

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroekologie a rostlinné produkce**



**Výnosová stabilita vybraných druhů polních plodin v ČR**

**Diplomová práce**

**Bc. Hana Durst**

**Rozvoj venkovského prostoru**

**Vedoucí práce Ing. Josef Holec, Ph.D.**

© 2020 ČZU v Praze

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Výnosová stabilita vybraných druhů polních plodin v ČR" jsem vypracovala 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 autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 22.7.2020

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu diplomové práce panu Ing. Josefu Holci, Ph.D. za jeho užitečné rady, věcné připomínky a čas, který mi věnoval během psaní diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat svému příteli Matěji Kozovi za pomoc a rady při výpočtech a sestavování grafů. Své díky chci též vyjádřit svým rodičům, kteří mě po celou dobu mých studií plně podporovali.

# Výnosová stabilita vybraných druhů polních plodin v ČR

## Souhrn

Překládaná diplomová práce byla zaměřena na výnos vybraných zemědělských plodin a jejím cílem bylo zejména popsát, jak jejich výnosy kolísaly v průběhu let v závislosti na vnějších vlivech. Jako podklad pro výpočty byly využity statistické údaje publikované v období od roku 1989 do roku 2018 Českým statistickým úřadem. Mezi hlavními plodinami, jež byly vybrány naleznete pšenici ozimou (*Triticum aestivum* L.), ječmen jarní (*Hordeum vulgare* L.), řepku olejnou (*Brassica napus* L. var. *napus*), kukuřici setou (*Zea mays* L.), brambor obecný (*Solanum tuberosum* L.), mák setý (*Papaver somniferum* L.) a cukrovku technickou (*Beta vulgaris* L., var. *Altissima*). Pro jednotlivé plodiny byly vypočteny variační koeficienty, míra stability a hodnocení trendové analýzy pomocí lineární regrese.

Z výsledků statistického šetření je patrné, že výnosová stabilita hlavních druhů plodin v České republice se navzájem liší a mění se v průběhu času. Nejméně stabilní plodinou byl dle výsledků stanoven mák. Podle výsledků variačního koeficientu hodnoceného v tříletých období výnosy máku kolísaly od 8,78 % do 23,97 % svého průměrného výnosu. Mezi méně stabilní rostliny je také řazena kukuřice setá (na zrno). Výnosy u kukuřice seté klesaly od 3,3 % do 21,65 %. Příčinou její nestability bylo především střídání velmi silných ročníků s průměrnými až podprůměrnými zejména jako důsledek působení nevhodných klimatických podmínek. Naopak nejstabilnější výnosy poskytovala v průběhu posledních dekad cukrovka technická, u níž výnosy kolísaly od 1,85 % do 10,49 % svého průměrného výnosu. Stabilnějších výnosů bylo u nás dosahováno i u pšenice ozimé a řepky olejné. Kromě roku 2003, kdy muselo dojít k jarním zaorávkám řepky, kvůli špatnému průběhu počasí v zimním období. Celkově ve sledovaném 30letém období došlo k nárůstu objemu výnosů u všech plodin, mimo máku.

Výnosy a jejich stabilita jsou ovlivňovány průběhem daného ročníku, především klimatickými podmínkami. Ty lze do jisté míry zmírňovat dobrou úrovní agrotechniky, vhodným výběrem stanoviště nebo šlechtěním nových a odolnějších odrůd vůči vlivům počasí, chorob a škůdců. Mimo jiné na objem produkce mohou mít taktéž vliv tradice v dané zemi a nastavení politik zemědělství.

**Klíčová slova:** výnos, produkce, pšenice ozimá, řepka olejná, cukrovka technická

# Yield stability of selected crop species in the Czech Republic

## Summary

Submitted thesis was focused on the yield of selected crop species and its aim was to describe how the yields have varied during the years depending on the external factors. Statistical data published from 1989 to 2018 by the Czech Statistical Office were used as the basis for calculations. Main crop species that were chosen are wheat – winter type (*Triticum aestivum* L.), barely – spring type (*Hordeum vulgare* L.), oilseed rape (*Brassica napus* L. var. *napus*), corn (*Zea mays* L.), potatoes (*Solanum tuberosum* L.), poppy (*Papaver somniferum* L.) and technical sugar beet (*Beta vulgaris* L., var. *Altissima*). For each crop the coefficient of variation, degree of stability and evaluation of trend analysis using linear regression were calculated.

From the results of the statistical survey it is evident that the yield stability of the main crop species in the Czech Republic differs one from each other and it changes over time. The least stable crop was the poppy according to the results. According to the results of the coefficient of variation evaluated in the three-year periods, poppy yields varied from 8.78% to 23.97% of their average yield. Less stable plants also include *Zea mays* L. (for grain). Yields of corn decreased from 3.3 % to 21.65 %. The cause of its instability was mainly the alternation of very strong years with average or below average years, mainly as the effect of unsuitable climatic conditions. On the contrary, the most stable yields have been provided in the recent decades by technical sugar beet, where yields varied from 1.85 % to 10.49 % of its average yield. Stable yields were also achieved in our country by wheat – winter type and oilseed rape. Except for the year 2003, when rape must have been plowed in the spring as a result of the bad weather in the winter. Overall, in the monitored 30-year period, there was an increase in the volume of yields of all crops, except poppy.

Yields and its stabilities are influenced during the year mainly by the climatic conditions. It is pretty possible to mitigate these conditions by the high level of agricultural technology, suitable choice of the planting area or by breeding new varieties which are weather, disease and pest resistant. Among other things, the volume of production can also be influenced by the traditions in the country and the adjustment of agricultural policies.

**Keywords:** yield, production, wheat – winter type, oilseed rape, technical sugar beet

# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>8</b>
<b>2 Vědecká hypotéza a cíle práce</b> .....	<b>9</b>
<b>3 Literární rešerše</b> .....	<b>10</b>
<b>3.1 Faktory ovlivňující výnosovou stabilitu zemědělských plodin</b> .....	<b>10</b>
3.1.1 Klima .....	12
3.1.2 Přírodní stanoviště .....	17
3.1.3 Systém zpracování půdy .....	20
3.1.3.1 Konvenční systém.....	20
3.1.3.2 Konzervační systém.....	21
3.1.3.3 Ekologický systém.....	23
3.1.4 Externí vstupy .....	24
3.1.5 Šlechtění .....	27
3.1.6 Socio – ekonomický vliv .....	27
<b>3.2 Charakteristika vybraných plodin</b> .....	<b>30</b>
3.2.1 Pšenice ozimá .....	30
3.2.2 Ječmen jarní .....	31
3.2.3 Řepka olejná .....	32
3.2.4 Kukuřice setá (na zrno).....	33
3.2.5 Mák setý.....	34
3.2.6 Cukrovka technická .....	35
3.2.7 Brambor obecný.....	35
<b>4 Metodika</b> .....	<b>37</b>
<b>4.1 Zdrojová data</b> .....	<b>38</b>
<b>5 Výsledky</b> .....	<b>45</b>
<b>5.1 Trendová analýza pomocí lineární regrese</b> .....	<b>45</b>
5.1.1 Brambor obecný.....	45
5.1.2 Cukrovka technická .....	46
5.1.3 Mák setý.....	47
5.1.4 Kukuřice setá (na zrno).....	48
5.1.5 Řepka olejná .....	50
5.1.6 Ječmen jarní .....	51
5.1.7 Pšenice ozimá .....	53
<b>5.2 Míra stability</b> .....	<b>54</b>
<b>5.3 Variabilita výnosů plodin dle variačního koeficientu</b> .....	<b>55</b>
5.3.1 Brambor obecný.....	56
5.3.2 Cukrovka technická .....	56

5.3.3	Mák setý.....	57
5.3.4	Kukuřice setá (na zrno).....	57
5.3.5	Řepka olejná .....	58
5.3.6	Ječmen jarní .....	58
5.3.7	Pšenice ozimá .....	59
<b>6</b>	<b>Diskuze.....</b>	<b>60</b>
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>63</b>
<b>8</b>	<b>Literatura.....</b>	<b>65</b>

# 1 Úvod

S narůstajícím počtem obyvatel na naší planetě se zvyšuje i potřebné množství potravin. Svět stojí před velkou výzvou. Uspokojit poptávku po potravinách ve vyspělých zemích, a především zabezpečit dostatek potravin pro rozvojové země, aby jejich obyvatelé již neměli hlad. Pro dosažení dostatečného množství potravin je důležité v zemědělství zajistit, co nejstabilnější výnosy zemědělských plodin i za předpokladu, že v současné době dochází k výrazným klimatickým změnám a počasí se tak pro nás stává stále méně předvídatelné. Během posledních desítek let, prošlo zemědělství mnohými změnami.

Důraz byl kladen především na intenzifikaci výroby. Oproti dřívějším dobám jsme nyní schopni vyprodukovat větší objem plodin na menším území půdy s menšími náklady na pracovní sílu. Masivnímu zvýšení výnosů přispěl především vývoj nových technologií. Hakeem a Žalud et al. (2008) ve svých publikacích uvádějí, že na tvorbu vyššího výnosu má vliv mnoho faktorů, a to zejména využívání hnojiv, pesticidů, šlechtění nových odrůd, využití mechaniky, popřípadě zefektivnění technologických postupů. Rathke et al. (2006) uvádějí, že masivní nárůst výnosů za poslední dekády má na svědomí počátek aplikace minerálních dusíkatých hnojiv. Norman et al. (1994) současně také uvádí, že vyšší produkce je závislejší na vstupech, čímž jsou pesticidy, mechanizace atd. Všechny doposud zmíněné činitele ovlivňující výnosovou stabilitu byli vnějšího charakteru. Jak na rostlinu působí okolní vlivy. Vlastnosti vnitřního charakteru, které určují výnos jsou dané druhem a odrůdou a jsou podmíněny geneticky.

Kromě úspěchu v oblasti narůstajících výnosů plodin má intenzifikace zemědělství i negativní dopady. V této diplomové práci se budeme zabývat pouze rostlinnou výrobou. U té si musíme uvědomovat, že základním výrobním prostředkem je půda. O níž je potřeba pečovat, jelikož se jedná o základní přírodní zdroj. Z environmentálního hlediska v dnešní době díky zemědělství dochází k degradaci základních přírodních zdrojů. Není tomu tak jen u půdy, ale taktéž degradaci podléhá voda a vzduch. Z dlouhodobého hlediska negativním ovlivňováním přírodních zdrojů dochází i k zpětnému ovlivňování tvorby výnosů polních plodin. Kromě lidského faktoru, jež ovlivňuje výnos jsou zde i přírodní činitele, které řídí výnosy. Do těchto faktorů lze řadit sluneční svit, teplotu, množství vody, imise, živiny atd. Zemědělství tvoří komplexní soustavu s přírodními zdroji a je podstatné dbát na trvale udržitelný rozvoj. Lidské potřeby musejí být naplňovány s ohledem na environmentální limity naší planety, tak aby prosperovalo nejen lidstvo, ale s ním i planeta Země.



## 2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Cílem předkládané diplomové práce byl popis, čím jsou ovlivňovány výnosy hlavních druhů plodin v České republice – pšenice ozimá, ječmen jarní, řepka olejná, kukuřice setá, cukrovka, brambory, mák. Jak jejich výnosy kolísají v průběhu, jak silně jsou závislé na průběhu konkrétního ročníku a jak se daří mírnit dopad těchto vlivů za pomoci dobré úrovně agrotechniky.

Práce byla rozdělena na dvě stěžejní části. První částí je literární rešerše, která zachycuje podstatné činitele, jenž mají vliv na formování výnosů zemědělských plodin. V druhé části diplomové práce nalezneme statistické vyhodnocení souborů dat o výnosech zemědělských plodin na území České republiky v období uplynulých 30-ti let, tzn.: od roku 1989 do roku 2018. Jako podklad posloužily data Českého statistického úřadu. Výsledky byly hodnoceny pomocí trendové analýzy pomocí lineární regrese, variačního koeficientu a míry stability. Výstupem statistického řešení byly grafy, které zachycují jednotlivé trendy výnosů, variability ve výnosech a míry stability výnosů pro všechny zvolené plodiny.

Hypotézy:

H<sub>1</sub>: Výnosová stabilita hlavních druhů plodin v ČR se navzájem liší.

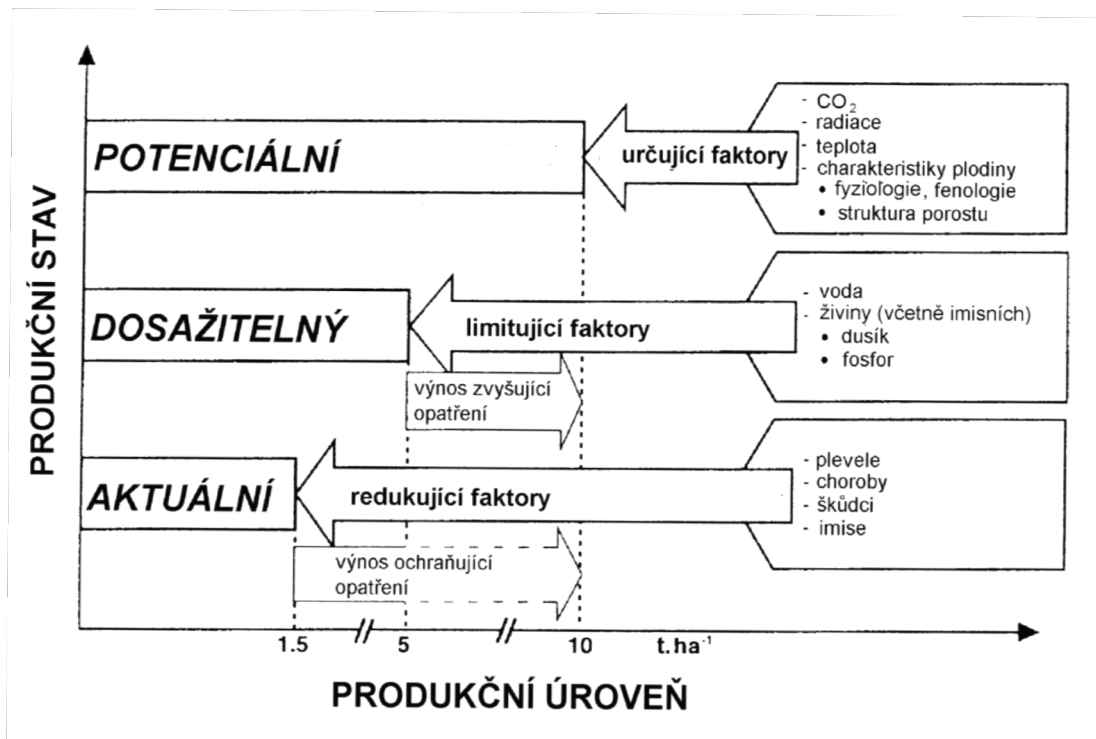
H<sub>2</sub>: Výnosová stabilita jednotlivých plodin se mění v průběhu času.

### 3 Literární rešerše

#### 3.1 Faktory ovlivňující výnosovou stabilitu zemědělských plodin

Jak již bylo zmíněno výnos zemědělských plodin a jeho stabilitu nám určuje mnoho činitelů. Všechny z nich jsou podstatné pro správný růst a vývoj rostlin. Jako první bych chtěla zmínit klima. To považuji za nejzásadnější činitel, který dokáže ovlivnit výnosovou stabilitu plodiny. Dále bych chtěla uvést, že svůj vliv na výnos plodin má přírodní stanoviště a jeho vlastnosti, systém kultivace půdy, užití vstupů jako jsou hnojiva, pesticidy a jiné látky a jako poslední jsou socio-ekonomické faktory, které beze sporu mohou taktéž zasáhnout do výnosů.

Kromě všech uvedených činitelů, lze výnos plodin ovlivnit vhodným výběrem odrůd. Tak aby jejich potřeby nejvíce odpovídali podmínkám stanoviště. Optimalizaci stability výnosů lze ještě podpořit během vegetačního období několika způsoby, a to za pomoci pěstebních technologií, využitím přípravků na ochranu rostlin nebo hnojiv (Fajman et al. 2008). Podle Rabbinge (1993) je produkce rostlin výsledkem působení produkčních faktorů na rostlinu. Produkci lze rozdělit do třech kategorií, respektive produkčních stavů – potenciální produkce, dosažitelná produkce a skutečná produkce neboli aktuální. Potenciální produkce je limitována určujícími faktory mezi, které spadá například radiace. Dosažitelná produkce je omezoována limitujícími faktory, jejichž dopad lze mírnit různými druhy opatření zaměřených na zvýšení výnosu. Poslední kategorie, tzn.: skutečná produkce je snižována redukcujícími faktory mezi, než se řadí choroby, škůdci, plevele atd. V následujícím schématu nalezneme shrnutí všech produkčních stavů a na ně působící produkční faktory.



Obrázek 1 Schématický přehled produkčních faktorů (Rabbinge 1993)

Snahou všech zemědělců je dosažení, co nejvyšší úrovně stability ve výnosech plodin. Se zvyšující se variabilitou prostředí je velká pozornost věnována především snižování

variability ve výnosech. Jako vhodný nástroj k dosažení tohoto cíle je šlechtění rostlin a taktéž lze variabilitě ve výnosech předcházet vhodnou volbou systému pěstování (Döering & Reckling 2018).

Výnosový potenciál rostliny je teoretickým hodnocením nejvyššího možného výnosu, jehož je rostlina schopna poskytnout v případě optimálního fyzikálně-chemického prostředí (Rathke et al. 2006). Rozlišujeme dvě skupiny výnosů – biologický a hospodářský. Biologickým výnosem je obmyšlena veškerá nadzemní i podzemní biomasa, kterou rostlina vyprodukuje. Hospodářským výnosem už máme na mysli konkrétní části rostlin, které jsou hospodářsky využitelné člověkem. To znamená, že jsou určené k výživě lidstva, ke krmení zvířat nebo průmyslovému zpracování (Petr et al. 1987).

V průběhu 20. století se výnosy u hospodářských plodin průměrně znásobily čtyřikrát, současně se taktéž zvýšila absolutní variabilita výnosů (dána směrodatnou odchylkou), avšak odchylka ve vztahu k průměru se snížila na polovinu (relativní variabilita), tzn.: že průměrné výnosy se zvyšovaly rychleji nežli jejich variabilita. Nárůst absolutní variability, a naopak snížení relativní variability v posledním století je připisováno především zvýšením genetického potenciálu, což poskytlo možnost dosažení maximálních možných výnosů. Tomuto trendu taktéž přispěla prevence proti ztrátám na výnosech jako je zavlažování, ochrana před škůdci, plevely a chorobami nebo hnojení. Pokles v absolutní variabilitě ve výnosech je připisován změnám klimatických podmínek (Schauberger et al. 2018).

- Absolutní variabilita = slouží k měření variability v absolutních hodnotách, srovnání statistických souborů se shodnou polohou sledované proměnné (průměr, modus, medián)
- Relativní variabilita = slouží k vyjádření variability v poměru k poloze sledované proměnné, pro něž se nehodí porovnání absolutní variability

Bohužel se v posledních letech diskutuje o stagnaci v nárůstu výnosů u některých zemědělských plodin. Této problematice se věnují Schauburger et al. (2018), kteří ve své studii sledují trendy ve výnosech plodin, jejich variabilitu a stagnaci výnosů u hlavních plodin pěstovaných ve Francii. Dle jejich studie může být stagnace zapříčiněna hned několika faktory:

- a) Dosažení maximálního možného výnosového potenciálu rostliny
- b) Změny klimatu, bez dostatečné adaptace rostlin není možno dosáhnout vyšších výnosů
- c) Politické příčiny (např.: nastavení kvót pro produkci, může znamenat nižší investice do šlechtění a celkově do vstupů)
- d) Změna v osevních postupech
- e) Poptávka po plodinách
- f) Zvýšení ploch ekologického zemědělství

Znaky stagnace podle studie Schaberger et al. (2018) nejvíce vykazovala pšenice. Především její ozimá forma. Všeobecně bylo zjištěno, že ozimé formy plodin vykazují vyšší pravděpodobnost stagnace, než je tomu u jejich jarních forem. Mimo pšenice tak byla míra stagnace u průměrných výnosů zaznamenána i u ječmene, ovsu a slunečnice. Nejnižší pravděpodobnost stagnace vykazovala kukuřice.

### 3.1.1 Klima

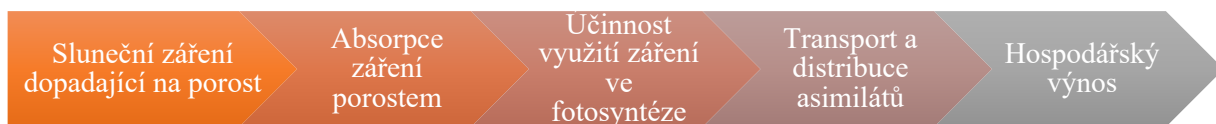
Klima neboli podnebí lze definovat jako souhrn a postupné střídání se všech stavů atmosféry možných v daném místě a je výsledkem různých nepřetržitě probíhajících klimatotvorných procesů. Mezi klimatotvorné faktory se řadí sluneční radiace, atmosférická cirkulace, charakter zemského povrchu a působení lidské činnosti (Petr a et al. 1987). Počasí je aktuální stav na daném místě. V poslední řadě let se čím dál tím více mluví o klimatických změnách. Ty jsou přirozenou reakcí na změny probíhající v kryosféře, hydrosféře, biosféře a jiných faktorů ovlivňující stav atmosféry. Avšak lidská aktivita tyto procesy změny klimatu urychluje. V posledních řadě let jsou tyto změny rychlejší a výraznější, než je obvyklé. Během posledních 100 let se průměrná teplota zvýšila o 0,74 °C. Je pravdou, že teplota se může měnit přirozeným způsobem, a to buď dlouhodobě během staletí nebo i krátkodobě během několika desítek let. Mnozí vědci se však shodují, že stávající se zvyšování teploty není důsledkem přirozených pochodů planety, nýbrž je antropogenního původu (Rehman et al. 2015).

Co je základním klimatogenním činitelem, od kterého se odvíjí spousta dalších klimatických jevů a je stěžejní pro plodiny? V úvodu jsem se zmínila, že jednou ze složek klimatických faktorů je záření. Záření je elektromagnetické vlnění, které je vyzařováno Sluncem a dopadá na planetu Zemi. Záření vycházející ze Slunce je označováno jako krátkovlnné záření (Petr et al. 1987) o různých vlnových délkách od infračerveného až po ultrafialové (Ali et al. 2015). Ne všechny složky slunečního záření se dostanou až k zemskému povrchu. Záření o kratších vlnových délkách je pohlceno atmosférou, především pak ozonovou vrstvou, kde je zachyceno ultrafialové záření (Campillo et al. 2012).

Další velmi zajímavou otázkou je, co je a co tvoří výnos plodin? Ať už hovoříme o výnosu biologickém nebo hospodářském v obou dvou případech se jedná o množství vytvořené biomasy. Ta je výsledkem činnosti fotosyntézy a respirace rostliny (Petr et al. 1987, Nátr 2002). Fotosyntéza je biochemický proces, který probíhá v rostlině. Rostlina využívá fotosynteticky aktivního záření na přeměnu oxidu uhličitého na glukózu, škrob, sacharózu a další. Tyto produkty fotosyntézy jsou využívány rostlinou při buněčném dýchání k přeměně na energii, popřípadě jsou výchozím produktem pro tvorbu složitějších molekul (Kovacs & Keresztes 2002). Fotosyntéza má zcela zásadní význam pro rostlinnou výrobu. Petr et al. (1987) i Nátr (2002) ve svých knihách uvádějí, že stěžejním faktorem pro výnos v rostlinné výrobě je tvorba, transport, distribuce a akumulace asimilátů. Vhodným výběrem druhů rostlin, především po genotypové stránce a správnou volbou pěstební technologie bychom měli zajistit tři zcela zásadní body pro produkci:

- a) Vysokou účinnost využití absorbovaného slunečního záření ve fotosyntéze
- b) Maximální absorpci sluneční radiace asimilačními orgány
- c) Distribuci většiny dostupných asimilátů do hospodářsky významné morfológické nebo chemické frakce rostliny (Petr et al. 1987).

Veškeré snahy a opatření na zvyšování nebo udržení výnosu, jež jsou aplikované v zemědělství záměrně nebo neuvědoměle, směřují k regulaci tvorby a aktivity fotosyntetického aparátu rostliny. A to buď přímo nebo zprostředkovaně. Nátr (2002) ve své knize píše, že z obecného hlediska je výnos plodin podmíněn slunečním zářením dopadajícím na rostlinu a následující fotosyntézou. Tato myšlenka se odráží v následujícím schématu.



Obrázek 2 Znárodnění základních procesů zabezpečujících tvorbu hospodářského výnosu (Nátr 2002).

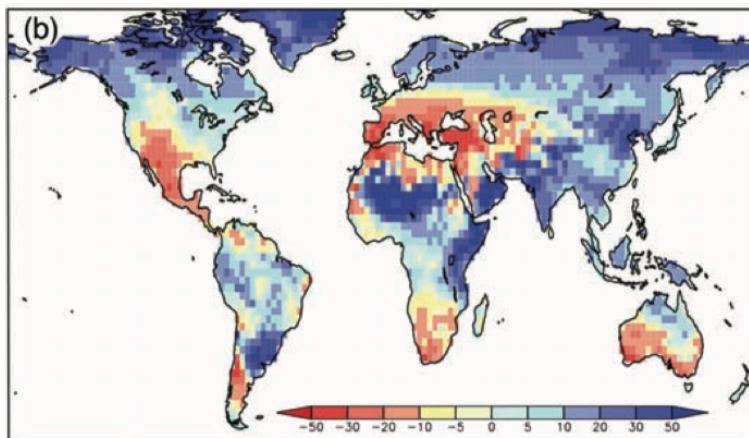
Nežádoucí složkou ve slunečním záření je radiace s kratšími vlnovými délkami – tzn.: ultrafialové záření. Ultrafialové záření je zachycováno ozónovou vrstvou, avšak ne úplně veškeré. Část z něho dopadá na zemský povrch. Dlouhodobá expozice rostliny ultrafialovému záření může znamenat její rozsáhlé poškození. Hrozí poškození DNA, což se projeví v narušení průběhu fyziologických a biochemických procesů (Zlatev et al. 2012). Změny se posléze projevují viditelnými morfologickými a anatomickými změnami částí rostlin – výrazně menší listy, diskolorace, zhnědnutí, zakrslý vzrůst (Adamse & Britz 1996).

Se sluneční radiací je úzce spojena teplota. Ta je dalším faktorem určující výnosnost zemědělských plodin. Tepelným zdrojem pro ohřívání vzduchu je zemský povrch, který do sebe absorbuje radiaci slunečního záření, která se přeměňuje na teplo, které ohřívá spodní vrstvy atmosféry (Petr et al. 1987). Každá plodina má optimální teplotu, během níž probíhají ideálně všechny metabolické pochody. Pokud je narůstající teplota stále v mezích optimálních hodnot pro danou plodinu zvyšuje se její produktivita. Pokud se teplota nachází nad optimem, vývoj rostlin se zpomaluje nebo ustává. V případě, že teplota překročí hranici snesitelnosti pro plodinu, dochází k narušení buněčných stěn a k odumírání částí rostlin až dojde k uhynutí celé rostliny. Průběh teplot během dne i roku determinuje druhovou skladbu a strukturu vegetace, která se na daném místě vyskytuje či pěstuje. Podle Sun et al. (2019) je množství dopadajícího záření a teplota jedním z determinujících faktorů, jež určují výnosový potenciál plodin. Avšak skutečný výnos je nakonec určen i dalšími faktory jako je místní prostředí, genetický potenciál rostliny a zvolenými agrotechnickými postupy. Potenciál pro zvyšování výnosů spatřují především ve zlepšení šlechtitelských technologií a efektivnosti využití zemědělských postupů.

Srážky a celkový úhrn srážek je ukazatelem vodních poměrů v dané lokalitě během roku nebo vegetačního období. Opět je to klimatický činitel, který určuje strukturu a druhovou skladbu rostlin, jež lze za daných podmínek pěstovat. Prvotně je vláha důležitá při vzházivosti plodin. Ta na rozdíl od teploty, při respektování agrotechnických termínů, bývá limitujícím faktorem. Problém nastává případě nedostatku i přebytku. Voda je v semenech aktivátorem životních procesů. Je zdrojem kyslíku a startuje činnost fermentů, jež štěpí složité látky na látky jednodušší ve vodě rozpustné, které jsou následně transportovány do klíčku. Zde započíná růst nové rostliny. Množství vody potřebné k vzejití se liší podle druhu a odrůdy rostliny. Mimo jiné také záleží na teplotě a také na koncentraci oxidu uhličitého (Petr et al. 1987). Mimo klíčivosti má voda nezastupitelné funkce i v ostatních biologických pochodech rostlin, např.: při vodním deficitu se snižuje rychlost fotosyntézy (Nátr 2002). Vodní stres znamená pro rostliny zpomalení růstu rostlin a inhibování růstu primárních i sekundárních kořenů (Afzal et al. 2015). Je základním médiem pro vytvoření turgorového tlaku, který zajišťuje udržení struktury orgánů. Je transferem pro veškeré látky v rostlině (Nátr 2002). Nedostatek vody znamená pro rostliny vodní stres. Rostliny mají účinné obranné mechanismy, které využívají jsou-li vystaveny stresu působením abiotických faktorů. Ty rostlinám umožňují opravovat poškození a rostliny jsou tak schopny se přizpůsobit změnám podmínek. Odolnost vůči

nedostatku vody, a i ostatních stresových faktorů je podmíněna geneticky (Vítámvás et al. 2018).

