

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH**  
**ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA**

Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství

Studijní obor: Agroekologie – Péče o krajinu

Katedra: Katedra agroekosystémů

Vedoucí katedry: doc. Ing. Petr Konvalina, Ph.D.

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Hodnocení vybraných obilovin v konvenčním a ekologickém zemědělství  
z pohledu obsahu bílkovin a dopadu na emise skleníkových plynů

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jan Moudrý, Ph.D.

Konzultant diplomové práce: Ing. Jaroslav Bernas

Autor diplomové práce: Bc. Ivana Pavlová

České Budějovice, 2018

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Fakulta zemědělská

Akademický rok: 2015/2016

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ivana PAVLOVÁ**  
Osobní číslo: **Z15304**  
Studijní program: **N4101 Zemědělské inženýrství**  
Studijní obor: **Agroekologie - Péče o krajinu**  
Název tématu: **Hodnocení vybraných obilovin v konvenčním a ekologickém zemědělství z pohledu obsahu bílkovin a dopadu na emise skleníkových plynů**  
Zadávající katedra: **Katedra agroekosystémů**

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

1. Vypracování úvodního shrnutí a literární rešerše na téma pěstování vybraných obilovin v konvenčním a ekologickém zemědělství se zaměřením na obsah bílkovin a environmentální dopady
2. Výběr sledovaných plodin
3. Stanovení rámce pro sledování emisní zátěže vybraných plodin
4. Sestavení řetězce technických a agrotechnických operací uvnitř zvoleného rámce a stanovení cyklů pěstování vybraných plodin
5. Analýza databází EKO-INVENT a jejich využití k výpočtu emisní zátěže a zhodnocení produkce emisí během pěstování vybraných plodin
6. Stanovení obsahu bílkovin ve vybraných obilovinách
7. Přepočítání emisní zátěže z jednotky čisté produkce na bílkoviny
8. Vytvoření seznamu literatury v abecedním pořadí dle ČSN

Rozsah grafických prací: tabulky, grafy, fotografická příloha

Rozsah pracovní zprávy: 40 stran textu vč. tabulek

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Cline, W., R.(2007): Global Warming and Agriculture: Impact Estimates by Country, Center for Global Development and the Peterson Institute for International Economics, 98 p.

Fott, P., Pretel, J., a kol. (2003): Národní zpráva České republiky o inventarizaci emisí skleníkových plynů. ČHMÚ, 97 s.

Kočí, V. (2009): Posuzování životního cyklu - Life cycle assessment LCA. Ekomonitor spol. s r.o., Chrudim, 263 s.

Kalvová, J., Moldon, B. (1996): Klima a jeho změna v důsledku emisí skleníkových plynů. Karolinum Praha, 161 s.

Moudrý, J., Konvalina, P., Moudrý, J. jr., Kalinová, J.: Ekologické zemědělství. JU ZF v Č. Budějovicích, 2007, 219 s., ISBN 978-80-7394-046-1

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jan Moudrý, Ph.D.

Katedra agroekosystémů


Konzultant diplomové práce: Ing. Jaroslav Bernas

Katedra agroekosystémů

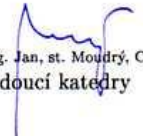
Datum zadání diplomové práce: 15. března 2016

Termín odevzdání diplomové práce: 30. dubna 2017

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Studentůvák 1688, 370 06 České Budějovice

  
prof. Ing. Miloš Soch, CSc., dr. h. c.  
děkan

L.S.

  
prof. Ing. Jan, st. Moudrý, CSc.  
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 15. března 2016

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. 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 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

.....

Bc. Ivana Pavlová

### **Poděkování**

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Janu Moudrému, Ph.D. a Ing. Jaroslavu Bernasovi za profesionální vedení, cenné rady, odbornou pomoc a za čas, který mi věnovali při psaní diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat mé rodině za podporu po celé studium na vysoké škole.

## **Abstrakt**

Zemědělství je po spalování fosilních paliv druhý největší producent emisí skleníkových plynů, které jsou odpovědné za globální změnu klimatu, a je nutné hledat způsoby jak toto environmentální zatížení snižovat. Obiloviny jsou nejpěstovanější plodiny na světě, proto je vhodné zkoumat jejich podíl na tomto zatížení.

Cílem práce bylo zhodnotit a porovnat environmentální aspekty pěstování vybraných obilovin (pšenice, žito a ječmene) v konvenčním i ekologickém systému hospodaření.

Výsledné environmentální zatížení bylo nejdříve spočítáno na 1 kg zrna, a poté bylo toto zatížení přepočítáno na zatížení na 1 kg bílkovin obsažených v zrně vybraných obilovin. Obsah bílkovin v zrně je jedním z ukazatelů kvality zrna.

Pro výpočty environmentálního zatížení byla použita zjednodušená metoda LCA, která slouží pro posuzování vlivu na životní prostředí a zahrnuje celý životní cyklus výrobku.

**Klíčová slova:** emise skleníkových plynů, globální změny klimatu, pšenice, žito, ječmen, bílkoviny obilného zrna, LCA

## **Summary**

Agriculture is, after fossil fuels, the second largest producer of greenhouse gas emissions, which are responsible for global climate change, and it is necessary to look for ways to reduce this environmental load. Cereals are the most cultivated crops in the world, so it is appropriate to examine their share of this load.

The aim of the thesis was to evaluate and compare the environmental aspects of the cultivation of selected cereals (wheat, rye and barley) in the conventional and ecological farming system.

The resulting environmental load was first calculated on 1 kg of grain, and then the load was recalculated to a load of 1 kg of protein contained in grain of selected cereals. Protein content in grain is one of the grain quality indicators.

A simplified LCA method has been used for the environmental load calculations. This method is used for environmental impact assessments and covers the whole life cycle of the product.

**Key words:** greenhouse gas emissions, global climate change, wheat, rye, barley, cereal grain protein, LCA

## OBSAH

1. ÚVOD .....	10
2. LITERÁRNÍ REŠERŠE .....	12
2.1 Globální změny klimatu .....	12
2.1.1 Změny klimatu v zemědělství .....	12
2.1.2 Skleníkový efekt.....	12
2.1.3 Skleníkové plyny.....	13
2.1.3.1 Vodní pára.....	13
2.1.3.2 Oxid uhličitý (CO <sub>2</sub> ).....	13
2.1.3.3 Metan (CH <sub>4</sub> ).....	14
2.1.3.4 Oxid dusný (N <sub>2</sub> O) .....	15
2.1.3.5 Chlorofluorované uhlovodíky (CFC).....	15
2.1.3.6 Ozon (O <sub>3</sub> ).....	15
2.1.4 Ekvivalent oxidu uhličitého .....	16
2.1.5 Skleníkové plyny v zemědělství .....	17
2.1.5.1 Zdroje emisí skleníkových plynů v zemědělství.....	17
2.1.5.2 Hospodářská zvířata jako zdroj skleníkových plynů .....	18
2.1.6 Skleníkové plyny v EU .....	18
2.1.7 Skleníkové plyny v ČR .....	20
2.1.7.1 Skleníkové plyny v zemědělství v ČR.....	20
2.2 Systémy hospodaření.....	21
2.2.1 Ekologické zemědělství .....	22
2.2.2 Význam ekologického zemědělství.....	22
2.2.3 Dopady intenzivních systémů hospodaření.....	23
2.2.4 Snižování emisí v EZ .....	24
2.2.5 Ekologické zemědělství v ČR.....	25



2.2.6	Pěstování obilovin ve světě.....	26
2.2.7	Pěstování obilovin v ČR .....	27
2.2.8	Pěstování pšenice .....	27
2.2.9	Pěstování žita .....	28
2.2.10	Pěstování ječmene.....	28
2.3	Bílkoviny .....	28
2.3.1	Složení zrna pšenice.....	30
2.3.2	Složení zrna žita .....	30
2.3.3	Složení zrna ječmene.....	31
2.4	Posuzování dopadů na životní prostředí.....	31
2.4.1	Posuzování životního cyklu LCA .....	32
2.4.2	Fáze metody LCA .....	33
3.	METODIKA .....	36
3.1	Životní cyklus výrobku (LCA).....	36
3.1.1	První fáze LCA - Definice cílů a rozsahu .....	36
3.1.2	Druhá fáze LCA - Inventarizační analýza.....	37
3.1.3	Třetí fáze LCA – Hodnocení dopadu na životní prostředí.....	38
3.1.4	Čtvrtá fáze LCA - Interpretace životního cyklu.....	38
4.	VÝSLEDKY A DISKUZE .....	39
5.	ZÁVĚR .....	53
6.	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	54

## 1. ÚVOD

Obiloviny patří mezi nejvýznamnější plodiny a na celém světě jsou považovány za základní potravinu. Největší význam v lidské výživě mají kukuřice, rýže a pšenice. Tyto tři plodiny představují přibližně 42,5 % z celosvětového množství potravin a ročně se jich na celém světě sklídí průměrně 2,5 miliardy tun.

V České republice mezi nejpěstovanější obiloviny patří pšenice, ječmen a kukuřice. Pšenice i ječmen mají význam nejen potravinářský, ale jsou využívány i pro krmné účely. Celková sklizňová plocha obilovin v roce 2016 byla 1 359 tisíc ha, což odpovídá přibližně 46 % z celkové orné půdy v ČR.

Kvalita obilovin pro potravinářské účely je dána mimo jiné i obsahem bílkovin. Bílkoviny zajišťují příjem energie a pro lidský organismus jsou nezbytné. Jsou odpovědné za správný vývoj a fungování organismu, zajišťují v těle např. přenos kyslíku a vitamínů.

S intenzifikací zemědělství roste také jeho vliv a podíl na globálních emisích skleníkových plynů. Zemědělství se na těchto emisích podílí z 10 – 13 % a je druhý největší znečišťovatel hned po spalování fosilních paliv. Jednou z možností, jak snížit environmentální zatížení zemědělství je využívat šetrné a trvale udržitelné postupy, které jsou praktikovány v ekologickém zemědělství. Ekologické zemědělství snižuje emise skleníkových plynů a to např. omezením používání minerálních hnojiv, kdy velké množství emisí vzniká již při jejich výrobě, nebo omezením počtu hospodářských zvířat na jednotku plochy.

Pro zjištění, jaké environmentální zatížení způsobují právě nejpěstovanější plodiny – obiloviny – lze využít metodu posuzování vlivu na životní prostředí LCA. Metoda LCA posuzuje environmentální zatížení výrobku nebo služeb a to z hlediska celého životního cyklu. Metoda LCA byla původně využívána pro sledování environmentální zátěže v průmyslové činnosti, postupem času se ale začala využívat pro hodnocení všech oblastí lidských aktivit.

Cílem této práce bylo zhodnotit environmentální zatížení, které vznikne při pěstování vybraných obilovin (pšenice, žito a ječmene) v konvenčním a ekologickém systému hospodaření. Pro vypracování byla použita zjednodušená metoda LCA. Výsledkem bylo environmentální zatížení vzniklé na 1 kilogram zrna vybraných obilovin. Toto zatížení bylo dále přepočítáno na zatížení vzniklé na kg bílkovin

obsažených v zrnu vybraných obilovin, kdy obsah bílkovin představuje kvalitu zrna pro potravinářské využití.

## 2. LITERÁRNÍ REŠERŠE

### 2.1 Globální změny klimatu

Moderní změně klimatu dominují lidské vlivy, které jsou nyní dostatečně velké na to, aby překročily hranice přirozené variability. Hlavní příčina globální změny klimatu je způsobena antropogenními činnostmi, které změnilo složení atmosféry. Tyto změny vyplývají z velkého množství emisí skleníkových plynů spojených s využíváním energií, urbanizací a s využíváním půdy. Příkladem změny klimatu je globální oteplování, které se bude stále více projevovat např. jako extrémní teploty a srážky, pokles celoročních i sezónních pokrývek sněhu a ledu, zvýšení hladiny oceánů (Karl 2003) a ztráta biodiverzity (Reeves a kol. 2016). I když se průměrná teplota vzduchu u povrchu Země během 20. století zvýšila pouze o 0,6 °C, i tento nepatrný nárůst může způsobit mimořádně významné změny (Nátr 2011, Pan 2013).

#### 2.1.1 Změny klimatu v zemědělství

V zemědělství bude negativní dopad nejvíce vidět na degradovaných půdách, které už nebudou mít schopnost vyrovnávat tepelný stres rostlin a nedostatek vody. Na zemědělství bude vyvíjen velký tlak, jako na významného znečišťovatele. Změna klimatu bude vyžadovat omezování rozšiřování zemědělské půdy, omezení používání minerálních hnojiv a snížení emisí metanu z rýžových polí. (Reeves a kol. 2016).

#### 2.1.2 Skleníkový efekt

Zemská atmosféra se skládá ze směsi plynů, převažují molekuly dusíku (78 % objemu) a kyslíku (21 % objemu). Zbytek (1 %) tvoří skleníkové plyny – především vodní pára, oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>), ozon (O<sub>3</sub>) a další složky atmosféry - CH<sub>4</sub>, CO, NO, CFC, ClO, Ar (Kalvová a Moldan 1996).

Skleníkový efekt je způsoben skleníkovými plyny přítomnými v atmosféře. Skleníkové plyny se v atmosféře vyskytují přirozeně, ale s rozvojem společnosti se dostávají do atmosféry i díky antropogenní činnosti (Nemešová a Pretel 1998).

Skleníkové plyny jsou schopné pohlcovat nebo odrážet sluneční záření, totéž platí i pro sluneční záření odražené od Země zpět do prostoru (Vanloon a Duffy 2011). Skleníkové plyny lépe pohlcují záření dlouhovlnné než záření krátkovlnné a samy také vyzařují dlouhovlnnou radiaci jak do vnějšího prostoru (ochlazování), tak i zpět k zemskému povrchu (oteplování). Skleníkové plyny pohlcují tepelnou radiaci vyzařovanou zemským povrchem. Tím na něj působí jako planetární pokrývka a způsobují skleníkový efekt (Nemešová a Pretel 1998). Skleníkový efekt funguje na Zemi téměř od vzniku naší planety. Lidstvo ho však v současnosti svými aktivitami zvyšuje velkou rychlostí (Nátr 2011).

Pokud by se skleníkové plyny v atmosféře nenacházely, byla by průměrná teplota při povrchu Země - 18 °C (Nátr 2006). Vlivem skleníkových plynů je průměrná teplota Země o 21 až 30 °C vyšší, než by byla bez absorpce záření skleníkovými plyny.

### **2.1.3 Skleníkové plyny**

Nejvýznamnějším skleníkovým plynem je vodní pára (Kalvová a Moldan 1996). Její množství v atmosféře ale není přímo ovlivňované lidskou činností. Další významné skleníkové plyny, které jsou lidskou činností ovlivňovány přímo, jsou oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), oxid dusný (N<sub>2</sub>O), chlorofluorované uhlovodíky (CFC) a ozon (O<sub>3</sub>) (Houghton 1998, Nemešová a Pretel 1998).

#### **2.1.3.1 Vodní pára**

Vodní pára má na skleníkovém efektu největší podíl (až z 60 %). Do atmosféry se vodní pára dostává odpařováním. Množství vodní páry v atmosféře nelze ve větší míře ovlivnit lidskou činností. Během několika tisíciletí se obsah vodní páry v atmosféře významně neměnil (Kalvová a Moldan 1996, Vanloon a Duffy 2011).

#### **2.1.3.2 Oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>)**

Koncentrace CO<sub>2</sub> v naší atmosféře se od průmyslové revoluce zvýšila o 30 % až 40 % (Vanloon a Duffy 2011, Krtková a kol. 2016). Jeho koncentrace se nyní pohybuje okolo 400 ppm (parts per milion; dílů či částic na jeden milion), v době

před průmyslovou revolucí nikdy nepřesáhla hodnotu 300 ppm. Přírozený obsah CO<sub>2</sub> v atmosféře a jeho fixace rostlinami jsou součástí globálního cyklu uhlíku, kde nejvýznamnější položku tvoří fotosyntetická fixace zelených rostlin. Rostliny jsou schopné uhlík jak spotřebovat, tak v procesu dýchání zpět uvolňovat do atmosféry. Množství uhlíku se vrací zpět do atmosféry i z půdy, a to při procesu dýchání podzemními orgány rostlin a také při rozkladu organických látek. Obdobný proces se děje i ve světových oceánech. Pevniny i oceány jsou tedy schopné pohlcovat nemalé množství CO<sub>2</sub>. Přesto se koncentrace CO<sub>2</sub> v atmosféře stále zvyšuje, a to díky lidské činnosti (Nátr 2011).

CO<sub>2</sub> vzniká při spalování uhlí, nafty a zemního plynu, tedy při výrobě energie pro transport, tovární výrobu a vytápění. Tato paliva jsou také zdrojem pro výrobu elektrické energie. Spalování fosilních paliv představuje zhruba 80 – 85 % oxidu uhličitého, který je vypouštěn do atmosféry (Nemešová a Pretel 1998). Dalším antropogenním zdrojem emisí CO<sub>2</sub> jsou změny ve využívání krajiny. Tyto změny mohou přispívat k 10 – 30 % emisí z celkových antropogenních zdrojů. Mezi tyto změny patří hlavně odlesňování v tropických oblastech (Reay 2007, Vanloon a Duffy 2011).

### **2.1.3.3 Metan (CH<sub>4</sub>)**

Metan je hlavní složkou zemního plynu. Dále se přirozeně vyskytuje v oblastech, kde se rozkládá organická hmota – bažiny a mokřady. Dalšími zdroji metanu jsou i lidské aktivity – např. spalování dřeva a rašeliny, rozklad komunálních odpadů, střevní fermentace u skotu a dalších hospodářských zvířat (metan se uvolňuje při plynatosti střev), únik z potrubí zemního plynu nebo při intenzivním pěstování rýže (Houghton 1998, Nemešová a Pretel 1998, Nátr 2011).

I když CH<sub>4</sub> nedosahuje takových koncentrací v atmosféře jako CO<sub>2</sub> (koncentrace CH<sub>4</sub> je 1,8 ppm oproti 400 ppm CO<sub>2</sub>), je nezanedbatelný v otázce skleníkového efektu. Je to z důvodu, že zvýšený skleníkový efekt způsobený molekulami CH<sub>4</sub> je přibližně 7,5krát větší než efekt způsobený molekulami CO<sub>2</sub>. Podle Nemešové a Pretela (1998) a Krtkové a kol. (2016) zvýšilo lidstvo koncentraci metanu v atmosféře přibližně o 150 % oproti množství, které by bylo přítomno v přirozených podmínkách.

