

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a biometeorologie



**Analýza výnosů zemědělských plodin v souvislosti s
meteorologickými faktory**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Jan Krupica

Vedoucí práce: Ing. Luboš Türkott, Ph.D.

© 2014 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Analýza avýnosů zemědělských plodin v souvislosti s meteorologickými faktory" 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 uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 11.4.2014

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Lubošovi Türkottovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné připomínky a rady při vypracování této diplomové práce.

Analýza výnosů zemědělských plodin v souvislosti s meteorologickými faktory

Souhrn:

Diplomová práce se zabývá posuzováním variability výnosu obilovin ve vztahu k meteorologickým faktorům, přesněji teplotě vzduchu a úhrnu srážek ve Středočeském kraji.

V literární rešerši je detailní náhled do studia literatury a zpracování literárního přehledu z oblasti vlivu meteorologických faktorů na výnos zemědělských plodin.

Z analýz výnosových řad vybraných obilovin vyplývá, že výnosy všech zmíněných obilovin ve Středočeském kraji za období 1961 - 2012 mají vzestupný trend. Počáteční hodnota trendu výnosu pšenice jarní vzrostla od roku 1961 (2,47 t/ha) až na hodnotu 3,56 t/ha v roce 2012. Nejvyšší rostoucí výnosový trend ze všech vybraných obilovin měla pšenice ozimá a to o 2,55 t/ha za sledované období 1961 - 2012. Počáteční hodnota trendu výnosu z roku 1961 byla 2,68 t/ha a vzrostla do roku 2012 až na hodnotu 5,23 t/ha. Trend výnosu ječmene jarního byl k roku 1961 (2,78 t/ha) a v roce 2012 již činil 4,13 t/ha. Trendová hodnota výnosu ječmene ozimého vykazovala podobný charakter jako u ječmene jarního. Počáteční hodnota výnosového trendu ječmene ozimého byla v roce 1961 (1,90 t/ha) a v roce 2012 byla už 4,10 t/ha. Z obilovin, u kterých byla provedena výnosová studie, měl nejpozvolněji stoupavý výnosový trend oves setý, u kterého počáteční hodnota trendu výnosu činila v roce 1961 (2,08 t/ha) a v roce 2012 byla 2,70 t/ha.

Z analýz vybraných meteorologických prvků (teplota vzduchu, úhrn srážek) je patrná jejich značná variabilita. Z hodnocení variability teploty vzduchu vyplývá nárůst průměrné teploty vzduchu ve Středočeském kraji o 0,030 °C/rok a o 0,30 °C/10 let. Dále také došlo k nárůstu průměrné teploty vzduchu u všech měsíců v roce. Srážkové úhrny v oblasti Středočeského kraje měly kolísavý charakter. Dosahovaly jak plusových tak minusových hodnot odchylek od lineárního trendu, v závislosti na konkrétním měsíci. Celkový úhrn srážek se zvýšil o 1,177 mm/rok a o 11,77 mm/10let. Zvýšení průměrné roční teploty vzduchu a zvýšení variability srážkových úhrnů ve Středočeském kraji odpovídá publikované klimatické změně v rámci České republiky.

Klíčová slova: Obiloviny, výnos, počasí, teplota, úhrn srážek.

Evaluation of the crop production in comparison to the meteorological factors

Summary:

This thesis deals with the assessment of variability in cereal yields in relation to meteorological factors, specifically air temperature and rainfall in the Central Region.

The first part is a detailed insight into the study of literature and a literary overview of the area of influence of meteorological factors on the yield of agricultural crops.

Analyses of selected cereal yield series shows that the yields of these cereals in the Central Region for the period 1961 - 2012 have an upward trend. The initial value of the trend yield of spring wheat increased from 1961 (2,47 t/ha) to a value of 3,56 t/ha in 2012. Highest growing trend yield of selected winter wheat cereals should and 2,55 t/ha monitored for 1961 - 2012. Initial value trend yield in 1961 was 2,68 t/ha and increased in 2012 to a value of 5,23 t/ha. Trend yield of spring barley in 1961 was to 2,78 t/ha and in 2012 the figure was 4,13 t/ ha. The trend value of the yield of winter barley showed a similar pattern as in spring barley. The initial value of the yield trend of winter barley in 1961 was 1,90 t/ha and in 2012 it was 4,10 t/ha. The cereal which was performed yield studies had nejpozvolněji rising yield trend oats for which the initial value of the trend yield in 1961 was 2,08 t/ha and in 2012 was 2,70 t/ha.

Analyses of selected meteorological elements (air temperature, precipitation) is shown the considerable variability. The assessment of the variability of air temperature show an increase of the average air temperature in the Central Region of 0,030 °C per year and 0,30 °C per 10 years. It also increased the average air temperature in all months of the year. Precipitation totals in the Central Region were fluctuating character. Achieve both plus and minus values of deviations from the linear trend depending on the month. Total precipitation has increased by 1,177 mm/year and 11,77 mm/10 years. The increase in average annual air temperatures and increased precipitation variability in the Central region corresponds to the published climate change within the Czech Republic.

Keywords: Cereals, yield, weather, temperature, total precipitation.

Obsah

1	ÚVOD	7
2	HYPOTÉZY A CÍLE	7
2.1.1	CÍLE PRÁCE	7
2.1.2	HYPOTÉZY	7
3	LITERÁRNÍ PŘEHLED	8
3.1	VYMEZENÍ A CHARAKTERISTIKY PODNEBÍ STUDOVANÉ OBLASTI	8
3.1.1	KLIMA	8
3.1.2	KLIMA ČESKÉ REPUBLIKY	8
3.1.3	TEPLOTNÍ PODMÍNKY	10
3.1.4	SRÁŽKOVÉ POMĚRY	11
3.1.5	HYDROMETEOROLOGICKÉ EXTRÉMY	12
3.2	SYSTEMATICKÁ METEOROLOGICKÁ MĚŘENÍ – HISTORIE A SOUČASNOST	15
3.2.1	KOLÍSÁNÍ KLIMATU V OBDOBÍ PŘÍSTROJOVÝCH POZOROVÁNÍ V ČESKÉ REPUBLICE	17
3.3	POČASÍ A VÝNOSY	18
3.4	ZEMĚDĚLSKÉ PLODINY A JEJICH NÁROKY NA STANOVIŠTĚ A POČASÍ OVLIVŇUJÍCÍ VÝNOSY	22
3.4.1	OBILOVINY	22
3.4.2	BOTANICKÁ A BIOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA PŠENICE OBECNÉ	29
3.4.3	BOTANICKÁ A BIOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA JEČMENE SETÉHO	34
3.4.4	BOTANICKÁ A BIOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA OVSA SETÉHO	38
4	MATERIÁL A METODIKA	43
4.1	ZPRACOVÁNÍ VÝNOSOVÝCH ŘAD VYBRANÝCH OBILOVIN	43
4.2	ZPRACOVÁNÍ ZÁKLADNÍHO DATOVÉHO SOUBORU SRÁŽKOVÉHO ÚHRNU	44
4.3	ZPRACOVÁNÍ ZÁKLADNÍHO DATOVÉHO SOUBORU TEPLoty VZDUCHU	44
5	VÝSKLEDKY	44
5.1	ANALÝZA VÝNOSOVÝCH ŘAD VYBRANÝCH OBILOVIN	44
5.2	ZPRACOVÁNÍ VARIABILITY VYBRANÝCH METEOROLOGICKÝCH PRVKŮ	54
5.2.1	TEPLOTA VZDUCHU	54
5.2.2	SRÁŽKY	59
5.3	HODNOCENÍ VAZEB MEZI VELIKOSTÍ VÝNOSŮ A VARIABILITOU METEOROLOGICKÝCH PRVKŮ	64
5.3.1	VÝNOSOVÁ VARIABILITA	65
5.4	OBDOBÍ NEJNIŽŠÍCH VÝNOSŮ	66
5.5	OBDOBÍ NEJVYŠŠÍCH VÝNOSŮ	70
6	DISKUZE	72
7	ZÁVĚR	76
8	SEZNAM LITERATURY	79

1 ÚVOD

Obecně lze říci, že se svět stává hospodářsky i sociálně stále více závislým na dostupných, ale současně i omezených přirozených atmosférických zdrojích. Zatímco v minulosti byly tyto zdroje využívány na základě spíše intuitivních, individuálních zkušeností pěstitele, dnes se stávají významným činitelem jak při krátkodobém, tak i při dlouhodobém plánování. Můžeme pozorovat, že závislost výrobních a tím i ekonomických výsledků na počasí a klimatu výrazně vzrůstá jak s nárůstem počtu obyvatel planety, tak i s prohlubováním infrastruktury společnosti. Mimoto rostoucí tlaky hospodářského soutěžení v mnoha oblastech posunují zemědělskou výrobu stále více směrem ke kritickému pásmu ekologické hranice možností, což má pochopitelně za následek zvýšenou závislost výroby na počasí a podnebí. Konečně jako důležitý činitel v otázce optimálního využívání přirozených podmínek pro zemědělskou výrobu se stále více uplatňuje z globálního hlediska nutnost neustálého zvyšování produkce, daná prohlubující se disproporcí mezi rostoucí lidskou populací a objemem produkce potravin. Důsledkem těchto okolností a mnoha dalších je neustále stoupající význam meteorologických služeb pro zemědělství.

2 HYPOTÉZY A CÍLE

2.1.1 Cíle práce

Cílem diplomové práce je provést studii výnosových trendů hlavních zemědělských plodin ve vztahu k meteorologickým faktorům, konkrétně pak úhrnu srážek a teplotě vzduchu.

2.1.2 Hypotézy

1. Variabilita výnosů obilovin ve Středočeském kraji souvisí s variabilitou průběhu meteorologických prvků převážně pak teploty vzduchu a úhrnu srážek.
2. Výnosy obilovin ve Středočeském kraji za období 1961 - 2012 mají vzestupný trend.
3. Projevy klimatické změny ve smyslu zvýšení průměrné měsíční resp. roční teploty vzduchu a zvýšení variability srážkových úhrnů ve Středočeském kraji odpovídá publikované klimatické změně v rámci ČR.

3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

3.1 Vymezení a charakteristiky podnebí studované oblasti

3.1.1 Klima

Klima (podnebí) jako abstraktní termín k popsání dlouhodobého režimu atmosféry je od své první definice německého polyhistora Alexandra von Humboldta z roku 1817 popisováno různým způsobem. Např. V. M. Skljarov chápe klima jako souhrn a postupné střídání všech stavů atmosféry (podmínek počasí) možných v daném místě. Je výsledkem různých, nepřetržitě probíhajících klimatotvorných procesů, jimiž se rozumí fyzikální procesy v atmosféře a aktivní vrstvě půdy (příjem a výdej záření a tepla, přeměna a přenos energie, oběh vody atd.). Současně jsou důsledkem nepřetržitého působení klimatotvorných faktorů a podmiňují vytváření klimat na celé Zemi i v jejích částech (Netopil et al., 1984).

3.1.2 Klima České republiky

Území České republiky patří do mírného klimatického pásma (Červený et al., 1984). Obecně lze říci, že kontinentalita klimatu v České republice roste směrem od západu k východu a tím se zároveň zvyšuje teplotní amplituda a snižují srážkové úhrny. Významný vliv na klima jednotlivých míst České republiky má reliéf krajiny a nadmořská výška. Území České republiky patří do dvou rozdílných geologických jednotek. Jednou z nich je Český masiv prvohorního stáří (Čechy) a druhou jednotkou jsou Vnější Západní Karpaty druhohorního a třetihorního stáří (Morava, Slezsko) (Tolasz et al., 2007).

Vlhkostní charakteristiky jsou závislé na teplotě vzduchu. Maximálních hodnot dosahují hodnoty tlaku vodní páry v letním období, a naopak v zimním období je obsah vodní páry ve vzduchu nízký (Coufal et al., 1992).

V 50. letech 20. století došlo k poklesu dopadajícího množství sluneční energie na zemský povrch, který zapříčinily změny cirkulace atmosféry. V současné době se dopadající množství sluneční energie na zemský povrch opět zvyšuje. Sluneční záření se skládá ze tří základních typů (ultrafialové, viditelné a infračervené). Ultrafialové sluneční záření má vlnovou délku menší než 390 (400) nm. Toto záření je v rozmezí 290 – 320 nm biologicky vysoce aktivní (Tolasz et al., 2007).

Ultrafialové záření stimuluje u rostlin větvení stonku, omezuje dlouhivý růst, dochází ke zvětšování listů, při větším působení je omezena fotosyntéza, urychleno stárnutí rostlinných pletiv, zvyšuje se obsah rozpustných proteinů a fotoaktivních flavonoidů. Viditelné sluneční záření má vlnovou délku 390 - 760 nm, někdy jsou udávány hodnoty 380 - 710 nm. Jeho barevné spektrum je od fialové po červenou. Je zdrojem světla a tepla a tzv. fotosynteticky aktivní radiace (FAR). Infračervené záření má vlnovou délku větší 750 - 1 mm, má fotoperiodické účinky (Hrudová, 2011). Nejdelší trvání slunečního svitu je nejčastěji v červenci a nejkratší v prosinci (Červený et al., 1984). Během roku se na našem území střídají azorská, islandská a sibiřská tlaková výše. Nejnižší hodnoty tlaku vzduchu jsou v jarních měsících, nejvyšší jsou zpravidla v lednu (na některých stanicích v říjnu) (Míková a Coufal, 1999). Tlak vzduchu redukovaný na hladinu moře je v rozmezí od 1 057 hPa do 967 hPa (Tolasz et al., 2003). Rychlost větru závisí na nadmořské výšce a největší je v zimě, nejmenší v létě. Maximální nárazy větru na většině území jsou 25 – 35 m.s-1, na vyvýšeninách a horách jsou 40 – 45 m.s-1 (Sobíšek, 2000). Na území České republiky převládá jihozápadní a západní směr větru (Sládek, 1991). Pokud se zkoumá teplota půdy na našem území, tak nejvyšší roční teploty jsou na přelomu července a srpna, nejnižší v únoru (Coufal et al., 1993). Podle Köppena většina území České republiky náleží do vlhkého, mírně teplého podnebí se suchou zimou. Střední a vyšší polohy patří do vlhkého, mírně chladného podnebí se suchou a mírnou zimou (respektive studenou zimou). Hřebeny Krkonoš a vrcholy Jeseníků náleží do studeného pásma (Květoň a Žák, 2005). Naše území dle Quittovy klasifikace se rozděluje do tří oblastí a 23 rajonů (ale některé se v Čechách nevyskytují). Nížiny řadíme do oblasti teplé, střední polohy do oblasti mírně teplé a vyšší polohy do oblasti chladné (Quitt, 1971). Chladná oblast zaujímá 8,8 % plochy, mírně teplá oblast 66,1 % plochy a teplá oblast 25,1 % plochy České republiky (Voženílek et al., 2006).

Quittova klasifikace uvádí, že v průměru je na území České republiky:

roční počet letních dnů 35,2;

roční počet mrazových dnů 121,5;

roční počet ledových dnů 37,5;

průměrná teplota v lednu – 2,5 °C;

průměrná teplota v červenci 17,0 °C;

průměrná teplota v dubnu 7,3 °C;

průměrná teplota v říjnu 7,9 °C;

roční počet dní se srážkami ≥ 1 mm 109,5;

úhrn srážek za vegetační období (duben až září) 409,1 mm;

úhrn srážek za vegetační období (říjen – březen) 257,3 mm;

roční počet dnů se sněhovou pokrývkou 65,3;

roční počet oblačných dnů 150,2;

roční počet jasných dnů 45,1 (Květoň a Voženílek, 2011).

3.1.3 Teplotní podmínky

Teplotní poměry v České republice jsou významně ovlivněny nadmořskou výškou lokality. Nejnižší teploty jsou v horských oblastech a nejvyšší v nížinách. Podnebí České republiky je z hlediska teplot členěno na pomezí kontinentálního a oceánského typu klimatu. Kontinentální klima se vyznačuje vysokými teplotami v létě a nízkými v zimě (Gregor, 1929). Průběh teplot přes den je následující: minimální teploty jsou v ranních hodinách a maximální v odpoledních hodinách (Štěpánek, 2004). Po porovnání svahů severních a jižních se ukázalo, že nižší teploty jsou na severních svazích oproti jižním. Na území šumavských plání jsou i přes vhodné povětrnostní situace dosahovány mimořádně nízké teploty (Brázdil et al., 2005a). Lidská činnost má vliv na stále rostoucí tepelný ostrov velkých měst, který se projevuje celoročním zvýšením nočních teplot a zvýšením průměrných teplot v chladné polovině roku (Květoň, 2001). Nejvyšší teplota za období 1961 - 2000 byla naměřena 27. srpna 1983 na stanici Praha-Uhřetěves a ta byla 40,2 °C. Nejnižší teplota za období 1961 - 2000 byla naměřena 7. ledna 1985 na stanici Lenora na Šumavě a byla -33,0 °C (Brázdil et al., 2005a). Absolutní teplotní maximum padlo 20. srpna 2012 v Dobřichovicích (okres Praha) a bylo 40,4 °C.

3.1.3.1 Průměrná roční teplota vzduchu za období 1961 - 2000

Teplota vzduchu se v ročním průměru pohybuje od -1 °C (vrcholové polohy) až přes 10 °C na jižní Moravě. Absolutní maximum 40,2 °C bylo naměřeno 27. 7. 1983 v Praze-Uhřetěvesi. Absolutní minimum teploty vzduchu -42,2 °C se vyskytlo v Litvínovicích u Českých Budějovic 11. února 1929.

Z hlediska ročního chodu teploty vzduchu lze uvést, že v průměru je nejchladnějším měsícem roku leden. Nejteplejším měsícem může být některý z letních měsíců, ale v průměru je to červenec. Ukazuje se, že proměnlivost výskytu letního maxima průměrné měsíční teploty je menší a časově omezenější než minima, kdy výskyt může být zaznamenán v průběhu až pěti měsíců, listopad až březen (Tolasz et al., 2007).

3.1.4 Srážkové poměry

V Čechách spadne nejvíce srážek během roku na pohraničním pohoří (Jizerské hory, Krkonoše, Hrubý Jeseník, Moravskoslezské Beskydy). Nejméně srážek spadne v závětrné oblasti Podkrušnohoří a na jižní Moravě. Při výskytu srážkových extrémů hrozí ničivé povodně nebo katastrofální suché období (Brázdil, 1978). V posledních letech se snižuje sněhová pokrývka jak v nížinách, tak i na horách z důvodů ustupování alpských ledovců. Pokud porovnáme nejvyšší počet dní se sněžením v nižších polohách a horských polohách, tak se ukáže, že v nižších polohách je těchto dnů nejvíce v lednu a v horských polohách jsou měsíce prosinec až březen vyrovnané. Průměrná výška sněhové pokrývky je od 11 cm (centrum Prahy, Polabí) do 185 cm (Praděd). Nejvíce dní s krupobitím náleží do měsíců květen až červenec (Červený et al., 1984).

3.1.4.1 Průměrný úhrn srážek za období 1961 - 2000

Srážky na našem území se vyznačují velkou časovou i místní proměnlivostí s velkou závislostí na nadmořské výšce a expozici vzhledem k převládajícímu proudění, jak vidíme na mapě rozložení průměrných ročních úhrnů za období 1961 - 2000. Mají roční chod kontinentálního typu, tedy s jednoduchou vlnou, kdy maximum připadá převážně na červenec, minimum na únor nebo leden. Nejnížší srážkové úhrny jsou v okolí Žatce, kde nejnížší průměrný roční úhrn má hodnotu 410 mm a je nejsušší oblastí republiky.

Nejvíce srážek vykazuje Bílý Potok (U studánky) v Jizerských horách ve výšce kolem 900m n. m. s průměrem 1705mm srážek. Na Moravě připadá minimální roční průměr srážek na oblast jižně od Znojma (Drnholec 495 mm), maximální roční průměr patří Lysé hoře s 1532mm (Moravskoslezské Beskydy). Podle dlouhodobého průměru jsou tedy na našem území roční srážky v rozpětí od 410 mm do 1705 mm. Podle ročních období má nejvyšší průměrné úhrny srážek léto (kolem 40 %), dále jaro (25 %), podzim (20%) a zima (15 %). Letní maximum souvisí s výskytem bouřkových lijáků v případě přísunu relativně studeného vzduchu od západu až severozápadu (Tolasz et al., 2007).

3.1.5 Hydrometeorologické extrémy

Extrémy počasí se většinou vyznačují časovou a prostorovou nepředvídatelností, mimořádnou intenzitou a důsledky, které mohou v některých případech ve velmi krátké době zhatit např. očekávanou sklizeň. Výskyt meteorologických extrémů je přirozeným důsledkem složitých především fyzikálních, ale i chemických procesů odehrávajících se v atmosféře, a ony samotné jsou přirozenou součástí její variability. Mezi meteorologické extrémy se řadí povodně, ať již vyvolané extrémními úhrny srážek lokálního charakteru (lijáky, průtrže mračen), vydatnými trvalými srážkami či rychle tajícím sněhem. Stejně, i když ne tak okamžité dopady, mají i další extrémní situace, jako jsou náhlá a déletrvající zimní oteplení, holomrazy (nízké teploty bez sněhové pokrývky), jarní a podzimní mrazíky, vichřice či horké vlny. Z pohledu celkové ekonomiky pěstování polních plodin je nejvýznamnější meteorologický extrémem sucho (Tolasz et al., 2004).

3.1.5.1 Zemědělské sucho a jeho vliv na rostliny

Vzhledem k tomu, že se doposud nepodařilo odvodit obecně přijatelnou a různými disciplínami použitelnou definici sucha, obvykle hovoříme o čtyřech různých typech podle dominujících projevů: meteorologické, zemědělské, hydrologické a socioekonomické (Heim, 2002), mezi nimiž však existuje zřejmá časová posloupnost. Meteorologické sucho, které lze charakterizovat jako zápornou odchylku srážek od normálu během určitého časového období, podmiňuje vznik sucha zemědělského (nedostatek vláhy pro plodiny), hydrologického (významné snížení hladin vodních toků), případně i socioekonomického (dopady sucha na kvalitu života).

Jeho primární příčinou je v podmínkách České republiky deficit srážek, který se obvykle akumuluje během poměrně dlouhého období (řádově týdny až měsíce). Suchá období působí v České republice problémy zejména v zemědělství a lesnictví, ale také ve vodním hospodářství (Červený et al., 1984; Trnka et al., 2007; Hlavinka et al., 2009). Projevy sucha se obvykle akumuluji postupně a zpravidla nenápadně během relativně dlouhého období (týdny až měsíce). Jeho dopady, např. v podobě snížené hladiny podzemní vody, mohou ale přetrvávat i velmi dlouho po skončení epizody. V případě lesních porostů byly v České republice značné škody suchem způsobeny v letech 1992 - 1994 (Brázdil, 2007), což se projevilo s jednorocím zpožděním ve výraznějším nárůstu nahodilé těžby dřeva podmíněné tímto faktorem. S ohledem na výše uvedené skutečnosti lze sucho také označit termínem „plíživý extrémní jev“, tedy jev, který sice nebývá doprovázen náhlými dramatickými a mediálně atraktivními situacemi, ale který může způsobit rozsáhlé a často neodvratitelné ekonomické škody. Je téměř jisté, že s ohledem na probíhající klimatickou změnu dojde ke zvýšení četnosti, případně intenzity suchých epizod, která bude spojena s nárůstem způsobených škod (Hayes et al, 2005). Zda se jednotlivé epizody meteorologického sucha projeví např. ve snížení výnosů zemědělských plodin nebo zda dojde k poklesu průtoků na vodních tocích, či dokonce zda se odrazí v sociálních a ekonomických indikátorech, je kromě samotné délky a intenzity meteorologického sucha ovlivněno:

- obdobím výskytu (např. v klíčových fenologických fázích významných zemědělských plodin či v období zvýšených nároků na spotřebu vody),
- přijetím opatření ke zmírnění následků sucha (např. využití závlah, zvýšení průtoků z vodních rezervoárů apod.).

V případě poškození zemědělských kultur existují četné mechanismy, kterými nedostatek vláhy působí na růst a vývoj rostlin. Kromě toho zhoršuje nedostatečná vlhkost půdy půdní mikroklima a koloběh živin, ztěžuje obdělávatelnost a zvyšuje náchylnost k větrné erozi. Ačkoliv přesná kvantifikace vztahů mezi intenzitou a trváním sucha a rostlinnou produkcí je poměrně problematická, neboť v systému půda, rostlina, atmosféra působí několik vzájemně se ovlivňujících faktorů, některé z nových prací (Trnka et al., 2007; Brázdil et al., 2009; Hlavinka et al., 2009) jasně ukazují na fakt, že sucho výrazným způsobem ovlivňuje výnosy na regionální i národní úrovni. Každá epizoda sucha je ale jedinečná nejen svým průběhem, ale i následky.

Například v teplotně extrémním roce 2000 suché a velmi teplé období od dubna do června zapříčinila neúrodu obilovin zvláště na jižní Moravě, přičemž ztráty kompenzované zemědělci ze státního rozpočtu dosáhly asi 5 miliard Kč. U jarní pšenice, která je zvláště citlivá na srážky v uvedeném období, poklesl průměrný hektarový výnos z 3,9 t.ha v roce 1999 na 2,8 t.ha v následujícím roce. V Čechách, na rozdíl od Moravy a Slezska, pokračovalo sucho ještě od srpna do konce roku. Analýzy regionálních řad relativního Z-indexu (Brázdil et al., 2007) v oblasti bývalého Jihomoravského a Severomoravského kraje potvrzují těsný vztah mezi sumou tohoto indexu v období duben - červen a průměrným výnosem jarního ječmene a ozimé pšenice. Přitom v okresech Jihomoravského kraje byly výnosy obou sledovaných plodin ovlivněny výskytem sucha mnohem více a častěji než okresech kraje Severomoravského (Hlavinka et al., 2009), což souvisí s podstatně větší intenzitou sucha v tomto regionu. V Jihomoravském kraji lze výskytu sucha přičítat velké meziroční poklesy výnosů v letech 1976, 1981, 1993 a 2000. Za povšimnutí stojí zejména výrazný pokles produkce v roce 2000, způsobený mimořádně intenzivním suchem v klíčovém období pro formování výnosu jarního ječmene (tedy od dubna do počátku června). Nesmíme ale zapomínat, že vodní bilance vegetační sezóny je pouze jedním z mnoha faktorů ovlivňujících výnos. Proto nepřekvapí, že v některých letech (např. 1964, 1989) nedošlo k poklesu výnosu, přestože se z klimatologického pohledu jednalo o suché vegetační sezóny. O tom, zda se důsledky meteorologického sucha promítnou do regionálních výnosů v daném roce, rozhoduje řada faktorů. Mezi ně patří zejména to, zda sucho nastane během kritických vývojových fází obilovin, či jak velká je zásoba vody v půdě.

Je zajímavé, že důsledky suchých epizod jsou patrné i při analýze celostátních výnosů vybraných polních plodin. Je tomu tak přesto, že různorodé podmínky ČR způsobují částečnou kompenzaci nepříznivých ročníků. V suchých letech bývají výnosy ve vyšších nadmořských výškách obvykle nadprůměrné a vyrovnávají tak výpadky v produkci v hlavních výrobních oblastech. Pro relativně malý počet let nelze výsledky analýzy detailněji kvantifikovat, je však zřejmé, že nejméně polovina extrémně suchých let s negativním dopadem na výnos byla zaznamenána mezi lety 1986 a 2006. U trvalých travních porostů je vyváženost vodní bilance klíčovým prvkem předurčujícím výnos. Přestože Brázdil et al. (2009) ve své studii pro popis vodní bilance použili relativně jednoduchý indikátor, podařilo se autorům zachytit více než 40% meziroční výnosové variability. Vztah mezi vodní bilancí daného ročníku a výnosem vyjadřuje podle této práce polynom druhého řádu a je to právě tento typ funkce, který podle Ashe et al. (1992) nejlépe popisuje vazbu mezi dostupností vody a růstem rostlin.

Zejména v mírném pásu bez použití závlah bývá totiž výnos většiny plodin ovlivněn nejen nedostatkem vody, ale rovněž nízkou úrovní globální radiace, podprůměrnými teplotami, kořenovou anoxií či vyšším výskytem houbových chorob, tedy faktory, které doprovázejí srážkově velmi vydatné sezóny. Detailní analýza celkem jedenácti plodin ukázala, že negativní důsledky sucha se na rostlinné produkci projevily zejména v letech 1922, 1934, 1947, 1976, 1988, 1992, 1993, 2000 a 2003. Dva nejvlhčí roky (1926 a 1965) byly spojeny s podprůměrnými výnosy obilovin a výnosovou stagnací u píce a produkce sena z trvalých travních porostů.

3.2 Systematická meteorologická měření – historie a současnost

Meteorologické údaje získané z přístrojových měření na meteorologických stanicích představují nejkvalitnější zdroj informací pro klimatologické zpracování. Počátky meteorologických pozorování v českých zemích jsou však oproti Itálii či západní Evropě poněkud mladšího data a začínají až v 18. století. I když kvantitativní údaje o minimální teplotě vzduchu máme již z velmi tuhé zimy 1708/1709 z Prahy a Karlových Varů, výsledky prvních souvislých měření (tlak a teplota vzduchu) jsou k dispozici teprve od 21. prosince 1719 do 31. března 1720 ze Zákup. Jejich autorem byl Johann Carl Rost, osobní lékař majitelky zákupského panství. Tyto údaje byly publikovány spolu s měřeními a pozorováními z dalších evropských stanic a míst v rámci tzv. wroclawské sítě lékaře Johanna Kanolda (Brázdil a Valášek, 2002a). Další dochovaná meteorologická měření (tlak a teplota vzduchu, srážky) pocházejí z roku 1752 od Josefa Steplinga, prvního ředitele pražské hvězdárny, situované v jezuitské koleji sv. Klementa (zkráceně Klementinum) (Pejml, 1975). I když pozorování patrně pokračovala i v dalších letech, v systematické podobě se objevují až od 1. ledna 1775 díky iniciativě třetího ředitele pražské hvězdárny Antonína Strnada. Za jeho působení byla Praha zařazena do mezinárodní sítě meteorologických stanic Mannheimské meteorologické společnosti (Societas Meteorologica Palatina), která publikovala výsledky měření z let 1780 - 1792 (SEYDL, 1954). Pražská meteorologická pozorování pokračují bez přerušení až do současné doby, takže jde o naše nejdelší souvislé řady teploty vzduchu (od roku 1775) či srážek (od roku 1804). Sám Strnad se stal významným propagátorem meteorologických pozorování, která se rozšířila do dalších míst v Čechách, jako byly např. Žitenice (Brázdil et al., 2007), Teplá a další. Vedle pražské hvězdárny sehrály v rozvoji meteorologických pozorování v Čechách významnou roli učené a hospodářské společnosti.

