

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra ekonomiky



Bakalářská práce

Dopady klimatických změn na rostlinnou produkci

Jakub Durec

© 2020 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Provozně ekonomická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jakub Durec

Provoz a ekonomika

Název práce

Dopady klimatických změn na rostlinnou produkci

Název anglicky

Impacts of the climate change on plant production

Cíle práce

Hlavním cílem bakalářské práce bude poukázat na souvislost mezi klimatickými změnami a vývojem sledovaných ukazatelů zemědělské produkce (v rostlinné výrobě).

Díličmi cíli práce jsou:

- analyzovat vývoj klimatu na národní i celoevropské úrovni ve střednědobém horizontu
- posoudit projevy současných klimatických změn
- zachytit proměny kvantitativních a kvalitativních parametrů rostlinné produkce u vybraných zemědělských podniků
- zhodnotit aktuální problémy zemědělství v souvislosti s vývojem klimatu

Metodika

V práci budou nejprve shrnuty dosavadní poznatky o aktuálních proměnách klimatu a dále budou konfrontovány odlišné názorové proudy na tuto problematiku. Na základě dostupných informací bude dále provedena ex-post analýza vývoje základních klimatických ukazatelů ve střednědobém horizontu. V navazující části budou sesbírány údaje o produkčních parametrech od vybraných zemědělských podniků a provedena konfrontační analýza s vývojem klimatických faktorů.

V rámci řešení budou využity následující metody:

- obsahová analýza
- analýza časových řad
- komparativní analýza
- dotazníkové šetření

Doporučený rozsah práce

60 str.

Klíčová slova

globální oteplování, změny klimatu, sucho, zemědělská produkce, úroda, výnos, skleníkový efekt

Doporučené zdroje informací

- BARROS, V.: Globální změna klimatu, 1. vydání, Mladá fronta, Praha, 2006, ISBN: 80-204-1356-1.
- BRÁZDIL, R. A KOL.: Sucho v českých zemích: minulost, současnost, budoucnost, 1. vydání, Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v.v.i., Brno, 2015, ISBN: 80-879-0211-4.
- CLINE, WILLIAM R.: Global Warming and Agriculture: Impact Estimates by Country, 1. vydání, Center for Global Development and the Peterson Institute for International Economics, Washington DC, 2007, ISBN: 08-813-2403-5.
- HINDLS, R. A KOL.: Statistika pro ekonomy, 7. vydání, Professional Publishing, Praha, 2006, ISBN: 80-869-4616-9.
- PASCAL, A.: Historie a změny klimatu, 1. vydání, Karolinum, Praha, 2005, ISBN: 80-246-0869-3.
- ŠIMEK, M., MACKOVÁ, J.: Degradace půdy a emise skleníkových plynů z půd a ze zemědělství – nutné zlo?, 1. vydání, Středisko společných činností AV ČR, v.v.i., pro Kancelář Akademie věd ČR, Praha, 2015, ISBN: 80-270-3115-3.

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – PEF

Vedoucí práce

doc. Ing. Michal Malý, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekonomiky

Elektronicky schváleno dne 27. 2. 2019

prof. Ing. Miroslav Svatoš, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 1. 3. 2019

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 07. 04. 2019

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Dopady klimatických změn na rostlinnou produkci" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 19. 3. 2020

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu doc. Ing. Michalu Malému, Ph.D. za vedení práce a odbornou pomoc při jejím zpracování, a dále veškerým respondentům dotazníkového šetření za jejich čas a poskytnutí zjišťovaných údajů.

Dopady klimatických změn na rostlinnou produkci

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá problematikou projevů současného stavu klimatu v rostlinné produkci. Literární rešerše shrnuje dosavadní poznatky z oblasti klimatologie a rostlinné produkce, důraz je kladen zejména na vývoj ve 20. a 21. století, kdy došlo k zásadním politickým, socioekonomickým a environmentálním změnám. Hlavními sledovanými ukazateli jsou výnosy zemědělských plodin, srážkové úhrny a jejich rozložení v rámci kalendářního roku, průměrná teplota, obsah CO₂ v atmosféře, velikost populace, hospodářské výsledky zemědělské prvovýroby ad.

Vlastní práce obsahuje výsledky dotazníkového šetření mezi zástupci vybraných zemědělských podniků, analýza je zde zaměřena na zkoumání subjektivního pohledu na problematiku u respondentů (hlavní klimatická rizika, výše ekonomických ztrát ad.). Součástí práce je dále vyhodnocení sesbíraných údajů o výnosech hlavních zemědělských plodin v rámci sledovaného období let 2000 – 2018. Tato data jsou nejprve zpracována pomocí statistických metod a následně komparována s výsledky ex-post analýzy vývoje ročních úhrnů srážek a průměrných teplot na celostátní a regionální úrovni. Následně je v práci vytvořena prognóza budoucího vývoje sledovaných parametrů pro střednědobý horizont. Ve všech sledovaných regionech použití lineární regresní funkce predikuje rostoucí trend výnosů a teplot, naopak srážkové úhrny vykazují trend klesající.

Klíčová slova: globální oteplování, změny klimatu, sucho, zemědělská produkce, úroda, výnos, skleníkový efekt

Impacts of the climate change on plant production

Abstract

The bachelor thesis deals with the problems of the present state of climate in plant production. The literature review summarizes the existing knowledge from the field of climatology and plant production, the emphasis is placed especially on the development in the 20th and 21st century, when fundamental political, socio-economic and environmental changes occurred. The main monitored indicators are crop yields, rainfall totals and their distribution within a calendar year, average temperature, atmospheric CO₂ content, population size, agricultural primary production, etc.

The thesis contains results of a questionnaire survey among the representatives of selected farms, the analysis is focused on examining the subjective view of the issue among the respondents (main climatic risks, the amount of economic losses, etc.). Part of the thesis is also an evaluation of collected data on yields of main agricultural crops in the monitored period between years 2000 – 2018. These data are processed using statistical methods and compared with results of ex-post analysis of annual rainfall and average temperatures development at national and regional level. Subsequently, the thesis creates a forecast of future development of monitored parameters for the medium term. In all of the monitored regions, the use of a linear regression function predicts an increasing trend in yields and temperatures, while rainfall totals show a decreasing trend.

Keywords: global warming, climate change, drought, agricultural production, crop, yield, greenhouse effect

Obsah

1 Úvod.....	12
2 Cíl práce.....	14
2.1 Hlavní cíl.....	14
2.2 Dílčí cíle.....	14
3 Metodika.....	16
3.1 Obsahová analýza.....	16
3.2 Regresní a korelační analýza.....	17
3.2.1 Analýza časových řad.....	17
3.2.1.1 Druhy časových řad.....	18
3.2.1.2 Dekompozice časových řad.....	19
3.2.1.3 Popisné charakteristiky časových řad.....	20
3.2.2 Lineární regrese.....	21
3.2.3 Nelineární regrese.....	22
3.2.4 Korelace.....	23
3.2.5 Korelace dvou časových řad.....	23
3.2.5.1 Zdánlivá korelace.....	24
3.2.6 Predikce budoucího vývoje na základě trendu.....	24
3.3 Komparativní analýza.....	25
3.4 Dotazníkové šetření.....	26
4 Teoretická východiska.....	28
4.1 Klima.....	28
4.1.1 Historie měření klimatu.....	28
4.1.2 Klimatický systém země.....	29
4.1.3 Skleníkový efekt.....	31
4.2 Klimatické změny.....	33
4.2.1 Historický vývoj klimatu.....	34
4.2.2 Současné změny klimatu v globálním měřítku.....	35
4.3 Klimatické modely.....	36
4.3.1 Emisní scénáře SRES.....	37
4.3.2 RCM pro území České republiky.....	39
4.4 Klimatické změny a rostlinná produkce.....	41
4.4.1 Současná rostlinná produkce v ČR.....	42
4.4.2 Výrobní oblasti ČR a jejich posun.....	43
4.4.3 Dopady změn teploty a prodloužení vegetačního období.....	46
4.4.4 Sucho.....	49

4.4.5	Dopady na půdu	51
4.4.6	Adaptace a mitigace	54
4.4.7	Scénáře dopadů na výnosy v budoucnu	56
5	Vlastní práce	61
5.1	Celorepublikové vyhodnocení	61
5.2	Vyhodnocení v rámci jednotlivých regionů	64
5.3	Predikce budoucího vývoje	69
5.4	Výsledky dotazníkového šetření	74
5.4.1	Otázka č. 1 a č. 2	75
5.4.1.1	Závislost vnímání negativity klimatických změn na míře poklesu výnosů 76	
5.4.2	Otázka č. 3 a č. 4	77
5.4.2.1	Výše nákladů na kompenzaci jednotlivých negativních jevů vzniklých klimatickými změnami	79
5.4.3	Otázka č. 5	80
5.4.4	Otázka č. 6	80
5.5	Shrnutí výstupů vlastní práce a diskuse	81
6	Závěr.....	83
7	Citovaná literatura.....	86
8	Seznam příloh.....	92

Seznam obrázků

Obr. 1 - Sezonně očištěná číselná řada	18
Obr. 2 - Lineární regrese	21
Obr. 3 – Základní schéma klimatického systému Země	31
Obr. 4 – Schéma skleníkového efektu	32
Obr. 5 – Pozorované změny teplot při povrchu mezi lety 1901 – 2012	35
Obr. 6 – Grafické znázornění vývoje obsahu CO ₂ v atmosféře podle SRES.....	38
Obr. 7 – Modely vývoje teplot na území ČR.....	40
Obr. 8 – Modely vývoje srážkových úhrnů na území ČR	41
Obr. 9 – Současné rozložení ZVO	45
Obr. 10 – Rozložení ZVO okolo roku 2050 na základě emisního scénáře A2.....	45
Obr. 11 – Prodloužení vegetačního období na základě scénáře A2.....	48
Obr. 12 – Průměrné výnosy ječmene jarního (a), pšenice ozimé (b) a řepky ozimé (c) na území Moravy vztažené k vodní bilanci jarních měsíců (březen - květen)	50

Obr. 13 – Percentuální podíl měsíců s výskytem intenzivní suché epizody (nahore celoroční, dole za vegetační období)	51
Obr. 14 – Rozložení půdních hydrických režimů v referenčním období 1961 - 2000	53
Obr. 15 – Rozložení půdních hydrických režimů okolo roku 2050 na základě 3 GCM	54
Obr. 16 – Odhad změny průměrných výnosů pšenice ozimé a ječmene jarního okolo roku 2050 na základě emisního scénáře A2	56
Obr. 17 – Scénář vývoje výnosů okolo roku 2080 při absenci pozitivních účinků vyšší koncentrace CO ₂	58
Obr. 18 – Scénář vývoje výnosů okolo roku 2080 za předpokladu pozitivních účinků vyšší koncentrace CO ₂	59

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Regresní a korelační analýza vývoje výnosů v letech 2000 – 2019	63
Tabulka 2 – Regresní a korelační analýza vývoje srážek a teplot v letech 2000 – 2019.....	63
Tabulka 3 – Trendové funkce a jejich popisné charakteristiky	63
Tabulka 4 – Korelace časových řad výnosů a klimatických faktorů	64
Tabulka 5 – Koeficienty lineárních trendových funkcí a jejich popisné charakteristiky	67
Tabulka 6 – Korelace časových řad výnosů a klimatických faktorů	68
Tabulka 7 – Intervalové a bodové prognózy sledovaných proměnných ve srovnání s průměrem 2000 – 2018	74

Seznam použitých zkratek

AR	Assessment Report (Hodnotící zpráva)
ČHMÚ	Český hydrometeorologický úřad
ČSÚ	Český statistický úřad
EU	Evropská unie
FAO	Food and Agricultural Organization of the United Nations (Organizace pro výživu a zemědělství OSN)
GCM	Global Circulation Model (model všeobecné cirkulace)
GMO	Geneticky modifikovaný organismus
HDP	Hrubý domácí produkt
IMO	International Meteorological Organization (Mezinárodní meteorologická organizace)
IPCC	International Panel for Climate (Mezinárodní panel pro změny klimatu)
MNČ	Metoda nejmenších čtverců
MZe	Ministerstvo zemědělství
MŽP	Ministerstvo životního prostředí

OSN	Organizace spojených národů
PGRLF	Půdní garanční rolnický a lesnický fond
PPB	Parts per billion (počet jednotek skleníkového plynu na bilion jednotek)
PPM	Parts per million (počet jednotek skleníkového plynu na milion jednotek)
PSDI	Palmer Draught Severity Index (Palmerův index intenzity sucha)
RCM	Regional Climate Model (regionální klimatický model)
SHR	Soukromě hospodařící rolník
SZP	Státní zemědělská politika
UNEP	United Nations Environment Programme (Program OSN pro životní prostředí)
WMO	World Meteorological Organization (Světová meteorologická organizace)
ZVO	Zemědělská výrobní oblast

1 Úvod

Globální změny klimatu jsou jedním z nejdiskutovanějších současných geopolitických témat. Přestože v minulosti prošlo klima celou řadou proměn, které měly daleko zásadnější dopady na tehdejší ekosystémy, při sledování jeho vývoje ve 20. a 21. století je nutno počítat se zcela novým faktorem – lidskou činností.

Zemědělství, jakožto produkční sektor přímo závislý na přírodních podmínkách, pociťuje proměny klimatu ze všech odvětví nejvýrazněji. Ve státech střední Evropy se v posledních letech znatelně snižují roční úhrny srážek – např. na území České republiky nabývaly v letech 2015 a 2018 tyto ukazatele hodnot o více než 20 % nižších oproti dlouhodobému průměru z let 1960 – 1991.

Absence vláhy společně se zvyšováním průměrných teplot má zejména v letních měsících negativní dopady na veškeré pěstované plodiny, nejvíce však na jednoleté obiloviny a olejniny. Predikce budoucího vývoje v tomto ohledu nejsou nijak pozitivní, ve většině zemědělských oblastí střední Evropy lze okolo roku 2050 na základě dostupných studií očekávat poklesy průměrných výnosů hlavních obilovin (pšenice, ječmen) o 1 a více t/ha. V kombinaci s vyššími teplotami a trvalým deficitem spodních vod představuje klimatická změna velké riziko nejen pro veškerá odvětví zemědělství, ale i pro potravinovou bezpečnost.

V celosvětovém měřítku jsou tyto poznatky alarmující ještě více. Odhady předpokládají nárůst populace do roku 2050 na 9 mld, což pochopitelně zároveň představuje zvýšení nároků na objem produkce potravin. Ve zprávě FAO z roku 2012 autoři odhadují tento trend se zvýšením až o 60 %, což je v přímém kontrastu s neustále se zhoršujícími podmínkami pro rostlinnou produkci. Nutno však podotknout, že ne všechny regiony pociťují klimatické změny negativně – např. ve výše/severněji položených oblastech zvýšení teploty lze za pozitivní vliv označit potenciální rozšiřování klimaticky vhodných oblastí pro pěstování zemědělských plodin.

Z ekonomického hlediska regionální výpadky ve výnosech díky Společné zemědělské politice EU a globálnímu trhu komodit zatím na tuzemském trhu neměly významný dopad na cenu potravin, nicméně logickým důsledkem pro prvovýrobu je vzhledem ke konstantním výkupním cenám zhoršená ekonomická situace podniků. V roce 2018 stát přijal celkem 3 619 žádostí o dotaci na sucho a na jejich vyplacení byly vyhrazeny prostředky ve výši 2 mld Kč. Otázkou však zůstává, do jaké míry mohou dotace pomáhat zemědělským

podnikatelům dosahovat uspokojivých výsledků hospodaření za předpokladu konstantně zhoršujících se klimatických podmínek pro pěstování plodin.

Bakalářská práce obsahuje shrnutí současných poznatků o problematice, v souvislosti se studovaným oborem Provoz a ekonomika v práci autor využívá znalosti z oblasti statisticko-ekonomických metod k vyhodnocení zjištěných hodnot ukazatelů o klimatických faktorech a rostlinné produkci. Jelikož ekonomická situace pěstitelů závisí převážně na objemu a kvalitě produkce, jsou zde rovněž aplikovány poznatky z ekonomiky agrárního sektoru a ekonomie. Na druhou stranu výsledky vlastní práce vedou k prohloubení a upevnění vědomostí v rámci studia.

