

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra botaniky a fyziologie rostlin



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

**Energetická bilance rostlinné výroby vybraného
zemědělského podniku**

Diplomová práce

Bc. Jan Hemmr

Veřejná správa v zemědělství a krajině

doc. Ing. František Hnilička, Ph.D.

© 2021 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Energetická bilance rostlinné výroby vybraného zemědělského podniku" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.



V Praze dne 25. 4. 2021

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Františku Hniličkovi, Ph.D. za odborné vedení, ochotu a vstřícnost při zpracování diplomové práce. V neposlední řadě bych také rád poděkoval svojí manželce Marii za podporu nejen psychickou, ale taktéž i odbornou.

Energetická bilance rostlinné výroby vybraného zemědělského podniku

Souhrn

Diplomová práce se zabývá tématem udržitelnosti v návaznosti na ekologické zemědělství (EZ). V literární rešerši diskutuje možnosti využití EZ, jeho výhody a nevýhody ve srovnání s konvenčním zemědělstvím (KZ) a dopady obou způsobů hospodaření na prostředí, biodiverzitu a udržitelnost. Jedním ze způsobů hodnocení efektivity a použitelnosti EZ je stanovení energetické bilance. Porovnáním energetických vstupů a výstupů je možné zjistit výhodnost pěstování určitých plodin či odrůd v různých podmínkách a zároveň určit, kde dochází k největší energetické náročnosti během rostlinné produkce. Významným prostředkem v hodnocení energetické bilance je spalná kalorimetrie. Tou lze stanovit množství akumulované energie v biomase, která je odrazem energetických vstupů a působících vnějších i vnitřních faktorů.

Cílem této práce bylo zjistit energetickou náročnost rostlinné výroby v rámci vybraného zemědělského podniku a posoudit rozdíl mezi ekologickým a konvenčním způsobem pěstování pšenice a ovsa. Energetická bilance byla vypočtena na základě agrotechnických dat a hodnot obsahu energie v biomase stanovené metodou spalné kalorimetrie. Energetické vstupy byly tvořeny energií hnojiv, pesticidů, osiv, strojů, pohonných hmot a lidskou prací. Celkové energetické vstupy byly významně vyšší u plodin v KZ než v EZ. Nejvýznamnější složkou energetických vstupů u všech vzorků byla hnojiva, která tvořila vyšší podíl v případě KZ (77 % u pšenice a 86 % u ovsa) nežli v případě EZ (53 % u pšenice i ovsa). Nejnižší podíl na energetických vstupech ve všech případech tvořila lidská práce. Energetické výstupy plodin byly dány celkovým množstvím akumulované energie v biomase a výnosem plodiny. Pšenice oproti ovsu dosáhla vyšších hodnot celkové energie i výnosu. Způsob hospodaření (EZ oproti KZ) neměl statisticky významný vliv na množství celkové energie obsažené v biomase ani u pšenice ani u ovsa, ovšem plodiny v EZ dosahovaly nižších výnosů než v KZ, zhruba o 9 %. Celková energetická bilance u pšenice byla téměř totožná jak pro KZ, tak i pro EZ (rozdíl 1 % ve prospěch KZ), zatímco oves dosáhl výhodnější energetické bilance v podmínkách EZ (o 39 % více).

Z výsledků této práce vyplývá, že i plodiny pěstované v ekologickém zemědělství mohou dosahovat ekonomicky výhodných výnosů ve srovnání se zemědělstvím konvenčním, a využitím tohoto způsobu pěstování mohou získat i výhody z tohoto způsobu plynoucí. Kvůli nižšímu výnosu je však patrné, že pro tento způsob hospodaření je nutné šlechtit speciální odrůdy vhodné pro dané pěstební podmínky. Nespornou výhodou ekologického zemědělství je jeho příspěvek ke zlepšení stavu vody, půdy, biodiverzity a nižší nároky na vstupní energii.

Klíčová slova: ekologické zemědělství; energetická bilance; konvenční zemědělství; rostlinná výroba; udržitelnost

Energy balance of plant production of selected farm

Summary

The diploma thesis deals with the topic of sustainability in relation to organic farming (EZ). In the literature review the possibilities of using organic farming, its advantages and disadvantages in comparison with conventional agriculture (KZ) and the impacts of both farming methods on the environment, biodiversity and sustainability are discussed. One of the ways to evaluate the efficiency and applicability of organic farming is to determine the energy balance. By comparing energy inputs and outputs it is possible to determine the benefits of growing certain crops or varieties in different conditions and at the same time to determine where the greatest energy amount occurs during crop production. An important method in evaluating the energy balance is calorimetry. It can be used to determine the amount of energy stored in the biomass, which reflects the energy inputs and external and internal factors.

The aim of this work was to determine the energy intensity of crop production in a selected farm and to assess the difference between organic and conventional growing methods of wheat and oats. The energy balance was calculated on the basis of agrotechnical data and values of energy content in biomass determined by the method of combustion calorimetry. Energy inputs consisted of the energy of fertilizers, pesticides, seeds, machinery, fuels and human labor. Total energy inputs were significantly higher for crops in KZ than in EZ. The most important component of energy inputs in all samples were fertilizers, which accounted for a higher proportion in the case of KZ (77 % for wheat and 86 % for oats) than in the case of EZ (53 % for wheat and oats). The lowest share of energy inputs in all cases was accounted for by human labor. The energy outputs of the crops were given by the total amount of energy stored in the biomass and the yield of the crop. Compared to oats, wheat reached higher values of total energy and yield. The method of farming (EZ vs KZ) did not have a statistically significant effect on the amount of total energy contained in biomass in either wheat or oats, but crops in EZ achieved lower yields than in KZ, by about 9 %. The overall energy balance for wheat was almost identical for both KZ and EZ (a difference of 1 % in favor of KZ), while oats reached more favorable energy balance in terms of EZ (by 39 %).

The results show that even crops grown in EZ can achieve economically advantageous yields compared to conventional agriculture, and by using this method of cultivation can also obtain the benefits resulting from this method. However, due to the lower yield, it is clear that for this type of farming it is necessary to breed special varieties suitable for the given growing conditions. The undeniable advantage of organic farming is its contribution to the improvement of water, soil, biodiversity and lower demands on input energy.

Keywords: energy balance; organic farming; conventional farming; sustainability; crop production

OBSAH

1 Úvod.....	1
2 Vědecká hypotéza a cíle práce	2
3 Literární rešerše	3
3.1 Úvod do problematiky	3
3.2 Udržitelnost.....	6
3.3 Ekologické zemědělství	10
3.4 Uplatnění ekologické produkce.....	14
3.5 Obilniny v ekologickém zemědělství.....	16
3.5.1 Osivo.....	18
3.5.2 Výživa.....	19
3.5.3 Pšenice v ekologickém zemědělství	23
3.5.3.1 Výhody pšenice z ekologického zemědělství.....	23
3.5.3.2 Vhodné odrůdy pšenice seté pro ekologické zemědělství.....	25
3.6 Energie a výnos v konvenčním a ekologickém zemědělství.....	27
3.7 Srovnání dopadů ekologického a konvenčního hospodaření na prostředí	32
3.8 Analýza využití zemědělské půdy	35
3.9 Ekologické zemědělství z pohledu udržitelnosti	37
3.10 Kalorimetrie.....	39
3.10.1 Úvod a historie.....	39
3.10.2 Termická analýza a její metoda	39
3.10.3 Metody spalné kalorimetrie	40
3.10.4 Využití spalné kalorimetrie v biologii rostlin	41
3.10.5 Energetická bilance rostlin.....	42
3.10.6 Energie v rostlinách	43
4 Metodika	44
4.1 Rostlinný materiál.....	44
4.2 Charakteristiky vybraných podniků	44
4.2.1 Průběh počasí	45
4.2.2 Agrotechnika pěstování	46
4.3 Stanovení energetické bilance	48
4.3.1 Stanovení hmotnosti sušiny	48
4.3.2 Stanovení spalného tepla	48
5 Výsledky	50
5.1 Spalné teplo.....	50
5.1.1 Spalné teplo pšenice seté	50
5.1.2 Spalné teplo ovsa setého	54

5.2 Energetická bilance.....	58
5.2.1 Energetická bilance jednotlivých plodin	58
5.2.2 Srovnání energetických bilancí jednotlivých plodin	62
6 Diskuze	66
7 Závěr	68
8 Literatura.....	69
9 Seznam použitých zkratk.....	77
10 Seznamy grafů, tabulek a obrázků.....	79

1 Úvod

Energetické bilance jsou hojně využívaným nástrojem pro stanovení energetické účinnosti nejen zemědělských podniků. Díky energetickým bilancím lze například srovnávat účinnost pěstování jednotlivých druhů rostlin či srovnávat účinnost různých zemědělských přístupů k pěstování stejných odrůd rostlin. V neposlední řadě pomáhají energetické bilance určit nejvýznamnější energetické vstupy do výroby, a napomoci tak lepší optimalizaci nakládání se zdroji. V každém zemědělském podniku mohou být energetické vstupy rozděleny do čtyř kategorií, a to na obnovitelné a neobnovitelné a přímé a nepřímé zdroje. Přímými zdroji jsou chápána především paliva, zemědělské stroje a jiná zařízení či agrochemikálie. Nepřímými zdroji energie jsou například energie potřebná na výrobu hnojiv, strojů či pesticidů. Neobnovitelné zdroje zahrnují pohonné hmoty, stroje, hnojiva a pesticidy, zatímco obnovitelné zdroje jsou zastoupeny například lidskou prací, statkovými hnojivy či osivem. Úkolem stanovení co nejpřesnější energetické bilance pěstování zvoleného rostlinného produktu je identifikace konkrétních agrotechnických zásahů, včetně výběru vhodné odrůdy, které vykazují vysoký energetický zisk, energetickou účinnost a rentabilitu pěstování (Hnilička et al., 2018).

Předpokladem pro vysoký zisk a rentabilitu rostlinné výroby v budoucnu je však udržitelnost pěstebních systémů. Udržitelnost se týká především neobnovitelných zdrojů, ale neméně důležitými aspekty jsou snižování uhlíkové stopy, což je důležitým předpokladem pro boj se změnami klimatu, zachování půdní úrodnosti či přispění k udržení a zlepšení biodiverzity nejen na zemědělské půdě, ale na celé planetě. Udržitelnost všech lidských systémů produkce by měla být do budoucna jedním z hlavních témat celosvětové diskuze, poněvadž bez omezených zdrojů, vhodného místního i globálního klimatu, bez úrodné půdy a biodiverzity života na zemědělské i nezemědělské půdě nebude možné zajistit dostatek potravin pro lidstvo a ve výsledku ani zachovat život na Zemi tak, jak ho známe dnes (Rigby a Cáceres, 2001; Lin a Hülsbergen, 2017; Dordas, 2008).

Jednou z cest, jak přispět k větší udržitelnosti může být větší podíl využívání ekologických postupů v zemědělské produkci. Postupy, které používá moderní ekologické zemědělství, jsou šetrné k půdě a přispívají k její úrodnosti, jsou šetrné k vodě, poněvadž zde nedochází k vyplavování reziduí, snižují energetickou náročnost výroby absencí využití chemických přípravků, které jsou energeticky náročné na výrobu, a v neposlední řadě přispívají ke zvýšení biodiverzity, která je stěžejní pro udržení celého potravinového řetězce (Rigby a Cáceres, 2001; Konvalina, 2008; Hole et al., 2005).

Pro zlepšení udržitelnosti výroby se také nabízí větší zapojení obnovitelných zdrojů energie, jako je například biomasa. Využití biomasy jako zdroje energie je uhlíkově neutrální a pokud je pěstována na vhodných lokalitách, kde nekonkuruje zemědělské produkci a je využívána nejlépe v lokalitě její produkce, může značně omezit závislost na neobnovitelných zdrojích energie, jako jsou ropa či uhlí (Mantineo et al., 2009; Hamelinck et al., 2005; Jørgensen et al., 2005).

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Energetické bilance se stále více využívají k posouzení energetické účinnosti a produktivity zemědělské výroby, včetně pěstování jednotlivých plodin, čímž lze dokumentovat energetické vstupy a jejich vývoj v rámci celého pěstitelského procesu daného zemědělského podniku.

Cílem diplomové práce je:

- a) Zjistit energetickou náročnost rostlinné výroby v rámci vybraného zemědělského podniku.
- b) Srovnat energetickou náročnost mezi ekologickým a konvenčním způsobem pěstování.

Na základě cílů byly navrženy následující hypotézy:

1. Existují rozdíly v hodnotách spalného tepla mezi jednotlivými rostlinnými orgány sledovaných rostlinných druhů.
2. Existují rozdíly v energetické náročnosti v rámci pěstování jednotlivých plodin.
3. Existují rozdíly v energetické bilanci podniku s konvenčním a ekologickým způsobem hospodaření.

3 Literární rešerše

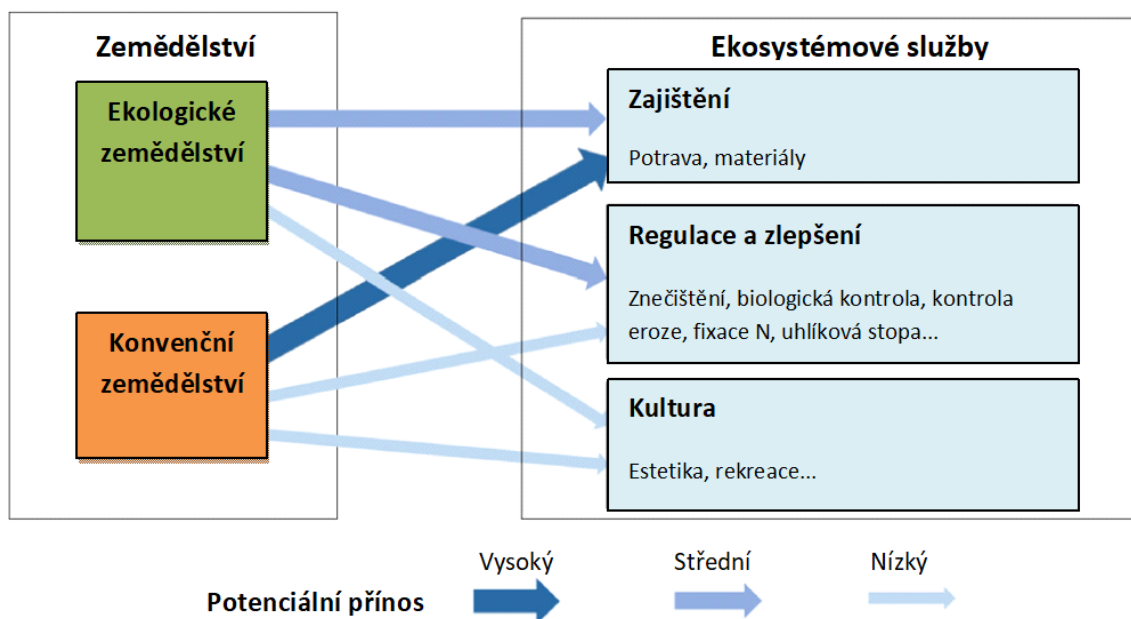
3.1 Úvod do problematiky

Udržitelnost a její dosažení jsou jednou z nejdůležitějších celosvětových debat současnosti. Již není nutné dokládat, že pro udržitelnou budoucnost lidstva je třeba se zaměřit na smysluplné a účinné využívání omezených přírodních zdrojů a minimalizaci dopadu jejich využívání na biosféru planety. Součástí udržitelného rozvoje je i ekologické zemědělství (EZ), které oproti zemědělství konvenčnímu minimalizuje vstupy, čímž přispívá ke snižování energetické náročnosti zemědělského odvětví, a tak pomáhá redukovat nároky na již zmíněné omezené zdroje (Rigby a Cáceres, 2001). Ekologické zemědělství se značně rozvíjí již několik posledních desetiletí, a to zejména v EU, kde během let 2012 a 2019 došlo k nárůstu plochy v režimu EZ o 46 % na celkovou výměru necelých 14 milionů ha (European Commission, 2021b). Ke značnému nárůstu dochází také v USA, kde je tempo podobné jako v EU, i když plocha v EZ má nyní výměru přibližně 2,3 milionu ha (USDA, 2019). Někdy bývá ekologické zemědělství chápáno jako synonymum udržitelného zemědělství (Rigby a Cáceres, 2001).

Globální zemědělství čelí naléhavé výzvě zajišťovat dostatek potravin. Nedávné studie ukazují, že do roku 2050 je nutné zhruba zdvojnásobit zemědělskou produkci, aby byla uspokojena vysoká poptávka vyplývající z rostoucí a bohatnoucí populace (Foley et al., 2011; Tomlinson, 2013). Bude nutné provést změny ve stravovacích návycích a začít používat více energie z obnovitelných zdrojů, jako je například biomasa. Očekávaná vysoká poptávka po zemědělských produktech dále zesílí globální tlak na půdu. Půda je jedním z nejvíce omezených zdrojů v zemědělství.

Avšak degradace půdy v důsledku eroze, zasolení či dezertifikace, způsobená z velké části lidskou činností, dále snižuje množství zemědělské půdy vhodné pro zemědělské využití. Degradace půdy poškozuje kvalitu půdy, což má negativní vliv na výnos plodin. To může také snižovat účinnost využití, přeměny a ukládání energie, ale také snižovat míru využití dusíku. Aby bylo možné uspokojit rostoucí poptávku bez dalšího ničení a degradace zemědělské i nezemědělské půdy, musí být využívání existující zemědělské půdy účinnější, současně zajišťovat kvalitu této půdy, ale také zachovat či zlepšovat biodiverzitu (Lin a Hülsbergen, 2017).

Během posledních let rostl dle De Pontiho et al. (2012) podíl využívání EZ v mnoha částech světa. Navzdory tomuto růstu a zvýšenému počtu výzkumů týkajících se výhod EZ, politikám, které ho podporují, i pozornosti sdělovacích prostředků a veřejnosti, je podíl EZ na celkové výměře zemědělské půdy, až na několik výjimek, stále zanedbatelný. Otázkou je, jaká by měla a může být budoucnost EZ. Zaznívají argumenty, že by se EZ mohlo stát zcela majoritním výrobním systémem budoucnosti, zatímco na straně druhé je názor, že intenzivní konvenční zemědělství je nenahraditelné i do budoucna. EZ a konvenční zemědělství (KZ) mají každé jiný druh a sílu přínosu, viz obrázek 1.



Obrázek 1: Přínos jednotlivých druhů zemědělství (podle Boona, 2019)

Z mnoha otázek, které budou určovat budoucí roli a postavení EZ, jsou níže uvedené klíčové otázky, které bude nutno komplexně zhodnotit (De Ponti et al., 2012):

- Role a podíl EZ na trhu s potravinami budou určovány podle toho, zda bude EZ ekonomicky konkurenceschopné vůči KZ. To závisí na produktivitě EZ, poptávce po jeho produktech a na míře, v jaké spotřebitelské ceny odrážejí náklady spojené s oběma výrobními směry, včetně nákladů na externality v oblasti životního prostředí a zdraví. Tento faktor má také silnou politickou stránku.
- Zásadní roli hrají také konkurenční nároky na půdu a další zdroje potřebné pro pěstování potravin.
- Vztah mezi typem zemědělství a biologickou rozmanitostí je relevantní. Zásobení světa produkty pocházejícími čistě z EZ může vyžadovat více půdy, než vyžaduje KZ, což může způsobit, že biodiverzita přirozených a přírodně blízkých ekosystémů bude nižší, zatímco biodiverzita na zemědělské půdě a kolem ní může být vyšší.
- Jelikož se globální potravinová bezpečnost stala jedním z primárních cílů světové politiky, je produktivita EZ, a tím i podíl, kterým může přispět k výživě, důležitým faktorem. Produktivita navíc významně ovlivňuje i další výše uvedené problémy. Také je důležité, do jaké míry se mohou vyvíjet systémy neekologického zemědělství, které mohou plnit cíle, které v současné době plní ekologické zemědělství například prostřednictvím „ekologizace“ konvenčního zemědělství. Důležitým faktorem v tomto ohledu je, že některé postupy používané v konvenčním zemědělství způsobují škody na životním prostředí, a také že se nedostatek přírodních zdrojů bude stále prohlubovat, a omezovat tak konvenční výrobu.

Důležitým kritériem pro rozvoj EZ je informovanost veřejnosti. Informovanost zákazníků ohledně bioproduktů má zvyšující se tendenci, ovšem zůstává stále nedostatečná. Častým problémem bývá nesprávnost získávaných informací. I v oblasti propagace ekologických potravin a výrobků je tedy třeba se zaměřit na vzdělávání lidí v oblasti ověřování správnosti informací. Je tedy nutné vyvracet některé velmi často se vyskytující dezinformace, které kolují především po internetu, a šíří se tak mezi lidmi (Dlouhý a Urban, 2011).

3.2 Udržitelnost

Dle Dordase (2008) je udržitelnost termín, který byl v posledních letech hojně používán v mnoha aspektech našeho života, a to zejména v zemědělství kvůli vlivu, který mají určité způsoby produkce plodin na životní prostředí. Udržitelné zemědělství je řízení a využívání zemědělského ekosystému způsobem, který udržuje či zlepšuje jeho biologickou rozmanitost, produktivitu, regenerační kapacitu, vitalitu a schopnost fungovat tak, aby mohlo dnes i v budoucnu plnit významné ekologické, ekonomické a sociální funkce na místní, národní a globální úrovni. A to především nepoškozovat ekosystém jako celek.

Dordas (2008) dále uvádí, že udržitelné zemědělství čelí některým z nejvýznamnějších výzev. Mezi hlavní výzvy patří především rychlý růst lidské populace, zvýšená poptávka po zemědělské půdě a zdrojích, nadměrná závislost na fosilní energii, zvýšené peněžní a environmentální náklady na neobnovitelné zdroje, globální změna klimatu a globalizace. Tyto dominantní problémy jsou výzvou pro zemědělce při vývoji udržitelnějších systémů řízení. Aby bylo možné uspokojit potravinové a výživové potřeby rostoucí populace, bude se muset zemědělství posunout nad rámec dřívějšího důrazu na produktivitu, aby zahrnovalo zlepšení veřejného zdraví, sociální situace a zdraví prostředí. Je také důležité najít alternativní opatření pro regulaci chorob rostlin, která nepoškozují životní prostředí a současně zvyšují výnos a zlepšují kvalitu produktů.

Slovo udržitelný, v angličtině *sustainable*, je odvozeno z latinského *susteinere* mající význam zachování, trvalosti či dlouhodobé podpory. Definice udržitelného zemědělství je velmi složitá a nejednotná (Rigby a Cáceres, 2001). Za udržitelné zemědělství může být taktéž považován přístup využívající oba přístupy, a to jak konvenční, tak ekologický. Takový přístup je vhodný například v případě využívání rostlin šlechtěných pro konveční pěstování či pro druhy rostlin s vysokými požadavky na dusík v určité své vývojové fázi, jak naznačuje studie zkoumající správné načasování dodávek dusíku do půdy. Organické hnojení podporuje mikrobiální aktivitu a vhodnou strukturu půdy, zatímco minerální hnojení dusíkem je využito ve chvíli, kdy rostlina vyžaduje největší přísun dusíku. Tato studie však nebrala na zřetel celkovou udržitelnost s přihlédnutím k veškeré potřebné energii včetně té, která je potřeba na výrobu minerálních hnojiv, a tudíž její závěry je nutno chápat pouze jako orientační (Pang a Letey, 2000).

Minimalizace posklizňových ztrát, zachování kvality a zajištění nezávadnosti jsou klíčovými cíli udržitelného systému pěstování a distribuce potravin. Posklizňové ztráty a plýtvání významně přispívají k obavám z možného budoucího nedostatku potravin. Produkční systémy, které jsou zaměřeny na snižování posklizňových ztrát, mají pozitivní environmentální dopad, poněvadž prevence plýtvání potravinami přispívá například ke snižování emisí oxidu uhličitého. Byly proto provedeny studie na vyhodnocení vlivu skladování na trvanlivost organicky a konvenčně produkovaného ovoce. Jedním ze zjištěných výsledků bylo, že ekologicky produkované jahody jsou po sklizení rezistentní vůči houbovým chorobám na rozdíl od vysoké míry náchylnosti k těmto patogenům u konvenčně produkovaných jahod, a to bez ohledu na opakované použití fungicidů v KZ oproti nulové

aplikaci fungicidů na pole ekologicky produkovaných jahod. Ekologicky pěstované ovoce bylo také vyhodnoceno jako potravinu s delší dobou skladovatelnosti ve srovnání s běžnými produkty. Také vysoká nutriční kvalita ekologicky pěstovaného ovoce je častým argumentem ekologických zemědělců i spotřebitelů při jeho produkci i prodeji (Mdutshwa et al., 2017).

S udržitelností jako takovou také přímo souvisí úbytek obhospodařovatelné půdy. Degradace půdy je považována za jeden z nejnaléhavějších problémů, kterým lidská společnost čelí a vede k vážnému ohrožení udržitelného rozvoje, stanovenému ve strategii udržitelného rozvoje EU a v cílech udržitelného rozvoje OSN (Eder et al., 2021).

Degradace půdy negativně ovlivňuje dostatečné zabezpečení potravin, dostatek vody, změny klimatu i ztrátu biodiverzity. Celkové roční ekonomické ztráty způsobené degradací půdy se odhadují na 0,41 % globálního HDP. Eroze je hlavní příčinou degradace půdy, protože vede ke ztrátě ornice a organických látek a živin, které jsou nezbytné pro růst rostlin. Větrná a vodní eroze jsou dominantní formou eroze z globálního hlediska, a to i v Evropě, kde je 42 milionů ha půdy zasaženo větrnou erozí a 115 milionů ha vodní erozí. Kolem 970 milionů tun půdy se každý rok potenciálně ztrácí kvůli vodní erozi pouze v Evropě (Eder et al., 2021). Při změnách klimatu je také nutné sledovat vodní bilance porostů, k čemuž se využívá tzv. Bowenův poměr, díky kterému je možné stanovit skutečnou evapotranspiraci daného porostu (Fritschen a Fritschen, 2005).

Je zřejmé, že zemědělství musí hrát v řešení tohoto problému klíčovou roli, jelikož zemědělská půda představuje 68,3 % celkových ztrát půdy v Evropě. Nejvyšší průměrné roční ztráty půdy a snížení produktivity plodin na hektar jsou pozorovány v Itálii, Slovinsku a Rakousku v důsledku kombinace vysoké míry eroze způsobené srážkami a značné svažitosti terénu. Kromě již zmíněných faktorů je eroze taktéž podmíněna rozhodnutími zemědělců o využívání půdy a způsobech jejího obhospodařování. Zejména vhodný výběr plodin a postupy ochrany půdy jsou schopny podstatně snížit míru eroze. Není překvapením, že několik opatření společné zemědělské politiky EU se přímo či nepřímo zaměřuje na chování zemědělců z důvodu ochrany a zachování půdy (Eder et al., 2021).

Avšak kromě úbytku půdy je nutné sledovat také její kvalitu, která zásadně souvisí s mikroorganismy v ní žijícími. V půdě dominují bakterie s přibližně 92 rozpoznávanými kmeny, 26 archaeálními kmeny a pěti superskupinami eukaryot, zatímco odhady naznačují přítomnost více než 1300 bakteriálních kmenů s několika druhy, které je ještě třeba charakterizovat. Ačkoli biomasa mikrobiálních společenstev je přibližně 1 000 kg uhlíku na hektar, mikroorganismy s převahou bakterií a hub zabírají méně než 1 % plochy v půdě (Ramakrishnan et al., 2021).

Složení půdních bakteriálních společenstev určuje faktory, jako je pH půdy, kvalita a množství organického uhlíku, půdní O₂ a redoxní stav a dostupnost půdní vlhkosti, dusíku a fosforu. Je známo, že intenzifikace zemědělství snižuje početnost mikrobiálních taxonů. Zemědělské postupy by proto měly být zaměřeny na optimalizaci složení a funkčnosti rostlinných mikrobiomů (Ramakrishnan et al., 2021).

Rigby a Cáceres (2001) uvádí, že jedním z dalších problémů může být také to, jak ze široka uvažovat o udržitelnosti zemědělských systémů. Může být například farma, na které se nepoužívají žádné syntetické přípravky, považována za udržitelnou, když všechny její postupy zpracování a pěstování jsou v souladu s principy udržitelnosti, ale jako zdroj energie používá elektřinu vyrobenou z fosilních paliv? Normy pro výrobu biopotravin se nezabývají udržitelností zdrojů energie a je obtížné si představit, jak by toto mohlo být ochráněno. Je jen těžko představitelné, že by si všichni ekologičtí výrobci a zemědělci vyráběli svoji vlastní energii z obnovitelných zdrojů. Problematika udržitelných zdrojů energie navozuje otázku, do jaké míry by se udržitelné zemědělské systémy měly snažit izolovat se od zbytku neudržitelných systémů.

Je tedy vhodné se také zaměřit na tuto míru izolovanosti zemědělských systémů od okolí a rozlišovat mezi ekologickým a udržitelným zemědělstvím. Udržitelnost tedy vybězí k uzavřenému systému zemědělství, což znamená, že farmy přistupují k maximální soběstačnosti a vyžadují jen minimální vnější vstupy. Právě na tomto základě je možné se ptát, zda nějaký zemědělský systém může být v čistém slova smyslu opravdu udržitelný. Nakonec ekologické systémy stále vyžadují kultivaci, vstupy do půdy, zpracování i dopravu. Každý ekologický zemědělec či výrobce používá benzín, nebo naftu, které se obvykle nevyrábí na farmách (Rigby a Cáceres, 2001).

Udržitelnost jako taková souvisí s výrobou energie. Jedním z klíčových zdrojů energie může být biomasa. Výroba biomasy pro energetické účely je oblastí potenciálního přínosu pro ekologické farmy, protože může pozitivně ovlivnit jejich energetickou bilanci. Celosvětově je možné spatřovat zaměření na využití zejména moderních technologií při produkci energie z obnovitelných zdrojů včetně těch zemědělských (Szyszlak-Bargłowicz et al., 2012).

V udržitelném zemědělství by měla být energie v ideálním případě do značné míry vyráběna přímo na farmě, nebo v jejím okolí za použití zdrojů přímo z farmy, nebo zdrojů lokálních. Pro výrobu bioplynu lze využít například přebytečný statkový hnůj a zbytky plodin, aniž by došlo k významným ztrátám energie (Jørgensen et al., 2005).

Další možností místního využití biomasy je produkce energeticky bohatých dřevin s krátkou rotací, které se poté používají jako surovina v kombinovaných teplárnách a elektrárnách. Půda, kterou lze využít k produkci rychle rostoucích dřevin, aniž by se vážně snížil potenciál pro produkci potravin a krmiv, je orná půda, která není zemědělsky využívána a která např. v Dánsku v roce 2005 tvořila 10 % veškeré orné půdy. Za předpokladu, že 5 % z celkové dánské zemědělské půdy (135 000 ha) by mohlo být využito pro pěstování rychle rostoucích dřevin při průměrné roční produkci 8 tun sušiny na ha s výhřevností $16,6 \cdot 10^9 \text{ J} \cdot \text{t}^{-1}$ sušiny při 50% obsahu vody, by byla získaná energie přibližně $18 \cdot 10^{15} \text{ J}$, a byla by tak schopna pokrýt energetické nároky dánského EZ (Jørgensen et al., 2005).

Energie získaná z biomasy se na celkové světové energetické produkci podílí asi ze 14 %, ale v méně rozvinutých zemích, například díky dostupnosti uhlí či vysokým nákladům na stavby nových elektráren, je tento podíl často mnohem nižší. Ve většině vyspělých zemí je

podíl energie získané z obnovitelných zdrojů významný a zároveň je zde pozorovatelný trend zvyšování podílu využití biomasy na celkové spotřebované energii. Jedním z hlavních důvodů pro zvyšování tohoto podílu je především to, že spalování biomasy je CO₂ neutrální (Szyszlak-Bargłowicz et al., 2012).

Podíl energie z obnovitelných zdrojů se na spotřebě energie v ČR také stále zvyšuje a do roku 2020 bylo cílem dosáhnout podílu 13 %, a to prioritně za využití biomasy (Státní energetická koncepce České republiky, 2014). Závazný cíl podílu obnovitelných zdrojů energie (OZE) na hrubé konečné spotřebě EU pro rok 2030 byl stanoven na 32,0 %. ČR již dosáhla stanovené cílové hodnoty podílu energie z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě energie stanovené pro rok 2020, která byla zmíněných 13 %. V roce 2018 byl tento podíl 15,2 % (MPO, 2019).

3.3 Ekologické zemědělství

Ekologickým zemědělstvím je myšlen přesně definovaný způsob zemědělského hospodaření, jehož počátky lze sledovat až do doby raného 20. století. V německy mluvících zemích je tento způsob hospodaření označován jako biologické zemědělství, v anglicky mluvících zemích jako organické zemědělství (Dvorský a Urban, 2014). Tento způsob hospodaření se začal více projevovat po 2. světové válce, kdy se světem začala postupně šířit takzvaná zelená revoluce, spočívající především ve vysoké míře intenzifikace a specializace, která vyžadovala vysoké úrovně chemických a energetických vstupů (Hatirli et al., 2006), jakými jsou například syntetické pesticidy, jejichž použití je v EZ zakázáno (Wang et al., 2020c).

Avšak stejně jako zemědělství udržitelné, i ekologické zemědělství bývá definováno mnoha způsoby. Mannion (1995) ho definuje jako holistický pohled na zemědělství, které si klade za cíl podporovat a udržovat hluboké vzájemné vztahy mezi biotou farmy a její produkcí a okolním prostředím. Scofield (1986) zdůrazňuje, že ekologické zemědělství jednoduše neodkazuje na používání pouze živých materiálů, ale zdůrazňuje koncept celistvosti implikující systematické propojení nebo koordinaci částí v jednom celku. Dále také upozorňuje, že důvody motivovanosti prvních zastánců EZ jsou do jisté míry stejné jako ty, které se debatují v současnosti, například úrodnost a struktura půdy, lidské zdraví či užívání umělých hnojiv. Northbourne (1940), který jako první začal používat spojení ekologické zemědělství, obhajoval produkci tvořenou malými jednotkami, což je přístup, který je zastáván i dnes, kdy hlavně v EZ dochází k odklonu od velkých produkčních jednotek, kde jsou lidé a příroda považováni za podřízené strojům a velkým společnostem (Scofield 1986). Lampkin a Padel (1994) zdůrazňují, že současné ekologické zemědělství je založeno na řadě různých přístupů, které se časem proluly, aby vytvořily současný myšlenkový proud. Jak již bylo uvedeno výše, snaha poskytnout definici některého z těchto přístupů je vždy obtížná. Moderní definice EZ poskytovaná Lampkinem uvádí, že cílem má být vytvoření integrovaných, humánních, environmentálně a ekonomicky udržitelných výrobních systémů, které maximalizují využívání obnovitelných zdrojů pocházejících přímo z farmy, a řízení ekologických a biologických procesů a interakcí tak, aby byla zajištěna přijatelná úroveň výživy plodin, hospodářských zvířat a lidí, ochrana před škůdci a nemocemi a vhodný návrat k lidským a jiným než umělým zdrojům (Rigby a Cáceres, 2001).

