

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů
Katedra Agroekologie a biometeorologie



**Očekávané dopady změny klimatu v ČR a jejich vztah k rozšiřování, růstu a
vývoji ovocných dřevin**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Markéta Hanzlíková

Vedoucí práce: Dr. Vera Potopová

2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Očekávané dopady změny klimatu v ČR a jejich vztah k rozšiřování, růstu a vývoji ovocných dřevin vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii.

V Praze dne:

podpis autora práce

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala své vedoucí diplomové práce Dr. Veře Potop za trpělivé vedení při psaní této práce, cenné rady a odborný dohled. Velký dík patří mé rodině, mému partnerovi, a také Karolíně Chmelíkové za veškerou podporu a povzbuzení.

Souhrn

Tato diplomová práce je věnována sledování vlivu změn klimatu na zemědělství a zejména ovocnářství na území České republiky a Středočeského kraje. Sleduje spojitost mezi výkyvy územních teplot a variabilitou výnosu vybraných ovocných dřevin (jabloň, hrušeň, meruňka, broskvoň) v období 1977 - 2012. V teoretické části jsou shrnuty a porovnány různé pohledy na vliv změn klimatu na různé oblasti života s vyšším důrazem na dopady na zemědělství, ovocnářství a fenologický vývoj ovocných dřevin. Byly porovnány poslední zprávy Mezinárodního panelu pro změnu klimatu (IPCC) s nejnovější zprávou vydanou v roce 2014. Byla porovnána různá mitigační a adaptační opatření Evropské unie a České republiky a srovnány výsledky různých fenologických výzkumů zkoumající vliv změny klimatu na fenologický vývoj dřevin. V experimentální části byly zpracovány datové soubory územních teplot a výnosů vybraných dřevin v České republice a Středočeském kraji v letech 1977 – 2012. U vybraných dřevin byla většina let s vysokým výnosem zjištěna od 90. let 20. století, což naznačuje současný pozitivní efekt stoupajícího trendu teplot na území České republiky vlivem změny klimatu. Trend výnosu dřevin je kromě výnosu broskvoně ve Středočeském kraji mírně klesající, avšak tento trend není příliš statisticky významný. Nejvýraznějšími roky z hlediska výnosu byly za celé období roky 1983 a 1981. Rok 1983 se vyznačoval velmi vysokými výnosy u všech vybraných ovocných dřevin díky velmi teplému jaru a létu současně velmi vysokým počtem letních dnů a také s horkými vlnami. U všech sledovaných dřevin se tento rok objevil mezi prvními třemi roky s nejvyššími odchylkami výnosu od trendu. Naopak v roce 1981 byla většina úrody ovoce v celé Evropě zničeno pozdními mrazíky. U broskvoní a meruněk dosáhly ztráty až 98 %.

Klíčová slova

Dopady, adaptace, strategie, změna klimatu, IPCC, teplomilné druhy ovocných dřevin, meteorologické extrémy

Summary

This thesis is focused to monitoring climate change effects on agriculture and particularly fruit growing in the Czech Republic and Central Bohemian Region. The relationship between the variability of month average air temperature and yield variability of selected fruit trees (apple, pear, apricot and peach) in the period 1977 – 2012 has been investigated. In theoretical part is summarized and compared various views on effect of climate change on different areas of human life with greater focus on impacts on agriculture, fruit growing and phenology changes of fruit trees. The latest Assessment Reports of International Panel for Climate Change (IPCC) were compared with the newest Report AR5 published in 2014. Different mitigation and adaptation measures in European Union and the Czech Republic were compared. Results of other authors evaluating impacts of climate change on phenology of fruit trees were compiled. In experimental part, data files of month average air temperature and yield values of selected fruit trees in the Czech Republic and Central Bohemian Region in the period 1977 – 2012 were analyzed. Most of the selected fruit trees report higher yield in greater number of years from nineties of the 20th century. This progress denotes current trend of positive effect of rising month average air temperature trend due to climate change in the Czech Republic. Selected fruit trees yield trends are (except peach yield values in Central Bohemian Region) slightly decreasing, Nevertheless, this is not statistically significant. The most significant years in terms of yield values were in the period years 1983 and 1981. Year 1983 was characterized by very high yield at all selected fruit trees thanks to extremely warm spring and summer, when extremely high number of summer days and a few heat waves occurred. All selected fruit trees had this year in top three years with the greatest yield deviation from trend. On the other hand, in 1981 was most of the fruit yield devastated by late frosts in Europe. Peach and apricot reached lost till 98 %.

Key words

Impacts, adaptation, strategy, climate change, IPCC, thermophilic tree species, meteorological extremes

Obsah

Souhrn.....	4
Klíčová slova.....	4
Summary	5
Key words	5
Obsah	6
1. Úvod.....	8
2. Cíl práce.....	10
3. Literární rešerše.....	10
3.1. Vysvětlení pojmů.....	10
3.2. Teoretické základy k hodnocení změn klimatu pro tuto práci	12
3.2.1. Globální oteplování a jeho vliv na výskyt teplotních anomálií.....	12
3.2.2. Vliv severoatlantické oscilace a ENSO na střední Evropu a ČR	14
3.3. Analýza očekávané změny evropského klimatu dle zpráv IPCC 2007 a 2013	16
3.3.1. Fyzikální základy pro hodnocení vlivu změn klimatu	16
3.3.2. Dopady, adaptace a zranitelnost.....	17
3.4. Adaptační strategie EU a ČR na změnu klimatu.....	20
3.5. Očekávané dopady změny klimatu v EU a ČR	26
3.5.1. Dopady změn klimatu na zemědělství	27
3.5.2. Vliv změn klimatu na rostlinné organismy	30
3.5.3. Vliv sucha na rostlinné organismy a zemědělství	31
3.6.1. Vliv změn klimatu na variabilitu nástupu fenologických fází ovocných stromů.....	38
3.6.2. Analýza fenologických fází vybraných ovocných dřevin	43
3.6.2.1. Jablň domáci (Malus domestica Borkh.).....	43
3.6.2.2. Hrušeň obecná (Pyrus Communis L. Gaert)	45
4. Data a metody	49
5. Výsledky	52
5.1. Klimatická charakteristika období 1977 – 2012	52
5.1.1. Popisná statistika a trend odchylek od dlouhodobého průměru v měsících vegetačního vývoje.....	52

5.1.2.	Trend odchylek od dlouhodobého průměru v měsících vegetačního klidu.....	54
5.2.	Popisná statistika vybraných ovocných dřevin	55
5.2.1.	Vyhodnocení popisné statistiky a trendu výnosů jabloně	55
5.2.2.	Vyhodnocení popisné statistiky a trendu výnosů hrušně	57
5.2.3.	Vyhodnocení popisné statistiky a trendu výnosů meruňky.....	59
5.2.4.	Vyhodnocení popisné statistiky a trendu výnosů broskvoně	60
5.3.	Odchyly výnosu od dlouhodobého trendu a roky s nejvyšším a nejnižším výnosem	62
5.4.	Korelační analýza – závislost územních teplot v období vegetace na výnosu ovocných dřevin	67
6.	Diskuze.....	73
7.	Závěr	76
	Bibliografie	78
	Seznam příloh	82

1. Úvod

Autorka práce zvolila toto téma s cílem rozvinout svou bakalářskou práci, která byla věnována výskytu a vlivu extrémních teplot v letním období. V této pokračující práci rozvádí konkrétní vliv variability územních teplot a výskytu teplotních extremit na výnos vybraných ovocných dřevin v době vegetačního období a vegetačního klidu.

V dnešní době je změna klimatu velkým tématem. Prolíná se do všech oblastí našeho života, ať už jeho dopady nebo obavy z predikcí pro budoucnost, které jsou nám předkládány odborníky, vědci a v neposlední řadě politickými elitami. Těm většinou chybí hlubší znalosti a spojitosti problematiky. Dostávají poslední slovo, když se projednávají možnosti, jak se vyrovnat změnám klimatu v socio – ekonomických oblastech. Například vydáním doporučení mitigačních a adaptačních opatření, oblastí podpory a vzdělávání zemědělců při zavádění nových technologických postupů pro ochranu před ztrátami výnosů apod. Proto, aby mohli správně rozhodovat, je třeba jim poskytnout dostatek informací. Jedním z nejkompexnějších zdrojů, ze kterých může odborná i laická veřejnost čerpat, jsou Závěrečné zprávy ze setkání Mezinárodního panelu pro změnu klimatu, který je v pravidelných intervalech svoláván, aby spojil širokou skupinu vědců, kteří společně zpracovávají nejnovější poznatky oblasti změny klimatu a vypracovávají scénáře dalšího možného vývoje. Tato práce bude zaměřena na nejnovější poznatky o dopadech změn klimatu z posledních Závěrečných zpráv a také porovná výsledky autorů v jednotlivých Zprávách a dalších publikacích.

Velmi významně může změna klimatu ovlivňovat zemědělství, v této práci je sledováno zejména pěstování ovocných dřevin. Vzhledem k narůstajícím teplotám, zejména v jarním období a mírnějším zimám je v dnešní době možné sledovat převážně pozitivní vliv na výnos plodin, a to také díky prodloužení vegetačního období. Takové změny ale mají i svá úskalí. Dříve kvetoucí ovocné dřeviny jsou mnohem citlivější k pozdním jarním mrazíkům a kvůli rychlejšímu vývoji plodů může klesat jejich kvalita. Další nevýhodou stoupající tendence výnosu je i ta, že do jisté míry je zvyšování teploty přínosem pro výnos, avšak při dosažení maximální hranice naopak dochází k prudkému poklesu výnosu. Dalším výrazným vnějším faktorem, jehož variabilita významně ovlivňuje vývoj a výnos plodin, jsou srážky. Teplota je určující zejména v prvních

fenologických fází vývoje – nasazení prvních květů a dále vývoje plodů. Stejně tak srážky, které jsou zároveň velmi určující pro kvalitu plodů.

V této práci je proveden podrobný rozbor fenologických fází vybraných dřevin a zároveň jejich proměnlivosti nástupu v nedávné minulosti. Důležitost znalostí vývoje fenologických fází ovocných dřevin a jejich posun k dřívějším či pozdějším datům v roce je klíčová pro plánování všech agrotechnických opatření, prací v sadech a také správné doby sklizně jednotlivých druhů. Proto budou kromě samotné fenologické charakteristiky jednotlivých dřevin shromážděny práce jiných autorů zabývajících se vlivem změn klimatu na variabilitu fenologických fází a trendu prodloužení vegetačního období plodin.

2. Cíl práce

Cílem práce je analyzovat vliv klimatické změny na rozvoj ovocnářství v EU a ČR. Sledovat možné využití jejího pozitivního efektu na rozšíření teplomilných druhů ovocných dřevin mimo současný areál jejich pěstování. Vypracovat analýzu postoje, strategie a legislativy EU a ČR v daném tématu. V praktické části práce bude proveden výzkum fenologických fází vybraných dřevin a souboru klimatologických dat. U sledovaných dřevin určit kritické fáze jejich ontogeneze v ročním cyklu a definovat jejich citlivost vůči meteorologickým faktorům. Bude vytvořen katalog extrémních meteorologických jevů v průběhu vegetačního období a v období vegetačního klidu.

3. Literární rešerše

3.1. Vysvětlení pojmů

Adaptace je proces vedoucí k přizpůsobení se náhlým, nebo očekávaným klimatickým změnám. Díky adaptaci je možné zmírnit nepříznivé dopady změn klimatu, nebo využít jejich případné výhody. Zásah člověka v ekosystémech může přirozenou adaptaci podpořit, nebo ji narušit.

Mitigace zahrnuje veškeré aktivity člověka vedoucí k omezení zdrojů skleníkových plynů nebo snížení jejich koncentrace v ovzduší. Mitigací jsou také zásahy omezující koncentrace a zdroje dalších znečišťujících látek, které přímo nebo nepřímo přispívají k antropogenní klimatické změně. Příklady mitigačních opatření je např. snižování zastoupení prашného aerosolu nebo snižování množství oxidu uhličitého v atmosféře pomocí metody CCS – Carbon dioxide Capture and Storage.

Změna klimatu je vnímána jako dlouhodobý vývoj klimatu jedním směrem, např. k ochlazování nebo oteplování. Změna klimatu působí po celé Zemi, avšak na různých místech se může projevat jinou intenzitou. Například ve vysokých zeměpisných šířkách je možné sledovat velmi výrazné oteplení či ochlazení. Naproti tomu v nižších zeměpisných šířkách je vliv změny klimatu méně viditelný.

Fenologie se zabývá průběhem významných pravidelně se opakujících období života rostlin a živočichů, tedy fenologickým fázím, které jsou ovlivňovány projevy vnějšího prostředí, nejvíce změnám počasí, ale i klimatu. Fenologická data tedy úzce souvisí s klimatickými podmínkami, a proto fenologie jako věda vhodně doplňuje studium klimatologie. Díky výsledkům fenologických pozorování lze snadno zpětně charakterizovat klimatické podmínky sledované oblasti. Fenologii lze dělit na fytofenologii a zoofenologii (ČMeS, 2016).

Fenologická fáze nebo fenofáze je periodickým a dobře pozorovatelným životním projevem rostlin a živočichů. Dělí se na fytofenofáze a zoofenofáze podle objektu pozorování. Je určována střídáním ročních období a změnami počasí. Mezi některé fenofáze u rostlin patří kvetení, olistění, nástup plodů a další. Fenologickým fázím jsou přizpůsobeny polní práce spojené s pěstováním polních plodin a je třeba dobře plánovat např. období setí a sklizně (ČMeS, 2016).

Roční fenologická období jsou odlišná od astronomických ročních období. Díky nim je možné lépe popsat průběh života v přírodě od jeho počátku přes plný vývin, odpočívání až po vegetační klid. V tyto období je možné sledovat počátek vegetace na jaře, plný vývin a zrání v létě, počínající klid na podzim a období vegetačního klidu v zimě. Tato období jsou závislá na fyziologických projevech rostlin a živočichů a působí na ně i měnící se prostředí. (Nekovář a Hájková, 2010)

Fenologické pozorování je sledování průběhu fenofází během roku a je prováděno na fenologických stanicích. Jsou zaznamenávány nástupy jednotlivých fází u rostlin a živočichů, dále například počátek polních prací (ČMeS, 2016).

Stanice fenologická – nástup fenologických fází je sledován na zvláštních stanicích. Společně s meteorologickými daty z nejbližších meteorologických stanic je zkoumán vztah mezi počasím, klimatem a živými organismy. Výsledky jsou přínosné pro zemědělství, lesnictví, ekologii a bioklimatologii. Fenologické stanice se často specializují na určitý druh rostlin – ovocné dřeviny, polní plodiny nebo planě rostoucí rostliny. V České Republice jsou v provozu pouze stanice s fytofenologickým pozorováním (ČMeS, 2016).

3.2. Teoretické základy k hodnocení změn klimatu pro tuto práci

3.2.1. Globální oteplování a jeho vliv na výskyt teplotních anomálií

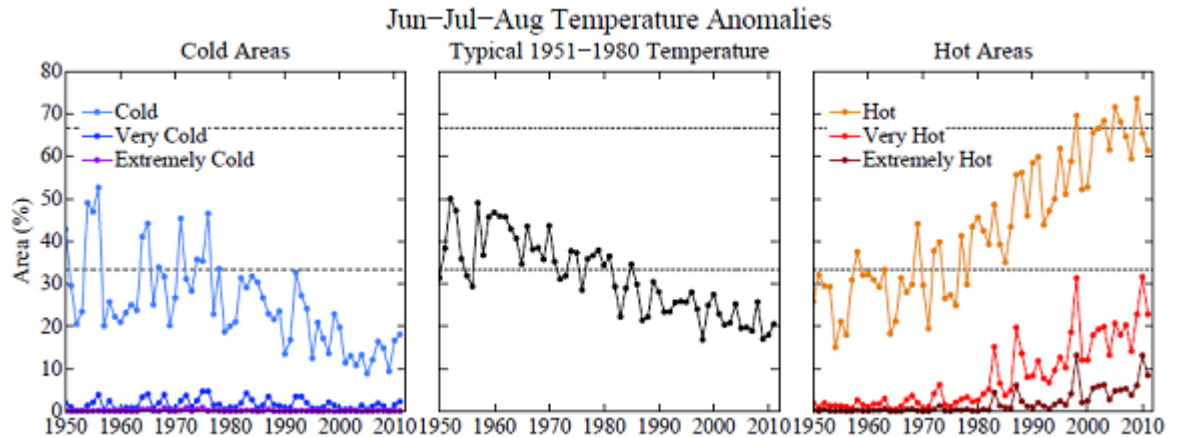
Globální oteplování je v současné době jedno z nejčastěji diskutovaných témat v oblasti meteorologie. Vědecká společnost se rozděluje na několik skupin, které se mírně, anebo úplně liší v názorech na tento jev. Jedni tvrdí, že žádné globální oteplování neexistuje a je to jen strategický tah vedení některých států. Další skupina zastává názor, že globální oteplování je přirozený jev a je dán přirozenou variabilitou podnebí. Veřejnost tento vývoj vnímá jako velmi rychlý a dramatický, jelikož s rozvojem vědy, techniky a průmyslu se tento jev urychluje.

Oteplování má za následek snížení schopnosti oceánů a pevniny vstřebávat atmosférický CO_2 a tím je zvýšen podíl antropogenních emisí zůstávajících v atmosféře. Nejvýznamnější oteplení je očekáváno nad pevninou, na severní polokouli, části severního oceánu a nejjižnější oblasti oceánů (Solomon et al., 2007).

Hansen et al. (2011) je jeden z vědců, kteří varují, před jednostranným pohledem na skutečnost. Veřejnost vnímá oteplování jako záležitost moderní doby. Nemá ale dostatek informací k posouzení dlouhodobé změny klimatu. Vnímá změny jen ze dne na den či z roku na rok. Proto Hansen et al. (2011) prezentoval klima let 1951 – 1980 pomocí tzv. „klimatické kostky“¹. Píše o ni v článku (Hansen et al., 2011) a další výsledky v (Hansen et al., 2012). Jejím principem jsou dvě strany červené barvy, tedy „horko“, dvě modré pro „chladno“ a dvě strany bílé pro průměrné teploty. S normálním rozložením teplot by šance každé z těchto barev byla právě jedna třetina v klimatickém období (1951 – 1980). Přidal novou kategorii „extrémní horko“ pro léta, kdy se vyskytl vyšší počet teplotních anomálií².

¹ Angl.: the "climate dice"

² Uvádí, že nárůst extrémně horkých teplot je sledován na asi 10 % souše v posledních letech.



Obr. 1 Oblasti světa pokryty teplotními anomáliemi v kategoriích definovaných jako “hot” ($\sigma > 0,43$), “very hot” ($\sigma > 2$) a “extremly hot” ($\sigma > 3$), s obdobným rozdělením pro studené anomálie pro měsíce červen, červenec a srpen. Tyto anomálie jsou vstaženy k 1951 – 1980 s σ od dat z let 1981 - 2010 zbavených trendu. Ale výsledky jsou podobné pro alternativní možnosti pro standardní odchylku. Dle zdroje: Hansen et al., 2011.

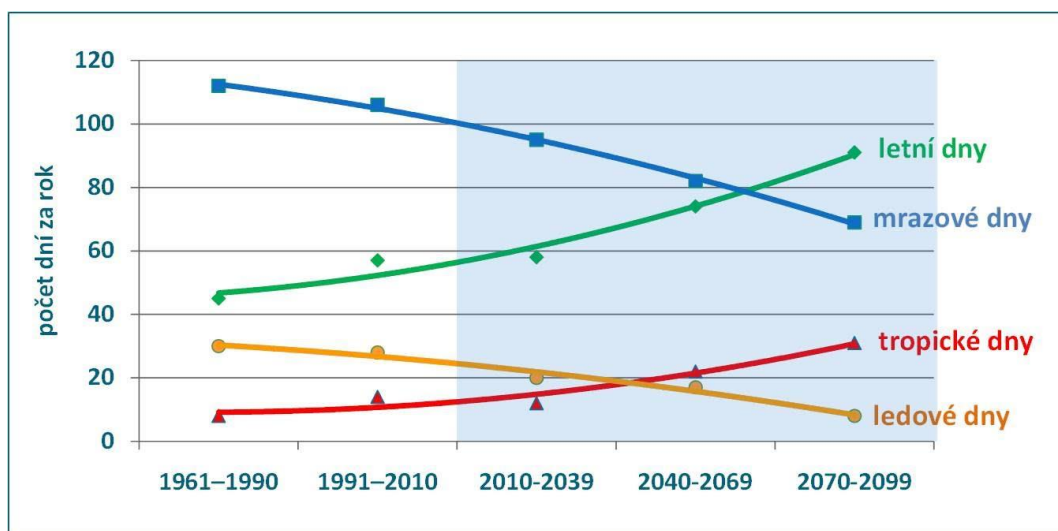
Hansen (2006) ve své další práci uvádí, že teplota je oblíbený ukazatel globálního oteplování a měli bychom ji věnovat značnou pozornost. Dospěl k závěru, že globální teplota vzduchu narůstá o $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ každé desetiletí v posledních třiceti letech. Výsledku $0,2 - 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ dosáhla i Cahynová (2005). Jako důvody zvyšování teploty uvádí změny atmosférické cirkulace, které vyplývají z prohlubování tlakových níží v severním Atlantiku, Pacifiku a nad Antarktidou a také zvyšování tlaku nad subtropickými oceány (viz dále).

Kolísání ročních teplotních anomálií má výraznější tendenci zejména mezi roky 1910 – 1940 a znovu od poloviny 70. let. Rok 1995 byl nejteplejším rokem na celé Zemi (Brázdil et al., 1995).

Nebylo by dokonale přesné využívat globální klimatické modely pro hodnocení změny klimatu na malém území jako je České republiky. Výstupy těchto modelů jsou značně shlazené. Teplota je pro tyto modely počítána ve spodní hladině atmosféry, zato v ČR je teplota měřena v meteorologické budce ve výšce $1,5 - 2\text{ m}$. Kalvová a kol. (2000) proto srovnávají výstupy Kanadského klimatického centrálního modelu (CCCM)³ s teplotními charakteristikami měřeními na meteorologických stanicích na území České republiky.

³ Angl.: Canadian Climate Centre Model

Z dat pro Českou republiku použili denní maximální, minimální a průměrné teploty vzduchu za období 1961 – 1990 na sedmi meteorologických stanicích (Praha – Ruzyně, Vyšší Brod, České Budějovice, Valašské Meziříčí, Mošnov, Lysá Hora a Vsetín). Vypočítané charakteristiky pro stanice v ČR byly porovnány s hodnotami CCCM v 9 uzlových bodech ležících v ČR nebo v jejím okolí. Tento model vystihuje tvar průměrného ročního chodu denních maximálních i minimálních teplot vzduchu. Výsledné křivky jsou na rozdíl od předchozích modelů dostatečně hladké. Tvar ročních odchylek maximálních teplot je zachován.



Obr. 2 Skutečný a očekávaný vývoj změn počtu dnů s anomálními událostmi v ČR. Očekávaný vývoj byl vyhodnocen dle scénářů IPCC. (Pretel, 2012)

3.2.2. Vliv severoatlantické oscilace a ENSO na střední Evropu a ČR

Severoatlantická oscilace (NAO)⁴ je chápána jako časová a prostorová proměnlivost permanentních akčních center atmosféry nad severním Atlantským oceánem – azorské tlakové výše a islandské tlakové níže. Variabilita rozdílů tlaku se projevuje změnami intenzity západního proudění vzduchu v oblasti severního Atlantiku, Evropy a části Asie (Cahynová, 2005).

Cahynová (2005) uvádí studii o vlivu NAO na sezónní teploty vzduchu ve střední Evropě. Má též významný vliv na srážky, dráhy cyklon, ekosystémy, a dokonce i na růst globální teploty.

⁴ Angl.: North Atlantic Oscillation

Číselně lze NAO vyjádřit rozdílem hodnot tlaku na hladině moře mezi dvěma stanicemi. Podmínkou je, aby stanice ležely v blízkosti azorské výše a islandské níže. Výsledný index je počítán každý měsíc v roce. Pohybuje se mezi dvěma stavy – pozitivní a negativní fází. Jako pozitivní fázi označuje stav, kdy měsíční nebo sezónní teploty jsou aspoň o jednu odchylku vyšší než dlouhodobý průměr. NAO sice ovlivňuje více zimní hodnoty teploty, ale i v období od dubna do listopadu je významná. Ačkoli vazba mezi indexy není tak těsná a tlakové pole je NAO méně ovlivněno, v létě je pozorována pozitivní závislost v Česku, na Slovensku, v Rakousku a Maďarsku. V další studii Chmielevski a Rötzer (2002) uvádí, že pozitivní fáze NAO nad Evropou v zimním a jarním období je většinou spojena s teplotami vyššími než je dlouhodobý průměr.

Fraedrich (1993) shrnul ve své studii možný vliv ESNO (El Niño/Southern Oscillation)⁵ na Evropu. Tato oscilace převážně ovlivňuje severní část Tichého oceánu, Severní Ameriku a Austrálii. Ale může působit i na Evropskou pevninu? Teplotní anomálie mohou být v některých případech spojené právě s ESNO, nejen s tropickým Tichým oceánem, jak se předpokládalo. Z několika použitých analýz vyplývá, že dálkový přenos některých meteorologických signálů je ovlivněn vnějšími výkyvy, zejména ve středních zeměpisných šířkách. V jedné z analýz se Fraedrich zabývá právě anomáliemi nad Evropou a přechodnými a stabilními vlnami. Je možné, že tyto vlny mohou být vzdáleným spojením ESNO z tropického Tichého oceánu se vzdálenou Evropou.

Signál je v Evropě zkreslován klimatickým šumem. A proto není vhodné používat El Niño pro klimatologické předpovědi. Brönnimann et al. (2006) zpracovali spojitost ESNO s Evropským klimatem za posledních 500 let. Byly použity ukazatele ESNO, série dat z meteorologických stanic z počátků přístrojových měření, zrekonstruovaná pole teplot a tlaku vzduchu nad povrchem země, tlak nad mořskou hladinou, srážky a geopotenciální výška 500 hPa. Výsledky pro 18. a 19. století jsou velmi podobné závěrům z 20. století. Zjistili, že signál nad Evropou je nejsilnější, když se klima v Severním Tichém oceánu nachází ve fázi ESNO. Mechanismy ESNO ovlivňují šíření proudů z Tichého oceánu směrem nad Severní Atlantický oceán. Autoři navrhují, že po odstranění sezónních vulkanicky narušených zim, by mohl ESNO přispět k předpovědi pro sektor Evropy u Severního Atlantského oceánu.

⁵ Český překlad: „Jižní oscilace El Niño“

3.3. Analýza očekávané změny evropského klimatu dle zpráv IPCC 2007 a 2013

*Mezivládní panel pro klimatickou změnu (IPCC)*⁶ — je mezivládní organizace, fungující od roku 1988 Světovou meteorologickou organizací a programem OSN pro životní prostředí (UNEP). Cílem IPCC je souborné vědecké zkoumání a posuzování informací z vědecké, technické a sociálně – ekonomické sféry týkající se změny klimatu. Dále shrnuje aktuální poznatky o možných sociálně – ekonomických důsledcích a navrhuje způsoby zmírnění nežádoucích účinků (mitigace). Pravidelně jsou vydávány zprávy shrnující výsledky konference. První (FAR) byla vydána v roce 1990, druhá (SAR) v roce 1995, třetí (TAR) v roce 2001, čtvrtá (AR4) v roce 2007 a pátá (AR5) v roce 2014. (ČMeS, 2016)

V roce 2015 proběhla v Paříži doposud poslední 21. konference smluvních stran Rámcové úmluvy OSN o změně klimatu (UNFCCC), také pod zkratkou COP 21. Na tomto setkání vznikla nová globální klimatická dohoda, také nazývána Pařížská, která od roku 2020 nahradí současný Kjótský protokol. V současné době jsou výsledky, reporty a metodiky zpracovávány do šesté hodnotící zprávy (AR6), která by měla být dokončena do roku 2022. V tomto roce by také proběhne opětovné setkání států, kde bude zhodnoceno, jak se daří plnit opatření pro udržení nárůstu globální teploty pod 2 °C. V termínu od 1. do 5. května 2017 proběhne v Addis Ababa v Etiopii jednání týkající se osnovy nové zprávy AR6 (Sixth Assessment Report cycle, 2017).