V současnosti se projevují změny ve srážkových poměrech. Mnohá území jsou sužována nezvyklými suchy. Podle Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC) 90 % modelů pro vývoj srážek předpovídá, že výrazně ubyde srážek v subtropických oblastech, a naopak se zvýší množství srážek v severní Evropě, v jižní a východní Asii a východní Austrálii (IPCC 2007). Předpokládaný vývoj změn ve srážkových modelech je zachycen v následujícím obrázku. Je z něj patrné, že nedostupnost srážek se podle předpovědí projeví zejména ve Středomořské oblasti, centrální Americe a subtropických oblastech Afriky a Austrálie. Do budoucna se očekává, že v Evropě bude vodní stres, čím dál tím více běžnější jev, a to především v oblastech centrální a jižní části Evropy.



Obrázek 3 Průměrná procentuální změna ročního úhrnu srážek mezi současností a rokem 2100 (IPCC 2007)

Co je příčinou takových to změn klimatu? Jak již bylo naznačeno klíčovou složkou je v této otázce člověk. V důsledku populačního a ekonomického růstu se výrazně zvyšuje obsah skleníkových plynů. Emise oxidu uhličitého, metanu a oxidu dusného jsou s nejvyšší pravděpodobností důvodem, proč dochází od druhé poloviny 20. století k oteplování klimatického systému. Obsah CO<sub>2</sub> se od dob před průmyslovou revolucí zvýšil z 285 ppm na dnešních 384 ppm. Do budoucna je odhadováno, že do roku 2050 se jeho koncentrace zvýší na 448 ppm (Ahad a Reshi 2015). Se zvyšováním koncentrace oxidu dusičitého se bude zvyšovat i průměrná teplota. Tento fakt predikují všechny emisní scénáře a záleží jen a pouze na množství skleníkových plynů, které budou vypouštěny do ovzduší.

Klimatické změny podle některých studií mohou do jisté míry pozitivně ovlivňovat vývoj rostlin a jejich produkci, avšak reálně převažují negativní dopady nad pozitivními (Ahad a Reshi 2015, IPCC 2014). Klimatické změny tak mohou přinést i určité příležitosti vedoucím ke zlepšení. Dále nalezneme výčet pozitivních a negativních efektů na vývoj rostlin v důsledku změn klimatu.

#### Pozitivní efekt:

- Delší vegetační období
- Rychlejší vývoj rostlin
- Urychlení zrání
- Zvýšení využití živin

- Rychlost fotosyntézy v závislosti na vyšší koncentraci CO<sub>2</sub>

Negativní efekt:

- Sucho
- Eroze
- Poničení plodin vlivem horka
- Zvýšený výskyt škůdců
- Zvýšený výskyt plevelů (Ahad a Reshi 2015).

Podíváme-li se podrobněji na některé uvedené efekty, zjistíme, že i když jsou řazeny mezi pozitivní mohou být do jisté míry i limitujícími. V případě zemědělských plodin může být urychlenější vývoj rostliny limitem pro výnos plodiny. Vyšší teplota urychluje mnoho metabolických procesů rostlin, čímž dojde ke zkrácení životního cyklu rostliny. Kratší životní cyklus pro rostlinu znamená kratší dobu na výstavbu biomasy a urychlení fáze zrání. Plodiny tudíž nedosahují takových výnosů, jakých se dosahuje během ideálních teplot (Hatfield et al. 2008). Mezivládní panel pro změnu klimatu (2007, 2014) ve svých zprávách uvádí, že koncentrace CO<sub>2</sub> v ovzduší zvyšuje výnosnost plodin. Kimball a Idso (1983) ve své studii píší, že u některých rostlin C<sub>3</sub> v případě zdvojnásobení se množství oxidu uhličitého v ovzduší (z 330 ppm na 660 ppm) se výnos plodin může zvýšit až o 33 %. Rychlejším průběhem fotosyntézy stoupne množství produkované biomasy rostliny a zvýší se počet semen bez vlivu na jejich velikost. Tento efekt však může být potlačován několika základními faktory jako je např.: teplotní stres, dostatek vláhy nebo dostatek prostoru pro kořenový systém. Problém rovněž nastává se zaplevelením. Mnohé plevele využívají efekt CO<sub>2</sub> účinněji nežli C<sub>3</sub> plodiny (Hatfield et al. 2008). Long et al. (2006) ve svém článku těmto tvrzením o efektu zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> v ovzduší oponují. Uvádějí, že studie byly nedostatečné, jelikož mnohé byly prováděny na rostlinách pěstovaných v květináčích. Takové rostliny mají odlišné chování od rostlin rostoucích v půdě. Během terénních studií byla snaha, co nejvíce napodobit přirozené podmínky, proto byly použity průhledné komory s otevřeným horním dílem. I přesto zde panovaly rozdílné podmínky. Dovnitř výzkumné komory dopadlo pouze 75 % slunečního světla, teplota uvnitř byla o 4,3 °C vyšší a současně byl vyšší i tlak vodních par o 0,8 kPa. Rozdílné podmínky vně a uvnitř komory podle Longovi studie mají podstatný vliv na pozorované výsledky.

Ray et al. (2015) ve svém článku diskutují, že většina vědců se zabývá spíše celkovými změnami klimatu. On se svými kolegy se zaměřuje na meziroční výkyvy klimatických podmínek v jednotlivých regionech. Proměnlivost počasí ovlivňuje výnosnost plodin a podle nich je potřeba sledovat tyto změny, abychom mohli předejít ztrátám při produkci. Ne u všech plodin ve všech regionech byla zaznamenána výrazná změna během meziročních výkyvů klimatu, ale drtivá většina regionů vykazovala, že pěstované plodiny reagují změnou výnosnosti na meziroční změny klimatických podmínek. Podle studie v západní Evropě výkyvy počasí lze výkyvy ve výnosech pšenice vysvětlit z 31-51 % variabilitou počasí. Ve východní Evropě se vliv meziročních změn počasí na produkci pšenice odhaduje mezi 23-66 %.

Dalším problémem, který je zapotřebí zmínit je, že samotné zemědělství má vliv na změnu klimatu. Zemědělství je zdrojem látek znečišťujících ovzduší, tak jako je tomu i u jiných

odvětví. Mluvit budeme především o vlivu polutantů na změny klimatu, které následně ovlivňují výnosovou stabilitu. Jednou z charakteristických látek, která je do ovzduší emitována v důsledku zemědělské výroby, je metan. Původcem tohoto znečištění jsou v největší míře přežvýkavci, díky jejich specifické digesci, při které vzniká právě tento plyn. Podle zprávy z roku 2016, kterou vydala Evropská agentura pro životní prostředí, právě polovina metanu znečišťujícího vnější ovzduší pochází ze zemědělství, odhad byl stanoven na 52 %. K jeho únikům dochází taktéž systémem zapravování statkových hnojiv živočišného původu do půdy. Metan je jedním ze skleníkových plynů, které patří mezi faktory podílejících se na změně klimatu. Podle článku Rojas-Downing (2015), 14,5 % z celkové světové produkce skleníkových plynů pochází právě ze živočišné produkce. Metan není jediným skleníkovým plynem, který se do ovzduší díky zemědělství uvolňuje. Dalším je oxid dusný  $N_2O$ . Ten se do ovzduší uvolňuje díky mikrobiálním procesům probíhajících v zemědělských půdách. Metan a oxid dusný mají za následek vyšší míru vlivu na globální oteplování než v porovnání oxid dusičitý  $CO_2$ . Země Evropské unie činností v zemědělství vyprodukuje 10 % těchto dvou plynů ze světového ročního objemu (European Environment Agency 2017). Metan je taktéž prekurzorem troposférického ozonu  $O_3$ . Ten vzniká fotooxidací prekurzorových plynů (metan, oxid uhelnatý a těkavé organické sloučeniny) za přítomnosti oxidů dusíku.

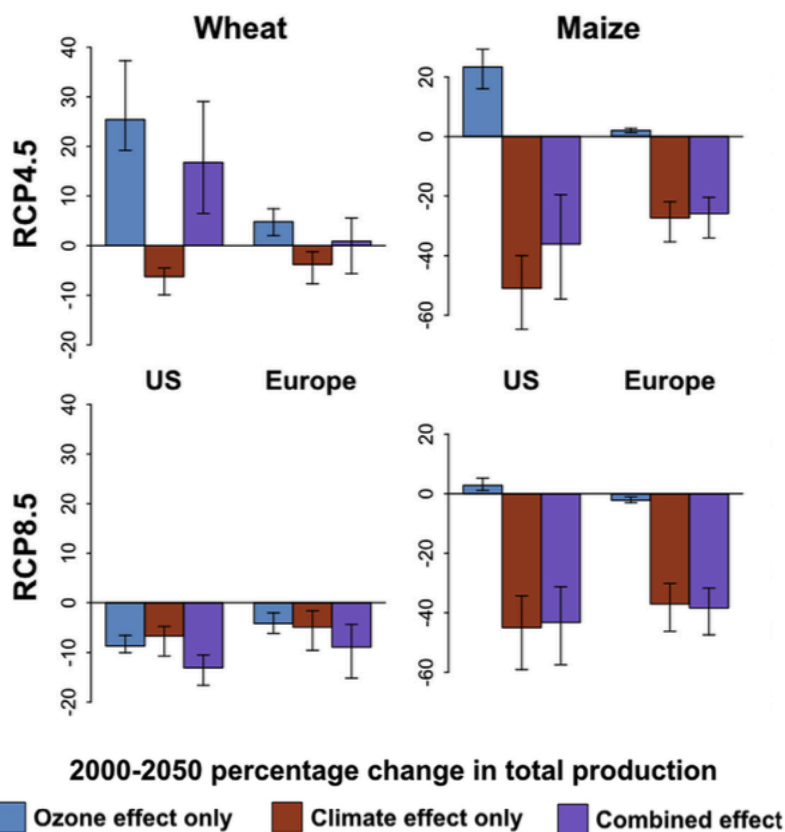
Wojcik-Gront (2018) uvádí, že optimalizací dávkování dusíkatých hnojiv lze dosáhnout snížení uvolňování emisí  $N_2O$  do ovzduší. Dalším způsobem, jak efektivně zamezit úniku oxidu dusíku do ovzduší je použití inhibitorů nitrifikace, u nichž bylo prokázáno, že v případě dostatečně zásobených půd vláhou nezapříčiňují ztráty ve výnosech. Podle této studie vyšší emise  $N_2O$  do ovzduší uvolňují půdy organické v porovnání s půdami minerálními.

Znečišťování ovzduší je spjato s klimatickými změnami, které jsou v současné době pozorovatelné. Ze zmíněných polutantů je podle studie Ainsworth et al. (2012) ozon jedním z plynů, které mohou mít velkou odpovědnost na ztrátách ve výnosech. Dle práce Anvery et al. (2011) se odhaduje, že v roce 2000 došlo ke ztrátám 11–18 bilionů \$ vlivem působení troposférického ozonu na výnosy plodin. Ozon se do rostlin dostává stomatální absorpcí. Po průniku ozonu do vnitřku rostliny začnou probíhat chemické reakce, jejichž výsledkem jsou reaktivní druhy kyslíku. Ty zabraňují přirozenému průběhu fyziologických pochodů rostlin (Matyssek et al. 2008). Stomatální vodivost je ovlivňována teplotou, dostatkem vláhy a dostupností živin, což může přispívat k omezování průniku  $O_3$  do rostliny. Riziko nižší produkce vlivem ozonu je možno regulovat i vhodným výběrem plodin, které jsou méně citlivé na škodlivé účinky ozonu. Anvery et al. (2013) ve své studii navrhuje pěstování rezistentních rostlin na  $O_3$ . Predikují, že by se ztráty na výnosech mohly zmenšit o 13 % do roku 2030 v porovnání s rokem 2000. Tai a Martin (2017) se ve své práci opírají o modelové situace, které navrhuje Mezivládní panel pro změnu klimatu. A to z modelu RCP 4.5 a RCP 8.5.

- Model RCP4.5 představuje snížení koncentrace troposférického ozonu vlivem přísné celosvětové regulace emisí prekurzorů ozonu (výjimka jižní Asie), zvýšení průměrné teploty o 3 °C
- Model RCP8.5 vycházející z předpokladu, že nedojde k regulaci emisí prekurzorů povrchového ozonu a v rámci zvyšující se náročnosti na další rozvoj ve všech sférách průmyslu se bude jeho koncentrace stále zvyšovat, zvýšení průměrné teploty o 4 °C



V následujícím obrázku jsou graficky zpracovány výsledky jejich studie. Pro demonstraci výnosů si vybrali pšenici, kukuřici a sójové boby. Já jsem pro ukázkou vybrala pouze pšenici s kukuřicí, jelikož sója není podstatná pro tuto diplomovou práci.



Obrázek 4 procentuální změna ve výnosu od roku 2000 do 2050 u pšenice a kukuřice v USA a Evropě na základě modelových situací RCP4.5 a RCP8.5 (Tai & Martin 2017)

Podle modelu RCP8.5 Tai a Martin (2017) předpokládají, že dojde k průměrnému úbytku produkce pšenice kolem 13 % v USA a kolem 9 % v Evropě. Daleko vyšší ztrátovost předpokládají u kukuřice, kde podle modelů očekávají ztráty až 43 % pro USA a 38 % pro Evropu. Optimističtější výsledky demonstruje modelová situace RCP4.5. Zde se předpokládá nárůst produkce o 17 %, i přes předpoklad že dojde ke zvýšení průměrné teploty. V Evropě je zvýšení produkce statisticky nevýznamné. V případě kukuřice by docházelo i u optimističtější modelové situace k velkým ztrátám v produkci.

Klimatické změny budou do budoucna rizikem pro výnosovou stabilitu zemědělských plodin. Pokud bude změna klimatu nadále postupovat a zrychlovat, hrozí prohlubování stávajících rizik pro veškeré lidské a přírodní systémy. S prohlubováním současných problémů se mohou začít otevírat i další nové hrozby. Některé obtíže jsou pouze regionálního charakteru, ale jiné se řadí na hranici globálních problémů.

### 3.1.2 Přírodní stanoviště

Stanoviště je tvořeno souborem biotických a abiotických složek, popřípadě faktorů prostředí, které z vnějšku působí na rostlinu. Základem charakteristiky stanoviště je klima, ke kterému se v této podkapitole již nebudeme vracet. Budou nás zajímat především edafické

podmínky neboli půdní vlastnosti a biotické faktory, tzn.: vliv půdních a nadzemních organismů. Budeme-li se v této podkapitole zabývat půdními vlastnostmi a životem v půdě, měla bych nejprve definovat, co přesně půda je. Šarapatka (2014) popisuje půdu jako přírodní útvar vzniklý na rozhraní litosféry s atmosférou nebo s hydrosférou vyvíjející se z povrchových zvětralin zemské kůry a zbytků organismů během pedogenetického procesu, působením půdotvorných faktorů. Je součástí životního prostředí. Jako kvalitativní znak půdy lze označit úrodnost. Jedná se o specifickou vlastnost, kterou se půda odlišuje od hornin, z kterých vzniká (Neudert 2008).

V půdě nalezneme tři skupenské fáze. Jedná se o heterogenní disperzní systém, kde se prolíná vodní fáze, plynná fáze a pevná fáze látek. Převládá pevné skupenství, půdní voda a vzduch jsou zadržovány v pórech. Půda je dynamická soustava dynamicky se vyvíjejících prvků. Změna každého prvku se vzápětí projeví na změně těch ostatních. Fyzikální vlastnosti půdy jsou determinovány právě vzájemnými vztahy mezi těmito třemi skupenstvími. Znalost fyzikálních vlastností je dobrým předpokladem pro zajištění vhodných podmínek pro pěstování rostlin, a i k udržení půdy v dobrém stavu (Neudert 2008). Šarapatka (2014) fyzikální vlastnosti dělí na základní fyzikální vlastnosti (zrnitost půdy, pórovitost, struktura atd.), hydrofyzikální a aerační vlastnosti (vlhkost, vzlínavost, vzdušná kapacita atd.), teplotní vlastnosti a fyzikálně-mechanické vlastnosti (soudržnost, konzistence, uléhavost, hutnost atd.).

Kromě fyzikálních vlastností nám půdu determinují i chemické vlastnosti. Primárně lze látky obsažené v půdě rozdělit na minerální, organické a organominerální. Prvky, které tvoří podstatnější část půdní hmoty souhrnně označujeme jako makroelementy. Spadají sem tyto následující prvky – kyslík, křemík, železo, hliník, dusík, fosfor, draslík, vápník, hořčík a sodík. První čtyři prvky se na složení půdy podílejí nejvyšší měrou. Kyslík zaujímá až 50 %. Ten je obsažen v anorganických látkách jako jsou minerály, hydroxidy, oxidy, voda a vzduch. Křemík, železo a hliník jsou kostrou půdní hmoty. Prvky, jež se v půdní hmotě vyskytují jen v nepatrném množství, jsou obecně nazývány mikroelementy. Mezi ně řadíme bór, měď, mangan, molybden, zinek, kobalt, jód, fluor a chlór (Šarapatka 2014).

Půdu nelze vnímat jen jako zdroj živin pro rostliny a prostředí v němž rostou. Půda je ekosystémem, v němž žije mnoho druhů organismů, které vstupují do interakcí s rostlinami a navzájem se ovlivňují, ať už pozitivně nebo negativně. Půdní organismy jsou pro rostliny nepostradatelné. Prostředí, kde dochází k bezprostřednímu styku kořenů rostlin s půdními organismy se nazývá rhizosféra. Zde se odehrává mnoho pro život nepostradatelných procesů, které jsou nám skryty před našimi zraky (Bais et al. 2006). Jednou z hlavních funkcí edafonu, je rozklad hmoty. Složité organické látky půdní mikroorganismy rozkládají na jednodušší chemické sloučeniny a minerály, které jsou přístupné pro rostliny. Zastoupení zde najdou jak mikroorganismy, tak i někteří obratlovci a všechny organismy zde mají svou klíčovou roli. Mikroorganismy se podílejí na rozkladu látek. Obratlovci svou činností zlepšují fyzikální podmínky v půdě. Podle velikosti dělíme edafon na:

- 1) Fytoedafon – do této skupiny se řadí organismy, které spadají do rostlinné říše, tzn.: bakterie, houby, řasy, aktinomycety
- 2) Zooedafon
  - a. Mikrofauna – organismy spadající do živočišné říše s velikostí do 0,2 mm, prvoci

- b. Mezofauna – organismy ve velikosti od 0,2 do 2 mm, hlístice, chvostokoci, roztoči
- c. Makrofauna – organismy ve velikosti od 2 mm do 20 mm, hmyz, roupice, stonožky, mnohonožky
- d. Megafauna. – organismy větší než 20 mm, žížaly a obratlovci.

Dále mikroorganismy můžeme dělit podle způsobu získávání uhlíku a energie. Autotrofní organismy získávají energii dvěma způsoby, a to ze sluneční energie (fotoautotrofní organismy) nebo za pomoci oxidace anorganických látek (chemoautotrofní organismy). Podstatnější pro rozklad hmoty v půdě jsou heterotrofní organismy, které získávají uhlík právě rozkladem organické hmoty v půdě a jsou mnohem početnější skupinou, než jsou autotrofní organismy. Množství a složení organismů v půdě je podmíněno mnoha faktory – klima, fyzikální a chemické složení půd, vegetační kryt (Šarapatka 2014), obsah dusíku (Frey et al. 2004) nebo pH půdy (Rousk et al. 2010).

Z fytoedafonu bych se chtěla věnovat především půdním bakteriím. Ty tvoří podstatnou část edafonu. Mají vliv na mnohé procesy v půdě. Svou přítomností a činností ovlivňují produktivitu plodin a zdraví rostlin (Chaparro et al. 2012). Pro zdraví rostlin jsou podstatné schopnosti bakterií produkovat ochranné látky. Taktéž bych chtěla zmínit, že bakterie jsou schopné degradovat některé toxické látky, jež jsou produkovány jinými rostlinami nebo mikroorganismy (Bais et al. 2006). Převážná většina půdních bakterií se řadí mezi heterotrofní organismy, čím se společně s houbami a aktinomycetami řadí mezi hlavní rozkladače organické hmoty. Kromě rozkladu organické hmoty, se podílejí na její mineralizaci a vstupují svou činností do koloběhu živin. Ne však veškeré půdní bakterie jsou prospěšné, některé se řadí i mezi patogeny (Šarapatka 2014).

Která vlastnost je velmi často spojována s půdními bakteriemi? Z hlediska zemědělství se jedná o zcela zásadní schopnost, a to poutání vzdušného dusíku. Nejvýznamnějším rodem mající tuto schopnost je rod *Rhizobium* neboli hlízkové bakterie. Dalšími známými rody jsou *Sinorhizobium*, *Bradyrhizobium* nebo *Azorhizobium* (Bais et al. 2006; Šarapatka 2014). Chaparro et al. (2012) vnímají bakterie jako možný způsob zvyšování produktivity rostlin a prevenci proti chorobám. Cílenou inokulací prospěšných půdních bakterií do intenzivně zemědělsky využívaných půd, by mohlo napomoci ke stabilnějším výnosům.

Schopnost poutat vzdušný dusík mají i některé sinice. Příkladem jsou sinice rodu *Nostoc* (Shields & Durrell 1964; Maqubela et al. 2008, Šarapatka 2014) Studie Maqubela et al. (2008) popisuje, že jejich přímá aplikace do půdy může zvyšovat výnos plodin. Sinice hodnotí jako nejúčinnějšími a nejspolehlivějšími organismy fixující dusík. A to zejména protože, proces fixace u nich není nijak nutričně náročný v porovnání s jinými organismy.

Pro výnosy plodin může být přínosná i další vlastnost mikroorganismů, o které bych se chtěla zmínit. Mykorrhiza je symbiotické soužití hub s rostlinami (Janoušková 2017, Frac et al. 2018). Prostřednictvím mykorrhizy plodiny efektivněji přijímají živiny, a to i v půdách s nedostatečným obsahem živin. Mykorrhiza je přínosná zvláště v půdách, kde je špatně dostupný fosfor a vláha (Šarapatka 2014). Takovéto spojení mezi houbou a rostlinou zvyšuje produkci zemědělských rostlin. Problém však nastává u půd chudých na dusík. Houby jsou na jeho spotřebu velmi náročné, takže je primárně spotřebovávají pro sebe a rostlinám se tak nedostává jeho potřebné množství. Mimo zlepšení příjmu živin mykorrhiza sebou přináší i další

bonusy pro plodiny. Díky ní jsou rostliny odolnější vůči nedostatku vláhy, vyšší salinitě a jsou chráněny před patogeny. Vlastnosti a účinky mykorrhizních hub jsou vědecky podloženy, avšak v dnešní době, kdy jsou u nás do půdy masivně dodávány živiny v takovém množství, aby jejich nedostatek nebyl limitujícím faktorem, není příjem živin za pomoci mykorrhizy zcela efektivní. Jedná se spíše o zprostředkování lepší výživy (Janoušková 2017).

### 3.1.3 Systém zpracování půdy

Výnosové stability zemědělských plodin můžeme rovněž dosáhnout vhodným výběrem kultivace půdy. Zpracování půdy spočívá v její mechanické úpravě. Jeden z faktorů potencionální vysoké sklizně je právě správné založení porostů. Díky neustálému rozvoji a objevování nových poznatků, již dnes víme, že pro zakládání některých polních porostů jsou vhodnější postupy, než je tradiční zpracování půdy za pomoci orby. V této části se budeme věnovat třem systémům zpracování půdy – konvenční, konzervační a ekologický. Zjednodušeně lze říci, že jsou děleny podle intenzity, hloubky a způsobu kypření. Konzervační a ekologický způsob obdělávání půdy jsou dva alternativní systémy, které lze využít kromě konvenčního systému. Jedná se o systémy, které jsou obecně charakterizovány jako šetrnější k životnímu prostředí. Jejich cílem je optimalizovat vlastnosti půdy. Nesmíme však zapomenout, že konvenční způsob hospodaření zmnohonásobil výnosnost zemědělských plodin v uplynulém století. Avšak je nutno brát na zřetel dopady konvenčního zemědělství na životní prostředí. Snižování biodiverzity, znečišťování ovzduší, degradace půdy nebo eutrofizace vody jsou příklady negativních dopadů tradičních postupů v zemědělství.

#### 3.1.3.1 Konvenční systém

Konvenční neboli tradiční systém kultivace půdy lze definovat jako systém zpracování půdy, kde dochází během zpracování k obracení půdy za pomoci orby, čímž se mění její přirozená struktura (Blanco & Lal 2008). Orbou zapravujeme rostlinné zbytky do půdy, čímž dostáváme živiny hlouběji. Zapravením hnojiv se snižuje únik emisí do ovzduší. Význam má rovněž i na regulaci vytrvalých plevelů (Novák & Mašek 2018) a je účinným nástrojem proti zhutňování půd (Blanco & Lal 2008).

Tradiční konvenční způsoby obdělávání půdy, které známe dnes se rozvinuly v devatenáctém století během průmyslové revoluce. Záměrem byla příprava set'ového lůžka k zajištění správného vyklíčení semen, odstranění plevelů, k zapravení hnojiv, zlepšení struktury půdy, zlepšení fyzikálních a biologických vlastností půdy. Začátek využívání tradičního zpracování půdy znamenal nárůst ve výnosech zemědělských plodin (Farooq a Siddique 2015).

Konvenční systém zemědělství je založen především na praktikách zvyšující intenzitu zemědělství. Intenzivní zemědělství využívá velké množství externích vstupů, na nichž je závislé. Minerální hnojiva, pesticidy a herbicidy jsou látky, které krátkodobě přinášejí benefity v podobě vyšších výnosů. Avšak z dlouhodobého hlediska jsou zde mnohá rizika, které ohrožují nejen životní prostředí, ale i zdraví člověka (Tilman et al. 2011).

### 3.1.3.2 Konzervační systém

Konzervační systém zpracování půdy se v České republice rovněž nazývá minimalizační systém zpracování půdy a je řazen mezi půdoochranné technologie. Farooq a Siddique (2015) definují konzervační systém jako sled technologií, zahrnující minimální zásah do půdy, stálý pokryv půdy, střídání se plodin a integrovaná regulace plevelů. Hlavním rysem tohoto systému je pozitivní vliv na stav půdy, zlepšení retence vody v krajině, snížení vyplavování živin z půdy a snížení rizika vodní a větrné eroze. Charakteristické pro tento systém je ponechání, alespoň 30 % rostlinných zbytků na povrchu půdy (Blanco & Lal 2008). Zbytky nesmí být z půdy odstraněny a ani nesmějí být vypalovány. Nejen, že zpětně dodávají živiny do půdy, současně tvoří i ochranu svrchní vrstvy půdy. Snižují kinetickou energii vodních kapek, tvoří ochranu před větrem, snižují výkyvy teplot v půdě, snižují evaporaci a zlepšují infiltraci vody (Farooq & Siddique 2015).

Využívání půdoochranných technologií má bezesporu účinný vliv na zlepšování fyzikálních a biologických vlastností ornice. To potvrzují ve své publikaci i Vach a Javůrek (2011), kteří uvádějí, že výsledky dlouhodobých pokusů potvrzují pozitivní vliv na biologickou aktivitu půdy za využití minimalizačních technologií zpracování půdy. To ve své podstatě může znamenat i vyšší půdní úrodnost, a především udržení výnosové stability plodin. Intenzivnější enzymatická aktivita a vyšší aktivita půdních mikroorganismů znamená zvýšení obsahu uhlíku a dusíku v půdě a jejich přeměnu na vysokomolekulární látky, jež mají za následek právě zmíněnou vyšší úrodnost. Z fyzikálního hlediska je prokázán účinný vliv na strukturu půdy, na kvalitu půdních agregátů a na odolnost proti zhutňování. Konzervační systém kultivace půdy má svá pravidla a musí být přesně nastaven pro místní specifika, tzn.: možnosti zemědělského podniku, riziko ohrožení půdy erozí, typ půdy, klima, reliéf krajiny atd.

Do toho systému je řazeno pět typů půdoochranných technologií:

- a) Bezorebný způsob zpracování (no-tillage/zero-tillage)
- b) Zpracování půdy s vytvořením hrůbků (ridge-till)
- c) Zpracování půdy v pásech (Strip-till)
- d) Setí/sázení do mulče (Mulch-till)
- e) Redukované zpracování půdy (Reduced-till) (Novák & Mašek 2018, Blanco & Lal 2008)

Účinnost minimalizačních metod nastává až po určité době, kdy dojde ke stabilizaci půdních podmínek. Doba nutná k průběhu všech podstatných procesů, které statisticky zaručují vyšší stabilitu výnosů, je různě dlouhá. Je však podstatné využívat konvenčních metod kontinuálně více let za sebou, tak aby mohly proběhnout všechny procesy zvyšující fertilitu půdy. Nedoporučuje se střídání konvenčního a konzervačního systému. Z hlediska efektivity by takovýto způsob hospodaření nebyl významný (Vach & Javůrek 2011).