V Evropě bylo hlavním proudem zemědělství organicko-biologické, které položilo základ normám a nadnárodním směrnicím IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movements). Tyto základní směrnice určují obecné minimální požadavky na úpravu pravidel EZ. První závaznou právní normou upravující EZ byla norma z roku 1985 vydaná v Rakousku. Obdobné normy byly poté vydávány i v dalších evropských zemích. Rostoucí podíl potravin pocházejících z EZ si roku 1991 vyžádal vydání nařízení Rady (ES) 2092/1991, které se stalo první právně závaznou normou EHS stanovující minimální požadavky pro uvádění bioproduktů na trh a jejich označování. Toto nařízení bylo však časem nahrazeno nařízením Rady (ES) č. 834/2007 a nařízením Komise (ES) č. 889/2008 (Dvorský a Urban, 2014).

V ČR tyto normy doplňuje zákon o ekologickém zemědělství č. 242/2000 Sb. Tímto zákonem je ekologické zemědělství definováno jako: „*zvláštní druh zemědělského hospodaření, který dbá na životní prostředí a jeho jednotlivé složky. Stanovuje omezení či zákazy používání látek a postupů, které zatěžují, znečišťují nebo zamořují životní prostředí nebo zvyšují rizika kontaminace potravního řetězce, a který zvýšeně dbá na vnější životní projevy a chování a na pohodu chovaných hospodářských zvířat*“. Ekologické zemědělství se také vyznačuje zákazem používání syntetických chemických látek a šetrnými postupy při zpracování a výrobě potravin. Jak samotné pěstování, tak i zpracování a výroba jsou kontrolovány nezávislými specializovanými organizacemi, které certifikací těchto výrobků umožňují jejich odlišení od potravin pocházejících z konvenční produkce a ručí za jejich minimální kvalitu (Dvorský a Urban, 2014).

Zmíněné nařízení Rady (ES) č. 834/2007 stanovuje právní rámec pro výrobu, distribuci, kontrolu a označování ekologických produktů, které mohou být nabízeny a obchodovány v EU, a vztahuje se na následující produkty a výrobky: živé nebo nezpracované zemědělské produkty, zpracované potraviny, osiva a rozmnožovací materiál, krmiva pro hospodářská zvířata a sběr volně rostoucích rostlin a mořských řas (Česká republika, 2007).

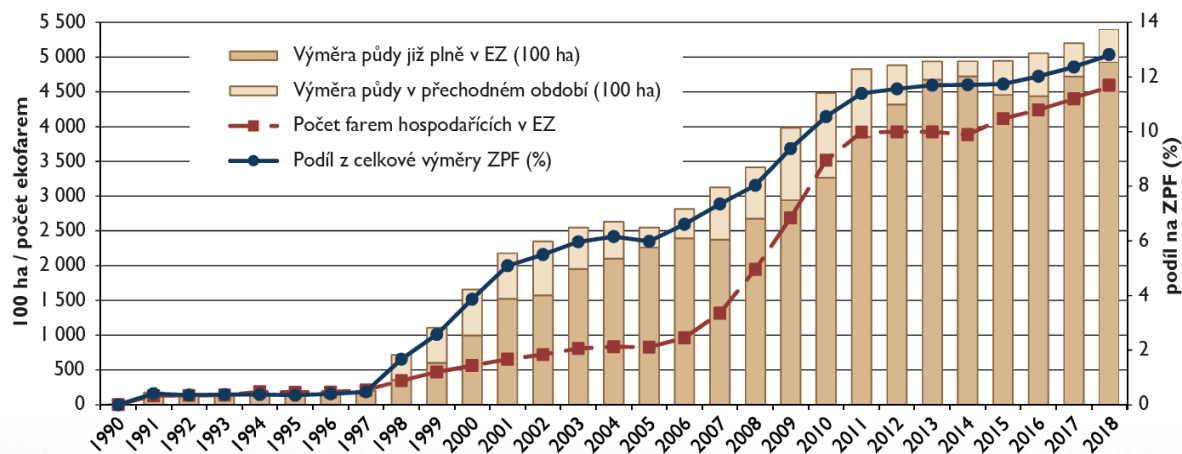
Nařízení Komise (ES) č. 889/2008 stanovuje prováděcí pravidla pro produkci, označování a kontrolu ekologických produktů a obsahuje mimo jiné přílohy zahrnující seznamy povolených hnojiv a pesticidů (jejich účinných látek), minimální požadavky na velikost ustájecích prostor a výběhů pro ekologicky chovaná hospodářská zvířata podle druhu a kategorie zvířat, maximální počet zvířat na hektar (maximální zatížení půdy podle druhu a kategorií), seznam povolených neekologických surovin, přídatných látek, nosičů, činidel a dalších látek pro výrobu biopotravin, seznam produktů a látek povolených při výrobě vína, seznam povolených neekologických krmných surovin, doplňkových látek a činidel pro výrobu krmných směsí a premixů, seznam povolených produktů a látek k čištění a dezinfekci, požadavky na označování bioproduktů – logo Společenství a číselné kódy kontrolních subjektů, produkční systém a maximální hustotu chovu živočichů v akvakultuře (Nařízení Komise (ES) č. 889/2008, 2008).

V ČR má dominantní úlohu v oblasti EZ Ministerstvo zemědělství (MZe) a jeho samostatný Odbor environmentálního a ekologického zemědělství, který zodpovídá jak za jeho koncepci, tak za jeho rozvoj. Cíle EZ jsou dány akčním plánem schvalovaným vládou ČR. Ekologicky hospodařící zemědělci jsou sdružováni ve svazech, jako je například PRO-BIO. Zpracovatelé ekologické produkce se sdružují v biosekcí Potravinářské komory ČR. Jednou z klíčových rolí MZe je garance a vyplácení dotací na EZ. Dozor nad vyplácenými dotacemi provádí Státní zemědělský a intervenční fond (SZIF) formou delegovaných úředních kontrol, které od roku 2010 vykonává Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ). Nařízení Rady (ES) č. 834/2007 požaduje, aby systém kontroly EZ byl podřízen Nařízení Rady (ES) č. 882/2004 o úředních kontrolách (Dvorský a Urban, 2014).

Podpora EZ v ČR byla uceleným způsobem zahájena roku 1998 a do roku 2003 byla poskytována na základě nařízení vlády, které stanovovalo podpůrné programy na podporu mimoprodukčních funkcí zemědělství. Po vstupu do EU roku 2004 bylo EZ zařazeno do agroenvironmentálních opatření, kde setrvalo do roku 2013. Od roku 2007 byly podpory vypláceny v rámci Osy II programu rozvoje venkova pod titulem „Ekologické zemědělství“, který byly společně s titulem pro integrovanou produkci pod podopatření „Postupy šetrné k životnímu prostředí“ v rámci agroenvironmentálních opatření. Podpory byly vypláceny jako náhrada za ekonomické ztráty způsobené tímto typem hospodaření a platba byla poskytována na jednotku plochy s diferenciací dle jejího využívání. Po roce 2014 bylo opatření „Ekologické zemědělství“ odděleno od agroenvironmentálně-klimatických opatření a došlo k menším úpravám v nabídce titulů i podmínkách plnění závazků (MZe, 2020a).

V ČR kontrolu dodržování stanovených pravidel EZ provádí 4 soukromé kontrolní a certifikační organizace, které jsou na základě veřejnoprávní smlouvy pověřeny MZe a náklady na kontrolu platí kontrolovaný subjekt. Tyto organizace mají povinnost alespoň jednou ročně provést kontrolu u každého registrovaného subjektu (MZe, 2021). V roce 2018 v ČR ekologicky hospodařilo 4606 ekofarem, což tvoří necelých 10 % ze všech zemědělských podniků v zemi. V režimu EZ bylo zahrnuto 538 223 ha, což odpovídá 12,8 % celkové výměry zemědělské půdy v ČR. Jak výměra pozemků v režimu EZ, tak počet subjektů v něm působících se od roku 1990 neustále zvyšuje, viz graf 1 (MZe, 2020a).

Graf 1: Vývoj výměry a počtu farem v EZ v ČR (MZe, 2021a)



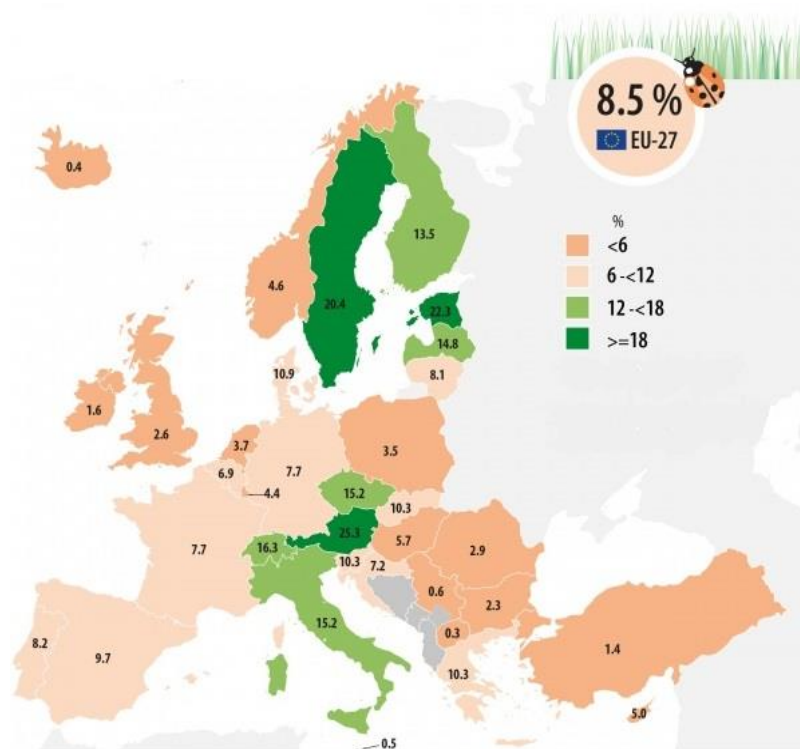
V EZ jednoznačně dominují plochy s trvalými travními porosty, které zaujímají 80 % plochy zařazené v režimu EZ. Následuje orná půda s 15 % plochy. Okolo 1 % se pohybuje výměra trvalých kultur představující především ovocné sady. Průměrná výměra ekofarmy je v ČR 117 ha, což je poměrně značná velikost oproti evropskému průměru, který se pohybuje okolo 40 ha. Na druhou stranu se tato hodnota postupně snižuje. Například v roce 2001 ještě byla průměrná výměra ekofarmy v ČR 333 ha. Přibližně čtvrtina farem s výměrou nad 100 ha celkově hospodaří na 80 % plochy v EZ (MZe, 2020a).

Lze tedy konstatovat, že v ČR převládají v EZ stále velké podniky převážně hospodařící na trvalých travních porostech. Jejich podíl se však každoročně snižuje. Nejrozsáhlejší

ekologicky obhospodařované plochy se nacházejí v Jihočeském, Plzeňském, Moravskoslezském, Karlovarském a Ústeckém kraji. V roce 2018 bylo v EZ zaměstnáno 10 675 pracovníků. V rostlinné produkci převládají obilniny se 46 % a píce se 41 %. V živočišné produkci jednoznačně dominuje chov skotu, jehož stav v roce 2018 dosahoval 261 900 kusů, a tvořil tak 88% podíl všech chovaných zvířat. Skot je v naprosté většině chován jako masný (MZe, 2020a).

Významnou evropskou zemí v oblasti EZ jsou například Itálie či Francie se 2 miliony ha rozlohy ekologicky obhospodařované zemědělské půdy. Na prvním místě je však Španělsko s 2,2 miliony ha a za Itálií a Francií následuje Německo s 1,2 miliony ha (European Commission, 2021a). V procentuálním zastoupení půdy v EZ se však pořadí značně promění, viz obrázek 2. Přechod nebo udržování stávajícího EZ je již dlouho podporováno řadou již zmíněných opatření, zejména prostřednictvím osy 2 Programu rozvoje venkova (PRV) v rámci společné zemědělské politiky (SZP). V posledním PRV (2014–2020), jak již bylo zmíněno, bylo EZ již vedeno jako samostatné opatření. Ekologičtí zemědělci také automaticky získají nárok na platby z greeningu, které představují 30 % přímých plateb (European Commission, 2021a).

Environmentální přínos související s finančními podporami EU založenými na jejich politikách je však široce zpochybňován v celé EU, poněvadž je ekologické hospodaření silně ovlivněno specifickostí lokality na regionální úrovni v důsledku klimatické variability i způsobu konkrétního ekologického hospodaření (Dal Ferro et al., 2017).



Obrázek 2: Výměra plochy EZ v procentech (dle European Commission, 2021b)

Většina farem je provozována buď podle platných postupů EZ, nebo podle postupů konvenčních, jelikož souběžný provoz obou systémů musí dodržovat přísná pravidla, jako jsou například zachování ekologických a konvenčních polí odděleně, aby nedocházelo ke kontaminaci mezi ekologickými a konvenčními produkty. Klíčovým aspektem je tak výzkum přímého srovnání farem se souběžným konvenčním i ekologickým provozem, které dodržují ekologické i konzervativní postupy ve stabilizovaných systémech (Dal Ferro et al., 2017).

3.4 Uplatnění ekologické produkce

I přes zvyšující se poptávku po místních ekologických výrobcích a produktech se ne všechna produkce z českých ekofarech uplatní na domácím trhu. Z obilovin vypěstovaných v ČR v rámci EZ bylo 42 % vyvezeno do zahraničí. Vývoz tvořil celých 100 % u prosa, 54 % u kukuřice na zrno, 56 % u olejnin, 57 % u luskovin, 45 % u brambor a 89 % u hlízové zeleniny. Opačně jsou na tom osiva a sadby, které se na domácím trhu uplatnily ze 100 %. Rovněž ze 100 % se na domácím trhu uplatnila zelenina kromě kořenové, hrozny a luskoviny na zeleno (MZe, 2019a).

Vysoké uplatnění na domácím trhu vykazovala také jablka s 98 %, peckoviny s 97 %, hrušky také s 97 % a aromatické rostliny a koření s 97 %. Problémem ale může být, že ne veškerá produkce pěstovaná v režimu EZ se jako bioprodukt prodá konečnému zákazníkovi. Jako biopotravinu se úspěšně dařilo prodat ekologicky vypěstovanou zeleninu, proso, špaldu, kukuřici na zrno, luskoviny na zrno, pšenici a pohanku, všechny tyto plodiny s podílem okolo 90 %. Na opačném pólu se nacházely hrušky a peckoviny, jichž se jako biopotravinu podařilo prodat pouze okolo 50 % (MZe, 2019a).

Produkce živočišná se oproti rostlinné produkci uplatňuje na domácím trhu daleko častěji. Významnější podíl vývozu byl zaznamenán u kravského mléka s 41 %, u zástavových telat s 31 %, u hovězího masa s 25 % a u skopového masa s 18 %. U kozího a ovčího mléka, kozího masa, drůbežího masa a vajec byl veškerý v ČR vyprodukovaný objem prodán na domácím trhu. V bio kvalitě se ke koncovému spotřebiteli dostal veškerý med, z bioprodukce 96 % vajec a kravského mléka, 91 % drůbežího masa, 85 % vepřového masa a 84 % kozího mléka. Jako bioprodukt se však nedařilo prodávat hovězí maso, které se takto uplatnilo pouze v 41 % a dále také ovčí maso z 39 %. Jako konvenční produkt bylo prodáno 94 % kozího masa z biofarmu, 88 % zástavových telat, 88 % skopového masa a 87 % zástavových jehňat (MZe, 2019a).

V mnoha vyspělých zemích v Evropě, Severní Americe a Asii se za posledních 25 let výrazně zvýšila poptávka po biopotravinách. Poptávka je poháněna především vnímáním spotřebitelů, že EZ je udržitelnější a ve srovnání s intenzivním konvenčním zemědělstvím přináší výhody nejen pro životní prostředí, biodiverzitu, dobré životní podmínky zvířat, ale také kvalitu a bezpečnost potravin. Normy EZ, které jsou definovány vládními zákony a předpisy ve většině zemí zakazují nebo omezují použití mnoha externích vstupů, které jsou široce používány v KZ, především proto, že jsou neobnovitelné nebo energeticky náročné na výrobu a jsou potenciálně škodlivé pro životní prostředí a lidské zdraví (Rempelos et al., 2020).

Světový trh s biopotravinami za rok 2017 dosáhl 97 mld. eur a vykázal meziroční nárůst o 9 %. Evropa tvořila 41 % podílu z celosvětového trhu, Severní Amerika 47 %. Ze zemí s největším podílem jsou na přední pozici USA, následované Francií, Německem a Čínou. Nejvyšší spotřebu biopotravin na obyvatele vykazují Švýcarsko, Dánsko a Švédsko, kde po přepočtu na jednoho obyvatele vychází roční útrata za bioprodukty přes 200 eur, ve

Švýcarsku dokonce 288 eur. Za stejný rok byla útrata na obyvatele v ČR pouhých 12 eur (MZe, 2020a).

Jak již bylo řečeno, ve vyspělých státech je pozorovatelný evidentně se zvyšující zájem o biopotravinu. Díky tomuto zájmu se samozřejmě zvyšuje i objem výroby a spotřeby. Chceme-li spotřebu těchto ekologicky pěstovaných či vyráběných produktů nadále podporovat, a tím nepřímo podporovat zdraví půdy a vod, biodiverzitu a další mnohé pozitivní jevy, které jsou vztažené k ekologickému způsobu hospodaření, je nutné se zaměřit na faktory, které poptávku po takových produktech ovlivňují (Živělová a Jánský, 2007).

Z výzkumu provedeného na PEF MZLU v Brně bylo vyvozeno několik důležitých výsledků. Faktory, jež ovlivňují zájem spotřebitelů o tyto produkty, mohou být rozděleny do dvou hlavních skupin, a to na faktory ekonomické a faktory související s životním stylem a informovaností. Jako důvod nenakupování s 58 % odpovědí jednoznačně dominuje faktor vyšší ceny biopotravin oproti potravinám běžným a zároveň jako předpoklad budoucího nákupu bioproduktů uvedlo 53,5 % respondentů snížení jejich ceny, či zvýšení svých příjmů. Kromě těchto ekonomických faktorů byl také často uváděn jako důvod nenakupování nedostatečná propagace jak výrobků samotných, tak jejich pozitiv tykajících se životního prostředí. 64 % respondentů, kteří biopotravinu nakupují, uvedlo jako důvod, že jsou vhodnější pro jejich zdraví. Co se otázky informovanosti o biopotravinách týče, 25 % respondentů získalo informace přímo v obchodech či od svých známých a 15 % z reklamy na tyto produkty. Celková informovanost je ale poměrně nízká, a bylo by tedy vhodné na informovanosti populace více zapracovat, a to všemi možnými kanály. Na druhou stranu informovanost populace se stále zlepšuje, ale přesto má stále značné rezervy (Živělová a Jánský, 2007).

Obchod s bioprodukty však musí být nahlížen i z jiné perspektivy. Vliv mezinárodního obchodu je s ohledem na posuzování udržitelnosti zemědělství v rámci EZ stále důležitější. S rostoucí poptávkou po biopotravinách se mezinárodní obchod s ekologickými produkty značně rozšiřuje. Například ekologicky vypěstovaná zelenina je do Velké Británie dovážena především z východní a jižní Afriky a z dalších míst na jižní polokouli (Rigby a Cáceres, 2001).

Objem dovozu finálních biopotravin realizovaný distributory a samotnými maloobchodními řetězci, který byl prodán na českém trhu, byl pro rok 2018 odhadován na 2 095 mil. Kč, což představuje 47% podíl na maloobchodním obratu v ČR. Po započtení objemu dovozu, který realizují další subjekty, a které do ČR dovezly finální biopotravinu za dalších zhruba 581 mil. Kč, vzroste podíl dovezených biopotravin na českém trhu na 60% podíl na maloobchodním obratu v ČR. Pokud by byl započítán navíc i objem bioproduktů či biopotravin, které jsou na území ČR dále zpracovány, podíl biopotravin ze zahraničí by ještě vzrostl (MZe, 2020b).

3.5 Obilniny v ekologickém zemědělství

Jak již bylo zmíněno výše, v rámci rostlinné produkce v EZ je v ČR nejvýznamnější pěstování obilnin. I pěstování obilnin je do značné míry závislé na dodržování obecných zásad rostlinné produkce v ekologickém zemědělském podniku daných také legislativou. Tyto zásady mohou být shrnuty dle Konvaliny (2008) do několika bodů:

- Především v době konverze z konvenčního na ekologické zemědělství je porost vystaven zvýšenému tlaku především biotických škodlivých faktorů. Jejich regulace tudíž musí probíhat systematicky vzhledem k zákazu používání syntetických přípravků k jejich regulaci a potlačování. Obilniny pěstované na zrno tudíž nejsou vhodnou plodinou pro přechodné období.
- Celý proces pěstování je daleko více ovlivňován působením jak biotických, tak abiotických faktorů.
- Uvolňování živin ze statkových hnojiv je pomalejší, nežli je tomu u hnojiv průmyslových, a zároveň je uvolňování těchto živin hůře regulovatelné. Je proto nutné klást zvýšený důraz na výživu ozimých obilnin v časném jaru a není z praktického hlediska možné aplikovat kvalitativní dávky dusíku.
- Struktura plodin musí splňovat podíl vyšší než 25 % pro leguminózy, menší než 50 % pro obilniny a rozsah meziplodin v relaci k typu podniku mezi 20 a 60 % zastoupení.
- Pro zlepšení úrodnosti půdy je vhodné do osevních postupů zařadit směsi víceletých jetelotráv, které zlepšují zdravotní stav obilnin.
- Meziplodiny by měly být uplatňovány v co nejvyšší možné míře. Pozitivně totiž ovlivňují evaparaci, erozi, vyplavování živin z půdy, omezují růst plevelů a podporují fytosanitární efekt.
- Není vhodné pěstovat stejné rostliny po sobě, musí docházet k dodržování zásad střídání plodin a maximálně využívat široké druhové škály obilnin a pseudoobilnin. Také je vhodné vyšší zastoupení jarních forem obilnin oproti zemědělství konvenčnímu.
- Vhodný výběr plodin zvyšuje rentabilitu produkce. Velmi vhodné jsou oves, ječmen a tritikále, zatímco nevhodný je například ječmen ozimý, který má vysoké nároky na lehce rozpustný dusík v časném jaru a zároveň je málo konkurenceschopný vůči plevelům.
- Časté sklízení jetelotráv omezuje rozvoj plevelů na orné půdě, poněvadž jsou tyto plevele sklizeny ještě ve své růstové fázi, a nedochází tak k jejich množení.
- Nutné je šetrné zpracování půdy kvůli rozvoji přirozeného edafonu, který dále ovlivňuje jak její strukturu, tak její sorpční vlastnosti. Vhodné je zařazení minimalizačních technologií.
- Velmi důležité je sledování bilance živin v půdě, čímž je možné dosáhnout jejich vhodné aplikace a omezení jejich ztrát.
- Vzhledem k absenci použití pesticidů je vhodné použití co nejširší škály preventivních opatření pro regulaci škůdců a podpora jejich přirozených konkurentů a predátorů.

Zdravá půda je tedy základem pěstování všech plodin a v EZ je na její kvalitu kladen o to větší zřetel. Cyklus živin a tok energie v suchozemských ekosystémech je pevně svázán s organickou hmotou v půdě. Přestože mikrobiální biomasa zaujímá pouze malé procento z biomasy celkové, patří mezi nejstabilnější zásoby organické hmoty a slouží jako důležitý rezervoár rostlinných živin, jako jsou N a P. Mikrobiální biomasa je citlivým indikátorem změn vyplývajících z agronomických postupů a dalších narušení půdního ekosystému. Její masa a aktivita přímo souvisí s množstvím a kvalitou uhlíku a dalších živin dostupných ze zbytků rostlin, živočichů a kořenových exudátů. Dalšími faktory ovlivňujícími mikrobiální biomasu jsou vlhkost a teplota půdy, fyzikální narušování a interakce s půdní faunou. Porozumění mikrobiálním procesům v půdě je důležité pro řízení agrosystémů, zejména těch, které se spoléhají na organické vstupy živin. Mnoho studií zabývajících se účinky způsobu faremního hospodaření na dynamiku mikrobiální činnosti srovnává různé postupy zpracování půdy. Méně je studií porovnávajících změny v mikrobiálních biomasách vyplývajících z různých množství a typů organických vstupů, ale podléhajících stejným postupům zpracování půdy. Obecným závěrem těchto studií je vývoj větší mikrobiální biomasy v půdách, kde se pěstují krycí plodiny a používají statková hnojiva, než v obdobných půdách, kde se používají pouze minerální hnojiva (Gunapala a Scou, 1998).

Pro každou ekologickou farmu je stěžejním systémovým opatřením osevnický postup. Díky vhodnému osevnickému postupu je možné dosáhnout lepší úrodnosti půdy, využitelnosti živin a vody, mikrobiální aktivity a efektivnějšího příjmu dusíku rostlinou. Vhodným osevnickým postupem se také omezuje napadení rostlin škůdci a chorobami, konkurence ze strany plevelů a účinek růstových látek z posklizňových zbytků. V neposlední řadě vhodný osevnický postup podporuje biodiverzitu, zvyšuje stabilitu agroekosystému a zefektivňuje produkci. Toto systémové opatření může zvýšit výnos až o 20 % a snižuje množství nutných vstupů (Konvalina, 2008).

Cílem ochrany rostlin na ekofarmách však není úplná likvidace plevelů, škůdců či chorob, poněvadž vysoká míra biodiverzity je naprosto stěžejní a zároveň škodlivé či nevhodné organizmy často slouží jako potrava pro organizmy chtěné a užitečné. Na ekologické farmě je proto vhodná tvorba stanovišť pro tyto vhodné organizmy, které sami o sobě jsou regulátory organizmů nevhodných. Jedná se především o různé remízky, křoviny, stromy, staré zídky a podobně (Dvorský a Urban, 2014). Pozitivní vliv EZ na biodiverzitu prokazují například studie Holea et al. (2005), nebo Godeda et al. (2018).

Na ekofarmách se souběžnou živočišnou a rostlinnou produkcí je stěžejní součástí osevnického postupu zařazení leguminóz. Obilniny jsou v osevnickém postupu doporučeny jako první plodina po leguminózách, nebo jako plodina druhá v případě, že předplodina byla hnojena. Na ekofarmách bez živočišné produkce jsou jako vhodné předplodiny uváděny především luskoviny, okopaniny, nebo olejnin. Je také možné do osevnického postupu zařadit dvě obilniny po sobě, ale pouze v případě, že se jedná o jednu ozimou a jednu jarní formu a zároveň musí být druhá plodina méně náročná jako například oves či žito. Obilniny mají ale také pozitivní roli v osevnickém postupu. Díky svému hustému kořenovému systému mohou uvolňovat živiny i z hlubších vrstev půdy (Konvalina, 2008).

Jednoděložné rostliny také nejsou náchylné k chorobám rostlin dvouděložných a jejich zařazením do osevního postupu se významně snižuje riziko přenosu chorob. Osevní postup je také hlavním faktorem v potlačování plevelů. V případě, že je na farmě očekáván vysoký tlak ozimých plevelů, je vhodné setí obilnin jarních. Nejčastějšími ozimými plevelely v ČR jsou psárka polní (*Alopecurus myosuroides* Huds.), heřmánkovec přímořský (*Matricaria maritima* L.), svízel přítula (*Galium aparine* L.), chundelka metlice (*Aperaspica – venti* L.) a mák vlčí (*Papaver rhoeas* L.). Stejně tak je vhodné volit obilniny ozimé, pokud je farma zaplevelena jarními plevelely, jako je oves hluchý (*Avena fatua* L.) nebo ředkev ohnice (*Raphanus raphanistrum* L.) (Konvalina, 2008).

Obecně platí, že ozimé obilniny jsou konkurenceschopnější než jarní, žito více než pšenice, oves více než jarní ječmen. Konkurenceschopnost také významně ovlivňuje zvolený podsev obilnin. Vhodný osevní postup má významně pozitivní vliv také při potlačování škůdců i chorob. Choroby pat stébel, jako jsou například *Pseudocercospora herpotrichoides*, *Rhizoctonia cerealis* *Gaeumannomyces graminis*, jsou efektivně potlačovány zařazením řepky, luskovin či brambor do osevního postupu, poněvadž přežívání patogenu v půdě je pouze krátkodobé. Jako velmi vhodná předplodina byl vyhodnocen oves. Z polního pokusu bylo zjištěno, že při jeho použití jako předplodiny bylo napadení chorobami pat stébel následující jarní pšenice osmkrát nižší nežli v případě, kdy byla její předplodinou taktéž pšenice (Konvalina, 2008).

I přesto je nutné pěstování obilnin na jednom pozemku přerušit nejdéle po 3 po sobě jdoucích letech. Pro tento účel jsou vhodné například vojtěška či jetel. Dalšími hojně rozšířenými chorobami obilnin jsou sněť zakrslá (*Tilletia controversa*) a sněť kukuřičná (*Ustilago maydis*). Pro jejich potlačení je nutné zvolit delší osevní postup. Toto platí především pro produkci ekologických osiv, kde není umožněno jejich chemické moření pro účel likvidace těchto snětí. Příliš vysoké zastoupení obilnin je ale také nevhodné kvůli šíření nemocí listů, jako je například padlí (*Erysiphe graminis*) (Konvalina, 2008).

Mezi nejčastější škůdce obilnin lze zařadit háďátka, která poškozují kořeny. Tito škůdci jsou vysoce specializovaní, a střídání plodin je tak v boji s nimi nutností. Vhodně zvolené střídání plodin je také účinné v regulaci hrbáče osenního (*Zabrus gibbus*). Jeden z důvodů využití okopanin v osevním postupu je právě důvod regulace počtů tohoto hrbáče. Dalšími škůdci jsou kovařici, kteří jsou regulováni při úpravě půdy (Konvalina, 2008).

3.5.1 Osivo

Během celé historie zemědělství byly choroby přenášeny semeny jedním z nejzávažnějších problémů při pěstování. Vývoj ošetření semen rtutí v roce 1913 tuto situaci během několika desetiletí radikálně změnil. Moření rtutí bylo velmi účinné proti většině chorob přenášovaných semeny a zároveň nebylo nákladné a bylo snadno použitelné. Na konci století bylo však používání rtuti zakázáno a nahrazeno jinými přípravky (Borgen, 2004).

Mnoho chorob může být přenášeno nejen semeny, ale také půdou. Tento problém se projevil na konci minulého století, kdy se střídání plodin stalo méně využívaným postupem a řada chorob přenášených osivem se opět stala problémem. Nyní čelí takovým problémům EZ. V EZ by však škůdci a nemoci měly být regulovány spíše prevencí nežli úplnou eliminací (Borgen, 2004).

Nařízení EU toto formuluje tak, aby látky uvedené v příloze IIb mohly být použity pouze v případě akutního rizika pro plodiny. Regulace chorob přenášených osivem proto musí být založena na systematické preventivní strategii produkce semen kombinované s monitorováním výskytu chorob. Přímý zásah musí být omezen na případy, kdy byly choroby zjištěny navzdory přijatým preventivním opatřením. Škůdci a nemoci jsou tak v EZ regulovány používáním výhradně zdravého osiva, výběrem vhodných variant s vyšší rezistencí a v neposlední řadě také vhodným osevním postupem a sledem (Borgen, 2004).

Pro použití v EZ je nutno využívat osivo pocházející taktéž z farmy v tomto režimu. V ČR je však hojně využívána výjimka týkající se využití osiva pocházejícího z konvenční produkce, poněvadž je stabilní nedostatek vhodných odrůd pocházejících z EZ. Tuto výjimku na použití konvenčního osiva v EZ uděluje od 1. 1. 2010 ÚKZÚZ, Odbor osiv a sadby, podle článku 45 NK č. 889/2008 (MZe, 2019b). Toto osivo nepocházející z EZ však nesmí být mořené (Konvalina, 2008). Dalším úskalím je obecný nedostatek odrůd, které nejsou vyšlechtěny pro pěstování s vysokými vstupy živin do půdy, jak je běžné v KZ, nemluvě o nedostatečné přirozené obranyschopnosti těchto odrůd vůči škůdcům a chorobám. V EZ jsou výnosy značně ovlivněny současnou interakcí prostředí a genotypu konkrétní rostliny, a proto je vhodnost odrůdy pro dané prostředí jedním z hlavních kritérií pro dostatečný výnos (Konvalina a Moudrý, 2007).

3.5.2 Výživa

Jedním ze stěžejních principů EZ je, pokud možno, co nejuzavřenější koloběh živin vyznačující se minimalizací jejich ztrát i vkladů do systému. Vhodné je, aby polovina vyprodukované biomasy v systému zůstala buď ve formě posklizňových zbytků, nebo ve formě hnoje po transformaci přes živočišnou výrobu (Konvalina, 2008).

Dusík je jedním z nejvýznamnějších prvků zajišťujících výživu rostlin. Je základním stavebním kamenem bílkovin, nukleotidů, chlorofylu, biologicky aktivních látek a je nezbytný pro růst a vývoj rostlinných pletiv. Na Zemi se dusík vyskytuje ve více formách. V atmosféře je to především molekulární dusík N_2 , který je zastoupen přibližně 78 objemovými procenty. Molekulární dusík však není rostlinami přímo využitelný. K využití N_2 rostlinou by bylo nutné rozštěpit velmi silnou kovalentní vazbu, na což je třeba $945 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, což rostliny nedokáží. Zdrojem dusíku pro rostliny tak jsou amonné a nitrátové ionty, které rostliny zpracovat dokáží. Konverze N_2 do amonné či nitrátové formy fixací dusíku je výsledkem antropogenních, ale především přirozených procesů (Marek et al., 2008).