3.3.1. Fyzikální základy pro hodnocení vlivu změn klimatu

Mezinárodní panel pro změnu klimatu (IPPC) se zabývá novými poznatky vědy týkající se změn klimatu. Zpracovává všechny dostupné nezávislé vědecké analýzy, klimatické modely, pozorování klimatického systému a v neposlední řadě také paleoklimatických modelů⁷ (Stocker et al., 2014).

⁶ angl. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

⁷ Paleoklimatické studie vyvozují informace o změnách klimatu využitím změn senzitivních ukazatelů. Tyto změny klimatu se odehrávaly desítky až miliony let v celosvětovém měřítku. Jsou použita zástupná data (proxy data) jako například letokruhy a bubliny v ledu. Mohou být ovlivněny nejen teplotou, ale také srážkami a převážně charakterizují jednotlivá roční období než celé roky. (IPCC 2007)

Pro pozorování a vyhodnocování klimatické soustavy jsou zpracovávána data z přímých měření, družicového měření teplot střední a spodní troposféry a dalších metod. Společně s paleoklimatickými rekonstrukcemi umožňují studium komplexního obrazu variability dlouhodobých změn zemského povrchu, kryosféry, oceánu a atmosféry. Čtvrtá zpráva vyrovnává nesrovnalosti uvedené ve Třetí hodnotící zprávě (TAR), zejména v záznamech povrchových teplot a míry globálního oteplování. Oproti TAR uvádí větší proměnlivost teplot na severní polokouli. Tomu přispělo objevení chladnějších období mezi 12. až 14. stoletím, dále v 17. a v 19. století (Solomon et al., 2007).

Autoři Čtvrté hodnotící zprávy 2007 došli k závěru, že pravděpodobným činitelem změn rozložení atmosférické cirkulace byl antropogenní vliv. Tato působení měla za následek změny drah cyklon, objevujících se mimo tropy, a také rozložení teplot na obou polokoulích. Antropogenní vlivy měly dle autorů pravděpodobný vliv i na zvýšení teplot extrémně horkých dnů, chladných dnů a nocí. Malý, ale významný podíl mají pravděpodobně i na zvýšení rizika výskytu horkých vln. Pátá hodnotící zpráva 2013 doplňuje antropogenní látky přírodními látkami. Společně mění hlavní energetickou bilanci Země. Jedním z vlivů je také radiační působení. Při pozitivním radiačním působení se povrch Země otepluje a při negativním radiačním působení se ochlazuje. IPCC 2007 přičítala proměnlivost teplot mezi dekádami na severní polokouli sopečné činnosti, změnám intenzity slunečního záření. Antropogenní vliv na oteplování za počátku 20. století byl uveden jako pravděpodobný. V páté hodnotící zprávě z roku 2013 byl ale stanoven odhad antropogenního radiačního působení (oproti roku 1750) na $2,29 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. To je o 43 % více, než odhad pro rok 2005 uveden ve čtvrté hodnotící zprávě z roku 2007. Od roku 1970 se toto působení zvyšuje rychleji než v předchozích dekáдах (Solomon et al., 2007; Stocker et al., 2014).

3.3.2. Dopady, adaptace a zranitelnost

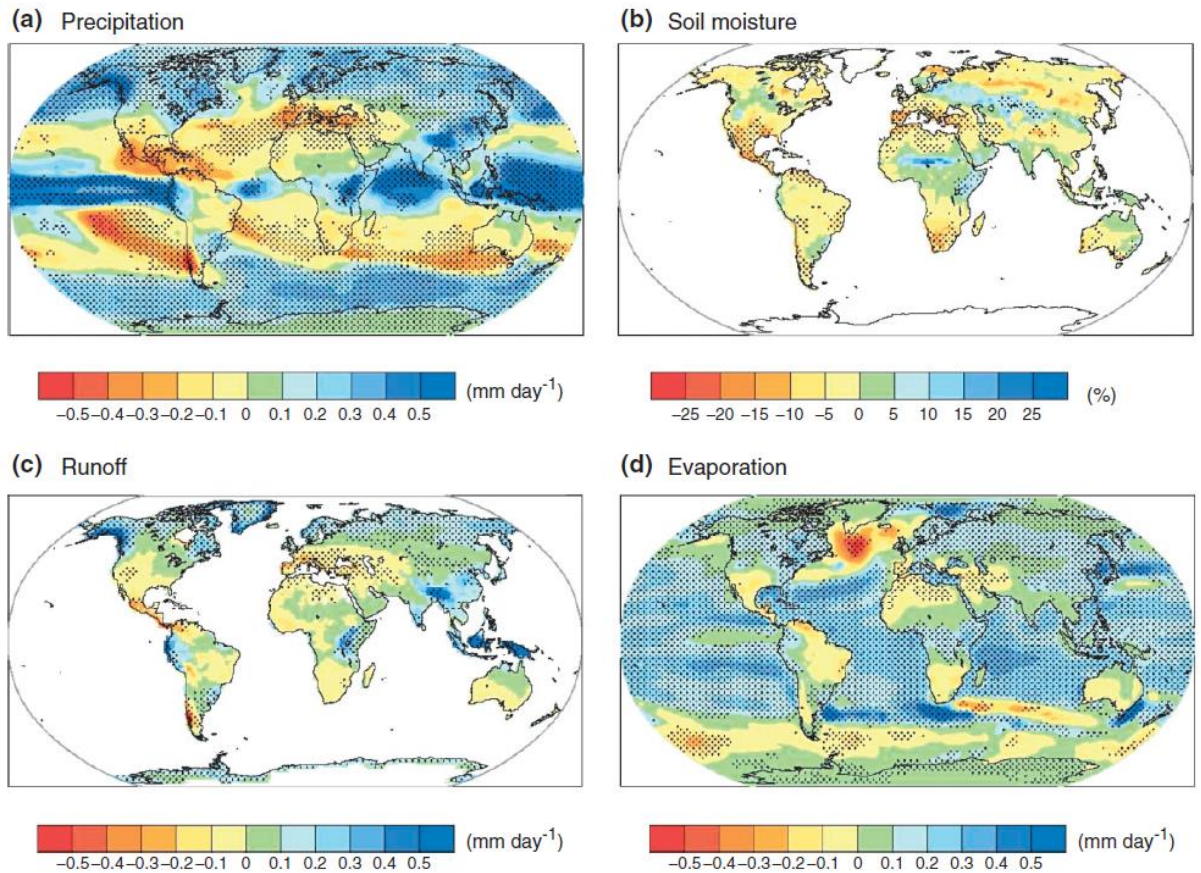
Nedávné extrémní události související se změnou klimatu (horké vlny, sucho, záplavy, cyklony a požáry) významně zraňují některé ekosystémy a mnoho lidských systémů, které jsou jimi exponovány. Tyto klimatické události mají za následek omezení nebo přerušení dodávek vody a potravin, poškození infrastruktury a narušení duševního a fyzického zdraví. Všechny země světa

jsou o to více ohroženy, čím jsou méně připraveny na současnou proměnlivost klimatu v některých odvětvích (Field et al., 2014).

Ve venkovském prostoru lze očekávat výraznější negativní vlivy na zásoby vody, bezpečnost potravin a ztráty v zemědělství. Tyto skutečnosti významně ovlivní životní podmínky zejména chudých obyvatelů zemědělských oblastí s menším přístupem k zemědělské půdě. Vhodnými adaptačními opatřeními v zemědělství, lesnictví a vodním hospodářství se nabízí politické přispění, obchodní reforma a investice, které by zlepšily přístup menších farem na trh (Field et al., 2014).

Klíčovými riziky pro oblast Evropy jsou hodnoceny *1. Zvýšené ekonomické ztráty v povodí řek a na pobřeží z důvodu povodní, 2. Významné omezení dostupnosti podzemní vody a dalších vodních zdrojů a 3. Nárůst ekonomických ztrát kvůli zasažení extrémními teplotami*. Poslední riziko má dopady na zdraví obyvatelstva, snižuje produktivitu práce a snižuje výnos zemědělských plodin. Možnými adaptačními opatřeními jsou zavedení varovných systémů, vhodná úprava obydlí, pracoviště a dopravních prostředků, snížení emisí pro zlepšení kvality ovzduší, lepší ochrana proti požárům a podpora zemědělců při změně výnosů související s nepřízní počasí (Field et al., 2014). Shodný postoj zaujímala také Čtvrtá hodnotící zpráva z roku 2007, kdy varovala před možným rizikem náhlých povodní ve vnitrozemí, častějšími záplavami na pobřeží a erozí z důvodu vzestupu mořské hladiny a bouřlivých proměnách počasí. Pro většinu organismů bude náročné se adaptovat na změny. Například horské ekosystémy budou čelit ústupu ledovců, úbytkem sněhové pokrývky a také značným úbytkem druhů (dle scénáře předpovídající vysoký stupeň emisí může být v některých oblastech do roku 2080 úbytek až 60 % druhů) (Parry et al., 2007).

Čtvrtá hodnotící zpráva (Parry et al., 2007) předpovídá několik možných scénářů vývoje změn klimatu v jednotlivých oblastech světa. V jižní Evropě, regionu již nyní zranitelném klimatickou variabilitou, je možné očekávat zhoršené podmínky kvůli stále častějším vysokým teplotám (zejména v podobě horkých vln), suchu a požárům. Dojde k významnému snížení dostupnosti vody, a tedy i možnosti využití vodních zdrojů k výrobě elektřiny, letního cestovního ruchu a výnosnosti plodin. Pro střední a východní Evropu je predikován zejména pokles srážek v letním období a tím závažnější dopady vodního stresu rostlin. Tuto skutečnost potvrdila Pátá hodnotící zpráva (Field et al., 2014) na příkladu poklesu výnosu pšenice, navzdory zlepšení technologií.

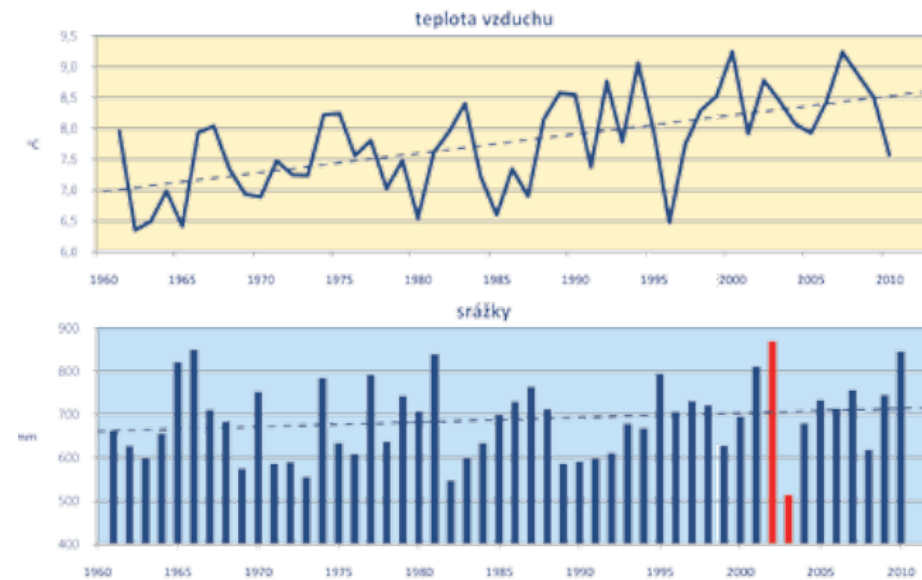


Obr. 3 Multimodelové průměrné změny období 1980 – 1999 ve srovnání s predikcemi pro 2080 – 2099 dle emisního scénáře SRES A1B. (a) srážky v mm/den, (b) vlhkost půdy v %, (c) odtok vody v mm/den a (d) evaporace v mm/den. Tečky v mapách vyznačují oblasti, kde se aspoň 80 % modelů shodují. (Solomon, 2007; Dai, 2011)

Také střední Evropu by měly sužovat vlny veder, které s sebou nesou vážná zdravotní rizika pro obyvatelstvo. Mělo by dojít ke snížení produkce v lesním hospodářství a ke zvýšení rizika požárů rašelinišť. Naopak pro severní Evropu odborníci predikují zpočátku pozitivní přínos v podobě snížení požadavků na vytápění domácností, vyšší sklizňové výnosy a rychlejší růst v lesním hospodářství. Avšak tato oblast bude současně ohrožena častějšími zimními záplavami, ohroženými ekosystémy a také zvyšující se půdní nestabilitou. Tyto negativní dopady mohou ve výsledku převažovat nad pozitivními. Pohled autorů Páté hodnotící zprávy (Field et al., 2014) na severní region se nezměnil. Stále přetrvává názor, že v oblasti zemědělství může mít změna klimatu pozitivní vliv na výnos plodin.

Dle projekcí Čtvrté hodnotící zprávy se předpokládá, že, při zvýšení regionálních teplot o 1 – 3°C ve světovém průměru, dojde k mírnému nárůstu výnosnosti plodin ve středních a severních oblastech. Při pokračujícím zvyšování teploty produktivita v některých regionech bude

klesat. Tropické oblasti v nižších zeměpisných šířkách budou více ohroženy hladomorem, pokud se průměrná lokální teplota mírně zvýší o 1 – 2°C a tím se sníží produktivita plodin. Tyto oblasti se budou také potýkat s delšími a intenzivnějšími obdobími sucha a také se záplavami (Parry et al., 2007).



Obr. 4 Průběh průměrných ročních teplot vzduchu a úhrnů srážek v období 1960 – 2010. (Pretel, 2012)

Vhodnými adaptačními opatřeními lze zmírnit dopady změn klimatu na produkci. Například vhodná změna odrůd, termínů výsadby mohou ve středních a vyšších zeměpisných šířkách zajistit udržení úrovně sklizně na obvyklé nebo vyšší úrovni. (Parry et al., 2007).

3.4. Adaptační strategie EU a ČR na změnu klimatu

Na současné probíhající změny klimatu je nutné reagovat vhodnými adaptačními opatřeními. V současné době již některá opatření probíhají, avšak nejsou dostatečně propojené a probíhají spíše nahodile. Proto je žádoucí, aby tato opatření měla společnou koncepční strategii a opatření byla provázána. Tím bude zajištěna maximální účinnost těchto opatření a nedojde při jejich aplikaci k neekonomickému využívání finančních prostředků.

Existují dva přístupy reakce na změny klimatu. První jsou mitigační opatření, tedy přímá či nepřímá opatření vedoucí ke snížení emisí skleníkových plynů. Druhý jsou adaptační opatření, tedy přizpůsobení se skutečným nebo předpokládaným změnám klimatu v přírodním a antropogenním prostředí (Klápšte & Franková, 2015).

3.4.1. Adaptace EU na změny klimatu

Změna klimatu nezná hranice mezi státy. Proto není možné přímo oddělit jeho dopady na klima jednotlivých regionů a zemí EU. Je nutné přijmout opatření na všech úrovních – od místní přes regionální až k jednotlivým státům. Evropská unie proto plní úlohu sjednocujícího prvku, který vyplňuje mezery ve znalostech a akcích, a tím propojuje opatření v jednotlivých zemích. Provádí to tak, že Komise Evropského unie vytváří pro politické představitele adaptační strategie, které mohou jednotlivé státy využít pro aplikaci navrhovaných opatření do vlastních strategií (Evropská komise, 2013).

V roce 2009 byla zveřejněna Bílá kniha „Přizpůsobení se změnám klimatu: směřování k evropskému akčnímu rámci“, která měla za cíl zahájit diskusi mezi politickými představiteli, veřejností, Evropskou radou a Evropským parlamentem a měla za cíl dosáhnout konsensu zúčastněných stran. Tento dokument se skládá ze čtyř částí, kdy první část je věnována změnám klimatu. Bylo navrženo několik opatření, které mají vést ke snížení zranitelnosti zemí Evropské unie ke změnám klimatu. Strategie zemí Evropské unie by se měly řídit dvěma základními principy. Snížit podíl emisí skleníkových plynů a přijmout opatření pro vyrovnání se s následky změn klimatu. Evropská unie si stanovila závazek snížit do roku 2020 emise skleníkových plynů o 20 % oproti hodnotám z roku 1990. I přesto bude „regenerace“ planety vyžadovat čas. Předpokládá se, že po dobu minimálně 50 let budeme muset čelit následkům působení emisí skleníkových plynů na atmosféru a životní prostředí. Mezi hlavní doporučení Evropské komise patří podpora nízkouhlíkové ekonomiky a tzv. zelených produktů, šetrných k životnímu prostředí (European Commission, 2009)⁸. Příklady adaptačních opatření v praxi jsou například zdokonalení systémů včasného varování před horkými vlnami, snížení spotřeby vody, podpoření ekologické stability a ekosystémů, vhodná ochranná opatření proti škodám v záplavových oblastech, systém krizového

⁸ White Paper - Adapting to climate change: towards a European framework for action (2009)

řízení při živelných katastrofách, a také ekonomická diverzifikace. (Ministerstvo životního prostředí, 2015)⁹.

Evropská komise stanovila tři hlavní cíle strategie. Jeden z největších a nejnákladnějších je *podpora činnosti členských států*, jejich soudržnosti a koordinace při plánování a řízení. Vedle poskytování pokynů pro vypracování vlastních strategií je to také financování z programu LIFE na podporu budování a posílení opatření v Evropě. *Lepší informované rozhodování* je zajištěno pomocí internetových portálů a informačních služeb. Pro správné rozhodování a rozvoj inovačních technologií je třeba poskytnout dostatek informací a údajů o klimatu a jeho změnách. Vzniká množství analýz a modelů pro hodnocení rizik, likvidaci škod, monitoringu a posouzení účinnosti opatření. Tím je možné doplnit znalosti členských států v těchto oblastech, které jsou zatím nedostačující (Evropská komise, 2013)¹⁰. S tím souvisí Pátá hodnotící zpráva Mezinárodního panelu pro změnu klimatu, která byla přijata v roce 2014. Velkým úspěchem bylo vytvoření platformy Climate – ADAPT a dalšími platformami, kde jsou zpřístupněny veškeré informace, jako například náklady a přínosy jednotlivých politických zkušeností, možnosti lepšího financování opatření díky spolupráci s orgány státní správy a finančními institucemi. Jedna z priorit Komise EU je začlenění opatření do programů a politik EU a tím posílit odolnost EU vůči změně klimatu. Proto vznikla *opatření zaměřená na zvyšování odolnosti a přizpůsobení v klíčových oblastech*. Tato opatření již byla včleněna do předcházejících právních předpisů v oblastech: lesnictví, dopravy, migrace a mobility, biodiverzity, vnitrozemských a mořských vod. Komise předložila návrhy na další legislativní úpravy v oblastech zemědělství, lesnictví, životního prostředí, zdraví, prevence a zvládání katastrof, výzkumu, námořní územní plánování a další. Předpokládá se, že splněním těchto cílů budou hlavní hospodářské a politické odvětví odolnější vůči dopadům změn klimatu (Evropská komise, 2013).

3.4.2. Adaptace ČR na změny klimatu

Strategii adaptace změnám klimatu v České republice připravuje Ministerstvo životního prostředí spolu s dalšími resorty zemědělství, místního rozvoje, zdravotnictví, průmyslu a obchodu a také s ČHMÚ. Společně vypracovali Strategii přizpůsobení se změnám klimatu, která je platná od 26. října 2015. Vychází z Bílé knihy Evropské komise „Přizpůsobení se změně

⁹ Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR (2015)

¹⁰ Strategie EU pro přizpůsobení se změně klimatu

klimatu: směřování k evropskému akčnímu rámci (2009). V současné době je připravován dokument „Politika ochrany klimatu ČR“, který je souborem mitigačních opatření. Použitím obou dokumentů bude docíleno komplexního přístupu v řešení otázky změn klimatu. Prioritní oblasti, na které je strategie zaměřena, jsou: příroda a krajina, ovzduší, zemědělství, průmysl, ochrana obyvatelstva aj. Navržená adaptační opatření by měla zmírnit dopady změn klimatu na tyto oblasti. Současně zhodnocuje finanční náročnost jednotlivých opatření a analyzuje vliv na podnikatelské subjekty. Například oblast vodního hospodářství bude dle odhadů vyžadovat 4,2 mld. Kč ročně za zajištění ochranných opatření. Finanční náklady oblasti zdravotnictví ročně vzroste na 10 mld. Kč. Z dlouhodobého hlediska budou mít adaptační opatření pozitivní vliv na podnikatelské prostředí (Klápšte & Franková, 2015). Z metodiky Ministerstva zemědělství „Zemědělství a změna klimatu“ (2011) vyplývá, že ekonomické přínosy opatření z dlouhodobého hlediska výrazně přesáhnou počáteční náklady na aplikaci opatření. Například úpravou povodí Bílého potoka (kraj Vysočina) proti vodní erozi, zejména smyvu, bude potřeba 7,2 mil. Kč ročně na vybudování ochranného opatření. Avšak úspora plynoucí z ochrany zemědělských plodin přesahuje 43,5 mil Kč ročně.

Na konci roku 2016 bude dokončen doplňující dokument „Národní akční plán adaptace na změnu klimatu“ (NAP). Jeho cílem je nejen doplnění ekonomických aspektů, ale také shrnout všechna opatření včetně odpovědných subjektů, termínů, zdrojů financování apod. NAP současně nastaví systém monitoringu a hodnocení účinnosti opatření na zmírnění vlivu změn klimatu na ŽP a zdraví obyvatelstva (Klápšte & Franková, 2015).

3.4.2.1. Adaptace zemědělství ČR na změnu klimatu

Vzhledem k zaměření této práce bude tato kapitola věnována adaptačním strategiím zemědělství na změnu klimatu.

Dle usnesení vlády ze dne 3. března 2004 č. 187 k Národnímu programu na zmírnění dopadů změny klimatu je nutné realizovat adaptační opatření i v zemědělství. Ministerstvo zemědělství proto vydalo metodiku, která má za úkol shrnout stanovené cíle Národního programu. Navrhují skupinu Protierozních opatření – agrotechnické, organizační a technické (biotechnické) postupy. Mezi agrotechnické metody patří zejména bezorební osevňovací postupy, kdy jsou plodiny pěstovány bez hlubší orby a kypření ornice. Tím je zajištěno zachování maximálního vegetačního

krytu půdy a omezena vodní a větrná eroze a nedochází k větším ztrátám půdní vláhy. Díky omezení oxidačních procesů vedoucích ke vzniku emisí CO₂ a oxidů N v nekypřených půdách má toto opatření i mitigační účinek. Naproti tomu jsou pozemky více postiženy plevelem, škůdci a chorobami, kteří mají v nekypřené půdě lepší podmínky pro přezimování a šíření. Tyto postupy také nejsou vhodné pro všechny plodiny a je nutné použití speciální mechanizace. Organizační metody jsou například zatravňování, zalesňování, pásové střídání apod. Přechodem orné půdy na trvalou kulturu je vhodným opatřením proti větrné a částečně vodní erozi, více zadržuje půdní vláhu a tyto kultury jsou odolnější vůči zemědělskému suchu a díky opatření narůstá množství vázaného organického uhlíku v půdě. Technická (biotechnická) opatření zahrnují zakládání protierozních průlehu a příkopů, zatravnění údolnice, větrolamy apod. Výsadba a udržení těchto tradičních krajinných prvků může přispět k ochraně půdy proti erozi. Dalšími technickými prvky mohou být nově vysazované remízky, stromořadí u silnic a účelových komunikací a další krajinné prvky. Všechny tyto tradiční postupy přispívají také k udržení lepší stability zemědělské krajiny (Zemědělství a změna klimatu, 2011).

Dále budou rozepsány přínosy jednotlivých protierozních opatření - Opatření proti zemědělskému suchu, Ošetřování trvale podmáčených a rašelinných luk, Ochrana genetických zdrojů, výzkum a šlechtění, Opatření proti dopadům extrémních meteorologických jevů a Opatření s kombinovaným účinkem. Vybudování nových a modernizace již funkčních zavlažovacích systémů je jedním z opatření, zajišťující větší odolnost půdy proti suchu. Díky nim je možné udržet rostlinnou produkci na podobné úrovni i v období zemědělského sucha. Je ale nutné zajistit dostatek kvalitní vody z povrchových vodních zdrojů. Udržování mokřadů, tedy trvale podmáčených luk, má velký význam pro zadržování vody v krajině. Tyto mokřady mají také mitigační účinek, jelikož je v nich organický uhlík pomaleji oxidován a po jejich vysušení jsou důležitým zdrojem emisí CO₂ po desítky let. Jiným řešením ochrany proti erozi je ochrana genetických zdrojů, výzkum a šlechtění. Díky šlechtění odrůd je možné nalézt takové, které lépe snášejí měnící se klimatické podmínky (Zemědělství a změna klimatu, 2011).

U současných plodin s vysokou produkcí mohou nastat komplikace při změně klimatických podmínek, jelikož většina z těchto plodin má velmi vysoké nároky. Jakákoli odchylka tedy způsobí prudký pokles výnosů a užitkovosti. Proti dopadům extrémních meteorologických jevů lze ochránit úrodu několika způsoby. Například ochrana před přívalovými srážkami – zatravňování

a zalesňování svažitých pozemků, vytváření zasakovacích pásů, nepěstovat širokořádkové plodiny na strmých svazích nebo například zakrytí sadů sítěmi jako ochrana před krupobitím, nebo rosení sadů a tím zamezit ztrátám při mrazících (Zemědělství a změna klimatu, 2011).

Velmi efektivní mohou být opatření s kombinovaným účinkem, kdy je na rizika nahlíženo více komplexně a je tak zajištěna lepší ochrana půdy a úrody. Jedním z těchto opatření jsou vhodné pozemkové úpravy. Díky nim jsou vytvářeny podmínky pro účelné hospodaření vlastníků na jejich pozemcích a zlepšuje se jejich přístupnost. Pozemkové úpravy vždy předchází tzv. Plán společných zařízení¹¹ (Zemědělství a změna klimatu, 2011).

Zabránit dopadům změn klimatu lze i přechodem k ekologickému zemědělství. Díky šetrnosti tohoto systému s využitím tradičních postupů, metod boje proti škůdcům a zachování tradičních odrůd a plemen je možné šetřit tak citlivé vodní zdroje a zabránit erozi půdy. Typickými postupy pro ekologické zemědělství jsou například použití mulče, vyšší tvary ovocných stromů pěstovaných v sadech apod. V režimu ekologického zemědělství je možné udržet větší množství uhlíku a humusu v půdě, rozvinutý a zdravý edafon, je podpořena biodiverzita u kulturních rostlin i u rostlin ve vazbě na zemědělskou půdu a tím se snižuje rychlost genetické eroze (Zemědělství a změna klimatu, 2011).

Ve všech úrovních adaptace zemědělství je nezbytné zdokonalovat předpovědi počasí, inovace, vzdělávání zemědělců a další výzkum pro zkvalitnění předávaných informací a jejich aplikace v zemědělství (Anwar et al., 2013). Ve své práci shrnuje různá krátkodobá adaptační řešení současných autorů a nejnovějších výsledků IPCC. První adaptací je *Modifikace stávajících technik a nové techniky v zemědělství*. Mezi ně patří načasování zemědělských operací jako je změna canopy managementu¹² a termín řezu, které mohou příznivě ovlivnit produkční výsledky. Vedle úpravy termínů sklizně lze také brát v úvahu termíny setí, sázení, postřiků a sklizně. Další variantou je *diverzifikace plodin*, kultivarů a hybridů a jejich případná výměna za dostupné variety, které jsou odolnější vůči suchu a vysokým teplotám. *Způsoby využívání půdy* jako rozmístění plodin, rotace nebo odsun produkce z okrajových oblastí mohou pomoci redukovat půdní erozi,

¹¹ V PSZ je posuzován celý obvod pozemků z hlediska ohrožení erozí, povodněmi, dále je posuzována ochrana vody ve vztahu s retenčními vlastnostmi území.

¹²Technika, kdy je kontrolován listový pokryv a odstraňovány listy, které brání slunečním paprskům proniknout k plodům. Často je tato technika využívána při pěstování hroznů.

napomoci udržení vláhy a živin v půdě. *Management živin a pesticidů v půdě* – jedním z adaptačních opatření pro udržení živin v půdě patří dle FAO¹³ kombinování různých zemědělských systémů pěstování plodin a chov hospodářských zvířat. Díky tomu bude možné snížit rizika napadení škůdci a chorobami.

