

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a rostlinné produkce



**Historie a význam pěstování obilovin v souvislosti se
změnou klimatu**

Diplomová práce

Bc. Helena Kissová

Ekologické zemědělství

doc. Dr. Mgr. Vera Potopová

© 2019/2020 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Historie a význam pěstování obilovin v souvislosti se změnou klimatu" jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor(ka) uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 24.7. 2020

Poděkování

Za odborné vedení mé diplomové práce, velkou míru trpělivosti a ochoty, rychlost, lidský přístup a také za cenné a velmi podnětné rady při zpracovávání práce děkuji vedoucímu práce doc. Dr. Mgr. Vere Potopové. Současně, bych chtěla poděkovat České zemědělské univerzitě v Praze, která mi poskytla příležitost zde studovat a vzdělávat se. V neposlední řadě bych ráda poděkovala také své rodině, která mě při vytváření této práce podpořila, a bez jejichž pomoci by nebylo možné práci dokončit.

Historie a význam pěstování obilovin v souvislosti se změnou klimatu

Souhrn

Tato diplomová práce se zabývá hodnocením závislosti významných meteorologických vlivů na výnos pšenice ozimé, žita, ječmene jarního, ovsa, tritikále a kukuřice na zrno v ekologickém (EZ) a konvenčním (KZ) zemědělství za posledních 18 let (2001 - 2018) v České republice. Regresní modely aplikované v této práci popisují odezvy závisle proměnné (výnos) vzhledem ke změnám nezávislé proměnných (klimatické trendy, průměrné měsíční teploty vzduchu a měsíční úhrn srážek) v souvislosti se ztrátou výnosu. Byla ověřena kvalita odhadu tendence změny výnosů v ekologickém a konvenčním zemědělství, práce analyzuje parametry kvality modelu použitého pro hodnocení vlivu teploty vzduchu a úhrnu srážek na výnos. Dále se diplomová práce snaží najít rozdíly v průběhu pěstování v EZ a KZ a meteorologických dopadech zmíněných charakteristik. Z výsledků je patrné, že srážky během fenologických fází pšenice ozimé negativně ovlivňují výnos jak v KZ tak i EZ až o 40,4 % ($-0,10 < r < -0,36$) oproti teplotám, které působí příznivě na výnos a vysvětluje jeho nárůst o 20,1 % ($0,14 < r < 0,60$). Vyšší měsíční teploty vzduchu negativně působí na výnos ovsa ve většině, měsících vegetačního období, podobné aspekty vidíme jak v ekologickém, tak v konvenčním režimu ($-0,10 < r < -0,68$). I v případě plodin C4 (kukuřice na zrno) může výskyt extrémních teplot vést k poklesu výnosů, zejména v měsíci červenec ($-0,32 < r < -0,42$). Měsíc, kdy je úhrn srážek pro kukuřici na zrno v ekologickém zemědělství žádoucí, je červen ($r < -0,60$). Z výsledků lze vyvodit, že ztráty výnosů jsou výsledkem nejen jednoho nepříznivého faktoru, ale jejich kombinací, zároveň nebyly zjištěny významné rozdíly v dopadech na průběh pěstování v EZ a KZ. Avšak na základě dosažených výsledků a z literárních zdrojů je možné konstatovat, že variabilita klimatu vysvětluje třetinu globálních ztrát výnosů hlavních obilnin. Výsledky regresní modelů více méně podporují hypotézu, že výnosy obilnin v ČR vzrostly, avšak v posledních dekádách je patrný pokles růstu nebo stagnace výnosů, a to i přes pokrok v oblasti šlechtění. Kvůli velké časové proměnlivosti srážek, statistický regresní model ilustruje slabou a střední závislost výnosu obilnin na srážkových charakteristikách.

Klíčová slova: dopad pozorované změny klimatu, ječmen, kukuřice, oves, pšenice, výnosová proměnlivost, žito

History and importance of cereal cultivation in the context of climate change

Summary

This master thesis deals with the evaluation of the dependence of significant meteorological effects on the yield of wheat, rye, oats, triticale and maize in organic and conventional agriculture during the last 18 years (2001 - 2018) in the Czech Republic. The regression models applied in this work describe the responses of the dependent variable (yield) to changes in independent variables (climate trends of average monthly air temperature and monthly rainfall) in relation to yield losses. The quality of estimating the trend of change in yields in organic and conventional agriculture was verified. The thesis analyzes the quality parameters of the model used to assess the effect of air temperature and total precipitation on yield. Furthermore, the thesis seeks to find differences in cultivation in organic farming and conventional farming, and climatological impacts of these characteristics. The results show that precipitation during the phenological phases of winter wheat adversely affects the yield in both types of agriculture by up to 40.4% ($-0.10 < r < 0.36$) compared to temperatures that favor the yield and explains its yield an increase of 20.1% ($0.14 < r < 0.60$). Higher monthly air temperatures have a negative effect on oat yield in most months of the growing season, similar aspects are seen in both ecological and conventional modes ($-0.10 < r < -0.68$). Even in the case of C4 (grain maize) crops, the occurrence of extreme temperatures can lead to a decline in yields, particularly in July ($-0.32 < r < -0.42$). The month when total precipitation for grain maize in organic farming is desirable is June ($r < -0.60$). From the results it can be concluded that the yield losses are the result not only of one adverse factor, but a combination of several of them, but at the same time no significant differences in the impact on the cultivation process in organic farming and conventional farming were found. However, on the basis of the results obtained in this study and from literature sources, it can be stated that climate variability accounts for one third of the global yield losses of major cereals. The results of regression models more or less support the hypothesis that cereal yields in the Czech Republic have increased, but in recent decades there has been a decline in yield or stagnation of yields despite progress in breeding. Because of the large temporal variability of precipitation, the statistical regression model illustrates the weak and medium dependence of cereal yield on precipitation characteristics.

Keywords: barley, impact of observed climate change, maize, oat, rye, wheat, yield variability

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Vědecká hypotéza a cíle práce	3
2.1	Hypotézy.....	3
2.2	Cíl práce	3
3	Literární rešerše	4
3.1	Vznik ekologického zemědělství v České republice	4
3.1.1	Vznik ekologického zemědělství v evropských zemích	5
3.2	Význam ekologického zemědělství.....	6
3.3	Vliv změny klimatu na pěstování obilnin	8
3.4	Vliv sucha.....	9
3.5	Vliv změny teplot vzduchu.....	10
3.6	Úhrn srážek.....	10
3.7	Narušení biodiverzity.....	11
3.8	Adaptační potenciál odolnosti obilnin vůči suchu, horku a mrazu	12
3.9	Fenologické fáze obilnin	13
3.9.1	Pšenice ozimá	13
3.9.2	Žito.....	14
3.9.3	Ječmen jarní.....	14
3.9.4	Oves.....	14
3.9.5	Kukuřice na zrno	15
4	Data a Metody.....	17
5	Výsledky	19
5.1	Ověření kvality odhadu tendence změny výnosů	19
5.2	Variabilita výnosů v ekologickém a konvenčním zemědělství v letech 2001 – 2018 20	
5.3	Parametry kvality modelu použitého pro hodnocení vlivu teploty vzduchu a úhrnu srážek na výnos	26
6	Diskuze	36
	37	
7	Závěr	40
8	Literatura	42
9	Seznam použitých zkratk a symbolů	i
10	Samostatné přílohy	ii

1 Úvod

V 21. století je změna klimatu tématem číslo jedna. Dopady změny klimatu zasahují do všech oblastí života nejen člověka, ale i zvířat a rostlin. Vlivy a nejistoty jsou přednášeny ze stran odborníků, expertů, vědců, ale i ze stran politických činitelů. Právě politikům často chybí hlubší znalosti a právě oni mají moc předávat informace veřejnosti, někdy se však veřejnosti nedostává dostatek věrohodných a spolehlivých zpráv.

Plodinou, která v České republice dosahuje, největší zemědělské plochy je pšenice ozimá, za pšenicí následuje ječmen jarní. Podle odhadů ČSÚ bylo v roce 2018 k datu 15. září sklizeno 4 373,4 tis. tun pšenice z toho většinu, tvořila pšenice ozimá 4 185,4 tis. tun tedy něco přes 95% z celkové výroby. I když v posledních letech, pšenice ozimá zaznamenává pokles produkce, je stále převládající plodinou na českém území, tvoří 63,7 % z celkové produkce. Osevní plocha pšenice podle ČSÚ k 31. květnu 2018 zaujala výměru 819,7 tis. ha. Na základě odhadu celkové sklizně ječmene, podle ČSÚ, k roku 2018, k datu 15. září, bylo sklizeno 1 572,5 tis. tun. Z toho bylo sklizeno 506,4 tis. tun (tj. 32,2 %) ječmene ozimého a 1 066,1 tis. tun (tj. 67,8 %) ječmene jarního. Nejen u pšenice se snížila produkce, ale obě dominantní plodiny ČR zaznamenaly pokles produkce oproti předešlým rokům, důvodem je nejen nižší hektarový výnos, snížení osevních ploch, ale také nedostatek srážek v měsíci květen a červen, které negativně ovlivňují průběh celé vegetace (MZe - Situační a výhledová zpráva – obiloviny 2018).

Obilniny jsou nejvýznamnější skupinou plodin pro lidstvo, v lidské výživě mají nezastupitelnou roli a většina populace na Zemi je na obilninách závislá. V jejich nepostradatelnosti spočívá mnohostranné využití např. výroba mouky, lihu, piva, šrotu, krmiva pro hospodářská zvířata a jiné. Nejen, že jsou obilniny významnou součástí lidské a živočišné výživy a důležitým zdrojem minerálních látek, bílkovin a sacharidů, ale jsou podstatnou skupinou plodin užívaných v osevním postupu. Jsou charakteristické (kromě kukuřice) bohatým kořenovým systémem, jímž je zajištěna i výborná přístupnost živin z půdního prostředí - nejlepší osvojovací schopnosti živin má ječmen a oves, naopak nejhorší osvojovací způsobilost má žito. Proto obilniny ve svých sklizených produktech odebírají z půdy velké množství živin (Vaněk et al. 2016).

Skoro každá lidská aktivita zejména zemědělství je ovlivněna podnebím, zároveň i podnebí a klima je ovlivněno lidskou činností. Proto veškeré změny mohou nést jak negativní, tak i pozitivní účinek. Změny klimatu jsou důležitou otázkou 21. století, díky této moderní době rozkvétá mnoho odvětví a aktivit souvisejících se zemědělstvím jako je např. šlechtění nebo rozvoj ekologického zemědělství (MZe - Adaptace zemědělství na změny klimatu v podmínkách ČR 2017). Vývoj ekologického zemědělství prodělává za posledních dvanáct let velké změny, výměra stoupla 1,6 krát z původních 341 tis. ha v roce 2008 na více jak 520 tis. ha v roce 2018 a samozřejmě počet farem v režimu EZ vzrostl více než dvojnásobně.

V EZ stále převládají trvalé travní porosty, v roce 2018 s výměrou přesahující 435 tis. ha, tvoří 80 % podíl. Za posledních dvanáct let se zvýšila výměra orné půdy na téměř 81 tis. ha a dosahuje 15 % podíl na celkové půdě v EZ, největší podíl 46 % zastupují obilniny a po nich

následují pícniny s podílem 41 %. Výměra obilnin meziročně vzrostla o více než 20 %, nejpěstovanějšími obilninami v ekologickém režimu jsou pšenice a oves. Ekologické zemědělství má potenciál ke zmírnění klimatických změn, jelikož šetrné obhospodařování zemědělské půdy a půdy obecně (minimalizační technologie, snížení emisí skleníkových plynů, agrolesnictví...), podporuje biodiverzitu, zvyšuje dostupnost oxidu uhličitého než půda z konvenčního zemědělství, což je prospěšné pro činnosti v půdě a půdní úrodnost (MZe - Ročenka ekologického zemědělství v ČR 2018).

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

2.1 Hypotézy

H1: Variabilita klimatu vysvětluje třetinu globálních ztrát výnosů hlavních obilovin.

H2: Výnosy zemědělských plodin v ČR vzrostly, avšak v posledních dekadách je v některých oblastech patrný pokles růstu nebo stagnace výnosů, a to i přes pokrok v oblasti šlechtění.

2.2 Cíl práce

Cílem práce bude vyhodnotit vliv jednotlivých rizikových meteorologických faktorů na výnos obilnin, které jsou pěstovány v ekologickém a konvenčním režimu na území České republiky.

3 Literární rešerše

3.1 Vznik ekologického zemědělství v České republice

O EZ v Československu nacházíme první zmínky v letech 1985 až 1987, tedy v době komunistické diktatury. Jednalo se však pouze o jednoduché zprávy, které byly publikovány v odborných časopisech. Odezva na tyto sdělení byla negativní nebo spíše se zprávy nedočkaly žádné reakce ze strany čtenářů. Hlavním důvodem bylo, že podniky byly zestátněny a zaměstnanci, byli někdy i bývalý majitelé a necítili dostatečnou potřebu rozvíjet zemědělský podnik (Urban et al. 2003). Koncem 80. let začaly do Československa proudit informace, které propagovaly zdravou výživu jako hlavní obranu proti civilizačním chorobám. V té době začaly vznikat skupiny vegetariánů, veganů i příznivců jiných alternativních metod výživy. Jelikož nebyly k dispozici potraviny, které by nebyly ošetřovány chemickými přípravky, skupiny nadšenců doporučovaly tzv. ekozahrady, pobízely obyvatelstvo, aby pěstovalo produkty na svých zahradách bez použití herbicidů, pesticidů či jiných podobných přípravků (Šarapatka & Urban 2006).

Několik zemědělců se zájmem o ochranu přírody převzalo koncepci ekologického zemědělství ze zpráv, ze zahraničí a rozhodlo se k činu. Jednalo se hlavně o zemědělce z Moravy, kteří se inspirovaly zejména organizací IFOAM - Organics International, která má kořeny ve Švýcarsku a Maďarsku. Roku 1989 bylo v Československu vyhlášeno ve třech podnicích tzv. přechodné období na ekologické zemědělství, byly to tyto podniky: ZD Dubicko, podnik v Nových Losinách v Jeseníku a ve Starém Hrouzkově v Bílých Karpatech. Další důležitou událostí byla mezinárodní konference ve Velké Bystřici u Olomouce, která proběhla v roce 1990, započala oficiální vznik ekologického zemědělství v tehdejší Československu. Hned po změně politického režimu v letech 1990 až 1991 vzniklo pět klíčových svazů, některé fungují dodnes: PRO-BIO – Šumperk, Litura Praha, Biowa Chrudim, Naturvita Třebíč, Altervin Velké Bílovice (Urban et al. 2003). Po konferenci byl vývoj režimu EZ poměrně urychlený, vznikalo rok od roku více podniků, které se zabývaly ekologickým obhospodařováním půdy, tento trend je zaznamenán v samostatných přílohách v Příloze č. 1, která dokazuje, že zájem o ochranu přírody z řad zemědělců byl postupem času rozšířenější (Šarapatka & Urban 2006).

Tento šetrný směr zemědělství se zprvu nazýval alternativní, organický a až poté byl přejmenován na ekologické zemědělství. V roce 1990 zavedla vláda dotace, které měly podporovat a povzbuzovat zemědělce k výběru ekologického zemědělství, naneštěstí po dvou letech byly zrušeny a v roce 1998 se znovu obnovily a vyplácí se i v dnešní době. Plochy pozemků, ekologických zemědělců se rozprostíraly více jak na 5 % z celkové výměry zemědělských ploch v roce 2001, tento typ zemědělství se v té době nejvíce provozoval v horských a podhorských oblastech (Urban et al. 2003).

V roce 2004 ministerstvo zemědělství vydalo Akční plán České republiky pro rozvoj ekologického zemědělství do roku 2010. Tento plán se snažil rozšířit ekologické hospodaření půdy, z toho důvodu, že je ohleduplné vůči životnímu prostředí, zakazuje používání chemických přípravků na ochranu rostlin či podporu výnosu a jiných vlastností. Dále podporuje

rozmanitost biologických druhů a má jiné důležité prvky, které by mohli přesvědčit zemědělce o možnosti ekologického hospodaření jako o trvale udržitelném zemědělství (MZe – Akční plán 2010). Během roku 2006 se zvýšila obdělávaná plocha ekologickými zemědělci v ČR o 1 %, tedy zvýšení na 6 %, což činilo 254 995 ha zemědělské půdy. Už v roce 2010 se plocha rozrostla, skoro dvojnásobně ekologicky obdělávaná půda se rozprostírala na 483 176 ha, tedy na 11,4 % z celkové výměry zemědělské půdy. Avšak celková plocha se až do roku 2015 nijak zásadně nerozšířila, pouze o 12 tis. ha, něco přes 495 tis. ha zemědělské plochy. V prosinci 2018 se v ČR hospodařilo ekologicky na ploše 520 258 ha, vzrůst o 0,6 %.

Průměrná velikost ekologického podniku v ČR se pohybuje okolo 120 ha, což je poměrně hodně, vzhledem k tomu, že průměrná velikost ekofarmy v Evropské unii se rozprostírá asi na 40 ha (MZe 2015). K doménám ekologického zemědělství patří zejména trvale travní porosty, které v roce 2018 vyměřily na 435 tis. ha, což bylo 80 %, v posledních letech se podíl plochy TTP nijak zásadně nerozšiřuje a setrvává na 80 %. Hned, za trvale travními porosty, se nachází orná půda, kdy plocha orné půdy vzrostla dvojnásobně, a v roce 2018 se vyměřila na 81 tis. ha (tj. 15 %). Pouhé 1 % plochy náleží trvalým kulturám, především ovocným sadům (85 % - z nichž 30 % jsou krajinnotvorné sady), vinnicím (15 %) a chmelnicím (0,2 %), (MZe – Ročenka ekologického zemědělství v ČR 2018). V posledních 5 letech se zájem o ekologické potraviny zvýšil, jedním z důvodů může být prevence před civilizačními chorobami, zájem o zdravý životní styl, ale i vznik větších počtů skupin a organizací, které zastávají nejen bio produkty, ale i domácí výrobky, čímž podporují českou ekonomiku a životní prostředí.

Země, která má v současnosti největší plochy zemědělské půdy v systému ekologického zemědělství je Austrálie, Argentina a USA. Kontinenty s největší výměrou zemědělské půdy jsou v Oceánii a Evropě, mimo jiné má Evropa 11 zemí, které mají podíl na ekologickém zemědělství nad 10 % a mezi ně patří i ČR (Hrabalová 2017). Mezi členské státy EU s největším podílem ekologické plochy patří Rakousko, Estonsko, Švédsko, Itálie, Česká republika, Lotyšsko, Finsko a naopak, nejmenší plochy v EU nacházíme na Maltě, v Irsku, Rumunsku, Bulharsku a ve Velké Británii (Eurostat 2019).

3.1.1 Vznik ekologického zemědělství v evropských zemích

Anglie: Jméno Albert Howard je spojeno se vznikem ekologického zemědělství v Anglii. V roce 1897 získal diplom ze zemědělství na prestižní univerzitě v Cambridge, poté přednášel na univerzitách, byl zemědělským poradcem a ředitelem ústavu rostlinného průmyslu, nakonec v roce 1934 byl povýšen do šlechtitelského stavu. Jako poradce se dostal do Indie, která ho do budoucna velmi ovlivnila. Upoutaly ho plodiny, které nebyly napadeny nebo plodiny, které byly minimálně chorobami a škůdci napadeny, dále se zajímal o metody místních zemědělců, nejvíce ho však zaujaly recyklace odpadních produktů, včetně uložení čistírenských kalů do zemědělské půdy. Howard vyvinul systém kompostování, který se stal široce respektovanou biologickou metodou. Také tvrdil, že zdraví plodin i zvířat vychází ze správného určení a pojmenování patogenu, prý není důležité patogen zničit, ale správně ho rozeznat a zjistit zda se dá zemědělsky či jinak využít a proč zde vzniknul (Heckman 2006). Spolu s Albertem

Howardem spolupracovala Lady Eve Balfour, která srovnávala ekologické a konvenční zemědělství, snažila se zpopularizovat organické zemědělství a v neposlední řadě byla spoluzakladatelkou a první prezidentkou britské společnosti Soil Association, která vznikla v roce 1946 a dodnes toto sdružení podporuje udržitelné zemědělství a zabývá se certifikací bio produktů (Šarapatka & Urban 2006).

Francie: Do Francie přišla první iniciativa z anglosaských a německých zemí, kde obyvatelé a zemědělci již měli povědomí o ekologickém zemědělství. U zrodu stál J. P. Peruin jenž rozšiřoval tento způsob hospodaření. Dalšími důležitými účastníky byly svazy: Lemaire – Boucher a svaz Nature et Progrés (Šarapatka & Urban 2006). Lemaire – Boucher je jméno průkopnické metody ekologického zemědělství, vyvinuté v roce 1958. S tímto postupem jsou spojena jména agronoma Jeana Bouchera a obchodníka s obilím Raoula Lemaira. Metoda byla založena jak na střídání plodin, tak na kompostování statkových hnojiv a využívání mořských řas na bázi lithothamu, která jsou bohatá na hořčík a vápník. S touto metodou jsme se mohli setkat na pobřeží Bretaně, v západní části Francie, kde ji farmáři používali a jenž napomáhala k lepší kvalitě půdy a zvyšovala výnosy plodin (Waldin 2009). Myšlenka Bouchera byla taková, že používání mořských řas pozitivně ovlivňuje příjem důležitých prvků z půdy, konkrétně fosforu a vápníku a zároveň působí jako prevence proti chorobám a škůdcům. Účinky řas na mikrobiologické úrovni v půdě byly výzkumy potvrzeny (Urban et al. 2003). Metoda podle Claude Auberta spojená s Nature et Progrés, byla založena v roce 1964 za účelem rozvoje, podpory a regulace toho, co je v dnešní době známé pod pojmem ekologické zemědělství. Klíčovými zakladateli byli Paul Bauron a Pierre Barron (Waldin 2009).

Německo: Během 2. světové války, v roce 1940 vznikaly práce od Johannese Görbinga, který díky své tvorbě ovlivnil rozvoj ekologického zemědělství v německy mluvících zemích. Vypracoval metodu, která byla klíčová pro posuzování půdy, její struktury a kvality, metodu rýčovou (Urban et al. 2003). Vývoj ekologického zemědělství Německa v 50. a 60. letech 20. století, ovlivnily nové vědecké výzkumy a také snaha zlepšit kvalitu potravin, které jsou vystaveny chemickým zásahům. Podstata ochrany rostlin se tehdy zakládala na prevenci, tedy na náležitém výběru podmínek, zejména na volbě vhodné odrůdy a posílení odolnosti rostlin nejlépe vyhovujícím organickým hnojením (Šarapatka & Urban 2006). Podstatnou úlohu sehrála tvorba podmínek pro významné organismy, které působí na vymezený soubor škůdců. Biologická ochrana rostlin, využívá přirozených nepřátel škůdců a používá pesticidů zajištěných z přírodního materiálu (Urban et al. 2003).

