hypotézy

Pro účely diplomové práce byly vymezeny předpoklady, které odpovídají datovému souboru literárního přehledu.

1. Environmentální zatížení vázané na jednotku produkce ($\text{kg CO}_2 \text{ eq kg}^{-1}$ sušiny) i plochy ($\text{kg CO}_2 \text{ eq ha}^{-1}$ monokultury) při pěstování *Silphium perfoliatum* L. je vzhledem k intenzitě a frekvenci vstupů v rámci víceletého pěstebního cyklu nižší v porovnání s pěstitelskými technologiemi kukuřice seté.
2. Hypotéza: Nejvýraznějším emisním tokem (v %) spojeným s dopadovou kategorií klimatické změny a s intenzivní rostlinnou produkcí a kvantifikovaným prostřednictvím zvolené metodiky (IPCC), jsou tzv. polní emise.

2 Materiál a metodika

2.1 Fáze první: Definice cílů a rozsahu

Cílem studie je vyhodnocení environmentální zátěže vztahující se k vybranému pěstebnímu cyklu a stanovení výnosové efektivnosti pěstování *Silphium perfoliatum* L. Získané výsledky mohou sloužit jako motivační prostředek pro environmentálně šetrnější systémy hospodaření. Výsledky mohou být dále zdrojem informací pro zemědělské subjekty, které se zabývají problematikou energetického zpracování fytomasy či problematikou krmivářství. Dle norem LCA jsou analyzovány a vyhodnoceny výsledky pěstování *Silphium perfoliatum* L. s cílem kvantifikovat environmentální dopady a identifikovat klíčové procesy (ČNI, 2006a, 2006b).

2.1.1 Hranice systému

Studie je založena na technologických postupech zabývajících se pěstováním *Silphium perfoliatum* L., které jsou sestaveny na základě primárních a sekundárních dat. Primární data vychází z polních pokusů realizovaných na pozemcích Jihočeské Univerzity v Českých Budějovicích. Sekundární data jsou převzata z odborné literatury, databáze Ecoinvent v3 a Normativ zemědělských výrobních technologií (Agronormativy, 2015; Kavka *et al.*, 2006) Data převzatá z databáze Ecoinvent se vztahují k podmínkám střední Evropy. Časové rozpětí sběru primárních dat se váže na roky 2016 až 2019 a pro data sekundární od roku 2000 do roku 2019. Na základě obvyklých intenzivních pěstitelských technologií jsou stanoveny agrotechnické postupy a vybrané intenzity hnojení (Bernas, 2018; Blengini *et al.*, 2011; Boehmel *et al.*, 2008; Kavka *et al.*, 2006; Ust'ak 2012; Agronormativy, 2015). V modelovém systému jsou zahrnuty agrotechnické operace od předseťové přípravy po sklizeň hlavního produktu, transport zemědělské techniky, množství spotřebovaného osiva, výroba a užití prostředků na ochranu rostlin, výroba a aplikace hnojiv, až po sklizeň a odvoz hlavního produktu z místa sklizně. Procesy odpadového hospodářství a infrastruktury nejsou v této studii zahrnuty. Transportní vzdálenost od podniku na pole nepřekračuje 10 km a je v této studii obsažena.

2.1.2 Funkční jednotka (definovaná jednotka)

V rámci studie je vybrána funkční jednotka/definovaná jednotka vztahující se na jednotku plochy a jednotku produkce. Jednotku produkce představuje 1 kg sušiny a dále jednotka plochy z 1 ha s monokulturou vybraných energetických rostlin. Alokační metoda není použita, protože environmentální dopady hodnocených procesů nejsou rozděleny do dvou nebo více procesů. Konečným produktem je celková nadzemní rostlinná hmota.

2.1.3 Zdroje dat pro inventarizaci

Pro účely studie jsou primární data získána z polních pokusů, které slouží jako zdroj dat pro posuzování životního cyklu prostřednictvím LCA a hodnocení energetických aspektů. Charakteristiky stanovišť jsou popsány v níže uvedených tabulkách. (Tabulka 3, Tabulka 4)

Tabulka 3: Teplotní a srážkové charakteristiky - České Budějovice

Rok	Průměrná teplota (°C)		Srážky (mm)	
	Rok	Sezóna	Rok	Sezóna
2012	9,3	15,3	798,1	567,7
2013	9,1	15,3	685,4	469,5
2014	10,2	15,1	595,9	428,7
2015	10,5	16,9	487,7	233,8
2016	10,5	15,7	680,9	447,7
2017	9,7	16,4	630,3	438,8
2018	10,5	18,2	569,2	291,3
Ø (2012 – 2018)	9,9	16,1	635,4	411,1
Dlouhodobý Ø (1961 – 1990)	8,2	14,2	582,8	366,2

* Sezóna (=vegetační sezóna) zahrnuje měsíce duben, květen, červen, červenec, srpen

Zdroj: CHMU, 2019

Tabulka 4: Charakteristika stanoviště - České Budějovice

Charakteristika	
Nadmořská výška	380 m n. m.
Zemědělský výrobní typ	Obilnářský
Půdní druh	Písčitohlinitý
Půdní typ	Kambizem pseudoglejová
pH půdy	6,4
Souřadnice GPS	48° 57' 07" N; 14° 28' 17" E

Zdroj: Bernas *et al.*, 2019

2.1.4 Vybraná plodina

2.1.4.1 *Silphium perfoliatum* L.

Metodika zakládání porostu *Silphium perfoliatum* L. vychází z principů běžně uplatňovaných intenzivních technologií pěstování (viz. Hranice systému).

Zkoumaný porost *Silphium perfoliatum* L. byl založen na konci měsíce září v roce 2016. Před založením porostu byla provedena mechanická kultivace, při které byla použita středně hluboká orba s následným urovnáním povrchu. Sazenice mužáku prorostlého byly vysazeny na celkové ploše 50 m² a v rozponu 70x60 cm. Po výsadbě porostu byla realizována mechanická likvidace plevelů. V porostu se vyskytovaly plevelné druhy, kde dominovaly především pcháč rolní (*Cirsium Arvense* L.), penízek rolní (*Thlaspi Arvense* L.), pýr plazivý (*Elytrigia repens* L.), kokoška pastuší tobolka (*Capsella bursa-pastoris* L.) a hluchavka nachová (*Lamium Purpureum* L.). Likvidace většiny plevelných druhů chemickou cestou nebyla uskutečněna, jelikož je mužák prorostlý dvouděložná rostlina. Nejvíce jsou porosty mužáku, stejně jako ostatní vysokoprodukční rostliny, náročné na pravidelné odplevelení v prvním roce založení. Základem úspěšného založení vytrvalého porostu je účinné odplevelení v prvním roce vegetace. V roce založení je doporučováno udržovat porosty *Silphium perfoliatum* L. bez zaplevelení (Ust'ak, 2012). Dávky hnojení byly uzpůsobeny záměru využití porostu (Tabulka 5, Tabulka 6).

Tabulka 5: Metodika hnojení v roce založení – *Silphium perfoliatum* L.

	Stupeň intenzity hnojení	Rok založení					
		Dusík (N)		Fosfor (P)		Draslík (K)	
		Čistý (kg/ha)	Hnojivo a množství	Čistý (kg/ha)	Hnojivo a množství	Čistý (kg/ha)	Hnojivo a množství
<i>Silphium Perfoliatum</i> L.	Intenzivní - minerální	150	LAD 550 kg/ha	52,8 (120 P ₂ O ₅)	Superfosfát trojitý 250 kg/ha	124,5 (150 K ₂ O)	Draselná sůl 250 kg/ha

Zdroj: upraveno dle Ust'ak, 2012

Tabulka 6: Metodika hnojení *Silphium perfoliatum* L. v produkčních letech

	Stupeň intenzity hnojení	Produkční roky					
		Dusík (N)		Fosfor (P)		Draslík (K)	
		Čistý (kg/ha)	Hnojivo a množství	Čistý (kg/ha)	Hnojivo a množství	Čistý (kg/ha)	Hnojivo a množství
<i>Silphium Perfoliatum</i> L.	Intenzivní - minerální	70	LAD 260 kg/ha	22 (50 P ₂ O ₅)	Superfosfát trojitý 110 kg/ha	41,5 (50 K ₂ O)	Draselná sůl 85 kg/ha

Zdroj: Malina, 2018; Langmaier, 2018; Ust'ak, 2012

2.1.4.2 *Zea mays* L.

Pro účely diplomové práce byly modelovány pěstitelské postupy vázané ke kukuřici seté. K modelaci těchto pěstitelských postupů byla využita databáze Normativů zemědělských výrobních technologií (Kavka *et al.*, 2006; Agronormativy, 2015). Pěstitelské postupy *Zea mays* L. odpovídají třem intenzitám ošetření: Standard („S“), Intenzivní („I“), Nízké vstupy („N“). Výčet jednotlivých vstupů je součástí inventarizace dat (Tabulka 7).

2.1.5 Sklizeň

Frekvence sečí (resp. sklizní) a jejich termíny byly uzpůsobeny zamýšlenému využití sklizené fytomasy. Porosty sledovaných rostlin byly sklizeny jednosečně v termínech, kdy obsah sušiny dosahoval hodnot 28 - 38 %. V případě pěstování mužáku prorostlého byly porosty sklizeny 6. 8. 2018.

2.2 Fáze druhá: Inventarizace dat

Pro vypracování diplomové práce je vybrán modelační princip „od kolébky k bráně“ (angl. *cradle-to-gate*), který spočívá na kalkulaci životního cyklu produktu. Životní cyklus je zaměřen na období od získání surovin až po opuštění výrobního procesu. v tomto případě se jedná o pěstební proces. Fáze užívání produktu a jeho odstranění nejsou vzhledem k charakteru této studie v hodnocení zahrnuty. V této práci jsou použita inventarizační data z databáze Ecoinvent (Ecoinvent, 2017) v rámci programu SimaPro 8.5.2.0. Data z tohoto programu jsou následně modifikována a doplněna o data z praktických polních pokusů a odborně zaměřené literatury. Pro modelaci produktových systémů hodnocených v této práci je využit software SimaPro 8.5.2.0 s integrovanou databází Ecoinvent v3. Charakter

inventarizovaných dat a podrobnosti o jejich sběru jsou popsány v kapitole Definice cílů a rozsahu.

Tabulka 7: Inventarizační tabulka

		Standardní zemědělské konvenční technologie			
Výstupy	Jednotka	Průměrný zisk fytohmoty (t/ha sušiny)			
Vstupy	Jednotka	Z.M., „S“	Z.M. „N“	SP	Z.M. „I“
Vstupy z pěstebního procesu					
Ledek amonný	kg	x	x	x	x
Aplikace přípravků na ochranu rostlin	ha	x	x		x
Sklizeň	ha	x	x	x	x
Aplikace minerálních hnojiv	ha	x	x	x	x
Využití glyfosátu	kg	x		x	
Osivo	kg	x	x		x
Herbicidy	kg	x	x	x	x
Hnůj	kg	x		x	x
Dusičnan amonný	kg				x
Výsadba	ha			x	
Draselná sůl	kg	x	x	x	x
Rozmetání pevných hnojiv	kg	x		x	x
Předset'ová příprava a setí	ha	x	x		x
Podmítka	ha	x	x	x	x
Vláčení	ha	x		x	x
Orba	ha	x		x	x
Válení	ha	x	x	x	x
Odvoz z pole	tkm	x	x	x	x
Superfosfát trojitý	kg			x	x
Vápnění	kg	x			x
Mulčování	ha		x		
Kypření	ha	x			x
Plečkování	ha				x
Vstupy z přírody					
Zábor půdy	ha	x	x	x	x
Voda (ochr. rostlin)	l	x	x		x
Vstupy do ovzduší					
Oxid uhličitý (z hnojiv) ^{IPCC}	kg	x	x	x	x
Oxid dusný (z hnojiv) ^{IPPC}	kg	x	x	x	x

* Inventarizace vstupních a výstupních dat, x = vstupní data z databáze *Ecoinvent 3*, které byly vypočteny na základě metody IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*)

2.3 Fáze třetí: Hodnocení dopadů

Pro výpočet míry environmentálního zatížení je použita metoda posuzování životního cyklu, která je definována pomocí norem (ČSN, 2006a; ČSN, 2006b).