#### **2.1.3.4 Oxid dusný (N<sub>2</sub>O)**

V atmosféře je zastoupen v menším množství. Jeho koncentrace v atmosféře je okolo 0,325 ppm a ročně se jeho množství zvyšuje o 0,25 %. Má relativně dlouhou životnost – v ovzduší vydrží až 150 let. Jeho množství v atmosféře je asi o 8 až 20 % vyšší než před průmyslovou revolucí (Houghton 1998, Krtková a kol. 2016). Zdrojů N<sub>2</sub>O existuje mnoho, a to jak přirozených, tak i antropogenních. Všechny zdroje jsou ale nesnadno kvantifikované. Mezi hlavní antropogenní zdroje patří dusíkatá minerální i organická hnojiva, doprava, spalování fosilních paliv a biomasy (Kalvová a Moldan 1996). Oxid dusný se z hnojiv uvolňuje jak přímo, tak nepřímo, během skladování a při aplikaci na půdu a plodiny (Kebreab 2013).

#### **2.1.3.5 Chlorofluorované uhlovodíky (CFC)**

Jediným zdrojem těchto látek je lidská činnost (aerosolové rozprašovače, chladicí technika, rozpouštědla apod.). Řada z nich má dlouhou dobu setrvačnosti v atmosféře. Díky Montrealskému protokolu, ve kterém se hovoří o ochraně ozonové vrstvy Země, se koncentrace těchto látek snižují, nebo je jejich nárůst výrazně pomalejší. Maximum těchto látek v atmosféře bylo v roce 1994 (Braníš a Hůnová 2009, Nátr 2011).

#### **2.1.3.6 Ozon (O<sub>3</sub>)**

Ozon patří k důležitým skleníkovým plynům. Vyskytuje se v troposféře i ve stratosféře. Setrvání O<sub>3</sub> v atmosféře je relativně krátké, pohybuje se v rozmezí týdnů až měsíců. Podle odhadů se koncentrace ozonu zvýšily od roku 1750 o 35 % (Braníš a Hůnová 2009). Podle Nemešové a Pretela (1998) je troposférický ozón z velké části produkován automobilovou dopravou a elektrárenským průmyslem.

V tabulce č. 1 jsou uvedeny koncentrace skleníkových plynů v atmosféře a doba jejich setrvání v atmosféře.

**Tabulka 1 - Přehled koncentrací skleníkových plynů a jejich doba setrvání v atmosféře**

<b>Plyn</b>	<b>Koncentrace (ppm)</b>	<b>Doba setrvání v atmosféře</b>
<b>Vodní pára</b>	0 - 40000	10 dní
<b>CO<sub>2</sub></b>	400	20 - 150 let
<b>CH<sub>4</sub></b>	1,8	10 let
<b>N<sub>2</sub>O</b>	0,325	150 let
<b>O<sub>3</sub></b>	0,01 - 0,05	týdny - měsíce

Zdroj: Vanloon a Duffy 2011, Lagzi a kol. 2013

#### 2.1.4 Ekvivalent oxidu uhličitého

Skleníkové plyny mají na klimatické změny a na poškození ozónové vrstvy Země rozdílné účinky. Udává se, že v horizontu příštích sto let bude mít N<sub>2</sub>O přibližně 310 násobně větší účinek na podnebí než CO<sub>2</sub>. CH<sub>4</sub> bude mít cca 21 násobně větší účinek než CO<sub>2</sub>. Při porovnávání vlivů emisí jednotlivých skleníkových plynů se emise převádějí na ekvivalenty oxidu uhličitého (Jelínek a kol. 2001). Ekvivalent CO<sub>2</sub> je jednotka porovnávající časový integrál radiačně absorpčního účinku skleníkového plynu a oxidu uhličitého. Ekvivalent oxidu uhličitého je vypočítán pomocí hmotnosti daného skleníkového plynu násobené jeho potenciálem globálního ohřevu (ČSN EN 16214-1 2013).

Změny ve složení atmosféry způsobí narušení radiačních toků v atmosféře, radiační bilance atmosféry a zemského povrchu. Velikost tohoto radiačního působení se udává ve W.m<sup>-2</sup>. Radiační účinky daných plynů za určité časové období (nejčastěji se používá časové období 100 let) za stejnou dobu se označují jako potenciál globálního oteplování GWP – Global Warming Potential (Braniš a Hůnová 2009). GWP slouží k tomu, aby bylo možné porovnat účinky různých plynů na změnu klimatu, a vztahuje se k účinkům CO<sub>2</sub>. Pro CO<sub>2</sub> je hodnota GWP 1. U ostatních plynů jejich hodnota uvádí, jaké globální oteplování způsobují ve srovnání s CO<sub>2</sub>. Např. 1 kg metanu způsobuje 25krát větší oteplování v průběhu 100 let v porovnání s 1 kg CO<sub>2</sub>, a tak hodnota GWP pro metan je 25, GWP pro N<sub>2</sub>O se rovná 298 (Greenhut a kol. 2015, Krtková a kol. 2017).



## 2.1.5 Skleníkové plyny v zemědělství

Zemědělství je zodpovědné za 10 – 13 % celosvětových emisí skleníkových plynů, tedy 5,1 až 6,1 miliard tun ekvivalentu CO<sub>2</sub> (dále CO<sub>2</sub>eq) ročně (Foster a kol. 2006, Bellarby a kol. 2008, Niggli 2011). Evropa se na množství těchto emisí podílí z jedné čtvrtiny. Pokud jsou k tomuto číslu přičteny i nepřímé zdroje, je zemědělství zodpovědné za více než 30 % emisí skleníkových plynů (Bellarby a kol. 2008). To dělá ze zemědělství druhého největšího znečišťovatele po spalování fosilních paliv. Zemědělství je také největší producent CH<sub>4</sub> a N<sub>2</sub>O, které dohromady tvoří 22 % z globálních emisí (Baumert a kol. 2005).

### 2.1.5.1 Zdroje emisí skleníkových plynů v zemědělství

Produkce CO<sub>2</sub> je spojena převážně s hnojením chlévskou mrvou a umělými hnojivy při kultivaci půdy v rostlinné výrobě (Návarová 2001). Nejdůležitějším zdrojem emisí N<sub>2</sub>O jsou hnojiva. Velká část z dusíkatých hnojiv (organická a minerální hnojiva nebo zelené hnojení a další formy) aplikovaných do půdy, jsou emitovány jako N<sub>2</sub>O, který produkují půdní mikrobiální procesy. Tyto emise N<sub>2</sub>O dosahují více než 40 % z celkových emisí v odvětví (Bouwman a kol. 2002).

Minerální dusík je v mnoha agroekosystémech velmi důležitý pro produktivitu. Produktivita plodin se výrazně zvýšila díky využívání vysokých dávek rozpustných hnojiv, především dusíku, a syntetických pesticidů. Přesto bylo např. v roce 2005 plodinami využito pouze 17 % z vyprodukovaných 100 milionů tun dusíku a účinnost využití dusíku pro produkci pšenice se během období 1960 až 2000 snížila z 80 na 30 %. Nevyužitý dusík z tohoto množství se uvolní do životního prostředí (do vody nebo do ovzduší) a tvoří tak velkou část emisí ze zemědělství (Erisman a kol. 2008). Celkem v roce 2007 emise skleníkových plynů z výroby a aplikace dusíkatých hnojiv dosáhly 750 až 1080 milionů tun CO<sub>2</sub>eq (1 až 2 % celkových globálních emisí skleníkových plynů). V roce 1960 to bylo množství menší než 100 milionů tun CO<sub>2</sub>eq (Niggli 2011). Emise N<sub>2</sub>O jsou zvláště obtížně kvantifikovatelné, protože jsou vysoce závislé na mnoha faktorech, jako jsou místní klimatické podmínky, na použitém typu hnojiva, vlastnostech půdy a plodin, použité technice apod. (Bouwman a kol. 2002).

Nejvýznamnějším zdrojem emisí CH<sub>4</sub> z celosvětového hlediska je produkce rýže. Většina celosvětové produkce rýže je pěstována v mokřadech. V těchto zamokřených podmínkách vzniká metan anaerobními procesy. Dalším významným zdrojem emisí CH<sub>4</sub> jsou intenzivní chovy hospodářských zvířat, zejména skotu (Návarová 2001). Pěstování rýže v mokřadech společně s živočišnou produkcí tvoří zhruba polovinu všech emisí CH<sub>4</sub> (Reeves a kol. 2016). Dalším zdrojem CH<sub>4</sub> je hospodaření s hnojem a spalování biomasy (Návarová 2001).

### **2.1.5.2 Hospodářská zvířata jako zdroj skleníkových plynů**

Hospodářská zvířata přispívají ke změně klimatu přímo i nepřímo produkcí skleníkových plynů, jako jsou CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> a N<sub>2</sub>O. Dvě třetiny metanových emisí pocházejí z enterické fermentace (trávicích pochodů) hospodářských zvířat a z nakládání s chlévskou mrvou, a proto jsou emise metanu přímo úměrné počtům hospodářských zvířat (Niggli 2011). Emise z CH<sub>4</sub> vzniklého díky hospodářským zvířatům se odhadují přibližně na 2,2 miliardy tun CO<sub>2</sub>eq, což představuje zhruba 80 % CH<sub>4</sub> ze zemědělské produkce a 35 % z celkových antropogenních emisí CH<sub>4</sub> (Sejian a kol. 2016). Největší podíl na těchto emisích mají přežvýkavci (skot, ovce a kozy). Nejvíce k těmto emisím přispívá chov skotu, a to z 18 % (Nátr 2011). Jiné zdroje emisí skleníkových plynů související s hospodářskými zvířaty jsou fosilní paliva používaná pro přidružené zemědělské činnosti, emise N<sub>2</sub>O z použití hnojiv a CH<sub>4</sub> z hnoje hospodářských zvířat (Sejian a kol. 2016).

### **2.1.6 Skleníkové plyny v EU**

Zpráva EU o skleníkových plynech uvádí, že emise skleníkových plynů všeobecně klesají. V roce 2013 bylo vyprodukováno ve srovnání s rokem 1990 o 21,2 % méně (- 1203 milionů tun CO<sub>2</sub>eq). Mezi roky 2012 a 2013 došlo v EU ke snížení emisí skleníkových plynů o 86 milionů tun (CO<sub>2</sub>eq). Ke snížení došlo v následujících kategoriích:

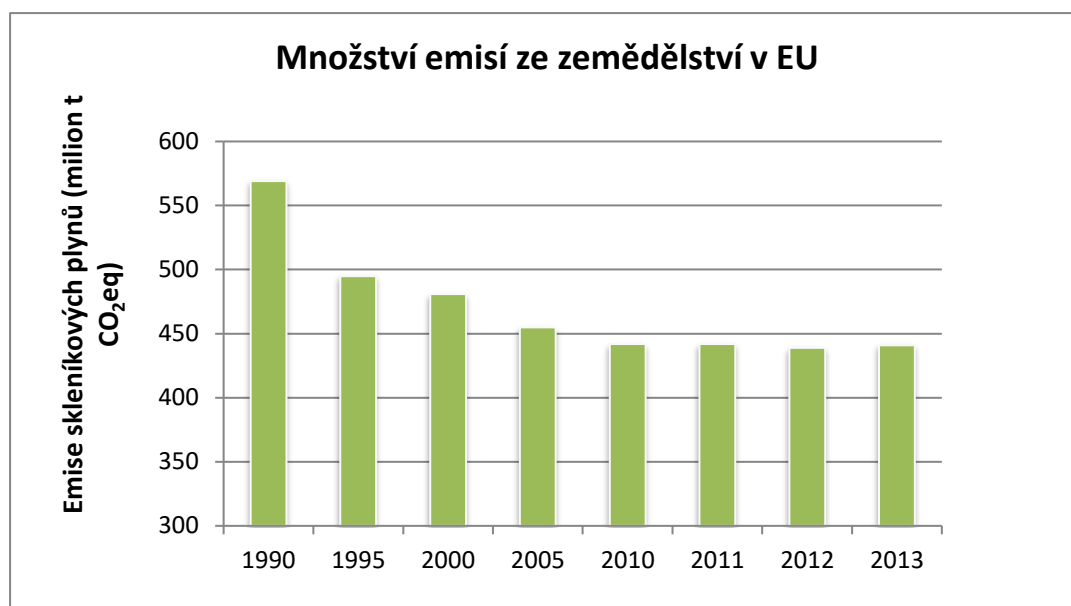
- CO<sub>2</sub> z výroby elektřiny a z produkce tepla (o 70 milionů tun, neboli o 6%) – převážně díky využívání obnovitelných zdrojů energie, hlavně vodní elektrárny, a také díky snížení spotřeby elektrické energie.

- CH<sub>4</sub> z oblasti zpracování odpadů (o 7 milionů tun, neboli o 7%) - emise z tohoto zdroje klesají, protože množství biologicky rozložitelných odpadů, které jsou ukládány na skládky, je každoročně snižováno.
- CO<sub>2</sub> z rafinace ropy (o 7 milionů tun, neboli o 6%) - pokles konečné spotřeby energie z ropných produktů a zvyšování dovozu ropných produktů z území mimo EU.
- CO<sub>2</sub> z výrobních odvětví, kromě železa a oceli (o 6 milionů tun, neboli o 2%) - snížení emisí díky poklesu průmyslové výroby.
- CO<sub>2</sub> z výroby cementu (o 3 miliony tun, neboli o 5%) -v EU výroba cementu klesla o 5%, což odráží všeobecný hospodářský a stavební pokles během posledních let.

V EU je zemědělství druhý největší producent emisí skleníkových plynů. Na prvním místě daleko přesahuje kategorie energie – celkem 3524 milionů t CO<sub>2</sub>eq, oproti druhému zemědělství – celkem 441 milionů t CO<sub>2</sub>eq. Energetický sektor je zodpovědný za 79 % z celkových emisí v EU (údaje z roku 2013). Zemědělství je zodpovědné za 10 % z celkových emisí skleníkových plynů v EU.

V rámci zemědělství došlo od roku 1990 k poklesu skleníkových plynů o 22 %. Trend snižování emisí je znázorněn v grafu č. 1. V roce 1990 bylo celkové množství emisí skleníkových plynů 569 milionů t CO<sub>2</sub>eq, zatímco v roce 2013 to bylo 441 milionů t CO<sub>2</sub>eq (European Environment Agency 2015).

**Graf 1 - Množství emisí ze zemědělství v EU**



Zdroj: European Environment Agency 2015

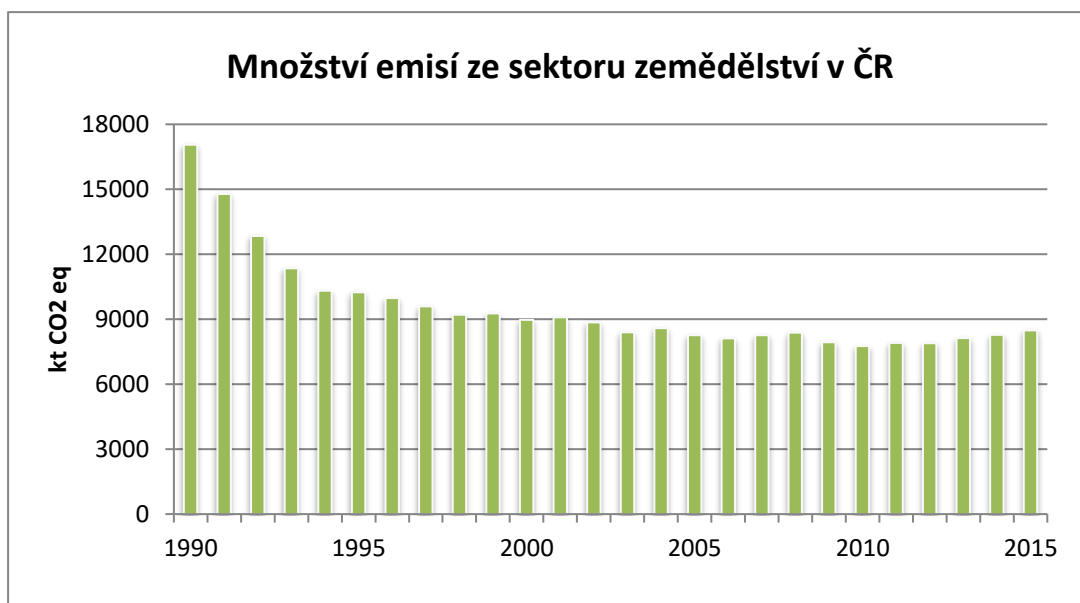
### 2.1.7 Skleníkové plyny v ČR

V roce 2015 byl nevýznamnějším skleníkovým plynem v České republice CO<sub>2</sub> (81,6 % z celkového množství skleníkových plynů), následován CH<sub>4</sub> (10,8 %) a N<sub>2</sub>O (4,8 %). Ostatní skleníkové plyny (PFCs, HFCs, SF<sub>6</sub> a NF<sub>3</sub>) se na celkovém množství podílely z 2,8 %. Během let 1990 – 2015 se emise CO<sub>2</sub> snížily o 37,4 %, emise CH<sub>4</sub> se snížily o 41,6 % a to především díky snížení emisí v oblasti energie, zemědělství a odpadového hospodářství. Zemědělství mělo vliv i na snížení emisí N<sub>2</sub>O, a to o 42,6 %. V roce 2015 bylo celkové množství skleníkových plynů 127 126 kt CO<sub>2</sub>eq, v roce 1990 bylo toto množství 195 827 kt CO<sub>2</sub>eq. Největším znečišťovatelem je v ČR oblast energie (97 973 kt CO<sub>2</sub>eq), na druhém místě je průmyslová výroba (15 413 kt CO<sub>2</sub>eq) a třetí největší producent emisí skleníkových plynů je zemědělství s celkovým množstvím 8 482 kt CO<sub>2</sub>eq (Krtková a kol. 2017).

#### 2.1.7.1 Skleníkové plyny v zemědělství v ČR

Zemědělství je v České republice třetí největší znečišťovatel s podílem 7,15 % na celkovém množství emisí skleníkových plynů (včetně využití půdy, změny využívání půdy a lesnictví). V roce 2015 bylo celkové množství ze zemědělství 8 287 kt CO<sub>2</sub>eq. Od roku 1990 do roku 2015 se emise ze zemědělství snížily o 50 %. Trend snižování emisí v oblasti zemědělství je znázorněn v grafu č. 2.

Graf 2 - Množství emisí ze sektoru zemědělství v ČR



Zdroj: Krtková a kol. 2017

Skleníkové plyny v zemědělství v rámci ČR jsou nejvíce zastoupeny emisemi ze zemědělské půdy (emise  $N_2O$ ), ze střevní fermentace přežvýkavců (emise  $CH_4$ ), z hospodaření s hnojivý (emise  $CH_4$  a  $N_2O$ ) a z aplikace močoviny a vápnění (emise  $CO_2$ ). Ostatní kategorie zdrojů (pěstování rýže nebo vypalování lesů) se v podmínkách ČR nevyskytují (Krtková a kol. 2017).