Bezorebný způsob obdělávání půdy je způsob přímého setí/sázení do nezpracované půdy. Na povrchu půdy se ponechávají posklizňové zbytky z předešlé plodiny. Plevely jsou regulovány pomocí herbicidů. Ke zvýšení efektivity opatření je používána rotace plodin a pěstování krycích plodin, pokud to podmínky stanoviště dovolují (Blanco & Lal 2008). Krycí plodiny jsou do osevních postupů zařazovány s cílem zlepšit nebo udržet úrodnost půdy. Vhodné jsou především bobovité rostliny, které dokáží poutat v půdě vzdušný dusík a mění ho na přístupné formy pro rostliny. Rotace plodin je důležitá z hlediska jejich ochrany před škůdci,

nemocemi a hmyzem, jenž jsou rizikovým činitelem v případě opakovaného pěstování stejných plodin za sebou. V konvenčním zemědělství je toto riziko částečně snižováno orbou (Farooq & Siddique 2015).

Knapp a Heijden (2018) ve své studii uvádějí, že nebyl zaznamenán rozdíl mezi výnosnou stabilitou a výnosem v porovnání no-tillage systému a konvenčním systémem, z čehož vyplývá že přechod mezi tradičním obděláváním půdy za pomoci orby neovlivní stabilitu výnosu. Toto tvrzení však neplatí pro všechny typy půd. Výnos a jeho stabilita jsou nižší při bezorebném zpracování půdy u zamokřených půd, zejména u jílovitých půd se špatným odtokem vody, kde může být výnos nižší až o 5–10 % (Lal & Ahmadi 2000). Takovéto půdy se na jaře díky posklizňovým zbytkům špatně prohřívají, a to může mít negativní dopad na vzcházení rostlin a na jejich následný růst (Blanco & Lal 2008; Knapp & Heijden, 2018).

Důvodem proč využívat no-tillage systému je především pro jeho pozitivní vliv na zemědělskou půdu. Ten tví zejména ve zlepšení schopnosti retence vody, snížení rizika vodní i větrné eroze, zlepšení fyzikálních vlastností půdy, zmenšení evaporace vody z půdy, nárůst organické hmoty v půdě, snížení kolísání teplot v půdě, zlepšení struktury půdy, zlepšení mikrobiální aktivity a jako jeden z posledních benefitů je snížení nákladů na produkci (Blanco & Lal 2008). Jak jsem již zmiňovala v předchozím odstavci ne všechny typy půd jsou vhodné pro bezorebný způsob kultivace. Nelze zaručit jejich účinnost na všech typech půd a klimatických regionech. V některých případech jsou zde i negativní dopady. A tím je riziko utužení půdy, nahromadění se živin v svrchních vrstvách, nárůst plevelů rezistentních vůči herbicidům, samotný nárůst objemu užívání herbicidů, snížení klíčivosti semen v důsledku pomalého prohřívání půdy, nárůst objemu užívání dusíkatých hnojiv, zhoršení mineralizace živin a ve výsledku snížení výnosu a jeho stability (Blanco & Lal 2008; Knapp & Heijden 2018).

Dalším systémem řazeným do konzervačního způsobu obdělávání půdy je zpracování půdy s vytvořením hrůbků. Současně tento způsob i v České republice nalezneme pod pojmem ridge tillage. Patnáct až dvacet centimetrů vysoké hrůbky (brázdy) vznikají za pomoci mechaniky (hrůbkovací radlice) během zakládání porostů (Blanco & Lal 2008). Hrůbkování se uplatňuje především při pěstování široko řádkových plodin a v České republice se využívá spíše výjimečně (Kovaříček et al. 2010).

Zpracování půdy v pásech neboli strip-till je technologie částečné úpravy půdy, při které se zpracovává půda v pruzích, do kterých se ukládá osivo a ostatní části se ponechávají nezpracované pokryté posklizňovými zbytky (Blanco & Lal 2008; Novák & Mašek 2018). Kombinuje v sobě tak výhody bezorebného zpracování půdy a orby. Při tomto druhu zpracování půdy dochází k lepšímu odvádění vody a snižování rizika zhutňování půd, proto jsou vhodnou alternativou pro využití na půdách, které jsou vlhčí a kompaktnější, kde bezorebný způsob kultivace vykazuje nižší stabilitu ve výnosech.

Redukované zpracování půdy je systém, v němž se omezuje počet provedených operací při klasickém zpracování půdy. Podstatou je, aby opět na povrchu zbylo minimálně 30 % posklizňových zbytků. Jedná se o technologii, která stojí mezi tradiční úpravou půdy za pomoci orby a zcela nezpracovanou půdou v no-tillage systému. Oproti klasické orbě se v případě využití reduce-till v důsledku lepší retence vody a snížení rizika eroze půdy může zvyšovat a výnos, případně se může zlepšit výnosová stabilita (Blanco & Lal 2008).

Mulch-till je technologie, při níž dochází jen k mělkému zpracování půdy, během něhož musí zůstat zbytky plodin na povrchu. Zdrojem mulče mohou být zbytky předplodiny nebo zbytky nadzemní části meziplodin. Cílem mulčování je chránit povrch půdy před kinetickou energií dešťových kapek, čímž aktivně zabraňujeme rozpadání se půdních agregátů a zlepšuje se tak struktura půdy. Dalšími přínosy je ochrana před vodní i větrnou erozí, snížení výparu vody z půdy, snížení kolísání teploty a zvýšení mikrobiální činnosti v horních vrstvách ornice. Nejvhodnějšími plodinami pro mulčování jsou ty rostliny, u nichž je poměr C : N 20 až 30 ku 1 (Javůrek 2008).

### 3.1.3.3 Ekologický systém

Podstatou ekologického systému pěstování plodin je zkombinování konzervačního zemědělství s moderními zemědělskými technologiemi. Lze ho definovat jako systém, v němž je zakázáno využívat syntetických vstupů (hnojiva, pesticidy) a dbá na zmírnění vlivu na životní prostředí. Ekologičtí zemědělci kladou důraz na rotaci plodin, přirozenou ochranou před škůdci, diverzifikaci plodin a zlepšování půdních vlastností za pomoci statkových hnojiv. Základ ekologickému zemědělství položil v roce 1924 Rudolf Steiner svou prací na téma biodynamické zemědělství. Samotné ekologické zemědělství se rozvinulo v 30. a 40. letech 20. století v Evropě (Reganold & Wachter 2016).

Podle výsledků studie Knapp a Heijden (2018) prokázali, že konvenční zemědělství má vyšší relativní výnosovou stabilitu, a to zhruba o 15 % u všech plodin. Reganold a Wachter (2016) pro změnu uvádějí, že průměrné výnosy v ekologickém zemědělství jsou nižší o 8–25 %. Relativní výnosová stabilita podle Knapp a Heijden (2018) je časová variace na vyprodukovaný jednotkový výnos měřená variačním koeficientem. V ekologickém zemědělství byl relativní výnos výrazně nižší kvůli jeho sníženým výnosům. Z čehož vyplývá, že relativní výnos rostl s rostoucím výnosem. Kromě relativní výnosové stability bylo využito i druhé výnosové měřítko, a to absolutní stabilita. Absolutní stabilita je měřena směrodatnou odchylkou ve výnosu během zkoumaných let. V absolutní stabilitě nebyl stanoven významný rozdíl mezi ekologickým a konvenčním zemědělstvím. Dle výsledků analýzy bylo prokázáno, že rozdíl ve výnosech mezi konvenčním a ekologickým zemědělstvím jde zmírnit za pomoci statkových hnojiv a vhodným výběrem odrůd pěstovaných rostlin.

I když v ekologickém zemědělství je výnosová stabilita nižší než v případě konvenčního hospodaření, přináší s sebou ekologické zemědělství mnoho jiných výhod. Jak již bylo zmíněno, pozitivní dopad má především na životní prostředí. Srovnání výhod obou zemědělských přístupů je následně shrnutý (viz.: tabulka č. 1):

Konvenční zemědělství	Ekologické zemědělství
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vyšší produktivita</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nižší sekvestrace uhlíku</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vyšší stabilita výnosu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lepší zadržování vody v půdě</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nižší výskyt plevelů</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Snížení rizika eroze půdy</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zlepšení kvality půdy</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menší hrozba pro globální oteplování</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zvýšení biodiverzity stanoviště</li> </ul>

Tabulka 1 Porovnání přínosů konvenčního a ekologického zemědělství

Reganold a Wachter (2016) rovněž zmiňují, že v některých případech ekologické zemědělství může dosahovat vyšších výnosů, než je tomu konvenčního zemědělství. Na příklad v oblastech s nedostatkem půdní vláhy se v ekologickém zemědělství dosahuje stabilnějších a vyšších výnosů, než je tomu u tradičního hospodaření, a to díky lepšímu zadržování vody. Tímto se potenciálně mohou stabilizovat výnosy v suchých oblastech, jejichž počet se podle predikcí bude do budoucna zvyšovat. Čímž by se snížil rozdíl mezi relativní výnosovou stabilitou mezi ekologickým a konvenčním zemědělstvím.

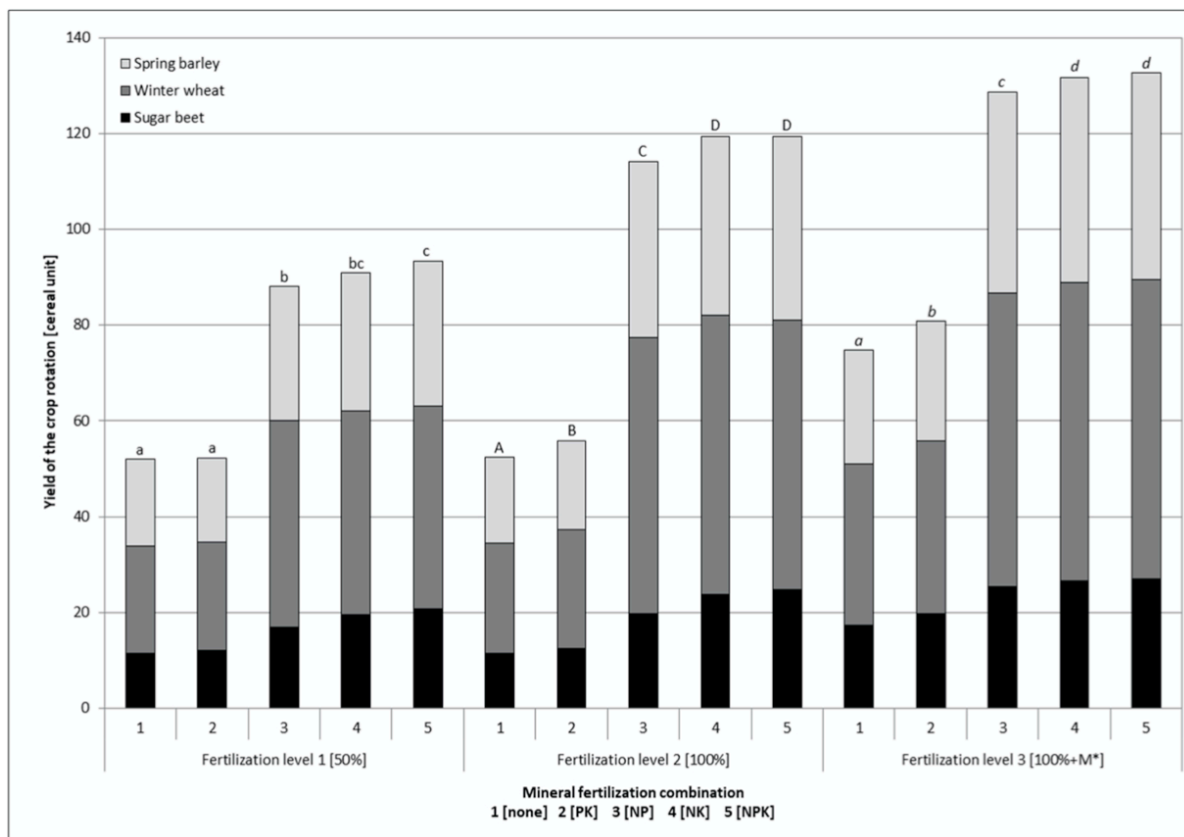
### 3.1.4 Externí vstupy

Rostliny jsou úzce spojeny se svým životním prostředím, v němž je rostlina vystavena působení různorodých látek, na které reaguje změnami ve výnosech. Externími vstupy jsou obmyšleny látky, jež vstupují do produkce s cílem zvýšit nebo zachovat míru výnosů zemědělských plodin. Spadají sem hnojiva a látky na ochranu rostlin proti plevelům, chorobám a škůdcům. Tyto látky přispívají ke stálému zvyšování výnosů. Hnojiva, především minerální, jsou látky, které nám nejvýznamněji působí na výnosy polních plodin. Nárůst zemědělské produkce během 20. století, lze z 50 % vysvětlit začátkem využívání minerálních hnojiv (Aziz et al. 2015). Je potřeba však zmínit, že hnojiva nepůsobí přímo na výnos. Jsou účinné až ve chvíli, kdy projdou složitými metabolickými procesy a jsou využity rostlinou pro nejrůznější biochemické pochody v rostlině (Nátr 2002). Produkce plodin je ovlivňována zejména tím, do jaké míry jsou dostupné živiny. Ty rostliny z půdy přijímají hlavně v podobě aniontů ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) a kationtů ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ). Nejvýznamněji produkci plodin ovlivňuje dusík (Nátr 2002; Macholdt et al. 2019).

Dusík je jedním z nejdůležitějších prvků, které žijící organismy vyžadují. Je podmínkou pro řadu chemických dějů. Účastní se při syntéze aminokyselin, enzymů, proteinů a chlorofylu. V přírodě se nejčastěji vyskytuje ve dvou molekulární podobě v atmosféře. Celkově tato strukturální podoba dusíku tvoří 78 % z veškerých jeho dostupných zásob na zemi. Avšak se jedná o inertní plyn, který rostliny neumí využít (Choudhary & Dhar 2015). Jeho důležitost pro snižování variability výnosů nám dokazuje následující graf, který zachycuje výnos cukrové řepy – ozimé pšenice – jarního ječmene. Osevní postup byl dodržován přesně v tomto pořadí. Výsledky vycházejí z dlouholetého experimentu od roku 1955 až do roku 2017. Pokus byl prováděn ve třech úrovních, které testovaly různá množství a kombinace minerálních hnojiv. U



levelu 1 byla použita polovina dávky minerálních hnojiv než u následného levelu 2. U levelu 3 bylo použita stejná dávka minerálních hnojiv jako u levelu 2 s rozdílem, že byl aplikován ještě hnůj na podzim po sklizni jarního ječmene (1955-1981 bylo aplikováno 40 t/ha hnoje, 1982-2017 bylo aplikováno 30 t/ha hnoje). Množství použitých hnojiv na levelu 2 naleznete v tabulce pod grafem (Macholdt et al. 2019).



Obrázek 5 Výnos plodin v osevním postupu cukrová řepa – ozimá pšenice – jarní ječmen v závislosti na množství hnojení a kombinaci hnojiv (Macholdt et al. 2019)

Mineral fertilizer combination <sup>1</sup>	Crop specific fertilization level 2 [100%] <sup>2</sup> in kg ha <sup>-1</sup>		
	Sugar beet	Winter wheat	Spring barley
1 [none]	0	0	0
2 [P + K]	120 + 240	90 + 120	48 + 90
3 [N + P]	160 + 120	160 + 90	70 + 48
4 [N + K]	160 + 240	160 + 120	70 + 90
5 [N + P + K] <sup>3</sup>	160 + 120 + 240	160 + 90 + 120	70 + 48 + 90

Obrázek 6 Množství použitých hnojiv pro level 2 (Macholdt et al. 2019).

Výsledky výzkumu nám demonstrují, že dusík a jeho zásoba v půdě hraje významnou roli při snižování variability ve výnosech a je následován draslíkem a nakonec fosforem. Dalším poznatkem je, že vyšší množství použitého hnojiva přispívá k vyšší stabilitě výnosu a tento trend je ještě podpořen využitím statkových hnojiv. Avšak s vyšší dávkou dusíkatých hnojiv dochází i k vyššímu vyplavování dusíkatých látek do okolí. To samé platí i u sloučenin fosforu. Ty ve výsledku mohou způsobovat eutrofizaci spodních i tekoucích vod (Nátr 2002). Je tedy za

potřebí aplikovat racionální množství hnojiv. Obdobné tvrzení předkládá ve své studii i Wójcik-Gront (2018), kde dokazuje, že použití nadměrných dávek dusíku není pro vyšší výnosy plodin přínosné. Ba naopak nadměrné využívání dusíkatých hnojiv může vést k poškozování životního prostředí tak jak to uvádí ve své knize Nátr (2002). Potřebné množství dusíkatých hnojiv se odvíjí od potřeb jednotlivých lokalit v závislosti na mnoha faktorech, např.: podle místního klimu nebo typu půdy.

Mimo zajištění dostatku živin v půdě je potřeba zemědělské porosty chránit i před ostatními nepříznivými činiteli, jako jsou choroby, plevely a škůdci. V současné době je nejučinnější metodou ochrany rostlin aplikace chemických látek – pesticidy, herbicidy. I když se jedná o látky zvyšující výnos zemědělských plodin, mají v mnohých případech negativní dopad na okolní ekosystémy, kam se dostávají větrem nebo podzemní vodou. A nejen na okolní ekosystémy. Problémy přináší i residua herbicidů a pesticidů pro lidské zdraví. Je zapotřebí užívat tyto látky pro regulaci škodlivých biot s ohledem na životní prostředí. V rámci Evropské unie existují pravidla pro používání těchto látek. První seznam povolených látek v EU pro ochranu rostlin byl sepsán již na začátku 90. letech 20. století. Úpravu přineslo nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1107/2009, které stále platí a stanovuje pravidla pro používání, uznávání nových látek na ochranu rostlin, obchodu s látkami mezi členskými státy s cílem zajistit, co nejvyšší ochranu zdraví lidí, zvířat a životního prostředí a zároveň zachovat konkurenceschopnost zemědělství. V souvislosti s životním prostředím se v rámci EU aplikují praktiky integrované ochrany rostlin (Matyjaszczyk 2015). Jedná se o způsob hospodaření, kde je kladen důraz na usměrňování chemické ochrany rostlin s ohledem na snížení nepříznivých vlivů. Chemická ochrana je v tomto systému doplňována biologickou ochranou s využitím odolných odrůd rostlin, tak aby byly, co nejvíce eliminovány negativní dopady na životní prostředí (Nátr 2002; Wezel et al. 2013; Matyjaszczyk 2015). Očekává se, že integrovaná ochrana rostlin bude respektovat ekologická hlediska lokalit a podporovat přírodní ochranné mechanismy prostředí (Nátr 2002).

Nejvyšší ztráty ve výnosech jsou připisovány hmyzu. Každoročně je vynaloženo na nákup insekticidů miliardy dolarů (Khan et al. 2015). Nadměrné a nesprávné využívání syntetických pesticidů v předešlých dobách způsobilo rezistentnost některých organismů, vůči hubícím látkám. Jedná se o velkou hrozbu, které je zapotřebí věnovat pozornost. V Evropské unii jsou stanovena pravidla pro členské státy, jež regulují používání pesticidů, jednak s ohledem na životní prostředí a taktéž, aby se zpomalil vývoj rezistentních druhů vůči pesticidům (Evropská unie 2009). I když jsou pesticidy na jednu stranu rizikem, stále jsou jednou z určujících složek výnosu. Jejich omezování je potřebné, avšak musí být všestranně zhodnoceno, protože v současné době neexistuje technologicky žádný jiný způsob, jak by mohly být zajištěny stávající výnosy zemědělských plodin bez použití pesticidů (Nátr 2002).

Plevel jako nežádoucí skupina rostlin polních či zahradních společenstev je taktéž předmětem ochrany rostlin. Plevel ohrožují výnos plodin zejména pro svou konkurenci. Odebírají živiny, vodu a světlo zemědělským plodinám. Pro zemědělce znamenají vyšší vstupy, díky nákupu herbicidních látek. Při sklizni snižují kvalitu sklizeného porostu a některé mohou mít negativní vliv na zdraví člověka (Nátr 2002).

### 3.1.5 Šlechtění

Šlechtění je dalším způsobem, jak efektivně zvyšovat výnos zemědělských plodin. Výnosotvorné faktory jsou složitě řízeny mnoha geny, z nichž se každý svou měrou podílí na jejich projevu. Cílem šlechtění je získat nové odrůdy, které mají vysoký výnosový potenciál a jsou odolnější vůči vnějším negativním vlivům prostředí. Nátr (2002) ve své knize šlechtění definuje jako: „Vědu a částečně i umění, jejichž cílem je snaha o zlepšení genetického základu rostlin tak, aby se zvýšila jeho hospodářská a ekonomická hodnota. Šlechtitel využívá proměnlivosti rostlin k tomu, aby získal jedince s požadovanými užitkovými vlastnostmi.“

Odrůdy jsou biologickým základem rostlinné produkce a jsou klíčovým faktorem v intenzifikaci zemědělství dnešní doby. Základem zemědělsky významných odrůd jsou vlastnosti, díky nimž se efektivně daří zvyšovat výnos. Za podstatné vlastnosti tedy považujeme – vysokou produkční schopnost, dobrou úroveň jakostních ukazatelů a technologické hodnoty, vysokou odolnost vůči negativním vlivům, chorobám a škůdcům, schopnost splňovat požadavky mechanizované pěstitelské technologie (Čurn 1998). Nově zaváděné odrůdy však nejsou samy o sobě zaručením vysokých výnosů. Nově zaváděné odrůdy vyžadují současně určité množství minerálních hnojiv a látek na ochranu rostlin (Nátr 2002, Wałkowski 2011).

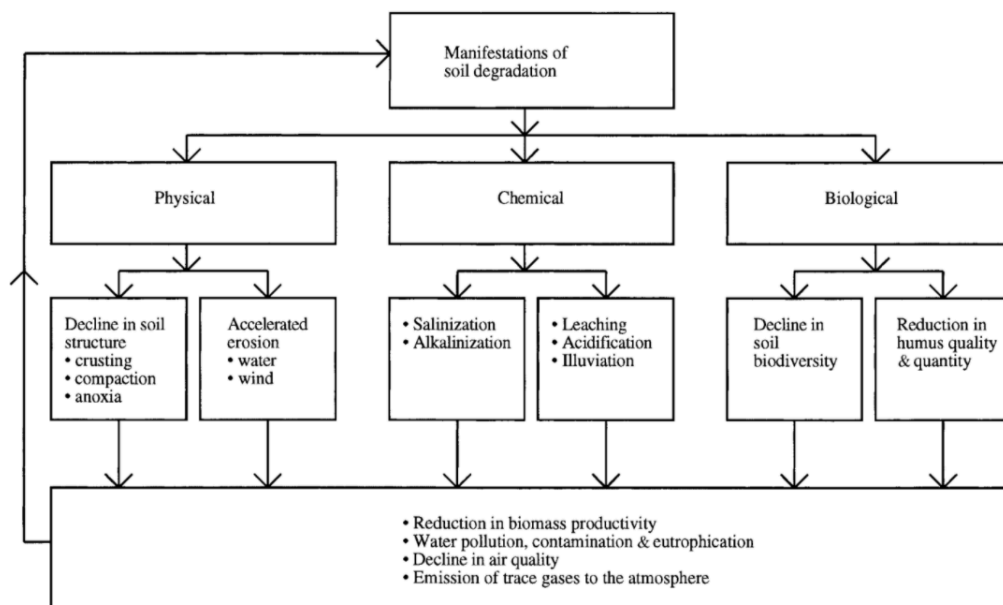
Prošlechtěnost jednotlivých druhů zemědělských plodin je různá. Za nejprošlechtěnější plodinu pěstovanou u nás v ČR lze považovat pšenici. Pozornost ve šlechtění byla kladena především na ozimou formu, jejíž pěstování zcela převažuje nad jarní formou. Šlechtěním bylo dosaženo vyšší asimilace živin a změny distribuce sušiny ve prospěch hospodářsky významných částí rostlin, tzn.: obilek (Petr et al. 1987; Čurn 1998; Nátr 2002). Obdobných vlastností jako u pšenice, bylo dosaženo i u ječmene. Kromě šlechtění produkčních schopností jsou podstatné i jiné směry jako, šlechtění na délku vegetační doby, šlechtění na vhodnost k technologii pěstování, šlechtění na odolnost ke stresovým činitelům. Šlechtění vůči odolnosti proti stresovým vlivům je zaměřeno na vodní stres, tolerance k půdní kyselosti, odolnost vůči chorobám a škůdcům. Šlechtěním na vhodnost k technologii pěstování se šlechtitelské cíle upínají ke snížení poléhavosti, čímž bylo značně docíleno zkrácením stébla. Dále je to odolnost k výdrolu semen při přezrání a odolnost k porůstání zrn (Čurn 1998).

Kukuřice jako teplomilná rostlina byla šlechtěna na to, aby bylo umožněno její pěstování v chladnějších oblastech a vyšších nadmořských výškách. Toho bylo docíleno především vyšlechtěním velmi raných hybridů. Z produkčního hlediska se se u kukuřice šlechtí následující výnosové prvky – počet rostlin na ploše, počet palic, produkce palice a hmotnost tisíce zrn (HTS) (Čurn 1998).

### 3.1.6 Socio – ekonomický vliv

Posledním faktorem, který má vliv na stabilitu výnosnosti plodin jsou tradice v dané zemi. Jakým způsobem se v dané zemi hospodář s půdou, které plodiny se zde pěstují, zdali existuje právní rámec, jež by reguloval zásahy do půdy atd. Činnost člověka zcela zásadně ovlivňuje všechny přírodní činitele, které se podílejí na tvorbě výnosu. To již bylo i několikrát zmíněno i v předchozích kapitolách. Obrovskou roli hraje ekonomika. Snaha každého zemědělce je maximalizovat své zisky. Nejedná se o nic nepřirozeného. Avšak v některých případech zemědělci riskují a snaží se zvýšit množství produkce i za předpokladu, že jejich činnost může zcela zásadně ohrozit stav půdy a životního prostředí. Změny se nemusí projevit

okamžitě. Degradace půdy je biofyzikální proces, který je zhoršován socio-ekonomickými a politickými faktory (Lal 2001), vedoucí ke snižování půdní úrodnosti. Výsledkem degradace půdy vlivem člověka je eroze, ztuhnutí půdy, úbytek organické hmoty, acidifikace, salinizace a kontaminace (Šarapatka 2014). V následujícím schématu je graficky znázorněna a rozdělena degradace půdy do třech hlavních procesů:



Obrázek 7 Degradace půdy (Lal 2001).

Míra degradace půdy je determinována mnohými činiteli ať už přírodního nebo antropogenního charakteru. Přírodními činiteli jsou v tomto případě podnebí, vegetace a ekoregionální charakteristiky. Lidským faktorem je způsob využívání půdy, způsob obhospodařování půdy, systém hospodaření a pěstování plodin, majetkoprávní vztahy, ekonomické, sociální a politické aspekty. Některé půdy jsou odolnější vůči negativním vlivům a degradace je reverzibilní. Půda si uchovává schopnost samoobnovy, této schopnosti se říká odolnost, nebo lze degradaci půdy zvrátit vhodným zásahem člověka. U méně odolných půd může dojít až k naprosté devastaci a takovýto stav je již nevratný (Lal 2001).

Dnešní politika se již snaží reagovat na rizika spojená s nešetrnými praktikami k půdě a životnímu prostředí vůbec. V Evropské unii jsou příkladem standardy Dobrého zemědělského a environmentálního stavu, zkráceně DZES. Standardy jsou podmínkami, které musí splňovat zemědělci, jež žádají dotace. Tímto dochází k implementaci vhodnějších technik hospodaření do praxe zemědělců. Podle některých odborníků, je právě vyplácení finančních odměn nejlepším způsobem, jak v zemědělcích podnítit snahu osvojovat si praktiky šetrné k životnímu prostředí (Burton & Paragahawewa 2011). V každém členském státě jsou standardy DZES nastavovány podle potřeb, tradic a specifik daného státu. V České republice jsou tři okruhy, které opatření řeší – voda, půda a zásoby uhlíku, krajina a minimální úroveň péče o ni. V současné době je u nás definováno sedm standardů:

#### 1. Voda

- DZES 1 – Ochranné pásy podél vodních toků
- DZES 2 – Zavlažovací soustavy
- DZES 3 – Ochrana podzemních vod před znečištěním

## 2. Půda a zásoby uhlíku

- DZES 4 – Minimální pokryv půdy
- DZES 5 – Minimální úroveň obhospodařování půdy
- DZES 6 – Zachování úrovně organických složek půdy, včetně zákazu vyplování strnišť

## 3. Krajina, minimální úroveň péče

- DZES 7 – Zachování krajinných prvků a opatření proti invazivním druhům rostlin (Ministerstvo zemědělství 2019).

