

TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE
FAKULTA EKOLÓGIE A ENVIRONMENTALISTIKY

Environmentálne inžinierstvo

**HODNOTENIE ŽIVOTNÉHO CYKLU EXTRAKCIE
KOFEÍNU Z KÁVY POMOCOU ^{sc}CO₂**

**(LIFE CYCLE ASSESSMENT OF SUPERCRITICAL CO₂ EXTRACTION OF
CAFFEINE FROM COFFEE)**

JANA HALUŠKOVÁ

ÚVOD

Káva sa teší obrovskej popularite na celom svete. Pre obsah kofeínu a intenzívnu chuť ju väčšina ľudí volí za najvhodnejší spôsob začiatku nového dňa. Ľudia si ju vychutnávajú na mnoho spôsobov ako napríklad espresso, cappuccino, caffè latte či moka a zakúpiť ju možno ako zrnkovú, mletú alebo instantnú.

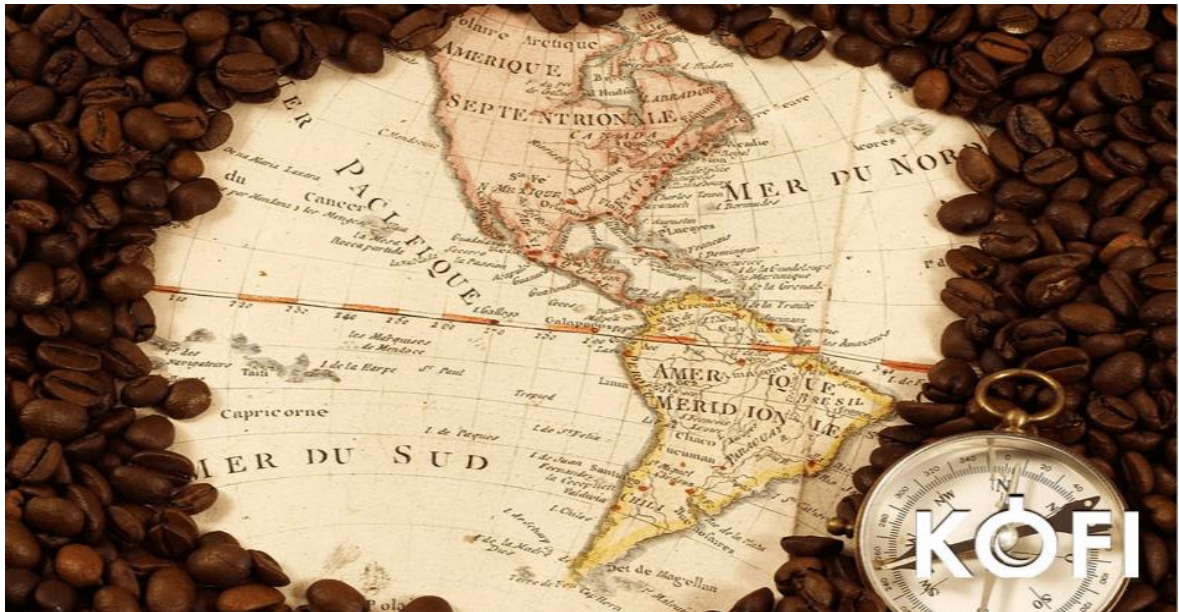
Káva vraj bola objavená pastierom kôz v Etiópii, regióne zvanom Kaffa. Z Afriky sa potom rozšírila postupne do všetkých kútov sveta. V súčasnosti je káva pestovaná vo viac ako 70-tich krajinách sveta, a to hlavne v rovníkových oblastiach Latinskej Ameriky, Juhovýchodnej Ázie, Indie a Afriky. Získava sa pražením semien kávovníka. Pre pestovanie kávy má najväčší význam kávovník arabský (*Coffea arabica*) a kávovník robusta (*Coffea canephora*). Podľa toho sa káva delí na Arabiku a Robustu. Arabika tvorí približne 70% celosvetovej produkcie kávy, darí sa jej dobre len vo vyšších nadmorských výškach a je celkom dosť náročná na pestovanie. Naopak, Robusta je viac odolnejšia voči škodcom, možno ju pestovať aj v nižších nadmorských výškach a preto je cenovo dostupnejšia.

HISTÓRIA KÁVY

História kávy siaha až do prastarých kávových lesov na etiópskych svahoch. Legenda hovorí, že kozí pastier menom Kaldi prvýkrát objavil potenciál kávovníka. Kaldi objavil kávu po tom, čo si všimol, že jeho kozy po zjedení zrn z podivného keru nechcú v noci spať. Kaldi hlásil svoje zistenia opátovi miestneho kláštora, ktorý zo zrn uvaril nápoj a po jeho vyskúšaní zistil, že mu dodával energiu počas dlhej poobednej modlitby. Opát sa podelil o svoj objav s ostatnými mníchmi v kláštore a zvest' o zázračných zrnách sa začala raketovo šíriť. Keď sa správy o zistení dostali na východ a na Arabský polostrov, začala expanzia, ktorá rozšírila kávu do celého sveta.

Návštevníci blízkeho východu priniesli kávu v priebehu 17. storočia do Európy. Reakcie ľudí boli však rôznorodé. Niektorí mali strach a nápoj nazývali trpkým vynálezom diabla. Keď dorazila káva v roku 1615 do Benátok, najvyšší duchovní kávu odsúdili na zatratenie. Spor bol taký veľký, že bolo požiadané o vyjadrenie vtedajšieho pápeža Klementa VIII. Predtým, ako vzniesol verdikt, sa rozhodol nápoj ochutnať. Nevidel na ňom nič zlé, práve naopak všimol si a uznal jeho blahodarné účinky. Napriek tejto kontroverzii sa kaviarne rýchlo stali strediskami spoločenských aktivít a komunikácie vo veľkých mestách Anglicka, Rakúska, Francúzska, Nemecka a Holandska.