Hlavní příčiny poklesu množství emisí skleníkových plynů za poslední roky bylo snížení stavu hospodářských zvířat, snížení výměry orné půdy i zemědělské půdy celkem, snížení intenzity rostlinné výroby a útlum některých zemědělských činností. V méně příznivých oblastech se začalo využívat zaměření na údržbu krajiny a mimoprodukční funkce zemědělství, a v neposlední řadě probíhala i modernizace technologií a šlechtění nových plemen a odrůd. V rámci emisí  $N_2O$  tento pokles po roce 1990 zapříčinilo omezení aplikace minerálních dusíkatých hnojiv a to převážně z ekonomických důvodů (Anonym2 2017).

## 2.2 Systémy hospodaření

Ve světě je stále nejrozšířenější způsob hospodaření konvenční zemědělství (KZ). Tento způsob hospodaření převládá hlavně v průmyslově a zemědělsky vyspělých zemích. Je charakteristický vysokou intenzitou hospodaření a použitím

vyšších materiálových vstupů za účelem maximalizace produkce, respektive maximalizace zisku (Moudrý a kol. 2007a). Jako setrvalý způsob hospodaření i pro budoucí generace je považováno ekologické zemědělství (EZ). Přestože environmentálně šetrné postupy nejsou v KZ kontrolovány, EU zavádí řadu pravidel a legislativních opatření, které mají vést ke snižování vstupů v zájmu ochrany životního prostředí.

### 2.2.1 Ekologické zemědělství

Ekologické zemědělství (EZ) je takový druh zemědělství, který dbá na ochranu životního prostředí. Principem EZ je omezení nebo zákaz používání látek a postupů, které znečišťují a zatěžují životní prostředí. EZ dále dbá na správné zacházení s hospodářskými zvířaty a jejich welfare (Zákon č. 242/2000 Sb. o ekologickém zemědělství). EZ je takové zemědělství, kde je cílem vytvoření integrovaných, humánních, ekologicky a ekonomicky udržitelných zemědělských výrobních systémů (Lampkin a kol. 1999).

EZ se řídí myšlenkou o trvale udržitelném rozvoji, případně o trvale udržitelném zemědělství. Zákonem číslo 17/1992 Sb. o životním prostředí je trvale udržitelný rozvoj definován jako takový rozvoj, který současným i budoucím generacím zajišťuje možnost uspokojovat své základní životní potřeby a přitom nesnižuje rozmanitost přírody a zachovává přirozené funkce ekosystémů (Zákon č.17/1992 Sb. o životním prostředí).

### 2.2.2 Význam ekologického zemědělství

Několik důvodů pro hospodaření v systému EZ uvádí Lampkin a kol. (1999).

- Hlavní environmentální výhody, jako zachování půdní úrodnosti, zvýšení druhové diverzity rostlin a zvířat, využití místních a obnovitelných zdrojů a snížení znečištění půd a povrchových a podzemních vod.
- Vzrůstající poptávka po produktech EZ. Bioprodukty jsou vnímány jako produkty s vyšší nutriční a zdravotní hodnotou, částečně z důvodu omezení použití minerálních hnojiv a pesticidů, které zvyšují pravděpodobnost přítomnosti nebezpečných reziduí. Zájem spotřebitelů posilují také přínosy EZ pro dobré životní podmínky zvířat.

- Kvůli nižší intenzitě produkce, může EZ přispět k omezení přebytků, vzhledem k nižším výnosům na jednotku půdy nebo na jedno zvíře, snížení plochy intenzivních plodin a snížení početních stavů hospodářských zvířat.
- EZ nabízí příležitost pro rozčlenění zemědělských podniků, a vzhledem k zvýšení požadavků na pracovní sílu má potenciál přispět k rozvoji venkova.

Kromě konvenčního a ekologického zemědělství, existuje i zemědělství integrované. Tento druh hospodaření představuje mezistupeň mezi oběma typy zemědělství. Cílem je hospodařit v souladu s principy trvale udržitelného zemědělství. Na rozdíl od EZ není však legislativně limitováno, a v případě potřeby lze aplikovat i postupy, které jsou pro EZ zakázané (Moudrý a kol. 2007a).

### 2.2.3 Dopady intenzivních systémů hospodaření

Intenzivní produkce plodin, založená na monokulturách a vysokých vnějších vstupech (minerální hnojiva, pesticidy) způsobila snížení biologické diverzity a narušila ekosystémové služby, včetně genetické rozmanitosti plodin, tvorby půdy a zachování úrodnosti půdy a také narušila biologickou fixaci dusíku do té míry, že ohrožuje udržitelnost samotné výroby potravin (Reeves a kol. 2016). Hlavním důvodem ztráty biodiverzity na venkově v posledních desetiletích byla změna zemědělské krajiny v závislosti na intenzifikaci zemědělství (Gabriel a kol. 2005). V Evropě se vyskytovala heterogenní krajina, která se skládala z malých orných polí, polopřírodních luk, mokřadů a živých plotů. Tato heterogenita byla nahrazena na mnoha místech převážně homogenními oblastmi intenzivně obdělávaných polí (Benton a kol. 2003). To vedlo k poklesu mnoha populací živočichů a rostlin a způsobilo těžkou ztrátu druhů (Krebs a kol. 1999).

Trvale udržitelné systémy hospodaření jsou na vnějších vstupech mnohem méně závislé. Je to dáno především pěstováním rostlin fixujících dusík, zlepšováním pěstebních systémů, recyklací odpadů jako zdroje živin, absencí minerálních hnojiv a pesticidů a také podporou farem s živočišnou i rostlinnou výrobou současně a pěstování jetelotrav, jako zdroj pro výrobu vlastních krmiv (Niggli 2011).

## 2.2.4 Snižování emisí v EZ

Ekologické systémy hospodaření mají oproti konvenčním systémům větší potenciál snižovat emise skleníkových plynů. Je to především z důvodu absence minerálních hnojiv v EZ. Nejvíce je tento rozdíl vidět především pokud se emise skleníkových plynů vztahují na jednotku plochy, pokud je množství emisí počítáno na jednotku produkce, rozdíly se částečně snižují (Brandt a Svendsen 2011).

I když je EZ považováno za energeticky méně náročné než konvenční systémy hospodaření, je nutné dodat, že především v Evropě, kde převažují vysoce mechanizované výrobní a zpracovatelské systémy, je EZ také výrazně závislé na fosilních palivech (De Ponti a kol. 2012).

Přechodem na ekologický způsob hospodaření by se dalo zredukovat přibližně 20 % zemědělských emisí skleníkových plynů. Tento pokles by nastal díky upuštění od používání průmyslově vyrobených dusíkatých hnojiv. Zemědělství s nízkými emisemi skleníkových plynů by bylo v praxi možné a zemědělská činnost by mohla být vůči klimatu neutrální. EZ však vykazuje nižší výnosy plodin (De Ponti a kol. 2012) a stoprocentní přechod na ekologické hospodaření by mohl způsobit globální snížení výnosů, a to až o 30 – 40 % (Niggli 2011) a tento přechod by nebyl schopný zabezpečit dostatek potravin (Parvathi 2017).

Emise skleníkových plynů na plochu jsou v ekologických systémech o 36 % nižší než v konvenčních systémech. Podle Niggliho (2011) jsou v přepočtu na kg produktu emise skleníkových plynů nižší o 18 %, a to z důvodu nižších výnosů v sušině v ekologických systémech. Největší podíl na tomto rozdílu způsobují emise CO<sub>2</sub> a N<sub>2</sub>O, které souvisejí s využíváním minerálních hnojiv v konvenčním zemědělství.

Pro dosažení snížení dopadů zemědělství na životní prostředí v Evropě by podle Tuomista a kol. (2012) měl být budoucí výzkum a zemědělská politika zaměřena na rozvoj zemědělských systémů, které vycházejí z technik ekologických i konvenčních systémů a které produkují vysoké výnosy s nízkými negativními dopady na životní prostředí.

Důležitá doporučení možností snižování emisí skleníkových plynů v zemědělství uvádí Čtvrtá hodnotící zpráva Mezivládního panelu pro změny klimatu (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC). Tato studie shrnuje doporučení IPCC a hodnotí mitigační potenciál ekologického hospodaření (Smith a kol. 2007).



Niggli (2011) uvádí čtyři hlavní oblasti doporučení:

- osevní postupy a charakter zemědělského systému (zahrnuje např. zdokonalování odrůd plodin, zařazování víceletých plodin do osevních postupů, využívání krycích plodin, využívání způsobů hospodaření, ve kterých je omezeno množství vnějších vstupů)
- management živin a hnojení (doporučuje např. efektivnější využívání dusíku – omezováním vyplavování, používání hnojiv s pomalým uvolňováním, aplikace N v době, kdy bude zaručen jeho příjem rostlinou a zamezení nadbytečné aplikaci N)
- chov hospodářských zvířat, zlepšování využití pastvy a zásobování krmivy (např. chov dojníc pro celoživotní užitkovost, kompostování hnoje, využívání leguminóz v travních porostech pro zvýšení produktivity, využívání bioplynu jako zdroje energie)
- péče o úrodnost půdy a obnova degradované půdy (zahrnuje např. zakládat nebo obnovovat vegetační kryt na holé půdě, aplikace kompostu a hnoje, ponechávání posklizňových zbytků jako pokryv a ochrana vodních zdrojů).

### 2.2.5 Ekologické zemědělství v ČR

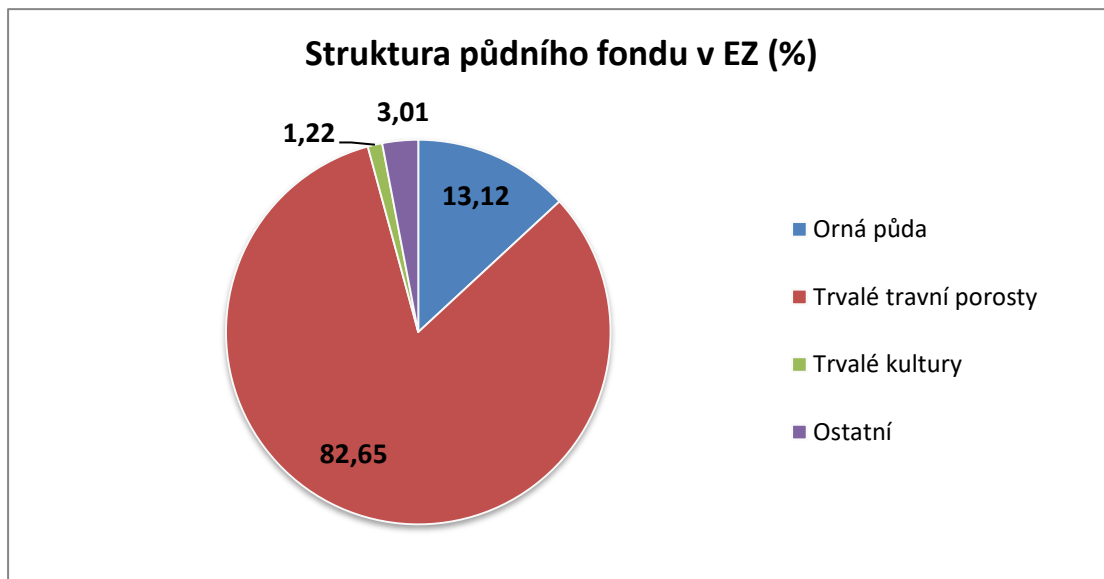
EZ se v České republice začalo rozvíjet až v roce 1990, kdy byly zavedeny první dotační programy na podporu tohoto druhu hospodaření. Poté byly dotační programy pozastaveny, ale v roce 1998 byly zase obnoveny, a začal největší rozvoj EZ v ČR.

V současnosti má EZ význam hlavně pro mimoprodukční funkce zemědělství. Největší zastoupení má v méně příznivých oblastech. V těchto oblastech je nejčastěji chován skot bez tržní produkce mléka, který slouží hlavně pro údržbu krajiny (Moudrý a kol. 2007a).

V roce 2016 byla celková rozloha EZ 506 070 ha, což představuje 12 % podíl na celkové výměře zemědělské půdy ČR. Na této rozloze hospodařilo celkem 4 243 ekofarem (cca 9 % zemědělských podniků v ČR). Na EZ v ČR mají největší podíl trvalé travní porosty (418 tis. ha, což odpovídá zhruba 82,65 % z celkové plochy EZ). Plochy orné půdy v EZ jsou v současnosti 66 tis. ha a dosahují 13,12 % podílu

na celkové půdě v EZ. Struktura půdního fondu v EZ v ČR je znázorněna v grafu č. 3. (Hrabalová 2017).

**Graf 3 - Struktura půdního fondu v EZ**



Zdroj: Hrabalová 2017

### 2.2.6 Pěstování obilovin ve světě

Obiloviny jsou nejvíce pěstované plodiny na celém světě a tvoří základ lidské výživy. Mezi nejdůležitější obiloviny patří kukuřice, rýže a pšenice, kterých se ročně sklídí přibližně 2,5 miliardy t a které představují přibližně 42,5 % z celosvětového množství potravin (Reeves a kol. 2016, Wrigley a kol. 2016). Lidstvo denně zkonsumuje miliony tun obilovin. Navíc jsou obiloviny využívány i jako výživa hospodářských zvířat (pro produkci masa, mléka, vajec) a také v průmyslu (výroba bioethanolu). V Severní Americe a západní Evropě, kde živočišné produkty tvoří téměř dvě třetiny dodávek bílkovin, pšenice stále představuje více než 20 % z příjmu bílkovin (Reeves a kol. 2016).

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations - Organizace OSN pro výživu a zemědělství) ve své publikaci (FAO 2018) uvádí, že v roce 2017 byla produkce obilovin na rekordní úrovni, a to 2,64 miliardy t. Což je o 30 milionů t více než v předchozím roce.

Největším producentem pšenice je EU, kde dosahuje průměrná roční produkce 152,3 milionů t. Druhý největší producent pšenice je Čína (129,6 milionů t).

### 2.2.7 Pěstování obilovin v ČR

V ČR jsou nejpěstovanější obiloviny pšenice, ječmen a kukuřice. Celková sklizňová plocha obilovin v roce 2016 byla 1 359 tisíc ha (oproti předchozímu roku se plocha snížila o 2,2 %). I přes snížení ploch obilovin, byl jejich výnos v roce 2016 rekordní - 8 596,4 tisíc t, což proti předchozímu roku představuje nárůst o 5,1 % a o 13,1 % převyšuje průměr posledních deseti let (2006–2015). Na celkové produkci se největším objemem podílela pšenice, dále ječmen a kukuřice na zrna. Tato produkce svým objemem zabezpečuje kvantitativní i kvalitativní pokrytí domácí potřeby, která činí v dlouhodobém průměru 5,2–5,5 milionů t obilovin celkem (Anonym1 2017).

V systému EZ jsou obiloviny spolu s pícninami hlavními plodinami na orné půdě, kdy obiloviny zaujímají 43 % ploch v EZ a pícniny 44 % ploch. Z obilovin se nejčastěji pěstuje pšenice a oves, které dohromady zaujímají 46 % z celkových ploch obilovin v EZ. K dalším významným obilovinám patří špalda (16,4 %), tritikále (14,2 %) a ječmen (11,3 %) (Hrabalová 2017).

### 2.2.8 Pěstování pšenice

Pšenice je hlavní plodinou teplých a suchých oblastí a patří mezi nejnáročnější obilniny. Má slabě rozvinutý kořenový systém a malou konkurenční schopnost vůči plevelům. Pšenice je velmi náročná na výživu a další agrotechnická opatření. V osevním postupu se zařazuje po jetelovině, luskovině nebo hnojené okopanině. V KZ se nejčastěji pěstuje zimní forma, v EZ je často pěstovaná i forma jarní, a to z řady důvodů (vyzimování, poškození divokou zvěří, deficit dusíku, zaplevelení). Pokud jsou v daném roce příznivé podmínky prostředí, pšenice reaguje vysokým výnosem (Urban a Šarapatka 2003, Konvalina 2008).

### 2.2.9 Pěstování žita

Žito patří mezi nejméně náročné obilniny. Pro EZ je pěstování žita velmi vhodné z důvodu jeho mrazuvzdornosti, snášenlivosti k lehkým a písčitém půdám i nepříznivým klimatickým podmínkám. Je tolerantní k předplodinám, lze ho zařadit i po obilovině. Má vysokou konkurenční schopnost vůči plevelům. Je nenáročný na předset'ovou přípravu (Urban a Šarapatka 2003, Konvalina 2008).

### 2.2.10 Pěstování ječmene

Ječmen lze pěstovat ve všech výrobních oblastech. Pro EZ jsou vhodné jarní odrůdy. Má velmi vysoké nároky na půdy, vyžaduje půdu s rychle přístupnými živinami. Naopak požadavky na teplotu a vláhu nejsou velké. Vhodnou předplodinou jsou hnojem hnojené okopaniny. Vzhledem k poklesu ploch okopanin se ječmen pěstuje i po jiné obilovině, nejlépe po ozimé pšenici. K dobrým výnosům pomáhá zaorávka slámy spolu s hnojivem, nebo zelené hnojení. Při volbě odrůdy je vhodné volit starší a vyšší odrůdy z důvodu lepší konkurenceschopnosti vůči plevelům a více rozvinutého kořenového systému (Urban a Šarapatka 2003, Konvalina 2008).

## 2.3 Bílkoviny

Bílkoviny jsou velké biomolekuly, které se nacházejí v každém živém organismu. Bílkoviny plní v lidském těle tisíce důležitých funkcí nutných pro správný vývoj a fungování organismu (Loftas a kol. 1995). Tyto funkce zahrnují např. přenos vitamínů, kyslíku a oxidu uhličitého (Murray 1998). Všechny bílkoviny jsou vystavěny z mnoha aminokyselinových jednotek spojených do dlouhých řetězců (McMurry 2007).

Aminokyseliny lze rozdělit na esenciální a neesenciální. Esenciální aminokyseliny lidské tělo nedokáže samo syntetizovat, a proto je nutné zajistit jejich příjem potravou. Rostlinné bílkoviny nejsou plnohodnotné, tj. neobsahují všechny esenciální aminokyseliny v dostatečném množství, proto je důležité konzumovat i bílkoviny živočišného původu (Prugar 2008). Největší množství bílkovin je obsaženo v masu, rybách, mléčných výrobcích, luštěninách, oříšcích a obilovinách (Loftas a kol. 1995).

Bílkoviny mají významnou roli v lidské výživě. Z celkového kalorického příjmu by měly bílkoviny u dospělého člověka představovat 10 – 15 % energie dodávané potravou (Kasper 2015). Obiloviny se na našem příjmu bílkovin podílejí zhruba stejně jako bílkoviny dodané konzumací ryb a živočišných produktů, a to přibližně z 37 % (Reeves a kol. 2016). Obiloviny jsou základem potravy v mnoha rozvojových i rozvinutých zemích. Celozrnné výrobky jsou bohatým zdrojem nejen bílkovin, ale i sacharidů, olejů, vitamínů a minerálů (Jonnalagadda a kol. 2011).