3.2 Význam ekologického zemědělství

Existuje mnoho definic a vysvětlení pro pojem ekologické zemědělství, ale všechny se shodují v tom, že se jedná spíše o správu ekosystému než o vnější zemědělské vstupy. Jedná se o systém, který se snaží omezovat nebo eliminovat používání syntetických přípravků jako jsou chemická hnojiva či látky na ochranu rostlin, veterinární léčiva (antibiotika, steroidy,...), geneticky modifikovaná semena či plemena, konzervační látky atd. Výstižnou definici ekologického zemědělství formulovala komise FAO/WHO Codex Alimentarius: „Ekologické

zemědělství je holistický systém řízení výroby a produkce, který podporuje a zlepšuje zdravotní stav agro-ekosystémů, včetně biologické rozmanitosti, biologických cyklů a biologické aktivity půdy. Řídí se tím, že regionální podmínky vyžadují systémy přizpůsobené danému místu, kde je možno využít agronomických, biologických a mechanických metod, na rozdíl od použití syntetických materiálů pro splnění jakékoliv specifické funkce systému“ (FAO 1999).

Vzrůstající obliba ekologického zemědělství a bioproduktů naznačuje, že i spotřebitelé jsou informováni o negativních dopadech současného zemědělství. Dnešní průmyslový svět, který se neobejde bez nepřetržitých zásahů do biologické rovnováhy, využívá průmyslově vyrobených hnojiv a je proto podřízený spotřebě konvenčních zdrojů, tudíž industriální zemědělství není trvale udržitelné (Willer et al. 2008; Dlouhý & Urban 2011).

Osevní postup je pro ekologické podniky klíčovým zajištěním. Ekologičtí farmáři se snaží příhodně střídat plodiny, čímž udržují a zlepšují přirozenou úrodnost půdy, stabilizuje se humifikace a mineralizace, zvýší se využitelnost vody a živin, podporuje se mikrobiální činnost půdy a příjem dusíku, tlumí napadení chorobami a škůdci, omezuje se konkurenční schopnost plevelů, reguluje účinek růstových látek z posklizňových zbytků a zvyšuje biologickou rozmanitost (Šimon 1996, Šarapatka & Urban 2006). Postavení plodin v osevním postupu je důležitý prostředek, který přispívá k eminentnímu navýšení výnosu o 5 až 20 %.

Dalším krokem pro ekologické zemědělce je *výživa a hnojení plodin*. Jelikož ekologickým zemědělcům zákony nepovolují, využívat herbicidy a jiná chemická hnojiva, jsou tímto krokem mimo jiné podporovány půdní reakce a mikroorganismy, protože výzkumy potvrdily, že herbicidy, negativně ovlivňují půdní aktivitu. Na ekologických farmách se jako hnojiva využívají zejména komposty a hnoje, ale v dnešní době je potřeba zařadit i další možnosti hnojení jako je např. zelené hnojení, meziplodiny a přerušovače osevních postupů, převážně jeteloviny, obzvláště vojtěšku. Tyto postupy mají kladný efekt na půdní strukturu a zvyšují obsah humusu v půdě (Urban 2017). Tudíž základem ekologického zemědělství je tzv. zdravá půda, tato půda je zásadní pro růst a vývoj zdravých rostlin (Šarapatka & Urban 2006).

Od 20. století se mnohé změnilo a výběr plodin a její odrůdy začaly hrát velkou roli při pěstování obilnin. Prioritou je v dnešní době nemořené osivo, které je však v České republice velmi těžko dostupné a zemědělci jsou odkazováni na zahraniční prodejce, kteří jsou většinou poměrně drazí. Důležitou roli v pěstování, sehrávají odrůdy a výběr stanoviště vzhledem k výživě plodin, plevelům, škůdcům, chorobám apod. (Konvalina 2007). Dnešní odrůdy, které se vyznačují kvalitním výnosem a kvalitou vůbec, mají rozsáhlou kořenovou soustavu a jsou charakteristické vysokým a silným vzrůstem. Rozsáhlý kořenový systém, umožní lépe přijímat vodu a živiny a rostliny mají ke všemu lepší přístup. Mimo jiné, dalším kladným příspěvkem ekologického zemědělství je, že napomáhá krajínovorbě a ve vývoji a udržení biodiverzity. S čím se zatím nedá vypořádat je nerovnoměrná distribuce srážek, což je z jedním mnoha projevů změny klimatu, který je doprovázen velkým přívalem dešťů nebo extrémním suchem. (Urban 2017).

3.3 Vliv změny klimatu na pěstování obilnin

Změny teplot, proměnlivost počasí jako přirozený stav atmosféry je široce známý. Počasí je normálním projevem podnebí, avšak dnešní projevy podnebí a jeho proměnlivost nabrala úplně jiných a neznámých rozměrů. V posledních letech je průběh počasí poněkud extrémní, v létě jsou na většině místech Evropy tropická vedra se slabými až žádnými srážkami, což je příčinou toho, že rostliny nemají dostatečné množství vody a trpí suchem (Rožnovský 2011; Ray et al. 2019). Meteorologický slovník z roku 1993 vysvětluje pojem klimatické změny z výkladové a terminologické stránky jako „změnu podnebí probíhající po relativně dlouhou dobu v jednom směru, např. směrem k oteplení nebo ochlazení“.

S ohledem na možné dopady globálního oteplování na ekosystémy planety Země, je nutné nepřehlížet tři důležité aspekty: změny teplot a srážek v důsledku zvýšeného obsahu skleníkových plynů v atmosféře, dále snížení množství stratosférického ozonu a následný vzrůst intenzity UVB záření a v neposlední řadě rostoucí koncentraci přirozeného ozonu v důsledku zvýšeného množství UV záření a znečištěného ovzduší (Litschmann 2010).

Neustálý přírůstek tzv. skleníkových plynů jakým je například oxid uhličitý, fluorované uhlovodíky, vodní páry a jiné plyny, které jsou schopny pohlcovat dlouhovlnné záření zemského povrchu, podporují prohlubování skleníkového efektu a ovlivňují i atmosféru. Je tedy možné, že v roce 2030 by se mohla průměrná teplota vzduchu zvýšit o 0,9 až o 3,0 °C (IPCC, 2013).

Je dokázáno, že dojde k výraznějším výkyvům denních a nočních teplot - což se dále projeví četnými mrazíky na jaře a podzim. Podobná situace je i u srážek, kdy by podle odhadů měly mírně narůstat, ovšem počet dnů, kdy by měly srážky spadnout, by se měl snížit. Znamená to, že srážky budou intenzivnější, nárazové a především bouřkového rázu. To bude znamenat pro půdu - eroze, nerovnoměrné rozložení vláhy, nevyrovnanost vodních zdrojů apod. (IPCC, 2014).

Nárůst ultrafialového záření, které je vysoce energetické záření, má schopnost poškozovat buňky. Senzitivita rostlin k UVB záření závisí na druhu, šlechtění, odrůdě atd. Projevy záření se u rostlin mohou projevit v poškození reprodukční sféry i ve stavbě rostliny jako například zmenšení listové plochy, viditelné poškození listu, změna složení asimilátů a pokles výnosu. Mimoto dochází ke změnám biochemického cyklu uhlíku v oceánu a ovlivnění rovnováhy ve výměně oxidu uhličitého mezi oceánem a atmosférou. Zvyšování koncentrace ozonu, jímž největším zdrojem je průmysl, automobilová doprava i zemědělství, se od začátku 21. století zvedla trojnásobně. O₃ zasahuje do rostliny skrz průduchy listů, což může vést u některých plodin ke snížení výnosu (IPCC, 2014).

Chování plevelů a jejich rozšíření je též ovlivněno klimatickými změnami. Plevelé mimo jiné zvyšují koncentraci oxidu uhličitého v atmosféře, plynu, který zintenzivňuje skleníkový efekt. Negativní dopad, který je pravděpodobné předvídat, že změny teplot způsobí rozšíření patogenů a škůdců (Bláha 2006)). V dnešní době je na plodiny vyvíjen určitý tlak v podobě

požadavků na jejich vlastnosti a zdatnost. Zejména se jedná o ranost, rychlý přechod do generativní fáze, širokou adaptabilitu, rozvinuté kořeny, kvalitní osivo atd. (Bláha 2006). Scénáře však nemusí být až tak dramatické, jelikož existují dispozice, že by mohlo lidstvo dokázat zpomalit globální oteplování. Zastavit nelze, jelikož je mnoho příčin, které způsobují tento fenomén od vesmírných až po lidské (Acot 2003).

3.4 Vliv sucha

Sucho představuje pro obilniny hlavní příčinu, která vyvolává stres rostliny. Projevuje se především nedostatkem půdní vláhy pro zajištění potřeb rostlin. Na vzniku sucha má vliv spousta činitelů, které vzájemným působením zodpovídají za původ vodního stresu, jako jsou například úhrn srážek, teplota vzduchu a proudění vzduchu, evapotranspirace porostu, odtokové poměry území, zásoba vody ve sněhu atd. (Dostál et al. 2008). Vliv sucha ovlivňuje příjem živin a výživu rostlin, se snížením půdní vlhkosti pod asi 30 až 40 % polní vodní kapacity klesá přístupnost makroprvků a mikroprvků, dále se snižuje transport iontů transpiračním proudem a zmenšuje se rychlost difuze iontů v půdě, tedy přechod iontů z vyšší koncentrace prostředí do prostředí s nižší koncentrací. Pokud vlhkost půdy dále výrazně klesne, rychlost pohybu iontů ke kořenům klesá. Z toho plyne, že čím hustší kořenová soustava, tím příznivější má rostlina podmínky pro příjem živin v půdě s nízkou vlhkostí. Jedním z nejrizikovějších období vývoje je kvetení a období, které následuje po něm, tyto fáze vývoje se hůře vyrovnávají se suchem a tedy s vodním deficitem nebo s vyššími teplotami. Nedostatek vody dále narušuje správné fungování metabolismu rostliny a to konkrétně ukládání bílkovin, škrobu a tuků. Zrna jsou drobnější, v závislosti na délce, intenzitě trvání sucha jsou projevy různé například v oblasti kvality zrna, HTS, objemové hmotnosti a vyrovnanosti zrna (Haberle et al. 2008; Thomas 2014).

Vodní stres mimoto způsobuje snížení pH půdy a zasolení. Zasolení je překážkou pro přímořské oblasti nebo pro oblasti solných jezer, avšak v České republice se zasolením můžeme setkat také a to tam, kde se nadměrně hnojí anorganickými hnojivy, blízko silnic, které byly ošetřeny solí v zimním období. Plodiny mohou nedostatkem vody strádat i v zimě. Je to dáno tím, že rostliny neumí přijímat vodu v pevném skupenství, ale pouze v kapalném stavu. Vystavení rostliny vodnímu deficitu během vegetace má za následek nižší hospodářský výnos, nižší kvalitu a organoleptické vlastnosti, životaschopnost osiva, všechny tyto elementy v celé sféře podnikání negativně ovlivní ekonomiku farmy. Z hlediska délky trvání stresových faktorů lze rozdělit stres na krátkodobý a dlouhodobý. Dlouhodobý stres z nedostatku vody a dehydratace může vyvolat odumření orgánu až zánik celé rostliny. Z dostupných zdrojů lze konstatovat, že sucho a vodní deficit patří mezi prioritní limitující faktory (Hnilička et al. 2005).

Jak uvádí Potopová (2020a), pěstovaná plodina a použitá technologie pěstování může vliv klimatických změn zesílit, ale i výrazně utlumit. Způsob zemědělské výroby (volba plodin a odrůd, agrotechnika, výživa rostlin, zpracování půdy, závlahy aj.) může mít tedy výrazně větší vliv na půdní klima než změna meteorologických veličin. V 70. letech 20. století se vyskytly krátkodobé suché epizody s menší intenzitou a to zejména v druhé polovině vegetačního období

(v červenci – září), které byly z pohledu produkce plodin méně významné (Potopová et al. 2015, 2016, 2017a-b, 2018). V 90. letech výrazně vzrostla doba trvání a intenzity sucha, což je dááno do souvislosti s nárůstem teploty vzduchu, globálním zářením a sytostním doplňkem (Potopová et al., 2015). V první dekádě 21. století výrazně roste počet epizod sucha, které střídají velké povodně a tato koncentrace extrémů vláhové bilance je projevem rostoucí proměnlivosti srážek. Pozorované změny ve výskytu rizika sucha v první části vegetačního období za poslední více než jednu dekádu jsou alarmující (Potopová et al., 2018, 2020b). Současně upozorňují na nárůst frekvence sucha v dubnu – květen - červen v ČR víc než jednou mezi dvěma obdobími. V posledních 50. letech vzrostla pravděpodobnost jarního sucha až o 50 %, meteorologické sucho se od té doby vyskytuje každé tři, čtyři a pěti roky, hydrologické sucho každých devět let (Potopová 2017a).

3.5 Vliv změny teplot vzduchu

„Lidské činnosti vedou k neustálému narůstání koncentrace skleníkových plynů v atmosféře, tento nárůst zesiluje přirozený skleníkový efekt atmosféry, a to povede v průměru k dalšímu oteplování zemského povrchu a atmosféry, což pravděpodobně ovlivní ekosystémy přírody a lidstvo jako takové“, tak je změna klimatu interpretována v Rámcové úmluvě Spojených národů. Společně s pojmem klimatické změny se objevuje i další významný pojem globální oteplování. Tento pojem vlastně představuje, člověka jako původce změn, jenž svým počínáním na Zemi přispívá k oteplování nebo oteplování přímo vyvolává (Rožnovský 2014). Je zřejmé, že průměrná povrchová teplota stoupla už od konce 19. století, tedy od průmyslové revoluce od dob, kdy veškeré inovace byly brány jako krok kupředu bez ohledu na vliv a způsobené obtíže pro budoucí generace. Posledních 30 let se dá hovořit o vyšších teplotách nad zemským povrchem (Trnka et al. 2015; Gammans et al. 2017). Pokud teploty budou stále stoupat, bude vývoj plodin, obilnin zrychlený což vyvolá snížení výnosu, tedy velmi nežádoucí efekt. Podle zpráv lze očekávat celoroční zvýšení teploty, na jaře a v létě tedy během důležitých etap růstu obilnin (Žalud 2009). Předpokládá se, že lidské činnosti povedou k podstatnému nárůstu teploty, který ovlivní severní Evropu v zimě a jižní Evropu v létě. Navíc se očekává, že tyto změny způsobí rostoucí nedostatek vody podél Středozemního moře, na jihozápadním Balkáně a na jihu evropského Ruska (Kang et al. 2009). Následky, pro evropské zemědělské ekosystémy se budou pravděpodobně velmi lišit v závislosti druhu plodiny, regionu a pravděpodobných změnách klimatu. V severní Evropě se očekává, že bude dominovat zvyšování výnosu a rozšiřování klimaticky vhodných oblastí, zatímco v jižní Evropě budou převažovat nevýhody vyplývající ze zvyšování nedostatku vody a extrémních povětrnostních jevů (bouře, sucho, teploty). Tyto účinky mohou posílit současné trendy intenzifikace zemědělství v severní a západní Evropě (Kang et al. 2009; Bindi & Olesen 2010; Potopová et al. 2015).

3.6 Úhrn srážek

V České republice byl zaznamenán dlouho trvající sestupný trend úhrnu srážek. Od roku 1961 do 80. let minulého století vykazovaly většiny stanic, že úhrny srážek klesají, s tím souvisí převaha výparu nad srážkami, tedy výsledná nedostupnost vody rostlinám (ČHMÚ 2018).

Z pohledu zemědělce je klíčový výskyt měsíčních srážkových úhrnů. Tento výskyt srážek je u většiny stanic menší než 10 mm v dubnu, srpnu a září. Právě v tomto významném vegetačním období rostlinám chybí dostatečné množství srážek (Rožnovský 1995). Nouze o vodu se u plodin projevuje biochemickými, fyziologickými procesy a morfologickými změnami – morfologické změny nadzemních částí a kořenového systému, změny v orgánech a pletivech. Platí, že u obilnin se nedostatek vody projevuje urychleným vývojem, vadnutím, stáčením listů z důvodu parných a větrných dnů, předčasným žloutnutím, opadem spodních pater listů atd. Obecně platí, že bez vody nejde u obilnin dosáhnout adekvátních výnosů a kvality (Haberle et al. 2008; Stallmann et al. 2018).

Pokud budeme očekávat nové oteplení, je nutné předpokládat i změnu sněhových srážek, tedy rozložení, výšku a dobu trvání sněhové pokrývky a srážek. Se srážkami dále souvisí následná eroze půdy, která je vyvolána mnoha projevy, ale mimo jiné i vysokou intenzitou deště (Toman 1995). Využívá se termínu přívalové srážky, které jsou typické krátkodobými za to velmi intenzivními dešti. Protierozní odolnost je u plodin dost různá, mezi náchylnější patří okopaniny a nejméně náchylné jsou pícniny a obilniny. Mezi další negativní projevy řadíme vymývání dusičnanových iontů do spodnějších vrstev, což zapříčiní znemožnění agrotechnických zákroků a zásadních polních činností (Žalud 2009). Mnoho autorů se do budoucna domnívá, že stoupne počet intenzivních přívalových srážek, které se budou objevovat všude po celé zeměkouli (Trnka et al. 2015). Mimo jiné, od roku 1960 do roku 2010 se zvýšila spotřeba vody dvojnásobně v důsledku rozšíření zemědělských systémů, rostoucí globální teploty, rychlého růstu a rozvoje populace a zvýšené globální životní úrovně. Stanoviska musí být spojena s opatřeními, která omezují EU pokračující růst poptávky (Potopová et al. 2019).

3.7 Narušení biodiverzity

Obyvatelé Země svým působením a velkým vlivem na okolní svět zejména na přírodu, negativně ovlivnili její chod, uspořádání a zastoupení jednotlivých druhů. Velice důležitá změna nastává ve výskytu patogenů a škůdců a v jejich počtech generací v přírodě (Plesník 2010). Zemědělství, což je uměle vytvořený agroekosystém, který by se měl podle některých autorů lépe vyrovnat s nastolenými změnami než jiné ekosystémy. Zemědělství má v jedné věci výhodu a to v tom, že využívá, tzv. sezonní plodiny naopak jistou nevýhodou jsou monokultury, kde se patogeny a škůdci snadněji šíří a množí (Bláha 2006). Vším tím stresem, které sebou nese změna klíma, jsou rostliny vyčerpanější a náchylnější k patogenům, škůdcům i houbovým chorobám jako je například padlí pšenice, bráničnatka pšeničná apod.

Náležitou pozornost si žádají i druhy škůdců a patogenů, které jsou zavlečené na místo, kde se nikdy nevyskytovaly. Z důvodu zvyšování teplot se do České republiky dostaly teplomilné druhy z jižní Evropy (Kulovaná 2001). Zda-li bude klimatická změna rychlejší a zřetelnější ve svých projevech, tím bude i reakce patogenů a škůdců zásadnější a ničivější. Změny klimatu mohou ovlivnit škůdcův život: změnami projevů a významu místních škůdců, šíření nových škůdců a patogenů, častější a větší škodlivost, růst výsledného počtu a jejich rozšíření a příchod skleníkových škůdců. Škůdci mají většinou stálý počet generací, který je

ovlivněn fotoperiodou, 10 až 15 % škůdců však vykazuje větší početnost v letech extrémního počasí. Mezi tyto škůdce řadíme například kříška polního, osenici polní, různé druhy obalečů atd. Počet nově zavlečených tzv. nepůvodních druhů na nová území narůstá a největší podíl na této pravdě nese člověk. Česká republika do roku 1980 zaznamenala jednoho škůdce nově zavlečeného na naše území, jednou za čtyři roky, do roku 2000 byl zaregistrován jeden nový škůdce, každé dva roky a po roce 2000 to byl jeden nepůvodní škůdce, každý rok. Změny se mohou projevat i v postupném potlačování místních druhů z důvodu nepůvodních druhů škůdců a hlavně změn průběhu počasí (Žalud 2009).

3.8 Adaptační potenciál odolnosti obilnin vůči suchu, horku a mrazu

Na území České republiky, se klimatické změny mohou projevat hlavně ve formě sucha, horka a mrazů během jarní nebo podzimní vegetace. Do budoucna se očekává, mnohem vyšší nepředvídatelnost počasí, která se bude střídat v průběhu celého roku. Potřeba je tedy zvýšit odolnost obilnin vůči vnějším činitelům prostředí, což vyzdvihuje výběr odrůdy mezi klíčová opatření při pěstování obilnin. Výběr odrůdy a její výsledné vlastnosti jsou závislé na šlechtění v dnešní době, šlechtitelé se zaměřují hlavně na znaky odolnosti a jejich využití. Pokud se jedná o přímé opatření proti klimatickým změnám, jsou značně zredukovaná, jelikož pracovní a hlavně finanční stránka je velmi náročná. Klíčovým postupem je volba a šlechtění odolných obilnin, hodnocení odolnosti vůči vnějšmu prostředí a počasí, hledání genetických zdrojů apod., k důležitým poznatkům patří, že staré a krajové odrůdy se používají jako možnost boje proti abiotickému stresu, který způsobuje výkyvy počasí v ČR (Prášil et al. 2015).

Řešitelský vědecký tým v rámci aktuálního projektu „Adaptační potenciál odolnosti pšenice k suchu, horku a mrazu“ (NAZV č. QK1910269; doba řešení: 2019 – 2023) navrhuje adaptační opatření, která umožní výrazně snížit škody způsobené aktuálními abiotickými aspekty, suchem, horkem a mrazem při pěstování pšenice na našem území. Oborníci z oblasti agrometeorologie a fenologie, molekulární genetiky a šlechtění budou zkoušet nové ochranné prostředky a tvořit nástroje pro sledování aktuálního vývoje odolnosti a případného poškození porostů pšenice v oblastech jejího pěstování v ČR. Meteorologové na katedře agroekologie a rostlinná produkce České zemědělské univerzity v Praze mapují průběh odolnosti pšenice k mrazu, suchu, horku či jejich kombinaci v různých regionech ČR. Jak uvádí Prášil et al. (1994), mrazuvzdornost pšenice lze také charakterizovat jako schopnost rostliny přežít tvorbu ledu v buňkách. Otužilost ozimé pšenice postupně narůstá poklesem teploty v podzimním období a naopak klesá v měsících leden a únor. Při teplotách 0 až +5 °C se otužilost zvyšuje a při teplotách nad +5 °C nebo při dlouhodobějším působení mrazů se míra otužení snižuje. Horčíčka et al. (2007) uvádí, že koncem zimy je odolnost ozimé pšenice vůči nízkým teplotám o 50 – 70 % nižší než na počátku zimy.

Další vědecký tým v rámci projektu „Strategie minimalizace dopadu sucha na udržitelnou produkci a sladovnickou kvalitu ječmene“ (NAZV č. QK1910197; doba řešení: 2019 – 2023) zkoumá a zabývá se nalezením genotypů ječmene - nositelů sladovnické kvality vhodných pro období s větším výskytem suchých period v období vegetace, které se stále častěji vyskytují a

jejichž další nárůst se v budoucnu předpokládá, a to především v hlavních produkčních oblastech pěstování ječmene. V případě jarního ječmene budou hledány genotypy, které budou schopny se snadněji vyrovnat se suchem a současně budou nositeli sladovnické kvality. V případě ozimého ječmene budou hledány genotypy se sladovnickou kvalitou, kterým rychlý vývoj na jaře v důsledku možnosti využít zimní vláhy poskytuje větší šanci uniknout suchu v době tvorby a zrání obiliek.