2 Cíl práce

2.1 Hlavní cíl

Hlavním cílem bakalářské práce je vyhodnocení dopadů současných klimatických změn v rostlinné produkci. Jelikož na tuto problematiku existuje mnoho odlišných názorových proudů, autorovou hlavní snahou je na základě zjištěných údajů posoudit reálné dopady současného vývoje klimatu na výsledky zemědělské prvovýroby v ČR. Hlavní cíl dále zahrnuje vypracování predikce vývoje sledovaných ukazatelů v budoucnu, která slouží jako upozornění na alarmující tendence možných dopadů v rámci odvětví i ve společenském měřítku.

2.2 Dílčí cíle

Hlavního cíle je v práci dosaženo pomocí následujících dílčích cílů:

- analýza vývoje klimatu v souvislosti s rostlinnou produkcí na národní úrovni i v celoevropském kontextu,
- posouzení projevů současných klimatických změn,
- statistické vyhodnocení proměn kvantitativních a kvalitativních parametrů rostlinné produkce u vybraných zemědělských podniků,
- zhodnocení aktuálních problémů zemědělského sektoru v souvislosti s vývojem klimatu.

V prvním dílčím cíli autor sleduje zejména historický vývoj klimatických faktorů na území České republiky, které jsou zásadní pro výsledky zemědělské prvovýroby (srážky a jejich rozložení v průběhu vegetace rostlin, průběh teplot v rámci jednotlivých období, koncentrace CO₂ a dalších skleníkových plynů). Součástí je rovněž komparace s dostupnými daty z ostatních oblastí Evropy, jelikož jak již bylo naznačeno v úvodu, klimatická změna se projevuje různým způsobem a intenzitou v regionech s odlišnou charakteristikou podnebí a terénu. Česká republika zde reprezentuje oblast střední Evropy, která je komparována se severskými státy na straně jedné a se subtropickými oblastmi jižní Evropy na straně druhé.

V rámci druhého cíle je ve sledovaném období od roku 1960 kladen důraz na výskyt tzv. zemědělského sucha, které je v posledních letech patrně nejvýraznějším a nejdiskutovanějším klimatickým problémem v rámci odvětví. Dalšími sledovanými jevy

jsou např. posun výrobních oblastí, prodloužení délky vegetačního období, výskyt škůdců a chorob.

V návaznosti na předchozí dva cíle je následně statisticky analyzován dopad zjištěných údajů na výsledky rostlinné prvovýroby u vybraných zemědělských podniků. U konvenční produkce je sledován zejména výnos hlavních plodin (pšenice, řepka, ječmen). Analýza se rovněž zaměřuje na rozborové vlastnosti, jelikož např. obsah N u ječmene určuje jeho výslednou kvalitu (krmný, potravinářský, sladovnický), což pochopitelně souvisí i s výslednou výkupní cenou a hospodářským výsledkem podniku. Na základě statistické analýzy sesbíraných dat je následně vytvořena predikce budoucího vývoje.

Poslední dílčí cíl následně zkoumá, do jaké míry se podepisují zhoršené klimatické podmínky na nepříznivém ekonomickém stavu zemědělského sektoru, a která rizika jsou z pohledu pěstitelů momentálně vnímána jako nejvíce závažná. Autor se rovněž snaží zjistit, zdali vzhledem k současnému vývoji začínají farmáři uvažovat o adaptačních opatřeních v rámci zemědělské technologie (např. změna osevních postupů atd.).

3 Metodika

Koncepčně se bakalářská práce člení na literární rešerši a vlastní praktickou část. V první části je nejprve pomocí obsahové analýzy odborné literatury podán ucelený pohled na problematiku klimatu a jeho chronologického vývoje. Důraz je zde kladen na vývoj ve 20. a 21. století a antropogenní vlivy na současné klima (emise skleníkových plynů, nárůst populace, úbytek lesních ploch, urbanizace a industrializace). Podobným způsobem je analyzován současný stav zemědělského sektoru, kde rovněž dochází k zásadním změnám, a to jak agrotechnickým (mechanizace, maximalizace výnosů a zintenzivnění produkce, šlechtění nových odrůd, zdokonalení agrochemie apod.), tak socioekonomickým (globalizace trhu s potravinami, snížení podílu zemědělského sektoru na HDP ve vyspělých státech apod.). Zjištěná fakta z oblastí klimatologie a agrárního sektoru jsou následně komparována a posuzována ve vzájemné souvislosti.

Praktická část nejprve na základě dat zjištěných z dostupných zdrojů pomocí metod statistické analýzy vyhodnocuje vývoj srážkových úhrnů, průměrných ročních teplot, a to jak na regionální, tak celorepublikové úrovni. Obdobně jsou analyzována kvalitativní a kvantitativní data rostlinné produkce vybraných zemědělských podniků.

Součástí vlastní práce je dále dotazníkové šetření ve vybraných prvovýrobních podnicích z různých oblastí v rámci ČR. V dotazníkovém šetření jsou jednak zjišťovány výše zmiňované parametry, jednak subjektivní hodnocení vývoje z agronomického a ekonomického pohledu příslušných osob. V závěru jsou výsledky dotazníkových šetření konfrontovány s výsledky analýzy souhrnných statistických dat. Na základě zjištěných údajů je následně pomocí analýzy časových řad vytvořena predikce budoucího vývoje výstupů rostlinné produkce ve střednědobém horizontu.

3.1 Obsahová analýza

Česká terminologická databáze knihovnictví a informační vědy definuje tuto metodu jako: „*analýzu obsahu dokumentu zahrnující metody a pravidla pro stanovení tematiky dokumentu, případně časového a prostorového hlediska, čtenářského určení a formy dokumentu. Slovní vyjádření obsahu dokumentu v přirozeném jazyce je transformováno do věcných selekčních údajů v procesu věcného pořádání nebo do vět v procesu sémantické redukce textu dokumentu*“ (Balíková, 2003).

Společně s formální analýzou spadá do metod informační analýzy dokumentů. Obsahová analýza se zaměřuje na charakteristiku dokumentu věcnou, zkoumá jeho obsahovou stránku. Slouží k věcnému uspořádání informací a rychlému odhalení podstaty zkoumaného textu. Metodicky lze postup obsahové analýzy rozdělit do čtyř kroků (Dvořáková, 2010):

1. výběr zkoumaného dokumentu,
2. dekompozice obsahu textu a s následná transformace sdělení do věcných selekčních údajů,
3. sémantická redukce textu do vět,
4. interpretace výsledků, která zahrnuje obsahové prvky a jejich vztahy.

Výstupem této metody je obvykle slovní vyjádření obsahu dokumentu, a to formou anotace, recenze, či referátu, které odpovídá na základní otázku zkoumání: co je obsahem autorova sdělení (Kovář, 1974)?

3.2 Regresní a korelační analýza

Regresní analýza je jednou ze základních metod statistického výzkumu. Definuje vztah mezi dvěma nebo více proměnnými, z nichž jedna se označuje jako nezávislá x a druhá jako závislá y . Vztah mezi proměnnými lze rovněž popsat jako kauzální závislost vysvětlovaného jevu na jevu vysvětlujícím. Hovoříme zde o takzvané jednostranné závislosti, jelikož na jedné straně stojí „příčina“ (nezávisle proměnná) a „následek“ na straně druhé (závisle proměnná). Výstupem je nalezení vhodné regresní funkce, která vyjadřuje odhad chování závisle proměnné veličiny, pokud se změní hodnota jedné z nezávisle proměnných za podmínky, že ostatní nezávisle proměnné zůstávají konstantní. Nedílnou součástí takového vztahu je regresní koeficient (neboli směrnice přímky) b , který udává hodnotu změny závislé proměnné, pokud dojde ke změně nezávislé proměnné o jednotku. Z hlediska chování regresní funkce rozlišujeme regresi lineární a nelineární, podle počtu nezávisle proměnných na jednoduchou a vícenásobnou (Neubauer, 2016).

3.2.1 Analýza časových řad

Pojem časová řada označuje posloupnost hodnot ukazatelů (dat), které jsou chronologicky uspořádané a měřené v určitých ekvidistantních časových intervalech (den, měsíc, rok atd.). V praxi se s časovými řadami pracuje velmi hojně – např. při sledování

meteorologických ukazatelů nebo vývoje cen zemědělských komodit. Analýza časových řad je speciálním typem regresní analýzy. Jejím cílem je posoudit závislost hodnot sledovaného jevu na čase a následně predikovat tendenci tohoto vývoje pomocí takzvané **trendové funkce**. Stejně jako ve statistické regresi zde figurují dvě proměnné – analyzovaný ukazatel (závisle proměnná) **y**, časovou nezávisle proměnnou potom zapisujeme jako **t** o celkovém počtu pozorování **n**. Vedle věcně faktorových příčin určitého chování těchto jevů se tato metoda snaží vysvětlit průběh na základě jediné okolnosti – času. Obvyklým výstupem této metody je grafické znázornění, či tabulka (Hindls, 2007).

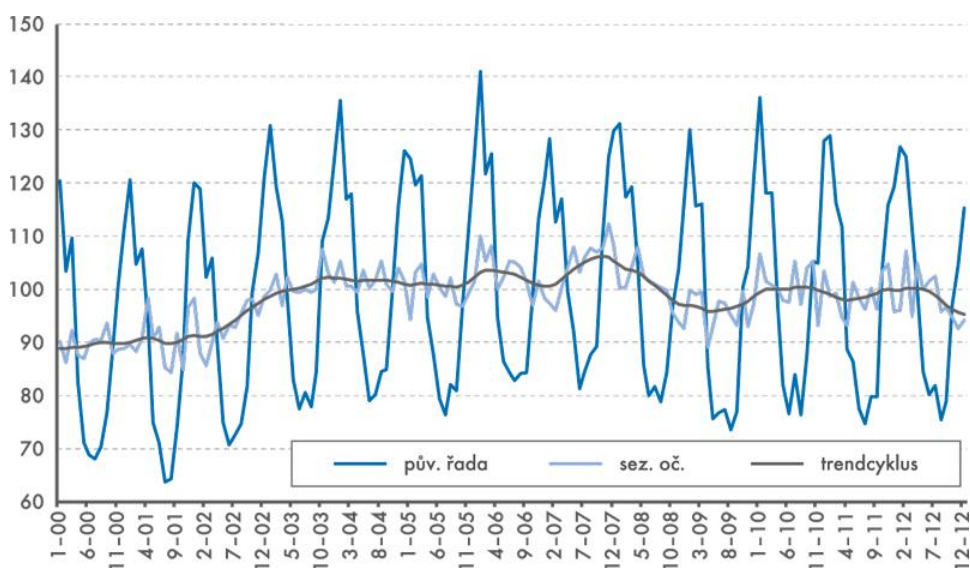
Základní předpis lineární trendové funkce má následující tvar:

$$y'_i = a + b * t_i$$

(3.1)

3.2.1.1 Druhy časových řad

Nejjednodušší členění rozlišuje podle Arlta a Arltové (2003) časové řady podle délky období na **krátkodobé** (perioda s délkou max 1 roku) a **dlouhodobé** (delší než 1 rok). Na základě charakteru ukazatele se dále rozlišují časové řady **okamžikové** (zachycují hodnoty v určitém okamžiku – např. hektarový výnos pšenice v určitém roce) a **intervalové**, u kterých velikost hodnoty indikátoru závisí na délce sledovaného období (např. měsíční srážkový úhrn). U intervalových řad je nutné pracovat se stejně dlouhými časovými úseky. Proto se v případě např. měsíčních intervalů provádí tzv. kalendářní očišťování (viz Obr. 1) jehož cílem je přepočítání všech sledovaných období na jednotný interval (Holý, 2019).



Obr. 1 - Sezonně očištěná číselná řada (Holý, 2019)

V následujícím vztahu značí y_i hodnotu očištěvaného ukazatele ve sledovaném období, k_t reprezentuje počet kalendářních dní v rámci intervalu a $\overline{k_t}$ průměrný počet dní v dílčím období roku (Arlt, 2003).

$$y_i = y_t \frac{\overline{k_t}}{k_t} \quad (3.2)$$

Druhé dělení časových řad rozlišuje data **absolutní** (údaje jsou zjišťované přímo, např. stav zásob krmiv k určitému dni) a **odvozená** (hodnoty vzniklé pomocí funkce – rozdíl, součet, podíl atd., např. účetní obrat, denní přírůstek hmotnosti zvířat ve výkrmu). Jako další možné hledisko při diverzifikaci časových řad vnímá Hindls (2007) náhodnost zkoumaných hodnot.

Stochastické časové řady ve své struktuře zahrnují náhodný prvek, kvůli čemuž není možné jejich průběh postihnout matematickým vztahem s konstantními parametry. Oproti tomu **deterministické časové řady** je možno na základě vhodného výběru analytické funkce popsat a predikovat jejich následný vývoj (Hindls, 2007).

3.2.1.2 Dekompozice časových řad

V případě, že náhodný proces, který generuje danou časovou řadu y_t , je závislý pouze na čase, lze tuto posloupnost dekomponovat na čtyři nezávislé složky. Účelem dekompozice je efektivnější diferenciace pravidelného chování řady, což následně vede k jednodušší predikci dalšího vývoje. Při dekompozici rozlišuje Štědroň (2012) následující komponenty:

- trendová složka T_t – slouží k popisu hlavní tendence vývoje řady v průběhu času, může mít rostoucí nebo klesající charakter. Příčinou vzniku trendu jsou faktory systematicky působící ve stejném směru.
- sezonní složka S_t – znázorňuje periodické kolísání hodnot okolo trendu, ke kterému dochází v rámci sledovaného období (např. sezónní výkyvy průměrného platu mezi jednotlivými kvartály kalendářního roku). Pro výpočet tohoto komponentu se aplikuje tzv. empirické vyrovnání pomocí sezonních indexů, definované následujícím předpisem:

$$s_i = \frac{y_i}{y'_i} \quad (3.3)$$

- cyklická složka C_t – představuje obdobný typ kolísání jako složka sezonní, postihuje však delší období a zpravidla se v ní střídají fáze růstu a poklesu. Jednotlivé cykly zde nemají pravidelný charakter, jejich délka i průběh jsou proměnlivé.
- reziduální složka E_t – tato složka je součástí každé časové řady a reprezentuje náhodné nesystematické odchylky od trendu, jejichž vznik nelze predikovat.