3.5. Očekávané dopady změny klimatu v EU a ČR

Zemský povrch v Evropě se otepluje mnohem rychleji ve srovnání s celosvětovým průměrem, jak vyplývá ze zprávy EEA č. 12/2012, o dopadech změn klimatu na Evropu. Teplota zemského povrchu v Evropě se v letech 2002 – 2011 v průměru zvýšila o 1,3 °C. Zvýšil se počet extrémních meteorologických výkyvů, horkých vln, sucha a zintenzivnily se požáry, zejména v jižní a střední Evropě. Lze očekávat vyšší úhrny srážek v severovýchodní a severní Evropě, kde kvůli tomu hrozí vyšší výskyt pobřežní eroze a záplav. Zvýšením frekvence výskytu těchto jevů se zvyšují hospodářské ztráty ohrožení citlivých ekosystémů. (Evropská komise, 2013) V České republice je obvyklé rozložení srážek během roku s maximem v červnu a minimem v únoru. V současnosti vzhledem ke změnám klimatu dochází také ke změně rozložení intenzity srážek. V období 1961 – 2010 ukazuje lineární trend ročních průměrných úhrnů srážek tendenci mírného nárůstu, a to o 10 mm za 10 let. V krátkodobém výhledu (2010 – 2039) jsou predikovány nižší úhrny srážek v zimě, vyšší na jaře a vývoj v létě a na podzim nejsou zcela jasné. Střednědobý výhled (2040 – 2069) očekává menší intenzitu zimních i letních srážek a naopak navýšení na podzim. Dlouhodobý scénář vývoje do roku 2100 předpokládá mírný nárůst červnových maxim do roku 2070 a ke konci tohoto období se maxima mírně sníží a přesunou do konce jarního období. Podzim dle předpokladů přinese vytvoření nových druhotných maxim srážkových úhrnů, a to během listopadu (Tolasz, 2013).

Dopady klimatických změn se samozřejmě liší dle klimatických, zeměpisných a sociálně – ekonomických podmínek. Všechny země Evropské unie jsou vystaveny vlivům změn klimatu. Některé oblasti však silněji, např. oblast Středního moře, horské oblasti, pobřežní oblasti záplavové oblasti, které jsou hustě osídlené. Většina odvětví hospodářství jsou zcela závislá na podmínkách

¹³ Angl. Food And Agriculture Organisation

klimatu. Nejsilněji pocítilo změnu zemědělství, rybolov, lesnictví, cestovní ruch v horských a příměstských oblastech. Změny klimatu omezí dostupnost vody a půdy, které jsou základními přírodními zdroji potřebné ve všech zasažených hospodářských odvětvích. V některých regionech to bude mít za následek změny podmínek pro zemědělství a průmysl (Evropská komise, 2013). Spolu s navyšující se frekvencí a intenzitou extrémních meteorologických jevů se zároveň navyšuje i riziko neúrody. Organická hmota, která je velmi důležitá pro udržení úrodnosti půdy, může být vlivem změny klimatu více vyčerpávána z půdy. To může významně ovlivnit zdraví a produktivitu lesů a sadů a geografické rozšíření některých dřevin (European Commission, 2009).

V České republice je již dnes možné sledovat změny vodního režimu, v zemědělství a lesnictví, které jsou vyvolány častějším výskytem extrémních projevů počasí a vývojem trendů klimatologických charakteristik (ČHMÚ, 2015)¹⁴. S větší pravděpodobností lze očekávat období s nedostatkem vody než intenzivnějších a četnějších přivalových srážek (Pretel, 2012). Vedle životního prostředí budou v období kolem roku 2030 negativně ovlivněny i další oblasti, např. cestovní ruch, zdraví a životní pohoda obyvatelstva v sídlech a také energetický sektor (ČHMÚ, 2015). Extrémní klimatické fenomény jsou v současné době ve středu zájmu mimo jiné kvůli jejich nebezpečí možného nárůstu frekvencí jejich výskytu, délky vážnosti klimatu rozrušeném posílením koncentrace skleníkových plynů a aerosolů v atmosféře. Dokonce i malé změny mohou mít významný dopad (Kyselý et al., 2000).

3.5.1. Dopady změn klimatu na zemědělství

Primární produkce v rostlinné výrobě se v souvislosti se změnami klimatu bude snižovat. Současně se bude zvyšovat rozklad organické hmoty, což bude mít za následek nižší mikrobiální aktivitu a rozklad uhlíku rostlinami a tím bude podpořena desertifikace. Nicméně zvýšením koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře budou vytvořeny vhodnější podmínky pro fotosyntézu za nižší spotřeby vody rostlinami (ČHMÚ, 2015).

Lze očekávat prodloužení vegetačního období rostlin. To ale bude mít zásadní vliv na složení rostlin, zejména ty, které jsou náchylnější ke změnám podmínek. Vegetace mírného pásu může prodloužením doby vegetace o 15 – 20 dnů profitovat, ale zároveň může strádat úbytkem

¹⁴ Očekávané dopady změny klimatu v ČR (2015)

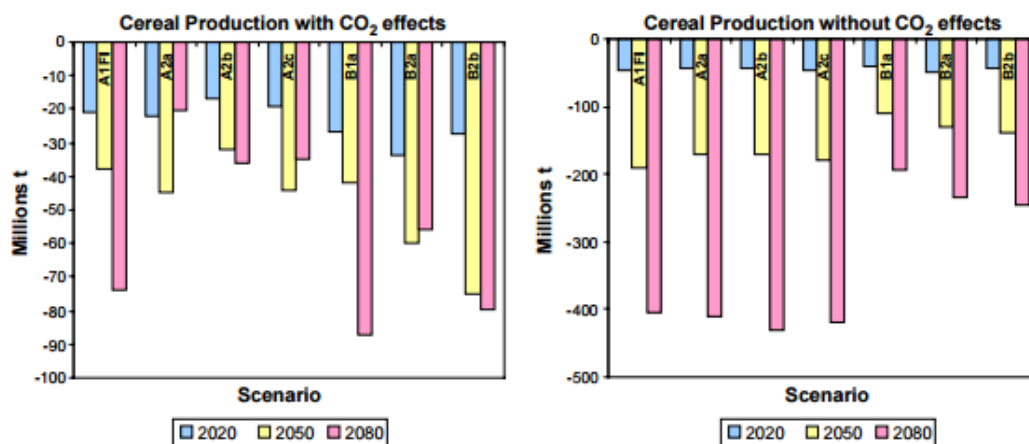
vláhy. Dle emisního scénáře SRES – A215 při vysoké citlivosti klimatického systému nastane tato změna do roku 2020 a do roku 2050 dojde k prodloužení vegetačního období až o celý měsíc (Žalud, 2009a). Pokud bude urychlen růst vegetace v jarních měsících, rostliny budou citlivější vůči poškození pozdními mrazy. V oblastech s méně dostupnými zdroji vody budou ohroženy uměle vytvořené ekosystémy, zejména v nížinách. Lze u nich také očekávat vyšší výskyt nových a rozvoj stávajících patogenů. V nejproduktivnějších oblastech České republiky budou klesat vláhové indexy a budou ve větším rozsahu ohroženy suchem. Srážky budou intenzivnější a krátkodobé a tím bude půda více ohrožena vodní erozí. Tato situace již postihla více než polovinu zemědělských půd v České republice (ČHMÚ, 2015).

Žalud (2009a) uvádí, že zvýšení teplot o 2 – 3 °C může mít spíše pozitivní vliv na zemědělství a produkční potenciál v České republice. Zároveň není zcela jisté, že bude možné tohoto potenciálu využít, a to zejména kvůli nevyhovujícím půdním a terénním podmínkám v oblastech s nejvyššími hodnotami a nárůstem EGR (efektivní suma globální radiace) a EDVO (efektivní délka vegetačního období)¹⁶. Změna klimatu a současně nárůst průměrných teplot vzduchu a vyšší počet dnů s teplotou vyšší než 5 °C pozitivně ovlivňuje tyto hodnoty. Současně ale v některých oblastech dochází k navýšení globální radiace související s nižší oblačností a zeslabení frekvence srážek v letním období (a tím vyšší riziko nedostatku vláhy), což negativně působí na EGR. V některých oblastech tak lze očekávat rozdělení vegetační sezóny, kvůli nárůstu vodního deficitu, na jarní a podzimní část. Počet dnů vhodných pro setí bude dle scénářů SRES – A2 v dalších letech nezměněn nebo dojde k výraznému snížení počtu vhodných dnů k setí, i když časné setí je jednou z adaptačních strategií v měnících se klimatických podmínkách. Naopak pro podzimní setí budou stále lepší podmínky, proto je vhodné zvyšovat podíl ozimých plodin. Stejný emisní scénář předpovídá, že kolem roku 2050 se v červenci, srpnu a září zvýší počet vhodných dnů ke sklizni až o 12 – 35 %. Variabilita klimatických podmínek v srpnu a září by měla mít klesající tendenci a v těchto měsících by sklizeň mohla být rentabilnější a vyšší kvality.

¹⁵ SRES – A2 – Vývoj emisí dle scénáře IPPC (Solomon, 2007)

¹⁶ EGR ukazatel je sumou globální radiace za období bez sněhové pokrývky s průměrnou teplotou vzduchu trvale vyšší než 5 °C a minimální teplotou ne nižší než – 2 °C a aktuální evapotransporací minimálně na úrovni referenční evapotranspirace. Rostliny tedy netrpí stresem z nedostatku vláhy. Hodnota EDVO pak určuje počet dnů, kdy byly splněny podmínky pro EGR. Tyto veličiny mohou pomoci k hodnocení podmínek pro rostlinou produkci. Samotná délka vegetačního období nemusí nutně znamenat zlepšení podmínek. (Žalud, 2009a)

V měsíci červnu se takový posun nepředpokládá¹⁷. Obecně se uvažuje o zvýšení zemědělské produktivity v průmyslově vyspělých zemích o 8 %. Avšak vzhledem k omezeným možnostem a prostředkům k adaptaci bude v rozvojových zemích docházet spíše k poklesu produktivity, a to až o 10 – 15 %. Jak dále uvádí Parry et al. (2004), v tomto století bude globální produkce spíše stabilní, a to právě kvůli započtení poklesu v rozvojových zemích. I přesto budou mít tyto významné rozdíly vliv na globální produkci a distribuci potravin.



Obr. 5 Změny v globální produkci obilovin kvůli antropogenním změnám klimatu dle sedmi SRES scénářů s a bez vlivu CO₂ ve srovnání s referenčním scénářem (bez klimatické změny). (Parry et al, 2004)

Ray et al. (2015) sledovali 13 500 různých politických jednotek světa v období 1979 – 2008 s cílem dokázat, jak velký vliv má změna klimatu na výnos základních obilnin – kukuřice, rýže, pšenice a sója. V nejvýznamnějších obilnářských oblastech mohla být variabilita ve výnosu ovlivněna změnou klimatu. Převážná většina regionu zaznamenala v tomto období významný dopad na výnos: celkem 70 % regionů pěstující kukuřici, 53 % regionů pěstujících rýži, 79 % regionů pěstujících pšenici a 67 % regionů pěstujících sóju. Z globální průměrné roční produkce plodin bylo ovlivněno změnou klimatu 78 % kukuřice, 52 % rýže, 75 % pšenice a 67 % sóji. Jeho výsledky zdůrazňují nutnost zajistit stabilitu budoucí produkce obilnin jako prevenci proti budoucímu přílišnému navyšování cen základních obilovin. Pretel (2012) uvádí, že na výnos plodin

¹⁷ V současné době je méně než 40 % dnů v červnu vhodných ke sklizni. Naopak v červenci je to 61 %. (Žalud, 2009a)

budou mít významný vliv extrémní projevy počasí (holomrazy, sucha, záplavy a povodně). Za důkaz je možné považovat vysokou proměnlivost v minulých letech.

Globální oteplování může mít i pozitivní dopad na některé konkrétní sektory hospodářství. Dochází ke zvýšení výnosnosti plodin, růst dřevin, a tedy lesů, z vodních zdrojů lze získat více energie a sníží se náklady na vytápění v severních oblastech. Vzhledem k souběžným negativním dopadům tohoto jevu ale není možné objektivně posoudit čistý přínos pro hospodářství (Evropská komise, 2013). Jistým pozitivním důsledkem lze považovat rozšíření nových teplomilných druhů ovocných dřevin, ovoce, zeleniny a dalších plodin (Pretel, 2012).

3.5.2. Vliv změn klimatu na rostlinné organismy

Pro rostlinný organismus existuje mnoho stresujících faktorů. Běžnými stresory jsou nedostatek vláhy (a přetrvávající sucho), vyšší či nižší teploty, zasolení, nadbytek nebo nedostatek živin a také přítomnost a koncentrace těžkých kovů. Všechny tyto abiotické faktory mají vliv na fotosyntézu, respiraci, syntézu bílkovin, asimilaci dusíku, může být poškozen membránový systém, narušen metabolismus a další procesy. Dlouhodobá expozice těmto stresorům může mít za následek zpomalení či zastavení růstu až úhyn rostliny (Madhava et al., 2006).

Pro jedince může být riziková či smrtelná teplota, která je o jen několik stupňů vyšší, než je jejich normální metabolická teplota. Nebezpečí vysokých teplot spočívá v tom, že ovlivňují fyzikálně – chemické procesy v rostlině. Mění složení a množství metabolitů a enzymů, které mohou být vysokou teplotou deaktivovány nebo denaturovány. Při velmi vysokých, nebo extrémních teplotách musí také rostlina čelit nadměrným výparům. Brání se například uzavíráním průduchů, ale jejich prostřednictvím probíhá také ochlazování. Může tedy dojít k dehydrataci, až k úplnému uschnutí jedince. Také fotosyntéza je při extrémních teplotách omezena. Tento proces se sice při zvyšující teplotě zintenzivňuje, ale jen do té doby, než dojde k teplotní kritické hranici. V této fázi rostlina přestává provádět fotosyntézu a více dýchá. Tím ale spotřebovává více metabolitů, než jich vytvoří a to vede k jejich nedostatku a „hladovění“ rostliny. Extrémně vysoké teploty působí většinou na rostliny negativně. Pokud se rostlina během generací dostatečně neadaptuje, ve většině případů dojde k jejímu úhynu (Begon et al., 2006). Hraniční teplota pro zpomalení růstu C3 rostlin je 20 – 26 °C (Petr a kol., 1987).

Žalud a kol. (2009b) zpracovali studii o vlivu teploty a změny klimatu na zemědělskou produkci a na rostlinné jedince. Nejen teplota, ale i další meteorologické prvky ovlivňují rostlinný organismus a jeho fyziologické procesy a půdní prostředí. Teplota je velmi důležitým faktorem fenologického vývoje rostlin. Pokud je léto teplejší, dosáhnou rostliny zralosti dříve, resp. nastane dříve období sklizně. U českých polních plodin je ale zrychlení vývoje od jisté míry negativní, jelikož čím více se zkrátí doba zrání, tím méně kvalitní je sklizená plodina. Kvůli zvýšené evapotranspiraci ubývá vlhkosti v půdě a také ubývá tím, že teplejší vzduch pojme více páry. Dle prognóz vývoje klimatických podmínek v ČR lze očekávat v letním období zvýšení průměrných teplot. Ve vegetačním období bude kvůli zvyšující se teplotě a tím zesíleným konvektivním proudům ubývat jemných dešťů. Zato silných přivalových dešťů bude přibývat. Tyto deště mají ničivý dopad na úrodu. Posoudit dopady vysokých teplot na úrodu není jednoduché. Nejlepší je zhodnotit výsledky z pokusných ploch a spojit je s počítačovými simulacemi možných klimatických změn. V budoucnu lze očekávat posun našich polních kultur do poloh s vyšší nadmořskou výškou, kde budou pro ně náročnější životní podmínky. Je tedy nutné podpořit šlechtění rostlin, aby odolávaly většímu suchu. Životní cyklus až do sklizně se zkrátí o 5 - 20 dní. Bude také nutné vynaložit vyšší náklady na ochranu rostlin proti teplomilným chorobám a škůdcům, kteří budou s rostoucí teplotou rozšiřovat svůj ekologický areál.

3.5.3. Vliv sucha na rostlinné organismy a zemědělství

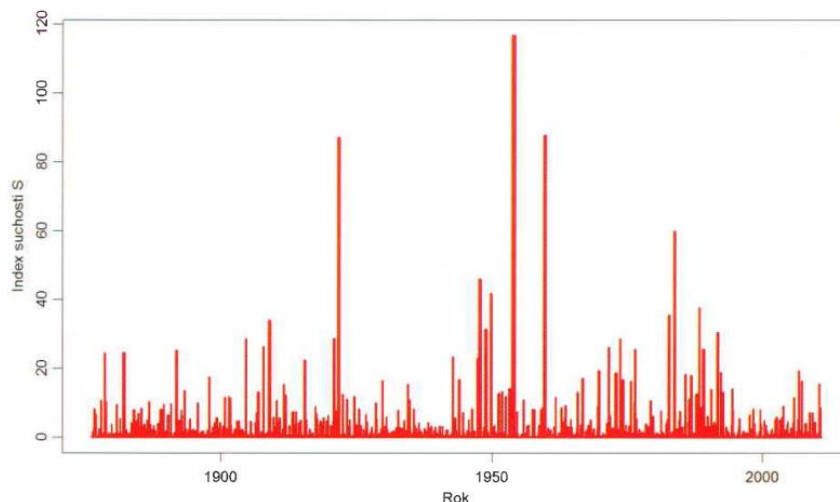
Většinu roků je v některých regionech zaznamenáno aspoň krátké období sucha. Trembl (2011) provedl výzkum ze 13 klimatologických a 7 vodoměrných stanic České republiky v období 1875 – 2010. Použil denní úhrny srážek, průměrné denní teploty vzduchu a denní průtoky. Nejprve vymezil období sucha na jednotlivých meteorologických stanicích, údaje z jednotlivých stanic byly srovnány a byla určena hlavní období sucha v České republice. Největší meteorologická sucha (a současně hydrologická sucha) byla pozorována v těchto letech: 1953, 1959, 1947, 1921, 1983 a 1904. Z hydrologických such jsou ještě významné roky 1911, 1992 a 2003. **Rok 1953** byl nejvýraznějším obdobím sucha ve sledovaném období, kdy meteorologické sucho trvalo na většině stanic od 7. srpna 1953 do 23. března 1954, tedy 229 dnů. Index suchosti¹⁸ byl na většině stanic

¹⁸ Index aridity, index suchosti — 1. klimatologický index k popisu suchosti (aridity) klimatu. 2. část Thornthwaiteova indexu vlhkosti, který vyjadřuje sezonní nedostatek srážek v měsících, kdy je úhrn srážek menší než potenciální výpar. (ČMeS, 2016)

více než 50. V tomto období sucha bylo zaznamenáno pouze 30 – 50 % srážek dlouhodobého srážkového normálu. Nejméně srážek bylo naměřeno 7. – 16. srpna, dále 22. srpna – 9. září, 25. září – 3. října a naposledy 9. – 29. října. **Rok 1959** bylo druhým nejvýraznějším meteorologickým suchem. Hlavní suché období trvalo od 20. srpna – 21. října. Po tomto datu bylo několik kratších epizod sucha. V tomto období byl zjištěn vysoký index suchosti vyšší než 40 na většině stanicích. **Rok 1947** je třetím nejvýraznějším meteorologickým suchem a zároveň prvním nejvýznamnějším hydrologickým suchem v období od 1875 – 2010. Tento rok je výjimečný tím, že sucho, které trvalo od 22. července do 2. listopadu pak volně pokračovalo na jaře roku 1948, dále i podzimy let 1948 a 1949 byly výrazně suché. V tomto období byly na západě republiky na některých stanicích naměřeny indexy suchosti překračující hodnotu 90, v Táboře byly hodnoty kolem 50 a v Čáslavi 46. Úplně bez srážek bylo období od 1. do 14. října a dále od 19. do 29. října (na západě republiky trvalo toto období až do 2. listopadu). **Rok 1921**, které byl výrazný spíše na východě než západě republiky. Rozdíly byly patrné například při přechodu studené fronty od 12. do 13. srpna, kdy na Moravě byly naměřeny srážkové úhrny do 5 mm, v Čechách byly srážkové úhrny od 20 do 50 mm. V období od 15. června do 22. října bylo zaznamenána pouze třetina obvyklých srážek v tomto období a téměř bez srážek byla perioda od 6. července do 3. srpna. **Rok 1983** se vyznačoval hlavním obdobím sucha od 9. srpna do 24. listopadu. **Rok 1904** nebyl významným délkou epizody sucha (s trváním pouze 44 dnů), ale kombinací dlouhodobých extrémně vysokých teplot a nedostatku srážek. Průměrná denní teplota na většině stanic v Čechách byla více než 20 °C, v pražském Klementinu 25 °C. Průměrné denní teploty vyšší než 25 °C se vyskytly na více stanicích 16., 17. a 25. července, 6. a 15. srpna. Jediné výrazné srážky byly zaznamenány v období od 26. do 28. července.

Velikost indexu suchosti S	Kategorie sucha
1 – 10	Malé sucho
10,01 – 20	Středně velké sucho
20,01 – 50	Velké sucho
50,01 – 100	Velmi velké sucho
> 100	Extrémně velké sucho

Tab. 1 Kategorie sucha dle velikosti indexu suchosti S. (Tremel, 2011)



Obr. 6 Index suchosti (S) na klimatologické stanici Čáslav ve sledovaném období 1875 – 2010. (Tremml, 2011)

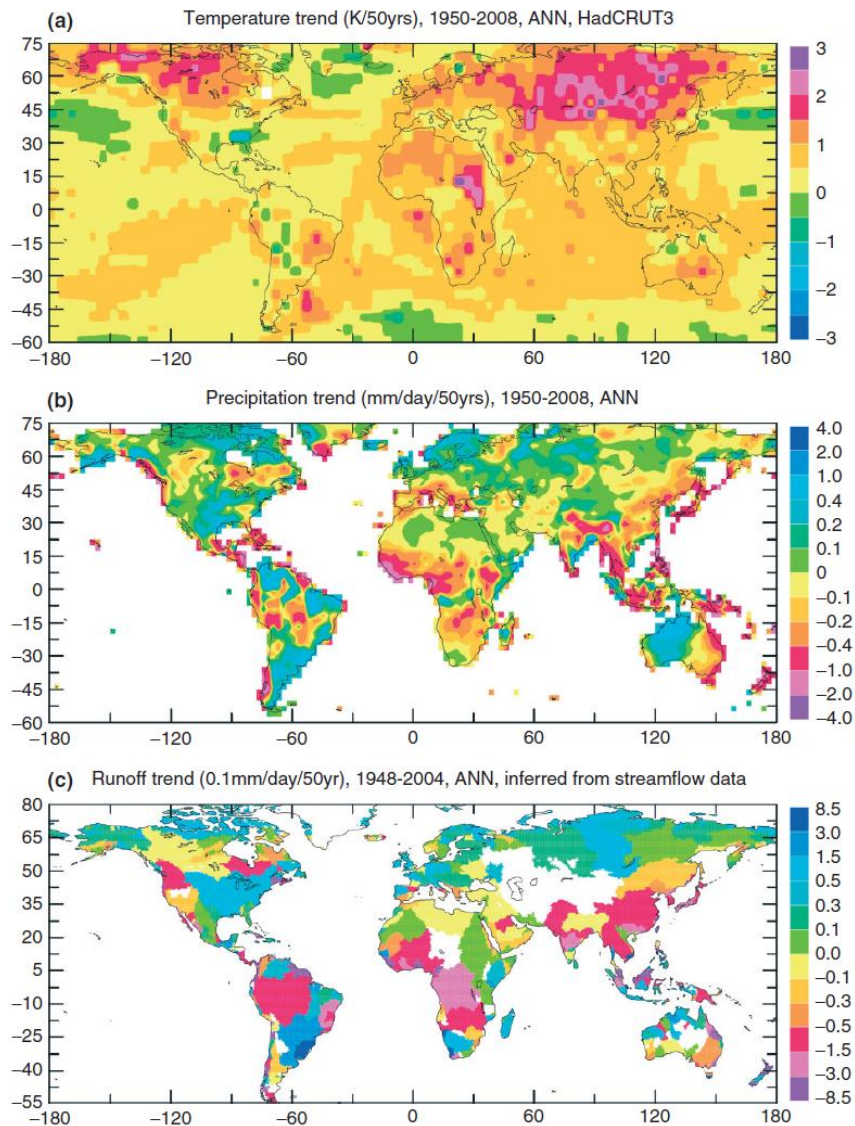
Dai (2011) popsal sucho jako suché období ve srovnání s místními obvyklými podmínkami. Běžně se klasifikuje dle třech typů – *meteorologické, hydrologické a zemědělské*. *Meteorologické sucho* se projevuje jako období, kdy je úhrn srážek nižší než normál. Často je doprovázeno teplotami vyššími než je obvyklé. *Hydrologické sucho* se rozvíjí pomaleji než předchozí sucha. Dochází k úbytkům zásob vody v řekách, jezerech, nádržích a nasycené zóně půdy pod dlouhodobý průměrný stupeň. Hydrologické sucho ovlivňuje nejen nedostatek srážek, ale také jejich nižší frekvence, špatné hospodaření s vodou a eroze. *Zemědělské sucho* je obdobím s vyschlou půdou, což je způsobeno dlouhodobým úbytkem srážek, intenzivními, ale méně častými dešti a nadměrné evaporaci. Všechny tyto faktory mají za následek pomalejší nebo zastavený růst rostlin a nižší výnos. Dai (2011) shrnul nedávné publikace zabývající se suchem v posledním tisíciletí a dále provedl syntézu globálních analýz srážek, PDSI¹⁹ (Palmerův index sucha), proudu toků a modelově simulovanou vlhkost půdy pro zhodnocení změny ve vysychání v období 1950 – 2008 na pevnině. Díky použití více proměnných lze jeho výsledky považovat za přesné. V posledním tisíciletí bylo možné pozorovat periody sucha trvající roky až dekády, například v Severní Americe, západní Africe a východní Asii. Tato sucha byla převážně spuštěna anomálně tropickými teplotami nad hladinou moře s La Niña anomáliemi vedoucími k suchu v Severní Americe a El Niño způsobující sucha ve východní Číně. Za nedávná suchá období Sahary v Africe je zodpovědný zejména posun

¹⁹ Angl.: Palmer Drought Severity Index. Pro hodnocení a predikci zemědělského sucha a vlhkosti půdy je ve Spojených státech nejčastěji využíván PDSI index. Zakládá se na modelu příjmu vlhkosti (srážek) a výdeje vlhkosti v hydrologickém systému. (Dai, 2011)

nejvyšších teplot nad mořskou hladinou Atlantiku směrem k jihu a oteplení nad Indickým oceánem (Dai, 2011). Sucho ve středních šířkách je částečně způsobeno anomáliemi spojenými s kmitáním teploty nad hladinou moře (AMO²⁰ – Atlantická dlouhodobá oscilace, PDO²¹ – Pacifická dekadická oscilace a krátkodobé oscilace např. El Niño jižní oscilace) (Breshears a kol., 2005). Dai (2011) dodává, že ačkoli El Niño, tropické teploty nad Atlantickým oceánem a monzuny v Asii hrály velkou roli v nedávném vysychání, nedávné oteplování (zejména kvůli nárůstu skleníkových plynů) mělo za následek vyšší spotřebu vzdušné vlhkosti a společně s průběhem atmosférických cirkulací způsobují zvyšování vysychání od 80. let 20. století a dále ve 21. století nad většinou povrchu Afriky, jižní Evropy, středního východu, většinu Ameriky, Austrálie a jihovýchodní Asie. V další práci Dai (2013) poukazuje vedle vlivů El Niño a dalších i na pozorovaný trend globální průměrné vyprahlosti od roku 1923 do 2010 a pozorované změny období sucha prozatím odpovídají modelovým předpokladům, které dále předpovídají vážná a rozšířená období sucha v dalších 30 až 90 letech.