Vycházejíce z přesvědčení, že vlastnosti atmosféry a průběh povětrnosti mají významný vliv na zemědělství, začala c. k. Vlastenecko-hospodářská společnost (pod vedením svého tehdejšího člena Antonína Strnada) v roce 1796 zřizovat v českých krajích meteorologická pozorování a k tomu dala vytisknout vlastní tabulky pro jejich zaznamenávání. Společnost nechala rovněž zhotovit nezbytný počet tlakoměrů a teploměrů a dodala je pozorovatelům. Významné bylo publikování výsledků pozorování z let 1817 - 1821 čtvrtým ředitelem klementinské observatoře Aloisem Davidem, na něž navázaly nové spisy společnosti, v nichž se objevila každoroční pozorování z Čech s jejich pravidelným hodnocením pro roky 1822 - 1847 (Pejml, 1975). Na Moravě pocházejí dosud nejstarší denní meteorologická měření od telčského vrchnostenského lékaře Františka Aloise Maga z Maggu, začínající v jeho druhém dochovaném pozorovacím deníku 7. květnem 1771 a končící 9. březnem 1775. Podle údajů zasílaných Antonínu Strnadovi je ale zřejmé, že Mag pozoroval ještě v zimě 1788/1789, ale další jeho záznamy se již nalézt nepodařilo (Brázdil et al, 2002b).V Olomouci prováděl meteorologická pozorování profesor tamního lycea Josef Gaar, přičemž část jeho pozorování z let 1790-1794 byla využita v nejstarším popisu klimatu Moravy z roku 1797, pocházejícím od jiného tamního profesora Kryštofa Passyho (Brázdil a Valášek, 2001).V roce 1799 začíná penzionovaný setník Ferdinand Knittelmayer dlouhou řadu teplotních pozorování v Brně, doplněnou od roku 1803 také měření srážek od úředníka stavovské účtárny Zachariáše Melzera. Brněnská meteorologická pozorování pokračují na různých místech v katastru města dodnes (Brázdil et al., 2005b). K významnému rozvoji meteorologických pozorování na Moravě a ve Slezsku došlo po založení Meteorologického spolku při c. k. Moravskoslezské hospodářské společnosti v roce 1815. Vedle podrobných publikovaných instrukcí k pozorováním si pozorovatelé mohli zakoupit i tlakoměr a teploměr a byli požádáni, aby svá pozorování zasílali na adresu spolku do Brna. Část těchto záznamů zůstala dochována v archivních materiálech společnosti a pro Brno byla denní pozorování v letech 1820 - 1847 dokonce pravidelně publikována v novinách Brünner Zeitung (Brázdil et al., 2005b).

Po zřízení Ústředního ústavu pro meteorologii a zemský magnetismus ve Vídni v roce 1851 se meteorologická pozorování v českých zemích dostala postupně pod správu tohoto ústavu a po vzniku Československa v roce 1918 převzal síť existujících meteorologických stanic nově zřízený Státní ústav meteorologický v Praze, jehož pokračovatelem je dnes po řadě organizačních změn Český hydrometeorologický ústav jako hlavní garant prováděných meteorologických pozorování v České republice (Krška a Šamaj, 2001). Je zřejmé, že během tak dlouhé doby došlo na meteorologických stanicích k mnoha změnám, kdy se měnila nejen jejich poloha (některé stanice zanikaly a jiné vznikaly), ale i okolí stanic, použité přístroje, pozorovatelé, pozorovací termíny i metodika pozorování. U meteorologických stanic, které se nacházejí ve městech, se navíc uplatňuje zesilování tepelného ostrova města. Protože v městech dochází k většímu znečištění ovzduší, uvolňování odpadního tepla a změně charakteru aktivního povrchu v důsledku městské zástavby, je město teplejší oproti okolní venkovské krajině. S postupným růstem měst, projevujícím se rozšiřováním jejich plošného rozsahu a růstem počtu obyvatel, dochází zároveň i k postupnému zesilování tepelného ostrova města, které se oproti okolní venkovské krajině otepluje rychleji (Brázdil a Budíková, 1999). Před statistickou analýzou dlouhých meteorologických časových řad musíme proto odstranit vlivy, které nesouvisí s přirozenou variabilitou počasí a podnebí.

Protože k uvedeným změnám nedošlo na všech stanicích najednou, lze vzájemným porovnáním odpovídajících řad s použitím statistického aparátu zjistit roky změn, včetně velikosti změny a její statistické významnosti (tento postup se označuje jako testování relativní homogenity) a následně tyto skoky v pozorováních z odpovídajících řad eliminovat (Brázdil a Štěpánek, 1998; Štěpánek, 2004).

3.2.1 Kolísání klimatu v období přístrojových pozorování v České republice

Dlouhodobé kolísání teploty vzduchu v České republice pro sezónní a roční hodnoty lze dokumentovat na příkladu stanic Praha-Klementinum a Brno. Výrazný vzestupný teplotní trend je patrný zejména na stanici Praha-Klementinum, který je ale třeba zčásti přičítat i zesilování tepelného ostrova města, které dosahovalo ve 20. století v jednotlivých ročních obdobích (s výjimkou léta) a v roce hodnoty 0,5 - 0,6 °C za 100 let (Brázdil a Budíková, 1999). Vzestupný teplotní trend je patrný také v případě Brna (řada byla homogenizována na polohu stanice Brno-Tuřany, letiště), přičemž v řadách obou stanic byla vůbec nejteplejší poslední dvě desetiletí.

Klima však není představováno pouze teplotou vzduchu, ale také dalšími meteorologickými prvky, mezi nimiž jsou zvláště významné atmosférické srážky. Dlouhodobou variabilitu sezónních a ročních úhrnů srážek v České republice v období přístrojových měření lze dokumentovat opět na příkladu Prahy-Klementina a Brna.

Pozornost zasluhuje především relativně sušší druhá polovina 20. století v porovnání s jeho první částí, přičemž ale pokles srážek nedosáhl nejnižších hodnot z období mezi lety 1855 - 1875. V interakci s celkově rostoucí teplotou vzduchu však zmíněný pokles srážek podmiňuje celkový růst suchosti našeho klimatu při jeho vyjádření vybranými indexy sucha, jako je např. Z-index nebo Palmerův index intenzity sucha PDSI (Brázdil et al., 2009). Odlišnou variabilitu srážek se střídáním sušších a vlhčích časových úseků lze zaznamenat v jednotlivých ročních obdobích.

3.3 Počasí a výnosy

Ačkoli studium fyziologie tvorby výnosu přináší i obecné poznatky, hlavním jeho posláním je objasnit mechanismus tvorby určité morfologické, anatomické či chemické frakce rostliny, která pak v závislosti na druhu rostliny reprezentuje hospodářský výnos (cukr u cukrovky, alkaloidy u máku, zrno u obilovin apod.). Fyziologie jednotlivých druhů plodin má určitou specifitu, danou jak morfologickou stavbou, růstem a vývojem, tak i charakteristikou příslušného ekonomického (hospodářského) výnosu (Petr et al., 1980).

Sledování vlivu počasí na výnosy bylo patrně od samotných počátků pěstování polních plodin v popředí zájmu každého zemědělce. S postupným rozvojem polního pokusnictví a statistických metod se zvětšovaly možnosti, jak z celého souboru trvale proměnlivých faktorů počasí stanovit právě ty, které v největší míře ovlivnily výnos v daném průběhu počasí. V současné době patří hodnocení regresních závislostí výnosu na jednotlivých faktorech počasí k obvyklým postupům. Stále častěji se hodnotí nejen závislost výnosu na jednom faktoru počasí, ale i mnohonásobná závislost na celé řadě faktorů (Petr et al., 1987).

3.3.1.1 Vliv počasí na produkční procesy rostlin

Počasí je okamžitý nebo krátce trvající proměnlivý stav troposféry charakterizovaný souborem meteorologických prvků a jevů a vyjadřovaný jejich konkrétními hodnotami (Krečmer, 1980).

Tento komplex vnějších vlivů zcela zákonitě působí na výnosy. Při obvyklém hodnocení výnosové variability je právě vliv "ročníku" jedním z nejvýznamnějších a stále ještě v mnoha případech převyšuje vliv jednotlivých agrotechnických opatření včetně hnojení. Je tedy zcela pochopitelné i velké úsilí, které bylo až dosud věnováno výzkumu vlivu počasí na výnosy, na mechanismy uplatňující se při tvorbě výnosů a na produkční procesy rostlin. Výčet nejdůležitějších faktorů počasí působících na rostliny:

- 1/ sluneční záření - hustota toku záření, spektrální složení, délka fotoperiody,
- 2/ teplota - aktuální hodnoty, denní a roční průběh, výskyt nízkých teplot,
- 3/ srážky - celkový úhrn za vegetaci nebo za rok, časové rozdělení,
- 4/ složení a pohyb atmosféry - obsah plynů, obsah vodní páry, rychlost pohybu vzduchu,
- 5/ půda - jejím prostřednictvím se vliv počasí na rostliny projevuje zprostředkovaně a nepřímo (Petr et al., 1985).

Meteorologické prvky jako je teplota půdy, vzduchu a vody, vlhkost vzduchu a půdy, trvání slunečního svitu a délka dne, intenzita záření nebo světla, množství, druh a tvar srážek a jejich rozdělení během vegetace, výpar vody z půdy a rostlin, různé extrémními jevy jako sucho, přivalové deště, krupobití, silný vítr a mnoho dalších jsou faktory, které ovlivňují biologické jevy v přírodě. Všechny prvky můžeme dále detailněji popisovat pomocí jednotlivých charakteristik, kterých je poměrně značné množství (Kožnarová et al., 2008). Například u teploty vzduchu můžeme použít hodnoty změřené v určitých dohodnutých termínech, tzv. termínová měření, stanovit průměrné hodnoty, extrémy, četnosti výskytu zvolené teploty, sumy, odchylky od normálu a další statistické veličiny. Pro celistvý popis počasí je nutné obvykle zvolit vhodný počet kombinací charakteristik vystihujících sledované období. Každý rok nebo i jeho části jsou totiž jedinečné a neopakovatelné.

Z těchto důvodů je pro hodnocení vlivu počasí na pěstování rostlin v nejširším slova smyslu nezbytná určitá standardizace a unifikace metodických postupů při měření, zpracování a interpretaci meteorologických informací při hodnocení jejich vlivu, které umožňuje porovnávání variability ročníků (Klabzuba et al., 1999). Hodnocení by mělo obsahovat univerzálně použitelná kritéria vhodná jak pro velká území nebo administrativní celky, tak i pro konkrétní lokalitu nebo i malá území (Kožnarová a Klabzuba, 1993; Klabzuba a Kožnarová, 1996). Pro jednotlivé plodiny nebo skupiny plodin a pro časové a výnosové řady je však nutné zvolit charakteristiky cíleně vybírané. Měly by být také použitelné při posuzování vlivu chorob, škůdců a plevelů, při bonitaci a oceňování pozemků. Určitým metodickým návodem a mezinárodní normou při výběru a volbě jednotlivých prvků a jejich kvantitativních charakteristik pro hodnocení zemědělského potenciálu klimatu by měl být návrh pro hodnocení zemědělského potenciálu klimatu vypracovaný na základě konzultací s odborníky mnoha zemí pracujícími v zemědělských institucích World Meteorological Organization, Food and Agriculture Organization a Agrometeorology Organization. Hodnocení by mělo obsahovat následující univerzálně použitelná kritéria vhodná jak pro velká území nebo administrativní celky, pro konkrétní lokalitu nebo i malá území, tak i pro jednotlivé plodiny nebo skupiny plodin, dále pro časové a výnosové řady. Mělo by být použitelné při posuzování vlivu chorob, škůdců a plevelů, při bonitaci a oceňování pozemků (Kožnarová a Klabzuba, 2002).

3.3.1.2 Trendy klimatických faktorů ovlivňujících výnos

Kolísáním klimatických podmínek na našem území se v posledních letech zabývaly četné práce, které posuzovaly buď období od roku 1961 (Brázdil et al., 2001, 2007; Huth a Pokorná, 2004, 2005; Moliba et al., 2006; Chladová et al., 2007), případně delší časová období (Pišoft et al., 2004; Štěpánek, 2004; Brázdil et al., 2007). Jedna z posledních studií Brázdila et al. (2009) poukázala na statisticky významný neplující trend 0,082 °C za dekádu v případě ročních průměrných teplot na území ČR. Tento vzestup teplot je konzistentní s odhadovaným zvýšením globální průměrné teploty v období 1906 - 2005, které činí 0,74 °C za století (Solomon et al, 2007).

Stejně práce poukázaly na statisticky nevýznamný, přesto však nezanedbatelný pokles ročních srážkových úhrnů o 2,34 mm za deset let. Změny teploty a srážkových úhrnů bezprostředně ovlivňují podmínky pro zemědělské hospodaření a dochází-li k takovým změnám, měly by se projevit i v dalších klimatických a agroklimatických charakteristikách.

Zaměříme-li se na období od dubna do června, tedy období z pohledu tvorby výnosu naprosté většiny plodin klíčové (Hlavinka et al., 2009), zjistíme výraznější změny teplot a srážek než v celoročním průměru. Analýza dat v období 1961 - 2006 pro stanici Lednice a Velké Pavlovice, které reprezentují region jižní Moravy, ukazuje v případě Lednice statisticky významný nárůst teploty v období od dubna do června (o 0,22 °C za dekádu). Na hranici statistické významnosti rostla podobným tempem teplota i ve Velkých Pavlovicích. Současně došlo k výraznému zvýšení sumy efektivních teplot nad 10 °C na obou lokalitách. Právě změna v hodnotách sum efektivních teplot je jednou z nejnápadnějších, které můžeme pozorovat. Její hodnota je o 30 % vyšší ve srovnání se 60. lety. Změny srážek v období duben - červen sice nebyly statisticky významné, ale na obou stanicích lze zaznamenat pokles srážek tempem přibližně o 6,8 mm za dekádu. V Lednici i Velkých Pavlovicích, stejně jako na všech analyzovaných lokalitách jižní Moravy je patrný výrazný negativní trend v klimatologické vodní bilanci (tedy v rozdílu mezi naměřenými srážkami a referenční evapotranspirací). Z dat vyplývá, že za tento pokles odpovídá z necelé poloviny snížení srážek a za zbývající část pak nárůst referenční evapotranspirace, který je způsoben nárůstem sytostního doplňku v důsledku vyšších teplot vzduchu, vyšší hodnoty globální radiace (v důsledku nižšího podílu oblačnosti) a v některých oblastech i vyšší rychlost větru. Nejedná se o trend náhodný či regionálně omezený a je zřejmé, že na území jižní a střední Moravy a severního Rakouska dochází v období od dubna do června k poklesu srážek (často statisticky významnému), poměrně značnému nárůstu globální radiace a průměrné teploty (statisticky významnému na naprosté většině analyzovaných stanic) a ke změnám v průměrných rychlostech větru. Tyto faktory pak vedou ke statisticky významnému růstu referenční evapotranspirace a následně ke zvyšování rozdílu mezi referenční evapotranspirací a srážkami. Takto výrazné změny klíčových agroklimatických podmínek se musejí zákonitě projevit i přímo v agrosystémech zřetelnějším nedostatkem vláhy. Zvyšování deficitu klimatologické vodní bilance by mělo vést k vyššímu tlaku na zásobu dostupné vody v půdě a dříve či později ke snižování této zásoby. Hypotézu je možné testovat pouze pomocí dlouhodobých měření půdní vlhkosti pod standardním povrchem. Bohužel takových měření je k dispozici v celé Evropě pouze několik (Robock et al., 2000) a na území ČR existují podle informací autorů pouze dvě lokality s dlouhodobými a spolehlivými daty tohoto druhu. Analyzujeme-li průměrnou zásobu vody v půdě v jednotlivých sezónách (tedy od dubna do září) na lokalitě Doksany (1947 - 2006) a Žabčice (1974 - 2004), je zřejmé, že na obou lokalitách dochází k výraznému snížení obsahu dostupné vody ve svrchní vrstvě půdy.

Zdá se tedy, že jsme skutečně svědky pomalých, ale přesto velmi výrazných změn ve vodní bilanci, které mohou významně ovlivnit možnosti pěstování plodin na našem území. Tato tvrzení se shodují se závěry studie Van Der Schiera (2006), který provedl detailní analýzu trendů půdní vlhkosti pro území celé Evropy a zjistil, že trend k nižší zásobě dostupné vody v půdě se kromě středomořského pobřeží a Balkánského poloostrova projevuje nejvýrazněji právě ve střední Evropě. Ačkoliv se Van der Schierova analýza neopírá o naměřené hodnoty, nýbrž o jejich modelový odhad, poskytuje dobrou představu o rozložení trendů k vyššímu suchu na téměř celém našem území.

3.4 Zemědělské plodiny a jejich nároky na stanoviště a počasí ovlivňující výnosy

3.4.1 Obiloviny

Pro účely dokumentace vlivu meteorologických faktorů na výši výnosu zemědělských plodin byly vybrány hospodářsky nejvýznamnější obiloviny v měřítku ČR – ječmen jarní a pšenice ozimá. Jarní forma jedné plodiny a zimní druhé navíc umožňuje porovnat obecné rozdíly v citlivosti vůči konkrétním meteorologickým faktorům. Pro pšenici i ječmen je typické, že mají i opačné formy (ječmen ozimý, pšenice jarní), které ale v ČR nedosahují takového hospodářského významu. Ozimé formy se vyznačují potřebou tzv. jarovizace, jež je spojena s dlouhodobým působením nízkých teplot a během níž dochází k inhibici vývoje, která je nutná pro přechod z vegetativní do generativní fáze v jarním období. Vývoj jarních forem probíhá mnohem rychleji (Petr, 1987).

3.4.1.1 Biologická charakteristika obilovin

Rostlina se vyvíjí z obilky, která se skládá ze tří částí – ze zárodku s iniciálními protostadii důležitých orgánů (kořínek, vzrostný vrchol), z endospermu (pletiva se zásobní funkcí) a z obalů kryjících obilku. Počátek růstu je spojen s klíčením obilky, kdy se tvoří primární kořínek s adventivními kořeny. Na protější straně obilky se vyvíjí tzv. koleoptile, která vlivem světla zastaví svůj růst na úkor prvního zeleného listu, který je uvnitř. Následně se na bázi vzrostného vrcholu, který představuje základ budoucího klasu, tvoří další listy.

Pod povrchem půdy se zároveň vytváří odnožovací uzel, citlivý orgán tvorby odnoží. Ve fázi tvorby stébla se na vzrostném vrcholu počínají vytvářet kláskové hrbolky, což indikuje přechod rostliny z vegetativního do generativního období (fáze sloupkování podle makrofenologické stupnice). Kláskové hrbolky přecházejí v kvítky, na nichž se posléze vytvářejí samčí a samičí pohlavní orgány (prašníky, pestíky). Ve fázi metání se již plně vyvinuté květenství objevuje na bázi naduřené listové pochvy posledního listu. Květenstvím obilovin je složený klas, který je složen z jednotlivých klásků. Větší počet klásků je obecně zaznamenán u mateřských rostlin než u jejich plodných odnoží. Každý klásek se skládá z plev a určitého počtu kvítků. Splynutím samčích a samičích pohlavních buněk dochází k oplodnění, v jehož důsledku se vytvoří obilka, která postupně s vývojem celé rostliny dozrává (Zimolka et al., 2005).

3.4.1.2 Růst a vývoj obilovin

Během svého životního cyklu (ontogeneze) pšenice prochází změnami, které jsou souhrnně nazývány růstem a vývojem. Zahrnuje období od nabobtnání a vyklíčení obilky do vytvoření nové obilky, přičemž za růstové změny považujeme kvantitativní přírůstky organické hmoty (růst a diferenciaci buněk, pletiv), tvorbu rostlinných orgánů a jejich prostorové uspořádání (architektura). Jak vidno, i během růstu dochází ke kvalitativním změnám (diferenciaci). Tyto změny vedou k přechodu z vegetativního období do generativního, jež vrcholí vytvořením reprodukčních orgánů zrna. Tyto kvalitativní změny jsou podmíněny splněním limitovaných požadavků na vnější faktory (vývojové požadavky), především teplotní a světelné (Zimolka et al., 2005). Z hlediska praktického využití ontogeneze rostlin zahrnuje toto základní období: vegetativní (klíčení, vzcházení, odnožování), generativní (sloupkování, metání, kvetení, zrání).

Tab. 1: Makrofenologická stupnice obilovin.

Popis růstových fází	Označení fází		Etapa Kuperman.
	DC	Feekes	
Vzcházení			
- objevení blanité pochvy na povrchu půdy 1. list stočen uvnitř)	10	1	I.
První listy			
- fáze 1.- 4. listu (2. vyrůstá z pochvy 1. listu)	11 - 14	1.1 - 1.4	I.
Odnožování			
- začátek odnožování, 1. viditelná odnož	21	2	I. - II.
- plné odnožování, odnože mají vytvořeny listové čepele	25	3	II.
- prodlužování listových pochev	29	4	III. - IV.
Sloupkování			
- rychlé prodlužování listových pochev a vzpřimování rostlin	30	5	IV.
- 1. kolénko hmatné na hlavním stéble	31	6	V.a
- 2. kolénko hmatné	32	7	V.b - VI.
-3.-6. kolénko	33-36		
- objevení posledního listu	37	8	VI. - VII.
- objevení jazýčku posledního listu	39	9	VII.
- naduřování listové plochy	43	10.10.2001	VII.
-viditelné osiny	49		
Metání			
- 1. viditelný klásek klasu	51	10.II	VIII.
- celý klas vymetaný	59	10.V	IX.
Kvetení			
- objevení prašníků - zaschlé prašníky	61 - 69	10.5. 1 - 3	IX.
Zrání			
- mléčná zralost - obilka má konečnou velikost, obsah vodnatý, mlékovitý	71 - 77	11.I	X.-XI.
- vosková zralost - obsah obilky měkký, tvárný	83 - 85	11.II	XI.
- žlutá zralost - obsah obilky pevný, dá se rýpat nehtem	87	11.III	XI.
- plná zralost - obilka tvrdá, rostlina zaschlá	91	11.IV	XII.

(Zimolka et al., 2005)

3.4.1.3 Rozdíl mezi jarní a ozimou formou obilovin

Hlavní rozdíl mezi ozimou a jarní formou obilovin je délka jejich vývoje. Delší vývoj ozimých forem obilovin vytváří jejich větší rezistenci proti nepříznivým meteorologickým faktorům, které se objevují převážně v jarním období. Pro ozimé obiloviny tedy lze předpokládat jejich větší výnosovou vyrovnanost. Ale přesto jsou ozimé formy obilovin navíc vystaveny působení nepříznivých faktorů i v zimních měsících. Při normálních podmínkách, kdy průběh počasí reflektuje dlouhodobý průměr, se u ozimých forem obilovin počet rostlin od setí až do sklizně sníží téměř o jednu polovinu. Jarní formy obilovin se vyznačují redukcí nižší tj. asi o 25-30 %. V zeměpisných šířkách České republiky se porosty ozimých forem obilovin zakládají při zkracujícím se dni a při nižších teplotách vzduchu. Za mírných i chladných zim přezimují a s prodlužující se délkou dne, nárůstem intenzity slunečního záření a zvýšením teplot vzduchu v jarním období přichází fáze jejich následného dalšího růstu a vývinu. Výhodou ozimých forem obilovin proti jarním formám je jejich pomalejší růst na jaře a hlavně pak jejich vhodnější zakořeňování, které je spjaté s časnějším odnožováním. Vytváření a vývoj generativních orgánů rostlin je spojen s jejich potřebou zabezpečení dostatečné vláhy, slunečního záření a teploty vzduchu. Ozimé formy obilovin jsou charakteristické déle trvajícím obdobím vytváření základu klasu a tento důvod je z pohledu stability výnosu velice důležitý. V nejteplejší části roku dochází k závěrečné fázi zrání obilok. Výše a kvalita výnosu je ve většině případů provázána s ideálním průběhem vývoje obilovin v jejich všech vývojových fázích. Na celkovou úroveň výnosu mají po celou fenologickou fázi vývoje rostliny vliv jednotlivé meteorologické faktory. Ty lze považovat za tzv. meteorotropní rizika, tedy jde o veškeré odchylky od ideálního průběhu počasí, který zajišťuje optimální vývoj plodiny (Petr, 1980).

3.4.1.4 Vliv počasí na biologický výnos obilovin

Biologický výnos hodnotíme podle množství vytvořené veškeré biomasy, často však jen podle nadzemní biomasy. Ta je výsledkem fotosyntézy a respirace, a proto moderní přístupy k pěstování ale i ke šlechtění rostlin stále více spatřují podstatu rostlinné výroby ve fotosyntetické produkci organické hmoty. Z toho pak plyne, že všechna agrotechnická opatření je nutno interpretovat jako vytváření podmínek pro maximální fotosyntézu. Stejně tak vliv vnějších podmínek a průběhu počasí musíme sledovat ve vztahu k čistému výkonu fotosyntézy.

Na fotosyntéze jsou v určité míře závislé všechny životní funkce rostliny, a naopak metabolické, růstové a vývojové pochody v rostlinném organismu spoluurčují strukturu fotosyntetického aparátu a jeho funkci. Z tohoto hlediska byla pozornost soustředěna na takové znaky a vlastnosti rostlin, které fotosyntetickou produkci nejvíce podmiňují. Jsou to:

1. velikost asimilačního povrchu,
2. doba, po kterou jsou příznivé podmínky pro fotosyntézu,
3. rychlost fotosyntézy,
4. aktivita kořenového systému (Petr et al., 1987).

3.4.1.5 Vliv počasí na tvorbu hospodářského výnosu obilovin

Výnos zrna tvoří jen část produkce veškeré biomasy. Z dosavadních výzkumů je zřejmé, že u nových odrůd obilovin souvisí vysoký hospodářský výnos s vysokým výnosem biologickým za předpokladu vhodné dynamiky tvorby nadzemní biomasy a ekonomicky účelné distribuce sušiny.

Dosažený hospodářský výnos je založen na stupni souladu produkčních procesů a formování jednotlivých prvků výnosu. Jde zde o značně velkou složitost vzájemných vztahů, do kterých vstupuje ještě vliv počasí, který ovlivňuje každý úsek produkčních procesů a tvorbu každého z významných prvků hospodářského výnosu. Budeme proto sledovat vliv počasí na tvorbu jednotlivých výnosových prvků v jejich posloupnosti. Nejprve je však třeba si učinit přehled o těchto výnosových prvcích a o dynamice jejich tvorby.

Výnos zrna obilovin je tvořen třemi základními komponenty:

1. počtem klasů na plošnou jednotku
 - tj. počtem rostlin,
 - počtem plodných stébel na jedné rostlině,
2. počtem zrn v klasu
 - počtem klásků,
 - počtem plodných kvítků,
3. hmotností zrn
 - hmotností 1 000 zrn.

Výnos (V) můžeme vyjádřit vzorcem:

$$V = \frac{K \cdot Z \cdot A}{10^5} \text{ (t. ha}^{-1}\text{)}$$

kde

K = počet klasů,

Z = počet zrn v klasu,

A = hmotnost 1 000 zrn (Petr et al., 1987).

3.4.1.6 Nedostatek vody ve vegetativní fázi vývoje obilovin

Za suchého počasí, kromě špatného vzcházení, má nedostatek vody v počátečních etapách vývoje negativní vliv na strukturu porostu, vytvořeno je méně odnoží a později dochází k jejich nadměrné redukci. Tato schopnost redukce odnoží může být výhodná v podmínkách pravidelného a silného vodního stresu v období nalévání zrna (semiaridní a středozevní klima), protože se v půdním profilu uchová větší rezerva využitelné vláhly (Haberle et al., 2008). V našich podmínkách, kdy i v letních měsících přicházejí větší či menší srážky, je výsledkem propad výnosů, protože ani velká plasticita obilovin není schopna nahradit ztrátu počtu klasů a zrn na ploše.

Nevyrovnaná výživa, přehnojení dusíkem, může mít za následek horší využití vody u obilovin, kdy dochází k rychlému čerpání zásob dostupné vody porostem s vysokým počtem neproduktivních odnoží a vzniku rizika výrazné deprese výnosu nebo zhoršení kvality zrna v případě letního sucha. Výrazné jarní sucho má také za následek, že kořeny nedokážou prorůst přeschlou vrchní vrstvou ornice, redukuje se tak růst sekundárních kořenů hlavního stébela a odnoží, které se zakládají blíže povrchu než primární kořeny. Tato skutečnost má negativní dopad na příjem vody a živin v době nalévání zrna, protože tyto kořeny za běžných podmínek prorůstají do hlubokých vrstev podorničí (Haberle et al., 2008).

3.4.1.7 Nedostatek vody v generativní fázi vývoje obilovin

S postupem diferenciací klasu dochází při nedostatku vody k založení menšího počtu klásků a zrn, při pozdějším nástupu stresu je již založený počet zrn dále redukován. Nedostatek vody je spojen většinou s vysokou teplotou a zrychleným vývojem, jehož negativní následky popsali již naši předci známým rčením „studený máj v stodole ráj“. Kritickou fází je kvetení, kdy mají vysoké teploty a nedostatek vody horší dopad než v jiných vývojových fázích. Dalším kritickým obdobím je fáze na počátku tvorby zrna, kdy se rozhoduje o počtu buněk v endospermu. Menší počet buněk má za následek nižší úložnou kapacitu, to znamená, že porost nedokáže využít případné optimální vlhkostní podmínky v době zrání. Ve fázi nalévání zrna narušuje celý proces ukládání škrobu a zásobních bílkovin. Dřívější ukončení tvorby škrobu má za následek zvýšení koncentrace dusíku v zrnu, ovšem za cenu snížení výnosu. V závislosti na době kdy je přísušek, na jeho délce a intenzitě jsou ovlivněny jednotlivé ukazatele kvality zrna zvláště pak HTS, vyrovnanost a objemová hmotnost zrna (Haberle et al., 2008).

3.4.2 Botanická a biologická charakteristika pšenice obecné

Pšenice jsou jednoleté trávy (ozimy nebo jařiny). Listy mají delší blanitý jazýček a dlouhá, chlupatá ouška. Klas je složený z klásků a vyvinutého vrcholového klásku. Pluchy jsou osinaté, krátce osinaté nebo osinkaté anebo bezosinné (Volf et al., 1988). Klíčící semena ozimé pšenice vytvářejí rozličný počet zárodečných kořínků, obvykle 3 - 5, v závislosti na druhu, kultivaru a velikosti zrn, úrodnosti a vlhkosti půdy, termínu setí a dalších faktorů. Kořeny sahají do hloubky až 1,5 - 1,8 m, ale převážná část kořenové hmoty je v hloubce 0,3 m (Špaldon et al., 1982). Stéblo pšenice má válcovitý tvar. Výplň a tloušťka stébla podmiňují odolnost proti polehání. Stéblo je po celé délce rozdělené kolénky na 5 - 6 článků. Jeho délka závisí na vlhkosti, úrodnosti půdy, hnojení, vlastnostech kultivaru a dalších podmínkách (Špaldon et al., 1982). Pšenice je samosprašná a částečně i cizosprašná. Pšenice ozimá odnožuje na podzim i časně z jara. Rod pšenice zahrnuje několik druhů. K nejvýznamnějším patří pšenice obecná, tvrdá, a pšenice naduřelá. V zemědělské praxi se pěstuje především pšenice obecná ozimá. Pšenice obecná je 0,4 až 1,6 m vysoká (Kuchtík et al., 2005). Pšeničné zrnو obsahuje průměrně 13,6 % vody, 10 až 16 % bílkovin, 63,8 % bezdušičatých extraktivních látek, 2,2 % hrubého tuku, 2,4 % vlákniny a 2 % popelovin. Největší význam má obsah bílkovin, jejichž kvalitu určuje skladba aminokyselin. O jakosti pšeničné mouky rozhoduje obsah a kvalita lepku, protože od nich závisí kvalita pekařských výrobků. Vliv na chemické složení zrna kromě kultivaru mají také klimatické podmínky, průběh počasí, půda agrotechnika a výživa (Špaldon et al., 1982). V měřítku ČR i v měřítku celosvětovém je pšenice nejčastěji pěstovanou obilovinou na orné půdě. Převažující formou je pšenice ozimá, která dlouhodobě tvoří přibližně 90 % osevních ploch pšenice. Zbylá část připadá na jarní pšenici. Ještě menší plochu zaujímá v ČR pšenice tvrdá a špalda (Zimolka et al., 2005). V obecné rovině lze vymezit tři hlavní důvody pěstování pšenice. Největší množství pšenice je v ČR využito ke krmným účelům, je tedy nejdůležitější krmnou obilovinou. Krmná pšenice nemusí splňovat nejpřísnější kvalitativní nároky, které jsou pro ni v konečném důsledku dokonce nežádoucí. Nejvyšší pšenice se používá pro potravinářské účely, zejména v pekárenství. Udává se, že roční spotřeba pšenice v přepočtu na jednoho obyvatele ČR činí 112 - 114 kg zrna. Třetím účelem pěstování pšenice je její využití jako technické plodiny pro výrobu etanolu. Ozimá forma pšenice seté patří do čeledi lipnicovitých a do rodu pšenice *Triticum* L. Původní druhy pšenic byly diploidní, ale kultivací a šlechtěním na vyšší výnosy zrna se přešlo na druhy tetraploidní a následně na hexaploidní, mezi něž se řadí právě pšenice setá. V ČR převažují odrůdy s bezosinným či osinkatým klasem bílé barvy.