Z výživového hlediska jsou u zrn důležité především složky endospermu, který obsahuje hlavní makrosložky - škrob a bílkoviny. Bílkoviny hrají zvláště velkou roli u pšenice, škrob je významný v komplexu s amylolytickými enzymy (Příhoda a kol. 2003).

Složení a velikost zrn obilovin nemusí být vždy stejné. Liší se v závislosti na odrůdě, půdně klimatických podmínkách, ročníku a lokalitě (především na dešťových srážkách, nadmořské výšce nebo teplotním profilu). Dále složení zrna závisí na kvalitě půdy a agrotechnice, především dodržování agrotechnických termínů a živinném režimu (Příhoda a kol. 2003). Obsah bílkovin v znu je důležitým technologickým a kvalitativním parametrem, z důvodu vzájemné souvislosti mezi množstvím bílkovin a objemem pečiva (Hubík a Mareček 2002a). Složení zrn obilovin je zobrazeno v tabulce č. 2.

**Tabulka 2 - Složení zrn obilovin**

<b>Druh</b>	<b>Vlhkost (%)</b>	<b>Bílkoviny (%)</b>	<b>Sacharidy bez vlákniny (%)</b>	<b>Vláknina (%)</b>	<b>Tuky (%)</b>	<b>Minerální látky (%)</b>
<b>Pšenice</b>	14	12,7	66,6	3,4	1,6	1,7
<b>Žito</b>	14	9,9	70,9	1,9	1,6	1,7
<b>Ječmen</b>	14	11,5	66	4,5	2	2,4
<b>Kukuřice</b>	14	10,3	67,5	2,1	4,9	1,2
<b>Oves</b>	13,5	10,1	57,8	10,7	4,7	3,2
<b>Proso</b>	13,5	11,2	60,7	7,9	3,8	2,9
<b>Pohanka</b>	14	8,9	71,3	1,5	1,6	1,7

Zdroj: Martinek a Filip 2012

Bílkoviny lze klasifikovat na základě jejich rozpustnosti, tvaru, biologické funkce nebo trojrozměrné struktury (Murray 1998). Nejčastější dělení bílkovin je podle rozpustnosti v různých rozpouštědlech. V roce 1907 publikoval Osborne frakcionaci pšeničných bílkovin na základě jejich rozpustnosti v různých rozpouštědlech. Bílkoviny tak byly rozděleny do čtyř skupin:

1. albuminy (rozpustné ve vodě)
2. globuliny (rozpustné v roztocích solí)
3. prolaminy (rozpustné v 70 % etanolu – u pšenice nazývané gliadiny)
4. gluteliny (zčásti rozpustné ve zředěných roztocích kyselin a zásad – u pšenice nazývané gluteniny).

Albuminy a globuliny se označují jako bílkoviny rozpustné, zatímco gliadiny a gluteniny jako bílkoviny lepku. Podíl lepkových bílkovin je kolem 80 % (Příhoda a kol. 2003, Zimolka 2005, Prugar 2008).

### 2.3.1 Složení zrna pšenice

Bílkoviny mají v pšeničném zrně největší význam ze všech látek v něm obsažených, a to jak z hlediska technologického, tak i pro nutriční a krmnou hodnotu. Složení zrna není vždy stejné a závisí na vnějších i vnitřních činitelích. Na složení zrna mají vliv půdně klimatické podmínky, agrotechnika, množství srážek v době dozrávání zrna a jiné (Prugar 2008, Martinek a Filip 2012). Jejich množství může kolísat v širokém rozpětí od 8 do 20 % v sušině zrna (Shewry a kol. 2002, Prugar 2008, Martinek a Filip 2012). Nejběžnější množství bílkovin je však 12 – 13 %, se zastoupením osmi esenciálních aminokyselin: lysin 0,4 %, valin 0,5 %, leucin 0,8%, izoleucin 0,4 %, fenylalanin 0,5 %, threonin 0,3 %, methionin 0,2 % a tryptofan 0,2 %. (Prugar 2008, Martinek a Filip 2012).

### 2.3.2 Složení zrna žita

Žitné bílkoviny současných odrůd v našich podmínkách dosahují nejčastěji úrovně od 9 do 12 %. Mají technologicky podstatně menší význam než bílkoviny pšenice. Na množství bílkovin v žitu se mnohem více podílejí agroekologické podmínky než odrůda. Bílkoviny žita mají vyšší obsah albuminů a globulinů, které jsou bohaté na esenciální aminokyseliny. Biologická hodnota žitných bílkovin je tedy

vyšší než u pšenice. S tím souvisí vyšší průměrný obsah lysinu v bílkovinách žita (3,5 g) oproti pšenici (2,9 g/100 g bílkovin). Dále je v žitě vyšší obsah methioninu, valinu, argininu a threoninu. Vlivem některých antinutričních látek je ale stravitelnost a využitelnost žitných bílkovin nižší než využitelnost pšeničných bílkovin (až o 10 %). Podílejí se na tom žitné pentosany, které s bílkovinami (především albuminy) vytvářejí těžkorozpustné komplexy (Petr 2008, Prugar 2008).

### 2.3.3 Složení zrna ječmene

Obsah bílkovin v ječmeni je stejně jako u žita až z 80 % ovlivňován především agroekologickými podmínkami ročníku. Zvolená odrůda ječmene má na obsah bílkovin vliv menší. Obsah ječmenných bílkovin se může pohybovat v rozmezí 8 – 12 %, ale i 16 %. Pro sladařský průmysl je nejvhodnější obsah bílkovin 10,5 – 11,7 %. Obsah albuminů je 11 -12,1 %, Hubík a Mareček (2002b) uvádí, že obsah albuminů v ječmeni představuje 4 % z celkových bílkovin. Ječný albumin se nazývá leucosin. Ječný globulin se nazývá edestin, a jeho hodnoty jsou uváděny mezi 8,4 a 15 %, podle Hubíka a Marečka (2002b) až 18 %. Základní prolamin ječmene se nazývá hornin, tvoří největší část bílkovin a jeho obsah je 25 – 37 %. Obsah glutelinů v ječmeni kolísá v rozmezí 30 – 54,4 % z celkového obsahu bílkovin (Prokeš 2000, Hubík a Mareček 2002b).

## 2.4 Posuzování dopadů na životní prostředí

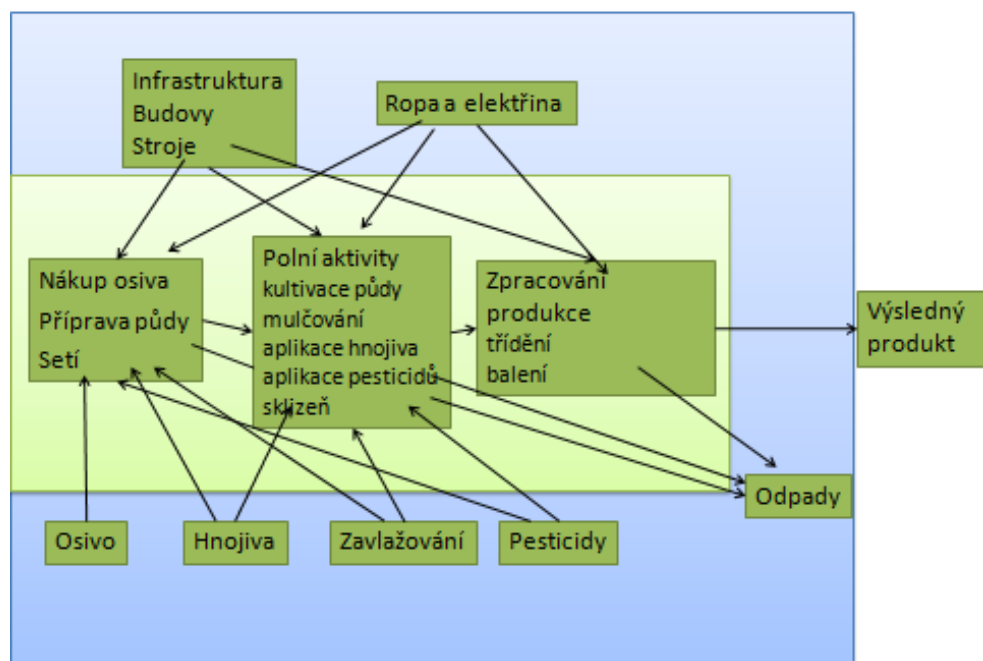
K posuzování environmentálních dopadů na životní prostředí lze použít několik analytických nástrojů, které se liší dle svého zaměření. Jako hlavní analytické nástroje se využívají: Posuzování životního cyklu LCA – environmentální dopady produktových systémů, vztaženy k určené funkční jednotce, Hodnocení environmentálních rizik ERA – zaměření na zdravotní rizika přítomných látek v životním prostředí, Cost Benefit Analysis CBA – hodnocení ekonomických a environmentálních přínosů a nákladů, Input – output analysis IOA – hodnocení materiálových a energetických vstupů a výstupů v rámci daného regionu a Účetnictví materiálových toků – analýza materiálových vstupů a výstupů v rámci určitého regionu a jejich environmentální dopady (Kočí 2009).

## 2.4.1 Posuzování životního cyklu LCA

Mezinárodní organizace pro normalizaci (ISO 2006) definuje LCA jako sestavování a vyhodnocování vstupů, výstupů a potenciální dopad produktu na životní prostředí během celého životního cyklu (Remtová 2003, Kebreab 2013). Metoda LCA tedy zahrnuje environmentální dopady produktů již od procesu získávání a výroby výchozích materiálů, přes proces výroby produktu, proces jeho využití až po jeho odstranění, opětovné použití nebo recyklaci (Kočí 2009). LCA metoda byla dříve používána především pro průmyslovou výrobu, v posledních letech však došlo k rozšíření metody LCA i do oblasti zemědělské produkce, kde se rychle rozšiřuje hlavně v odvětví chovu hospodářských zvířat (Kebreab 2013).

V rámci zemědělství LCA metoda hodnotí celý výrobní systém, který zahrnuje nejen aktivity na poli, ale také veškeré dopady související s výrobou surovin (spotřeba fosilních paliv) a zemědělskými vstupy, jako jsou např. hnojiva, pesticidy nebo osiva (Brenttrup a kol. 2004). Schéma výrobního systému v zemědělství je znázorněno na obrázku č. 1.

**Obrázek 1 - Schéma výrobního systému v zemědělství**



Zdroj: Hayashi a kol. 2005



V zemědělství existuje několik rozdílů od LCA průmyslových procesů. Hlavním rysem je, že zemědělství využívá krajinu a půdu. Rovnováhu půdních živin, jako je dusík (N), fosfor (P) a draslík (K), v rámci aplikace hnojiv a příjmu rostlin, je třeba pečlivě zahrnout do hodnocení. Odhad dlouhodobých zůstatků vyžaduje použití simulačního modelování, které musí být přizpůsobeno místnímu kontextu, aby byly zohledněny změny složení půdy, srážky a nadmořská výška (Harris a Narayanaswamy 2009).

## 2.4.2 Fáze metody LCA

Metoda LCA je regulována normami ISO 14040 a ISO 14044 a podle nich by LCA analýzy měly postupovat ve čtyřech krocích (Remtová 2003, Kočí 2009, Greenhut a kol. 2015):

1. definice cílů a rozsahu
2. inventarizace
3. hodnocení dopadů
4. interpretace

### *Fáze 1- Definice cílů a rozsahu*

Tato fáze obsahuje přesnou definici, co a jak bude posuzováno. Jedná se především o jasnou specifikaci posuzovaného produktu a jeho funkce (Kočí 2009). Rozsah definuje funkci výrobku, funkční jednotku, hranice systému a veškeré požadavky na potřebné údaje nebo omezení (Greenhut a kol. 2015). Jak bude funkce produktu specifikována a kvantifikována, určuje tzv. funkční jednotka. Funkční jednotka závisí na cíli studie a na hranici systému. Jako funkční jednotka se v zemědělství nejčastěji používá environmentální zatížení buď na 1 kg produkce nebo na jednotku plochy (Hayashi a kol. 2005).

Dále je v této fázi nutné stanovit referenční tok, který představuje množství produktu, které je potřeba k naplnění funkční jednotky. Referenční tok slouží ke srovnávání srovnatelného, tedy pokud porovnáváme environmentální dopady dvou či více produktů. V této fázi je také nutné specifikovat studii LCA jako takovou, tedy k čemu bude sloužit a pro koho je určena (Kočí 2009, Remtová 2003).

### *Fáze 2 - Inventarizace*

Další fází LCA je inventarizace, která slouží ke zjištění a vyčíslení všech materiálových a energetických toků vstupujících do životního cyklu produktu a především těch, které cyklus opouštějí a působí v životním prostředí. Z hlediska vstupů se jedná o spotřebu přírodních zdrojů, surovin, materiálů a energie. Z hlediska výstupů se pak jedná o vnášení látek do ovzduší, vody a půdy, a to včetně ukládání odpadů (Remtová 2003, Greenhut a kol. 2015).

Podstatou inventarizace je modelování produktového systému, které se obvykle vytváří pomocí specializovaného databázového software. Součástí inventarizace je sběr dat, kdy je nutné zjistit informace o jednotlivých procesech životního cyklu produktu, o energetické a materiálové náročnosti všech zúčastněných procesů.

Výstupem z inventarizační analýzy jsou informace, jaká množství jakých látek se během celého životního cyklu produktu dostávají do životního prostředí ve formě emisí a jaká množství přírodních surovin byla vyčerpána. Tato data se nazývají ekovektor produktu, a jsou prezentována ve formě inventarizačních tabulek. Výsledkem inventarizace by měl být přehledný souhrn, kolik a jakých látek z okolního prostředí do životního cyklu produktu vstupuje a kolik vystupuje (Kočí 2009).

### *Fáze 3 - Hodnocení dopadů*

Součástí hodnocení dopadů je převedení ekovektoru produktu na hodnoty vhodně zvolených veličin jednotlivých kategorií dopadu (Kočí 2009). V této fázi se hodnotí velikost celkového negativního dopadu posuzovaného výrobku na životní prostředí (Remtová 2003, Greenhut a kol. 2015). První částí je klasifikace, kdy se výsledky z inventarizace přiřadí k jednotlivým kategoriím dopadu. Následuje charakterizace, která slouží k vyčíslení míry působení elementárních toků na jednotlivé kategorie dopadu. Výstupem je soubor výsledků indikátorů kategorií dopadu s konkrétními hodnotami a jednoznačně definovanými jednotkami, nazývaný jako charakterizační profil. Výstupy inventarizace se na indikátory kategorií dopadů převádí pomocí charakterizačních modelů. Toto převedení emisních toků na konkrétní problémy v životním prostředí, je jedním z hlavních přínosů LCA. Po charakterizaci následuje normalizace, tedy vyjádření relativní míry zasažení kategorií dopadu (Kočí 2009).

Harris a Narayanaswamy (2009) uvádí, že ze zkoumaných studií LCA v rámci zemědělství, jsou nejčastější kategorie dopadu acidifikace, eutrofizace, spotřeba energie, využití půdy, používání pesticidů, změna klimatu / potenciál globálního oteplování, abiotické zdroje a vyčerpání ozonu.

#### *Fáze 4 – Interpretace*

Tato část LCA slouží k přehledné prezentaci výsledků typu: „*kteřá kategorie dopadu je nejvíce zasažena*“ apod. Tento typ výsledků se nazývá významné zjištění a je nutné tento výsledek pečlivě zhodnotit. V této fázi je nutné ověřit platnost významných zjištění prováděním speciálních kontrol. Součástí interpretace je vytvoření závěrečné zprávy, která kromě popisu řešení a zjištěných výsledků obsahuje i popis všech přijatých zjednodušení, odhadů či předpokladů (Kočí 2009).

### 3. METODIKA

V diplomové práci byla zhodnocena environmentální zátěž při pěstování vybraných obilovin v konvenčním a ekologickém zemědělství. Výsledná environmentální zátěž byla spočítána jako kg CO<sub>2</sub>eq na kg zrna vybraných plodin. Tyto výsledné zátěže byly dále přepočítány na environmentální zatížení, které vznikne na kg bílkovin obsažených v zrnu (kg CO<sub>2</sub>eq na kg bílkovin v zrnu).

Výpočty emisního zatížení byly zpracovány v softwarovém programu SIMAPro. Jedná se o jeden z nejpoužívanějších nástrojů pro tvorbu analýz LCA. Tento software využívá databáze Ecoinvent a slouží k modelování životního cyklu výrobku v souladu s ČSN EN ISO 14040 (ČNI 2006a) a ČSN EN ISO 14044 (ČNI 2006b).

Práce se zabývala zhodnocením environmentální zátěže, která vznikne při produkci vybraných obilovin. Vstupní data pro zpracování v programu SIMAPro byla získána z publikací Ministerstva zemědělství (MZe) a z publikací Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského (UKZÚZ). Výpočty byly provedeny s použitím běžně uplatňovaných postupů v KZ i EZ, které ve své publikaci uvádí Kavka a kol. (2006).

#### 3.1 Životní cyklus výrobku (LCA)

V této práci je hodnocena pouze jedna kategorie dopadu (změna klimatu vlivem skleníkových plynů) a jedná se tedy o zjednodušenou studii LCA. Zjednodušená studie LCA se sestavuje s užším zaměřením pro zhodnocení jednoho konkrétního parametru v průběhu celého životního cyklu produktu. Tento druh studie LCA se využívá pro výpočet environmentálního zatížení produktu, kde se dopady vyjadřují pouze ve vztahu kategorii dopadu globální oteplování jako ekvivalenty CO<sub>2</sub> (Kočí 2009).

##### 3.1.1 První fáze LCA - Definice cílů a rozsahu

Cílem této práce bylo vyhodnocení environmentálních dopadů při pěstování pšenice, žita a ječmene v KZ a EZ.

Dalším cílem bylo porovnat, kolik bílkovin (N látek), jako ukazatele kvality výživy, tyto vybrané obiloviny vyprodukují a jaké environmentální zatížení vznikne na jednotku produkce bílkoviny a tudíž efektivnost pěstování obilovin v KZ a EZ.

#### *Funkční jednotka*

Jako funkční jednotka byl zvolen 1 kg zrna a 1 kg bílkovin.

#### *Hranice hodnocení výrobního procesu*

Práce byla zpracována na základě veškerých systémových procesů, které jsou potřebné při pěstování vybraných plodin. V rámci vstupů se jednalo o veškeré práce na poli (příprava pozemku, založení porostu, ošetření porostu během vegetačního období, sklizeň), spotřebovaná paliva, osiva, hnojiva a agrochemikálie, dále odvoz zrna, uskladnění zrna a zpracování produktu.

#### *Alokační postupy*

V této práci nebyly alokační postupy uplatněny.