Standardy číslo 4, 5 a 6 se vztahují přímo k půdě. Z toho 4. a 5. standart chrání zemědělskou půdu před erozí. Existují dva typy eroze – vodní a větrná. Eroze je přirozenou součástí pochodu v půdě a probíhá nezávisle na člověku. Je podstatou zvětrávání hornin během půdotvorných procesů. Problémem je zrychlená eroze, která je zapříčiněna činností člověka. Během zrychlené eroze dochází ke smyvu půdních částic, které nestíhají být nahrazovány půdotvorných procesem, který probíhá daleko pomaleji. Příčinou je odlesňování a intenzivní zemědělství (Blanco & Lal 2008). Ve výsledku snižuje produktivitu a kvalitu půdy. To přináší i řadu ekonomických problémů, mimo těch environmentálních. Dochází ke snížení zisků z výnosů plodin, a to krátkodobě nebo dlouhodobě. Ztráta v produkci může být částečně kompenzována dodáním hnojiv do půdy, avšak v takovém případě opět dojde ke snížení zisků, jelikož se zvýší náklady (Lal 2001).

Erozi je poškozována ornice, tzn.: nejúrodnější část půdy. Z produkčního hlediska dochází ke snížení hektarových výnosů. Dále dochází k znečišťování vodních toků, k poklesu cen pozemků atd. Z ekologického hlediska dochází k narušování transformace živin v půdě, snižování organické hmoty v půdě, snížení retence vody, snižování počtu půdních organismů a mnoho dalšího. Za momentální stav může především intenzifikace zemědělské výroby v minulých letech. Docházelo ke scelování pozemků. Ve velkém byly rušeny krajinné prvky, které účinně napomáhají v boji proti erozi. Bylo vyčísleno, že úbytek ornice za rok v České republice činí 20,858 milionů tun ročně. Převedeme-li toto číslo do finanční ztráty je celková suma odhadována na 17,851 miliard Kč ročně. Při tom hodnota ornice je 4,2 miliard a finance vynaložené na nápravu škod činí zbylých 13,65 miliard (Ministerstvo zemědělství 2018).

Dobrá zemědělský a environmentální stav není jediným opatřením, které u nás v ČR je ustanoveno. Existují i Agroenvironmentálně-klimatická opatření, která však na rozdíl od standardů DZES nejsou pro zemědělce povinná. Jsou dobrovolná a zemědělec se může sám a dobrovolně rozhodnout, zdali se jimi bude řídit. V případě, že se tak rozhodne zavazuje se minimálně k pětiletému plnění těchto pravidel, respektive těch, který on sám si vybere. Odměnou jsou mu za to opět dotace, které na základě plnění opatření může získat (Ministerstvo zemědělství 2019). Již v 90. letech 20. století mnozí pochopili, že zemědělec hraje klíčovou roli jako ochránce přírodních zdrojů. První agroenvironmentální opatření byla zaváděna během McSharryho reformy v roce 1992. Dobrovolně se k plnění agroenvironmentálních opatření hlásí mnoho zemědělců. Bohužel však tato opatření nevedou k trvalé změně myšlení a přístupu zemědělců k půdě a krajině. Hnacím motorem pro využívání agroenvironmentálních opatření na ochranu životního prostředí bývají čistě jen ekonomické důvody (Burton et al. 2008).

## 3.2 Charakteristika vybraných plodin

### 3.2.1 Pšenice ozimá

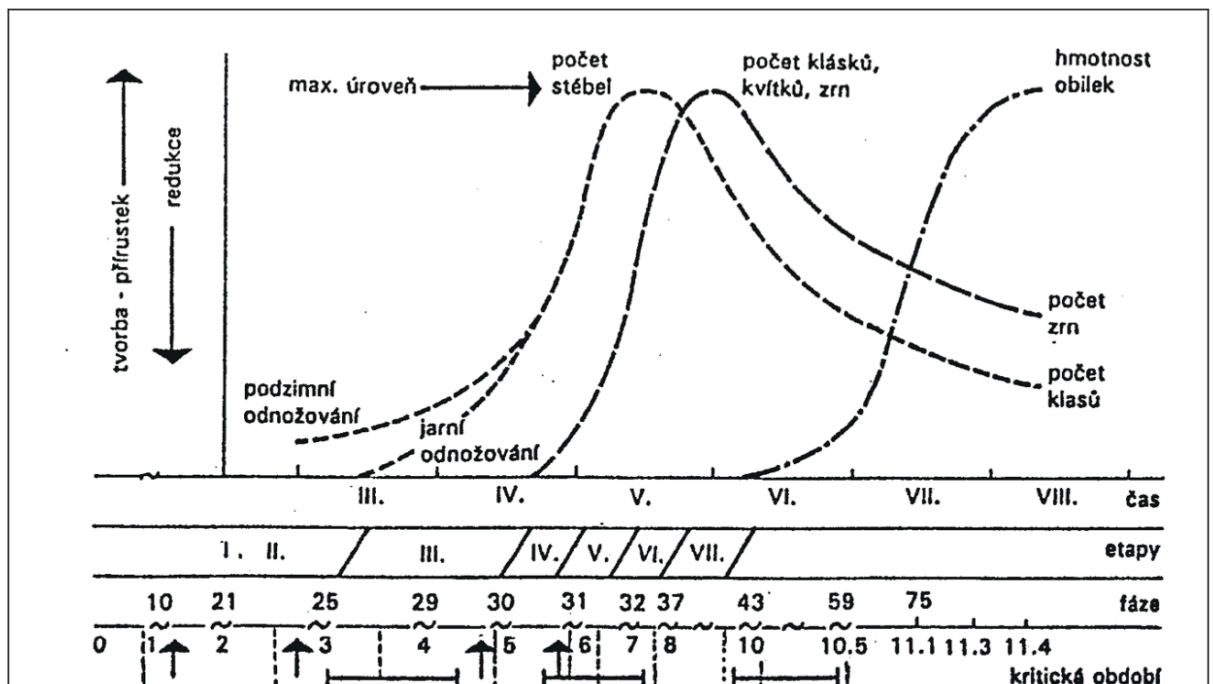
Pšenice ozimá se řadí mezi obilniny, které jsou nejrozšířenější skupinou kulturních rostlin. V České republice se převážně pěstuje její ozimá forma (*Triticum aestivum L.*). Ročně je u nás pěstována zhruba na čtvrtině orné půdy. Je tomu tak díky příznivým výnosům v řadě výrobních oblastí (Dryšlová & Procházková 2008). Genetická rozmanitost odrůd nám umožňuje pěstovat pšenici v různých klimatických podmínkách. V každé oblasti však hrozí různá rizika, které mohou snížit výnos a jeho stabilitu. Hlavním faktorem v této otázce je opět počasí (Petr et al. 1987; Afzal et al. 2015; Wojcik-Gront 2018). Abiotické faktory jsou rizikem pro výnosovou stabilitu. Ztrátám lze předcházet vhodným výběrem odrůd, které jsou odolné vůči stresu a mají vysokou výnosovost (Afzal et al. 2015; Wojcik-Gront 2018). Negativně je výnos ovlivňován zejména vodním stresem. To potvrzuje výzkum Voltr et al. (2014), kteří pšenici vyhodnotili jako rostlinu, která na suchu odpovídá značným snížením výnosů až o 16 %. Rovněž také systém zpracování půdy a zakládání porostů. Pšenice je velmi náročná na výběr předplodiny. Ta může mít velký vliv na tvorbu výnosu a kvalitu zrna (Dryšlová & Procházková 2008). Podstatná pro výnosovou stabilitu pšenice může být i volba vhodného stanoviště. Na příklad studie Kristensen et al. (2011) potvrzují, že nižších výnosů je u pšenice dosahováno na písčitéch půdách oproti půdám hlinitým.

Hospodářský výnos u pšenice tvoří zrno. Výnos ze zrna obilnin je podle Petr et al. (1987) determinován třemi základními výnosovými prvky:

- a) Počet klasů na jednotku plochy
- b) Počet zrn v klasu
- c) Hmotností tisíce zrn

Formování výnosových prvků je velmi složitý proces, který je ovlivňován vnějšími i vnitřními faktory. V průběhu ontogeneze jsou tvořeny postupně a navazují na sebe. U všech výnosotvorných prvků rozlišujeme tři fáze, v kterých jsou formovány – základní fáze, fáze maximální úrovně výnosového prvku a fáze kvantitativní redukce. V první řadě vzejde určitý počet rostlin na dané ploše. Během odnožování vytvoří odnože, kde se na zrostném vrcholu v generativní fázi začínají tvořit základy klásků. Ne však u všech odnoží, některé odumírají a některé zůstávají neplodné. Rovněž ne každý založený klásek a kvítek v klasu vytvoří vždy obilku. Mezi výnosovými komponenty u obilnin funguje určitá kompenzace, čímž dochází ke stabilizaci výnosů. Tento jev lze vysvětlit, že dojde-li k zvýšení nebo naopak ke snížení jednoho výnosového prvku ten následující výnosový faktor se sníží nebo naopak zvýší. Popsaný jev je nazýván autoregulace výnosových prvků je zachycen v následujícím schématu (Petr et al.

1987).



Obrázek 8 Dynamika tvorby jednotlivých výnosových prvků (Petr et al. 1987).

Zhang et al. (2019) ve své práci uvádějí, že výnos moderních kultivarů pšenice za příznivých podmínek silně souvisí s počtem zrn. Počet zrn (grain number) je determinován:

- Počtem klasů
- Plodností klasů
- Délka doby růstu klasů

Dle jejich výzkumu byla výnosnost pšenice ovlivňována všemi třemi vlastnostmi, avšak neovlivňují výnos stejnou měrou. Význam pro výnos se snižuje ve směru počet klasů > plodnost klasů > délka doby růstu klasů. Utváření těchto jednotlivých vlastností je závislé na vlivu prostředí.

Meziroční změny ve výnosech pšenice jsou pozorovatelné v mnohých regionech světa. Rozdíly ve výnosech se odvíjejí od počtu zrn na jednotku plochy. Nejvíce tedy záleží na období počátkem prodlužování stonku a krátce po odkvětu, kdy nastává plnění zrna. V tuto dobu záleží na množství dostupné vody a všech živin, které jsou předpokladem pro dobrý výnos plodiny. Negativně se na výnosech pšenice také odráží nadměrné množství srážek v konečných vývojových stádiích (Wojcik-Gront 2018).

### 3.2.2 Ječmen jarní

Ječmen jarní (*Hordeum vulgare* L.) je opět obilninou. Ječmen spolu s pšenicí jsou dvě nejstarší zemědělské plodiny, které lidé pěstují. Obě dvě rostliny patří do čeledi lipnicovitých (*Poaceae*). Jak již bylo vysvětleno v předchozí podkapitole je pro hospodářskou produkci této skupiny rostlin podstatná tvorba obilek v klasu. Šlechtěním bylo dosaženo, že u současných druhů obilnin je zvýšena distribuce asimilátů ve prospěch hospodářsky významných orgánů, tzn.: zrna (Petr et al. 1987, Čurn 1998, Nátr 2002).

U ječmene je kromě výnosu zrna hleděno především na jeho kvalitu. Kvalita je determinována rozsáhlým souborem znaků a vlastností, které jsou ovlivňovány agrotechnologickými podmínkami, zejména počasím (Petr et al. 1987; Cammarano et al. 2019). Podle výzkumu Cammarano et al. (2019) je výnos ječmene ohrožován zejména klimatickými

změnami. Podle predikce může dojít ke snížení výnosů mezi 8–25 % díky negativním vlivům změn klimatických podmínek. Signifikantními riziky jsou vysoké teploty a nedostatek půdní vláhy. V České republice je kvalita zrna důležitá především pro pivovarnický průmysl. Pro ten je stěžejní vlastnost – obsah bílkovin v zru. Ta je ovlivňována množstvím dostupné vody pro rostlinu a teplotou. Bohužel agrotechnické podmínky tuto vlastnost ovlivňují daleko více než odrůdové vlastnosti (Petr et al. 1987).

Vliv počasí na výnos a kvalitu zrna u ječmene lze do jisté míry ovlivnit vhodným výběrem pozemku, kde je nejvyšší pravděpodobnost výskytu vhodného počasí (Petr et al. 1987, Hrubý & Javůrek 2008). Další zlepšení ve výnosech i kvalitě zrna přináší kvalitní založení porostu, např.: eliminace tvorby kolejí a nerovností pojezdem techniky, doporučuje se při přípravě půdy, co nejvíce snížit počet pojezdů po pozemku a nejlépe slučovat činnosti do jedné operace včetně setí. Je důležité i vhodně zvolit systém zpracování půdy (Hrubý & Javůrek 2008). V ČR se převážně pěstuje jarní forma, u níž je důležité dodržet agrotechnické termíny výsevu. V případě, že počasí na jaře neumožňuje včasné zasetí, bude to mít zcela zaručeně vliv na výnos, jelikož se nám zkracuje vegetační doba.

### 3.2.3 Řepka olejná

Řepka olejná (*Brassica napus* L. var. *napus*) je rostlina z rodu brukev spadající do čeledi brukvovité (*Brassicaceae*). Patří do deseti nejvýznamnějších pěstovaných zemědělských plodin na světě a Česká republika v současnosti patří mezi největší evropské producenty. Výnos u řepky může být velmi variabilní a záleží na mnohých faktorech. Přírodní podmínky a agronomické faktory mezi sebou vzájemně interagují a tím determinují výnos. V zásadě lze říci, že výnos řepky (i ostatních plodin) je výsledkem rychlosti růstu a trvání vegetačního období (Rathke et al. 2006). V posledních 15 letech došlo k výraznému nárůstu počtu pěstovaných odrůd. Wałkowski (2011) ve svém článku uvádí, že výběr vhodné odrůdy je nejlevnějším intenzifikujícím prvkem technologie pěstování řepky. Existuje odhad, že při vhodném výběru odrůdy lze dosáhnout o 10-12% nárůstu hektarového výnosu.

Vhodným stanovištěm pro řepku jsou lokality, kde se nacházejí hluboké strukturní půdy s dobrým přísunem vláhy. Na takovýchto půdách se snižuje vliv počasí na výnos. Na lehčích písčitéch půdách je řepka více závislá na množství a rozdělení srážek během vegetace (Petr et al. 1987; Sharif et al. 2017). Písčité půdy se vyznačují nižší zadržností vody, oproti půdám hlinitým, čímž se zvyšuje riziko nedostatku vody. Taktéž mají tyto půdy nižší schopnost zadržovat živiny v půdě, tudíž je zde potencionální možnost i nedostatku živin (Sharif et al. 2017). Jako nevhodné se jeví těžké půdy, kde řepka trpí nedostatkem vody (Petr et al. 1987, Smutný 2008). I když jde o plodinu, která je do jisté míry přizpůsobivá podmínkám je pro řepku zcela nevhodné:

- Pěstování na půdách, které jsou na podzim nebo na jaře zamokřené déle než týden, v takových to podmínkách vyhnívá.
- Pěstování v lokalitách s vyskytujícími se holomrazy klesající pod -15 až -20 °C, zde řepka vymrzá.
- Pěstování v lokalitách, kde leží sníh na povrchu déle než dva měsíce nebo v lokalitách, kde sníh odtává déle než dva týdny a ledovátí, zde řepka taktéž vymrzá.



- Pěstování na pozemcích s obsahem reziduí, především sulfonylmočoviny, která má dlouhotrvající reziduální účinky.
- Pěstování na těžkých půdách, jež nesprávnou přípravou zhrudovatěly, na takových to půdách řepka trpí suchem a nevzejde.
- Pěstování na půdách, kde byla vyorána mrtvina, zde opět řepka nevzchází (Smutný 2008)

Hospodářský výnos u řepky tvoří semena. Ty mohou tvořit 28 až 50 % z celkové nadzemní biomasy (Rathke et al. 2006). Výnosotvornými prvky je počet rostlin na plochu, počet šesulí na rostlinu, počet semen na šesuli a HTS. Svůj vliv na výnos má dusík a jeho dostupnost během růstu a vývoje řepky. To dokazuje experiment Allena a Morgana (1972), že po aplikaci dusíku se zvýšil počet semen, díky vyššímu počtu lusků na jednu rostlinu. Nižší obsah dusíku v půdě znamená menší hustotu porostu a sluneční záření není efektivně využito rostlinami. Je pohlceno půdou a zůstává fotosynteticky nevyužité. Vyšší množství dusíku znamenalo efektivnější růst listů, čímž se zvýšila velikost asimilačního aparátu. To potvrzuje i ve své knize Nátr (2002), který uvádí, že jakákoli fotosyntetická produkce je podmíněna absorpcí záření fotosyntetickou strukturou. A není to podstatou zajištění výnosů u řepky olejné, ale i ostatních zemědělských plodin. Řídké porosty nejsou schopné dostatečně zachytit sluneční záření a zužitkovat ho.

Málo husté porosty snižují dobrou kompenzační vlastnost, kterou se řepka vyznačuje. V případě nerovnoměrných porostů tuto vlastnost nemůže efektivně využít. Křeček et al. (2014) ve svém článku uvádějí, že organizace porostu a jeho způsob založení může mít významný vliv na tvorbu výnosotvorných prvků a ve výsledku může být ovlivněn i celkový výnos. A to zejména proto, že výnosotvorné prvky jsou ve vzájemné interakci. Počty šesulí jsou ve vztahu s množstvím rostlin na plochu. Počet semen v šesuli s HTS.

### 3.2.4 Kukuřice setá (na zrno)

Kukuřice (*Zea mays* L.) je společně s pšenicí a rýží jednou z nejdůležitějších obilnin. V otázce výnosů je tato obilnina nejvýnosnější a poskytuje nám velice dobrý potenciál k jeho vzrůstu. Kukuřice je teplomilnou rostlinou a má své specifické požadavky na teplotu, množství srážek a intenzitu slunečního záření. Nejedná se o naši typicky pěstovanou plodinu. Patří do skupiny C<sub>4</sub> rostlin, které lépe využívají CO<sub>2</sub> a jsou mnohem tolerantnější k asimilačním teplotám. Kukuřice je schopná asimilovat zhruba do hranice 35 °C, na rozdíl od C<sub>3</sub> rostlin, které přestávají asimilovat při teplotách vyšších nad 25 °C. Ke klíčení potřebuje teplotu půdy okolo 7-8 °C a pro růst generativních orgánů jsou ideální teploty od 20 do 24 °C. Kukuřice je hluboko kořenící rostlina s bohatým kořenovým systémem, proto dokáže překonávat krátké období nedostatku vláhy. Avšak má vysoké požadavky na vláhu v době intenzivního růstu a taktéž v době kvetení blizen. Není nijak zvláště náročná na půdní podmínky, přesto však jsou nejvhodnější hluboké strukturní půdy s vyšší přirozenou půdní úrodností a neutrální půdní reakcí. S přibývajícím nadmořskou výškou jsou vhodnější lehčí půdy, které se dříve prohřejí na ideální teplotu pro klíčení (Procházková 2008).

Nástrojem pro zvyšování výnosů z agronomického aspektu je všeobecně u všech rostlin aplikace hnojiv a zavlažování, stejně tomu tak je i u kukuřice. Podle Mueller et al. (2012) zavlažování a aplikace hnojiv vysvětluje ze 60–80 % proměnlivost ve výnosech všech hlavních

plodin. Zhao et al. (2020) prováděli výzkum jehož výsledkem bylo stanovení za jakých podmínek je možné dosahovat u kukuřice nejvyšších výnosů. Výzkum byl prováděn v oblastech, které se v předchozích letech vyznačovaly nízkými a nestabilními výnosy. Vysokých výnosů může být dosahováno v případě, že budou při pěstování respektovány doporučené dávky vstupů dusíku a vody. Díky zavlažování by zemědělství přestalo být závislé na srážkách a počasí, které je v dnešní době čím dál tím více nestabilní a nepředvídatelné. Optimální hospodaření s dusíkatými hnojivy a vodou, by zaručovalo nejen vyšší výnosy a stabilitu, ale také účinné využití zdrojů a snížení ztrát živin a snížení emisí skleníkových plynů. Toto tvrzení potvrzuje ve své studii i Shen et al. (2013) i Wojcik-Gront (2018). Vyplavování dusíku se totiž exponenciálně zvyšuje s jeho množstvím, které je aplikováno. V případě aplikace optimálního množství se toto riziko snižuje. Ke stabilitě výnosů taktéž přispívá i celkový systém hospodaření a využití technologií (Zhao et al. 2020).

Cílem pěstování kukuřice je maximální využití jejího vysokého výnosového potenciálu. Tím lze docílit vhodným výběrem hybridu a zajištěním vhodných pěstitelských podmínek prostřednictvím správných pěstitelských postupů. Otázka správného výběru biologického materiálu je v případě kukuřice rozhodujícím faktorem (Procházková 2008; Zhang et al. 2020).

### 3.2.5 Mák setý

Mák setý (*Papaver somniferum* L.) je olejnina pěstovaná nejen pro svůj olej, taktéž pro zrno, které je v Evropě využíváno k pekařským a cukrářským účelům. Mimo jiné je pěstován pro produkci opia. Česká republika se těší titulu nejvýznamnějšího pěstitel máku. Daří se mu na slunných místech s dobrou strukturou půdy. Pro výnos máku je podstatné jej pěstovat na pozemcích s dobrou zásobou živin. Zcela nevhodné pro pěstování jsou pozemky s těžkými půdami (Pushpangadan et al. 2012). Je plodinou náročnou na živiny. Je třeba dbát a dobrou úroveň obsahu nejen dusíku, fosforu a draslíku, ale taktéž mikroprvků jako je bór (Cihlář et al. 2007).

Z agrotechnického hlediska je třeba dávat pozor na dodržování agrotechnických lhůt pro výsev a zakládání porostů v dostatečné hustotě. Je nutné taktéž podotknout, že mák je velmi citlivý na množství reziduí některých herbicidů aplikovaných u předcházejících plodin. Citlivě reaguje i na půdní změny. A nejen na změny v půdním složení, taktéž na změny ve výživě a klimatu odpovídá snížením výnosů. Vyžaduje hluboké hlinité půdy. Především mladé rostliny preferují provzdušněné a dobře strukturované půdy. Během kultivace půdy je zapotřebí dbát na to, aby nedošlo k velkému rozpadu půdních agregátů, což by v případě dešťů mohlo vést k vytvoření půdní krusty. Vytvoření krusty je velké riziko zvláště při vzcházení rostlin. Při klíčení mák vyžaduje dobré vláhové podmínky, tak aby bylo zajištěno rovnoměrné vzcházení porostů (Dovrtěl 2008). Vzcházení rostlin je velkým problémem redukcí výnos. Dlouhodobě se zatím nedaří problém řešit. Jedinou účinnou obranou je zvyšování produkčních faktorů již vzešlých rostlin. K tomu slouží biostimulanty a listová výživa, na kterou mák dobře reaguje (Agrobiosfer 2018).

Existuje velké množství kultivarů, které lze pěstovat. Záleží pouze k jakému využití bude mák sloužit. Různé druhy obsahují různá množství alkaloidů, buď to pro farmaceutický průmysl nebo pro potravinářské účely, jejichž důvod pěstování v České republice převažuje. Kultivary mají kromě vlivu na množství alkaloidů i vliv na jejich výnos (Stránská et al. 2013).

Podle výzkumů Mahdavi-Damghani et al. (2010) se ukazuje, že mák není rostlinou náročnou na vodu v období po rozkvetu, avšak v případě vystavení dlouhodobějšímu vodnímu stresu během růstu má nižší výnos biomasy, s čím je spjat i nižší hospodářský výnos. V období klíčení do doby kvetení má rostlina podstatně vyšší nároky na vláhu.

### 3.2.6 Cukrovka technická

Cukrovka (*Beta vulgaris* L., var. *Altissima*) je dvouletou rostlinou, jež je pěstována pro svou bulvu. Ta je zásobním orgánem, ze kterého se vyrábí především cukr. Lze ji pěstovat na široké škále typů půd (Olsson et al. 2020). Avšak nejvhodnější pro pěstování jsou strukturní středně těžké půdy (hlinité až jílovitohlinité), dobře propustné a zpracovatelné půdy. Předpokladem pro vysoké výnosy je nejprve výběr vhodné odrůdy s vysokou jakostí, vysokou produktivitou a odolné proti škodlivým činitelům. Cukrovce a jejím výnosům svědčí včasné výsevy, čímž prodloužíme dobu pro tvorbu a následné ukládání zásobních látek (Procházková 2008). Avšak hrozí zde riziko poškození vzešlých rostlin mrazem (Petr et al. 1987).

U cukrovky se zakládání porostu může stát limitujícím faktorem. Mezerovitost nebo naopak hustý porost jsou nežádoucím jevem (Procházková 2008). Pro vzcházení cukrovka potřebuje vhodnou vlhkost a teplotu s dostatkem kyslíku. Nadměrná vlhkost za nepřístupu vzduchu do půdy souvisí s rozvojem takzvané řepné spály, kterou má za následek činnost mnoha fytopatogenních mikroorganismů. Tato houbová choroba má za následek významné snižování počtu rostlin v porostech. U některých rostlin dochází k odumírání. Některé napadané rostliny jsou schopné spálu přežít a dále pokračovat v růstu, avšak nedosahují takových výnosů a jakosti jako rostliny nenapadené. (Bittner 2013). Podle výzkumů švédských vědců Olsson et al. (2019) je účinnou prevencí proti vzniku řepné spály způsobované houbovými patogeny (např.: oomycety *Aphanomyces cochlioides*) vápnění půdy. Ideální hodnota proti šíření těchto patogenů je při obsahu 250 mg Ca na 100g půdy. U některých typů půd se vápněním může dosahovat vyšších výnosů.

Cukrovka je plodinou náročnou na vláhu. Množství srážek není toliko podstatné jako jejich rozdělení během vegetace. Srážky u cukrovky jsou rozhodujícím faktorem pro výnos i jakost cukrovky (Petr et al. 1987; Freckleton et al. 1999). Rozhodujícími měsíci na výnos je především červenec a srpen. V těchto letních měsících nejvíce závisí na průběhu počasí, především na teplotě a dešti. Jak již bylo zmíněno, vegetační doba je taktéž rozhodujícím faktorem pro výnos. Výsledky studie Freckleton et al. (1999), nasvědčují tomu, že ztráty na výnosech vlivem sucha lze minimalizovat maximalizací délky od setí do sklizně.

### 3.2.7 Brambor obecný

Brambor obecný (*Solanum tuberosum* L.) plodina, jež je pěstována pro své hlízy, je citlivá na mráz a vysoké teploty. Výnosnost a jakost brambor se odvíjí od teploty, množství srážek a délce dne. Mimo přírodních podmínek a genetického materiálu mají vliv na výnos brambor pěstitelské úkony jako předklíčení, včasné sázení, závlaha, hnojení atd. (Petr et al. 1987). Lepší rozvoj kořenového systému probíhá v provzdušněných a kyprých půdách. Vláhové požadavky brambor se liší podle pěstované odrůdy, obsahu živin, fázi růstu a teplotě (Petr et al. 1987). Nedostatek půdní vláhy v různých obdobích vývoje se negativně odráží na výnosu brambor. (Iqbal et al. 1999). Avšak je potřeba zdůraznit, že reakce na vláhové poměry není u všech odrůd

brambor stejná. Jedná se o odrůdovou vlastnost a v různých stádiích růstu se může lišit (Petr et al. 1987, Iqbal et al. 1999). Nárok na vodní srážky se mění každý měsíc v každé fázi růstu. Negativní dopad má nedostatek vody a rovněž i přebytek vody, který opět snižuje výnos brambor. Na příklad v období do začátku tvorby pupat nadbytek vláhy vede k nadměrnému rozvoji natě na úkor tvorby hlíz nebo v období intenzivního růstu hlíz zvyšuje riziko rozvoje chorob (Petr et al. 1987). Iqbal et al. (1999) ve své knize uvádějí, že výnos brambor, kvalita, rezistence proti škůdcům a onemocněním je ovlivňována u brambor zejména načasováním a frekvencí zavlažování. Zavlažování a jeho ideální načasování a intenzitu považují za nástroj ke stabilizaci výnosů brambor. Potvrzují, že vliv vodního stresu na výnos se liší podle růstového stádia a uvádějí, že podporou pro výnos je samozřejmě i hnojení.

Pro klíčení jsou klíčovými aspekty přístup vzduchu a teploty. Ideální teplotou pro klíčení brambor je 8-10 °C. Těžké půdy, kde hrozí špatný přístup vzduchu a nízké teploty často vedou k vyhnívání sadby. Vysoká vlhkost půdy je opět nežádoucí, jelikož brambory v takovém to případě vytvářejí mělký kořenový systém. Ten je zcela neefektivní v případě suchých období, nestačí dostatečně zásobovat rostlinu vodou. Hospodářský výnos u brambor je tvořen hlízami. Podstatou jejich zrání je ukládání škrobu. To je pozitivně podporováno slunečním svitem. Ideálně zrání probíhá za přiměřeného tepla a mírného sucha. Výnosovým ukazatelem u brambor je množství hlíz na jednom trsu. Jak již bylo zmíněno, tak negativní vliv má na počet hlíz nadměrný růst natě ve fázi do začátku tvorby pupat vlivem velkého množství srážek. Mimo to záporný účinek má taktéž nadmořská výška, vyšší teploty ve fázi zakládání hlíz. Na hmotnost hlíz mají účinek opět srážky. Je tedy zcela očividné, že na hospodářský výnos a jednotlivé výnosotvorné prvky má zcela zásadní vliv počasí. Tj. způsobeno chronologicky vytvářejícími se výnosovými prvky. Stabilita výnosů u brambor je zajištěn především jejich vyrovnaným poměrem. Agrotechnika tudíž musí reflektovat podmínky pro výnos. Počínaje vhodným výběrem pozemku a odrůdy. Následované správnou přípravou půdy, hnojením, zamezení výparu vody z půdy atd. (Petr et al. 1987).