²⁰ Angl.: Atlantic Multidecadal Oscillation

²¹ Angl.: Pacific Decadal Oscillation

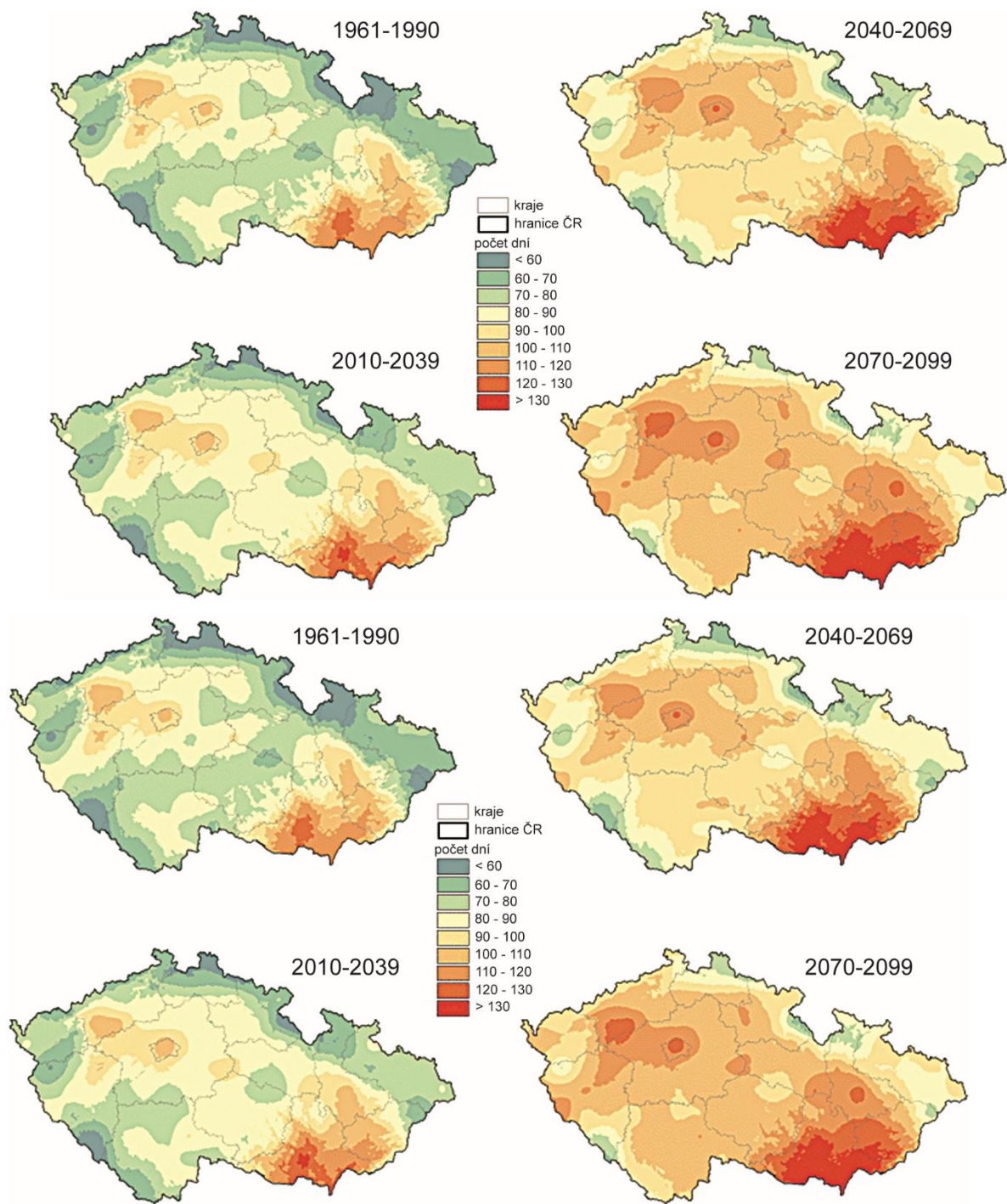


Obr. 7 Trendové mapy pozorovaných ročních (a) teplot zemského povrchu, (b) srážek a (c) odtok vody z vodních toků v období 1950 – 2008. (Dai, 2011)

Se zvyšováním globální teploty a úbytkem srážek souvisí vyšší úhyn rostlin. Předpokládá se, že změna globálního klimatu způsobuje mimo jiné zvýšení frekvence a intenzity sucha, které se objevuje kvůli zvyšující se teplotě (Breshears a kol., 2005). Sucho zasahuje nejen sušší a teplejší regiony, ale také horské i severně položené oblasti s pozitivní vodní bilancí. Dopady sucha pak umocňuje výskyt extrémně teplých dnů, které jsou například v oblastech s teplým létem limitujícím faktorem. V rámci Evropy je Česká republika oblastí s příznivými agroklimatickými podmínkami pro pěstování hlavních polních plodin, avšak v minulých desetiletích dochází ke

změnam klíčových klimatických faktorů, které postupně ovlivňují zemědělskou produkci. Příkladem může být postupné pronikání plodin a škůdců z nižších nadmořských výšek do vyšších (Žalud, 2009a).

Rostliny C3 v sušších regionech budou dle nejnovějších scénářů IPCC hodnotících sucho devastovány ve významném počtu období. Negativní dopady ohrožují rostliny i na půdách nejvyšší kvality bez ohledu na termín setí (Hlavinka et al., 2015). Mnohé z vlastností, které jsou vysvětlovány jako adaptace rostlin vůči suchu – změny ve fenologickém vývoji, velikost a hloubka kořenů, hydraulickou vodivost a ukládání zásobních živin, jsou spíše rostlinným vývojem a strukturou než vyvolané stresem ze sucha. Velkou částí ochrany rostlin vůči suchu je schopnost vyhnout se stresu ze slunečního záření v přirozených podmínkách. Zvláště mechanismy zodpovědné za ochranu listů vůči záření (rozptyl světla, ochrana vůči oxidačnímu stresu), jsou v současné době velmi sledovány (Chaves, 2003).



Obr. 8 Očekávaný vývoj dlouhodobých průměrů počtu dnů bezsrážkového období v ČR. (Pretel, 2012)

3.6. Změna klimatu a fenologie

Počátky fenologického zkoumání jsou v našich podmínkách datovány do 2. poloviny 18. století, kdy se první čeští meteorologové (A. Strnad, M.A. David, J. Stepling) poprvé zajímali o spojení mezi povětrnostními podmínkami a jejich vlivem na vývoj a životní podmínky rostlin a zvířat. V té době ještě nevydali žádnou vědeckou fenologickou práci. Jejich výzkum se zakládal pouze na poznámkách spojených s meteorologickými zápisky. První fenologický kalendář v naší literatuře vydal až Dr. T. Haenke v práci s názvem *Blumenkalender für Noumen in Jahre 1786*. První pravidelné fenologické pozorování započal botanik Carl von Linné ve Švédsku. V Čechách to byla jako první Společnost vlastenecko – hospodářská, kterou později podrobněji zpracoval Karel Fritsch. V období protektorátu Čechy a Morava v roce 1939 byly sloučeny veškeré meteorologické služby Čech a Moravy a roku 1940 přebíral veškerá fenologická pozorování Ústřední meteorologický ústav Čechy a Morava. Od roku 1983 nastala významná změna ve fenologickém pozorování. Data od roku 1923 jsou postupně digitalizována. Byla rozdělena pozorovací místa dle sledovaných plodin a ovocných dřevin. Dnešní fenologická síť se sestává ze 3 typů fenologických stanic – *lesní stanice (45 druhů)*, *polní plodiny (sledují 15 druhů z 19)*, *ovocné dřeviny (15 druhů)*. Fenologická pozorování na stanicích doplňují dobrovolníci dle pokynů ČHMÚ, zapisují údaje do zápisníků a pravidelně podávají hlášení. ČHMÚ pak tyto údaje přezkoumá a po zvážení importuje do databáze. ČHMÚ je partnerem v mezinárodním projektu IPG²² pro fenologické pozorování, jejíž databázi spravuje Berlínská Humboldtova univerzita (Nekovář a Hájková, 2010).

3.6.1. Vliv změn klimatu na variabilitu nástupu fenologických fází ovocných stromů

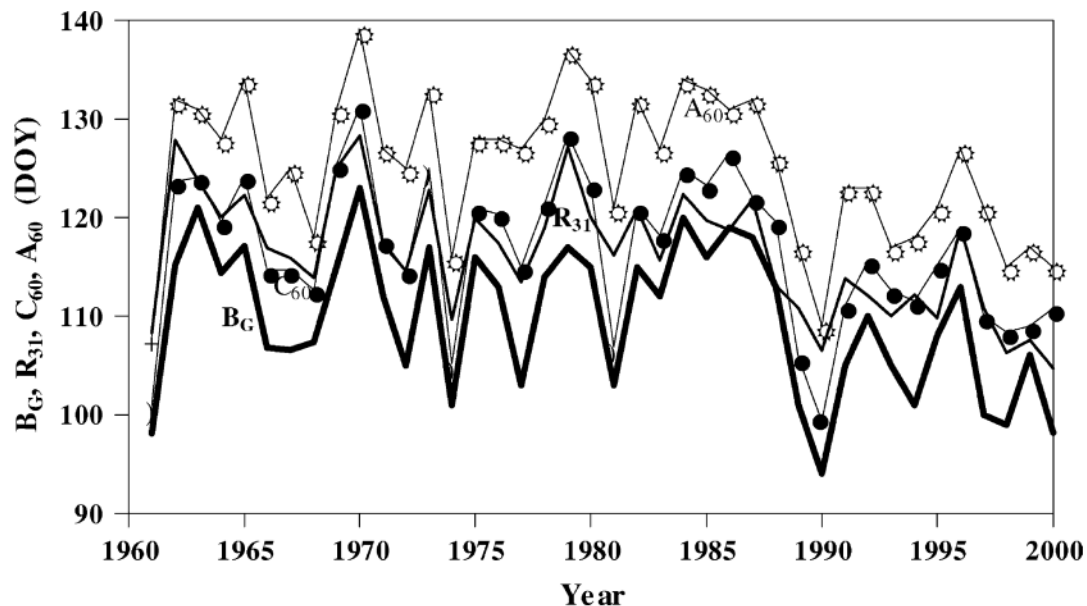
Zjevné změny klimatu, a zejména teplot od 80. let 20. století vedly k odpovědím v rostlinné fenologii na celém světě. Dopady lze sledovat v mnoha fyzikálních a biologických pochodech konkrétních pozemních ekosystémů (Menzel et al., 2006). Vzhledem k stále se měnícímu klimatu je nutné monitorovat změny u rostlin, aby bylo možné předcházet dopadům těchto změn na zemědělství a zahradnictví (Chmielewski et al., 2004). Četné analýzy prokázaly dřívější nástup jarních fenofází ve střední a vyšších zeměpisných šířkách a prodloužení vegetačního období (Menzel et al., 2006). I přesto, že je většina plodin v dnešních klimatických

²² Angl. International phenological gardens

podmínkách sklízena v červenci a srpnu, očekávané klimatické změny pravděpodobně přinesou trvalý posun fenologických fází a dřívější termíny sklizně. Při kombinaci s nepříznivými místními povětrnostními podmínkami mohou nastat vážné provozní problémy (Žalud, 2009a).

Pro sledování dopadu změn klimatu na ovocné dřeviny jsou nejdůležitějšími fenologickými fázemi: první květy a první list. Ty jsou ve Střední Evropě sledovány v dubnu a květnu. Meziroční proměnlivost počasí vede ke konkrétním fluktuacím v ročním načasování fenofází (Chmielewski et al., 2004). Pro analýzu variability nástupu jarních fenofází je vhodným meteorologickým ukazatelem T24²³ od února do dubna. Od 80. let 20. století bylo zjištěno, že při zvýšení teploty od února do dubna o 1°C má za následek dřívější nástup počátku vegetačního období o 5 až 7 dnů. Pozorované prodloužení vegetačního období bylo následkem dřívějšího nástupu jara. Zároveň zvýšením roční průměrné teploty o 1°C došlo k prodloužení vegetačního období o přibližně 5 dnů. Pro tyto závěry byla použita fenologická data v období 1969 – 1998 (Chmielewski and Rötzer, 2001). Podobnou metodiku využil Chmielewski i ve své další práci, kdy sledoval vliv klimatických změn na trendy ve fenologii u ovocných stromů a polních plodin za sledované období 1961 – 2000. Došel k závěru, že v letech s vyšší teplotou v pozdním zimním a brzkém jarním období, než je dlouhodobý průměr, mají negativní vliv na termín počátku kvetení dřevin. Zajímavými byly roky 1961 a 1990, ve kterých jabloně začaly kvést velmi brzy. V obou letech přesáhla roční odchylka teploty vzduchu od dlouhodobého průměru + 3°C (Chmielewski et al., 2004).

²³ Průměrná denní teplota vzduchu



Obr. 9 Průměrná data nástupu růstové sezóny (BG), počátek prodlužování stonku žita (R31), počátek kvetení třešňových stromů (C60) a počátek kvetení jablečných stromů (A60) v Německu v období 1961 – 2000. DOY – den v roce. (Chmielewski et al., 2004)

Rožnovský a kol. (2006) uvádí další vnější faktory ovlivňující fenologická pozorování. Pro komplexnější sledování je vhodné doplnit studium růstové odezvy stromů na změny klimatu, tedy přírůstku dřeva v průběhu vegetačního období pomocí dendrometrů. Růst jarního dřeva je ovlivněn působením faktorů, které mají pozitivní vliv na rašení pupenů a růst nových nadzemních částí. Naopak faktory, které zpomalují růst nadzemních částí a urychlují stárnutí listů mají za následek vývoj letního dřeva. Rozhodujícími faktory jsou: teplota (určuje začátek i intenzitu růstu kambia), srážky a také zásoba sacharidů ovlivňuje tloušťku buněčných stěn. Nepřímými faktory jsou: záření a délka fotoriody, dostupné živiny, ohrožení parazity, okus, teplotní anomálie (mráz/horko).

Také Menzel et al. (2006) v období 1971 - 2000 zaznamenal trend dřívějšího nástupu fenofází o 7,5 dne a druhy kvetoucí na počátku jara nejvíce urychlily období kvetení. Rozsah jejich studie byl značný. Ve své studii použil rozsáhlá fenologická data více než 125 000 pozorovacích řad 542 druhů rostlin a 19 druhů živočichů z 21 evropských zemí v období 1971 – 2000. Došli k závěru, že 78 % všech nástupů fáze prvních listů, prvních květů a tvorby plodů mělo dřívější než běžný termín (z toho 30 % významně) a pouze u 3% těchto fenofází došlo ke zpoždění nástupu.

Projevy pozorovaných změn jsou přímo propojeny se sledovaným oteplováním v Evropě. Jeong et al. (2011) porovnal prodlužování vegetačního období na základě posunu dat nástupu vybraných fenofází v závěru 20. století a počátku 21. století. Zaměříme-li se na jarní fenofáze, na severní polokouli v dřívějším období (1982 - 1999) se fenofáze posunuli o 5,2 dne, avšak ve druhém období (2000 - 2008) jen o 0,2 dne. K uvedeným trendům je však potřeba přistupovat s jistým nadhledem z důvodů krátkých datových řad hlavně v druhém období. Žalud (2009a) porovnal změny výnosů pšenice v severní, západní a jižní Evropě v období 1961 – 2006. Došel k závěru, že výnosy pšenice v Řecku měli v posledních deseti až dvaceti letech sledovaného období klesající tendenci, jelikož se zvyšující teplotou dochází k urychlení růstu a nástupu fenologických fází. Podobná situace je i ve Španělsku a Německu – ve všech těchto zemích se na výnosu obilovin významně podílí vývoj klimatických podmínek se stále častějším výskytem horkých vln, sucha, povodní, problémy s přezimováním ozimých plodin. Plodina, které ve střední Evropě svědčí nárůst teploty je kukuřice, u které zaznamenáváme vyšší výnosy. Výjimkou jsou Itálie a Francie, kde je růst produktivity zpomalen zrychleným vývojem kvůli zvyšujícím se teplotám a také vyšší frekvenci období sucha. Naopak ve Finsku díky tomuto jevu dochází k prodloužení vegetačního období a díky tomu mohou být podmínky pro pěstování obilovin příznivější s vyššími výnosy.

Martin Možný a kol. (2013) uvádí, že z výsledků mnohých autorů je zřejmé, že vlivem změn klimatu, a zejména globálního oteplování, dochází k posunu fenologických fází nejen u ovocných dřevin. Fenofáze se také rychleji střídají, což vede k dřívějšimu nástupu jarních a letních fenofází, většinou o 1 až 3 dny za dekádu. Jedním ze zmiňovaných autorů je i Chmielewski et al. (2004), který sledoval trendy fenologie ovocných dřevin v Německu v období od 1961 do 2000. Nejzřetelnější změnu lze pozorovat v poslední dekádě 20. století. Největší vývoj byl pozorován v období fenofází brzkého jara. V době kvetení dochází ke změně nástupu fenofáze již při změně teploty o 1 °C v únoru až dubnu. Rostliny reagovaly i ve fázích pozdního jara a léta, avšak nevykazovaly významný trend. Zatím nebyly pozorovány významnější změny ve výnosech plodin, ale vzhledem ke stále se měnícímu klimatu je velmi pravděpodobné, že v budoucnu bude mít změna klimatu silnější vliv na výnos plodin. Pro svou studii použil fenologická data ovocných stromů (*Malus domestica*, *Prunus avium*) a výsledky porovnal s ozimým žitem (*Secale cereale*), cukrovou řepou (*Beta vulgaris*) a kukuřicí (*Zea mays*). Pro ovocné stromy byly určující termíny nástupu fenofází počátku kvetení a nástup plodů.

Stříž a Nekovář (2009) sledovali nástup fenofází u vybraných rostlinných druhů v období 1956 – 2005, které bylo rozděleno na dvě období s přechodem v 80. letech, odkdy je možné pozorovat zrychlené oteplování planety. Z každé skupiny (polní plodiny, lesní plodiny a ovocné rostliny) vybrali jednoho zástupce s určující fenofází. Pro výzkum byla použita fenologická data ČHMÚ, která byla podrobena regresní analýze a dále analyzována pomocí geostatistických metod v GIS²⁴. Cílem bylo zjistit možný vztah mezi globálním oteplováním a změnou nástupu vybraných zástupců. Z výsledků je patrné, že dochází k dřívějšímu nástupu sledovaných fenofází v celém sledovaném období s významným posunem v druhé polovině sledovaného období, tedy od roku 1981. Také změny v cirkulaci nad Evropou v podobě NAO měly za následek rapidní nárůst průměrné teploty od roku 1989, v období od 1989 do 1998, kdy 10 z 11 let vykazoval průměr NAO indexu pozitivní fázi v období února až dubna. Tyto výkyvy měly významný vliv na změny v nástupu fenofáze počátku kvetení, jak uvádí Chmielewski and Rötzer (2001). Výsledkem jednotných teplotních anomálií v Evropě bylo ve sledovaném období 1969 – 1998 více než 40% roků fenofáze počátek kvetení s předstihem nebo se zpožděním (Chmielewski and Rötzer, 2002). Hájková a kol. (2011) potvrzují v období 1991-2010 celkovou tendenci dřívějšího nástupu vybraných fenofází ovocných dřevin, i přes značnou meziroční variabilitu. Ta byla způsobena průběhem počasí v daném roce, druhem odrůdy a stanovištních podmínek. Dále Hájková a kol. (2012) provedli rozbor variability nástupu fenofází u ovocných keřů a stromů. V letech 1997, 2000, 2003, 2007 a 2009 byl zaznamenán výrazně dřívější nástup fenofází. Na druhou stranu roky 1991, 1996 a 2006 se vyznačovaly pozdějšími nástupy fenologických fází.

Změna v obvyklém průběhu nástupu fenologických fází může mít zásadní dopady na zdraví ovocných dřevin. Při dřívějším nástupu fenofáze kvetení jsou rostliny náchylnější vůči pozdním mrazům. Mráz sice může poškodit i poupata před fází kvetením, ale není tak ničující, jako je v době kvetení. Pokud zasáhne mráz květy, může dojít k fatálnímu ohrožení úrody. Rok 1981 je dobrým příkladem, kdy byla kvůli pozdním mrazům zničena velká část úrody jabloní v Evropě (Chmielewski et al., 2004). Také vývoj plodu může být významně ovlivněn variabilitou teplot. Při vyšších teplotách a tím časnějších nástupů prvních květů meruňky dochází ke zhoršení kvality plodů (Žalud, 2009a).

²⁴ Geografické informační systémy

3.6.2. Analýza fenologických fází vybraných ovocných dřevin

Ovocnářství je důležitou součástí rostlinné produkce v zemědělství v České republice. Toto odvětví má zde tradici od konce 16. a začátku 17. století. Od roku 1983 je pozorování ovocných dřevin součástí zájmu ČHMÚ. V současnosti je na fenologických stanicích sledováno 14 druhů ovocných dřevin. Tato práce bude soustředěna na ovocné dřeviny: jabloň domácí (*Malus domestica* Borkh.), meruňka obecná (*Armeniaca vulgaris* Lam.), broskvoň obecná (*Prunus persica*) a hrušeň obecná (*Pyrus communis*) (Hájková a kol., 2012).

Hájková a kol. (2012) uvádějí využití fenologických dat v agroklimatologii a jejich další využití v ovocnářství, současně s meteorologickými údaji. Díky nim je možné plánovat pěstování raných a pozdních odrůd, pokud je nám známa délka vegetačního období a zohlednit klimatické nároky rostlin, především v kritických růstových fázích. Je zvýšena účinnost aplikace ochranných opatření na konkrétní vývojové stádium rostliny. Fenologická data jsou ukazatelem časového nástupu příslušné fenofáze a je možno odhadnout dobu sklizně a výnos. Fenologická a meteorologická data jsou také nezbytná pro tvorbu varovných a poradních služeb a slouží k hodnocení rizik ohrožení rostlin mrazem v kritických vývojových fázích.

Všeobecná fenologie sleduje u ovocných stromů a keřů osm fenologických fází: první květy, všeobecné kvetení, ukončení květu, první list, všeobecné žloutnutí listů, počátek opadávání listů, zrání plodů a úroda ovoce (Hájková a kol., 2012).

3.6.2.1. Jabloň domácí (*Malus domestica* Borkh.)

Jabloň domácí je světlomilná dřevina pěstována v podmínkách termofytiku a v mezofytiku v eutrofních, humózních půdách. Pro její růst v ČR je optimální teplota vzduchu nad 6,5 °C, průměrný roční úhrn srážek 500 – 800 mm, maximální hladina podzemní vody do 1,5 m. Jabloně jsou během vývoje plodů citlivé na nízké teploty a mráz. Kritickou teplotou v době zavřených zbarvených pupat je – 3,9 °C, v době plně rozvinutých pupat – 2,2 °C a u malých zelených plodů – 1,7 °C (Hájková a kol., 2012). Ideální půdní reakce pH 5,0 – 7,5 (Hejný, Slavík a kol., 2003). Dle Metodického předpisu č. 3 (2009) jsou u jabloně sledovány následující fenofáze: rašení smíšených pupenů, první listy, butonizace, počátek kvetení, plný

rozkvět, počátek opadu korunních plátků, konec kvetení, tvorba pupenů, ukončení růstu letorostů, sklizňová zralost, sklizeň, konec opadu listů (Hájková a kol., 2012).

Hájková a kol. (2012) nepřetržitě sledovala různé odrůdy jabloně domácí v letech 1991 až 2010 na 17ti fenologických stanicích ČHMÚ v různém nadmořských výškách. Nejnižše položená je stanice Doksany (155 m. n. m.), zaměřena na odrůdu Spartan. V nejvyšší nadmořské výšce (562 m. n. m.) je stanice Lhenice s odrůdou Idared. Třetí sledovanou odrůdou byl Golden Delicious. Průměrné datum nástupu fenofáze rašení pupenů je v poslední březnové dekádě a v první dubnové dekádě. Počátek kvetení se běžně pohybuje mezi poslední dekádou v dubnu a začátkem května a jabloně odkvétají začátkem května. Opad listů průměrně končí mezi druhou polovinou listopadu a počátkem prosince.

Vegetační období (od rašení prvních pupenů po opad listů) na sledovaných stanicích v průměru trvalo 221 až 252 dnů. Počátek kvetení až sklizňovou zralost většinou v průměru dělí 146 – 157 dnů při průměrném trvání slunečního svitu 1 044 až 1 163 hodin, sumě teploty 2 490 až 2 646 °C, úhrnem srážek 286 až 352 mm.

Ve sledovaném období se vyskytly roky, které se vyznačovaly opožděným nebo urychleným nástupem jednotlivých fenofází. Například na stanici Lhenice se roky 1991, 1996, 1997 a 2006 projevíly opožděným nástupem fenofází. Naopak roky 1994, 2000, 2007 a 2009 byly výrazné dřívějším nástupem fenofází. Nejvýraznějším rokem byl rok 2007, kdy fáze sklizňové zralosti nastoupila o téměř celý měsíc dříve (28 dnů), první listy o 12 dnů, butonizace 15 dnů, počátek kvetení o 14 dnů a konec kvetení o 13 dnů. Na dřívější či opožděný nástup fenofází mají vliv průběh počasí, odrůda a podmínky stanoviště sledovaných lokalit.

Ve sledovaném období, všechny odrůdy vykazovaly téměř ve všech fenofázích celkovou tendenci dřívějšího nástupu kromě rašení smíšených pupenů a konec opadu listů (Hájková a kol., 2012).

Fenologická fáze	Nejvyšší kladné odchylky nástupu fenologických fází v letech 1991 – 2010 (pozdější nástup)		Nejvyšší záporné odchylky nástupu fenologických fází v letech 1991 – 2010 (dřívější nástup)	
První listy	+ 8 dnů	2006	- 12 dnů	2007
Butonizace	+ 11 dnů	1996	- 15 dnů	2007
Počátek kvetení	+ 10 dnů	1991	- 14 dnů	2007
Konec kvetení	+ 10 dnů	1996	- 13 dnů	2007
Sklizňová zralost	+ 12 dnů	2009	- 28 dnů	2007

Tab. 2 Variabilita nástupu vybraných fenologických fází jabloně domácí (odrůda Idared) v období 1991 – 2010 na stanici Lhenice. Upraveno z: (Coufal a kol., 2004)

3.6.2.2. Hrušeň obecná (*Pyrus Communis L. Gaert*)

Hluboce kořenící hrušeň obecná, pocházející z Přední a Střední Asie, je vysoká až 20 m a dospělé stromy se dožívají 60 – 80 let. Vyznačuje se odlupující šedou kůrou a mladé větve mají kůru hladkou až červenohnědou. V České republice jsou ideálními oblastmi pro pěstování hrušně obecné jsou termofytikum až mezofytikum (někdy i v oreofytiku) s průměrnou roční teplotou nad 7 °C a průměrným ročním úhrnem srážek mezi 450 – 700 mm. V době květu jsou velmi citlivé na pozdní mrazy. Kritické hodnoty pro zbarvená uzavřená poupata jsou – 3,9 °C, pro plně rozvinuté květy – 2,2 °C a male zelené plody – 1,0 °C. Mezi všemi ovocnými stromy je hrušeň nejodolnějším druhem vůči znečištění oxidem siřičitým. Největším pěstitelem byla po dlouhé roky Itálie, která je nyní v pozadí kvůli vysoké produkci Číny, ze které nyní pochází více než polovina světové produkce. Vhodné pH je v rozmezí 5,5 – 7,5 (Coufal a kol., 2004; Hejný, Slavík a kol., 2003).

U hrušně obecné jsou dle metodiky ČHMÚ sledovány tyto fenologické fáze: rašení smíšených pupenů, první listy, butonizace, počátek kvetení, plný rozkvět, počátek opadu korunních plátků, konec kvetení, tvorba pupenů, ukončení růstu letorostů, sklizňová zralost a opad listů. Je zaznamenáván i datum sklizně. Rašení nastupuje koncem března a začátkem dubna při teplotě 6,2 – 6,9 °C, první květy se objevují v poslední části dubna při teplotě 11,5 – 12,0 °C, s odkvětem v začátku května při teplotě 13,3 – 13,9 °C. Listy opadávají počátkem listopadu při teplotě vzduchu 4,7 – 5,9 °C. Celková délka vegetačního období je 218 - 226 dnů. Průměrné úhrny srážek v jednotlivých fenologických fázích byly následující: rašení smíšených pupenů až první listy (12 – 30 mm), butonizace – počátek kvetení (3 – 9 mm), počátek kvetení až konec kvetení (11 – 20 mm), první listy – opad listů (318 – 406 mm). V období od 1991 – 2010 byly sledovány

ranější nástupy vybraných fenologických fází (rašení, počátek a konec kvetení, zralost plodů, konec opadu listů) v letech 1998, 2007, 2008 a 2009. Pozdější nástupy byly sledovány v letech 1996, 1997 a 2006.