Nové vlastnosti, které pomohou rostlinám se rychleji a účinněji adaptovat na nové životní podmínky, jsou určeny různými výzkumy, šlechtěním a jinými biotechnologickými metodami. Genetické zdroje a jejich rozmanitost na všech úrovních jsou přitom zásobárnou nových nebo doposud neznámých vlastností. Jsou důležitou složkou přírodního bohatství kteréhokoliv státu, může se vyskytovat ve volné přírodě či jsou uchovávány v určitých zařízeních tzv. genobankách (VÚRV 2015). Na téma řízení jejich využívání se vede řada diskuzí na mezinárodní i národní úrovni. Podle Ministerstva životního prostředí, je klíčovým cílem zemědělského výzkumu v oblasti změny klimatu „hledat způsoby ke zmírnění a prevenci možných dopadů klimatické změny na agrární sektor a možnosti synergických mezisektorových přínosů, výzkum by měl spočívat zejména v přípravě systémů pěstování zemědělských plodin a výběru vhodných odrůd odolávajících předpokládaným dopadům změny klimatu (např. takových, které by lépe snášely suchu, výkyvy teplot, nárazové srážky atd.) a také ve šlechtění nových odrůd a revitalizaci starých odrůd a kultivarů kulturních rostlin, zaměřených na výnosy při dobré odolnosti proti škodlivým činitelům, suchu, vlnám vysokých teplot vzduchu, půdní erozi atd.“. Z těchto důvodů spočívá adaptační strategie obilnin v křížení s ranějšími odrůdami a odrůdami tolerantními k suchu a vysokým teplotám (MZe 2015).

3.9 Fenologické fáze obilnin

3.9.1 Pšenice ozimá

Bývá vysévána od 15. září do konce 28. října, ke vzcházení většinou dochází za 8 až 20 dní, vzhledem k nadmořské výšce, kdy v polohách nižší než 300 m. n. m. začíná vzcházení, začátkem října za průměrné pentádní teploty vzduchu 10,1 °C. V polohách od 300 do 500 m. n. m. nastupuje vzcházení, v polovině října o průměrné pentádní teplotě vzduchu 9,8 °C a v polohách vyšších než 501 m. n. m. nastává vzcházení, koncem října za průměrné pentádní teploty vzduchu 9,7 °C. Hlavním faktorem, který ovlivňuje fenologickou fázi vzcházení, je termín setí. Odnožování je ovlivněno počasím, to znamená, že k odnožování může docházet v roce setí nebo až v následujícím roce. Počátek prodlužování listových čepelí nastává okolo 19. dubna, první kolénko se ukazuje okolo 5. května a druhé kolénko se zpravidla objevuje okolo 12. května. Naduření pochvy posledního listu začíná 25. května. Metání je fáze, ke které dochází koncem května a začátkem června, podle nadmořské výšky, čím nižší polohy, tím dřívější nástup metání za průměrné pentádní teploty vzduchu 15,5 °C, která je ve všech polohách téměř totožná. Počátek kvetení většinou nastává začátkem července, pokud se pohybujeme v polohách nižší než 300 m. n. m. pokud se nacházíme, ve vyšších polohách kvetení začíná v polovině června za průměrné pentádní teploty vzduchu 15,8 °C, které jsou ve

všech polohách stejné. Dle fenologického atlasu ČR, plná zralost nastává koncem července a během srpna. Kdy bude uskutečněna sklizeň, je ovlivněno agrotechnickými zásahy. Během sklizně se průměrná pentádní teplota vzduchu pohybuje okolo 18,9 °C, teplota je ve všech výškových polohách podobná. Na nástup jednotlivých fenologických fází mají zejména vliv meteorologické podmínky, ale také agrochemické, fyziologické a pedologické faktory a odrůdová skladba (Hájková et al. 2016).

3.9.2 Žito

Žito se obvykle seje koncem září až začátkem října, tedy kolem 24. září a 2. října, fáze vzcházení většinou nastupuje mezi 7 – 12 dny po setí, tedy někdy v polovině října za průměrné pentádní teploty vzduchu 9,3 °C. Čím nižší nadmořská výška, tím vyšší průměrná teplota vzduchu. Stádium odnožování začíná okolo 26. až 10. listopadu, naduření pochvy posledního listu nastupuje mezi 17. květnem až 21. květnem. Metání, probíhá zpravidla koncem května, za průměrné pentádní teploty vzduchu 12,7 °C, toto období je citlivé na nedostatek srážek, pokud jsou srážky nedostačující, snižuje se počet zrn v klase a hmotnost zrna. Počátek kvetení nastává průměrně mezi 3. a 12. červnem za průměrné pentádní teploty vzduchu 14,9 °C, což je ve všech pásmech podobné. Plnou zralost se očekává koncem července a začátkem srpna, za průměrné pentádní teploty vzduchu 17,5 °C, která je ve všech polohách stejná. U tritikále se setkáváme se podobným průběhem (Hájková et al. 2016).

3.9.3 Ječmen jarní

Bývá vyséván na začátku dubna, tedy někdy kolem 7. dubna, ke vzcházení zpravidla dochází v polovině až koncem dubna za průměrné pentádní teploty vzduchu 8,9 °C, která je ve všech polohách podobná. Zásadní vliv na vegetativní vývoj má mimo jiné kromě teploty a vlhkosti vzduchu také délka dne. Před metáním má ječmen největší potřeby srážek. Fáze odnožování začíná 7. května, první kolénko se objevuje 29. května a druhé kolénko 4. června. K metání většinou dochází v polovině až koncem června za průměrné pentádní teploty vzduchu 16,6 °C, která je ve všech pásmech podobná. Počátek kvetení samčích květů můžeme očekávat koncem června za průměrné pentádní teploty vzduchu 16,9 °C, čím vyšší polohy tím nižší teploty a pozdější nástup počátku kvetení. Od mléčné zralosti až po plnou zralost potřeba vody klesá, plná zralost připadá na 3. srpna, za průměrné pentádní teploty vzduchu 18,9 °C (Hájková et al. 2016).

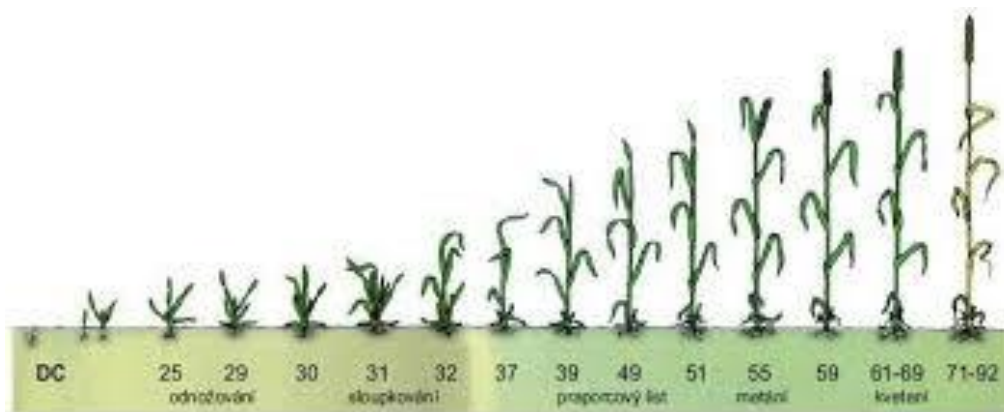
3.9.4 Oves

Oves se seje zpravidla od 3. až 19. dubna, v době klíčení potřebuje oves více vody než jiné obilniny, proto je nutné oves včas zasít, aby v půdě bylo dostatečné množství zásob půdní vody. Ke vzcházení dochází krátce po setí, tedy v polovině dubna za průměrné pentádní teploty vzduchu 10,0 °C, čím nižší polohy, tím je průměrná teplota vyšší. Odnožování začíná většinou okolo 4. až 12. května, naduření pochvy posledního listu nastává průměrně v polovině června. Fáze metání začíná následně po naduření pochvy posledního listu 17. až 22. června, za

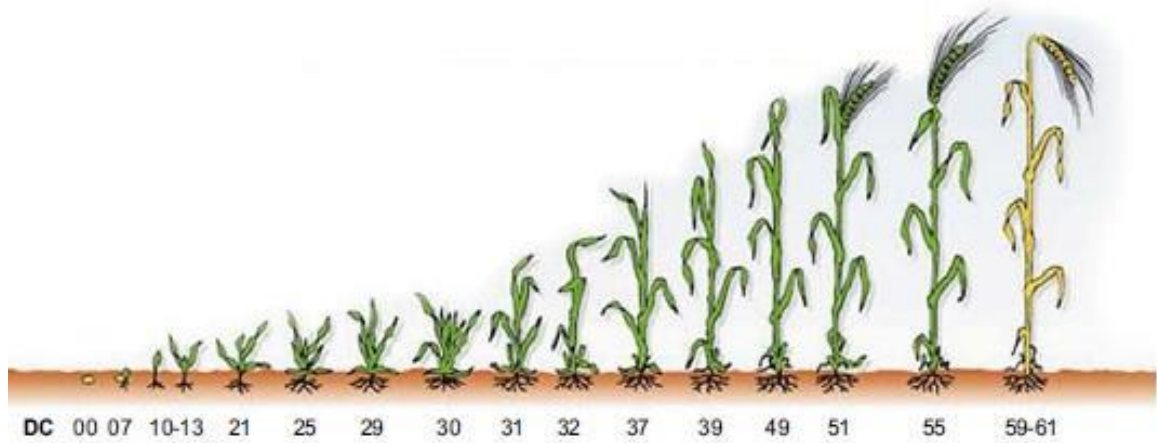
průměrné pentádní teploty vzduchu 15,5 °C. Metání je fází, kdy oves potřebuje dostatek vláhy, pro výnos je dále důležitý úhrn srážek mezi vzcházením a počátkem kvetení. Počátek kvetení připadá na konec června, při průměrné pentádní teplotě vzduchu 17,5 °C. Čím nižší polohy, tím vyšší teplotní průměry a plná zralost nastává začátkem až koncem srpna, podle nadmořské výšky, kdy ve vyšších polohách se setkáváme s pozdějším nástupem plné zralosti za průměrné pentádní teploty vzduchu 18,4 °C (Hájková et al. 2016).

3.9.5 Kukuřice na zrno

Tuto plodinu začínáme sít koncem dubna a začátkem května, jelikož kukuřice klíčí při vyšších teplotách vzduchu a má dobrou setí, vyšší nároky na teplotu, je lepší jí zasévat až později na jaře. Vzcházení přichází v polovině až koncem května, za průměrné pentádní teploty vzduchu 13,9 °C, která je ve všech polohách stejná. Metání začíná okolo 21. července za průměrné pentádní teploty vzduchu 18,7 °C, teploty jsou si dost podobné, jak v nízkých tak ve vysokých nadmořských výškách. Fází před metáním, kdy dochází, k reprodukčnímu vývoji, se rozhoduje o velikosti výnosu a kukuřice zvyšuje, své nároky na srážky. V tomto kritickém období, jsou pro výnos této obilniny značně škodlivé vysoké teploty vzduchu a sucho (Potopová 2020a). Počátek kvetení samčích květů připadá zpravidla na konec července a na začátek srpna za průměrné pentádní teploty vzduchu 19,1 °C, která je ve všech pásmech stejná. Plnou zralost můžeme očekávat 25. září a začátkem října za průměrné pentádní teploty vzduchu 13,9 °C, ve všech polohách je průměrná teplota vzduchu totožná (Hájková et al. 2016).



Obrázek 1: Fenofáze pšenice ozimé (http://www.cereza.cz/sites/default/files/prilohy/5a38bcc6e7714_odber-rostlin.pdf)



Obrázek 2: Fenofáze ječmene jarního (http://www.cerea.cz/sites/default/files/prilohy/5a38bcc6e7714_odber-rostlin.pdf)

4 Data a Metody

Statistické modely byly vytvořeny dle algoritmu na katedře meteorologie, agroekologie a rostlinné produkce na České zemědělské univerzitě v Praze (Potopová et al. 2020). Pro hodnocení vlivu jednotlivých rizikových meteorologických faktorů na výnos obilnin, byly použity soubory dat Českého hydrometeorologického ústavu v Praze, a to konkrétně průměrné měsíční teploty vzduchu a měsíční úhrn srážek na území ČR v období 2001 – 2018. Soubory dat o územních teplotách vzduchu a srážkách byly rozděleny dle hlavních fenologických fází. Nejprve byly vypočítány průměrné hodnoty, směrodatné odchylky, minima a maxima teploty vzduchu a úhrnu srážek.

Dále byly použity datové soubory výnosů obilnin v ekologickém zemědělství, které byly vyjádřeny v tha^{-1} , ve sledovaném období 2001 – 2018 z ročenek ekologického zemědělství, které vydává Ministerstvo zemědělství od roku 2006 (MZe - Ročenka ekologického zemědělství 2006). Následně byly použity datové soubory výnosů obilnin v konvenčním zemědělství, vyjádřeny v tha^{-1} , ve sledovaném období 2001 – 2018 ze Situačních a výhledových zpráv, které vydává také Ministerstvo zemědělství (MZe - Situační a výhledové zprávy 2002). Diplomová práce se konkrétně zabývala obilninami: pšenice ozimá, žito, ječmen jarní, oves, tritikále a kukuřice na zrno. V popisné statistice, v programu Microsoft Excel 2016 byly výnosové řady zhodnoceny a u každé obilniny bylo určeno minimum, maximum, medián, průměr, rozptyl, směrodatná odchylka a variační koeficient pro celé období 2001 – 2018 v ekologickém zemědělství, tak v zemědělství konvenčním. Dále byly zjištěny trendy výnosů obilnin a pro jednotlivou plodinu byla určena rovnice regrese. Byly dále vytvořeny grafy výnosů pro každou obilninu, které sloužily, k porovnání výnosů ekologického a konvenčního zemědělství.

Pro analýzu vlivu různých faktorů na výnos byla použita metoda lineární regrese, jejímž výstupem jsou lineární modely ve tvaru:

$$Y_d = a + b * t \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (1)$$

$$Y_d = a + b * r \text{ (mm)} \quad (2)$$

kdy (a) vyjadřuje intercept neboli konstantu, tato hodnota je spíše hypotetická, znamená vertikální posun přímky při nulové hodnotě vstupního parametru. Šikmost, tudíž (b) vyjadřuje, zda jsou hodnoty rozloženy okolo průměru symetricky. V neposlední řadě (t , $^\circ\text{C}$) a (r , mm), tedy příslušné vlivy, které zkoumáme v našem případě průměrné teploty vzduchu a úhrn srážek.

Lineární regresní model patří k nejpoužívanějším metodám statistické analýzy. Nabízí možnost vyjádření vztahu mezi proměnou a množinou vysvětlujících proměnných, pomocí regresní funkce, která je lineární funkcí neznámých odhadovaných parametrů. Pro výpočet korelačního koeficientu (r), hladiny významnosti (p), šikmosti (b) a konstanty (a) byl použit program Statistika.

V jednotlivých měsících byly stanoveny korelační koeficienty, které určují vztah mezi výsledným výnosem a teplotou vzduchu a úhrnem srážek. Korelační analýza, byla použita k sledování závislosti výnosů obilnin na území České republiky v měsících, během kterých probíhají fenologické fáze plodin. Pearsnův korelační koeficient, byl použit k vyjádření těsnosti vazby mezi odchylkami výnosu a odchylkami územních teplot vzduchu a úhrnem srážek. Pokud r , nabývá kladných hodnot je vliv pozitivní v daném měsíci, a naopak pokud je r záporné, vliv je negativní ve vybraném měsíci. Hodnot, kterých nabývá r , se pohybují od -1 do +1. Klasifikace korelace: slabá (0,1 – 0,3), střední (0,4 - 0,6), silná (0,7 – 0,8) a velmi silná (větší než 0,9). Koeficient determinace (R^2), byl použit k vysvětlení, do jaké míry nezávisle proměnná (srážky a teplota vzduchu) ovlivňuje závisle proměnnou (výnos), tato hodnota nabývá od 0 do 1 nebo se vyjadřuje v procentech. Hladina významnosti, vyjadřuje, zda je tento model statisticky významný či nikoliv. Pokud čísla nabývají hodnot menší než 0,05 je model statisticky významný a pokud jsou hodnoty vyšší, než 0,05 je model statisticky nevýznamný.

5 Výsledky

5.1 Ověření kvality odhadu tendence změny výnosů

Pro analýzu proměnlivosti výnosu všech obilnin byla aplikována kvadratická polynomiální regrese, také lineární, exponenciální a logaritmické typy trendu (Tab. 1). Tendence průměrných ročních výnosů pšenice ozimé, žita, ječmene jarního, ovsa, tritikále a kukuřice na zrno v ekologickém a konvenčním zemědělství za posledních 18 let (2001 - 2018) v ČR je uvedena v Tab. 1 a Obr. 1 - 12. Statisticky nejmenší koeficient determinace ($R^2 = 0,351$) má lineární trend (Tab. 1) a největší ($R^2 = 0,568$) polynomiální trend výnosové řady EZ ozimé pšenice. Avšak z praktického důvodu, pro predikci tendence výnosů s kratší dobou EZ a KZ bylo vybráno u všech plodin lineárního trendu. Např. lineární trend ($y = 0,0815x + 2,0039$) udává, že výnos u ozimé pšenice ročně roste v EZ o $0,0815 \text{ tha}^{-1}$ a v KZ o $0,0829 \text{ tha}^{-1}$.

Tabulka č. 1: Rovnice trendu pro výnos pšenice ozimé, žita, ovsa, tritikále a kukuřice na zrno v ekologickém a konvenčním zemědělství

Trendy	Pšenice ozimá (EZ)		Pšenice ozimá (KZ)	
	Rovnice	R^2	Rovnice	R^2
Polynomický	$y = -0,0139x^2 + 0,3454x + 1,124$	0,568	$y = -0,0006x^2 + 0,0945x + 4,5826$	0,346
Lineární	$y = 0,0815x + 2,0039$	0,351	$y = 0,0829x + 4,621$	0,346
Exponenciální	$y = 1,8692e0,0374x$	0,409	$y = 4,6307e0,0154x$	0,340
Logaritmický	$y = 0,6462\ln(x) + 1,4711$	0,498	$y = 0,5055\ln(x) + 4,3867$	0,290
Trendy	Žito (EZ)		Žito (KZ)	
Polynomický	$y = -0,0141x^2 + 0,3481x + 0,8371$	0,594	$y = -0,0038x^2 + 0,1466x + 3,5491$	0,441
Lineární	$y = 0,0798x + 1,7315$	0,356	$y = 0,0737x + 3,792$	0,418
Exponenciální	-	-	$y = 3,7653e0,0176x$	0,423
Logaritmický	$y = 0,6914\ln(x) + 1,0915$	0,603	$y = 0,5044\ln(x) + 3,4723$	0,442
Trendy	Ječmen jarní (EZ)		Ječmen jarní (KZ)	
Polynomický	$y = -0,0041x^2 + 0,0649x + 2,5977$	0,065	$y = 0,0021x^2 + 0,0496x + 3,7393$	0,517
Lineární	$y = -0,0125x + 2,8559$	0,020	$y = 0,0901x + 3,6045$	0,511
Exponenciální	$y = 2,7419e-0,002x$	0,003	$y = 3,6393e0,0203x$	0,509
Logaritmický	$y = 0,0229\ln(x) + 2,6904$	0,002	$y = 0,5358\ln(x) + 3,3767$	0,408
Trendy	Oves (EZ)		Oves (KZ)	
Polynomický	$y = 0,0038x^2 - 0,0695x + 2,7307$	0,050	$y = 0,0007x^2 + 0,0242x + 2,8916$	0,271
Lineární	$y = 0,0033x + 2,4882$	0,002	$y = 0,0375x + 2,8473$	0,269
Exponenciální	$y = 2,3548e0,0054x$	0,021	$y = 2,836e0,0121x$	0,282
Logaritmický	$y = -0,068\ln(x) + 2,6572$	0,162	$y = 0,2303\ln(x) + 2,7381$	0,229
Trendy	Tritikále (EZ)		Tritikále (KZ)	
Polynomický	$y = -0,0075x^2 + 0,2219x + 1,36$	0,369	$y = 0,0011x^2 + 0,0441x + 3,7302$	0,443
Lineární	$y = 0,0792x + 1,8384$	0,309	$y = 0,0649x + 3,6609$	0,440
Exponenciální	$y = 1,356e0,0563x$	0,209	$y = 3,6636e0,0155x$	0,429
Logaritmický	$y = 0,5517\ln(x) + 1,4756$	0,338	$y = 0,3842\ln(x) + 3,501$	0,348
Trendy	Kukuřice na zrno (EZ)		Kukuřice na zrno (KZ)	
Polynomický	$y = -0,0341x^2 + 0,5999x + 3,314$	0,221	$y = -0,0118x^2 + 0,2505x + 6,2456$	0,071

Lineární	$y = -0,0473x + 5,4712$	0,018	$y = 0,0262x + 6,9932$	0,013
Exponenciální	-	-	$y = 6,9553e0,0029x$	0,009
Logaritmický	$y = 0,1477\ln(x) + 4,7237$	0,004	$y = 0,2165\ln(x) + 6,8044$	0,021

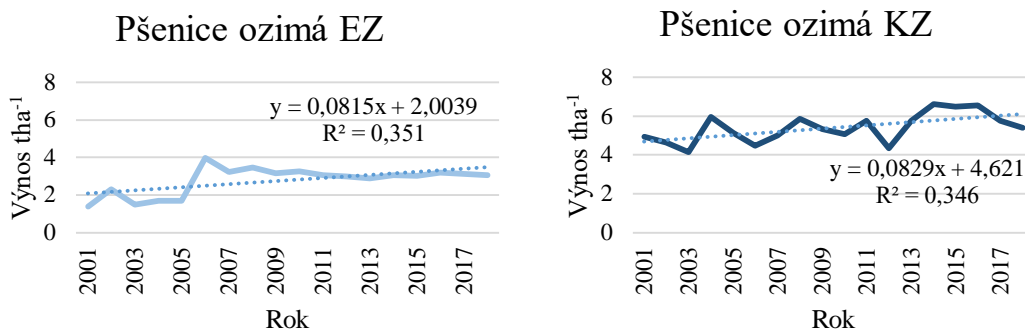
*EZ – ekologické zemědělství, KZ – konvenční zemědělství

„-“, znaménko znamená, že exponenciální funkce není vhodná pro některé obilniny

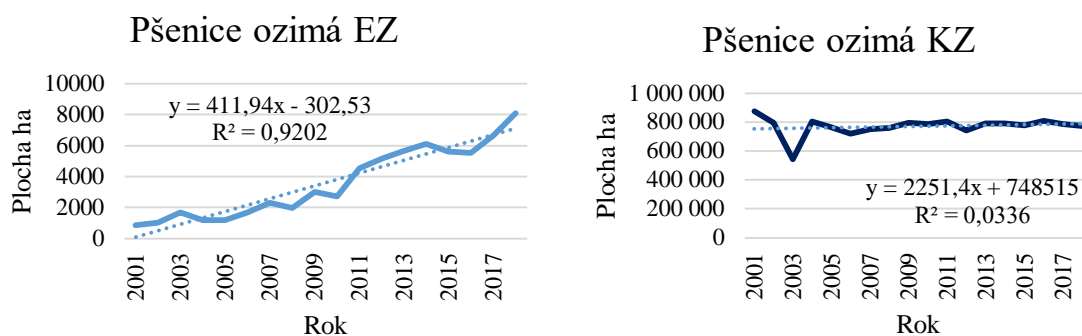
5.2 Variabilita výnosů v ekologickém a konvenčním zemědělství v letech 2001 – 2018

V rámci globální průměrné roční produkce plodin, bylo ovlivněno proměnlivostí klimatu 41 % ($0,8 \text{ tha}^{-1}$ za rok) kukuřice a 36 % ($0,3 \text{ tha}^{-1}$ za rok) pšenice (Potopová 2020). V Obr. 1 je zobrazena výnosová řada lineárního typu trendu pro pšenici ozimou za období 2001 až 2018, tedy za posledních osmnáct let v ekologickém zemědělství. Nejvyšší výnosy pšenice ozimé, které můžeme z grafu vyčíst, byly v letech 2006 ($3,97 \text{ tha}^{-1}$). Nejnižšího výnosu si můžeme všimnout v počátcích sběru dat z ekologického zemědělství, tedy v roce 2001 ($1,40 \text{ tha}^{-1}$) a v roce 2003 ($1,47 \text{ tha}^{-1}$). Trend disponuje rostoucí tendencí a během sledovaných let se výnos pšenice ozimé v ekologickém režimu navýšil o $1,47 \text{ tha}^{-1}$ ($R^2 = 0,351$). Stejný typ grafu byl vytvořen pro pšenici ozimou pěstovanou v konvenčním typu zemědělství. Nejvyšší výnosy pšenice ozimé, které můžeme z grafu vyčíst, byly v letech 2014 ($6,61 \text{ tha}^{-1}$) a v roce 2016 ($6,57 \text{ tha}^{-1}$). Nejnižšího výnosu si můžeme všimnout v roce 2003 ($4,14 \text{ tha}^{-1}$) a v roce 2012 ($4,34 \text{ tha}^{-1}$). Trend disponuje také jako v případě ekologického zemědělství, rostoucí tendencí a během sledovaných let se výnos pšenice ozimé v konvenčním zemědělství navýšil o $1,49 \text{ tha}^{-1}$ ($R^2 = 0,346$).