90 % dusíku využitelného rostlinami je tvořeno mikroorganismy v procesu biologické fixace dusíku. Takovými mikroorganismy jsou sinice a bakterie symbioticky žijící

s rostlinami. Nejznámějším rodem symbiotických bakterií je rod *Rhizobium* žijící na kořenech rostlin rodu *Fabaceae*. Při odumírání živých organismů se organické látky vrací nazpět do půdy a procesem amonifikace se dusík transformuje do formy amonických iontů. Půdní bakterie a houby poté aminodusík transformují na volný amoniak, který je v půdě oxidován na nitrit a dále na nitrát procesem nitrifikace. Dusík v nitrátové formě může být opět využit rostlinami, nebo je procesem denitrifikace transformován zpět na N_2 a navrácen do atmosféry. Za proces denitrifikace jsou odpovědné bakterie, které využívají nitrátový iont namísto kyslíku jako konečný donor elektronu při respiraci. Konečným produktem biologické fixace dusíku je amoniak. Ten je poté okamžitě začleňován do organických látek, jako je glutamin či glutamát (Marek et al., 2008).

V EZ je dusík prvkem, který nejčastěji limituje výnos plodin. Dostatek dusíku je v EZ, jak již bylo zmíněno, zajišťován organickým hnojením, začleněním leguminóz do osevních postupů a podporou mikroedafonu. Povolená dávka na 1 ha půdy v EZ je 170 kg N za 1 rok (Konvalina, 2008). Dusík se do půdy dostává také depozicí, a to v množství přibližně 10 – 40 $kg \cdot ha^{-1}$ za rok. Vždy je však nutné počítat se ztrátami denitrifikací, jež se pohybují v rozmezí 20 – 50 $kg \cdot ha^{-1}$ ročně. K dalším ztrátám dochází při užití nevhodné agrotechniky vlivem eroze a vyplavování, a to až do výše 85 $kg \cdot ha^{-1}$ za rok. Bilance dusíku v EZ je díky své závislosti na půdním druhu, mikrobiální aktivitě, počasí či zpracování půdy velmi obtížná a často nepřesná (Ryant, 2005).

Dalším prvkem významným ve výživě rostlin je síra. Síru získávají rostliny svými kořeny z půdního roztoku, do kterého se síra dostává rozpadem matečné horniny. Další způsob vstupu síry do půdy je prostřednictvím srážek, které z atmosféry vymývají chemické sloučeniny obsahující síru a které pocházejí jak z přirozených procesů, tak z procesů antropogenních (Marek et al., 2008). Síra je do půdy navracena statkovými hnojivy, posklizňovými zbytky, zeleným hnojením a v čím dále menší míře depozicí. U některých druhů rostlin je do půdy navraceno až 85 % síry z jejich odumřelých částí. U statkových hnojiv obsah síry značně kolísá a pohybuje se v rozmezí přibližně 0,4 $kg \cdot t^{-1}$ až 1,2 $kg \cdot t^{-1}$. U většiny hořečnatých a draselných hnojiv a ve třetině ochranných přípravků povolených v EZ je síra přítomna, a její dostatek tak může být zajištěn použitím těchto vstupů. Dostatek síry je předpokladem pro rostlinnou indukovanou rezistenci, která zodpovídá za zvýšení přirozené odolnosti vůči patogenům. Tento efekt je pro EZ významný, poněvadž užívání syntetických pesticidů není povoleno (Ryant, 2005).

Fosfor je rostlinou přijímán kořeny ve formě fosfátů a je součástí mnoha organických látek, jako jsou nukleotidy, fosfolipidy nebo cukernaté fosfáty. Nedostatek fosforu se projevuje na rostlině podobně jako nedostatek dusíku, tedy předčasným opadem listů či nekrózami, ale také poruchami reprodukce (Marek et al., 2008). Co se týče EZ, je fosfor nejproblematičtější živinou. Fosfor je velmi stabilní, z půdy je vyplavován velmi obtížně, ale zároveň je obtížně přístupný rostlinám. Dostupnost fosforu v půdě je značně závislá na jejím typu, kdy jeho nejvyšší přístupností disponují hnědozemě a černozemě. Je-li půda kyselá či bazická, dostupnost fosforu se značně snižuje. Nachází-li se fosfor v organických vazbách, je pro rostlinu nedostupný. V půdním prostředí je fosfor uvolňován mikrobiální činností,

exudáty v rhizosféře či za pomoci mykorrhizy. Kypření a vápnění zlepšují strukturu a provzdušnění půdy, a zlepšují tak dostupnost fosforu. Zemědělské plodiny odčerpávají z půdy v průměru 20 – 30 kg fosforu za rok. Vzhledem k nízkému obsahu fosforu v organických hnojivech a k jeho pomalému a náročnému uvolňování z nich, je jeho přísun do půdy tímto způsobem nedostačující. Například při dávce hnoje $40 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ s běžným obsahem fosforu 0,14 % se dostane do půdy přibližně 56 kg fosforu. Z toho se za první rok uvolní asi 25 %, což je 14 kg, druhý rok 15 %, což odpovídá 8,4 kg a třetí rok 5 %, což činí 2,8 kg fosforu. Zbývajících 55 % fosforu zůstane vázáno v organických sloučeninách, ze kterých se bude velmi pomalu uvolňovat v malých objemech. Nejen v EZ je tak nutné fosfor dodávat do půdy minerální formou. Vyhláškou je dovoleno aplikovat mleté fosfáty s obsahem kadmia do $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, jehož celková roční dávka nesmí překročit $2 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Ryant, 2005).

Obsah draslíku v rostlinách značně kolísá, nachází se v chloridech, fosforečnanech a uhličitanech a obecně se stářím rostliny jeho obsah v pletivech klesá. Jeho zdrojem je půdní roztok. Draslík mimo jiné aktivuje transport asimilátů z listů do generativních orgánů, je nepostradatelný v procesu otevírání průduchů a je s ním také spojen kořenový vztlak a propustnost kořenového systému pro vodu (Marek et al., 2008). Draslík je součástí jílových minerálů, proto půdy s vyšším podílem jílu jsou na něj bohaté. V rašelinných či písčitých půdách bývá draslíku nedostatek. Ionty draslíku velmi snadno přecházejí do půdního roztoku. Fixaci draslíku negativně ovlivňuje organické hnojení a vápnění. Naopak vysoká mikrobiální aktivita příjem draslíku ovlivňuje pozitivně. Dostatek draslíku v půdě je v EZ zajištěn statkovými hnojivy a zbytky rostlin, zvláště těch draselnomilných, jako jsou cukrovka, brambory a jeteloviny, ale také slámou obilnin nebo kukuřice. V případě jeho nedostatku je možno aplikovat rozpustný síran draselný či surovou draselnou sůl (Ryant, 2005).

Hlavním zdrojem vápníku ve formě Ca^{2+} je pro rostlinu půdní roztok a dále také výměnný sorbovaný vápník a soli jako síran vápenatý a uhličitán vápenatý. Nedostatek vápníku se projevuje změnami tvaru a počtu mitochondrií a sníženou stabilitou membrán, které se stávají propustnější. Nedostatek vápníku také negativně ovlivňuje transport sacharidů z listů do kořenů a způsobuje poruchy růstu (Marek et al., 2008). Podobně jako v konvenčním zemědělství je i v EZ hlavním zdrojem vápníku v půdě vápnění. V EZ však není povoleno pálené vápno, které poškozuje půdní mikroorganismy. Doporučený je dolomit či vápenec. Vápnění probíhá na lehčích půdách jednou za 2 roky, na těžších jednou za 3 roky, nejlépe před leguminózami. Důraz na neutrální pH půdy je v EZ o to větší, poněvadž pozitivně ovlivňuje půdní mikroorganismy (Ryant, 2005).

V závislosti na výživě a fyziologickém stavu rostliny se odvíjí obsah hořčíku v ní. Hořčík se hromadí především v pletivech, kde dochází k intenzivnímu dělení buněk či v pletivech s intenzivním metabolismem. Nedostatek hořčíku se projevuje jako intervenální chloróza (Marek et al., 2008). V EZ je hořčík možno doplňovat dolomitem nebo síranem hořečnatým či hořečnatodraselným. Je-li poměr draslíku k hořčíku vyšší než 2:1, je třeba omezit hnojení draslíkem. Vyrovnaný poměr živin je pro EZ nezbytný, poněvadž je předpokladem pro rozvoj přirozené mikrobiální aktivity (Ryant, 2005).

Vzhledem k absenci využívání minerálních hnojiv v EZ je doporučeným zdrojem živin statkové hnojivo. Dle směrnice Rady 91/676/EHS jsou považovány za statkové hnojivo živočišné výkaly nebo směs z podestýlek a živočišných výkalů. Tato hnojiva jsou složena z pevné a tekuté složky. Pro použití v EZ je povoleno používat pouze taková statková hnojiva, která pocházejí opět pouze z ekologické farmy či farmy v přechodném období. Výjimkou jsou statková hnojiva pocházející z farem konvenčních, která jsou kompostována či fermentována (Konvalina, 2008).

Za kompostované hnojivo je v tomto případě považováno pevné statkové hnojivo, které celým objemem prošlo aerobním rozkladným procesem. Fermentací je v případě použití pro EZ myšleno zrání kapalných hnojiv alespoň 4 měsíce pro močůvku a hnojůvku a 5 měsíců pro kejdu, což je dáno vyhláškou 274/1998 Sb. Hnojiva pocházející z klecových chovů drůbeže a králíků či z bezstelivových a roštových stání není v EZ povoleno využívat. Každý ekologicky hospodařící farmář musí být schopen doložit původ použitých statkových hnojiv (Konvalina, 2008).

Čerstvé statkové hnojivo není vhodné zapravovat do půdy ihned. Obsah nerozložených organických zbytků je vysoký, což negativně ovlivňuje biologickou aktivitu půdy. Při použití čerstvého statkového hnojiva dochází k urychlenému vyplavování dusíku z půdy či jeho denitrifikaci. Vhodně uleželé hnojivo se podobá zemině a není v něm možno rozpoznat jednotlivá stébla. Při nadměrném zrání dochází ke vzniku zápachu a mastnoty. Při skladování statkových hnojiv musí být zajištěno, aby nedocházelo k únikům či prosakování do půdy a následnému znečištění spodních vod (Konvalina, 2008).

I kvalitní statkové hnojivo však může být zdrojem nežádoucích látek, a to především těžkých kovů. Kvalita půdy přímo souvisí s dostupností prvků v ní obsažených. Jedním z ne tak často diskutovaných žádoucích prvků je Zn, který je taktéž zásadní ve výživě člověka. V pšeničných zrnech je ideální koncentrace $38 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Zn. V zemědělských půdách je dostupnost půdního Zn pro příjem rostlinami omezena jeho rozpustností, která je ovlivněna především adsorpcí na povrchy minerálů, komplexací s organickou hmotou a tvorbou sraženin. Vzhledem ke své chemické podobnosti je dostupnost půdního Zn ovlivněna stejným způsobem a stejnými půdními faktory, jaké ovlivňují i dostupnost zcela nežádoucího Cd, které ohrožuje lidské zdraví i životní prostředí. Proto by měly být pečlivě sledovány interakce mezi dostupností a absorpcí Zn a Cd v půdě. Jejich dostupnost závisí především na půdní organické hmotě, různých oxidech, jílovitých částicích a pH. Afinity Zn a Cd k sorpci na půdní částice může být více než 10krát vyšší u organické hmoty než u minerálních částic. Protože zemědělské postupy mohou mít zásadní dopad na obsah organické hmoty v půdě i na její pH, je důležité pochopit, jak ovlivňují dostupnost a koncentrace Zn a Cd v zemědělských půdách. Z důvodů bezpečnosti potravin je obzvláště důležité spojit dostupnost Zn a Cd v půdě s jejich příjmem například pšeničnými zrny, aby bylo možné určit, jak se jejich dostupnost promítne do jejich obsahu v potravinářsky využitelných částech plodin (Schweizer et al., 2018).

Cd a další rizikové kovy jsou díky jejich interakcím a kumulativním účinkům v půdě a následné kumulaci nejen v jedlých částech rostlin vážnou hrozbou pro zvířata i lidské zdraví. Vstupují z půdy do potravinového řetězce, což vede ve výsledku až ke zvýšenému výskytu chorob, jako je například rakovina. Účinná a důsledná kontrola potravin, ale i půdy na přítomnost těchto prvků je tedy velmi důležitá. Kovy a metaloidy jsou v půdě přítomny přirozeně, avšak intenzivní používání agrochemikálií tyto přirozené koncentrace mnohdy významně zvyšuje (Hattab et al., 2019).

3.5.3 Pšenice v ekologickém zemědělství

Pšenice setá (*Triticum aestivum* L.) je považována za jednu z nejstarších lidmi využívaných, tedy kulturních, obilnin. Do Evropy a dále do světa byla rozšířena z oblasti Přední Asie. Oproti KZ zaujímá v EZ významné místo pšenice ve své jarní formě. Příčinami jsou vyzimování, zaplevelení či vyšší deficit dusíku u forem ozimých. Vyšší podíl mají jarní formy také v nabídce ekologicky certifikovaných osiv. Pšenice je hlavní plodinou v sušších a teplejších oblastech s úrodnou půdou. Má však slabě rozvinutý kořenový systém a pomalý jarní vývoj, díky čemuž je náročná na výživu a agrotechnická opatření a špatně konkuruje zaplevelení. Oproti jiným obilným druhům však pšenice v EZ velmi dobře reaguje na vhodné podmínky a dokáže zajistit vysoký výnos. Nejvhodnější předplodinou pro pšenici jsou jetelotraviny, které dobře potlačují plevel a do půdy dodávají množství dusíku (Konvalina, 2008).

Pšenice je jednou z dominantních obilnin světa. Kultivary pšenice jsou díky dobrým vlastnostem celosvětově nejpoužívanější při výrobě kynutého pečiva. Z tohoto důvodu se hlavní část vědecké literatury o pekařských výrobcích vztahuje hlavně na technologické vlastnosti mouky z pšenice, včetně srovnání účinků konvenčních a ekologických výrobních systémů. Byly však poskytnuty také důkazy, že ekologický způsob pěstování pšenice má také další pozitivní účinky, jak na toxikologické, tak nutriční, chemické a technologické vlastnosti mouky (Pontonio et al., 2016).

3.5.3.1 Výhody pšenice z ekologického zemědělství

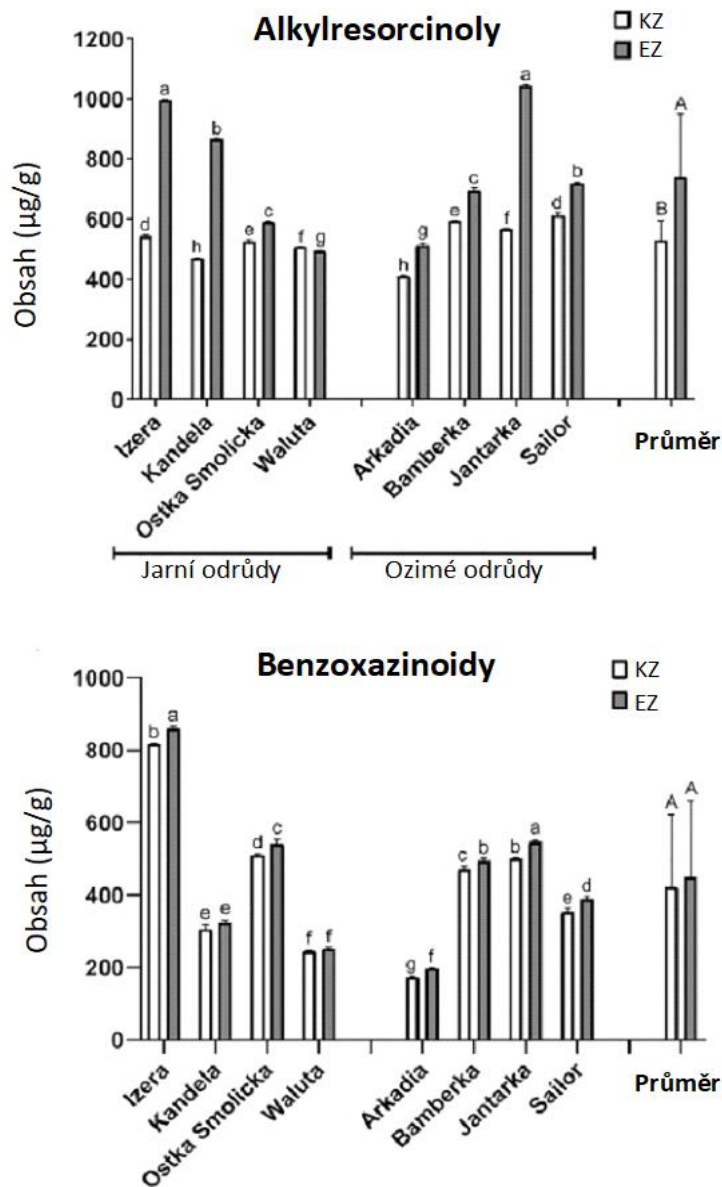
U pěstování a skladování pšenice jsou často diskutovaným tématem mykotoxiny, a to především co se ekologické produkce týče. Výsledky měření ukázaly, že neexistuje žádné zvýšené riziko expozice mykotoxinů z pšeničné mouky pocházející z EZ. Koncentrace deoxynivalenolu (DON) byla zjištěna výrazně vyšší v konvenčních pšeničných moukách. Ve Velké Británii bylo téměř dvakrát tolik vzorků konvenčních oproti ekologickým pozitivních na DON. Avšak vzhledem k tomu, že koncentrace DON byly v konvenčních i ekologických vzorcích více než 12krát nižší, než jsou dané limity, riziko při konzumaci produktů z konvenčního i ekologického zemědělství je zanedbatelné. Bylo však zjištěno, že koncentrace ochratoxinu A (OTA) v ekologické i konvenční pšeničné mouce byly sice podobné, ale u podstatného počtu vzorků nad současnou povolenou mírou koncentrace stanovenou EU. Toto zjištění by mělo vést k opětovnému přezkoumání systému kritických kontrolních bodů (HACCP) před a po sklizni, například při sušení, skladování a testování mykotoxinů, kde lze minimalizovat kontaminaci OTA (Wang et al., 2020a).

Důležitou otázkou také je, jaký vliv má ekologický způsob hospodaření na obsah nutričně významných látek v pěstované pšenici. Podle Langenkämpera et al. (2006) bylo prokázáno, že obsah bílkovin byl významně nejvyšší u pšenice, která byla vyživována výhradně minerálním hnojivem. Hladiny bílkovin byly relativně vysoké, tedy mezi 13 % a 15 % u obou sledovaných systémů. Hladiny nerozpustné vlákniny byly významně vyšší u minerálně hnojené pšenice oproti konvenční pšenici, avšak nebyl nalezen žádný vztah mezi úrovní obsahu vlákniny a systémem hospodaření. Úrovně fruktanu byly v pšenici z ekologických a konvenčních zemědělských systémů taktéž stejné. Celkový a rozpustný oxalát se významně nelišil mezi žádnými vzorky pšenice pocházejícími ze zemědělských systémů. Z výsledků tedy vyplývá, že kromě sníženého obsahu bílkovin ekologický způsob pěstování pšenice nepřináší žádné zhoršení ve sledovaných parametrech.

Z výsledků Wanga et al. (2020b) je patrné, že u produkce z EZ je vyšší koncentrace antioxidantů. Antioxidanty, jako jsou vitamíny C a E, karotenoidy a polyfenoly, jsou zvláště důležité pro lidskou výživu. Tyto antioxidanty mohou díky své schopnosti eliminace radikálů snižovat riziko vzniku kardiovaskulárních onemocnění, určitých typů rakoviny a degenerativních procesů souvisejících s věkem. Zjištěn byl také vyšší obsah zinku. Na druhou stranu obsahovala semena pšenice z EZ nižší koncentrace nejen bílkovin, ale i dusičnanů, dusitanů a kadmia. Z výsledků také vyplývá, že starší dlouhostébelné odrůdy jarní pšenice, které byly používány v první polovině 20. století, dnes preferované některými ekologickými zemědělci, obsahují výrazně vyšší koncentrace minerálních živin (Zn, Cu a Se) než moderní krátkostébelné odrůdy. Zjištěna byla podstatně vyšší antioxidační aktivita a koncentrace základních minerálních živin, jako jsou Mg, Fe, Zn a Cu v celozrnné mouce. Zásadní je však zjištění, že odstraňování otrub a klíčků před mletím má podstatně větší dopad na antioxidační aktivitu a koncentraci fenolických a minerálních živin než osevní postupy a výběr druhu pšenice (Wang et al., 2020b).

Jak již bylo zmíněno, mnoho přínosů pro zdraví lze připsat antioxidační aktivitě bioaktivních sloučenin. Potenciální třídou přírodních antioxidantů jsou alkylresorcinoly (AR, fenolové lipidy) nacházející se v otrubové vrstvě obilnin. Jejich biosyntéza a akumulace v obilných zrnech a výrobcích z nich závisí na mnoha faktorech (biotických a abiotických) a různých kultivarech. Další třídou přírodních produktů široce distribuovaných v obilných zrnech a následně v cereálních potravinách jsou benzoxazinoidy (BX). Složení a koncentrace BX v obilných zrnech však závisí na řadě faktorů. Semena pšenice jako taková neobsahují BX, ale jejich syntéza začíná ve velmi raných stádiích klíčení. Z výsledků studie vyplývá, že vyšší obsah AR i BX byl zjištěn u odrůd pšenice pěstovaných v EZ, viz graf 2 (Kowalska a Jędrejek, 2020).

Graf 2: obsah AR a BX v obilných zrnech z EZ a KZ (podle Kowalské a Jędrejka, 2020)



3.5.3.2 Vhodné odrůdy pšenice seté pro ekologické zemědělství

Často se uvádí, že odrůdám, zejména kultivarům obilovin, vyšlechtěným pro konvenční pěstební podmínky, chybí důležité vlastnosti či jejich vhodná kombinace požadované pro optimální výkon v ekologických pěstebních podmínkách s nízkými vstupy, a je tudíž potřeba zajistit odrůdy plodin, které jsou vhodnější pro takovéto podmínky. Výsledkem je, že šlechtitelé v Evropě a USA zavedli pro některé plodiny včetně obilnin šlechtitelské programy pro ekologické využití s nízkými vstupy, kde jsou jejich hlavní výběrová kritéria založena na rezistenci nebo toleranci k biotickým a abiotickým stresům, na vysoké míře využití dostupných zdrojů, na vysoké kvalitě konečného produktu a na přizpůsobení místnímu mikroklimatu. U ozimé pšenice jsou tyto programy často založeny na křížení moderních vysoce výnosných odrůd s krátkým stéblem a starších odrůd s delším stéblem s následným výběrem potomků vhodných pro prostředí ekologické produkce (Rempelos et al., 2020).

Odrůda vhodná pro využití v EZ se musí vyznačovat vysokou odolností proti houbovým chorobám, především klasovým, jako jsou septoriózy a fusariózy. Podklasové internodium by mělo být dlouhé, což zajišťuje vhodnou míru asimilace v době tvorby zrna i při napadení rzí. Ostatní internodia by však měla být krátká, což snižuje riziko poléhání. Vhodné odrůdy pro pěstování v EZ se dále vyznačují vyšší mírou tvorby kořenového systému, což se projevuje lepším příjmem živin a vody z půdy, díky kterému je rostlina schopna rychlého přírůstku nadzemní biomasy na počátku svého vegetačního období, což zvyšuje její konkurenceschopnost vůči plevelům. Vhodné odrůdy mají delší stéblo, které méně odnožuje a tvoří větší počet zrn s vyšší hmotností. Malá míra odnožování má za následek snížené nároky na dusík, který je časně zjara méně dostupný díky pomalé mineralizaci, ale v době tvorby zrna je ho již dostatek, což se týká především ozimých forem pšenice (Konvalina, 2010).

Se zvyšující se poptávkou po ekologických osivech byl v roce 2015 MZe pověřen Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ) organizováním zkoušek pro Seznam doporučených odrůd. Garantem byl jmenován PRO-BIO, Svaz ekologických zemědělců, a taktéž byla ustanovena dohlížecí komise. V rámci ozimých pšenic jsou pro ekologické zemědělství dostupné tyto odrůdy: Sultan, Penelope, Gordian, Bernstein, Balitus a Annie, viz tabulka 1 s průměrnými výnosy. Z jarních odrůd pšenice jsou doporučeny odrůdy Izzy a Quintus. Odrůdy Kabot a Registana mají předběžné doporučení po třech letech zkoušek (PRO-BIO, 2020).

Tabulka 1: Průměrné výnosy sledovaných odrůd pšenice (PRO-BIO, 2020)

Rok zkoušení	2016			2017			2018			2019				Průměr 2016 - 2019		
Lokalita	Postřelmov	Uhřetěves	Průměr	Uhřetěves	Zvíkov	Průměr	České Budějovice	Uhřetěves	Zvíkov	Průměr	Domanínec	Uhřetěves	Velké Hostěrádky		Zvíkov	
Předplodina	jetel luční	vikve setá		jetel luční	svazanka, hrách, ovičí hrnůj		peluška	jetel luční	svazanka hrách, hrnůj		hrách	jetel luční	jetelotráva		hrách	
Výsevek (MKS)	4,5	4,0	5,0	5,5	5,0	5,0	5,0	5,0	4,5	5,0	5,5					
Datum setí	30.9.	12.10.	18.10.	18.10.	1.10.	16.10.	2.10.	3.10.	10.10.	23.10.	10.10.					
Datum sklizně	26.7.	4.8.	1.8.	3.8.	20.7.	18.7.	25.7.	12.8.	26.7.	19.7.	25.7.					
Výnos zrna (t.ha ⁻¹)																
Gordian	4,31	8,54	6,43	10,22	4,38	7,30	2,75	4,45	5,04	4,08	7,13	7,55	8,83	5,86	7,34	6,28
Sultan	4,81	8,16	6,49	9,38	4,46	6,92	3,83	5,57	4,39	4,60	5,68	7,59	8,13	6,13	6,88	6,19
Penelope	4,17	8,72	6,45	9,60	3,73	6,67	2,44	4,72	5,03	4,06	7,34	7,88	8,99	5,34	7,39	6,18
Bernstein	5,13	7,34	6,24	9,36	3,69	6,53	2,85	5,19	5,44	4,49	6,32	7,62	8,95	5,48	7,09	6,12
Annie	4,95	7,46	6,21	9,00	3,66	6,33	3,56	5,53	4,70	4,60	6,55	7,68	8,32	5,51	7,02	6,08
Balitus	4,13	7,09	5,61	9,75	3,14	6,45	2,75	4,66	4,60	4,00	6,35	7,91	8,98	5,98	7,31	5,94
MD 0.05	0,65	0,52	1,70	0,27	0,30	1,03	0,34	0,33	0,49	0,83	0,47	0,24	0,57	0,36	0,59	0,40

Budoucí šlechtitelské programy pro odvětví s nízkými vstupy by měly být zaměřeny na zvýšení potenciálu výnosu v režimech organického hnojení, například zaměřením se na vlastnosti, jako jsou vysoká kapacita absorpce dusíku nebo účinnost využívání dusíku ze vstupů organických hnojiv, jakož i na odolnost proti napadení *Septorii* (Rempelos et al., 2020).

3.6 Energie a výnos v konvenčním a ekologickém zemědělství

Systém EZ využíval v roce 2014 celosvětově 43,7 milionu hektarů, což odpovídá přibližně 1 % veškeré zemědělské půdy. Přestože zaujímá EZ velmi omezenou plochu, v některých oblastech je jeho podíl významný, například v Oceánii (4,1 %), a zejména v Evropské unii (5,7 %), kde EZ zaujímá plochu přibližně 14 milionu hektarů, což je oproti roku 2000 nárůst o 150 %. EU tak v roce 2014 zaujímala přibližně 27 % veškeré půdy v režimu EZ. Tržby z ekologického maloobchodu byly v rámci EU za rok 2014 odhadnuty na 23,9 miliard EUR. Koncepce globálního růstu EZ je však zastaralá a musí čelit aktuálním výzvám rostoucí populace a maximalizace efektivity systému. Několik studií poukazuje na snížení výnosů v systémech EZ v průměru o 20 – 25 % oproti konvenčním zemědělským systémům, ale toto nemůže být jediný sledovaný parametr (Dal Ferro et al., 2017).

V podstatě veškeré zemědělské systémy jsou závislé na vstupu energie z fosilních paliv, která je spotřebována jako přímá energie, palivo a elektrická energie používaná na farmě, nebo jako nepřímá energie, tedy energie pro výrobu strojů, hnojiv, prostředků na ochranu rostlin a podobně. V globálním měřítku se vstupy energie z fosilních paliv pro produkci plodin liší v závislosti na zemědělském systému. V některých systémech hospodaření na orné půdě s nízkými vstupy, například ve velké části Afriky, je energetický vstup do půdy nižší než $1 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, zatímco v některých moderních zemědělských systémech s vysokými vstupy může překračovat $30 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Značné rozdíly v energetickém vstupu však lze nalézt také ve vyspělých zemích, kde příkladem systémů s nízkými vstupy (méně než $10 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) jsou rozsáhlé travní porosty nebo orná půda v EZ a příkladem vysoce náročných systémů na vstupní energii (více než $10 \text{ GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) jsou intenzivní KZ, zahradnictví a rostlinná výroba ve sklenících. Kromě toho vstupy ve formě fosilní energie také souvisí s emisemi látek znečišťujících ovzduší a skleníkovými plyny a v neposlední řadě je zde také problém ekonomický, poněvadž náklady na energii jsou důležitou součástí výdajů na zemědělskou produkci (Lin et al., 2017).

Vstupní energie na hektar v konvenčních zemědělských systémech je vyšší ve srovnání se vstupem do systémů EZ v důsledku využívání minerálního dusíku a syntetických chemických pesticidů. Je však nutné vzít v úvahu odlišnou úroveň výnosů ekologických a konvenčních systémů a odlišný energetický vstup na jednotku zemědělského produktu. Není stále úplně jasné, který systém je energeticky efektivnější. Faktory, které ovlivňují energetickou bilanci, jsou mnohé, jako například různé střídání plodin, intenzita výroby, vstupy ve formě minerálního N a pesticidů, nové technologie jako moderní stroje či precizní zemědělství či vysoce výnosné odrůdy (Lin et al., 2017).

V polním pokusu byl výnos pšenice ozimé během 13letého období v průměru $6,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ v KZ a $4,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ v EZ. Během 13 sledovaných let byla také kukuřice produktivnější v KZ (průměrný výnos $8,7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$) než v EZ (průměrný výnos $5,1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$) a vykazovala kolísavé hodnoty výnosu během sledovaného období v obou systémech. Produkce sóji v EZ byla nejvyšší v roce 2014 ($3,9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$), zatímco průměrná hodnota v KZ byla $4,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. V průměru tvořily výnosy v EZ 67,7 % v porovnání s

výnosy obhospodařovaných podle konvenčních postupů. Výnosy kukuřice a sóji se pohybovaly mezi průměrnými hodnotami 62,2 % ($\pm 6,6$ %) a 80,6 % ($\pm 4,5$ %) vůči KZ. Výnosy pšenice vykázaly střední výsledky (63,3 %, $\pm 5,2$ %) vůči KZ (Dal Ferro et al., 2017).

Celkové energetické vstupy (E_{in}) na jednotku plochy odhadované v obou zemědělských systémech byly v průměru 12 966 MJ·ha⁻¹·rok⁻¹ v EZ a 20 968 MJ·ha⁻¹·rok⁻¹ v KZ. Vyšší množství dodávané energie bylo v KZ obecně způsobeno vstupy průmyslových hnojiv, které představovaly 48,8 % všech energetických vstupů u pšenice a 58,6 % u kukuřice v KZ, ale pouze 14,3 % u pšenice a 16,8 % u kukuřice v EZ. Naopak u sóji byly pozorovány zanedbatelné rozdíly (13,5 % v KZ a 13,65 % v EZ), protože byla v KZ pěstována bez jakéhokoli vstupu dusíku, čímž se dramaticky snížil příspěvek dodávek živin k celkovému energetickému vstupu. Mechanické operace byly dalším důležitým faktorem ovlivňujícím celkové energetické požadavky, a to ve výši 7 150 MJ·ha⁻¹·rok⁻¹ v EZ a 6 750 MJ·ha⁻¹·rok⁻¹ v KZ (Dal Ferro et al., 2017).

Ekologicky pěstované jarní plodiny obvykle vyžadovaly více energie ve formě mechanizace než konvenční, protože regulace plevelů byla prováděna mechanicky, a to jak před setím, tak v raných fázích růstu plodin. Kromě toho bylo množství osiva u jarních plodin v EZ o 20 % vyšší ve srovnání s KZ, což kompenzovalo zvýšenou eradikaci plodin v důsledku intenzivnějšího mechanického odstraňování plevelů. Naopak pšenice ozimá v KZ byla obecně vystavena více mechanickým zásahům než pšenice ozimá v EZ, a to zejména kvůli několika aplikacím průmyslových hnojiv a postřikům proti škůdcům, které významně zvýšily energetický příspěvek strojů o 23 %. Energetické vstupy v podobě lidské práce měly obecně jen malý vliv na celkové energetické vstupy. Energetický výstup (E_{out}) na hektar byl vyšší v KZ než v EZ. V průměru systém KZ vyprodukoval 90 507 MJ·ha⁻¹·rok⁻¹, zatímco EZ pouze 58 905 MJ·ha⁻¹·rok⁻¹. Kukuřice v KZ přinesla nejvyšší energetický výstup, a to v průměru 125 673 MJ·ha⁻¹·rok⁻¹, což byla výrazně vyšší hodnota než u ostatních plodin. Kukuřice v EZ měla výstup pouze 74 702 MJ·ha⁻¹·rok⁻¹. Hodnoty produkce v energii byly u pšenice v KZ 84 748 MJ·ha⁻¹·rok⁻¹, zatímco u ekologické pšenice bylo naměřeno 56 003 MJ·ha⁻¹·rok⁻¹. Také v sójových bobech pocházejících z EZ bylo uloženo méně energie (45 597 MJ·ha⁻¹·rok⁻¹) než v bobech z KZ (58 838 MJ·ha⁻¹·rok⁻¹) (Dal Ferro et al., 2017).