## 4 Metodika

Časové řady výnosů vybraných plodin v letech 1989-2018 byly analyzovány pomocí míry stability, variačního koeficientu a lineární regrese. Stabilita výnosů dle míry stability a variabilita výnosů dle variačního koeficientu byly hodnoceny v rámci desetiletých období: 1989-1998, 1999-2008, 2009-2018. Vzhledem k tomu, že desetiletá období mohla být pro výsledky zkreslující, byla variabilita výnosů dle variačního koeficientu následně ještě hodnocena v rámci tříletých období, tzn.: 1989-1991, 1992-1994, 1995-1997, 1998-2000, 2001-2003, 2004-2006, 2007-2009, 2010-2012, 2013-2015, 2016-2018. V rámci lineární regrese byly odhadnuty regresní rovnice pro lineární, kvadratický, exponenciální a logaritmický trend, přičemž nejvhodnější trend byl následně vybrán na základě upraveného indexu determinace a zobrazen do spojnicového grafu. Pro plodiny, jejichž výsledky upraveného indexu determinace neodpovídali lineárnímu trendu, byl následně vygenerován graf s lineárním trendem. S cílem jednoznačně zachytit, zdali dochází ke snižování nebo naopak ke zvyšování výnosů vybraných zemědělských plodin ve sledovaném období.

Podle Döering a Reckling (2018) se jako nejvhodnější způsob hodnocení variability výnosů jeví variační koeficient především pro hodnocení v zemědělství. Studie však prokázaly, že některé výsledky mohou být zavádějící. Především pak v případě, že zkoumaný vzorek hodnot má široký rozsah. V takovém to případě má variační koeficient tendenci klesat se zvyšujícím se aritmetickým průměrem (Döering et al. 2015). Variační koeficient je formulován jako směrodatná odchylka dělená aritmetickým průměrem a je vyjádřena v procentech. Vzorec vypadá následovně:

$$v_x = \frac{s_x}{\bar{x}} \cdot 100$$

Obrázek 9 Vzorec pro výpočet variačního koeficientu.  $v_x$  = variační koeficient (%),  $s_x$  = směrodatná odchylka,  $\bar{x}$  = aritmetický průměr.

Míra stability byla matematicky odvozena Zittou roku 1976. Definoval ji jako procentický údaj nebo bezrozměrné číslo, jež slouží k porovnávání úrovně stability dvou či více souborů i se vzájemně odlišnými rozměry zjišťovaných veličin (Švachula & Pulkrábek 1996). Vzorec vypadá následovně:

$$S = \left( 1 - \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n x_i^2}{\left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2} - 1} \right) \cdot 100 \%$$

Obrázek 10 Vzorec pro výpočet míry stability.  $S$  = hodnota míry stability (%),  $x_i$  = šetřená veličina (výnos v  $i$ -tém roce),  $n$  = počet zkoumaných hodnot.

Výpočty míry stability a variačního koeficientu byly provedeny pomocí MS Excel, výpočty lineární regrese pomocí programu STATISTICA ENG 13.

## 4.1 Zdrojová data

Jako výchozí zdrojová data byly použity veřejně dostupná data Českého statistického úřadu (ČSÚ).

### 1. Pšenice ozimá

Rok	Plocha sklizně		
	(ha)	Sklizně (t)	Výnos (t/ha)
1989	812 944	4 031 052	4,96
1990	807 654	4 559 337	5,65
1991	785 881	4 030 072	5,13
1992	734 641	3 330 279	4,53
1993	752 109	3 194 155	4,25
1994	765 659	3 551 666	4,64
1995	794 647	3 693 156	4,65
1996	754 656	3 560 921	4,72
1997	766 269	3 427 413	4,47
1998	847 900	3 637 835	4,29
1999	744 577	3 549 670	4,77
2000	886 562	3 848 694	4,34
2001	870 016	4 305 486	4,95
2002	796 214	3 694 503	4,64
2003	541 696	2 244 457	4,14
2004	801 719	4 775 190	5,96
2005	762 792	3 931 811	5,15
2006	719 520	3 506 252	4,49
2007	750 103	3 761 674	5,01
2008	760 399	4 470 309	5,88
2009	793 472	4 229 261	5,33
2010	785 491	3 992 965	5,08
2011	805 779	4 660 196	5,78
2012	746 002	3 234 859	4,34
2013	788 422	4 530 773	5,75
2014	790 690	5 222 695	6,61
2015	778 200	5 054 658	6,5
2016	809 111	5 315 630	6,57
2017	785 499	4 529 524	5,77
2018	773 678	4 227 344	5,46
$\bar{x}$	<b>777 077</b>	<b>4 003 395</b>	<b>5,13</b>

Tabulka 2 Výnos, plocha sklizně a sklizně pšenice ozimé v letech 1989–2018

## 2. Ječmen jarní

Rok	Plocha sklizně (ha)	Sklizeň (t)	Výnos (t/ha)
1989	357 835	1 476 838	4,13
1990	335 661	1 826 824	5,44
1991	339 744	1 596 946	4,7
1992	438 406	1 651 122	3,77
1993	444 457	1 742 228	3,92
1994	456 246	1 613 534	3,54
1995	368 119	1 322 471	3,59
1996	448 212	1 749 644	3,9
1997	489 441	1 819 737	3,72
1998	391 498	1 367 690	3,49
1999	378 827	1 473 264	3,89
2000	352 892	1 067 912	3,03
2001	338 817	1 270 600	3,75
2002	345 153	1 284 129	3,72
2003	451 137	1 763 404	3,91
2004	353 390	1 734 671	4,91
2005	396 723	1 646 233	4,15
2006	425 633	1 512 851	3,55
2007	369 177	1 270 345	3,44
2008	341 221	1 584 024	4,64
2009	320 207	1 354 278	4,23
2010	278 718	1 088 670	3,91
2011	271 972	1 345 940	4,95
2012	284 326	1 226 082	4,31
2013	242 727	1 119 061	4,61
2014	247 590	1 376 360	5,56
2015	261 406	1 420 443	5,43
2016	221 719	1 207 811	5,45
2017	230 529	1 144 144	4,96
2018	222 122	1 095 472	4,93
$\bar{x}$	<b>346 797</b>	<b>1 438 424</b>	<b>4,25</b>

Tabulka 3 Výnos, plocha sklizně a sklizeň ječmene jarního v letech 1989–2018

### 3. Řepka olejná

Rok	Plocha sklizně (ha)	Sklizeň (t)	Výnos (t/ha)
1989	102 526	313 253	3,06
1990	105 113	304 515	2,9
1991	126 890	348 292	2,74
1992	135 895	292 939	2,16
1993	166 995	377 233	2,26
1994	189 913	451 628	2,38
1995	252 675	662 176	2,62
1996	226 533	520 572	2,3
1997	227 310	560 509	2,47
1998	264 310	680 216	2,57
1999	348 949	931 053	2,67
2000	323 842	844 428	2,61
2001	343 004	973 321	2,84
2002	313 025	709 533	2,27
2003	250 959	387 805	1,55
2004	259 460	934 674	3,6
2005	267 160	769 377	2,88
2006	292 247	880 172	3,01
2007	337 571	1 031 920	3,06
2008	356 924	1 048 943	2,94
2009	354 826	1 128 199	3,18
2010	368 824	1 042 418	2,83
2011	373 386	1 046 071	2,8
2012	401 319	1 109 137	2,76
2013	418 808	1 443 210	3,45
2014	389 298	1 537 320	3,95
2015	366 180	1 256 212	3,43
2016	392 991	1 359 125	3,46
2017	394 262	1 146 224	2,91
2018	411 802	1 410 769	3,43
$\bar{x}$	292 100	850 041	2,84

Tabulka 4 Výnos, plocha sklizně a sklizeň řepky olejné v letech 1989–2018



#### 4. Kukuřice setá (na zrno)

Rok	Plocha sklizně		
	(ha)	Sklizeň (t)	Výnos (t/ha)
1989	41 183	174 596	4,24
1990	30 882	98 381	3,19
1991	34 764	150 280	4,32
1992	30 464	103 720	3,4
1993	32 217	157 045	4,87
1994	26 964	91 396	3,39
1995	26 441	113 274	4,28
1996	33 123	168 684	5,09
1997	41 184	285 199	6,92
1998	32 907	200 562	6,09
1999	39 447	260 495	6,6
2000	47 283	303 957	6,43
2001	61 938	408 653	6,6
2002	70 570	646 234	8,73
2003	85 426	476 371	5,58
2004	89 921	551 628	6,13
2005	98 044	702 933	7,17
2006	89 798	606 366	6,75
2007	111 660	758 781	6,8
2008	113 777	858 407	7,54
2009	105 268	889 574	8,45
2010	103 276	692 589	6,71
2011	121 006	1 063 736	8,79
2012	119 333	928 147	7,78
2013	96 902	675 380	6,97
2014	98 749	832 235	8,43
2015	79 972	442 709	5,54
2016	86 407	845 765	9,79
2017	85 995	588 105	6,84
2018	81 851	489 154	5,98
$\bar{x}$	70 558	485 479	6,31

Tabulka 5 Výnos, plocha sklizně a sklizeň kukuřice seté (na zrno) v letech 1989–2018

## 5. Mák setý

Rok	Plocha sklizně (ha)	Sklizeň (t)	Výnos (t/ha)
1989	7 611	7 890	1,04
1990	9 029	10 164	1,13
1991	9 263	8 054	0,87
1992	11 794	7 878	0,67
1993	8 814	6 890	0,78
1994	28 726	16 471	0,57
1995	34 308	25 023	0,73
1996	14 271	9 654	0,68
1997	16 641	9 515	0,57
1998	27 881	20 524	0,74
1999	45 462	28 509	0,63
2000	29 871	13 607	0,46
2001	33 235	21 294	0,64
2002	29 637	16 918	0,57
2003	38 147	19 544	0,51
2004	27 611	24 821	0,9
2005	44 613	36 418	0,82
2006	57 785	31 591	0,55
2007	56 914	33 101	0,58
2008	69 793	49 428	0,71
2009	53 623	32 692	0,61
2010	51 103	23 690	0,46
2011	31 495	26 918	0,85
2012	18 363	12 814	0,7
2013	20 250	13 911	0,69
2014	27 020	24 665	0,91
2015	32 650	26 743	0,82
2016	35 543	28 574	0,8
2017	32 586	20 048	0,62
2018	26 608	13 666	0,51
$\bar{x}$	31 022	20 701	0,70

Tabulka 6 Výnos, plocha sklizně a sklizeň máku setého v letech 1989–2018

## 6. Cukrovka technická

Rok	Plocha sklizně		
	(ha)	Sklizeň (t)	Výnos (t/ha)
1989	127 054	4 497 016	35,52
1990	118 369	4 017 295	34,01
1991	118 999	4 008 693	33,73
1992	124 218	3 871 493	31,2
1993	106 741	4 308 286	40,37
1994	91 096	3 240 124	35,57
1995	93 104	3 711 602	39,86
1996	103 668	4 315 566	41,63
1997	92 319	3 721 980	40,32
1998	81 409	3 479 426	42,74
1999	59 017	2 690 948	45,6
2000	61 293	2 808 839	45,83
2001	77 712	3 529 005	45,41
2002	77 498	3 832 466	49,45
2003	77 326	3 495 148	45,2
2004	71 096	3 579 278	50,34
2005	65 570	3 495 611	53,31
2006	60 959	3 138 326	51,48
2007	54 272	2 889 871	53,25
2008	50 380	2 884 645	57,26
2009	52 465	3 038 220	57,91
2010	56 388	3 064 986	54,36
2011	58 328	3 898 887	66,84
2012	61 161	3 868 829	63,26
2013	62 401	3 743 772	60
2014	62 959	4 424 619	70,28
2015	57 612	3 421 035	59,38
2016	60 736	4 118 356	67,81
2017	66 101	4 399 521	66,56
2018	64 760	3 724 309	57,51
$\bar{x}$	77 167	3 640 605	49,87

Tabulka 7 Výnos, plocha sklizně a sklizeň cukrovky technické v letech 1989–2018

## 7. Brambor obecný

Rok	Plocha sklizně (ha)	Sklizeň (t)	Výnos (t/ha)
1989	115 446	2 421 765	20,98
1990	109 664	1 755 115	16
1991	113 857	2 043 205	17,95
1992	110 726	1 969 233	17,78
1993	104 931	2 395 810	22,83
1994	76 789	1 231 035	16,03
1995	78 045	1 330 119	17,04
1996	86 548	1 800 272	20,8
1997	72 839	1 401 663	19,24
1998	72 087	1 519 768	21,08
1999	71 505	1 406 832	18,88
2000	69 236	1 475 992	21,32
2001	54 296	1 130 477	20,82
2002	38 311	900 843	23,51
2003	35 984	682 511	18,97
2004	35 973	861 798	23,96
2005	36 072	1 013 000	28,08
2006	30 024	692 174	23,05
2007	31 912	820 515	25,72
2008	29 788	769 561	25,83
2009	28 734	752 539	26,19
2010	27 079	665 176	24,56
2011	26 450	805 331	30,45
2012	23 652	661 795	27,98
2013	23 205	536 450	23,12
2014	23 992	697 539	29,07
2015	22 681	504 955	22,26
2016	23 414	699 605	29,88
2017	23 418	688 970	29,42
2018	22 889	583 560	25,5
$\bar{x}$	53 985	1 140 587	22,94

Tabulka 8 Výnos, plocha sklizně a sklizeň brambor v letech 1989–2018

## 5 Výsledky

### 5.1 Trendová analýza pomocí lineární regrese

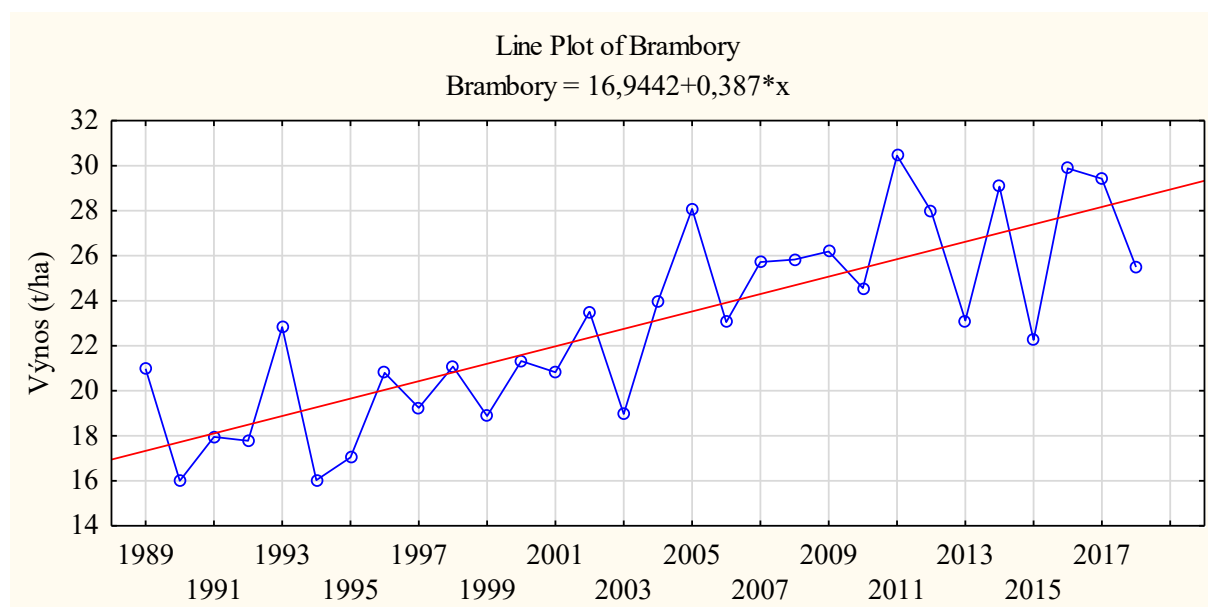
V následující části výstupu je pro výnosy jednotlivých plodin provedena trendová analýza pomocí lineární regrese. V prvním sloupci tabulky je uvedena funkční forma trendu, v druhém sloupci odhadnutá regresní rovnice, kde  $t$  je časová proměnná  $t=1..30$  (odpovídá rokům 1989-2018), ve třetím sloupci tabulky jsou uvedeny  $p$ -hodnoty pro  $t$ -test regresních parametrů a ve čtvrtém sloupci tabulky je uvedena hodnota upraveného indexu determinace.

#### 5.1.1 Brambor obecný

Porovnání trendových funkcí: brambory

trend	Odhadnutá rovnice	$p$ -hodnoty $t$ -test	Upravený $R^2$
<b>lineární</b>	$y = 16,94 + 0,39t$	0,000 ( $t$ )	<b>0,634</b>
kvadratický	$y = 16,71 + 0,43t - 0,0014t^2$	0,069 ( $t$ ) ; 0,842 ( $t^2$ )	0,621
logaritmický	$y = 14,17 + 3,53 \ln t$	0,000 ( $\ln t$ )	0,483
exponenciální	$y = 22,65 + 0,0000e^t$	0,178 ( $e^t$ )	0,031

Pro brambory vychází dle upraveného indexu determinace jako nejvhodnější lineární trend, který vysvětluje 63,4 % variability výnosů. Tento trend byl proložen časovou řadou výnosů ve spojnicovém grafu.



Graf č. 1 Výnosy brambor v období 1989–2018, zachyceno pomocí lineárního trendu.

Výnosy brambor pravidelně rostou po celé období 1989-2018, kdy na začátku sledovaného období se pohybovaly pod 20 t/ha a na konci sledovaného období pod 30 t/ha.

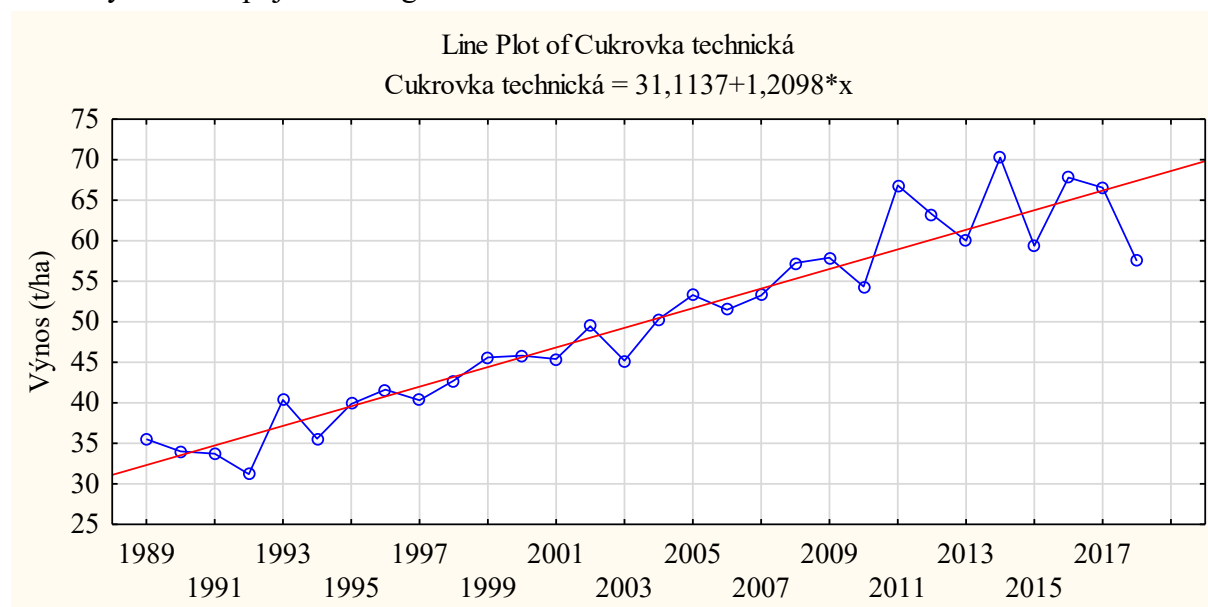
V posledních letech vykazují výnosy brambor vyšší kolísání, například v roce 2015 byl výnos pouze 22 t/ha a v dalším roce 30 t/ha.

### 5.1.2 Cukrovka technická

Porovnání trendových funkcí: cukrovka technická

trend	Odhadnutá rovnice	p-hodnoty t-test	Upravený R2
<b>lineární</b>	$y = 31,11 + 1,21t$	0,000 (t)	<b>0,898</b>
kvadratický	$y = 30,17 + 1,39t - 0,0057t^2$	0,000 (t) ; 0,571 ( $t^2$ )	0,896
logaritmický	$y = 21,44 + 11,42 \ln t$	0,000 ( $\ln t$ )	0,741
exponenciální	$y = 49,02 + 0,0000e^t$	0,142 ( $e^t$ )	0,042

Pro cukrovku technickou vychází dle upraveného indexu determinace jako nejvhodnější lineární trend, který vysvětluje 89,8 % variability výnosů. Tento trend byl proložen časovou řadou výnosů ve spojnicovém grafu.



Graf č. 2 Výnosy cukrovky v období 1989–2018, zachyceno pomocí lineárního trendu.

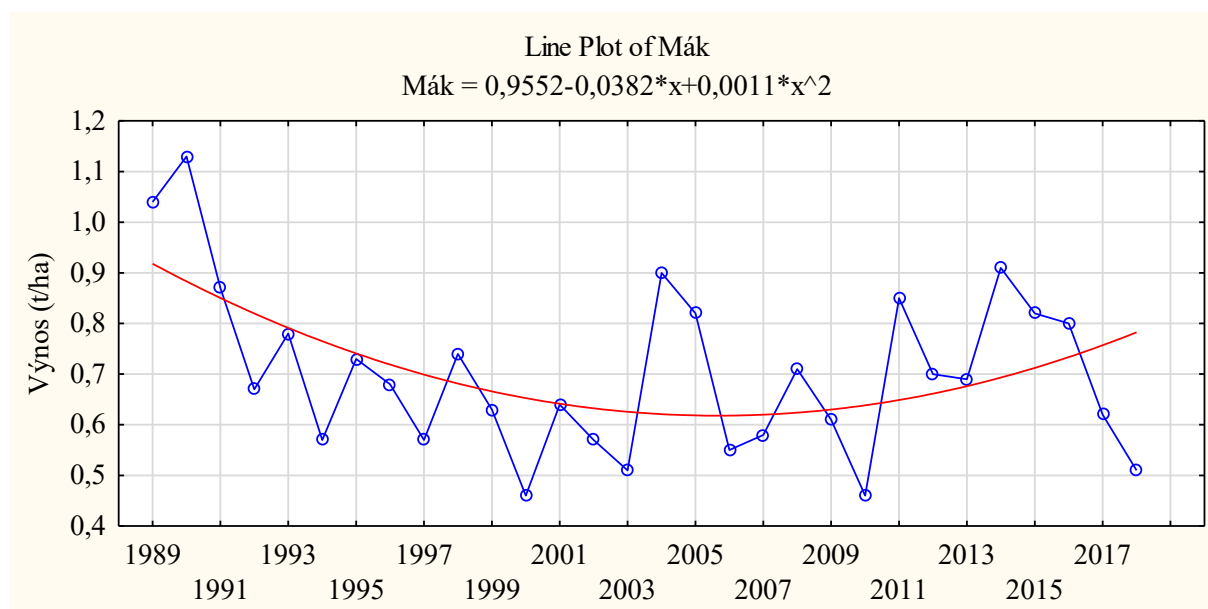
Výnosy technické cukrovky pravidelně rostou po většinu období s minimální variabilitou. V posledních letech však dochází ke stagnaci a zvýšené variabilitě. Na začátku sledovaného období výnosy cukrovky byly okolo 35 t/ha. V roce 2014 výnos dosáhl 70 t/ha, což bylo absolutní maximum ve sledovaném období. Následující rok byl výnos nižší o 10 t/ha. Od roku 2011 jsou rozdíly ve výnosech viditelnější než v předchozích letech. Přesto má však cukrovka nejstabilnější výnosy, což nám dokazují i výpočty míry stability a variačního koeficientu.

### 5.1.3 Mák setý

Porovnání trendových funkcí: mák

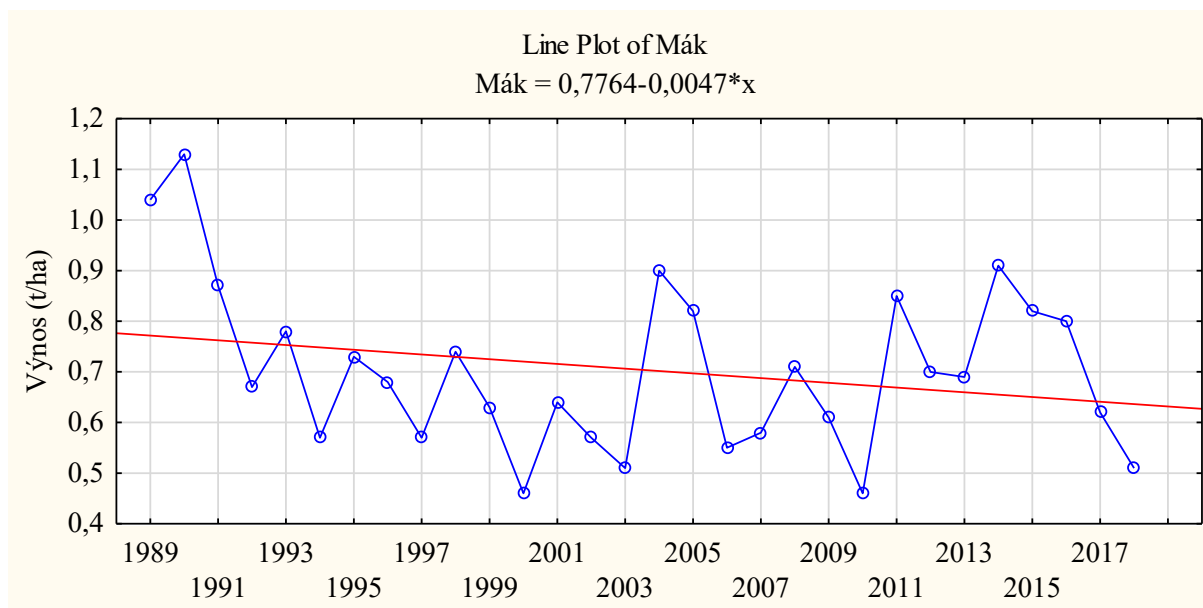
trend	Odhadnutá rovnice	p-hodnoty t-test	Upravený R2
lineární	$y = 0,78 - 0,047t$	0,182 (t)	0,029
<b>kvadratický</b>	$y = 0,96 - 0,038t + 0,0011t^2$	0,006 (t) ; 0,012 ( $t^2$ )	<b>0,209</b>
logaritmický	$y = 0,92 - 0,088 \ln t$	0,011 ( $\ln t$ )	0,181
exponenciální	$y = 0,71 - 0,0000e^t$	0,241 ( $e^t$ )	0,015

Pro mák vychází dle upraveného indexu determinace jako nejvhodnější kvadratický trend, který vysvětluje 20,9 % variability výnosů. Tento trend byl proložen časovou řadou výnosů ve spojnicovém grafu.



Graf č. 3 Výnosy máku v období 1989–2018, zachyceno pomocí kvadratického trendu.

Výnosy máku nebyly kvadratickým trendem optimálně zachyceny, což plyne jednak numericky z faktu, že kvadratickým trendem bylo vysvětleno jen 20,9 % jejich variability a jednak vizuálně, kdy v letech 1992-1997 je trendová křivka nad naměřenými hodnotami (optimálně by hodnoty měly kolem křivky nepravidelně kolísat) a v letech 2011-2016 je trendová křivka pod naměřenými hodnotami. Vhodnější funkční forma pro globální trend však nalezena nebyla, což je dáno povahou dat, kdy v letech 1989-1992 došlo k prudkému poklesu, který byl v letech 1993-2003 vystřídán mírným poklesem, následně stagnací, mírným růstem do roku 2014 a poté opět poklesem do roku 2018. Toto pozorování koresponduje s výsledky míry stability, která byla nejnižší právě pro výnosy máku.



Graf č. 4 Výnosy máku v období 1989–2018, zachyceno pomocí lineárního trendu.

Lineární trend není vhodný, jelikož vysvětluje variabilitu výnosů máku pouze jen z 2,9 %, avšak je zcela očividné, že mák jako jediná plodina z těch, které byly vybrány vykazuje pokles ve výnosech, které jsou značně nestabilní.