#### *Použitá data*

Data byla shromážděna z publikací MZe a UKZÚZ. Z publikací MZe byly použity Ročenky ekologického zemědělství z roku 2012 - 2016, a publikace Zemědělství z roku 2010 - 2016. Z publikací UKZÚZ byly použity Seznamy doporučených odrůd. Tato data byla doplněna z databáze Ecoinvent.

### **3.1.2 Druhá fáze LCA - Inventarizační analýza**

#### *Primární data*

Zdrojem primárních dat byly publikace MZe a UKZÚZ (ročenky, zprávy o stavu zemědělství, seznamy odrůd pro KZ i EZ). Tyto údaje byly doplněny o údaje z ekologických farem.

#### *Sekundární data*

Sekundární data byla získána především z normativů zemědělských výrobních technologií, metodik pěstitelských a zpracovatelských technologií, odborné literatury a systémových databází.

### *Vstupy a výstupy*

Pro výpočty byla použita primární a sekundární data, a data z databáze Ecoinvent. Data pro výpočet systémových procesů byla získána z publikací MZe a UKZÚZ, z odborné literatury a z odborných metodik.

### *LCA v zemědělství*

Procesy pěstování plodin se skládají z mnoha dílčích procesů. Řadíme sem operace na poli, zemědělské vstupy a emise vzniklé z dusíkatých hnojiv. Mezi polní operace byly zařazeny veškeré činnosti spojeny s pojezdem po poli – např. orba, setí, aplikace hnojiv a prostředků na ochranu rostlin a sklizeň. Kromě spotřeby pohonných hmot, bylo nutné počítat i s množstvím a druhy aplikovaných hnojiv a pesticidů (herbicidů a fungicidů). Dále je nutné započítat i přímé a nepřímé emise N<sub>2</sub>O při aplikaci minerálních či organických hnojiv. Tyto emise byly spočítány dle metodiky IPCC (De Klein a kol. 2006), doplněné o český národní report k inventarizaci skleníkových plynů.

### **3.1.3 Třetí fáze LCA – Hodnocení dopadu na životní prostředí**

K výpočtům environmentálního zatížení pěstování vybraných plodin byl použit program SIMAPro s využitím metody ReCiPe 2008 Midpoint (H) Europe. V této metodě jsou využívána data o potenciálu skleníkových plynů. Výstupem této metody jsou ukazatele, které vyjadřují relativní závažnost dopadu kategorie na životní prostředí.

Jako ekvivalentní jednotka pro výpočet analýzy byl použit ekvivalent kilogramu CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>eq = 1x CO<sub>2</sub> + 23 x CH<sub>4</sub> + 298 x N<sub>2</sub>O) (Moudrý JR. a kol. 2015).

### **3.1.4 Čtvrtá fáze LCA - Interpretace životního cyklu**

V poslední fázi studie LCA byly prezentovány výsledky, byly zhodnoceny emisní zátěže a environmentální problémy při pěstování vybraných plodin, konkrétně u pšenice, žita a ječmene v KZ a EZ. Tyto výsledky jsou popsány v následující kapitole.

## 4. VÝSLEDKY A DISKUZE

V této části práce jsou zpracovány výsledky zjištěné v rámci hodnocení emisí skleníkových plynů při pěstování vybraných obilovin. V první části jsou porovnány emisní zátěže vzniklé během pěstování vybraných plodin v KZ i v EZ (v kg CO<sub>2</sub>eq na kg zrna). Dále jsou tyto výsledky přepočteny na environmentální zatížení emisí skleníkových plynů na jednotku bílkovin (N látek) obsažených v zrnu obilnin (kg CO<sub>2</sub>eq na kg bílkovin). Emise vzniklé při jednotlivých fázích pěstování byly shrnuty do pěti hlavních kategorií:

- Agrotechnické operace – v této kategorii jsou zahrnuty veškeré práce na poli (orba, setí, aplikace hnojiv a pesticidů, sklizeň, elektřina použitá při dosušování, skladování apod.)
- Osivo a sadba – v této kategorii jsou zahrnuty pouze emise vztahující se k osivu
- Pesticidy – zde jsou zahrnuty veškeré přípravky používané na ochranu rostlin (herbicidy, fungicidy), v EZ se tato kategorie nevyskytuje
- Hnojiva – tato kategorie zahrnuje hnojiva minerální i organická
- Polní emise – v této kategorii jsou zahrnuty přímé a nepřímé emise N<sub>2</sub>O z pole

Hlavní zdroje environmentální zátěže ze zemědělství při produkci polních plodin jsou: nafta spotřebovaná při agrotechnických operacích (setí, aplikace hnojiv, zavlažování a sklizeň), výroba strojů, výroba hnojiv a pesticidů, energie spotřebovaná na sušení a chlazení, přímé emise z půdy do ovzduší a vody (dusičnany, N<sub>2</sub>O a amoniak), výstavba budov a využití půdy na jednotku produkce (Williams a kol. 2006).

Camargo a kol. (2013) ve své studii uvádí, že obiloviny (především ječmen, kukuřice a pšenice) spolu s řepkou, vytváří nejvíce skleníkových plynů, díky vysokým nárokům na dostatek N. Dále uvádí, že výnosné plodiny mají tendenci vytvářet menší množství skleníkových plynů. Naopak nejnižší emise skleníkových plynů vznikají při pěstování leguminóz a to ve srovnání s produkcí rajčat a ozimých obilnin (Hillier a kol. 2009).

Nejúčinnější možnosti, jak snížit emise skleníkových plynů (o 5 – 15 %), jsou především snížení množství aplikovaných dusíkatých hnojiv a dosažení vysokého výnosu na ha (Audsley a Wilkinson 2014).

### Environmentální zatížení pšenice

Při pěstování pšenice vzniká v KZ o 37 % více emisí než v EZ. V KZ vznikne 0,5155 kg CO<sub>2</sub>eq a v EZ 0,3775 kg CO<sub>2</sub>eq na kg zrna. Pro srovnání, Syp a kol. (2015) ve své práci hodnotil množství emisí vzniklých během pěstování pšenice v KZ v Polsku. Ze studie vyplývá, že průměrná zátěž je 0,4467 kg CO<sub>2</sub>eq na 1 kg zrna. Množství emisí při pěstování pšenice v KZ a EZ již dříve hodnotil Moudrý JR. a kol. (2013). V této studii bylo zjištěno, že množství emisí z KZ je 0,5581 kg CO<sub>2</sub>eq na 1 kg zrna a z EZ 0,4624 kg CO<sub>2</sub>eq na 1 kg zrna. Větší zatížení z konvenčně pěstované pšenice je způsobeno používáním rychle rozpustných dusíkatých hnojiv (Moudrý JR. a kol. 2013). Jelínková a kol. (2016) ve své práci uvádí, že z pohledu životního prostředí se emisní zatížení systému v rámci produkce pšenice v EZ snižuje o 8,04%.

**Tabulka 3 - Environmentální zatížení při pěstování pšenice**

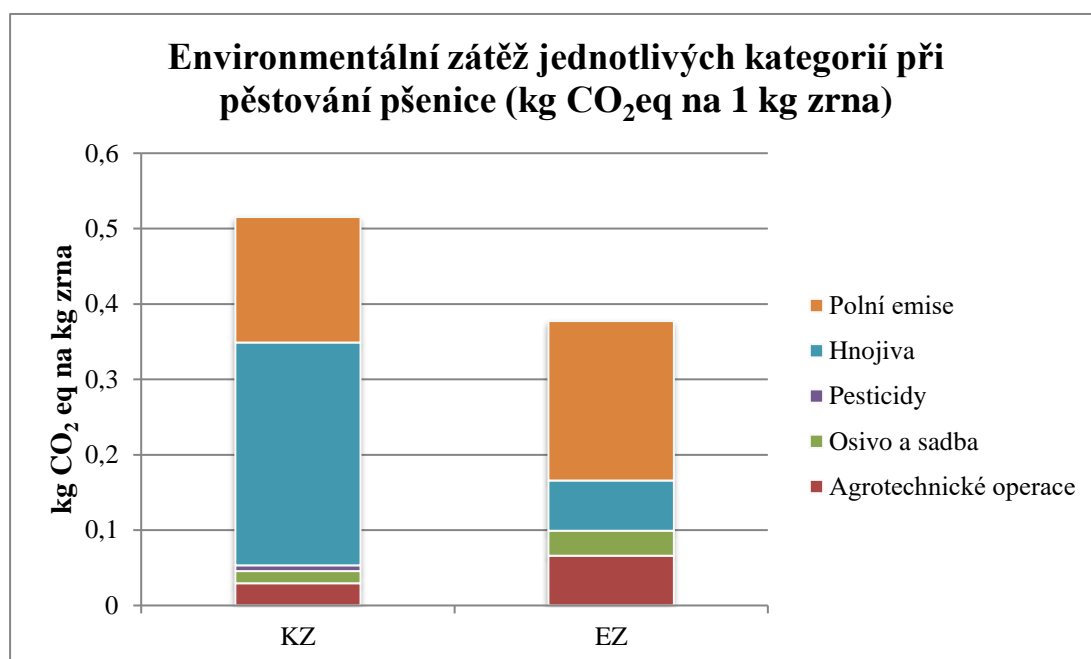
Kategorie	KZ		EZ	
	kg CO <sub>2</sub> eq na kg zrna	%	kg CO <sub>2</sub> eq na kg zrna	%
<b>Agrotechnické operace</b>	0,0295	5,7	0,0660	17,5
<b>Osivo a sadba</b>	0,0160	3,1	0,0333	8,8
<b>Pesticidy</b>	0,0077	1,5	0	0
<b>Hnojiva</b>	0,2957	57,4	0,0667	17,7
<b>Polní emise</b>	0,1666	32,3	0,2116	56
<b>Celkem</b>	<b>0,5155</b>	<b>100</b>	<b>0,3775</b>	<b>100</b>

Tab. č. 3 uvádí množství kg CO<sub>2</sub>eq na produkci 1 kg zrna pšenice z jednotlivých kategorií. V KZ způsobují nejvyšší environmentální zatížení hnojiva (0,2957 kg CO<sub>2</sub>eq na 1 kg zrna) a polní emise (0,1666 kg CO<sub>2</sub>eq na 1 kg zrna). V EZ vzniká největší zatížení z kategorií polní emise (0,2116 kg CO<sub>2</sub>eq na 1 kg zrna), hnojiva (0,0667 kg CO<sub>2</sub>eq na 1 kg zrna) a agrotechnické operace (0,0660 kg CO<sub>2</sub>eq na 1 kg zrna).



Graf č. 4 znázorňuje podíl jednotlivých kategorií na celkovém množství zatížení. Pšenice patří mezi nejnáročnější obilniny, špatně konkuruje plevelům, je náročná na výživu a další agrotechnické operace (Konvalina 2008). Proto je v KZ vysoká spotřeba hnojiv, kde tato kategorie způsobuje největší množství environmentální zátěže. V EZ musí být tyto vysoké nároky zajištěny jiným způsobem než pouze hnojením. Využívá se zde častější ošetření agrotechnikou (např. pro přímou regulaci plevelů). Vysoké environmentální zátěže z polních emisí jsou v EZ způsobeny aplikací většího množství statkových hnojiv. Williams a kol. (2006) uvádí, že při pěstování pšenice v EZ je spotřeba energie o 27 % nižší než v KZ. Toto snížení spotřeby energie při vyloučení výroby minerálních hnojiv je kompenzováno nižšími výnosy v EZ a vyššími nároky na agrotechnické operace.

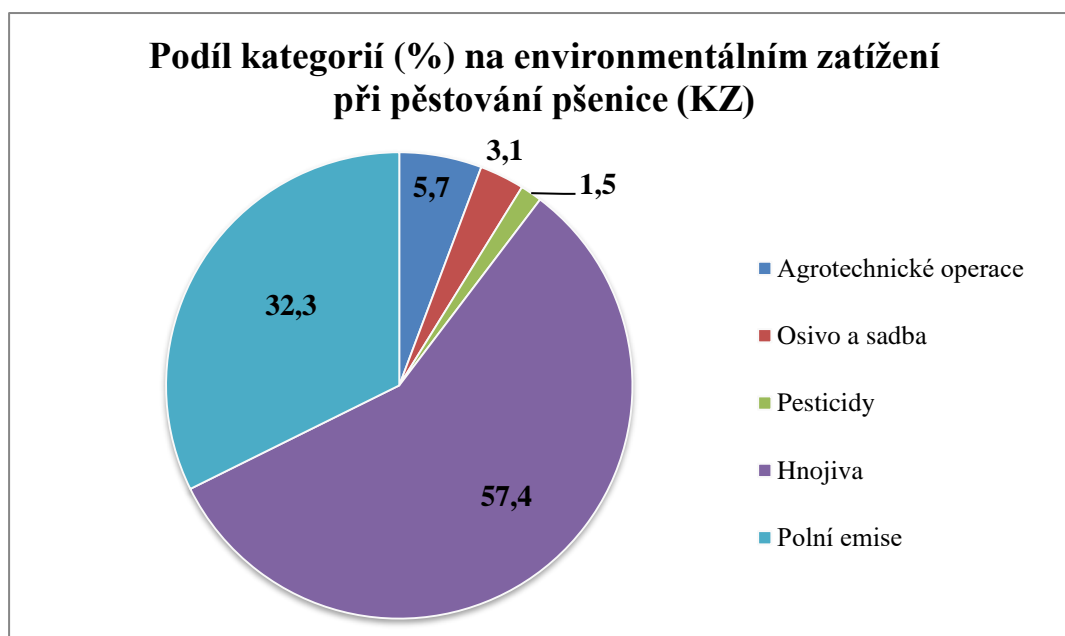
**Graf 4 - Environmentální zátěž jednotlivých kategorií při pěstování pšenice**



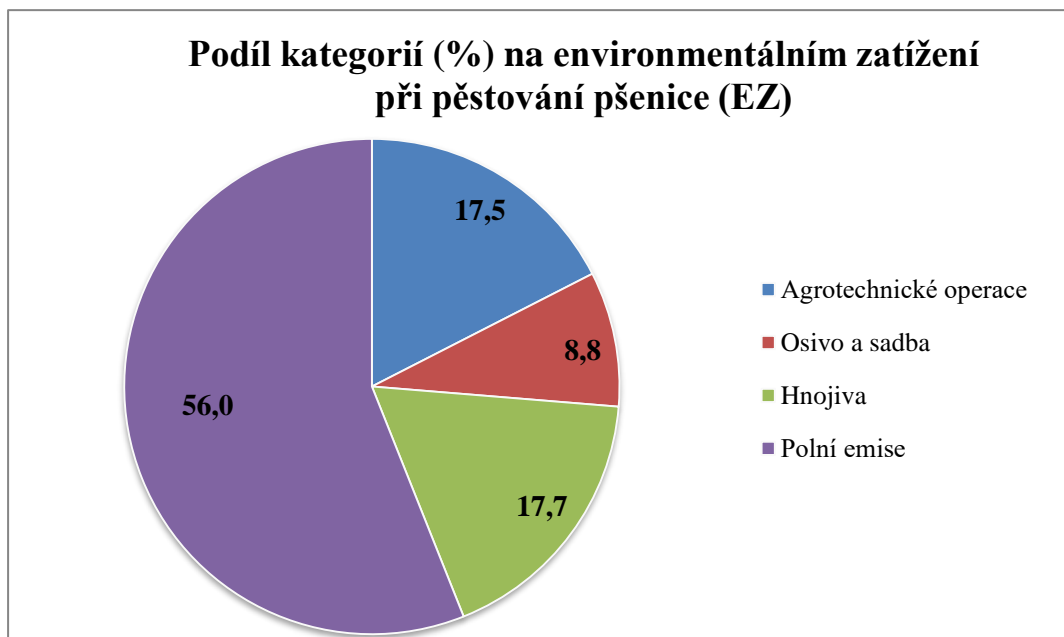
V tab. č. 3 je uvedeno i procentuální zastoupení jednotlivých kategorií. V KZ se na celkovém zatížení nejvíce podílejí hnojiva, a to z 57,4 %. Následují polní emise s 32,3 % podílem. V EZ je podíl kategorií rozdílný, největší podíl na množství emisí CO<sub>2</sub> mají polní emise (56 %), následované hnojivy (17,7 %) a agrotechnickými operacemi (17,5 %). Kompletní podíly jsou znázorněny v grafu č. 5 pro KZ a č. 6 pro EZ. Vyšší emise skleníkových plynů produkované v rámci agrotechnických operací v systému EZ vznikají hlavně z nižších výnosů a větší potřeby agrotechnických vstupů souvisejících s nechemickou ochranou rostlin (Jelínková a kol. 2016).

Syp a kol. (2015) ve své studii uvádí, že největší podíl na emisích mají polní emise  $N_2O$  (49-52%), následované dusíkatým hnojivem (31-33%) a motorovou naftou pro agrotechnické operace (11-13%). Hillier a kol. (2009) ve své studii také uvádí, že nejvíce emisí vzniká díky používání dusíkatých hnojiv, zde je uvedeno, že 75% celkových emisí v obou systémech hospodaření pochází z použití dusíkatých hnojiv - od produkce, aplikace až po přímé emise  $N_2O$  z půdy.

**Graf 5 - Podíl kategorií na environmentálním zatížení při pěstování pšenice v KZ**



**Graf 6 - Podíl kategorií na environmentální zátěži při pěstování pšenice v EZ**



#### Environmentální zatížení žita

Při pěstování žita vzniká více emisí v KZ než v EZ a to o 24 %. V KZ je to celkem 0,3743 kg CO<sub>2</sub>eq na kg zrna, zatímco v EZ je tato hodnota 0,3009 kg CO<sub>2</sub>eq na kg zrna.