Obecně plodiny z KZ vykazovaly vyšší energetické zisky na jednotku plochy než plodiny z EZ, a to v průměru 68 710 MJ·ha⁻¹·rok⁻¹ v KZ a 43 869 MJ·ha⁻¹·rok⁻¹ v EZ. Naopak hodnocení produktivity investované energie ($E_{in} \cdot E_{out}^{-1}$) bylo v průměru vyšší v EZ (4,53) než v KZ (4,28). Kukuřice (5,56) a pšenice (4,28) z EZ si vedly lépe nežli kukuřice a pšenice z KZ (4,68 a 3,36). U sóji byl pozorován opak, což naznačuje větší roli chemického hnojení při ovlivňování účinnosti systému s ohledem na nízkou energii vyžadovanou ručním okopáváním. Podrobné výsledky viz tabulka 2, kde S.E. vyjadřuje standardní odchylku, mean značí průměrnou hodnotu a GDD (growing degree-days) popisující množství tepla, které přijme rostlina za dané období, a jedná se tak o lineární model vývoje rostlin v závislosti na teplotě. GDD je měřítkem akumulace tepla používaného zemědělci k předpovědi rychlosti vývoje rostlin. NAE vyjadřuje efektivitu využití dusíku (Dal Ferro et al., 2017).

Tabulka 2: Zjištěné hodnoty z polního pokusu srovnávajícího EZ a KZ (Dal Ferro et al., 2017)

		Pšenice		Kukuřice		Sója		EZ	KZ
		EZ	KZ	EZ	KZ	EZ	KZ		
Vegetační období (dny)	Mean	238.3	244.0	136.1	163.5	134.2	143.6	169.5	184.9
	S.E.	3.1	1.7	2.8	2.4	2.1	3.1	8.4	7.6
	Median	242.0	245.0	134.0	164.5	135.0	144.0	140.5	168.0
	Min	217.0	233.0	123.0	153.0	121.0	128.0	121.0	128.0
	Max	250.0	251.0	152.0	175.0	143.0	165.0	250.0	251.0
GDD	Mean	2331.8	2452.5	1790.8	1991.8	2323.7	2384.5	2148.8	2273.2
	S.E.	58.07	47.34	33.24	20.54	44.17	50.36	50.05	42.04
	Median	2327.1	2434.7	1767.3	1964.7	2268.6	2354.1	2225.3	2305.9
	Max	2065.1	2215.7	1643.5	1896.2	2105.1	2131.6	1643.5	1896.2
NAE (kg kg ⁻¹)	Mean	35.9	36.6	35.1	27.3	27.5	–	32.7	32.0
	Stand Error	3.4	2.5	4.9	1.5	4.9	–	2.7	1.7
	Median	36.4	38.4	31.7	27.6	20.2	–	32.1	31.75
	Max	17.5	27.14	5.7	20.2	13.9	–	5.74	20.2
E _{out} - E _{in} (MJ ha ⁻¹ y ⁻¹)	Mean	42927.2	59525.5	61278.4	98839.1	33197.8	47992.6	45801.1	68785.7
	S.E.	4275.86	3908.18	7742.63	7239.22	3360.65	4199.92	3509.7	4519.57
	Median	43597.5	63977.7	57905.5	87335.6	32875.3	50493.1	39826	65290.1
	Max	17997.3	84480.3	22813.6	59039.7	17556.3	30446.8	17556.3	30446.8
E _{out} - E _{in} (MJ Mg ⁻¹ y ⁻¹)	Mean	10628.2	9923	10834.6	11375.4	11744	13351	11207	11502.4
	S.E.	325.49	216.12	944.2	204.07	366.22	309.81	363.92	266.82
	Median	11122.1	10155.8	11964.4	11442.5	12177.1	13674.3	11488.8	11394.8
	Max	8326.1	8223	8982.1	10306.1	10185.3	12774.6	8326.1	8223.0
E _{out} E _{in} ⁻¹	Mean	4.3	3.4	5.6	4.7	3.7	5.4	4.5	4.3
	S.E.	0.35	0.19	0.6	0.33	0.28	0.4	0.26	0.2
	Median	5.06	3.74	5.4	4.51	3.63	5.28	4.37	4.35
	Max	2.5	2.46	2.6	3.4	2.52	3.67	2.5	2.46
		6.04	4.64	8.9	7.3	5.72	7.92	8.9	7.92

Také výsledky studie srovnávající spotřebu energie a emise skleníkových plynů v konvenčním a ekologickém zemědělství v Nizozemsku naznačují podobné závěry. Z výsledků vyplynulo, že spotřeba energie a emise skleníkových plynů (GHG – greenhouse gas) na jednotku produktu jsou u ekologicky pěstovaných plodin vyšší o 5–40 % a 7–17 % nežli u plodin pěstovaných konvenčním způsobem. Autoři také poukazují na další výzkumy, které zmiňují, že spotřeba energie v EZ je o 10 – 30 % a GHG až o 15 % vyšší nežli v KZ (Šarauskiis et al., 2018).

Tato studie také prokázala, že hluboká orba vyžaduje největší celkový energetický vstup (19 029 – 21 046 MJ·ha⁻¹). V KZ tvoří největší podíl na vstupech pohonné hmoty (30,1 %), zemědělské stroje (28,2 %) a hnojiva (31,4 %). Bezorebné zpracování půdy vyžadovalo nejnižší celkové energetické vstupy (18 003 – 19 170 MJ·ha⁻¹). Nejlepší hodnoty indikátoru spotřeby energie vykázalo diskové podmítání (poměr energetické účinnosti 9,59, specifická energie 0,41 MJ·kg⁻¹ a energetická účinnost 2,41 kg·MJ⁻¹) (Šarauskiis et al., 2018).

V systému EZ vyžadovala nejvyšší celkové energetické vstupy termická regulace plevelů (31 436 – 34 457 MJ·ha⁻¹) a největší podíl na energetických vstupech měla organická hnojiva (40,9 – 44,8 %). Meziřádková úprava vyžadovala nejnižší energetické vstupy (25 862 – 27 902 MJ·ha⁻¹) a vykázala jak nejvyšší výnos (55,82 t·ha⁻¹), tak nejlepší hodnoty indikátoru spotřeby energie. Nejvyššího vstupu emisí uhlíku (1 097 kg·ha⁻¹) a nejnižšího poměru emisí uhlíku (15,83) pro konvenční produkci cukrové řepy bylo dosaženo pomocí hluboké orby na malých farmách (2 ha) (Šarauskiis et al., 2018).

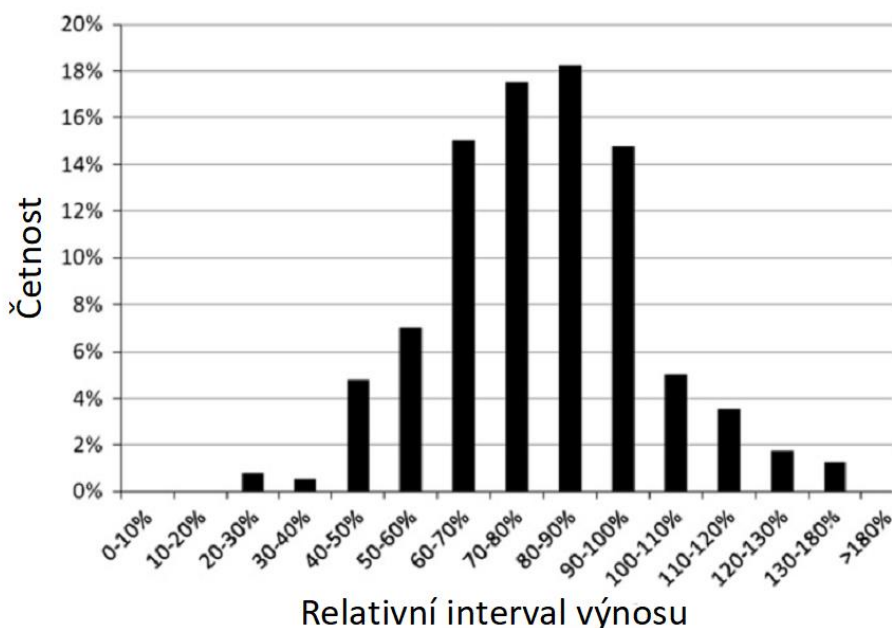
Nejlepší hodnoty indikátorů uhlíkových emisí byly dosaženy pomocí obdělávání půdy na velkých farmách (80 ha). Nejvyšších vstupů uhlíku v produkci ekologické cukrové řepy bylo dosaženo pomocí tepelné regulace plevelů ($5\,106,6\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) a nejnižších ($4\,606\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) pomocí meziřádkové úpravy. Na druhou stranu nejvyšší poměr emisí uhlíku v EZ vykázaly právě meziřádkové úpravy (4,85), kdežto nejnižší (2,25) vykázalo využití krycích plodin. Tato studie také ukazuje, že velikost farmy ovlivňuje celkové bilance emisí uhlíku při výrobě cukrové řepy. Zvýšením velikosti farmy mohou být emise uhlíku ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) při produkci cukrové řepy sníženy o 9,9 – 14,9 % v systému konvenčního zemědělství a o 3,1 – 4,0 % v systému ekologického zemědělství (Šarauskis et al., 2018).

Jiný polní pokus se zabýval efektivitou využití energie. Vyšší vstup energie v konvenčních oblastech ve srovnání s ekologickými oblastmi byl taktéž způsoben používáním minerálního dusíku a pesticidů. V ekologických oblastech více polních operací, jako zpracování půdy, znamenalo vyšší spotřebu nafty a silnější vliv přímých vstupů energie ve srovnání s konvenčními oblastmi (Lin et al., 2017).

Výnosy sušiny jednotlivých plodin v systémech EZ byly nižší než v konvenčních oblastech. Výsledkem rozdílů ve výnosech je poměr výtěžku pšenice mezi ekologickými a konvenčními plodinami 0,37 – 0,62 a poměr výnosů brambor 0,46 – 0,78. Poměr výtěžku sušiny z ekologického a konvenčního zemědělství byl 0,25 – 0,64. Energetický výkon konvenčních oblastí byl také mnohem vyšší než energetický výkon ekologických oblastí. Poměr energetického výnosu (0,26 – 0,64) se blížil poměru výtěžku sušiny. Kvůli nižšímu výtěžku sušiny v ekologických oblastech, i když energetický vstup v konvenčních oblastech byl více než dvojnásobkem vstupu v ekologických oblastech, efektivita využití energie v konvenční oblasti byla větší (11,1 – 14,6) než v ekologických oblastech (8,2 – 8,3) (Lin et al., 2017).

Další studie se zabývala již publikovanými daty o výnosech srovnávající ekologické a konvenční zemědělství a ukázala, že v současné době jsou výnosy z EZ jednotlivých plodin v průměru na 80 % konvenčních výnosů, viz graf 3 (De Ponti et al., 2012).

Graf 3: Frekvence výskytu relativních výnosů EZ vs. KZ (dle De Ponti et al., 2012)



Při aplikování výsledků na polní a druhovou úroveň, na osevní postupy, farmy a na rovinu regionální bude kritickým problémem to, do jaké míry může být v ekologických systémech zabezpečeno dostatečné množství živin a udržení vysoké míry výnosu. To se týká zejména zařazení luskovin do osevních postupů a dostupnosti organického hnojení (De Ponti et al., 2012).

Další analýza naznačuje, že rozdíl ve výnosech mezi EZ a KZ měl tendenci se zvyšovat se zvyšujícími se výnosy konvenčními, ačkoli prokázaný vztah nebyl silný. Další obavy se týkají škůdců, chorob a zejména kontroly plevelů v systémech EZ, ve kterých je zakázáno používání agrochemikálií (Dal Ferro et al., 2017).

Produktivita EZ je tedy pravděpodobně dle výsledků obecně nižší než výstupy ze zemědělství konvenčního. Přechod veškerého zemědělství na ekologický a udržitelný způsob pěstování a výroby by vyžadoval další obrovské plochy pro pěstování, aby byla pokryta celková potřeba rostoucí lidské populace. Tím by byla nenávratně zničena další přirozená stanoviště a vážně narušena biodiverzita (Rigby a Cáceres, 2001).

I přesto EZ a tradiční střídání plodin mohou hrát v udržitelné budoucnosti významnou roli. Například v rozvojových zemích je stále mnoho zemědělských výrobců s velmi malými výnosy a ti by přechodem na ekologický způsob hospodaření mohli tyto výnosy zvýšit, a vylepšit tak svoji socioekonomickou situaci. Někteří zastánci EZ vidí budoucnost v návratu k maloobjemové produkci. Jsou ale i tací, co takové představy naprosto odmítají a velkou reorganizaci produkce vůbec nepředpokládají. Představují si spíše udržitelné zemědělské systémy, které jsou mnohem podobnější dnešním. To přímo souvisí s často opomíjeným aspektem udržitelného zemědělství, a to je jeho sociální funkce (Rigby a Cáceres, 2001).

3.7 Srovnání dopadů ekologického a konvenčního hospodaření na prostředí

Dopady na životní prostředí jsou u produktů z EZ často nižší na jednotku plochy, ale ne nutně na jednotku produktu. Nižší výnosy jsou ve skutečnosti kompenzovány snížením vstupů, což odpovídá snížení účinnosti systému. Vyhodnocena byla například dynamika dusíku u pšenice a kukuřice pěstované v EZ. Byl zjištěn nesoulad mezi absorpcí dusíku a křivkami mineralizací. Z výsledků vyplynulo, že účinnost EZ byla nižší než účinnost zemědělství konvenčního, a to kvůli špatnému načasování dostupnosti dusíku kvůli pomalé mineralizaci vzhledem k požadavkům plodin na něj (Dal Ferro et al., 2017).

Také byly sledovány potenciální negativní vlivy na kvalitu podzemní vody, zejména v systémech s vysokými dávkami organických hnojiv. Kontinuální odběr živin z půdy v EZ může také ve výsledku vést k jejímu vyčerpání, a to zejména pokud jsou nízké vstupy. Při dobře navržených osevních postupech však může být EZ považováno za realistickou alternativu k systémům konvenčním, ačkoli současné vysoce výnosné plodiny mají obvykle náhle zvýšené požadavky na dusík, které mohou být organickými hnojivy obtížně uspokojitelné (Dal Ferro et al., 2017).

Výroba potravin hraje důležitou roli v kontextu změny klimatu, a zejména zemědělství je významným přispěvatelem, poněvadž představuje jeden z hlavních zdrojů antropogenních emisí skleníkových plynů. Přibližně 10 % evropských emisí skleníkových plynů v roce 2013 a přibližně 24 % celosvětových emisí skleníkových plynů v roce 2010 bylo připisováno zemědělským činnostem, jako je pěstování plodin a chov hospodářských zvířat, ale také odlesňování pro účely zemědělské produkce. Tento podíl ještě vzroste, pokud se započítá i agrochemická výroba, průmyslový proces transformace potravin a doprava a obchod se zemědělskými a potravinářskými výrobky (Chiriaco et al., 2017).

Mnohé studie se pokoušejí zhodnotit vliv rozdílných přístupů k zemědělské produkci a dopad těchto dvou systémů na životní prostředí i na změnu klimatu, což vede k velké variabilitě výsledků. Tyto dopady lze hodnotit jako potenciál globálního oteplování (GWP – Global warming potential with a time frame of 100 years – potenciál globálního oteplování s časovým rámcem 100 let). V závislosti na zaměření studie, použité metodice, půdních a klimatických charakteristikách agrosystému, analyzovaných plodinách a dostupnosti primárních zdrojů, funguje EZ při stanovení GWP v některých případech lépe a v jiných případech hůře ve srovnání s KZ (Chiriaco et al., 2017).

Uhlíková stopa (CF – Carbon Footprint) představuje celkové emise skleníkových plynů na jednotku produktu včetně jejího celoživotního cyklu. Jedním z nedostatků při analýze CF ekologických a konvenčních produktů je skutečnost, že výtěžek na jednotku obdělávané plochy je obecně výrazně nižší při využívání ekologických postupů ve srovnání s KZ. V důsledku toho budou při ekologické produkci tlaky na životní prostředí a emise skleníkových plynů generované v polní fázi životního cyklu počítány pro menší množství produktů, což

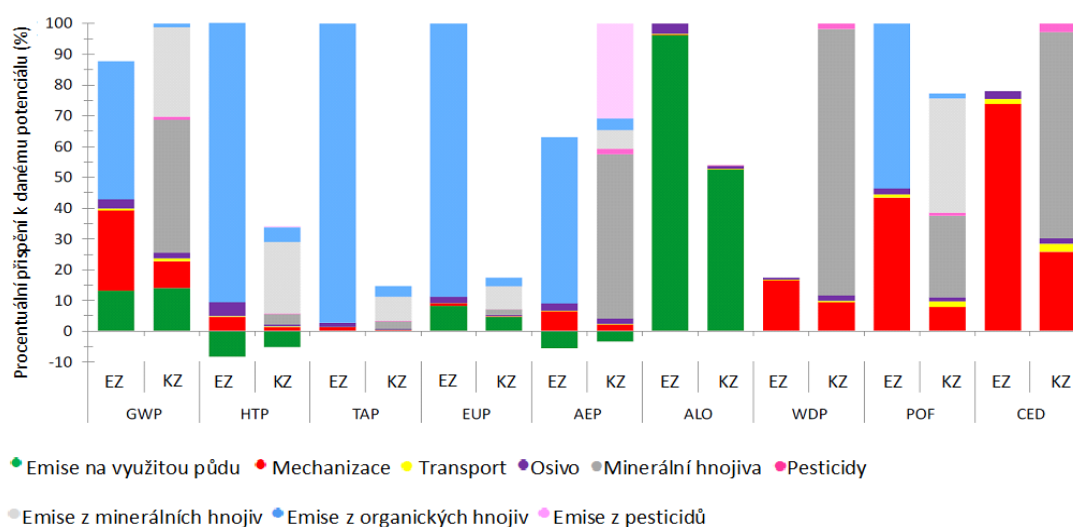
bude mít za následek vyšší dopad na jednotku produktu, což negativně ovlivní CF ve prospěch KZ (Chiriaco et al., 2017).

Pro srovnání dopadů obou přístupů k zemědělství je nutné přesněji určit tuto uhlíkovou stopu a globální dopad pěstování potravin na životní prostředí. K dosažení tohoto cíle je vhodná metodika hodnocení životního cyklu (LCA – life cycle assessment). Pomocí standardizované metody LCA (ISO 14040, 2006) byla zpracována studie posuzující a srovnávající dopady ekologické a konvenční pšenice na životní prostředí. Zahrnuty byly všechny výrobní kroky na farmě včetně výroby a použití strojů či výroby hnojiva a semen. Zkoumány a porovnávány byly dvě funkční jednotky, a to 1 kg čerstvé hmoty pšenice a 1 ha plochy, kde byla pšenice pěstována (Van Stappen et al., 2015).

Z výsledků pěstování ekologické pšenice je patrné, že hlavní podíl emisí je způsoben používáním organických hnojiv. Tyto emise přispívají k 51 % celkového dopadu na GWP. Z výsledků je patrné, že emise NH₃ jsou prostřednictvím emisí N₂O nepřímo zodpovědné za 20 % z celkového dopadu na GWP. Co se týče konvenční produkce pšenice, nejvýznamnější je minerální hnojení, představující 74 % GWP. Také mechanizace má podstatný dopad na produkci ekologické i konvenční pšenice v kategorii GWP (26 % a 9 %) (Van Stappen et al., 2015).

Výsledky dopadů na životní prostředí na kg ekologické pšenice, viz graf 4, ukazují hlavní podíl emisí způsobených používáním organických hnojiv ve většině kategorií. Tyto emise přispívají k 51 %, 91 %, 97 %, 89 %, 86 % a 53 % celkového dopadu na GWP, HTP (potenciál toxicity pro člověka), TAP (potenciál acidifikace), EUP (potenciál eutrofizace), AEP (potenciál vodní ekotoxicity) a POF (fotochemická tvorba oxidantů). Emise NH₃ jsou přímo zodpovědné za 96 % a 49 % celkového dopadu v TAP a EUP a nepřímo, prostřednictvím emisí N₂O, zodpovědné za 20 % z celkového dopadu GWP. Pokud hodnotíme konvenční produkci 1 kg čerstvé hmoty pšenice, je nejvíce ovlivňujícím faktorem minerální hnojení, které představuje 74 % GWP, 94 % HTP, 95 % TAP, 69 % EUP, 63 % AEP, 87 % WDP (potenciál vyčerpání vody), 87 % POF a 69 % CED (kumulativní energetická potřeba). Mechanizace má také podstatný dopad na uhlíkovou stopu, a to u ekologické i konvenční pšenice v kategoriích GWP (26 % a 9 %), WDP (16 % a 9 %), POF (43 % a 8 %) a CED (75 % a 26 %). Při konvenčním pěstování je dopad produkce a aplikace pesticidů omezen na 32 % AEP, 1,8 % WDP a 3 % CED (Van Stappen et al., 2015).

Graf 4: Dopad produkce 1 kg čerstvé hmoty pšenice (dle Van Stappena et al., 2015)



Ekologicky pěstovaná pšenice má nižší výnosy na jednotku plochy a v důsledku toho jsou emise skleníkových plynů generované v polní fázi životního cyklu vázány na menší množství produktů, což má za následek relativně vyšší CF na jednotku produktu. Na druhou stranu vyšší množství vstupů vede ke zvyšování CF na hektar v KZ. V tomto smyslu může CF na jednotku plochy vůči CF na jednotku produktu poskytnout komplexnější posouzení skutečných emisí skleníkových plynů z ekologických a konvenčních agrosystémů (Chiriaco et al., 2017).

Zároveň díky současné možnosti detekce celkové čisté výměny skleníkových plynů s atmosférou na jednotku plochy a míry absorpce uhlíku samotným ekosystémem, mohou mít tyto ukazatele vyšší vypovídající hodnotu nežli takové údaje samostatně. Studie ukazuje, že pěstování pšenice v EZ má potenciál ke snížení dopadu na změnu klimatu, pokud jde o emise skleníkových plynů na hektar, i když je třeba zohlednit důsledky nižší míry produktivity EZ (Chiriaco et al., 2017).

3.8 Analýza využití zemědělské půdy

Účinnost je obvykle definována jako výstup ve vztahu ke vstupu. Neexistuje však obecná definice efektivity využití zemědělské půdy (land-use efficiency – LUE), ani standardní metoda pro měření LUE. LUE se často používá jako synonymum pro zemědělský výnos (výtěžek sušiny na jednotku plochy zemědělské půdy) (Lin a Hülsbergen, 2017).

Výnosový potenciál konkrétního regionu, ať již administrativního, půdního či klimatického, je ovlivněn lokálními klimatickými podmínkami, ale také socioekonomickými faktory, jako jsou například intenzita produkce, výběr plodin či dostupnost technologií. Farma disponující kvalitní půdou nebo vysokou intenzitou produkce může mít vyšší výnosy ve srovnání s farmou se špatnou kvalitou půdy nebo s nižší intenzitou produkce. Není vhodné srovnávat systémy hospodaření, pokud je rozdíl v kvalitě a množství produktu ovlivněn různými přírodními podmínkami dané lokality a konkrétním místním výnosovým potenciálem. Pouhé srovnání výnosů jednotlivých plodin je nedostačující k dostatečně vypovídajícímu vyhodnocení LUE (Lin a Hülsbergen, 2017).

Dalším přístupem může být měření ekologické účinnosti (EE – ecological efficiency). Předpokládejme, že každá farma používá vstupy k produkci výstupů. Analýza začíná spojením vstupů s požadovanými výstupy, čímž měříme technickou efektivitu (TE) farmy. Toto je standardní model DEA (Data Envelopment Analysis, neparametrická matematická programovací technika často používaná při analýze účinnosti) založená na předpokladu konstantní produkce. Generuje míru účinnosti definovanou jako poměr váženého součtu žádoucích výstupů k váženému součtu vstupů za podmínky, že odpovídající poměr pro každou farmu je menší nebo roven jedné (Eder et al., 2021).

Míra ekologické účinnosti je poměr váženého součtu žádoucích výstupů k váženému součtu nežádoucích výstupů. SUE (soil use efficiency – efektivita využití půdy) farmy lze zvýšit buď snížením CP faktorů (cover-management and support practices factors – faktory půdopokryvné a ostatní podpůrné), nebo snížením UAA (utilized agricultural area – využívaná zemědělská půda) při zachování požadované konstantní produkce (Eder et al., 2021).

Srovnání výkonnosti konvenčních a ekologických zemědělských systémů, pokud jde o dopad na životní prostředí, produktivitu a udržitelnost, je v ideálním případě založeno na komplexních nástrojích pro posuzování vlivů na životní prostředí, jako je například zmíněná a široce používaná metoda hodnocení životního cyklu (LCA). LCA je standardizovaný nástroj pro odhad environmentální zátěže produktů, tzn. zboží a služeb, z hlediska jejich životního cyklu. I při použití tohoto nástroje na hodnocení je však výnos rozhodujícím faktorem. Aby bylo možné provést LCA ve více vypovídajícím kontextu, je třeba jasně definovat cíl a rozsah a vyžadovat přesný popis hranic systému a funkční jednotky. Multifunkční role zemědělských systémů není často do LCA integrována (Boone et al., 2019).

Analýza EE byla použita při hodnocení farem v Rakousku. Jak již bylo řečeno, eroze půdy způsobená zemědělskou výrobou je vážnou hrozbou pro udržitelný rozvoj. Toto hodnocení bylo zároveň zaměřené na rozdíl v EE mezi farmáři hospodařícími na vlastní půdě a farmáři s pronajatou půdou. To je důležitý aspekt vzhledem k vysokému a dále rostoucímu podílu pronajaté zemědělské půdy ve většině zemí EU. Účinnost využití půdy (SUE) se dělí na technickou účinnost (TE) a účinnost ochrany půdy (SCE). Byl zjištěn vysoký stupeň ekologické neefektivity a velký potenciál pro zlepšení hospodaření na farmách pro zachování půdy. Taktéž bylo prokázáno, že farmy, které jsou technicky účinnější, také mají tendenci být efektivnější při využívání půdy. Podíl pronajatých pozemků je pozitivně spojen s TE, ale negativně s SCE. Celkově mají nájemní farmáři tendenci být méně efektivní při využívání půdy než farmáři hospodařící na vlastních pozemcích. Zemědělci, kteří se podílejí na zlepšování a ochraně půdy v rámci agroenvironmentálních opatření (AEO), včetně ekologického zemědělství, využívají půdu účinněji. Výsledky zdůrazňují význam AEO a z nich plynoucí pobídky pro zemědělce k uplatňování postupů ochrany půdy a také předpisů, které prodlužují dobu a bezpečnost nájemních smluv, aby zemědělcům bránily řídit se krátkodobými nevhodnými rozhodnutími (Eder et al., 2021).

3.9 Ekologické zemědělství z pohledu udržitelnosti

Ač jsou ekologické zemědělství a udržitelnost blízce provázány, zásadním rozdílem mezi těmito dvěma směry je konkrétní definování praktik používaných v EZ, které jsou zároveň zapracovány v zákonech. Již zmíněná Lampkinova definice EZ mluví o udržitelnosti produkčních systémů. Definice udržitelnosti se ne vždy nutně musí překrývat s definicí a postupy v zemědělství ekologickém. Mezi faktory, které jsou zmiňovány na podporu nezaměňování těchto dvou přístupů, patří nejistota týkající se ztrát dusičnanů z konvenčního a ekologického zemědělství, zejména s ohledem na obtížnou kontrolu aplikace živin v organických hnojivech. Rovněž jsou zmiňovány obavy z dlouhodobého udržování hladiny draslíku v půdě, zejména na mléčných farmách, a problém eroze půdy (Rigby a Cáceres, 2001).

Z toho lze vyvodit závěr, že je chybou srovnávat udržitelné zemědělské systémy s ekologickými systémy. Omezení používání anorganických přípravků není dostatečnou podmínkou použitelnosti, ale nemusí být ani nezbytnou podmínkou. I když může být EZ obecně považováno za formu udržitelného zemědělství, může mít také negativní účinky na životní prostředí. Patří mezi ně vyluhování dusičnanů z pole pod luskovinami nebo vypařování amoniaku z hospodářských odpadů (Rigby a Cáceres, 2001). Problémem může být také hromadění těžkých kovů v půdě po aplikaci směsi Bordeaux (Martins et al., 2014).

Podle Rigbyho (2001) zemědělský systém nemusí být moderní, mechanizovaný a využívat syntetických přípravků, aby byl hluboce neudržitelný. Z výzkumu je zřejmé, jak byla úrodnost velkých oblastí Řecka, Libanonu, Kréty a severní Afriky vyčerpána nízkými vstupy a neudržitelnými zemědělskými postupy. Tito starověcí farmáři, jejichž zemědělské praktiky přispěly k erozi a vyčerpání půdy, byli totiž nepochybně ekologickými výrobci, pokud hovoříme o použitých vstupech. Termín udržitelný je proto vhodné chápat v nejširším slova smyslu tak, aby zahrnoval nejen zachování neobnovitelných zdrojů, jako jsou půda, energie či minerály, ale také otázky environmentální, hospodářské a sociální udržitelnosti (Rigby a Cáceres, 2001).

Zásadní součástí snahy o udržitelnost je také snižování emisí GHG. Zemědělská výroba je celosvětově odpovědná za 10 – 12 % emisí GHG a 24 % emisí CO₂, což představuje přibližně 6 miliard tun CO₂ za jediný rok. Součástí snah politik i zemědělců by tak mělo být snižování jejich emisí, tedy jejich mitigaci. Mitigaci GHG lze aktivně ovlivnit například bezorebným způsobem hospodaření, viz tabulka 3, zařazením leguminóz, agrolesnictvím, snižováním vstupů či integrovanou živočišnou a rostlinnou výrobou. Při těchto snahách a ve zmíněných případech lze využít právě postupy užívané v EZ (Niggli, c2011). Používáním postupů EZ a minimálním zpracováváním půdy lze dosáhnou sekvestrace CO₂ až 500 kg·ha⁻¹·rok⁻¹, což by při plošném použití dokázalo ubrat 65 % emisí CO₂, odpovídající 4 miliardám tun za rok. Na vyčerpaných půdách může být míra sekvestrace ještě vyšší, avšak pouze po dobu, nežli dojde k nastolení rovnováhy (Niggli, c2011).

Tabulka 3: Čistá nadzemní primární produkce a relativní potenciál globálního oteplování (dle Niggliho, c2011)

	Čistá primární produkce [kg ha ⁻¹ rok ⁻¹]	Sekvestrace C [kg CO ₂ – e ha ⁻¹ rok ⁻¹]	Čistý potenciál globálního oteplování [kg CO ₂ – e ha ⁻¹ rok ⁻¹]		Čistý potenciál globálního oteplování/čistá primární produkce [kg CO ₂ – e tuna ⁻¹]	
Konvenční obdělávání	9 240	0	1 140	100 %	123,38	100 %
Bezorebná metoda	9 190	1 100	140	12 %	15,23	12 %
Produkce s nízkými vstupy s krycí plodinou leguminózy	8 840	400	630	55 %	71,27	58 %
Ekologická produkce s krycí plodinou leguminózy	7 790	290	410	36 %	52,63	43 %

Celková energetická potřeba pokrývající všechny fáze výroby dusíku, fosforu a draslíku přesahuje 90 GJ·t⁻¹ a energetická náročnost výroby nejvíce užívaných herbicidů, fungicidů a pesticidů dokonce 816 GJ·t⁻¹, z čehož jasně vyplývá, že EZ, které na těchto látkách není závislé, značně přispívá ke snižování energetických vstupů. Při započítání všech údajů vychází, že jednocentní zvýšení výměry EZ by mohlo snížit emise skleníkových plynů o 0,049 % (Squalli a Adamkiewicz, 2018).

Jak již bylo řečeno, emise GHG jsou jedním z hlavních problémů ve snaze o celkovou udržitelnost. GHG však nevznikají pouze při rostlinné či živočišné výrobě a zpracování, ale také při přepravě (Zegada-Lizarazu et al., 2010). V této problematice je běžně užíván termín „potravinová míle“, který znamená vzdálenost, kterou musela potravina urazit od místa vypěstování do místa prodeje. Z analýzy výsledků vyplynulo, že pokud zákazník ujede za účelem nákupu své biozeleniny vzdálenost přesahující 7,4 km, jeho emise uhlíku budou pravděpodobně vyšší než emise ze systému dálkového dovozu zahrnujícího skladování v chladu, balení, přepravu do regionálního skladu a dokonce i konečnou přepravu až k prahu zákazníka. Na takový závěr je ale třeba pohlížet v širším kontextu udržitelnosti, jak je naznačeno výše. Emise CO₂ také nejsou jediným způsobem, jak vyhodnotit nejnižší ekologickou stopu. Jistě je nutné zohlednit také negativní dopady na biodiverzitu, krajinu, místní zaměstnanost, spravedlivý obchod ale i na mezinárodní a regionální sociální vyrovnanost. Je však zapotřebí odborná i veřejná debata o tématu GHG spojených s dopravou potravin a je nutné vycházet z výsledků strategických případových studií na konkrétních maloobchodních systémech a klíčových komoditních sektorech (Coley et al., 2009).

3.10 Kalorimetrie

3.10.1 Úvod a historie

Kalorimetrické metody pomáhají určit obsah energie v rostlinných pletivech. Tento obsah energie je závislý na mnoha faktorech, jako jsou výživa, energie ze slunce, ale také stresové faktory v podobě konkurence mezi rostlinami, různá onemocnění či tlak ze strany škůdců. Všechny tyto faktory jsou úzce spojovány s EZ, poněvadž je zde omezen přísun živin i prostředků na ochranu rostlin, čímž musí nutně vzrůstat stres působící na rostlinu a to vše bude mít pravděpodobně za následek různý obsah energie v pletivech takto pěstovaných rostlin, což může přímo ovlivnit například vlastnosti takových rostlin vhodných pro energetické účely. Vhodné je také sledovat změny v koncových místech ukládání energie a její alokaci v rámci celého rostlinného těla, neboť jakýkoliv stres zpravidla zapříčiňuje i zvýšení energie v pletivu ve stresované části rostliny a přesun asimilátů v rostlinném těle, což také ovlivňuje uloženou energii (Szyszlak-Bargłowicz et al., 2012; Bláha et al., 2010; Hnilička et al., 2015; Lin et al., 2017b). Výše zmíněné polní pokusy prokázaly snížený obsah bílkovin u pšenice pěstované v EZ oproti KZ (Langenkämper et al., 2006; Wang et al., 2020b) ale také vyšší obsah jiných látek jako například AR (Wang et al., 2020b; Kowalska a Jędrejek, 2020), což by oboje pravděpodobně také mělo ovlivňovat hodnoty uložené energie, a nejspíše tak vést k rozdílu mezi energií rostlin pěstovaných v systémech konvenčních a ekologických.