Fenologická fáze	Nejvyšší kladné odchylky nástupu fenologických fází v letech 1991 – 2010 (pozdější nástup)		Nejvyšší záporné odchylky nástupu fenologických fází v letech 1991 – 2010 (dřívější nástup)	
Rašení smíšených pupenů	+ 16 dnů	1996	- 23 dnů	2007
První listy	+ 9 dnů	1996	- 13 dnů	2007
Počátek kvetení	+ 10 dnů	1996	- 18 dnů	2008
Konec kvetení	+ 10 dnů	1996	- 16 dnů	2008
Sklizňová zralost	+ 13 dnů	1997	- 13 dnů	2009
Opad listů	+ 8 dnů	2005	- 8 dnů	2006

Tab. 3 Variabilita nástupu vybraných fenologických fází hrušně obecné (odřůda Konference) v období 1991 – 2010 na stanici Holovousy. Upraveno z: (Coufal a kol., 2004)

3.6.2.3. Meruňka a broskvoň (*Prunus armeniaca* L., *Prunus persica* L)

Dle Metodického předpisu č. 3 (2009) jsou u meruňky sledovány následující fenofáze: rašení květních pupenů, rašení listových pupenů, butonizace, počátek kvetení, plný rozkvět, první listy, konec kvetení, tvorba pupenů, sklizňová zralost, sklizeň, konec opadu listů. Žalud (2009a) uvádí, že trvání fenofází meruňky od prvního do plného květu ovlivňuje několik klimatických veličin. Nejsilnějšími faktory jsou maximální a průměrná teplota během fenofáze. Minimální teplota má menší vliv a žádný vliv nemají délka dne, solární radiace a srážky.

Meruňka (*Prunus armeniaca* L.) a broskvoň (*Prunus persica* L.) jsou ovocné dřeviny původem z Číny. Meruňka je adaptována na oblasti kontinentálního rázu s tuhými a krátkými zimami a rychlým přechodem ze zimy do jara bez kolísání teplot. Endodormance (řízená hormony) u meruňek končí zpravidla již v polovině prosince a dále jsou rostliny drženy v klidovém stavu pouze nízkými teplotami (ekodormance). V období dormance snáší mráz okolo -30°C . Broskvoň je poněkud méně mrazuvzdorná než meruňka, stromy snáší teploty k -30°C , ale již teploty okolo mezi -15°C a -25°C (v závislosti na genotypu) ničí květní pupeny na letorostech a způsobují neplodnost stromů v daných letech. Její kvetení je také velmi rané. Oba druhy mají velmi podobné nároky na klimatické podmínky na stanovišti a v ČR mohou být pěstovány jen v nejteplejších

oblastech s průměrnou roční teplotou nad 9°C (8,5°C u meruněk). Nejproblematictější z hlediska mrazuvzdornosti v podmínkách ČR je v případě broskvoní i meruněk období rašení a kvetení stromů, protože na rozdíl od původních stanovišť se v České republice běžně vyskytují jarní mrazíky poškozující květy těchto velmi raně kvetoucích druhů, adaptovaných z původních stanovišť tak, aby vykvetly co nejdříve po skončení mrazů. Mrazová odolnost meruněk, broskvoní a dalších teplomilných ovocných druhů patří mezi kritické faktory ovlivňující jejich pěstování a produkci v podmínkách mírného klimatu, stejně tak hraje důležitou roli ve šlechtění.

Pěstování a produkce meruněk má na našem území dlouholetou tradici. Rovněž broskvoně jsou v České republice již zavedeným a komerčně pěstovaným ovocným druhem. Existuje mnoho místních či unikátních odrůd a klonů. Produkce meruněk i broskvoní je velmi často negativně ovlivňována mrazem vyskytujícím se převážně v době kvetení, avšak k poškozování mrazem dochází i v průběhu dormance. Další teplomilné druhy mohou být potenciálně velmi zajímavé a úspěšně pěstovatelné na našem území. Takovým druhem je i *Diospyros virginiana*. Pochází ze severní Ameriky, v našich podmínkách bez problémů snáší teploty do -25°C, kvete v květnu až červnu (tedy se vyhýbá jarním mrazíkům) a běžně plodí (Ondrášek a kol., 2005), lze jej bez větších problémů pěstovat v teplých oblastech ČR. Jeho původ je odlišný od místa původu *Prunus armeniaca* a *P. persica*, přesto se v areálu původního rozšíření vyskytují mrazy do -30°C, a i proto je sledování tohoto druhu paralelně s druhy již v ČR zavedenými zajímavé z výzkumného hlediska. V rámci rodu *Diospyros* se z pohledu mrazuvzdornosti jako zajímavé jeví mezidruhové hybridy mezi *D. kaki* a *D. virginiana*, které jsou schopny růstu, vývoje a plnohodnotné plodnosti a zejména v teplých oblastech ČR mohou přispět k rozšíření sortimentu netradičních ovocných druhů (Ondrasek a Krška, 2009). V této souvislosti je možné vidět paralelu "obdobného" druhu, broskvoně, která byla u nás dříve také prakticky neznámým ovocem a nyní je zde již tržní plodinou. Je možné říct, že u těchto druhů brání jejich okamžitému rozšíření u nás právě nedostatečná mrazuvzdornost aktuálně dostupných kvalitních tržních odrůd.

Meruňky a broskvoně stejně jako ostatní dřeviny mírného pásu vykazují různé typy fyziologických adaptací na nízké teploty. Jsou to především podchlazování pletiv/orgánů, mrazová dehydratace anebo kombinace obou těchto jevů, která je známá jako tzv. extraorgánové vymrzání. Všechny tyto jevy lze charakterizovat pomocí termických a biofyzikálních metod. Termická

analýza, především kalorimetrie, definuje stav vody u sledovaných vzorků. Pomocí konduktometrie, patřící mezi biofyzikální metody, se sleduje poškození rostlinných pletiv, výtok elektrolytů. Kombinací obou těchto přístupů a klasické analýzy regenerace vzorků (dormantních pupenů) lze charakterizovat parametry poškození rostlin. Zjištěná data mají sloužit ke stanovení mrazuvzdornosti vybraných odrůd a být konfrontována s udávanou mrazuvzdorností, následně lze metodu nasadit pro určování mrazuvzdornosti u novošlechtěnců a umožnit doporučování nových vhodných odrůd meruněk, broskvoní a dalších teplomilných druhů (*D. virginiana*) v pěstebních oblastech v ČR. V důsledku vývoje klimatu mohou tradiční areály rentabilního pěstování broskvoní a meruněk v ČR měnit své polohy a hranice. Na základě meteorologických a klimatologických pozorování lze vytvořit mapy rizikových meteorologických prvků pro zvolené dřeviny a na základě nich vtipovat vhodné lokality a stanoviště pro pěstování jejich odrůd. Mezi rizikové prvky patří především nízké teploty v době rašení a kvetení, ale také období vyšších teplot v době vegetačního klidu, které mohou mít za následek porušení dormance a následné poškození pupenů mrazem (Hájková a kol., 2012).

Fenologická fáze	Nejvyšší kladné odchylky nástupu fenologických fází v letech 1991 – 2010 (pozdější nástup)		Nejvyšší záporné odchylky nástupu fenologických fází v letech 1991 – 2010 (dřívější nástup)	
	Odchylka (dnů)	Leto	Odchylka (dnů)	Leto
První listy	+ 11 dnů	1996	- 12 dnů	1999
Butonizace	+ 14 dnů	1996	- 20 dnů	2007
Počátek kvetení	+ 16 dnů	1996	- 20 dnů	2007
Konec kvetení	+ 13 dnů	1996	- 13 dnů	1999
Sklizňová zralost	+ 12 dnů	1996	- 11 dnů	2000

Tab. 4 Variabilita nástupu vybraných fenologických fází meruňky obecné (odrůda Velkopavlovická) v období 1991 – 2010 na stanici Velké Pavlovice. Upraveno z: (Coufal a kol., 2004)

4. Data a metody

Pro hodnocení dopadu změn klimatu na ovocnictví byla použit datové soubory ČHMÚ, a to průměrné měsíční územní teploty pro Českou republiku a Středočeský kraj v období od 1977 - 2012, které byly podrobeny homogenizaci. Dále byla použit datový soubor výnosů ovoce v kg/strom ve sledovaném období 1977 – 2012 z archivu Katedry Katedra Agroekologie a biometeorologie FAPPZ ČZU v Praze pro následující ovocné dřeviny: jabloň, hrušeň, meruňka, ořešák pro Středočeský kraj a Českou republiku.

Z klimatických aspektů změny klimatu byly pro potřeby této práce vybrán vývoj územních teplot ve sledovaném období a výjimečně teplých let jako nejsilnější faktor sledování změny klimatu. Byla použita data z archivní databáze ČHMÚ, a to měsíční územní teploty naměřené ve Středočeském kraji ve stejném období 1977 – 2012. Datový soubor byl rozdělen na dvě období roku (vegetační období a období vegetačního klidu) a dále podroben popisnému statistickému šetření – kromě maximální a minimální hodnoty byl určen medián, tedy historická střední hodnota pro sledované období, který oproti průměru není ovlivněn extrémními hodnotami a je méně citlivý na vložení chybné hodnoty. Ukazatele rozptyl a směrodatná odchylka zobrazují odchýlení hodnot od dlouhodobého průměru a variační koeficient vyjadřuje podíl směrodatné odchylky na aritmetickém průměru v %. Byly také zjištěny trendy vývoje odchylek od dlouhodobého průměru v programu Microsoft Excel. Následně byly jednotlivé měsíce vyhodnoceny dle metodiky určení **Hranice intervalů pro hodnocení normality měsíců, půlroků a roků – odchylky od dlouhodobého průměru teploty vzduchu** (Příloha 1) (Kožnarová a Klabzuba, 2002)²⁵. Výsledky pak byly uvedeny do souvislostí s proměnlivostí výnosu ovocných dřevin.

Výnosové řady byly nejprve podrobeny popisné statistice v programu Microsoft Excel 2010, kdy byl u každé plodiny zjištěno minimum, maximum, medián, průměr, rozptyl, směrodatná odchylka a variační koeficient pro celé období 1977 - 2012. Dále byly zjištěny trendy výnosů ovoce a pro každou plodinu byla určena rovnice regrese a hodnota spolehlivosti R^2 , která určuje nejspolehlivější typ trendu. Pro každou plodinu byl následně vytvořen graf výnosu a použit typ

²⁵ Zdroj: Doporučení WMO pro popis meteorologických resp. klimatologických podmínek definovaného období (Kožnarová a Klabzuba, 2002)

trendu, který byl nejspolehlivější (v každé tabulce zvýrazněn žlutě) – s nejvyšší hodnotou spolehlivosti R^2 .

Dále byla data výnosových řad podrobena analýze dle metodiky pro hodnocení výnosnosti plodin (Potop et al., 2010), kdy byl hodnocen vliv sucha na obilných polích. Pomocí této metody je možné sledovat odchylky výnosu od dlouhodobého trendu.

Meziroční odchylka regionálního výnosu y_i (T) ovocných dřevin je možné vyjádřit takto:

$$y_i^{(T)} = y_i^0 - y_i^{(\tau)}$$

kde y_i^0 je výnos sledované plodiny a $y_i^{(\tau)}$ je hodnota trendu v jednotlivých letech

Byla provedena základní popisná statistika pro potřeby zjištění *průměrné odchylky od trendu* (σ). Hodnota σ je maximální odchylka ve sledovaném období. Pro zjištění let s nejnižším výnosem byla tato hodnota vydělena dvěma a výsledná hodnota se stala limitní hodnotou pro určení let s vysokým / nízkým výnosem.

Procentuálně byl určena ztráta / přínos v jednotlivých výrazných letech pomocí výpočtu dle rovnice:

$$y = (y_i^0 / y_i^{(\tau)}) \cdot 100$$

Kde y je zisk výnosu v porovnání s dlouhodobým průměrem, y_i^0 je skutečný výnos ve vybraném roce, $y_i^{(\tau)}$ je dlouhodobý průměr trendu.

Poslední charakteristikou v experimentální části je korelační analýza. Pro výpočet korelačního koeficientu r , hladiny významnosti p , šikmosti b a konstanty a byl použit program Statistica 12. Byla použita pokročilá statistika jednoduché nelineární regrese, kdy závislou proměnnou byly odchylky od výnosu ovocného stromu v daném období a proměnná nezávislá byly odchylky územních teplot v daném měsíci ve sledovaném období. Pro výpočet rovnice korelace a jednotlivých hodnot byla použita statistický rovnice:

$$y = a \pm bx$$

Kde y je výnos a x je odchylka územních teplot.

Pro názornost těsnosti vazby mezi oběma proměnnými byl vytvořen sloupcový graf zobrazující do jaké míry je teplota určující pro výnos v daném měsíci vegetačního období.

5. Výsledky

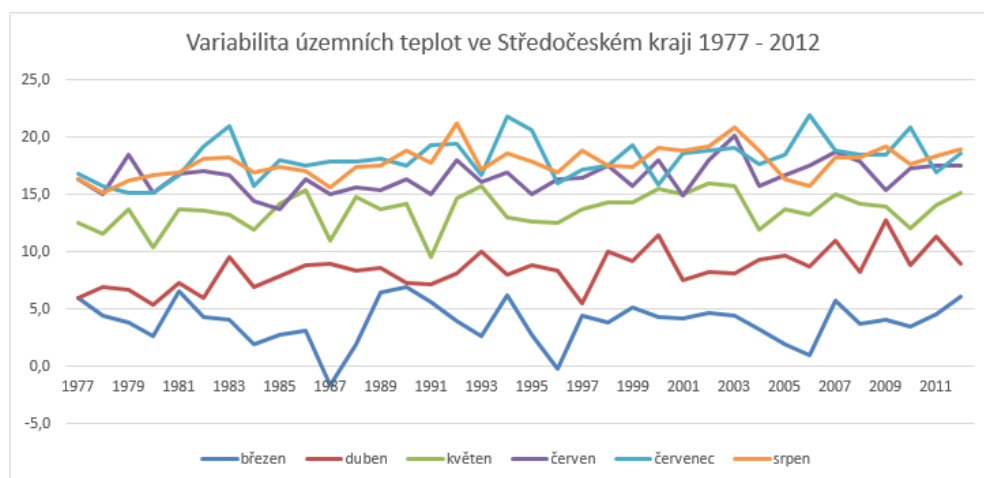
5.1. Klimatická charakteristika období 1977 – 2012

5.1.1. Popisná statistika a trend odchylek od dlouhodobého průměru v měsících vegetačního vývoje

Data územních teplot ve Středočeském kraji v období 1977 – 2012 ve vegetačním období (březen – září) byly nejprve podrobeny popisné statistice. Byly určeny roky s naměřenými maximálními a minimálními teplotami. Spolu s dalšími popisnými charakteristikami jsou výsledky znázorněny v Tab. 5 a jejich průběh v čase v Grafu 1. Databáze územních teplot pro teplý půlrok je uvedena v Příloze 2.

měsíc	min. t	max. t	medián	Ø	rozptyl	směrodatná odchylka	variační koeficient
březen	-1,6 1987	7,0 1990	4,10	3,88	3,397677	1,843279	0,48
duben	5,4 1980	12,8 2009	8,40	8,47	2,6799	1,63704	0,19
květen	9,6 1991	16,0 2002	13,70	12,50	2,282122	1,510669	0,12
červen	13,7 1985	20,2 2003	16,45	16,54	1,843418	1,357725	0,08
červenec	15,2 1979	22,0 2006	18,05	18,15	2,946381	1,716503	0,09
srpen	15,2 1978	21,2 1992	17,75	17,83	1,720895	1,311829	0,07

Tab. 5 Popisná statistika územních měsíčních teplot ve Středočeském kraji ve vegetačním období v 1977 – 2012.



Graf 1 Variabilita hodnot územních měsíčních teplot ve Středočeském kraji v měsících vegetačního vývoje v 1977 – 2012

Popisnou charakteristiku odchylek územních teplot od dlouhodobého průměru ve Středočeském kraji znázorňuje Tab. 6 a Graf 2 zobrazuje kompletní soubor odchylek a jejich trendový vývoj v daném období. Nejchladnějším měsícem vegetace sledovaného období je rok 1987 s odchylkou -5,0 °C od dlouhodobého průměru. Významně chladnější oproti normálu byly také měsíc duben v roce 1980 s odchylkou -2,7 °C a měsíc květen v roce 1991 s odchylkou - 3,4 °C. Naopak nejteplejší byl duben roku 2009 s odchylkou + 4,7 °C. Druhý měsíc s nejméně výraznější odchylkou je červenec roku 2006 s odchylkou + 4,2 °C. Z Grafu 2 je možné sledovat stoupající trend pozitivních odchylek od normálu, což poukazuje na současný vývoj klimatu. Komplexní databáze odchylek měsíců ve vegetačním období, včetně zhodnocení, zda byly jednotlivé vegetační období chladné či teplé je uvedeno v Příloze 3.

měsíc	min. odchylka	max. odchylka	medián	Ø	rozptyl	směrodatná odchylka	variační koeficient
březen	-5,0 1987	3,6 1990	0,70	0,48	3,400833	1,844135	3,82
duben	-2,7 1980	4,7 2009	0,30	0,37	2,6799	1,63704	4,43
květen	-3,4 1991	3,0 2002	0,70	-0,50	2,270278	1,506744	-3,01
červen	-2,6 1985	4,0 2003	0,15	0,24	1,864043	1,3653	5,72
červenec	-2,6 1979	4,2 2006	0,25	0,36	2,951914	1,718113	4,83
srpen	-2,0 1978	4,0 1992	0,55	0,63	1,720895	1,311829	2,09

Tab. 6 Popisná statistika odchylek od dlouhodobého průměru územních teplot ve Středočeském kraji v měsících vegetačního vývoje v období 1977 – 2012.



Graf 2 Průběh polynomického trendu odchylek od dlouhodobého průměru teplot ve Středočeském kraji v měsících vegetačního vývoje v období 1977 – 2012.

5.1.2. Trend odchylek od dlouhodobého průměru v měsících vegetačního klidu

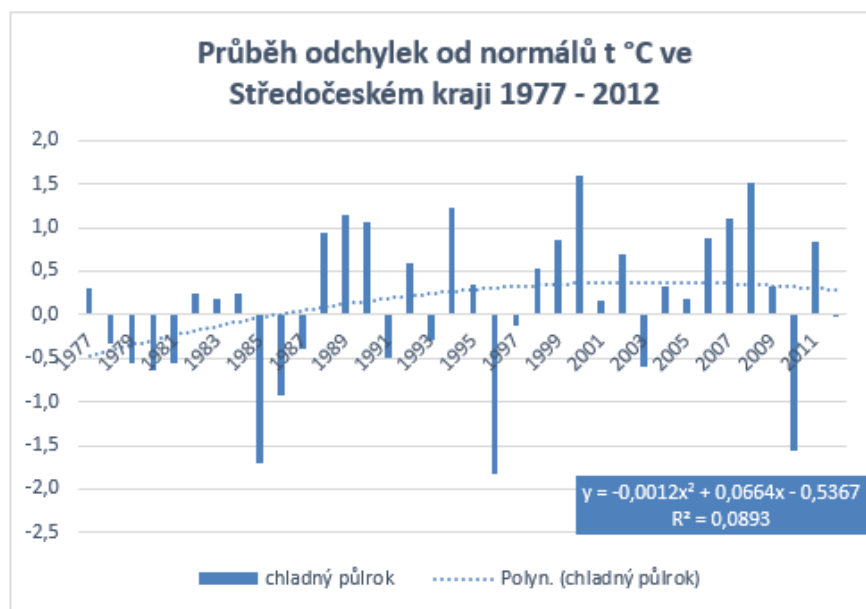
U měsíců vegetačního klidu období 1977 – 2012 byla provedena pouze statistika odchylek od dlouhodobého průměru, jelikož chladný půlrok je kromě měsíců září a říjen, kdy dozrávají plody jabloní a hrušní, obdobím klidu ovocných dřevin. Jeho extrémní projevy nejsou tak ničující na výnos, jelikož tyto měsíce nejsou pro vybrané ovocné dřeviny kritickými měsíci ve fenologickém vývoji ovocných stromů. Jejich negativní vliv na úrodu je tak ojedinělý a nepříliš významný.

Tab. 7 zobrazuje nejvýraznější odchylky od normálu. Měsíc únor byl v roce 1986 nejvíce odlišný od dlouhodobého průměru, a to o $-6,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dalším velmi chladným měsícem byl leden roku 1987 s odchylkou $-5,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ od normálu. Naopak nejvyšší pozitivní odchylka byla vypočtena pro rok leden roku 2007, a to o $+6,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dalším významně teplým měsícem byl únor roku 1990 s odchylkou $+4,8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

měsíc	min. odchylka	max. odchylka	medián	\emptyset	rozptyl	směrodatná odchylka	variační koeficient
září	-3,1 1996	3,1 1999	-0,20	-0,16	1,98858	1,41017	-9,07
říjen	-3,0 2003	3,3 2001	0,00	-0,06	1,766821	1,329218	-21,75
listopad	-2,9 1985	3,0 2009	0,60	1,30	2,722654	1,650047	1,27
prosinec	-4,6 1996	3,6 1979	0,10	0,26	3,661752	1,91357	7,25
leden	-5,4 1987	6,1 2007	1,35	0,66	8,443488	2,905768	4,40
únor	-6,9 1986	4,8 1990	-0,40	0,05	8,84527	2,9741	56,35

Tab. 7 Popisná statistika odchylek od dlouhodobého průměru územních teplot ve Středočeském kraji v době vegetačního klidu v období 1977 – 2012.

Průběh odchylek od normálu v chladném půlroce v období 1977 – 2012 zobrazuje Graf 3. Oproti průběhu odchylek měsíců vegetačního vývoje má klesající trend s nízkou hladinou význanosti. Kompletního databáze odchylek měsíců vegetačního klidu, včetně zhodnocení, zda byly jednotlivé teplé půlroky chladné či teplé je uvedeno v Příloze 4.



Graf 3 Průběh polynomickeho trendu odchylek od dlouhodobého průměru teplot ve Středočeském kraji v době vegetačního klidu v období 1977 – 2012.

5.2. Popisná statistika vybraných ovocných dřevin

V této diplomové práci byla zpracovány výnosové řady čtyř ovocných dřevin. Dvě teplomilné (meruňka a broskvoň) a dvě teplomilné až chladnomilné (jablň, hrušeň). U všech plodin bylo kromě minimálních a maximálních výnosů určeny i další popisné charakteristiky. Pro každou plodinu byly srovnány výsledky výnosů Středočeského kraje a České republiky. Středočeský kraj poslouží jako přesnější ukazatel odrazu výnosu od synoptických situací, průměr České republiky může odpověď výnosu dřevin mírně zkreslovat.

5.2.1. Vyhodnocení popisné statistiky a trendu výnosů jabloně

Ve sledovaném období 1977 – 2012 byly zaznamenány nejnižší výnosy jabloně v roce 1981 ve Středočeském kraji i v ČR. Ve Středočeském kraji byl zaznamenán průměrný výnos 3,38 kg / strom a v ČR 5,52 kg / strom. V tomto roce byla Evropa zasažena pozdními jarními mrazy, což mělo za následek likvidaci velké části květů a následná úroda tedy byla nižší. Nejvyšší

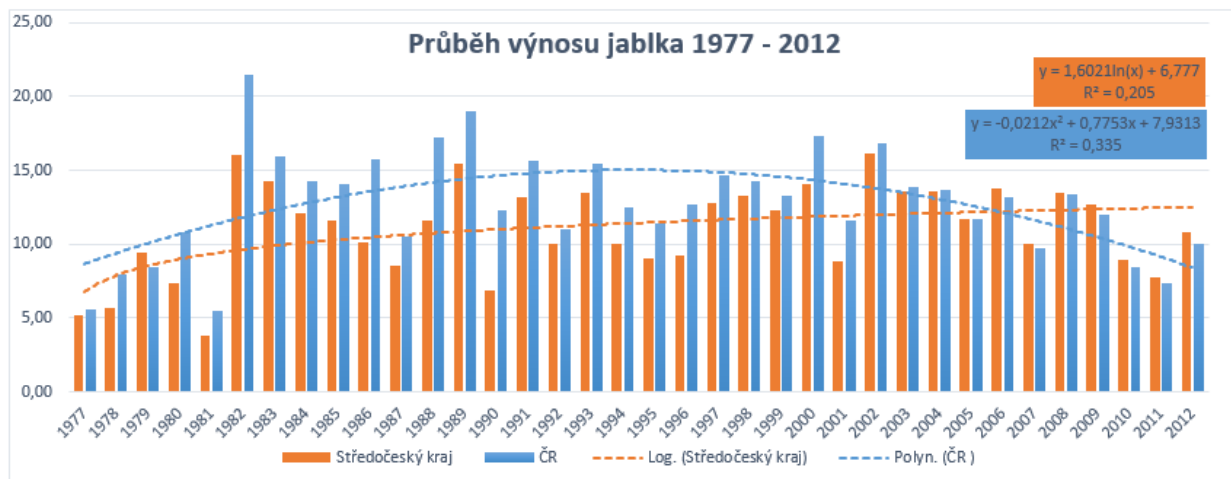
výnosy byly ve Středočeském kraji zaznamenány v roce 2002 s 16,13 kg /strom. V tomto roce byl celkový výnos jablek v ČR 221,2 tis. t. Přestože byl výnos v tomto roce o něco nižší než v předchozím roce, kvalita jablek byla vyšší. Bohužel skladové zásoby nebyly zcela využity, a to zejména kvůli dovozu levnějších jablek z Polska, což způsobilo útlum v odbytu lokálních jablek a došlo tak ke ztrátám²⁶. V ČR byl nejvyšší výnos v roce 1982 s 21,46 kg / strom. Další charakteristiky uvádí Tab. 8.

Popisná statistika	Středočeský kraj		Česká republika	
minimum	3,83	1981	5,52	1981
maximum	16,13	2002	21,46	1982
medián	11,64		12,95	
průměr	11,04		12,75	
rozptyl	9,117639378		12,43553398	
směrodatná odchylka	3,019542909		3,526405249	
variační koeficient	0,273587471		0,276577577	

Tab. 8 Popisná statistika jabloně pro Středočeský kraj a ČR.

Tab. 9 vyznačuje čtyři typy trendových rovnic s hodnotou spolehlivosti R^2 . Pro analýzu výnosové řada Středočeského kraje je dále použito křivky logaritmické regrese, která má vzestupnou tendenci s kladnou rovnici y . Pro Českou republiku byla použita křivka polynomiální regrese, která má u jablek v první polovině sledovaného období stoupající tendenci a od 90. let 21. století klesající tendenci, což potvrzuje negativní charakter rovnice y . Oba trendy jsou proloženy do Grafu 4, který graficky znázorňuje variabilitu výnosů ve sledovaném období.

²⁶ Situační a výhledová zpráva, Ovoce. 2002. Ministerstvo zemědělství České republiky.



Graf 4 Variabilita výnosu jabloně v období 1977 – 2012 ve Středočeském kraji ČR.

Trendy	Středočeský kraj		ČR	
	rovnice	R2	rovnice	R2
polynomický	$y = -0,0259x^2 + 1,1437x + 1$	-0,086	$y = -0,0212x^2 + 0,7753x + 7,9313$	0,335
lineární	$y = 0,4342x + 1$	-1,741	$y = 0,4811x + 1$	-2,724
exponenciální	$y = e^{0,0995x}$	-10,5	$y = e^{0,1033x}$	-15,53
logaritmický	$y = 1,6021\ln(x) + 6,777$	0,205	$y = 0,9629\ln(x) + 10,19$	0,0543

Tab. 9 Rovnice trendu pro výnos jabloně pro Středočeský kraj a ČR.