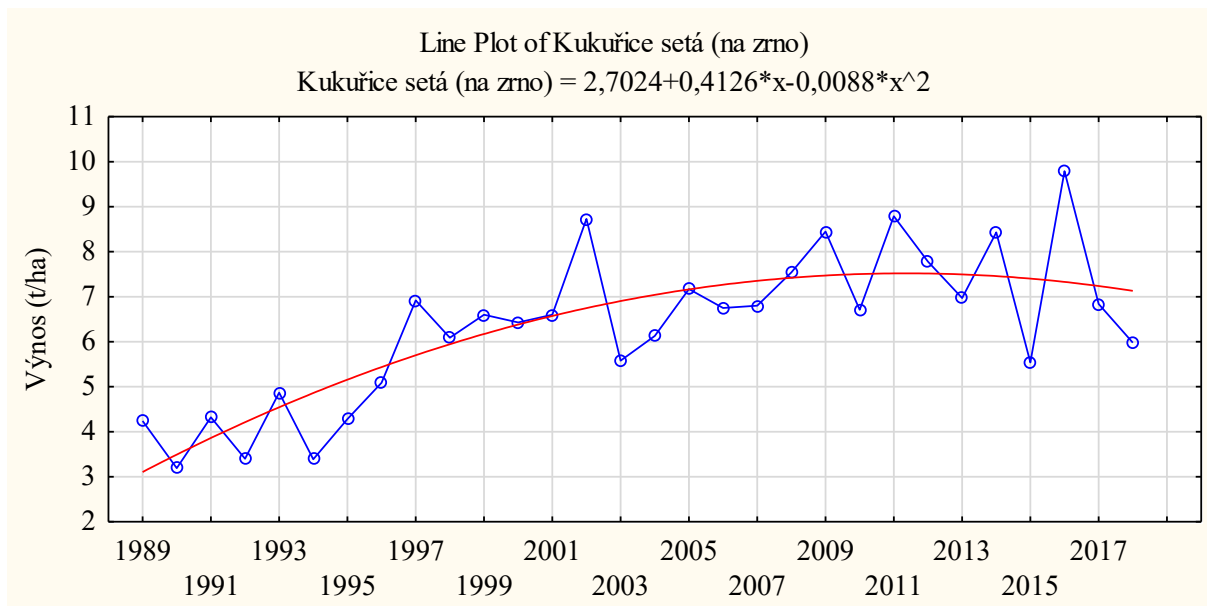
#### 5.1.4 Kukuřice setá (na zrno)

Porovnání trendových funkcí: kukuřice setá (na zrno)

trend	Odhadnutá rovnice	p-hodnoty t-test	Upravený R2
lineární	$y = 4,16 + 0,14t$	0,000 (t)	0,501
<b>kvadratický</b>	$y = 2,70 + 0,41t - 0,0088t^2$	0,000 (t) ; 0,005 ( $t^2$ )	<b>0,618</b>
logaritmický	$y = 2,56 + 1,51 \ln t$	0,000 ( $\ln t$ )	0,555
exponenciální	$y = 6,30 + 0,0000e^t$	0,850 ( $e^t$ )	0,036

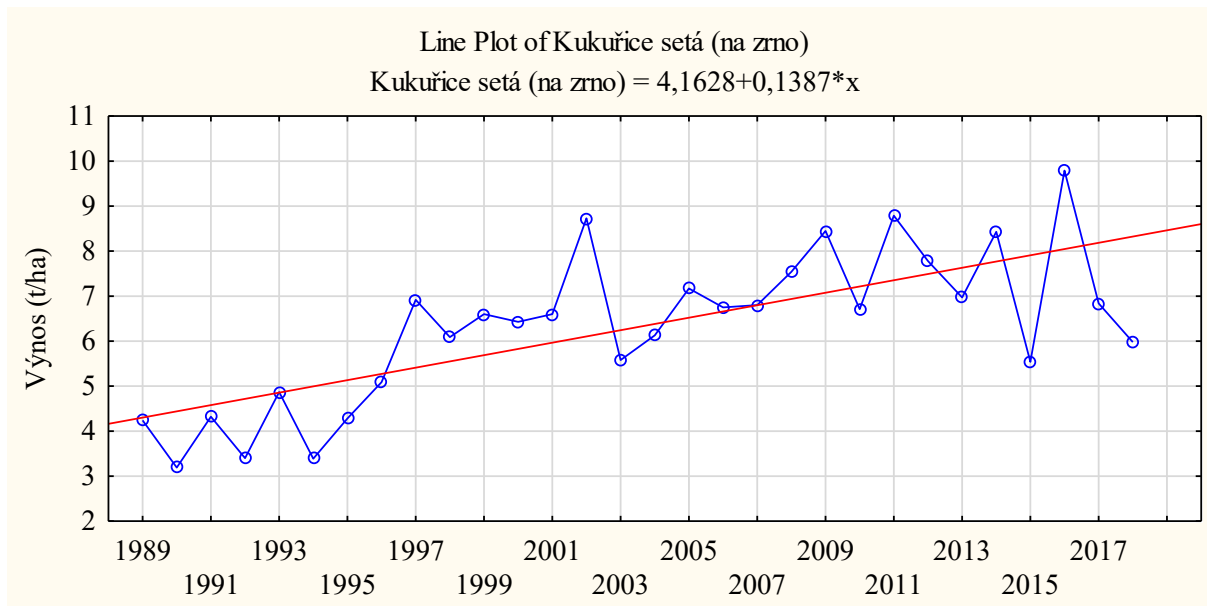
Pro kukuřici setou (na zrno) vychází dle upraveného indexu determinace jako nejvhodnější kvadratický trend, který vysvětluje 61,8 % variability výnosů. Tento trend byl proložen časovou řadou výnosů ve spojnicovém grafu.





Graf č. 5 Výnosy kukuřice v období 1989–2018, zachyceno mocí kvadratického trendu.

Výnosy kukuřice seté (na zrno) korespondují s kvadratickým trendem daným konkávní křivkou, která vyjadřuje postupné zpomalování růstu výnosů v letech 1989-2009 až po jejich stagnaci v letech 2010-2018.



Graf č. 6 Výnosy kukuřice v období 1989–2018, zachyceno pomocí lineárního trendu.

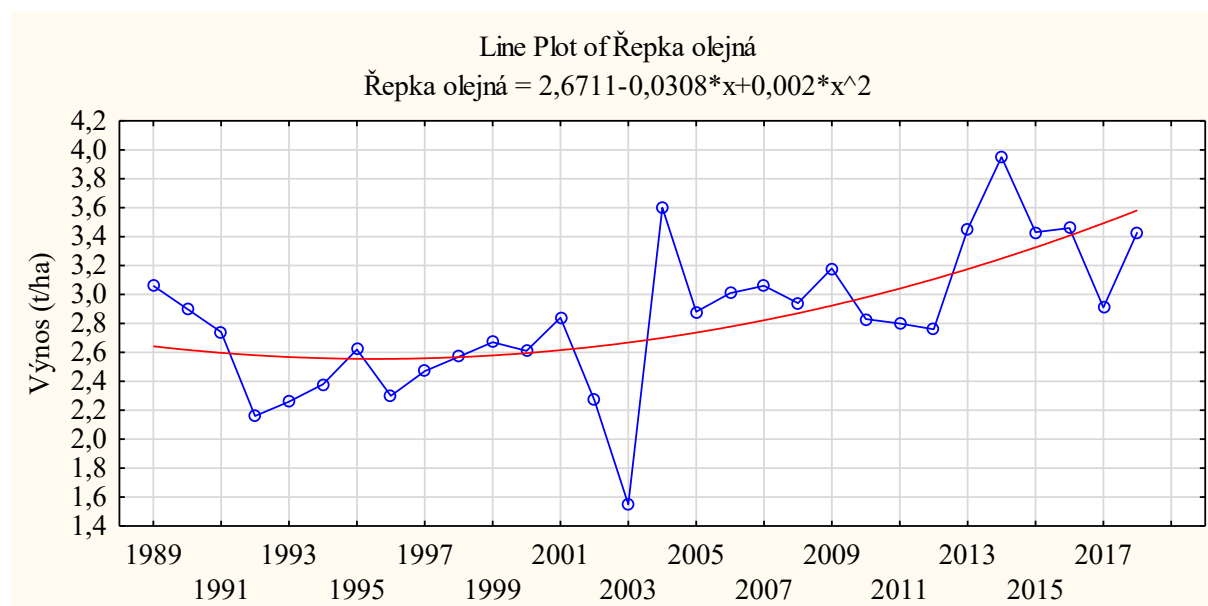
Lineární trend pro výnosy kukuřice nekoresponduje. Jako ideální se jeví kvadratický trend, který vysvětluje 61,8 % variability výnosů na rozdíl od lineárního, který ji vysvětluje jen z 50,1 %. Potvrzuje však, že kukuřice vykazuje nárůst ve výnosech ve sledovaném období i přes období stagnace pozorované v poslední dekádě sledovaného časového úseku 30-ti let.

### 5.1.5 Řepka olejná

Porovnání trendových funkcí: řepka olejná

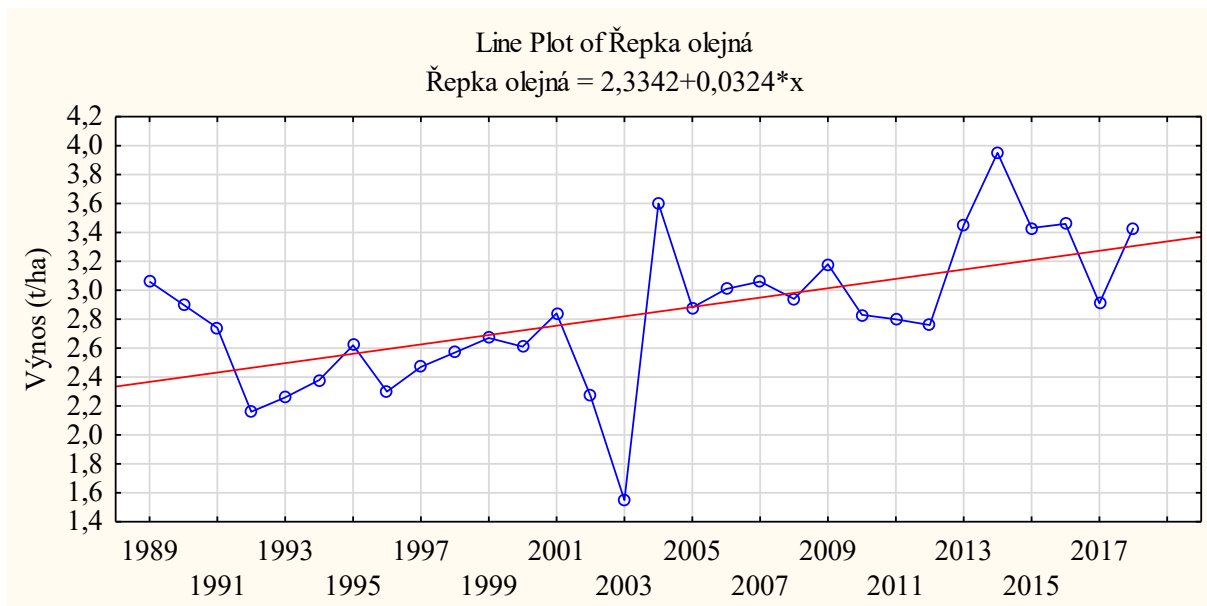
trend	Odhadnutá rovnice	p-hodnoty t-test	Upravený R2
lineární	$y = 2,33 + 0,032t$	0,001 (t)	0,305
<b>kvadratický</b>	$y = 2,67 - 0,031t + 0,0020t^2$	0,382 (t) ; 0,071 ( $t^2$ )	<b>0,363</b>
logaritmický	$y = 2,28 + 0,22 \ln t$	0,038 ( $\ln t$ )	0,114
exponenciální	$y = 2,80 + 0,0000e^t$	0,143 ( $e^t$ )	0,042

Pro řepku olejnou vychází dle upraveného indexu determinace jako nejvhodnější kvadratický trend, který vysvětluje 36,3 % variability výnosů. Tento trend byl proložen časovou řadou výnosů ve spojnicovém grafu.



Graf č. 7 Výnosy řepky olejné v období 1989–2018, zachyceno pomocí kvadratického trendu..

Výnosy řepky olejné korespondují s kvadratickým trendem daným konvexní křivkou, který vyjadřuje mírné zrychlování růstu výnosů v celém období. V roce 2003 nastal velký výkyv, kdy výnos byl přibližně o 1 t/ha nižší než výnosy v předchozích letech. Naopak v roce 2004 byl výnos téměř o 1 t/ha vyšší než předchozí roky. Díky těmto markantním rozdílům ve výnosech řepky druhá dekáda (1999–2008) vykazuje nejvyšší míru variability za celé sledované období. To koresponduje i s ostatními grafy výnosu míry stability a variačních koeficientů.



Graf č. 8 Výnosy řepky olejné v období 1989–2018, zachyceno pomocí lineárního trendu.

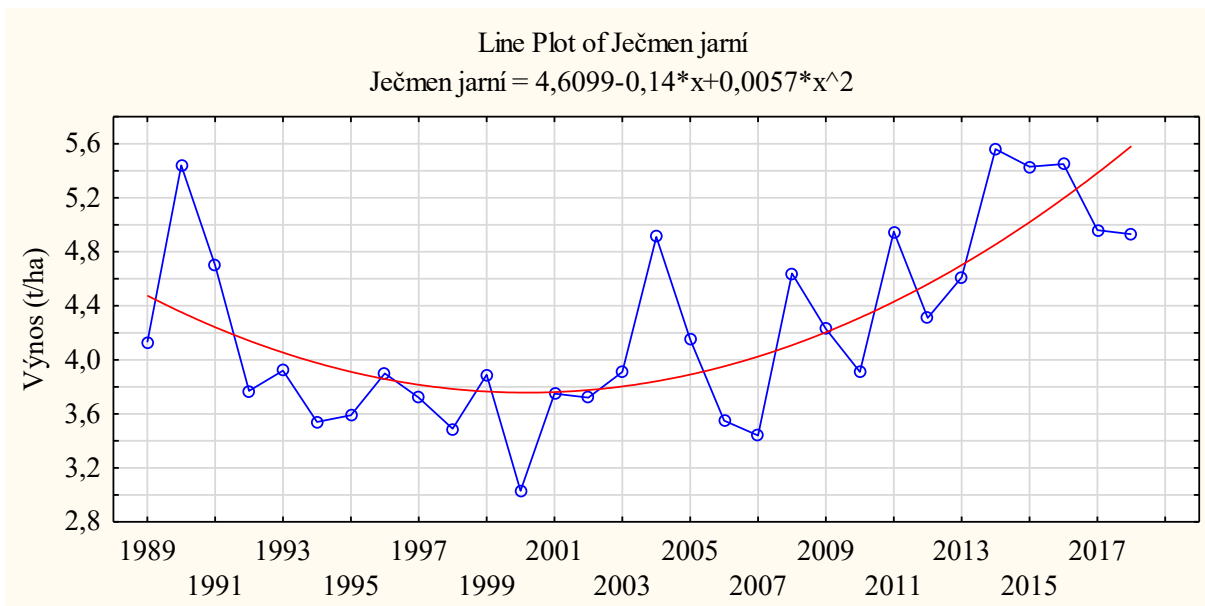
Lineární trend opět zachycuje stálý růst výnosů řepky olejné, avšak výnosy s ním nekorrespondují. Lineární trend vysvětluje 30,5 % variability výnosů. Kvadratický trend variabilitu vysvětluje o něco lépe z 36,3 %.

### 5.1.6 Ječmen jarní

Porovnání trendových funkcí: ječmen jarní

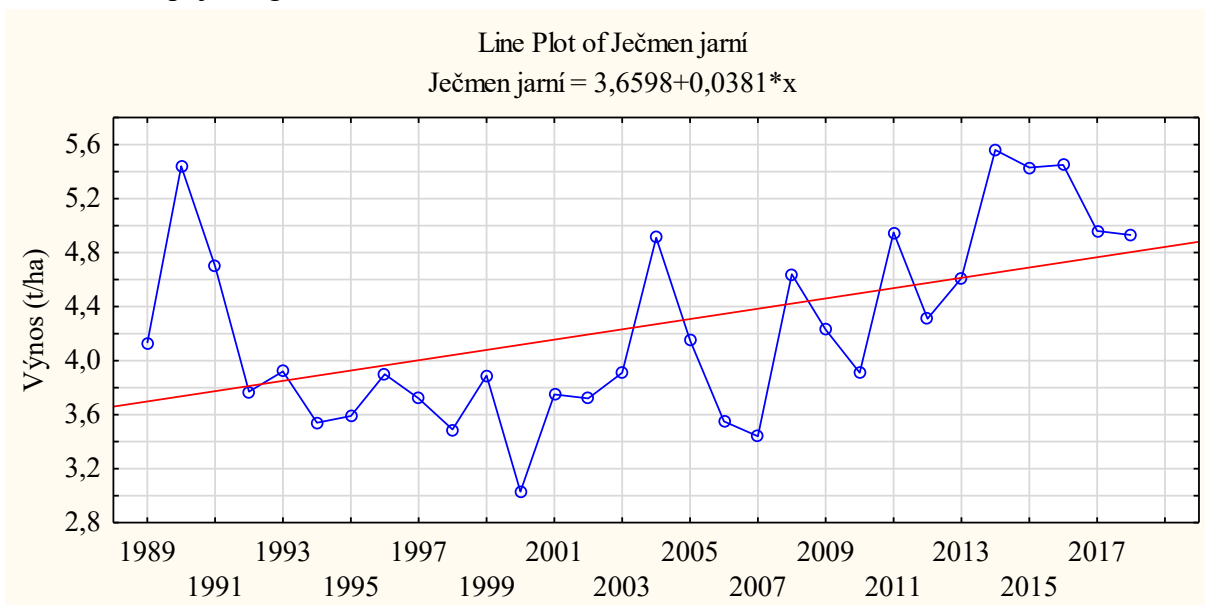
trend	Odhadnutá rovnice	p-hodnoty t-test	Upravený R2
lineární	$y = 3,66 + 0,038t$	0,007 (t)	0,204
<b>kvadratický</b>	$y = 4,61 - 0,14t + 0,0057t^2$	0,003 (t) ; 0,000 ( $t^2$ )	<b>0,510</b>
logaritmický	$y = 3,78 + 0,19 \ln t$	0,223 ( $\ln t$ )	0,019
exponenciální	$y = 4,19 + 0,0000e^t$	0,106 ( $e^t$ )	0,060

Pro ječmen jarní vychází dle upraveného indexu determinace jako nejvhodnější kvadratický trend, který vysvětluje 51 % variability výnosů. Tento trend byl proložen časovou řadou výnosů ve spojnicovém grafu.



Graf č. 9 Výnosy ječmene jarního v období 1989–2018, zachyceno pomocí kvadratického trendu.

Vývoj výnosů ječmene jarního koresponduje s kvadratickým trendem daným konvexní křivkou, kdy počáteční pokles postupně přecházel v růst. V posledních letech (2014–2018) se zdá, že nastupuje stagnace.



Graf č. 10 Výnosy ječmene jarního v období 1989–2018, zachyceno pomocí lineárního trendu

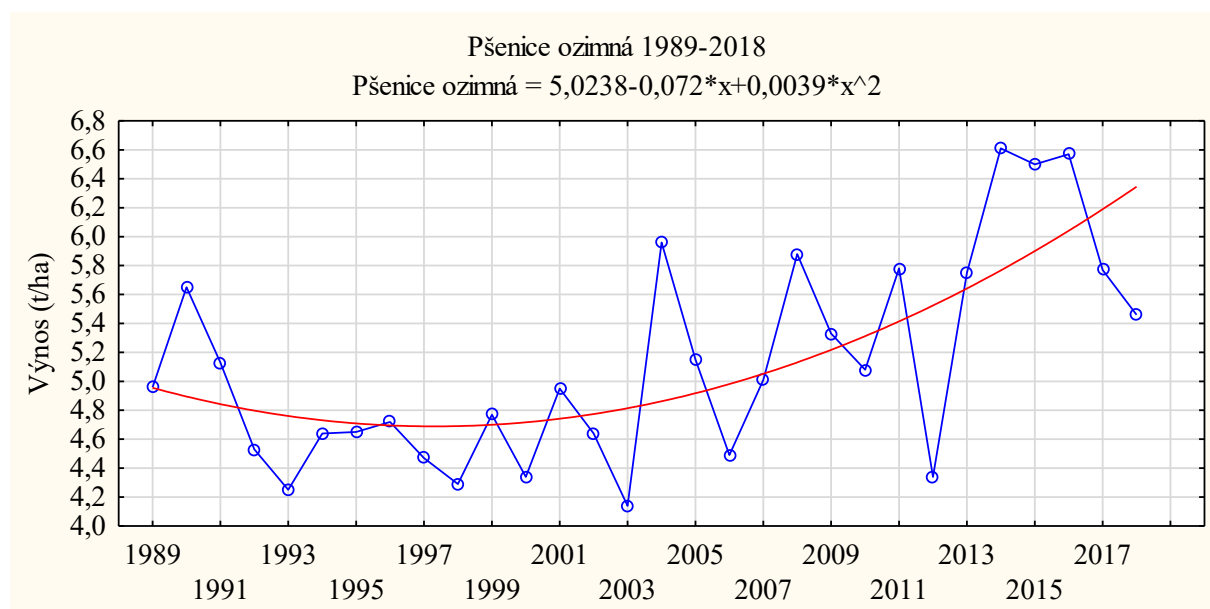
Výnosy ječmene jarního za posledních 30 let stouply, i když v první dekádě a na začátku druhé dekády je viditelný pokles, který je následovně vystřídán vzestupem výnosů. Lineární trend opět adekvátně nepopisuje variabilitu ve výnosech. Vysvětluje ji pouze z 20,4 % na rozdíl od kvadratického trendu, který ji vysvětluje 51 % variability výnosů, právě díky prvotnímu poklesu a pak následnému růstu.

### 5.1.7 Pšenice ozimá

Porovnání trendových funkcí: pšenice ozimá

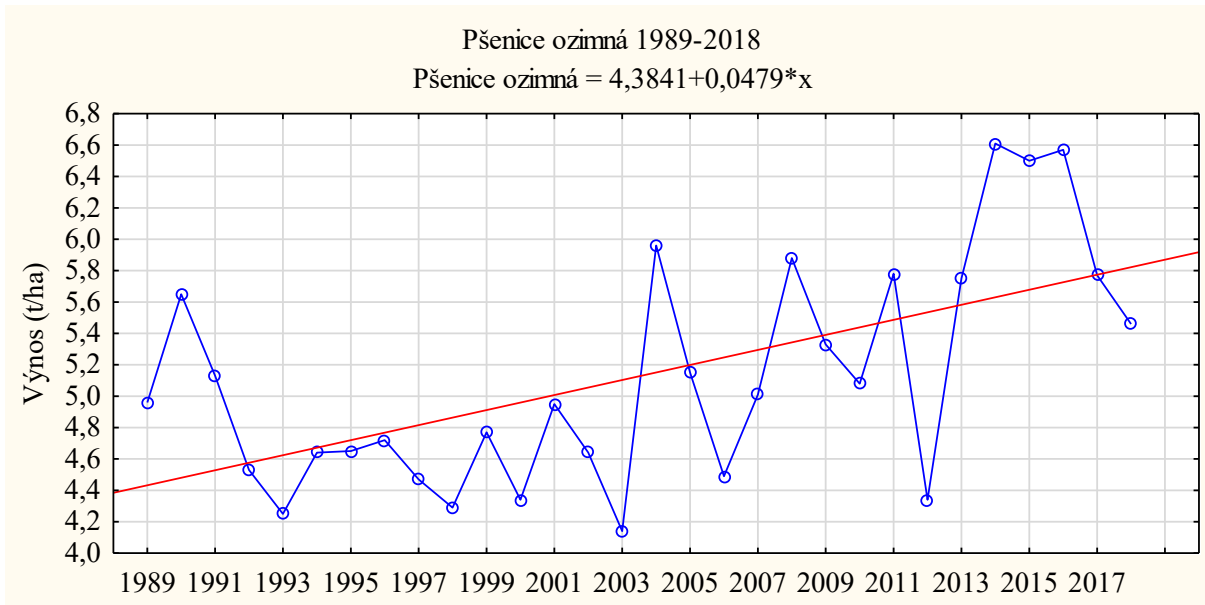
trend	Odhadnutá rovnice	p-hodnoty t-test	Upravený R2
lineární	$y = 4,38 + 0,048t$	0,001 (t)	0,320
<b>kvadratický</b>	$y = 5,02 - 0,072t + 0,0039t^2$	0,137 (t) ; 0,014 ( $t^2$ )	<b>0,439</b>
logaritmický	$y = 4,32 + 0,33e^t \ln t$	0,036 ( $\ln t$ )	0,238
exponenciální	$y = 5,08 + 0,0000e^t$	0,254 ( $e^t$ )	0,012

Pro pšenici ozimou vychází dle upraveného indexu determinace jako nejvhodnější kvadratický trend, který vysvětluje 43,9 % variability výnosů. Tento trend byl proložen časovou řadou výnosů ve spojnicovém grafu.



Graf č. 11 Výnosy pšenice ozimé v období 1989–2018, zachyceno pomocí kvadratického trendu.

Vývoj výnosů pšenice ozimé koresponduje s kvadratickým trendem daným konvexní křivkou, kdy počáteční pokles postupně přecházel v růst. V posledních letech (2014-2018) se zdá, že nastupuje stagnace, možná i pokles, nicméně více napoví výnosy v dalších letech. Trendu stagnace by odpovídaly výsledky výzkumu Schaubberger et al. (2018), kteří zjistili, že pšenice vykazuje nejvyšší míru stagnace ve výnosech oproti ostatním plodinám.

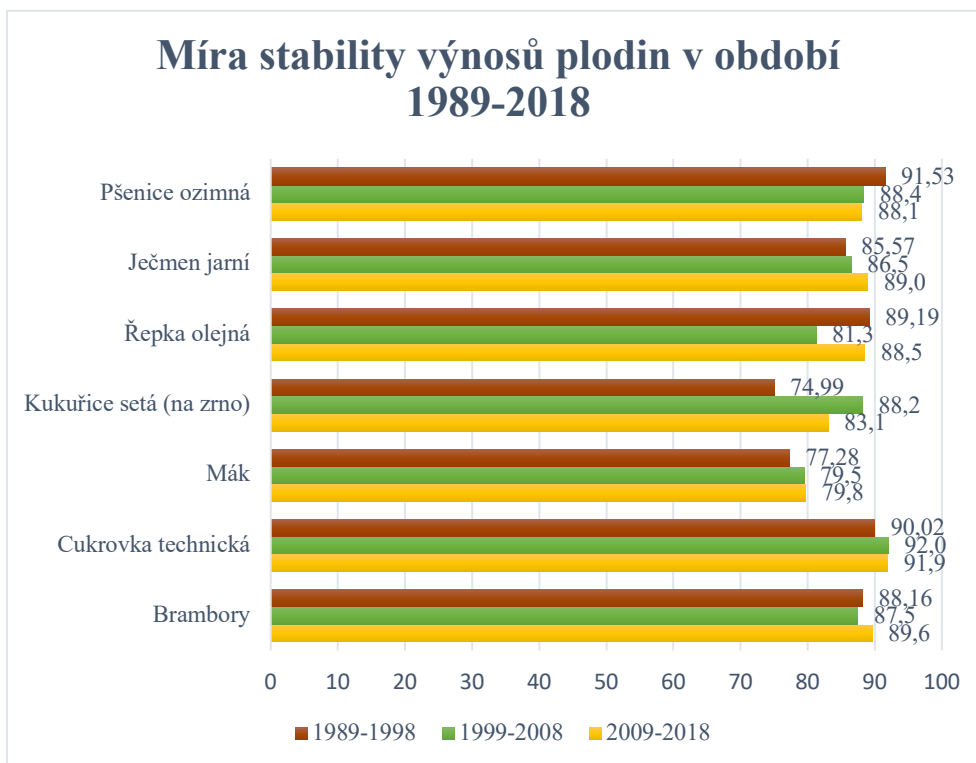


Graf č. 12 Výnosy pšenice ozimé v období 1989–2018, zachyceno pomocí lineárního trendu.

Stejně jako u ječmene jarního sledujeme u pšenice nejprve pokles ve výnosech, který je následně vystřídán růstem. Kvadratický trend variabilitu výnosů popisuje díky propadu a následnému růstu daleko efektivněji. Lineární trend nám však dokazuje, že výnosy pšenice ozimé vzrostly.