3.10.2 Termická analýza a její metoda

Termická analýza je dle Gallaghera et al. (1998) chápána jako série technik, kde jsou fyzikální vlastnosti materiálu vystaveného tepelnému programu měřeny jako funkce času či teploty. Termodynamika se zabývá makroskopickými systémy, které se po určité době dostanou do rovnovážného stavu. Ten může být popisován různými vlastnostmi, jako je teplota či tlak. V termodynamice se část zkoumaného prostoru nazývá systémem, který může být podle Vacíka (2017) otevřený, uzavřený nebo izolovaný. Na základě toho, o jaký typ systému se jedná a jaký materiál je sledován, je volena použitá metoda. Základní metody termické analýzy dělí Gallagher et al. (1998) na termogravimetrii, diferenční termickou analýzu a diferenční skenovací kalorimetrii. Samostatnou metodou je metoda spalné kalorimetrie.

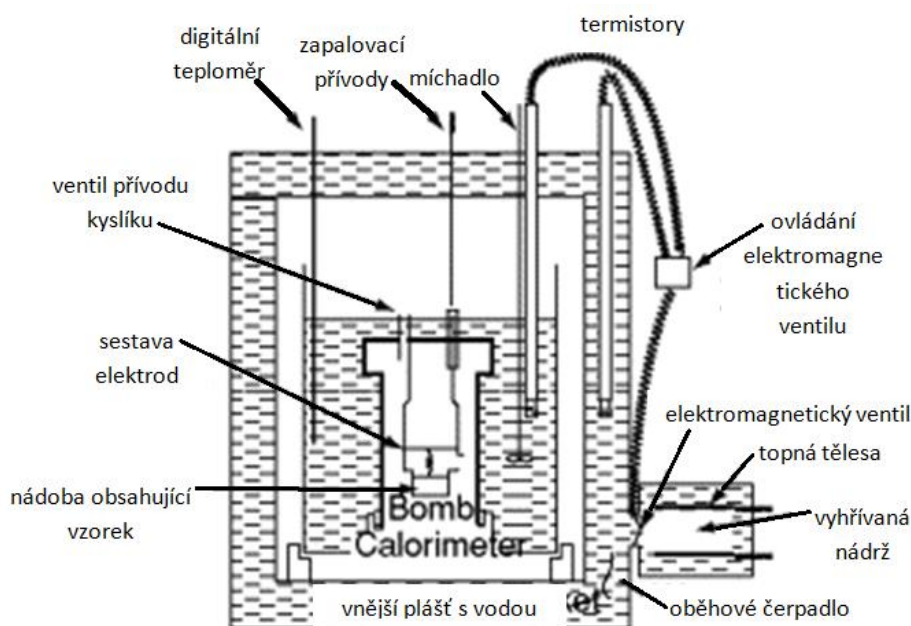
Dle Kloužkové et al. (2012) je za zakladatele termické analýzy považován La Chatelier, který koncem 19. století touto metodou studoval kalcit a vytvořil thermoanalytické křivky. Ve své podstatě se jednalo o dnešní metodu diferenční termické analýzy (DTA) s absencí referenčního vzorku. Ten při měření platiny použil roku 1899 také Roberts Austen. Dalším vyvinutým typem termické analýzy byla termogravimetrie (TG, nebo termogravimetrická analýza – TGA) vznikající po roce 1915, kdy Honda vynalezl termováhy. Záznamu měření významně pomohl Kurnakov, který v roce 1904 sestrojil registrační válce, které mohly zaznamenávat několik křivek najednou. Nyní je nejpoužívanější metodou diferenční skenovací kalorimetrie (DSC) vyvinutá v roce 1962, jejímž principem je udržení stejné teploty u vzorku analyzovaného i referenčního.

Diferenční skenovací kalorimetrie (DSC) je metoda měřící v průběhu času rozdíl toku tepla nebo proudu mezi vzorkem a referenčním vzorkem nutného k udržení stejné teploty obou vzorků (Gallagher et al., 1998). Podle Gabbotta (2008) lze tuto metodu také popsat jako měření změny energie, která nastane při ohřívání nebo chlazení vzorku současně s měřením teploty, při které tato změna nastane.

3.10.3 Metody spalné kalorimetrie

Kalorimetrie se zabývá samotným měřením tepla uvolněného či pohlceného v systému při určitém biologickém, fyzikálním nebo chemickém pochodu. Sleduje také termofyzikální vlastnosti systému, jako jsou tepelná kapacita nebo spalné teplo (Gallagher et al., 1999). Podle Bláhy et al. (2010) je kalorimetrie jednou z nejvyužívanějších a nejvíce propracovaných metod experimentální termodynamiky a nachází široké využití v oblasti biologie, chemie a v dalších odvětvích. Při kalorimetrických měřeních, jak již bylo řečeno, je sledována především teplota a její změna v čase.

Také ve spalné kalorimetrii se využívá pro detekci spalného tepla a výhřevnosti řada metod. Podle Zielenkiewiczze a Margase (2002) je kalorimetr přístroj k měření tepla, ve kterém je možné vždy rozlišit dvě základní části. Kalorimetrickou nádobu s teplotou T_c , která je spojena s částmi, které souvisí se spalováním a měřením, a okolní plášť s teplotou T_0 , který je funkčně oddělený od měřicího systému a má definovanou závislost teploty na čase. Kalorimetry se dále člení na adiabatické, viz obrázek 3, neadiabatické a izoperibolické. Adiabatický kalorimetr je takový, kde teplotní gradient mezi kalorimetrickou nádobou a pláštěm je roven nule, a během měření mezi nimi tedy nedochází k přenosu tepla. Ty lze ještě rozdělit na izotermní s konstantní teplotou a neizotermní, kde se teplota pláště mění s časem. V případě neadiabatického kalorimetru není teplotní gradient mezi kalorimetrickou nádobou a pláštěm roven nule, a během měření tedy dochází k přenosu tepla mezi nimi. Kalorimetr izoperibolický dle Bláhy et al. (2010) představuje typ kalorimetru s izotermní teplotou pláště.



Obrázek 3: Schéma adiabatického spalného kalorimetru (dle Browna, 2003)

3.10.4 Využití spalné kalorimetrie v biologii rostlin

Prat v roce 1940 prokázal, že v rostlinách, podobně jako v mikroorganizmech, dochází k termickým změnám zvláště při buněčném dělení. Toto zjištění bylo zásadním impulsem k využívání kalorimetrických měření při studiu procesů souvisejících s růstem rostlin, protože produkce tepla, oproti veškeré uložené energii, závisí na míře reakce rostliny, která je spojena s biochemickými reakcemi v rostlinných pletivech a s mírou růstu (Gallagher et al., 1999).

Díky kalorimetrii je dle Gallaghera et al. (1999) možné měřit energii, zatímco jiné metody se zaměřují na hmotu. Společným využitím obou přístupů lze určovat míru a efektivitu ukládání energie v rostlinách, míru ovlivnění rostlin okolními podmínkami a hodnoty týkající se růstu rostlin a jejich částí. Podle autora se do nedávna většina kalorimetrických studií rostlinných pletiv zabývala měřením obsahu energie v pletivech pomocí spalování, DTA celulózy a ligninu, fázovými přechody v rostlinných lipidech nebo mrznutím vody v rostlinných pletivech. Nyní se však čím dál větší pozornost zaměřuje i na výzkum zahrnující měření a popis tepla produkovaného rostlinným metabolismem, protože takový výzkum může pomoci pochopit samotnou fyziologii zkoumaných rostlin.

Právě pro měření této energie je využívána metoda spalné kalorimetrie, která pomáhá určit množství energie nahromaděné vlivem fotosyntézy v různých částech rostlin změřením hodnoty takzvaného tepelného skoku, tedy přenosu tepla mezi látkami. Měřeno je spalné teplo, tedy teplo uvolněné při dokonalém spálení vzorku, kdy voda vznikající při spalování je v kapalném stavu (Bláha et al., 2010). Dle Gallaghera et al. (1999) je velmi často používanou jednotkou energie kalorie (cal), správně je však používat jednotku SI Joule (J), která je oficiální jednotkou energie. Lze použít převod $1 \text{ cal} = 4,1868 \text{ J}$.

Spalné teplo je udáváno na jednotku hmoty, tzv. hmotnost sušiny. U biologického materiálu je zásadní otázka, jak nakládat s vodou ve spalovací bombě, ať v kapalném, tedy kondenzovaném, nebo plynném stavu (Gallagher et al., 1999). V souvislosti s ní lze podle Szyszlak-Bargłowicze et al. (2012) rozlišovat dvě hodnoty. Jednou je spalné teplo HHV (higher heating value), které je uvolněno při dokonalém spálení vzorku a vzniklá voda zkondenzuje a nachází se v kapalném stavu a uvolní tedy své výparné teplo. Druhou je výhřevnost LHV (lower heating value) při jejímž měření dojde také k dokonalému spálení vzorku, ale vzniklá voda je v plynném stavu. Spalné teplo je tedy vyšší než výhřevnost o výparné teplo vody. Naměřené hodnoty při spalování čistého biologického materiálu v kalorimetru by dle Gallaghera et al. (1999) měly být vždy vyšší než $17,6 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ sušiny bez popelovin. To je totiž nejnižší hodnota pro sacharidy. Proteiny i lipidy mají hodnoty vyšší, a to $23,7 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ sušiny a $39,6 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ sušiny. Vyšší hodnoty vykazuje i lignin, $26,3 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ sušiny, a terpeny, $46,9 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ sušiny. Nižší hodnoty tedy znamenají chybu při měření nebo výskyt anorganických látek ve vzorku při spalování.

3.10.5 Energetická bilance rostlin

Z termodynamického pohledu jsou jak ekosystémy, tak rostliny samotné systémy otevřené a jsou závislé na externích zdrojích energie. Rozdíl v míře fotosyntézy a respirace má zásadní vliv na energetickou bilanci rostlin, jak uvádí Hnilička et al. (2015). Jsou-li tyto hodnoty vyrovnané, rostlina se nachází v energetické rovnováze. Převyšuje-li míra respirace míru fotosyntézy, hmota rostliny je spotřebovávána. V opačném případě dochází k vytváření biomasy, tedy organické hmoty rostlin. To samozřejmě neplatí pouze pro rostlinu jako jedince, ale i pro celé ekosystémy. Pokud známe množství energie v rostlinách, můžeme lépe pochopit vztahy mezi získáváním, přeměnou a výdejem energie v celých ekosystémech.

Energie obsažená v rostlině se podle Gallaghera et al. (1999) samozřejmě různí v závislosti na části rostliny, pletivu, ale i na konkrétním období v roce. Přeměna energie záření na energii v chemických vazbách organických látek, které tvoří asi 95 % sušiny rostliny, je základním způsobem vzniku biomasy. Zbýlých 5 % tvoří popeloviny, ale tento poměr se samozřejmě různí nejen podle typu pletiva či druhu rostliny, ale i v rámci druhu podle místa výskytu jedince.

Naakumulovaná energie v organických látkách může být popsána jejich spalným teplem vyjadřujícím obsah energie v biomase. Energie z rostliny uniká v podobě tepla vznikajícího při oxidaci a uvolněný CO_2 může být opět využit při fotosyntéze. Ve vztahu mezi fotosyntézou a růstem se projevuje koordinovaná vazba. Zde fotosyntéza zajišťuje zdroj energie pro růst a z opačné strany růst rostliny ovlivňuje míru fotosyntézy (Hnilička et al., 2015).

Množství energie v rostlině může být popsáno jako spalné teplo nebo jako energie uložená v chemických vazbách. Tato energie je definována jako síla chemické vazby a je měřena dodáním tepla potřebného k rozbití všech vazeb v jednom molu molekul. Energie ve vazbách je různá a závisí na atomech, které vazbu tvoří (Stokes, 1988). Běžnější je však popis energie v biomase za pomoci spalného tepla. Obsah energie na jednotku hmotnosti rostlinného pletiva je silně ovlivněn obsahem vody v něm (Hnilička et al., 2015).

Obsah energie ve fytomase se zvyšuje se snižujícím se obsahem vody – v 1 g čerstvé biomasy tvoří $8,4 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ (Golley, 1961), zatímco v 1 g vysušené biomasy $16,7 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ v průměru (Paine, 1971). Samozřejmě zaleží na složení biomasy a na vzájemném poměru jejích složek. Toto zásadně ovlivňuje hodnoty spalného tepla, kdy například u kořenové zeleniny je měřena nízká hodnota spalného tepla kvůli vysokému obsahu cukrů a škrobů, v průměru $16,4 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$. Oproti tomu vysoké hodnoty spalného tepla vykazují olejnaté rostliny díky vysokému obsahu mastných kyselin, v průměru $25,6 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$. Také generativní orgány vykazují vyšší obsah energie než orgány vegetativní. Vysoký energetický obsah v generativních orgánech rostlin je dán transportem energeticky bohatých látek do těchto orgánů a jejich přeměnou na zásobní látky (Hnilička et al., 2015).

Kumulace a distribuce sušiny do různých částí orgánů je spojena s mírou fotosyntézy. Množství tvořené sušiny závisí na biologických charakteristikách růstu a přizpůsobení se růstovým podmínkám jako například množství energie dodávané rostlině slunečním zářením. Akumulaci sušiny a přesun asimilátů popisuje Thorntonovo pravidlo: rostlina lépe využívá energii čím méně asimilátů je potřeba k zajišťování biosyntézy, tudíž více asimilátů zůstává pro tvorbu biomasy, což je cílem zemědělství. Sledování změn v růstu rostlin za použití spalné kalorimetrie pomáhá porozumět transportu a využití asimilátů v rostlinném těle s ohledem na sink a source. Tvorba sušiny a množství energie v rostlině jsou lineárně propojeny (Hnilička et al., 2015).

3.10.6 Energie v rostlinách

Míra fotosyntézy v listech rostlin během ontogenetického vývoje je podle Hniličky et al. (2015) ovlivněna mnoha faktory z okolního prostředí rostliny. Rychlost fotosyntézy u většiny rostlin narůstá až do období kvetení, což bylo například potvrzeno u pšenice seté (*Triticum aestivum* L.). Rostoucí míra fotosyntézy je dle autorů spojena se vznikem vysokoenergetických látek. Poté během stárnutí listů a přesunu energeticky bohatých látek do generativních orgánů rostliny dochází v listech k jejich úbytku. Míra fotosyntézy může být podle Farquhara et al. (1980) mimo jiné měřena gazometricky, tedy měřením změny koncentrací CO₂, díky nimž lze za pomoci vzorců počítat fotosyntetické a fyziologické veličiny, jako jsou respirace či rychlost asimilace CO₂.

Rhodes a Nadolska-Orczyk (2001) však upozorňují, že vývoj rostliny je ovlivňován mnoha faktory z okolního prostředí, které mají vliv na její růst, funkci orgánů nebo schopnost se rozmnožovat a v některých případech mohou způsobit i smrt rostliny. Autoři dále uvádí, že tyto vlivy bývají nazývány stresory a jejich vliv na rostlinu je velmi nesnadné sledovat, poněvadž nepůsobí nikdy individuálně. Stresorů na rostlinu vždy působí několik najednou a navzájem se mohou ovlivňovat a zesilovat a společně působí na jedince v různých kombinacích, kdy je těžké určit, který konkrétní stresor způsobuje konkrétní změnu v rostlině.

Primární produkce je dle Bláhy et al. (2010) limitována množstvím dostupných zdrojů, mezi které patří sluneční záření, voda, CO₂ a živiny a účinností fotosyntézy. S ohledem na tyto faktory se používá termín ekologická účinnost energie, která popisuje účinnost porostu ve využití slunečního záření pro tvorbu biomasy. Nedostatek jakéhokoliv zdroje v primární produkci negativně ovlivní a může ohrozit stabilitu ekosystému, která závisí na schopnosti autoregulace a snaze systému zůstat v rovnovážném stavu tzn., že energie získaná fotosyntézou je rovna energii prodýchané. Každopádně co se týče umělých systémů, míra přírůstku biomasy je dle Gallaghera et al. (1999) zásadní, neboť cílem je její sklizeň, ať už se jedná o celé rostliny, či pouze o jejich část.

4 Metodika

U vybraných zemědělských podniků byla na základě agrotechnických dat a stanovení obsahu energie v biomase vybraných plodin vypočtena energetická bilance pěstování daných plodin. K hodnocení jednotlivých energetických vstupů byly použity tabulkové hodnoty, které uvádí Preininger (1987). Spalné teplo rostlinných orgánů (Q) bylo zjišťováno metodou spalné kalorimetrie.

4.1 Rostlinný materiál

Pšenice ozimá (*Triticum aestivum* L.) byla pěstována v odrůdě Bohemia. Jedná se o poloranou odrůdu. Odnožovací schopnost této odrůdy je nižší až střední, výnos je tvořen hlavně klasy. Stéblo je delší, ale s velmi dobrou odolností k poléhání. Při nižším počtu odnoží se tvoří velké zrno, HTZ nad 50 – 55 g. Jedná se o odrůdu jakosti A. Obsah N látek v zrnu je 13,5 %, objemová hmotnost zrna 82 kg·hl⁻¹, sedimentační Zelenyho test 65 ml, číslo poklesu 440. Odrůda Bohemia také vyniká svojí vysokou mrazuvzdorností. Je vysoce tolerantní k obilné předplodině a k pozdnímu výsevu. Doporučený výsevek je 4 MKS/ha. Potřeba morforegulátorů je vyšší. Tato odrůda se také vyznačuje vysokou odolností proti padlí travnímu v klasu, braničnatce na listu i v klasu a fusariím v klasu. Také vykazuje dobrou odolnost proti rzi pšeničné a padlí travnímu na listu (Selgen, 2021).

Oves setý nahý (*Avena sativa* var. *nuda* L.) byl pěstován v odrůdě Otakar. Jedná se o středně ranou odrůdu s kratším stéblem a velmi dobrou odolností k poléhání. Osivo je certifikované jako BIO osivo kategorie C1. Udržovatelem je Selgen, a.s. Obsah N látek v zrnu je 13,4 %, objemová hmotnost zrn je 65 kg·hl⁻¹. Tato odrůda vykazuje nízký podíl pluchatých zrn a vysoký podíl předního zrna. Není náročná na předplodinu, nejvhodnější jsou okopaniny a luskoviny. Vhodný termín setí je co nejdříve na jaře dle stavu půdy. Doporučený výsevek je 4,0 – 4,5 MKS/ha v lepších výrobních oblastech a 5,0 MKS/ha v bramborářské oblasti. Odrůda Otakar se vyznačuje střední odolností k listovým skvrnitostem, dobrou odolností k napadení rzí ovesnou a padlí travnímu na listu (PRO-BIO, 2021).

4.2 Charakteristiky vybraných podniků

Farma Jan Pecka sídlí v Zadním Chlumu, část obce Klučenice, v okrese Příbram (Středočeský kraj). GPS je 49°34'30" s. š., 14°15'6" v. d. Jedná se o rodinnou farmu s dlouhou historií, která je zaměřena nejenom na rostlinnou, ale i na živočišnou výrobu s konvenčním způsobem hospodaření. Převažujícím půdním typem je kambizem. Obsah prvků v půdě je 110 mg·kg⁻¹ P, 235 mg·kg⁻¹ K, 154 mg·kg⁻¹ Mg a 1 800 mg·kg⁻¹ Ca při pH 5,8. Poměr mezi K:Mg činí 1,72. Z tohoto podniku pocházely rostlinné vzorky pěstované v KZ.

Farma Akra, spol. s r.o. sídlí v Třebechovicích pod Orebem (Královéhradecký kraj). Jednatel firmy je Jan Vodička. Zemědělská firma hospodář v režimu ekologického zemědělství. GPS: 50.182482N, 15.999363E. Převažujícím půdním typem je hnědozem. Obsah prvků v půdě je 103 mg·kg⁻¹ P, 265 mg·kg⁻¹ K, 199 mg·kg⁻¹ Mg a 3 125 mg·kg⁻¹ Ca při

poměru K:Mg 1,52. Půda má spíše neutrální pH 6,5. Z tohoto podniku pocházely rostlinné vzorky pěstované v EZ.

4.2.1 Průběh počasí

Konvenčně pěstované plodiny byly pěstovány ve Středočeském kraji, pro který byly během celého vývoje rostlin až do sklizně naměřeny následující hodnoty teplot a srážek, viz tabulky 4 a 5. Měřeny byly následující hodnoty: T = teplota vzduchu (° C), N = dlouhodobý normál teploty vzduchu 1981 – 2010 (° C), O = odchylka od normálu (° C), S = úhrn srážek (mm), N = dlouhodobý srážkový normál 1981 – 2010 (mm) a % = úhrn srážek v % normálu 1981 – 2010 (ČHMÚ, 2021a; ČHMÚ, 2021b).

Tabulka 4: Teplotní charakteristika doby pěstování konvenčních plodin ve Středočeském kraji

	srp-19	zář-19	říj-19	lis-19	pro-19	led-20	úno-20	bře-20	dub-20	kvě-20	čvn-20	čvc-20	srp-20	průměr
T	19,5	14,1	9,8	5,8	2,7	1,4	4,8	4,6	10,1	11,7	17	18,7	19,6	10,75
N	18	13,5	8,7	3,4	-0,1	-1,2	-0,2	3,7	8,6	13,7	16,5	18,5	18	9,32
O	1,5	0,6	1,1	2,4	2,8	2,6	5	0,9	1,5	-2	0,5	0,2	1,6	1,44

Tabulka 5: Srážková charakteristika doby pěstování konvenčních plodin ve Středočeském kraji

	srp-19	zář-19	říj-19	lis-19	pro-19	led-20	úno-20	bře-20	dub-20	kvě-20	čvn-20	čvc-20	srp-20	průměr
S	72	46	36	40	18	12	64	45	21	64	120	40	99	52,08
N	75	47	34	40	38	34	30	40	34	63	70	82	75	50,92
%	96	98	106	100	47	35	213	113	62	102	171	49	132	101,85

Ekologicky pěstované plodiny byly pěstovány v Královéhradeckém kraji, pro který byly během celého vývoje rostlin až do sklizně naměřeny následující hodnoty teplot a srážek, viz tabulky 6 a 7. Měřeny byly následující hodnoty: T = teplota vzduchu (° C), N = dlouhodobý normál teploty vzduchu 1981 – 2010 (° C), O = odchylka od normálu (° C), S = úhrn srážek (mm), N = dlouhodobý srážkový normál 1981 – 2010 (mm) a % = úhrn srážek v % normálu 1981 – 2010 (ČHMÚ, 2021a; ČHMÚ, 2021b).

Tabulka 6: Teplotní charakteristika doby pěstování ekologických plodin ve Středočeském kraji

	srp-19	zář-19	říj-19	lis-19	pro-19	led-20	úno-20	bře-20	dub-20	kvě-20	čvn-20	čvc-20	srp-20	průměr
T	18,7	13,1	9,4	6,1	1,8	0	3,3	3,7	9	10,8	16,6	17,5	18,8	9,91
N	17,1	12,7	8	2,8	-1,1	-2,2	-1,2	2,6	7,8	13	15,7	17,7	17,1	8,46
O	1,6	0,4	1,4	3,3	2,9	2,2	4,5	1,1	1,2	-2,2	0,9	-0,2	1,7	1,45

Tabulka 7: Srážková charakteristika doby pěstování ekologických plodin ve Středočeském kraji

	srp-19	zář-19	říj-19	lis-19	pro-19	led-20	úno-20	bře-20	dub-20	kvě-20	čvn-20	čvc-20	srp-20	průměr
S	89	60	52	60	39	24	102	34	19	66	168	41	104	66,00
N	83	62	49	58	66	61	48	57	43	66	73	92	83	64,69
%	107	97	106	103	59	39	213	60	44	100	230	45	125	102,15

Z uvedených tabulek vyplývá, že podmínky pěstování v KZ byly mírně teplejší a sušší oproti EZ, což do jisté míry mohlo ovlivnit výsledky pěstování ve srovnání EZ a KZ.

4.2.2 Agrotechnika pěstování

Agrotechnické zásahy byly přehledně shrnuty do následujících tabulek, viz tabulka 8 pro agrotechnické zásahy u pšenice z KZ, tabulka 9 pro agrotechnické zásahy u ovsa z KZ, tabulka 10 pro agrotechnické zásahy u pšenice z EZ a tabulka 11 pro agrotechnické zásahy u ovsa z EZ.

Tabulka 8: Agrotechnické zásahy při pěstování pšenice ozimé v KZ

Agrotechnické zásahy při pěstování pšenice ozimé v KZ		
pracovní operace	použitý stroj	datum zásahu
podmítka - hloubka 8 cm	diskový podmítač	15.8.
orba - hloubka 24 cm	otočný pluh nesený	1.9.
setí - hloubka 2 – 2,5 cm	secí kombinace se smykovou lištou a dvěma řadami disků	5.10.
herbicidní ochrana	tažený postřikovač	8.10.
regenerační hnojení	nesené rozmetadlo průmyslových hnojiv	15.3.
aplikace listových hnojiv, stimulatorů, krácení	tažený postřikovač	30.3.
produkční hnojení	tažený postřikovač	15.5.
fungicidní ochrana	tažený postřikovač	15.5.
insekticidní ochrana	tažený postřikovač	19.5.
sklizeň	sklízecí mlátička	10.8.
odvoz zrna	traktor + návěs dvounápravový	10.8.

Tabulka 9: Agrotechnické zásahy při pěstování ovsa setého v KZ

Agrotechnické zásahy při pěstování ovsa setého v KZ		
pracovní operace	použitý stroj	datum zásahu
podmítka - hloubka 8 cm	diskový podmítač	20.8.
orba - hloubka 24 cm	otočný pluh nesený	30.9.
regenerační hnojení	nesené rozmetadlo průmyslových hnojiv	15.3.
setí - hloubka 2 – 2,5 cm	secí kombinace se smykovou lištou a dvěma řadami disků	26.3.
herbicidní ochrana	tažený postřikovač	30.4.
aplikace listových hnojiv, stimulatorů, krácení	tažený postřikovač	30.5.
produkční hnojení	tažený postřikovač	5.6.
insekticidní ochrana	tažený postřikovač	19.6.
fungicidní ochrana	tažený postřikovač	2.7.
sklizeň	sklízecí mlátička	25.8.
odvoz zrna	traktor + návěs dvounápravový	25.8.

Tabulka 10: Agrotechnické zásahy při pěstování pšenice ozimé v EZ

Agrotechnické zásahy při pěstování pšenice ozimé v EZ		
pracovní operace	použitý stroj	datum zásahu
podmítka - hloubka 8 cm	diskový podmítač	17.8.
orba - hloubka 24 cm	otočný pluh nesený	1.9.
setí - hloubka 2 – 2,5 cm	secí kombinace se smykovou lištou a dvěma řadami disků	6.10.
Regulace plevelů – vláčení	brány	9.10.
regenerační hnojení	tažený postřikovač	19.3.
produkční hnojení	tažený postřikovač	19.5.
sklizeň	sklízecí mlátička	5.8.
odvoz zrna	traktor + návěs dvounápravový	5.8.

Tabulka 11: Agrotechnické zásahy při pěstování ovsa setého v EZ

Agrotechnické zásahy při pěstování ovsa setého v EZ		
pracovní operace	použitý stroj	datum zásahu
podmítka - hloubka 8 cm	diskový podmítač	19.8.
orba - hloubka 20 cm	otočný pluh nesený	5.10.
setí - hloubka 2 – 2,5 cm	secí kombinace se smykovou lištou a dvěma řadami disků	24.3.
Regulace plevelů – vláčení	brány síťové	26.3.
Hnojení před setím	tažený postřikovač	15.3.
produkční hnojení	tažený postřikovač	7.6.
sklizeň	sklízecí mlátička	23.8.
odvoz zrna	traktor + návěs dvounápravový	23.8.

4.3 Stanovení energetické bilance

Stanovení energetické bilance bylo provedeno na základě stanovení obsahu energie v jednotlivých rostlinných orgánech sledovaných plodin a z energetické náročnosti vstupů. K hodnocení jednotlivých energetických vstupů byly použity tabulkové hodnoty, které uvádí Preininger (1987). Ke statistickému zpracování výsledků byl použit statistický program Statistica 12 (StatSoft). Pro zhodnocení výsledků byla využita analýza rozptylu ANOVA a Fisherova LSD metoda vícenásobného porovnání na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

4.3.1 Stanovení hmotnosti sušiny

Hmotnost sušiny byla stanovena standardními metodami dle Šestáka et al. (1966), kdy rostlinný materiál byl umístěn do sušárny a sušen při teplotě 80 °C do konstantní hmotnosti. Po namletí byly vzorky naváženy na 0,5 g na analytických laboratorních vahách Ohaus AX124.

4.3.2 Stanovení spalného tepla

Vzorky rostlinného materiálu po sušení byly homogenizovány na rychlomlýnku p14 FRITCH na velikost částic 0,2 mm. Energetický obsah ve vzorcích byl sledován metodou spalné kalorimetrie, úplné spálení vzorku probíhalo ve 100% kyslíkové atmosféře při tlaku 30 MPa. Ke spálení vzorku byl použit parabolický kalorimetr IKA C200 (firma IKA, SRN). Na kalorimetru byl měřen tepelný skok na 5 desetinných míst ve stupních Celsia. Pro stanovení spalného tepla rostlinného materiálu byly použity normy ČSN EN 14918 a ČSN ISO 1928.

Hodnota spalného tepla byla vypočtena z opravného teplotního vzestupu a efektivní tepelné kapacity kalorimetru se zřetelem na podíly energie při zapálení, spálení zapalovacího prostředku a tepelné účinky z vedlejších reakcí. Hodnota výhřevnosti vzorku byla vypočtena z hodnoty spalného tepla zmenšené o výparné teplo vody vzniklé z paliva během hoření po započítání oprav (spalné teplo kyseliny sírové a kyseliny dusičné vznikajících vedlejší reakcí).

Pro výpočet spalného tepla byl použit následující vztah:

$$Q = \frac{(C \cdot Dt) - c}{mv - mp}$$

Kde: Q = spalné teplo vzorku

C = tepelná kapacita kalorimetru

Dt = celkový vzestup teploty (° C)

c = součet oprav (spalné teplo HNO₃ + H₂SO₄)

mv = hmotnost navážky vzorku

mp = hmotnost popelovin

5 Výsledky

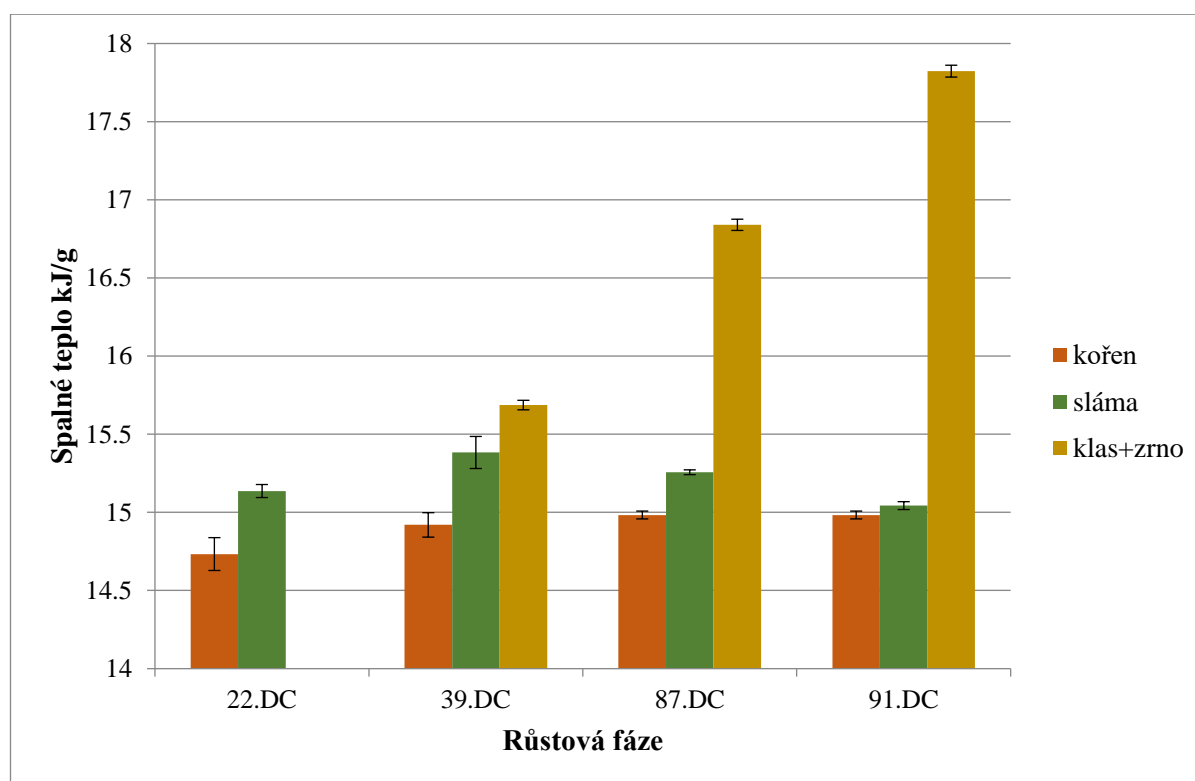
5.1 Spalné teplo

Spalné teplo jednotlivých rostlin ve variantách KZ a EZ bylo stanoveno odděleně pro jejich jednotlivé orgány – kořen, sláma a klas se zrnem.