Výsledky studie se vztahují k vybraným dopadovým kategoriím vyjádřených specifickými ukazateli.

Modelační hodnocení jednotlivých dopadových kategorií je realizováno prostřednictvím software SimaPro 8.5.2.0 s využitím integrované metody ReCiPe Midpoint (H) V1.13 / Europe Recipe H. Funkční jednotka je složena z 1 kg finálního produktu (sušiny) a jednotky plochy (1 ha). Technologický postup zabývající se pěstováním *Silphium perfoliatum* L. je sestaven na základě primárních a sekundárních dat. Primární data vychází z polních pokusů realizovaných na pozemcích Jihočeské Univerzity v Českých Budějovicích. Sekundární data jsou převzata z odborné literatury, databáze Ecoinvent v3 a Normativ zemědělských výrobních technologií. Data převzatá z databáze Ecoinvent se vztahují k podmínkám střední Evropy. Časové rozpětí sběru primárních dat se váže na roky 2016 až 2019 a pro data sekundární od roku 2000 do roku 2019. Na základě běžně uplatňovaných intenzivních pěstitelských technologií je stanovena intenzita hnojení a jednotlivé agrotechnické postupy. V modelovém systému jsou zahrnuty agrotechnické operace od předseťové přípravy po sklizeň hlavního produktu, transport zemědělské techniky, množství spotřebovaného osiva, výroba a užití prostředků na ochranu rostlin, výroba a aplikace hnojiv, až po sklizeň a odvoz hlavního produktu z místa sklizně. Mimo emise, vznikající z výše uvedených vstupů, dochází k produkci tzv. polních emisí (zejména emise N₂O) - (Niggli *et al.*, 2009 a Gattinger *et al.*, 2012). Tyto emise jsou uvolňovány po aplikaci dusíkatých hnojiv (statkových i průmyslových). Pro jejich vyčíslení je využita metodika IPCC (angl. *Intergovernmental Panel on Climate Change*) - (De Klein *et al.*, 2006; Franks *et al.*, 2012 a Pachauri *et al.*, 2014). Jejich produkce je součástí dopadové kategorie Změna klimatu.

Na základě této studie jsou vyhodnocovány výsledky pěstování *Silphium perfoliatum* L. pro pícninářské účely. V rámci zvolené metodiky a dat, získaných při pěstování (výnosy suché hmoty, vstupy a výstupy pěstebního cyklu), je možné sestavit životní cyklus v rámci faremní fáze (od předseťového zpracování půdy po sklizeň, odvoz a zasilážování sklizeného materiálu) a stanovit dopady na životní prostředí vyjádřené odpovídajícími dopadovými kategoriemi.

2.3.1 Polní emise a jejich stanovení

Přímé a nepřímé emise N_2O jsou uvolňovány při použití organických a minerálních hnojiv. Emise jsou vyjadřovány v ekvivalentu CO_2 . V rámci metodiky IPCC (De Klein *et al.*, 2006) a Českého národního reportu k inventarizaci skleníkových plynů (Krtkova *et al.*, 2016) je stanoveno zatížení danými emisemi.

3 Výsledky a diskuze

Cílem diplomové práce je vyhodnotit prostřednictvím metody pro hodnocení dopadů na životní prostředí environmentální aspekty pěstování *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. V rámci běžně uplatňovaných pěstitelských technologií. Na základě polních pokusů pěstování mužáku prorostlého a při využití databáze Ecoinvent (Ecoinvent, 2019) jsou získána data vztažená k jednotlivým dopadovým kategoriím odpovídajícím metodě ReCiPe Midpoint (H), Europe Recipe (H). V rámci studie je vybrána funkční/definovaná jednotka zastoupená jednotkou plochy (ha) a jednotkou produkce (kg sušiny).

Pro účely hodnocení environmentálního zatížení vázaného k vybraným pěstitelským postupům sledovaných rostlin jsou sestaveny souhrnné přehledové tabulky vycházející z výsledků software modelování. Výsledky jsou interpretovány v rámci Charakterizačního modelu a hodnoty v nich uvedené se vztahují na funkční jednotku produkce (Tabulka 8) a plochy (Tabulka 9). Environmentální úspory v zemědělské produkci by měly být vyjadřovány nejen na jednotku produkce (např. kg píce), jak je stanovována řada výstupů LCA (Roy *et al.*, 2009), ale taktéž ve vztahu k ploše krajiny, ze které byly získány, a času (kg/ha/rok) - (Kočí, 2012).

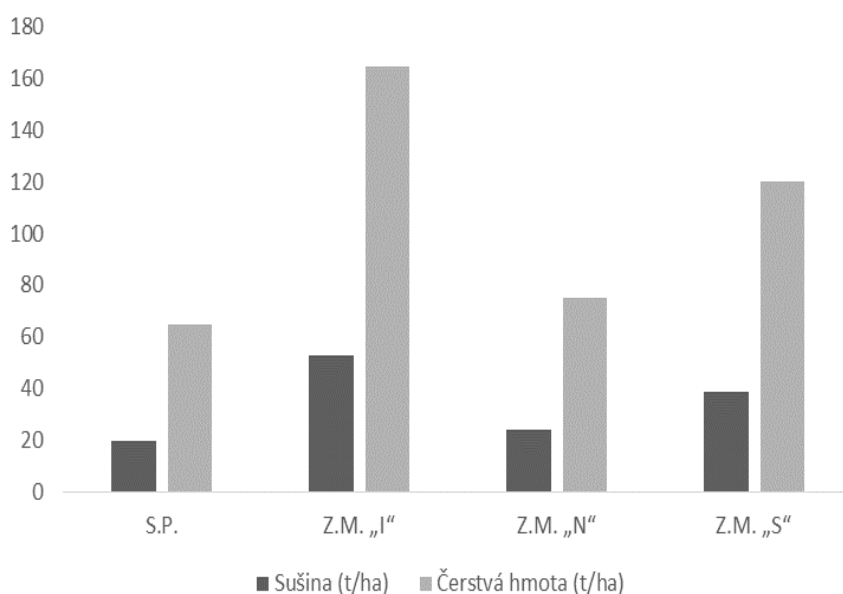
3.1 Environmentální aspekty vázané na jednotku produkce

Tabulka 8: Celkové porovnání environmentálního zatížení vázaného k pěstování *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. ve funkční jednotce zastoupené jednotkou produkce (kg)

Dopadové kategorie	Ukazatel environmentálního zatížení	S.P. (první 3 roky)	Z.M. „I“	Z.M. „N„	Z.M. „S“
Klimatické změny	kg CO2 eq	3,74E-01	3,26E-01	3,52E-01	4,04E-01
Úbytek stratosférického ozónu	kg CFC-11 eq	1,83E-08	1,43E-08	2,25E-08	1,90E-08
Terestrická acidifikace	kg SO2 eq	1,78E-03	9,55E-04	1,54E-03	1,16E-03
Eutrofizace sladkých vod	kg P eq	6,87E-05	4,22E-05	9,54E-05	4,87E-05
Mořská eutrofizace	kg N eq	8,33E-05	7,75E-05	3,48E-03	1,01E-04
Humánní toxicita	kg 1,4-DB eq	9,80E-02	5,55E-02	8,09E-02	6,48E-02
Vznik fotooxidantů	kg NMVOC	1,74E-03	9,24E-04	1,52E-03	1,21E-03
Vznik pevných částí	kg PM10 eq	6,95E-04	4,34E-04	6,83E-04	5,48E-04
Terestrická ekotoxicita	kg 1,4-DB eq	2,78E-05	3,29E-05	6,41E-05	4,54E-05
Sladkovodní ekotoxicita	kg 1,4-DB eq	2,12E-03	1,59E-03	2,37E-03	1,89E-03
Mořská ekotoxicita	kg 1,4-DB eq	2,11E-03	1,50E-03	2,25E-03	1,79E-03
Ionizující záření	kBq U235 eq	1,10E-02	8,27E-03	1,19E-02	1,08E-02
Zábor zemědělské půdy	m2a	5,27E-01	5,82E-01	2,17E+00	7,98E-01
Zábor půdy k městské výstavbě	m2a	8,17E-03	4,25E-03	7,08E-03	5,67E-03
Užívání krajiny	m2	3,74E-05	3,02E-05	4,80E-05	4,03E-05
Úbytek vody	m3	1,33E-02	1,40E-03	1,85E-03	1,56E-03
Spotřeba minerálních surovin	kg Fe eq	2,34E-02	1,93E-02	2,88E-02	2,30E-02
Spotřeba fosilních surovin	kg oil eq	7,01E-02	3,77E-02	5,85E-02	4,82E-02

Na základě modelovaných dat lze uvést, že nejnižší environmentální dopady v rámci všech sledovaných kategorií dopadu jsou vázány k intenzivní pěstitelské technologii kukuřice seté (dále jen pěstitelský postup „I“) - (Tabulka 8). Naproti tomu během pěstování *Zea mays* L. s nižšími externími vstupy (dále jen pěstitelský postup „N“) dochází k vyšší environmentální zátěži. Dané výsledky jsou vztaženy na funkční jednotku produkce (kg). Při kvantifikaci environmentálního zatížení vztahujícího se k jednotce produkce hraje nejdůležitější roli výnosová úroveň, tedy produkce fytomasy (Graf 1; Graf 2).

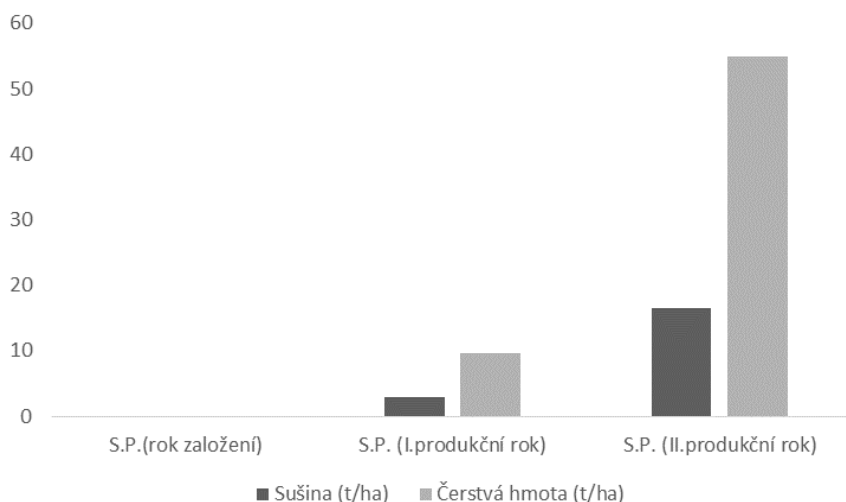
Graf 1: Suma výnosů fytomasy (t/ha sušiny) v rámci prvních třech let sledování



* výnosy u kukuřice odpovídají průměrným normativním hodnotám vztaženým k jednotlivým intenzitám ošetření (Agronormativy, 2015)

Graf 1 zaznamenává sumu výnosu fytomasy sledovaných rostlin a jejich intenzit ošetření. Výnosové úrovně *Silphium perfoliatum* L. odpovídají údajům získaným na základě praktického pěstování a jsou zaznamenány v Graf 2. Výnosové úrovně *Zea mays* L. vycházejí z databáze Normativ zemědělských výrobních technologií (Agronormativy, 2015). Intenzivní variantě ošetření *Zea mays* L. („I“) odpovídá výnos 17,6 t/ha sušiny, standardní technologie ošetření *Zea mays* L. („S“) má výnos 12,8 t/ha sušiny a technologie s nízkými vstupy („N“) tvoří výnos 8 t/ha sušiny (Agronormativy, 2015).

Graf 2: Vývoj výnosové úrovně (t/ha sušiny) *Silphium perfoliatum* L. v prvních třech letech pěstování



Výnosová úroveň *Silphium perfoliatum* L. odpovídá v roce založení nulovým hodnotám, v prvním produkčním roce dochází k výnosu 2,9 t/ha sušiny a ve druhém produkčním roce se jedná o výnos 16,5 t/ha sušiny (Graf 2).