Uvádí se, že výnos pšenice je přibližně z 25 % ovlivněn stanovištěm a ročníkem (Zimolka et al., 2005). Variabilitu výnosů přitom více zvyšuje průběh počasí ročníku než pedologická charakteristika stanoviště (půdní typ, půdní druh). Pro pšenici ozimou je přesto příznačná vyšší náročnost na půdní podmínky. Jako nejvýhodnější se jeví vyzrálejší, hlubší, hlinité až jílovitohlinité půdy s dostatkem bází a neutrální až slabě kyselou reakcí (pH 6,2 - 7,0). Důležitá je i vyšší vodní kapacita půd eliminující dopady sušších period. Mezi půdní typy s nejlepšími vlastnostmi pro pěstování ozimé pšenice patří nivní půdy, černozemě, šedozemě, černozemě s černicemi, rendziny a hnědozemě.

3.4.2.1 Požadavky pšenice ozimé na prostředí a klima

Technologická jakost pšeničného zrna je ovlivněna řadou přírodních činitelů. K nejvýznamnějším klimatickým faktorům řadíme teplotu, vlhkost, sluneční svit a úhrn srážek (Špaldon et al., 1982). Vlhké počasí v období tvorby obilky podporuje výnos, ale vyvolává snížení obsahu dusíkatých látek a zhoršení ostatních znaků jakosti. Vysoký výnos a dobrou jakost zrna zajišťují bohaté srážky do fáze kvetení s následnou vyšší teplotou vzduchu a přiměřenou vlhkostí půdy. Při dozrávání je nejpříznivější teplé a suché počasí směřující k vyšší tvorbě bílkovin (Prugar et al., 2008). Vyšší teploty v období tvorby obilky se projevují zvýšeným dýcháním rostlin. Změní se tedy i příjem živin. Při vyšších teplotách klesá příjem fosforu a zvyšuje se příjem dusíku. Delší působení vyšší teploty vzduchu kolem 25 °C však urychluje stárnutí rostliny. To vede často ke snížení výnosu a z hlediska mlynářské jakosti je i nepříznivý podíl plných zrn a nízká objemová hmotnost (Petr et al., 1987).

Nároky na teplotu se v průběhu vegetačního období ozimé pšenice značně odlišují. Všeobecně lze říci, že jí vyhovuje mírná zima a mírně teplé léto. Klíčení začíná již při teplotě 1 - 2 °C, ale vzcházení až při 5 - 6 °C (optimum 15 - 20 °C). V období odnožování se optimální rozpětí denních teplot pohybuje od 8 do 15 °C. Na založení odnožovacího uzlu je potřebná průměrná teplota půdy nad 6 °C. Při poklesu teplot pod tuto hranici se odnožovací uzal do zimy nevytvoří a při průměrných teplotách pod 3 °C se odnožování celkově zastavuje. Agrometeorologická sledování ukázala, že kritická teplota v blízkosti odnožovacího uzlu je -8 °C. Tepelněizolační vrstva sněhu a půdy dobře chrání odnožovací uzal. Při mrazech -32 °C je v hloubce pod 20 mm teplota už jen -20 °C (holomráz). Už 50 mm vrstva sněhu však upravuje teplotu v této hloubce na -7 °C (Pačuta et al., 1998).

I když jsou požadavky ozimé pšenice na půdně-klimatické podmínky z obilovin nejvyšší, pěstuje se pro nutričně-minerální vlastnosti zrna ve všech výrobních oblastech, včetně podhorských. Vyšší měrou ovlivňuje výnosovou stabilitu pšenice průběh počasí, půdní typ a druh ovlivňuje růst a výnos nižší měrou (Petr a Brychtová, 1985). Z hlediska vhodnosti půdně-klimatických podmínek pro dosahování potravinářské kvality pšenice lze území ČR rozdělit do těchto čtyř oblastí (Zimolka et al., 2005):

1) Oblasti s velmi dobrými podmínkami

Jde o oblasti velmi teplé, převážně suché, s průměrnou teplotou v jarním a letním období 14 – 17 °C, nízkým úhrnem srážek 250 - 350 mm, zahrnuje kukuřičnou a teplou sušší řepařskou výrobní oblast, převažující půdním typem bývají nivní půdy, černozemě, hnědozemě, rendziny.

2) Oblasti s převážně vyhovujícími podmínkami

Jsou to oblasti poměrně až dostatečně teplé, podoblasti mírně suché až převážně suché. Průměrná jarní a letní teplota je 13 – 15 °C, úhrn srážek 350 -400 mm. Zahrnuje obilnářskou a řepařskou výrobní oblast, z půdních typů převládá hnědozem, nivní půdy, rendziny, částečně černozemě.

3) Oblasti s převážně nevyhovujícími podmínkami

Do této skupiny patří oblasti mírně teplé až poměrně teplé s podoblastmi mírně vlhkými až mírně suchými. Průměrná jarní a letní teplota je 12 – 14 °C, úhrn srážek 400 – 500 mm. Převládajícími půdními typy jsou podzolové půdy, v nižších polohách i hnědozemě, obecně se v této výrobní oblasti pekařské jakosti dosahuje jen ve zvlášť příznivých letech.

4) Oblasti s nevhodnými podmínkami

Tyto oblasti jsou chladné a vlhčí, s průměrnou jarní a letní teplotou 11 – 13 °C a srážkovým úhrnem nad 500 mm. Půdy jsou zde většinou chladné, podzolové.

Požadavkům ozimé pšenice nejlépe vyhovují hlinité, jílovitohlinité až jílovité půdy s pH od 6,2 do 7,2 s příznivým vodním a vzdušným režimem. Z půdních typů jsou nejvhodnější černozemě (pokud netrpí suchem) a jejich subtypy, hnědozemě na spraších. Nevyhovují jí půdy písčité, kyselé s pH pod 5,5 a s vysokou hladinou podzemní vody méně než 1,1 m. Pšenice ozimá je náročná na předplodinu. Vysoký výnosový potenciál je zpravidla využitý po zlepšujících plodinách. Vhodnými předplodinami jsou: jeteloviny, luskoviny, olejniny a včas sklizené okopaniny. Zařazení pšenice po obilovině zvyšuje nebezpečí vyššího výskytu chorob (zvláště pat stébel) a škůdců a zhoršuje výnosovou stabilitu pšenice. V sušších podmínkách je riziko chorob pat stébel nižší. Zcela nevhodný je sled pšenice po pšenici. Setí pšenice ozimé po pozdě sklizených okopaninách-cukrovce, bramborách a kukuřici (hnojené hnojem), nevyužívá dobrou předplodinovou hodnotu těchto plodin (Faměra, 1993). Na 1 tunu výnosu zrna a odpovídající množství slámy a kořenů pšenice odčerpá v průměru 25 kg dusíku (N), 5 kg fosforu (P), 20 kg draslíku (K), 2,4 kg hořčíku (Mg), 4 kg síry (S) (Zimolka et al., 2005). Při výnosu okolo 6 t zrna a přibližně stejném výnosu slámy je odčerpáno z půdy okolo 144 kg N, 30 kg P, 108 kg K, 24 kg Ca a 12 kg Mg (Vaněk et al., 2007). V podzimním období přijímají rostliny ozimé pšenice relativně málo živin a přes zimu se jejich příjem úplně zastavuje. Podíl odebraného dusíku na podzim není vyšší než 12 % z celkového odběru, a proto aplikovat vysoké dávky dusíku před setím je zbytečné a neekologické. Odběr dusíku se zvyšuje na jaře, kdy rostliny musí po zimě obnovit biomasu. Do začátku sloupkování rostliny přijmou v průměru asi 40 % N a intenzita jeho odčerpání roste až do konce kvetení, kdy odebere dalších 30 % této živiny. Po odkvětu se požadavky rostlin na dusík relativně snižují, poněvadž ten se přemísťuje z ostatních částí rostliny do tvořícího se zrna. Na konci vegetace je v zrna nashromážděno až 75 % dusíku. Využití N na tvorbu zrna je často v našich podmínkách negativně ovlivňováno nízkým obsahem fosforu, draslíku, hořčíku a síry v půdě (Zimolka et al., 2005). Ozimá pšenice je obilovinou, která je méně citlivá na termín zásevu. Výnos zrna se tvoří jak na odnožích zakládáných na podzim, tak i na odnožích zakládáných po přezimování. V praxi je proto často využíváno velmi široké časové období pro zásev v rozmezí od třetí srpnové dekády až po velmi opožděné setí na konci října a během listopadu, vhodné ovšem již spíše pro odrůdy přesívkového typu (Horčíčka et al., 2012).

Tab. 2: Počasí pro jednotlivá období růstu pšenice.

Faktory počasí	Pšenice
Teplota klíčení	
- minimální	2 - 4 °C
- optimální	20 - 25 °C
Maximální úroveň aktuální mrazuvzdornosti	do -20 °C
Teplota obnovení růstu na jaře	5 - 6 °C
Potřeba jarovizace	
- jar. Teplota	+1 až +3
- délka jarovizování	40 - 60 dní
Minimální teplotní suma za vegetaci	2100 °C 1900 - 2500 °C
Potřeba vody, transpirační koeficient	500 - 600

(Petr et al., 2008)

3.4.2.2 Požadavky pšenice jarní na prostředí a klima

Požadavky jarní pšenice na půdní a klimatické podmínky se příliš neliší od požadavků ozimé pšenice. Ve vlhčí řepařské oblasti a na úrodných půdách bramborářské oblasti však nezřídka poskytuje vyšší výnosy ve srovnání s pšenicí ozimou, zvláště pokud je ozimá pšenice pěstována po pozdě sklizených předplodinách nebo při závažných nedostatcích v podzimní agrotechnice. V teplých oblastech je však výnosnější pšenice ozimá. Jarní pšenice netrpí tolik chorobami pat stébel, a proto ji lze v nutných případech použít i ve sledu po pšenici ozimé. Rovněž při silném výskytu ozimých plevelů, zvláště chundelky metlice, je zařazení jarní pšenice místo ozimé účinným prostředkem k omezení jejich výskytu. Často se seje jako náhradní jařina po vyzimované pšenici ozimé, pokud se tato včas zaorá (Zimolka et al., 2005). Na tvorbě výnosu se podílí převážně hlavní stéblo, méně odnože. Pro tvorbu výnosových prvků je důležitý průběh počasí v době intenzivního růstu (slupkování), při tvorbě klasu a zrna. Chladnější počasí s častými dešťovými přeháňkami v uvedených fázích podporuje vyšší úroveň tvorby prvků produktivity klasu, naopak teplo a sucho urychluje vývoj rostlin a tím redukuje počet produktivních stébel i produktivitu klasu. Pšenici jarní je třeba sít jako první ze všech jařin, jakmile to vlhkostní a teplotní podmínky dovolí (obvykle v březnu). Po zasetí snáší i případné mrazíky. Rovněž přisev do prořídle ozimé pšenice nebo náhradní osev za vyzimovanou pšenici musí být proveden co nejdříve.

Pozdním výsevem se snižuje výnos v prvních dnech od zahájení jarních prací podle odrůdy o 40 - 60 kg/ha každým dnem. Pozdní setí zhoršuje růstové a vývojové podmínky po celou dobu vegetace, porosty nestejněmzně vzcházejí a rovněž počet vzejitých rostlin je nižší. Vyšší teploty v pozdější době také urychlují růst a vývoj rostlin, aniž se vyvinou vegetativní i generativní orgány. Rovněž kořenový systém u opožděných výsevů se slaběji vyvíjí a slabé odnože jsou většinou sterilní. Jarní pšenice má obecně nižší intenzitu odnožování a jen na nejlepších půdách a v dobrých klimatických podmínkách vytváří více než jeden klas na rostlinu. Proto její optimální hustota musí být zajištěna vyšším výsevem. Pro kukuřičnou a obilnářskou oblast je optimální výsevek 4,5 - 5,0, pro řepářskou a lepší bramborářskou 4,5 a pro píninářskou 5,0 - 6,0 MKS/ha. Hloubka setí je 30 - 50 mm a řídí se podle půdní vlhkosti, výše srážek a kvality přípravy půdy (Zimolka et al., 2005).

3.4.3 Botanická a biologická charakteristika ječmene setého

Růstové a produkční procesy ječmene jsou značnou mírou ovlivňovány mohutností a funkčností jeho kořenů. Ječmen, obdobně jako jiné druhy z čeledi lipnicovitých, tvoří svazčité kořeny, které jsou v porovnání s dvouděložnými rostlinami slabší a netloustnou. Stéblo ječmene tvoří 4 – 8 článků (internodií), oddělených kolénky (nody) a dosahuje výšky 80 až 130 cm. Anatomická stavba stébla je do značné míry ovlivněna odrůdou, hnojením a vláhou. I ječmen, stejně jako jiné obiloviny, tvoří z podzemního uzlu (odnožovacího kolénka) boční větve – odnože. Ty vznikají z pupenů ležících v úžlabí blanitých listenů (intravaginálních větvení) a z uzlů těchto odnoží se tvoří odnože další (Zimolka et al., 2006). Listy má ječmen pravotočivé a jsou umístěny nad sebou ve dvou řadách. Pochva obepínající stéblo vyrůstá z horní části kolénka. Celková plocha listů jarního ječmene je vyšší než u jarní pšenice a činí přibližně 15 m² na 1 m² půdy. Nebyla však prokázána přímá závislost mezi velikostí listové plochy, LAI (index listové plochy) a výnosem zrna vzhledem k tomu, že značnou část asimilačního povrchu u ječmene představuje povrch listových pochev. Výnos zrna je více závislý na délce asimilační aktivity listů (integrální listová plocha – LAD), kde se uplatňuje vedle výživy ječmene i zdravotní stav listů. Obilka (zrno) je složena ze tří částí: obalů, endospermu a zárodka. U ječmenů pěstovaných v naší oblasti je barvy světle žluté, může však být i oranžová, hnědá, fialová až modročerná. Plně vyztálá obilka obsahuje 12 - 14 % vody. Nižší procento je nepřijatelné, neboť voda je součástí buněčné protoplazmy a její nižší obsah by měl negativní vliv na technologickou jakost.

Naopak vyšší procento vlhkosti by způsobilo problémy při skladování. Obsah minerálních látek (popelovin) v sušině se uvádí kolem 2 %. Největší podíl hmotnosti zrna (asi 80 %) tvoří organické látky, z nich pak největší podíl patří sacharidům. Dusíkaté látky tvoří významnou složku organických látek zrna ječmene. Jejich obsah je však velmi ovlivňován agroekologickými podmínkami během pěstování a odrůdou (Zimolka et al., 2006).

3.4.3.1 Požadavky ječmene jarního na prostředí a klima

Jarní ječmen je plodinou, která nemá příliš vyhraněné požadavky na své prostředí, lze jej tudíž pěstovat v rozličných podmínkách. Nilan a Ullrich (1993) uvádí, přestože se ječmen může pěstovat pod širokou škálou environmentálních podmínek, nejlepší vhodné podmínky pro růst a produkci jsou odvodněné, úrodné, hlinité půdy, teplota okolo 20 °C a střední roční úhrn srážek. Ke splnění předem definovaných jakostních parametrů je ovšem nutné zvolit ty nejvhodnější agroekologické podmínky. Nejnáročnější je sladovnický ječmen, jehož optimum spadá do oblastí s vyvráležšími humózními půdami (černozemě, hnědozemě, pelosoly, černozemě s černicemi, apod.) a s mírnějším klimatem (nížinné polohy). Tyto oblasti zároveň dobře odpovídají pěstování cukrovky, která se jeví jako nejvhodnější předplodina sladovnického ječmene.

Pro jeho pěstování jsou nejvhodnější zásaditější půdy (pH okolo 7) a oblasti s nižší četností výskytu rosy a mlh. Nejteplejší části ČR spadající do kukuřičného výrobního typu nejsou pro ječmen jarní nejvhodnější vzhledem k častějšímu vláhovému deficitu, vůči němuž jsou jarní formy obilovin obecně méně odolné než ozimé. Klasifikací míry vhodnosti území ČR pro pěstování sladovnického ječmene byly mj. vymezeny oblasti s nejvyšším agroekologickým potenciálem. Patří mezi ně Polabí, Haná, Opavsko a částečně území jižní Moravy v úzké linii Znojmo-Vyškov (Prugar a Hraška, 1989).

Nároky ječmene na teplotu a vláhu nejsou velké, ale je poměrně náročný na půdu, což souvisí s jeho slabší kořenovou soustavou (90 % kořenů v orničním horizontu) a kratší vegetační dobou (90 - 110 dní) (Pačuta et al., 1998). Zimolka et al. (2006) uvádějí, že ječmen jarní je citlivý na utužení půdy a kyselou reakci, na což reaguje snížením výnosu i zhoršením jakosti. To vyžaduje obezřetnost při volbě stanoviště (vyloučit oblasti kyselých dešťů) a použití opatření ke zlepšení pH. Půdní reakce by se měla v řepařské a kukuřičné oblasti pohybovat v rozmezí 6,2 - 7,2 pH, v obilnářské a bramborářské 5,8 - 6,2 pH.

Na vodu je jarní ječmen méně náročný než ostatní obiloviny mírného pásma. Pro brzké setí na jaře a rychlý růst je schopný velmi dobře využívat zimní vláhu. Průměrný transpirační koeficient se udává v rozsahu 300 - 350. Pro růst a vývin jsou rozhodující srážky v období sloupkování a metání. Naopak v období dozrávání působí nadměrné množství srážek negativně na sladovnickou kvalitu zrna (Pačuta et al., 1998).

Na teplotu je jarní ječmen poměrně málo náročný. Klíčit začíná už při teplotě 1 - 3 °C, což nám umožňuje jeho setí velmi brzy na jaře. Vegetační teplotní konstanta je 1700 °C - 2200 °C. Příliš vysoké teploty a suché podmínky nejsou pro růst a vývin ječmene vhodné. Negativně se mohou projevit hlavně v období sloupkování. V období kvetení a dozrávání vyžaduje průměrné teploty 16 - 18 °C (Pačuta et al., 1998). Předplodina zůstává stále jedním z rozhodujících činitelů z hlediska tvorby výnosu, výnosové stability a sladovnické kvality jarního ječmene. Nejvyšší výnosy a jakost jsou dosahovány ve všech výrobních podmínkách po organicky hnojených okopaninách. Pouze v letech s výrazným vláhovým deficitem dává jarní ječmen vyšší výnosy po obilovinách méně náročných na vodu, a to především ve výrobním typu kukuřičném. Cukrovka a kukuřice, které jsou zlepšujícími předplodinami, však svými vyššími požadavky na vodu prohlubují negativní vliv vláhového deficitu, a proto za takovýchto podmínek nezajišťují stabilitu vysokého výnosu jarního ječmene (Lekeš et al., 1985).

3.4.3.2 Požadavky ječmene ozimého na prostředí a klima

Ozimý ječmen je ve srovnání s ozimou pšenicí i jarním ječmenem méně náročný na intenzitu pěstování, na půdu, předplodinu i klimatické podmínky. Je výnosnější než jarní ječmen a na půdách méně úrodných, lehčích, písčitých výnosově překonává i ozimou pšenici a žito. Je rovněž suchovzdornější, takže se uplatňuje i v suchých oblastech, kde spolu se svou raností a dřívější sklizní není tolik poškozován přísuškou a vysokými letními teplotami. Pěstování ozimého ječmene však limituje především jistota jeho přezimování. Jeho nižší mrazuvzdornost je způsobena nevýraznou fotoperiodickou reakcí ovlivňující rychlost vývoje. Častý přechod hlavního stébla či odnoží vyšších řádů do III. a IV. etapy organogeneze (podle Kupermanové) je u něj příčinou poškození odnožovacího uzlu i při normálním průběhu zimy. Vyžaduje mírné zimy a jeho nároky na teplo jsou o něco vyšší než u pšenice ozimé. Zvláště citlivý je na prudké rozdíly teplot brzy na jaře. Požadavky ozimého ječmene na srážky nejsou velké. V důsledku rychlého vývoje na jaře a schopnosti dobře využívat zimní vláhu není citlivý na sušší období koncem jara a začátkem léta.

Vzhledem k tomu, že jeho růst a vývoj je během jarní vegetace velmi rychlý, neškodí mu obvykle přísušky na počátku léta. Nevyhovuje mu dlouhé a chladné jaro, které způsobuje jeho pomalý růst a žloutnutí listů (Molnárová a Žambery, 1999). Ozimý ječmen je zvláště citlivý na vyzimování, když se nachází ve fázi prvního až druhého listu. V této fázi mu mráz a led způsobuje největší škody porušením hypokotylu. V pozdějších fázích je toto nebezpečí menší. To je také jeden z hlavních důvodů ranějšího setí. Nověji však přistupuje problém virových chorob ozimého ječmene (zakrslosti a žloutenky), kde jedním z opatření nepřímé ochrany je výsev na konci agrotechnické lhůty. Proces otužování ozimého ječmene probíhá pomaleji než u ostatních ozimých obilovin. Vyzimování méně odolných odrůd podporuje také časté kolísání teplot v pozdním podzimu. Příčina spočívá ve ztrátě energie, která se spotřebovává na reaktivaci procesů látkové výměny v krátkodobých obdobích oteplení. Na vyzimování má také vliv vlhkostní stav půdy. Rostliny, které se na podzim vyvíjely při nižší půdní vlhkosti, jsou zimuvzdornější než ty, které rostly v půdě s vyšším obsahem vláhy. Svým růstovým a vývojovým charakterem je ozimý ječmen více přizpůsoben přímořskému klimatu (západní Čechy), které je pro něj vhodnější než klima kontinentální (východní Čechy, východní a jižní Morava). Je nejméně zimuvzdorným druhem ze všech ozimých obilovin a v nepříznivých zimách existuje větší riziko horšího přezimování. To se týká především odrůd dvouřadého ozimého ječmene. Je poškozován déle trvajícím holomrazy pod $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Navíc zde přistupují i další nepřímé účinky zimních podmínek, které u nás škodí častěji než vlastní vymrznutí a týká se hlavně přerostlých porostů, kdy zvláště při dlouhotrvající sněhové pokrývce a ledovém škrálopu hrozí vyležení a napadení houbovými chorobami (vyjařování) (Zimolka et al., 2006). Ozimý ječmen je méně náročný na půdní podmínky než ječmen jarní. Snáší celkem dobře lehčí, hlinito-písčité půdy, hnědé, oglejené a ilimerizované půdy. Může přispět ke stabilizaci výnosů tam, kde se již jarnímu ječmeni daří méně a kde ozimá pšenice nemůže plně uplatnit své výnosové schopnosti. Za vhodné pro ozimý ječmen z hlediska půdních a klimatických podmínek považujeme oblasti obilnářskou, bramborářskou či sušší řepářskou a rajóny s lehčími půdami řepářské a kukuřičné oblasti. Snáší i kyselou půdní reakci (pH pod 5,5), ale vyšší výnosy jsou dosahovány na půdách s pH 5,5 - 6,5 (Molnárová a Žambery, 1999). Ozimý ječmen je považován za obilovinu méně náročnou na výživu a praxe jej často využívá jako dobřnou plodinu při základním hnojení a omezeném využití pesticidů. To je hlavní příčina výnosové stagnace i přes použití nových výkonnějších odrůd, kdy rozdíl mezi výnosovým potenciálem nově registrovaných odrůd a stupněm jeho využití se v prvovýrobě neúnosně zvyšuje.

Ovšem zvýšená intenzita pěstování souvisí s cenou krmného ječmene, kam ozimý ječmen (s výjimkou některých dvouřadých odrůd) jednoznačně patří (Zimolka et al., 2006).

Tab. 3: Přehled minimálních, optimálních a maximálních teplot podle různých autorů.

Plodina	Teplota v °C			Autor
	minimální	optimální	maximální	
Ječmen jarní	3,0 - 4,0	20,0	28,0 - 30,0	Novikov V.A
	3,9 - 4,4	20,0	27,8 - 30,0	Carrol et all.
Ječmen ozimý	3,0 - 4,0	25,0	32,0	Reiner, Steinberger
Oves setý	4,5 - 5,0	25,0	32,0	Novikov V.A
	3,9 - 5,0	25,0	30,0	Carrol et all.

(Petr et al., 1987)

3.4.4 Botanická a biologická charakteristika ovsa setého

Oves setý (*Avena sativa*) je nejrozšířenější druh ovsa. Do Evropy se dostal jako plevel mezi ječmenem a pšenicí. Původ pluchatého ovsa setého sahá do oblasti Malé Asie a bezpluchý oves vznikl spontánní mutací v Číně a Mongolsku. Jedná se o nejmladší kulturní obilovinu. Jednoletá tráva, která dorůstá výšky mezi 40 až 150 cm. Má výraznou apikální dominanci. Roste jednotlivě, stébla jsou hladká, přímá a poměrně mohutná. Pochvy listů jsou lysé a jazýčky krátké, oválné, se zašpičatělými zoubky. Čepele mají dosti drsnou strukturu z obou stran, zvláště pak na okrajích, jejich barva je šedo zelená, délky dosahuje zhruba 3 cm a šířky kolem 16 mm. Druhem květenství je lata. Oves je jediným druhem obilí, které netvoří obilky v lichoklasech (Grau, 1998). Doba květu se udává od června do srpna (Čihař, 1988). Plevy a pluchy odstávají a při výmlatu se oddělují. Obilky jsou drobnější, hustě porostlé trichomy. Plevy jsou sedmi až jedenáctižilné s běložlutou, hnědavou, červenou, nebo i černavou barvou (Novák et al., 2009).

3.4.4.1 Požadavky ovsa setého na prostředí a klima

Prostředí limituje nestejně podmínky pro zakládání, vývin a redukci jednotlivých výnosových prvků. Stav porostu je výslednicí působení těchto podmínek na rostliny a zároveň jednou z podmínek, které vytvářejí prostředí pro tvorbu výnosových prvků. Procesy zakládání a redukce výnosových prvků jsou ovlivňovány ekologickými a jinými faktory, které působí na rostliny v určitém časovém sledu a různě dlouhou dobu.

Výnos zrna je výsledkem působení mnoha faktorů a podmínek prostředí na rostlinu během ontogeneze a reakci genotypu na tyto podmínky (Lipavský, 1984). Oves patří k rostlinám nenáročným na teplo. Obilky začínají klíčit již při teplotě 1 - 2 °C. Se zvýšením teploty na 5 - 6 °C se doba vzcházení značně zkracuje. Při teplotě půdy 5 °C trvá období od setí do vzejití 20 dní, při 15 °C jen 7 dní. Suma teplot pro ranější odrůdy ovsa činí 1000 - 1500 °C a pro pozdnější 1500 - 1800 °C. Rostliny ovsa jsou poměrně odolné krátkodobému působení nízkých teplot. Jsou poškozeny nebo hynou při teplotách: ve fázi vzcházení při -7 až -8 °C, ve fázi kvetení a mléčné zralosti při -2 °C. Většina rostlin hyne při -10 °C v době vzcházení a při -4 °C v době květu a mléčné zralosti. Vysoké teploty snáší oves hůře než jarní pšenice či ječmen. Vlivem vysokých teplot (kolem 40 °C) a nízké vzdušné vlhkosti se narušuje normální činnost průduchů listů. Projevuje se při teplotách 30 - 40 °C po době jejich působení 4 - 5 hodin (Milrofanov, Mitrofanova, 1967).

Teplota neovlivňuje jen iniciaci generativních orgánů, ale i jejich další vývoj. Odrůdové rozdíly v sumách teplot potřebných pro vývoj od vzcházení do zralosti pozoroval (Brouwer, 1985). Naopak Waloczyk a Focke (1980) vyvozují závěry, že jednotlivé odrůdy vyžadují relativně stejné sumy teplot po celou vegetaci i specifické sumy teplot pro každou vývojovou etapu. Zvýšení průměrných denních teplot vede k urychlení vývoje a tím ke zkrácení příslušné etapy organogeneze. Klinck a Sim (1976) označují období zakládání kvítků za méně ovlivňované teplotami než období kvetení a zvláště období dozrávání (vývoje zrna). Vývoj závěrečných etap organogeneze byl zvláště urychlen v podmínkách vyšších teplot, probíhaly-li předchozí etapy při teplotách nižších a naopak dozrávání bylo nejplynulejší pokud probíhalo při nižších teplotách následujících po období teplejším. Tito autoři zjistili odrůdové rozdíly v působení teplot na vývoj. Při zkrácení vegetační doby (vlivem opožděného setí) zůstává trvání etap od metání do zralosti stejné. Při sledování vlivu opožděného setí na růst a vývoj ovsa zjistil Collville a Frey (1986) významnou redukci počtu dní pro dosažení jednotlivých etap organogeneze, zatímco specifické sumy teplot pro tyto etapy se nezměnily. Také Baltenberger et al. (1987) zjistili významné korelace mezi délkou vývojových etap, trváním růstu a výnosovými prvky. Rané odrůdy reagují na nižší teploty a kratší den méně, pozdní výrazněji (Ulmann, 1982a). Podle Kirbyho (1969) nemá oves setý na rozdíl od rýže, pšenice nebo ječmene jarovizační požadavky. Ozimost ovsa je rozlišena méně výrazně než u ostatních obilovin první skupiny. Rozdíly v jarovizačních nárocích ozimých a jarních typů ovsa jsou malé. Reakce na působení chladu na indukci kvetení (jarovizace) je používána některými výzkumníky jako faktor určující typ ovsa.

Některé genotypy jednoznačně požadují jarovizaci pro tvorbu laty, u jiných genotypů nedostatečná jarovizace pouze zkracuje dobu etap organogeneze a snižuje výnos. Fylogeneticky nejsou u ovsa setého adaptační reakce na nízké teploty, jako podmínka přechodu do generativního období, vyvinuty. Nízké teploty mají jen kvantitativní či stimulační účinek (Petr et al., 1983b). Důkazem toho je známý pozitivní efekt časného setí ve střední Evropě na vyšší výnos zrna. Teltscherová (1957) udává větší kvantitativní účinek nižších teplot u ovsů než u jarních ječmenů. Působení nižších teplot po dobu 15 dnů uspíšilo metání o tři až čtyři dny. Frimmel (1979) dosáhl po 1 týdenním působení nižších teplot zvýšení výnosu o 42 %, při 7 týdenním působení o 52 %. Větší založení kvítků bylo zjištěno při nižších teplotách. Průměrné denní teploty kolem 15 °C prodlužovaly dobu iniciace kvítků. Informace o dědičnosti jarovizačních požadavků jsou značně omezené.