5.1.1 Spalné teplo pšenice seté

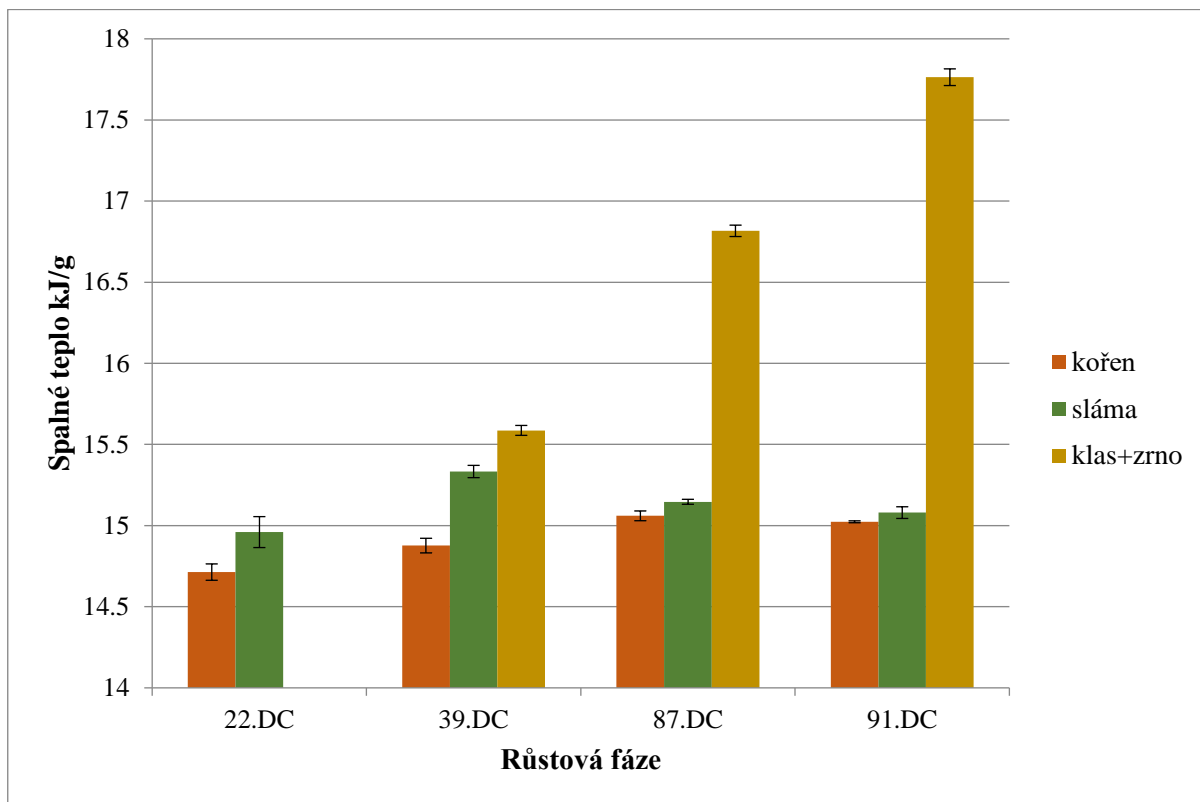
Naměřená spalná tepla jednotlivých orgánů v průběhu ontogenetického vývoje u pšenice seté ve dvou variantách pěstování jsou uvedeny v grafu 5 (KZ) a v grafu 6 (EZ).

Graf 5: Průměrné hodnoty spalného tepla (kJ/g) v závislosti na ontogenetickém vývoji v jednotlivých orgánech pšenice v KZ



Z grafu 5 je patrné, že hodnota spalného tepla biomasy jednotlivých orgánů pšenice z KZ byla ovlivněna vývojovou fází. Nejvyšší průměrná hodnota spalného tepla byla zjištěna u klasu se zrnem v období plné zralosti ($17,823 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$). Z grafu 5 je dále patrný výrazný trend zvyšujícího se obsahu energie v klasu se zrnem vlivem ontogenetického vývoje, kdy při prvním odběru ve fázi 39. DC bylo naměřeno spalné teplo ve výši $15,686 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ a v další fázi (87. DC) $16,840 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$. Z uvedeného grafu dále vyplývá, že průměrný obsah energie kořenů pšenice z KZ od fáze 22. DC ($14,733 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$) mírně narůstal až do fáze 87. DC ($14,983 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$) a dále byl konstantní až do fáze 91. DC. U nadzemních orgánů (sláma) byl pozorován trend nárůstu energie od fáze 22. DC ($15,136 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$) do fáze 39. DC ($15,383 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$) a poté se obsah energie postupně snižoval až na hodnotu $15,043 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ ve fázi 91. DC.

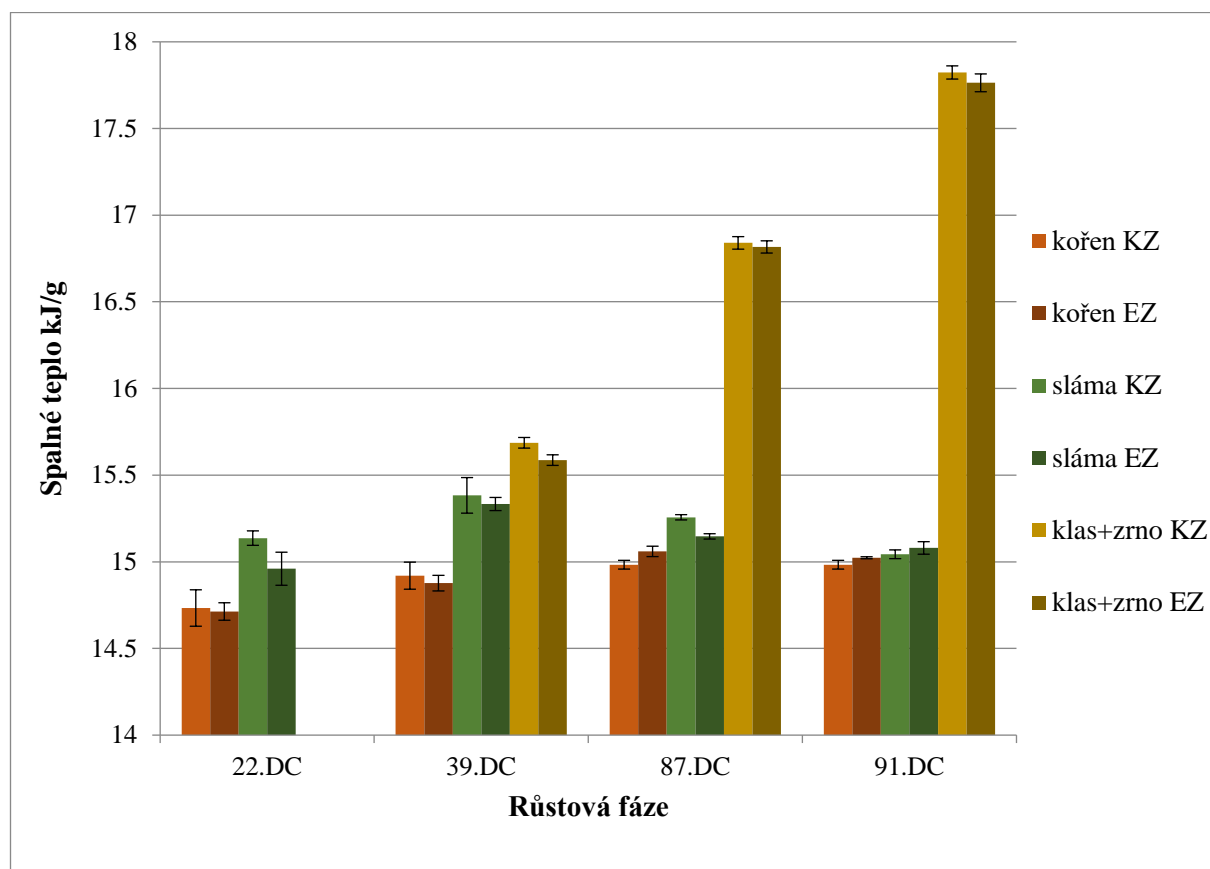
Graf 6: Průměrné hodnoty spalného tepla (kJ/g) v závislosti na ontogenetickém vývoji v jednotlivých orgánech pšenice v EZ



Z grafu 6 je patrné, že hodnota spalného tepla biomasy jednotlivých orgánů pšenice z EZ byla také ovlivněna ontogenetickým vývojem rostlin, jako tomu bylo u pšenice z KZ. Nejvyšší průměrná hodnota spalného tepla byla zjištěna u klasu se zrnem ve fázi 91. DC ($17,763 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$). Z grafu 6 je dále patrný obdobný výrazný trend zvyšujícího se obsahu energie v klasu a zrnech v závislosti na ontogenetickém vývoji, kdy při prvním odběru ve fázi 39. DC bylo průměrné spalné teplo ve výši $15,586 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ a v další fázi (87. DC) bylo naměřeno $16,816 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$. Z uvedeného grafu dále vyplývá, že průměrný obsah energie kořenů pšenice seté z EZ od fáze 22. DC ($14,713 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$) neprůkazně narůstal až do fáze 87. DC ($15,060 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$) a poté byl zaznamenán neprůkazný pokles energie na $15,023 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ ve fázi 91. DC. U slámy se obsah energie zvyšoval od fáze 22. DC ($14,960 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$) do fáze 39. DC ($15,333 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$) a poté se obsah energie průkazně snižoval až na hodnotu $15,080 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ ve fázi 91. DC.

Vzájemné srovnání výsledků spalného tepla jednotlivých orgánů pšenice seté z KZ a EZ v jednotlivých fázích jejich ontogenetického vývoje uvádí graf 7.

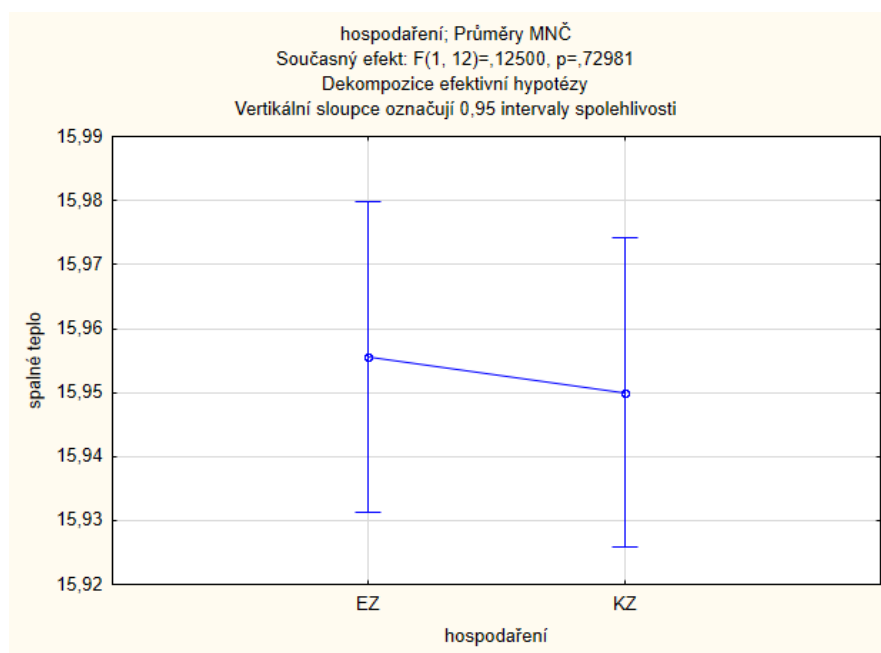
Graf 7: Průměrné hodnoty spalného tepla (kJ/g) v závislosti na ontogenetickém vývoji v jednotlivých orgánech pšenice v KZ a EZ



Z porovnání hodnot spalného tepla pšenice pěstované v KZ a EZ (graf 7) vyplývá, že mezi oběma variantami není patrný průkazný rozdíl. Varianta pěstování pšenice seté tudíž nemá významný vliv na hodnotu spalného tepla v jednotlivých rostlinných orgánech.

Zcela zásadním výstupem je celkové srovnání energie akumulované v rostlinách ve fázi sklizně (91. DC). Cílem bylo stanovit, zda existuje rozdíl v celkových spalných teplech rostlin pšenice v EZ a KZ v této vývojové fázi, viz graf 8.

Graf 8: Statistický rozdíl celkového spalného tepla pšenice v EZ a KZ ve fázi 91. DC



Z daného grafu je patrné, že neexistuje statisticky významný rozdíl mezi celkovým obsahem energie v pšenici pěstované v EZ a KZ. Přesto je možné konstatovat, že mírně nižší celkový obsah energie vykazují rostliny pšenice z KZ (15, 950 kJ·g⁻¹).

Detailněji byly pro fázi sklizně (91. DC) hodnoceny hodnoty spalných tepel jednotlivých orgánů s cílem stanovit, zda se spalná tepla jednotlivých orgánů pšenice v EZ a KZ liší. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 12.

Tabulka 12: Statistické rozdíly spalných tepel orgánů pšenice mezi EZ a KZ ve fázi 91. DC

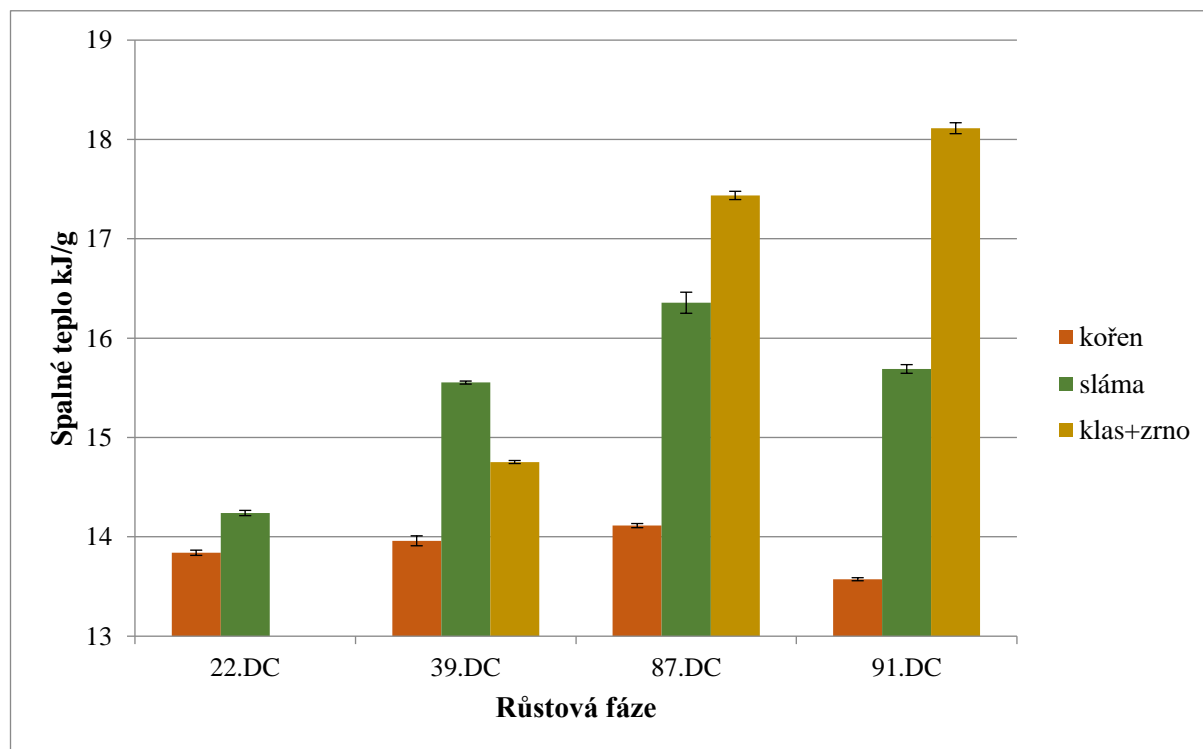
LSD test; proměnná spalné teplo								
Pravděpodobnosti pro post-hoc testy								
Chyba: meziskup. PČ = ,00111, sv = 12,000								
Č. buňky	hospodaření	orgán	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}
			17,763	15,080	15,023	17,823	15,043	14,983
1	EZ	klas a zrna		0,000000	0,000000	0,047746	0,000000	0,000000
2	EZ	sláma	0,000000		0,059405	0,000000	0,202799	0,003984
3	EZ	kořen	0,000000	0,059405		0,000000	0,476549	0,167370
4	KZ	klas a zrna	0,047746	0,000000	0,000000		0,000000	0,000000
5	KZ	sláma	0,000000	0,202799	0,476549	0,000000		0,047746
6	KZ	kořen	0,000000	0,003984	0,167370	0,000000	0,047746	

Z tabulky je patrné, že neexistuje statisticky významný rozdíl mezi obsahem energie v kořeni a slámě pšenice v EZ a KZ, ovšem byl prokázán statisticky významný rozdíl pro hodnoty spalného tepla klasu a zrna při srovnání EZ a KZ. Mírně vyšší průměrná hodnota spalného tepla klasu a zrna jako hlavního produktu byla zjištěna u pšenice z KZ 17,823 kJ·g⁻¹ oproti 17,763 kJ·g⁻¹ z EZ. Na druhou stranu kořen a sláma obsahovaly mírně vyšší (statisticky neprůkazné) hodnoty energie u pšenice v EZ, což bylo důvodem nepatrně vyššího obsahu celkové energie u pšenice v EZ, jak bylo uvedeno v grafu 8.

5.1.2 Spalné teplo ovsa setého

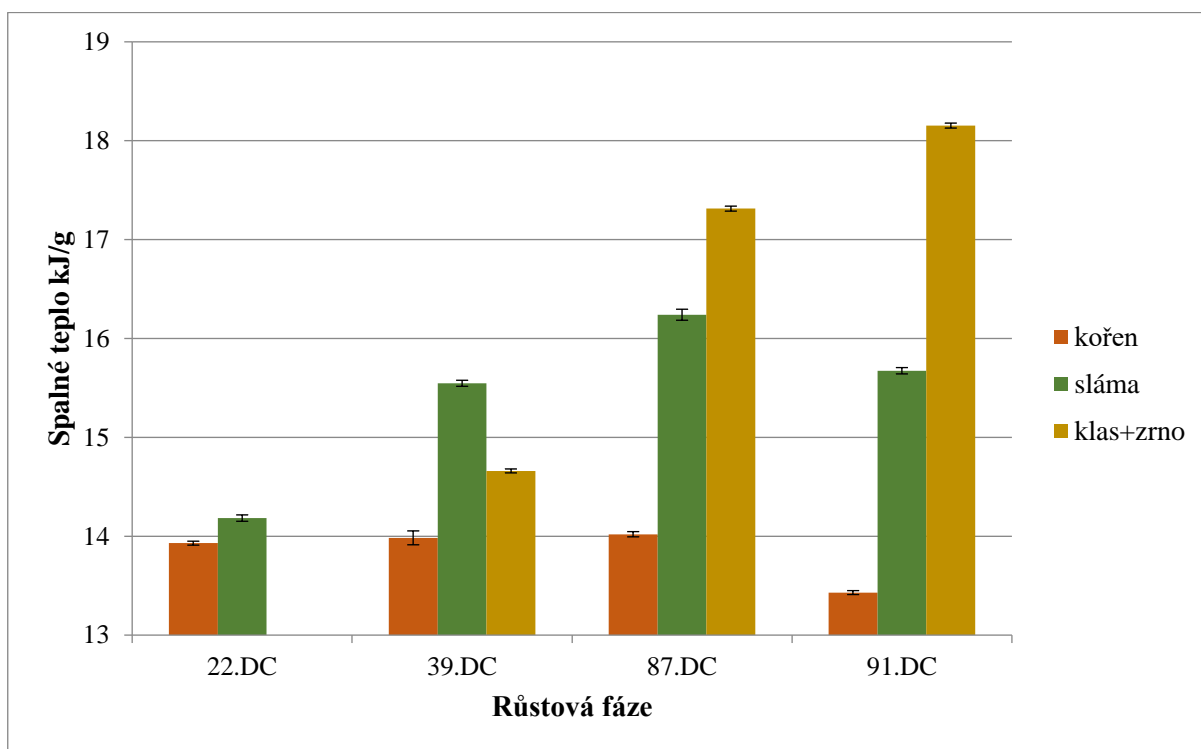
Naměřená spalná tepla jednotlivých orgánů v průběhu ontogenetického vývoje u ovsa setého ve dvou variantách pěstování jsou uvedeny v grafu 9 (KZ) a v grafu 10 (EZ).

Graf 9: Průměrné hodnoty spalného tepla (kJ/g) v závislosti na ontogenetickém vývoji v jednotlivých orgánech ovsa setého pěstovaného v KZ



Z grafu 9 je patrné, že spalné teplo biomasy jednotlivých orgánů ovsa z KZ bylo stejně jako u pšenice ovlivněno fází vývoje. Nejvyšší průměrná hodnota spalného tepla byla zjištěna u generativních orgánů ve fázi plné zralosti (18,113 kJ·g⁻¹). Z grafu 9 je dále patrný obdobný výrazný trend průkazného zvyšujícího se obsahu energie laty s obilkami v závislosti na ontogenetickém vývoji, kdy při prvním odběru ve fázi 39. DC byla stanovena hodnota spalného tepla ve výši 14,753 kJ·g⁻¹ a v další fázi (87. DC) byla tato hodnota 17,436 kJ·g⁻¹. Z uvedeného grafu je dále patrné, že průměrný obsah energie kořenů ovsa z KZ od fáze 22. DC (13,840 kJ·g⁻¹) průkazně narůstal až do fáze 87. DC (14,113 kJ·g⁻¹). Tento nárůst byl poté vystřídán průkazným poklesem energie na 13,573 kJ·g⁻¹ (97. DC). U slámy byl pozorován trend průkazného nárůstu energie od fáze 22. DC (14,240 kJ·g⁻¹) do fáze 87. DC (16,356 kJ·g⁻¹) a poté se obsah energie postupně průkazně snižoval až na hodnotu 15,690 kJ·g⁻¹ ve fázi 91. DC, kdy byly tyto orgány již odumřelé.

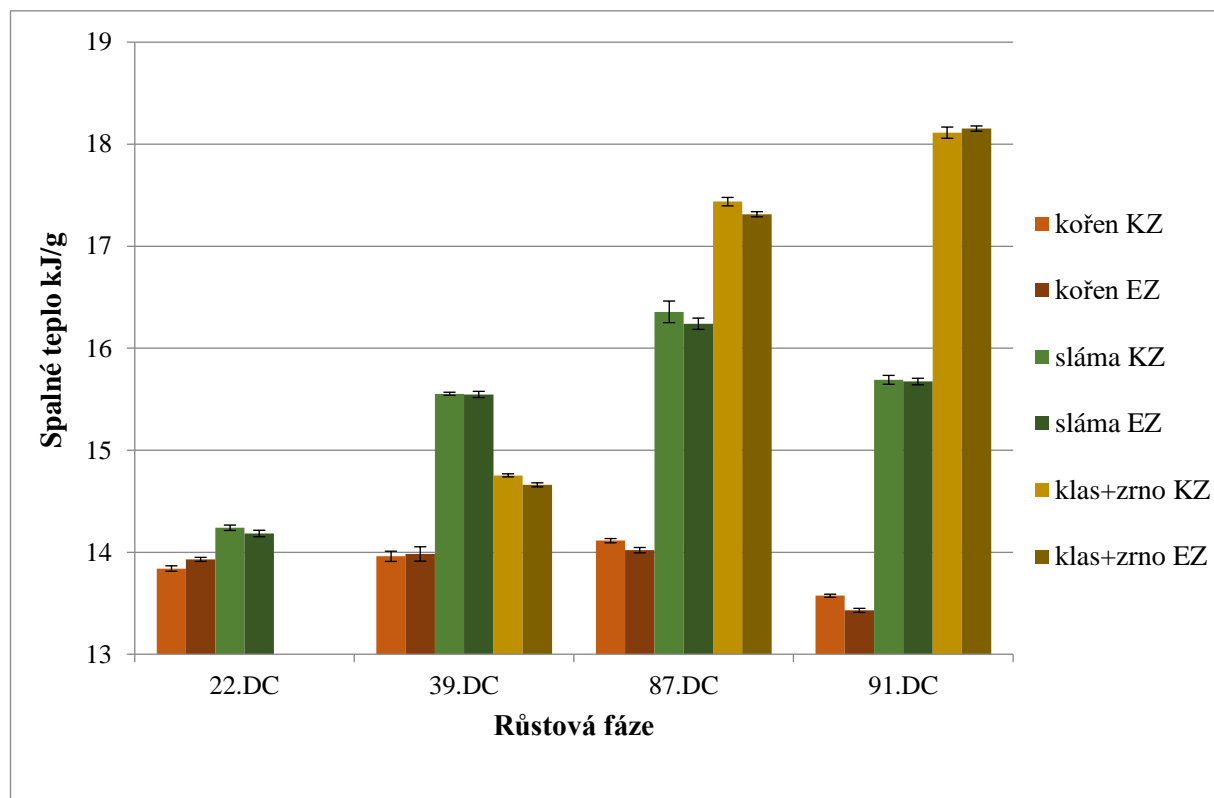
Graf 10: Průměrné hodnoty spalného tepla (kJ/g) v závislosti na ontogenetickém vývoji v jednotlivých orgánech ovsa setého pěstované v EZ



Z grafu 10 vyplývá, že také spalné teplo biomasy jednotlivých orgánů ovsa z EZ bylo ovlivněno ontogenetickým vývojem rostlin. Nejvyšší průměrná hodnota spalného tepla byla zjištěna u laty s obilkami na konci sledovaného období, tedy ve fázi plné zralosti (91. DC). V této fázi byla hodnota spalného tepla ve výši $18,153 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$. Z grafu 9 je dále patrný obdobný výrazný trend průkazného zvyšujícího se obsahu energie generativních orgánů v souvislosti s vývojem rostlin, kdy při prvním odběru ve fázi 39. DC bylo spalné teplo ve výši $14,660 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ a v další fázi (87. DC) byla již tato hodnota $17,313 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$. Z uvedeného grafu dále vyplývá, že průměrný obsah energie kořenového systému ovsa z KZ vykazuje trend v nárůstu obsahu energie. Na počátku sledovaného období (22. DC) byl obsah energie $13,930 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ a ve fázi 87. DC činil $14,020 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$, ale tento nárůst byl statisticky neprůkazný. Statisticky významný pokles byl zaznamenán mezi fázemi růstu 87. DC a 91. DC ($13,430 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$). U slámy byl pozorován trend průkazného nárůstu energie od fáze 22. DC ($14,183 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$) do fáze 87. DC ($16,240 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$) a poté se obsah energie průkazně snížil až na hodnotu $15,673 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ ve fázi 91. DC, kdy byla již nadzemní biomasa odumřelá.

Vzájemné srovnání výsledků spalného tepla jednotlivých orgánů ovsa setého z KZ a EZ v jednotlivých fázích jejich ontogenetického vývoje uvádí graf 11.

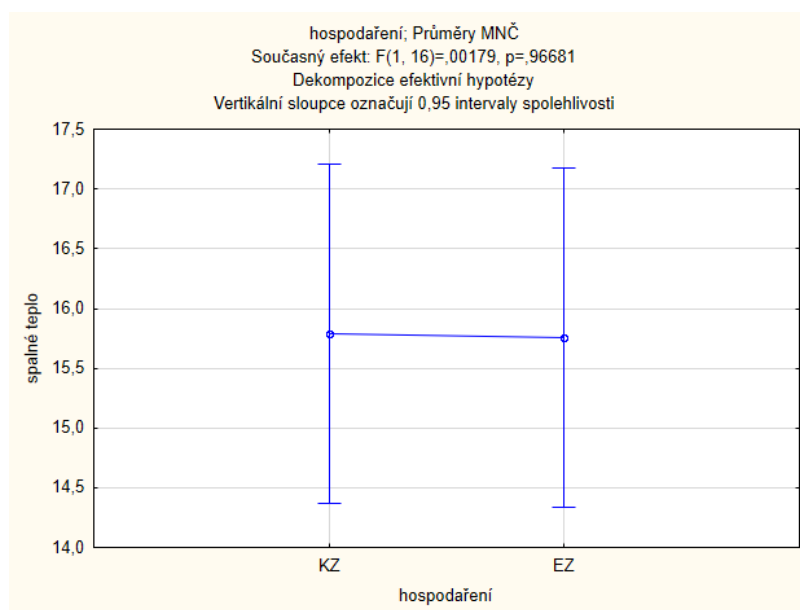
Graf 11: Průměrné hodnoty spalného tepla (kJ/g) v závislosti na ontogenetickém vývoji v jednotlivých orgánech ovsa setého pěstované v KZ a EZ



Z porovnání hodnot spalného tepla ovsa z KZ a EZ (graf 11) je patrné, že mezi oběma variantami není patrný průkazný rozdíl. Ani v tomto případě, stejně jako u pšenice, varianta pěstování významně neovlivňuje hodnotu spalného tepla jednotlivých orgánů.

I v případě ovsa je nejvýznamnějším výstupem energie akumulovaná v rostlinách ve fázi sklizně. Pro zhodnocení rozdílů mezi EZ a KZ bylo porovnáno celkové spalné teplo rostlin ve fázi 91. DC, viz graf 12.

Graf 12: Statistický rozdíl spalných tepel ovsa v EZ a KZ ve fázi 91. DC



Z daného grafu je patrné, že neexistuje statisticky významný rozdíl mezi celkovým obsahem energie v ovsu pěstovaném v EZ a KZ.

Pro fázi sklizně (91. DC) byly dále detailněji porovnány hodnoty spalných tepel jednotlivých orgánů ovsa s cílem stanovit, zda se spalná tepla jednotlivých orgánů ovsa v EZ a KZ liší. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 13.

Tabulka 13: Statistické rozdíly spalných tepel orgánů ovsa mezi EZ a KZ ve fázi 91. DC

LSD test; proměnná spalné teplo								
Pravděpodobnosti pro post-hoc testy								
Chyba: meziskup. PČ = ,00121, sv = 12,000								
Č. buňky	hospodaření	orgán	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}
			13,573	15,690	18,113	13,430	15,673	18,153
1	KZ	kořen		0,000000	0,000000	0,000282	0,000000	0,000000
2	KZ	sláma	0,000000		0,000000	0,000000	0,567501	0,000000
3	KZ	klas+zrno	0,000000	0,000000		0,000000	0,000000	0,183655
4	EZ	kořen	0,000282	0,000000	0,000000		0,000000	0,000000
5	EZ	sláma	0,000000	0,567501	0,000000	0,000000		0,000000
6	EZ	klas+zrno	0,000000	0,000000	0,183655	0,000000	0,000000	

Z tabulky je patrné, že neexistuje statisticky významný rozdíl mezi obsahem energie v generativních orgánech a slámě ovsa v EZ a KZ. Dále bylo zjištěno, že statisticky významný rozdíl ve spalných teplech existuje u kořene při srovnání EZ a KZ. Vyšší hodnota spalného tepla laty s obilkami jako hlavního produktu byla zjištěna u ovsa z EZ (18,153 kJ·g⁻¹) oproti 18,113 kJ·g⁻¹ z KZ, ovšem nebyla statisticky významná.

5.2 Energetická bilance

Pro stanovení energetických vstupů byly použity energetické koeficienty uváděné Preiningerem (1987). Energetické vstupy byly rozděleny na přímé náklady, které zahrnují pohonné hmoty (PHM) a lidskou práci, a nepřímé náklady, které zahrnují energii pesticidů, hnojiv, strojů a osiv.

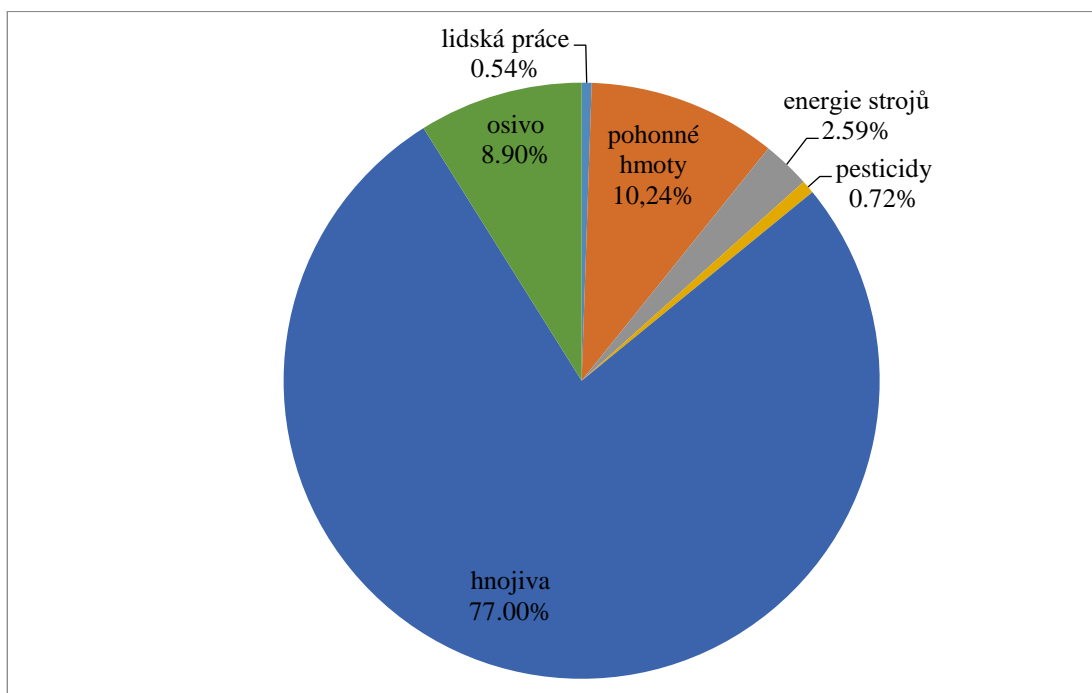
5.2.1 Energetická bilance jednotlivých plodin

V tabulce 14 jsou uvedeny energetické vstupy pěstování pšenice v KZ a v grafu 13 jsou znázorněny procentuální podíly vstupů energie.

Tabulka 14: Energetické vstupy pro pěstování pšenice v KZ ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)

přímé náklady ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)		nepřímé náklady ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)			
lidská práce	pohonné hmoty	energie strojů	pesticidy	hnojiva	osivo
170,83	3249,04	823,32	229,90	24154,52	2824,8

Graf 13: Podíl vstupů energie při pěstování pšenice v KZ (%)



Energetická hodnota přímých nákladů činila $3\,419,87 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Nepřímé energetické vstupy byly ve výši $28\,032,54 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Celkové energetické vstupy do výroby byly $31\,452,40 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Nejvyšší podíl z celkových energetických vstupů představovaly nepřímé energetické vstupy (89 %). Z této kategorie měly nejvyšší podíl vstupy ve formě energie hnojiv, které tvořily 77 % z celkových vstupů, viz graf 13. Nejnižší hodnota energetických vstupů byla vypočtena pro vstupy ve formě lidské práce $170,83 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ (0,54 %) a pro energii pesticidů $229,9 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ (0,73 %). Přímé energetické vstupy (energie PHM a lidské práce) tvořily 11 %.