Při pěstování kukuřice seté je dosaženo odpovídajícího hektarového výnosu v každém produkčním roce. Oproti tomu u vytrvalých rostlin, mezi které *Silphium perfoliatum* L. patří, dochází k naplnění výnosového potenciálu zpravidla až po 3. roce pěstování. V součtu těchto let by byla u *Silphium perfoliatum* L. získána méně než polovina výnosu sušiny v porovnání se *Zea mays* L. pěstovanou v režimu „I“ a „S“. Z tohoto pohledu je však předčasné srovnávat vybrané vytrvalé rostliny s kukuřicí setou, protože ty naplní svůj výnosový potenciál zpravidla až po třech letech od založení porostu (Csete *et al*, 2011; Stražil, 2012).

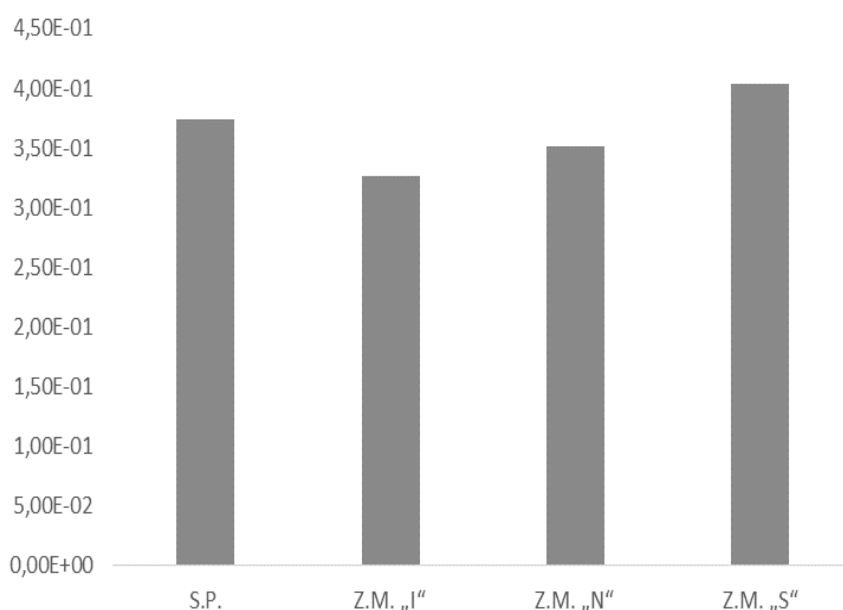
Níže je porovnáváno pěstování *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. ve třech vybraných dopadových kategoriích, tj. klimatické změny (kg CO₂ eq), eutrofizace sladkých vod (kg P eq) a terestrická ekotoxicita (kg 1,4-DB eq).

V případě, že je stanovenou funkční jednotkou produkce (kg sušiny) je nejvyšší environmentální zatížení na kategorii Klimatických změn vázáno ke standardní technologii pěstování *Zea mays* L. (4,04E-01 kg CO₂ eq kg⁻¹ sušiny). Naopak nejnižší environmentální zátěž byla kvantifikována v případě pěstování *Zea mays* L. v intenzivní variantě („I“) ošetření (3,26E-01 kg CO₂ eq kg⁻¹ sušiny). Výsledky odpovídají síle a množství jednotlivých vstupů, ale také objemu získané fytomasy z jednotky plochy (tedy hektarový výnos). Přesto není při hodnocení

Silphium perfoliatum L. a *Zea mays* L. v rámci dopadové kategorie Klimatická změna u jednotlivých pěstebních postupů výrazný rozdíl (Graf 3).

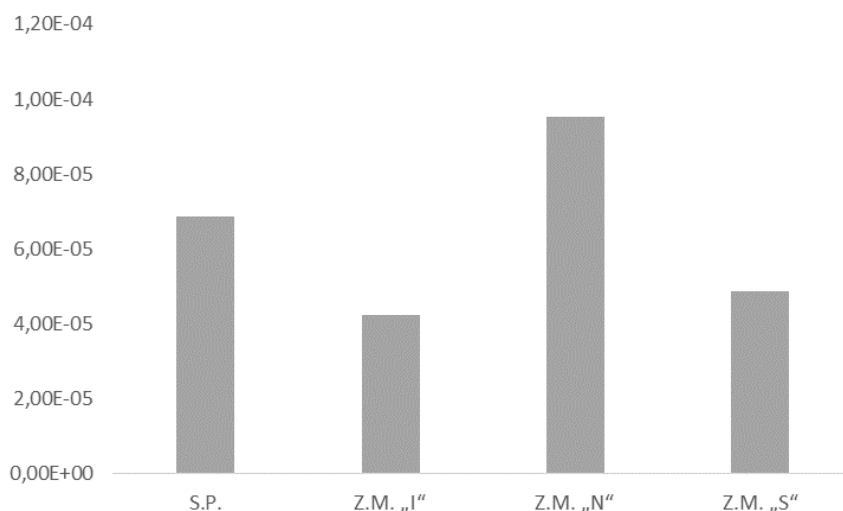
V tomto ohledu je nejsilnější emisní tok spojen s produkcí a aplikací hnojiv (minerálních i organických). V rámci zemědělských procesů bývají emise tohoto druhu produkovány nejvíce (Gattinger *et al.*, 2012; Mancinelli, 2013; Mori *et al.*, 2005; Mosier *et al.*, 1998; Zeijts, van Leneman, Sleeswijk, 1999; Zou *et al.*, 2005).

Graf 3: Vliv pěstování *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. ve stanovené funkční jednotce produkce (kg) na dopadovou kategorii klimatických změn



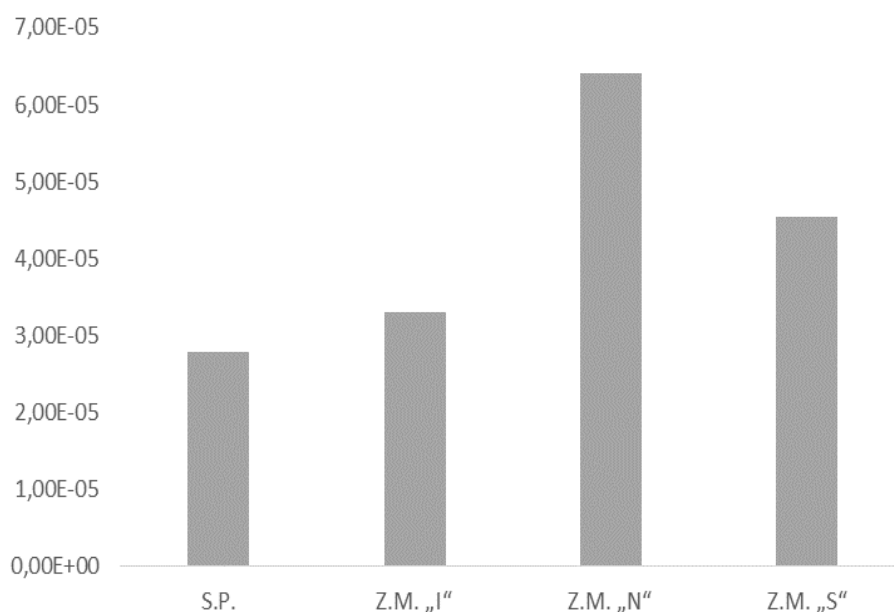
V dopadové kategorii věnující se eutrofizaci sladkých vod je dosaženo nejvyšší environmentální zátěže během pěstování *Zea mays* L. ($9,54E-05$ kg P eq kg⁻¹ sušiny) s nízkými externími vstupy („N“). Pěstování *Silphium perfoliatum* L. zaujímá přibližně jednu třetinu emisního zatížení oproti pěstování *Zea mays* L. s nízkými externími vstupy („N“). Na druhou stranu pěstování *Silphium perfoliatum* L. má vyšší dopad na eutrofizaci sladkých vod, než je tomu při intenzivním („I“) a standardním („S“) pěstování *Zea mays* L. (Graf 4).

Graf 4: Vliv pěstování *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. ve stanovené funkční jednotce produkce (kg) na dopadovou kategorii eutrofizace sladkých vod



Na základě získaných výsledků (Graf 5) lze vyhodnotit pěstování *Zea mays* L. s nízkými externími vstupy („N“) jako nejvíce environmentálně zatěžující z hlediska dopadové kategorie terestrické ekotoxicity (6,41E-05 kg 1,4-DB eq kg⁻¹ sušiny). Naproti tomu pěstování *Silphium perfoliatum* L. je nejméně zatěžující pro tuto dopadovou kategorii (2,78E-05 kg 1,4-DB eq kg⁻¹ sušiny).

Graf 5: Vliv pěstování *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. ve stanovené funkční jednotce produkce (kg) na dopadovou kategorii terestrická ekotoxicita



V další části diplomové práce jsou rozděleny jednotlivé operace spojené s pěstováním *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. ve stanovené funkční jednotce produkce. V této části jsou porovnávány jednotlivé environmentální dopady vznikající při agrotechnice, hnojení, práci s osivem a sadbou, aplikací přípravků na ochranu rostlin, transportu a polních emisích.

Největší environmentální zatížení na dopadovou kategorii klimatických změn vztahených k funkční jednotce produkce vzniká při agrotechnických operacích souvisejících s pěstováním *Zea mays* L. s nízkými externími vstupy („N“). Agrotechnické procesy jsou při pěstování *Silphium perfoliatum* L. téměř o polovinu méně zatěžující vzhledem ke klimatickým změnám (Graf 6)

Dále Graf 6 poukazuje na největší environmentální zatížení na dopadovou kategorii klimatických změn, ke kterému došlo v průběhu hnojení *Zea mays* L. s nízkými externími vstupy („N“). Na základě modelovaných dat lze říci, že hnojení *Silphium perfoliatum* L. je také velmi zatěžující.

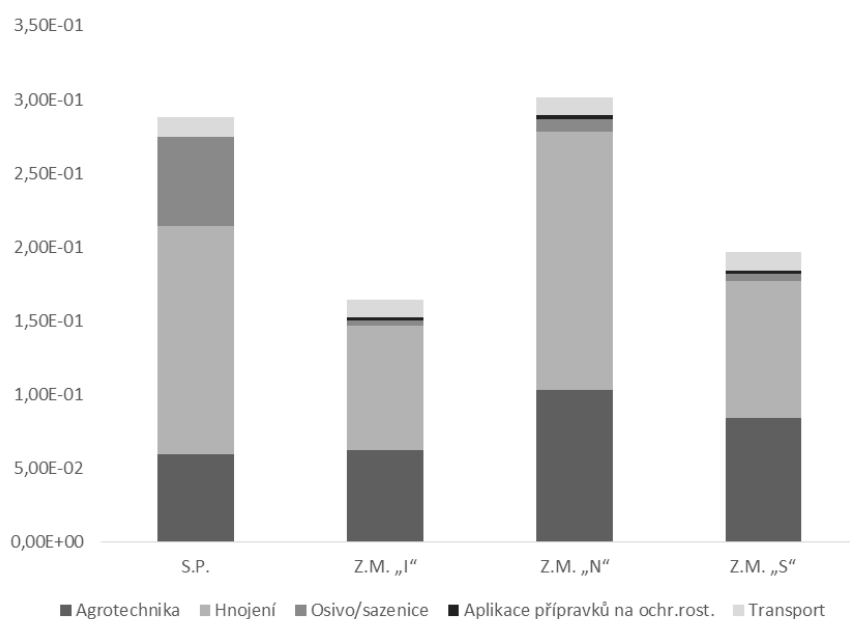
Při vyhodnocení výsledků (Graf 6) je nejsilnější environmentální zátěž vázána na využití sadebního materiálu *Silphium perfoliatum* L. To je způsobeno především energetickou náročností celého procesu přípravy sadby. Proces přípravy zahrnuje vstupy v podobě posklizňové úpravy osiva, kultivace, zavlažování a ošetřování. v případě použití osiva *Zea mays* L. jsou environmentální dopady minimální.