Oves je během celé doby vegetace velmi náročný na dostatečné zásobení vodou. Na vytvoření jednoho kg sušiny oves využije minimálně 500 l vody, zatímco ječmen a jarní pšenice pouze 350 - 400 litrů. Proto je oves nutné pěstovat na půdách dostatečně zásobených vodou. Pro nabobtnání a klíčení semen ovsa je potřeba mnoho vody, kolem 60 % hmotnosti semene. Nároky na vodu se mění během růstu a vývoje rostliny. Po vzejití způsobuje malá vlhkost horní vrstvy půdy rychlý růst kořenů (Lewicki, Mazurek, 1967). Při nedostatku vláhy v období sloupkování až metání došlo k výraznému snížení výnosu zrna. Příčinou je nejen zbrždění růstu ale i procesů generativního vývoje. Sucho v tomto období působí negativně na vývoj pylu (Mitrofanov, Mitrofanova, 1967). Redukce založených zrn je ovlivněna nedostatkem vláhy Kohl a Hánsel (1988) především v době metání (Übelhör et al., 1981). Ulmann (1989) zjistil podstatný vliv vláhy na faktické využití odstupňovaných dávek dusíku u odrůdy Zlaťák. Průběh počasí v kombinaci s půdními vlastnostmi i výživou ovlivňuje dostupnost vláhy a živin i výskyt chorob a škůdců. V době dozrávání tak ovlivňuje i HTS Petr (1979). Přírůstek výnosu je u ovsa výrazně nižší, chybí-li srážky v 5. a 6. měsíci (Zimmermann, Strass, 1980). Vliv sucha se projevuje především redukcí založených zrn i snížením jejich hmotnosti (Petr, 1977). Naopak příliš vlhký ročník (v kombinaci se stanovištěm, výživou a odrůdou) je příčinou poléhání a následného snížení výnosu (Norden, Frey, 1959).

Oves je považován za typicky dlouhodobní rostlinu Haman (1989), Kirby (1969 aj.). Při raných výsevech jarních obilovin je průběh počátečních etap růstu a vývoje inhibován krátkým dnem a délkou světelného stádia. Čím je toto období delší, tím více asimilátů se nahromadí ve vzrostném vrcholu a tak se vytváří základní předpoklad pro tvorbu produktivnějšího klasu (Lekeš, 1988).

Výsledkem prodloužení fotoperiody je rychlejší diferenciací květenství obilovin, což se nepříznivě projevuje i v počtu vytvořených klásků v latě (Nátrová, Smoček, 1978). Při zvláště opožděném setí klesá produktivita laty snížením počtu zrn v latě Oehmichen (1986), Lücke (1982) i hmotnosti tisíce zrn (Haman, 1989). Griffiths (1961) našel a definoval vztah mezi geografickým původem a požadavkem na délku dne. Citlivost severoevropských odrůd na fotoperiodu před metáním byla větší než u jihoevropských. Fotoperiodická citlivost u různých československých odrůd ovsa byla 7 - 14 dní. Délka fotoperiodické citlivosti většinou souvisí s raností odrůdy. Pozdnější odrůdy měly delší vegetativní periodu, více zárodků zrn s jejich pomalejším přirůstáním a pozvolnějším prodlužováním laty. Časnější a delší iniciace byla příčinou většího počtu klásků a později i zrn v latě. Vývoj odnoží byl paralelní, ale o 2 - 4 dny pozdnější (Cisar, Shands, 1978).

Dny nad 16 hodin vývojové etapy zkracují, dny 13 - 16 hodin u obilovin vývojové etapy prodlužují Lucké (1982). Některé odrůdy při zkrácení fotoperiody pod 12 hodin nevykvetly. Griffiths (1961) zjistil, že fotoperioda pod 12 hodin nemá průkazný vliv na počet diferencovaných klásků. Klinck a Sim (1976) dokázali, že dlouhý den nad 18 hodin zkracoval (při vyšších teplotách v řízeném prostředí 21 °C ve dne a 15 °C v noci) ze tří sledovaných období (zakládání kvítků, kvetení a dozrávání) nezávisle na odrůdě a prostředí první dvě, tj. období diferenciací kvítků a kvetení. Petr et al. (1980) našel malý nebo žádný vliv doby fotoperiody v období od iniciace klásků do kvetení na délku periody od kvetení do zralosti. Některé ovsy nekvetou při dni kratším než 12 hodin (pokud není tmavá perioda přerušena krátkým světelným intervalem). Významná diverzita v citlivosti na fotoperiodu byla nalezena u řady druhů rodu *Avena* včetně kulturních. Vyšší citlivost na dlouhý den byla pozorována všeobecně u ovsu z větších zeměpisných šířek. Griffiths (1961) našel vztah mezi geografickým původem a neutralitou k délce dne. Citlivost na délku dne je řízena geneticky. Vysoké teploty a dlouhý den zkracovaly především tři první fáze po zasetí a jim příslušející etapy organogeneze. Dlouhý den je hlavní faktor ovlivňující vývoj ve 2. fázi a teploty mají hlavní vliv na období tvorby zrna. Vývoj závěrečných etap je zvláště urychlen vyššími teplotami, zvláště byly-li předešlé etapy v podmínkách nižších teplot a naopak zralost se oddaluje při nižších teplotách závěrečných etap. Podstatou ozimosti ovsa je větší citlivost k podzimnímu krátkému dni, za kterého zpomaluje vývin do nástupu zimy. Ozimé formy při jarním výsevu vymetají, ale nejde o přesívkové formy, ale spíše o přezimující jařiny s větší fotoperiodickou citlivostí (Petr, Húska et al., 1997).

Oves klade velmi malé nároky na půdu, dobře využívá všech půd, které mají vhodný vodní režim. Mohou to být přitom půdy chudé, jako jsou v horských polohách, ale daří se mu dobře i na rozoraných loukách, vypuštěných rybnících a rašelinných půdách. Snese i půdy silněji kyselé s pH 4,0 - 5,0. Nevhodné jsou pro něj půdy lehké, snadno propustné, písčité, nebo naopak příliš zamokřené. V porovnání s ostatními druhy oves reaguje výrazněji na vláhové a půdní poměry a na výživu (Honza, 1987). Na úrodných půdách s dostatkem vláhy v létě je možné dosáhnout vysokých výnosů Zimmermann a Strass (1980), lze snížit výsevek až o 30 % Kříšťan et al. (1973) i dávky dusíku (lze upustit od jejich dělení) (Götz, 1959). Při větší intenzitě hnojení na úrodných půdách může v kombinaci s hustotou setí (Ulmann, 1989), vláhovými podmínkami i citlivostí odrůdy dojít k poléhání a následnému snížení výnosů (Frey, 1959).

Tab. 4: Příznivé rozdělení teplot a srážek pro oves.

Výrobní typ	Měsíc						Celkem
	XI - III	IV	V	VI	VII	VIII	
Dešťové srážky (mm)							
Kukuřičná a řepná	180	40	70	60	60	40	450
Bramborářská a horská	190	40	90	80	70	60	530
Průměrné teploty vzduchu (°C)							
Kukuřičná a řepná	0	11	12	16	17	18	
Bramborářská a horská	-2	8	11	15	16	16	

(Špaldon, 1980)

Tab. 5: Nároky ovsa na teplotu vzduchu.

Období	Biologické minimální teploty v °C	Optimální teplota v °C
Tvorba vegetativních orgánů	4 - 5	12 - 16
Tvorba generativních orgánů	10 - 12	16 - 20
Tvorba zrna	12 - 10	16 - 22

(Mitrofanov, Mitrofanova, 1967)

4 MATERIÁL A METODIKA

4.1 Zpracování výnosových řad vybraných obilovin

Základem pro zpracování dat byly databáze Českého statistického úřadu, z kterých byly čerpány informace týkající se výnosů vybraného sortimentu obilovin na území Středočeského kraje a databáze Českého hydrometeorologického ústavu, z kterých byly získány měsíční hodnoty teploty vzduchu, úhrnu srážek pro Středočeský kraj od roku 1961 - 2012 tj. uplynulých 52 let. Záznamy o počasí ze starších let jsou získány z archivu Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Pomocí výpočetního programu Statistica 12 byly určeny tyto základní statistické charakteristiky: průměr, medián, modus, minimum, maximum, rozptyl, směrodatná odchylka, směrodatná chyba. Pro časové řady výnosů zvolených obilovin (pšenice jarní, pšenice ozimá, ječmen jarní, ječmen ozimý, oves setý) za období 1961 - 2012 byla provedena testování trendu, při kterých byly vytvořeny výnosové řady dle polynomické trendové funkce. Dále byly pomocí tabulkového procesoru Microsoft Excel 2010 vytvořeny grafy odchylek a dle jejich hodnot jsou roky rozděleny na roky s minimálním výnosem (odchylka menší než -0,5 t/ha), roky s normálním výnosem (odchylka -0,5 t/ha až +0,5 t/ha) a roky s maximálním výnosem (odchylka nad +0,5 t/ha). Roky s extrémními odchylkami výnosů od průměru byly dále podrobněji analyzovány ve vztahu k průběhu počasí v konkrétním roce.

Tab. 6: Zdroje informací.

Zdroje informací	Roky
Archiv ČHMÚ	1961 - 2012
Databáze ČSÚ	1961 - 2012

4.2 Zpracování základního datového souboru srážkového úhrnu

Pro zpracování datového souboru úhrnu srážek byly použity údaje z databáze Českého hydrometeorologického ústavu od roku 1961 až do roku 2012 pro jednotlivé měsíce v roce. K vytvoření grafů úhrnu srážek pro období od roku 1961 – 2012 byl použit tabulkový procesor Microsoft Excel 2010. Vstupní data průměrných měsíčních úhrnů srážek pro jednotlivé roky a měsíce z databáze Českého hydrometeorologického ústavu byla vložena do tabulkového procesoru MS Excel 2010. Na základě vstupních hodnot úhrnů srážek z období 1961 - 2012 byly vytvořeny grafy, které byly dále podrobeny analýze. Následně vytvořená databáze sloužila k základnímu statistickému zpracování srážkových charakteristik.

4.3 Zpracování základního datového souboru teploty vzduchu

Za účelem zpracování datového souboru průměrné teploty vzduchu ve Středočeském kraji byly použity údaje z databáze Českého hydrometeorologického ústavu od roku 1961 až do roku 2012 pro jednotlivé měsíce v roce. K vytvoření grafů průměrné teploty vzduchu pro období od roku 1961 - 2012 byl použit tabulkový procesor MS Excel 2010. Vstupní data průměrných měsíčních teplot vzduchu pro jednotlivé roky a měsíce z databáze Českého hydrometeorologického ústavu byla vložena do tabulkového procesoru MS Excel 2010. Na základě vstupních hodnot průměrných teplot vzduchu z let 1961 - 2012 byly vytvořeny grafy, které byly dále podrobeny analýze. Následně vytvořená databáze sloužila k základnímu statistickému zpracování teplotních charakteristik.

5 VÝSKLEDKY

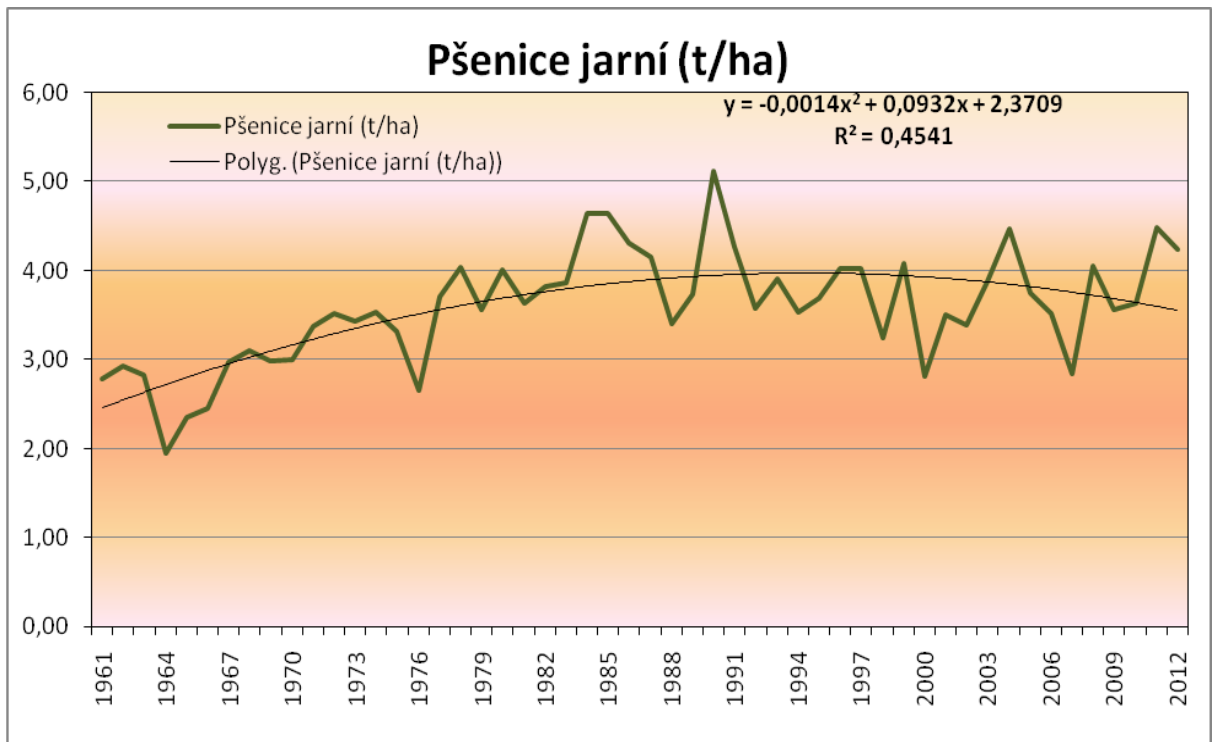
5.1 Analýza výnosových řad vybraných obilovin

Základní statistickou analýzu vybraných obilovin prezentuje tabulka č. 7.

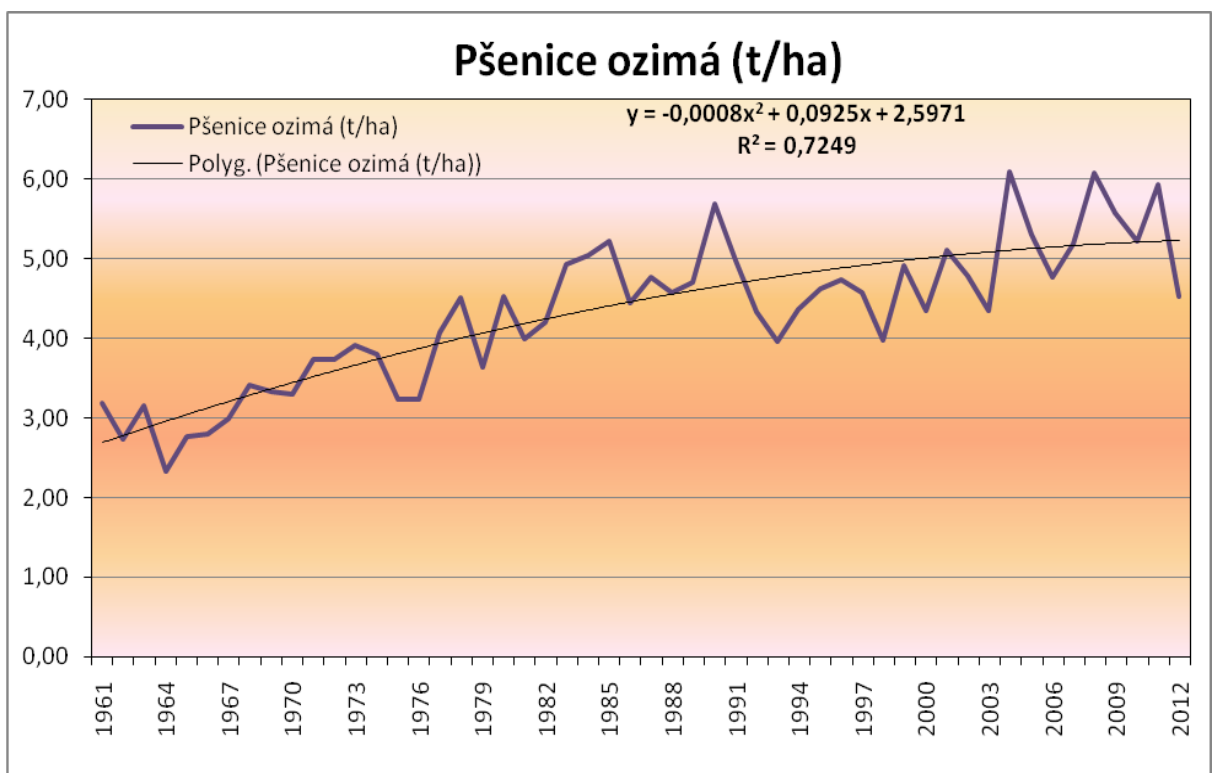
Tab. 7: Základní statistika

	Průměr	Medián	Modus	Minimum	Maximum	Rozptyl	Směrodatná odchylka	Směrodatná chyba
Ječmen jarní	3,74	3,74	Vícenás.	2,27	5,26	0,47	0,68	0,095
Ječmen ozimý	3,90	3,91	Vícenás.	1,93	6,29	1,06	1,03	0,143
Pšenice jarní	3,58	3,57	Vícenás.	1,95	5,12	0,4	0,63	0,088
Pšenicie ozimá	4,3	4,4	3,24	2,33	6,09	0,82	0,91	0,126
Oves setý	3,0	2,93	Vícenás.	1,7	4,3	0,36	0,60	0,083

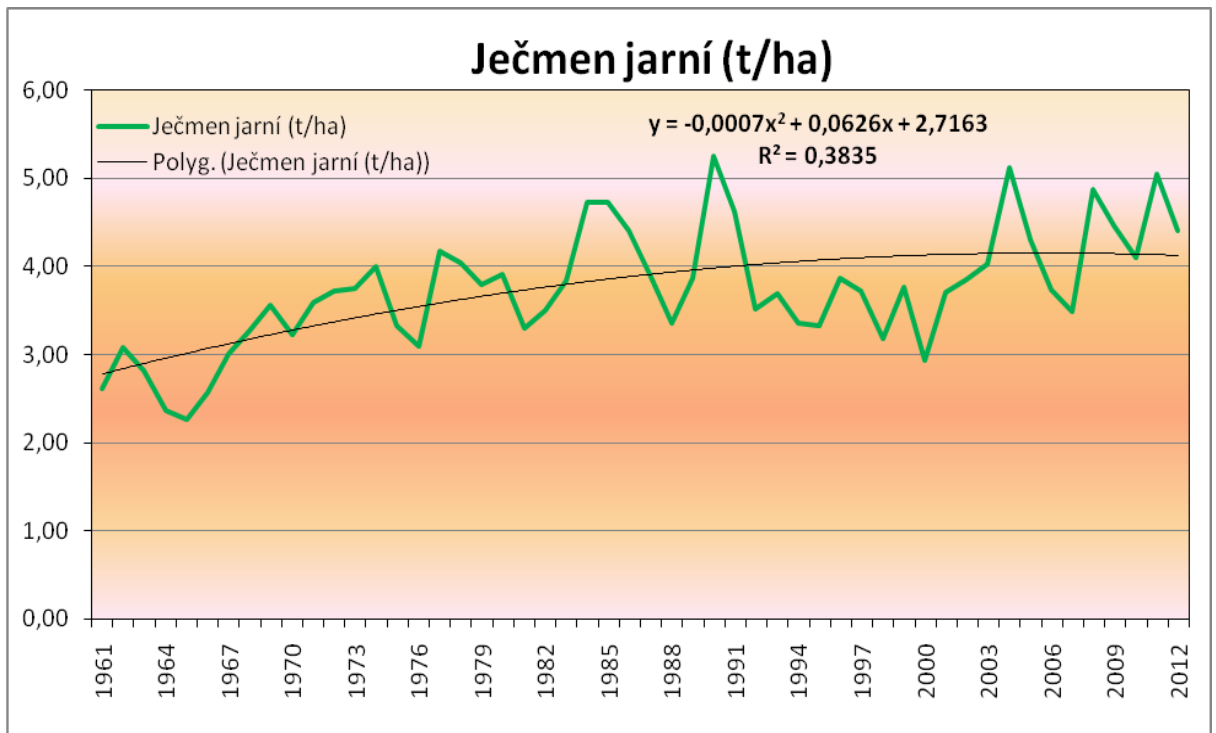
Tendence průměrných ročních výnosů vybraných obilovin za uplynulých 52 let (1961 - 2012) ve Středočeském kraji je uvedena na grafech 1a - 1e. Pro analýzu proměnlivosti výnosu (t/ha) zvoleného sortimentu obilovin (pšenice jarní, pšenice ozimá, ječmen jarní, ječmen ozimý, oves setý) byla aplikována kvadratická polynomiální regrese (např. pro pšenici jarní, $y = -0,0014 \cdot x^2 + 0,0932 \cdot x + 2,3709$). Tendence a forma polynomiální křivky pro výnos ječmene jarního, pšenice jarní, ječmene ozimého a ovesa setého se vyznačuje konvexním tvarem oproti výnosu pšenice ozimé, jejíž křivka má jednoznačně růstový charakter. Nejmenší koeficient determinace ($R^2 = 0,3402$) má výnosová řada ovesa setého (Graf 4e) a největší ($R^2 = 0,7249$) výnosová řada pšenice ozimé (Graf 1b). Počáteční hodnota trendu výnosu pšenice jarní byla k roku 1961 (2,47 t/ha) a konečná hodnota trendu byla k roku 2012 (3,56 t/ha). Vrcholem výnosového trendu pšenice jarní bylo období od roku 1993 - 1996, kdy činila hodnota trendu téměř 4 t/ha. Nejvyšší rostoucí trend ze všech vybraných obilovin měla pšenice ozimá a to o 2,55 t/ha (počáteční hodnota trendu byla 2,68 t/ha a konečná hodnota trendu byla 5,23 t/ha). Počáteční hodnota trendu ječmene jarního byla k roku 1961 (2,78 t/ha) a konečná hodnota trendu byla k roku 2012 (4,13 t/ha). Vrcholem výnosového trendu ječmene jarního bylo období od roku 2004 - 2008, kdy činila hodnota trendu 4,16 t/ha. Trendové hodnoty výnosu ječmene ozimého vykazovaly podobný charakter jako u ječmenu jarního. Počáteční hodnota trendu ječmene ozimého činila k roku 1961 (1,90 t/ha) a konečná hodnota trendu byla k roku 2012 (4,10 t/ha). Nejvyššího výnosového trendu dosáhl ječmen ozimý v letech 1996 - 1997, kdy jeho výnos činil 4,6 t/ha. Z obilovin, na kterých byla provedena výnosová studie měl nejpozvolněji stoupavý výnosový trend oves setý, u kterého počáteční hodnota trendu činila k roku 1961 (2,08 t/ha) a konečná hodnota trendu byla k roku 2012 (2,70 t/ha). Nejvyššího výnosového trendu dosáhl oves setý v letech 1990 - 1992, kdy jeho výnos činil 3,36 t/ha.



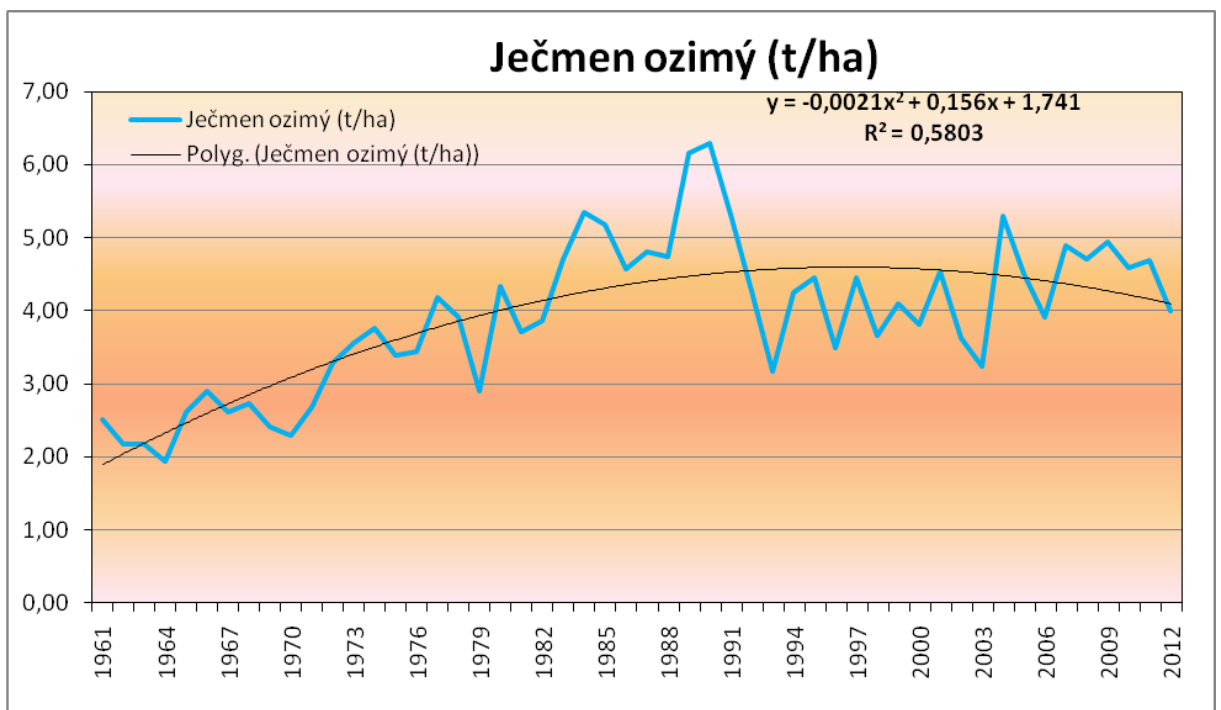
Graf 1a: Tendence (polynomický trend) a proměnlivosti výnosu (t/ha) pšenice jarní ve Středočeském kraji od roku 1961 do 2012.



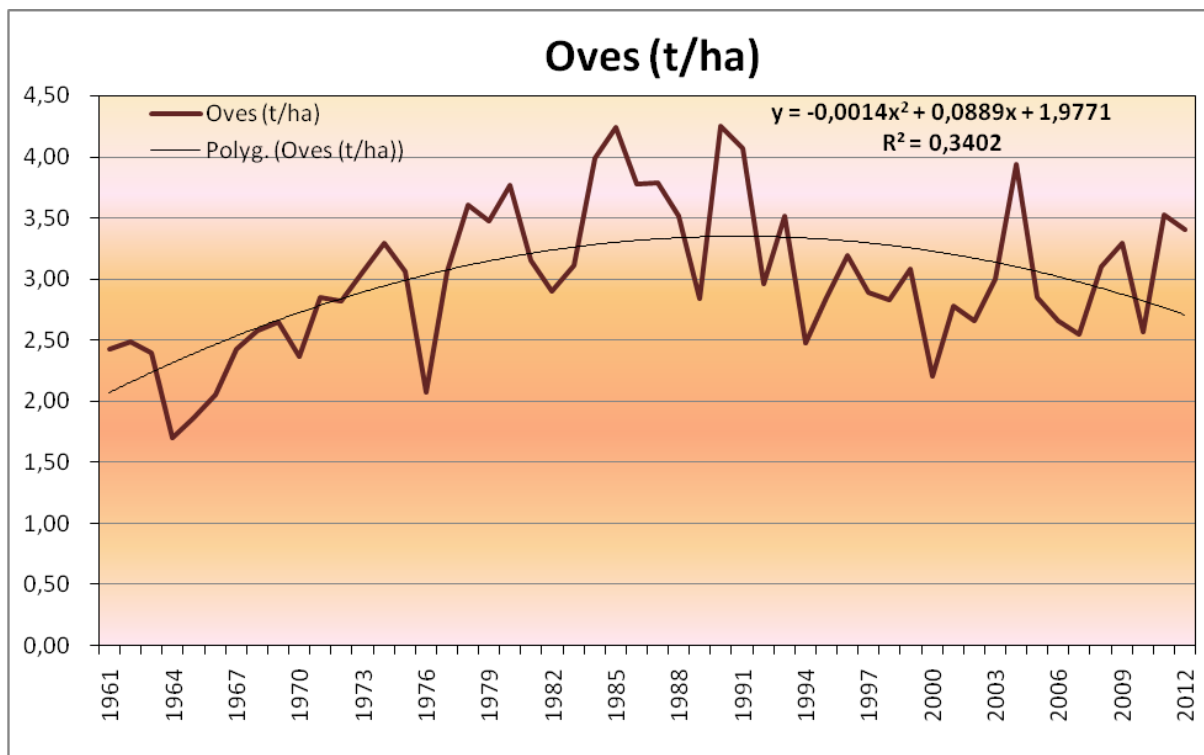
Graf 1b: Tendence (polynomický trend) a proměnlivosti výnosu (t/ha) pšenice ozimé ve Středočeském kraji od roku 1961 do roku 2012.



Graf 1c: Tendence (polynomický trend) a proměnlivosti výnosu (t/ha) ječmene jarního ve Středočeském kraji od roku 1961 do roku 2012.



Graf 1d: Tendence (polynomický trend) a proměnlivosti výnosu (t/ha) ječmene ozimého ve Středočeském kraji od roku 1961 do roku 2012.



Graf 1e: Tendence (polynomický trend) a proměnlivosti výnosu (t/ha) ovesa setého ve Středočeském kraji od roku 1961 do roku 2012.

Tendence změny výnosů

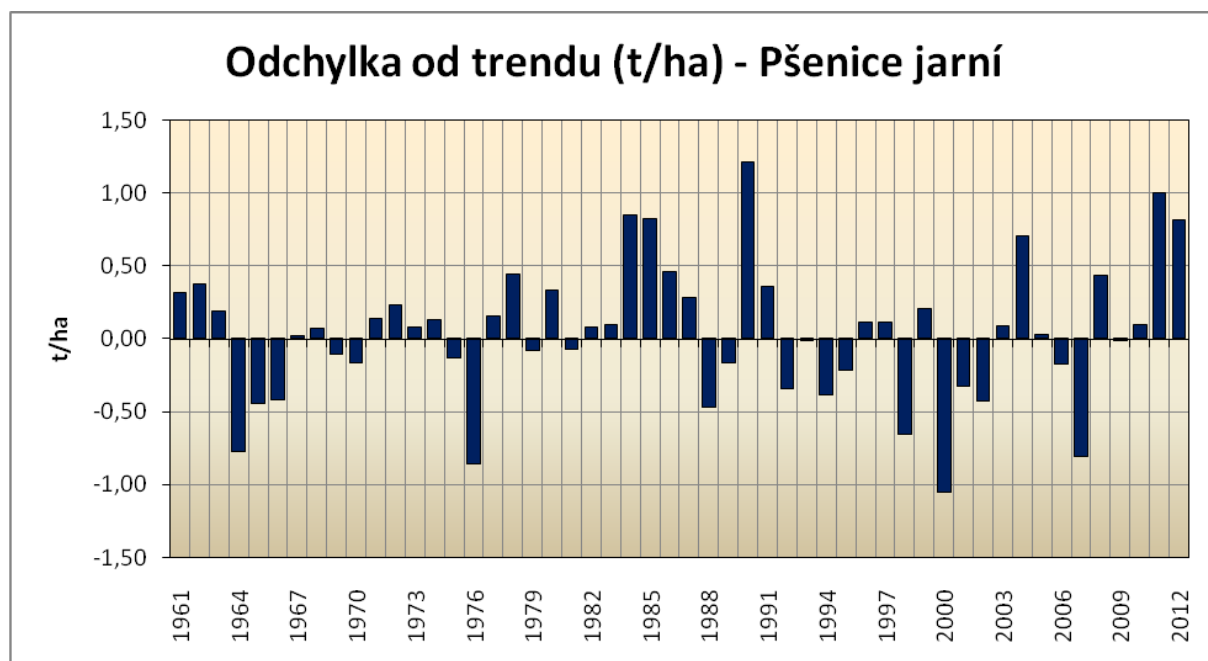
Časové řady výnosů vybraných obilovin na území Středočeského kraje v období 1961 – 2012 byly detrendovány a poté převedeny na časové řady odchylek od lineárního trendu. Uvedeným způsobem bylo možné ze souboru dat extrahovat informaci týkající se proměnlivosti meteorologických podmínek, která je meziročně vysoká. Negativní odchylky výnosu od trendu se přičítají hlavně variabilitě meteorologických prvků dále pak variabilitě nebezpečných meteorologických jevů a jsou odloučeny od méně nápadných anomálií připisovaných změnám v technologiích a managementu rostlinné výroby.