Od konca 18. storočia sa káva stala jednou z najziskovejších vývozných plodín na svete a doteraz je po ropе najvyhl'adavanejšou komoditou na svete.



Obrázok č.1 - História kávy

KÁVOVNÍK

Kávovník je ovocná drevina, ktorej sa najlepšie darí v tropickom a subtropickom pásme, v zásaditej sopečnej pôde bohatej na minerály a iné živiny. V závislosti od odrody môže vyzerat' kávovník ako malý krík, ale aj ako veľký, až 10-metrový strom. Jeho listy sú sýto zelené a lesklé a v závislosti od odrody môžu mať až 20 cm.

Kávovník sa rozmnožuje semenami zo zrelých kávových čerešní a od jeho zasadenia po prvú úrodu môžu prejsť až 4 roky. Po 4 rokoch kvitnú na kávovníku zhruba 3-krát za rok biele kvety, ktoré za 2 - 3 dni opadajú a na ich mieste sa začnú tvoriť malé zelené bobule – kávové čerešne. Čas, za ktorý čerešňa dozreje, záleží od množstva faktorov, ako je druh a odroda kávovníka, kvalita pôdy, vlhkosť vzduchu, intenzita slnka, množstvo zrážok a nadmorská výška. Spravidla to trvá od 7 do 15 mesiacov, a čím dlhšie čerešňa zreje, tým lepšie. Za dlhší čas dokáže nasať z pôdy viac živín a cukornatosť zrna sa výrazne zvyšuje každým mesiacom.



Obrázok č.2 - Kávovník

KÁVOVNÍK ARABSKÝ (Coffea arabica) vs. KÁVOVNÍK ROBUSTA (Coffea canephora)

Svetový trh s kávou ovládajú dva druhy – Arabika a Robusta. Arabika sa teší o niečo väčšej obľube, oba druhy však majú svoje zásadné postavenie v konzumácii tohto zázračného nápoja. Každý milovník kávy si nájde to, čo mu vyhovuje najviac. Experimentovať sa však vždy oplatí a ak aj nepatríte k fanúšikom jedného z týchto druhov, za vyskúšanie rozhodne stoja. Spravidla platí, že čím vyššie sa káva pestuje, tým má pestrejší chuťový profil. Vo vyššej nadmorskej výške dozrievajú kávové čerešne pomalšie, a tak majú viac času na prijímanie živín z pôdy.

Medzi Arabikou a Robustou existuje niekoľko rozdielov a tým najdôležitejším je ich chuť. Arabika je obľúbenejšia práve kvôli jej chuti, ktorá je ovocnejšia a sladšia v porovnaní s Robustou. Zrná Robusty sú horkejšie a kyslastejšie. Ak milujete silnejšiu a výraznejšiu chuť s vyšším obsahom kofeínu, tento druh bude vašou voľbou. Arabika sa vďaka vyššiemu obsahu cukru využíva vo väčšine kávových nápojov po celom svete. Chuťové rozdiely medzi oboma druhmi sú spôsobené najmä obsahom živín v štruktúre jednotlivých zrn. Arabika aj Robusta obsahujú rozdielne množstvá minerálov a ďalších chemických prvkov. Robusta obsahuje 2,7% kofeínu, čo je v porovnaní s 1,5% obsahu kávy Arabika takmer dvojnásobok. Práve to je dôvodom jej horkejšej chuti. Ak teda chcete naozaj silnú šálku kávy na naštartovanie dňa, Robusta je ideálnym riešením, ktoré vás nakopne. Robusta vedie aj v obsahu antioxidantov, ktoré tvoria 7-10% jej štruktúry, zatiaľ

čo Arabika sa môže pochváliť obsahom vo výške 5-8%. Arabika však obsahuje až o 60% viac lipidov a skoro dvojnásobok prírodných cukrov, vďaka čomu je jej chuť väčšine ľudí príjemnejšia a z toho dôvodu je na špičke celosvetovej konzumácie kávy.

Arabika sa pestuje najmä v Brazílii, Kolumbii, Kostarike, Guatemale a Indii, zatiaľ čo Robusta sa pestuje hlavne vo Vietname, Pobreží Slonoviny, Guatemale a Indii.

ZLOŽENIE KÁVY

Zloženie či už zelenej kávy, alebo kávy praženej nevieme presne vyjadriť. Látkové zloženie je závislé na botanickom druhu kávovníka, veku kávových zŕn, podmienkach pestovania a technologickej úprave kávy. Poznáme však orientačné hodnoty vyjadrené v hmotnostných percentách niektorých významných látok obsiahnutých v kávových zrnách, ktoré sú uvedené v Tab. 1. a Tab. 2.. [1]

Tabuľka 1: Látkové zloženie kávy v hm. %

Prítomné látky	C. arabica	C. canephora	Zlúčeniny
Rozpustené sacharidy	55-65	40-55	glukóza, galaktóza, arabinóza, sacharóza
Nerospustené sacharidy	35	35	celulóza
Kyseliny a fenoly	8-11	9-17	
Prchavé kyseliny	0,1	0,1	
Chlorogenové kyseliny	6,7-9,3	7,1-12,1	kys. propiónová, kys. octová, kys. Maslová
Lipidy	15-18	8-12	kafestol, kahweol
Vosky	0,2-0,3	0,1-0,3	
Oleje	7,7-17,8	7,7-17,8	estery kyseliny palmitovej, linolovej
Dusikaté zlúčeniny	11-15	8-12	
Voľné aminokyseliny	0,2-0,8	0,2-0,8	kys. glutámová, asparágová
Bielkoviny	8,5-12	8,5-12	
Kofeín	0,8-1,4	1,4-4	
Minerálne látky	3-5,4	3-5,4	