Transport se na celkové environmentální zátěži podílí v rámci pěstování *Zea mays* L. zhruba 4 %. Stejného výsledku dosahuje i transport *Silphium perfoliatum* L. (Graf 6). Zemědělská činnost a samotná produkce potravin přispívá k tvorbě skleníkových plynů, které mají dopad na klimatické změny. Primární zemědělská výroba, ale není vždy hlavním producentem skleníkových plynů. Dle některých autorů má na tvorbě skleníkových plynů značný podíl především transport, zpracování, skladování nebo úprava zemědělských komodit. Z již zmíněného důvodu by měl právě udržitelný hospodářský systém podporovat regionální produkci (Dorninger a Freyer, 2008; Moudrý *et al.*, 2010; Moudrý *et al.*, 2011). Environmentální hodnota produktu se vlivem přepravy a vzdáleností významně snižuje (Moudrý *et al.*, 2010). Podle Teufel a Wilgemann (2008) tvoří u potravin prvovýroba, zpracování a především transport zhruba 45 % emisí. Preferencí regionální produkce, omezením transportu a změnami v produkčních postupech je

možné předejít značné environmentální zátěži vázané na jednotku produkce (Moudrý *et al.*, 2014).

Na environmentálním zatížení se dále podílí přípravky na ochranu rostlin, které byly aplikovány u *Zea mays* L. ve všech pěstebních technologiích. v tomto ohledu je pěstování *Silphium perfoliatum* L. environmentálně šetrné, jelikož zde aplikace přípravků nebyla provedena (Graf 6).

Graf 6: Vliv jednotlivých operací spojených s pěstováním *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. ve stanovené funkční jednotce produkce (kg) na dopadovou kategorii klimatické změny



Z pohledu agrotechnických operací je pro kategorii eutrofizace sladkých vod environmentálně nejšetrnější pěstování intenzivní formy *Zea mays* L. („I“) a *Silphium perfoliatum* L. Naopak největší environmentální zátěži při agrotechnických operacích je pěstování *Zea mays* L. („N“) - (Graf 7).

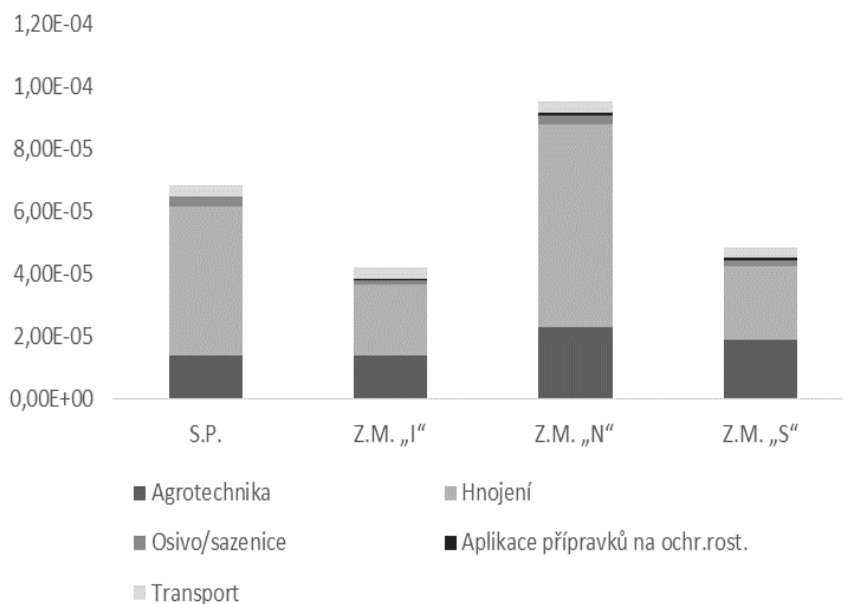
Z hlediska funkční/definované jednotky vztažené na produkci je největší dopad na eutrofizaci způsoben hnojením *Zea mays* L. s nízkými externími vstupy („N“). Graf 7 poukazuje na negativní vliv hnojení *Silphium perfoliatum* L. na danou kategorii dopadu. Nejmenší eutrofizace vod je způsobena v průběhu hnojení *Zea mays* L. v intenzivní („I“) a standardní („S“) formě právě ve vztahu k jednotce produkce, která je v tomto směru hodnocení zásadní.

Na dopadovou kategorii eutrofizace sladkých vod má nejsilnější dopad sadba *Silphium perfoliatum* L. Procentuální vyjádření na environmentální zátěži činí přibližně 5 %. Jako další se podílí na eutrofizaci používání osiva *Zea mays* L. s nízkými externími vstupy („N“). Nejméně zatěžují z hlediska eutrofizace je využití osivo pro standardní („S“) a intenzivní („I“) pěstování *Zea mays* L. (Graf 7).

V případě porovnávání transportu pro kategorii eutrofizaci sladkých vod je hlavním původcem znečištění *Silphium perfoliatum* L. Dopady transportu prováděného při pěstování *Zea mays* L. jsou téměř o dvě třetiny menší než je tomu u *Silphium perfoliatum* L. (Graf 7).

Na environmentálním zatížení se dále podílí přípravky na ochranu rostlin, které byly aplikovány u *Zea mays* L. ve všech pěstebních technologiích. v tomto ohledu je pěstování *Silphium perfoliatum* L. environmentálně šetrné, jelikož zde aplikace přípravků nebyla provedena (Graf 7).

Graf 7: Vliv jednotlivých operací spojených s pěstováním *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. ve stanovené funkční jednotce produkce (kg) na dopadovou kategorii eutrofizace sladkých vod



Hodnoty poukazují na vysoké dopady způsobené agrotechnickými operacemi na kategorii dopadu týkající se terestrické ekotoxicity vyprodukované během pěstování *Zea mays* L. s nízkými externími vstupy („N“) – (Graf 8).

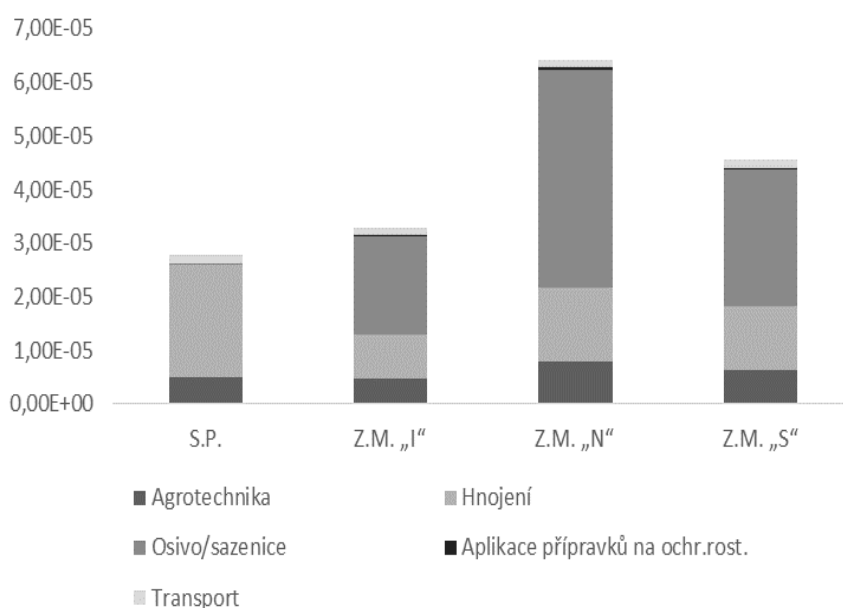
Nejmenších dopadů na tuto kategorii je dosaženo při agrotechnických operacích spojených s pěstování intenzivní formy *Zea mays* L. („I“) a *Silphium perfoliatum* L.

Hnojení prováděné při pěstování *Silphium perfoliatum* L. je z pohledu terestrické ekotoxicity nejvíce zatěžující. Nejmenším dopadem pro tuto kategorii je pěstování intenzivní *Zea mays* L. („I“) – (Graf 8)

Osivo upotřebené pro pěstování *Zea mays* L. s nízkými externími vstupy („N“) značí největší environmentální dopady pro kategorii terestrické ekotoxicity. Naopak sadba *Silphium perfoliatum* L. má nulové zatížení pro hodnocenou kategorii dopadu (Graf 8). Důvodem je příprava sadebního materiálu v umělých podmínkách (v tomto případě ve skleníku).

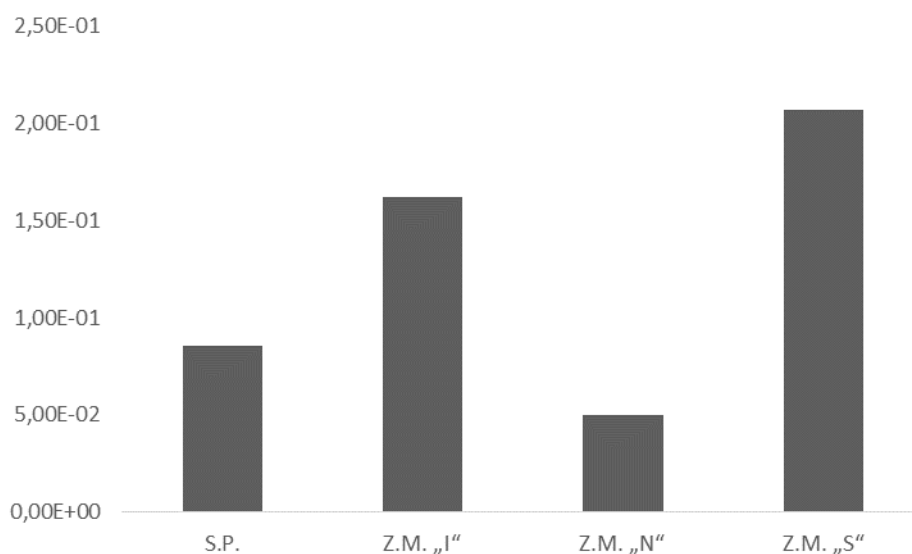
K výraznému zatížení pro kategorii terestrické ekotoxicity dochází při transportu prováděným v průběhu pěstování *Silphium perfoliatum* L. Pěstování *Zea mays* L. ve všech formách je z pohledu terestrické ekotoxicity environmentálně šetrnější (Graf 8).

Graf 8: Vliv jednotlivých operací spojených s pěstováním *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. ve stanovené funkční jednotce produkce (kg) na dopadovou kategorii terestrické ekotoxicity



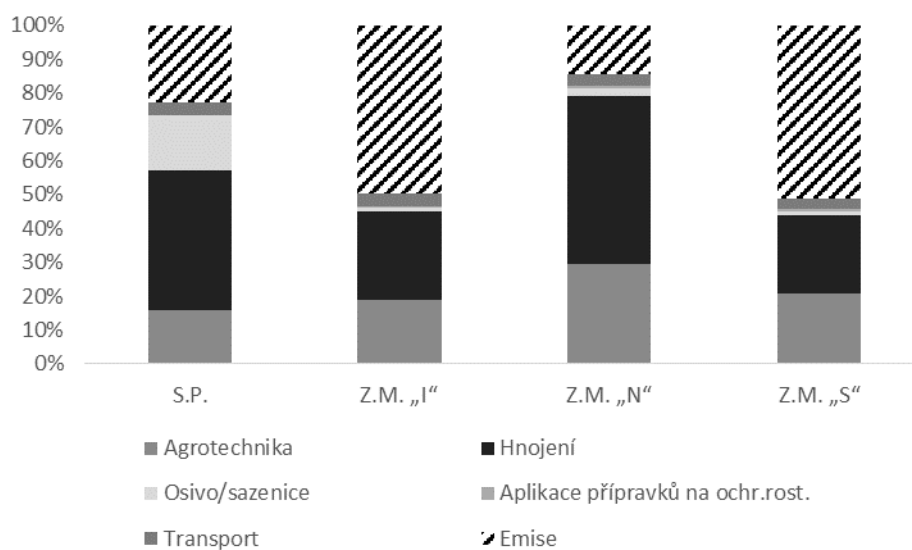
Hlavním producentem polních emisí pro kategorii klimatických změn je standardní pěstování *Zea mays* L („S“). Na základě hodnot obsažených v grafu lze říci, že nejmenší podíl na polních emisích má pěstování *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. s nízkými externími vstupy („N“) – (Graf 9).