**Tabulka 4 - Environmentální zatížení při pěstování žita**

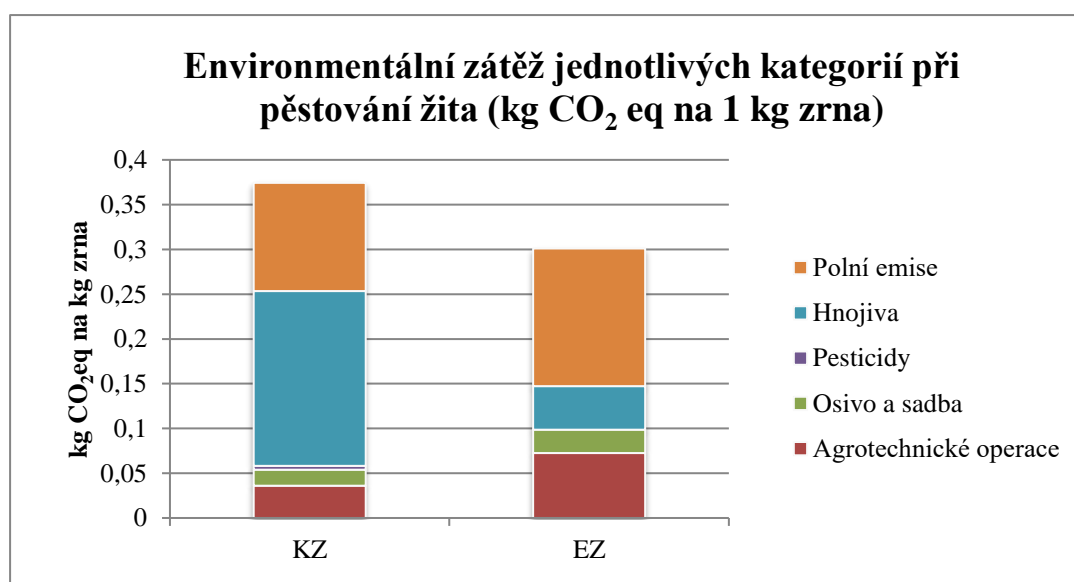
Kategorie	KZ		EZ	
	kg CO <sub>2</sub> eq na kg zrna	%	kg CO <sub>2</sub> eq na kg zrna	%
Agrotechnické operace	0,0360	9,6	0,0727	24,2
Osivo a sadba	0,0178	4,8	0,0260	8,6
Pesticidy	0,0044	1,2	0,0000	0
Hnojiva	0,1954	52,2	0,0485	16,1
Polní emise	0,1208	32,3	0,1537	51,1
<b>Celkem</b>	<b>0,3743</b>	<b>100</b>	<b>0,3009</b>	<b>100</b>

Environmentální zátěž jednotlivých kategorií při pěstování konvenčního i ekologického žita je znázorněna v tabulce č. 4 a grafu č. 7. V rámci KZ připadá největší zatížení na kategorii hnojiva (0,1954 kg CO<sub>2</sub>eq na kg zrna) a polní emise

(0,1208 kg CO<sub>2</sub>eq na kg zrna). V EZ je nejvíce emisí uvolněno v kategorii polní emise (0,1537 kg CO<sub>2</sub>eq na kg zrna) a v kategorii agrotechnické operace (0,0727 kg CO<sub>2</sub>eq na kg zrna).

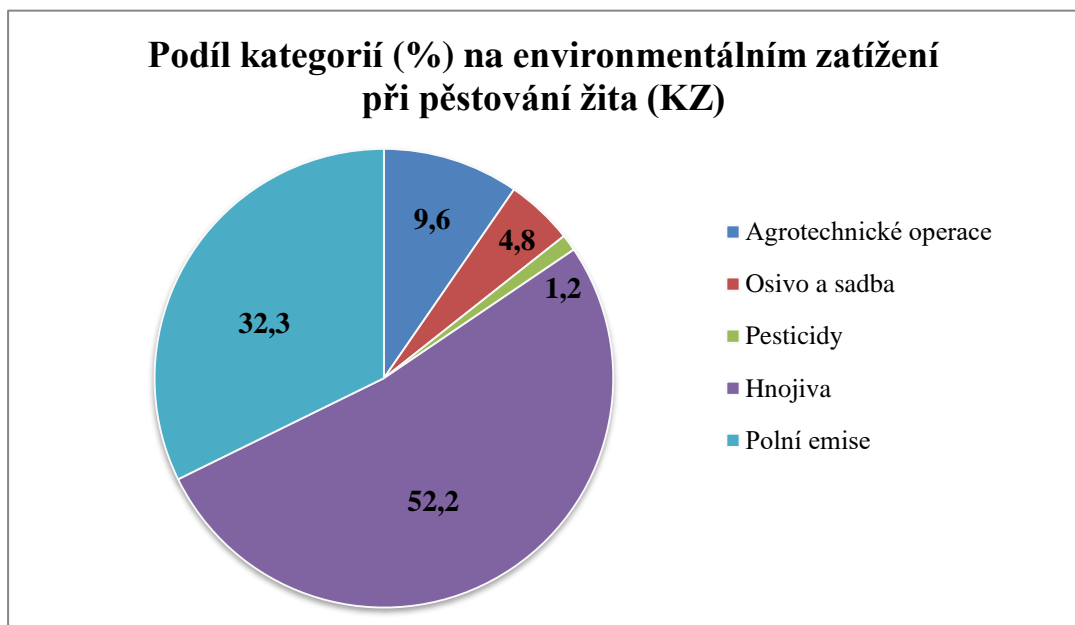
Environmentální zátěž v kategorii agrotechnické operace, je ve všech případech ekologicky pěstovaných plodin vyšší než v KZ. Je to dáno tím, že v EZ jsou větší nároky na mechanickou ochranu rostlin (především plečkování proti zaplevelení). Rozdíl emisí v této kategorii je větší i díky obecně nižším výnosům v EZ. Smith a kol. (2007) uvádí, že jednou z možností jak snížit emise v této kategorii je bezorebný způsob zpracování půdy.

**Graf 7 - Environmentální zátěž jednotlivých kategorií při pěstování žita**



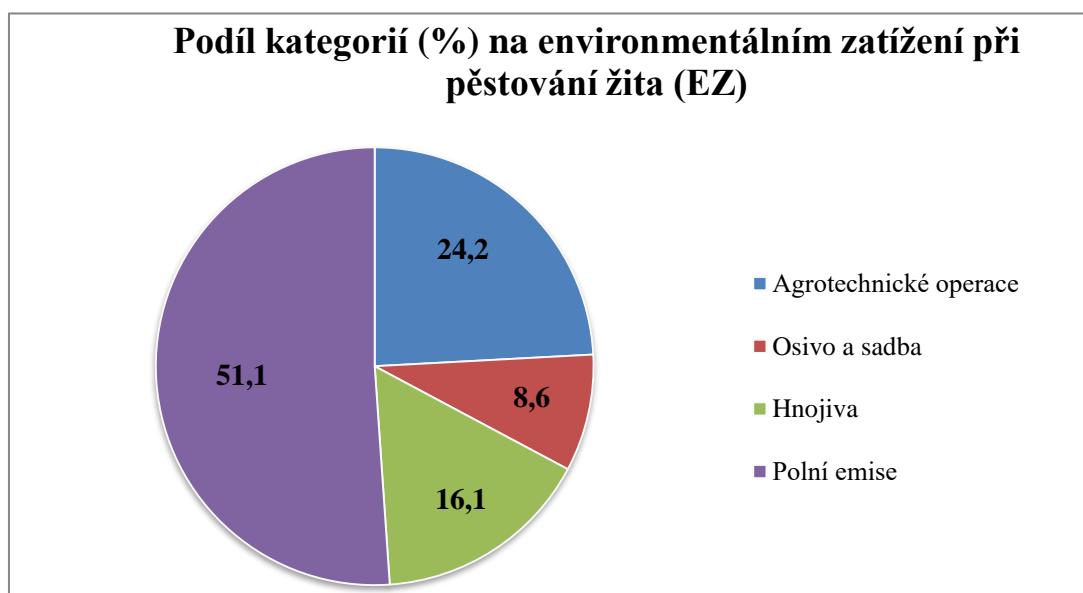
Procentuální zastoupení jednotlivých kategorií na environmentálním zatížení při pěstování žita v KZ je znázorněno v grafu č. 8. Hnojiva tvoří více než polovinu (52,2 %) z celkového zatížení. Z jedné třetiny jsou emise produkovány v kategorii polní emise (32,3 %). Následuje kategorie agrotechnické operace (9,6 %), osivo a sadba (4,8 %) a pesticidy (1,2 %).

**Graf 8 - Podíl kategorií na environmentálním zatížení při pěstování žita v KZ**



Graf č. 9 znázorňuje procentuální zastoupení jednotlivých kategorií na environmentálním zatížení v EZ. V EZ mají největší podíl polní emise, a to 51,1 %, dále agrotechnické operace 24,2 %, hnojiva 16,1 % a osivo a sadba 8,6 %. Kategorie pesticidy se v EZ nevyskytuje.

**Graf 9 - Podíl kategorií na environmentálním zatížení při pěstování žita v EZ**



## Environmentální zatížení ječmene

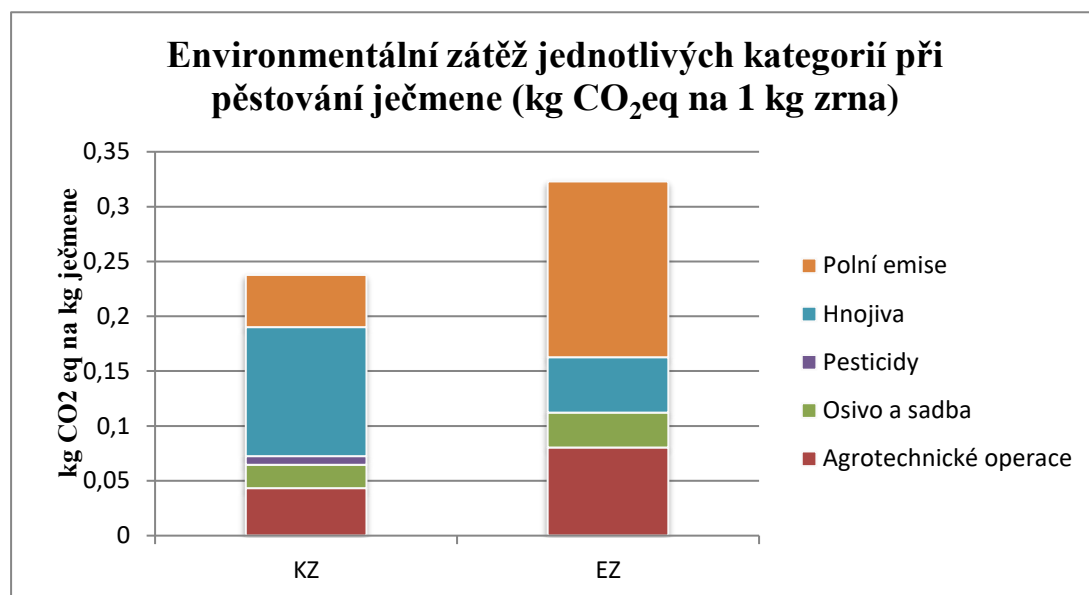
Při pěstování ječmene vzniká více emisí CO<sub>2</sub>eq v EZ než v KZ. V EZ je tato hodnota 0,3228 kg CO<sub>2</sub>eq na 1 kg zrna, v KZ je to 0,2378 kg CO<sub>2</sub>eq. Množství emisí z KZ je tedy o 26 % nižší než z EZ. Množství emisí vzniklých v rámci jednotlivých kategorií při pěstování ječmene uvádí tabulka č. 5.

Tabulka 5 - Environmentální zatížení při pěstování ječmene

Kategorie	KZ		EZ	
	kg CO <sub>2</sub> eq na kg zrna	%	kg CO <sub>2</sub> eq na kg zrna	%
Agrotechnické operace	0,0432	18,2	0,0803	24,9
Osivo a sadba	0,0215	9,0	0,0318	9,9
Pesticidy	0,0076	3,2	0,0000	0
Hnojiva	0,1178	49,5	0,0505	15,6
Polní emise	0,0476	20,0	0,1602	49,6
<b>Celkem</b>	<b>0,2378</b>	<b>100</b>	<b>0,3228</b>	<b>100</b>

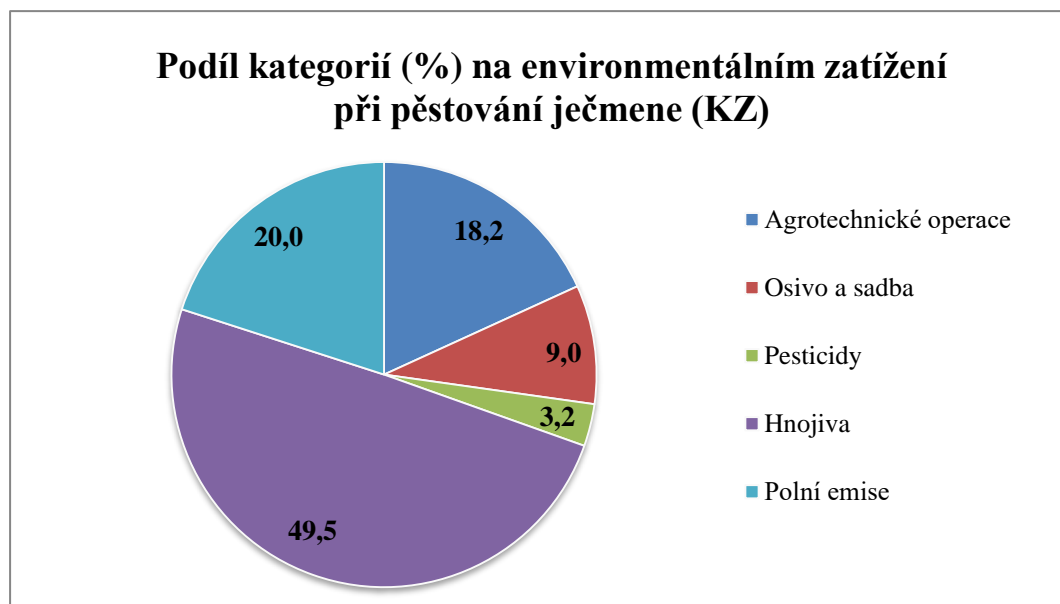
Největší podíl na vzniklém environmentálním zatížení mají v KZ hnojiva (0,1178 kg CO<sub>2</sub>eq na kg zrna) dalším největším zdrojem jsou polní emise (0,0476 kg CO<sub>2</sub>eq na kg zrna) a agrotechnické operace (0,0432 kg CO<sub>2</sub>eq na kg zrna). Z agrotechnických operací mají největší podíl orba a sklizeň. V EZ jsou tyto poměry odlišné – největší podíl na vzniklých emisích mají polní emise (0,1602 kg CO<sub>2</sub>eq na kg zrna), dále agrotechnické operace (0,0803 kg CO<sub>2</sub>eq na kg zrna) a hnojiva (0,0505 kg CO<sub>2</sub>eq na kg zrna). Nejnáročnější operace v EZ jsou také orba a sklizeň. Z grafu č. 10 vyplývá, že největší rozdíl mezi oběma systémy hospodaření vzniká v kategoriích hnojiva a polní emise. V KZ je výraznější podíl hnojiv, díky aplikaci minerálních dusíkatých, draselných a fosforečných hnojiv, zatímco v EZ je aplikován pouze chlévský hnůj. Přímé a nepřímé polní emise N<sub>2</sub>O vznikají při aplikaci hnojiv, kdy ze statkových hnojiv se uvolňuje největší množství N<sub>2</sub>O. Agrotechnické operace způsobují větší zátěž v EZ, to je dáno především větším množstvím těchto zásahů, které se v EZ využívají pro přímou mechanickou regulaci plevelů (použití prutových bran, pleček apod. (Moudrý a kol. 2007b).

Graf 10 - Environmentální zátěž jednotlivých kategorií při pěstování ječmene

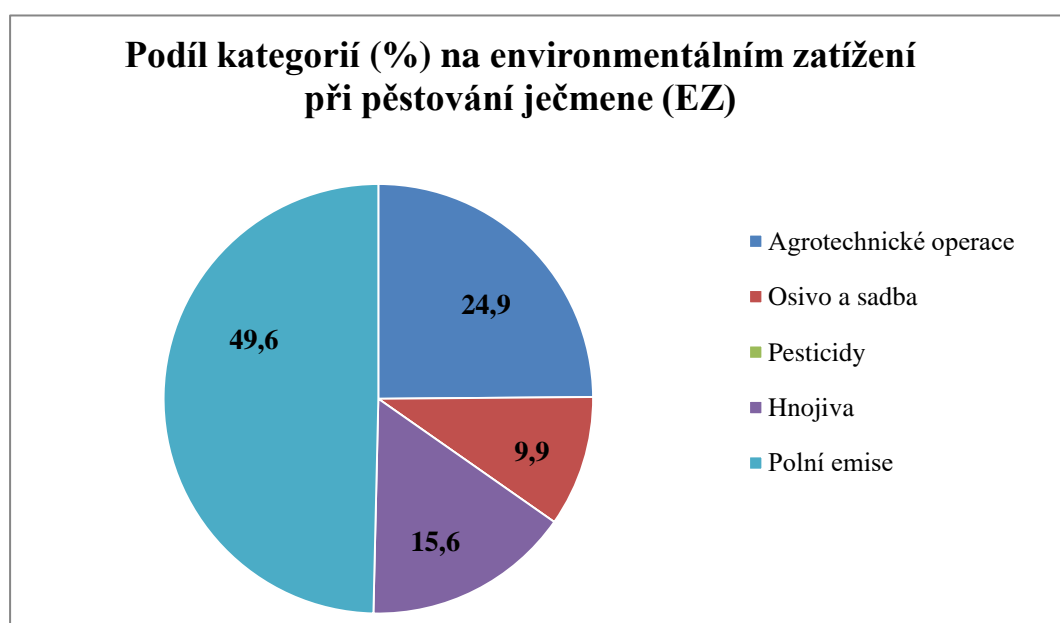


Procentuální podíl jednotlivých kategorií v KZ a EZ na environmentálním zatížení znázorňují grafy č. 11 a č. 12. V KZ téměř polovinu (49,5 %) vytvářejí hnojiva, zatímco v EZ vytvářejí polovinu vzniklého zatížení polní přímé a nepřímé emise N<sub>2</sub>O (49,6 %). Druhé nejvyšší emise vznikají při agrotechnických operacích, které jsou u ekologického ječmene nezbytné. Vzhledem k nízké konkurenční schopnosti ječmene vůči plevelům, je po vhodném osevním postupu dále nutné základní zpracování půdy (podmítka) a předseťová příprava a pěstování meziplodin. Pro přímou regulaci plevelů se stejně jako u ostatních obilnin používá vláčení (Konvalina 2008).