Plocha na pěstování ekologicky pěstované pšenice ozimé se od roku 2001 zvětšuje (Obr. 2). Největší plochy pro pšenici v ekologickém režimu byly v roce 2018 (8 064,94 ha). Nejmenší výměra pro pěstování pšenice ozimé byla v roce 2001, kdy představovala, jen 851,89 ha zemědělské plochy. Trend je tedy vzrůstající a stoupá průměrně o 411,94 ha za rok ($R^2 = 0,920$). Plochy v konvenčním zemědělství byly nejvyšší v letech 2001, rozprostíraly se na 873 463 ha. Nejmenší plocha, byla zaznamenána v roce 2003 (541 695 ha). Z grafu vyplývá, že pěstování pšenice ozimé v konvenčním zemědělství, zaznamenává z pohledu výnosu rostoucí tendenci a roste o 2 251,4 ha za rok. Momentem, kdy byl u pšenice ozimé zaznamenán nejvyšší výnos (rok 2006) v ekologickém zemědělství se plochy, spíše rozkládaly na nižších rozlohách – 1 679 ha. V době, kdy byl u pšenice ozimé zaznamenán nejvyšší výnos (rok 2014) v konvenčním zemědělství se plochy, rozkládaly na rozloze – 778 200 ha, vzhledem k Obr. 2, lze říci, že plochy pšenice ozimé pěstované v konvenčním zemědělství, si udržují potažmo stálou rozlohu.



Obrázek č. 3: Porovnání trendů výnosů pšenice ozimé v ekologickém zemědělství a konvenčním zemědělstvím

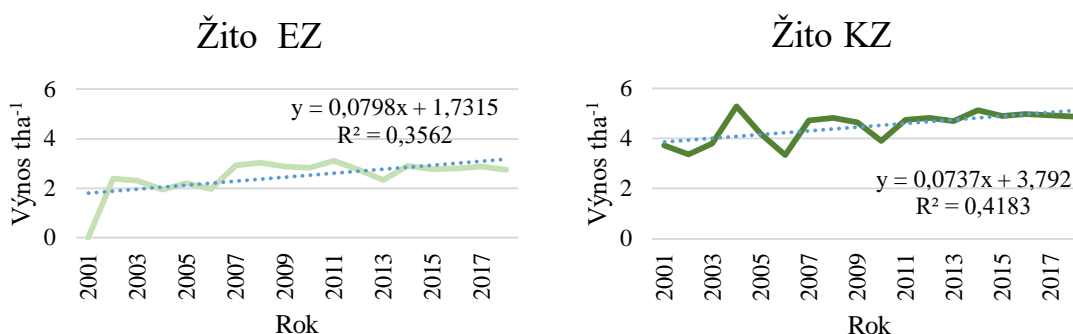


Obrázek č. 4: Porovnání trendů ploch pšenice ozimé v ekologickém zemědělství a konvenčním zemědělství

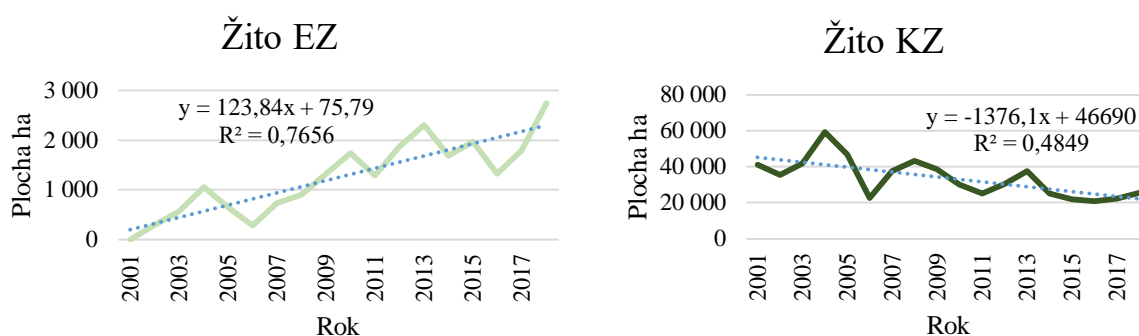
V Obr. 3 je zobrazena výnosová řada lineárního typu trendu pro plodinu žito za období 2001 až 2018, tedy za posledních osmnáct let v ekologickém zemědělství. Nejvyšší zaznamenané výnosy žita, které můžeme z grafu vyčíst, byly v letech 2008 ($3,04 \text{ tha}^{-1}$) a 2011 ($3,11 \text{ tha}^{-1}$). Nejnižšího výnosu si můžeme všimnout v počátcích sběru dat z ekologického zemědělství, tedy v roce 2001 (0 tha^{-1}), kdy podle získaných dat byl výnos nulový, dále byl zaznamenan nízký výnos v roce 2004 ($1,96 \text{ tha}^{-1}$) a 2006 ($1,98 \text{ tha}^{-1}$). Trend disponuje rostoucí tendencí a během sledovaných let se výnos žita v ekologickém režimu navýšil o $1,44 \text{ tha}^{-1}$ ($R^2 = 0,356$). Stejný typ grafu byl vytvořen pro žito pěstované v konvenčním typu zemědělství. Nejvyšší výnosy žita, které můžeme z grafu vyčíst, byly v roce 2004 ($5,29 \text{ tha}^{-1}$). Nejnižšího výnosu si můžeme všimnout v roce 2002 ($3,37 \text{ tha}^{-1}$) a v roce 2006 ($3,33 \text{ tha}^{-1}$). Trend disponuje také jako v případě ekologického zemědělství rostoucí tendencí a během sledovaných let se výnos žita v konvenčním zemědělství navýšil o $1,33 \text{ tha}^{-1}$ ($R^2 = 0,418$).

Plocha na pěstování ekologického žita se od roku 2001 rozrůstá (Obr. 4). Největší rozlohy bylo možné zaznamenat v ekologickém režimu na ploše $2\,751,74 \text{ ha}$ v roce 2018. Nejmenší plochu pro pěstování, lze vyčíst z grafu v roce 2001, kdy představovala, 0 ha na našem území. Trend je tedy vzrůstající a vzrůst stoupá průměrně o $123,84 \text{ ha}$ za rok ($R^2 = 0,766$). Plochy pro žito v konvenčním zemědělství byly největší v roce 2004, $59\,209 \text{ ha}$. Nejmenší plocha byla zaznamenaná v roce 2016, $20\,951 \text{ ha}$. Z grafu vyplývá, že výnos žita má tendenci klesající a klesá o $1\,376,1 \text{ ha}$ za rok ($R^2 = 0,485$). V době, kdy byl u žita zaznamenan nejvyšší výnos (rok 2011) v ekologickém zemědělství, se půda s obhospodařovaným žitem, rozprostírala na malých rozlohách a graf, zaznamenává v roce 2011 menší propad rozloh, s ohledem na roky 2010 a

2012, 2013. V době, kdy byl zaznamenán nejvyšší výnos (rok 2004) v konvenčním zemědělství se plochy, rozprostíraly na nejrozsáhlejších výměřích, kterých se v grafu dosáhlo, konkrétně na 59 209 ha.



Obrázek č. 5: Porovnání trendů výnosů žita v ekologickém zemědělství a konvenčním zemědělstvím

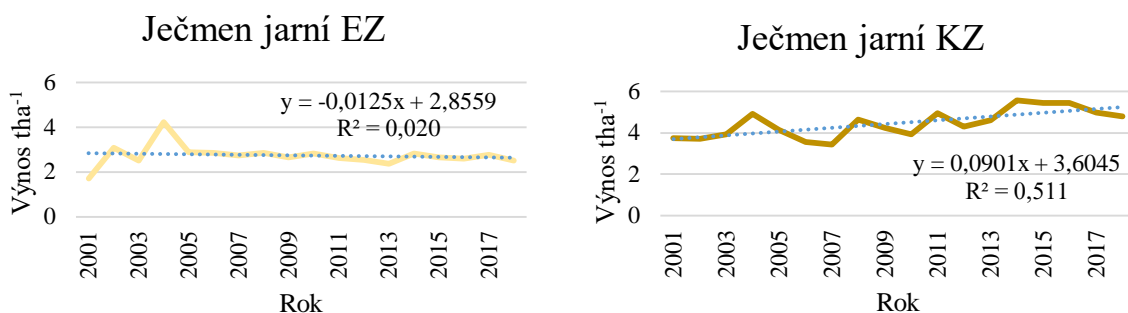


Obrázek č. 6: Porovnání trendů ploch žita v ekologickém zemědělství a konvenčním zemědělství

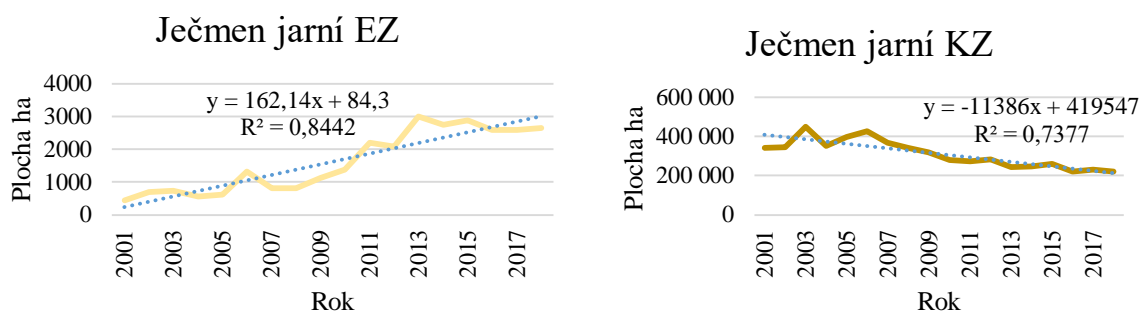
V následujícím grafu (Obr. 5) je zobrazena výnosová řada lineárního typu trendu pro ječmen jarní za období 2001 až 2018. Nejvyšší zaznamenané výnosy ječmene jarního, které můžeme z grafu vyčíst, byly v roce 2004 ($4,23 \text{ t ha}^{-1}$). Nejnižšího výnosu si můžeme všimnout v počátcích sběru dat z ekologického zemědělství, v roce 2001 ($1,70 \text{ t ha}^{-1}$). Trend disponuje klesajícím sklonem a během sledovaných let se výnos ječmene jarního v ekologickém režimu snížil o $0,23 \text{ t ha}^{-1}$ ($R^2 = 0,020$). Stejný typ grafu byl vytvořen pro ječmen jarní pěstovaný v konvenčním typu zemědělství. Nejvyšší výnosy ječmene jarního, které můžeme z grafu vyčíst, byly v letech 2014 ($5,56 \text{ t ha}^{-1}$) a v roce 2016 ($5,45 \text{ t ha}^{-1}$). Nejnižšího výnosu si můžeme všimnout v roce 2006 ($3,55 \text{ t ha}^{-1}$) a v roce 2007 ($3,44 \text{ t ha}^{-1}$). Trend disponuje opačným směrem, než můžeme vidět u ekologického zemědělství, tedy rostoucím sklonem a během sledovaných let se výnos ječmene jarního v konvenčním zemědělství navýšil až o $1,62 \text{ t ha}^{-1}$ ($R^2 = 0,511$).

Rozloha pro pěstování ječmene jarního v ekologickém zemědělství se od roku 2001 rozrostla (Obr. 6). V roce 2013, byl ječmen jarní v ekologickém režimu nejvíce pěstován na ploše 3 005,71 ha. Nejmenší plochy pro pěstování si můžeme všimnout v roce 2001, kdy představovala, jen 443,11 ha. Trend je vzrůstající a stoupá průměrně o 162,14 ha za rok ($R^2 = 0,844$). Výměry v konvenčním zemědělství byly nejvyšší v roce 2003, 451 137 ha. Nejmenší

plocha byla zaznamenána v roce 2016, 221 719 ha. Z grafu vyplývá, že plocha ječmene jarního má tendenci klesající a snižuje se o 11 386 ha za rok ($R^2 = 0,738$). V roce 2004, kdy byl u ječmene jarního zaznamenán nejvyšší výnos v ekologickém zemědělství, rozlohy půd měly menší propad, dle grafu – 564 ha. V době, kdy byl zaznamenán nejvyšší výnos (rok 2014) v konvenčním zemědělství se plochy, rozkládaly na menších rozlohách – 247 590 ha, např. vzhledem k roku 2003, kdy se plochy rozprostíraly na 451 137 ha.



Obrázek č. 7: Porovnání trendů výnosů ječmene v ekologickém zemědělství a konvenčním zemědělstvím

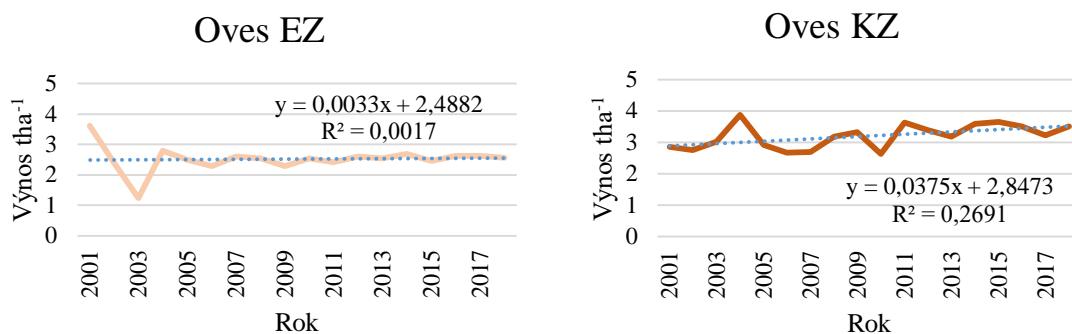


Obrázek č. 8: Porovnání trendů ploch ječmene jarního v ekologickém zemědělství a konvenčním zemědělstvím

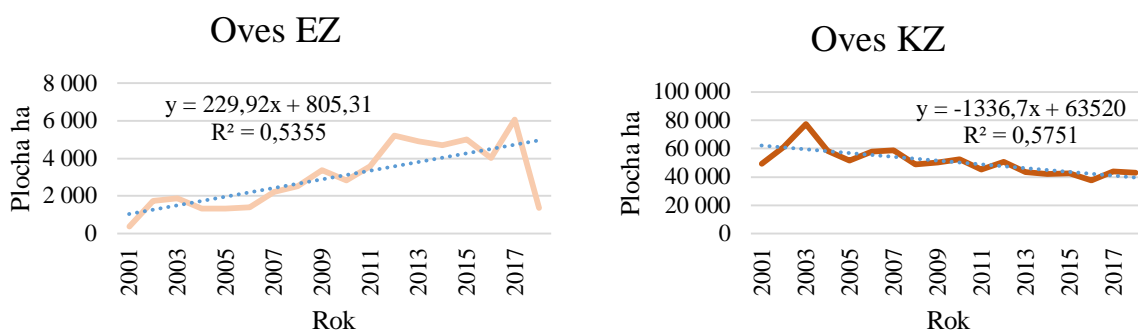
V Obr. 7 je zobrazena výnosová řada lineárního typu trendu pro oves za období 2001 až 2018. Nejvyšší zaznamenané výnosy ovsa, které můžeme z grafu vyčíst, byly v roce 2001 ($3,69 \text{ tha}^{-1}$), tedy na začátku sběru dat z ekologického zemědělství. Nejnižšího výnosu si můžeme všimnout, v roce 2003 ($1,24 \text{ tha}^{-1}$). Trend disponuje mírně rostoucí tendencí a během sledovaných let se výnos ovsa v ekologickém režimu zvýšil o $0,06 \text{ tha}^{-1}$ ($R^2 = 0,002$). Nejvyšší výnosy v KZ byli zaznamenány v roce 2004 ($3,88 \text{ tha}^{-1}$). Nejnižšího výnosu si můžeme všimnout v roce 2006 ($2,68 \text{ tha}^{-1}$) a 2007 ($2,70 \text{ tha}^{-1}$). Trend disponuje rostoucí tendencí a během sledovaných let se výnos ovsa v konvenčním zemědělství navýšil o $0,68 \text{ tha}^{-1}$ ($R^2 = 0,269$).

Plocha na pěstování ekologicky pěstovaného ovsa se od roku 2001 zvětšila (Obr. 8). Největší plocha, na které byla, oves v ekologickém režimu pěstována, se rozkládala na 6 060,95 ha v roce 2017. Nejmenší plocha pro pěstování byla zaregistrována v roce 2001, kdy představovala, jen 383,76 ha. Trend je tedy vzrůstající a stoupá průměrně o 229,92 ha za rok ($R^2 = 0,536$). Plochy v konvenčním zemědělství byly nejvyšší v roce 2003, 77 371 ha. Nejmenší

plocha byla zaznamenána v roce 2016, 37 566 ha. Z grafu vyplývá, že má tendenci klesající a klesá o 1 336,7 ha za rok ($R^2 = 0,575$). V době, kdy byl u ovesa zaznamenán nejvyšší výnos (rok 2001) v ekologickém zemědělství se plochy rozprostíraly na nejmenších rozlohách – 383,76 ha, pro srovnání s rokem 2017, kdy rozlohy stouply až na 6 060,95 ha, avšak výsledný výnos byl nižší. V době, kdy byl zaznamenán nejvyšší výnos (rok 2004) v konvenčním zemědělství se plochy ovesa, rozkládaly na průměrných rozlohách, 58 573 ha.



Obrázek č. 9: Porovnání trendů výnosů ovesa v ekologickém zemědělství a konvenčním zemědělstvím

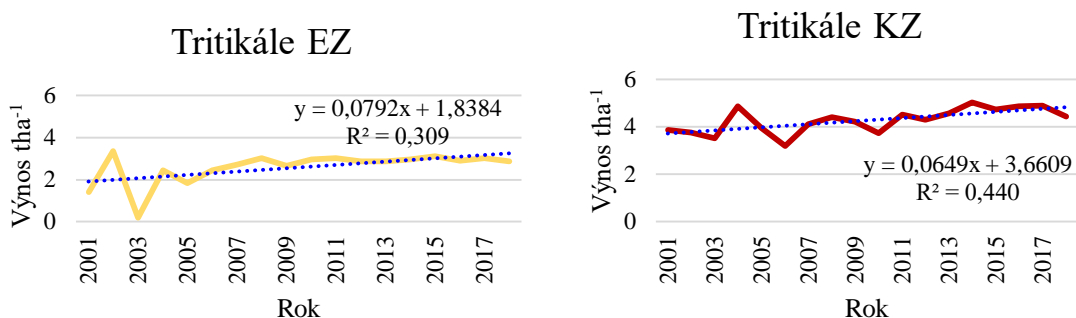


Obrázek č. 10: Porovnání trendů ploch ovesa v ekologickém zemědělství a konvenčním zemědělství

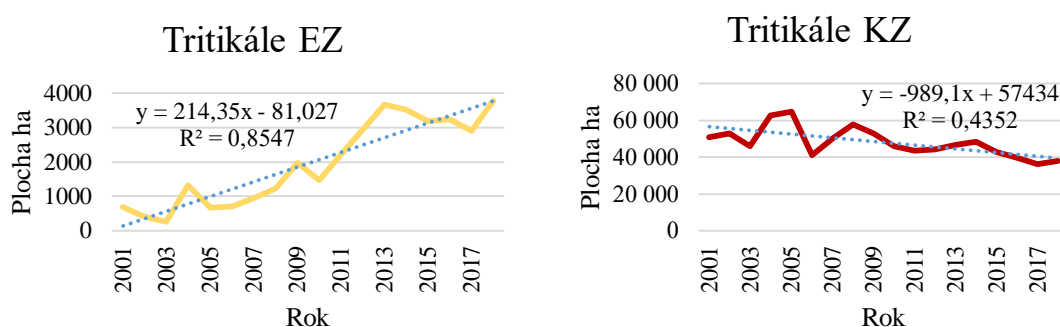
V Obr. 9 je zobrazena výnosová řada lineárního typu trendu pro tritikále za období 2001 až 2018. Nejvyšší zaznamenané výnosy tritikále, které můžeme z grafu vyčíst, byly v roce 2002 ($3,36 \text{ t ha}^{-1}$) a v roce 2015 ($3,12 \text{ t ha}^{-1}$). Nejnižšího výnosu, si můžeme všimnout, v roce 2003 ($0,19 \text{ t ha}^{-1}$). Trend disponuje rostoucím sklonem a během sledovaných let se výnos tritikále v ekologickém režimu zvýšil o $1,43 \text{ t ha}^{-1}$ ($R^2 = 0,309$). Nejvyšší výnosy tritikále v konvenčním typu zemědělství byly zaznamenané v roce 2014 ($5,03 \text{ t ha}^{-1}$). Nejnižšího výnosu si můžeme všimnout v roce 2006 ($3,20 \text{ t ha}^{-1}$). Trend disponuje rostoucí tendencí a během sledovaných let se výnos tritikále v konvenčním zemědělství navýšil o $1,17 \text{ t ha}^{-1}$ ($R^2 = 0,440$).