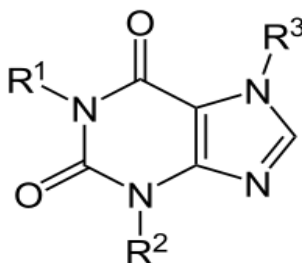
Tabuľka 2: Obsah najvýznamnejších minerálnych látok v káve

Prvok	m [mg/1 kg kávy]
K	16 000
Ca	1 000
Mg	1 800
Fe	90
P	1 500
Ni	20
Cu	15

Analýza hotového kávového nápoja v porovnaní so samotnou vodou vykazuje nárast koncentrácií vápnika (cca 3x), horčíka (cca 8x) a draslíka (až 800x). Kávu teda môžeme v konečnom dôsledku brať ako určitý zdroj práve týchto troch minerálov.

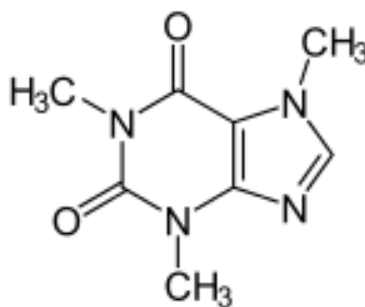
Medzi najvýznamnejšie dusikaté látky (alkaloidy) obsiahnuté v káve patria tri metylové deriváty xantínu, ktoré majú značný vplyv na senzorické vlastnosti kávy a zároveň sú zodpovedné za jej fyziologické účinky. [2]

Xantín (Xanthin)



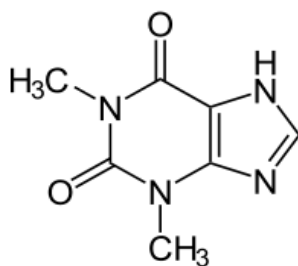
Obrázok č.2 - Chemická štruktúra xantínu

Kofein (1,3,7-trimetylxantín)



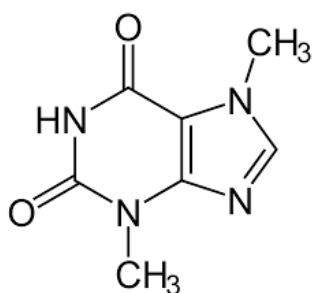
Obrázok č.3 - Chemická štruktúra kofeínu

Teofylín (1,3-dimetylxantín)



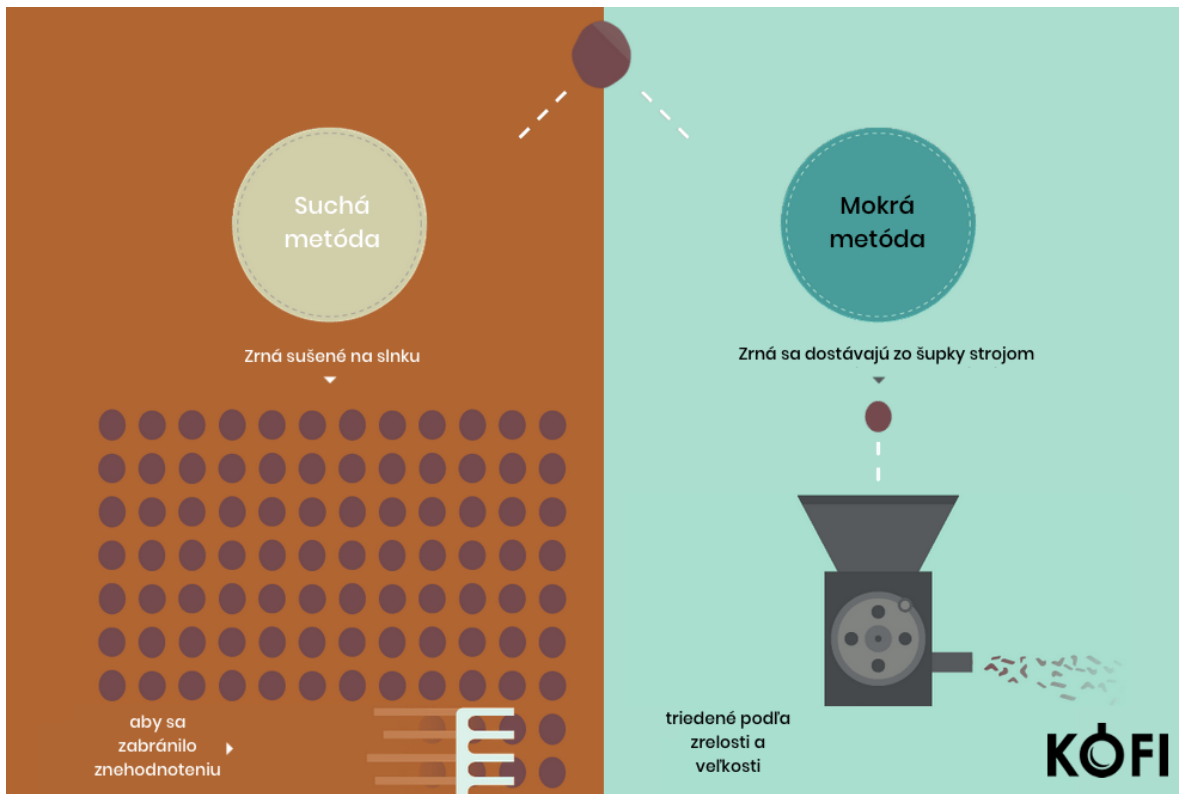
Obrázok č.4 - Chemická štruktúra teofylínu

Teobromín (3,7-dimetylxantín)



Obrázok č.5 - Chemická štruktúra teobromínu

PROCES VÝROBY KOFEÍNU



Obrázok č.6 – Spôsoby výroby kávy

Každé kávové zrno je obalené šľavnatou, sladkastou dužinou a tromi vrstvami obalu. Použitím mokrej alebo suchej metódy sa zrná zbavujú svojho tvrdého obalu. Oba spôsoby majú vplyv na kvalitu a konečnú cenu kávy.