Při hodnocení dlouhodobého vývoje produkce obilovin ve Středočeském kraji za sledované období 1961 až 2012 byly pozorovány poklesy a vzestupy produkce právě těmito podmínkami. Podle grafů odchylek a jejich hodnot byly roky rozděleny na roky s minimálním výnosem (odchylka menší než -0,5 t/ha), roky s normálním výnosem (odchylka -0,5 t/ha až +0,5 t/ha) a roky s maximálním výnosem (odchylka nad +0,5 t/ha) viz. tabulky 8 - 13.

Tab. 8: Rozdělení roků dle výnosu (pšenice jarní).

Pšenice jarní					
Roky s minimálním výnosem odchylnka menší než 0,5 (t/ha)	Normální roky odchylnka -0,5 až 0,5 (t/ha)				Roky s maximálním výnosem odchylnka vyšší než 0,5(t/ha)
1964	1961	1974	1989	2005	1984
1976	1962	1975	1991	2006	1985
1998	1963	1977	1992	2008	1990
2000	1965	1978	1993	2009	2004
2007	1966	1979	1994	2010	2011
	1967	1980	1995		2012
	1968	1981	1996		
	1969	1982	1997		
	1970	1983	1999		
	1971	1986	2001		
	1972	1987	2002		
	1973	1988	2003		

Pšenice jarní měla největší zápornou odchylnku výnosu v letech 1964 (-0,77 t/ha), 1976 (-0,86 t/ha), 2000 (-1,05 t/ha), 2007 (-0,81 t/ha) (Graf 2a).

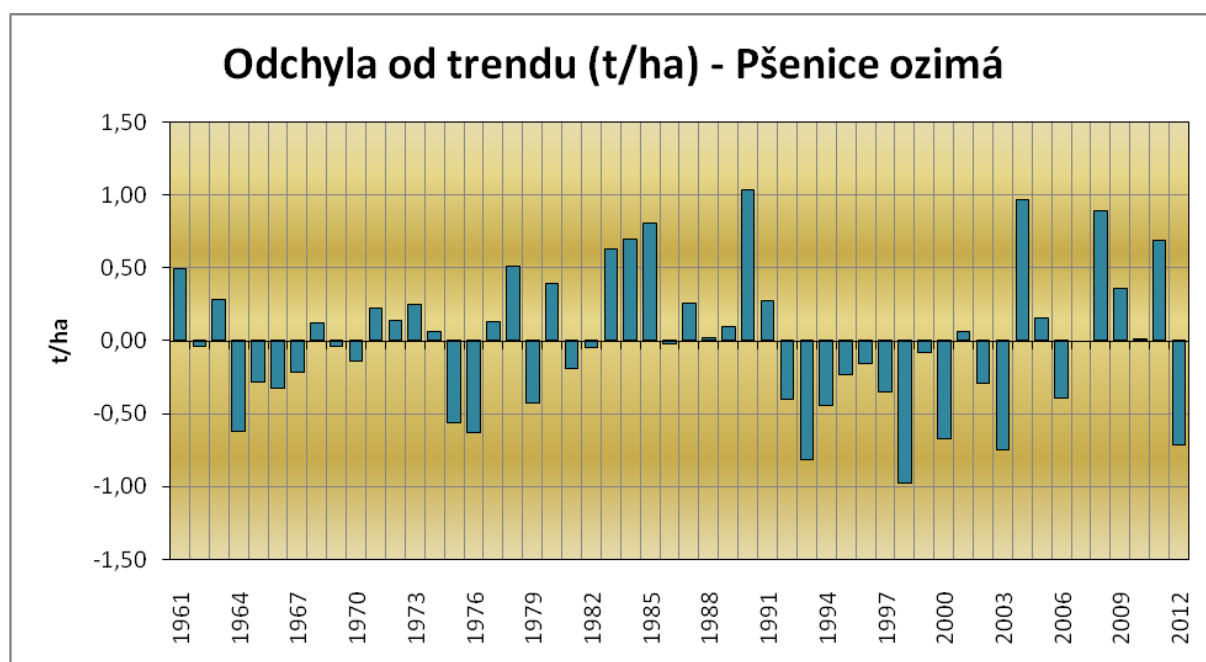


Graf 2a: Odchylnky výnosu od trendu (t/ha) pšenice jarní.

U pšenice ozimé byly největší ztráty výnosu zaznamenány v letech 1993 (-0,8 t/ha), 1998 (-0,98 t/ha) a 2000 (-0,78 t/ha) (Graf 2b).

Tab. 9: Rozdělení roků dle výnosu (pšenice ozimá).

Pšenice ozimá				
Roky s minimálním výnosem odchylka menší než 0,5 (t/ha)	Normální roky odchylka -0,5 až 0,5 (t/ha)			Roky s maximálním výnosem odchylka vyšší než 0,5 (t/ha)
1964	1961	1974	1994	1978
1975	1962	1977	1995	1983
1976	1963	1979	1996	1984
1993	1965	1980	1997	1985
1998	1966	1981	1999	1990
2000	1967	1982	2001	2004
2003	1968	1986	2002	2008
2012	1969	1987	2005	2011
	1970	1988	2006	
	1971	1989	2007	
	1972	1991	2009	
	1973	1992	2010	



Graf 2b: Odchylky výnosu od trendu (t/ha) pšenice ozimé.

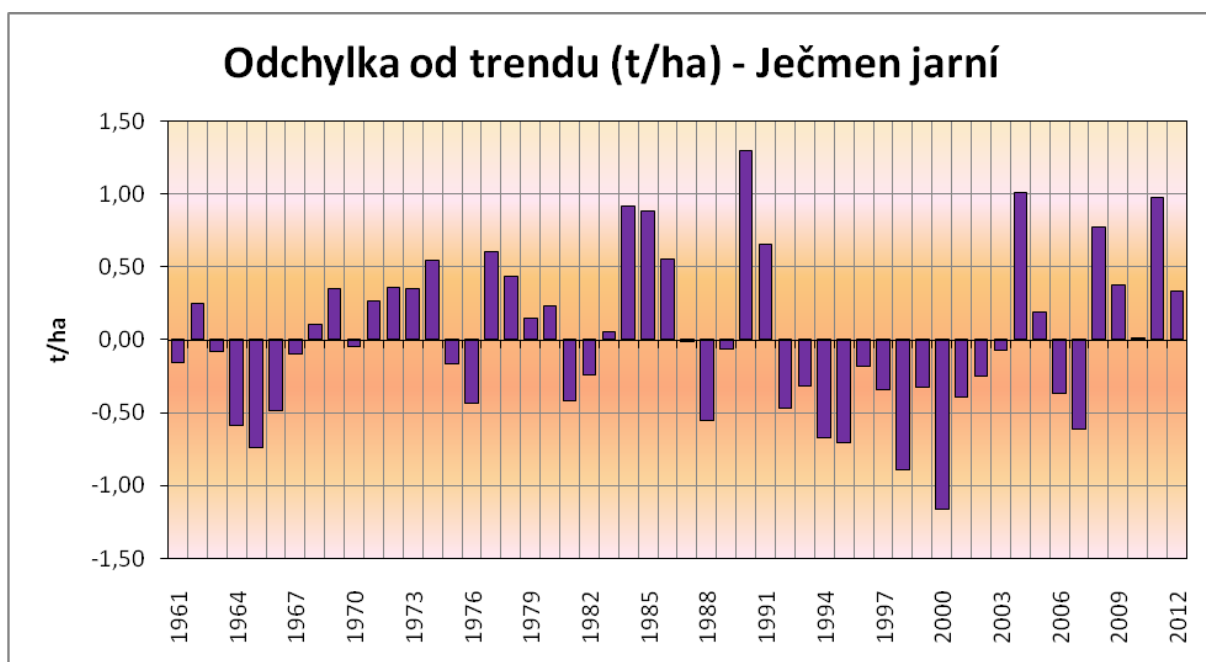
Tab. 10: Rozdělení roků dle výnosu (ječmen jarní).

Ječmen jarní					
Roky s minimálním výnosem odchylna menší než 0,5 (t/ha)	Normální roky odchylna -0,5 až 0,5 (t/ha)				Roky s maximálním výnosem odchylna vyšší než 0,5 (t/ha)
1964	1961	1973	1989	2006	1974
1965	1962	1975	1992	2009	1977
1988	1963	1976	1993	2010	1984
1994	1966	1978	1996	2012	1985
1995	1967	1979	1997		1986
1998	1968	1980	1999		1990
2000	1969	1981	2001		1991
2007	1970	1982	2002		2004
	1971	1983	2003		2008
	1972	1987	2005		2011

U ječmene jarního činí průměrný výnos za sledovaného období 3,8 t/ha s minimálním výnosem 2,27 t/ha v roce 1965 a maximálním výnosem 5,26 t/ha v roce 1990.

Jak je patrné z grafu 2c tak největších pozitivních odchylek výnosu bylo dosaženo v letech 1990 (+1,30 t/ha), 2004 (+1,01 t/ha) a 2011 (+0,98 t/ha). Naopak největší snížení výnosu bylo v letech 1965 (-0,74 t/ha), 1998 (-0,89 t/ha) a 2000 (-1,16 t/ha).

Graf č. 2c - Odchylky výnosu od trendu (t/ha) ječmene jarního.

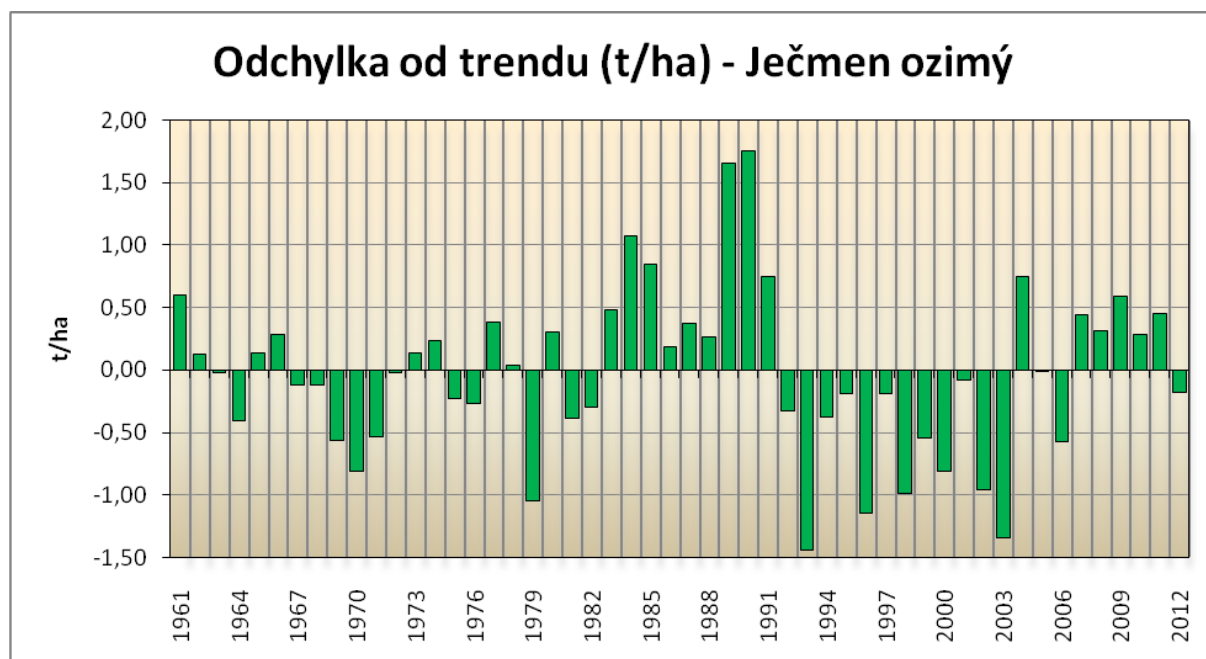


Graf 2c: Odchylky výnosu od trendu (t/ha) ječmene jarního.

Ječmen ozimý měl největší zápornou odchylku výnosu v letech 1979 (-1,05 t/ha), 1993 (-1,44 t/ha), 1996 (-1,15 t/ha), 2003 (-1,34 t/ha) (Graf 2d).

Tab. 11: Rozdělení roků dle výnosu (ječmen ozimý).

Ječmen ozimý				
Roky s minimálním výnosem odchylka menší než 0,5 (t/ha)	Normální roky odchylka -0,5 až 0,5 (t/ha)			Roky s maximálním výnosem odchylka vyšší než 0,5 (t/ha)
1969	1962	1977	1997	1961
1970	1963	1978	2001	1984
1971	1964	1980	2005	1985
1979	1965	1981	2007	1989
1993	1966	1982	2008	1990
1996	1967	1983	2010	1991
1998	1968	1986	2011	2004
1999	1972	1987	2012	2009
2000	1973	1988		
2002	1974	1992		
2003	1975	1994		
2006	1976	1995		

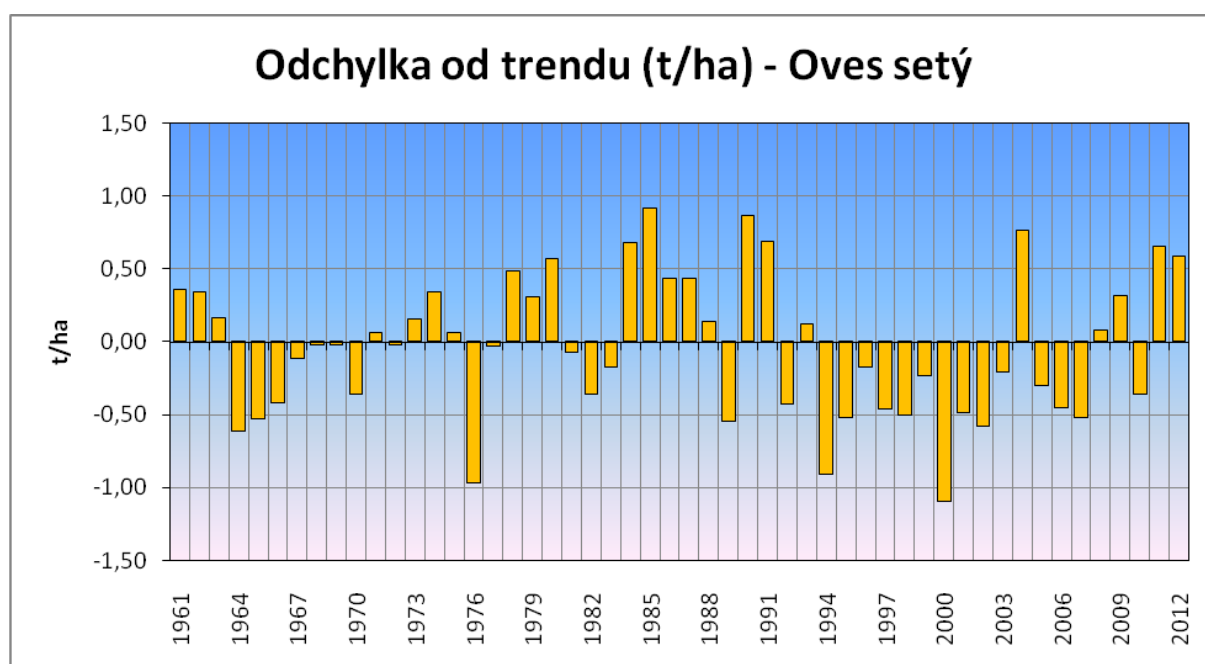


Graf č. 2d: Odchylky výnosu od trendu (t/ha) ječmene ozimého.

U ovsa setého činí průměrný výnos za sledovaného období 3,05 t/ha s minimálním výnosem 1,70 t/ha v roce 1964 a maximálním výnosem 4,25 t/ha v roce 1990. Jak je patrné z grafu 2e tak největších pozitivních odchylek výnosu bylo dosaženo v letech 1985 (+0,92 t/ha), 1990 (+0,87 t/ha) a 2004 (+0,76 t/ha). Naopak největší snížení výnosu bylo v letech 1976 (-0,97 t/ha), 1994 (-0,91 t/ha) a 2000 (-1,09 t/ha).

Tab. 12: Rozdělení roků dle výnosu (oves setý).

Oves setý				
Roky s minimálním výnosem odchylka menší než 0,5 (t/ha)	Normální roky odchylka -0,5 až 0,5 (t/ha)			Roky s maximálním výnosem odchylka vyšší než 0,5 (t/ha)
1964	1961	1975	1996	1980
1965	1962	1977	1997	1984
1976	1963	1978	1998	1985
1989	1966	1979	1999	1990
1994	1967	1981	2001	1991
1995	1968	1982	2003	2004
2000	1969	1983	2005	2011
2002	1970	1986	2006	2012
2007	1971	1987	2008	
	1972	1988	2009	
	1973	1992	2010	
	1974	1993		



Graf 2e: Odchylky výnosu od trendu (t/ha) ovsa setého.

S ohledem na rozdílné nároky jednotlivých obilovin na vláhu a teplotu vzduchu, byly zpracovány datové řady průměrných měsíčních teplot od roku 1961 až do roku 2012 a datové řady průměrného měsíčního úhrnu srážek pro Středočeský kraj od roku 1961 až do roku 2012 z databáze Českého hydrometeorologického ústavu.

5.2 Zpracování variability vybraných meteorologických prvků

Pro cíle hodnocení variability zvolených meteorologických prvků (teploty vzduchu a úhrnu srážek) pro potřeby hodnocení jejich vlivu na výnos vybraných obilovin byla použita data za období let 1961 – 2012 z databáze Českého hydrometeorologického ústavu pro vybrané území tj. Středočeský kraj. Veškerá použitá data byla průměrnými hodnotami vybraných prvků v rámci Středočeského kraje pro daný rok a měsíce v roce. Analýzy byly provedeny s pomocí tabulkového procesoru MS Excel 2010 a zároveň výsledná fakta byla částečně interpretována za pomoci Atlasu podnebí Česka (Tolasz, R. et al., 2007).

5.2.1 Teplota vzduchu

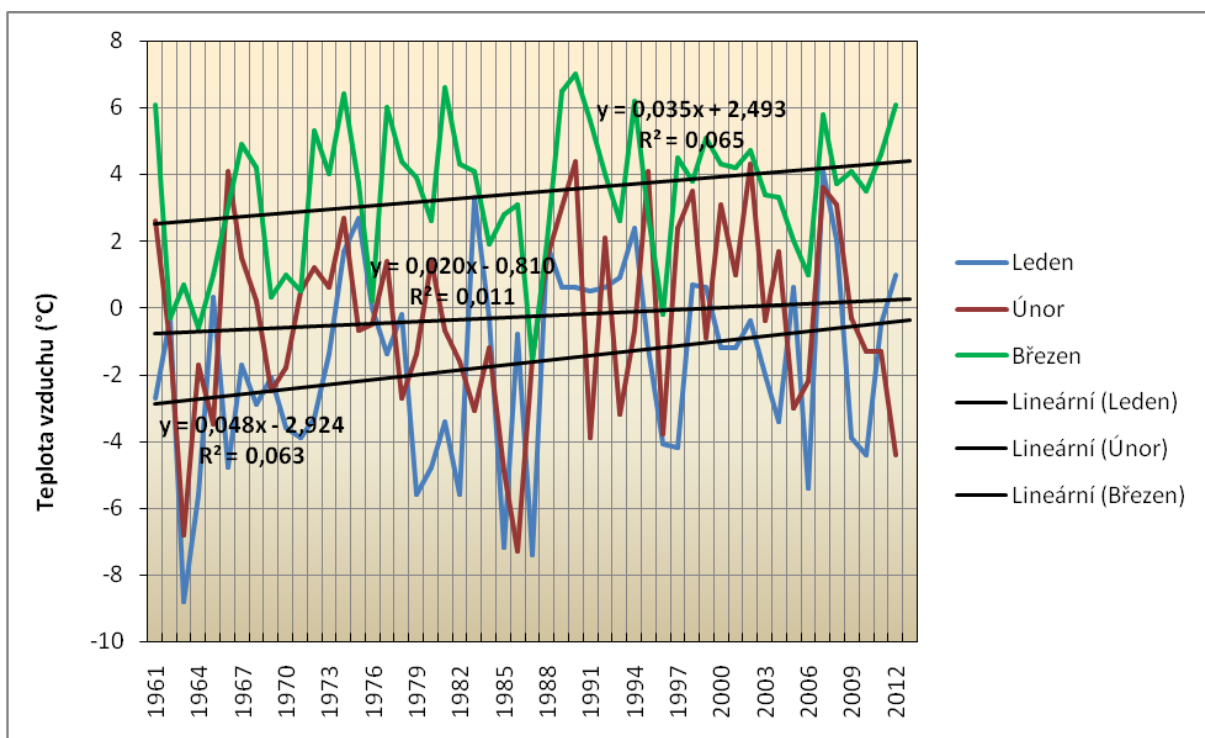
Základní charakteristikou teploty vzduchu se obecně rozumí průměrná teplota vzduchu. Pro účely analýzy veškerá uvedená data průměrných teplot vzduchu pro jednotlivé roky a měsíce na území Středočeského kraje nebylo nutné měřit, ale byla převzata z databáze Českého hydrometeorologického ústavu.

5.2.1.1 Průměrná teplota vzduchu

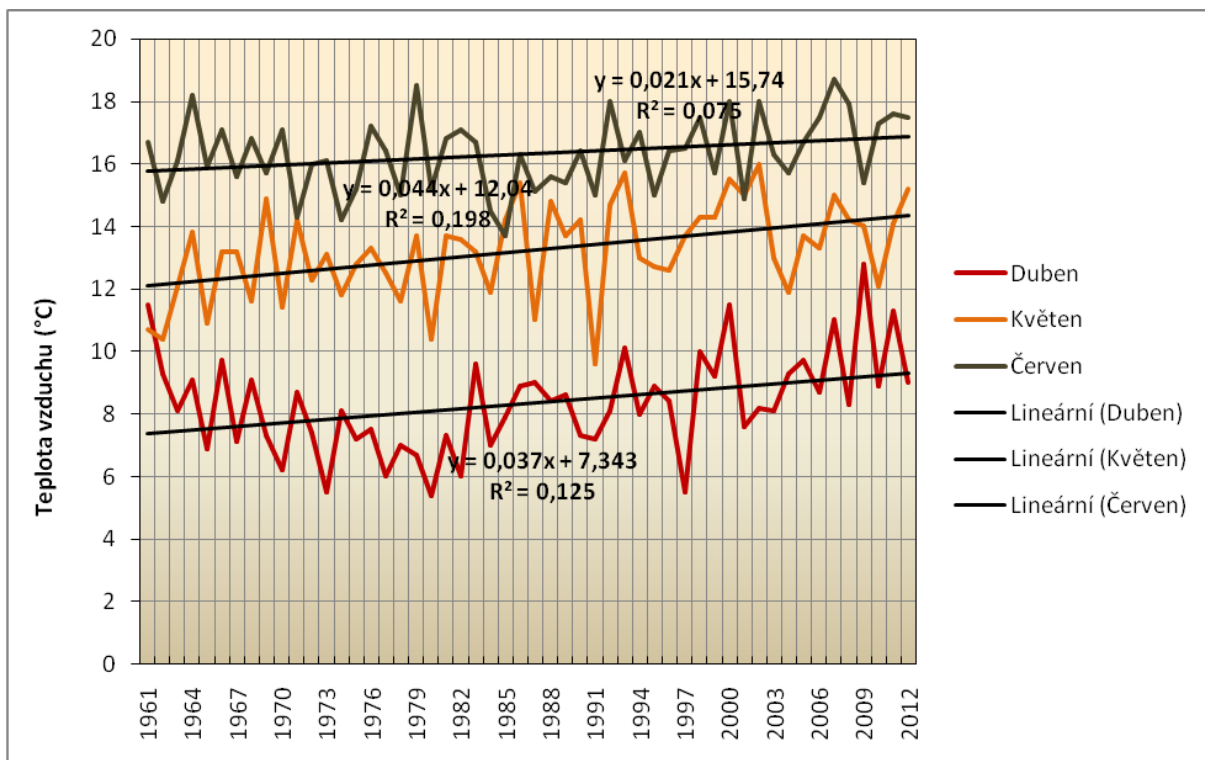
Průměrná teplota vzduchu je hlavní ukazatel teplotních podmínek určité lokality nebo oblasti. Pro účely hodnocení jejího vlivu na zemědělské plodiny, je možné z ní vycházet při potřebách určení rozšíření určité zemědělské plodiny. Pomocí průměrné teploty je možné definovat růstové optimum zemědělských plodin, tedy rozpětí teplot, které reprezentuje nejvhodnější parametry pro dosažení dobrých výnosů. Zemědělské plodiny se od sebe navzájem odlišují jak odlišnými požadavky na teplotu vzduchu v určitých vývojových stádiích svého růstu tak i zároveň se od sebe odlišují odrůdy stejného druhu a nebo ozimých a jarních forem.

V průběhu průměrných měsíčních hodnot teploty vzduchu v jednotlivých letech od roku 1961 až do roku 2012 ve zkoumaném území Středočeského kraje (Graf 3a) jsou reflektovány průměrné teplotní podmínky dlouhého časového horizontu uplynulých 51 let v závislosti na délce konkrétního měsíce (+- 30 dní). Variabilita průměrné teploty vzduchu pro sledované časové období dosahuje nejnižších hodnot u měsíců duben – listopad a nejvyšší výkyvy byly zaznamenány v zimních měsících (prosinec, leden, únor) a začátkem jara (březen). Pro hodnocení nejvyšších výkyvů, ke kterým došlo v zimních měsících platí, že teplota vzduchu vykazuje zřetelný roční chod s vyšší proměnlivostí v zimě a nižší pak v létě. Do budoucna se předpokládá, že v zimních měsících bude dále docházet k jejímu růstu a naopak v létě bude její hodnota klesat. Vyšší teplotní variabilita měsíce března je zapříčiněna meziročními odsuny začátku jarního období (Graf 3a). Nejvyšší průměrné měsíční teploty vzduchu se ve zkoumaném časovém období objevují v měsících červenec a srpen (Graf 3c). Pro měsíc červenec platí průměrná měsíční teplota 17,9 °C. V měsíci srpnu pak činí průměrná měsíční teplota 17,5 °C. Oproti tomu nejnižší průměrné měsíční teploty vzduchu se ve zkoumaném časovém období objevují v měsících leden a únor (graf 3a). Měsíc leden má průměrnou měsíční teplotu -1,6 °C. V měsíci únoru byla průměrná měsíční teplota vzduchu -0,3°C. Studie Brázdila et al. (2009) poukázala na statisticky významný trend nárůstu teploty 0,082 °C za dekádu v případě ročních průměrných teplot na území ČR. Tento vzestup teplot je konzistentní s odhadovaným zvýšením globální průměrné teploty v období 1906 - 2005, které činí 0,74 °C za století (Solomon et al, 2007).

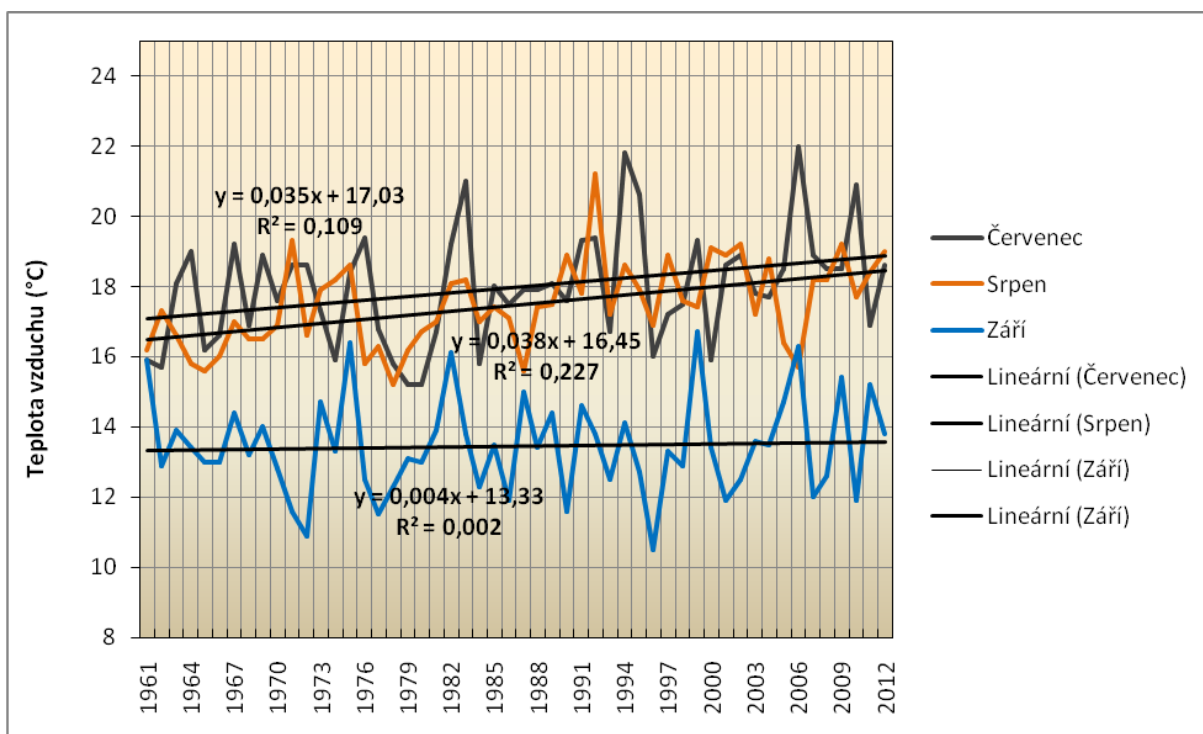
Pro účely Středočeského kraje byl vytvořen graf znázorňující lineární trend průměrných ročních teplot od roku 1961 - 2012 (graf 3f), kde je patrné konstantní zvyšování průměrné roční teploty vzduchu ve Středočeském kraji ve sledovaném časovém úseku 1961 - 2012. Z rovnice lineárního trendu (Graf 3f) vyplývá nárůst průměrné teploty vzduchu ve Středočeském kraji o 0,030 °C za rok a o 0,30 °C za dekádu. Z lineárních rovnic trendu pro měsíce leden - prosinec byla získána data o nárůstu průměrné teploty vzduchu pro všechny měsíce v roce za období 1961 - 2012 viz. tabulka 13. Z tabulky je patrné, že největší nárůst průměrné teploty vzduchu byl u měsíce ledna a to o 0,48 °C za dekádu. Oproti tomu nejnižší nárůst průměrné teploty vzduchu byl u měsíce září a to 0,04 °C za dekádu.