**Graf 11 - Podíl kategorií na environmentálním zatížení při pěstování ječmene v KZ**



**Graf 12 - Podíl kategorií na environmentální zatížení při pěstování ječmene v EZ**



### **Srovnání environmentálního zatížení vybraných plodin**

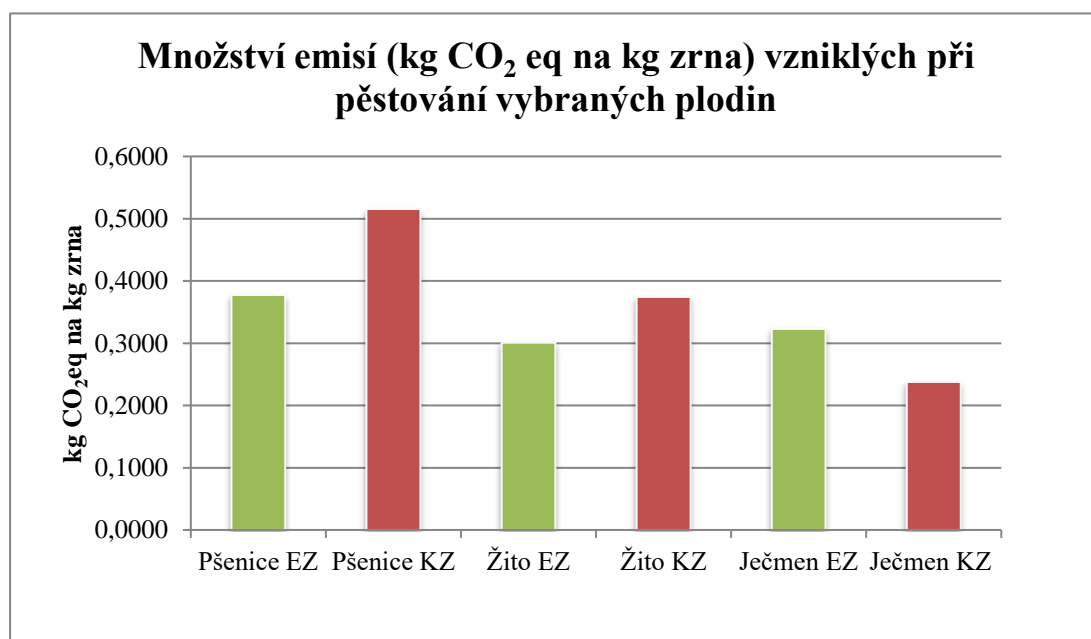
Emise skleníkových plynů ze zemědělské půdy závisí na typu zemědělského systému, pěstovaných plodinách a na použitých výrobních postupech (Knudsen a kol. 2014). Vzniklé environmentální zatížení je obecně vyšší na obdělávané půdě než na neobdělávaných půdách nebo trvalých travních porostech (Ball a kol. 2014). V



zemědělských oblastech, kde probíhá zpracování půdy, jsou emise skleníkových plynů na jednotku plochy často nižší v EZ než v KZ (Knudsen a kol. 2014).

Z grafu č. 13 vyplývá, že největší environmentální zatížení vzniká při pěstování pšenice v režimu KZ, následuje pšenice v EZ, žito v KZ, ječmen v EZ, žito v EZ a nejmenší environmentální zatížení vzniká při pěstování ječmene v KZ. To je dáno obecně nižšími výnosy ječmene. Niggli (2011) uvádí, že EZ má oproti KZ, které je založeno na chemikáliích, o 25 až 50 % nižší požadavky na vstupy energie. Fott a kol. (2003) uvádí, že nejvíce emisí se uvolňuje při aplikaci hnojiv. Daxbeck a kol. (2008) uvádí, že emise z hnojiv a N<sub>2</sub>O v KZ tvoří 87 % a v EZ 74 %. Mezi hlavní nástroje pro snižování emisí skleníkových plynů patří snižování dávek minerálních hnojiv (Johnson a kol. 2007).

**Graf 13 - Environmentální zatížení vzniklé při pěstování vybraných plodin**



#### **Zatížení CO<sub>2</sub>eq – přepočítání na kg bílkovin**

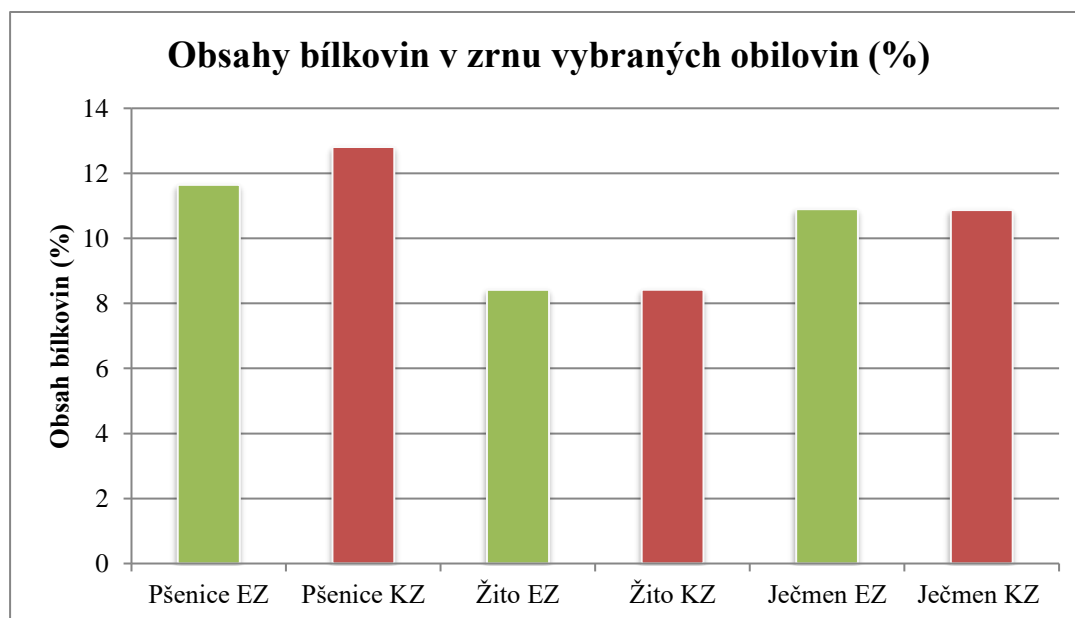
Získaná data z programu SIMAPro, jaké environmentální zatížení (kg CO<sub>2</sub>eq) vznikne při pěstování vybraných plodin na 1 kg zrna, byla v programu MS Excel přepočtena na zatížení CO<sub>2</sub>eq na kg bílkovin (N látek) obsažených v zrna. Obsahy bílkovin byly zjištěny z publikací UKZÚZ.

Obsahy bílkovin ve vybraných obilovinách jsou znázorněny v grafu č. 14. Nejvíce bílkovin v zrna obsahuje konvenčně pěstovaná pšenice (12,81 %), dále

ekologicky pěstovaná pšenice (11,65 %), následuje ekologický ječmen (10,9 %) a konvenční ječmen téměř se stejným obsahem (10,87 %). Data pro ekologicky pěstované žito nebyla k dispozici, lze ale předpokládat stejné nebo mírně nižší obsah bílkovin jako u konvenčního, kde je tato hodnota 8,42 %. Pro výpočty bylo zvoleno stejné množství bílkovin u obou zemědělských systémů.

Obsah bílkovin je důležitý, protože ovlivňuje kvalitu zrna pro mlýnské zpracování, zejména tvorbu lepku pro výrobu chleba. Obsah bílkovin má významný dopad také na konečnou cenu zrna a je často považován za kritérium pro tvorbu cen obilovin (Caporaso a kol. 2018).

**Graf 14 - Obsahy bílkovin v zrně vybraných obilovin**



Po přepočtu na environmentální zatížení na 1 kg bílkovin v zrně vniká nejvíce emisí při pěstování konvenčního žita (4,4458 kg CO<sub>2</sub>eq na kg bílkovin), dále při pěstování pšenice v KZ (4,0244 kg CO<sub>2</sub>eq na kg bílkovin) a při pěstování žita v EZ (3,5730 kg CO<sub>2</sub>eq na kg bílkovin). Vysoká environmentální zátěž žita je dána především nižšími výnosy a také nižším obsahem bílkovin v zrně. Nejnižší environmentální zatížení po tomto přepočtu má ječmen v KZ (2,1877 kg CO<sub>2</sub>eq na kg bílkovin) a ječmen pěstovaný v EZ (2,9617 kg CO<sub>2</sub>eq na kg bílkovin). Přepočty environmentálního zatížení na kg bílkovin jsou uvedeny v tabulce č. 6.

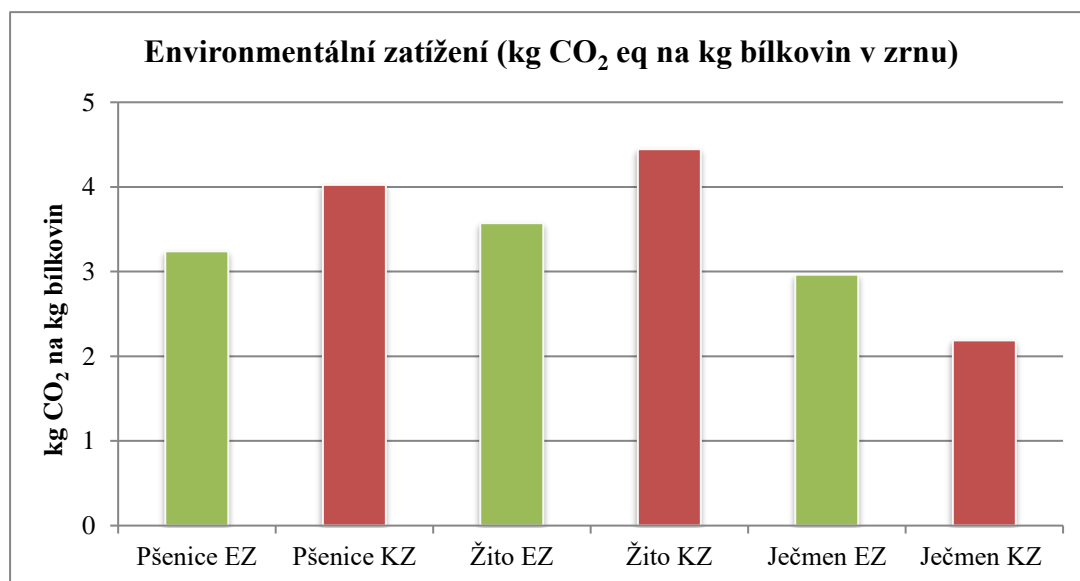
**Tabulka 6 - Environmentální zatížení vybraných obilovin a obsah bílkovin v zrně**

	kg CO <sub>2</sub> eq na kg zrna	Obsah bílkovin (%)	kg CO <sub>2</sub> eq na kg bílkovin
<b>Pšenice EZ</b>	0,3775	11,65	3,2403
<b>Pšenice KZ</b>	0,5155	12,81	4,0244
<b>Žito EZ</b>	0,3009	8,42	3,5730
<b>Žito KZ</b>	0,3743	8,42	4,4458
<b>Ječmen EZ</b>	0,3228	10,9	2,9617
<b>Ječmen KZ</b>	0,2378	10,87	2,1877

Po přepočtu na environmentální zatížení na kg bílkovin, je toto zatížení u pšenice pěstované v EZ o 19 % nižší než u pšenice v KZ. I v případě žita je nižší zatížení v EZ, a to o 20 %. Při pěstování ječmene je v KZ toto zatížení nižší o 26 %. V grafu č. 15 je znázorněno environmentální zatížení vybraných obilovin v kg CO<sub>2</sub>eq vztažených na kg bílkovin obsažených v zrně těchto obilovin.

Množství environmentálního zatížení různých plodin na kg bílkovin hodnotili ve své práci Audsley a Wilkinson (2014). Z této studie vyplývá, že zatížení na kg bílkovin u pšenice bylo 4,56 kg CO<sub>2</sub>eq na kg bílkovin, u zimní formy ječmene 3,97 kg CO<sub>2</sub>eq na kg bílkovin a u jarní formy ječmene 3,81 kg CO<sub>2</sub>eq na kg bílkovin. Z obilovin byla dále hodnocena kukuřice, kde zatížení kg CO<sub>2</sub>eq na kg bílkovin bylo 4,33 a 2,97 pro krmnou kukuřici. Největší zatížení představovala produkce rajčat (7,53 kg CO<sub>2</sub>eq na kg bílkovin) a ozimé řepky (5,33 kg CO<sub>2</sub>eq na kg bílkovin). Naopak nejnižší zatížení vzniklo při pěstování sóji (1,69 kg CO<sub>2</sub>eq na kg bílkovin) a leguminóz (1,99 kg CO<sub>2</sub>eq na kg bílkovin) a to z důvodu vysokého obsahu bílkovin v těchto plodinách.

Graf 15 - Environmentální zatížení na kg bílkovin



## 5. ZÁVĚR

Cílem práce bylo zhodnotit vybrané obiloviny v konvenčním a ekologickém zemědělství z pohledu obsahu bílkovin a dopadu na emise skleníkových plynů.

Obiloviny představují základní složku lidské výživy a jsou často nejvýznamnějším zdrojem rostlinných bílkovin. Kvalita obilovin je mimo jiné dána obsahem bílkovin v zrně. Množství bílkovin přímo souvisí s objemem pečiva. Pro lidskou výživu má z vybraných obilovin největší význam pšenice. Konvenčně i ekologicky pěstovaná pšenice obsahuje ze sledovaných obilovin nejvíce bílkovin (12,81 %, resp. 11,65 %). Obsah bílkovin u ječmene je téměř stejný v konvenčním i ekologickém zemědělství (10,9 %, resp. 10,87 %). Nejmenší význam mají bílkoviny žita, kde je jejich obsah 8,42 %.

Největší environmentální zatížení po přepočtu na kg bílkovin v zrně vzniká při pěstování žita a pšenice v konvenčním zemědělství (4,4458 kg CO<sub>2</sub>eq na kg bílkovin, resp. 4,0244 kg CO<sub>2</sub>eq na kg bílkovin). V ekologickém zemědělství je tato environmentální zátěž nižší (u pšenice o 19 % méně, u žita o 20 % méně). V případě ječmene je vzniklé environmentální zatížení větší v ekologickém zemědělství (o 35 %), a to především z důvodů nižších výnosů na ha.

Na základě zjištěných výsledků představuje ekologické zemědělství nižší environmentální zátěž než konvenční zemědělství. Ekologické zemědělství tedy může být prostředkem na snižování emisí v oblasti zemědělství. Toto snížení je v rostlinné produkci způsobeno převážně absencí minerálních hnojiv, která u všech sledovaných obilovin pěstovaných v konvenčním systému představovala největší podíl na vzniklém environmentálním zatížení.

## 6. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

ANONYM1 (2017): Zelená zpráva – Zpráva o stavu zemědělství ČR za rok 2016 [online]. Ústav zemědělské ekonomiky a informací. Dostupné z: [http://eagri.cz/public/web/file/569334/ZZ16\\_V3.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/569334/ZZ16_V3.pdf)

ANONYM 2 (2017): Politika ochrany klimatu v ČR. In: Ministerstvo životního prostředí [online]. 2017 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/politika\\_ochrany\\_klimatu\\_2017/\\$FILE/OEOK-POK-20170329.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/politika_ochrany_klimatu_2017/$FILE/OEOK-POK-20170329.pdf)

AUDSLEY, E. a M. WILKINSON (2014): What is the potential for reducing national greenhouse gas emissions from crop and livestock production systems?: the origin, evolution, and impact of doi moi. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2014, 2000, **73**, 263-268 [cit. 2018-03-14]. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.01.066. ISSN 09596526. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652614000882>

BALL, B. C., B. S. GRIFFITHS, C. F.E. TOPP, a kol. (2014): Seasonal nitrous oxide emissions from field soils under reduced tillage, compost application or organic farming. **189**, 171-180. DOI: 10.1016/j.agee.2014.03.038. ISSN 01678809. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167880914001741>

BAUMERT, K. A., T. HERZOG a J. PERSHING (2005): Navigating the numbers: greenhouse gas data and international climate policy [online]. Washington, D.C.: World Resources Institute [cit. 2017-10-05]. ISBN 15-697-3599-9. Dostupné z: [http://pdf.wri.org/navigating\\_numbers.pdf](http://pdf.wri.org/navigating_numbers.pdf)

BELLARBY, J., FOEREID, B., HASTING, A., SMITH, P. (2008): Cool Farming: Climate impacts of agriculture and mitigation potential [online]. Greenpeace International, Amsterdam, the Netherlands. [cit. 2017-09-28] Dostupné z: <http://eprints.lancs.ac.uk/68831/1/1111.pdf>

BRANIŠ, M. a I. HŮNOVÁ (2009): Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší. V Praze: Karolinum. ISBN 978-80-246-1598-1.

BENTON, T. G., J. A. VICKERY a J. D. WILSON (2003): Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key?[online]. **18**(4), 182-188 [cit. 2017-09-06]. DOI: 10.1016/S0169-5347(03)00011-9. ISSN 01695347. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169534703000119>

BOUWMAN, A. F., L. J. M. BOUMANS a N. H. BATJES (2002): Emissions of N<sub>2</sub>O and NO from fertilized fields: Summary of available measurement data [online]. [cit. 2017-10-08]. DOI: 10.1029/2001GB001811. ISBN 10.1029/2001GB001811. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1029/2001GB001811>

BRANDT, U. S. a G. T. SVENDSEN (2011): A project-based system for including farmers in the EU ETS. *Journal of Environmental Management* [online]. **92**(4), 1121-1127 [cit. 2018-03-10]. DOI: 10.1016/j.jenvman.2010.11.029. ISSN 03014797. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479710004329>

BRENTROP, F., J. KÜSTERS, H. KUHLMANN a J. LAMMEL (2004): Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology. *European Journal of Agronomy*[online]. **20**(3), 247-264 [cit. 2017-11-05]. DOI: 10.1016/S1161-0301(03)00024-8. ISSN 11610301. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1161030103000248>

CAMARGO, G. G. T., M. R. RYAN, T. L. RICHARD, M. KOPECKÝ a P. KONVALINA (2013): Energy Use and Greenhouse Gas Emissions from Crop Production Using the Farm Energy Analysis Tool [online] *BioScience*. **63**(4), 263-273 [cit. 2018-03-03]. DOI: 10.1525/bio.2013.63.4.6. ISSN 1525-3244. Dostupné také z: <https://academic.oup.com/bioscience/article-lookup/doi/10.1525/bio.2013.63.4.6>

CAPORASO, N., M. B. WHITWORTH a I. D. FISK (2018): Protein content prediction in single wheat kernels using hyperspectral imaging. *Food Chemistry* [online]. **240**, 32-42 [cit. 2018-03-01]. DOI:

10.1016/j.foodchem.2017.07.048. ISSN 03088146. Dostupné z:  
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814617311925>

ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT (2006a): ČSN EN ISO 14040 –  
Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Zásady a osnova.  
Praha. 36 s.

ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT (2006b): ČSN EN ISO 14044 –  
Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Požadavky a  
směrnice. Praha. 68 s.

ČSN EN 16214-1 (2013): Kritéria udržitelnosti pro výrobu biopaliv a biokapalin pro  
energetické využití - Zásady, kritéria, ukazatele a ověřovatelé - Část 1:  
Terminologie[online]. [cit. 2017-09-02]. Dostupné z:  
<https://www.nlfnorm.cz/terminologicky-slovník/53192>

DAXBECK, H. a kol. (2008): Čtyři dimenze zdravé výživy (zdraví, ekonomika,  
ekologie, společnost). Jihočeská univerzita v ČB Zemědělská fakulta, 51 s.