Pri **suchej metóde** neprebíha proces kvasenia. Tento spôsob oddeľovania kávových zrn je menej náročný a používa sa len pri menej kvalitných kávach. Nazbierané plody sa musia zbaviť vlhkosti, a tak sa po niekoľko týždňov nechávajú sušiť na vzduchu. Musia sa pravidelne prehrabovať, aby sa zabránilo fermentácii. Pôsobením vzduchu pri sušení šupka zhnedne a je krehká. Tento spôsob nie je finančne náročný, ale musí sa dbať nato, aby zrnká nezostali príliš vysušené. Suché spracovanie sa využíva predovšetkým v arabských krajinách, Strednej Amerike a Brazílii.

Pri takzvanej **mokrej metóde** prebieha proces fermentácie. Tento spôsob získavania kávových zrn je nákladný a používa sa iba pri kvalitných kávach druhu Arabika. O tejto káve sa tiež niekedy hovorí ako o "vypranej" káve. Pri mokrom spracovaní sa zachováva kvalita

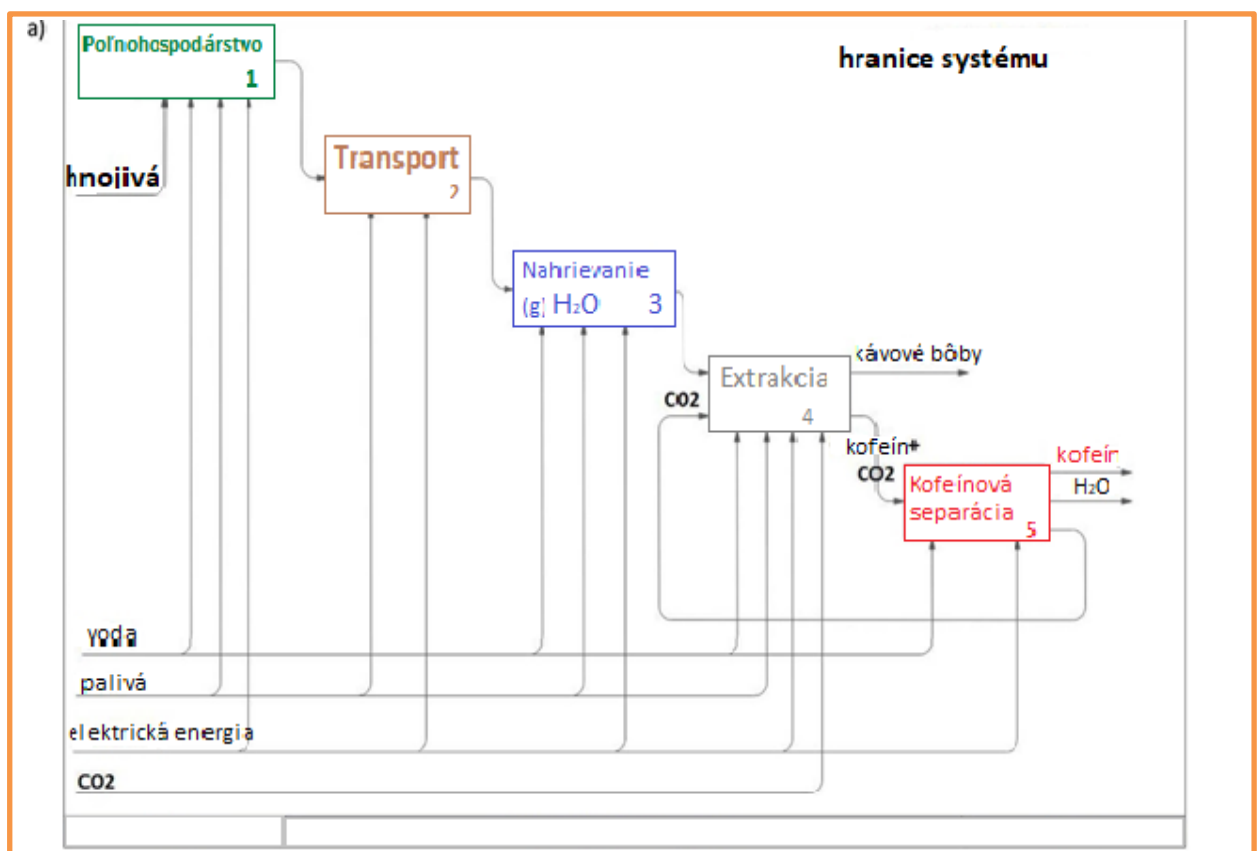
zrn, pretože sú omnoho menej poškodzované. Čo najrýchlejšie po zbere sa oplodie odstraňuje zo zrna za pomoci lúpacieho stroja. Neskôr už by bolo jeho odstránenie problematické a zrnká by sa mohli poškodiť.