Pro následnou práci s dekomponovanou časovou řadou se využívají dva přístupy, výběr se odvíjí od charakteru zkoumané časové řady (Štědroň, 2012):

- aditivní dekompozice – aplikuje se za předpokladu, že variabilita řady v průběhu času zůstává víceméně neměnná.

$$y_t = T_t + C_t + S_t + E_t \quad (3.4)$$

- multiplikativní dekompozice – využívá se ve chvíli, kdy variabilita sledovaného souboru je chronologicky proměnlivá, neboli má rostoucí/klesající tendenci.

$$y_t = T_t \cdot C_t \cdot S_t \cdot E_t \quad (3.5)$$

3.2.1.3 Popisné charakteristiky časových řad

Pro získání lepší představy o charakteru sledovaného procesu je možné po vizuální analýze grafického zobrazení definovat několik dalších základních statistických charakteristik. **Diference 1. řádu** pomocí komparace hodnot jednotlivých výskytů v rámci řady determinuje chování (růst, či klesání) ukazatele v období, které předchází intervalu sledovanému (Hančlová, 2013).

$$\Delta y_t = y_t - y_{t-1} \quad (3.6)$$

Průměrný absolutní přírůstek postihuje chování ukazatele v rámci celé časové řady.

$$\bar{\Delta} = \frac{\sum_{t=2}^n \Delta y_t}{n-1} \quad (3.7)$$

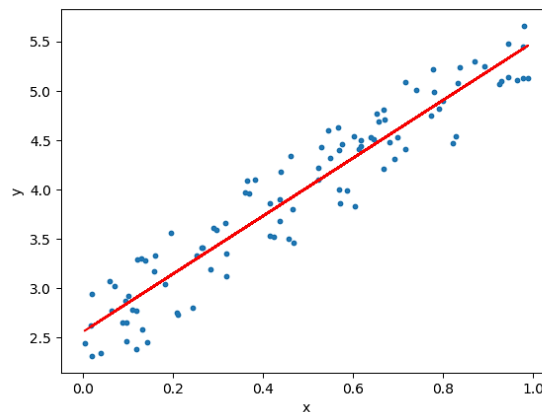
Tempo růstu vyjadřuje takzvaný **koeficient růstu** (Hančlová, 2013).

$$k_t = \frac{y_t}{y_{t-1}}, \quad t = 2, 3, \dots, n$$

(3.8)

3.2.2 Lineární regrese

O jednoduché lineární regresi hovoříme tehdy, pokud pro popis chování určitého souboru bodů v grafu použijeme přímku (viz Obr. 2):



Obr. 2 - Lineární regrese (Agarwal, 2018)

Základní vztah lineární regrese je potom definován následujícím způsobem:¹

$$y' = a + bx_i$$

(3.9)

Předpokladem pro tento typ regresní funkce je přesnost x -ových souřadnic, zatímco souřadnice reálných závislých hodnot y se mohou od hodnot y' predikovaných regresní funkcí lišit. Rozdíl mezi těmito hodnotami představuje odchylku, neboli diferencii e . Cílem lineární regrese je nalezení takové přímky, u které je součet druhých mocnin odchylek, neboli součet odchylek čtverců od průměru, co nejmenší. Tento výpočet se rovněž nazývá **metoda nejmenších čtverců** (Neubauer, 2016).

$$\sum_{i=1}^n (e_i)^2 \rightarrow MIN$$

(3.10)

Při aplikaci lineární regrese v praxi máme obvykle k dispozici základní soubor hodnot x a y . Abychom bylo možné vztah mezi proměnnými definovat pomocí funkce, je

¹ a – absolutní člen, vyjadřuje hodnotu y , pokud $x = 0$

zapotřebí nejprve určit parametry a a b . K jejich výpočtu slouží následující vztah (Zvára, 2008):

$$\begin{aligned} a \sum x_i^2 + b \sum x_i &= \sum y_i x_i \\ a \sum x_i + b n &= \sum y_i \end{aligned} \tag{3.11}$$

Po získání předpisu regresní funkce je podle Zváry (2008) vhodné ověřit, jaký podíl variability souboru zvolený model vysvětlil. Tuto skutečnost vyjadřuje koeficient determinace R^2 , který je vymezen intervalem $R^2 \in (0; 1)$, přičemž 0 znamená že aplikovaný model je absolutně nevhodný, zatímco při hodnotě 1 model vysvětlil 100 % hodnot proměnné y , a je tedy zcela vhodný k následné predikci dalšího vývoje pomocí zvolené funkce.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - y')^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \tag{3.12}$$

3.2.3 Nelineární regrese

Nelineární regrese využívá stejného postupu jako regrese lineární, jednotlivé typy funkcí však mají specifický předpis a soustavu normálních rovnic pro výpočet parametrů, přičemž pro určení podílu variability vysvětlené zvoleným modelem se využívá index determinace R^2 . Předpisy vybraných typů nelineárních regresních funkcí mají následující tvary (Hindls, 2007):

Kvadratická funkce

$$y'_i = a + bx_i + cx_i^2 \tag{3.13}$$

Exponenciální funkce

$$y'_i = a \cdot b^{x_i} \tag{3.14}$$

Mocinná funkce

$$y'_i = a \cdot x_i^b \tag{3.15}$$

Logaritmická funkce

$$y'_i = a + b \cdot \log x_i \quad (3.16)$$

Hyperbolická funkce

$$y'_i = a + b \cdot \frac{1}{x_i} \quad (3.17)$$

3.2.4 Korelace

Korelační analýza zkoumá, jak těsná závislost mezi proměnnými existuje. Narozdíl od regresní analýzy tedy není jejím cílem určit, která z veličin je závislá a která nezávislá, ale v jaké míře ovlivňuje změna jedné proměnné druhou neznámou. Koeficient korelace r úzce souvisí koeficientem determinace a nabývá hodnot $r \in (-1; 1)$, kde -1 značí nepřímou závislost, 1 závislost přímou a 0 vzájemnou nezávislost. Těsnost závislosti je definovaná následujícími intervaly (Hendl, 2015):

- slabá závislost: $0 < |r| \leq 0,3$,
- střední závislost: $0,3 < |r| \leq 0,8$,
- silná závislost: $0,8 < |r| \leq 1$.

V případě lineární závislosti se při výpočtu aplikuje zpravidla Pearsonův korelační koeficient (Hendl, 2015):

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (3.18)$$

3.2.5 Korelace dvou časových řad

Podobně jako u regresní analýzy se i v případě časových řad nejprve přesnost zvoleného modelu verifikuje pomocí koeficientu determinace a síla závislosti pomocí korelačního koeficientu. Pro vyjádření relativní míry závislosti vzájemného vývoje dvou časových řad platí následující korelační vztah (Hančlová, 2013):

$$s_{xy} = \frac{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x}) \cdot (y_t - \bar{y})}{s_x \cdot s_y} \quad (3.19)$$

Hodnoty s_{xy} nabývají hodnot od -1 do 1. Pokud výsledná hodnota aproximuje -1, vypovídá to opačném vývoji jednotlivých řad v čase (nepřímé úměrnosti). V opačném případě naopak lze očekávat podobný trend obou posloupností (Hančlová, 2013).

3.2.5.1 Zdánlivá korelace

Jelikož cílem práce není pouhé postižení trendu výnosů v závislosti na čase, ale zejména zkoumání příčinné závislosti mezi časovými řadami výnosů, srážkových úhrnů a teplot, je nutné zkoumat, do jaké míry tyto řady korelují. Při porovnání dvou časových řad je zapotřebí se vyvarovat tzn. zdánlivé regrese, což je jev, který spočívá v pozorování silné závislosti mezi proměnnými, přestože ve skutečnosti neexistuje. Ke zdánlivé regresi může dojít v případě, kdy se trendy obou proměnných chovají v čase podobně, nebo pokud jsou ovlivňovány proměnnou třetí, s níž každá ze dvou původně analyzovaných proměnných může vykazovat souvislost. K eliminaci tohoto chybného úsudku (a následnému prokázání skutečné statistické závislosti) je nutné provést očištění od systematické složky (tzn. od trendu a sezonní složky). V tomto ohledu je možné využít např. metodu stacionarizace, při které se nejprve jednotlivé řady x , y diferencují (viz. (3.6)), a následně z diferencí d_x , d_y se vypočte koeficient korelace pomocí následujícího vztahu (Hindls, 2007):

$$r_{xy} = \frac{\Sigma(d_y - \bar{d}_y)(d_x - \bar{d}_x)}{\sqrt{\Sigma(d_y - \bar{d}_y)^2 \Sigma(d_x - \bar{d}_x)^2}} \quad (3.20)$$

Další metodou, kterou lze dojít k ověření skutečné závislosti mezi jednotlivými řadami, je výpočet koeficientu korelace náhodných složek. Ten se vypočte na základě stanovení reziduí (např. $e_t = y_t - \hat{Y}_t$ a $g_t = x_t - \hat{X}_t$) vztahem (Hindls, 2007):

$$r_{XY} = \frac{\Sigma e_t g_t}{\sqrt{\Sigma e_t^2 \Sigma g_t^2}} \quad (3.21)$$

3.2.6 Predikce budoucího vývoje na základě trendu

Po konstrukci trendové funkce a následné verifikaci vhodnosti výběru lze využít model k předpovědi budoucího vývoje ukazatele. V bakalářské práci se využívá tzv. extrapoláční předpověď, kterou lze chápat jako „kvantitativní odhad budoucích hodnot

časové řady, které vnikají prodloužením vývoje z minulosti a přítomnosti do budoucnosti s horizontem $t = n + 1, n + 2, \dots, T$ za předpokladu, že se tento vývoj nezmění. Extrapoláční předpovědi rozdělujeme na bodové a intervalové“ (Hančlová, 2013).

Intervalová předpověď

Jelikož bodová předpověď nezohledňuje náhodné kolísání a přípustnou chybu odhadu, je pro dosažení exaktnějších výsledků vhodné zvolit předpověď intervalovou.

$$u_{n+1} - t_{\alpha}^{[n-2]} \cdot s'_{y_{n+1}} \leq y'_{n+1} \leq u_{n+1} + t_{\alpha}^{[n-2]} \cdot s'_{y_{n+1}} \quad (3.22)$$

Ve výše uvedeném vztahu reprezentuje u_{n+1} bodovou předpověď v čase $n + 1$, $t_{\alpha}^{[n-2]}$ kritickou hodnotu Studentova t-rozdělení na hladině významnosti α . Směrodatná chyba $s'_{y_{n+1}}$ se vypočte na základě znalosti koeficientu determinace a směrodatné odchylky řady (Hančlová, 2013).

$$s'_{y_{n+1}} = s_y \cdot \sqrt{1 - R^2 \cdot \frac{n(n^2 - 1) + 12i^2}{(n^2 - 1)(n - 2)}} \quad (3.23)$$

V závěru celého postupu můžeme na základě výpočtů konstatovat, v jakém intervalu se bude predikovaná hodnota ukazatele nacházet (Hančlová, 2013).

3.3 Komparativní analýza

Komparativní analýza jako taková je velmi obecný pojem, který zahrnuje celou řadu možných postupů. Její specifikace se odvíjí od použité metody sběru dat a způsobu jejich srovnání. Jedním ze specifických typů komparace je např. makrokauzální analýza – tímto termínem označujeme kombinaci komparativní a regresní analýzy. Hlavním cílem každé komparace je deskripce a zhodnocení podobnosti/odlišnosti dvou a více pozorovaných jevů. Při komparaci je důležité nejprve definovat objekt komparace, vymezit požadovaný výstup této metody a následně stanovit kritéria pro analýzu sledovaných jevů. Srovnání je možné aplikovat dvojím způsobem (Ochrana, 2019):

- komparace chování určitého jevu v různých podmínkách (např. srovnání průměrných výnosů ječmene jarního v Jihomoravském a Plzeňském kraji)

- komparace dvou a více odlišných jevů za stejných podmínek (např. srovnání vývoje tržních cen řepky a pšenice v rámci jednoho kalendářního roku).

Na základě evaluace výsledků komparace lze následně vyvodit závěry o vlastnostech, nebo také souvislostech mezi sledovanými objekty/procesy. V práci je tato metoda využita zejména ke statistickému srovnání dat z regionů s odlišnými klimatickými podmínkami a ke konfrontaci výsledků dotazníkového šetření a souhrnných údajů v rámci sledované oblasti (Ochrana, 2019).

3.4 Dotazníkové šetření

Dotazníkové šetření spadá do kvantitativních metod a je ve velké míře využíváné v nejrůznějších vědeckých disciplínách, podobně jako komparativní a obsahová analýza nejvíce v sociologii. Lze jej označit jako techniku, pomocí které můžeme získat data přímo od respondentů. Při konstrukci dotazníku se doporučuje postupovat následujícím způsobem (Mulačová, 2013):

- tvorba seznamu zjišťovaných informací (jaká data budou od respondentů sbírána) a definice cílů šetření
- specifikace cílové skupiny a výběrového vzorku populace
- výběr vhodné formy otázek (ústní, telefonické, online formuláře...) a jejich následná formulace (otevřené/uzavřené, přímé/nepřímé, nástrojové/výsledkové)
- stanovení pořadí otázek a následná konstrukce dotazníku
- pilotní zkouška funkčnosti dotazníku

V bakalářské práci je aplikován ekonomický přístup tvorby dotazníku, který je založen na maximální stručnosti a přesné formulaci dotazů za účelem nízké časové náročnosti. Jazyk dotazníku odpovídá odbornosti zkoumaného tématu, při čemž je důležité odborná pojmenování a zkratky náležitě vysvětlit. Jednotlivé otázky musí zodpovídat vždy pouze jeden sledovaný jev a je nutné se vyvarovat sugestivním a zavádějícím dotazům. Po zhotovení dotazníku se před samotným šetřením provádí zkouška, jejímž cílem je odhalit, nakolik je dotazník srozumitelný a zda se zjišťovaná fakta v jednotlivých dotazech nepřekrývají. Po provedení výzkumu na reprezentativním vzorku jsou sesbíraná data podrobena analýze pomocí matematicko-statistických metod. Výsledky jsou následně interpretovány v porovnání se základním cílem šetření a následně je provedeno vyvození závěrů (Přibová, 1996).

Mezi hlavní výhody této metody patří zejména nízká finanční a časová náročnost a relativní jednoduchost z hlediska potřebných výzkumníků, dále je zde zajištěna anonymita respondentů a reprezentativnost údajů z výběrové skupiny na celou populaci. Hlavním rizikem pro objektivní závěry je zejména možnost individuálního zkreslení zjišťovaných fakt ze strany dotazovaných (Mulačová, 2013).

4 Teoretická východiska

4.1 Klima

Klima, nebo také podnebí, lze definovat jako „*dlouhodobý charakteristický režim počasí*“ (Míková, 2001). Jeho výsledná podoba je determinována celou řadou vzájemných interakcí různých faktorů – extraterestrických (např. sluneční záření), terestrických (např. pedologické aspekty, vulkanická činnost, reliéf zemského povrchu) a antropogenních (např. emise skleníkových plynů, lidské zásahy do životního prostředí). Vedle toho pojem počasí označuje Pretel (2012) jako aktuální stav atmosféry se specifickými hodnotami sledovaných meteorologických prvků (teplota, množství srážek, tlak) a s výskytem určitých jevů (např. déšť, vítr).

4.1.1 Historie měření klimatu

Z odborného hlediska se problematikou klimatu zabývá disciplína zvaná klimatologie, která je definována jako „*věda o klimatech Země, o podmínkách a příčinách jejich formování a také jako věda o působení klimatu na člověka, objekty jeho činnosti a naopak*“ (Vysoudil, 2014).

Její počátky se nacházejí již v dobách starověku – pojem klima poprvé použil řecký astronom Hipparchos (190 – 120 př. n. l.) při vyjádření závislosti teploty na sklonu dopadu slunečních paprsků. Klimatologie spadá do věd geografických a zkoumá obecné zákonitosti klimatických jevů, vývoj a proměny klimatu v čase. V historii se tento vědní obor rozvíjel provázaně s meteorologií, která ale oproti klimatologii zkoumá spíše fyzikální podstatu počasí. Vysoudil (2014) dále uvádí, že k velkému rozvoji systematického měření docházelo v souvislosti se zámořskými plavbami 17. století, kdy se námořníci pokoušeli zdokumentovat směry větrných proudů. Na našem území lze potom za zásadní milník označit rok 1775, kdy byla na pražské klementinské hvězdárně zahájena pravidelná měření teploty a tlaku (tzv. klementinská řada). V počátcích probíhalo měření třikrát denně – v 7, ve 14 a ve 21 hodin. Postupem času se frekvence měření stupňovala a od roku 1804 se tato měření rozšířila o řadu srážkoměrných údajů. Na stanici v Klementinu měření pokračuje dodnes a v rámci střední Evropy se jedná o velmi hodnotný zdroj informací o lokálním stavu klimatu v moderních dějinách (Honsová, 2007).