Plocha ekologicky pěstovaného tritikále se od roku 2001 rozrostla. Největší plochy, byly u tritikále v ekologickém režimu zaznamenané v roce 2018 - 3 782,48 ha (Obr. 10). Nejmenší plochy pro pěstování si můžeme všimnout v roce 2003, kdy představovala, jen 265,07 ha. Trend je tedy stoupající a vzrůstá průměrně o 214,35 ha za rok. $R^2 = 0,855$ závislost je tedy silná. Plochy v konvenčním zemědělství byly největší v roce 2005 – 64 811 ha. Nejmenší plocha byla

zaznamenána v roce 2006, 41 023 ha. Z grafu vyplývá, že výnos tritikále má tendenci klesající a klesá o 989,1 ha za rok ($R^2 = 0,435$). V době, kdy byl u tritikále zaznamenán nejvyšší výnos (rok 2015) v ekologickém zemědělství se rozlohy půd s tritikále rozprostíraly na rozlehlých plochách 3 185,98 ha. V období, kdy byl zaznamenán nejvyšší výnos (rok 2004) v konvenčním zemědělství se plochy rozkládaly na rozlehlých plochách, 62 776 ha.



Obrázek č. 11: Porovnání trendů výnosů tritikále v ekologickém zemědělství a konvenčním zemědělství

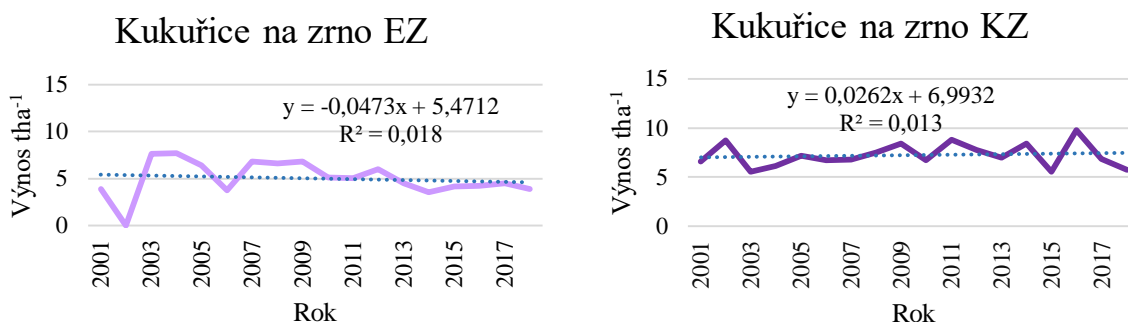


Obrázek č. 12: Porovnání trendů ploch tritikále v ekologickém zemědělství a konvenčním zemědělství

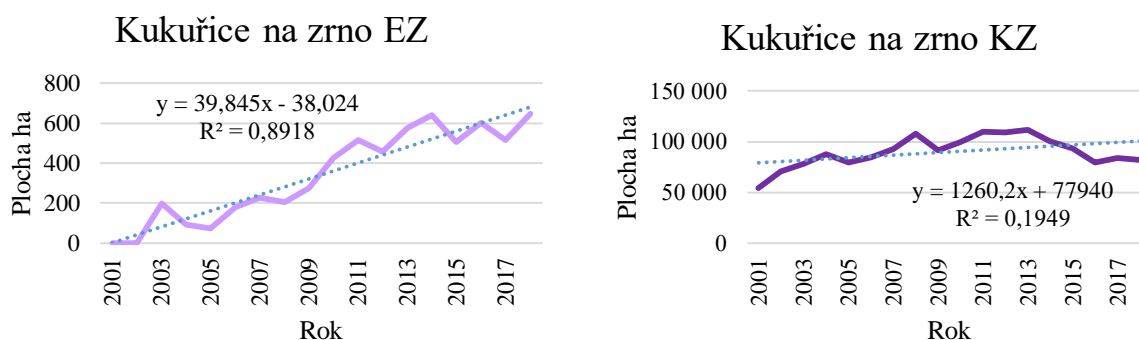
V Obr. 11 je zobrazena výnosová řada lineárního typu trendu pro kukuřice na zrno za období 2001 až 2018 v ekologickém zemědělství. Nejvyšší zaznamenané výnosy kukuřice na zrno, byly v roce 2003 ($7,61 \text{ t ha}^{-1}$) a v roce 2004 ($7,70 \text{ t ha}^{-1}$). Nejnižšího výnosu, si můžeme všimnout, v roce 2002 (0 t ha^{-1}), kdy je podle dostupných dat úplný propad výnosu na nulu, dále nejnižší výnosy byly zaznamenány v roce 2014 ($3,56 \text{ t ha}^{-1}$). Trend disponuje klesajícím sklonem a během sledovaných let výnos kukuřice na zrno v ekologickém režimu snížil o $0,85 \text{ t ha}^{-1}$ ($R^2 = 0,018$) Stejný typ grafu byl vytvořen pro kukuřici na zrno pěstovanou v konvenčním typu zemědělství. Nejvyšší výnosy, které můžeme z grafu vyčíst, byly zaznamenány v roce 2016 ($9,79 \text{ t ha}^{-1}$). Nejnižšího výnosu si můžeme všimnout v roce 2015 ($5,54 \text{ t ha}^{-1}$). Trend disponuje rostoucí tendencí a během sledovaných let se výnos kukuřice na zrno v konvenčním zemědělství navýšil o $0,47 \text{ t ha}^{-1}$ ($R^2 = 0,013$).

Plocha na pěstování ekologicky pěstované kukuřice na zrno se od roku 2001 zvětšila (Obr. 12). V roce 2014 byla kukuřice na zrno v ekologickém režimu nejvíce pěstována na ploše 3 640,43 ha. Nejmenší plocha pro pěstování byla v roce 2001. Trend je tedy vzrůstající a stoupá

průměrně o 39 845 ha za rok ($R^2 = 0,892$). Plochy v konvenčním zemědělství byly nejvyšší v roce 2013, 111 931 ha. Nejmenší plocha byla zaznamenána v roce 2001, 54 295 ha. Z grafu vyplývá, výnos železnice na zrno má sklon rostoucí a stoupá o 1 260,2 ha za rok ($R^2 = 0,195$). V době, kdy byl u kukuřice na zrno zaznamenán nejvyšší výnos (rok 2004) v ekologickém zemědělství se plochy rozprostíraly na velmi nízkých rozlohách - 93 ha. V době, kdy byl zaznamenán nejvyšší výnos (rok 2016) v konvenčním zemědělství se plochy v tom období rozkládaly na malých rozlohách, 79 303 ha.



Obrázek č. 13: Porovnání trendů výnosů kukuřice na zrno v ekologickém zemědělství a konvenčním zemědělstvím



Obrázek č. 14: Porovnání trendů ploch kukuřice na zrno v ekologickém zemědělství a konvenčním zemědělství

5.3 Parametry kvality modelu použitého pro hodnocení vlivu teploty vzduchu a úhrnu srážek na výnos

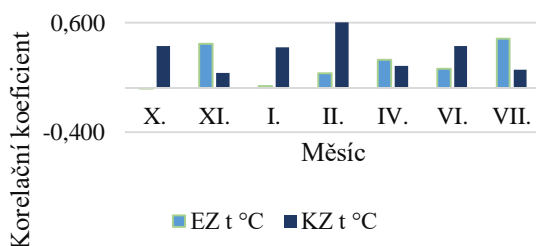
Regresní model byl vytvořen v programu Statistika za monitorované období 2001 až 2018, tedy za osmnáct let pro ekologické a konvenční zemědělství. V Tab. 2 je zaznamenán vliv průměrné měsíční teploty vzduchu (t °C) a měsíčního úhrnu srážek (r mm) na výsledný výnos pšenice ozimé v porovnání mezi ekologickým a konvenčním režimem zemědělství. V levém odstavci v tabulkách, jsou vypsané vybrané měsíce z období pěstování obilnin, v prvním tabulce se jedná o pšenici ozimou. Významným znakem, který vypovídá o následném dopadu průměrné měsíční teploty a úhrnu srážek na výsledný výnos pšenice ozimé je šikmost, která se značí (b). Výsledky jsou rozepsány zvlášť pro jednotlivé plodiny (Tab. 2 - 7 a Obr. 15 - 26). Z výsledků je patrné (Tab. 2, Obr. 15 - 16), že srážky během fenologických fází pšenice ozimé

negativně ovlivňují výnos jak v KZ tak i EZ až o 40,4 % ($-0,10 < r < -0,36$) oproti teplotám, které působí příznivě na výnos a vysvětlují jeho nárůst o 20,1 % ($0,14 < r < 0,60$). Avšak v období sněhové pokrývky, vliv teploty a srážek je obvykle větší, než když se sněhová pokrývka nevyskytuje. Ozimá pšenice je citlivá jak na holomrazy a srážkový deficit v chladném období roku, tak na sucha ve vegetačním období (Potopová 2020a).

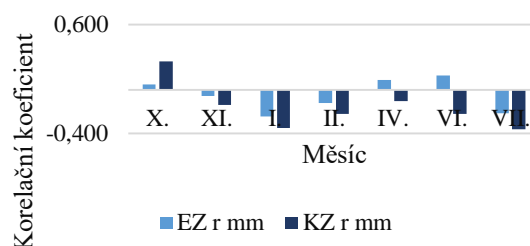
Tabulka č. 2: Parametry kvality modelu použitého pro hodnocení vlivu teploty vzduchu ($^{\circ}\text{C}$) a úhrnu srážek (mm) na výnos pšenice ozimé ($Y_d = a + b * t$ ($^{\circ}\text{C}$), $Y_d = a + b * r$ (mm))

	a		b		r		R2		p	
	Konstanta		šikmost							
	EZ t $^{\circ}\text{C}$	KZ t $^{\circ}\text{C}$	EZ t $^{\circ}\text{C}$	KZ t $^{\circ}\text{C}$	EZ t $^{\circ}\text{C}$	KZ t $^{\circ}\text{C}$	EZ t $^{\circ}\text{C}$	KZ t $^{\circ}\text{C}$	EZ t $^{\circ}\text{C}$	KZ t $^{\circ}\text{C}$
Pšenice										
X.	2,789	3,333	-0,001	0,121	-0,003	0,385	0,000	38,123	0,990	0,052
XI.	1,952	4,340	0,205	0,010	0,407	0,140	16,640	30,160	0,092	0,375
I.	2,786	4,522	0,006	0,065	0,023	0,374	0,051	37,524	0,929	0,071
II.	2,800	4,502	0,037	0,127	0,138	0,603	1,898	55,347	0,586	0,010
IV.	1,776	4,018	0,114	0,036	0,261	0,205	6,801	31,098	0,296	0,080
VI.	1,065	7,137	0,102	-0,172	0,182	0,389	3,320	38,326	0,469	0,050
VII.	-2,542	5,237	0,285	-0,054	0,457	0,170	20,901	30,491	0,057	0,042
	a		b		r		R2		p	
	konstanta		šikmost							
	EZ r mm	KZ r mm	EZ r mm	KZ r mm	EZ r mm	KZ r mm	EZ r mm	KZ r mm	EZ r mm	KZ r mm
Pšenice										
X.	2,692	5,114	0,002	0,001	0,051	0,264	0,267	10,416	0,839	0,090
XI.	2,864	5,317	-0,002	-0,003	-0,056	-0,137	0,317	15,391	0,824	0,085
I.	3,274	5,729	-0,010	-0,011	-0,246	-0,351	6,036	25,291	0,326	0,120
II.	2,934	5,432	-0,004	-0,007	-0,121	-0,220	1,453	12,633	0,633	0,090
IV.	2,635	5,271	0,004	-0,002	0,090	-0,102	0,804	20,100	0,724	0,090
VI.	2,471	5,295	0,004	-0,002	0,135	-0,223	1,811	30,106	0,595	0,090
VII.	3,190	5,349	-0,005	-0,002	-0,216	-0,360	4,659	40,443	0,390	0,050

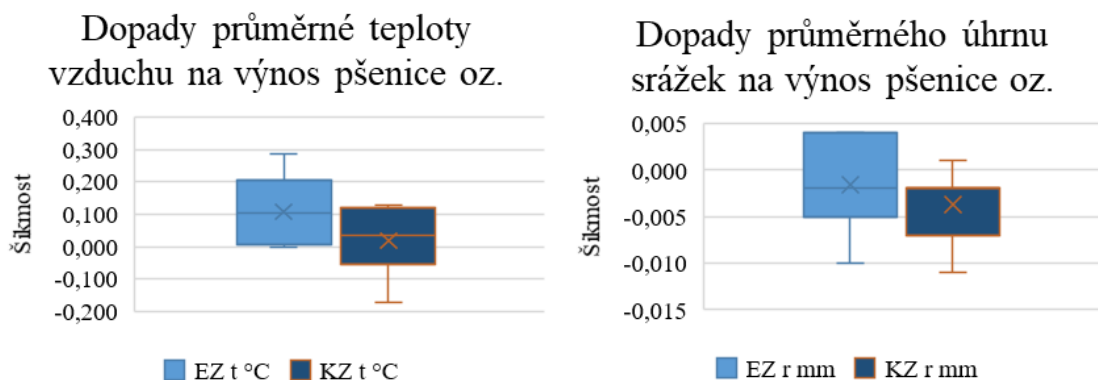
Vztah mezi výnosem pšenice ozimé a teplotou vzduchu



Vztah mezi výnosem pšenice ozimé a úhrnem srážek



Obrázek č. 15: Závislost proměnlivosti výnosů pšenice ozimé na působení teplot a srážek v průběhu roku, hodnoceno na základě korelačního koeficientu



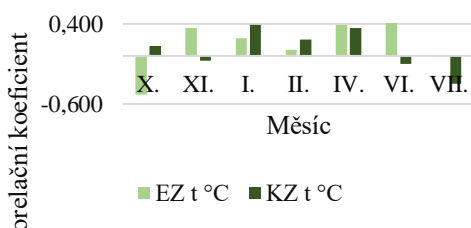
Obrázek 16: Krabicový diagram vyjadřuje dopad průměrných měsíčních teplot vzduchu a srážek na výnos pšenice ozimé

V Tab. 3 a Obr. 17 - 18 je uveden vliv průměrné měsíční teploty vzduchu (t °C) v různých fázích vegetačních období žita na výsledný výnos, v porovnání mezi ekologickým a konvenčním režimem. Analýza zobrazuje, že největší negativní vliv má teplota v měsíci říjen dosahují u průměrných teplot v EZ středních korelace ($r = -0,48$ a $R^2 = 23,3$). To znamená, že výnos je velmi silně negativně ovlivněn vysokými teplotami v období setí až o 23,3 %. Avšak vysoké teploty v červenci vysvětlují ztrátu výnosu žita v KZ o 11,8 % ($r = -0,35$). Střední negativní vliv srážek na výnos v EZ a KZ je viditelný ve většině vegetačního období, kde je ovlivněn o 12,9 %. V Obr. 17 je vidět, že medián v obou případech zůstává v kladných hodnotách, což znamená, že vyšší průměrné měsíční teploty vzduchu pozitivně ovlivňují výnos žita, avšak v ekologickém zemědělství je vliv průměrných měsíčních teplot vzduchu výraznější na výnos než u konvence. Další krabicový graf v Obr. 18 (vpravo), vyjadřuje dopad průměrných měsíčních úhrnů srážek na výnos žita, můžeme si všimnout, medián v obou případech zůstává v záporných hodnotách, což znamená, že vyšší průměrný měsíční úhrn srážek negativně ovlivňuje výnos, avšak v konvenčním zemědělství je vliv výraznější na výnos žita než u ekologického režimu.

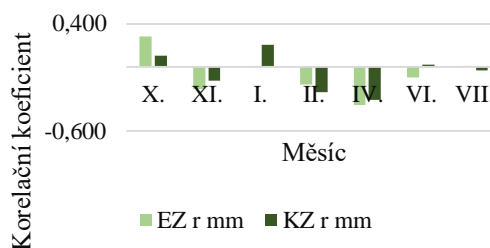
Tabulka č. 3: Parametry kvality modelu použitého pro hodnocení vlivu teploty vzduchu (°C) a úhrnu srážek (mm) na výnos žita ($Yd=a+b*t$ (C), $Yd=a+b*r$ (mm))

	a		b		r		R2		p	
	konstanta		šikmost							
	EZ t °C	KZ t °C	EZ t °C	KZ t °C	EZ t °C	KZ t °C	EZ t °C	KZ t °C	EZ t °C	KZ t °C
Žito										
X.	4,280	4,097	-0,216	0,048	-0,483	0,125	23,364	1,570	0,042	0,620
XI.	1,798	4,588	0,173	-0,024	0,352	-0,057	12,370	0,328	0,152	0,822
I.	2,570	4,610	0,060	0,087	0,225	0,387	0,579	14,970	0,369	0,113
II.	2,501	4,519	0,020	0,046	0,074	0,203	0,554	4,130	0,769	0,419
IV.	1,050	3,393	0,164	0,126	0,386	0,346	14,876	11,953	0,114	0,160
VI.	-1,963	5,269	0,266	-0,046	0,488	-0,099	23,771	0,996	0,040	0,694
VII.	2,326	7,815	0,009	-0,178	0,014	-0,345	0,020	11,887	0,955	0,161
	a		b		r		R2		p	
	konstanta		šikmost							
	EZ r mm	KZ r mm	EZ r mm	KZ r mm	EZ r mm	KZ r mm	EZ r mm	KZ r mm	EZ r mm	KZ r mm
Žito										
X.	2,035	4,348	0,010	0,003	0,283	0,105	7,994	1,105	0,256	0,678
XI.	2,793	4,659	-0,007	-0,004	-0,205	-0,132	4,183	1,732	0,416	0,603
I.	2,497	4,155	0,000	0,007	-0,004	0,202	0,002	4,069	0,987	0,422
II.	2,702	4,746	-0,006	-0,007	-0,168	-0,236	2,835	5,577	0,504	0,345
IV.	3,043	4,895	-0,014	-0,010	-0,359	-0,306	12,912	9,378	0,143	0,217
VI.	2,714	4,451	-0,003	0,001	-0,101	0,022	1,022	0,048	0,690	0,931
VII.	2,474	4,547	0,000	-0,001	0,008	-0,034	0,007	0,118	0,973	0,892

Vztah mezi výnosem žita a teplotou vzduchu

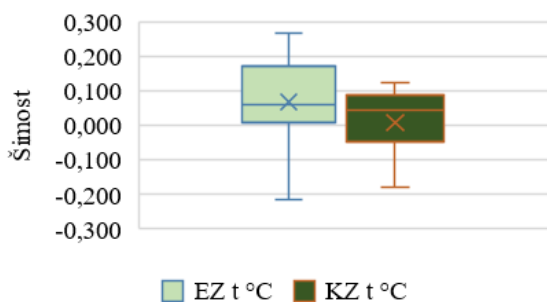


Vztah mezi výnosem žita a úhrnem srážek

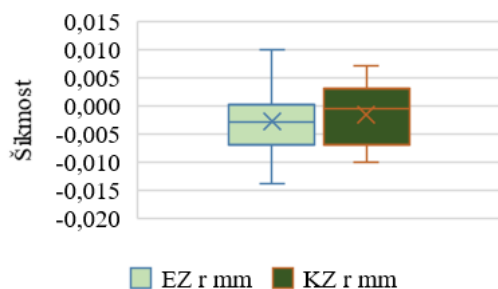


Obrázek č. 17: Závislost proměnlivosti výnosů žita na působení teplot a srážek v průběhu roku, hodnoceno na základě korelačního koeficientu

Dopady průměrné teploty vzduchu na výnos žita



Dopady průměrného úhrnu srážek na výnos žita



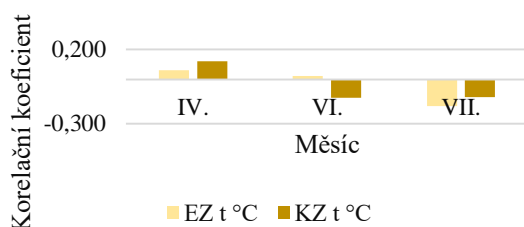
Obrázek č. 18: Krabicový diagram vyjadřuje dopad průměrných měsíčních teplot vzduchu a srážek na výnos žita

V Tab. 4 a Obr. 19 - 20 je uveden vliv průměrné měsíční teploty vzduchu (t °C) ve vybraných měsíci na výsledný výnos ječmene jarního v porovnání mezi ekologickým a konvenčním režimem. V levém grafu (Obr. 19) si můžeme všimnout, že vyšší měsíční teploty vzduchu jsou pro výnos ječmene jarní nevhodné, pokud se vyskytují vyšší průměrné měsíční teploty vzduchu, tak negativně působí na výnos ve většině, měsících vegetačního období, podobné aspekty vidíme jak v ekologickém, tak v konvenčním režimu. Měsíc, kdy je vyšší teplota pro ječmen jarní v ekologickém zemědělství zhoršujícím faktorem výnosu, je červen ($r = -0,18$; $R^2 = 13,1$). V konvenčním směru si můžeme všimnout, že se v jejím případě jedná o měsíc červenec. V dalším grafu vidíme, že úhrn srážek je pro výnos ječmene jarního v ekologickém režimu neutrální, v konvenci vidíme jiný průběh, pokud se vyskytuje vyšší průměrný měsíční úhrn srážek, tak pozitivně působí na výnos v jednotlivých měsících vegetačního období.