Vodou sa odstránia nežiaduce semená (príliš zrelé a zoschnuté) a u zrelých semien následne prebieha proces kvasenia, alebo fermentácie. Môže trvať niekoľko desiatok hodín a uvoľňuje sa pri ňom lepkavá vrstva, ktorá pokrýva pergamenovú šupku semien. Po fermentácii majú zrnká drsnejší povrch a ich šupka sa nelepí. Aby sa takto upravené zrná mohli uskladniť, musí sa znížiť ich vlhkosť, ktorá je po tomto spracovaní asi 50 percentná. Kávové zrnká sa musia nechať sušiť ešte asi dva týždne. Niekedy sa využívajú sušiacie stroje, preferované je však sušenie na slnku. Rozložené zrnká sa musia pravidelne obracať, aby sa sušili rovnomerne a nepopraskala ich pergamenová šupka. Usušené zrná sa označujú ako pergamenová káva a v tomto stave už môžu byť uskladnené. Avšak nie na dobu dlhšiu ako jeden rok. Najväčším nebezpečenstvom pre kávu je vlhkosť, ktorá jej kvalitu znehodnocuje a tak musí byť uskladnená v suchu pri stálej teplote. Pred expedíciou sa z povrchu kávových zrn odstráni lúpacími strojmi pergamenová šupku spôsobom, ktorý sa nazýva lúpanie. Úplne na koniec sa ešte zrná triedia a preberajú podľa veľkosti a hrúbky, čo je určujúcim faktorom pre kvalitu kávy.

DEFINÍCIA CIEĽA A PREDMETU

Cieľom práce bolo vykonať analýzu LCA „od kolísky po bránu“ (cradle-to-gate) výroby kofeínu zloženého zo zmesi Arabika/Robusta 60/40. V analýze sa zvažujú kroky pestovania v Brazílii pre Arabiku a Vietname pre Robustu, preprava kávových zŕn do Talianska a výroba kávy → kofeín (extrakcia kofeínu z kávových zŕn pomocou scCO₂).

Ako **funkčná jednotka (FU)** bol označený 1kg kávy (600g Arabika/ 400g Robusta), z ktorého sa získa 11,4g kofeínu.[3]

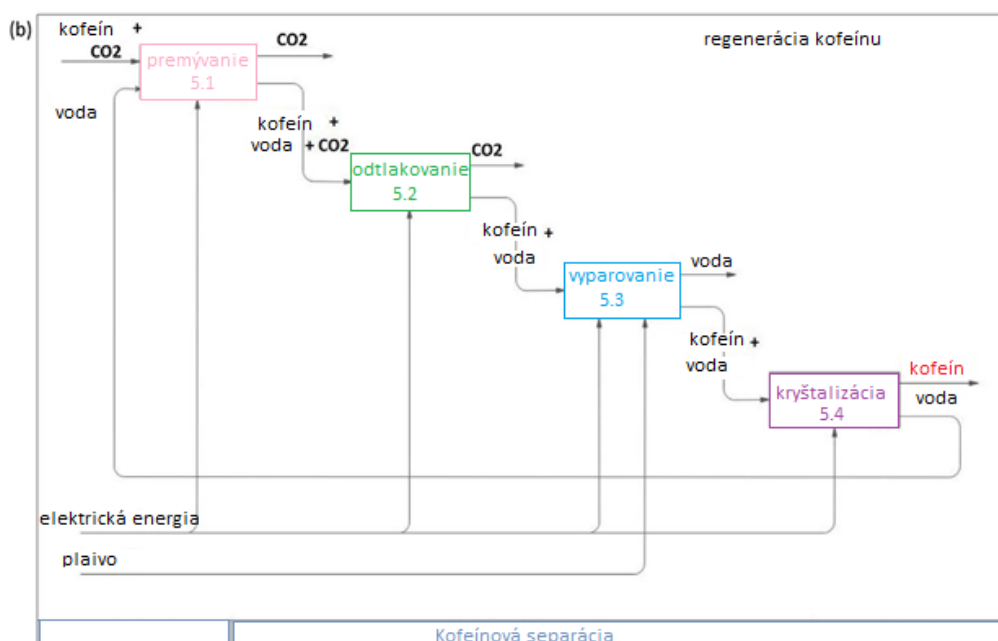


Obrázok č.7 – Hranice systému

INVENTARIZAČNÁ ANALÝZA

Kávové zrná použité pre štúdiu LCA sú vypestované v Brazílii v prípade Arabiky a vo Vietname v prípade Robusty. Po vypestovaní a pozbieraní sa prepravajú do Talianska, kde prebieha extrakcia kofeínu z kávových zŕn v troch krokoch: fermentácia (naparovanie H_2O (g)), extrakcia ($scCO_2$), regenerácia kofeínu.

Po zozbieraní kávovníka (stupeň 1) a transporte k spracovateľovi (stupeň 2) sa zelené kávové zrná dostanú do kontaktu s nahriatou vodnou parou H_2O (g) (stupeň 3), kým obsah ich vlhkosti nedosiahne 30% podľa hmotnosti. Výsledkom je, že kávové fazule výrazne zväčšia svoj objem. Následne 9ton navlhčených kávových zŕn putuje do veľkoobjemovej nádoby – $22m^3$, kde začína extrakčný cyklus (stupeň 4). Extrakčná nádoba je natlakovaná $scCO_2$ (25 MPa a $90^\circ C$), pričom cieľom extrakcie je zisk 97% kofeínu. Zmes kofeín + CO_2 opúšťa extraktor a zadržiavajú sa v nádrži, vyextrahované kávové zrná sa skladujú v silách. Posledným krokom je regenerácia kofeínu (stupeň 5), ktorá sa skladá z viacerých procesov (obr.1B). Na začiatku regenerácie dochádza k premývaniu zmesi kofeín + CO_2 vodou (proces 5.1). Kofeín má vyššiu afinitu k vode, preto pri premývaní dochádza k oddeľovaniu kofeín – $scCO_2$, pričom vzniká tzv. „vodný prúd“ bohatý na kofeín. Následne počas procesu 5.2 sa znižuje tlak prúdu vody + kofeín na 101 325 Pa, kedy sa zostatkový CO_2 odvetráva ako plyn – úplné odstránenie oxidu uhličitého zo systému. Zmes kofeín + voda sú odvádzané do odparovačov, kde sú koncentrované na 1-15hm% (proces 5.3). V poslednom kroku (proces 5.4) sa zmes privádza do kryštalizátora, kde v dôsledku náhleho poklesu teploty dochádza ku kryštalizácii na tuhý kofeín.