DE KLEIN, C., a kol. (2006): N<sub>2</sub>O emissions from managed soils, and CO<sub>2</sub>  
emissions managed from lime and urea applications [online]. [cit 2018 – 01-13].  
Dostupné z:  
[http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4\\_Volume4/V4\\_11\\_Ch11\\_N2O&  
CO2.pdf](http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch11_N2O&CO2.pdf)

DE PONTI, T., B. RIJK a M. K. VAN ITTERSUM (2012): The crop yield gap  
between organic and conventional agriculture. *Agricultural Systems* [online]. **108**, 1-  
9. DOI: 10.1016/j.agsy.2011.12.004. ISSN 0308521x. Dostupné z:  
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308521X1100182X>

ERISMAN, J. W., M. A. SUTTON, J. GALLOWAY, J. W. KLIMONT a W.  
WINIWARTER (2008): How a century of ammonia synthesis changed the world:  
Summary of available measurement data. *Nature Geoscience* [online]. **1**(10), 636-



639 [cit. 2018-03-10]. DOI: 10.1038/ngeo325. ISBN 10.1029/2001GB001811. ISSN 1752-0894. Dostupné z: <http://www.nature.com/articles/ngeo325>

EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (2015): Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2013 and inventory report 2015: Submission to the UNFCCC Secretariat [online]. 1. Luxembourg: European Environment Agency [cit. 2017-10-05]. ISBN 978-92-9213-704-5. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/publications/european-union-greenhouse-gas-inventory-2015>

FAMĚRA, O. (1993): Základy pěstování ozimé pšenice. Praha: Institut výchovy a vzdělávání MZVŽ ČSR. ISBN 80-7105-045-8.

FAO (2018): Crop Prospects and Food Situation [online]. Rome - Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), [cit. 2018-03-01]. ISBN 978-92-5-130395-5. Dostupné z: <http://www.fao.org/3/i8764en/I8764EN.pdf>

FOSTER, C., GREEN, K., BLEDA, M., DEWICK, P., EVANS, B., FLYNN, A. a MYLAN, J. (2006): Environmental impacts of food production and consumption. A report to the Department for Environment, Food and Rural Affairs [online]. Manchester Business School. DEFRA, London, UK 199 p. [cit. 2017-10-05]. Dostupné z: [http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=EV02007\\_4601\\_FRP.pdf](http://randd.defra.gov.uk/Document.aspx?Document=EV02007_4601_FRP.pdf)

FOTT, P., PRETEL, J. a kol. (2003): Národní zpráva České republiky o inventarizaci emisí skleníkových plynů. ČHMÚ, 97 s.

GABRIEL, D., C. THIES a T. TSCHARNTKE (2005): Local diversity of arable weeds increases with landscape complexity. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. 7(2), 85-93. DOI: 10.1016/j.ppees.2005.04.001. ISSN 14338319. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1433831905000132>

GREENHUT, R. F., R. DUFOUR, A. M. KENDALL, E. B. STRONG a K. L. STEENWERTH (2015): Life-Cycle Assessment in Agricultural

Systems [online].[cit. 2017-10-05]. Dostupné z: <https://attra.ncat.org/attra-pub/download.php?id=457>

HARRIS S. a V. NARAYANASWAMY (2009): A literature review of life cycle assessment in agriculture [online]. Barton, A.C.T: RIRDC[cit. 2017-10-06]. ISBN 17-415-1833-4. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/profile/Steve\\_Harris12/publication/310589467\\_A\\_Literature\\_Review\\_of\\_Life\\_Cycle\\_Assessment\\_in\\_Agriculture/links/583204c308ae102f07338684/A-Literature-Review-of-Life-Cycle-Assessment-in-Agriculture.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Steve_Harris12/publication/310589467_A_Literature_Review_of_Life_Cycle_Assessment_in_Agriculture/links/583204c308ae102f07338684/A-Literature-Review-of-Life-Cycle-Assessment-in-Agriculture.pdf)

HAYASHI, K., G. GAILLARD a T. NEMECEK (2005): Life Cycle Assessment of Agricultural production Systems: Current issues and future perspectives [online].[cit.2017-09-06]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.471.9880&rep=rep1&type=pdf>

HILLIER, J., C. HAWES, G. SQUIRE, A. HILTON, S. WALE a P. SMITH (2009): The carbon footprints of food crop production. *International Journal of Agricultural Sustainability*. 7(2), 107-118. DOI: 10.3763/ijas.2009.0419. ISSN 14735903. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3763/ijas.2009.0419>

HOUGHTON, J. (1998): Globální oteplování. Praha: Academia. ISBN 80-200-0636-2.

HUBÍK, K. a J. MAREČEK (2002a): Kvalita obilnin. In: *Úroda* [online].[cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <http://uroda.cz/kvalita-obilnin/>

HUBÍK, K. a J. MAREČEK (2002b): Kvalita ječmene. In: *Úroda* [online].[cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <http://uroda.cz/kvalita-jecmene/>

ISO. 14040:2006. Environmental management-life cycle assessment principles and framework. European Committee for Standardization, 2006.

ISO. 14044:2006. Environmental management—life cycle assessment— requirements and guidelines. European Committee for Standardization, 2006.

JELÍNEK, A., M. DĚDINA, R. KRAUS a M. ČESPIVA. Snížení vlivu emisí amoniaku a skleníkových plynů ze zemědělské činnosti na životní prostředí [online]. Výzkumný ústav zemědělské techniky, Odbor ekologie zemědělských technologických systémů [cit. 2017-11-06]. Dostupné z: [http://www.cbks.cz/SbornikPolana07/pdf/Jelinek\\_et\\_al.pdf](http://www.cbks.cz/SbornikPolana07/pdf/Jelinek_et_al.pdf)

JELÍNKOVÁ, Z., J. MOUDRÝ, J. BERNAS, M. KOPECKÝ a P. KONVALINA (2016): Environmental and economic aspects of *Triticum aestivum* L. and *Avena sativa* growing [online]. Open Life Sciences. **11**(1), [cit. 2018-03-03]. DOI: 10.1515/biol-2016-0069. ISSN 2391-5412. Dostupné také z: <https://www.degruyter.com/view/j/biol.2016.11.issue-1/biol-2016-0069/biol-2016-0069.xml>

JONNALAGADDA, S. S., L. HARNACK, R. HAI LIU, N. MCKEOWN, C. SEAL, S. LIU a G. C. FAHEY (2011): Putting the Whole Grain Puzzle Together: Health Benefits Associated with Whole Grains—Summary of American Society for Nutrition 2010 Satellite Symposium. *The Journal of Nutrition*. **141**(5), 1011S-1022S. [online]. [cit. 2017-11-07]. DOI: 10.3945/jn.110.132944. ISSN 0022-3166. Dostupné také z: <https://academic.oup.com/jn/article/141/5/1011S/4600229>

JOHNSON, J., FRANZLUEBBERS, A. J., WEYERS, S. L., REICOSKY, D. C. (2007): Agricultural Opportunities to Mitigate Greenhouse Gas Emissions. *Environmental Pollution*, 150: 107-124.

KALVOVÁ, J. a B. MOLDAN (1996): Klima a jeho změna v důsledku emisí skleníkových plynů. Praha: Karolinum. ISBN 80-7184-315-6.

KARL, T. R. (2003): Modern Global Climate Change. *Science* [online]. 2003, **302**(5651), 1719-1723 [cit. 2017-10-11]. DOI: 10.1126/science.1090228. ISSN 0036-8075. Dostupné z: <http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.1090228>

KASPER, H. (2015): Výživa v medicíně a dietetika. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-4533-6.

KAVKA, M., a kol. (2006): Normativy zemědělských výrobních technologií. Praha: ÚZPI Praha, 376 s. ISBN 80-7271-164-4.

KEBREAB, E. (2013): Sustainable animal agriculture [online]. Wallingford: CABI, [cit. 2017-10-10]. ISBN 978-178-0640-426.

KNUDSEN, M. T., A. MEYER-AURICH, J. E. OLESEN, N. CHIRINDA aj. E. HERMANSEN (2014): Carbon footprints of crops from organic and conventional arable crop rotations – using a life cycle assessment approach. Journal of Cleaner Production. 2014, **64**, 609-618. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.07.009. ISSN 09596526. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652613004708>

KOČÍ, V. (2009): Posuzování životního cyklu Life Cycle Assessment - LCA. Chrudim. ISBN 978-80-86832-42-5.

KONVALINA, P. (2008): Pěstování obilnin a pseudoobilnin v ekologickém zemědělství. V Českých Budějovicích: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta. ISBN 978-80-7394-116-1.

KREBS, J. R., J. D. WILSON, R. B. BRADBURY a G. M. SIRIWARDENA (1999): The second Silent Spring?. Nature [online]. **400**(6745), 611-612 [cit. 2017-10-11]. DOI: 10.1038/23127. ISSN 0028-0836. Dostupné z: <http://www.nature.com/articles/23127>

KRTKOVÁ E., B. ONDRUSOVÁ a S. ROMAN (2017): National Greenhouse Gas Inventory Report of the Czech Republic (reported inventories 1990- 2015)[online]. 1. Prague: Czech Hydrometeorological Institute [cit. 2017-11-13]. ISBN 978-80-87577-67-7. Dostupné z:

[http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/nis/NIR/CZE\\_NIR-2017-2015\\_UNFCCC\\_ISBN.pdf](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/nis/NIR/CZE_NIR-2017-2015_UNFCCC_ISBN.pdf)

LAGZI, I., R. MÉSZÁROS, G. GELYBÓ a Á. LEELŐSSY (2013): Atmospheric Chemistry [online]. Eötvös Loránd University Faculty of Science Institute of Geography and Earth Science, 2013 [cit. 2017-10-20]. Dostupné z: [http://ttktamop.elte.hu/sites/ttktamop.elte.hu/files/tananyagok/athmospheric\\_chemistry.pdf](http://ttktamop.elte.hu/sites/ttktamop.elte.hu/files/tananyagok/athmospheric_chemistry.pdf)

LAMPKIN, N., C. FOSTER, S.PADEL a P.MIDMORE (1999): The policy and regulatory environment for organic farming in Europe. [online] Stuttgart, Germany: 52. Universität Hohenheim, Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre. [cit. 2017-11-11] ISBN 3-933403-00-6.

LOFTAS, T., J.. ROSS a D. BURLES (1995): Dimensions of need: an atlas of food and agriculture[online]. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, [cit. 2017-11-07]. ISBN 92-510-3737-X.

HRABALOVÁ A. (2017): Ekologické zemědělství v České republice: Ročenka 2016. 1. Olomouc: Ministerstvo zemědělství. ISBN 978-80-7434-401-5.

MARTINEK, V. a P. FILIP (2012): Mlýnářská technologie svazek 2.: Skladování a příprava surovin. Pelhřimov: Svaz průmyslových mlýnů České republiky. ISBN 978-80-239-9475-9.

McMURRY, J. (2007): Organická chemie. V Brně: VUTIUM, 2007. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-3291-8.

MOUDRÝ, J. a kol. (2007a): Ekologické zemědělství: vysokoškolská učebnice. 1. vyd. Č. Budějovice: ZF JU, 219 s. ISBN 978-80-7394-046-1.

MOUDRÝ, J. a kol. (2007b): Konverze na ekologické hospodaření a projektování ekologických farem: odborná monografie. 1. vyd. Č. Budějovice: ZF JU, 56 s. ISBN 978-80-7394-045-4.

MOUDRÝ JR. J., JELÍNKOVÁ Z., PLCH R., MOUDRÝ J., KONVALINA P. a R. HYŠPLER (2013): The emissions of green-house gases produced during growing and processing of wheat products in the Czech Republic. *J Food Agric Environ.* 11, (1), 1133-1136.

MOUDRÝ JR., J., Z. JELÍNKOVÁ, J. BERNAS, M. KOPECKÝ, P. KONVALINA, J. MOUDRÝ a J. MRÁČKOVÁ (2015): Greenhouse gases emissions from selected crops growing within organic fading [online]. *Acta fytotechnica et zootechnica*. **18**(Special Issue), 56-58. [cit. 2018-03-03] DOI: 10.15414/afz.2015.18.si.56-58. ISSN 1335258X. Dostupné také z: [http://acta.fapz.uniag.sk/journal/index.php/on\\_line/article/view/210](http://acta.fapz.uniag.sk/journal/index.php/on_line/article/view/210)

MURRAY, R. K. (1998): *Harperova Biochemie*. Praha. Langemedicalbook. ISBN 80-857-8738-5.

NÁVAROVÁ, H. (2001): Vliv různých podestýlkových materiálů a přídavku přípravku Amalgerolu na produkci NH<sub>3</sub> a užitkovost brojlerů. *Aktuální otázky bioklimatologie zvířat 2001*, Brno, s. 59–62.

NEMEŠOVÁ, I. a J. PRETEL (1998): *Skleníkový efekt a životní prostředí: podstata, rizika, možná řešení a mezinárodní souvislosti*. Praha: Ministerstvo životního prostředí ČR. ISBN 80-7212-046-8.

NÁTR, L. (2006): *Země jako skleník – Proč se bát CO<sub>2</sub> ?*. Academia Praha. 143 s. ISBN 80-200-1362-8.

NÁTR, L. (2011): *Příroda, nebo člověk?: služby ekosystémů*. Vyd. 1. Praha: Karolinum, 349 s. ISBN 978-80-246-1888-3.

NIGGLI, U. (2011): *Zemědělství s nízkými emisemi skleníkových plynů: mitigační a adaptační potenciál trvale udržitelných zemědělských systémů*. Olomouc: Bioinstitut. ISBN 978-80-87371-11-4.

PAN, Z. (2013): Climate change and global warming. Salem Press Encyclopedia of Science [online]. [cit. 2017-11-11]. Dostupné z: <http://eds.b.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=3&sid=1f8340bf-2188-47c7-9b41-fff005a106cd%40sessionmgr101&bdata=Jmxhbmc9Y3Mmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=89475555&db=ers>

PARVATHI, P. (2017): Fair trade and organic agriculture: a winning combination?. Boston, MA: CABI. ISBN 978-178-6393-050.

PETR, J. (2008): Žito a tritikale: biologie, pěstování, kvalita a využití. Praha: ProfiPress. ISBN 978-80-86726-29-8.

PROKEŠ, J. (2000): Technologický význam dusíkatých látek v ječmeni a sladu. Kvasný průmysl. **46** (10) [online].[cit. 2017-10-11]. Dostupné z: <https://kvasnyprumysl.cz/pdfs/kpr/2000/10/02.pdf>

PRUGAR, J. (2008): Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí. Praha: Výzkumný ústav pivovarský a sladařský ve spolupráci s komisí jakosti rostlinných produktů ČAZV. ISBN 978-80-86576-28-2.

PŘÍHODA, J., M. HRUŠKOVÁ a P. SKŘIVAN (2003): Cereální chemie a technologie. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN 80-708-0530-7.

REAY, D. (2007): Greenhouse gas sinks. [online] Cambridge, MA: CABI. [cit. 2017-10-09]. ISBN 978-184-5931-896.

REEVES T., THOMAS G., a RAMSAY G. (2016): Save and Grow in practice: a guide to sustainable cereal production. Maize, rice, wheat; a guide to sustainable production. FAO, Rome. ISBN: 978-92-5-108,519-6. Dostupné z: <http://www.fao.org/3/a-i4009e.pdf>

REMTOVÁ, K. (2003): Posuzování životního cyklu - Metoda LCA. Praha: Ministerstvo životního prostředí. ISBN 80-7212-232-0.

SEJIAN, V., R. BHATTA, P. MALIK, B. MADIAJAGAN, Y. AL-HOSNI, M. SULLIVAN a J. B. GAUGHAN (2016): Livestock as Sources of Greenhouse Gases and Its Significance to Climate Change. *GreenhouseGases*. [online] InTech. [cit. 2017-11-06]. DOI: 10.5772/62135. ISBN 978-953-51-2273-9. Dostupné také z: <http://www.intechopen.com/books/greenhouse-gases/livestock-as-sources-of-greenhouse-gases-and-its-significance-to-climate-change>

SHEWRY, P. R., N. G. HALFORD, P. S. BELTON a A. S. TATHAM (2002): The structure and properties of gluten: an elastic protein from wheat grain. *Philosophical Transactions of the Royal Society* [online] B: Biological Sciences. **357**(1418), 133-142. [cit. 2017-11-06]. DOI: 10.1098/rstb.2001.1024. ISSN 0962-8436. Dostupné také z: <http://rstb.royalsocietypublishing.org/cgi/doi/10.1098/rstb.2001.1024>

SMITH, P., D. MARTINO, Z. CAI, D. GWARY, H. JANZEN, P. KUMAR, B. McCARL, S. OGLE, F. O'MARA, C. RICE, B. SCHOLLES, O. SIROTENKO (2007): Agriculture. In *Climate Change: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Dostupné z: [http://www.mnp.nl/ipcc/pages\\_media/FAR4docs/final\\_pdfs\\_ar4/Chapter08.pdfSoil](http://www.mnp.nl/ipcc/pages_media/FAR4docs/final_pdfs_ar4/Chapter08.pdfSoil)

SYP, A., A. FABER, M. BORZECKA-WALKER a D. OSUCH (2015): Assessment of Greenhouse Gas Emissions in Winter Wheat Farms Using Data Envelopment Analysis Approach [online]. *Polish Journal of Environmental Studies*. **24**, 2197-2203. [cit. 2018-03-03] DOI: 10.15244/pjoes/39682. ISSN 1230-1485. Dostupné také z: <http://www.pjoes.com/doi/10.15244/pjoes/39682>

TUOMISTO, H.L., I.D. HODGE, P. RIORDAN a D. W. MACDONALD (2012): Does organic farming reduce environmental impacts? – A meta-analysis of European research [online] *Journal of Environmental Management*. **112**, 309-320. [cit. 2017-11-12] DOI: 10.1016/j.jenvman.2012.08.018. ISSN 03014797. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479712004264>



URBAN, J. a B. ŠARAPATKA (2003): Ekologické zemědělství: učebnice pro školy i praxi. Praha: MŽP. ISBN 80-721-2274-6.

VANLOON, G. W. a S. J. DUFFY (2011): Environmental chemistry: a global perspective. 3rd ed. New York: Oxford University Press. ISBN 978-019-9228-867.

WILLIAMS, A. G., E. AUDSLEY a D. L. SANDAR: (2006) Determining the environmental burdens and resource use in the production of agricultural and horticultural commodities. Main Report. Defra Research Project IS0205. Bedford: Cranfield University and Defra. Dostupné z: [www.silsoe.cranfield.ac.uk](http://www.silsoe.cranfield.ac.uk)

WRIGLEY, C. W., H. CORKE, K. SEETHARAMAN a J. M. FAUBION (2016): *Encyclopedia of food grains*. Second edition. Waltham, MA: Academic Press is an imprint of Elsevier. ISBN 978-012-3944-375.

ZIMOLKA, J. (2005): Pšenice: pěstování, hodnocení a užití zrna. Praha: ProfiPress. ISBN 80-8676-09-62.