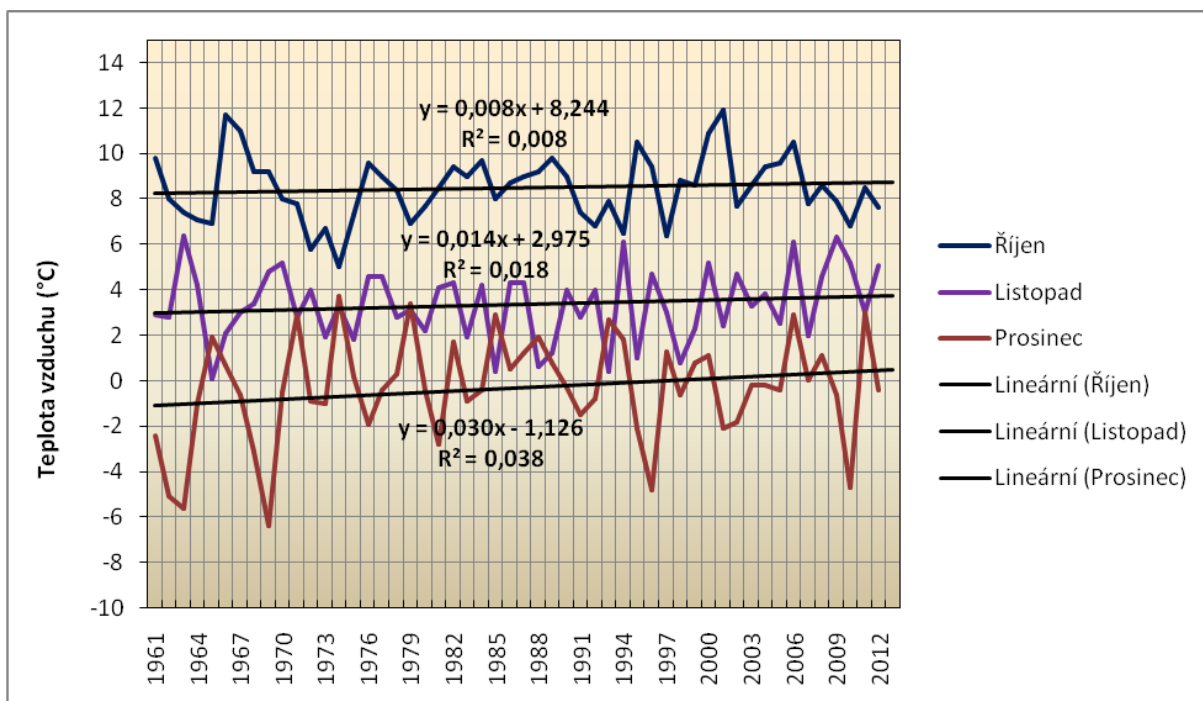
Graf 3a: Průběh průměrných měsíčních teplot vzduchu pro měsíce leden - březen.



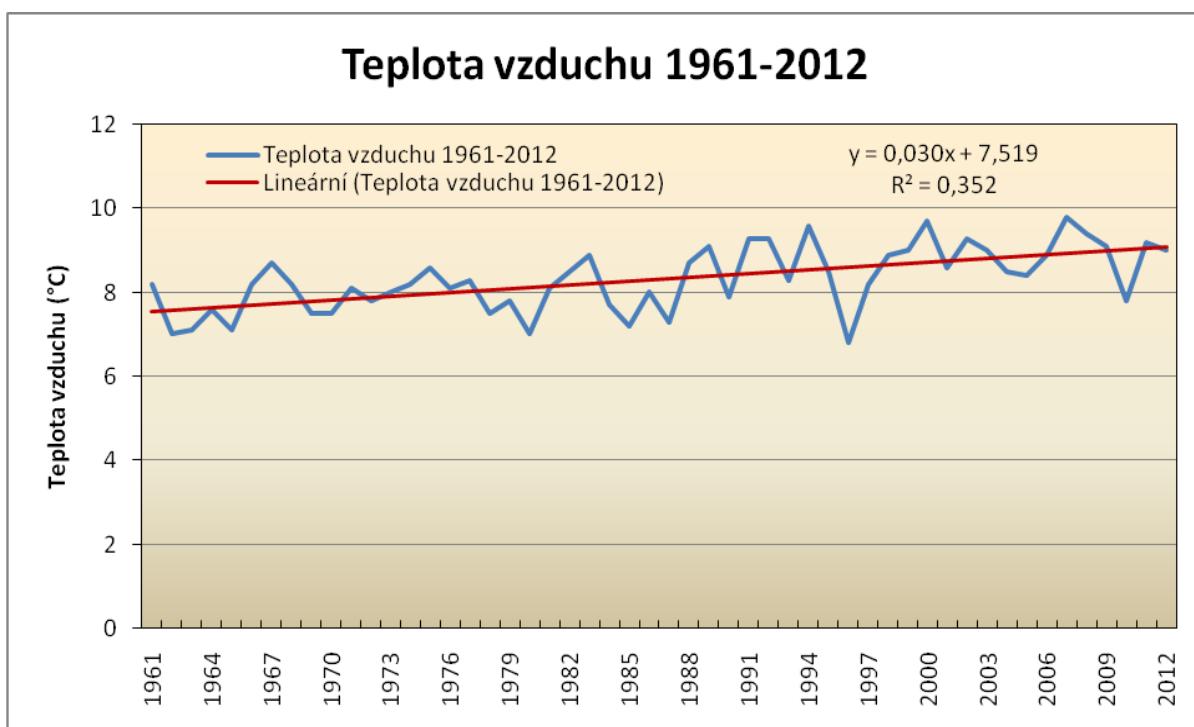
Graf 3b: Průběh průměrných měsíčních teplot vzduchu pro měsíce duben - červen.



Graf 3c: Průběh průměrných měsíčních teplot vzduchu pro měsíce červenec - září.



Graf 3d: Průběh průměrných měsíčních teplot vzduchu pro měsíce říjen - prosinec.



Graf 3f: Lineární trend průměrné roční teploty vzduchu ve Středočeském kraji.

Tab. 13: Nárůstu průměrné teploty vzduchu za rok a za 10 let.

Měsíc	Nárůst průměrné teploty vzduchu za rok (°C)	Nárůst průměrné teploty vzduchu za 10 let (°C)
Leden	0,048	0,48
Únor	0,02	0,2
Březen	0,035	0,35
Duben	0,037	0,37
Květen	0,044	0,44
Červen	0,021	0,21
Červenec	0,035	0,35
Srpen	0,038	0,38
Září	0,004	0,04
Říjen	0,008	0,08
Listopad	0,014	0,14
Prosinec	0,03	0,3

5.2.2 Srážky

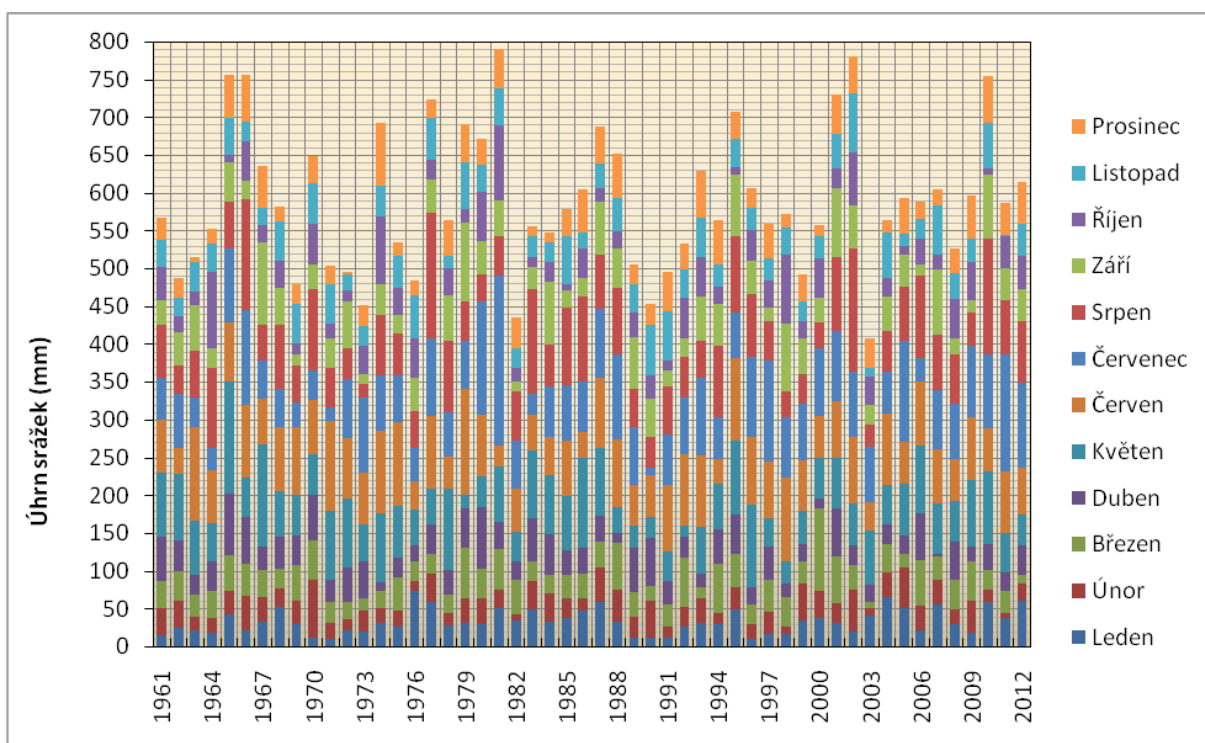
Uspokojivé množství vody zabezpečené v průběhu vegetačního období dané zemědělské plodiny je potřebnou podmínkou hodnotného vývoje a její následující optimální výnosové úrovně. Pro oblast Středočeského kraje jsou nejdůležitějším zdrojem vláhly atmosférické srážky. V zimě se atmosférické srážky mohou měnit ve sněh, ale vodní hodnota sněhové pokrývky v oblasti Středočeského kraje dosahuje převážně nízkých až velmi nízkých hodnot. Srážkové úhrny v letech 1961 - 2012 spolu se srážkovými úhrny jednotlivých měsíců tj. leden - prosinec dokumentuje (Graf 4a).

Meziroční proměnlivost srážkových úhrnů je obecně vyšší v měsících květen–srpen, kdy zároveň dochází i k nejvyšším srážkovým úhrnům. Příčinnou je vyšší podíl srážek konvekčního původu na úkor srážek frontálních, které se poměrně více uplatňují v průběhu března a dubna. Konvekční srážky, převážně ve formě přeháněk a bouřek jsou vyznačovány svou prostorovou heterogenitou a v nějakých situacích svou mimořádnou intenzitou (přívalové deště). Proto někdy na pohled vyšší celkové měsíční úhrny srážek nemusejí náležitě znamenat, že konkrétní měsíc musí být nutně z hlediska úhrnu srážek hodnocen jako deštivý. Průměrné měsíční a roční srážkové úhrny vykazují velmi výraznou meziroční proměnlivost. Významnější změny srážkového režimu probíhají častěji v létě. Roky, které byly v průběhu ledna až prosince z hlediska úhrnu srážek extrémně vlhké byly ve zkoumaném časovém intervalu let 1961 - 2012 roky 1965, 1966, 1981, 2002, 2010. V roce 1965 byly vyšší úhrny zaznamenány v dubnu a květnu. V roce 1966 v měsících červen, červenec a srpen. V roce 1981 v měsících červenec a říjen. V roce 2002 v měsíci srpnu a v roce 2010 v měsících květen a srpen. Srpen 2002 a červenec 1981 byly nejvlhčími měsíci období 1961 - 2012. Nejmenší množství srážek bylo zaznamenáno v letech 1973, 1982 a 2003. V roce 1973 byly nižší úhrny zaznamenány u měsíců leden a srpen. V roce 1982 pak v měsících únor, říjen, listopad. A v roce 2003 pak téměř ve všech měsících a nejvíce pak v měsících únor, březen, srpen, září, listopad. V období 1961 – 2012 byl nejnižší průměrný roční úhrn srážek naměřen v roce 2003 a činil 407 mm (Graf 4a). Nejvyšší průměrný roční úhrn srážek 792 mm byl naměřen v letech 1981 a 2002 (Graf 4a). Rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou byl 385 mm. Průměr ročních srážek v období 1961 - 2012 byl 590,2 mm. Měsíc prosinec v roce 1972 byl nejsušším měsícem období 1961 - 2012. Lineární trendy srážkových úhrnů pro Středočeský kraj mají v letech 1961 - 2012 stoupající tendenci, Z lineárního trendu pro období 1961 – 2012 je patrné zvýšení úhrnu srážek o 1,177 mm/rok a o 11,77 mm/10let (Graf 4b).

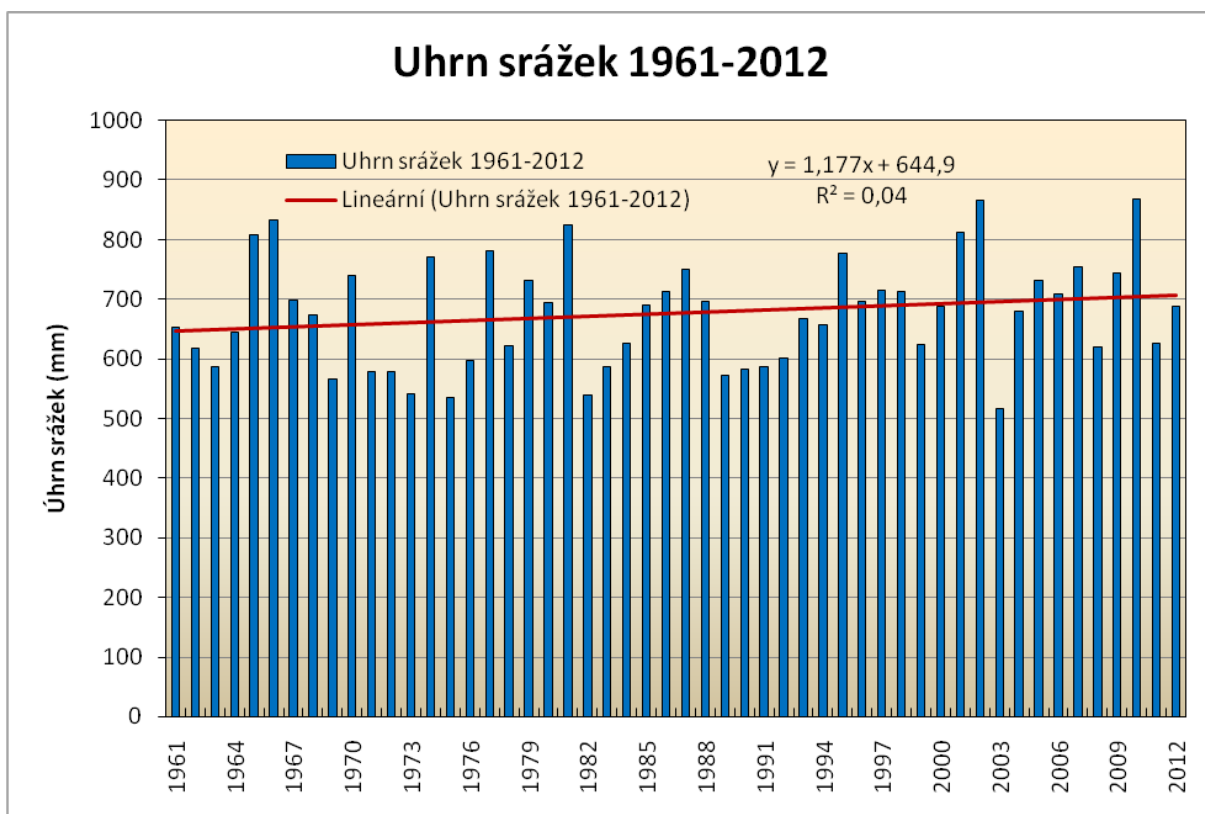
Z lineárních trendů srážkových úhrnů pro jednotlivé měsíce (Graf 4c, 4d) je patrné, že se v rámci let 1961–2012 nejvíce zvyšovaly červencové srážkové úhrny. Oproti tomu se nejvíce snižovaly dubnové a květnové srážkové úhrny (graf 4c, 4d). Pro simulaci srážkových úhrnů během roku byl zvolen náhodným výběrem rok 1961. Jak vyplývá z tabulky č. 14 nejvíce srážek je v letních měsících roku, nejméně srážek potom v zimě.

Tab. 14: Procentuální podíl úhrnů srážek v roce 1961 na celkovém úhrnu srážek pro rok 1961 ve Středočeském kraji.

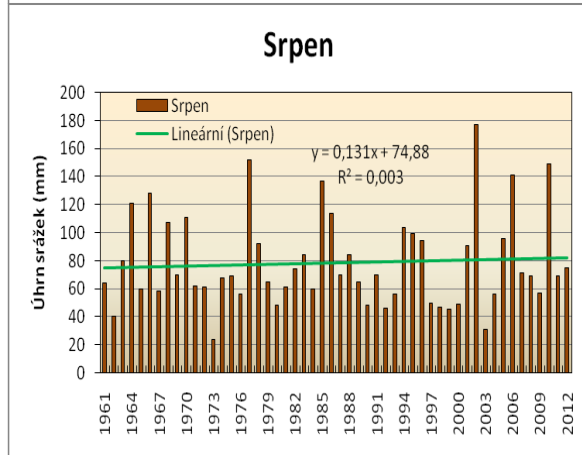
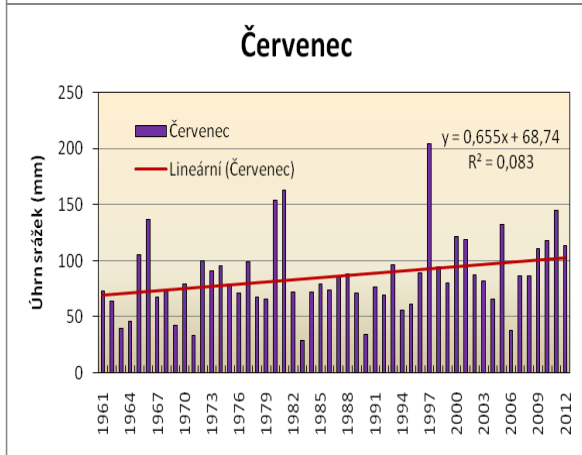
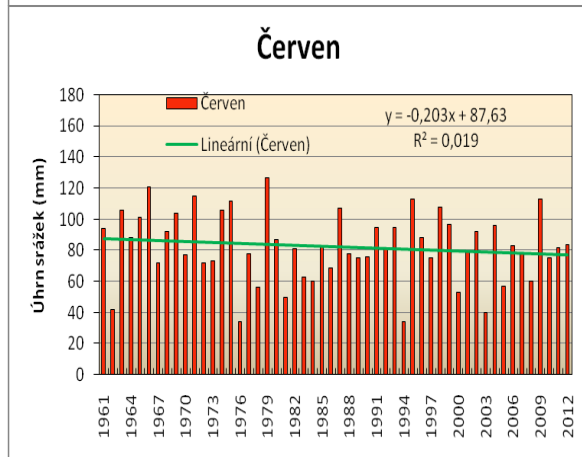
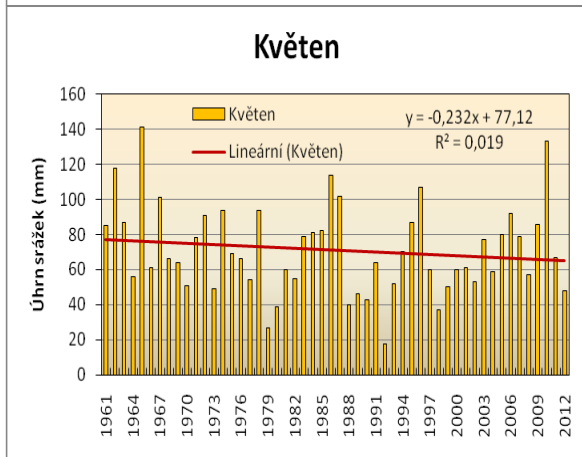
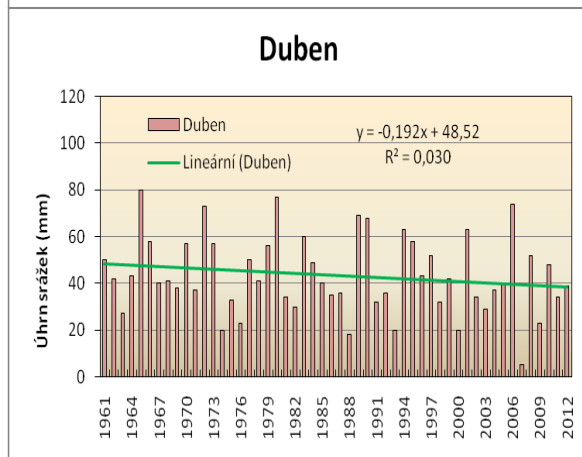
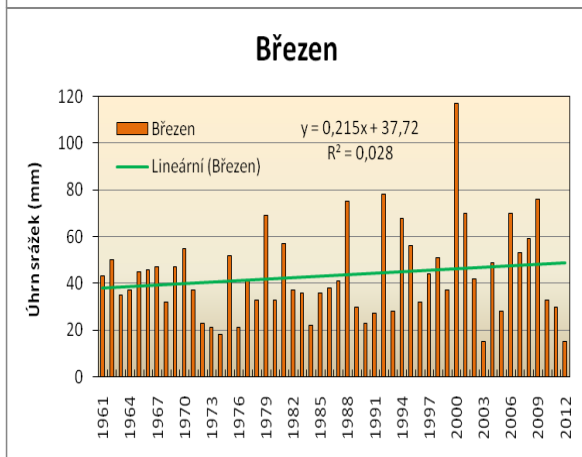
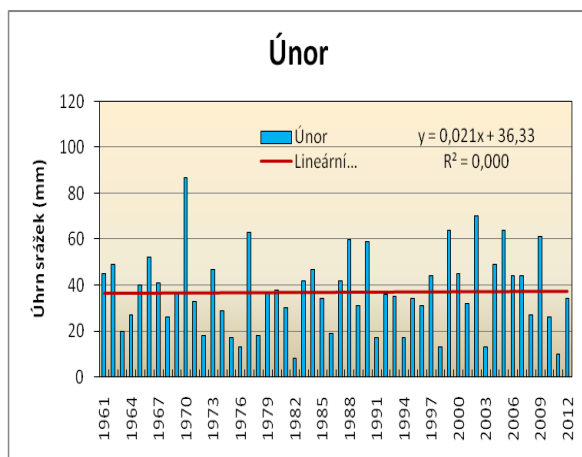
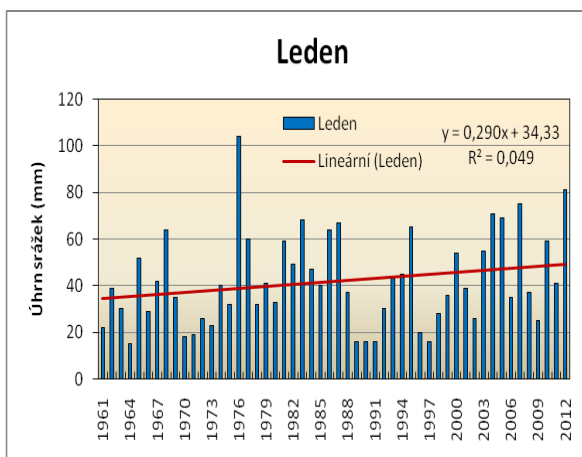
Roční období	Jaro			Léto		
Podíl na úhrnu srážek v roce 1961 (%)	32			34,45		
Měsíc	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen
Úhrn srážek (mm)	36	60	84	70	56	70
Podíl na úhrnu srážek v roce 1961 (%)	6,33	10,55	14,8	12,3	9,8	12,3
Roční období	Podzim			Zima		
Podíl na úhrnu srážek v roce 1961 (%)	20			14		
Měsíc	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Leden	Únor
Úhrn srážek (mm)	32	44	36	30	15	35
Podíl na úhrnu srážek v roce 1961 (%)	5,62	7,73	6,33	5,28	2,64	6,15
Úhrn srážek za rok (mm)	569					



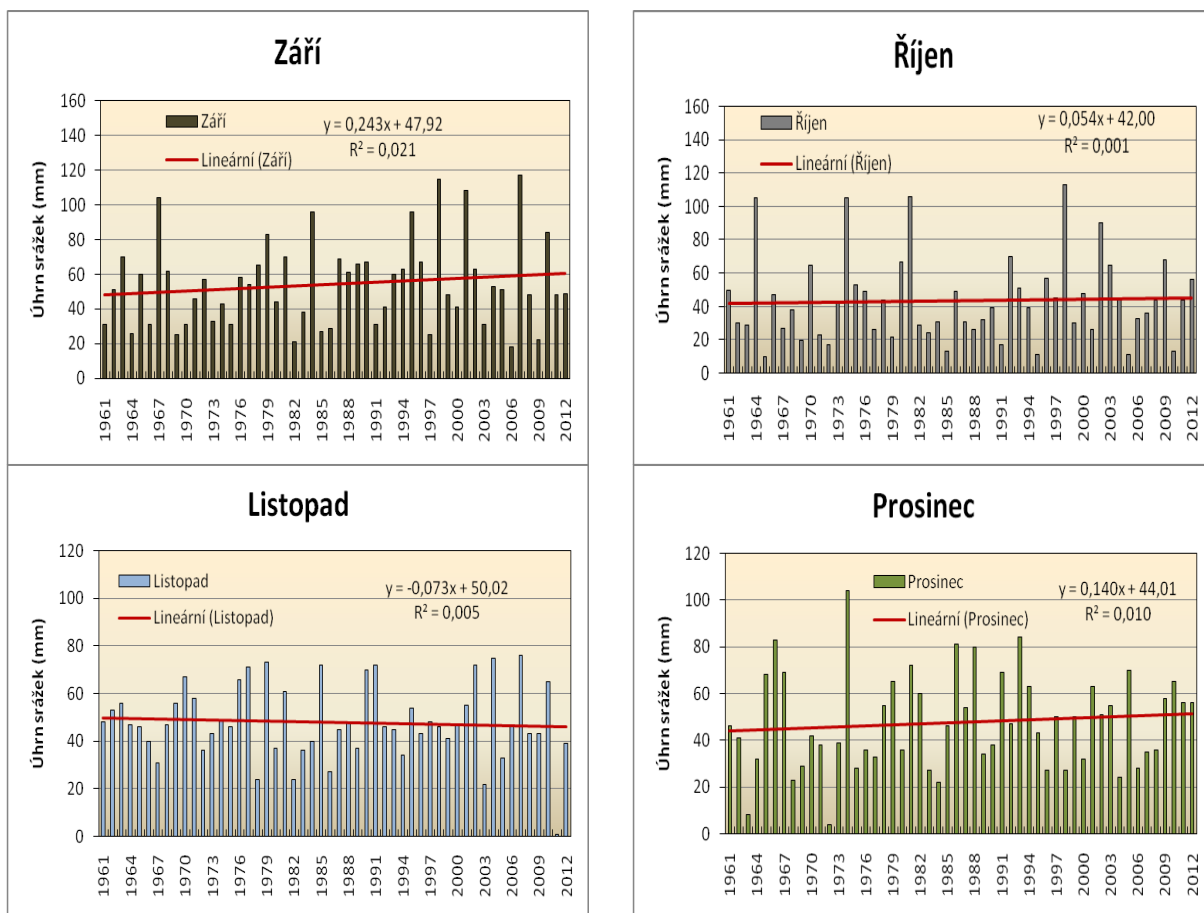
Graf 4a: Průběh úhrnu srážek ve Středočeském kraji.



Graf 4b: Lineární trend úhrnu srážek ve Středočeském kraji.



Graf 4c: Lineární trendy srážkových úhrnů pro měsíce leden - srpen.



Graf č. 4d: Lineární trendy srážkových úhrnů pro měsíce září - prosinec.

Tab. 15: Změna úhrnu srážek za rok a za 10 let.

Měsíc	Nárůst úhrnu srážek za rok (mm)	Nárůst úhrnu srážek za 10 let (mm)
Leden	0,290	2,90
Únor	0,021	0,21
Březen	0,215	2,15
Duben	-0,192	-1,92
Květen	-0,232	-2,32
Červen	-0,203	2,03
Červenec	0,655	6,55
Srpen	0,131	0,131
Září	0,243	2,43
Říjen	0,054	0,54
Listopad	-0,073	-0,73
Prosinec	0,140	1,40

Z lineárních rovnic trendu pro měsíce leden - prosinec byla získána data o nárůstu úhrnu srážek pro všechny měsíce v roce za období 1961 - 2012 (Tab. 15). Z tabulky je patrné, že největší nárůst úhrnu srážek byl u měsíce července a to o 6,55 mm za dekádu. Další důležitější měsíce s vyšším úhrnem srážek byly měsíc leden, březen, červen, září a prosinec. Oproti tomu úhrn srážek v měsíci květnu měl klesavou tendenci -2,32 mm za dekádu, stejně tak měsíc duben, který měl klesavou tendenci -1,92 mm za dekádu a konečně i měsíc listopad, který měl klesavou tendenci -0,73 mm za dekádu.

5.3 Hodnocení vazeb mezi velikostí výnosů a variabilitou meteorologických prvků

Pěstování polních plodin je lidská činnost, která je snad nejvíce ovlivněná klimatickými podmínkami. Každý rok je z jejich pohledu jedinečný a neopakovatelný. Meziroční rozdíly např. mezi obdobími vegetačního klidu, trváním sněhové pokrývky, rozložením srážek či samotného teplotního chodu tvoří variabilitu, která je zcela přirozená a snadno pochopitelná. Mírné odchylky pěstitelé umí flexibilně korigovat vhodnými agrotechnickými opatřeními. V okamžiku, kdy však tato variabilita začíná vykazovat určitý prokazatelný trend, nastává čas na zamyšlení se nad daným vývojem a nad výzkumem jeho příčin a důsledků. Kolísání výnosů obilovin v jednotlivých ročnících je závažným problémem pro trvalé dosahování vysokých výnosů. Přispívá k němu rozhodující měrou variabilita průběhu meteorologických činitelů během roku, s důsledkem ve změnách disponibility vegetačních faktorů a reakce plodin na měnící se podmínky prostředí. Během let se mění nejen celkové množství ovzdušných srážek a teplota, ale především jejich rozdělení v průběhu vegetace. Vliv těchto činitelů je souhrnně označován jako vliv ročníku.

V hektarových výnosech pšenice jarní, pšenice ozimé, ječmene jarního, ječmene ozimého a ovsa setého ve Středočeském kraji se ve zkoumaných letech 1961 – 2012 projevuje mnoho vlivů. Získané časové řady odchylek jsou do velké míry ovlivněny meteorologickými podmínkami určitého roku a stanoviště. Využitím teoretických poznatků o vlivu meteorologických faktorů na vývoj výnosu plodin je možné vysvětlit hlavní část jejich celkové variability. Je nezbytné mít na paměti, že určitý meteorologický faktor primárně ovlivňuje vývojový proces vybrané plodiny. Ve vývoji rostlin je určité množství etap určitých nároků, ale hlavně také určitých stresorů, které do značné míry ve špatném smyslu ovlivňují proces tvorby výnosu. Množstevní tvar výnosu plodiny je zapříčiněn vlivem řady jevů, které nemusí být pouze meteorologické.

Není možné zapomenout na důsledky schopnosti autoregulace vývoje plodiny, při které negativně ovlivněná vývojová fáze může být v následném vývoji vynahrazena produktivnější fází následující. Právě proto jsou nejvíce citlivým obdobím z měřítka negativního působení na výši celkového výnosu měsíce duben - květen, kdy jsou zakládají a poté vyvíjejí generativní rostlinné orgány. Jestliže v daném období působí meteorologické faktory záporně, potom už nelze dopady na dané plodiny účinně vyrovnat.