5.2.2. Vyhodnocení popisné statistiky a trendu výnosů hrušně

Ve sledovaném období 1977 – 2012 byly ve Středočeském kraji zaznamenány nejnižší výnosy hrušně v roce 1979 s 2,76 kg/strom a v České republice v roce 2003 s 3,93 kg/strom. Situace byla podobná v celé Evropě, kdy měl nepříznivý průběh počasí v roce 2003 měl negativní vliv na výnos hrušek, která byla dle předpokladů přibližně o 10 % nižší. Nižší sklizeň byla i ve Francii, Německu, Belgii a Portugalsku. Pouze v Nizozemsku byly bez významné změny. Největší ztráty byly sledovány u odrůd Děkanka Robertova, Krassanská, Guyotova, Williamsova a Kristalli. Naopak odrůdy Boscova Lahvice a Konference vykazovaly konstantní nebo vyšší výnos²⁷. Nejvyšší výnosy byly v České republice zaznamenány v roce 1986 s 14,3 kg/strom a ve Středočeském kraji byl podobně vysoký výnos sledován v roce 1983 s 14,04 kg/strom. V roce

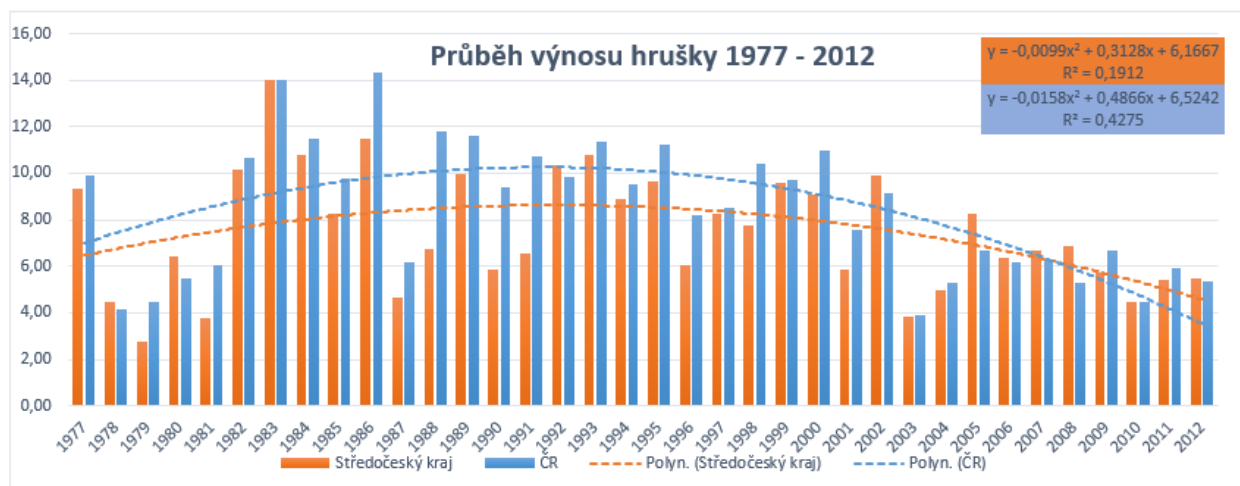
²⁷ Situační a výhledová zpráva, Ovoce. 2003. Ministerstvo zemědělství České republiky.

1983 bylo navzdory studenému roku velmi teplé léto, s vyšší četností horkých vln a letních dnů a v tomto roce byly zaznamenány nejvyšší teploty vzduchu v ČR v dekadě od 1977 – 1987 (Kyselý, 2003). Ke stejnému závěru došla Hanzlíková (2013) a určila rok 1983 jako rok s absolutně nejvyšším počtem letních dnů, celkem 44 dnů ve sledovaném období 1961 – 2011. Výjimečně teplé léto prospělo hrušce v období jejího dozrávání a zaručilo tak vysoké výnosy ve Středočeském kraji.

Popisná statistika	Středočeský kraj		Česká republika	
minimum	2,76	1979	3,93	2003
maximum	14,04	1983	14,3	1986
medián	6,80		8,82	
průměr	7,49		8,40	
rozptyl	6,438235728		7,925295272	
směrodatná odchylka	2,537367874		2,815190095	
variační koeficient	0,34		0,335129149	

Tab. 10 Popisná statistika hrušně pro Středočeský kraj a ČR.

Graf 5 zobrazuje vývoj výnosu hrušně v České republice a Středočeském kraji. Stejně jako u jabloně jsou pro zobrazení trendu použity křivky regrese s nejvyšší hodnotou spolehlivosti R^2 . U hrušně je zvoleno druhého řádu polynomiální regrese. Forma polynomu křivky má od poloviny období sestupný charakter, avšak zanedbatelná hodnota R^2 poukazuje na nižší významnost průběhu trendu. Další rovnice regrese jsou uvedeny v Tab. 11.



Graf 5 Variabilita výnosu hrušně v období 1977 – 2012 ve Středočeském kraji ČR.

Trendy	Středočeský kraj		ČR	
	rovnice	R2	rovnice	R2
polynomický	$y = -0,0099x^2 + 0,3128x + 6,1667$	0,1912	$y = -0,0296x^2 + 1,0918x + 1$	0,0454
lineární	$y = 0,2537x + 1$	-2,04	$y = 0,2804x + 1$	-2,445
exponenciální	$y = e^{0,0791x}$	-7,618	$y = e^{0,0823x}$	-9,625
logaritmický	$y = -0,21\ln(x) + 8,0467$	0,005	$y = -0,432\ln(x) + 9,5492$	0,0172

Tab. 11 Rovnice trendu pro výnos hrušně pro Středočeský kraj a ČR.

5.2.3. Vyhodnocení popisné statistiky a trendu výnosů meruňky

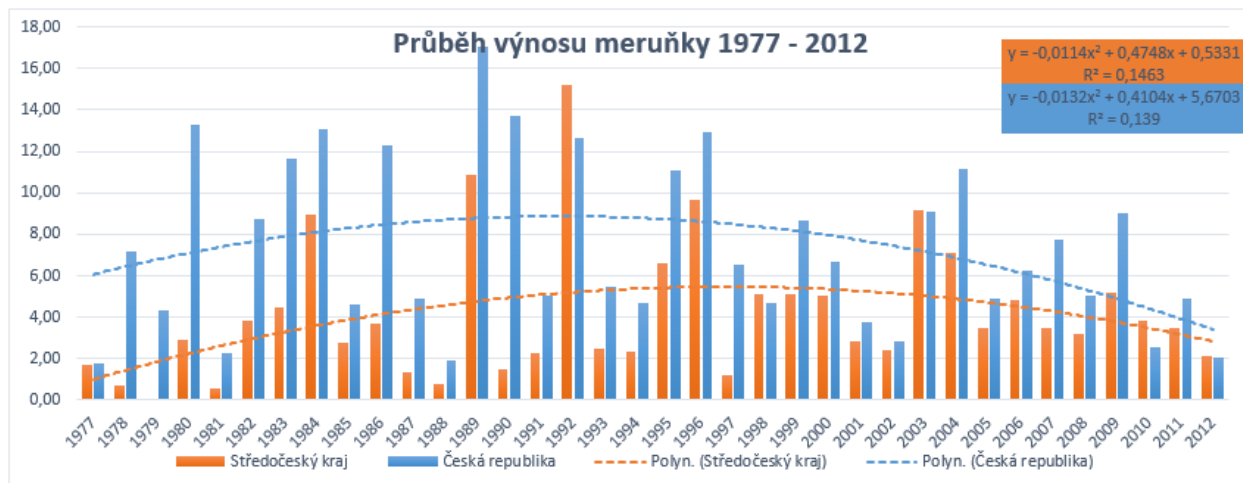
V roce 1979 bylo ve Středočeském kraji sklizeno rekordně nízké množství meruněk, a to pouze 0,1 kg/strom. Takto podprůměrné výnosy jistě způsobila tvrdá zima, kdy se na konci roku 1978 vytvořilo nad střední Evropou výrazné teplotní rozhraní, které přes Českou republiku přešlo v podobě studené fronty na konci prosince 1978 a začátku ledna 1979. V noci ze Silvestra na Nový rok, kdy teploty během jednoho dne klesly o 20 – 30 °C. Takový jev je v naší oblasti velmi mimořádný (Racko, 2013)²⁸. V České republice byl zaznamenán nejnižší výnos v roce 1977 s výnosem 1,77 kg / strom. Maximálního výnosu ve Středočeském kraji bylo docíleno v roce 1992 s výnosem 15,18 kg / strom. Tento rok se vyznačoval velmi teplým létem, kdy se v naší republice objevila nejdelší horká vlna za období 1961 – 2000 (na stanici Olomouc – Slavotín, která trvala 37 dnů; na ostatních stanicích byla přerušena poklesem maximální denní teploty pod 25 °C). V tomto roce, z celkově padesáti nejvyšších teplot tohoto období bylo 34 z nich naměřeno v roce 1992 (Kyselý, 2003).

Popisná statistika	Středočeský kraj		Česká republika	
minimum	0,1	1979	1,77	1977
maximum	15,18	1992	17,04	1989
medián	3,47		6,37	
průměr	4,18		7,34	
rozptyl	10,30357507		16,06654813	
směrodatná odchylka	3,209918234		4,008309884	
variační koeficient	0,77		0,545907904	

Tab. 12 Popisná statistika meruňky pro Středočeský kraj a ČR.

²⁸ Zdroj: Infomet ČHMÚ, 2013: bude se opakovat silvestr 1978?

Graf 3 zobrazuje výnosy meruněk v období 1977 – 2012, které byly proloženy trendem polynomiální regrese. Hodnota rovnice y je u výnosu Středočeského kraje a ČR záporná a trend vykazuje od roku 1977 stoupající tendenci s maximem v 90. letech 21. století a dále klesá.



Graf 6 Variabilita výnosu meruňky v období 1977 – 2012 ve Středočeském kraji ČR.

Trendy	Středočeský kraj		ČR	
	rovnice	R2	rovnice	R2
polynomický	$y = -0,0128x^2 + 0,5332x$	0,1436	$y = -0,0132x^2 + 0,4104x + 5,6703$	0,139
lineární	$y = 0,1431x + 1$	-0,085	$y = 0,2424x + 1$	-0,858
exponenciální	$y = e^{0,0535x}$	0,1004	$y = e^{0,0733x}$	-2,435
logaritmický	$y = 1,0393\ln(x) + 1,4137$	0,0763	$y = -0,137\ln(x) + 7,7073$	0,0009

Tab. 13 Rovnice trendu pro výnos meruňky pro Středočeský kraj a ČR.

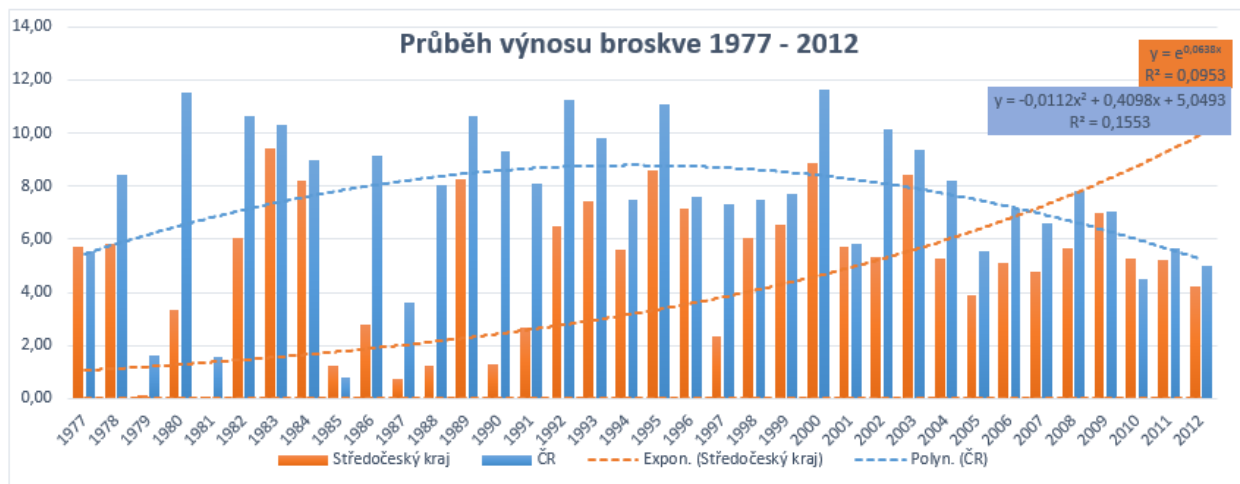
5.2.4. Vyhodnocení popisné statistiky a trendu výnosů broskvoně

Ve Středočeském kraji bylo naprosté minimum výnosu broskví zaznamenáno v roce 1981 s pouhými 0,07 kg ovoce / strom. Stejně jako u úrody jablek v tomto roce byly meruňky zasaženy pozdními jarními, které téměř zdevastovaly úrodu v tomto roce. Příznivé podmínky velmi teplého léta 1983 napomohli nejvyšším výnosům ve Středočeském kraji, a to 9,41 kg/strom, stejně jako meruňkám.

Popisná statistika	Středočeský kraj		Česká republika	
minimum	0,07	1981	0,78	1985
maximum	9,41	1983	11,65	2000
medián	5,48		7,74	
průměr	5,06		7,57	
rozptyl	6,490862367		7,584231056	
směrodatná odchylka	2,547717089		2,753948267	
variační koeficient	0,50		0,363768616	

Tab. 14 Popisná statistika broskvoně pro Středočeský kraj a ČR.

Graf 4 zobrazuje trend výnosu broskvoní. Klesající trend v ČR od poloviny sledovaného období nemusí svědčit o negativním vlivu změn klimatu, ale spíše o problematice stáří sadů broskvoní, které zatím nebyly dostatečně obnoveny, aby mohli konkurovat výnosem ostatním zemím EU (Litschmann a kol., 2007). Spíše výjimečně vykazují broskvoně vyšší výnos v druhé polovině sledovaného období.



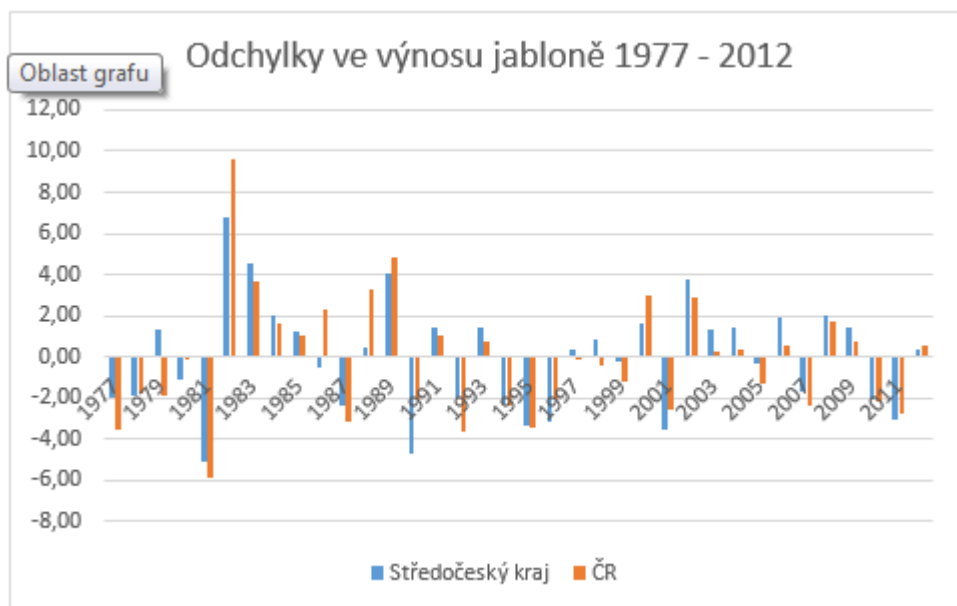
Graf 7 Variabilita výnosu broskvoně v období 1977 – 2012 ve Středočeském kraji ČR.

Trendy	Středočeský kraj		ČR	
	rovnice	R2	rovnice	R2
polynomický	$y = -0,0088x^2 + 0,4219x + 1$	0,0175	$y = -0,0112x^2 + 0,4098x + 5,0493$	0,1553
lineární	$y = 0,1816x + 1$	-0,249	$y = 0,2686x + 1$	-1,411
exponenciální	$y = e^{0,0638x}$	0,0953	$y = e^{0,0804x}$	-2,163
logaritmický	$y = 0,6886\ln(x) + 3,227$	0,0532	$y = 0,3206\ln(x) + 6,7181$	0,0099

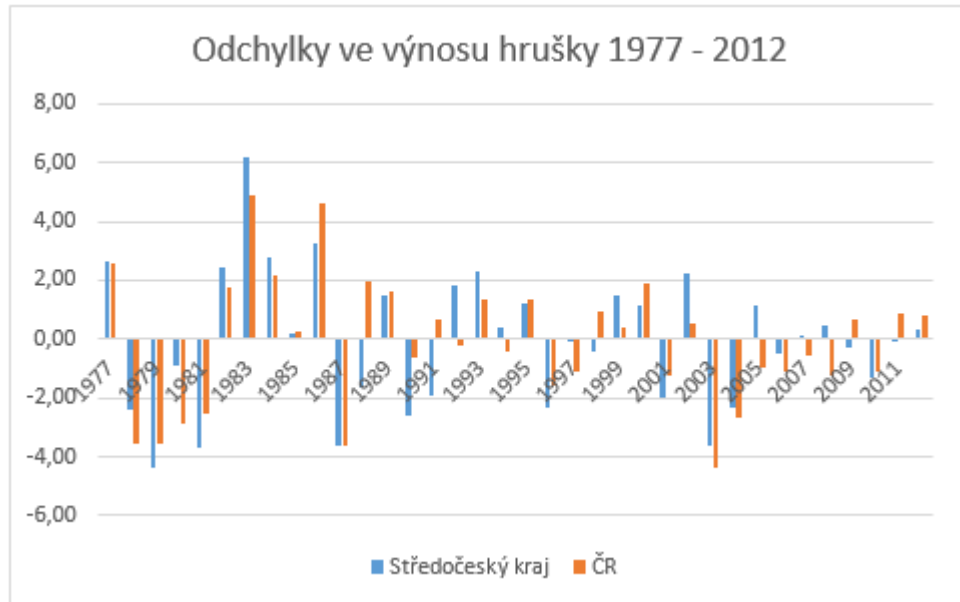
Tab. 15 Rovnice trendu pro výnos broskvoně pro Středočeský kraj a ČR.

5.3. Odchylky výnosu od dlouhodobého trendu a roky s nejvyšším a nejnižším výnosem

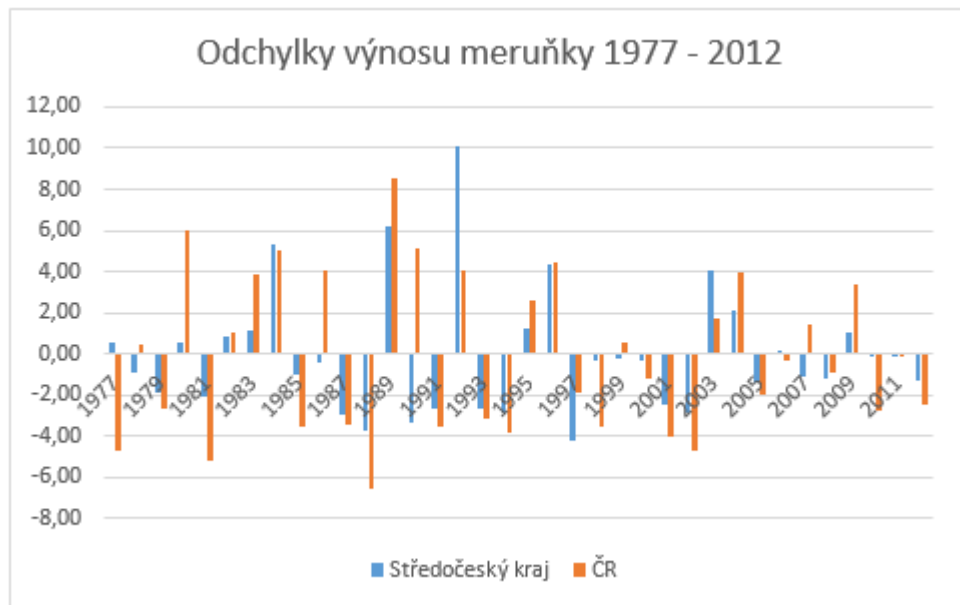
Pro datové soubory výnosů jednotlivých ovocných dřevin byly následně vypočteny odchylky od dlouhodobého výnosu za období 1977 – 2012. Pro tento výpočet byla použita rovnice dle metodiky Potop et al. (2010) dle vzorce $y_i^{(T)} = y_i^0 - y_i^{(v)}$. Odchylky v letech jsou uvedeny v Grafech 8 – 11 a kompletní databáze odchylek v Příloze 5 a 6.



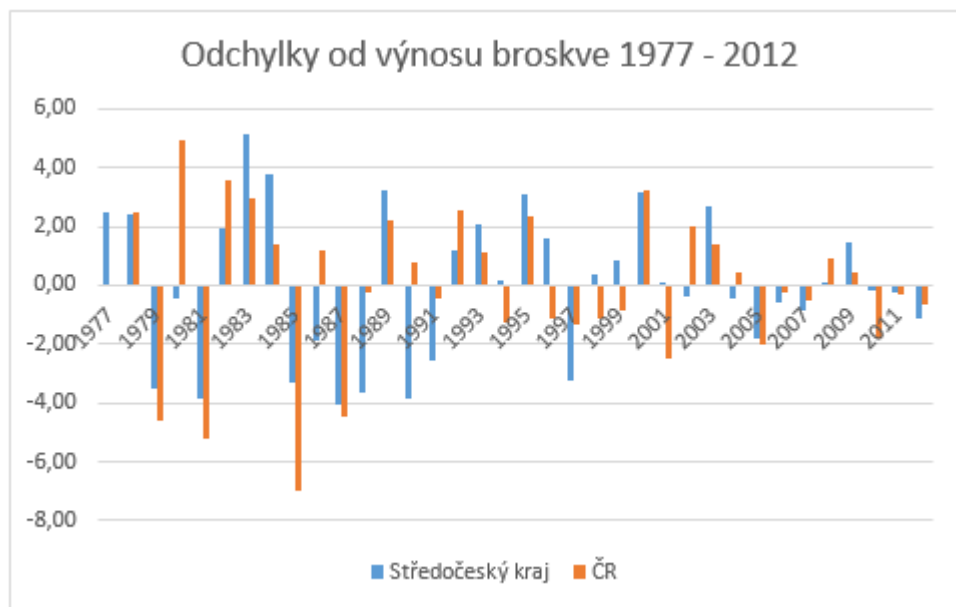
Graf 8 Vývoj odchylek od dlouhodobého výnosu jabloně v období 1977 – 2012.



Graf 9 Vývoj odchylek od trendu výnosu hrušně v období 1977 – 2012.



Graf 10 Vývoj odchylek od trendu výnosu meruňky v období 1977 – 2012.



Graf 11 Vývoj odchylek od trendu výnosu broskvoně v období 1977 – 2012.

U jabloně bylo možné sledovat nejvyšší výnos s odchylkou od normálu 6,77 kg/strom (o 45 % více než je dlouhodobý průměr) v roce 1982, kdy byly nejdůležitější období jara převážně v normální hladině, s nepříliš výraznými výkyvy teplot. Teplý i studený půlrok byl v tomto roce vyhodnocen jako *normální*. Dalším rokem byl teplý rok 1983 s odchylkou 4,55 kg / strom, který byl výjimečný velmi teplým letním obdobím s velkým počtem letních dnů a také horkých vln, což přispělo k pozitivnímu vývoji plodů. Zároveň díky teplému jaru bez výrazných pozdních mrazíků nebyly zničeny květy v první fázi kvetení. Tento rok byl také velmi příznivý pro výnos hrušek, u kterých bylo dosaženo maximálního výnosu ve sledovaném období s pozitivní odchylkou 6,19 kg /strom (o 87 % více než je dlouhodobý průměr). Rok 1981 se u obou dřevin projevil jako nejztrátovější (u hrušek druhý nejztrátovější s 50 % ztrátami) na výnos kvůli velmi mrazivých podmínkám v tomto roce. Nejvýraznější roky s nejvyšším a nejnižším výnosem jsou uvedeny v Tab. 16.

jabloně		hrušky	
Roky s vysokým výnosem $y \geq 1,3$	Roky s nízkým výnosem $y \leq 1,3$	Roky s vysokým výnosem $y \geq 1,15$	Roky s nízkým výnosem $y \leq 1,15$
1982	6,77	1981	-5,10
1983	4,55	1990	-4,74
1989	4,04	2001	-3,58
2002	3,77	1995	-3,30
1984	2,02	1996	-3,12
2008	1,99	2011	-3,07
2006	1,93	1987	-2,36
2000	1,63	1994	-2,23
2009	1,42	2010	-2,10
2004	1,40	1977	-1,98
1991	1,40	1992	-1,96
1993	1,38	1978	-1,90
2003	1,34	2007	-1,67
1979	1,32	1980	-1,12
		1986	-0,49
		2005	-0,30
		1999	-0,20
		2012	0,33
		1997	0,37
		1988	0,44
		1998	0,85
		1985	1,28
		1983	6,19
		1979	-4,36
		1986	3,27
		1981	-3,72
		1984	2,80
		1987	-3,63
		1977	2,66
		2003	-3,62
		1982	2,46
		1990	-2,62
		1993	2,27
		1978	-2,42
		2002	2,25
		2004	-2,34
		1992	1,84
		1996	-2,31
		1989	1,51
		2001	-1,99
		1999	1,47
		1991	-1,93
		1995	1,21
		1988	-1,63
		2010	-1,33
		1980	-0,91
		2006	-0,49
		1998	-0,43
		2009	-0,32
		2011	-0,06
		1997	-0,03
		2007	0,10
		1985	0,16
		2012	0,34
		1994	0,42
		2008	0,50
		2000	1,15

Tab. 16 Rozdělení výnosů v letech ve vztahu k průměrné odchylce let pro jabloně a hrušeň.

I u meruněk a broskví byly stanoveny roky s nejvyšším a nejnižším výnosem pomocí určení odchylek od dlouhodobého trendu výnosu. Meruňky jsou v období jarního kvetení velmi citlivé na pozdní mrazíky. Proto je z Tab. 17 možné vidět, že let s vysokým výnosem je i přes vysoké odchylky znatelně menší množství než let s nízkým výnosem. Nutno zmínit rok 1992 s výrazně vysokým výnosem, a to 10,10 kg / strom, tedy o 141 % více než je dlouhodobý průměr. V tomto roce byl teplý půlrok vyhodnocen dle klasifikace jako *velmi teplý* s výrazně teplým létem. U broskví byl nejvýraznějším rokem rok 1983 s odchylkou 5,15 kg / strom, kdy broskvoním (stejně jako jabloním a hrušním) prospěly vyšší než běžně teplé léto. Z let s nízkými výnosy je dobré uvést rok několik významných let, kdy měly tuhé zimy za následek nižší úrodu teplomilných meruněk a broskvoní. Jsou to roky 1979, 1981 a 1985. Všechny tyto roky spojuje společná charakteristika

chladného půlroku *studený* až *silně studený* (1985) a stejně tak teplé půlroky těchto let nebyly nijak teplé. V roce 1979 byly u meruněk ztráty na výnosu ve Středočeském kraji 97 % a u broskví 97,83 %. 1981 byla ztráta výnosu broskví ve Středočeském kraji až 98%, u meruněk 87 %. Je tedy zřejmé, že tyto plodiny jsou také velmi citlivé na tuhost zimního období.

meruňky		broskve	
Roky s vysokým výnosem $\gamma \geq 1,85$	Roky s nízkým výnosem $\gamma \leq 1,85$	Roky s vysokým výnosem $\gamma \geq 1,2$	Roky s nízkým výnosem $\gamma \leq 1,2$
1992 10,10	1997 -4,19	1983 5,15	1987 -4,04
1989 6,22	1988 -3,69	1984 3,81	1981 -3,87
1984 5,36	1990 -3,35	1989 3,23	1990 -3,83
1996 4,31	1987 -2,95	2000 3,19	1988 -3,65
2003 4,02	1994 -2,90	1995 3,08	1979 -3,49
2004 2,11	2002 -2,81	2003 2,71	1985 -3,28
	1993 -2,68	1977 2,51	1997 -3,25
	1991 -2,67	1978 2,43	1991 -2,53
	2001 -2,46	1993 2,08	1986 -1,88
	1981 -2,10	1982 1,92	2005 -1,78
	1979 -1,86	1996 1,60	2012 -1,12
	2005 -1,40	2009 1,44	2007 -0,84
	2012 -1,28	1992 1,20	2006 -0,55
	2008 -1,19		2004 -0,45
	2007 -1,07		1980 -0,41
	1985 -1,05		2002 -0,37
	1978 -0,86		2011 -0,23
	1986 -0,38		2010 -0,19
	2000 -0,31		2001 0,01
	1998 -0,28		2008 0,07
	1999 -0,25		1994 0,18
	2011 -0,15		1998 0,38
	2010 -0,06		1999 0,85
	2006 0,14		
	1977 0,53		
	1980 0,58		
	1982 0,87		
	2009 1,06		
	1983 1,17		
	1995 1,27		

Tab. 17 Rozdělení výnosů v letech ve vztahu k průměrné odchylce let pro meruňku a broskvoň.