V průběhu 19. století se postupně zdokonalovaly technologické prostředky a docházelo k diverzifikaci nových směrů jako aerologie, aktinometrie atd. Kvůli lepšímu sdílení informací a zdokonalování metodik pozorování bylo potřeba zlepšit spolupráci na mezinárodní úrovni. Roku 1873 byla za tímto účelem ve Vídni ustanovena Mezinárodní meteorologická organizace (IMO) – v této době zatím jako nevládní organizace. Po skončení 2. sv. války v souvislosti s vznikem OSN došlo k postupné transformaci z IMO na mezivládní specializovanou WMO (Světová meteorologická organizace) – důležitým milníkem je 11. říjen 1947, kdy prvních 22 signatářů (vč. tehdejšího Československa) podepsalo konvenci WMO (Vysoudil, 2014). Tato konvence nabyla platnosti 23. března 1950², mezi její hlavní cíle patří zejména usnadnění celosvětové spolupráce pro provoz meteorologických stanic, systémů a výzkum v oblastech meteorologie a klimatologie. WMO sídlí v Ženevě a k dnešnímu dni čítá 185 signatářských zemí (World Meteorological Organization, 2019).

Od 2. pol. 20. století začínaly otázky celosvětových proměn klimatu nabývat na významu, a tak byl jako součást WMO ve spolupráci s Programem OSN pro životní prostředí (UNEP) v roce 1988 za účelem komplexní vědecké analýzy klimatických změn zřízen Mezinárodní panel pro změny klimatu (IPCC). Tento vědecký orgán monitoruje průběh antropogenních klimatických změn, analyzuje jejich environmentální a socioekonomické dopady a informuje o možnostech adaptace na proměny podnebí, případně navrhuje možná opatření na zmírnění jejich negativních dopadů (tzv. mitigační opatření). Hlavním výstupem práce IPCC jsou tzv. hodnotící zprávy AR, které vycházejí pravidelně každých 6 let a podávají ucelený přehled o aktuálních poznatcích z oblasti klimatologie. V tomto směru nejnovějším dokumentem je AR5 (Pátá hodnotící zpráva) z roku 2014 (Ministerstvo životního prostředí, 2019).

4.1.2 Klimatický systém země

Jak již bylo zmíněno, klima je utvářeno vzájemnou interakcí různých druhů faktorů (viz Obr. 3). Základním zdrojem energie tohoto systému je sluneční záření. Zahrnuje následujících 5 subsystémů – atmosféra (vzdušný obal země), hydrosféra (sít' vodních toků a ploch), litosféra (povrch pevnin), kryosféra (ledovce) a biosféra (živé organismy). Vyjma

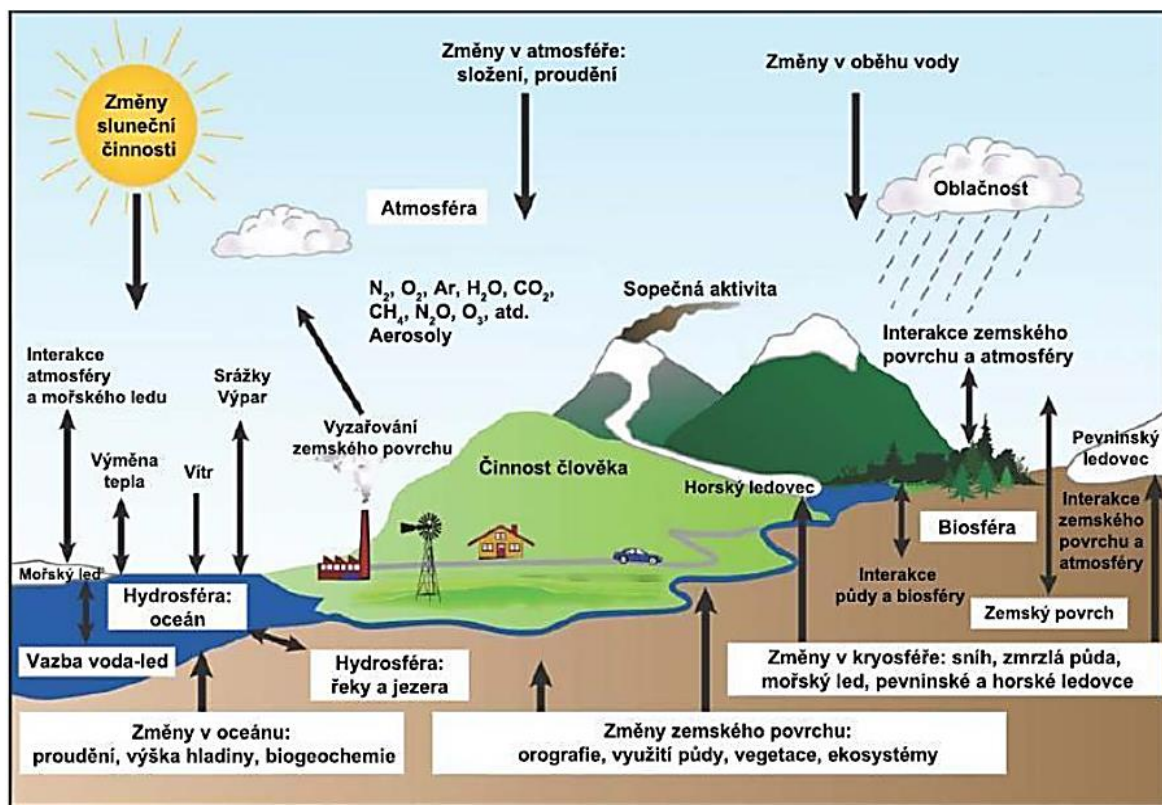
² datum 23. března se dodnes slaví jako Světový den meteorologie

atmosféry představují veškeré uvedené subsystémy aktivní povrch, neboli tu část sféry, kde dochází k odrazu slunečního záření a jeho následné přeměně na tepelnou energii (Vysoudil, 2014).

Hydrosféra pokrývá přibližně 71 % zemského povrchu a v klimatickém systému funguje jako zásobárna tepelné energie planety, je tedy důležitým stabilizačním prvkem. Zároveň díky oceánským proudům dochází k přesunu energie směrem od rovníků k pólům – např. Golský proud zmírňuje ochlazení v zimních měsících na území severní Evropy a činí tak skandinávské země v pobřežních oblastech celoročně obyvatelné (Houser, 2017). Vedle toho jsou oceány také důležitým absorbentem CO₂. **Kryosféra** má potom v klimatickém systému nezastupitelnou roli jednak jako zásoba sladké vody (až 80 % sladkovodních zdrojů je obsaženo ve zmrzlé formě), jednak díky vysoké odrazivosti slunečního záření (Pretel, 2012).

Atmosféra představuje v otázkách klimatických změn stěžejní dějiště problematiky. Jedná se o plynný obal země, který sahá do výšky několika desítek tisíc kilometrů. V blízkosti zemského povrchu (do cca 100 km) sestává z vodní páry, aerosolů a směsi následujících prvků v plynném skupenství: dusík 78,1 %, kyslík 20,9 % (neměnné zastoupení) a 1 % ostatních plynů, mezi něž se řadí rovněž skleníkové (radiálně aktivní) plyny. Na fyzikální vlastnosti atmosféry má vedle vodní páry vliv zejména oxid uhličitý (CO₂), methan (CH₄), oxid dusný (N₂O), nebo také halogenové uhlovodíky zvané freony (Trnka, 2015).

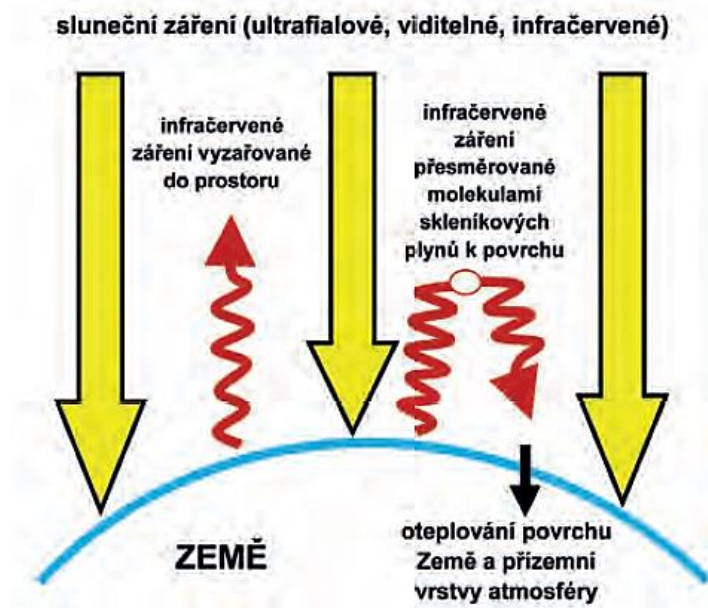
Pro pochopení fungování klimatických procesů je dále nutné zmínit vliv tzv. **zpětných vazeb**. Metelka a Tolasz (2009) uvádějí, že „*v důsledku těchto vazeb se mohou anomálie, způsobené určitou poruchou zesilovat (kladné zpětné vazby), nebo naopak zeslabovat (záporné zpětné vazby)*.“ Pro ilustraci jako příklad záporné zpětné vazby lze uvést vztah mezi táním ledovců a teplotou oceánů (při oteplení část ledovců roztává, čímž naředí oceánskou vodu a tím sníží její salinitu, v důsledku čehož se zvýší bod tání této méně slané vody a ledová pokrývka se tak obnoví i při vyšší teplotě). Kladná zpětná vazba se oproti tomu vyskytuje například mezi teplotou vzduchu a rozsahem polárního zalednění (při poklesu teploty lze předpokládat zvětšení ledové pokrývky, čímž se zvyšuje odrazivost zemského povrchu, díky čemuž se odrazí více sluneční energie a tím pádem dojde k dalšímu poklesu teploty). Pozitivní vazby z hlediska vlivu na celý systém označuje Trnka (2015) za destabilizující, negativní naopak stabilizující.



Obr. 3 – Základní schéma klimatického systému Země (Le Treut, 2007)

4.1.3 Skleníkový efekt

Na základě působení radičně aktivních plynů obsažených v atmosféře funguje proces zvaný skleníkový efekt. Přibližně 70 % slunečního záření, které přichází z kosmu, proniká skrz atmosféru (zde dochází k pohlcení dalších cca 20 %) a dopadá na zemský povrch. Z hlediska barevného spektra se skládá z viditelného světla, ultrafialového a infračerveného záření (viz Obr. 4). Právě infračervené záření zahřívá zemský povrch, který zároveň ekvivalentní množství přijaté energie zpětně vyzařuje (Metelka, 2009). V atmosféře obsažené skleníkové plyny jsou díky svým vlastnostem schopny zadržovat energii ze slunečního záření. V případě absence tohoto jevu by průměrná teplota na naší planetě měla hodnotu okolo $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, což by zemský povrch činilo z hlediska životních podmínek neobyvatelným. Samotný skleníkový efekt v rámci klimatického systému tak má nezastupitelnou úlohu (Quaschnig, 2010).



Obr. 4 – Schéma skleníkového efektu (Šimek, 2015)

Ze směsi plynů obsažených v atmosféře má na tomto jevu nejvýraznější podíl vodní pára, podle Pretla (2012) se pohybuje v rozmezí 60 – 80 %. Na její obsah má člověk zanedbatelný vliv a průměrná doba setrvání v atmosféře je v průměru 9 dní. Šimek (2015) uvádí, že se proto mezi skleníkové plyny běžně ani nezařazuje.

Oproti tomu CO_2 působí v atmosféře podstatně déle, střední doba setrvání je odhadována v rozmezí 50 – 200 let. Přírozená koncentrace tohoto plynu v preindustriální éře se pohybovala okolo 280 ppm, nicméně v důsledku lidské činnosti došlo k výraznému zvýšení. V roce 2018 podle WMO dosáhla koncentrace CO_2 nové rekordní hodnoty 405,5 ppm (World Meteorological Organization, 2018). Podstatou progresivního trendu je využití fosilních paliv (uhlí, zemní plyn, ropa). Tyto energetické zdroje vznikaly v přírodě dlouhodobým rozkladem živočišných a rostlinných zbytků (fosilií). Při jejich spalování ale dochází k podstatně rychlejšímu uvolňování sloučenin uhlíku, než je klimatický systém zpracovat, důsledkem je tedy usazování skleníkových plynů v atmosféře a postupné zvyšování jejich obsahu. Z hlediska energetické bilance tak dochází k přebytku na straně planety – vyšší koncentrace skleníkových plynů způsobuje vyšší zpětný odraz sluneční energie, tudíž dochází ke zvýšení výsledné bilanční teploty, při které je příjem solární energie a vyzařování zemského povrchu opět v rovnováze (Český hydrometeorologický ústav, 2009).

Dalším skleníkovým plynem je methan (CH_4), který se sice v atmosféře drží kratší dobu (9 – 15 let), nicméně z hlediska radiačního efektu jsou jeho účinky 21 krát vyšší oproti

CO₂. V případě methanu je jedním ze zdrojů i zemědělská produkce, kde vzniká jednak jako produkt trávicího procesu dobytka (cca 22 %), jednak při pěstování rýže (12 %), vedle toho se methan uvolňuje také při těžbě a zpracování fosilních paliv. Radiační účinnost oxidu dusného (N₂O), je potom až 310krát vyšší ve srovnání s CO₂. Koncentrace obou plynů se v návaznosti na antropogenní činnost rovněž zvýšily – CH₄ z původních 715 ppb na cca 1775 ppb, N₂O z 270 ppb na 319 ppb (Pretel, 2012).

Tyto plyny jsou v návaznosti na lidskou činnost jsou považovány za hlavní zdroje globálního oteplování, z nichž nejvýraznější podíl má CO₂ (60 %) u CH₄ je to přibližně 20 %. Důležité je zde zmínit, že CO₂ i CH₄ jsou zároveň součástí zcela přirozených **globálních uhlíkových cyklů**. Mezi jejich přirozené zdroje lze zařadit dýchání živých organismů, humifikaci, vulkanickou činnost a procesy výměny plynů mezi oceánem a pevninou (Pretel, 2012). Přirozeně vyprodukovaný oxid uhličitý zpětně spotřebovávají rostliny během procesu tvorby biomasy – fotosyntéze, důležitou absorpční vlastnost mají v tomto ohledu rovněž oceány (Šimek, 2015).

4.2 Klimatické změny

Adaptační strategie Ministerstva životního prostředí (2015) definuje klimatickou změnu jako „*veškeré dlouhodobé změny včetně přirozené variability klimatu a změn způsobených lidskou činností. Přirozenou a antropogenní složku klimatické změny od sebe nelze zcela rozlišit, nicméně z hlediska přizpůsobení se probíhajícím či předpokládaným změnám to není potřebné.*“

Přirozená variabilita klimatu zahrnuje změny nezapříčiněné člověkem. V dlouhodobém měřítku se v důsledku proměnlivé excentricity zemské oběžné dráhy okolo Slunce a náklonu zemské osy mění množství slunečního záření, které dopadá na Zemi. Tento jev v minulosti zapříčinil změny délky a intenzity letních/zimních období, což vedlo k obdobím rozsáhlého zalednění planety (doby ledové). Periodické změny v kvantitě slunečního záření matematicky zdůvodnil srbský fyzik Milutin Milanković a dnes jsou po něm pojmenovány – tzv. Milankovičovy cykly. Vedle sklonu slunečních paprsků hraje v klimatologii roli také intenzita sluneční činnosti. Při vzrůstu počtu slunečních skvrn se tato intenzita zvyšuje, a pozitivně tak ovlivňuje množství energie dopadající na zemský povrch. Mezi přirozené změny krátkodobého charakteru (do 100 let) lze potom zařadit například

vulkanickou činnost – při sopečné erupci je do atmosféry uvolněno velké množství plynů a pevných částic, což významným způsobem ovlivňuje radiační bilanci (Pretel, 2012).

4.2.1 Historický vývoj klimatu

Vznik klimatického systému se datuje do doby vzniku Sluneční soustavy a planety Země, tedy před cca 5,5 mld. let. Přestože relevantní data z meteorologických měření máme k dispozici pouze za posledních necelých 200 let, lze pomocí tzv. klimatologických proxy dat odhadnout podobu podnebí i ve vzdálenější minulosti. V laboratorních podmínkách se tak například z poměru izotopů kyslíku ^{18}O a ^{16}O obsažených ve vzduchových bublinách z hloubkových ledovcových vrtů odvozuje teplota vzduchu v pravěku. Mezi další proxy údaje lze zahrnout např. letokruhy stromů, usazeniny na dnech vodních ploch, či geomorfologické útvary (Metelka, 2009).