## 5.2 Míra stability

Hodnoty míry stability pro jednotlivé dekády a plodiny jsou zobrazeny v následujícím grafu:

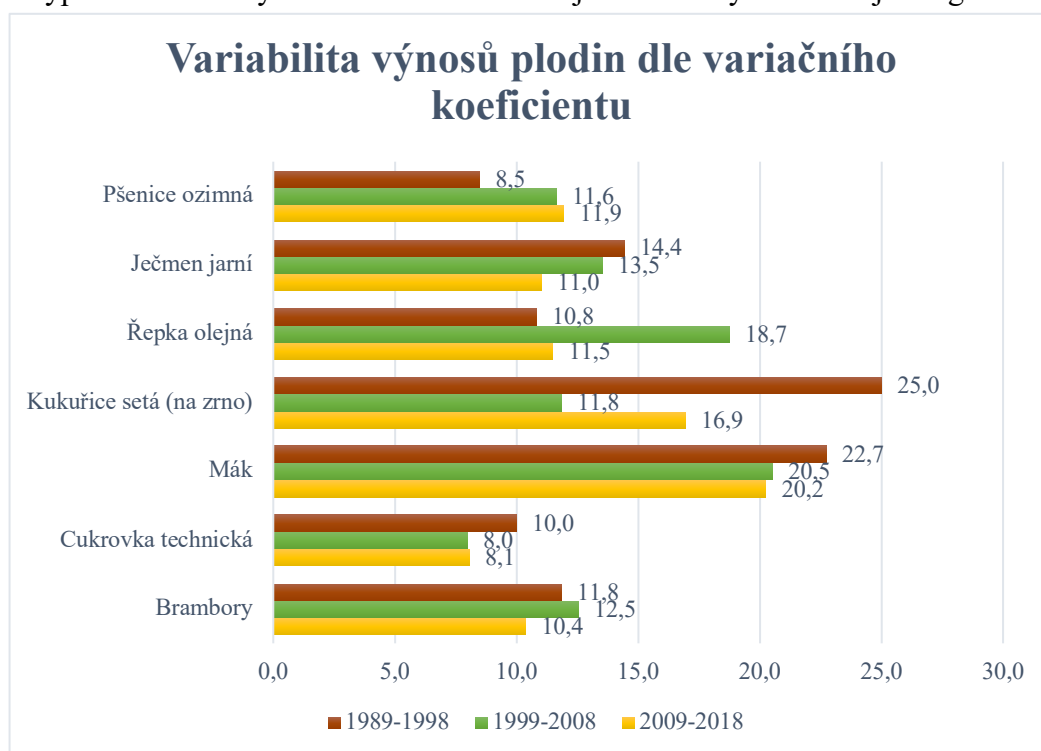


Graf č. 13 Míra stability výnosů zemědělských plodin v období 1989-2018

Stabilita výnosů se pohybuje od 75 do 92 %. Nejvyšší hodnoty byly vypočteny u cukrovky, kde pro všechny dekády byly větší nebo rovny 90%. Naopak nejnižší hodnoty míry stability byly vypočteny u máku, kde pro všechny dekády byly nižší než 80 %. Výkyvy ve stabilitě byly zjištěny u kukuřice seté (na zrno), kde v období 1989-1998 byla vypočtena míra stability výnosů 74,99 %, v období 1999-2008 stabilita vzrostla o 13,2procentního bodu na 88,2 % a poté v období 2009-2018 klesla o 5,1procentních bodů na 83,1 %. Určitý výkyv byl zjištěn také u řepky olejné, kdy v období 1989-1998 byla vypočtena míra stability 89,19 %, poté v období 1999-2008 pokles o 7,9procentního bodu na 81,3 % a poté opětovný nárůst stability o 7,2procentního bodu na 88,5 %.

### 5.3 Variabilita výnosů plodin dle variačního koeficientu

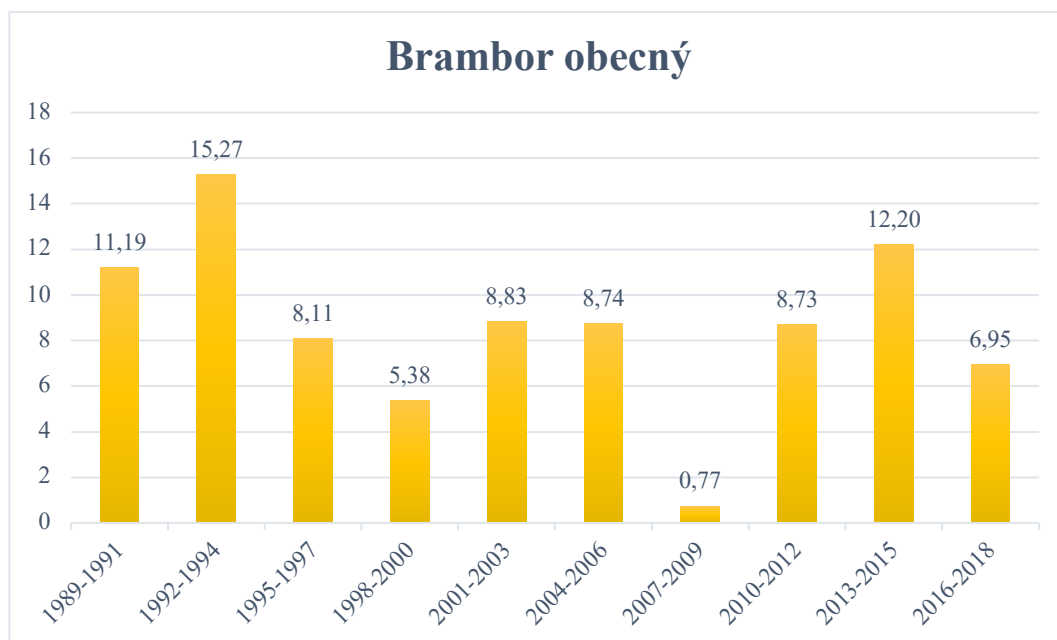
Vypočtené hodnoty variačních koeficientů jsou uvedeny v následujícím grafu:



Graf č. 14 Variabilita výnosů plodin dle variačního koeficientu.

Variační koeficient je procentuální podíl směrodatné odchylky na průměru. Z výsledků plyne, že výnosy brambor kolísaly o 10,4 až 12,5 % svého průměrného výnosu, výnosy technické cukrovky o 8 až 10 % svého průměrného výnosu, výnosy máku o 20,2 až 22,7 % svého průměrného výnosu, výnosy kukuřice seté (na zrno) o 11,8 až 25 % svého průměrného výnosu, výnosy řepky olejné o 10,8 až 18,7 % svého průměrného výnosu, výnosy ječmene jarního o 11,0 až 14,4 % svého průměrného výnosu a výnosy pšenice ozimé o 8,5 až 11,9 % svého průměrného výnosu.

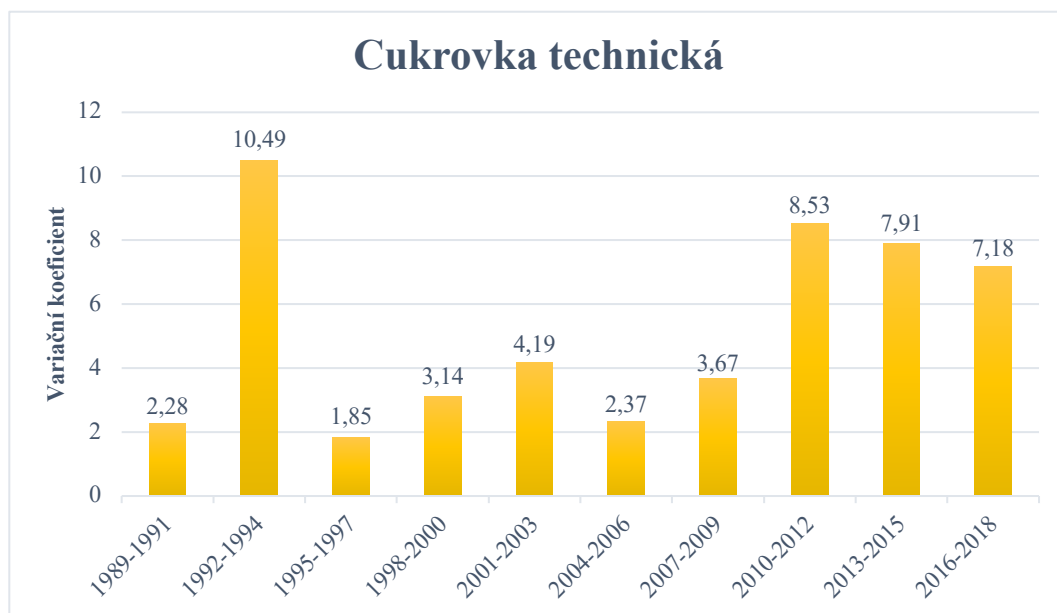
### 5.3.1 Brambor obecný



Graf č. 15 Variabilita výnosů brambor v období 1989-2018.

Z podrobnějších výsledků je patrné, že výnosy brambory kolísaly od 0,77 % do maximálně 15,27 % svého průměrného výnosu. Nejstabilnější bylo tříleté období 2007-2009. Naopak za nejméně stabilnější můžeme označit tříletý úsek 1992-1994.

### 5.3.2 Cukrovka technická



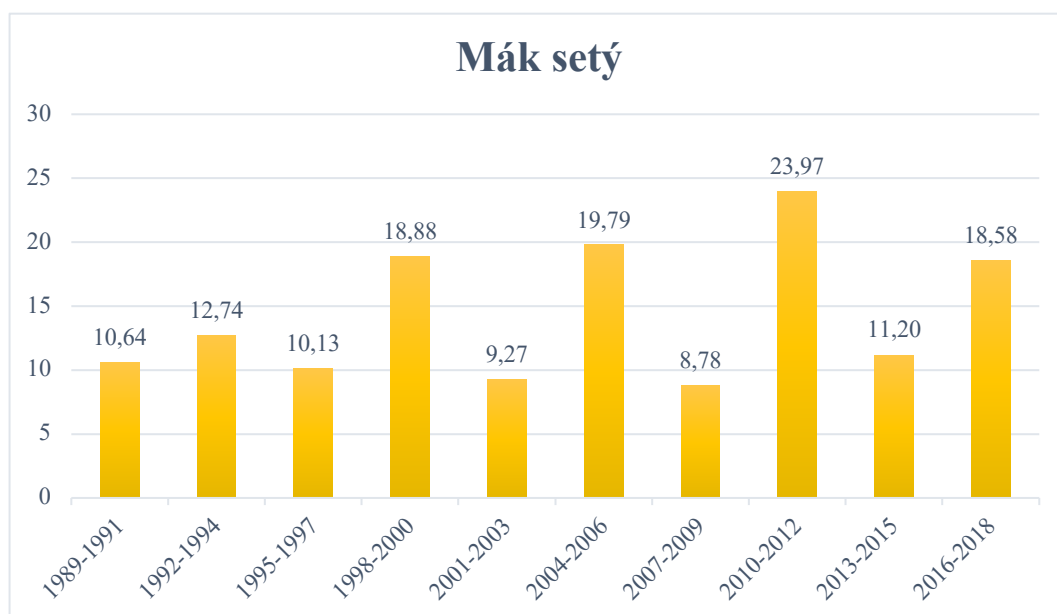
Graf č. 16 Variabilita výnosů cukrovky v období 1989-2018.

Hodnocení po dekádách vyhodnocuje cukrovku jako nejstabilnější plodinu. Tříleté hodnocení tento výsledek potvrzuje. Dochází však k větším výkyvům ve výnosech v poslední dekádě, kde se střídají roky nadprůměrných výnosů s těmi průměrnějšími, kdy rozdíly mezi výnosy některých ročníků jsou až 10t/ha. Variabilita výnosů cukrovky se pohybovala od svého



průměrného výnosu od 1,85 % v tříletém období 1995-1997 do maxima 10,49% v předešlém tříletém období, tzn.: 1992-1994.

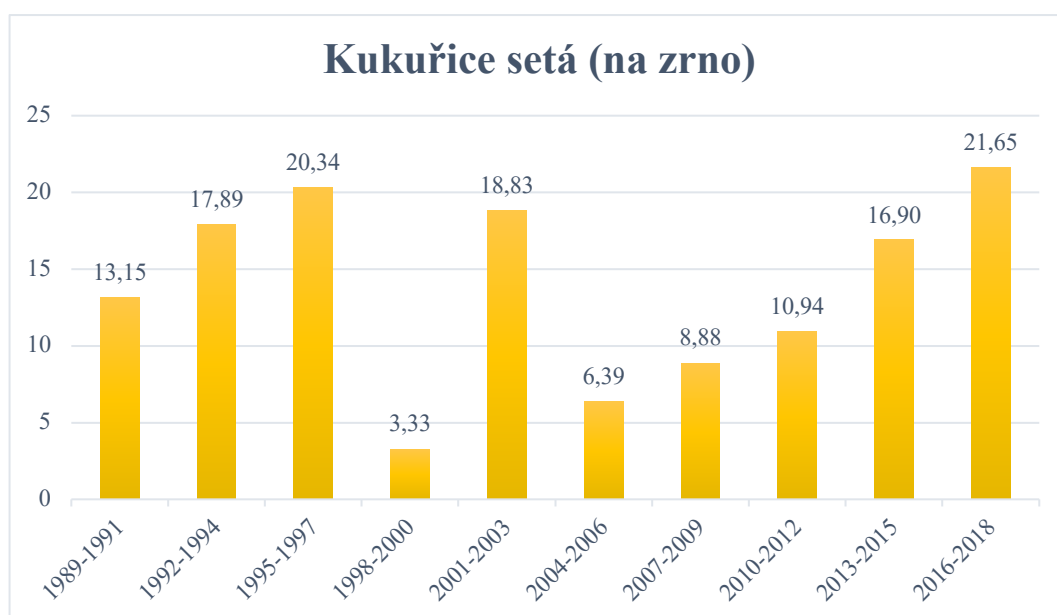
### 5.3.3 Mák setý



Graf č. 17 Variabilita výnosů mák v období 1989-2018.

Výnosy máku jsou značně nestabilní. Nejnižší hodnota variability byla pozorována v tříletém období 2007-2009, kdy výnos kolísá o 8,78 % od svého průměrného výnosu. Jako nejvíce nestabilní plodina byl stanoven mák i ve výsledcích hodnocených po dekadách jak ve výpočtech dle variačního koeficientu, tak i pro míru stability.

### 5.3.4 Kukuřice setá (na zrno)

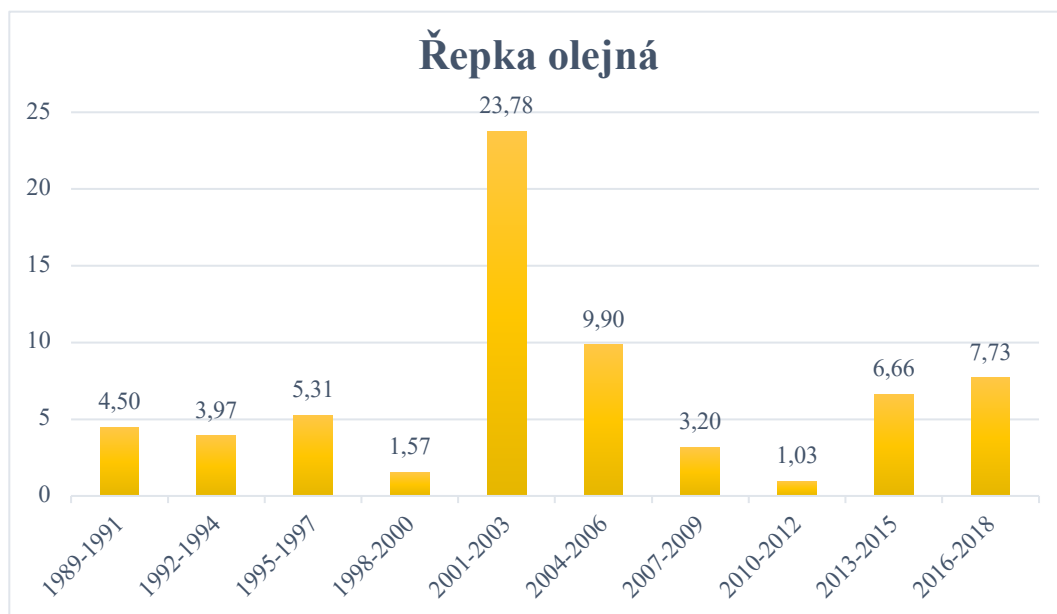


Graf č. 18 Variabilita výnosů kukuřice v období 1989-2018.

Kukuřice setá taktéž vykazuje značnou variabilitu ve výnosech. Variabilita výnosů kolísá od 3,3 % od svého průměrného výnosu do 21,65 %. Variabilita je způsobena především

střídáním velmi dobrých ročníků, kdy je dosahováno vysokých výnosů s ročníky průměrnými, někdy podprůměrnými jako byl rok například rok 2018 nebo 2015.

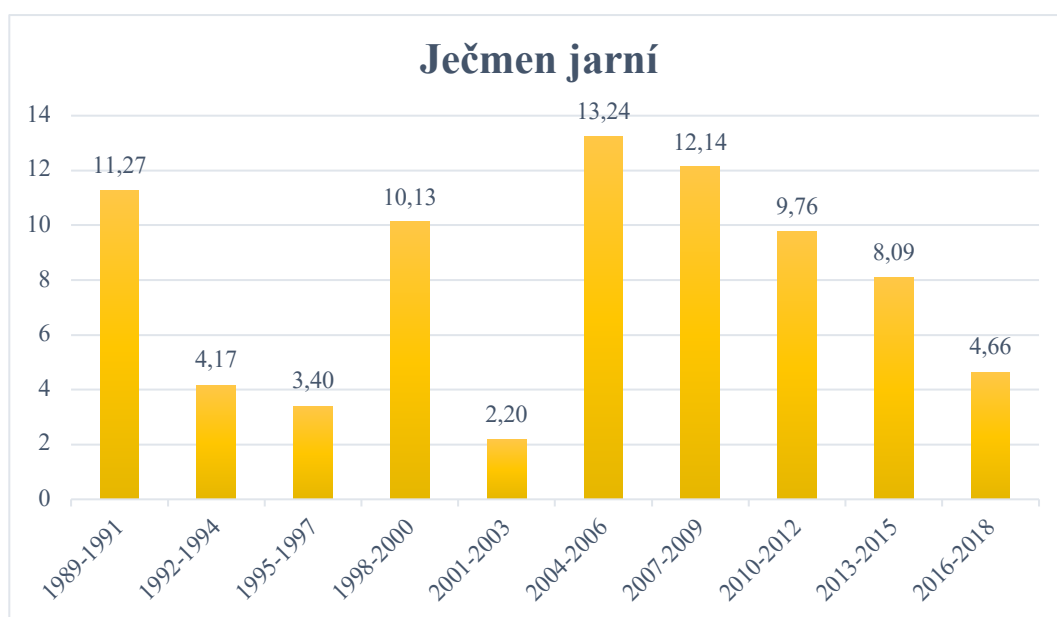
### 5.3.5 Řepka olejná



Graf č. 19 Variabilita výnosů řepky olejné v období 1989-2018.

Mimo tříleté období 2001-2003, kdy v roce 2003 panovaly v České republice velmi špatné klimatické podmínky spadá řepka mezi jedny z nejstabilnějších plodin pěstovaných u nás. Výnosy kolísaly mimo již zmíněné tříleté období 2001-2003 od 1,03 % do maximálně 9,9 % svého průměrného výnosu. Zvýšenou variabilitu můžeme pozorovat v posledních ročnících.

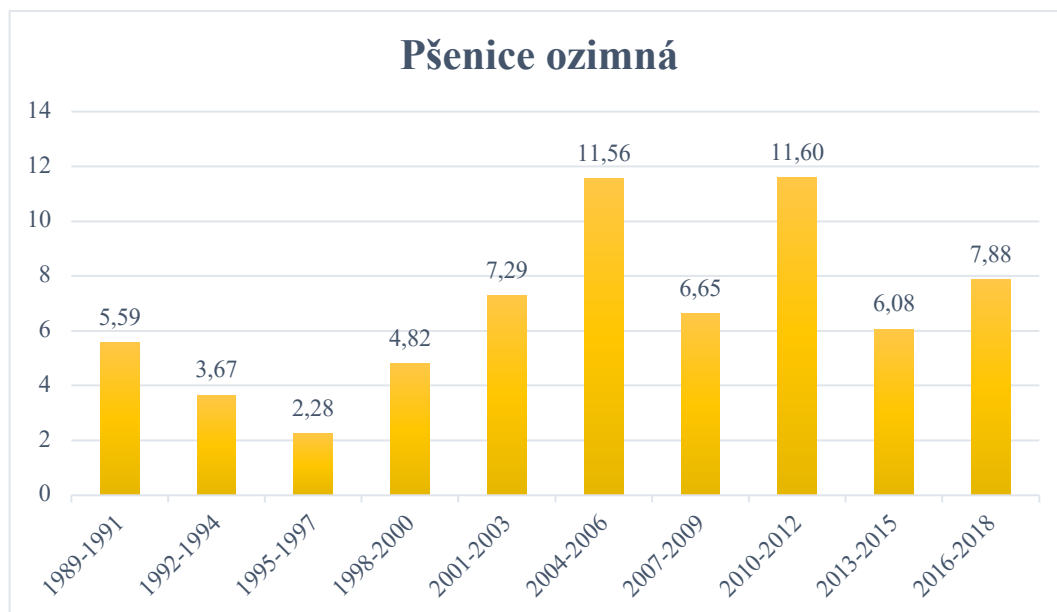
### 5.3.6 Ječmen jarní



Graf č. 20 Variabilita výnosů ječmene jarního v období 1989-2018.

Výnosy ječmene kolísaly od 2,2 % v období 2001-2003 do 13,24 % v období 2004-2006 své průměrného výnosu. To bylo zapříčiněno velkým poklesem ve výnosech roku 2006, kdy byl výnos pouhých 3,55 t/ha oproti roku 2004, kdy byl výnos téměř 5 t/ha.

### 5.3.7 Pšenice ozimá



Graf č. 21 Variabilita výnosů pšenice ozimé v období 1989-2018.

Pšenice kolísala od 2,28 % do 11,6 % svého průměrného výnosu. Stabilnějších výnosů bylo dosahováno v první dekádě sledovaného období. Toto tvrzení potvrzují i grafy č. 13 (míra stability) a 14 (variabilita plodin dle variačního koeficientu, hodnocení po dekádách).

## 6 Diskuze

Na plodiny má vliv mnoho vnějších i vnitřních činitelů. V dnešní době, kdy je k dispozici velké množství poznatků z praxe a vědeckých výzkumů ve výživě rostlin, ochraně rostlin, kultivaci půdy, šlechtění rostlin atd., zůstává počasí tím jediným, co člověk nemůže ovlivnit. Veškerá snaha se upíná ke zvyšování výnosů a udržení jejich stability. A to s ohledem na zvyšování počtu obyvatel na planetě a za druhé s ohledem na měnící se klimatické podmínky. Všechny zásahy člověka v zemědělství jsou prováděny s cílem eliminovat vliv negativních činitelů na výnos. Šlechtíme rostliny, které jsou odolnější. Aplikujeme hnojiva, aby nedostatek živin nelimitoval vývoj rostlin. Používáme ochranné látky pro zamezení šíření škůdců, chorob a plevelů. Díky zkušenostem a výzkumům se neustále zdokonaluje technologie pěstování zemědělských rostlin. Produkce stále roste a tím pádem je zemědělství stále schopné uspokojovat lidské nároky a potřeby. Zvyšování produkce, bylo v dřívějších stoletích otázkou zvyšování rozlohy zemědělské půdy. Dnes toto nepřichází v úvahu a zvyšování produkce je čistě otázkou intenzifikace zemědělské výroby a růstu hektarových výnosů.

Z výsledků je patrné, že i za posledních 30 let se u nás v České republice zvýšil výnos převážné většiny zkoumaných zemědělských plodin. Schauberger et al. (2018) uvádějí že za posledních uplynulých 100 let se zvýšil výnos některých zemědělských plodin až čtyřnásobně. Avšak v posledních letech některé plodiny vykazují rysy stagnace ve zvyšování výnosů. Negativní trend ve zvyšování výnosů plodin dle výsledků vykazuje pouze mák. To vysvětluje Cihlár et al. (2003) ve své práci, kde píše že snižování výnosů a stagnaci jeho výnosů má za následek fakt, že od zavedení velkovýrobní technologie od roku 1974 nedošlo k žádným výrazným změnám v technologii pěstování. Mák je silně ovlivňován průběhem počasí daného ročníku. Potřebuje vhodné klimatické podmínky pro vzejití porostů, a následně i během dalších fází růstu. Výnos je ovlivňován nejen počasím, ale taktéž množstvím škůdců, plevelů, chorob, správnou přípravou půdy, vhodným výběrem osiva či množstvím živin v půdě. Vykazuje velmi značnou variabilitu ve výnosech a jeho výnosovost je značně nestabilní.

Řepka olejná vykazuje mírný nárůst ve výnosech ve sledovaném období 30 let s výkyvy mezi jednotlivými roky. Pokles výnosů v první dekádě zkoumaného období lze s velkou pravděpodobností připsat politickým změnám, které přinesly mnoho proměn v zemědělství. Přejít z centrálně plánovaného hospodářství na tržní ekonomiky ovlivnilo celkové užívání půdy. Pokles objemu produkce byl způsobem omezením podpor zemědělcům, poklesu investic a omezením používání externích vstupů jako jsou hnojiva, pesticidy energie nebo voda (OECD 2008). Tento trend není viditelný jen u řepky, ale i ječmene a pšenice (viz. grafy č. 7, 9 a 11). Vysokých výnosů bylo dosaženo v letech 2013-2016. Tyto čtyři roky se hektarový výnos držel na hranici 3,43 t/ha. V roce 2014 bylo dosaženo nejvyššího výnosu 3,95 t/ha za posledních 30 let. Nejnižší výnos byl zaznamenán v roce 2003 1,55 t/ha. Tento jev je připisován především mimořádnou nepřízní počasí. Díky špatným klimatickým podmínkám na podzim, výkyvům teplot během zimního období i v předjaří byli zemědělci nuceni provést zaorávky 29,4% ploch řepky olejné. Zbylý porost byl velmi nekvalitní a nadále byl sužován nepříznivým počasím, nedostatkem srážek a vysokými teplotami (Potměšilová & Adamec 2004). Výkyvy v ostatních letech jsou některými vědci připisovány především nedodržování osevních postupů, zjednodušování přípravy půdy minimalizací, nedodržování zásad střídání plodin. To vede k nárůstům výskytu chorob a škůdců (Zukalová et al. 2008). Vše toto je výsledkem ekonomiky,

kdy se řepka řadí mezi nejrentabilnější plodiny, které lze u nás v ČR pěstovat. Díky její ziskovosti jsou zemědělci ochotni nedodržovat správné postupy a snaží se maximalizovat své zisky bez ohledu na rizika, která jejich chování přináší. Výnos u řepky je ovlivňován odrudou, komplexem agrotechnických postupů, mechanizací a vhodným výběrem pozemku. Tento výčet je ovlivnitelný člověkem a redukuje rizika, jež ovlivňuje průběh ročníku. Vašák et al. (2014) ve svém výzkumu uvádějí, že intenzifikace, tzn. zvyšování množství vstupů přinese pouze 10% navýšení výnosů, avšak zvýší se i náklady, čímž se snižuje profit. Za účinnější považují spíš zlepšení kvality práce, tj.: lepší načasování jednotlivých činností, dodržování vhodných postupů a aplikaci vhodných přípravků. Graf č. 19 názorně ukazuje, že výnosy ostatních let jsou relativně stabilní mimo nepříznivý rok 2003.

Pšenice jako naše nejpěstovanější plodina do roku 2003 zaznamenávala pokles ve výnosech, kdy v tomto roce dosáhla nejnižšího výnosu ve sledovaném 30-ti letém období. Tento pokles lze vysvětlit opět transformací zemědělského sektoru po roce 1989 a současně nepřízní počasí. Především pak záplavy roku 1997 na Moravě a 2002 v Čechách. Po roce 2003 do roku 2018 nastal růst výnosů. Následující roky ukážou, zdali nenastane stagnace nebo dokonce pokles ve výnosech. V první sledované dekádě od roku 1989 do roku 1998 pšenice vykazovala značnou stabilitu ve výnosech. V následujících dvou dekádách se variabilita ve výnosech zvýšila. Propady na výnosech byly způsobovány převážně nepřízní počasí. Příkladem může být opět rok 2003, kdy stejně jako v případě řepky bylo dosaženo nejnižších výnosů. Naopak v roce 2004 byl zaznamenán obrovský nárůst ve výnosech oproti průměru. Rozdíl mezi výnosy roku 2003 a 2004 činil 1,82 t/h. Silné mrazy v roce 2003 poškodily velké množství zimních obilovin. Stejně jako u řepky došlo k jarním zaorávkám (Trnka et al. 2003). To způsobilo značný nárůst ve variabilitě výnosů (viz. graf č. 21). Nejúspěšnějším rokem z hlediska výnosů pšenice byl rok 2014. Tento rok bylo dosaženo nejvyššího výnosu za pozorované období 6,61 t/ha. Opět to bylo dáno vlivem počasí, které bylo velmi příznivé během zimy a následně v květnu, kdy byl dostatek srážek a ideální teplota pro formování prvků hospodářského výnosu (Kost & Potměšilová 2014). Vzhledem k výsledkům studie Voltra et al. (2014) lze předpokládat, že nedostatek srážek, které jsou čím dál tím častější jev, může mít rozhodující vliv na výnosovost pšenice. Dokonce stanovili u pšenice regresivní funkci, kde každý den sucha v jarním období od konce května do začátku července znamená ztrátu výnosu 0,027 t/ha. Sun et al. (2019) uvádějí, že ozimá pšenice je velmi citlivou plodinou na změnu klimatu, proto můžeme očekávat, že v následujících letech dojde ke zvyšování nárůstu variability mezi jednotlivými ročníky vzhledem ke stále se měnícím klimatickým podmínkám.