Graf 9: Polní emise související s pěstováním *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. ve stanovené funkční jednotce produkce (kg) a jejich vliv na dopadovou kategorii klimatických změn



Na základě získaných hodnot (Graf 10) lze stanovenou hypotézu [Hypotéza č. 2: Nejvýraznějším emisním tokem (v %) spojeným s dopadovou kategorií klimatická změna a s intenzivní rostlinnou produkcí a kvantifikovaným prostřednictvím zvolené metodiky (IPCC), jsou tzv. polní emise.] potvrdit pouze v případě standardní („S“) a intenzivní („I“) varianty pěstování *Zea mays* L.

Graf 10: Procentuální podíl polních emisí související s pěstováním *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. ve stanovené funkční jednotce produkce (kg) a jejich vliv na dopadovou kategorii klimatických změn



3.2 Environmentální aspekty vázané na jednotku plochy

Pro účely tohoto hodnocení byla vybrána funkční/definová jednotka plochy (ha vybrané monokultury). Z hodnot obsažených v Tabulka 9 je zřejmé, že jednotlivé produkční roky pěstování *Silphium perfoliatum* L. představují převážně nižší environmentální zatížení, než je tomu u vybraných intenzit ošetření *Zea mays* L.

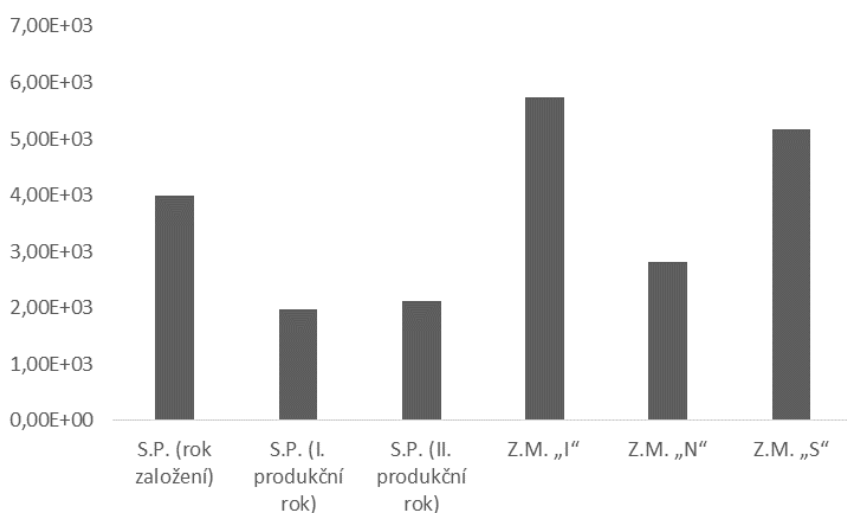
Tabulka 9: Celkové porovnání pěstování *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. ve funkční jednotce zastoupené jednotkou plochy (ha)

Dopadové kategorie	Ukazatel environmentálního zatížení	S.P.(rok založení)	S.P.(1.prod.rok)	S.P.(2.prod.rok)	Z.M. „I“	Z.M. „N“	Z.M. „S“
Klimatické změny	kg CO2 eq	4,00E+03	1,97E+03	2,12E+03	5,75E+03	2,81E+03	5,17E+03
Úbytek stratosférického ozónu	kg CFC-11 eq	1,55E-04	1,39E-04	1,53E-04	2,52E-04	1,80E-04	2,43E-04
Terestrická acidifikace	kg SO2 eq	2,13E+01	8,75E+00	9,59E+00	1,68E+01	1,23E+01	1,49E+01
Eutrofizace sladkých vod	kg P eq	6,42E-01	4,29E-01	4,70E-01	7,43E-01	7,63E-01	6,23E-01
Mořská eutrofizace	kg N eq	9,60E-01	4,42E-01	4,85E-01	1,36E+00	2,78E+01	1,29E+00
Humánní toxicita	kg 1,4-DB eq	1,10E+03	5,04E+02	5,55E+02	9,76E+02	6,48E+02	8,30E+02
Vznik fotooxidantů	kg NMVOC	2,20E+01	8,90E+00	9,98E+00	1,63E+01	1,21E+01	1,55E+01
Vznik pevných částí	kg PM10 eq	7,56E+00	4,17E+00	4,65E+00	7,63E+00	5,46E+00	7,01E+00
Terestrická ekotoxicita	kg 1,4-DB eq	2,54E-01	1,72E-01	1,89E-01	5,80E-01	5,12E-01	5,81E-01
Sladkovodní ekotoxicita	kg 1,4-DB eq	2,00E+01	1,40E+01	1,55E+01	2,80E+01	1,90E+01	2,42E+01
Mořská ekotoxicita	kg 1,4-DB eq	2,00E+01	1,38E+01	1,53E+01	2,65E+01	1,80E+01	2,30E+01
Ionizující záření	kBq U235 eq	9,46E+01	7,90E+01	8,69E+01	1,46E+02	9,55E+01	1,38E+02
Zábor zemědělské půdy	m2a	1,01E+04	1,01E+04	1,01E+04	1,02E+04	1,74E+04	1,02E+04
Zábor půdy k městské výstavbě	m2a	7,28E+01	5,22E+01	5,71E+01	7,48E+01	5,66E+01	7,25E+01
Užívání krajiny	m2	3,00E-01	3,00E-01	3,33E-01	5,32E-01	3,84E-01	5,16E-01
Úbytek vody	m3	2,31E+02	1,43E+01	1,50E+01	2,46E+01	1,48E+01	1,99E+01
Spotřeba minerálních surovin	kg Fe eq	1,91E+02	1,80E+02	1,97E+02	3,40E+02	2,31E+02	2,94E+02
Spotřeba fosilních surovin	kg oil eq	8,17E+02	3,70E+02	4,10E+02	6,63E+02	4,68E+02	6,18E+02

Níže je porovnáváno pěstování *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. ve třech vybraných dopadových kategoriích, tj. klimatické změny (kg CO2 eq), eutrofizace sladkých vod (kg P eq) a terestrická ekotoxicita (kg 1,4-DB eq).

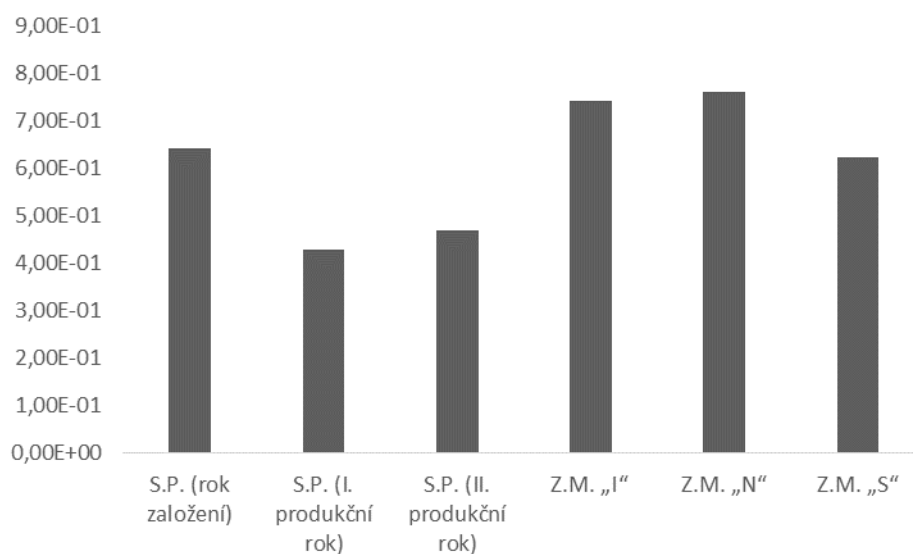
Z pohledu dopadové kategorie klimatických změn vztažených na jednotku plochy je vhodné pěstování *Silphium perfoliatum* L. ($4,00E+03$ kg CO₂ eq ha⁻¹). Podíl na produkci environmentálního zatížení je v porovnání s ostatními formami *Zea mays* L. přibližně o jednu třetinu menší (Graf 11). Největší environmentální zatížení je dosaženo při pěstování intenzivní varianty *Zea mays* L. ($5,75E+03$ kg CO₂ eq ha⁻¹)

Graf 11: Celkový environmentální dopad pěstování *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. na dopadovou kategorii klimatických změn, kde je stanovená funkční jednotka plocha (ha)



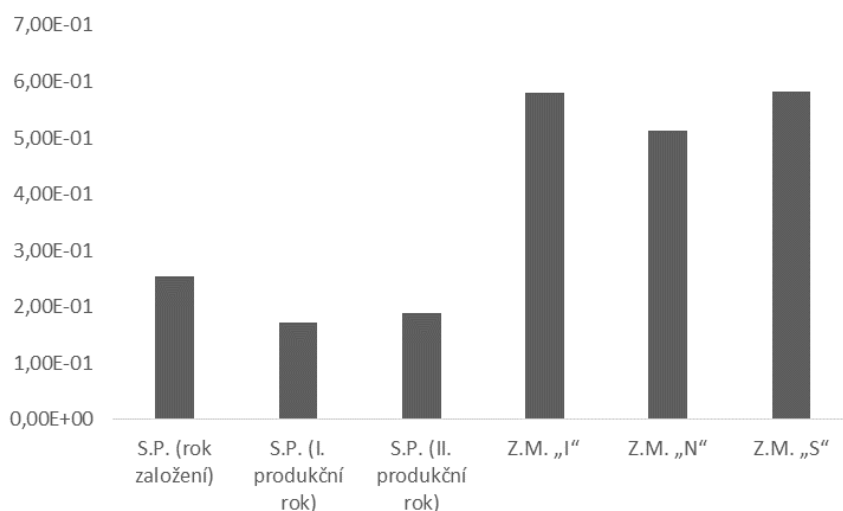
Na eutrofizaci sladkých vod se nejvíce podílí *Zea mays* L. ($7,63E-01$ kg P eq ha^{-1}), především ve variantě s nízkými externími vstupy („N“). Jestliže je stanovenou funkční jednotkou hektar, tedy plošná jednotka, pak je pěstování *Silphium perfoliatum* L. pro danou kategorii nejméně zatěžující (Graf 12).

Graf 12: Celkový environmentální dopad pěstování *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. na dopadovou kategorii eutrofizace sladkých vod, kde je stanovená funkční jednotka plocha (ha)



Na základě získaných výsledků v Graf 13 lze vyhodnotit pěstování intenzivní („I“) a standardní („S“) formy *Zea mays* L. ($5,80E-01$ kg 1,4-DB eq ha⁻¹ pro „I“ a $5,81E-01$ kg 1,4-DB eq ha⁻¹ pro „S“) jako nejvíce environmentálně zatěžující z hlediska terestrické ekotoxicity. Naproti tomu vliv na hodnocenou dopadovou kategorii je zcela minimální v případě použití plodiny *Silphium perfoliatum* L.

Graf 13: Celkový environmentální dopad pěstování *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. na dopadovou kategorii terestrická ekotoxicita, kde je stanovená funkční jednotka plocha (ha)



Níže jsou rozděleny jednotlivé operace spojené s pěstováním *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. ve stanovené funkční jednotce plochy. V této fázi jsou porovnávány jednotlivé environmentální dopady vznikající při agrotechnice, hnojení, práci s osivem a sadbou, aplikaci přípravků na ochranu rostlin, transportu a polních emisích.

Největší zatížení pro kategorii klimatických změn představuje použití agrotechniky u standardní („S“) a intenzivní („I“) *Zea mays* L. Nejméně zatěžující pro danou kategorii je *Silphium perfoliatum* L. v roce založení. V průběhu dalších produkčních let jsou environmentální dopady související s agrotechnickými procesy srovnatelné s plodinou *Zea mays* L. s nízkými externími vstupy („N“) - (Graf 14).