Hlavním úkolem této části práce je analyzovat meteorologické příčiny extrémně nízkých ročníkových výnosů. Prostorovým rámcem je oblast Středočeského kraje, pro který byla zpracována výnosová data. Na úrovni krajského výnosu jsou reflektovány především meteorologické faktory, jejichž působnost je regionálního až nedregionálního charakteru. Analýzy dále obsahují určité fenologické údaje z let s extrémně nízkými výnosy vybraných plodin, které při procesu vyhodnocování poslouží jako mezistupeň mezi meteorologickými faktory a konečným výnosem.

5.3.1 Výnosová variabilita

Hlavní rozdíl mezi jarními a ozimými plodinami je jejich rozdílně dlouhá délka vývoje. Jarní obiloviny v našem případě (pšenice jarní, ječmen jarní, oves setý) uskutečňují svůj celkový vývojový proces pouze v jarních a letních měsících (březen až srpen). Oproti tomu ozimé plodiny jsou vůči jarním dále vystaveny podzimním a zimním rizikům, jsou odolnější vůči rizikům v jarním a letním období roku, protože jejich prvotní vývoj probíhá na podzim (září až říjen). Je patrné, že právě z těchto zmíněných důvodů vyplývá, že mezi plodinami musí být výnosové rozdíly, které jsou zapříčiněny vystavením odlišným meteorologickým faktorům, ale také stejným faktorům v rozdílných vývojových fázích. Vývojový proces plodin ovlivňuje z meteorologických prvků zejména teplota vzduchu a srážky, které se infiltrací do půdy stávají pro rostlinu využitelnou vodní zásobou.

5.4 Období nejnižších výnosů

Ročníkové výnosy pšenice jarní, pšenice ozimé, ječmene jarního, ječmene ozimého, ovsa setého, které spadají ve Středočeském do kategorie extrémně nízkých výnosů byly podrobeny analýze. Nejvýznamnější roky, u kterých bylo dosaženo nejnižších výnosů byly dále popsány a analyzovány vzhledem k průběhu meteorologických faktorů, protože je velmi pravděpodobné, že meteorologické faktory přispěly k rapidnímu snížení výnosu vybraných obilovin. Pro hodnocení extrémně nízkých výnosů byla použita data výnosu vybraných obilovin viz. kapitola 5.1 a data týkající se teploty vzduchu a úhrnu srážek viz. kapitola 5.2. Data teplot a úhrnů srážek jednotlivých let, ve kterých byly zaznamenány nejnižší a nejvyšší výnosy za sledované období 1961 - 2012 byly porovnány s klimatickým normálem (1961 - 1990) zkoumaných meteorologických prvků (teploty vzduchu, úhrnu srážek).

Pšenice jarní

Pšenice jarní měla největší zápornou odchylku výnosu v letech 1964 (-0,77 t/ha), 1976 (-0,86 t/ha), 2000 (-1,05 t/ha), 2007 (-0,81 t/ha) (graf 2a).

Rok 1964 - Tento rok byl teplotně normální. Zimní měsíce zůstaly chladnější, než byl klimatickým normál teploty vzduchu z období 1961 - 1990. Dalšími chladnějšími měsíci byly březen, srpen a září. Leden až květen byly srážkově deficitní (35 %, 70 %, 92 %, 91 %, 76 %). Červen měl mírně nadnormální srážky. V červenci a září přišlo suché počasí (59 %, 51 %). Srpen a říjen byly deštivé (155 %, 251 %) klimatického srážkového normálu 1961 - 1990.

Rok 1976 - Leden byl teplejší, než byl dlouhodobý průměr (odchylka +1,7 °C) od klimatického normálu teploty vzduchu 1961 - 1990. Chladnější byly měsíce únor, březen, duben, srpen, září, prosinec. Tento rok byl celkově srážkově deficitní (89 %) klimatického srážkového normálu 1961 - 1990. V lednu přišlo velké množství srážek (248 %) klimatického srážkového normálu 1961 - 1990. Únor až srpen byly ve znamení suchého počasí. V únoru dokonce úhrny srážek dosahovaly pouze 35 % klimatického srážkového normálu. Září, říjen, listopad byly naopak srážkově nadnormální.

Rok 2000 - Zima byla velmi mírná a k poškození porostů nedocházelo, umožňovala však dobré přezimování škůdcům a chorobám, které mohou způsobit větší potíže. Vzhledem k nižšímu množství srážek byla na jaře zásoba vody v půdě podprůměrná. Podprůměrné byly i srážky až dokonce května. Vysoké teploty během května urychlily i počátek kvetení. Nedostatek vláhy mělo v této době negativní dopad. Průběh suchého a teplého počasí v roce 2000 negativně ovlivnil výnos.

Rok 2007 - Jednalo se o rok teplotně a srážkově nadprůměrný. Negativně působila pouze mírná zima s abnormálně vysokými teplotami, jarní mrazíky v květnu. Teploty v zimě se pohybovaly kolem 5 °C, jen koncem ledna klesla teplota mírně pod nulu. Květen byl ve znamení nízkých teplot.

Pšenice ozimá

U pšenice ozimé byly největší ztráty výnosu zaznamenány v letech 1993 (-0,8 t/ha), 1998 (-0,98 t/ha) a 2000 (-0,78 t/ha).

Rok 1993 - Tento rok byl teplotně normální. Nižší teploty jsou zaznamenávány v měsících únor, březen, červenec, září, říjen, listopad. Celková odchylka teploty vzduchu od klimatického normálu teploty vzduchu 1961 – 1990 byla v roce 1993 0,1 °C za rok. Srážkově zůstal tento rok normální, ale srážky byly rozděleny nerovnoměrně během roku. Mezi suché měsíce se řadil březen a duben (69 %, 43 %), naopak červen, červenec, září byly deštivé (113 %, 122 %, 116 %) klimatického srážkového normálu 1961 – 1990.

Rok 1998 - V tomto roce byl mimořádně slunečný a teplý podzim. Během září a října 1997 bylo srážek minimálně. Na přelomu ledna a února 1998 teplé dny vystřídaly příliš prudké mrazy dosahující teplot pod -10 °C. Na začátku vegetačního období v roce 1998 byla v půdě nízká zásoba vody, mírně nadprůměrné srážky byly až v dubnu.

Rok 2000 – viz. kapitola 5.4.1.

Ječmen jarní

Jak je patrné z grafu 2c tak největších pozitivních odchylek výnosu bylo dosaženo v letech 1990 (+1,30 t/ha), 2004 (+1,01 t/ha) a 2011 (+0,98 t/ha). Naopak největší snížení výnosů bylo v letech 1965 (-0,74 t/ha), 1998 (-0,89 t/ha) a 2000 (-1,16 t/ha).

Rok 1965 - Leden byl ve znamení vyšších teplot, než je klimatický normál teploty vzduchu 1961 - 1990 (odchylna +2 °C). Ostatní měsíce, s výjimkou září a prosince, podnormální. Od ledna do konce července byly naměřeny nadnormální úhrny srážek. Srpen, říjen a listopad přinesly sušší počasí. Září bylo deštivější (114 %) klimatického srážkového normálu 1961 - 1990.

Rok 1998 - viz. kapitola 5.4.2.

Rok 2000 – viz. kapitola 5.4.1.

Ječmen ozimý

Ječmen ozimý měl největší zápornou odchylku výnosu v letech 1979 (-1,05 t/ha), 1993 (-1,44 t/ha), 1996 (-1,15 t/ha), 2003 (-1,34 t/ha)

Rok 1979 - Tento rok byl o 0,3 °C chladnější než je průměrný klimatický normál teploty vzduchu 1961 - 1990. Zimní měsíce zůstaly teplotně mírně pod klimatickým normálem teploty vzduchu 1961 - 1990. V březnu nastalo oteplení, v dubnu bylo vystřídáno chladnějším počasím. Měsíc červenec až listopad byly chladnější, než klimatický normál teploty vzduchu 1961 - 1990. Tento rok byl srážkově normální (103 %). Velké množství srážek přišlo v březnu, dubnu, červnu, září, listopadu, prosinci (172 %, 118 %, 151 %, 159 %, 149 %, 153 %) klimatického srážkového normálu 1961 - 1990.

Rok 1993 – viz. kapitola 5.4.2.

Rok 1996 - Nejdříve byl pro tento ročník odhadován vysoký výnos. Ovšem nakonec se projevily na výši výnosu silné zimní mrazy. Celý rok zůstal mimořádně vlhký. Rok 1996 se vyznačoval nízkou intenzitou a množstvím slunečního svitu.

Rok 2003 - V měsíci lednu 2003 se vyskytovaly mrazy, které měly poměrně delší trvání a dosahovaly místy hranice pod $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Rok 2003 se projevoval velkým srážkovým deficitem v zimě, což negativně ovlivnilo výnos. Od ledna 2003 do konce dubna spadlo pouze nepatrné množství srážek a zlepšení nenastalo ani do konce měsíce srpna. V roce 2003 se vyskytovaly extrémní meteorologické a to hlavně přívalové deště s krupobitím, které značně snížily výnos. Srpnové záplavy také poškodily některé pěstební plochy obilovin. Září zůstalo slunečné a teplé, což pozitivně působilo na kvalitu zakládaných porostů obilovin. V měsíci říjnu nastalo chladnější a deštivější počasí.

Oves setý

U ovsa setého byly největší ztráty výnosu zaznamenány v letech v letech 1976 ($-0,97\text{ t/ha}$), 1994 ($-0,91\text{ t/ha}$) a 2000 ($-1,09\text{ t/ha}$).

Rok 1976 – viz. kapitola 5.4.1.

Rok 2000 – viz. kapitola 5.4.1.

Rok 1994 - Tento rok se teplotně mnoho nelišil od klimatického normálu teploty vzduchu 1961 - 1990. Leden byl o $4,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ teplejší než dlouhodobý průměr. Naopak únorová teplota byla o $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ nižší, než je běžné. V ostatních měsících, s výjimkou července, nebyla zaznamenána větší odchylka od normálu. Červenec byl o $4,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ teplejší. Tento rok měl srážky mírně pod normálem (94 % dlouhodobého průměru). Vysoké úhrny srážek jsou zaznamenány v měsících březnu, dubnu, srpnu, září a prosinci. V srpnu a září dosahují úhrny srážek 133% a 122 % oproti klimatickému srážkovému normálu 1961 - 1990.

5.5 Období nejvyšších výnosů

Pro výnosy pšenice jarní, pšenice ozimé, ječmene jarního, ječmene ozimého, ovsa setého, které spadají ve Středočeském do kategorie extrémně vysokých výnosů (roky s maximálním výnosem jejichž odchylka byla vyšší než +1,0 (t/ha) je pro všechny charakteristické, že spadají do roku 1990 (Tab. 16).

Nejvyšší výnos ovsa nedosáhnul v analyzovaném období v žádném z roků odchylku od trendu vyšší než +1,0 t/ha. Ale i tak jeden z jeho dvou nejvyšších výnosů byl v roce 1990 (+0,84 t/ha). Dalším rokem byl rok 1985 (+0,92 t/ha).

Tab. 16: Rok 1990 (rozložení úhrnů srážek a teplot vzduchu v jednotlivých měsících) ve Středočeském kraji.

Roční období	Jaro			Léto		
Měsíc	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen
Úhrn srážek (mm)	20	63	28	56	10	41
Teplota vzduchu (°C)	7,0	7,3	14,2	16,4	17,6	18,9
Roční období	Podzim			Zima		
Měsíc	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Leden	Únor
Úhrn srážek (mm)	49	31	67	28	12	48
Teplota vzduchu (°C)	11,6	9,0	4,0	-0,3	0,6	4,4
Úhrn srážek za rok (mm)	453					

Rok 1990 - Zima v tomto roce byla mírná. Chladnějšími měsíci oproti normálu teploty vzduchu (1961 - 1990) byly duben, červenec, září, prosinec. Celkově byl tento rok o 1,0 °C teplejší, než je dlouhodobý normál teploty vzduchu (1961 – 1990). Roční úhrn srážek je 77 % srážkového normálu 1961 -1990. Leden byl velmi suchý, v únoru ovšem spadlo 48 mm srážek což bylo 160 % dlouhodobého srážkového normálu 1961 – 1990 pro měsíc únor, duben byl rovněž deštivější (147 %), květen naopak sušší (39 %). Červen, červenec a srpen říjen a prosinec byly srážkově pod normálem. Září (130 %) a listopad (168 %) měly výraznější srážky oproti srážkovému normálu (1961 – 1990).

Průběh roku 1990 z hlediska hodnocení vlivu počasí na zemědělský výnos obilovin

V průběhu setí až vzcházení by v ideálním případě mělo spadnout od 40 mm srážek v bramborářském výrobním typu až po 50 - 70 mm srážek v kukuřičném výrobním typu. V měsíci září, ve kterém se sejí – vzcházejí ozimé obiloviny činil měsíční úhrn srážek 49 mm a to je tedy ideální množství srážek pro kvalitní založení porostu obilovin. Období setí-vzcházení prodlužují nízké teploty, pro klíčení se uvádí minimální teplota 1 - 2 °C a pro vzcházení 4 - 5 °C. Průměrná teplota vzduchu byla v měsíci září 11,6 °C a v měsíci říjnu 9,0 °C. Takové teploty zabezpečily kvalitní podmínky v období setí - vzcházení a vytvořily dobrý základ pro kvalitní a kompaktní porost. V podmínkách normální teploty vzduchu a normálních srážkových úhrnů trvá vzcházení obilovin 7 – 9 dnů. Na vzcházení se však podílejí i jiné než meteorologické faktory (přípravenost půdy, skladba předplodin, agrotechnika, hustota výsevu apod.). K dobrému založení porostů ozimů do nástupu zimy by měla suma srážek do 15. listopadu činit 70 - 110 mm. Dané potřebné rozpětí srážek v podzimním období 1990 bylo zabezpečeno a činilo cca. 100 mm. Z mnohých pokusů vyplynulo, že chladnější a vlhčí období zhruba od poloviny dubna do konce května, které panovalo i v roce 1990 pozitivně ovlivňuje dvě podstatné složky konečného výnosu zrna, a to počet zrn v klasu a hmotnost 1000 zrn. Díky zastoupení všech zmíněných optimálních meteorologických faktorů rok 1990 umožnil dosáhnout extrémně vysokých výnosů (+1,0 t/ha) u všech vybraných obilovin.

6 DISKUZE

Tím, zda meteorologické podmínky ovlivňují výnos, se zabývá více autorů (Brázdil a Rožnovský, 1996; Chloupek et al., 2004; Hlavinka et al., 2006; Hruška, 1962; Hora, 2008; Kříšťan et al., 1973; Orlandini et al., 2008; Potop et al., 2011; Rožnovský et al., 2006; Trnka et al., 2009 a Vokál et al., 2003). Na celkový výnos plodiny působí klimatické podmínky pozitivně v polovině měsíců vegetačního období. V měsících květen, červenec a srpen se projevuje dopad výskytu zemědělského sucha jako nejpozitivnější. Výsledky tedy tvrdí úplný opak od Trnky (2011), který zjistil, že negativně se na výnosech odráží především rizikové letní měsíce. Měsíc duben, počáteční měsíc vegetace, nelze vyhodnotit jako podstatný z hlediska vlivu na výnos. Výskyt sucha v tomto měsíci se na výnosu plodiny neprojeví. Proto lze souhlasit s výrokem Rožnovského (2012), který tvrdí, že vláhová bilance je podstatná až od poloviny května. Negativní dopad na výši výnosů má zemědělské sucho v červnu a září. Rostliny v těchto měsících trpí nedostatkem vlhkosti (Hlavinka et al., 2006) a vliv zemědělského sucha působí především v září, kdy končí růstová fáze a tím se snižuje kvalita rostliny (Potop et al., 2011). Pozitivní dopady na vývoj a růst plodin spatřuje v obdobích zemědělského sucha Chloupek (2004) a Trnka (2009). Nejvýznamnějším faktorem limitujícím zemědělství je voda. Její nedostatek se projevuje především na mělkých a lehkých půdách a nejvíce ovlivňuje kolísavost výnosů plodiny (Haberle, 2010). Obsah půdní vody je ovlivněn povětrnostními podmínkami, srážkami a evaporací. Síla projevu nedostatku půdní vlhkosti závisí na půdním typu, topografii a vegetaci. Zjištění doplňuje Hlavinka (2006) tvrzením, že rostliny potřebují vodu v závislosti na klimatologických podmínkách (tedy rychlosti větrů, na teplotě a vlhkosti vzduchu a intenzitě záření), fyzikálně-biologických půdních vlastnostech, fenologické fázi a fyziologii vlastní plodiny. Vliv půdní vlhkosti na chod jednotlivých fenologických fází až po výnos zrna se pro obiloviny zaobírá celá řada autorů. Ve svých pracích se snaží prokázat vliv jednoho, dvou nebo dokonce více faktorů vnějšího prostředí na vývoj rostliny až po výnos zemědělských plodin. Počasí na rozdíl od ostatních ekologických faktorů se liší velkou proměnlivostí v prostoru i čase. Mění se v průběhu vegetační doby a mění i délku růstových fází. Některé přístupy k řešení těchto problémů naznačují ve svých pracích Uhrecký, Svoboda (1985), (Rožnovský, 1988).

Na zemědělskou produkci dopadají podstatnou měrou klimatické změny. Potenciálně jedním z nejvýznamnějších příznaků změny klimatu jsou pro zemědělství změny klimatických extrémů. V posledních desetiletích je při sledování vlivu klimatických změn na zemědělství velmi nápomocné využití počítačových technologií. Umožňují simulaci a analýzu složitých interakcí mezi půdou, plodinou a atmosférickými jevy, a to pro rozsáhlá území. Tím pomáhají zemědělcům například s výběrem nejvhodnějšího managementu plodin (Orlandini et al., 2008).

Životaschopnost zemědělství je v podmínkách očekávané klimatické změny určena dlouhodobými pomalými změnami průměrné teploty vzduchu a množství srážek. Předpověď extrémních meteorologických úkazů se však jeví pro zemědělskou produkci jako podstatnější. Proti tomu lze namítnout, že právě krátkodobé události mají minimální dopad, mohou být dokonce i pro růst stimulační. Jedná se zejména o dlouhodobé projevy počasí, které nejvíce poškozují zemědělské prostředí, jakými jsou i epizody sucha. Z dlouhodobého hlediska může sucho vyvolat dokonce tak vysoké omezení celkové zemědělské produkce, že kromě ekonomických ztrát paralyzuje další navazující segmenty i na několik sezón (Trnka et al., 2009). Ovšem vedle klimatických extrémů se na změnách přírodních podmínek vhodných pro zemědělství podílí také posun zeměpisných šířek způsobený globálním oteplováním. S tím úzce souvisí zvyšování evapotranspirace podmíněné vyšší teplotou zemského povrchu i vzduchu (Brázdil a Rožnovský, 1996).

Dle průzkumů se v letech 1920 – 2000 ukázaly jako nejrozšířenější plodiny pěstované na území České republiky pšenice, ječmen, řepka, cukrovka a brambory. Dohromady se pěstují na 85,0% orné půdy. Zcela nejvýznamnější plodinou je pšenice a ve Středočeském kraji má její pěstování výhradní zastoupení. Společně s bramborami, které se v této lokalitě pěstují až na 23% území, tvoří základní složky potravy obyvatel České republiky (Dvořák a Bicanová, 2007; Chloupek et al., 2004; Prášil et al., 2011). Největší vliv na výnos obilovin má ročník, předplodina, lokalita a dusíkaté hnojení. Hlavní výnosovou složkou je počet zrn v klasu, její hodnota se tvoří v době sloupkování. Počet zrn v klasu je výsledek genetické informace rostliny, dostatečného množství půdních živin, teploty a vlhkosti. Váha 1000 zrn je nejméně proměnlivá a závisí především na počasí během sklizně. Lze ji účinně zvyšovat pozdními závlahami. Na výnosu se podstatně podílí i obsah listové plochy (Strnad et al., 1972).

Nedostatečná zvlaha se u obilovin projevuje ve fázi tvorby zrna, tj. v období hlavního růstu. Rostliny jsou v tomto období závislé na srážkové vodě a zásobách z hlubších podorničních vrstev (Haberle, 2010). Bylo zjištěno, že nejsilnější vliv nedostatečných srážkových úhrnů se projevuje v dubnu až červnu. Výnos je takovou situací redukován až o 81% (Prášil et al., 2011).

Jeden z hypotetických klimatických scénářů, který předpokládá zvyšování roční teploty vzduchu o 1 ° C, předkládá možnost, že se teplotní limit pro pěstování obilnin posune až o 150 km směrem na sever a výška o 100 - 200 m (Brázdil a Rožnovský, 1996). Výnosy jarních obilovin jsou závislé na podmínkách jarního období. Jako nejvíce nepříznivý se jeví průběh počasí a chladnějším a vlhčím březnem, který se v průběhu dubna změní na velmi teplý a suchý. Rozhodující období z hlediska tvorby výnosu trvá 40 - 50 dní a podle konkrétní sezóny se kalendářně mění, jeho těžiště ale odpovídá květnu. Teplé a suché květnové počasí zkracuje trvání fenologických fází, jejichž urychlený průběh vede k nižším výnosům. Pšenice ozimá je ve svém vývoji navíc vystavena rizikům nepříznivého zimního počasí. Za takové lze označit výrazné změny teploty vzduchu v krátkém časovém intervalu s působením silných mrazů. Adaptace na nízké teploty je účinná při jejich postupném snižování. Velmi nízké teploty vzduchu (-10 ° C a méně) působí škody především v situaci, kdy není vytvořena souvislá sněhová pokrývka. Vůči jarnímu suchu je ozimá pšenice více odolná než jarní ječmen, ale jen do určité míry. Kombinuje-li se vliv nepříznivých zimních podmínek s nepříznivými podmínkami jarního období, bývá negativní dopad na výnosy ozimé pšenice nejvýraznější.

Globální průměrná teplota vzduchu vzrostla v průběhu 20. století o $0,74 \pm 0,18$ ° C a klimatické scénáře předpokládají, že do konce 21. století vzroste o dalších 1,1 až 6,0 ° C (Solomon et al., 2007). Pokračující zvyšování průměrných teplot vzduchu se očekává i v evropském měřítku. Teplota vzduchu stoupá na území ČR podle statisticky lineárního trendu, který se zvyšuje o 0,65 ° C/10 let. To odpovídá celosvětovému trendu oteplování, který se v posledních 100 letech zvyšuje o 0,74° C/10 let. Daný trend je možné potvrdit podle výsledků diplomové práce, z kterých byl zjištěn trend nárůstu průměrné teploty vzduchu ve Středočeském kraji o 0,030 ° C za rok a o 0,30 ° C/10 let. Dále objem spadlých srážek meziročně narůstá, ovšem mění se rozdělení během roku a to z hlediska frekvence tak i intenzity (Brázdil et al., 2009). Daný fakt je možné potvrdit jako pravdivý, protože z výsledků diplomové práce hodnotících variabilitu úhrnu srážek vyplývá, že došlo k nárůstu srážkového úhrnu v oblasti Středočeského kraje ve sledovaném období 1961 - 2012.

Z lineárního trendu pro dané období 1961 - 2012 je patrné zvýšení celkového úhrnu srážek o 1,177 mm/rok a o 11,77 mm/10let. Bylo možné zaznamenat jak nárůst tak i pokles úhrnu srážek, v závislosti na konkrétním měsíci. Největší nárůst úhrnu srážek byl u měsíce července a činil +6,55 mm za dekádu. Další důležité měsíce s vyšším úhrnem srážek byly měsíce leden, březen, červen, září a prosinec. Oproti tomu úhrn srážek v měsíci květnu měl klesavou tendenci -2,32 mm za dekádu, stejně tak pak měsíc duben, který měl klesavou tendenci -1,92 mm za dekádu a konečně i měsíc listopad, který měl klesavou tendenci -0,73 mm za dekádu.

Zvýšení průměrné roční teploty vzduchu a zvýšení variability srážkových úhrnů ve Středočeském kraji odpovídá publikované klimatické změně v rámci České republiky. V současnosti již prokazatelně dochází k prodlužování vegetační sezóny ve vyšších zeměpisných šířkách a naopak k jejímu zkracování v nižších zeměpisných šířkách. Je prokázáno, že fenologické fáze některých rostlinných druhů nastávají až o dva či tři týdny dříve než v minulosti (Menzel et al., 2006). Bude-li rostoucí teplotní trend postupovat i nadále, pokračující posun fenofází směrem k počátku roku je velmi pravděpodobný. Bude nezbytné adaptovat způsob zemědělského hospodaření tak, aby se eliminovaly negativní účinky zkrácení fenologických fází. Na základě simulací růstových modelů (např. CGMS – Crop Growth Monitoring System) je pro časové období 1975 – 2007 ve střední Evropě odhadován posun fenofáz ekvetení ozimé pšenice o tři až pět dní za každých deset let (Lavallo et al., 2009). Zvýšení teploty vzduchu v období formování obilí a ukládání asimilátů se přes zkrácení fenofází rozhodujících pro celkovou úroveň výnosu negativně projeví právě snížením výnosu. Předpokládané zvýšení letních teplot vzduchu, pokles celkových srážkových úhrnů a zvýšení podílu přívalových srážek povedou k nárůstu vodního deficitu, s čímž souvisí zvýšení četnosti a intenzity epizod sucha (Solomon et al., 2007; Parry. et al., 2007; Bates et al., 2008; Lavallo et al., 2009).

Klimatickou změnu počasí a jednotlivých meteorologických prvků, hlavně pak teploty vzduchu a úhrnu srážek, která byla ve zkoumaném časovém období 1961 – 2012 markantní je nutné brát jako klíčový faktor celkového nárůstu výnosů všech zkoumaných obilovin.

Z analýz výnosových řad vybraných obilovin vyplynulo, že výnosy všech zmíněných obilovin ve Středočeském kraji za období 1961 - 2012 měly vzestupné výnosové trendy, které jsou do značné míry spjaty s probíhající klimatickou změnou, variabilitou počasí a jeho jednotlivých složek a to jak ve světě tak i na území České republiky.

7 ZÁVĚR

Kolísání výnosů obilovin v jednotlivých ročnících je závažným problémem pro trvalé dosahování vysokých výnosů. Přispívá k němu rozhodující měrou variabilita průběhu meteorologických činitelů během roku, s důsledkem ve změnách dostupnosti vegetačních faktorů a reakce plodin na měnící se podmínky prostředí. Během let se mění nejen celkové množství ovzdušných srážek a teplota, ale především jejich rozdělení v průběhu vegetace.

Výsledky analýz časových řad výnosů pšenice jarní, pšenice ozimé, ječmene jarního, ječmene ozimého a ovsa setého ve Středočeském kraji potvrzují, že meteorologické faktory a z nich hlavně, teplota vzduchu a úhrn srážek, významným způsobem ovlivňují úroveň hospodářského výnosu. Ve sledovaném období 1961 - 2012 bylo prokázáno, že specifická kombinace meteorologických podmínek vedla k hospodářským ztrátám v podobě snížení úrovně výnosu. Obecně platí, že sušší a teplejší počasí v průběhu vegetační sezóny vede ve vyšších polohách k nadprůměrným výnosům, zatímco v nižších naopak k podprůměrným. Chladnější a vlhčí jarní a letní počasí prodlužuje ve vyšších polohách zrání a snižuje tak celkový výnos. Výnosy pšenice jarní, ječmene jarního a ovsa setého jsou závislé na podmínkách jarního období. Jako nejvíce nepříznivý se jeví průběh počasí a chladnějším a vlhčím březnem, který se v průběhu dubna změnil na velmi teplý a suchý. Rozhodující období z hlediska tvorby výnosu trvá 40 - 50 dní a podle konkrétní sezóny se kalendářně mění, jeho střed, ale odpovídá měsíci květnu. Teplé a suché květnové počasí zkracuje trvání fenologických fází, jejichž urychlený průběh vede k nižším výnosům. Ozimé formy obilovin v našem případě ječmen ozimý a pšenice ozimá jsou ve svém vývoji dále oproti jarním formám vystaveny rizikům nepříznivého zimního počasí. Za takové lze označit výrazné změny teploty vzduchu v krátkém časovém intervalu s působením silných mrazů. Adaptace na nízké teploty je účinná při jejich postupném snižování. Velmi nízké teploty vzduchu ($-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a méně) působí škody především v situaci, kdy není vytvořena souvislá sněhová pokrývka. Pšenice ozimá a ječmen ozimý jsou více odolné vůči jarnímu suchu než pšenice jarní a ječmen jarní a oves, ale jen do určité míry. V extrémních případech záporných odchylek výnosu od trendu, kterým byl např. rok 2000, jsou vlivem suchého a teplého jara silně ovlivněny výnosy všech vybraných obilovin. Při kombinaci vlivu nepříznivých zimních podmínek s nepříznivými jarními podmínkami bývá záporný dopad na výnosy ozimých obilovin nejvýraznější. Z analýz výnosových řad vybraných obilovin vyplývá, že výnosy všech zmíněných obilovin ve Středočeském kraji za období 1961 - 2012 mají vzestupné trendy výnosů.

Počáteční hodnota trendu výnosu pšenice jarní vzrostla od roku 1961 (2,47 t/ha) až na hodnotu 3,56 t/ha v roce 2012. Nejvyšší rostoucí výnosový trend ze všech vybraných obilovin měla pšenice ozimá a to o 2,55 t/ha za sledované období 1961 – 2012. Počáteční hodnota trendu výnosu z roku 1961 byla 2,68 t/ha a konečná hodnota trendu byla 5,23 t/ha v roce 2012. Trend výnosu ječmene jarního byl k roku 1961 (2,78 t/ha) a konečná hodnota jeho výnosového trendu byla k roku 2012 (4,13 t/ha). Trendová hodnota výnosu ječmene ozimého vykazovala podobný charakter jako u ječmene jarního. Počáteční hodnota výnosového trendu ječmene ozimého činila v roce 1961 (1,90 t/ha) a jeho konečná hodnota trendu byla k roku 2012 (4,10 t/ha). Z obilovin, u kterých byla provedena výnosová studie měl nejpozvolněji stoupavý výnosový trend oves setý, u kterého počáteční hodnota trendu výnosu byla v roce 1961 (2,08 t/ha) a konečná hodnota trendu výnosu činila v roce 2012 (2,70 t/ha).

Z analýz vybraných meteorologických prvků (teplota vzduchu, úhrn srážek) pro jednotlivé roky 1961 - 2012 a jejich jednotlivých měsíců je patrná jejich značná variabilita ve sledovaném časovém období. Z hodnocení variability teploty vzduchu vyplývá nárůst průměrné teploty vzduchu ve Středočeském kraji o 0,030 °C za rok a o 0,30 °C za dekádu. Dále také došlo k nárůstu průměrné teploty vzduchu pro všechny měsíce v roce za období 1961 - 2012. Největší nárůst průměrné teploty vzduchu byl zaznamenán u měsíce ledna a to o 0,48 °C za dekádu. Oproti tomu nejnižší nárůst průměrné teploty vzduchu byl u měsíce září a to jen 0,04 °C za dekádu.

Z hodnocení variability srážkových úhrnů z období 1961 - 2012 vyplývá, že došlo k nárůstu srážkového úhrnu v oblasti Středočeského kraje. Z lineárního trendu pro období 1961 - 2012 je patrné zvýšení úhrnu srážek o 1,177 mm/rok a o 11,77 mm/10let na území Středočeského kraje. Bylo možné zaznamenat jak nárůst tak i pokles úhrnu srážek v závislosti na konkrétním měsíci. Největší nárůst úhrnu srážek byl u měsíce července a činil +6,55 mm za dekádu. Další důležité měsíce s vyšším úhrnem srážek byly měsíce leden, březen, červen, září a prosinec. Oproti tomu úhrn srážek v měsíci květnu měl klesavou tendenci -2,32 mm za dekádu, stejně tak pak měsíc duben, který měl klesavou tendenci -1,92 mm za dekádu a konečně i měsíc listopad, který měl klesavou tendenci -0,73 mm za dekádu.