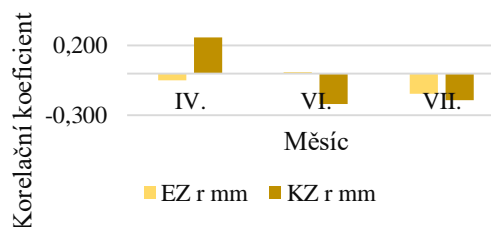
Tabulka č. 4: Parametry kvality modelu použitého pro hodnocení vlivu teploty vzduchu (°C) a úhrnu srážek (mm) na výnos ječmene jarní ($Yd=a+b*t$ (C), $Yd=a+b*r$ (mm))

	a		b		r		R2		p	
	konstanta		šikmost							
	EZ t °C	KZ t °C	EZ t °C	KZ t °C	EZ t °C	KZ t °C	EZ t °C	KZ t °C	EZ t °C	KZ t °C
Ječmen jarní										
IV.	2,583	4,201	0,018	0,078	0,062	0,123	0,387	10,000	0,806	0,650
VI.	2,597	5,872	0,008	0,068	0,023	-0,126	0,053	11,000	0,928	0,532
VII.	4,091	5,753	-0,073	-0,013	-0,180	-0,119	3,253	13,100	0,474	0,644
	a		b		r		R2		p	
	konstanta		šikmost							
	EZ r mm	KZ r mm	EZ r mm	KZ r mm	EZ r mm	KZ r mm	EZ r mm	KZ r mm	EZ r mm	KZ r mm
Ječmen jarní										
IV.	2,788	4,439	-0,001	0,020	-0,050	0,260	0,248	10,000	0,845	0,853
VI.	2,720	4,733	0,000	-0,016	0,012	-0,220	0,013	12,000	0,964	0,223
VII.	2,918	4,480	-0,002	0,020	-0,147	-0,190	2,155	9,000	0,561	0,330

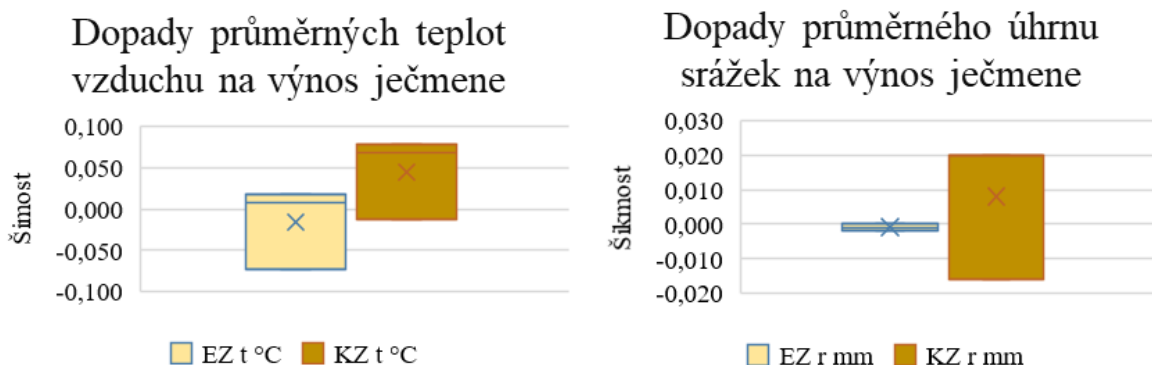
Vztah mezi výnosem ječmene jarního a teplotou vzduchu



Vztah mezi výnosem ječmene jarního a úhrnem srážek



Obrázek č. 19: Závislost proměnlivosti výnosů ječmene na působení teplot a srážek v průběhu roku, hodnoceno na základě korelačního koeficientu

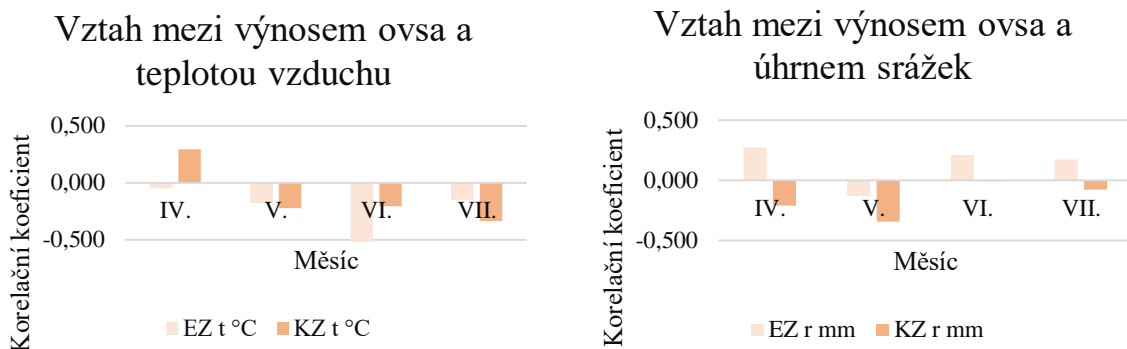


Obrázek č. 20: Krabicový diagram vyjadřuje dopad průměrných měsíčních teplot vzduchu a srážek na výnos ječmene

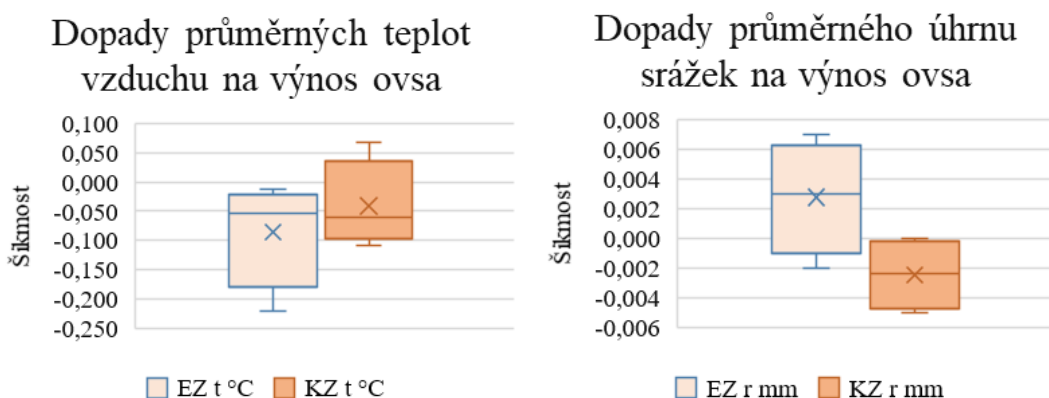
V Tab. 5 a Obr. 21 - 22 je uveden vliv průměrné měsíční teploty vzduchu (t °C) ve vybraných měsíci na výsledný výnos ovesa v porovnání mezi ekologickým a konvenčním režimem. V levém grafu (Obr. 21) si můžeme všimnout, že vyšší měsíční teploty vzduchu jsou pro výnos ovesa nevhodné, pokud se vyskytnou vyšší průměrné měsíční teploty vzduchu, tak negativně působí na výnos ve většině, měsících vegetačního období, podobné aspekty vidíme jak v ekologickém, tak v konvenčním režimu ($-0,10 < r < -0,676$). V dalším grafu vidíme, že úhrn srážek je pro výnos ovesa žádoucí v ekologickém režimu, pokud se vyskytne vyšší průměrný měsíční úhrn srážek, tak pozitivně působí na výnos v jednotlivých měsících vegetačního období. V konvenci vidíme opačný průběh, pokud se vyskytne vyšší průměrný měsíční úhrn srážek, tak negativně působí na výnos v jednotlivých měsících vegetačního období

Tabulka č. 5: Parametry kvality modelu použitého pro hodnocení vlivu teploty vzduchu (C) a úhrnu srážek (mm) na výnos ovesa ($Yd=a+b*t$ (C), $Yd=a+b*r$ (mm))

	a		b		r		R2		p	
	konstanta		šikmost							
	EZ t °C	KZ t °C	EZ t °C	KZ t °C	EZ t °C	KZ t °C	EZ t °C	KZ t °C	EZ t °C	KZ t °C
Oves										
IV.	2,624	2,605	-0,012	0,068	-0,047	0,297	0,218	8,807	0,854	0,232
V.	3,264	4,034	-0,055	-0,062	-0,178	-0,220	3,171	4,855	0,480	0,380
VI.	6,231	4,217	-0,222	-0,061	-0,676	-0,205	45,750	4,205	0,002	0,414
VII.	3,520	5,259	-0,053	-0,110	-0,147	-0,336	2,169	11,279	0,560	0,173
	a		b		r		R2		p	
	konstanta		šikmost							
	EZ r mm	KZ r mm	EZ r mm	KZ r mm	EZ r mm	KZ r mm	EZ r mm	KZ r mm	EZ r mm	KZ r mm
Oves										
IV.	2,262	3,379	0,007	-0,004	0,278	-0,210	7,706	4,392	0,265	0,404
V.	2,680	3,592	-0,002	-0,005	-0,127	-0,341	1,605	11,650	0,616	0,166
VI.	2,236	3,208	0,004	0,000	0,213	-0,003	4,531	0,001	0,396	0,990
VII.	2,325	3,283	0,002	-0,001	0,174	-0,078	3,031	0,621	0,490	0,756



Obrázek č. 21: Závislost proměnlivosti výnosů ovsa na působení teplot a srážek v průběhu roku, hodnoceno na základě korelačního koeficientu



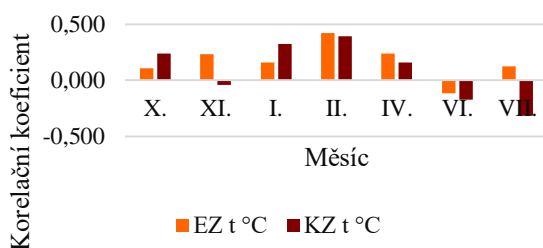
Obrázek č. 22: Krabicový diagram vyjadřuje dopad průměrných měsíčních teplot vzduchu a srážek na výnos ovsa

V Tab. 6 je zaznamenán vliv průměrné měsíční teploty vzduchu (t °C) v různých vegetačních obdobích tritikále na výsledný výnos v porovnání mezi ekologickým a konvenčním režimem. Z výsledků je patrné (Tab. 6, Obr. 23 - 24), že srážky během fenologických fází tritikále negativně ovlivňuje výnos jak v KZ tak i EZ až o 10,0 %. Měsíc, kdy je úhrn srážek pro tritikále v ekologickém zemědělství žádoucí je červen, v konvenčním zemědělství, kdy úhrn srážek působí negativně na výnos tritikále, vidíme hlavně měsíce únor a duben. Avšak hladina významnosti udává, že model je nevýznamný v obou typech zemědělství.

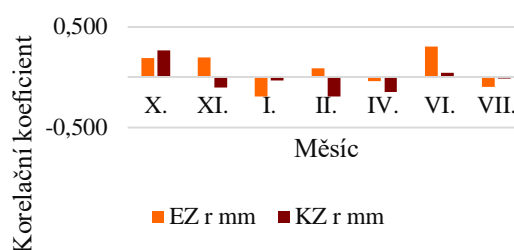
Tabulka č. 6: Parametry kvality modelu použitého pro hodnocení vlivu teploty vzduchu (C) a úhrnu srážek (mm) na výnos tritikále ($Y_d=a+b*t$ (C), $Y_d=a+b*r$ (mm))

	a		b		r		R2		p	
	konstanta		šikmost							
	EZ t °C	KZ t °C	EZ t °C	KZ t °C	EZ t °C	KZ t °C	EZ t °C	KZ t °C	EZ t °C	KZ t °C
Tritikále										
X.	2,179	3,641	0,050	0,077	0,104	0,235	1,089	5,513	0,680	0,348
XI.	2,110	4,336	0,120	-0,014	0,230	-0,040	5,287	0,161	0,359	0,874
I.	2,652	4,362	0,045	0,062	0,159	0,322	2,521	10,384	0,529	0,192
II.	2,661	4,322	0,119	0,076	0,423	0,392	17,893	15,381	0,080	0,108
IV.	1,642	3,849	0,108	0,049	0,239	0,157	5,698	2,468	0,340	0,534
VI.	3,713	5,458	-0,067	-0,071	-0,115	-0,176	1,330	3,113	0,649	0,484
VII.	1,088	6,877	0,081	-0,139	0,125	-0,314	1,557	9,856	0,622	0,205
	a		b		r		R2		p	
	konstanta		šikmost							
	EZ r mm	KZ r mm	EZ r mm	KZ r mm	EZ r mm	KZ r mm	EZ r mm	KZ r mm	EZ r mm	KZ r mm
Tritikále										
X.	2,269	3,969	0,007	0,006	0,188	0,263	3,544	6,897	0,454	0,292
XI.	2,287	4,389	0,007	-0,002	0,193	-0,102	3,719	1,049	0,443	0,686
I.	2,990	4,324	-0,008	-0,001	-0,191	-0,032	3,633	0,102	0,449	0,900
II.	2,472	4,456	0,003	-0,005	0,089	-0,192	0,789	3,703	0,726	0,444
IV.	2,659	4,441	-0,002	-0,004	-0,041	-0,145	0,172	2,102	0,870	0,566
VI.	1,873	4,209	0,009	0,001	0,304	0,043	9,240	0,182	0,220	0,867
VII.	2,779	4,293	-0,002	0,000	-0,095	-0,011	0,903	0,013	0,708	0,964

Vztah mezi výnosem tritikále a teplotou vzduchu

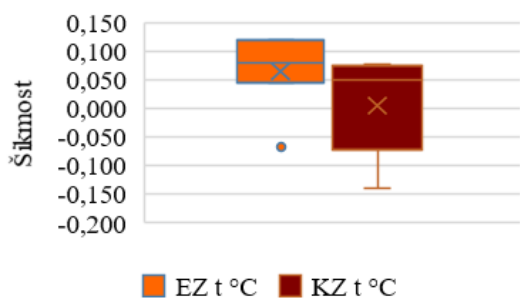


Vztah mezi výnosem tritikále a úhrnem srážek

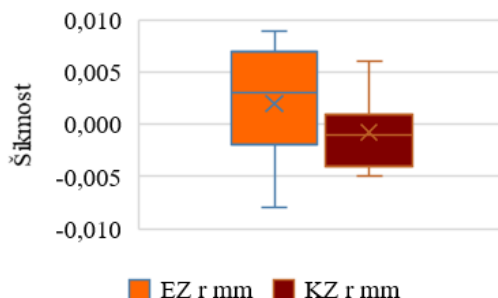


Obrázek č. 23: Závislost proměnlivosti výnosů tritikále na působení teplot a srážek v průběhu roku, hodnoceno na základě korelačního koeficientu

Dopady průměrných teplot vzduchu na výnos tritikále



Dopady průměrného úhrnu srážek na výnos tritikále

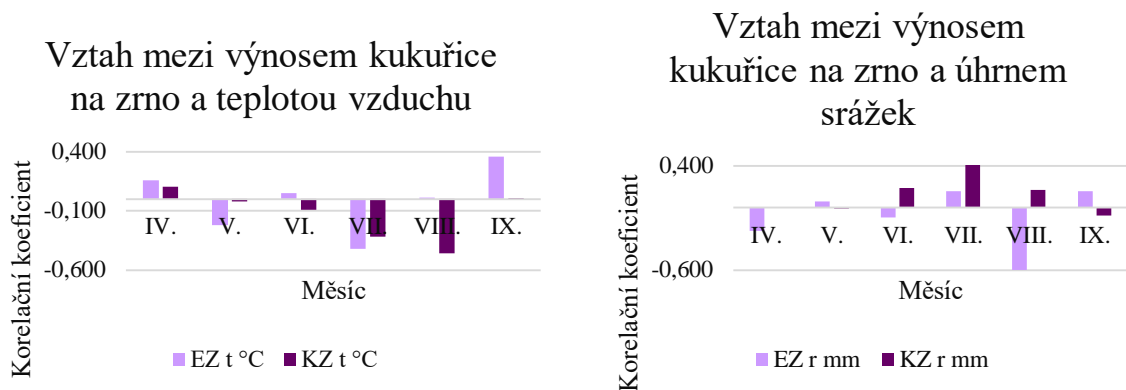


Obrázek č. 24: Krabicový diagram vyjadřuje dopad průměrných měsíčních teplot vzduchu a srážek na výnos tritikále

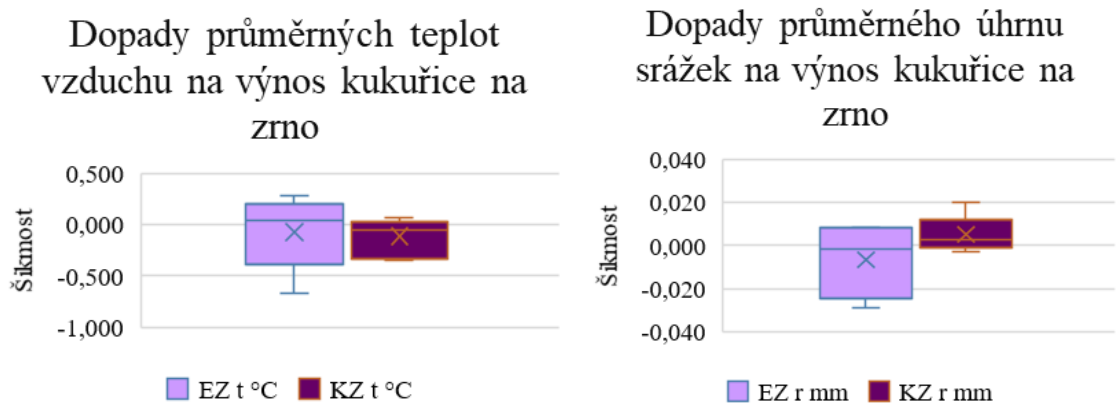
V případě kukuřice na zrno (Tab. 7) je zřejmé, že vliv průměrného měsíčního úhrnu srážek na výnos, přináší významnější roli než v u jiných obilnin (kromě pšenice). V levém Obr. 25 si můžeme všimnout, že vyšší měsíční teploty vzduchu jsou pro výnos kukuřice na zrno méně vhodné, pokud se vyskytují vyšší průměrné měsíční teploty vzduchu, tak negativně působí na výnos ve většině, měsících vegetačního období, podobné aspekty vidíme jak v ekologickém, tak v konvenčním režimu. Měsíc, kdy je teplota pro kukuřici na zrno v ekologickém zemědělství zhoršujícím faktorem výnosu, je červenec ($-0,32 < r < -0,42$). V konvenčním směru si můžeme všimnout stejného průběhu. Měsíc, kdy je úhrn srážek pro kukuřici na zrno v ekologickém zemědělství žádoucí, je červen ($r < -0,60$). Hladina významnosti, tedy (p) udává, že model je statisticky nevýznamný.

Tabulka č. 7: Parametry kvality modelu použitého pro hodnocení vlivu teploty vzduchu (C) a úhrnu srážek (mm) na výnos kukuřice na zrno ($Yd=a+b*t$ (C), $Yd=a+b*r$ (mm))

	a		b		r		R2		p	
	konstanta		šikmost							
	EZ t °C	KZ t °C	EZ t °C	KZ t °C	EZ t °C	KZ t °C	EZ t °C	KZ t °C	EZ t °C	KZ t °C
Kukuřice na zrno										
IV.	3,473	6,600	0,177	0,073	0,159	0,102	2,522	1,035	0,529	0,688
V.	9,059	7,480	-0,300	-0,018	-0,222	-0,020	4,917	0,041	0,377	0,937
VI.	3,858	8,706	0,070	-0,088	0,049	-0,094	0,238	0,897	0,848	0,709
VII.	17,420	13,345	-0,664	-0,327	-0,420	-0,319	17,596	10,166	0,083	0,197
VIII.	4,823	13,376	0,011	-0,341	0,010	-0,458	0,009	20,955	0,970	0,056
IX.	3,458	4,939	0,287	0,006	0,356	0,005	12,682	0,003	0,147	0,984
	a		b		r		R2		p	
	konstanta		šikmost							
	EZ r mm	KZ r mm	EZ r mm	KZ r mm	EZ r mm	KZ r mm	EZ r mm	KZ r mm	EZ r mm	KZ r mm
Kukuřice na zrno										
IV.	5,915	7,242	-0,023	0,000	-0,222	0,000	4,912	0,000	0,377	0,999
V.	4,722	7,273	0,004	0,000	0,055	-0,009	0,298	0,008	0,830	0,973
VI.	5,571	6,551	-0,007	0,009	-0,095	0,184	0,895	3,386	0,709	0,465
VII.	4,269	5,432	0,008	0,020	0,155	0,576	2,409	33,132	0,539	0,012
VIII.	7,372	6,820	-0,029	0,005	-0,601	0,167	36,174	2,783	0,008	0,508
IX.	4,269	7,436	0,008	-0,003	0,155	-0,077	2,677	0,592	0,539	0,762



Obrázek č. 25: Závislost proměnlivosti výnosů kukuřice na zrno na působení teplot a srážek v průběhu roku, hodnoceno na základě korelačního koeficientu



Obrázek č. 26: Krabicový diagram vyjadřuje dopad průměrných měsíčních teplot vzduchu a srážek na výnos kukuřice na zrno

Z tohoto výsledku můžeme usoudit, že samotná teplota vzduchu a pouhý úhrn srážek má na výnos velice malý vliv. Při použití pouze jedné vysvětlující proměnné byly nejlepší výsledky získány pro teplotu vzduchu. Avšak ve výzkumu Potopová et al. (2015) a Potopová et al. (2020) jasně dokazují, že při použití dvou nebo víc proměnných byla největší vysvětlená variabilita zjištěna pro kombinaci vysvětlujících proměnných maximální a minimální teploty vzduchu, vlhkosti půdy a komplexní indexy sucha (horka vlna a sucho, sněhová pokrývka, holomrazy apod...). Podle vědců (např. Trnka et al., 2015) postupná změna klimatu bude mít v budoucnu vliv na objem vyprodukované pšenice. Jestliže se nepřijmou vhodné postupy ke zmírnění změny klimatu, mohlo by do konce 21. století čelit epizodám sucha až 60 % víc nynějších oblastí, pěstování pšenice na celém světě. Pokud se naplní cíle Pařížské dohody z roku 2016 a pokud globální oteplování nepřesáhne 2 °C nad úroveň před industrializací, je pravděpodobné, že sucho stejných měřítek bude ovlivňovat třetinu všech současných oblastí, kde se pšenice produkuje. Avšak, tendence k pěstování např.: tritikále, kříženec pšenice mají značný potenciál v České republice.

6 Diskuze

Regresní modely aplikované v této diplomové práci popisují odezvy, závisle proměnné (výnos) vzhledem ke změnám nezávislé proměnných (klimatické trendy – teploty vzduchu a úhrn srážek) v souvislosti se ztrátou výnosů pšenice, ječmene, žita, ovesa, tritikále a kukuřice v ekologickém a konvenčním zemědělství za posledních 18 let (2001 - 2018) v České republice. Ze získaných výsledků vyplývá, že jako jeden z vhodných modelů se ukazuje jednorozměrná lineární regrese, protože byla k dispozici krátká časová řada výnosů v ekologickém a konvenčním zemědělství (2001- 2018). Avšak, produkce obilnin je ovlivněna souborem meteorologických faktorů. Navíc z důvodu vyvarování se velkých chyb v nějakém modelu, které se samozřejmě mohou objevit, je vhodné využívat více modelů a za finální odhad uvážít nějakou kombinaci těchto modelů jako jejich vážený průměr (Lobell et al., 2010, 2012; Trnka et al. 2018).

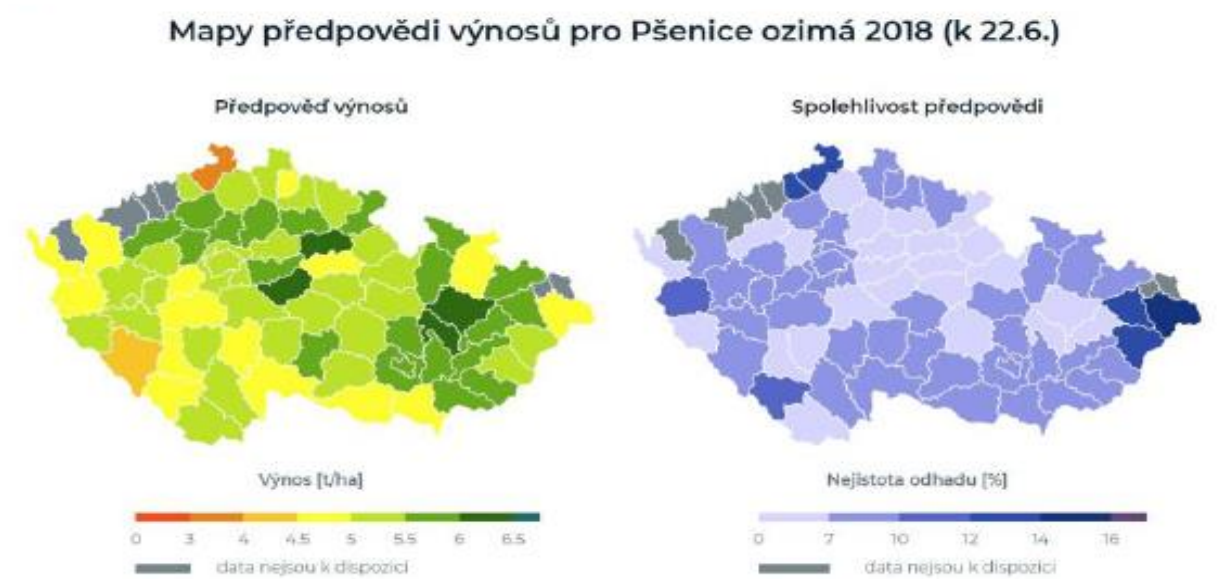
Na základě dosažených výsledků je možné konstatovat, že i přes omezení (krátká doba) pro regresní modely, lze tímto způsobem získat relevantní a poměrně přesné údaje o předpokládaném vývoji podmínek pro růst a vývoj plodin a v konečném důsledku i předpokládaný výnos. Pokud dojde k výskytu mimořádných podmínek (např. holomrazy, sucho apod.), může být reálná spolehlivost předpovědi oproti uvedeným hodnotám snížena. Například, aby bylo možné posoudit různé aspekty vodního a teplotního stresu, v práci Potopová et al. (2017a), Potopová et al. (2015) bylo integrováno 6 indikátorů v denním kroku a 4 měsíční indexy sucha. Tímto byl určen dominantní typ nepříznivé situace v citlivých fázích růstu a riziková období v souvislosti se ztrátou výnosu (jarní a podzimní mrazy, intenzita srážek, bez srážkové dny, sucho a počet dnů v suché periodě, tropické dny, horké vlny a počet dnů v horké vlně).