V první řadě na klimatické změny nejvíce působí hnojení související s rokem založení *Silphium perfoliatum* L. v dalších produkčních letech jsou naopak dopady hnojení *Silphium perfoliatum* L. téměř poloviční. Rozdíl mezi jednotlivými produkčními roky *Silphium perfoliatum* L. je způsoben především vyššími dávkami

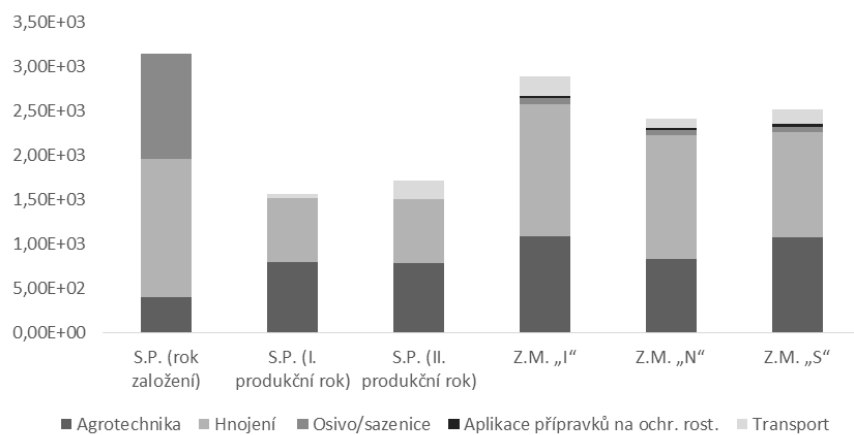
živin v roce založení (Ust'ak, 2012). Dále má značný vliv na dopadovou kategorii ke vztažené funkční jednotce plochy hnojení *Zea mays* L. především ve variantě s nízkými externími („N“) a intenzivní („I“) vstupy (Graf 14).

Vliv transportu na dopadovou kategorii klimatických změn je téměř shodný u druhého produkčního roku pěstování *Silphium perfoliatum* L. a intenzivní *Zea mays* L („I“). Rozdíl environmentálního zatížení mezi *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. je minimální. Nejmenší zatížení transportem pro kategorii klimatických změn vzniká při pěstování *Silphium perfoliatum* L. v prvním produkčním roce (Graf 14).

Při vyhodnocení výsledků ve stanovené funkční jednotce (ha) je nejsilnější environmentální zátěž vázána na využití sadebního materiálu *Silphium perfoliatum* L. Environmentální zatížení je způsobeno zejména energetickou náročností celého procesu přípravy sadby. Proces přípravy zahrnuje vstupy v podobě posklizňové úpravy osiva, kultivace, zavlažování a ošetřování. v případě použití osiva *Zea mays* L. jsou environmentální dopady minimální (Graf 14).

Vlivem aplikace přípravků na ochranu rostlin je způsobeno nepatrné environmentální zatížení u všech pěstovaných variant *Zea mays* L. Naopak v průběhu pěstování *Silphium perfoliatum* L. nedochází k environmentální zátěži vázané k aplikaci přípravků na ochranu rostlin (Graf 14). Přestože je v tomto případě podíl přípravků na ochranu rostlin spíše minimální je vhodné se na problematiku z globálního hlediska více soustředit. Jen v České republice na milion obyvatel připadá přibližně 600 t účinných látek, což je z pohledu orné půdy 2 kg/ha (Bernas, 2018).

Graf 14: Vliv jednotlivých operací spojených s pěstováním *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. ve stanovené funkční jednotce plochy (ha) na dopadovou kategorii klimatické změny



Je-li stavenou funkční jednotkou plocha (ha), pak nejmenší environmentální zatížení z hlediska eutrofizace představují agrotechnické postupy vztahující se k založení *Silphium perfoliatum* L. Na druhé straně na danou kategorii nejvíce působí intenzivní („I“) a standardní („S“) pěstování *Zea mays* L. Agrotechnika probíhající v prvním a druhém produkčním roce pěstování *Silphium perfoliatum* L. má téměř stejný podíl na eutrofizaci jako procesy spojené s pěstováním *Zea mays* L. s nízkými externími vstupy („N“) – (Graf 15).

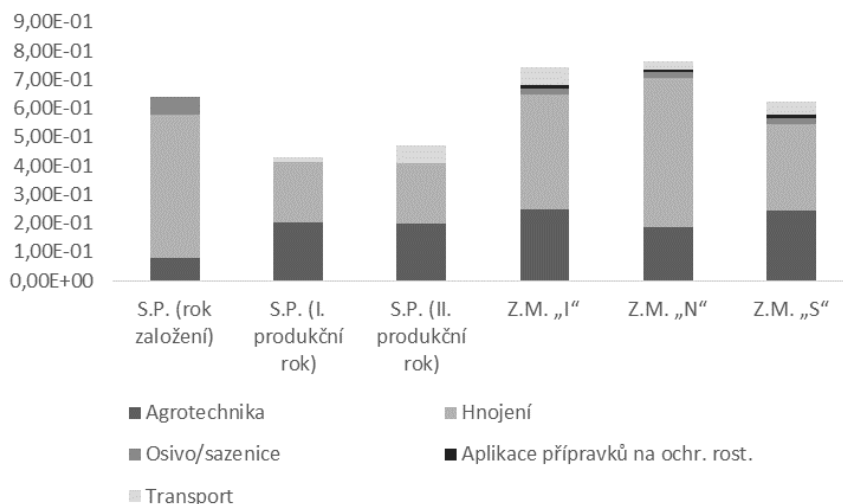
Z pohledu eutrofizace je velmi environmentálně zatěžující hnojení v roce založení *Silphium perfoliatum* L. spolu se *Zea mays* L. s nízkými externími vstupy („N“). S postupem produkčních let *Silphium perfoliatum* L. dochází ke snížení environmentálních dopadů (Graf 15).

V případě porovnání dat získaných v grafu představuje doprava související s intenzivním pěstováním *Zea mays* L. („I“) největší environmentální dopad. Dále se na eutrofizaci značně podílí transport *Silphium perfoliatum* L. ve druhém produkčním roce. K nejmenší environmentální zátěži dochází v prvním produkčním roce pěstování *Silphium perfoliatum* L. (Graf 15).

Podobně jako u dopadové kategorie klimatických změn ve stanovené funkční jednotce plochy lze říci, že vyšší dopad na eutrofizaci sladkých vod vzniká při využití sadebního materiálu *Silphium perfoliatum* L. (Graf 15).

V případě aplikace přípravků na ochranu rostlin související s eutrofizací vod jsou hodnoty obsažené v grafu 15 srovnatelné s kategorií klimatických změn. U obou kategorií dopadu se jedná o stanovenou funkční jednotku plochy.

Graf 15: Vliv jednotlivých operací spojených s pěstováním *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. ve stanovené funkční jednotce plochy (ha) na dopadovou kategorii eutrofizace sladkých vod



Největší environmentální dopady na hodnocenou kategorii terestrické ekotoxicity se formují během agrotechnických postupů intenzivní („I“) a standardní („S“) *Zea mays* L. V této kategorii je způsobena agrotechnikou značná zátěž i při pěstování *Silphium perfoliatum* L. v prvním a druhém produkčním roce stejně jako u *Zea mays* L. s nízkými externími vstupy („N“). Nejmenší zatížení vzniká v roce založení *Silphium perfoliatum* L. (Graf 16).

Při vztažení výsledků na dopadovou kategorii terestrické ekotoxicity spojené s vlivem hnojení *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. je zřejmé, že největší dopad na ekotoxicitu má hnojení *Silphium perfoliatum* L. v roce založení. V následujících produkčních letech je vliv hnojení na dopadovou kategorii redukován. Oproti *Silphium perfoliatum* L. je hnojení *Zea mays* L. ve všech typech pěstování environmentálně šetrnější (Graf 16).

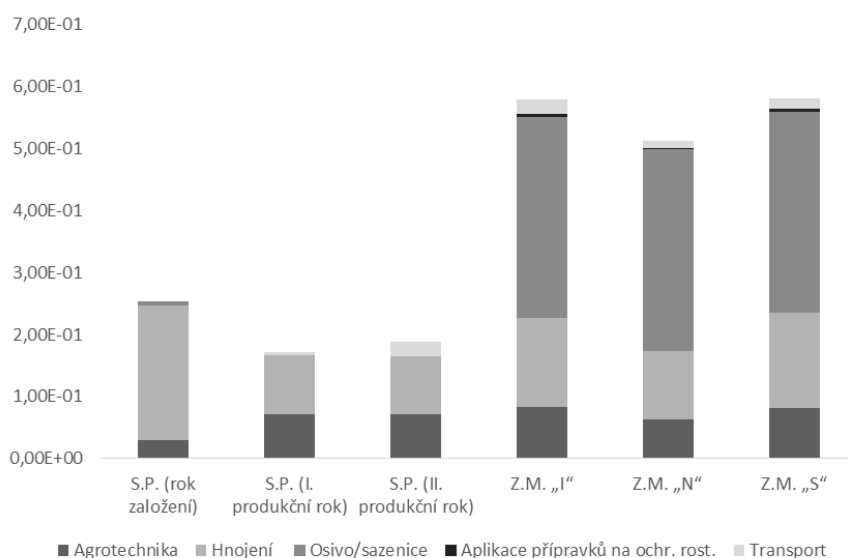
Graf 16 značí, že sadební materiál *Silphium perfoliatum* L. je z pohledu kategorie terestrické ekotoxicity nejméně environmentálně zatěžující. Důvodem minimálních environmentálních dopadů je pěstování sazenic v umělých podmínkách. Naproti tomu *Zea mays* L. má značný vliv na danou kategorii (terestrická ekotoxicita) ve všech variantách ošetření.

Kategorie terestrické ekotoxicity je nejvíce ovlivněna transportem při intenzivním pěstování *Zea mays* L. a ve druhém produkčním roce *Silphium perfoliatum* L. Nejmenší environmentální zatížení nastává v prvním produkčním roce

Silphium perfoliatum L. Z pohledu environmentálních dopadů na terestrickou ekotoxicitu je dále vhodné pěstování nízkovstupové formy („N“) a standardní („S“) *Zea mays* L. (Graf 16).

Vzhledem k prezentovaným hodnotám (Graf 16) je zřejmé, že k environmentálním dopadům z pohledu terestrické ekotoxicity dochází v závislosti s pěstováním *Zea mays* L. ve všech variantách. Na rozdíl od pěstování *Silphium perfoliatum* L., kde nejsou použity přípravky na ochranu rostlin.

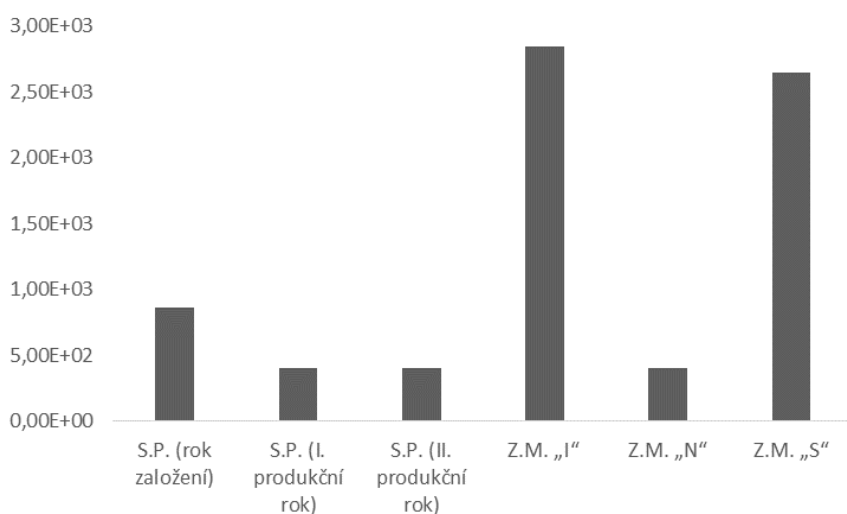
Graf 16: Vliv jednotlivých operací spojených s pěstováním *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. ve stanovené funkční jednotce plochy (ha) na dopadovou kategorii terestrické ekotoxicity



Po zhodnocení dosažených výsledků nelze předpokládanou hypotézu [Hypotéza č. 1 Environmentální zatížení vázané na jednotku produkce (kg CO₂ eq kg⁻¹ sušiny) i plochy (kg CO₂ eq ha⁻¹ monokultury) při pěstování *Silphium perfoliatum* L. je vzhledem k intenzitě a frekvenci vstupů v rámci víceletého pěstebního cyklu nižší v porovnání s pěstitelskými technologiemi *Zea mays* L.] potvrdit.