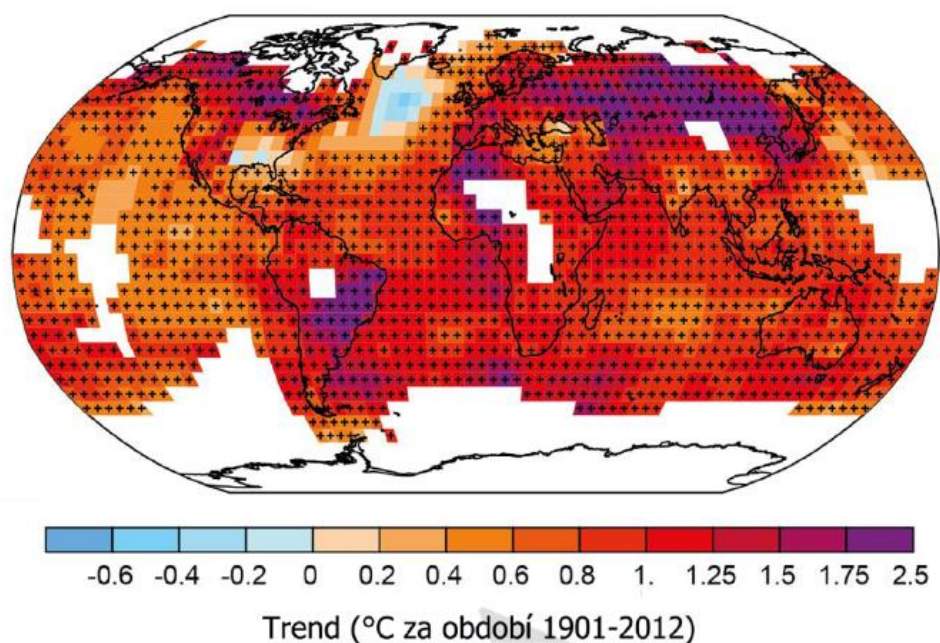
Ke komparaci současného stavu klimatu a minulého vývoje je směrodatné zejména období čtvrtohor, trvající cca 2 miliony let. Pro klima čtvrtohor je v důsledku zmiňovaných Milankovičových cyklů specifické střídání chladnějších glaciálů (dob ledových) a teplejších interglaciálů (dob meziledových) (Acot, 2005). Během sledovaného období bylo zatím potvrzeno 7 dob ledových, při čemž poslední z nich dosáhla svůj vrchol v období přibližně před 20 000 lety, průměrné teploty v našich zeměpisných šířkách byly v průměru o 8 – 10 °C nižší než dnes. Pevninský ledovec tehdy pokrýval značnou část území Evropy, Severní Ameriky, i Asie. Kvůli většímu ledovcovému pokryvu pevniny byla rovněž o cca 85 m nižší hladina moří. Před cca 14 000 lety začaly ledovce rychlým tempem ustupovat směrem k pólům, nicméně o 2 000 let později v důsledku odtávající sladké vody (negativní zpětná vazba) se tento proces zpomalil. Posledních 10 000 let nese označení holocén, kdy i přes krátká chladnější období panuje poměrně stabilní teplé klima (Pretel, 2012).

Preindustriální období lze z klimatologického hlediska rozdělit na 2 etapy. První z nich, tzv. období středověkého klimatického optima, trvalo v letech cca 900 – 1100 n. l., oproti dalším stoletím byly průměrné roční teploty na severní polokouli vyšší o cca 1 – 2 °C. Jako jeden z důsledků příznivějších podmínek uvádí Metelka (2009) rozmach vikingských námořních plaveb a osídlení severně položených oblastí. Následné ochlazení, označované jako Malá doba ledová, vyvrcholilo v průběhu 16. – 17. století a mělo na tehdejší civilizaci neblahé dopady. V souvislosti s rostlinnou výrobou lze zmínit například konec pěstování révy vinné na území dnešní Velké Británie (Behringer, 2010).

Příčina tohoto ochlazení není dosud zcela objasněna, nicméně průběh teplot v tomto období koreluje s intenzitou slunečního záření, tudíž na nízkých teplotách se podepsal nejspíše nízký počet slunečních skvrn. Poslední etapou v klimatologickém pojetí je období trvající od průmyslové revoluce dodnes. Vliv lidské činnosti zde začal nabývat na významu, a to jednak kvůli emisím skleníkových plynů, jednak kvůli změnám charakteristik zemského povrchu (např. úbytek lesních ploch) (Český hydrometeorologický ústav, 2009).

4.2.2 Současné změny klimatu v globálním měřítku

Přesná míra podílu člověka na klimatických změnách dosud není známa, nicméně v 5. hodnotící zprávě IPCC je na základě dostupných studií vědecky prokázán minimálně 50 % antropogenní podíl. Nezpochybnitelným důkazem zde je například fakt, že každá z posledních třech dekád byla v blízkosti zemského povrchu teplejší oproti veškerým předchozím desetiletím od roku 1850. Třicetiletí 1983 – 2012 potom bylo na severní polokouli pravděpodobně nejteplejším obdobím za posledních 1400 let. Celkový trend globálního vývoje teplot má rostoucí charakter, AR5 (IPCC, 2019) uvádí intervalové zvýšení kombinované teploty souše a oceánu v letech 1880 – 2012 o 0,85 °C (viz Obr. 5). Zcela nejteplejším rokem v globálním měřítku byl rok 2016, kdy kombinovaná teplota byla až o 0,94 °C vyšší ve srovnání s preindustriálním obdobím (NOAA, 2017).



Obr. 5 – Pozorované změny teplot při povrchu mezi lety 1901 – 2012 (Trmka, 2015)

Na území Evropy jsou změny potom ještě výraznější – v průběhu posledního století se teplota kontinentu zvýšila v průměru o 1,2 °C. Rychlost růstu se navíc stupňuje – zatímco původně docházelo k nárůstu teploty o 0,1 °C za 10 let, během posledních třech dekád došlo k oteplení až o 0,45 °C (Ministerstvo životního prostředí, 2015). Souvisejícím projevem klimatických změn je také změna četnosti extrémních teplot. Na základě několika časových řad jsou v AR5 sledovány trendy úbytku chladných dní a nocí, zatímco teplé dny chronologicky celosvětově přibývají (Trnka, 2015).

Trnka (2015) dále uvádí, že *„změny v úhrnech srážek, které byly doposud zaznamenány, je poměrně náročné hodnotit a kvantifikovat. Je to způsobeno poměrně velkou náročností v přesném popsání distribuce srážek. Některé místní srážkové trendy se zdají být poměrně robustní, ale poté, co jsou data virtuálně rekonstruována pro větší oblasti, výsledné řady průměrných globálních srážek ukazují poměrně malé a nepodstatné změny od roku 1900.“* Na území Evropy je však možné pozorovat poměrně významné změny srážkového režimu v průběhu posledních 50ti let. Zatímco severní Evropa pocítuje nárůst ročních srážkových úhrnů o 10 – 40 %, jižní oblasti se potýkají s jejich úbytkem o cca 20 %, což se projevuje zejména v letních měsících (Ministerstvo životního prostředí, 2015).

V souvislosti s oteplováním atmosféry dochází také ke změnám v oceánech. Jelikož oceány pohlcují přes 80 % přebytečné tepelné energie z antropogenní činnosti, dochází rovněž k oteplování horních vrstev vody, což vede ke zvyšování hladin (Pretel, 2012). V letech 1901 – 2010 došlo ke zvýšení oceánské hladiny v průměru o 0,19 m, přičemž opět rychlost růstu má progresivní charakter. Dalším důsledkem klimatických změn je acidifikace oceánů, která souvisí se zvýšeným obsahem CO₂ v atmosféře. Jak již bylo zmíněno, absorbce tohoto skleníkového plynu je přirozeným procesem, při kterém v chemické reakci vzniká kyselina uhličitá H₂CO₃. Antropogenním narušením uhlíkového cyklu dochází ke zvýšení koncentrace H₂CO₃, tím pádem i ke snížení pH, což má negativní účinky na mořské organismy (Trnka, 2015).

4.3 Klimatické modely

Pro vytvoření odhadu budoucího, ale i minulého vývoje klimatu se využívají tzv. klimatické modely. Tyto situace jsou definovány jako *„matematický popis klimatického systému založený na fyzikálních zákonech, který zpravidla diskretizuje prostor do trojrozměrné výpočetní sítě s deseti a více vertikálními vrstvami a s horizontálním rozlišením*

řádově tisíců až stovek (globální klimatické modely – GCM), či stovek až desítek (regionální klimatické modely – RCM).“ (Hanel, 2011)

Modelování potom podle Trnky (2015) je většinou založeno na „*chování všeobecné cirkulace atmosféry spojené s modelem oceánu*“. Výpočty matematických vztahů v těchto systémech probíhají v tzv. gridové síti uzlových bodů v různých vertikálních hladinách (Český hydrometeorologický ústav, 2009).

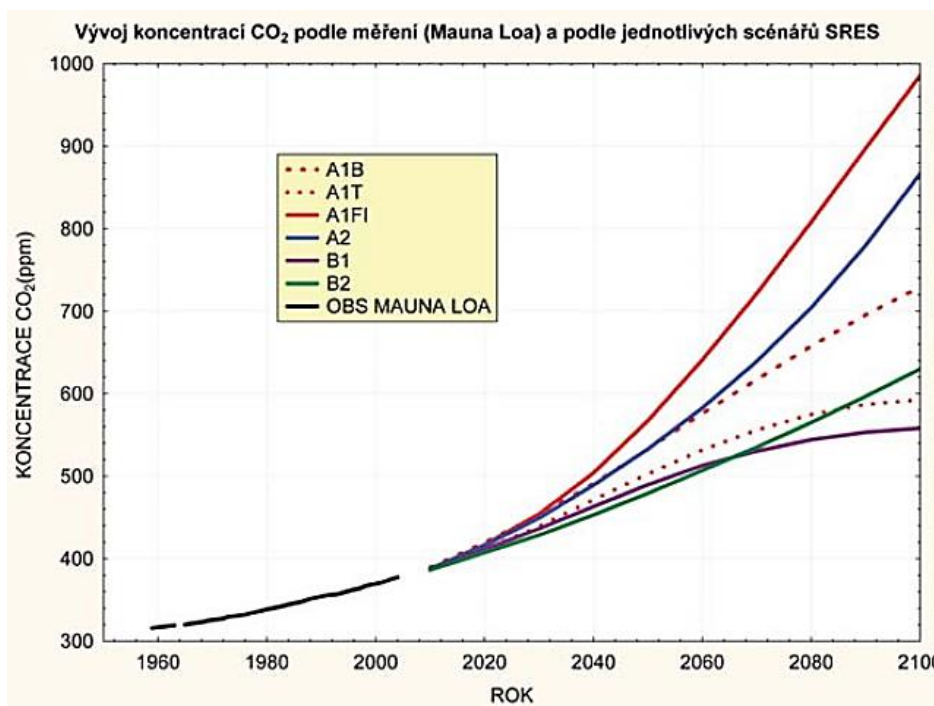
Aby bylo dosaženo co nejpřesnější předpovědi, zahrnují se do kalkulací procesy ve veškerých subsystémech klimatu a zpětné vazby. V současné době je k dispozici celkem 40 GCM, jako referenční období se při projekcích budoucích modelů využívá období 1961 – 1990 (Trnka, 2015). Jelikož rozlišení GCM vytváří prostorový průměr z jednotlivých gridů, pro podrobnější měřítka jsou výstupy GCM poměrně hrubé a neaplikovatelné na regionální podmínky. Z tohoto důvodu se využívá tzv. downscaling, neboli zmenšování měřítka. RCM jsou založeny na podobných výpočtech chování atmosféry, ovšem již v prvopočátku jsou vytvořeny pro oblast (doménu), jako např. střední Evropa, a umožňují tak rozlišení v intervalu 50 – 10 km (Český hydrometeorologický ústav, 2009).

4.3.1 **Emisní scénáře SRES**

V otázkách budoucího vývoje je v mezinárodních výzkumech momentálně nepoužívanějším souborem scénářů projekt SRES, naposledy aktualizovaný v IPCC AR4. Jedná se o odhad růstu koncentrací skleníkových plynů v atmosféře, založený na několika variantách možného ekonomického, demografického, technologického, environmentálního

a energetického vývoje světa. V základním rozdělení rozlišuje následující 4 modelové situace (viz Obr. 6) (Trnka, 2015):

1. A1 – rychlý ekonomický růst a technologický pokrok, vliv globalizace a snižování regionálních rozdílů, podle využití paliv následující podtypy:
 - A1F1 – intenzivní využití fosilních paliv
 - A1T – využití alternativních zdrojů
 - A1B – kombinované využívání zdrojů
2. A2 – heterogenní a nestabilní svět, velké ekonomické a technologické rozdíly mezi jednotlivými regiony
3. B1 – stejný populační vývoj jako u A1, nicméně s vyšší mírou rozvoje a sdílení nových technologií a důraz na snižování ekologické zátěže
4. B2 – pomalejší populační růst než u A2, nižší míra globalizace, technologický vývoj rovněž pomalejší, nicméně na regionální úrovni vysoký důraz na životní prostředí (Trnka, 2015)

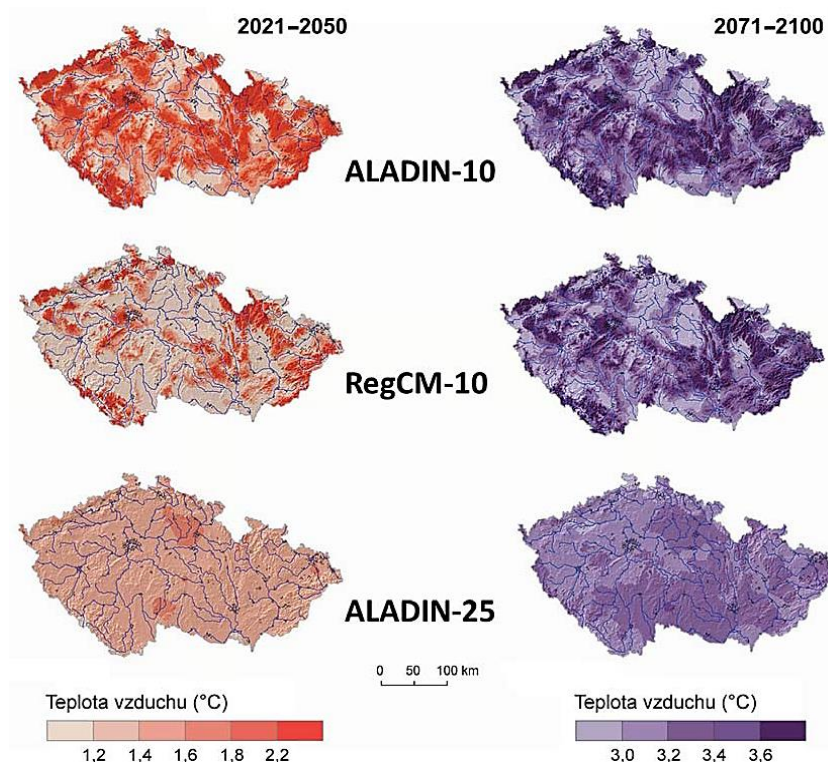


Obr. 6 – Grafické znázornění vývoje obsahu CO₂ v atmosféře podle SRES (Metelka, 2009)