Možnosti predikce regionálních výnosů pro lepší rozhodování v rostlinné výrobě bylo detailně popsáno týmem, který vedou vědci z Mendelovy univerzity v Brně a Ústavu výzkumu globální změny AV ČR (Trnka et al., 2018). Schopnost předpovídat výnosy plodin až 2 měsíce před sklizní na úrovni okresů je možné také při aplikaci neuronové sítě (Potopová 2020). Umělá neuronová síť je jedním z výpočetních modelů používaných v predikci výnosů u klíčových plodin, snaží se zlepšit rozhodovací procesy v zemědělském sektoru (Trnka et al. 2018). Vědci na katedře agroekologie a rostlinné produkce České zemědělské univerzity v Praze a Ústavu výzkumu globální změny AV ČR, vytvořili umělou neuronová síť z výpočetních modelů používaných v předpovědi výnosů pro důležité plodiny ČR.

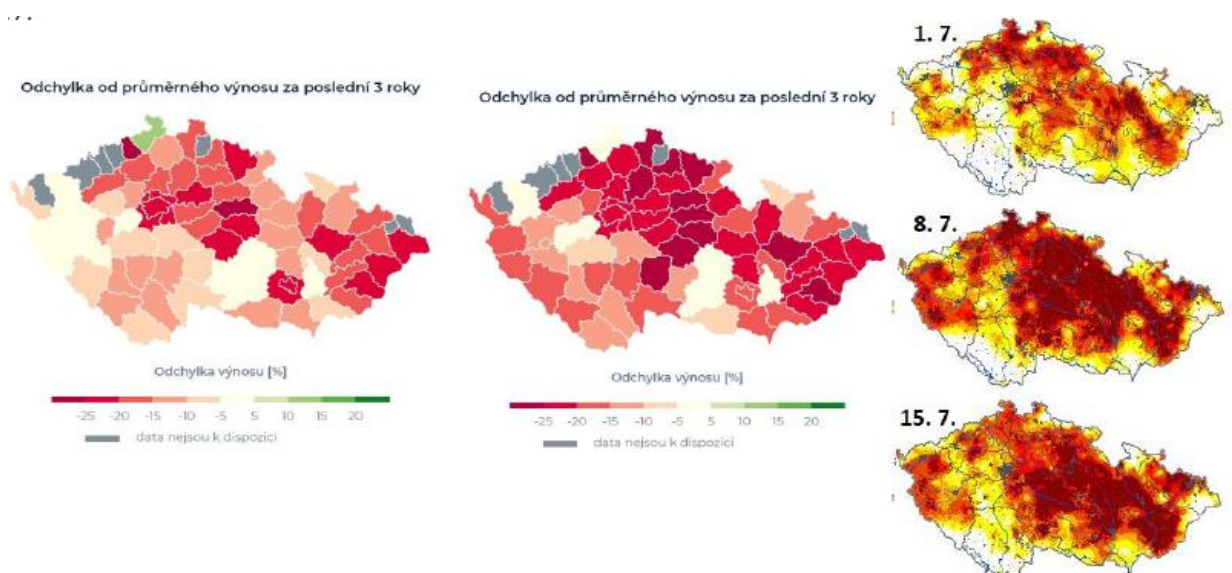
Dosavadní výsledky výzkumu byly publikovány v prestižním časopise (např. Potopová et al., 2020). Dalším moderním nástrojem, je odhad výnosů plodin s využitím dat dálkového průzkumu Země (DPZ), který probíhal v rámci území krajů a okresů České republiky za vegetační období 2001 – 2018. Obecně platí, že čím delší úsek sezóny je k dispozici, tím je vazba prediktorů na výnosy těsnější. Nejvěrohodnější, nikoliv nutně nejlepší odhad tedy máme na konci sezóny. Obecně ke konci sezóny mají lepší výsledky vzhledem ke spolehlivosti modelů pro všechny sledované plodiny kraje: Vysočina, Olomoucký kraj a Jihočeský kraj a

např., okresy: Benešov, Olomouc, Opava, Jeseník, Rychnov nad Kněžnou, Prostějov, Hradec Králové a Ústí nad Orlicí (Obr. 25).

Proto odhady snížení výnosů kvůli suchu udávají pokles s časovým posunem oproti epizodě sucha. Pokles výnosu Trnka et al. (2018) počítá oproti průměrnému výnosu za poslední tři roky. Nelze tedy v daném regionu hledat přímou vazbu mezi poklesem výnosů a aktuálním stavem sucha, protože nezáleží pouze na aktuálním vývoji v daném roce, ale i na stavu v předchozích letech. Nicméně nepřímou vazbu lze vidět na Obr. 26.



Obrázek č. 25: Mapy výnosů a spolehlivosti předpovědi pšenice ozimé pro okresy v průběhu sezóny k 22. 6. 2018. Dle zdroje: Trnka et al., (2018).



Obrázek č. 26: Ukázka zpoždění u propadu výnosů pšenice ozimé (vlevo) v závislosti na vývoji sucha v roce 2018 (vpravo). Sucho se zhoršilo z 1. 7. na 8. 7. a zůstává velké i 15. 7. (a). Propad výnosů je patrný z 6. 7. (b) na 27. 7. (c). Dle zdroje: Trnka et al., (2018).

Scénáře změny klimatu vyvolané skleníkovými plyny předpovídají zvýšení teploty a úrovně srážek, což bude mít dopad na střední hodnotu, rozptyl a vazbu výnosů plodin. Výsledky ekonometrického modelu (Isika a Devadosse, 2007), který využívá historických údajů o klimatu a výnosech, ukazuje, že dopady teploty a srážek na výnosy plodin se u jednotlivých plodin liší. Trend má pozitivní dopad jak na průměrný výnos, tak na výkyvy výnosů pšenice, ječmene, brambor a cukrové řepy. Výsledky simulace naznačují, že průměrné výnosy většiny plodin zvažovaných v jejich práci se budou mírně zlepšovat kvůli předpokládanému zvýšení jak teploty, tak úrovně srážek. Změna klimatu bude mít pravděpodobně významný dopad na variabilitu výnosu a kovarianci výnosů plodin. Rozptyl výnosů by se snížil u pšenice a ječmene. Očekává se, že kovariance výnosů pšenice a brambor a kovariance výnosů ječmene a brambor se výrazně sníží, zatímco kovariance výnosů pšenice a ječmene by se mírně zvýšila.

Dle výsledků jsou klimatické změny a jejich vliv na obilniny, výsledkem nejen jednoho nepříznivého faktoru, ale kombinace několika z nich. Vývoj zimních plodin, tak může být podstatně ovlivněn řadou klimatických aspektů vyskytujících se v zimním období. Nízké zimní teploty snižují růst kořenů, mohou poškodit kořeny půdním mrazem, což vytváří efekt, kdy se zvyšuje dispozice k horku nebo stresu během jarních a letních měsíců (Kristensen et al. 2011). Také podle studií (Kolář et al. 2007), co se týče nízkých výnosů ozimé pšenice, hrály kromě výše zmíněných faktorů (teplota vzduchu, úhrn srážek) také důležitou roli zimní dny, zejména výskyt silných mrazů se shodným nedostatkem sněhové pokrývky a dlouhodobou sněhovou pokrývkou. Načasování klimatických faktorů je zásadní podmínkou extrémně nízkých výnosů, které jsou citlivější na krátkodobá napětí a omezení v podobě vyskytující se v kritických vývojových fázích, kdy je schopnost následné kompenzace relativně nízká (Peltonen-Sainio et al. 2009).

Dalším faktorem, který ovlivňuje výnos obilnin je zhutňování půd, při němž dochází k degradaci půdy, tedy k narušení fyzikálních vlastností. Podle autorky Kulované (2001) jsou s procesem zhutňování půdy spojena další značná nebezpečí, například zvýšený povrchový odtok vody - riziko vodní a větrné eroze a kontaminace vodních zdrojů. Zatížení půdy se většinou projevuje, po různě dlouhé době, kdy nejvíce záleží na vlhkosti a uspořádání půdní hmoty v prostoru. Fenomén zhutňování půd může být vysvětleno skutečností, že se obsah vlhkosti mění na různých strukturovaných půdách a může reagovat různými způsoby. Vyšší výnosy obilnin lze realizovat v mokřejších oblastech na půdě s vyšším obsahem jílu, tento jev se v sušším období objeví obráceně. Prokázání zhutnění a jeho měření se má provádět za půdních podmínek charakterizovaných pěstitelskými podmínkami obilnin, zejména by se měla bodová měření provádět s dostatečnou frekvencí, aby bylo možné ověřit vztahy mezi půdou a rostlinou (Nyéki et al. 2017).

Podle Žaluda (2009) by se mělo v našich podmínkách a krajinách mírného klimatu setkávat s nárůstem výnosu až o 14 % u pšenice ozimé. Slovenská republika vykazuje také vyšší výnosy u pšenice ozimé a ječmenu jarního, avšak tyto závěry se mohou lišit podle používaných klimatických modelů. Tento nárůst výnosu mohou zaznamenat oblasti, které mají kvalitní a dobře zásobenou půdu s přiměřenými a příznačnými srážkami (Trnka et al., 2014). Vyšší nárůst by měl začít asi v roce 2020 – 2050. Podle studie rakouských vědců, kteří zaregistrovali, že

ozimé plodiny projevují větší odolnost a přizpůsobivost vůči změnám, naopak u jarních plodin zaznamenali nižší odolnost a přizpůsobivost i nižší výnos. Největší nárůst produkce pšenice ozimé očekáváme v severních státech jako je Finsko, Norsko apod. (Lobell et al., 2010, 2012). Z toho plyne, že některé oblasti, státy budou ve výhodě oproti jiným státům, které budou znevýhodněny silnějším a zásadnějším dopadem klimatických změn na zemědělství (Žalud 2009; Trnka et al. 2015).

Simulační modely plodin mohou hrát významnou úlohu v posuzování potenciálních následků změny klimatu na rostlinnou výrobu. Například modely mohou posoudit očekávaný výsledek změn v postupech správy plodin motivovaných hybnými silami změny klimatu, rozpoznávat rysy, které mají největší dopad na výnos a porozumění interakcím genotyp x prostředí. Rozhodnutí o posouzení změny klimatu a přizpůsobení se prostřednictvím modelů, jsou však vystavena řadě nejistot, a to buď kvůli nesprávným vstupním údajům o klimatu, technickým nejistotám modelu nebo použití jediného modelu (Kumar 2016).

7 Závěr

Výsledkem našeho výzkumu je návrh jednoduchého lineárního modelu, na základě, kterého je možné hodnotit závislost významných meteorologických vlivů na výnos pšenice, žita, ječmene, ovsa, tritikále a kukuřice v ekologickém a konvenčním zemědělství za posledních 18 let v České republice. Regresní modely aplikované v této práci popisují odezvy závisle proměnné (výnos) vzhledem ke změnám nezávislé proměnných (klimatické trendy průměrné měsíční teploty vzduchu a měsíčního úhrnu srážek) v souvislosti se ztrátou výnosu.

V první části diplomové práce je obsažena literární rešerše, která se zabývá na začátku vznikem ekologického zemědělství na území ČR a v některých vybraných evropských státech, které bylo zejména u nás ovlivněno politickou scénou a neznalostí působení chemických postřiků a hnojiv používaných pro podporu výnosu a jiných vlastností. Literární rešerše dále obsahuje kapitulu, význam ekologického zemědělství, díky níž se dozvíme, že učiněné kroky ekologickými zemědělci propívají půdnímu životu, ekosystému, ale i zdraví člověka a zvířat. Rešerše se zabývá vlivem změny klimatu na pěstování obilnin, kterými jsou zejména změny teplot vzduchu a úhrnu srážek v důsledku vyššího obsahu skleníkových plynů v atmosféře, vzrůst síly UVB záření, rostoucí koncentrace ozónu atd. Klimatické změny narušují i chování plevelů a škůdců, jelikož se obě skupiny přesouvají do míst a částí světa, kde se předtím nevyskytovaly a nepůsobily.

Literární rešerše se dále zabývá jednotlivými faktory ovlivňující výnos a pěstování obilnin. Sucho je jedním z vlivů, které má rozsáhlé dopady na plodiny od snížení příjmu živin až po vodní stres rostliny. Teplota vzduchu stoupá, sucho se prohlubuje a způsobuje urychlený vývoj obilnin. Tento vliv se však může lišit v místě působení, poněvadž v severní Evropě se očekává zvyšování výnosů, naopak v jižní Evropě se spíše předpokládá opačný průběh. Očekává se větší nepředvídatelnost počasí, a proto je potřeba zvýšit odolnost obilnin, což znamená, že výběr odrůdy je klíčovým prvkem.

V následující části diplomové práce jsou zpracována získaná data pro zhodnocení meteorologických faktorů na výnos obilnin. Byly použity soubory dat Českého hydrometeorologického ústavu v Praze, konkrétně průměrné měsíční teploty vzduchu a úhrn srážek v České republice od roku 2001 do roku 2018. Dále byly použity datové soubory výnosů obilnin v ekologickém a konvenčním zemědělství od roku 2001 – 2018, data z EZ byla čerpána z ročenek ekologického zemědělství, které vydává Ministerstvo zemědělství a výnosy obilnin z KZ byly získány ze situačních a výhledových zpráv také vydanými Ministerstvem zemědělství. Práce byla řešena v rámci projektu „Adaptační potenciál odolnosti pšenice k suchu, horku a mrazu“.

Z výsledků, lze říci, že tendence ročních výnosů obilnin roste, konkrétně u pšenice ozimé v EZ o $1,47 \text{ tha}^{-1}$ ($R^2 = 0,351$) a KZ o $1,49 \text{ tha}^{-1}$ ($R^2 = 0,346$), u žita v EZ o $1,44 \text{ tha}^{-1}$ ($R^2 = 0,356$) a KZ o $1,33 \text{ tha}^{-1}$ ($R^2 = 0,418$), u ječmene jarního v EZ je trend klesající o $0,23 \text{ tha}^{-1}$ ($R^2 = 0,020$) a v KZ zase rostoucí o $1,62 \text{ tha}^{-1}$ ($R^2 = 0,511$), u ovsa v EZ o $0,06 \text{ tha}^{-1}$ ($R^2 = 0,001$) a

KZ o $0,68 \text{ tha}^{-1}$ ($R^2 = 0,269$), tritikále v EZ o $1,43 \text{ tha}^{-1}$ ($R^2 = 0,309$) a v KZ o $1,17 \text{ tha}^{-1}$ ($R^2 = 0,440$), v případě kukuřice v EZ je trend klesající o $0,85 \text{ tha}^{-1}$ ($R^2 = 0,018$) a v KZ stoupající o $0,47 \text{ tha}^{-1}$ ($R^2 = 0,013$). Co se týče ploch pro pěstování obilnin, ve většině případů dochází k rozšiřování zemědělské půdy (pšenice ozimá, ječmen jarní, tritikále a kukuřice na zrno) a to hlavně v ekologickém režimu zemědělství, případě konvenčního zemědělství u žita a ovsu, dochází ke snižování rozloh zemědělské půdy.

Z této studie je třeba zdůraznit tyto výsledky:

- (i) Z výsledků je patrné, že srážky během fenologických fází pšenice ozimé negativně ovlivňují výnos jak v KZ tak i EZ až o 40,4 % ($-0,10 < r < -0,36$) oproti teplotám, které působí příznivě na výnos a vysvětlují jeho nárůst o 20,1 % ($0,14 < r < 0,60$).
- (ii) Vyšší měsíční teploty vzduchu negativně působí na výnos ovsu ve většině, měsících vegetačního období, podobné aspekty vidíme jak v ekologickém, tak v konvenčním režimu ($-0,10 < r < -0,676$).
- (iii) I v případě plodin C4 (kukuřice na zrno) může výskyt extrémních teplot vést k poklesu výnosů, zejména měsíc červenec ($-0,32 < r < -0,42$). Měsíc, kdy je úhrn srážek pro kukuřici na zrno v ekologickém zemědělství žádoucí, je červen ($r < -0,60$).
- (iv) Z výsledků lze vyvodit, že ztráty výnosů jsou výsledkem nejen jednoho nepříznivého faktoru, ale kombinace několika z nich, zároveň nebyly zjištěny významné rozdíly v dopadech na průběh pěstování v EZ a KZ. Avšak na základě dosažených výsledků a z literárních zdrojů je možné konstatovat, že variabilita klimatu vysvětluje třetinu globálních ztrát výnosů hlavních obilnin.
- (v) Výsledky regresního modelu více méně podporují hypotézu, že výnosy obilnin v ČR vzrostly, avšak v posledních dekadách je v některých oblastech patrný pokles růstu nebo stagnace výnosů, a to i přes pokrok v oblasti šlechtění. Kvůli velké časové proměnlivosti srážek, statistický regresní model ilustruje slabou a střední závislost výnosu obilnin na srážkových charakteristikách.

8 Literatura

Acot P. 2003. Histoire du climat. Kindle Direct Publishing, Paris.

Ahern Y. J. 2003. Počasí – cesty za poznáním. Fortuna print, Praha.

Bindi M, Olesen J. E. 2010. The responses of agriculture in Europe to climate change. Springer, Berlin. Dostupné z: www.researchgate.net (Citace: červenec 2019).

Bláha L. 2006. Současné změny klimatu ovlivní zemědělskou produkci. *Úroda*. **54**:36-38

Dlouhý J, Urban J. 2011. Ekologické zemědělství bez mýtů. Česká technologická platforma pro ekologické zemědělství, Olomouc. Dostupné z: www.bioinstitut.cz (Citace: červen 2019).

Dostál V, Středa T, Horáková V, Hrstková P, Chloupek O. 2008. Vliv sucha na výnos a kvalitu ječmene a pšenice v roce 2007. *Úroda*. **56**:23-26

Eurostat. 2019. Agriculture: EU organic area up 25% since 2012. Eurostat, EU. Dostupné z: www.eurostat.com (Citace: červen 2019).

Food and Agriculture Organization of United Nation. 1999. Food and agriculture organization, Rome. Dostupné z: www.fao.org (Citace: červenec 2019).

Gammans M, Mérel P, Ortiz-Bobea A. 2017. Negative impacts of climate change on cereal yields: statistical evidence from France. *Environmental Research Letters*. Dostupné z: www.iopscience.iop.org (Citace: květen 2019).

Haberle J, Trčková M, Svoboda P. 2008. Vliv sucha na výnos a efektivnost využití vody ozimou pšenicí. *Farmář*. **14**:30-32

Hájková L, Voženílek V, Tolasz R. a kolektiv. 2012. Atlas fenologických poměrů Česka. Český hydrometeorologický ústav, Praha.

Heckman R. J. 2006. A history of organic farming: Transitions from Sir Albert Howard's War in the Soil to USDA National Organic Program. Rutgers University, Newark. Dostupné z: www.researchgate.net (Citace: květen 2019)

Hnilička F, Hniličková H, Bláha L. 2005. Vliv sucha na utváření výnosotvorných prvků a výši výnosů pšenice. *Agro*. **10**:74-75.

- Horčička P, Skála R, Hromádka M, Prášilová P, Prášil I. T, Laml P, Martinek P. 2007. Porovnání metod stanovení stupně mrazuvzdornosti a stanovení stupně rizika poškození odrůd ozimé pšenice mrazem v ČR - Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin. VÚRV a ČZU, Praha. Dostupné z: www.vurv.cz (254–260) (Citace: prosinec 2019)
- Hrabalová A. 2017. Vývoj ekologického zemědělství ve světě a postavení České republiky. Úroda. Dostupné z: www.uroda.cz (Citace: červenec 2019)
- Isik M, Devadoss S. 2006. An analysis of the impact of climate change on crop yields and yield variability. Applied Economics. Dostupné z: www.researchgate.net (Citace: leden 2020)
- Janouš D. 2002. Změna klimatu a globální oteplování. Lesnická práce **81**:12–14
- Kang Y, Khan S, Ma X. 2009. Climate change impacts on crop yield, crop water productivity and food security. Science direct. Dostupné z: www.sciencedirect.com (Citace: červen 2019)
- Kolář P, Trnka M, Brázdil R, Hlavinka P. 2013. Influence of climatic factors on the low yields of spring barley and winter wheat in Southern Moravia (Czech Republic) during the 1961–2007 period. Theoretical and Applied Climatology. Dostupné z: www.link.springer.com (Citace: únor 2020)
- Konvalína P, Moudrý J. 2007. Volba odrůdy, struktura pěstování a výnosu hlavních obilnin v ekologickém zemědělství. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Dostupné z: www.organicfarming.agrobiology.eu (Citace: červenec 2019)
- Kristensen K, Schelde K, Olesen JE. 2011. Winter wheat yield response to climate variability in Denmark. J Agric Sci. **149**:33–47
- Kulovaná E. 2000. Technogenní zhutňování půdy – nežádoucí jev. Úroda, Praha. Dostupné z: www.uroda.cz (Citace: únor 2020)
- Kulovaná E. 2001. Pěstování ozimé pšenice v České republice. Úroda, Praha. Dostupné z: www.uroda.cz (Citace: březen 2019)
- Kumar M. 2016. Impact of climate change on crop yield and role of model for achieving food Security. Environmental Monitoring and Assessment. Dostupné z: www.springer.link.com (Citace: únor 2020)
- Litschmann T. 2010. Změny klimatu a jejich možné důsledky pro zemědělství. AMET – sdružení Litschmann & Suchý, Velké Bílovice. Dostupné z www.amet.cz (Citace: červenec 2019)

Lobell D. B, Burke M. B, 2010. On the use of statistical models to predict crop yield responses to climate change. *Agric For Meteorol.* Dostupné z: www.sciencedirect.com (Citace: prosinec 2019)

Lobell DB, Gourdji SM. 2012. The influence of climate change on global crop productivity. *Plant Physiol.* American Society of Plant Biologists, Rockville. Dostupné z: www.plantphysiol.org (Citace: prosinec 2019)

Macholdt J, Honermeier B. 2016. Impact of Climate Change on Cultivar Choice: Adaptation Strategies of Farmers and Advisors in German Cereal Production. MDPI. Dostupné z: www.researchgate.net (Citace: červen 2019)

Ministerstvo zemědělství České republiky. 2004. Akční plán České republiky pro rozvoj ekologického zemědělství do roku 2010. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.www.eagri.cz (Citace: březen 2019)

Ministerstvo zemědělství České republiky. 2010. Akční plán ČR pro rozvoj ekologického zemědělství v letech 2011–2015. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.www.eagri.cz (Citace: březen 2019)

Ministerstvo životního prostředí. 2015. Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR. Ministerstvo životního prostředí, Praha.