Období od roku 1989 do roku 2000 bylo pro ječmen jarní ve znamení poklesu výnosů stejně jako je tomu u pšenice s řepkou. Od roku 2000 zaznamenáváme jeho počáteční vzestup i přes negativní vliv povodní v roce 2002. Od roku 2004 je viditelný růst. Nárůst ve variabilitě výnosů je zaznamenáván v období 1998-2000, to zapříčinil především rok 2000, kdy byla zaznamenána historicky nejnižší hranice výnosu ječmene jarního za uplynulých 30 let, a to díky špatnému počasí. Nerovnoměrné rozložení srážek během jara a léta zapříčinilo ztráty u mnohých zemědělských plodin, avšak nebylo tomu tak ve všech regionech. Nadměrné množství srážek v období března znemožnilo dodržení agrotechnických podmínek pro setí ječmene jarního (Komberec 2001, ČHMÚ 2004). Celkový výnos v ČR byl 3,03 t/ha. Následující tři roky byly výnosově optimální a nevychylovaly se nijak extrémně od průměrného výnosu a 2004-2006 naopak došlo k velkému nárůstu výnosů. Mezi rokem 2003 (3,91 t/ha) a rokem 2004 (4,91

t/ha) je rozdíl ve výnosech 1t/ha. Nejlépe je tato situace viditelná na grafu č. 9, kde je zcela očividné, jak se v těchto ročnících vychylovaly skutečné výnosy daného ročníku od těch průměrných. Opět pozorujeme signifikantní vliv počasí na výnosy ječmene. V posledních ročnících výnosy stoupaly, avšak až další ročníky nám řeknou, zdali výnosy budou i nadále stoupat nebo nastoupí stagnace.

Kukuřice na zrno dle výsledků grafů vykazuje značnou nestabilitu ve výnosech, především v první dekádě pozorovaného období. V té době byly osevní plochy pro pěstování kukuřice výrazně menší, než je tomu v následujících dvou desetiletích. Výnosy od roku 1989 rostly až do roku 2009, kdy se rostoucí trend výnosů mění ve stagnaci a pokles. Vysokých výnosů nad 8 t/ha bylo dosaženo v roce 2002, 2009, 2011, 2014 a 2016, kdy byl zaznamenán nejvyšší výnos 9,79 t/ha. To bylo dáno ideálními klimatickými podmínkami pro růst kukuřice. Chladnější počasí v období květnu a dostatku srážek v době tvorby palic podpořilo vysoký výnosový potenciál kukuřice (Kost & Stehlíková 2016). Nedostatek srážek v období tvorby palic je faktor, který dokáže signifikantně ovlivnit hektarové výnosy. Příkladem může být rok 2018, kdy byl výnos značně podprůměrný pouze 5,98 t/ha (Kost & Záruba 2018).

Výnosy brambor kontinuálně rostou, avšak došlo ke značné redukci osevních ploch. V roce 1989 byly osevní plochy 5x větší, než jsou v současnosti, kdy se brambory pěstují pouze zhruba na 23 tis. hektarů. Vysokých výnosů je dosahováno především díky příznivým klimatickým podmínkám. Rozhodující vliv má teplota při klíčení a množství srážek. Jejich dopad lze snižovat dobrými agrotechnickými postupy, tak jako je tomu i ostatních plodin. Dobré klimatické podmínky panovaly v roce 2011, kdy byl zaznamenán nejvyšší výnos brambor za celé sledované období 30,45 t/ha. V poslední dekádě dochází k častému střídání nadprůměrných ročníků 2014, 2016 a 2017 s průměrnými 2013 a 2015 (viz. graf č. 1). Rozdíly ve výnosech jsou zapříčiňovány průběhem počasí a zvyšuje se jimi variabilita výnosů.

Nejstabilnější plodinou z hlediska výnosů je cukrovka. Ta v průběhu celých 30 let vykazuje stálý růst ve výnosech a značnou stabilitu. Mírné výkyvy byly zaznamenány v první dekádě a v posledních letech, kdy se střídají ročníky, které mají rozdíl ve výnosech až 10 t/ha (viz. graf č. 2). Lze očekávat, že se výkyvy ve výnosech budou objevovat častěji, jelikož výkyvy mezi množstvím srážek a teplotou jsou v jednotlivých ročnících i měsících čím dál tím významnější (Froněk 2018).

Obě stanovené hypotézy byly potvrzeny. První hypotéza zněla: Výnosová stabilita hlavních druhů plodin v ČR se navzájem liší. Její pravdivost dokazují grafy č. 13 (míra stability výnosů) a č. 14 (variabilita výnosů plodin dle variačního koeficientu). Grafy č. 15–21 tuto hypotézu rovněž deklarují, pouze ji podrobněji popisují. Tříleté časové úseky lépe zachycují průběh než hodnocení po dekádách. Na to upozorňují ve své práci i Döering a Reckling (2018), kteří tvrdí, že menší vzorek je pro správnost výsledků vhodnější.

Druhá hypotéza byla formulována: Výnosová stabilita jednotlivých plodin se mění v průběhu času. Tuto hypotézu nejlépe potvrzují grafy č. 15–21 (variabilita výnosů jednotlivých plodin dle variačního koeficientu). Částečně je vysvětlována i grafy č. 13 (míra stability výnosů) a 14 (variabilita výnosů plodin dle variačního koeficientu), avšak opět hodnocení po dekádách nezachycuje plně skutečnost.

## 7 Závěr

- Míra stability výnosů hlavních druhů plodin se v České republice navzájem liší.
- Míra stability výnosů máku byla nejnižší ze všech sledovaných plodin, pohybovala se v rozmezí od 77,28 % do 79,9 %.
- Další plodiny s nejnižší mírou stability výnosů byly kukuřice setá (na zrno) a ječmen jarní.
- Nejvyšší míra stability byla zjištěna u cukrovky technické, jež se pohybovala v rozmezí od 90,02 % do 91,9 %.
- Vysoká míra stability byla také zaznamenána u pšenice ozimé, pohybovala se v rozmezí od 88,1 % do 91,53.
- U brambor se míra stability výnosů pohybovala od 87,5 % do 89,6 %.
- Hodnocení po dekádách míry stability výnosů pro řepku olejnou nebylo zcela ideální, díky velkému propadu v roce 2003 její stabilita v druhé dekádě klesla na pouhých 81,7 %, tedy o 7,9 procentního bodu oproti první dekádě.
- Podle výsledků variačního koeficientu nejvyšší variability ve výnosech dosahoval mák a kukuřice. Dokazují to výsledky jak po dekádách, tak hodnocení v tříletých intervalech.
- U řepky olejně je v druhé dekádě stejně jako u hodnocení míry variability patrný značný výkyv od svého průměrného výnosu. Podíváme-li se detailněji na hodnocení v tříletých intervalech zjistíme, že tento výkyv byl zachycen v tříletém období 2001-2003, kdy výnos klesl o 23,78 % od svého průměrného výnosu. Ve zbylých letech řepka olejná měla stabilní výnosy, které kolísaly maximálně do 9,9 % od svého průměrného výnosu.
- Brambory kolísaly od 0,77 % do 15,27 % svého průměrného výnosu.
- Cukrovka technická dle hodnocení variačního koeficientu je opět vyhodnocena jako plodina s nejnižšími rozdíly ve výnosech. Její výnosy kolísaly od 1,85 % do 10,49 % svého průměrného výnosu.
- Ječmen jarní kolísal od 2,20 % do 13,24 % svého průměrného výnosu.
- Výnosy pšenice ozimé i podle výsledků variačního koeficientu patří mezi plodiny se stabilnějším výnosem.
- Všechny sledované plodiny kromě máku vykazovaly rostoucí objem výnosů.
- Cukrovka technická má za celé období od roku 1989–2018 kontinuální růst ve výnosech.
- U brambor je z výsledku patrné, že jejich výnos roste kontinuálně celé sledované období a v posledních letech brambory vykazují vyšší kolísání.
- Výnosy kukuřice v podmínkách ČR v posledních letech stagnují a jejich stabilita je značně proměnlivá.
- Výnosy řepky olejně ukazují na růst ve výnosech, mimo rok 2003, kdy byl výnos podstatně nižší díky nevhodným klimatickým podmínkám.
- U ječmene jarního pozorujeme v první dekádě pokles ve výnosech, který je následně vystřídán růstem.

- Pšenice ozimá v prvních letech vykazuje pokles ve výnosech, který je vystřídán následným růstem.



## 8 Literatura

- Adamse P, Britz SJ. 1996. Rapid fluence-dependent responses to ultraviolet-B radiation in cucumber leaves: the role of UV-absorbing pigments in damage protection. *Journal Plant Physiology*, **148**, 57-62.
- Afzal f, Chaudhari SK, Gul A, Farooq A, Ali H, Nisar S, Sarfraz B, Shehzadi KJ, Mujeeb – Kazi A. 2015. Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Under Biotic and Abiotic Stresses: An Overview. Pages 293–317 in Hakeem KR, editor. *Crop Production and Global Environmental Issues*. Springer, Switzerland.
- Ahad B, Reshi ZA. 2015. Climate Change and Plants. Pages 553–573 in Hakeem KR, editor. *Crop Production and Global Environmental Issues*. Springer, Switzerland.
- Ainsworth EA, Yendrek CR, Sitch S, Collins WJ, Emberson LD. 2012. The effects of tropospheric ozone on net primary productivity and implications for climate change. *Annual Review of Plant Biology*, **63**, 637-661.
- Ali H, Ghori Z, Sheikh S, Gul A. 2015. Effects of Gamma Radiation on Crop Production. Pages 27-78 in Hakeem KR, editor. *Crop Production and Global Environmental Issues*. Springer, Switzerland.
- Allen EJ, Morgan DG. 1972. A quantitative analysis of the effects of nitrogen on the growth, development and yield of oilseed rape. *The Journal of Agricultural Science*, **78**, 315-324.
- Anvery S, Mauzerall DL, Fiore AM. 2013. Increasing global agricultural production by reducing ozone damages via methane emission controls and ozone resistant cultivar selection. *Global Change Biology*, **19**, 1285-1299.
- Anvery S, Mauzerall DL, Liu JF, Horowitz LW. 2011. Global crop yield reductions due to surface ozone exposure: 1. year 2000 crop production losses and economic damage. *Atmospheric Environment*, **45**, 2284–2296.
- Aziz T, Maqsood MA, Kanwal S, Hussain S, Ahmad HR, Sabir M. 2015. Fertilizers and Environment: Issues and Challenges. Pages 575-598 573 in Hakeem KR, editor. *Crop Production and Global Environmental Issues*. Springer, Switzerland.
- Bais HP, Weir TL, Perry LG, Gilroy S, Vivanco JM. 2006. The Role of Root Exudates in Rhizosphere Interactions with Plants and Other Organisms. *Annual Review of Plant Biology*, **57**, 233-266.
- Bittner V. 2013. Škodliví činitelé cukrové řepy – choroby kořenů cukrovky. *Listy cukrovanické a řepářské*, **129**, 98-99.
- Blanco H, Lal R. 2008. *Principles of soil conservation and management*. Springer, New York.
- Burton RJF, Kuczera K, Schwarz G. 2008. Exploring Farmers' Cultural Resistance to Voluntary Agri-environmental Schemes. *Sociologia Ruralis*, **48**, 16-37.
- Burton RJF, Paragahawewa UP. 2011. Creating culturally sustainable agri-environmental schemes. *Journal of Rural Studies*, **27**, 95-104.

- Campillo C, Fortes R, Prieto M. 2012. Solar Radiation Effect on Crop Production. Pages 167-194 in Babatunde EB, editor. Solar Radiation. InTech, Croatia.
- Cammarano D, Ceccarelli S, Grando S, Romagosa I, Benbelkacem A, Akar T, Al-Yassin A, Pecchoni N, Francia E, Ronga D. 2019. The impact of climate change on barely yield in the Mediterranean basin. *European Journal of Agronomy*, **106**, 1-11.
- Cihlár P, Vašák J, Kosek Z. 2003. Technologie máku setého pro dvoutunové výnosy semen. Pages 134–141. Řepka, mák, hořčice. ČZU, Praha.
- Cihlár P, vašák J, Pšenička P, Mikšík V, Vlk R, Kosek Z. 2007. Intenzivní pěstování máku. Pages 75-76. Prosperující olejniny. ČZU, Praha.
- Čurn V. 1998. Šlechtění zemědělských plodin – obiloviny, luskoviny. Jihočeská univerzita, České Budějovice.
- Dovrtěl J. 2008. Minimalizační a půdoochranné technologie pro hlavní plodiny v podmínkách ČR – Mák. Pages 154–156 in Hůla J, Procházková B, editors. Minimalizace zpracování půdy. Profi Press, Praha.
- Döring TF, Knapp S, Cohen JE. 2015. Taylor's power law and the stability of crop yields. *Field Crops Research*, **183**, 294-302.
- Döring TF, Reckling M. 2018. Detecting global trends of cereal yield stability by adjusting the coefficient of variation. *European Journal of Agronomy*, **99**, 30-36.
- Dryšlová T, Procházková B. 2008. Minimalizační a půdoochranné technologie pro hlavní plodiny v podmínkách ČR – Ozimá pšenice. Pages 125–131 in Hůla J, Procházková B, editors. Minimalizace zpracování půdy. Profi Press, Praha.
- European Environment Agency. 2016. Air quality in Europe – 2016 report. European Environment Agency. Denmark.
- Fajman M, Hejduk S, Křen J. 2008. Metodiky indikátorů pro ekosystémy na orné půdě, travinný a rychle rostoucích dřevin. Pages 17-75 in. Žalud editor. Biologické a technologické aspekty udržitelnosti řízených ekosystémů a jejich adaptace na změnu klimatu – metodiky stanovení indikátorů ekosystémových služeb. Folia, Brno.
- Farooq M, KHM Siddique. 2015. Conservation Agriculture: Concepts, Brief History, and Impacts on Agricultural Systems. Pages 3-17 in Farooq M, Siddique KHM editors. Conservation Agriculture. Springer, Switzerland.
- Frac M, Hannula SE, Bełka M, Jedryczka M. 2018. Fungal Biodiversity and Their Role in Soil Health. *Frontiers in Microbiology*, **9**, 1-9.
- Freckleton RP, Watkinson AR, Webb DJ, Thomas TH. 1999. Yield of sugar beet in relation to weather and nutrients. *Agricultural and Forest meteorology*, **93**, 39-51.
- Frey SD, Knorr M, Parrent JL, Simpson RT. 2004. Chronic nitrogen enrichment affects the structure and function of the soil microbial community in temperate hardwood and pine forests. *Forest Ecology and Management*, **196**, 159-171.

- Froněk D. 2018. Situační a výhledová zpráva cukr – cukrová řepa. Ministerstvo zemědělství, Praha.
- Hatfield J, et al. 2008. Pages 21–74 in Walsh M, editor. The effects of climate on agriculture, land resources, water resources, and biodiversity in the United States. – U.S. Climate Change Science Program Aynthesis and Assessment Product 4.3. U.S. Department of Agriculture, Washington, DC., USA.
- Hrubý J, Javůrek M. 2008. Minimalizační a půdoochranné technologie pro hlavní plodiny v podmínkách ČR – Jarní ječmen. Pages 137–142 in Hůla J, Procházková B, editors. Minimalizace zpracování půdy. Profi Press, Praha.
- Chaparro JM, Sheflin AM, Manter DK, Vivanco JM. 2012. Manipulating the soil microbiome to increase soil health and plant fertility. *Biology and Fertility of Soils*, **48**, 489-499.
- Choudhary KK, Dhar DW. 2015. Cyanobacteria or Blu-Green Algae: Sustainable Source of Soil Fertility and Crop Productivity. Pages 99-122 in Choudhary KK, Dhar DW, editors. *Microbes in Soil an Their Agricultural Prospects*. Nova Science Publishers, New York.
- Iqbal MH, Shah M, Nawaz MAH. 1999. Field response of potato subjected to water stress at different growth stages. Pages 213-223 in Kirda C, Moutonnet P, Hera C, Nielsen DR, editors. *Crop Yield Response to Deficit Irrigation*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assesment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC. 2014. *Climate Change 2014. Synthesis Report – Summary for Policymakers. Contribution of Working Groups I, II a III to the Fifth Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Geneva.
- Janoušková M. 2017. Může arbuskulární mykorhiza pomoci v zemědělské produkci? *Živa*, **5**, 237-240.
- Javůrek M. 2008. Příčiny rozšiřování minimalizačních a půdoochranných technologií v podmínkách české republiky – Význam a využití mulče v půdoochranných technologiích. Pages 62-67 in Hůla J, Procházková B, editors. *Minimalizace zpracování půdy*. Profi Press, Praha.
- Kimball BA, Idso SB. 1983. Increasing atmospheric CO<sub>2</sub>: effects on crop yield, water use and climate. *Agricultural Water Management*, **7**, 55-72.
- Knapp S, Heijden MvGAd. 2018. A global meta-analysis of yield stability in organic and conservation agriculture. *Nature Communications* (e3632) DOI: 10.1038/s41467-018-05956-1.
- Kovacs E, Keresztes A.2002. Effect of gamma and UV-C/C radiation on plant cells. *Micron*, **33**, 199-210.
- Kovaříček P, Marešová K, Hůla J, Krouhlík M. 2010. Využití hrůbkování při pěstování širokořádkových plodin. *Listy cukrovarnické a řepařské*, **126**, 91-96

- Kristensen K, Schelde K, Olesen JE. 2011. Winter wheat yield response to climate variability in Denmark. *Journal of Agricultural Science*, **149**, 33-47.
- Křeček V, Baranyk P, Pulkrábek J, Urgan J, Škeříková. Vliv různých způsobů založení a organizace porostu na hmotnost tisíce semen ozimé řepky olejné. Pages 42-59. Prosperující olejniny. ČZU, Praha.
- Kost F, Potměšilová J. 2013. Situační a výhledová zpráva – obiloviny. Ministerstvo zemědělství, Praha.
- Kost F, Stehlíková J. 2016 Situační a výhledová zpráva – obiloviny. Ministerstvo zemědělství, Praha.
- Kost F, Záruba J. 2018. Situační a výhledová zpráva – obiloviny. Ministerstvo zemědělství, Praha.
- Lal R, Ahmadi SM. 2000. Axle load and tillage effects on crop yield for two soils in central Ohio. *Soil and Tillage Research*, **54**, 111-119.
- Lal R. 2001. Soil Degradation by Erosion. *Land Degradation & Development*, **12**, 519-539.
- Long SP, Ainsworth EA, Leakey ADB, Nosberger J, Ort DR. 2006. Food for thought: lower-than-expected crop yield stimulation rising CO<sub>2</sub> concentrations. *Science*, **213**, 1918-1921.
- Macholdt J, Piepho HP, Honermeier B. 2019. Does fertilization impact production risk and yield stability across an entire crop rotation? Insights from a long-term experiment. *Field Crops Research*, **238**, 82-92.
- Maqubela MP, Mnkeni PNS, Issa OM, Pardo MT, D'Acqui LPD. 2008. *Nostoc* cyanobacterial inoculation in South African agricultural soil enhances soil structure, fertility, and maize growth. *Plant Soil*, **315**, 79-92.
- Mahdavi-Damghani A, Kamkar B, Al-Ahmadi MJ, Testi L, Muñoz-Ledesma FJ, Villalobos FJ. 2010. Water stress effects on growth, development and yield of opium poppy (*Papaver somniferum* L.). *Agricultural Water Management*, **97**, 1582-1590.
- Matyjaszczyk E. 2015. Products containing microorganisms as a tool in integrated pest management and the rules of their market placement in the European Union. *Pest Management Science*, **71**, 1201 – 1206.
- Matyssek R, Sandermann H, Wieser G, Brooker F, Cieslik S, Musselman R, Ernst D. 2008. The challenge of making ozone risk assessment for forest trees more mechanistic. *Environmental Pollution*, **156**, 567-582.
- Ministerstvo zemědělství. 2019. Kontrola podmíněnosti. Ministerstvo zemědělství, Praha.
- Ministerstvo zemědělství. 2019. Metodika k provádění nařízení vlády č. 75/2015 Sb., o podmínkách provádění Agroenvironmentálně-klimatických opatření a o změně nařízení vlády č. 79/2007 Sb., o podmínkách Agroenvironmentálních opatření, ve znění pozdějších předpisů. Ministerstvo zemědělství, Praha.
- Mueller ND, Gerber JS, Johnston M, Ray DK, Ramankutty N, Foley JA. 2012. Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature*, **490**, 254 – 257.

- Nátr L. 2002. Fotosyntetická produkce a výživa lidstva. ISV nakladatelství, Praha.
- Neudert L. 2008. Příčiny rozšiřování minimalizačních a půdoochranných technologií v podmínkách České republiky – Fyzikální vlastnosti půdy. Pages 22 – 29 in Hůla J, Procházková B, editors. Minimalizace zpracování půdy. Profi Press, Praha.
- Norman DW, Frankenberger TR, Hildebrand PE. 1994. Agricultural research in developer countries: past, present and future of farming systems research and extension. *Journal of Production Agriculture*, **7**, 124-131.
- OECD. 2008. Environmental Performance of Agriculture since 1990 At a Glance. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.
- Olsson Å, Persson L, Olsson S. 2019. Influence of soil characteristic on yield response to lime in sugar beet. *Geoderma*, **337**, 1208-1217.
- Petr J, et al. 1987. Počasí a výnosy. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.
- Potměšilová J, Adamec J. 2004. Situační a výhledová zpráva – Olejny. Mnísterstvo zemědělství, Praha.
- Procházková B. 2008. Minimalizační a půdoochranné technologie pro hlavní plodiny v podmínkách ČR – Kukuřice. Pages 147–154 in Hůla J, Procházková B, editors. Minimalizace zpracování půdy. Profi Press, Praha.
- Pushpangadan P, George V, Singh SP. Poppy. 2012. Pages 437-448 in Peter KV, editor. *Handbook of Herbs and Spices*. Woodhead Publishing, Amsterdam.
- Rabbinge R. 1993. The ecological background of food production. Pages 2-29 in Chadwick DJ, Marsh J, editors. *Crop Protection and Sustainable Agriculture*. Wiley, Chicester.
- Ray KR, James SG, Graham KM, Paul CW. 2015. Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nature communications* (e5989) DOI: 10.1038/ncomms6989.
- Rathke GW, Behrens T, Diepenbrock W. 2006. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **117**, 80-108.
- Reganold JP, Wachter JM. 2016. Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature plants*, **2**, 1-8.
- Rehman MU, Rather GH, Gull Y, Mir MR, Mir MM, Waida UI, Hakeem KH. 2015. Effect Climate Change on Horticultural Crops. Pages 211–256 in Hakeem KR, editor. *Crop Production and Global Environmental Issues*. Springer, Switzerland.
- Rojas-Downing MM, Pouyan, NA, Harrigan T, Woznicki SA. 2015. Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Climate Risk Management*, **16**, 145-163.
- Rousk J, Bařař E, Brookes PC, Lauber CL, Lozupone C, Caporaso JG, Knight R, Fierer N. 2010. Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in arable soil. *International Society for Microbial Ecology Journal*, **4**, 1340-1351.
- Schauberger B, Ben-Ari T, Makowski D. 2018. Yield trends, variability and stagnation analysis of major crops in France over more than a century. *Scientific Reports*, **8**, 16865.

- Shen J, Cui Z, Miao Y, Mi G, Zhang H, Fan M, Zhang C, Jiang R, Zhang W, Li H, Chen X, Li X, Zhang F. 2013. *Global Food Security*, **2**, 1-8.
- Sharif B, Makowski D, Plauborg F, Olesen JE. 2017. Comparison of regression techniques to predict response of oilseed rape yield to variation in climatic conditions in Denmark. *European Journal of Agronomy*, **82**, 11-20.
- Smutný V. 2008. Minimalizační a půdoochranné technologie pro hlavní plodiny v podmínkách ČR – Ozimá řepka. Pages 132–136 in Hůla J, Procházková B, editors. *Minimalizace zpracování půdy*. Profi Press, Praha.
- Stránská I, Skalický M, Novák J, Matyasová E, Hejnák V. 2013. Analysis of selected poppy (*Papaver somniferum* L.) cultivars: Pharmaceutically important alkaloids. *Industrial Crops and Products*, **41**, 120-126.
- Sun S, Yang X, Lin X. 2019. Seasonal variability in potential and actual yields of winter wheat in China. *Field Crop Research*, **240**, 1-11.
- Šarapatka B. 2014. *Pedologie a ochrana půdy*. Univerzita Palackého, Olomouc.
- Švachula I, Pulkrábek V. 1996. Stabilita výnosů polních plodin ČR. Pages 137–141. *Zamyšlení nad rostlinou výrobou 1996: zaměřené na poznatky výzkumu a praxe pro zlepšení rostlinné výroby: sborník referátů z 6. konference katedry rostlinné výroby České zemědělské univerzity v Praze: Praha 12.12.1996*. ČZU, Praha.
- Tai APK, Martin MV. 2017. Impacts of ozone air pollution and temperature extremes on crop yields: Spatial variability, adaptation and implications for future food security. *Atmospheric Environment*, **169**, 11-21.
- Tilman D, Balzer C, Holl J, Befort BL. 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **108**, 20260–20264.
- Trnka Z, Adamec J, Kost F. 2003. *Situační a výhledová zpráva – obiloviny*. Ministerstvo zemědělství, Praha.
- Vach M, Javůrek M. 2011. *Efektivní technologie obdělávání půdy a zakládání porostů polních plodin*. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha.
- Vašák J, Bečka D, Běreš J, Bokor P, Mikšík V, Zupalová H. 2014. Pages 1-9. *Prosperující olejnin*. ČZU, Praha.
- Vímtámvás P, Kosová K, Prášil IT. 2018. Hodnocení odolnosti plodin vůči abiotickým stresům. Pages 56-61 in Křížková I, Holubec V, Zedek V, editors. *Genetické zdroje rostlin moderní technologie konzervace a hodnocení*. Ministerstvo zemědělství, Praha.
- Voltr V, Froněk P, Hruška M. 2014. Souvislosti výnosů zemědělských plodin a sucha. In Rožnovský J, Litschmann T, Středa T, Středová H, editors. *Extrémy oběhu vody v krajině*. Český hydrometeorologický ústav, Praha.
- Wałkowski T. 2011. Biologický pokrok v produkci řepky. Pages 41-43. *Prosperující olejnin*. ČZU, Praha.

- Wezel A, Casagrande M, Celette F, Vion JF, Ferre A, Peigné J. 2013. Agroecological practises for sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, **34**, 1-20.
- Wojcik-Gront E. 2018. Variables influencing yield-scaled Global Warming Potential and yield of winter wheat production. *Field Crop Research*, **227**, 30-36.
- Zhao J, Yang X, Liu Z, Pullens JWM, Chen J, Marek GW, Chen Y, Lv S, Sun S. 2020. Greater maize yield improvements in low/unstable yield zones through recommended nutrient and water inputs in the main cropping regions, China. *Agricultural Water Management*, **232**, 106018.
- Zhang L, Liang Z, He X, Meng Q, Hu Y, Schmidhalter U, Zhang W, Zou C, Chen X. 2020. Improving grain yield and protein concentration of maize (*Zea mays* L.) simultaneously by appropriate hybrid selection and nitrogen management. *Field Crops Research*, **249**, 107754.
- Zhang H, Richards R, Riffkin P, Berger J, Christy B, O'Leary G, Acuña TB, Merry A. 2019. Wheat grain number and yield: The relative importance of physiological traits and source-sink balance in southern Australia. *European Journal of Agronomy*, **110**, 125935.
- Zitta M. 1976. Míra stability výnosů zemědělských plodin. Pages 79-93. Sborník VŠZ v Zlatev ZS, Lidon FJC, Kaimakanova M. 2012. Plant physiological responses to UV-B radiation. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, **24**, 481-501.
- Zukalová H, Bečka D, Vašák J, Kunzová E, Škarpa P. 2008. Olejnin v České republice a jejich kvalita. Pages 110-114. *Prosperující olejnin*. ČZU, Praha.
- Internetové zdroje:
- Agrobiosfer. 2018. Více o stimulaci a výživě máku. Agrobiosfer s.r.o., Brno. Available from: <http://agrobiosfer.cz/vliv-prirodni-listove-vyzivy-a-stimulace-na-vynos-maku-seteho> (accessed March 2020).
- ČHMÚ. 2004. Územní srážky v roce 2004. Český hydrometeorologický ústav, Praha. Available from: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky> (accessed March 2020).
- Komberec S. 2001. Ekonomická produkce obilnin v roce 2000. Úroda – Profipress s.r.o., Praha. Available: <https://www.uroda.cz/ekonomika-produkce-obilnin-v-roce-2000/> (accessed March 2020).
- Novák P, Mašek J. 2018. Agrojournal: Současné trendy zpracování půdy. Vega s.r.o. Available from <https://www.agrojournal.cz/clanky/soucasne-trendy-zpracovani-pudy-327> (accessed November 2019).
- Legislativní dokumenty:
- Evropská unie. 2009. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/128/ES ze dne 21. října 2009, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství za účelem dosažení udržitelného používání pesticidů. Pages 71-86 in *Úřední věstník L 309 Evropské unie*, Úřad pro publikace Evropské unie, Lucembursko.

Evropská unie. 2009. Vyhláška Evropského parlamentu a Rady č. 1107/2009 ze dne 21.října 2009 o uvádění přípravků na ochranu rostlin na trh a o zrušení směrnic Rady 79/117/EHS a 91/414/EHS. Pages 1-50 in Úřední věstník L 309 Evropské unie, Úřad pro publikace Evropské unie, Lucembursko.