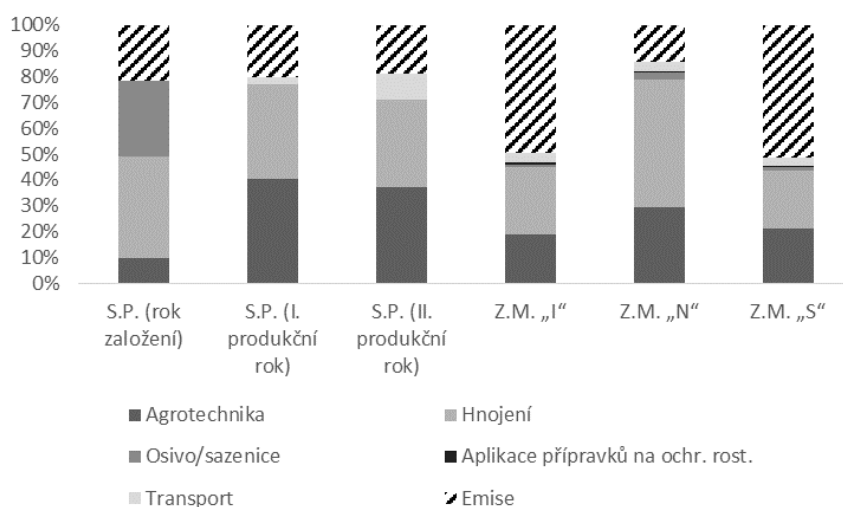
K největšímu množství polních emisí vztažených na jednotku plochy dochází při intenzivním („I“) a standardním („S“) pěstování *Zea mays* L. Z Graf 17 vyplývá, že nejméně environmentálně zatěžující z pohledu polních emisí je pěstování *Silphium perfoliatum* L. ve všech produkčních letech.

Graf 17: Vliv polních emisí spojených s pěstováním *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. na dopadovou kategorii klimatických změn ve stanovené funkční jednotce plochy (ha)



Na základě získaných dat lze stanovenou hypotézu [Hypotéza č. 2: Nejvýraznějším emisním tokem (v %) spojeným s dopadovou kategorií klimatická změna a s intenzivní rostlinnou produkcí a kvantifikovaným prostřednictvím zvolené metodiky (IPCC), jsou tzv. polní emise.] potvrdit pouze v případě standardní („S“) a intenzivní („I“) varianty pěstování *Zea mays* L.

Graf 18: Procentuální podíl polních emisí související s pěstováním *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. ve stanovené funkční jednotce plochy (ha) a jejich vliv na dopadovou kategorii klimatických změn



4 Závěr

Silphium perfoliatum L. je velmi hodnotná plodina. Vzhledem ke své dlouhověkosti, vysoké ekologické hodnotě, značné odolnosti vůči extrémním vlivům a celkové nenáročnosti se stává velmi populární. Hluboká a dobře vyvinutá kořenová soustava se podílí na redukci vyplavování živin z půdy, čímž přispívá ke zlepšení kvality půdy. V neposlední řadě se jedná o medonosnou plodinu, a proto je vyhledávána řadou opylovačů.

Na základě získaných dat lze říci, že při porovnání environmentálního zatížení pěstování *Silphium perfoliatum* L. vztaženého na jednotku produkce dochází ke značným environmentálním dopadům stejně jako u *Zea mays* L. Dané zatížení je způsobeno značnou intenzitou vstupů, které je vázáno na nižší produkční potenciál. Do budoucna lze předpokládat, že při výnosu 15t/ha sušiny ve čtvrtém roce od založení by environmentální zatížení vázané k pěstování *Silphium perfoliatum* L. pokleslo o zhruba 30 % v rámci sledovaných dopadových kategorií. V případě stanovení funkční jednotky plochy došlo k znatelnému snížení environmentálního zatížení. Vzhledem k tomu, že byla stanovena hypotéza vázaná k funkční jednotce plochy (ha) a produkce (kg) nebylo možné danou hypotézu potvrdit.

V případě stanovení hypotézy týkající se polních emisí lze říci, že v obou případech se podílí na změně klimatu polní emise uvolňující se především při pěstování intenzivní varianty („I“) a standardní („S“) varianty ošetření *Zea mays* L.

Při úvahách o zařazení *Silphium perfoliatum* L. do osevních plánů zemědělců využívajících tradiční pícní rostliny, mezi něž patří kukuřice setá, je nutno zohlednit nejen výše uvedené environmentální aspekty, ale rovněž i aspekty ekonomické, energetické a případně pícninářské.

5 Seznam použité literatury

1. AURBACHER, J., et al. Energiepflanzen für Biogasanlagen. Regionalbroschüre Niedersachsen. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe eV (FNR), Gülzow Prüzen, 2012.
2. AZIZ, Nur Izzah Hamna A.; HANAFIAH, Marlia M.; GHEEWALA, Shabbir H. a review on life cycle assessment of biogas production: Challenges and future perspectives in Malaysia. *Biomass and Bioenergy*, 2019, 122: 361-374.
3. BEDLAN, Gerhard, et al. *Ascochyta silphii* sp. nov.–a new *Ascochyta* species on *Silphium perfoliatum*. *J. Cultiv. Plants*, 2014, 66: 281-283.
4. BERNAS, Jaroslav, et al. Szarvasi-1 and Its Potential to Become a Substitute for Maize Which Is Grown for the Purposes of Biogas Plants in the Czech Republic. *Agronomy*, 2019, 9.2: 98.
5. BERNAS, Jaroslav. *Environmentální, energetické a ekonomické aspekty pěstování vybraných energetických rostlin*. České Budějovice, 2018. Disertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
6. BIERTÜMPFEL, A., REINHOLD, G., GÖTZ, R., ZORN, W, KOHLER, J. Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Durchwachsener Silphie (Leitlinie No. 1). Leitlinien der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena, 2018.
7. BLENGINI, G. A., et al. LCA of bioenergy chains in Piedmont (Italy): a case study to support public decision makers towards sustainability. *Resources, Conservation and Recycling*, 2011, 57: 36-47.
8. BOEHMEL, Constanze; LEWANDOWSKI, Iris; CLAUPEIN, Wilhelm. Comparing annual and perennial energy cropping systems with different management intensities. *Agricultural systems*, 2008, 96.1-3: 224-236.
9. CAO, C. Sustainability and life assessment of high strength natural fibre composites in construction. In: *Advanced High Strength Natural Fibre Composites in Construction*. Woodhead Publishing, 2017. p. 529-544.
10. CONRAD, M.; BIERTÜMPFEL, A.; VETTER, A. Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum* L.)–von der Futterpflanze zum Koferment. In: *Symp. Energiepfl.* 2009.

11. CSETE, Sándor, et al. Tall wheatgrass cultivar szarvasi-1 (*Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvasi-1) as a potential energy crop for semi-arid lands of Eastern Europe. In: Sustainable Growth and Applications in Renewable Energy Sources. IntechOpen, 2011.
12. ČSN EN ISO 14044 Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Požadavky a směrnice. *Praha: Český normalizační institut*, 2006b.
13. ČSN, EN ISO. 14040 Environmentální management–Posuzování životního cyklu–Zásady a osnova. *Praha: Český normalizační institut*, 2006a.
14. DANIEL, P.; ROMPF, R. Possibilities and limits in the utilization of *Silphium perfoliatum* as a fodder plant, renewable raw material and a landscape conservation-plant. *Agribiological research (Germany)*, 1994.
15. DE KLEIN, Cecile, et al. N₂O emissions from managed soils, and CO₂ emissions from lime and urea application. *IPCC guidelines for National greenhouse gas inventories, prepared by the National greenhouse gas inventories programme*, 2006, 4: 1-54.
16. DORNINGER, M.; FREYER, B. Aktuelle Leistungen und zukünftige Potentiale der Ökologischen Landwirtschaft für den Klimaschutz in Österreich. IFOL BOKU, Wien, 2008.
17. EKVAL, Tomas; FINNVEDEN, Göran. Allocation in ISO 14041—a critical review. *Journal of cleaner production*, 2001, 9.3: 197-208.
18. FINNVEDEN, Göran, et al. Recent developments in life cycle assessment. *Journal of environmental management*, 2009, 91.1: 1-21.
19. FRANKS, Jeremy R.; HADINGHAM, Ben. Reducing greenhouse gas emissions from agriculture: avoiding trivial solutions to a global problem. *Land Use Policy*, 2012, 29.4: 727-736.
20. GANSBERGER, Markus; MONTGOMERY, Lucy FR; LIEBHARD, Peter. *Botanical characteristics, crop management and potential of Silphium perfoliatum L.. as a renewable resource for biogas production: a review*. *Industrial Crops and Products*, 2015, 63: 362-372.

21. GATTINGER, A.; MULLER, A.; HAENI, M.; SKINNER, C.; FLIESSBACH, A.; BUCHMANN, N.; NIGGLI, U. Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **2012**, 109(44), 18226-18231.
22. GATTINGER, Andreas, et al. Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2012, 109.44: 18226-18231.
23. HAN, K. J., et al. Comparison of in vitro digestion kinetics of cup-plant and alfalfa. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2000[1], 13.5: 641-644.
24. HAN, K. J., et al. Moisture effect on fermentation characteristics of cup-plant silage. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2000[2], 13.5: 636-640.
25. HEIJUNGS, Reinout; GUINÉE, Jeroen B. Allocation and 'what-if' scenarios in life cycle assessment of waste management systems. *Waste management*, 2007, 27.8: 997-1005.
26. HOSPIDO, Almudena, et al. a review of methodological issues affecting LCA of novel food products. *The international journal of life cycle assessment*, 2010, 15.1: 44-52.
27. CHERUBINI, Francesco; STRØMMAN, Anders Hammer. Life cycle assessment of bioenergy systems: state of the art and future challenges. *Bioresource technology*, 2011, 102.2: 437-451.
28. Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, 2001.
29. INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. ISO 14040: Environmental management-Life cycle assessment-Principles and framework. 1997.
30. JABLONSKI, B.; KOLTOWSKI, Z. Nectar secretion and honey potential of honey-plants growing under Poland's conditions-Part XV. *Journal of Apicultural Science*, 2005, 49.1: 59-63.
31. JACQUEMIN, Leslie; PONTALIER, Pierre-Yves; SABLAYROLLES, Caroline. Life cycle assessment (LCA) applied to the process industry:

- a review. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2012, 17.8: 1028-1041.
32. JELÍNKOVÁ, Z. *Environmentální aspekty produkce potravin*. České Budějovice, 2018. Disertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
 33. JENSEN, A. A., et al. Life cycle assessment: a guide to approaches, experiences and information sources, Report to European Environment Agency, Copenhagen, 1997.
 34. JOHNSON, Paul J., et al. Recent discoveries and development in the entomology of bioenergy crop production. In: *Science for Biomass Feedstock Production and Utilization. Presented at the Sun Grant National Conference. New Orleans*. 2012. p. 4.
 35. KAVKA, M., et al. Normativy zemědělských výrobních technologií. Praha: ÚZPI Praha, 2006.
 36. KHASREEN, Mohamad; BANFILL, Phillip F.; MENZIES, Gillian. Life-cycle assessment and the environmental impact of buildings: a review. *Sustainability*, 2009, 1.3: 674-701.
 37. KOČÍ, Vladimír. na LCA založené srovnání environmentálních dopadů obnovitelných. 2012.
 38. KOČÍ, Vladimír. *Posuzování životního cyklu Life Cycle Assessment-LCA*. Vodní zdroje Ekomonitor, 2009. ISBN 978-80-86832-42-5
 39. KOWALSKI, Radosław a Bogdan KEŁDZIA. Antibacterial Activity of *Silphium perfoliatum* Extracts. *Pharmaceutical Biology*. 2007, **45**(6), 494-500.
 40. KOWALSKI, Radoslaw, et al. Evaluation of chemical composition of some *Silphium L.* species seeds as alternative foodstuff raw materials. *Polish journal of food and nutrition sciences*, 2004, 13.4: 349-354.
 41. KRTKOVÁ, Eva; TROEVA GROZEVA, D.; BECK, M. National Greenhouse Gas Inventory Report of the Czech Republic (Reported Inventories 1990–2014). Prague, Czech hydrometeorological institute, 2016, 423.