4.3.2 RCM pro území České republiky

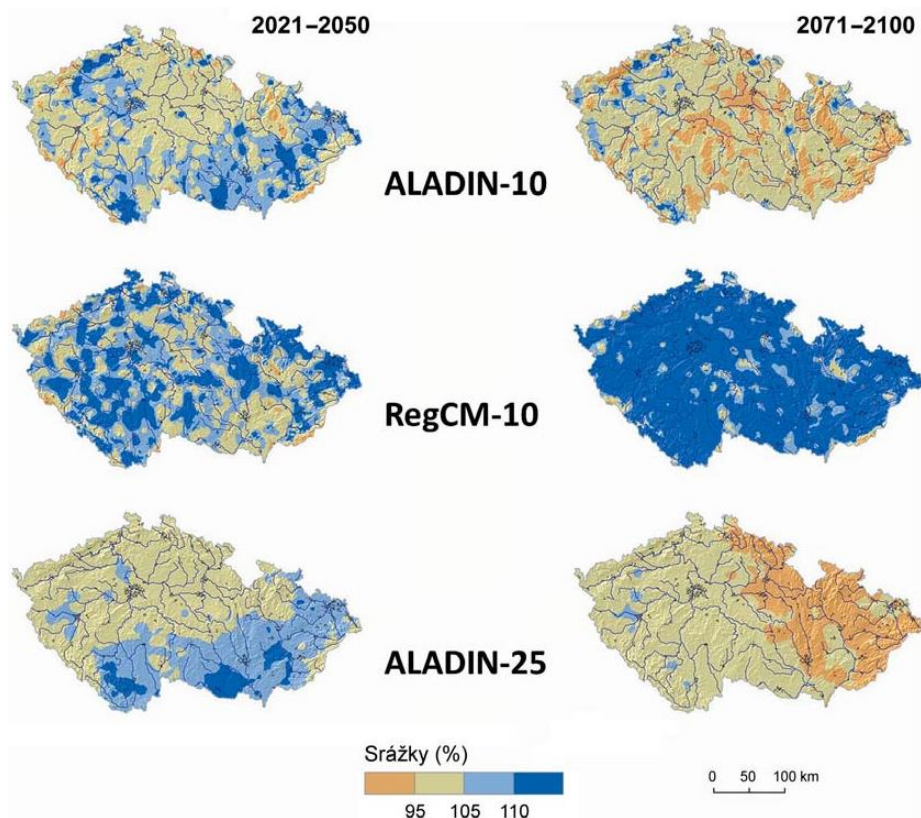
Brázdil (2015) pracuje ve své studii se dvěma modely: ALADIN-CLIMATE/CZ a RegCM. Model ALADIN-CLIMATE/CZ je založený na GCM ARPEGE-CLIMAT, jehož výpočetní centrum je lokalizováno ve Francii. V rámci projektu VaV (Pretel, 2011) realizovaného v letech 2007 – 2011 Českým hydrometeorologickým ústavem jsou zachyceny modelové scénáře vývoje pro období 2021 – 2050 a 2071 – 2100 v rozlišení 25 km. Mezinárodní projekt EU FP6 CECILIA potom pro tyto časové intervaly modeluje situaci v 10 km měřítku. Vedle simulací založených na předpovědním modelu ALADIN je v Brázdilově studii ještě zahrnut RegCM, což je regionální model pro Evropu v rozlišení 25 km, vychází z GCM ECHAM5. Pro simulaci ve všech třech případech byl využit emisní scénář SRES A1B, jelikož se momentálně jeví jako nejpravděpodobnější (Brázdil, 2015).

Průměrná roční teplota na našem území vykazuje postupně rostoucí trend. V letech 1960 – 1991 se teplota pohybovala v závislosti na konkrétní lokalitě v rozsahu od 5,5 °C do 9 °C. Na základě všech tří scénářů je predikován vzestupný trend také v budoucnu (pro roky 2021 – 2050 v intervalu 1,2 – 1,4 °C, ve vzdálenější budoucnosti do roku 2100 potom až o 3,3 °C) (viz Obr. 7). Pretel (2012) dále uvádí, že oteplení lze pro první sledované období očekávat výraznější zejména v jarních a podzimních měsících, vzdálenější budoucnost však již bude vykazovat největší nárůst v létě (až o 4 °C), naopak mírnější bude v zimě (o cca 2,8 °C).



Obr. 7 – Modely vývoje teplot na území ČR (Brázdil, 2015)

Roční úhrny srážek v referenčním období se na většině území pohybovaly v rozmezí 500 – 700 mm, při čemž hlavním znakem srážkového režimu je značná proměnlivost v čase a prostoru, což je způsobeno zejména atmosférickou cirkulací a cyklonální činností, terén ČR je navíc poměrně proměnlivý. Do značné míry je tak komplikované statisticky prokázat určitý lineární trend. V otázkách budoucích srážkových úhrnů se potom jednotlivé modely rozcházejí. Zatímco podle modelu ALADIN lze predikovat nejprve rostoucí trend srážkových úhrnů na většině Moravy a také v Ústeckém regionu (2021 – 2050), ve vzdálenější budoucnosti potom na více než 90 % území republiky bude tento trend klesat. Oproti tomu model RegCM počítá rostoucí trend v obou obdobích (viz Obr. 8) (Brázdil, 2015).



Obr. 8 – Modely vývoje srážkových úhrnů na území ČR (Brázdil, 2015)

4.4 Klimatické změny a rostlinná produkce

Podle Žaluda (2009) lze u rostlin specifikovat 2 hlavní faktory vlivu klimatických změn. Jako první považuje vliv zvýšených koncentrací CO₂. Tento plyn má zcela zásadní vliv na fyziologii rostlin a fotosyntézu. Zvýšené koncentrace CO₂ v přízemních vrstvách atmosféry mají tendence výrazným způsobem ovlivnit tvorbu biomasy u rostlin typu C₃ (např. pšenice, ječmen, oves, cukrová řepa). Vedle toho CO₂ zároveň ovlivňuje aktivitu stomat³, při zvýšení koncentrace dochází jejich uzavření a nižší buněčné transpiraci. Z hlediska vláhy tak rostlina vykazuje vyšší retenční schopnosti. Zahraniční zdroje tento jev označují termínem „carbon fertilisation“ (český ekvivalent doposud nevzniknul) a uvažují tak potenciální stimulační efekt pro tento typ plodin (Allen, 1997). V případě rostlin typu C₄ (např. kukuřice, proso, cukrová třtina) je však tento účinek podstatně mírnější. Míra pozitivity účinků u plodin C₃ navíc doposud nebyla vědecky stanovena, jelikož je nutné brát

³ průduchy listů

v potaz, nakolik je tento efekt trvalý, a zdali při větším objemu biomasy (z čehož vyplývá vyšší počet stomat) nedojde zpětně k celkovému zvýšení objemu transpirované vody.

Druhým faktorem je vliv zvýšených teplot a změn srážkových režimů, z nichž vyvozené důsledky pro rostlinnou produkci jsou popsány v následujících podkapitolách (Žalud, 2009).

4.4.1 Současná rostlinná produkce v ČR

Celková rozloha zemědělské půdy v České republice podle dostupných údajů z roku 2018 činí 4 205 288 ha (přibližně 53 % z celkové rozlohy republiky), z čehož orná půda se rozkládá na 2 958 603 ha. V rostlinné výrobě je hlavní pěstovanou plodinou pšenice ozimá (773 678 ha) následovaná řepkou ozimou (411 802 ha). 3. místo tradičně zaujímal ječmen jarní (222 122 ha), ovšem v roce 2018 jej s nepatrným rozdílem předstihla kukuřice pěstovaná na zeleno a siláž (224 105 ha). Na HDP má zemědělství v současnosti podíl 2,9 % (vč. lesnictví a rybolovu) a zaměstnává v průměru 100 000 osob. Charakteristickým znakem českého zemědělství je v důsledku historického vývoje významný podíl velkých podniků hospodařících na výměře větší než 50 ha (cca 90 %), velká část podnikatelských subjektů dále hospodaří na pronajatých půdách. V roce 2018 dále zisk zemědělského sektoru dosáhl hodnoty 16,5 mld, oproti roku 2017 zde tak došlo k meziročnímu snížení o 20 % (Ministerstvo zemědělství, 2018).

Pro Českou republiku, jakožto členský stát Evropské unie, platí principy Společné zemědělské politiky EU (Vošta, 2010). Tato politika je jednou z hlavních pilířů fungování EU, její kořeny sahají do 50. let 20. století, kdy se státy Evropského hospodářského společenství snažily jednak o zajištění dostatečné produkce zemědělských komodit ve vysoké kvalitě, a zároveň o zvýšení životní úrovně obyvatelstva venkovských oblastí. Základem této snahy byla podpora zemědělských podnikatelů prostřednictvím subvencí za účelem zvýšení produkce. Hlavní cíle SZP vymezené Římskou smlouvou z roku 1957 jsou následující:

1. princip jednotného trhu, který umožňuje vzájemný volný pohyb výstupů zemědělské produkce mezi členskými státy, je regulován společnými cenami vytvořenými na základě regulačního systému (nejvyšší regulaci podléhají obiloviny a cukr, oproti tomu zelinářská a ovocnářská produkce má regulaci minimální),

2. princip preference odbytu produktů pocházejících ze členských zemí a s tím související zvýšení konkurenceschopnosti EU jako celku v globálním měřítku,
3. princip finanční solidarity založený na financování SZP ze společného rozpočtu členských států (Vošta, 2010).

Z hlediska místních klimatických podmínek spadá území ČR do mírného pásu, podnebí je zde ovlivňováno zejména cyklonální činností, což udává jeho proměnlivý charakter. Vlastnosti kontinentálního klimatu zvyšují směrem od západu na východ, při čemž vliv oceánského proudění se udává v průměru 55 % pro území Čech, o 5 % méně pro Moravu – nižší oceanita zde způsobuje větší teplotní a srážkové výkyvy. Díky horským oblastem na severu je částečně zabráněno vpádům arktického vzduchu, což v některých oblastech způsobuje srážkový stín. Klima zde tak utváří vhodné podmínky pro pěstování obilovin a olejnin, ve vyšších nadmořských výškách se potom lokalizují bramborářské oblasti, naopak v nížinách nacházíme několik regionů zelinářských či vinařských (Rožnovský, 2011).

4.4.2 Výrobní oblasti ČR a jejich posun

Z hlediska geografické kategorizace zemědělského území se na základě agroekologických a ekonomických předpokladů od 60. let 20. století rozlišují 4 výrobní typy výrobních oblastí (Ministerstvo zemědělství, 2018):

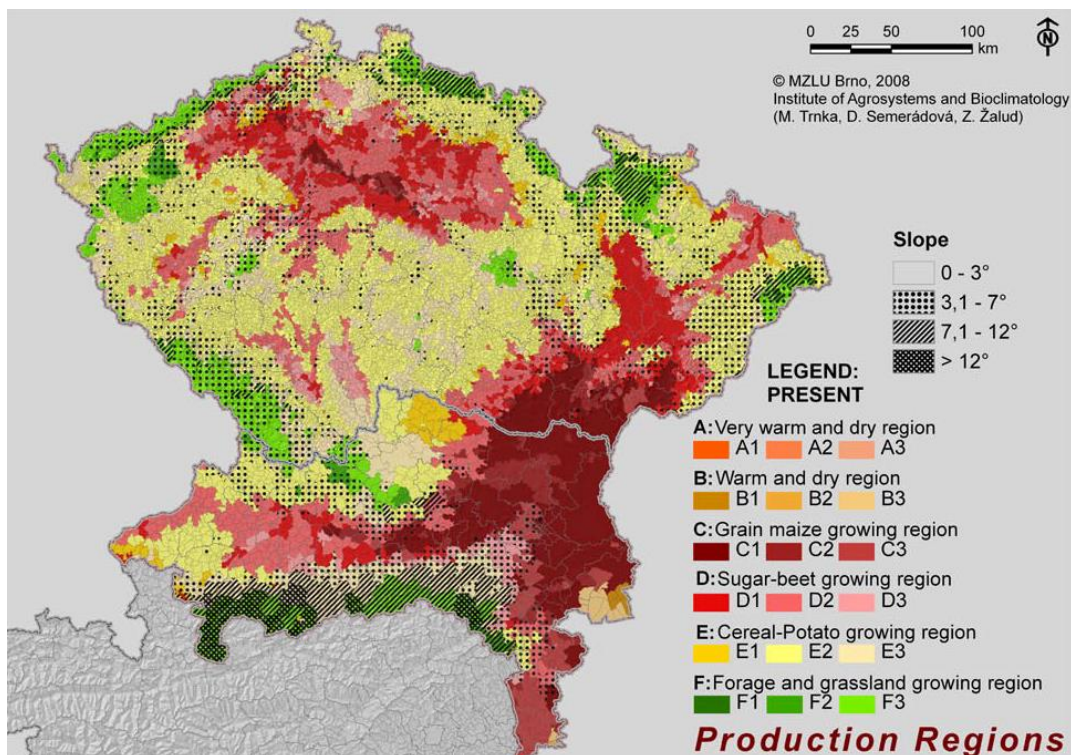
- **kukuřičná (K), typ kukuřično-řepařsko-obilnářský** – převažuje zde typicky teplé a suché klima (průměrná teplota 9 – 10 °C, úhrny srážek do 600 mm za rok), půdy jsou kvalitní černozemě s hlinitým/písčitohlinitým zrnitostním charakterem, vhodné pro pěstování kukuřice na zrno, cukrovky, obilovin pro potravinářské a sladovnické účely, rovněž je zde vysoké zastoupení teplomilných trvalých kultur (např. réva vinná);
- **řepařská (Ř), typ řepařsko-obilnářský** – vyznačuje se nepatrně vyššími srážkovými úhrny (600 – 650 mm) a nižší teplotou (8 – 9 °C), v půdních charakteristikách mají vyšší podíl hnědozemě, podmínky jsou vhodné zejména pro produkci cukrové řepy, kvalitních obilovin, chmele a kořenové zeleniny;
- **bramborářská (B), typ bramborářsko-obilnářský** – tradičně charakterizována vyšší nadmořskou výškou (400 – 700 m.n.m), svahovitým

terénem a nižším stupněm zornění, podmínky vhodné pro pěstování obilovin na krmné účely, pícnin, technických plodin a brambor;

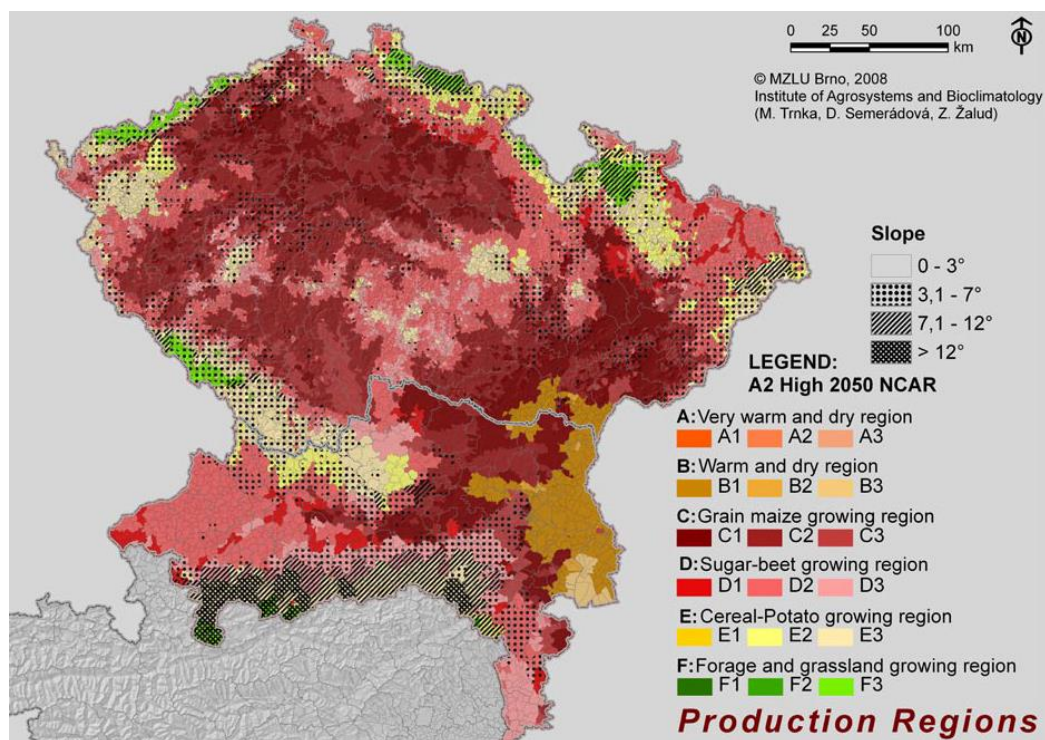
- **horská (H), typ pícninářský** – pro účely rostlinné výroby není tato oblast příliš využitelná, převažují zde spíše trvalé travní porosty a lesní plochy, z plodin jsou podmínky vhodné pro nenáročné plodiny (oves, sadbové brambory, žito), typické jsou zde nízké průměrné teploty (5 – 6 °C), vysoké srážkové úhrny (nad 700 mm) a velmi vysoká horizontální členitost.