5.4. Korelační analýza – závislost územních teplot v období vegetace na výnosu ovocných dřevin

Závislost výnosu jednotlivých dřevin na územních teplotách v jednotlivých měsících vegetačního období během periody 1977 – 2012 ve Středočeském kraji lze sledovat pomocí korelační analýzy. Pomocí korelačního Pearsonova koeficientu r , který udává těsnost vazby mezi odchylkami výnosu a odchylkami územních teplot. Jeho kladné hodnoty vykazují pozitivní vliv v daném měsíci na výnos a jeho záporné hodnoty negativní. Jeho hodnoty se pohybují od - 1 do 1. Je vyhodnocen dle klasifikace: slabá korelace (0,1 – 0,3), střední (0,4 – 0,6), silná (0,7 – 0,8) a velmi silná (více než 0,9). Hodnota R^2 udává procentuální podíl vlivu teploty v daném měsíci na výnos ovoce. Pokud je hodnota b kladná, je tento vliv pozitivní, záporné hodnoty vykazují negativní vliv. Hladina významnosti p určuje, jak je tento vliv statisticky významný. Hranice pro určení hladiny významnosti je hodnota 0,05, kdy $p \leq 0,05$ určuje statisticky významný vztah, $p \geq 0,05$ statisticky nevýznamný vztah.

Dle výsledků korelační analýzy jabloně je zřejmé, že výnos v daném roce je z dlouhodobého hlediska nejvíce ovlivněn v červenci a září. Tedy v době dozrávání plodů. V České republice i ve Středočeském kraji jsou v červenci nejvíce negativně působící srážky (ze všech meteorologických vlivů jsou srážky nejvíce působící, a to z 25 a 23 %). Statisticky významné je i pozitivní působení teplot a negativní působení srážek v září, kdy u většiny odrůd vrcholí fáze dozrávání. Ve Středočeském kraji má teplota v září nejvíce pozitivní vliv na výnos (34%) a zároveň srážky mírně negativní vliv (z 25%). V období vegetačního klidu je u jabloně z hlediska teploty zásadní začátek roku. V lednu může mít teplota pozitivní vliv z 25 % v České republice a z 20 % ve Středočeském kraji. Výsledky korelační analýzy jsou znázorněny v Tab. 18.

*Šedý odstín je odhad modelů. Klasifikace korelace r :

slabá	střední	silná	velmi silná
-------	---------	-------	-------------

	a		b		r		R ² (%)		p - hladina významnosti	
	konstanta		šikmost		t°C	r (mm)	t°C	r (mm)	t°C	r (mm)
	t°C	r (mm)	t°C	r (mm)						
ČR										
1	-0,06	0,88	0,07	-0,02	0,1	-0,13	1	6	0,68	0,1
2	0	0,53	-0,07	-0,01	-0,1	-0,1	1	3	0,69	0,12
3	0,01	0,46	-0,03	-0,01	-0,1	-0,1	1	3	0,91	0,12
4	-0,03	0,89	0,06	-0,02	0,1	-0,12	1	4	0,83	0,1
5	-0,16	0,21	0,27	-0,01	0,14	-0,1	3	2	0,4	0,1
6	0,04	0,46	-0,1	-0,01	-0,1	-0,1	2	2	0,79	0,1
7	-0,12	1,61	0,17	-0,06	0,11	-0,38	2	25	0,54	0,05
8	-0,09	-0,04	0,13	0	0,13	0,01	3	0	0,09	0,97
9	-0,01	2,28	0,52	-0,04	0,29	-0,35	19	23	0,05	0,05
10	-0,03	0,52	0,34	-0,01	0,19	-0,1	11	3	0,09	0,55
11	-0,02	1,99	0,09	-0,04	0,1	-0,27	5	18	0,1	0,05
12	-0,19	0,71	0,52	-0,1	0,33	-0,1	25	5	0,04	0,08
Středočeský kraj										
1	-0,01	0,93	0,01	-0,03	0,1	-0,16	2	8	0,95	0,1
2	0,01	0,06	-0,07	-0,01	-0,1	-0,1	2	1	0,63	0,12
3	0	-0,06	-0,02	0,01	-0,1	0,1	2	1	0,93	0,12
4	-0,03	0,43	0,07	-0,02	0,1	-0,2	2	5	0,78	0,07
5	-0,12	0,89	0,22	-0,14	0,13	-0,16	5	8	0,09	0,09
6	-0,05	0,08	0,21	-0,01	0,11	-0,1	5	2	0,51	0,11
7	-0,1	1,88	0,22	-0,02	0,15	-0,33	6	23	0,08	0,04
8	-0,1	0,13	0,16	-0,01	0,12	0,1	5	3	0,09	0,14
9	0,1	1,43	0,67	-0,03	0,4	-0,3	34	25	0,02	0,04
10	-0,01	0,36	0,02	-0,01	0,1	-0,1	2	2	0,96	0,62
11	0	0,27	-0,03	-0,01	-0,1	-0,1	3	2	0,89	0,77
12	-0,17	1,26	0,47	-0,03	0,35	-0,2	20	9	0,03	0,23

Tab. 18 Parametry kvality modelu použitého pro hodnocení vlivu teploty (°C) a srážkové anomálie (mm) na výnos ovocných dřevin (jablka) ($Y_d = a + b \cdot t^{\circ}C$; $Y_d = a + b \cdot r$ (mm))

Hruška je oproti výsledkům jabloně více ovlivněna teplotami v průběhu roku, jak zobrazuje Tab. 19. Na jaře je v České republice nejzásadnější 18 % příznivý vliv teplot, stejně tak ve Středočeském kraji. Tento vliv však není statisticky významný. Dále v letním období je sledován mírná korelace mezi výnosem a teplotami v obou regionech. Ve Středočeském kraji je pozorován 20 % pozitivní vliv srážek v srpnu, před počátkem dozrávání, které u různých odrůd probíhá variabilně přibližně mezi 2. zářím a 4. říjnem (Coufala kol, 2004). V říjnu je u obou regionů sledován pozitivní vliv teploty, ve Středočeském kraji statisticky významný vliv z 21 % ze všech meteorologických vlivů.

	a		b		r		R ² (%)		p - hladina významnosti	
	konstanta		šikmost		t°C	r (mm)	t°C	r (mm)	t°C	r (mm)
	t°C	r (mm)	t°C	r (mm)						
ČR										
1	-0,27	-0,59	0,33	0,01	0,41	0,11	20	1	0,01	0,5
2	0	-0,56	-0,03	0,01	-0,03	0,12	0	1	0,83	0,47
3	-0,04	-0,02	0,07	0,01	0,1	0,01	5	0	0,08	0,98
4	-0,19	0,89	0,38	-0,02	0,29	-0,16	18	3	0,05	0,34
5	-0,18	-0,44	0,3	0,01	0,2	0,1	10	1	0,06	0,3
6	0,11	-0,68	-0,29	0,01	-0,19	0,1	9	1	0,05	0,31
7	-0,2	1,38	0,27	-0,02	0,21	-0,25	10	11	0,05	0,05
8	-0,12	-1,1	0,16	0,01	0,19	0,21	10	10	0,06	0,06
9	0	0,39	-0,02	-0,01	-0,1	-0,1	3	2	0,1	0,09
10	-0,04	0,56	0,45	-0,01	0,28	-0,14	16	5	0,06	0,07
11	0,04	0,86	-0,14	-0,01	-0,11	-0,15	5	5	0,06	0,06
12	-0,03	0,59	0,09	-0,01	0,1	-0,1	2	2	0,07	0,07
Středočeský kraj										
1	-0,23	-0,21	0,31	0,01	0,41	0,1	20	3	0,01	0,8
2	0	-0,39	-0,03	0,01	-0,1	0,1	2	3	0,1	0,6
3	-0,03	0,13	0,06	-0,01	0,1	-0,1	2	1	0,1	0,85
4	-0,14	0,46	0,33	-0,01	0,26	-0,1	10	1	0,06	0,55
5	-0,16	-0,5	0,3	0,01	0,2	0,11	10	2	0,08	0,53
6	0,06	-0,19	-0,27	0,02	-0,16	0,12	8	2	0,09	0,56
7	-0,13	1,08	0,28	-0,01	0,22	-0,22	11	6	0,05	0,08
8	-0,08	-1,57	0,14	0,03	0,15	0,33	5	20	0,09	0,04
9	-0,01	0,64	0,04	-0,01	-0,1	-0,15	3	4	0,1	0,1
10	-0,01	0,26	0,5	-0,01	0,31	-0,1	21	3	0,05	0,67
11	0,03	0,35	-0,16	-0,01	-0,12	-0,1	5	3	0,47	0,65
12	-0,04	1,2	0,11	-0,03	0,1	-0,22	5	10	0,45	0,06

Tab. 19 Parametry kvality modelu použitého pro hodnocení vlivu teploty (°C) a srážkové anomálie (mm) na výnos ovocných dřevin (hruška) ($Y_d = a + b \cdot t^{\circ}C$; $Y_d = a + b \cdot r$ (mm))

U meruňky byl v České republice zjištěn statisticky nejsilnější vliv srážek během vegetačního období. Výnos pozitivně ovlivňují z 13 % srážky v dubnu. Naopak negativně ovlivňují z 26 % v červenci a srpnu. Teplota vykazovala mírně slabší vliv v červnu, červenci a říjnu. Z dlouhodobého hlediska je výnos u meruňky nejvíce ovlivněn v hlavní sezóně dozrávání, kdy je velmi citlivá na výkyvy a přízeň počasí. Z hodnot hladiny významnosti p je zřejmé, že výnos meruňky je ze všech sledovaných dřevin nejvíce ovlivňován meteorologickými vlivy a výsledky jsou statisticky významné pro sledované období. Výsledky korelační analýzy meruňky uvádí Tab. 20.

	a		b		r		R ² (%)		p - hladina významnosti	
	konstanta		šikmost		t°C	r (mm)	t°C	r (mm)	t°C	r (mm)
	t°C	r (mm)	t°C	r (mm)						
ČR										
1	-0,06	0,91	0,08	-0,02	0,1	-0,11	2	2	0,74	0,09
2	-0,01	0,12	0,06	-0,01	0,1	-0,02	2	0	0,74	0,1
3	0,06	1,83	-0,11	-0,04	-0,11	-0,23	2	6	0,7	0,05
4	-0,09	-2,45	0,18	0,06	0,18	0,26	3	13	0,62	0,05
5	0,24	-1,18	-0,4	0,02	-0,16	0,11	10	2	0,05	0,07
6	0,14	-0,73	-0,36	0,01	-0,13	0,01	9	0	0,06	0,72
7	0,12	2,76	-0,16	-0,03	-0,16	-0,31	5	26	0,06	0,03
8	-0,26	3,07	0,36	-0,04	0,13	-0,34	4	27	0,08	0,03
9	0,01	0,67	-0,2	-0,01	-0,2	-0,11	5	1	0,05	0,1
10	-0,03	0,06	0,29	-0,01	0,29	-0,11	15	1	0,05	0,1
11	-0,04	2,82	0,13	-0,06	0,13	-0,29	10	21	0,05	0,04
12	0,03	5,2	-0,11	-0,11	-0,11	-0,51	5	30	0,07	0,01
Středočeský kraj										
1	-0,02	0,32	0,02	-0,01	0,02	-0,01	0	0	0,91	0,77
2	-0,01	0,88	0,01	-0,03	0,01	-0,14	0	2	0,97	0,06
3	0,08	0,31	-0,17	-0,01	-0,2	-0,01	5	0	0,05	0,74
4	-0,05	-0,15	0,1	0,01	0,1	0,01	2	0	0,06	0,88
5	0,07	-0,27	-0,13	0,01	-0,13	0,01	2	0	0,06	0,8
6	-0,04	-0,29	0,18	-0,01	0,18	0,01	5	0	0,06	0,81
7	-0,03	1,12	0,07	-0,01	0,11	-0,17	1	3	0,09	0,05
8	-0,37	0,86	0,61	-0,01	0,55	-0,13	30	2	0,02	0,06
9	0,01	0,42	0,01	-0,01	0,01	-0,02	0	1	0,95	0,1
10	-0,01	-0,22	0,1	0,01	0,1	0,01	1	0	0,76	0,78
11	-0,04	1,84	0,2	-0,05	0,11	-0,29	2	9	0,07	0,05
12	0,11	3,49	-0,31	-0,09	-0,35	-0,48	10	23	0,05	0,01

Tab. 20 Parametry kvality modelu použitého pro hodnocení vlivu teploty (°C) a srážkové anomálie (mm) na výnos ovocných dřevin (meruňka) ($Y_d = a + b \cdot t^{\circ}C$; $Y_d = a + b \cdot r$ (mm))

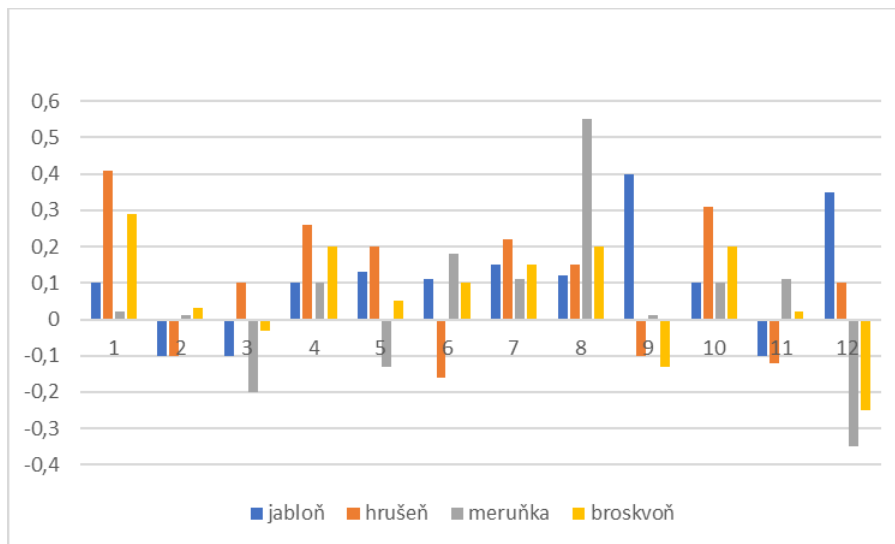
Bylo možné očekávat, že broskev bude vykazovat podobné výsledky závislosti výnosu na teplotách a srážkách v době vegetačního vývoje a klidu s hodnotami hladiny významnosti p pod limitní hranicí 0,05. Vzhledem k její teplomilné povaze je citlivější vůči teplotám v zimním období, což může kvůli špatnému přezimování zlikvidovat úrodu, jako například v roce 1981. Z výsledků je patrné, že v České republice i Středočeském kraji v listopadu a prosinci možné sledovat středně silný negativní vliv srážek v průměru s 28 % dominantního působení e všech meteorologických vlivů. V lednu je u obou regionů zásadní teplota, která může z 22 % (ČR) a 19 % (Středočeský kraj) pozitivně ovlivnit výnos v tomtéž roce. Ve Středočeském kraji bylo zaznamenáno statisticky významné pozitivní působení teploty v dubnu, a to z 15 %. Ve všech měsících letního období je

v České republice sledován pozitivní vliv teploty na výnos, v průměru s 16 % podílu vlivu. Výsledky korelační analýzy broskvoně uvádí Tab. 21.

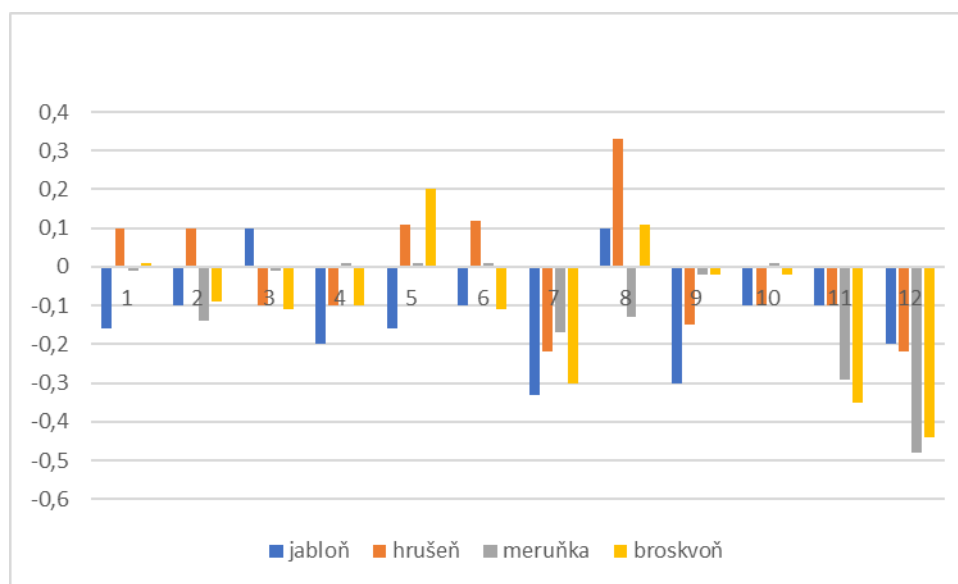
	a		b		r		R ² (%)		p - hladina významnosti	
	konstanta		šikmost							
	t°C	r (mm)	t°C	r (mm)	t°C	r (mm)	t°C	r (mm)	t°C	r (mm)
ČR										
1	-0,28	0,42	0,33	-0,01	0,38	-0,01	22	0	0,03	0,69
2	-0,03	-0,09	0,22	0,01	0,25	0,09	10	0	0,05	0,91
3	-0,03	0,1	0,04	-0,01	0,04	0,01	0	0	0,82	0,9
4	-0,03	-0,3	0,03	0,01	0,03	0,01	0	0	0,92	0,77
5	0,01	0,76	-0,02	-0,02	-0,11	-0,11	2	2	0,1	0,1
6	-0,07	-0,36	0,2	0,01	0,2	0,01	15	0	0,05	0,83
7	-0,04	1,47	0,06	-0,03	0,2	-0,23	15	11	0,05	0,05
8	-0,39	1,08	0,53	-0,02	0,28	-0,18	19	9	0,05	0,05
9	0,01	1	-0,16	-0,02	-0,16	-0,18	3	9	0,07	0,05
10	-0,02	-0,52	0,18	0,01	0,11	0,11	2	2	0,06	0,06
11	-0,03	2,38	0,12	-0,05	0,12	-0,36	2	29	0,09	0,02
12	0,02	2,14	-0,06	-0,05	-0,04	-0,31	0	30	0,8	0,05
Středočeský kraj										
1	-0,17	-0,06	0,23	0,01	0,29	0,01	19	0	0,05	0,95
2	-0,01	0,33	0,03	-0,01	0,03	-0,09	0	0	0,85	0,69
3	0,02	0,34	-0,03	-0,02	-0,03	-0,11	0	2	0,86	0,69
4	-0,11	0,32	0,25	-0,02	0,2	-0,1	15	1	0,05	0,68
5	-0,03	-0,98	0,05	0,02	0,05	0,2	0	10	0,85	0,05
6	-0,02	0,2	0,1	-0,01	0,1	-0,11	5	2	0,09	0,1
7	-0,07	1,61	0,15	-0,02	0,15	-0,3	6	22	0,09	0,05
8	-0,21	-0,55	0,35	0,07	0,2	0,11	0,16	5	0,05	0,07
9	-0,01	0,11	-0,13	-0,01	-0,13	-0,02	6	0	0,1	0,88
10	-0,01	0,09	0,35	-0,01	0,2	-0,02	11	0	0,1	0,88
11	-0,01	1,8	0,02	-0,05	0,02	-0,35	0	28	0,93	0,03
12	0,08	2,66	-0,21	-0,07	-0,25	-0,44	19	25	0,05	0,01

Tab. 21 Parametry kvality modelu použitého pro hodnocení vlivu teploty (°C) a srážkové anomálie (mm) na výnos ovocných dřevin (broskve) ($Y_d = a + b \cdot t^\circ\text{C}$; $Y_d = a + b \cdot r$ (mm))

Pro názornost variability Pearsonova korelačního koeficientu r a jeho průběhu v období vegetace a klidu byly vytvořeny Grafy 12 a 13. Graf 12 zobrazuje srovnání všech plodin a jejich těsnost vztahu mezi výnosem v daném roce a působení srážek. Graf 13 zobrazuje těsnost vztahu mezi výnosem v daném roce a působení teploty. Z Grafu 12 je zřejmé, že hodnoty r jsou po většinu roku kladné se slabým až středním vlivem na výnos. Silnější vazby jsou sledovány spíše v letním období. Graf 13 zobrazuje téměř opačné chování teploty, kdy až na několik výjimek působí spíše negativně na výnos, avšak se slabou až střední korelací.



Graf 12 Závislost proměnlivosti výnosů vybraných plodin na působení srážek v průběhu roku ve Středočeském kraji. Hodnoceno na základě korelačního koeficientu r .



Graf 13 Závislost proměnlivosti výnosů vybraných plodin na působení teploty v průběhu roku ve Středočeském kraji. Hodnoceno na základě korelačního koeficientu

6. Diskuze

Diplomová práce je zaměřena na studium očekávaných dopadů změn klimatu na vývoj, růst a variabilitu výnosnosti ovocných dřevin. Byl proveden výzkum s cílem zjistit odchylky od trendu výnosu čtyř hlavních ovocných dřevin pěstovaných v ČR – jabloně, hrušně, meruňky a broskvoně. Jako klíčová klimatická charakteristika byly vybrány územní teploty jako nejvýraznější faktor s nejvýraznějším vývojem od 90. let 20. století. Byl sledován odraz průběhu a vývoje územních teplot na výnosnost vybraných ovocných dřevin a zjištěny roky s nejvyšším a nejnižším výnosem. Byl předpokládán přímý a klíčový vliv výkyvů teplot, zejména v jarním období, kdy jsou ovocné stromy nejvíce ohroženy pozdními mrazíky.

Hansen (2006) došel k závěru, že v každém desetiletí stoupá globální teplota vzduchu o 0,2 °C. Dle nejnovějších zpráv IPCC je do konce století předpokládáno navýšení globální teploty o 1,5 - 2 °C, je ale v nejvyšším zájmu co nejvíce udržet trend vývoje na maximální teplotu 1,5 °C globální teploty, jelikož v některých oblastech, zejména v menších zeměpisných šířkách může i pouhé 0,5 °C navýšení globální teploty znamenat regionální zvýšení teploty o 5 – 10 °C do konce století. Experimentální část této práce potvrdila stoupající trend územních teplot, zejména od 90. let 20. století. Nejvýraznější odchylky od dlouhodobého průměru byly v teplém půlroce zjištěny pouze ve 90. letech 20. století. Nejteplejší byl duben roku 2009 s odchylkou + 4,7 °C. Druhý měsíc s nejvýraznější odchylkou je červenec roku 2006 s odchylkou + 4,2 °C. U odchylek v měsíce vegetačního klidu byla zjištěna klesající tendence s nižší hladinou významnosti. Solomon et al. (2007) a Stocker et al. (2014) se v obou zprávách shodli vedle rozložení atmosférické cirkulace také na významu antropogenního vlivu na výskyt extrémně horkých či chladných dnů a nocí. IPCC 2007 uvádí hlavní důvody proměnlivosti teplot mezi dekádami ve vyšších zeměpisných šířkách zejména sopečné činnosti a změnám v intenzitě slunečního záření. IPCC (2013) doplňuje antropogenní radiační působení na 2,29 W.m⁻² oproti 1750, což představuje o 43 % více, než bylo předpokládáno pro rok 2005 ve Čtvrté hodnotící zprávě z roku 2007. Výraznější zrychlení tohoto působení lze sledovat od roku 1970. Kromě změn v územních teplotách lze také pozorovat měnící se intenzitu a rozložení srážek. V České republice byl dle Tolasze (2013) sledován mírný vzrůstající trend územních srážek, a to o 10 mm za dekádu. Do roku 2039 jsou předpokládány vyšší úhrny srážek v zimním i letním období.

Do roku 2069 se očekává podobný trend a současně mírně stoupající trend úhrnu podzimních srážek. Dlouhodobý výhled do roku 2100 předpokládá vyšší počet maximálních úhrnů v červnu a tyto maxima by se měly postupně přesunout do pozdního jara. Vytvoření dalších období maxim lze očekávat na podzim, během listopadu. Dle ČHMÚ (2015) lze změny vodního režimu související s vyšším výskytem extrémních projevů klimatu sledovat již dnes. Pretel (2012) upozornil na vyšší riziko nedostatku vody než častějších přivalových srážek.

Dle Parry et al. (2007) dochází při nárůstu regionální teploty o 1 – 3 °C k mírnému zvýšení výnosu plodin a produktivitu lesů ve vyšších zeměpisných šířkách. Naopak tropické oblasti budou ohroženy již při navýšení regionální teploty o 1 – 2 °C. Nejvíce budou zasaženy delšími a intenzivnějšími obdobími sucha a zároveň prudkými a častějšími záplavami. Vzhledem nedostatečné agrotechnice a vzdělání zemědělců v tropech bude velmi těžké se v těchto oblastech adaptovat k probíhajícím změnám. I v severnějších oblastech bude při dalším zvyšování teploty opět produktivita klesat. Tyto oblasti budou více zasaženy zimními záplavami. Se zvyšujícími teplotami bude zemědělství také postiženo plevelem a škůdci, kteří mají díky stoupajícím teplotám a mírnějším zimám lepší podmínky pro přezimování a rychleji rozšiřují svůj areál (Zemědělství a změna klimatu, 2011). Pretel (2012) zdůraznil snížení výnosu pro vyšší citlivost rostlin vůči holomrazům, obdobími sucha, záplavám a povodním. Výsledky této práce jeho tvrzení hned v několika nejvýraznějších letech potvrzují. Ve sledovaném období 1977 - 2012, v roce 1981 byla téměř úplně zničena úroda meruněk a broskví kvůli extrémně tuhé zimě. Ztráty ve Středočeském kraji v tomto roce přesáhly u teplomilného ovoce 98 %. U broskví byl výnos pouze 0,07 kg ovoce/strom. Také u jabloně byl ve Středočeském kraji rok 1981 nejhorší na výnos – pouhých 3,38 kg ovoce/strom, oproti maximu s 16,13 kg ovoce/strom v roce 2002. Treml (2011) provedl výzkum výskytu period sucha v období 1875 – 2010. Nejdelší a nejintenzivnější období sucha byly zaznamenány v roce 1953, 1959, 1947, 1921, 1983 a 1904. Z nejsilnějších period sucha byl jeden rok v období, na které je zaměřena tato práce, a to rok 1983. Tento rok byl také významným vysokým výskytem horkých vln a letních dnů. U vybraných plodin ale nebylo zjištěno snížení výnosu v souvislosti s obdobími sucha v tomto roce, jak by se dalo předpokládat. Situace byla opačná. Ve Středočeském kraji byla odchylka od dlouhodobého výnosu jabloně + 4,55 kg /strom (2. rok s nejvyšším výnosem ve sledovaném období), u hrušně + 6,19 kg /strom (1. rok s nejvyšším výnosem), u broskve + 5,15 kg/strom (1. rok s nejvyšším výnosem). Jediná meruňka pocítila pouhý velmi nízký nárůst výnosu o pouhých 1,17 kg/strom.