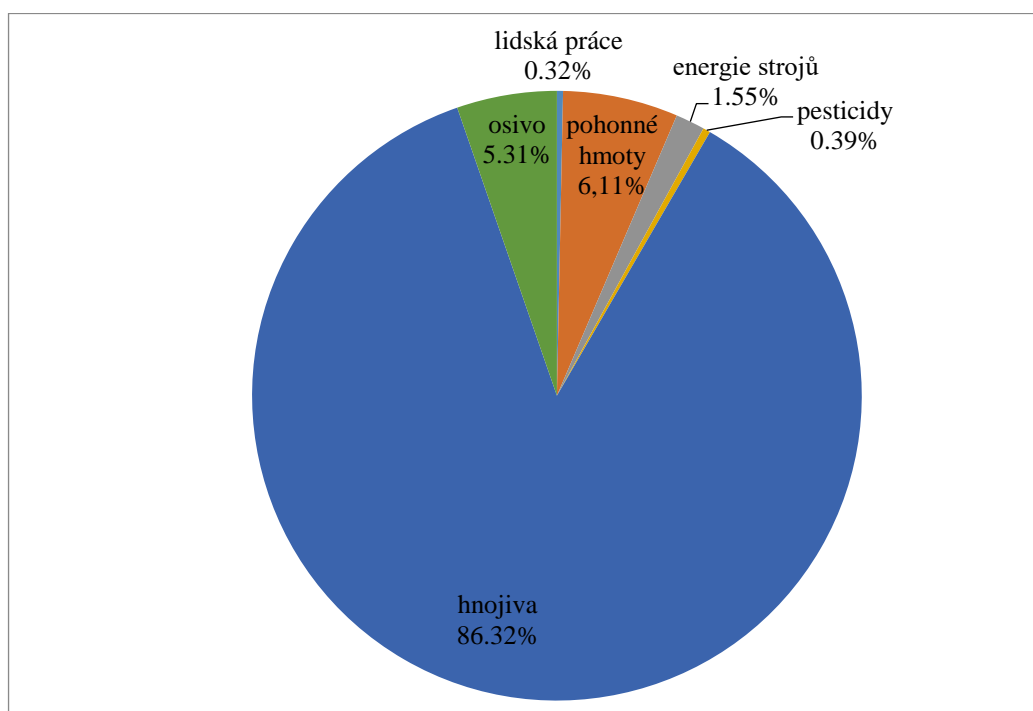
Na straně výstupů při pěstování pšenice v KZ byla vypěstovaná biomasa rostlin. Hlavního produktu, tedy zrna a klasu, bylo sklizeno $6,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ a celková energie tohoto produktu byla stanovena na $115\,849,5 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Vedlejší produkt, tedy sláma, byla sklizena v objemu $7,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ a energie v tomto produktu byla stanovena na $108\,309,6 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Celková hodnota výstupu tedy činila $224\,159,1 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Srovnáním celkových vstupů a celkových výstupů byla stanovena celková bilance pěstování pšenice v KZ, a to na $192\,430,7 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$.

V tabulce 15 jsou uvedeny energetické vstupy pěstování ovsa v KZ a v grafu 14 jsou znázorněny procentuální podíly vstupů energie.

Tabulka 15: Energetické vstupy pro pěstování ovsa v KZ ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)

přímé náklady ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)		nepřímé náklady ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)			
lidská práce	pohonné hmoty	energie strojů	pesticidy	hnojiva	osivo
170,83	3249,04	823,32	206,90	45876,31	2820

Graf 14: Podíl vstupů energie při pěstování ovsa v KZ (%)



Energetická hodnota přímých nákladů činila $3\,419,87 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Nepřímé energetické vstupy byly ve výši $49\,726,53 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Celkové energetické vstupy do výroby byly $53\,146,40 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Nejvyšší podíl z celkových energetických vstupů představovaly nepřímé energetické vstupy (94 %). Z této kategorie měly nejvyšší podíl vstupy ve formě energie hnojiv, které tvořily 86,32 % z celkových vstupů, viz graf 14. Nejnižší hodnota energetických vstupů byla vypočtena pro vstupy ve formě lidské práce $170,83 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ (0,32 %) a pro energii pesticidů $206,9 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ (0,39 %). Přímé energetické vstupy (energie PHM a lidské práce) tvořily 6 %.

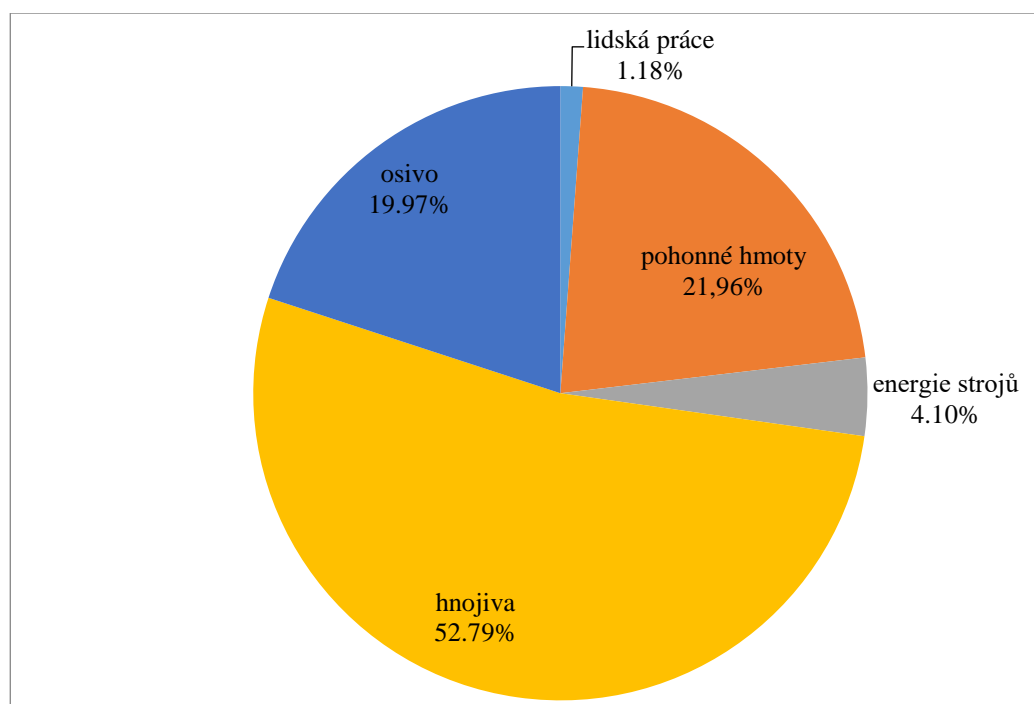
Na straně výstupů při pěstování ovsa v KZ byla vypěstovaná biomasa rostlin. Hlavního produktu, tedy zrna a klasu, bylo sklizeno $3,7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ a celková energie tohoto produktu byla ve výši $67\,018,1 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Vedlejším produktem byla sláma v objemu $3,9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ a energie v tomto produktu byla stanovena na $6\,1191 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Celková hodnota výstupu činila $128\,209,1 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Na základě srovnání celkových vstupů a výstupů byla stanovena bilance pěstování ovsa v KZ $75\,062,70 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$.

V tabulce 16 jsou uvedeny energetické vstupy pěstování pšenice v EZ a v grafu 15 jsou znázorněny procentuální podíly vstupů energie.

Tabulka 16: Energetické vstupy pro pěstování pšenice v EZ ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)

přímé náklady ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)		nepřímé náklady ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)		
lidská práce	pohonné hmoty	energie strojů	hnojiva	osivo
166,73	3105,7	580,19	7466,67	2824,80

Graf 15: Podíl vstupů energie při pěstování pšenice v EZ (%)



Energetická hodnota přímých nákladů činila $3\,272,43 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Nepřímé energetické vstupy byly ve výši $10\,871,66 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Celkové energetické vstupy do výroby byly $14\,144,08 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Nejvyšší podíl z celkových energetických vstupů představovaly nepřímé energetické vstupy (77 %). Z této kategorie měly nejvyšší podíl vstupy ve formě energie hnojiv, které tvořily 52,79 % z celkových vstupů, viz graf 15. Nejnižší hodnota energetických vstupů byla vypočtena pro vstupy ve formě lidské práce $166,73 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ (1,18 %) a pro energii strojů $580,19 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ (4,1 %). Přímé energetické vstupy (energie PHM a lidské práce) tvořily 23 %.

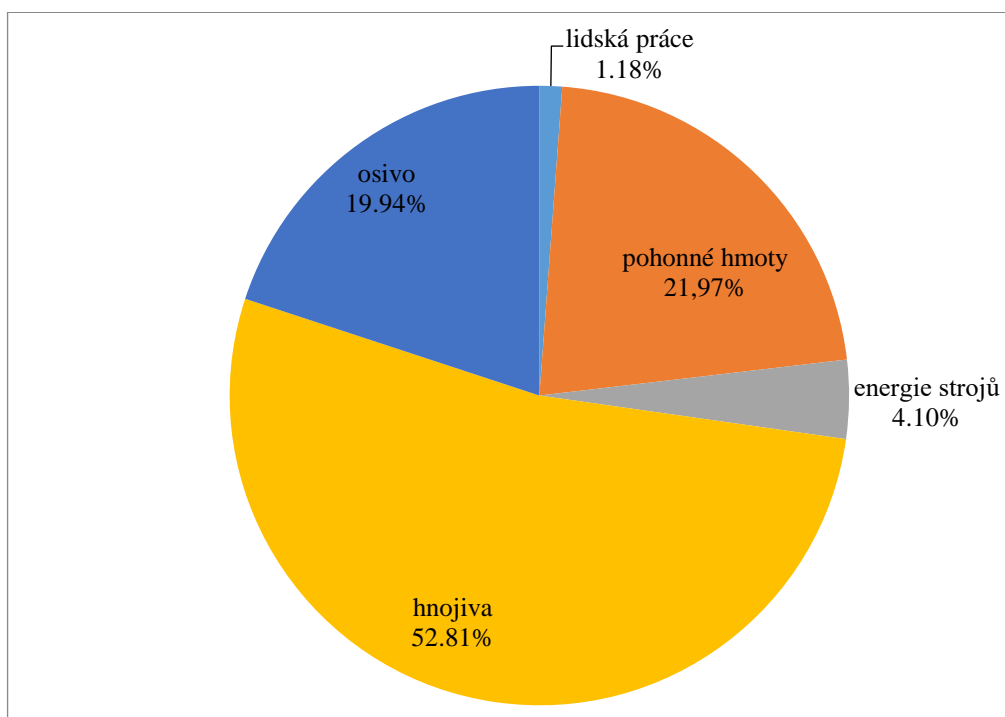
Na straně výstupů při pěstování pšenice v EZ byla vypěstovaná biomasa rostlin. Hlavního produktu, tedy zrna a klasu, bylo sklizeno 5,9 t·ha⁻¹ o celkové energii 104 801,7 MJ·ha⁻¹. Slámy bylo sklizeno 6,6 t·ha⁻¹ a její celkový obsah energie činil 99 528 MJ·ha⁻¹. Celková hodnota výstupu byla vypočtena na 204 329,7 MJ·ha⁻¹. Celková bilance pěstování pšenice v EZ byla ve výši 190 185,62 MJ·ha⁻¹.

V tabulce 17 jsou uvedeny energetické vstupy pěstování ovsa v EZ a v grafu 16 jsou znázorněny procentuální podíly vstupů energie.

Tabulka 17: Energetické vstupy pro pěstování ovsa v EZ (MJ·ha⁻¹)

přímé náklady (MJ·ha ⁻¹)		nepřímé náklady (MJ·ha ⁻¹)		
lidská práce	pohonné hmoty	energie strojů	hnojiva	osivo
166,73	3105,7	580,19	7466,67	2820,00

Graf 16: Podíl vstupů energie při pěstování ovsa v EZ (%)



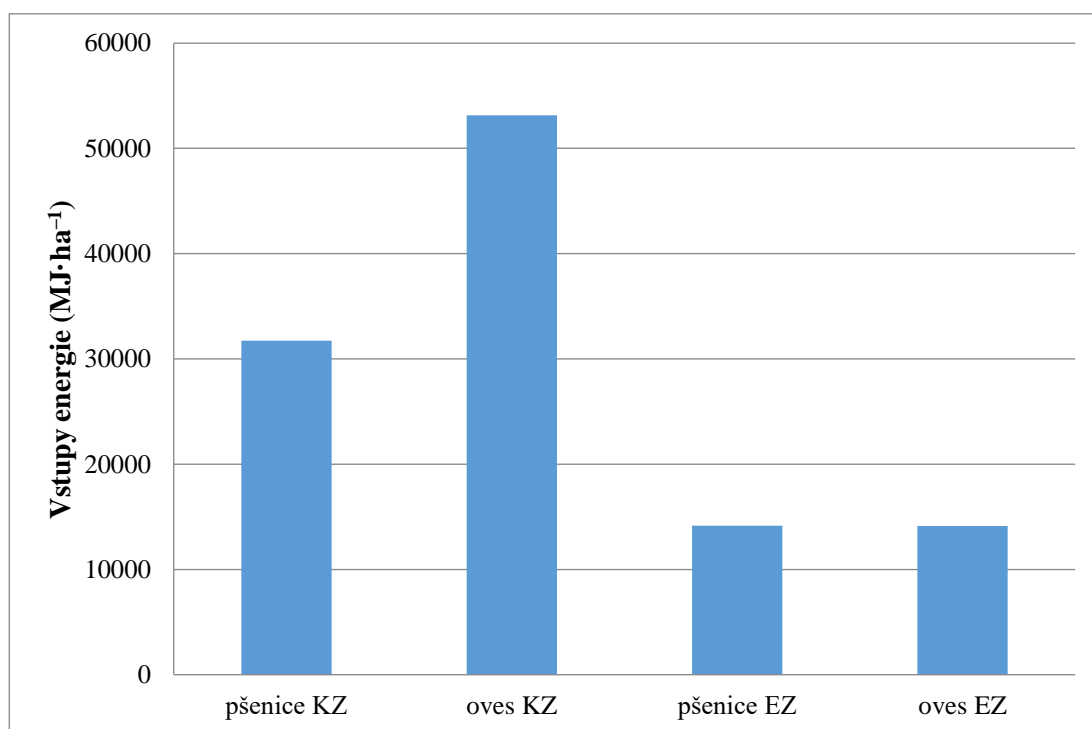
Energetická hodnota přímých nákladů činila 3 272,43 MJ·ha⁻¹. Nepřímé energetické vstupy byly ve výši 10 866,86 MJ·ha⁻¹. Celkové energetické vstupy do výroby byly 14 139,28 MJ·ha⁻¹. Nejvyšší podíl z celkových energetických vstupů představovaly nepřímé energetické vstupy (77 %). Z této kategorie měly nejvyšší podíl vstupy ve formě energie hnojiv, které tvořily 52,81 % z celkových vstupů, viz graf 16. Nejnižší hodnota energetických vstupů byla vypočtena pro vstupy ve formě lidské práce 166,73 MJ·ha⁻¹ (1,18 %) a pro energii strojů 580,19 MJ·ha⁻¹ (4,1 %). Přímé energetické vstupy (energie PHM a lidské práce) tvořily 23 %.

Na straně výstupů při pěstování ovsa v EZ byla vypěstovaná biomasa rostlin. Zrna bylo sklizeno $3,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ o celkovém obsahu energie $61\,720,2 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Množství vyprodukované slámy bylo $3,6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ a množství její energie naakumulované činilo $56\,422,8 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Celková hodnota výstupu byla ve výši $118\,143 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$. Celková bilance pěstování ovsa v EZ byla $104\,003,72 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$.

5.2.2 Srovnání energetických bilancí jednotlivých plodin

Cílem této práce bylo zhodnocení a porovnání energetické bilance vybraných plodin, konkrétně pšenice seté a ovsa setého, v režimu KZ a EZ. Prvním krokem v tvorbě bilancí bylo stanovení celkové energie dodané těmto rostlinám, tedy energetických vstupů, viz graf 17.

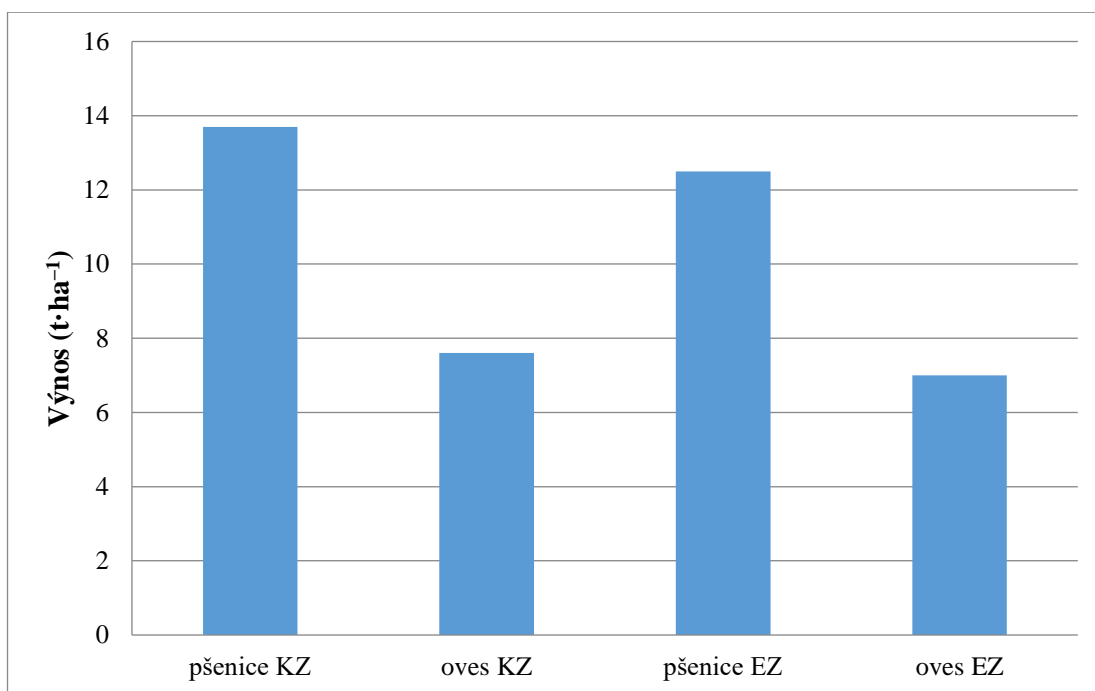
Graf 17: Energetické vstupy pšenice a ovsa v KZ a EZ ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)



Z uvedeného grafu je patrné, že nejvyšší množství vstupů bylo použito u ovsa v KZ ($53\,146,40 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$), což bylo důsledkem vysokého energetického vstupu v podobě regeneračního hnojení ($33\,000,00 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$). Z grafu dále vyplývá, že druhé nejvyšší množství energetických vstupů bylo použito u pšenice z KZ ($31\,728,40 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$). Průkazně nižší množství energetických vstupů bylo použito u pšenice ($14\,144,08 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) i ovsa ($14\,139,28 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) z EZ.

Dalším krokem v tvorbě bilancí bylo po stanovení energetických vstupů zhodnocení energetických výstupů. Energetický výstup je určen dvěma složkami – výnosem plodiny a spalným teplem biomasy. Graf 18 uvádí výnosy nadzemní části biomasy sledovaných plodin.

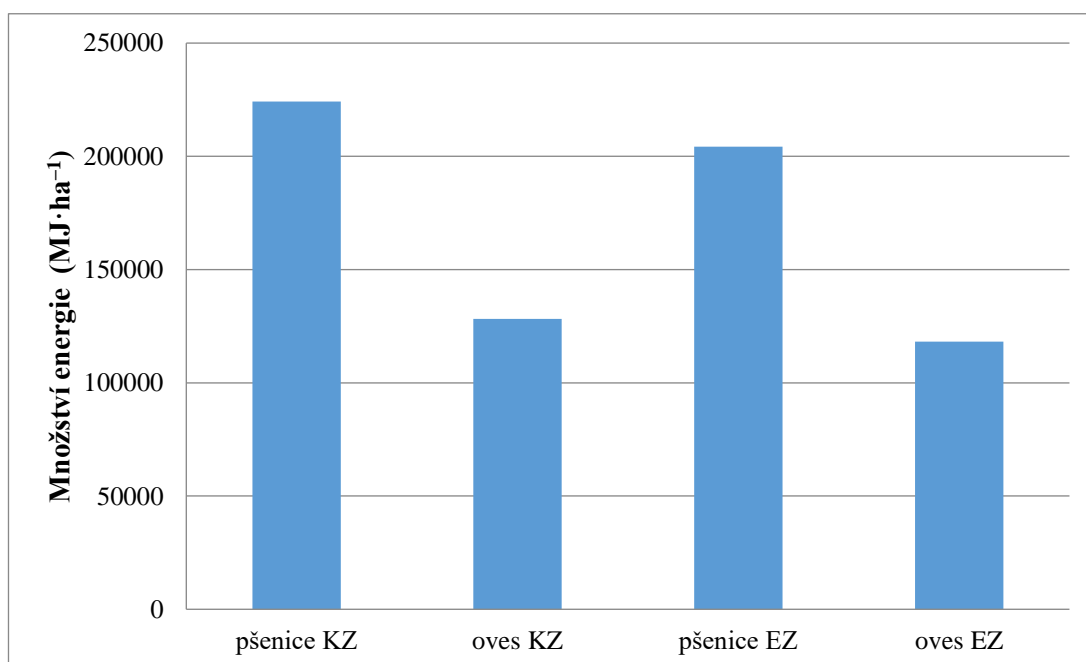
Graf 18: Výnos nadzemní části biomasy pšenice a ovsa v KZ a EZ ($t \cdot ha^{-1}$)



Z uvedeného grafu je patrné, že nejvyšší výnos byl realizován u pšenice z KZ ($13,7 t \cdot ha^{-1}$). Druhý nejvyšší výnos byl zjištěn u pšenice z EZ ($12,5 t \cdot ha^{-1}$). Výnosy ovsa byly oproti pšenici nižší v KZ ($7,6 t \cdot ha^{-1}$) i EZ ($7 t \cdot ha^{-1}$). Výnos v EZ v porovnání s KZ byl nižší u pšenice i ovsa. Výnos pšenice z KZ byl ve srovnání s EZ vyšší o 9,6 %, u ovsa o 8,6 %.

Druhou složku energetického výstupu jednotlivých plodin, tedy množství kumulované energie v biomase rostlin ve formě spalného tepla, uvádí graf 19.

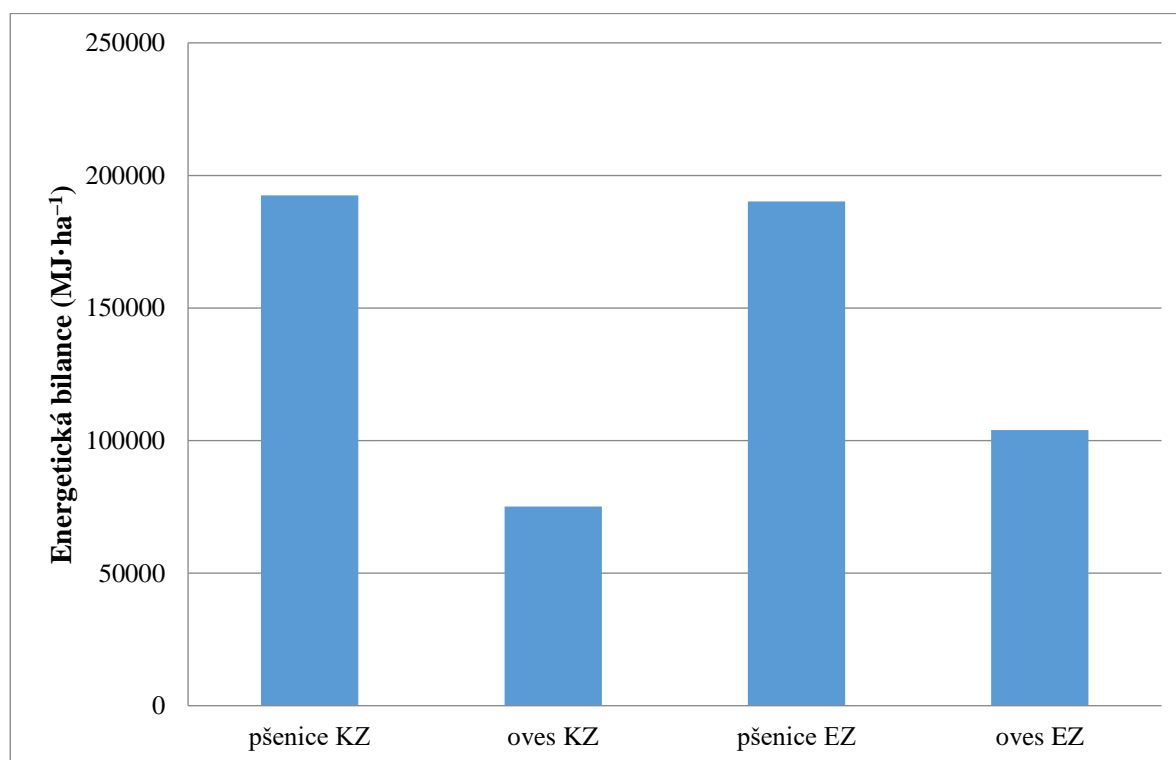
Graf 19: Množství energie v biomase v nadzemní části pšenice a ovsa v KZ a EZ ($MJ \cdot ha^{-1}$)



Z uvedeného grafu je patrné, že množství energie na ha je ovlivněno hektarovým výnosem, kdy nejvyšší množství energie bylo zjištěno u pšenice z KZ ($224\,159,1 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$). Druhé nejvyšší množství energie bylo zjištěno u pšenice z EZ ($204\,329,7 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$). U ovsa bylo množství energie v biomase nadzemních částí rostlin nižší v porovnání s pšenicí, jak v KZ ($128\,209,1 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$), tak v EZ ($118\,143 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$). Z grafu je také patrné, že množství energie na ha u ovsa bylo vyšší v KZ než v EZ.

Finálním krokem tvorby bilancí byl propočít vstupů a výstupů pro jednotlivé plodiny. Celkové energetické bilance uvádí graf 20.

Graf 20: Celková energetická bilance pšenice a ovsa v KZ a EZ ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)



Z uvedeného grafu je patrné, že nejvýhodnější energetická bilance byla stanovena pro pšenici z KZ ($192\,430,70 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$). Pšenice z EZ měla bilanci slabě nepříznivější ($190\,185,62 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) oproti pšenici z KZ. Celkově byl rozdíl v energetické bilanci pšenice z KZ a EZ pouhých 1,18 %. Z uvedeného grafu je dále patrné, že u ovsa byla energetická bilance výhodnější v EZ ($104\,003,72 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) oproti KZ ($75\,062,70 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$). Zde byl rozdíl v bilancích ovsa z KZ a EZ mnohem výraznější a dosahoval 38,55 %. Lze tedy konstatovat, že pěstování odrůdy pšenice Bohemia, je nepatrně výhodnější v podmínkách KZ. U ovsa je však situace opačná, tedy pěstování odrůdy ovsa Otakar je mnohem výhodnější v podmínkách EZ oproti KZ.

Ze získaných výsledků byly vyvozeny odpovědi na stanovené hypotézy:

1. Existují rozdíly v hodnotách spalného tepla mezi jednotlivými rostlinnými orgány sledovaných rostlinných druhů.

Hypotéza byla potvrzena. U pšenice i ovsa byla v obou hospodářských systémech pozorována nejvyšší akumulovaná energie v generativních orgánech (klas a zrno), zatímco nejnižší množství energie obsahoval kořen. S postupující senescencí a dozráváním zrna do doby sklizně se energie generativních orgánů zvyšovala, zatímco energie slámy klesala.

2. Existují rozdíly v energetické náročnosti v rámci pěstování jednotlivých plodin.

Hypotéza byla potvrzena. Z výsledků bylo zjištěno, že energetické vstupy v konvenčním zemědělství jsou až několikanásobně vyšší než v případě zemědělství ekologického. Zároveň byl pozorován významný rozdíl v energetických vstupech mezi pšenicí a ovsem u konvenčního zemědělství, zatímco v případě ekologického zemědělství byly energetické vstupy obou plodin prakticky stejné.

3. Existují rozdíly v energetické bilanci podniku s konvenčním a ekologickým způsobem hospodaření.

Hypotéza byla potvrzena. Významný rozdíl v energetické bilanci byl zjištěn u ovsa, kdy oves odrůdy Otakar pěstovaný v podmínkách ekologického zemědělství dosáhl o 39 % vyšší energetické bilance než oves stejné odrůdy pěstovaný v podmínkách konvenčního zemědělství. U pšenice odrůdy Bohemia byl pozorován opačný trend, kdy vyšší energetické bilance dosáhla pšenice pěstovaná v podmínkách konvenčního zemědělství, rozdíl oproti zemědělství ekologickému však byl pouze 1 %.

6 Diskuze

Pro hodnocení energetických bilancí bylo stěžejní určit spalné teplo vyprodukované biomasy, tedy obsah energie v ní uložený. Prvním cílem kalorimetrické analýzy bylo zjistit, zda existují rozdíly v hodnotách spalného tepla mezi jednotlivými orgány sledovaných rostlinných druhů.

Z výsledků spalné kalorimetrie je patrné, že u pšenice z KZ je prokazatelně více energie v zrnu oproti zrnu pšenice z EZ. Toto může být způsobeno vyšším obsahem proteinů díky minerálnímu hnojení, jak poukazují Gallagher et al. (1999), Langenkämper et al. (2006) či Wang et al. (2020b). Významný rozdíl však nebyl pozorován ve spalných teplech u slámy ani u kořene pšenice mezi EZ a KZ. Celkové spalné teplo biomasy všech orgánů neprokázalo statisticky významný rozdíl v uložené energii mezi KZ a EZ. Přesto lze pozorovat trend, kdy u kořene a slámy pšenice z EZ bylo spalné teplo mírně vyšší, nežli u pšenice z KZ, a tak vyvodit závěr, že celkové spalné teplo se nelišilo v důsledku jiného rozložení energie v rostlinném těle mezi rostlinami v EZ a KZ díky jiné alokaci asimilátů v rámci rostlinného těla, jak popisují například Bláha a Šerá (2013).

Při srovnání spalných tepel ovsa bylo taktéž prokázáno, že celkové spalné teplo biomasy všech orgánů nevykazuje rozdíl mezi KZ a EZ. Významný rozdíl v hodnotách spalného tepla mezi EZ a KZ byl však prokázán u kořene ovsa. Tento rozdíl by mohl být vysvětlen použitím odrůdy ovsa vhodné pro ekologické hospodaření, tedy že v ekologických podmínkách vhodných pro tuto odrůdu, rostlina nealokuje tolik energie do kořenového systému, jako je tomu u KZ. Použití vhodné odrůdy pro dané podmínky nejen ekologické produkce zmiňují například Rempelos et al. (2020).

Spalná tepla jednotlivých orgánů se však mezi sebou značně lišila. Nejvyšší hodnoty spalného tepla u obou druhů rostlin vykazovala generativní část, což je dáno jejím chemickým složením, resp. ukládáním energeticky bohatých sloučenin ve formě zásobních látek do těchto orgánů, jak poukazuje Gallagher et al. (1999). Spalné teplo generativních orgánů se zvyšovalo až do sklizně, zatímco spalná tepla slámy se od fáze konce kvetení postupně snižovala, což souvisí s již zmiňovaným transportem asimilátů, který je dán ontogenetickým vývojem rostlin, na což upozorňují také Golley (1961) či Hnilička et al. (2015).

Při hodnocení energetické náročnosti byly vyhodnoceny energetické vstupy do výroby. Celkové vstupy byly vyšší pro obě plodiny v KZ oproti plodinám z EZ. Podobné závěry ve své práci uvádí také Dal Ferro et al. (2017). Například energetický vstup na ha u pšenice z KZ byl dvojnásobný oproti pšenici z EZ. Obdobné rozdíly uvádí také například Tuomisto et al. (2012). Tento rozdíl byl způsoben především dodanou energií z průmyslových hnojiv. Nejvyšší množství energetických vstupů bylo vyhodnoceno u ovsa z KZ, což bylo způsobeno vysokým vstupem v podobě regeneračního hnojení oproti nižší dávce regeneračního hnojení u pšenice z KZ. Tento vysoký vstup mohl být způsoben druhem předplodiny či špatným nutričním stavem půdy před setím.

U obou plodin z EZ byly vstupy velmi podobné, což patrně vychází z velmi podobných agrotechnických postupů pěstování těchto plodin.

U obou plodin i obou způsobů pěstování plodin byly nejvyšší energetické vstupy v podobě hnojiv. Poměr k celkovým vstupům byl však významně vyšší u plodin z KZ, kde vstupy v podobě hnojiv představovaly 77 % u pšenice a 86,32 % u ovsa. Oproti tomu v EZ bylo množství energie dodané do systému v podobě energie z hnojiv pouze okolo 53 %. Vyšší podíl energie na celkových vstupech ve srovnání pšenice z EZ a KZ potvrzují také Dal Ferro et al. (2017).

Celková bilance je vždy výrazně ovlivněna kromě energetických vstupů a množstvím energie obsažené v biomase produktu také samotným výnosem biomasy. Vyšší výnos byl zjištěn pro obě plodiny v KZ v porovnání s plodinami z EZ. Vyšší výnosy v KZ oproti EZ uvádí i De Ponti et al. (2012). Z výsledků je patrné, že u sledované pšenice a ovsa byl rozdíl ve výnosu okolo 9 % v porovnání EZ a KZ. De Ponti et al. (2012) či Dal Ferro et al. (2017) uvádějí rozdíly mezi těmito způsoby hospodaření v průměru okolo 20 %. Nižší rozdíl stanovený v této práci mohl být způsoben mnoha faktory počínaje technologií pěstování, vhodným výběrem odrůd, až po drobné rozdíly v klimatických podmínkách v oblastech pěstování vybraných plodin. Rozdíl v množství energie na ha byl podobný jako u výnosu. Pšenice z KZ vyprodukovala oproti pšenici z EZ o 11,8 % MJ·ha⁻¹ více energie, oves o 8,5 %.

Celková energetická bilance pěstování vybraných plodin v EZ a KZ pomáhá zjistit celkovou výhodnost pěstování dané odrůdy v daných podmínkách. U pšenice byla zjištěna bilance výhodnější po její pěstování v konvenčních podmínkách. Naopak oves měl výhodnější bilanci v rámci pěstování v EZ. Dle výsledků Dal Ferra et al. (2017) je však u pšenice bilance výhodnější při pěstování v EZ. Celková bilance je však ovlivnitelná mnoha faktory, jak již bylo zmíněno výše. Výhodnější bilance však byla zjištěna pro oves v EZ, což ale mohlo být způsobeno vysokým energetickým vstupem při hnojení ovsa v KZ či volbou odrůdy vhodné pro pěstování v ekologických podmínkách.