Ministerstvo zemědělství Česká republiky. 2006. Ročenka 2006 Ekologické zemědělství v České republice. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.www.eagri.cz (Citace: květen 2019)

Ministerstvo zemědělství Česká republiky. 2007. Ročenka 2007 Ekologické zemědělství v České republice. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.eagri.cz (Citace: květen 2019)

Ministerstvo zemědělství Česká republiky. 2008. Ročenka 2008 Ekologické zemědělství v České republice. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.eagri.cz (Citace: květen 2019)

Ministerstvo zemědělství Česká republiky. 2009. Ročenka 2009 Ekologické zemědělství v České republice. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.eagri.cz (Citace: květen 2019)

Ministerstvo zemědělství Česká republiky. 2010. Ročenka 2010 Ekologické zemědělství v České republice. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.eagri.cz (Citace: květen 2019)

Ministerstvo zemědělství Česká republiky. 2011. Ročenka 2011 Ekologické zemědělství v České republice. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.eagri.cz (Citace: květen 2019)

Ministerstvo zemědělství Česká republiky. 2012. Ročenka 2012 Ekologické zemědělství v České republice. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.eagri.cz (Citace: květen 2019)

Ministerstvo zemědělství Česká republiky. 2013. Ročenka 2013 Ekologické zemědělství v České republice. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.eagri.cz (Citace: květen 2019)

Ministerstvo zemědělství Česká republiky. 2014. Ročenka 2014 Ekologické zemědělství v České republice. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.eagri.cz (Citace: květen 2019)

Ministerstvo zemědělství Česká republiky. 2015. Ročenka 2015 Ekologické zemědělství v České republice. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.eagri.cz (Citace: květen 2019)

Ministerstvo zemědělství Česká republiky. 2016. Ročenka 2016 Ekologické zemědělství v České republice. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.eagri.cz (Citace: květen 2019)

Ministerstvo zemědělství České republiky. 2017. Ročenka 2017 Ekologické zemědělství v České republice. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.eagri.cz (Citace: květen 2019)

Ministerstvo zemědělství Česká republiky. 2015. Ročenka 2018 Ekologické zemědělství v České republice. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.eagri.cz (Citace: leden 2020)

Ministerstvo zemědělství České republiky. 2002. Situační a výhledové zprávy obiloviny. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.eagri.cz (Citace: květen 2019)

Ministerstvo zemědělství České republiky. 2003. Situační a výhledové zprávy obiloviny. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.eagri.cz (Citace: květen 2019)

Ministerstvo zemědělství České republiky. 2004. Situační a výhledové zprávy obiloviny. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.eagri.cz (Citace: květen 2019)

Ministerstvo zemědělství České republiky. 2005. Situační a výhledové zprávy obiloviny. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.eagri.cz (Citace: květen 2019)

- Ministerstvo zemědělství České republiky. 2006. Situační a výhledové zprávy obiloviny. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.eagri.cz (Citace: květen 2019)
- Ministerstvo zemědělství České republiky. 2007. Situační a výhledové zprávy obiloviny. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.eagri.cz (Citace: květen 2019)
- Ministerstvo zemědělství České republiky. 2008. Situační a výhledové zprávy obiloviny. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.eagri.cz (Citace: květen 2019)
- Ministerstvo zemědělství České republiky. 2009. Situační a výhledové zprávy obiloviny. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.eagri.cz (Citace: květen 2019)
- Ministerstvo zemědělství České republiky. 2010. Situační a výhledové zprávy obiloviny. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.eagri.cz (Citace: květen 2019)
- Ministerstvo zemědělství České republiky. 2011. Situační a výhledové zprávy obiloviny. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.eagri.cz (Citace: květen 2019)
- Ministerstvo zemědělství České republiky. 2012. Situační a výhledové zprávy obiloviny. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.eagri.cz (Citace: květen 2019)
- Ministerstvo zemědělství České republiky. 2013. Situační a výhledové zprávy obiloviny. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.eagri.cz (Citace: květen 2019)
- Ministerstvo zemědělství České republiky. 2014. Situační a výhledové zprávy obiloviny. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.eagri.cz (Citace: květen 2019)
- Ministerstvo zemědělství České republiky. 2015. Situační a výhledové zprávy obiloviny. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.eagri.cz (Citace: květen 2019)
- Ministerstvo zemědělství České republiky. 2016. Situační a výhledové zprávy obiloviny. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.eagri.cz (Citace: květen 2019)
- Ministerstvo zemědělství České republiky. 2017. Situační a výhledové zprávy obiloviny. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.eagri.cz (Citace: květen 2019)
- Ministerstvo zemědělství České republiky. 2018. Situační a výhledové zprávy obiloviny. Ministerstvo zemědělství, Praha. Dostupné z: www.eagri.cz (Citace: leden 2020)
- Nyéki A, Milics G, Kovács AJ, Nményi M. 2016. Effects of Soil Compaction on Cereal Yield. Department of Biosystems and Food Engineering, Hungary. Dostupné z: www.link.springer.com (Citace: únor 2020)

- Peltonen - Sainio P, Jauhiainen L, Laurila IK. 2009. Cereal yield trends in northern European conditions: Changes in yield potential and its realisation. *Science direct*. Dostupné z: www.sciencedirect.com (Citace: únor 2020)
- Pivcová J. 2000. Vliv dlouhodobého působení větrné eroze na vlastnosti půdy. *Úroda* **6**:26-27
- Plesník J. 2010. Na jaké druhy se soustředit. *Eko*. **6**:10-14
- Potopová V, Štěpánek P, Možný M, Türkott L, Soukup J. 2015a. Performance of the standardized precipitation evapotranspiration index at various lags for agricultural drought risk assessment in the Czech Republic. *Agric For Meteorol*. **202**:26-38.
- Potopová V, Zahradníček P, Türkott L, Štěpánek P, Soukup J. 2015b. The Effects of climate change on variability of the growing Seasons in the Elbe River Lowland, Czech Republic. Dostupné z: www.hidawi.com (Citace: září 2019)
- Potopová V, Boroneat C, Možný M, Soukup J. 2016: Driving role of snow cover on soil moisture and drought developing during the growing season in the Czech Republic. *Int J Climatol*. **36 (11)**: 3741-3758.
- Potopová V. 2017a: Extrémní a rizikové meteorologické jevy a jejich dopady na zemědělskou produkci v podmínkách klimatické změny. Habilitační práce. Česká zemědělská univerzita v Praze. **2017**: 1-72.
- Potopová V, Zahradníček P, Türkott L, Štěpánek P, Farda A, Soukup J. 2017b: The impacts of key adverse weather events on the field-grown vegetable yield variability in the Czech Republic from 1961 to 2014. *Int J Climatol*. **37(3)**: 1648–1664.
- Potopová V, Štěpánek P, Zahradníček P, Farda A, Türkott L, Soukup J. 2018: Projected changes in the evolution of drought on various timescales over the Czech Republic according to Euro-CORDEX models. *Int. J. Climatol*. **38 (Suppl.1)**. Dostupné z: www.rmets.onlinelibrary.wiley.com (Citace: leden 2020)
- Potopová V, Cazac V, Boincean B, Soukup J, Trnka M. 2019. Application of hydroclimatic drought indicators in the transboundary Prut River basin. *Theoretical and Applied Climatology*. **137**: 3103-3121.
- Potopová V, Trnka M, Hamouz P, Soukup J, Castravet T. 2020a. Statistical modelling of drought-related yield losses using soil moisture-vegetation remote sensing and multiscale indices in the south-eastern Europe. *Agricultural Water Management* **20**: 30365-6. 236: 1-18.
- Potopová V. 2020b. Změna klimatu a jeho ochrana jako priorita politické debaty. In: Poláková J, Potopová V, Holec J. *Ochrana přírodních zdrojů v politice rozvoje venkova*. Česká zemědělská univerzita v Praze. 174-207.

Prášil I. T, Papazisis K, Janaček J, Prášilová P. 1994. Winter-hardiness of Czech and Slovak winter wheat cultivars. Rostlinná Výroba UZPI. Dostupné z: www.is.in.cz (Citace: leden 2020)

Ray DK, Gerber JS, MacDonald GK, West PC. 2015. Climate variation explains a third of global crop yield variability. Nature communications. Dostupné z: www.nature.com (Citace: červen 2019)

Ray D. K, West P. C, Clark M, Gerber J. S, Prishchepov A. V., Chatterjee S. 2019. Climate change has likely already affected global food production. PLOSE one. Dostupné z: www.journals.plos.org (Citace: květen 2019)

Rožnovský J. 1995. Kolísání našeho podnebí v posledních desetiletích. Úroda. **43**:35

Rožnovský J. 2011. Možné dopady měnícího se klimatu na zemědělství v ČR. Ministerstvo zemědělství v České republice, Praha. Dostupné z: www.aa.ecn.cz (Citace: červenec 2019)

Rožnovský J. 2014. Změny podnebí. Univerzita J. E. Purkyně v Ústí n. Labem. Dostupné z: www.fzp.ujep.cz (Citace: květen 2019)

Stallmann J, Schweiger R, Muller C. 2018. Effects of continuous versus pulsed drought stress on physiology and growth of wheat. Wiley online library. Dostupné z: www.onlinelibrary.wiley.com (Citace: červenec 2019)

Šarapatka B, Urban J. 2006. Ekologické zemědělství v praxi. Ministerstvo zemědělství, Praha.

Šimon J. 1996. Střídání plodin – nejlevnější agrotechnické opatření. Úroda. **44**:9-10

Thomas, W. T. B. 2014. Drought-resistant cereals: impact on water sustainability and nutritional quality. University of Cambridge, Cambridge. Dostupné z: www.cambridge.org (Citace: červen 2019)

Toman F. 1995. Ovlivnění eroze půdy klimatickou změnou. Úroda **43**:17

Trnka M, Bartošová L, Hlavinka P, Semerádová D, Svobodová E, Štěpánek P, Zahradníček P, Žalud Z. 2015. Změna klimatu. Mendelova univerzita, Brno.

Trnka M, Hlavinka P, Semenov MA. 2015. Adaptation options for wheat in Europe will be limited by increased adverse weather events under climate change. J. R. Soc. Interface. Dostupné z: www.researchgate.net (Citace: prosinec 2019).

- Trnka M, Rötter R. P, Ruiz-Ramos M, Kersebaum K. C, Olesen J. E, Žalud Z, Semenov M. A. 2014: Adverse weather conditions for European wheat production will become more frequent with climate change. Nature Climate Change. Dostupné z: www.researchgate.net (Citace: prosinec 2019)
- Trnka M, Hlavinka P, Balek J, Meitner J, Možný M, Štěpánek P, Zahradníček P, Bartošová L, Semerádová D, Bláhová M, Kudláčková L, Vojtěch V, Žalud Z. 2018. METODIKA PRO PRAXI - Regionální předpověď výnosů pro lepší rozhodování v rostlinné výrobě. Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i. Dostupné z: www.docplayer.cz (Citace: prosinec 2019)
- Urban J, Šarapatka a kolektiv. 2003. Ekologické zemědělství. Ministerstvo zemědělství, Praha.
- Urban J. 2017. Ekologické zemědělství a voda. Ekologický institut Veronica, Brno. Dostupné z: www.veronica.cz (Citace: únor 2019)
- Vaněk V, Balík J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P. 2016. Výživa a hnojení polních plodin. Profi Press, Praha.
- Vopravil J, Vrabcová T, Khel T, Novotný I, Banýřová J. 2010. Vývoj a degradace půd v podmínkách očekávaných změn klimatu. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd, Praha. Dostupné z: www.docplayer.cz (Citace: červenec 2019).
- Waldin M. 2009. Lemaire-Boucher. Chateaumonty.com, France. Dostupné z: www.chateaumonty.com (Citace: červenec 2019).
- Willer H, Yussefi-Menzler M, Sorensen M. 2008. The world of organic agriculture statistics and emerging trends 2008. Earthsacn, Great Britain. Dostupné z: www.researchgate.net (Citace: srpen 2019).
- Žalud Z. 2009. Změna klimatu a české zemědělství – dopady a adaptace. Mendelova univerzita, Brno.

9 Seznam použitých zkratk a symbolů

- *ČSÚ – Český statistický úřad
- *ČR – Česká republika
- *EZ – ekologické zemědělství
- *IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change
- *KZ – konvenční zemědělství
- *MZe – Ministerstvo zemědělství
- *TTP – trvale travní porosty

10 Samostatné přílohy

Příloha č. 1: Vývoj ploch EZ a počtu podniků v ČR od roku 1990 (Urban, Šarapatka a kolektiv. 2003)

Rok	Počet podniků EZ v ČR	Výměra zem. půdy EZ v ha v ČR	Podíl EZ z celkové ZPF (v %)
1990	3	480	-
1991	132	17 507	0,41
1992	135	15 371	0,36
1993	141	15 667	0,37
1994	187	15 818	0,37
1995	181	14 982	0,35
1996	182	17 022	0,40
1997	211	20 239	0,47
1998	348	71 621	1,67
1999	473	110 756	2,58
2000	563	165 699	3,86
2001	654	218 114	5,09
2002	717	235 136	5,50
2003	810	254 995	5,97
2004	836	263 299	6,16
2005	829	254 982	5,98
2006	963	281 535	6,61
2007	1 318	312 890	7,35
2008	1 946	341 632	8,04
2009	2 689	398 407	9,38
2010	3 517	448 202	10,55
2011	3 920	482 927	11,40
2012	3 923	488 483	11,56
2013	3 926	493 896	11,70
2014	3 885	493 971	11,72
2015	4 115	494 661	11,74
2016	4 243	506 070	12,03
2017	4 399	520 032	12,37
2018	4 606	520 258	14,70

Příloha č. 2: Plocha ekologického zemědělství ve vybraných evropských zemích v letech 1998 – 2007 (ha) –
www.eurostat.com

Země/Rok	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Belgie		6 876	13 036	15 437	24 820	16 176	19 853	19 764	21 754	23 842
Bulharsko	-	-	-	-	-	-	-	-	2 728	8 387
Čechy	-	-	-	-	-	195 216	208 000	226 209	216 319	224 373
Dánsko	44 102	60 835	93 371	131 984	148 279	149 106	149 219	132 283	133 048	-
Estonsko	-	-	-	-	-	-	-	36 487	44 878	55 445
Finsko	73 608	100 081	117 080	120 438	135 434	142 054	148 183	135 223	130 940	133 543
Francie	142 224	179 737	230 739	283 836	342 406	406 338	468 476	-	499 589	497 314
Chorvatsko	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Itálie	227 330	417 608	502 078	724 258	746 511	751 860	708 043	731 537	801 350	903 254
Litva	-	-	-	-	-	-	18 395	13 905	30 498	56 542
Lotyšsko	-	-	-	-	-	-	12 142	20 691	51 213	62 321
Maďarsko	-	-	-	-	54 264	70 514	75 834	84 765	92 167	98 243
Nizozemsko	19 694	21 515	26 870	31 008	38 340	40 681	46 137	47 877	47 045	45 463
Norsko	10 519	14 950	18 084	19 791	25 255	30 883	34 957	36 510	38 881	40 096
Polsko	-	-	-	-	-	-	37 724	38 609	47 570	135 815
Portugalsko	6 802	9 354	14 438	32 127	35 364	54 480	75 143	110 370	-	-
Rumunsko	-	-	-	-	-	-	-	-	65 111	84 590
Řecko		6 831	10 309	-	65 555	192 190	202 799	206 205	182 848	174 724
Slovensko	-	-	-	-	-	35 302	25 590	27 247	40 085	80 268
Slovinsko	-	-	-	-	-	-	14 354	15 985	20 151	23 560
Spojené království	53 458	-	242 473	-	536 866	629 482	635 495	527 863	489 108	510 673
Španělsko	100 959	-	242 291	314 640	374 001	430 900	430 900	470 832	605 296	640 536
Švédsko	111 159	118 052	143 552	169 667	186 695	207 328	206 631	200 638	201 298	234 429

Příloha č. 3: Plocha ekologického zemědělství ve vybraných evropských zemích v letech 2008 – 2017 (ha) –
www.eurostat.com

Země/Rok	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Belgie	27 376	29 778	30 410	40 319	46 812	50 773	56 034	57 163	56 055	69 913
Bulharsko	4 236	4 955	12 691	8 902	11 974	15 161	15 170	21 539	36 137	48 453
Čechy	232 939	267 483	296 379	354 649	402 659	448 258	447 972	428 560	427 330	448 389
Dánsko	139 021	139 539	145 638	151 362	178 671	155 708	152 280	150 321	161 251	162 043
Estonsko	-	76 200	82 391	101 906	119 899	129 705	136 267	132 686	150 442	160 837
Finsko	134 820	143 033	142 012	161 162	161 190	169 558	188 627	192 160	198 205	215 915
Francie	502 234	525 638	571 815	701 111	855 642	930 867	970 336	1 013 501	1 054 291	1 233 806
Chorvatsko	-	4 236	3 684	6 812	10 327	17 319	22 483	25 796	29 172	42 348
Itálie	812 139	735 327	821 921	837 107	923 786	977 707	987 264	1 093 640	1 201 456	-
Litva	89 890	160 060	103 225	99 410	114 479	136 486	144 320	131 456	134 266	200 384
Lotyšsko	141 524	141 070	140 946	130 059	144 652	163 133	179 082	160 964	166 551	216 855
Maďarsko	108 578	110 916	97 584	101 801	106 279	112 266	111 233	94 163	91 299	104 482
Nizozemsko	46 895	47 450	43 659	-	35 046	35 873	45 857	45 970	46 669	50 203
Norsko	40 376	43 986	47 027	50 167	50 196	47 263	45 974	44 317	44 681	43 681
Polsko	178 670	222 022	309 219	375 086	457 478	492 897	555 898	501 926	430 896	383 245
Portugalsko	-	-	-	-	-	182 365	177 526	156 408	171 743	216 180
Rumunsko	71 597	83 862	82 981	96 606	103 093	138 125	190 430	175 571	149 613	149 106
Řecko	266 745	293 644	292 584	201 272	351 804	265 078	328 193	385 400	308 279	280 733
Slovensko	113 132	111 466	112 314	123 272	162 199	156 336	150 861	139 234	140 531	176 580
Slovinsko	26 125	25 816	25 056	27 448	28 807	30 041	33 536	32 488	36 353	40 346
Spojené království	582 205	607 940	651 930	605 582	559 979	535 114	503 438	476 144	466 041	466 233
Španělsko	691 196	605 366	1 084	1 221 890	1 366 866	1 342 735	1 48 8	1 410 531	1 399 734	1 683 252
Švédsko	246 628	303 298	589 329	385 243	424 306	459 852	179 465	466 446	472 237	495 488

Příloha č. 4: Plocha ekologického zemědělství vyjádřena v % ve vybraných evropských zemích v letech 2000 – 2008 - www.eurostat.com

Země/rok	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Belgie	1,5	1,6	2,1	1,7	1,7	1,7	2,1	2,4	2,6
Bulharsko	-	-	-	-	-	0,2	0,1	0,3	0,3
Čechy	-	-	-	7	7,2	7,1	7,2	8,2	9
Dánsko	5,9	6,3	6,5	6,3	5,8	4,9	5,1	5	5,6
Estonsko	-	-	-	-	7,2	7,2	9,6	8,7	9,6
Finsko	6,7	6,7	7,6	7,1	7,2	6,5	6,3	6,6	6,5
Francie	1,2	1,4	1,7	1,9	1,8	1,9	1,7	1,9	2
Chorvatsko	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Itálie	6,7	8	7,6	7	6,4	7,3	7,9	7,9	7,5
Litva	-	-	-	-	1,4	2,3	3,5	4,5	4,6
Lotyšsko	-	-	-	-	1,6	6,8	9,4	8,1	8,9
Maďarsko	-	-	1,6	2	2,3	2,2	2,1	1,8	2,1
Nizozemsko	1,6	1,9	2,2	2,2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,6
Norsko	2	2,6	3,1	3,7	3,9	4,2	4,3	4,7	5,1
Polsko	-	-	-	0,2	0,5	1	1	1,8	2
Portugalsko	1,2	2	2,1	3,2	5,6	6,2	7,2	6,3	5,7
Rumunsko	-	-	-	-	-	0,7	0,8	1	1
Řecko	0,7	0,7	2	6,4	6,5	7,6	7,6	7	7,8
Slovensko	-	-	-	2,2	2,6	4,6	6,2	6,1	7,3
Slovinsko	-	-	-	-	4,6	4,6	5,5	5,9	6,1
Spojené království	3,3	3,8	4,2	3,9	3,9	3,5	3,4	3,7	4,1
Španělsko	1,5	1,9	2,6	2,9	2,9	3,1	3,7	4	5,3
Švédsko	5,9	6,6	6,8	7,2	7	7	7,2	9,9	10,9

Příloha č. 5: Plocha ekologického zemědělství vyjádřena v % ve vybraných evropských zemích v letech 2009 – 2017 (www.eurostat.com)

Země/rok	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Belgie	3	3,6	4,1	4,5	4,7	5	5,2	5,8	6,3
Bulharsko	0,2	0,5	0,5	0,8	1,1	1	2,4	3,2	2,7
Čechy	10,6	12,4	13,1	13,3	13,5	13,4	13,7	14	14,1
Dánsko	5,9	6,1	6,1	7,3	6,4	6,3	7,8	8,6	
Estonsko	11	12,8	14,1	14,9	15,7	16	15,7	18	19,6
Finsko	7,2	7,4	8,2	8,7	9,1	9,3	9,9	10,5	11,4
Francie	1,9	2,9	3,4	3,6	3,7	3,9	4,5	5,3	6
Chorvatsko	-	-	-	2,4	3,1	4	5	6,1	6,5
Itálie	8,1	8,6	8,4	9,3	10,6	10,9	11,8	14	14,9
Litva	4,8	5,2	5,4	5,5	5,7	5,6	7,1	7,5	8
Lotyšsko	8,7	9,2	10,1	10,6	9,9	10,9	12,3	13,4	13,9
Maďarsko	2,4	2,4	2,3	2,5	2,5	2,3	2,4	3,5	3,8
Nizozemsko	2,6	2,5	2,5	2,6	2,7	2,7	2,7	2,9	3,1
Norsko	-	-	-	5,6	5,2	5,1	4,8	4,9	4,8
Polsko	2,3	3,3	4,1	4,5	4,7	4,6	4	3,7	3,4
Portugalsko	4,3	5,8	6,1	5,5	5,3	5,7	6,5	6,8	7
Rumunsko	1,2	1,3	1,6	2,1	2,1	2,1	1,8	1,7	1,9
Řecko	8,5	8,4	5,2	9	7,4	6,7	7,7	6,5	8
Slovensko	7,5	9,1	8,6	8,5	8,2	9,4	9,5	9,8	9,9
Slovinsko	6,3	6,4	7	7,3	8,1	8,6	8,9	9,1	9,6
Spojené království	4,2	4,1	3,7	3,4	3,2	3	2,9	2,8	2,9
Španělsko	6,6	6,7	7,5	7,5	6,9	7,3	8,2	8,5	8,7
Švédsko	12,8	14,3	15,7	15,8	16,5	16,5	17,1	18,3	19,1