Obrázok č.8 – Schéma výroby kofeínu

Tabuľka 3.: Zoznam hlavných údajov vstupov a výstupov pre produkciu kávy, údaje sa vzťahujú na 1kg kávových zŕn (600g Arabika, 400g Robusta) – 11,4 g kofeínu.

Fáza	Vstup/výstup	Jednotka	Množstvo
Poľnohospodárstvo	Pesticídy	kg	5.85E-03
	Nitrogén	kg	1.04E-01
	Herbicídy	kg	6.36E-04
	Nafta	kg	1.06E-01
Preprava	Zelené kávové zrná	kg	8.77E-01
	Preprava nákladným autom	tkm	6.24E-01
	Preprava tankerom	tkm	9.58E+00
Naparovanie (g) H ₂ O	Kávové zrná	kg	8.69E-01
	Voda	kg	1.65E-01
Extrakcia scCO ₂	Kávové zrná	kg	1.03E+00
	Oxid uhličitý	kg	1.24E-01
	Metán	m ³	2.79E-01
	Elektrina	MJ	5.24E+00
	<i>výstup</i> Kávové zrná bez kofeínu	kg	1.00E+00
Premývanie	Kofeín	kg	1.28E-02
	Oxid uhličitý	kg	7.43E-01
	Voda	kg	1.12E+00
	Elektrina	MJ	7.59E-05
	<i>výstup</i> Oxid uhličitý	kg	6.86E-01
Odplyňovanie	Kofeín	kg	1.27E-02
	Oxid uhličitý	kg	5.79E-02
	Voda	kg	1.12E+00
	Elektrina	MJ	8.07E-06
	<i>výstup</i> Oxid uhličitý	kg	5.79E-02
Vyparovanie	Kofeín	kg	1.27E-02
	Voda	kg	1.19E+00
	Palivový olej	kg	2.11E-02
	<i>výstup</i> Voda	kg	1.12E+00
Kryštalizácia	Kofeín	kg	1.27E-02
	Voda	kg	7.2E-02
	Elektrina	MJ	7.2E-02
	<i>výstup</i> Kofeín	kg	1.14E-02

POSUDZOVANIE VPLYVOV ŽIVOTNÉHO CYKLU

Tabuľka 4: Kategórie vplyvov na životné prostredie, ich príslušné skratky, jednotky

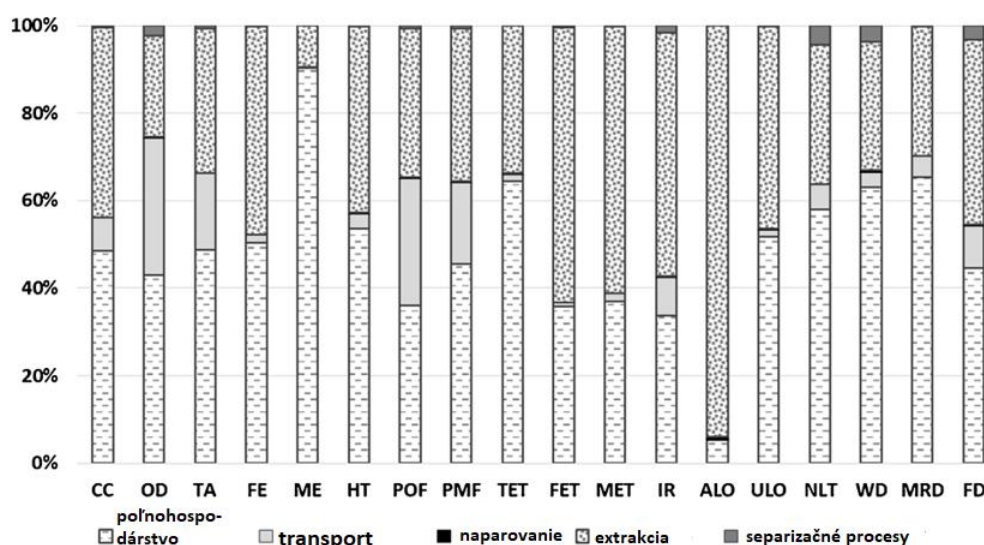
Kategória dopadu	Skratka	Jednotka	Hodnotenie vplyvu
Zmena podnebia	CC	kg CO ₂ eq	3.29E+00
Ozónu	OD	kg CFC-11 eq ²	6.82E-07
Pozemné okyslenie	TA	kg SO ₂ eq	1.82E-02
Eutrofizácia sladkej vody	FE	kg P eq	7.27E-04
Eutrofizácia morskej vody	ME	kg N eq	7.68E-02
Ľudská toxicita	HT	kg 1,4DCB eqa	8.69E-01
Tvorba tuhých znečisťujúcich látok	PMF	kg PM ₁₀ eq	5.95E-03
Pozemná ekotoxicita	TET	kg 1,4DCB eq ²	1.54E-03
Ekotoxicita pre sladkú vodu	FET	kg 1,4DCB eq ²	5.45E-02
Ionizujúce žiarenie	IR	kBq U235 eq ²	3.92E-01
Ľudské zdravie	HH	DALY1	

Vypracovanie inventarizačných údajov sa uskutočnilo prostredníctvom LCA softvéru SimaPro 8.0.5 (PRé Consultants, 2014) štandard pre LCA (t. j. ISO 14040-14044), použitá metóda ReCiPe.