Po pozitivním vlivu na výnos je tedy otázkou, do jaké míry bude změna klimatu přínosem pro severní oblasti a kdy začne škodit. Vhodným prostředkem adaptace vůči negativním vlivům změn klimatu může být úprava agrotechniky, kvůli posunům fenologických fází a prodloužení vegetačního období přizpůsobit termíny výsadby, setí, fertilizace apod. Dále je možné použít spíše hybridy a odrůdy, které jsou odolnější vůči výkyvům teplot a nedostatku srážek Anwar et al., (2013). Dle metodiky Ministerstva zemědělství (Zemědělství a změna klimatu, 2011) bylo navrženo několik mitigačních opatření, které by měli zajistit co nejnižší ztráty na výnosech. Agrotechnické metody zahrnují bezorební oseední postupy (bez hlubší orby a kypření ornice), čímž je podpořen maximální vegetační kryt půdy a nedochází ke ztrátám vláhy z půdy. Zároveň jsou tímto omezeny oxidační procesy a vznik emisí CO₂ a oxidů dusíku. Nevýhodou této metody je šíření plevelů, škůdců a chorob, které mají v nekypřených půdách lepší podmínky pro přezimování a růst. Organizační metody zahrnují zatravnění, zalesňování apod. Dalšími opatřeními mohou být výsadba a vytváření nových stabilizačních prvků – protierozní průlehy a příkopy, zatravnění údolnice, větrolamy apod. Velmi efektivní je kombinace těchto řešení. Anwar et al. (2014) společně s dalšími autory nejnovější zprávy IPCC navrhl další možné postupy jako je lepší načasování zemědělských operací, úprava canopy managementu, rozmístění plodin, jejich rotace, odsun produkce z okrajových oblastí a kombinace produkčního zemědělství s chovem hospodářských zvířat.

7. Závěr

Diplomová práce se zabývá dopady změn klimatu na růst, rozšiřování a vývoj ovocných dřevin. Byl také sledován vliv na variabilitu výnosu u vybraných dřevin – jabloň domácí (*Malus domestica* Borkh.), hrušeň obecná (*Pyrus Communis* L. Gaert), meruňka (*Prunus armeniaca* L.) a broskvoň (*Prunus persica* L.) ve Středočeském kraji a České republice v období 1977 – 2013. V úvodu třetí části literární rešerše jsou shrnuty nejnovější poznatky v oblasti změn klimatu, srovnání posledních zpráv Mezinárodního klimatického panelu IPCC a také adaptační strategie EU a ČR na případnou změnu klimatu. Pro názornost výskytu extrémních jevů v 20. století je představena Hansenova teorie (2011,2012) „Klimatické kostky“. Jeho kostka se skládala ze třech kategorií (barev) – „normální teploty“, „chlad“ a „horko“. Pokud hodíme kostkou, kde budou mít všechny kategorie právě 2 strany, je jejich pravděpodobnost pro výskyt v období 1951 – 1980 právě jedna třetina. Současný vývoj klimatu od 80. a 90. let 20. století přispěl k tomu, že kostka již obsahuje 4 strany pro „horko“, tedy ze 67 %. Následuje podkapitola shrnující nejnovější poznatky vědecké společnosti, která se v pravidelných intervalech setkává s politickými osobnostmi při příležitosti Mezinárodního panelu pro změnu klimatu (IPCC). Tato kapitola srovnává zejména Čtvrtou a Pátou hodnotící zprávu, porovnává její výsledky, porovnává dřívější predikce s nejnovějšími poznatky pro získání komplexního přehledu o vlivu změny klimatu na všechny aspekty života a vývoje lidstva. Srovnává pohledy obou zpráv na nejkritičtější dopady na životy a zdraví lidí, ekosystémů a také zemědělství. Kapitola nezbytně doplňuje adaptační opatření EU a ČR na změny klimatu v oblasti změny agrotechniky, organizační a technologické postupy.

Další část literární rešerše spojuje výsledky různých autorů na téma vlivu změn klimatu na rostlinné organismy a jejich zdravý vývoj a také na variabilitu nástupu fenologických fází. V této kapitole jsou zdůrazněny výsledky, ke kterým došli jiní autoři, o posunu fenologických fází k dřívějšímu nebo pozdějšímu než běžnému datu nástupu. Nejvýraznější je posun jarních fenologických fází převážně k dřívějšímu datu. To má za následek prodloužení vegetačního období až o 15 – 20 dnů a do roku 2100 je predikováno až o celý měsíc. Jsou shrnuty veškeré pozitivní efekty na výnos plodin díky delšímu vegetačnímu období a teplému jaru a létu. Nicméně upozorňuje na možná rizika brzkých nástupů fenologických fází v dubnu a květnu. Při současném zasažení pozdními mrazíky je velká pravděpodobnost likvidace květů a tedy i úrody ve sklizňovém

období. Poslední část literární rešerše je věnována fenologii a charakteristice fenologického vývoje vybraných dřevin – jabloní, hrušní, meruněk a broskvoní. Byly charakterizovány běžné i anomální nástupy fenologických fází a byly určeny kritické měsíce pro výnos v daném roce (duben a květen).

Ve výzkumné části byla použita data ČHMÚ územních teplot ČR a Středočeského kraje v období 1977 – 2012. Ze stejného časového úseku byly použity datové soubory výnosu vybraných ovocných dřevin jabloň domácí (*Malus domestica Borkh.*), hrušeň obecná (*Pyrus Communis L. Gaert*), meruňka (*Prunus armeniaca L.*) a broskvoň (*Prunus persica L.*) s cílem zjistit spojitost se současným trendem průběhu územních teplot na výnos jednotlivých dřevin. Meteorologická data i datové soubory výnosů byly podrobeny podrobné popisné statistice s analýzou průběhu trendu ve sledovaném období. Byl potvrzen pozitivní vývoj územních teplot ve Středočeském kraji i ČR od druhé poloviny sledovaného období. V současné době lze i u výnosů sledovat spíše mírně klesající vývoj trendu výnosu u vybraných dřevin, přestože roky s nejvyšším výnosem byly zaznamenány ve druhé polovině sledovaného období. Na jednu stranu tyto výsledky potvrzují výsledky a predikce autorů článků v literární rešerši o tom, že pozitivní vliv změny klimatu lze sledovat pouze do určité hranice a po dosažení kritické hranice produktivita klesá. Naopak mírné nepřesnosti výzkumné části mohou být nezohledněním změny v technologii v 90. letech 20. století, kdy proběhla revoluce držby sadů. Dalšími faktory, které nejsou zohledněny jsou působení úhrnů srážek, škůdců a chorob, které mohly v některých regionech ovlivnit výnos plodin.

V poslední fázi experimentální části byla sledována těsnost vztahu mezi odchylkami územních teplot v jednotlivých měsících na výnos u vybraných plodin za období 1977 – 2012. Korelační analýzou bylo prokázáno, že variabilita teplot a srážek mají nejzásadnější vliv na výnos broskvoně a meruněk, které jsou nejcitlivější k jejich výkyvům a hůře přezimují. Naproti tomu jabloně a hrušně vykazují mírné, avšak statisticky významnému ovlivnění výnosu meteorologickými vlivy. Více působící srážky u jabloně v době dozrávání plodů na konci léta a začátkem podzimu. Na výnosy hrušně naopak více působí teploty přibližně od května do září, tedy v poslední fázi kvetení a v průběhu vývoje plodů.

Bibliografie

- Anwar M., Liu D., Macadam I., Kelly G. 2013. Adapting agriculture to climate change: a review. *Theoretical and Applied Climatology*. 113: 225-245. doi: 10.1007/s00704-012-0780-1
- Begon, M., Townsend, C. R., Harper, J. L. 2006. *Ecology: from individuals to ecosystem*. Blackwell Publishing Ltd. Boston. 40 - 41.
- Brázdil R., Macková J. 1995. Řada průměrných ročních teplot vzduchu pro Českou republiku v období 1828 - 1995. *Meteorologické zprávy*. 51: 17 - 21.
- Brönnimann S., Xoplaki E., Casty C., Pauling A., Luterbacher J. 2007. ENSO influence on Europe during the last centuries *Clim Dynamics*. 28: 181–197.
- Cahynová M. 2005. Vliv severoatlantické oscilace na sezónní teploty vzduchu ve střední Evropě. *Meteorologické zprávy*. 58: 41 - 46.
- Coufal L., Houška V., Reitschläger J., Valter J., Vráblík T. 2004. *Fenologický atlas*. 1.vydání. Praha. ČHMÚ.
- ČHMÚ. 2015. Očekávané dopady změny klimatu v ČR [online]. Praha. [cit. 28. 1. 2016]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/cc_chap11.pdf
- ČMeS. 2016. Český meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS) [online]. [Získáno 7. 2 2016]. Dostupné z <http://slovník.cmes.cz/>
- Dai A. 2011. Drought under global warming: a review. *WIREs Clim Change*. 2: 45-65. doi: 10.1002/wcc.81
- Dai A. 2013. Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Climate Change*. 3: 52-58. doi: 10.1038/nclimate1633
- European Commission. 2009. White paper - Adapting to climate change : towards a European framework for action. 1st April 2009. [cit. 27. 1 2016]. Dostupné z: [eu-lex.europa.eu: http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52009DC0147&from=EN](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52009DC0147&from=EN)
- Evropská komise. 2013. Strategie EU pro přizpůsobení se změně klimatu. 16. dubna 2013. [cit. 27. 1. 2016]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/adaptacni_strategie_eu/\\$FILE/OEOK-Adapta%C4%8Dn%C3%AD_strategie_EU-20130806.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/adaptacni_strategie_eu/$FILE/OEOK-Adapta%C4%8Dn%C3%AD_strategie_EU-20130806.pdf)
- Field C.B., Barros V.R., Dokken D.J., Mach K.J., Mastrandrea M.D., Bilir T.E., Chatterjee M., Ebi K.L., Estrada Y.O., Genova R.C., Girma B., Kissel E.S., Levy A.N., MacCracken S., Mastrandrea P.R., White L.L. (eds.). 2014. IPCC 2014: Summary for policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge.
- Fraedrich, K. 1994. An ESNO Impact on Europe? *Tellus*. 46A: 541 - 552.

- Hájková L., a kol. 2012. Atlas Fenologických poměrů Česka. Praha-Olomouc. ČHMÚ, Univerzita Palackého v Olomouci.
- Hájková L., Richterová D., Kohout M. 2011. Časová variabilita nástupu fenofází ovocných dřevin sledovaných ve fenologické síti ČHMÚ za období 1991 - 2010 ve vztahu k synoptickým situacím. Úroda, vědecká příloha. s 87-98.
- Hanzlíková M. 2013. Vliv extrémních teplot v letním období v ČR. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita. Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů. Praha.
- Hansen J., Sato M., Ruedy R. 2011. Climate Variability and Climate Change: The New Climate Dice [online]. Dr. James E. Hansen, 10th November 2011.[cit. 10.10.2012]. Dostupné z http://www.columbia.edu/~jeh1/mailings/2011/20111110_NewClimateDice.pdf.
- Hansen J., Sato M., Ruedy R. 2012. Increasing Climate Extremes and the New Climate Dice [online]. Dr. James E. Hansen, 10th August 2012. [cit. 10.10.2012]. Dostupné z http://www.columbia.edu/~jeh1/mailings/2012/20120811_DiceDataDiscussion.pdf.
- Hejný S., Slavík B., a kol. 2003. Květena České republiky 3. 2.vydání. Praha. Academia. ISBN 978-80-200-1824-3
- Hlavinka P., Kersebaum K.Ch., Dubrovský M., Fischer M., Pohanková E., Balek J., Žalud Z., Trnka M. 2015. Water balance, drought stress and yields for rainfed field crop rotations under present and future conditions in Czech Republic. *Clim Res.* 65: 175-192. doi: <https://doi.org/10.3354/cr01339>
- Chaves M., Maroco J., Pereira J. 2003. Understanding plant responses to drought - From genes to the whole plant. *Functional Plant Biology.* 30: 239 - 264. doi: 10.1071/FP02076
- Chmielewski F., Rötzer T. 2001. Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agriculture and Forest Meteorology.* 108: 101-112.
- Chmielewski F., Rötzer T. 2001. Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agricultural and Forest Meteorology.*108: 101–112.
- Chmielewski F., Rötzer T. 2002. Annual and spatial variability of the beginning of growing season in Europe in relation to air temperature changes. *Climate Research.* 19: 257-264.
- Chmielewski F., Müller A., Bruns E. 2004. Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961 - 2000. *Agricultural and Forest Meteorology.* 121: 69 - 78.
- Kalvová J. Raidl A., Trojánková A., Žák M., Nemešová I. 2000. Kanadský klimatický model - Teplota vzduchu v oblasti Evropy a České republiky. *Meteorologické zprávy.* 53: 137 - 145.
- Klápšte J., Franková L. 2015. Sucho - polovičatá řešení nebo koncepční přístup? *Časopis Ochrana přírody. AOPK.* 6: 23-27. ISSN 1210-258X.
- Kožnarová V., Klabzuba J. 2002. Doporučení WMO pro popis meteorologických resp. klimatologických podmínek definovaného období. *Rostlinná produkce.* 48: 190-192.

- Kyselý J. 2003. Časová proměnlivost horkých vln v České republice a extrémní horká vlna z roku 1994. *Meteorologické zprávy*. 56: 13-19.
- Litschmann T., Oukropec I., Pálka J. 2007. Metodika pěstování nektarinek a broskvoní v podmínkách ČR. Brno. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně.
- Madhava K. R. 2006. *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants*. 1. vydání. Dordrecht. Springer Netherlands.
- Menzel A., Sparks T. H., Estrella N., Koch E., Aasa A., Ahas R., Alm-Kübler K., Bissolli P., Braslavská O., Briede A., Chmielewski F. M., Crepinsek Z., Curnel Y., Dahl A., Dahl S., Defila C., Donnelly A., Filella Y., Jatczak K., Mage F. 2006. European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*. 12: 1969-1976. doi: 10.1111/j.1365-2486.2006.01193.x
- Ministerstvo životního prostředí. 2015. Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR [online]. [Získáno 28. 1 2016], Dostupné z: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zmena_klimatu_adaptacni_strategie/\\$FILE/OEOK-Adaptacni_strategie-20151029.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zmena_klimatu_adaptacni_strategie/$FILE/OEOK-Adaptacni_strategie-20151029.pdf)
- Možný M., Bareš D., Bartošová L., Hájková L., Hlavinka P., Kožnarová V., Novák J., Semerádová D., Potop V., Trnka M., Žalud Z. 2013. Změna klimatu, fenologie a ekosystémové procesy. Praha. ČHMÚ. 978-80-86690-64-3
- Nekovář J., Hájková L. 2010. Fenologická pozorování v Česku - historie a současnost. *Meteorologické zprávy*. 63: 13-20.
- Ondrasek I. K. 2009. Growing and possibilities of introduction of some species of genus *Diospyros* in the Czech Republic. *Acta horticulturae*. 833: 47-50. doi:10.17660/ActaHortic.2009.833.6
- Ondrášek I. K. 2005. Ověření pěstitelské vhodnosti vybraných druhů rodu *Diospyros* se zvýšenou odolností vůči mrazu. *Acta Horticulturae*. 8: 41 - 43.
- Parry M.L., Rosenzweig C., Iglesias A., Livermore M., Fischer G. (Eds.). 2004. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*. 14: 53-67. doi: https://pubs.giss.nasa.gov/docs/2004/2004_Parry_pa06100c.pdf
- Parry M.L., Canziani O.F., Palutikof J.P., Van der Linden P.J., C.E. Hanson (Eds.). 2007. IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: *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, United Kingdom. Cambridge University Press.
- Petr J., a kol. 1987. Počasí a výnosy. *Věda praxi*. Praha. Státní zemědělské nakladatelství.
- Potop V., Türgott L., Kožnarová V., Možný M. 2010. Drought episodes in the Czech Republic and their potential effects in agriculture. *Theoretical and Applied Climatology*. 99: 373-388.

- Pretel J. 2012. Pravděpodobný vývoj klimatu v ČR [online]. PRO-ENERGY MAGAZÍN. 6. [Získáno 12.2. 2017]. Dostupné z: http://pro-energy.cz/clanky22/pe_cislo22.pdf
- Racko S. 2013. Bude se opakovat Silvestr 1978? [online]. 7. březen 2013. INFOMET. [Získáno 19.3. 2017]. Dostupné z <http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1362650699>
- Ray D., Gerber J., MacDonald G., West P. 2015. Climate variation explains a third of global yield variability. Macmillan Publishers Limited. USA. Nature Communications. 6. doi: 10.1038/ncomms6989
- Rožnovský J., Litschmann T., Vyskot I. 2006. Vliv klimatických faktorů na sezónní dynamiku tloušťkového přírůstu smrku ztepilého. Fenologická odezva proměnlivosti podnebí. Brno. ČHMÚ. ISBN 80-86690-35-0
- Sixth Assessment Report cycle. 2017 [online]. [Získáno 4. 4. 2017]. Dostupné z IPCC: <http://www.ipcc.ch/>
- Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L. (Eds.). 2007. IPCC 2007: Summary for Policymakers. In: 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, United Kingdom and New York, NY, USA, UK. Cambridge University Press.
- Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S. K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M.. 2014. IPCC 2013: Summary for Policymakers. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the. Cambridge, United Kingdom a New York, USA: Cambridge University Press.
- Stříž M., Nekovář J. 2009. Pozorování nástupu fenofází a teploty vzduchu v letech 1956 - 1980 a 1981 - 2005 v Česku. Meteorologické zprávy. 62: 89-96.
- Tolasz R. 2013. Změny ročního chodu srážek v České republice od roku 1961. Meteorologické zprávy. 66: 104-109.
- Tremel P. 2011. Největší sucha na území České republiky v období let 1875 - 2010. Meteorologické zprávy. 64: 168-176.
- Zemědělství a změna klimatu. 2011 [online]. MŽP. eAGRI. [Získáno 4.10. 2014]. Dostupné z http://eagri.cz/public/web/file/107060/Z101798_MZe_brozura_KLIMA_A5.pdf
- Žalud Z. 2009a. Změna klimatu a české zemědělství - dopady a adaptace. Brno. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. ISBN: 978-80-7375-369-6.
- Žalud Z. T. 2009b. Očekávané dopady změny klimatu na zemědělskou produkci. Kukuřice v praxi 2009. Brno. Ústav agrosystémů a bioklimatologie, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. Dostupné z http://www.ufa.cas.cz/dub/crop/2009-kukurice_v_praxi-zdenek.pdf

Seznam příloh

Příloha 1 Databáze územních teplot pro měsíce vegetačního vývoje v období 1977 - 2012.....	83
Příloha 2 Odchytky územních teplot v měsících vegetačního vývoje od dlouhodobého průměru a jejich vyhodnocení normality.....	84
Příloha 3 Odchytky územních teplot v měsících vegetačního klidu od dlouhodobého průměru a jejich vyhodnocení normality.....	85

Příloha 1 Databáze územních teplot pro měsíce vegetačního vývoje v období 1977 - 2012

	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen
1977	6,0	6,0	12,5	16,4	16,8	16,3
1978	4,4	7,0	11,6	15,0	15,8	15,2
1979	3,9	6,7	13,7	18,5	15,2	16,2
1980	2,6	5,4	10,4	15,2	15,2	16,7
1981	6,6	7,3	13,7	16,8	16,7	17,0
1982	4,3	6,0	13,6	17,1	19,2	18,1
1983	4,1	9,6	13,2	16,7	21,0	18,2
1984	1,9	7,0	11,9	14,5	15,8	17,0
1985	2,8	7,9	14,2	13,7	18,0	17,4
1986	3,1	8,9	15,4	16,3	17,5	17,1
1987	-1,6	9,0	11,0	15,1	17,9	15,6
1988	2,0	8,4	14,8	15,6	17,9	17,4
1989	6,5	8,6	13,7	15,4	18,1	17,5
1990	7,0	7,3	14,2	16,4	17,6	18,9
1991	5,6	7,2	9,6	15,0	19,3	17,8
1992	4,0	8,1	14,7	18,0	19,4	21,2
1993	2,6	10,1	15,7	16,1	16,7	17,2
1994	6,2	8,0	13,0	17,0	21,8	18,6
1995	2,8	8,9	12,7	15,0	20,6	17,9
1996	-0,2	8,4	12,6	16,4	16,0	16,9
1997	4,5	5,5	13,7	16,5	17,2	18,9
1998	3,8	10,0	14,3	17,5	17,5	17,6
1999	5,1	9,2	14,3	15,7	19,3	17,4
2000	4,3	11,5	15,5	18,0	15,9	19,1
2001	4,2	7,6	15,0	14,9	18,6	18,9
2002	4,7	8,2	16,0	18,0	18,9	19,2
2003	4,4	8,1	15,8	20,2	19,1	20,9
2004	3,3	9,3	11,9	15,7	17,7	18,8
2005	2,0	9,7	13,7	16,7	18,5	16,4
2006	1,0	8,7	13,3	17,5	22,0	15,7
2007	5,8	11,0	15,0	18,7	18,9	18,2
2008	3,7	8,3	14,2	17,9	18,5	18,2
2009	4,1	12,8	14,0	15,4	18,5	19,2
2010	3,5	8,9	12,1	17,3	20,9	17,7
2011	4,6	11,3	14,1	17,6	16,9	18,4
2012	6,1	9,0	15,2	17,5	18,6	19,0

Příloha 2 Odchyly územních teplot v měsících vegetačního vývoje od dlouhodobého průměru a jejich vyhodnocení normality

	teplý půlrok	normalita	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen
1977	-0,3	<i>studený</i>	2,6	-2,1	-0,5	0,1	-1,0	-0,9
1978	-1,1	<i>studený</i>	1,0	-1,1	-1,4	-1,3	-2,0	-2,0
1979	-0,3	<i>studený</i>	0,5	-1,4	0,7	2,2	-2,6	-1,0
1980	-1,7	<i>silně studený</i>	-0,8	-2,7	-2,6	-1,1	-2,6	-0,5
1981	0,4	<i>normální</i>	3,2	-0,8	0,7	0,5	-1,1	-0,2
1982	0,4	<i>normální</i>	0,9	-2,1	0,6	0,8	1,4	0,9
1983	1,2	<i>teplý</i>	0,7	1,5	0,2	0,4	3,2	1,0
1984	-1,3	<i>studený</i>	-1,5	-1,1	-1,1	-1,8	-2,0	-0,2
1985	-0,3	<i>studený</i>	-0,6	-0,2	1,2	-2,6	0,2	0,2
1986	0,4	<i>normální</i>	-0,3	0,8	2,4	0,0	-0,3	-0,1
1987	-1,5	<i>studený</i>	-5,0	0,9	-2,0	-1,2	0,1	-1,6
1988	0,1	<i>normální</i>	-1,4	0,3	1,8	-0,7	0,1	0,2
1989	0,7	<i>normální</i>	3,1	0,5	0,7	-0,9	0,3	0,3
1990	0,9	<i>normální</i>	3,6	-0,8	1,2	0,1	-0,2	1,7
1991	-0,2	<i>normální</i>	2,2	-0,9	-3,4	-1,3	1,5	0,6
1992	1,6	<i>silně teplý</i>	0,6	0,0	1,7	1,7	1,6	4,0
1993	0,4	<i>normální</i>	-0,8	2,0	2,7	-0,2	-1,1	0,0
1994	1,5	<i>teplý</i>	2,8	-0,1	0,0	0,7	4,0	1,4
1995	0,4	<i>normální</i>	-0,6	0,8	-0,3	-1,3	2,8	0,7
1996	-1,0	<i>studený</i>	-3,6	0,3	-0,4	0,1	-1,8	-0,3
1997	0,1	<i>normální</i>	1,1	-2,6	0,7	0,2	-0,6	1,7
1998	0,8	<i>normální</i>	0,4	1,9	1,3	1,2	-0,3	0,4
1999	0,9	<i>normální</i>	1,7	1,1	1,3	-0,6	1,5	0,2
2000	1,4	<i>teplý</i>	0,9	3,4	2,5	1,7	-1,9	1,9
2001	0,6	<i>normální</i>	0,8	-0,5	2,0	-1,4	0,8	1,7
2002	1,5	<i>teplý</i>	1,3	0,1	3,0	1,7	1,1	2,0
2003	2,2	<i>silně teplý</i>	1,1	0,0	2,7	4,0	1,4	3,7
2004	0,2	<i>normální</i>	-0,1	1,2	-1,1	-0,6	-0,1	1,6
2005	0,2	<i>normální</i>	-1,4	1,6	0,7	0,4	0,7	-0,8
2006	0,4	<i>normální</i>	-2,4	0,6	0,3	1,2	4,2	-1,5
2007	2,0	<i>silně teplý</i>	2,4	2,9	2,0	2,4	1,1	1,0
2008	0,8	<i>normální</i>	0,3	0,2	1,2	1,6	0,7	1,0
2009	1,4	<i>teplý</i>	0,7	4,7	1,0	-0,9	0,7	2,0
2010	0,8	<i>normální</i>	0,1	0,8	-0,9	1,0	3,1	0,5
2011	1,2	<i>teplý</i>	1,2	3,2	1,1	1,3	-0,9	1,2
2012	1,6	<i>silně teplý</i>	2,7	0,9	2,2	1,2	0,8	1,8

Příloha 3 Odchylyk územních teplot v měsících vegetačního klidu od dlouhodobého průměru a jejich vyhodnocení normality

	chladný půlrok	normalita	září	říjen	listopad	prosinec	leden	únor
1977	0,3	normální	-2,1	0,4	1,3	-0,2	0,6	1,8
1978	-0,3	normální	-1,3	-0,2	-0,5	0,5	1,8	-2,3
1979	-0,6	studený	-0,5	-1,7	-0,2	3,6	-3,6	-1,0
1980	-0,6	studený	-0,6	-0,9	-1,1	-0,2	-2,8	1,8
1981	-0,6	studený	0,3	-0,1	0,8	-2,6	-1,4	-0,3
1982	0,2	normální	2,5	0,8	1,0	1,9	-3,6	-1,2
1983	0,2	normální	0,2	0,4	-1,4	-0,7	5,3	-2,7
1984	0,2	normální	-1,3	1,1	0,9	-0,2	1,7	-0,8
1985	-1,7	silně studený	-0,1	-0,6	-2,9	3,1	-5,2	-4,5
1986	-0,9	studený	-1,7	0,1	1,0	0,7	1,2	-6,9
1987	-0,4	studený	1,4	0,4	1,0	1,4	-5,4	-1,1
1988	0,9	normální	-0,2	0,6	-2,7	2,1	3,9	1,9
1989	1,2	teplý	0,8	1,2	-2,1	1,0	2,6	3,4
1990	1,1	teplý	-2,0	0,4	0,7	-0,1	2,6	4,8
1991	-0,5	normální	1,0	-1,2	-0,5	-1,3	2,5	-3,5
1992	0,6	normální	0,2	-1,8	0,7	-0,6	2,6	2,5
1993	-0,3	normální	-1,1	-0,7	-2,9	2,9	2,9	-2,8
1994	1,2	teplý	0,5	-2,1	2,8	2,0	4,4	-0,3
1995	0,4	normální	-0,9	1,9	-2,3	-1,9	0,8	4,5
1996	-1,8	silně teplý	-3,1	0,8	1,4	-4,6	-2,1	-3,4
1997	-0,1	normální	-0,3	-2,2	-0,3	1,5	-2,2	2,8
1998	0,5	normální	-0,7	0,2	-2,5	-0,4	2,7	3,9
1999	0,9	normální	3,1	0,0	-1,0	1,0	2,6	-0,5
2000	1,6	silně teplý	-0,2	2,3	1,9	1,3	0,8	3,5
2001	0,2	normální	-1,7	3,3	-0,9	-1,9	0,8	1,4
2002	0,7	normální	-1,1	-0,9	1,4	-1,6	1,6	4,7
2003	-0,6	normální	0,3	-3,0	1,5	0,3	0,6	-3,3
2004	0,3	normální	-0,1	0,8	0,5	0,0	-1,4	2,1
2005	0,2	normální	1,1	1,0	-0,8	-0,2	2,6	-2,6
2006	0,9	normální	2,7	1,9	2,8	3,1	-3,4	-1,8
2007	1,1	teplý	-1,6	-0,8	-1,3	0,2	6,1	4,0
2008	1,5	teplý	-1,0	0,0	1,3	1,3	4,0	3,5
2009	0,3	normální	1,8	-0,7	3,0	-0,4	-1,9	0,1
2010	-1,6	silně studený	-1,7	-1,8	1,9	-4,5	-2,4	-0,9
2011	0,8	normální	1,6	-0,1	-0,3	3,2	1,5	-0,9
2012	0,0	normální	0,2	-1,0	1,8	-0,2	3,0	-4,0