Zvýšení průměrné roční teploty vzduchu a zvýšení variability srážkových úhrnů ve Středočeském kraji odpovídá publikované klimatické změně v rámci České republiky.

Velké množství autorů se shoduje s výsledky výzkumu diplomové práce. Zemědělské výnosy jsou čím dál tím více ovlivňovány variabilitou meteorologických prvků. Do budoucna se díky častým výkyvům meteorologických jevů předpokládá, že se bude zvyšovat negativní vliv jejich působnosti. Z toho důvodu je žádoucí zmínit, jaká opatření by se měla zabezpečit pro snížení dopadů variability počasí a meteorologických prvků na výnos zemědělských plodin v budoucnosti:

1. Klimatické změny budou vést ke snaze vyhnout se horkým letním dnům tím, že se plodiny budou sázeny časněji, aby byla co nejlépe využita vlhkost ze srážek vzniklých v zimním období. S tím je však spojeno prodloužení růstu plodin (od doby setí až po sklizeň). Z daného důvodu bude nutné zaměřit větší důraz na orební postupy, které jsou zaměřeny hlavně na udržení půdní vlhkosti a zabezpečují eliminaci vodní a větrné eroze.

2. Adaptační opatření orebních postupů se velmi podstatně projeví na pěstování ozimých obilovin. Při prodloužení doby vegetace bude nutné doplnit do půdy potřebné živiny prostřednictvím hnojení. Takový postup, ale z hlediska dopadu na životní prostředí může mít negativní vliv doprovázený únikem dusičnanů a sloučenin fosforu do okolního prostředí.

3. Problém by mohly eliminovat nově vyvinuté kultivary plodin a sledování adaptací škůdců a chorob na klimatické změny.

4. Rentabilitu zemědělství by mohl do značné míry ovlivnit celorepublikový plán sezónních předpovědí průběhu počasí pro významné zemědělské lokality. Takový plán by měl indikovat pravděpodobnost výskytu extrémních jevů a meziroční variabilitu srážek a teploty vzduchu.

8 SEZNAM LITERATURY

- Ash, G. H. B., Shaykewich, C. F., Radatz, R. L. 1992. Moisture risk assessment for spring wheat on the eastern prairies: a water – use simulation model. *Climatological Bulletin*. 26. 64-78.
- Baltenberger, J., Colville, D. C., Frey, K. J. 1987. Genotypic variability in response of oat to delayed sowing. *Agronomy Journal*. 79 (5). 813-816.
- Bates, B. C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S., Ppalutikof, J. P. (EDS.). 2008. *Climate Change and Water*. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC Secretariat. 210 pp.
- Brázdil, R. 1978. Stupeň nerovnoměrnosti ročního chodu srážek. *Sborník Československé společnosti zeměpisné*. 83 (2). 91 – 103.
- Brázdil, R., Rožnovský, J. 1996. Impacts of potential climate change on agriculture of the Czech republic - Country study of climate change for the Czech republic, 22. Český hydrometeorologický úřad. Praha. ISBN: 80-85813-31-9.
- Brázdil, R., Štěpánek, P. 1998. Kolísání teploty vzduchu v Brně v období 1891-1995. *Geografie – Sborník České geografické společnosti*. 1003. 13-30.
- Brázdil, R., Budíková, M. 1999. An urban bias in air temperature fluctuations at the Klementinum. *Prague. Atmospheric Environment*. 33. 4211-4217.
- Brázdil, R., Valášek, H. 2001. Popis klimatu Moravy od Kryštofa Passyho z roku 1797. *Geografie – Sborník České geografické společnosti*. 1006. 234-250.
- Brázdil, R., Valášek, H. 2002a. Meteorologická měření a pozorování v Zákupech v letech 1718-1720. *Geografie – Sborník České geografické společnosti*. 107. 1-22
- Brázdil, R., Valášek, H., Sviták, Z., Macková, J. 2002b. History of Weather and Climate in the Czech Lands V. Instrumental meteorological measurements in Moravia up to the end of the eighteenth century. *Masaryk University. Brno*. 250 s.
- Brázdil, R., Valášek, H., Macková, H. 2005a. Meteorologická pozorování v Brně v první polovině 19. století: historie počasí a hydrometeorologických extrémů. *Archiv města Brno. Brno*. 450 s. ISBN: 8086736008.
- Brázdil, R., Valášek, H., Macková, J. 2005b. Meteorologická pozorování v Brně v první polovině 19. Století. Historie počasí a hydrometeorologických extrémů. *Archiv města Brna. Brno*. 452 s.

- Brázdil, R., Kirchner, K., Březina, L., Dobrovolný, P., Dubrovský, M., Halášová, O., Hostýnek, J., Chromá, K., Janderková, J., Kaláb, Z., Kepřtová, K., Kotyza, O., Krejčí, O., Kunc, J., Lacina, J., Lepka, Z., Létal, A., Macková, J., Máčka, Z., Muliček, O., Roštínský, P., Řehánek, T., Seidenglanz, D., Semerádová, D., Sokol, Z., Soukalová, E., Štekl, J., Trnka, M., Valášek, H., Věžník, A., Voženílek, V., Žalud, Z. 2007. Vybrané přírodní extrémny a jejich dopady na Moravě a ve Slezsku. Masarykova univerzita., Český hydrometeorologický ústav., Ústav geoniky Akademie věd ČR. Brno., Praha., Ostrava. 432 s.
- Brázdil R., Trnka M., Dobrovolný P., Chromá K., Hlavinka P., Žalud Z. 2009. Variability of droughts in the Czech Republic, 1881–2006. *Theoretical and Applied Climatology*, 97. 297 – 315. Elsevier. ISSN: 1434-4483.
- Brouwer, J.B. 1985. Crop physiological approaches to increased productivity in oats. In: *Proceedings of the second international oats conference, Aberystwyth. July 15.-18.* 159.
- Collville, D. C., Frey, K. J. 1986. Development rate and growth duration of oats in response to delayed sowing. *Agronomy Journal*, 78 (3). 417-421.
- Coufal, L., Langová, P., Míková, T. 1992. Meteorologická data na území ČR za období 1961 - 1990. *České hydrometeorologický ústa*. Praha. 160 s. ISBN:8090126251.
- Cisar, G., Shands, H. L. 1978. Floral initiation and development in cultivars of oats. *Crop science* 18. 461-464.
- Červený, J. et al. 1984. *Podnebí a vodní režim ČSSR*. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 416 s.
- Červený, J., Böhm, B., Bubeníčková, L., Buchtele, J., Čulík, J., Daňková, H., Friga, J., Hladný, J., Kříž, V., Kurpelová, M., Nedelka, M., Šebek, O., Škulec, Š., Vaniček, K., Vitoslavský, V., Závodský, D. 1984. *Podnebí a vodní režim ČSSR*. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 416 s.
- Čihař J., Formánek J., Hodková Z., Kholová H., Moravec Z., Pflieger V., Skalická A., Toman J. & Zpěvák J. 1976. *Příroda v ČSSR. Práce*. Praha. 384 s.
- Day, A. D., Thompson, R. K. 1975. Effecte of soil moisture regimes on the growth of barley. *Journal of Agricultural Science*. 67 (3). 430-433.
- Dvořák, P., Bicanová, E. (2007). Brambory v systému ekologického zemědělství. *Ekologické zemědělství 2007*. 131 – 133. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. 91 s.
- Faměra, O. 1993. *Základy pěstování ozimé pšenice*. Institut výchovy a vzdělávání ministerstva zemědělství České republiky. Praha. 51 s. ISBN 80-7105-045-8.

- Frey, K. J. 1959. Yield components in oats. II. The effect of nitrogen fertilization. *Agronomy journal*. 51 (10). 605-608.
- Frimmel, G. 1979. Vernalisationseffekte bei Sommerhafer. *Z. Acker - und Pflanzenbau*. 148. 263-274.
- Götz, A. 1959. Über die Bedeutung später Nährstoffgaben für die Ertragsbildung des Hafers. Dissertation. Hohenheim.
- Grau, J. 2002. Trávy: lipnicovité, šáchorovité, sítinovité a rostliny podobné travám Evropy. Vyd. 2. Praha: Ikar. 287 s. ISBN 80-242-0783-4.
- Gregor, A. 1929. Tepelné poměry Československa. Státní ústav meteorologický. Praha. 55 s.
- Griffiths, D. J. 1961. The influence of different daylengths on ear emergence and seed setting in oats. *J. Agric. Sei., Camb.* 57. 279-288.
- Haberle, J. 2008. Redakčně upravená závěrečná zpráva o řešení projektu NAZV QF4176 (2004-2007). Výzkumný ústav rostlinné výroby Praha. Praha. 105-110 s.
- Haberle, J. 2010. Simulace vlivu diferencované zásoby vody po kvetení na výnos zrna ozimé pšenice. In: Salaš, P. (ed.). *Rostliny v podmínkách měnícího se klimatu*. Lednice 20. – 21. 10. 2011. Úroda, vědecká příloha. 80-86. ISSN 0139-6013.
- Haberle, J. 2011. Simulace vlivu diferencované zásoby vody po kvetení na výnos zrna ozimé pšenice. In: Salaš, P. (ed.). *Rostliny v podmínkách měnícího se klimatu*. Lednice 20. – 21. 10. 2011. Úroda, vědecká příloha. 80-86. ISSN 0139-6013.
- Hadjichristodoulou, A. 1981. The effects of annual precipitation and its distribution on grain yeild of dryland cereals. *Journal of Agricultural Science*. 99 (2). 261-270.
- Haman, H. J. 1989. Schwerpunkte des Qualitätsorientierten Produktions Verfahrens Hafer. *Feldwirtschaft*. 269-271.
- Hayes, M., Dubrovský, M., Trnka, M., Svoboda, M., Wilhite, D., Žalud, Z., Semerádová, D. 2005. Application of draugh indices for the changed chmate. *Eos Trans. AGU*, 86 (52), Fall Meet Suppl., Abstract H33B-1387.
- Heim, Richard R. 2002. A Review of Twentieth-Century Drought Indices Used in the United States. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 83, 1149–1165. A Review of Twentieth-Century Drought Indices Used in the United States Richard R. Heim Jr.
- Hlavinka, P., Trnka, M., Semerádová, D., Žalud, Z., Rischbeck, P. 2006. Vztah mezi meteorologickým suchem a regionálními výnosy vybraných plodin. In: *MendelNet'06 Agro*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Agronomická fakulta. Brno. ISBN: 80-7157-999-8.

- Hlavinka, P., Trnka, M., Semerádová, D., Dubrovský, M., Žalud, Z., Možný, M. 2009. Effect of drought variability of key crops in Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*. 149. 431-442.
- Honza, J. 1987. Vliv navoděného prostředí na výši reprodukce a biologickou hodnotu osiva (Autoreferát disertace). Vysoká škola zemědělská. Brno.
- Hora, P. 2008. Výskyt holomrazů na jižní Moravě v období 1961 – 2008. [CD-ROM]. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds.). Bioklimatologické aspekty hodnocení procesů v krajině, Mikulov 9. – 11.9. 2008. Český hydrometeorologický ústav. Brno. ISBN: 80-86690-55-5.
- Horčíčka, P., Čapek, J., Kocourková, Z., Bížová, I., Veškrna, O., Bláha, T., Skala, R., Sedláček, T. 2012. Pšenice s jistotou. Kurent. České Budějovice. 37 s. ISBN 978-80-87111-31-4.
- Hrudová, E. 2011. Abionozologie pro rostlinolékaře. [cit. 10. 4. 2014]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_291_sklad/frvs/hrudova/index.htm.
- Hruška, L. 1962. Abeceda pěstování brambor. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 210 s.
- Huth, R., Pokorná, L. 2004. Trendy jedenácti klimatických prvků v období 1961-1998 v České republice. *Meteorol Zpr.* 57. 168-178.
- Huth, R., Pokorná, L. 2005. Simultaneous analysis of climatic trends in multiple variables: an example of application of multivariate statistical methods. *Int. J. Climatol.* 25. 469-484.
- Chládová, Z., Kalvová, J., Raidl, A. 2007. The observed changes of selected climate characteristics in the period 1961-2000. *Meteorol. Čas.* 10. 13-19.
- Chloupek, O., Hrstková, P. 2004. Reakce našich plodin na vnější vlivy během posledních 80 let. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Brno. 22 s. Dostupné z: <http://www.phytosanitary.org/old/projekty/2003/vvf-07-03.pdf>.
- Kirby, E. J. M. 1969. The effects of daylength upon the development and growth of wheat, barley and oats. *Field Crop Abstracts*. 22. 1-7.
- Klabzuba, J., Kožnarová, V. 1996. O mezoklimatu a mikroklimatu v agrometeorologii. Praha. 52 s.
- Klabzuba, J., Kožnarová, V., Voborníková, J. 1999. Hodnocení počasí v zemědělství. ČZU v Praze. 125 s.
- Klinck, H. R., Sim, S. L. 1976. The influence of source of photosynthate and sink size on grain yield in oats (*Avena sativa* L.) *Ann. Bot.* 40 (168). 785-793.
- Kohl, E.; Hansel, A. 1988. Die Kornzahl je Ähre machts. *Bauernecho*. 62 (5).

- Kožnarová, V., Klabzuba, J. 1993. Agrometeorologické hodnocení ročníku nebo kratšího období. II. Část. Sborník VŠZ. Praha.
- Kožnarová V., Klabzuba, J. 2002. Doporučení WMO pro popis meteorologických, resp. klimatologických podmínek definovaného období. In: Rostlinná výroba, ČAZV – ÚZPI. 4 (48). 190-192 s.
- Kožnarová, V., Klabzuba, J., Potop, V. 2008. Možnosti využití klasických i nestandardních agrometeorologických charakteristik pro zemědělské účely. In: Hodnocení zemědělského půdního fondu v podmínkách ochrany životního prostředí ÚZEI. Praha. 98-108.
- Krečmer V. 1980. Československá bioklimatologická společnost při ČSAV. Československá akademie věd. Československá bioklimatologická společnost. Akademie věd : Praha. 242 s.
- Krška, K., Šamaj, F. 2001. Dějiny meteorologie v českých zemích a na Slovensku. Univerzita Karlova. Nakladatelství Karolinum. Praha. 568 s.
- Křišťan, F., Strnad, P., Vrkoč, F. 1973. Vliv některých agrotechnických opatření a jejich vztahů na výnos ovsa. Rostlinná výroba 6. 641-649.
- Květoň, V. 2001. Normály teplot vzduchu na území České republiky v období 1961 – 1990 a vybrané teplotní charakteristiky období 1961 – 2000. Český hydrometeorologický ústav. Praha. 40 s. ISBN: 8085813912.
- Květoň, V., Žák, M. 2005. Automated Classification of Climate Regions for komplex Climatology Classification in GIS Environment. European Geosciences Union – General Assembly. Vienna. 24 – 29 April.
- Květoň, V., Voženílek, V. 2011. Klimatické oblasti Česka: Klasifikace podle Quitta za období 1961 – 2000. Univerzita Palackého v Olomouci a Český hydrometeorologický ústav. Olomouc a Praha. 20 s. ISBN: 9788024428130 (UP) a ISBN: 9788086690896 (ČHMÚ).
- Lavalle, C., Micale, F., Houston, T. D., Camia, A., Hiederer, R., Lazar, C., Conte, C., Amatulli, G., Genovese, G. 2009. Climate change in Europe. 3. Impact on agriculture and forestry. A review. Agronomy for Sustainable Development. 2009, vol. 29, no. 3. p. 433–446.
- Lekeš, J., Benada, J., Brückner, F., Kopecký, M., Lekeš, J., Minařík, F., Přikryl, K., Voňka, Z., Zeniščeva, L. 1985. Ječmen. SZN Praha. 312 s.
- Lekeš, J. et al. 1988. Metodiky pro zavádění výsledků výzkumu do zemědělské praxe. Technologie pěstování a agrobiologická kontrola porostů obilovin. ÚVTIZ Praha. 5. 49-54.

- Lewicki, S., Mazurek, J. 1967. Owies. Paftstwowe wydawnictwo rolnicze i lesne. Warszawa. 105 p.
- Lipavský, J. 1984. Stanovení optimálních úrovní výnosových prvků ovsu. Rostlinná výroba. 30 (10). 1059-1070.
- Lücke, J. 1982. Untersuchungen über den Einfluss der Saatzeiten nach dem siderischen Kalender auf Ertrag und Qualität von Hafer und Kartoffeln. (Dissertation) Giessen.
- Marko, F., Miština, T., Kováč, K., Mačuchová, K., Kandra, M., Bizík, J., Gromová, Z., Karabínová, M. 1992. Agrotechnické opatrenia pri pestovaní ozimnej pšenice. ÚVTIP. Nitra. 31 s. ISSN 0231-9470.
- Menzel, A., Sparks, T. H., Estrella, N., Koch, E., Aasa, A., Ahas, R., Almkübler, K., Bissolini, P., Braslavská, O., Briede, A., Chmiellewski, F. M., Crepinsek, Z., Curnel, Y., Dahl, Å., Defila, C., Donnelly, A., Fillela, Y., Jatzak, K., Måge, F., Mestre, A., Nordli, Ø., Peñuelas, J., Pirinen, P., Remišová, V., Scheinfinger, H., Striz, M., Susnik, A., Van Vliet A. J. H., Wielgolaski, F. E., Zach, S., Zust, A. 2006. European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*. vol. 12 iss. 10 p.
- Míková, T., Coufal, L. 1999. Tlak vzduchu na území ČR v období 1961 – 1990. Český hydrometeorologický ústav. Praha. 66 s. ISBN: 8085813718.
- Mitrofanov, A. S., Mitrofanova, K. S. 1967. Oves. Nakladatelství kolos. Moskva. 285 s.
- Moliba, J. C., Huth, R., Beranová, R. 2006. Roční chod trendů klimatických prvků v České republice (Annual cycle of trends in climatic elements in the Czech Republic). *Meteorol Zpr.* 59. 129-134.
- Molnárová, J., Žembery, J. 1999. Obilniny II. Pestovanie jarných hustosiatych obilnín a jačmeňa ozimného. ÚVTIP Nitra. 102 s. ISBN 80-85330-65-2.
- Nátrová, Z., Smoček, J. 1978. Produktivita klasu obilovin. Studijní informace - Základy vědy v zemědělství. ÚVTIZ Praha. 41 s.
- Netopil, R., Brázdil, R., Demek, J., Prošek, P. 1984. Fyzická geografie I. Státní pedagogické nakladatelství. Praha. 273 s.
- Nilan, R. A., Ullrich, S. E. 1993. Barley: Taxonomy, origin, distribution, production, genetics, and breeding. p. 1-29. In: MacGregor, A., Bahatty, R. S. (ed.) *Barley: Chemistry and Technology*. AACC. St. Paul, MI.
- Norden, A. J., Frey, K. J. 1959. Factors associated with lodging resistance in oats. *Agr. Journal*. 51 (5). 335-338.

- Oehmichen, J. 1986. Pflanzenproduktion. Band II. Produktionstechnik. Verlag Paul Parey. Berlin und Hamburg. 608 p.
- Orlandini, S., Nejedlik P, Eitzinger J, Alexandrov V, Toullos L, Calanca P, Trnka M, Olesen J. E. (2008). Impacts of Climate Change and Variability on European Agriculture. In: Trends and Directions in Climate Research: Annals of the New York Academy of Science. New York Academy of Sciences. New York. 338 – 353.
- Pačuta, V., Černý, I., Poláček, M. 1998. Pestovanie poľných plodín. ÚVTIP-NOI. Bratislava. 128 s. ISBN 80-85330-43-1.
- Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P., Van Der Linden, P. J., Hanson, C. E. (EDS.). 2007. Technical Summary. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 23–78 p.
- Pejml, K. 1975. 200 let meteorologické observatoře v pražském Klementinu. Hydrometeorologický ústav. Praha. 80 s.
- Petr, J. 1977. Podklady pro vypracování závazné technologie pěstování ovsa. Úroda. 25 (3). 135-137.
- Petr, J., Černý, V., Hruška, L., Baier, J., Ferik, J., Fuciman, L., Halva, E., Hosnedl, V., Hrabě F., Květ, J., Minx, L., Nátr, L., Nátrová, Z., Nečas, J., Ondřejová, H., Regal, V., Repka, J., Rychnovská, M., Seget'a, V., Šroller, J., Úlehla, J., Vidovič, J., Vondrys, J., Vrkoč, F., Zrůst, J. 1980. Tvorba výnosu hlavních poľných plodín. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 447 s.
- Petr, J. et al. 1983. Biologie vývoje a tvorba výnosu u obilovin. MDN Vysoká škola zemědělská v Praze. Praha 135 s.
- Petr J., Baier J., Bureš R., Coufal V., Fábry A., Hosnedl V., Hrbek J., Hruška L., Klabzuba J., Klír J., Kocourek F., Kohout V., Kott I., Nátr L., Prášil I., Pulkrábek J., Regal V., Starý J., Stibral J., Šroller J., Švachula V., Úlehla J., Valter J., Vašák J., Věchet L., Wickle H. J., Zámečník J. 1987. Počasí a výnosy. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 368 s. ISBN 07-139-87.
- Petr, J., Capouchová, I., Faměra, O., Žídková, D., Zimolka, J., Pařízek, P., Jurečka, D., Řezáč, A., Psota, V., Košař, K., Bezděk, V. 1995. Zemědělec: Speciální příloha k pěstování, sklizni a zpracování sladovnického ječmene. ZN - 1. Zemská. Praha. 46 s.
- Petr, J., Húska, J. a kol. 1997. Speciální produkce rostlinná, I (Obecná část a obiloviny) ČZU Praha, MZLU Brno, JU Č. Budějovice, SPU Nitra. 193 s.

- Pišoft, P., Kalvová, J., Brázdil, R. 2004. Cycles and trends in the Czech temperature series using wavelet transforms. *Int. J. Climatol.* 24. 1661-1670.
- Potop, V., Soukup, J., Možný, M. 2011. Drought at various timescales for secular lowland climatological stations in the Czech republic. *Meteorological bulletin* 64, 6. Český hydrometeorologický ústav. Praha. 177 – 187. ISSN: 0026-1173.
- Prášil, I., Hronková, M., Hrstková, J. 2011. Srovnání fyziologických a molekulárně biologických metod použitelných pro hodnocení citlivosti pšenice a ječmene k suchu a posouzení jejich vhodnosti pro selekci tolerantních genotypů. Redakčně upravená závěrečná zpráva projektu NAVZ za roky 2009 – 2011: číslo projektu QH91129. Mendelova univerzita v Brně / Agronomická fakulta, Výzkumný ústav rostlinné výroby, Biologické centrum AV ČR. Brno. 32 s.
- Prugar J., Hraška Š. 1989. Kvalita jačmeňa. *Príroda*. Bratislava. 226 s. ISBN 80-07-00353-3.
- Prugar, J. a kol. 2008. Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. Tisíciletí. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský. Praha. 332 s. ISBN: 978-80-86576-28-2.
- Quitt, E. 1971. Klimatické oblasti Československa. Geografický ústav ČSAV. Brno. 73 s.
- Robock, A., Vinnikov, K. Y., Srinivasan, G., Entin, J.K., Hollinger, S. E., Speranskaya, N. A., Liu, S., Namkhai, A. 2000. The global soil moisture data bank. *Bulletin of the American Meteorological Society.* 81. 1281-1299.
- Rožnovský, J. 1988. Relation of Agrometeorological Indices to Phenophase Length in Cereal Crops. In: *Crop Farming Research - Traditions, Present Level and Prospects*, Halle n/S. (NDR). 5 s.
- Rožnovský, J., Jůzl, M., Středa, T. (2006). Fenologické spektrum raných brambor. In: Rožnovský, J., Litschmann, T., Vyskot, I. (eds.). *Fenologická odezva proměnlivosti podnebí*. Brno. ISBN 80-86690-35-0.
- Rožnovský, J., Kohut, M., Chuchma, F. (2012). Sucho během roku 2012 na území vybraných okresů České republiky. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds.). *Život na venkově a trvale udržitelné zemědělské hospodaření v podmínkách extrémních projevů sucha: kulatý stůl, sborník příspěvků z konference, Rakvice, 29.11.2012*. Český hydrometeorologický ústav. Praha. 85 s. ISBN: 978-80-87577-11-0.
- Sobíšek, B. 2000. Rychlost a směr větru na území České republiky v období 1961 – 1990. Český hydrometeorologický ústav. Praha. 87 s. ISBN: 8085813793.

- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Marquis, M., Averyt, K., Tignor, M. M. B., Leroy Miller, H., Chen, Z. 2007. Climate change 2007: The physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge United Kingdom and New York. 996 p.
- Strnad, P., Křišťan, F., Vrkoč, F., Černý, V., Šimon, J. 1972. Soustava pěstitelských opatření pro dosažení maximálních výnosů obilnin. Metodika pro zavádění výsledků výzkumu do praxe, 11 – 12. Československá akademie zemědělská – Ústav vědeckotechnických informací. Praha.
- Špaldon, E., Andraščík, M., Bechyně, M., Belej, J., Fric, V., Fuciman, V., Hruška, L., Krausko, A., Petr, J., Rybáček, V., Váša, F., Votoupal, B., Vrzalová, J. 1982. Rastlinná výroba. Příroda. Bratislava. 682 s.
- Štěpánek, P. 2004. Homogenizace teploty vzduchu na území České republiky v období přístrojových pozorování. Český hydrometeorologický ústav. Praha. 56 s. ISBN: 80866906.
- Teltscherová, L. 1957. K otázce stadijnosti čsl. odrůd žita a ovsa. Vědecká práce, VURV Praha Ruzyně.
- Tolasz, R., Rožnovský, J., Valter, J., Kohout, M., Kott, I. 2004. Hodnocení sucha roku 2003 na území ČR. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (ed.). Seminář „Extrémy počasí a podnebí“. Brno 2004. ISBN 808669011.
- Tolasz, R., Brázdil, R., Bulíř, O., Dobrovolný, P., Dubrovský, M. Hájková, L., Halásová, O., Hostýnek, J., Janouch, M., Kohut, M., Krška, K., Křivancová, S., Květoň, V., Lepka, Z., Lipina, P., Macková, J., Metelka, L., Míková, T., Mrkvica, Z., Možný, M., Nekovář, J., Němec, L., Pokorný, J., Reitschläger, J. D., Richterová, D., Rožnovský, J., Řepka, M., Semerádová, D., Sosna, V., Stříž, M., Šercl, P., Škáchová, H., Štěpánek, P., Štěpánková, P., Trnka, M., Valeriánová, A., Valter, J., Vaníček, K., Vavruška, F., Voženílek, V., Vráblík, T., Vysoudil, M., Zahradníček, J., Zusková, I., Žák, M., Žalud, Z. 2007. Atlas podnebí Česka. Český hydrometeorologický ústav a Univerzita Palackého v Olomouci. Praha a Olomouc. 256 s. ISBN 978-80-86690-26-1.
- Trnka, M., Hlavinka, p., Semerádová, D., Dubrovský, M., Žalud, Z., Možný, M. 2007. Agricultural drouc and spring barley yields in the Czech Republic. Plant, Soil and Environment 53 (7). 306-316.

- Trnka, M., Kyselý, J., Možný M, Dubrovský, M. (2009a). Changes in Central-European soil-moisture availability and circulation patterns in 1881 – 2005. *International Journal of Climatology* 29, 5. 655 – 672. Royal Meteorological Society. DOI: 10.1002/joc.1703.
- Trnka, M., Olesen, J. E., Kersebaum, K. C., Skjelvåg, A. O., Eitzinger, J., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., Rötter, R., Iglesias, A., Orlandini, S., Dubrovský, M., Hlavinka, P., Balek, J., Eckersten, H., Cloppet, E., Calanca, P., Gobin, A., Vučetić, V., Nejedlik, P., Kumar, S., Lalic, B., Mestre, A., Rossi, F., Kozyra, J., Alexandrov, V., Semerádová, D., Žalud, Z. 2011. Agroclimatic conditions in Europe under climate change. In: *Global Change Biology* 17, 7. Blackwell Publishing Ltd. 2298 – 2318. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02396.x.
- Ubelhor, W. et al. 1981. Die Ertragsstruktur bei Hafer Dargestellt anhand der Datenbasis ISPF LANZ. *Z. Acker - und Pflanzenbau*. 150. 313-329.
- Uhrecký, I., Svoboda, J. 1985. Vliv meteorologických faktorů na růst, vývoj a výnosy zemědělských plodin. Závěrečná zpráva VÚ VI-4-10/2. VŠZ Brno. 109s.
- Uhrecký, I. A kol. 1990. Vliv meteorologických faktorů na tvorbu výnosu zrna ječmene jarního. Závěrečná zpráva VÚ VII-3-2/1. VŠZ Brno. 48 s.
- Ulmann, L. 1982. Pěstování ovsa v podhorských a horských oblastech. *Úroda*. 30 (2). 59-60.
- Ulman, L. 1989. Vliv výsevků a stupňování dávek dusíku na výnos krmného ovsa. *Rostlinná výroba*. 35(11). 1211 – 1220.
- Van Der Schrier, G., Briffa, K. R., Jones, P. D., Osborn, T. J. 2006. Summer monture variability Gross Europe. *J. Clim.* 19. 2818-2834.
- Vokál, B., Čepl, J., Hausvater, E., & Rasocho, V. 2003. Pěstujeme brambory. *Čwská zahrada* 41. Grada Publishing a.s. Praha. 103 s. ISBN: 80-24705-67-2.
- Volf, F., Šebánek, J., Procházka, S., Sladký, Z., Kubajtko, F., Kropáč, Z. 1988. *Zemědělská botanika*. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 984 s.
- Voženílek, V., Tolasz, R., Valeriánová, A., Míková, T. 2006. Nový Atlas podnebí Česka pro současný fyzickogeografický výzkum v ČR. Sborník příspěvků 22. Sjezdu ČGS, 29. – 31. 8. 2006.
- Waloszyk, K., Focke, R. 1980. Ergebnisse zur Ertrags und Stoffbildungsprozess bei Sommerweizen in Abhängigkeit von Temperatur und Strahlung. *Arch. Züchtungsforch.* Berlin. 10 (4). 237-246.
- Zimmermann, G. 1980. Strass, F.: Ergebnisse dreijähriger N-Spät düngungsversuche bei Hafer. *Bayer. Landw. Jahrbuch*. 57 (2). 200-209.

Zimolka, J. 2005. Pšenice : pěstování, hodnocení a užití zrna. Profi Press. 180 s. ISBN 80-86726-09-6.

Zimolka, J. a kol. 2006. Ječmen – formy a užitkové směry v České republice. Praha: Profi Press. 200 s. ISBN:80-86726-18-5.

Elektronické zdroje

Historická data – meteorologie a klimatologie [online]. Český hydrometeorologický ústav. 1961 - 2012. Dostupné z:

<http://www.chmi.cz/portal/dt?portal_lang=cs&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data&last=false>.

Územní srážky [online]. Český hydrometeorologický ústav. 1961 - 2012. Dostupné z:

<http://www.chmi.cz/portal/dt?menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_5_Uzemni_srazky>.

Územní teploty [online]. Český hydrometeorologický ústav. 1961 - 2012. Dostupné z:

<http://www.chmi.cz/portal/dt?menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_4_Uzemni_teploty>.