Tabuľka 5.: Hodnotenie vplyvu na životné prostredie pri spracovaní 1kg kávy = 11,4g kofeínu, pri procese spracovania

Kategória dopadu	poľnohospodárstvo	transport	naparovanie vodná para	extrakcia	pranie	odplyňovanie	vyparovanie	kryštalizácia
CC	1.59E+00	2.54E-01	2.25E-03	1.45E+00	7.94E-04	1.41E-06	1.23E-02	2.07E-03
OD	2.94E-07	2.14E-07	2.26E-10	1.59E-07	3.25E-10	2.03E-13	1.46E-08	2.97E-10
TA	8.88E-03	3.20E-03	1.60E-05	6.01E-03	4.80E-06	5.61E-09	1.08E-04	8.23E-06
FE	3.67E-04	1.21E-05	1.22E-06	3.45E-04	2.64E-07	2.59E-10	1.28E-06	3.80E-07
ME	6.93E-02	1.76E-04	1.03E-05	7.32E-03	7.28E-07	9.18E-09	9.68E-06	1.35E-05
HT	4.66E-01	3.02E-02	1.27E-03	3.69E-01	3.72E-04	2.78E-07	1.90E-03	4.08E-04
POF	4.40E-03	3.56E-03	1.45E-05	4.16E-03	2.77E-06	3.30E-09	7.74E-05	4.85E-06
PMF	2.71E-03	1.11E-03	6.44E-06	2.09E-03	2.02E-06	1.78E-09	3.14E-05	2.61E-06
TET	9.91E-04	2.29E-05	3.38E-06	5.18E-04	6.78E-08	9.83E-11	1.31E-06	1.45E-07
FET	1.95E-02	4.75E-04	4.32E-05	3.43E-02	5.08E-05	4.35E-08	8.20E-05	6.38E-05
MET	1.82E-02	8.11E-04	3.87E-05	3.00E-02	4.45E-05	3.77E-08	6.80E-05	5.54E-05
IR	1.32E-01	3.44E-02	4.08E-04	2.18E-01	1.25E-04	2.46E-07	5.64E-03	3.60E-04
ALO	1.22E-01	1.19E-03	1.71E-02	2.19E+00	2.94E-05	5.77E-08	1.64E-04	8.46E-05
ULO	2.07E-02	5.93E-04	1.17E-04	1.84E-02	8.34E-06	4.97E-09	1.20E-04	7.30E-06
NLT	3.75E-04	3.74E-05	3.89E-07	2.05E-04	1.04E-07	2.28E-10	2.84E-05	3.35E-07
WD	2.31E-02	1.31E-03	1.93E-04	1.07E-02	1.12E-03	9.82E-09	2.05E-04	1.44E-05
MRD	1.22E-01	9.06E-03	8.44E-05	5.52E-02	7.67E-05	5.80E-08	3.73E-04	8.51E-05
FD	3.96E-01	8.57E-02	5.92E-04	3.76E-01	2.04E-04	4.36E-07	2.74E-02	6.40E-04

Na obrázku č. 8 sú vyobrazené relatívne príspevky jednotlivých etáp spracovania kávy od zberu, až po samotný produkt – 97% kofeín. Z obrázku je zrejmé, že najväčší dopad má poľnohospodárske spracovanie – ME (eutrofizácia morskej vody), TET (pozemná ekotoxická), MRD (minerálne zdroje). Vplyv transportu má relatívny príspevok najvyšší možno sledovať pri OD (ozón). Príspevok procesu naparovania je vo všetkých prípadoch zanedbateľný, rovná sa nanajvýš 0,7%. Extrakcia je vo všetkých procesoch približne na rovnakej úrovni. Separáciu kofeínu možno sledovať z hľadiska OD -vyčerpania ozónu 2,2%, tvorby tuhých znečisťujúcich látok TMF 4,5%, pozemnej ekotoxicity TET 3,2%.



Obrázok č. 10 - Relatívne príspevky jednotlivých etáp k celkovému dopadu

Emisie z hľadiska vyčerpania ozónu OD a transformácia prírodnej pôdy NLT, pozemná ekotoxicita TET sú spojené so spotrebou nafty na výsadbu/ zber/ prepravu, ale taktiež sú do vysokej miery ovplyvňované využívaním dusíkatých a fosforečných hnojív. Emisie z hľadiska pozemského okysľovania TOT, vyčerpanie vody WD a vyčerpanie minerálnych zdrojov MRD sú spôsobené využívaním dusíkatých hnojív, pesticídov. Emisie z hľadiska morskej eutrofizácie ME, suchozemská ekotoxicita TET je spôsobená dusíkatými aj draselnými hnojivami (K₂O).