Ze získaných výsledků energetické bilance lze usuzovat, že v daných konkrétních podmínkách není příliš velký rozdíl ve výhodnosti pěstování pšenice v EZ či KZ (přibližně 1 % ve prospěch KZ), zatímco oves bylo výhodnější pěstovat v ekologických podmínkách, v nichž dosáhl energetické bilance o 39 % vyšší než v KZ. Tyto výsledky poukazují na fakt, že i plodiny pěstované v ekologickém zemědělství mohou dosahovat ekonomicky výhodných výnosů ve srovnání se zemědělstvím konvenčním.

7 Závěr

- Spalná kalorimetrie pomáhá osvětlit principy sink a source.
- Hodnota spalného tepla se průkazně neliší mezi biomasou sledovaných rostlin z EZ a KZ.
- Nejvyšší hodnoty spalného tepla vykazují generativní orgány sledovaných rostlin.
- Hodnota spalného tepla generativních orgánů rostlin se zvyšuje až do sklizně.
- Hodnota spalného tepla ve slámě se vlivem senescence snižuje.
- Energetické vstupy byly v KZ vyšší než v EZ.
- Nejvyšší podíl na vstupech u všech sledovaných rostlin mělo hnojení, zatímco nejnižší lidská práce.
- Výnos byl v KZ vyšší než v EZ, jak z hlediska $t \cdot ha^{-1}$, tak z hlediska $MJ \cdot ha^{-1}$.
- U pšenice z KZ byla energetická bilance mírně výhodnější než u pšenice z EZ.
- U ovsa z EZ byla energetická bilance výhodnější než u ovsa z KZ.
- Z práce vyplynulo, že pěstování plodin v EZ má mnoho pozitivních aspektů.
- Z práce je zřejmé, že velmi důležitým předpokladem pro ekonomicky výhodné pěstování kulturních rostlin je vhodný osevnický postup a výběr vhodné odrůdy.
- Z práce také vyplývá, že využitím metod spalné kalorimetrie a tvorbou energetických bilancí je možné přispět k udržitelnosti.
- Byla potvrzena hypotéza, že existují rozdíly v hodnotách spalného tepla mezi jednotlivými rostlinnými orgány sledovaných rostlinných druhů.
- Byla potvrzena hypotéza, že existují rozdíly v energetické náročnosti v rámci pěstování jednotlivých plodin.
- Byla potvrzena hypotéza, že existují rozdíly v energetické bilanci podniku s konvenčním a ekologickým způsobem hospodaření.

8 Literatura

- BLÁHA, Ladislav a Božena ŠERÁ, ed., 2013. *Význam celistvosti rostliny ve výzkumu, šlechtění a produkci: Importance of plant integrity in research, plant breeding and production*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby. ISBN 978-80-7427-129-8.
- BLÁHA, Ladislav, František HNILIČKA a Jaroslava MARTINKOVÁ, 2010. *Současné možnosti fyziologie a zemědělského výzkumu přispět k produkci rostlin (vybrané kapitoly)*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby. ISBN 978-80-7427-023-9.
- BOONE, Lieselot, Isabel ROLDÁN-RUIZ, Veerle VAN LINDEN, Hilde MUYLLE a Jo DEWULF, 2019. Environmental sustainability of conventional and organic farming: Accounting for ecosystem services in life cycle assessment. *Science of The Total Environment* [online]. **695** [cit. 2021-03-10]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2019.133841
- BORGEN, A., 2004. Strategies for regulation of seed borne diseases in organic farming. *Seed Testing International - ISTA News Bulletin* [online]. Wageningen, (127), 19-21 [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://orgprints.org/3191/1/NB127.pdf>
- BROWN, J.C., 2003. ENERGY | Measurement of Food Energy. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* [online]. Elsevier, 2003, s. 2087-2091 [cit. 2021-03-26]. ISBN 9780122270550. Dostupné z: doi:10.1016/B0-12-227055-X/00406-5
- COLEY, David, Mark HOWARD a Michael WINTER, 2009. Local food, food miles and carbon emissions: A comparison of farm shop and mass distribution approaches. *Food Policy* [online]. **34**(2), 150-155 [cit. 2021-03-10]. ISSN 03069192. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodpol.2008.11.001
- ČESKÁ REPUBLIKA, 2007. *Úplné znění nařízení Rady (ES) 834/2007: o ekologické produkci a označování ekologických produktů a o zrušení nařízení (EHS) č. 2092/91*. In: *Úřední věstník Evropské unie*. Praha. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32007R0834&from=CS>
- ČHMÚ: *Územní srážky* [online], 2021. Praha [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky#>
- ČHMÚ: *Územní teploty* [online], 2021. Praha [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty#>
- DAL FERRO, Nicola, Giuseppe ZANIN a Maurizio BORIN, 2017. Crop yield and energy use in organic and conventional farming: A case study in north-east Italy. *European Journal of Agronomy* [online]. **86**, 37-47 [cit. 2021-03-10]. ISSN 11610301. Dostupné z: doi:10.1016/j.eja.2017.03.002
- DE PONTI, Tomek, Bert RIJK a Martin K. VAN ITTERSUM, 2012. The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agricultural Systems* [online]. **108**, 1-9 [cit. 2021-03-10]. ISSN 0308521X. Dostupné z: doi:10.1016/j.agsy.2011.12.004

- DLOUHÝ, J., URBAN, J. *Ekologické zemědělství bez mýtů: Fakta o ekologickém zemědělství a biopotravinách pro média* [online]. 2011. Olomouc, Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/148152/myty_EZ_final.pdf.
- DORDAS, Christos, 2008. Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development* [online]. **28**(1), 33-46 [cit. 2021-03-10]. ISSN 1774-0746. Dostupné z: doi:10.1051/agro:2007051
- DVORSKÝ, Jan a Jiří URBAN, 2014. *Základy ekologického zemědělství: podle nařízení Rady (ES) č. 834/2007 a nařízení Komise (ES) č. 889/2008 s příklady. 2., aktualizované vydání*. Brno: ÚKZÚZ. ISBN 978-80-7401-098-9.
- EDER, Andreas, Klaus SALHOFER a Eva SCHEICHEL, 2021. Land tenure, soil conservation, and farm performance: An eco-efficiency analysis of Austrian crop farms. *Ecological Economics* [online]. **180** [cit. 2021-03-10]. ISSN 09218009. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecolecon.2020.106861
- European Commission, 2021. *Organic farming statistics* [online]. Brusel [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Organic_farming_statistics
- European Commission, 2021. *Organic Production* [online]. Brusel [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://agridata.ec.europa.eu/extensions/DashboardIndicators/OrganicProduction.html>
- FARQUHAR, G. d., S. CAEMMERER a J. a. BERRY, 1980. A Biochemical Model of Photosynthetic CO₂ Assimilation in Leaves of C₃ Species. *Planta* [online]. **149**(1), 78-90 [cit. 2021-03-11]. ISSN 00320935. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Graham_Farquhar/publication/259201703_A_biochemical_model_of_photosynthetic_CO2_links/02e7e516c5ca5adcb7000000.pdf
- FOLEY, Jonathan A., Navin RAMANKUTTY, Kate A. BRAUMAN, et al., 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature* [online]. **478**(7369), 337-342 [cit. 2021-03-11]. ISSN 0028-0836. Dostupné z: doi:10.1038/nature10452
- FRITSCHEN, Leo J. a Charles L. FRITSCHEN, 2005. Bowen Ratio Energy Balance Method. HATFIELD, J.L. a J.M. BAKER, ed. *Micrometeorology in Agricultural Systems* [online]. Madison, WI, USA: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, 2015-10-26, s. 397-405 [cit. 2021-04-07]. Agronomy Monographs. ISBN 9780891182689. Dostupné z: doi:10.2134/agronmonogr47.c17
- GABBOTT, Paul, c2008. *Principles and applications of thermal analysis*. Ames, Iowa: Blackwell Pub. ISBN 978-1-4051-3171-1.
- GALLAGHER, Patrick K., Michael E. BROWN a Richard B. KEMP, 1998. *Handbook of thermal analysis and calorimetry: Principles and Practice*. Oxford: Elsevier. ISBN 044482085x.

- GALLAGHER, Patrick K., Michael E. BROWN a Richard B. KEMP, 1999. *Handbook of thermal analysis and calorimetry: From Macromolecules to Man*. Oxford: Elsevier. ISBN 0444820884.
- GODED, Sandra, Johan EKROOS, Jesús DOMÍNGUEZ, José A. GUITIÁN a Henrik G. SMITH, 2018. Effects of organic farming on bird diversity in North-West Spain. *Agriculture, Ecosystems & Environment* [online]. **257**, 60-67 [cit. 2021-03-10]. ISSN 01678809. Dostupné z: doi:10.1016/j.agee.2018.01.020
- GOLLEY, Frank B., 1961. Energy Values of Ecological Materials. *Ecology* [online]. **42**(3), 581-584 [cit. 2021-03-11]. ISSN 00129658. Dostupné z: doi:10.2307/1932247
- GUNAPALA, N. a K.M. SCOW, 1998. Dynamics of soil microbial biomass and activity in conventional and organic farming systems. *Soil Biology and Biochemistry* [online]. **30**(6), 805-816 [cit. 2021-03-10]. ISSN 00380717. Dostupné z: doi:10.1016/S0038-0717(97)00162-4
- HAMELINCK, Carlo N., Roald A.A. SUURS a André P.C. FAAIJ, 2005. International bioenergy transport costs and energy balance. *Biomass and Bioenergy* [online]. **29**(2), 114-134 [cit. 2021-04-07]. ISSN 09619534. Dostupné z: doi:10.1016/j.biombioe.2005.04.002
- HATIRLI, Selim Adem, Burhan OZKAN a Cemal FERT, 2006. Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. *Renewable Energy* [online]. **31**(4), 427-438 [cit. 2021-04-07]. ISSN 09601481. Dostupné z: doi:10.1016/j.renene.2005.04.007
- HATTAB, Sabrine, Iteb BOUGATTASS, Rochdi HASSINE a Bouthaina DRIDI-AL-MOHANDES, 2019. Metals and micronutrients in some edible crops and their cultivation soils in eastern-central region of Tunisia: A comparison between organic and conventional farming. *Food Chemistry* [online]. **270**, 293-298 [cit. 2021-03-10]. ISSN 03088146. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2018.07.029
- HNILIČKA, F., H. HNILIČKOVÁ a V. HEJNÁK, 2015. Use of combustion methods for calorimetry in the applied physiology of plants. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* [online]. **120**(1), 411-417 [cit. 2021-03-11]. ISSN 1388-6150. Dostupné z: doi:10.1007/s10973-014-3716-4
- HNILIČKA, František, Helena HNILIČKOVÁ, Ján KUKLA, Tomáš KEJZLAR a Margita KUKLOVÁ, 2018. Analýza energetických bilancí pěstování pěti odrůd cukrové řepy. *Listy Cukrovarnické a Řepářské* [online]. **134**(12), 404-409 [cit. 2019-03-11]. ISSN 12103306. Dostupné z: <https://docplayer.cz/115094558-Analyza-energetickych-bilanci-pestovani-peti-odrud-cukrove-repy.html>
- HOLE, D.G., A.J. PERKINS, J.D. WILSON, I.H. ALEXANDER, P.V. GRICE a A.D. EVANS, 2005. Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation* [online]. **122**(1), 113-130 [cit. 2021-03-10]. ISSN 00063207. Dostupné z: doi:10.1016/j.biocon.2004.07.018
- CHIRIACÒ, Maria Vincenza, Giampiero GROSSI, Simona CASTALDI a Riccardo VALENTINI, 2017. The contribution to climate change of the organic versus

- conventional wheat farming: A case study on the carbon footprint of wholemeal bread production in Italy. *Journal of Cleaner Production* [online]. **153**, 309-319 [cit. 2021-03-10]. ISSN 09596526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2017.03.111
- JØRGENSEN, Uffe, Tommy DALGAARD a Erik Steen KRISTENSEN, 2005. Biomass energy in organic farming—the potential role of short rotation coppice. *Biomass and Bioenergy* [online]. **28**(2), 237-248 [cit. 2021-03-10]. ISSN 09619534. Dostupné z: doi:10.1016/j.biombioe.2004.08.006
- KLOUŽKOVÁ, A., P. ZEMENOVÁ, J. KLOUŽEK a W. PABST, 2012. Termická analýza. In: *Ústav organické technologie* [online]. Praha: VŠCHT, 2012 [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <http://tresen.vscht.cz/sil/sites/default/files/Termická%20analýza.pdf>
- KONVALINA, P. a J. MOUDRÝ, 2007. volba odrůdy, struktura pěstování a výnosu hlavních obilnin v ekologickém zemědělství. In: *Sborník příspěvků z mezinárodní vědecké konference Ekologické zemědělství*. Česká zemědělská universita v Praze, Praha, pp 67-69.
- KONVALINA, Petr, 2008. *Pěstování obilnin a pseudoobilnin v ekologickém zemědělství*. V Českých Budějovicích: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta. ISBN 978-80-7394-116-1.
- KONVALINA, Petr, 2010. *Volba druhu a odrůdy pšenice v ekologickém zemědělství: certifikovaná metodika*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta. ISBN 978-80-7394-230-4.
- KOWALSKA, Iwona a Dariusz JĘDREJEK, 2020. Benzoxazinoid and alkylresorcinol content, and their antioxidant potential, in a grain of spring and winter wheat cultivated under different production systems. *Journal of Cereal Science* [online]. **95** [cit. 2021-03-10]. ISSN 07335210. Dostupné z: doi:10.1016/j.jcs.2020.103063
- LAMPKIN, N. a S. PADEL, 1994. *Economics of Organic Farming: An International Perspective*. Organic Research Centre, UK: Cabi. ISBN 9780851989112.
- LANGENKÄMPER, G., M. SEIFERT, P. MÄDER, B. FRETZDORFF a T. BETSCHE. Nutritional quality of organic and conventional wheat. *Journal of Applied Botany and Food Quality* [online]. 2006, **80**, 150 - 154 [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1020.3472&rep=rep1&type=pdf>
- LIN, Hung-Chun a Kurt-Jürgen HÜLSBERGEN, 2017. A new method for analyzing agricultural land-use efficiency, and its application in organic and conventional farming systems in southern Germany. *European Journal of Agronomy* [online]. **83**, 15-27 [cit. 2021-03-10]. ISSN 11610301. Dostupné z: doi:10.1016/j.eja.2016.11.003
- LIN, Hung-Chun, Julia A. HUBER, Georg GERL a Kurt-Jürgen HÜLSBERGEN, 2017. Effects of changing farm management and farm structure on energy balance and energy-use efficiency—A case study of organic and conventional farming systems in southern Germany. *European Journal of Agronomy* [online]. **82**, 242-253 [cit. 2021-03-10]. ISSN 11610301. Dostupné z: doi:10.1016/j.eja.2016.06.003

- MANNION, A. M., 1995. *Agriculture and environmental change: temporal and spatial dimensions*. Chichester, Sussex: John Wiley. ISBN 0471954780.
- MANTINEO, M., G.M. D'AGOSTA, V. COPANI, C. PATANÈ a S.L. COSENTINO, 2009. Biomass yield and energy balance of three perennial crops for energy use in the semi-arid Mediterranean environment. *Field Crops Research* [online]. **114**(2), 204-213 [cit. 2021-04-07]. ISSN 03784290. Dostupné z: doi:10.1016/j.fcr.2009.07.020
- MAREK, Michal V., Otmar URBAN a Irena MARKOVÁ, 2008. *Fyziologie rostlin pro lesní inženýry*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. ISBN 978-80-7375-228-6.
- MARTINS, Viviana, António TEIXEIRA, Elias BASSIL, Eduardo BLUMWALD a Hernâni GERÓS, 2014. Metabolic changes of *Vitis vinifera* berries and leaves exposed to Bordeaux mixture. *Plant Physiology and Biochemistry* [online]. **82**, 270-278 [cit. 2021-03-10]. ISSN 09819428. Dostupné z: doi:10.1016/j.plaphy.2014.06.016
- MDITSHWA, Asanda, Lembe Samukelo MAGWAZA, Samson Zeray TESFAY a Nokwazi MBILI, 2017. Postharvest quality and composition of organically and conventionally produced fruits: A review. *Scientia Horticulturae* [online]. **216**, 148-159 [cit. 2021-03-10]. ISSN 03044238. Dostupné z: doi:10.1016/j.scienta.2016.12.033
- MPO, 2019. *Obnovitelné zdroje energie* [online]. Praha [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2019/12/Podil-OZE-na-hrube-konecne-spotrebe-energie-2010-2018_1.pdf
- MZe, 2019. *Ekologické osivo* [online]. Praha [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/615790/kap_18.ekologicke_zem._19.pdf
- MZe, 2019. *Statistiky a průzkumy* [online]. Praha [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/611801/Statistika_ekologickeho_zemedelstvi_2017.pdf
- MZe, 2020. *Ročenka ekologického zemědělství za rok 2018* [online]. Praha [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/643739/Rocenka_ekologickeho_zemedelstvi_2018_WEB.pdf
- MZe, 2020. *Statistiky a průzkumy* [online]. Praha [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/533360/Zprava_o_trhu_s_biopotravinami_v_CR_2018.pdf
- MZe, 2021. *Kontrolní systém EZ* [online]. Praha [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/zemedelstvi/ekologicke-zemedelstvi/ekologicke-zemedelstvi/kontrolni-system/>
- Nariadení Komise (ES) č. 889/2008: kterým se stanoví prováděcí pravidla k nařízení Rady (ES) č. 834/2007 o ekologické produkci a označování ekologických produktů, pokud jde o ekologickou produkci, označování a kontrolu, 2008. In: *Úřední věstník Evropské unie*. Praha. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008R0889&from=CS>

- NIGGLI, Urs, c2011. *Zemědělství s nízkými emisemi skleníkových plynů: mitigační a adaptační potenciál trvale udržitelných zemědělských systémů*. Olomouc: Bioinstitut. ISBN 978-80-87371-11-4.
- NORTHBOURNE, Lord, 1940. *Look to the Land*. London: J.M. Dent.
- PAINE, R T, 1971. The Measurement and Application of the Calorie to Ecological Problems. *Annual Review of Ecology and Systematics* [online]. **2**(1), 145-164 [cit. 2021-03-11]. ISSN 0066-4162. Dostupné z: doi:10.1146/annurev.es.02.110171.001045
- PANG, X.P. a J. LETEY, 2000. Organic Farming Challenge of Timing Nitrogen Availability to Crop Nitrogen Requirements. *Soil Science Society of America Journal* [online]. **64**(1), 247-253 [cit. 2021-03-10]. ISSN 03615995. Dostupné z: doi:10.2136/sssaj2000.641247x
- PONTONIO, Erica, Carlo G. RIZZELLO, Raffaella DI CAGNO, Xavier DOUSSET, Héliçiane CLÉMENT, Pasquale FILANNINO, Bernard ONNO a Marco GOBBETTI, 2016. How organic farming of wheat may affect the sourdough and the nutritional and technological features of leavened baked goods. *International Journal of Food Microbiology* [online]. **239**, 44-53 [cit. 2021-03-10]. ISSN 01681605. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2016.07.013
- PREININGER, Miroslav, 1987. *Energetické hodnocení výrobních procesů v rostlinné výrobě*. Praha: Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství. Metodiky pro zavádění výsledků výzkumu do zemědělské praxe.
- PRO-BIO, 2020. *Seznam doporučených odrůd pro ekologické zemědělství 2020* [online]. Šumperk [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: https://pro-bio.cz/wp-content/uploads/2020/02/SDO_EZ_2020.pdf
- PRO-BIO: Osivo Otakar [online]. Šumperk, 2021 [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://www.bioosiva.cz/oves-nahy>
- RAMAKRISHNAN, Balasubramanian, Naga Raju MADDELA, Kadiyala VENKATESWARLU a Mallavarapu MEGHARAJ, 2021. Organic farming: Does it contribute to contaminant-free produce and ensure food safety? *Science of The Total Environment* [online]. **769** [cit. 2021-03-10]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2021.145079
- REMPELOS, Leonidas, Mohammed Saleh Bady ALMUAYRIFI, Marcin BARANSKI, et al., 2020. The effect of agronomic factors on crop health and performance of winter wheat varieties bred for the conventional and the low input farming sector. *Field Crops Research* [online]. **254** [cit. 2021-03-10]. ISSN 03784290. Dostupné z: doi:10.1016/j.fcr.2020.107822
- RHODES, David a Anna NADOLSKA-ORCZYK, 2001. Plant Stress Physiology. *Encyclopedia of Life Sciences* [online]. Chichester, UK: John Wiley, 2001-04-19 [cit. 2021-03-11]. ISBN 0470016175. Dostupné z: doi:10.1038/npg.els.0001297
- RIGBY, D. a D. CÁCERES, 2001. Organic farming and the sustainability of agricultural systems. *Agricultural Systems* [online]. **68**(1), 21-40 [cit. 2021-03-10]. ISSN 0308521X. Dostupné z: doi:10.1016/S0308-521X(00)00060-3

- RYANT, P., 2005. *Specifika výživy rostlin v systému ekologického zemědělství* [online]. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/hnojeni_plodin/pdf/vr_v_ez.pdf
- SCOFIELD, A. M., 1986. Organic Farming—The Origin of the Name. *Biological Agriculture & Horticulture* [online]. **4**(1), 1-5 [cit. 2021-03-11]. ISSN 0144-8765. Dostupné z: doi:10.1080/01448765.1986.9754481
- Selgen: Popis odrůdy Bohemia. *Selgen* [online]. Sibirina, 2021 [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://selgen.cz/obiloviny/psenice-ozima-2/bohemia/>
- SCHWEIZER, Steffen A., Benjamin SEITZ, Marcel G.A. VAN DER HEIJDEN, Rainer SCHULIN a Susan TANDY, 2018. Impact of organic and conventional farming systems on wheat grain uptake and soil bioavailability of zinc and cadmium. *Science of The Total Environment* [online]. **639**, 608-616 [cit. 2021-03-10]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2018.05.187
- SQUALLI, Jay a Gary ADAMKIEWICZ, 2018. Organic farming and greenhouse gas emissions: A longitudinal U.S. state-level study. *Journal of Cleaner Production* [online]. **192**, 30-42 [cit. 2021-03-10]. ISSN 09596526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2018.04.160
- STOKES, Gilbert B., 1988. Estimating the energy content of nutrients. *Trends in Biochemical Sciences* [online]. **13**(11), 422-424 [cit. 2021-03-11]. ISSN 09680004. Dostupné z: doi:10.1016/0968-0004(88)90210-1
- SZYSZLAK-BARGŁOWICZ, J., G. ZAJĄC a W. PIEKARSKI, 2012. Energy biomass characteristics of chosen plants. *International Agrophysics* [online]. **26**(2), 175-179 [cit. 2021-03-11]. ISSN 0236-8722. Dostupné z: doi:10.2478/v10247-012-0025-7
- ŠARAUSKIS, Egidijus, Kęstutis ROMANECKAS, František KUMHÁLA a Zita KRIAUCIŪNIENĖ, 2018. Energy use and carbon emission of conventional and organic sugar beet farming. *Journal of Cleaner Production* [online]. **201**, 428-438 [cit. 2021-03-10]. ISSN 09596526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2018.08.077
- ŠESTÁK, Zdeněk a Jiří ČATSKÝ, 1966. *Metody studia fotosynthetické produkce rostlin*. Praha: Academia. Metodické příručky experimentální botaniky.
- TOMLINSON, Isobel, 2013. Doubling food production to feed the 9 billion: A critical perspective on a key discourse of food security in the UK. *Journal of Rural Studies* [online]. **29**, 81-90 [cit. 2021-03-11]. ISSN 07430167. Dostupné z: doi:10.1016/j.jrurstud.2011.09.001
- TUOMISTO, H.L., I.D. HODGE, P. RIORDAN a D.W. MACDONALD, 2012. Comparing global warming potential, energy use and land use of organic, conventional and integrated winter wheat production. *Annals of Applied Biology* [online]. **161**(2), 116-126 [cit. 2021-03-10]. ISSN 00034746. Dostupné z: doi:10.1111/j.1744-7348.2012.00555.x
- USDA, 2019. *Census of Agriculture* [online]. Washington [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: https://www.nass.usda.gov/Publications/AgCensus/2017/Online_Resources/Organics/org_anics_1_001%20_001.pdf

- VACÍK, Jiří, 2017. *Obecná chemie*. 2. vydání. Praha: Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy. ISBN 978-80-7444-050-2.
- VAN STAPPEN, Florence, Astrid LORIER, Michaël MATHOT, Viviane PLANCHON, Didier STILMANT a Frédéric DEBODE, 2015. Organic Versus Conventional Farming: The Case of wheat Production in Wallonia (Belgium). *Agriculture and Agricultural Science Procedia* [online]. **7**, 272-279 [cit. 2021-03-10]. ISSN 22107843. Dostupné z: doi:10.1016/j.aaspro.2015.12.047
- WANG, Juan, Eleni CHATZIDIMITRIOU, Liza WOOD, et al., 2020. Effect of wheat species (*Triticum aestivum* vs *T. spelta*), farming system (organic vs conventional) and flour type (wholegrain vs white) on composition of wheat flour – Results of a retail survey in the UK and Germany – 2. Antioxidant activity, and phenolic and mineral content. *Food Chemistry: X* [online]. **6** [cit. 2021-03-10]. ISSN 25901575. Dostupné z: doi:10.1016/j.fochx.2020.100091
- WANG, Juan, Gultakin HASANALIEVA, Liza WOOD, et al., 2020. Effect of wheat species (*Triticum aestivum* vs *T. spelta*), farming system (organic vs conventional) and flour type (wholegrain vs white) on composition of wheat flour – Results of a retail survey in the UK and Germany – 3. Pesticide residue content. *Food Chemistry: X* [online]. **7** [cit. 2021-03-10]. ISSN 25901575. Dostupné z: doi:10.1016/j.fochx.2020.100089
- WANG, Juan, Gultakin HASANALIEVA, Liza WOOD., et al., 2020. Effect of wheat species (*Triticum aestivum* vs *T. spelta*), farming system (organic vs conventional) and flour type (wholegrain vs white) on composition of wheat flour; results of a retail survey in the UK and Germany – 1. Mycotoxin content. *Food Chemistry* [online]. **327** [cit. 2021-03-10]. ISSN 03088146. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2020.127011
- ZEGADA-LIZARAZU, Walter, Dario MATTEUCCI a Andrea MONTI, 2010. Critical review on energy balance of agricultural systems. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* [online]. **4**(4), 423-446 [cit. 2021-04-07]. ISSN 1932104X. Dostupné z: doi:10.1002/bbb.227
- ZIELENKIEWICZ, Wojciech a Eugeniusz MARGAS, c2002. *Theory of calorimetry*. Boston: Kluwer Academic Publishers. ISBN 1402007973.
- ŽIVĚLOVÁ, I. a J. JÁNSKÝ, 2007. Faktory ovlivňující zájem spotřebitelů o biopotravinu. In: *Sborník příspěvků z mezinárodní vědecké konference Ekologické zemědělství. Ústav podnikové ekonomiky, PEF MZLU v Brně*, s. 5-7.

9 Seznam použitých zkratek

AEO	agroenvironmentální opatření
AEP	aquatic ecotoxicity potential (potenciál vodní ekotoxicity)
AR	alkylresorcinoly
BX	benzoxazinoidy
CED	cumulative energy demand (kumulativní energetická potřeba)
CF	carbon footprint (uhlíková stopa)
CP	factor-cover-management and support practices factors (faktory půdopokryvné a ostatní podpůrné)
DEA	data envelopment analysis (neparametrická matematická programovací technika často používaná při analýze účinnosti)
DON	deoxynivalenol
DSC	diferenční skenovací kalorimetrie
DTA	diferenční termická analýza
EE	ecological efficiency (ekologická účinnost)
EHS	Evropský hospodářský prostor
E_{in}	vstupní energie
E_{out}	výstupní energie
ES	Evropské Společenství
EUP	eutrophication potential (potenciál eutrofizace)
EZ	ekologické zemědělství
GDD	growing degree-days (množství tepla, které přijme rostlina za dané období)
GHG	greenhouse gass (skleníkový plyn)
GWP	global warming potential with a time frame of 100 years (potenciál globálního oteplování s časovým rámcem 100 let)
HACCP	systém kritických kontrolních bodů
HDP	hrubý domácí produkt
HHV	higher heating value (spalné teplo)
HTP	human toxicity potential (potenciál toxicity pro člověka)
IFOAM	The International Federation of Organic Agriculture Movements
KZ	konvenční zemědělství
LCA	life cycle assessment (metoda hodnocení životního cyklu)
LHV	lower heating value (výhřevnost)
LUE	land-use efficiency (efektivita využití zemědělské půdy)
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR
MZe	Ministerstvo zemědělství ČR
NAE	nitrogen agronomic efficiency (efektivita využití dusíku)
OSN	Organizace spojených národů
OTA	ochratoxin A
OZE	obnovitelné zdroje energie
PHM	pohonné hmoty
POF	photochemical oxidant formation (fotochemická tvorba oxidantů)

POF	photochemical oxidant formation (tvorba sekundárních vzdušných polutantů)
PRV	Program rozvoje venkova
SCE	soil conservation efficiency (účinnost ochrany půdy)
S.E.	standart error (standardní odchylka)
SUE	soil-use efficiency (účinnost využití půdy)
SZIF	Státní zemědělský a intervenční fond
SZP	společná zemědělská politika
TAP	terrestrial acidification potential (potenciál acidifikace půdy)
TE	technical efficiency (technická efektivita)
TG	termogravimetrie
TGA	termogravimetrická analýza
UAA	utilized agricultural area (využívaná zemědělská půda)
ÚKZÚZ	Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský
USDA	United States Department of Agriculture (Ministerstvo zemědělství Spojených států amerických)
WDP	water depletion potential (Potenciál vyčerpání vody)

10 Seznamy grafů, tabulek a obrázků

Seznam grafů

Graf 1: Vývoj výměry a počtu farem v EZ v ČR	12
Graf 2: obsah AR a BX v obilných zrnech z EZ a KZ	25
Graf 3: Frekvence výskytu relativních výnosů EZ vs. KZ	31
Graf 4: Dopad produkce 1 kg čerstvé hmoty pšenice	34
Graf 5: Průměrné hodnoty spalného tepla (kJ/g) v závislosti na ontogenetickém vývoji v jednotlivých orgánech pšenice v KZ	50
Graf 6: Průměrné hodnoty spalného tepla (kJ/g) v závislosti na ontogenetickém vývoji v jednotlivých orgánech pšenice v EZ	51
Graf 7: Průměrné hodnoty spalného tepla (kJ/g) v závislosti na ontogenetickém vývoji v jednotlivých orgánech pšenice v KZ a EZ	52
Graf 8: Statistický rozdíl celkového spalného tepla pšenice v EZ a KZ ve fázi 91. DC	53
Graf 9: Průměrné hodnoty spalného tepla (kJ/g) v závislosti na ontogenetickém vývoji v jednotlivých orgánech ovsa setého pěstovaného v KZ	54
Graf 10: Průměrné hodnoty spalného tepla (kJ/g) v závislosti na ontogenetickém vývoji v jednotlivých orgánech ovsa setého pěstované v EZ	55
Graf 11: Průměrné hodnoty spalného tepla (kJ/g) v závislosti na ontogenetickém vývoji v jednotlivých orgánech ovsa setého pěstované v KZ a EZ	56
Graf 12: Statistický rozdíl spalných tepel ovsa v EZ a KZ ve fázi 91. DC	57
Graf 13: Podíl vstupů energie při pěstování pšenice v KZ (%)	58
Graf 14: Podíl vstupů energie při pěstování ovsa v KZ (%)	59
Graf 15: Podíl vstupů energie při pěstování pšenice v EZ (%)	60
Graf 16: Podíl vstupů energie při pěstování ovsa v EZ (%)	61
Graf 17: Energetické vstupy pšenice a ovsa v KZ a EZ ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)	62
Graf 18: Výnos nadzemní části biomasy pšenice a ovsa v KZ a EZ ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)	63
Graf 19: Množství energie v biomase v nadzemní části pšenice a ovsa v KZ a EZ ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)	63
Graf 20: Celková energetická bilance pšenice a ovsa v KZ a EZ ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)	64

Seznam obrázků

Obrázek 1: Přínos jednotlivých druhů zemědělství	4
Obrázek 2: Výměra plochy EZ v procentech	13
Obrázek 3: Schéma adiabatického spalného kalorimetru	40

Seznam tabulek

Tabulka 1: Průměrné výnosy sledovaných odrůd pšenice	26
Tabulka 2: Zjištěné hodnoty z polního pokusu srovnávajícího EZ a KZ	29
Tabulka 3: Čistá nadzemní primární produkce a relativní potenciál globálního oteplování....	38
Tabulka 4: Teplotní charakteristika doby pěstování konvenčních plodin ve Středočeském kraji	45
Tabulka 5: Srážková charakteristika doby pěstování konvenčních plodin ve Středočeském kraji	45
Tabulka 6: Teplotní charakteristika doby pěstování ekologických plodin ve Středočeském kraji	45
Tabulka 7: Srážková charakteristika doby pěstování ekologických plodin ve Středočeském kraji	46
Tabulka 8: Agrotechnické zásahy při pěstování pšenice ozimé v KZ.....	46
Tabulka 9: Agrotechnické zásahy při pěstování ovsa setého v KZ.....	47
Tabulka 10: Agrotechnické zásahy při pěstování pšenice ozimé v EZ	47
Tabulka 11: Agrotechnické zásahy při pěstování ovsa setého v EZ	48
Tabulka 12: Statistické rozdíly spalných tepel orgánů pšenice mezi EZ a KZ ve fázi 91. DC	53
Tabulka 13: Statistické rozdíly spalných tepel orgánů ovsa mezi EZ a KZ ve fázi 91. DC.....	57
Tabulka 14: Energetické vstupy pro pěstování pšenice v KZ (MJ·ha ⁻¹).....	58
Tabulka 15: Energetické vstupy pro pěstování ovsa v KZ (MJ·ha ⁻¹)	59
Tabulka 16: Energetické vstupy pro pěstování pšenice v EZ (MJ·ha ⁻¹)	60
Tabulka 17: Energetické vstupy pro pěstování ovsa v EZ (MJ·ha ⁻¹).....	61