42. MALINA, David. *Pěstování Silphium perfoliatum L. pro energetické účely a hodnocení produkčních schopností*. České Budějovice, 2018. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
43. MANCINELLI, R., et al. Soil property, CO₂ emission and aridity index as agroecological indicators to assess the mineralization of cover crop green manure in a Mediterranean environment. *Ecological indicators*, 2013, 34: 31-40.
44. MORI, Akinori, et al. Effects of plant species on CH₄ and N₂O fluxes from a volcanic grassland soil in Nasu, Japan. *Soil Science & Plant Nutrition*, 2005, 51.1: 19-27.
45. MOSIER, Arvin, et al. Closing the global N₂O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle. *Nutrient cycling in Agroecosystems*, 1998, 52.2-3: 225-248.
46. MOUDRÝ JR, Jan; MOUDRÝ, Jan. Environmental Aspects Of Organic Farming. In: *Organic Agriculture Towards Sustainability*. IntechOpen, 2014.
47. MOUDRÝ, Jan; JIROUSKOVA, Zuzana; KONVALINA, Petr. Pěstitelské technologie a emise CO₂ The Cultivation Technologies and Emission of CO₂. *Uroda*, 2010, 58.12: 725-728.
48. NEUMERKEL, W.; MARTIN, B. Silphium (*Silphium- perfoliatum*)- A new feed plant. *Archiv für Acker und Pflanzenbau und Bodenkunde- archives of agronomy and soil*, 1982, 26.4: 261-271.
49. NIGGLI, U.; FLIEßBACH, A.; HEPPELY, P.; SCIALABBA, N. Low greenhouse gas agriculture: mitigation and adaptation potential of sustainable farming systems. *Ökologie & Landbau* 2009, 141, 32-33.
50. PACHAURI, R. K.; ALLEN, M. R.; BARROS, V. R.; BROOME, J.; CRAMER, W.; CHRIST, R.; DUBASH, N. K. Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 2014, (p. 151). IPCC.
51. PAN, G., Zh. OUYANG, Q. LUO, Q. YU a J. WANG. Water use patterns of forage cultivars in the North China Plain. *International Journal of Plant Production*. 2011, 2(5), 181-194. ISSN 1735-681.

52. PICHARD, D., et al. Management, production, and nutritional characteristics of cup-plant (*Silphium perfoliatum*) in temperate climates of southern Chile= Manejo, producción, y características nutricionales del silfo (*Silphium perfoliatum*) en climas templados del sur de Chile. 2012.
53. REMTOVÁ, Květa. *Posuzování životního cyklu-metoda LCA*. Ministerstvo životního prostředí, 2003. ISBN 80-7212-232-0
54. ROY, Poritosh, et al. a review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of food engineering*, 2009, 90.1: 1-10.
55. SETTLE, Wilbur Jewell. *The Chromosome Morphology in the Genus Silphium (Compositae)*. Ohio Journal of Science, 1967, (67). ISSN 0030-0950.
56. SCHMIDT, Wulf-Peter; SULLIVAN, John. Weighting in life cycle assessments in a global context. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2002, 7.1: 5.
57. SCHOO, Burkhard, Michael WESSEL-TERHARN, Susanne SCHROETTER a Siegfried SCHITTENHELM. Vergleichende Untersuchung von Wurzelmerkmalen bei Silphie und Mais. *Nachhaltige Erzeugung von Nachwachsenden Rohstoffen*. 2013, 1(25), 348. ISSN 0934-5116.
58. SOKOLOV, V. S., & GRITSAK, Z. I. (1972). Silphium--a valuable fodder and nectariferous crop. *World crops*.
59. STANFORD, Geoffrey. *Silphium perfoliatum (cup-plant) as a new forage*. In: Proceedings of the Twelfth North American Prairie Conference, Cedar Falls, IA. 1990. p. 33-37.
60. STOLZENBURG, K.; MONKOS, A. Erste Versuchsergebnisse mit der Durchwachsenen Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) in Baden-Württemberg. *Land-wirtschaftliche s Technologiezentrum Augustenberg, Karlsruhe*, 2012.
61. STRAŠIL, Z. Evaluation of reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.) grown for energy use. *Research in Agricultural Engineering*, 2012, 58.4: 119-130.

62. STRATMANN, Britta; TEUFEL, Jenny; WIEGMANN, Kirsten. Umweltauswirkungen von Ernährungsgewohnheiten. Freiburg, Germany: Öko-Institut eV, 2008.
63. ȚÎȚEI, Victor, Alexandru TELEUȚĂ a Alexandru MUNTEAN. The Perspective of Cultivation and Utilization of the Species *Silphium perfoliatum* L. and *Helianthus Tuberosus* L. in Moldova. *Bulletin UASMV serie Agriculture*. 2013, **70**(1), 160-166. ISSN 1843-5386.
64. USŤAK, Sergej. *Možnosti pěstování mužáku prorostlého Silphium perfoliatum L. pro výrobu bioplynu*. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., EnviBio - sdružení pro rozvoj technologií trvale udržitelného života, 2012. ISBN 978-80-7427-099-40
65. VAN ZEIJTS, H.; LENEMAN, H.; SLEESWIJK, A. Wegener. Fitting fertilisation in LCA: allocation to crops in a cropping plan. *Journal of Cleaner Production*, 1999, 7.1: 69-74.
66. VETTER, Armin; CONRAD, Michael; BIERTÜMPFEL, Andrea. Optimierung des Anbauverfahrens für Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum*) als Kofermentpflanze in Biogasanlagen sowie Überführung in die landwirtschaftliche Praxis: Abschlussbericht;[Projekt: Effiziente und umweltgerechte Erzeugung von Bioenergie; Laufzeit: 01.05. 2007 bis 18.04. 2010].
67. VÍT, Langmaier. *Možnosti využití Silphium perfoliatum L. v oblasti pícninářství*. České Budějovice, 2018. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
68. WROBEL, M., FRĄCZEK, J., FRANCIK, S., SLIPEK, Z., & MUDRYK, K. (2013). Influence of degree of fragmentation on chosen quality parameters of briquette made from biomass of cup plant *Silphium perfoliatum* L. In *Conference Engineering for Rural Development, Jelgava, Latvia* (pp. 653-657).
69. ZOU, Jianwen, et al. Direct emission factor for N₂O from rice–winter wheat rotation systems in southeast China. *Atmospheric Environment*, 2005, 39.26: 4755-4765.

6 Internetové zdroje

1. Agronormativy : *Normativy pro zemědělskou a potravinářskou výrobu: AGroConsult* [online]. Praha: MZe, 2015 [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: www.agronormativy.cz
2. Ecoinvent. *Ecoinvent* [online]. [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: <https://www.ecoinvent.org/database/introduction-to-ecoinvent-3/introduction-to-ecoinvent-version-3.html>

7 Seznam zkratek

1,4-DB	1,4dichlorbenzen
CFC	Freony
Eq	Ekvivalentní množství referenční látky
IPCC	<i>International Panel on Climate Change</i> ; Mezinárodní panel pro klimatické změny
LCA	<i>Life cycle analysis</i> ; Posuzování životního cyklu
NMVOC	<i>Non-methane volatile organic compounds</i> ; Nemethanové těkavé organické látky
PM	<i>Particular matter</i> ; Prachové částice
ReCiPe	Metodika umožňující současně charakterizaci na úrovni midpointové i endpointové
REPA	<i>Resource and Environmental Profile Analysis</i> ; předchůdce metody LCA
SimaPro	Software pro aplikaci metody LCA
SO ₂	Oxid siřičitý
U235	Izotop uranu

8 Seznam obrázků

1. Obrázek 1: Mužák prorostlý (*Silphium perfoliatum* L.) - (a) čtyřhranný stonek, (b) list, (c) stonek s květy a listy, (d) květní úbor s trubkovitými a jazykovitými květy, (e) odkvetlý květ, (f) nažka (semena)
2. Obrázek 2: Schéma LCA

9 Seznam tabulek

1. Tabulka 1: Biochemické složení makroelementů (g/kg) v *Silphium perfoliatum* L. a *Helianthus tuberosus* L.
2. Tabulka 2: Biochemické složení mikroelementů (mg/kg) *Silphium perfoliatum* L. a *Helianthus tuberosus* L.
3. Tabulka 3: Teplotní a srážkové charakteristiky - České Budějovice
4. Tabulka 4: Charakteristika stanoviště - České Budějovice
5. Tabulka 5: Metodika hnojení v roce založení – *Silphium perfoliatum* L.
6. Tabulka 6: Metodika hnojení *Silphium perfoliatum* L. v produkčních letech
7. Tabulka 7: Inventarizační tabulka
8. Tabulka 8: Celkové porovnání environmentálního zatížení vázaného k pěstování *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. ve funkční jednotce zastoupené jednotkou produkce (kg)
9. Tabulka 9: Celkové porovnání pěstování *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. ve funkční jednotce zastoupené jednotkou plochy (ha)

10 Seznam grafů

1. Graf 1: Suma výnosů fytomasy (t/ha sušiny) v rámci prvních třech let sledování
2. Graf 2: Vývoj výnosové úrovně (t/ha sušiny) *Silphium perfoliatum* L. v prvních třech letech pěstování
3. Graf 3: Vliv pěstování *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L ve stanovené funkční jednotce produkce (kg) na dopadovou kategorii klimatických změn
4. Graf 4: Vliv pěstování *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L ve stanovené funkční jednotce produkce (kg) na dopadovou kategorii eutrofizace sladkých vod
5. Graf 5: Vliv pěstování *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L ve stanovené funkční jednotce produkce (kg) na dopadovou kategorii terestrická ekotoxicita
6. Graf 6: Vliv jednotlivých operací spojených s pěstováním *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. ve stanovené funkční jednotce produkce (kg) na dopadovou kategorii klimatické změny
7. Graf 7: Vliv jednotlivých operací spojených s pěstováním *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. ve stanovené funkční jednotce produkce (kg) na dopadovou kategorii eutrofizace sladkých vod
8. Graf 8: Vliv jednotlivých operací spojených s pěstováním *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. ve stanovené funkční jednotce produkce (kg) na dopadovou kategorii terestrické ekotoxicity
9. Graf 9: Polní emise související s pěstováním *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. ve stanovené funkční jednotce produkce (kg) a jejich vliv na dopadovou kategorii klimatických změn
10. Graf 10: Procentuální podíl polních emisí související s pěstováním *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. ve stanovené funkční jednotce produkce (kg) a jejich vliv na dopadovou kategorii klimatických změn
11. Graf 11: Celkový environmentální dopad pěstování *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. na dopadovou kategorii klimatických změn, kde je stanovená funkční jednotka plocha (ha)

12. Graf 12: Celkový environmentální dopad pěstování *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. na dopadovou kategorii eutrofizace sladkých vod, kde je stanovena funkční jednotka plocha (ha)
13. Graf 13: Celkový environmentální dopad pěstování *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. na dopadovou kategorii terestrická ekotoxicita, kde je stanovena funkční jednotka plocha (ha)
14. Graf 14: Vliv jednotlivých operací spojených s pěstováním *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. ve stanovené funkční jednotce plochy (ha) na dopadovou kategorii klimatické změny
15. Graf 15: Vliv jednotlivých operací spojených s pěstováním *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. ve stanovené funkční jednotce plochy (ha) na dopadovou kategorii eutrofizace sladkých vod
16. Graf 16: Vliv jednotlivých operací spojených s pěstováním *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. ve stanovené funkční jednotce plochy (ha) na dopadovou kategorii terestrické ekotoxicity
17. Graf 17: Vliv polních emisí spojených s pěstováním *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. na dopadovou kategorii klimatických změn ve stanovené funkční jednotce plochy (ha)
18. Graf 18: Procentuální podíl polních emisí související s pěstováním *Silphium perfoliatum* L. a *Zea mays* L. ve stanovené funkční jednotce plochy (ha) a jejich vliv na dopadovou kategorii klimatických změn