MOŽNOSTI MINIMALIZÁCIE VPLYVOV NA ŽIVOTNÉ PROSTREDIE

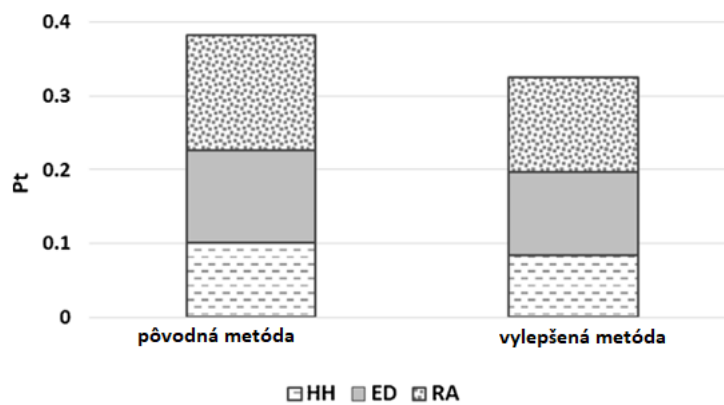
Vykonávaná analýza zvažuje možnosť zníženia emisií hnojív používaných v poľnohospodárstve až o 10-20%, pričom konečný výtazok kávových zŕn ostane nezmenený. Hnojenie závisí od viacerých faktorov ako je napríklad: druh plantáže (v tieni alebo na slnku), v monokultúre alebo nie, spôsob zberu (ručný alebo mechanizovaný). V prípade zdroja elektrickej energie inštalácia a používanie fotovoltaiiky, či už pri sadení, zbere, alebo spracovaní kávovníka. Nahradenie časti zdroja elektrickej energie pomocou fotovoltaiických panelov znamená zníženie celkových emisií z hľadiska všetkých ReCiPe kategórií.

Tabuľka 6.: Posúdenie vplyvu vylepšenej metódy a porovnanie s pôvodnou metódou vyjadrený v %, údaje sa týkajú 1 kg kávy = 11,4 g kofeínu

Kategória dopadu	pôvodná metóda (a)	vylepšená metóda (b)	porovnanie pôvodná vs. vylepšená metóda v %
CC	3.29E+00	2.66E+00	-19.0%
OD	6.82E-07	6.19E-07	-9.3%
TA	1.82E-02	1.55E-02	-15.1%
FE	7.27E-04	6.25E-04	-14.1%
ME	7.68E-02	6.07E-02	-21.0%
HT	8.69E-01	7.67E-01	-11.8%
POF	1.22E-02	1.08E-02	-11.9%
PMF	5.95E-03	5.11E-03	-14.2%
TET	1.54E-03	1.39E-03	-9.5%
FET	5.45E-02	4.54E-02	-16.6%
MET	4.92E-02	4.13E-02	-16.0%
IR	3.92E-01	3.15E-01	-19.7%
ALO	2.33E+00	2.29E+00	-1.5%
ULO	4.00E-02	3.52E-02	-11.9%
NLT	6.47E-04	5.48E-04	-15.3%
WD	3.67E-02	3.11E-02	-15.3%
MRD	1.87E-01	1.65E-01	-12.2%
FD	8.86E-01	7.35E-01	-17.0%

Na základe vykonaných analýz bol navrhnutý ukážkový model, ktorý by znamenal zníženie množstva používaných hnojív až o 20% a nahradenie elektrickej siete fotovoltarikou (fotovoltaické/solárne panely) až o 40%. Z analýzy vyplýva, že vylepšený scenár znamená značné zníženie vplyvov na všetky sledované kategórie. V závere analýzy boli zoskupené všetky environmentálne vplyvy podľa metódy ReCiPe berúc do úvahy poškodenie v konečnom bode t.j. z hľadiska poškodenia ľudského zdravia HH, ekosystému diverzity ED, a dostupnosti zdrojov RA.

Porovnanie medzi pôvodnou metódou a vylepšenou metódou na zníženie emisií je znázornené na obrázku 9. Vylepšené riešenie spôsobilo zníženie celkového vplyvu na životné prostredie vo výške 17,6% pokiaľ ide o dopad na zdravie človeka HH, z hľadiska diverzity ekosystému 10,3% ED a 16,1% z hľadiska dostupnosti zdrojov RA.



Obrázok č.11 – Dopad na životné prostredie pôvodná vs. vylepšená metóda

INTERPRETAČNÁ ANALÝZA

Extrakcia kofeínu pomocou $scCO_2$ z kávovníka je vhodný postup na získanie čistého (97%) kofeínu tzv. mokrou metódou, ktorá je síce finančne náročnejšia, ale oveľa účinnejšia. Štúdia poskytuje analýzu LCA od kolísky po bránu (cradle-to-gate LCA analysis) a poskytuje kvantitatívne informácie o environmentálnych vlastnostiach procesov, ktoré ukazujú že medzi hlavných prispievateľov znečisťovania životného prostredia pri výrobe kofeínu uvádzanou metódou sú poľnohospodárstvo, preprava a extrakcia kofeínu. Štúdia poskytuje možnosti vylepšení – zníženie hnojív, zníženie elektrickej energie, pričom do úvahy sa brala hlavne korelácia medzi dosiahnutím zníženia emisií a potrebnými investíciami na dosiahnutie tohto zníženia.

POUŽITÁ LITERATÚRA

[1] AUGUSTÍN, J. 2003. *Povídání o kávě*. Praha: Jota. 2003. 320 s. ISBN 97-8807-4628-511.

[2] MORGANO, M. A., PAULUCI L. F., MORY, M. E. E., Determinacao De Mineralis Em Café Cru: In *Chaves*; 2002, p. 184-191.

[3] IOLANDA, D. M., STEFANO R., RAFFAELE I., Life cycle assessment of supercritical CO₂ extraction of caffeine from coffee beans: In *The Journal of Supercritical Fluids*; 2018, p. 393-400.

INTERNETOVÉ ZDROJE

<https://kofi.sk/historia-kavy/>

<https://www.temperance.sk/magazin/fermentacia>

<https://www.caffe4u.sk/vyroba-kavy/>