Na základě vývoje agroklimatických podmínek lze v budoucnu očekávat poměrně zásadní rozdíl v jejich rozložení (viz Obr. 9 a Obr. 10). Původní obilnářsko-bramborářské oblasti budou ustupovat, naopak charakteristiky vymezující řepářské a kukuřičné oblasti budou panovat na většině území ČR. V důsledku zvýšené teploty a změn vodní bilance dochází k postupnému snižování produkčního potenciálu kukuřičné a řepářské oblasti, naopak obilnářské a bramborářské oblasti mohou z nové situace benefitovat (Trnka, 2015).

Brázdil (2015) v tomto ohledu podotýká, že „*změna agroklimatických podmínek se může jevit jako relativně příznivá, neboť zóny se sub-optimálními teplotami (pícninářská a obilnářsko-bramborářská) jsou střídány oblastmi s lepším klimatem řepářské výrobní oblasti.*“ Typickým příkladem může být oblast Vysočiny, nicméně vzhledem k vysoké svahovitosti a souvisejícímu eroznímu ohrožení se jeví jako vysoce kontraproduktivní zde pěstovat např. kukuřici (Vopravil, 2010).



Obr. 9 – Současné rozložení ZVO (Trnka, 2009)



Obr. 10 – Rozložení ZVO okolo roku 2050 na základě emisního scénáře A2 (Trnka, 2009)

Původní K a Ř oblasti (jižní Morava, Polabí nebo Haná) byly tradičně klíčové zemědělské regiony, díky kvalitním půdám a optimálním klimatickým podmínkám zde prvovýroba dosahovala nejlepších výnosů. V těchto oblastech lze však očekávat v průběhu

příští dekády teplotní sumy nad 10 °C a výrazný vláhový deficit, což může významně ohrozit jejich úrodnost. Již nyní zde sucha totiž dosahují nejen vysoké četnosti, ale ve srovnání s vyššími nadmořskými výškami jsou i intenzivnější a delší. Lehké písčité půdy, které navíc kvůli teplé zimě a nedostatku sněhu neabsorbují dostatek půdní vláhy přes zimní měsíce, se již nyní v některých regionech (např. Znojensko) stávají z hlediska rentability bezzávlahové technologie pěstování jednoletých plodin poměrně neefektivní (Ministerstvo životního prostředí, 2019).

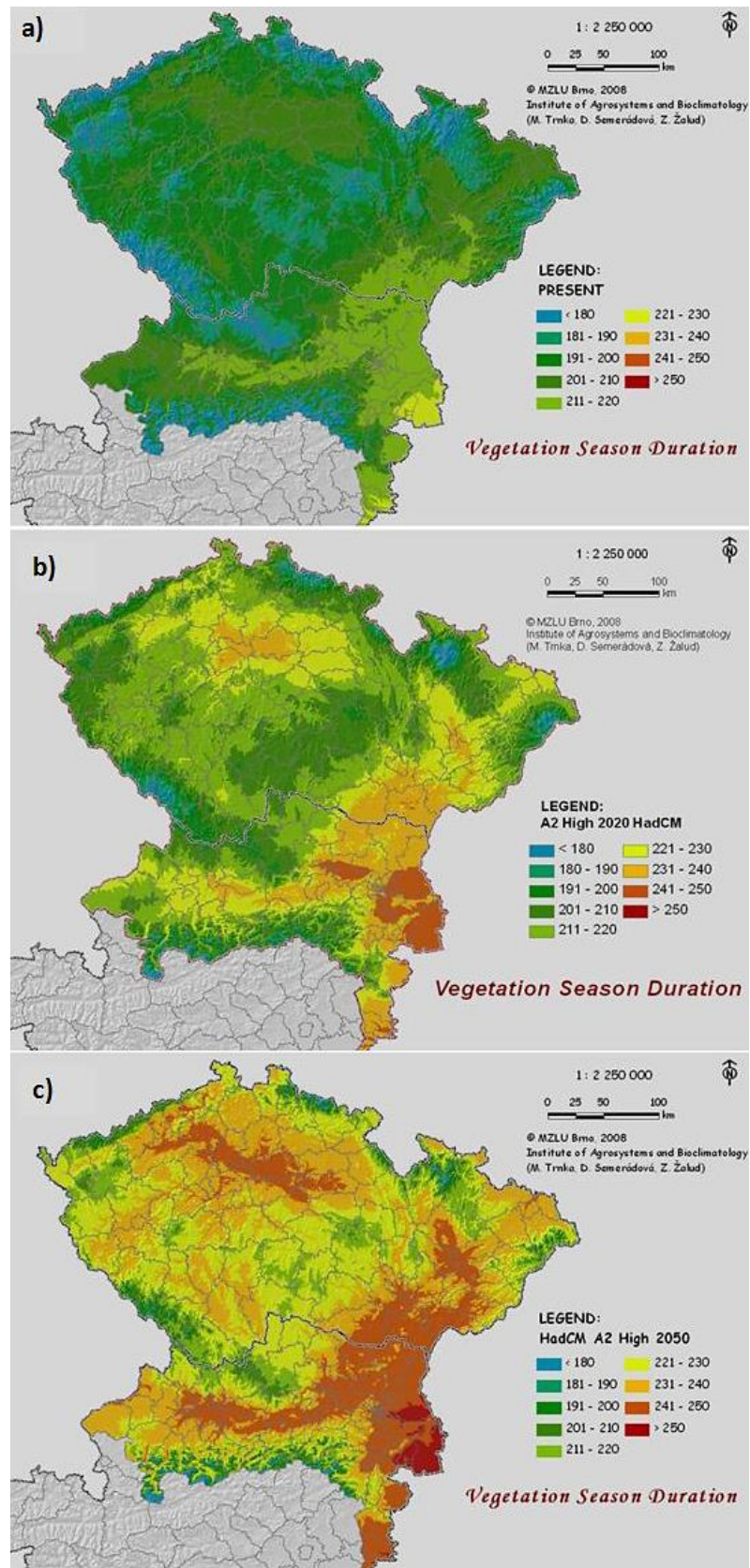
4.4.3 Dopady změn teploty a prodloužení vegetačního období

Zvýšení teploty (půdní i meteorologické) má na rostlinnou produkci celou řadu vlivů. Růst plodin je totiž ve velké míře ovlivněn průběhem teplot, což se pochopitelně promítá i na organizaci zemědělské práce (např. termín setí řepky ozimé je limitován včasnou sklizní předplodiny). Vyšší teploty urychlují průběh jednotlivých fenologických fází, což může mít negativní dopad zejména na nedostatečný rozvoj nadzemních částí rostliny. Vedle toho utváří vhodné podmínky pro rozvoj škůdců a chorob (Pretel, 2011). Podle Trnky (2015) v případě houbových chorob nemusí mít klimatická změna mít jednoznačné dopady, jelikož většina těchto organismů je schopna fungovat v poměrně širokém rozsahu teplot. Přestože pro většinu těchto druhů je optimální teplota 18 – 24 °C, teplotní extrémy tropických dnů jsou pro ně nepříznivé podobně jako pro rostliny. Na druhou stranu při zvýšené tvorbě biomasy zapříčiněné koncentrací CO₂ jsou podmínky pro život patogenů příznivější. Důsledkem lepší produkční schopnosti rostlin tudíž může být i vyšší patogenní výskyt a vážnější následky jeho působení (obzvláště v případě mírné zimy, kdy díky absenci mrazů nedojde k omezení populace patogenů).

V případě škůdců lze potom na území střední Evropy očekávat spíše změnu v jejich druhovém zastoupení (více suchomilných a teplomilných), popř. změny ve vzájemných vztazích s hostitelským organismem (nárůst/pokles škodlivosti) (Trnka, 2015). Jako příklad negativního působení škůdců v důsledku klimatických změn lze uvést kalamitní stav přemnožené populace hraboše polního z roku 2019. Tento hlodavec je sice stálou součástí zemědělské krajiny, nicméně v důsledku teplého a suchého jara došlo k jeho masivnímu rozmnožení již v tomto období (přirozeně k tomuto jevu dochází na podzim). Na území Moravy, kde byla kalamita nejzávažnější, bylo poškozeno více než 131 000 ha porostů a škody způsobené ztrátami ve výnosech přesahují 1,3 mld Kč. Z hlediska vyšších teplot je

potom riziková zejména mírná zima, kdy prostřednictvím mrazů nedojde k přirozené redukci populace hraboše a poškození se tak bude opakovat i v nadcházející sezoně (Agris.cz, 2019).

Logickým důsledkem vyšších teplot je dále prodloužení období příznivého pro růst rostlin, tedy vegetačního období. Na následujícím obrázku (Obr. 11) je na základě emisního scénáře A2 patrné, že k roku 2020 dojde k prodloužení vegetačního období o 10 – 21 dní, okolo roku 2050 dokonce o více než měsíc. Zpráva VaV v tomto ohledu specifikuje, že v budoucnu by velké vegetační období (průměrné denní teploty nad 5 °C) mohlo začínat už před 1. březnem a končit až 10. listopadu. Teoreticky tedy lze uvažovat o možnosti dvou sklizní za rok, tato možnost je však realizovatelná pouze za předpokladu dostatku vodních zdrojů (Pretel, 2011).



Obr. 11 – Prodloužení vegetačního období na základě scénáře A2 (Ministerstvo životního prostředí, 2019)

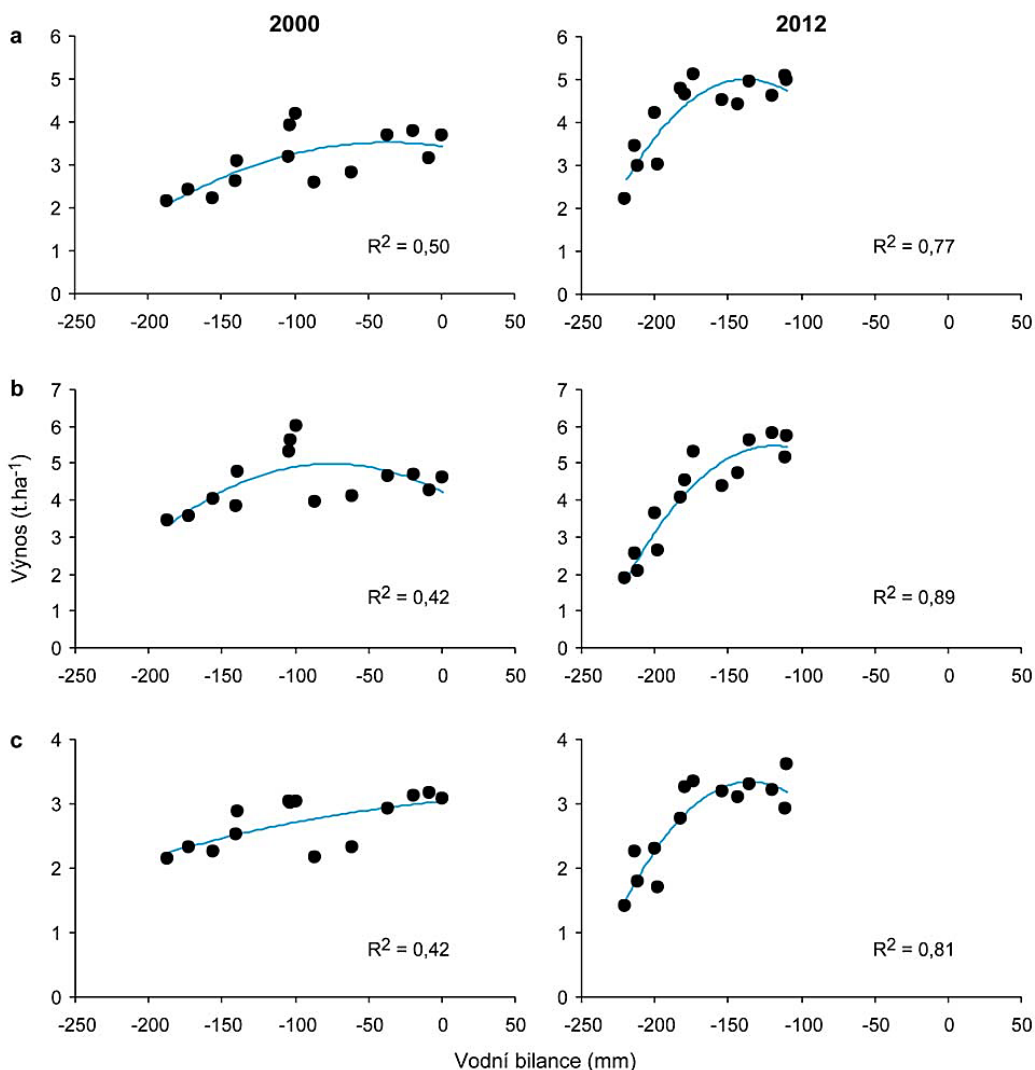
Z pohledu průběhu zemědělského roku je nejdůležitějším ročním obdobím **jaro**. V případě jarních odrůd polních plodin umožní prodloužené období vegetace jejich dřívější výsev a rychlejší vzcházení, což lze za určitých podmínek označit jako pozitivní přínos. Pro pěstitele trvalých kultur však dřívější začátek květu představuje zvýšené riziko destrukce úrody jarními mrazíky. V průběhu **léta** se vedle sucha jeví jako největší riziko pro úrodu extrémní hydrometeorologické situace. Vlny veder mohou jednak značně urychlit nalévání zrna obilovin, což se projeví na nižší objemové hmotnosti, přívalové deště zase mohou vyvolat polehání porostů. **Podzimní** měsíce jsou z pohledu zemědělství měnícím se klimatem ohroženy nejméně. Ozimé plodiny díky prodlouženému vegetačnímu období mohou být později sety, v případě dřívějších výsevků zase dojde k jejich lepšímu růstu a vývoji, rizikem je zde ovšem vyšší náchylnost k napadení chorobami nebo škůdci. **Zima** je z agronomického pohledu riziková zejména kvůli postupnému zkracování délky sněhové pokrývky. Ta totiž poskytuje ozimům ochranu před mrazem a umožňuje jejich přezimování. Nedostatek sněhu má rovněž negativní vliv na vodní bilanci v půdě (Ministerstvo životního prostředí, 2019).

4.4.4 Sucho

Termín sucho označuje v obecném pojetí stav, ke kterému dochází při nedostatku srážek v delším časovém horizontu, což způsobuje vláhový deficit pro životní prostředí, člověka, nebo určitou aktivitu. Podle dominujících projevů se rozlišuje sucho meteorologické (nižší úhrn srážek oproti normálnímu stavu za určité časové období), zemědělské (půdní sucho a nedostatek vláhy pro rostliny), hydrologické (snížení hladin toků) a socioekonomické (takové, které má dopady na lidskou činnost) (Intersucho, 2019).

Zemědělské sucho představuje na našem území patrně nejzávažnější problém pro zemědělce ve srovnání s ostatními hydrometeorologickými extrémy. Ministerstvo zemědělství uvádí, že k roku 2015 ve státech EU za posledních 30 let dosahovaly ztráty zemědělských podnikatelů zapříčiněné suchem více než 100 mld Eur (Ministerstvo zemědělství, 2015). Samotný nedostatek vody je potom jedním nejvýraznějších faktorů, které se podepisují na produktivitě rostlin. Vlivem narušené vodní bilance dochází ke komplikacím při zakládání porostů a problematickému růstu, což vede k nižším výnosům a horší kvalitě zemědělské produkce, plynoucím důsledkem jsou ekonomické ztráty prvovýrobců. Brázdil (2015) na základě analýzy suchých epizod v letech 2000 a 2012

demonstruje závislost pokles výnosů ječmene jarního, pšenice ozimé a řepky ozimé na deficitu vodní bilance (viz Obr. 12).

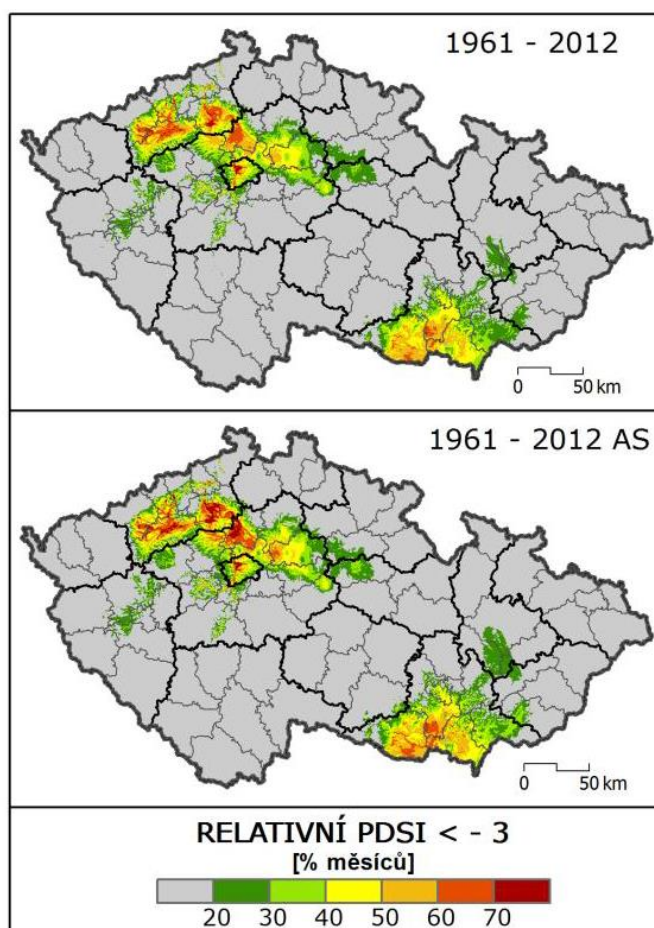


Obr. 12 – Průměrné výnosy ječmene jarního (a), pšenice ozimé (b) a řepky ozimé (c) na území Moravy vztahované k vodní bilanci jarních měsíců (březen - květen) (Brázdil, 2015)

Jelikož srážky představují pro drtivou většinu rostlinné výroby jediný zdroj vláhy, zvyšování variability srážek v kombinaci s vyšší evapotranspirací ohrožuje čím dál větší území. Vedle negativních dopadů na rostliny suché epizody zapříčiňují energeticky obtížné zpracování půdy (např. zapravení posklizňových zbytků, rozklad organické hmoty), na druhou stranu pozitivem suchých epizod může být nižší tlak houbových a infekčních chorob (Pretel, 2011).

Stěžejním obdobím tvorbu výnosů zemědělských plodin je interval duben – červen. Právě v těchto měsících ve srovnání se zbytkem roku teplota i distribuce srážek kolísají daleko intenzivněji, což se významným způsobem podepisuje na dynamice půdní vlhkosti

(viz Obr. 13). Pro relativizaci dat se využívají např. Palmerovy indexy intenzity sucha (PSDI), které odrážejí změny půdní vlhkosti za určité období. Na následujícím obrázku je patrné, že sucho ve vegetačním období ohrožuje větší území a s větší intenzitou, než v horizontu jednoho roku. Nejohroženějšími oblastmi jsou potom okresy jižní Moravy, středních Čech v povodí Labe a dále tradičně aridní oblasti Žatecka a Lounska (Ministerstvo životního prostředí, 2019).



Obr. 13 – Percentuální podíl měsíců s výskytem intenzivní suché epizody (nahore celoroční, dole za vegetační období) (Brázdil, 2015)

4.4.5 Dopady na půdu

Půda, jakožto neobnovitelný přírodní zdroj a nenahraditelný zemědělský výrobní prostředek, je v současné době vystavena různým druhům degradace. Mezi hlavní zdroje ohrožení zemědělských půd řadí Vopravil (2010) vodní (42 %) a větrnou erozi (10,7 %),

dále kompakci⁴ ornice (45 %), ztrátu bilance organických látek nebo acidifikaci. Z hlediska klimatických změn spočívá rizikovost vodní eroze zejména ve zvyšujícím se výskytu nebezpečných přívalových dešťů. V případě eroze větrné sice z pozorování zatím nedošlo k výraznému zrychlení větrných proudů, nicméně v kombinaci s vyššími teplotami a vyšší evapotranspirací půdy se náchylnost půdy k větrné erozi zvyšuje. Působení všech druhů eroze navíc umocňuje častá neadekvátní volba plodin vzhledem k terénu (např. pěstování kukuřice v kopcovitých oblastech). Vedle těchto rizik navíc dochází k postupnému úbytku zemědělské půdy zejména z důvodu stavebního využití, pro ilustraci je ve srovnání s rokem 1927 zemědělský půdní fond o více než 800 tis. ha menší. Z projevů klimatických změn se jeví pro půdu jako největší riziko vliv na vlhkost půdy. Důsledkem eroze je potom změna struktury půdy, objemové hmotnosti, nebo retenčních vlastností (Vopravil, 2010).

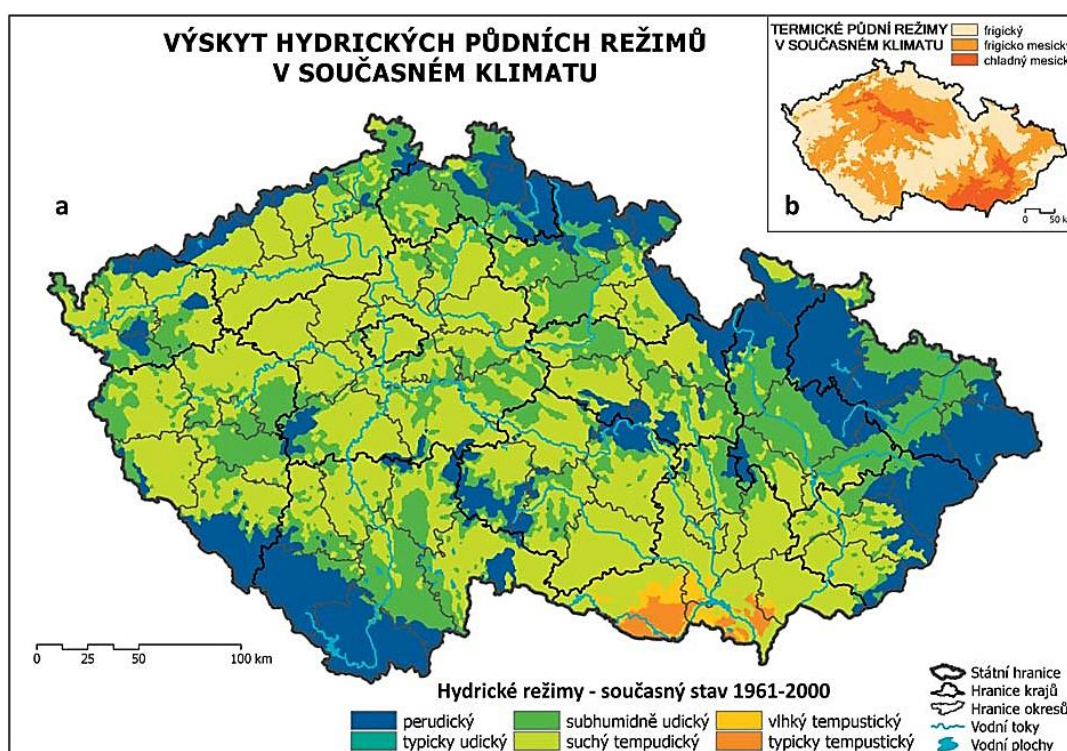
Brázdil (2015) v tomto ohledu vedle erozních příčin degradace půd označuje jako další významný rizikový proces dehumifikaci, neboli úbytek obsahu humusu v půdě. K dehumifikaci dochází především intenzivním zpracováním půdy v kombinaci s absencí dostatečného přísunu organické hmoty. Podobně jako eroze má dehumifikace negativní dopady na stabilitu půdní struktury, dále zvyšuje mobilitu škodlivých látek a zhoršuje schopnost poutat živiny. V důsledku tak dochází ke snížení produkčních schopností i těch nejkvalitnějších půd.

Kombinací degradačních procesů a nedostatku vláhy může v extrémních případech docházet až k tzv. desertifikaci, při které se postupně mění území na poušť. Na území ČR je tomuto riziku nejvíce vystavena jižní Morava, kde původní úrodné černozemě jsou v důsledku dlouholeté eroze a razantnímu úbytku živočišné výroby obnaženy až na podložní substráty. Stav půdy a retenční schopnost přitom mají při výskytu suché epizody zcela zásadní vliv na zranitelnost postiženého území – pokud je profil půdy plně nasycen, na 1 m² je alokována zásoba vláhy až 50 dní, na lehkých písčitéch půdách se špatnou retencí to může být při vysoké evapotranspiraci méně než 10 dní (Brázdil, 2015).

K vyjádření změny vlhkostního režimu půdy se využívají tzv. hydrické režimy, které popisují stav zásob vody využitelné rostlinami ve specifických půdních horizontech. Na území České republiky se vyskytuje celkem 6 režimů. V referenčním období mezi lety 1961 – 2000 (viz Obr. 14) měl největší zastoupení režim suchý tempudický (49 %), pro který platí, že půdní profil je nasycen z více než 2/3 retenční kapacity po většinu roku. Na velké části

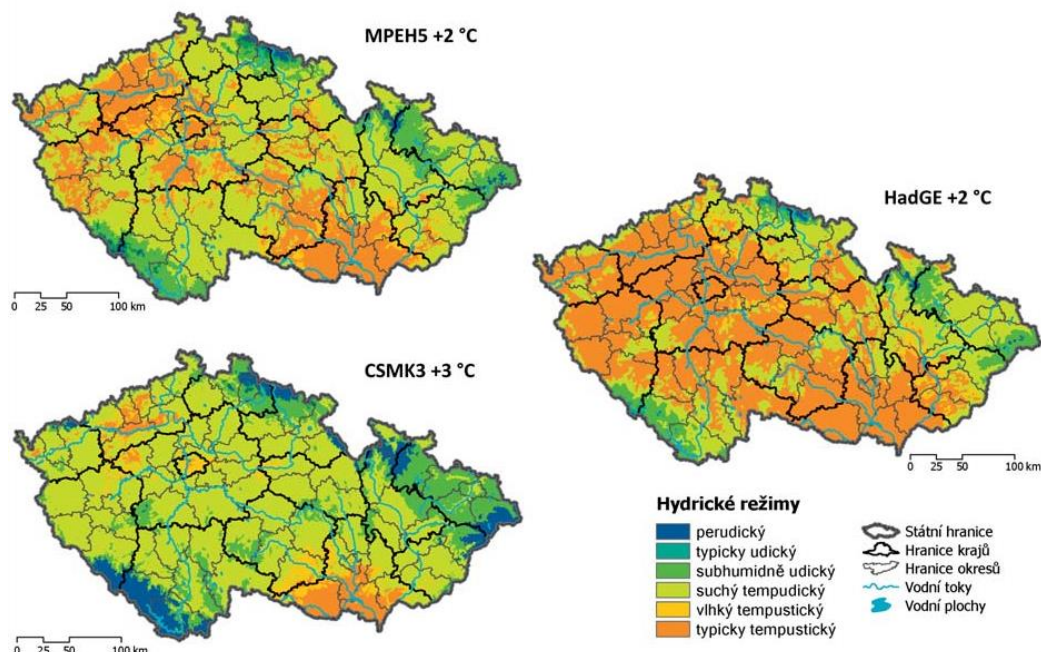
⁴ utužení vrchní vrstvy půdního profilu

území tedy panovaly příznivé půdně-klimatické podmínky, oproti tomu charakteristikám suchého tempustického režimu (okolo 2 %). Tempustický režim se vyznačuje tím, že nasycenost půdního profilu na více než 2/3 jeho kapacity se vyskytuje v méně než 270 dnech, zároveň nejdelší období s nebezpečným nedostatkem vláhy je delší než 45 dní. Na základě modelů HadGE, MPEH5 a CSMK3, lze při oteplení o 2 °C okolo roku 2050 očekávat razantní úbytek tempudického režimu, naopak výrazný nárůst budou vykazovat plochy s charakteristikami tempustického režimu (viz Obr. 15). Oblasti, které již v současnosti jsou vnímány jako suché, se tak budou potýkat s extrémním nedostatkem vláhy v letních měsících a přiblíží se charakteristikám středomořského klimatu (Brázdil, 2015).



Obr. 14 – Rozložení půdních hydrických režimů v referenčním období 1961 - 2000 (Brázdil, 2015)

VÝSKYT HYDRICKÝCH PŮDNÍCH REŽIMŮ V OČEKÁVANÉM KLIMATU



Obr. 15 – Rozložení půdních hydrických režimů okolo roku 2050 na základě 3 GCM (Brázdil, 2015)

4.4.6 Adaptace a mitigace

Pretel a kol. (2011) řadí mezi nejvýznamnější adaptační opatření úpravu osevních postupů a zastoupení plodin tak, aby byla zachována co nejvyšší druhová rozmanitost. Jelikož dostupnost vody bude na našem území představovat klíčový faktor pro zaručení efektivního růstu plodin, lze očekávat rovněž změny ve struktuře pěstovaných plodin. Například jižní Moravě je již nyní kvůli suchu jarní ječmen zařazen mezi rizikové plodiny, adaptačním opatřením zde může být např. zařazení suchovzdorných plodin jako čirok, či proso, do osevních plánů. Díky podzimní tvorbě kořenového systému a vyšší schopnosti využít vláhu ze zimních měsíců jsou z hlediska rezistence vůči suchu ve výhodě ozimé obiloviny, např. žito ozimé (Trnka, 2015). Při porovnání nabídky a poptávky to ovšem představuje značný problém, neboť prvovýroba zatím nemůže kvůli fixované poptávce po tradičních plodinách a kvůli potřebám živočišné výroby zcela přizpůsobit svoji produkci novým podmínkám.

Adaptabilitu samotných rostlin lze podpořit jejich genetickou modifikací. V současné době výzkumy operují s více než 450 geny které mají vliv na toleranci vůči stresům. Genetickou modifikací lze dosáhnout efektivnějšího hospodaření s vodou, a to jednak podporou rozrůstání kořenového systému, nebo také zrychlením nárůstu biomasy na

počátku vegetace, čímž se zvýší pokryv půdy zelenou hmotou a sníží se tak výpar vláh (Bláha, 2011). V rámci EU platí pro využití GMO velmi přísná pravidla (např. je nutné jejich produkci oddělit od ostatních ploch), navíc uvedení GMO produktů na trh představuje značnou administrativní zátěž, tudíž v současné době vykazují na území ČR výměry GMO osevních ploch klesající trend (Ministerstvo zemědělství, 2018). Jejich využití by přitom mohlo rostlinářům značně pomoci, a to jednak kvůli vyššímu výnosovému potenciálu těchto plodin, jednak kvůli vyšší odolnosti vůči chorobám a škůdcům (přestože pořízení GM osiva je nákladnější, snížení spotřeby pesticidů až o 37 % představuje mnohonásobně větší úsporu a navíc dochází k nižší zátěži životního prostředí) (Pazdera, 2015).

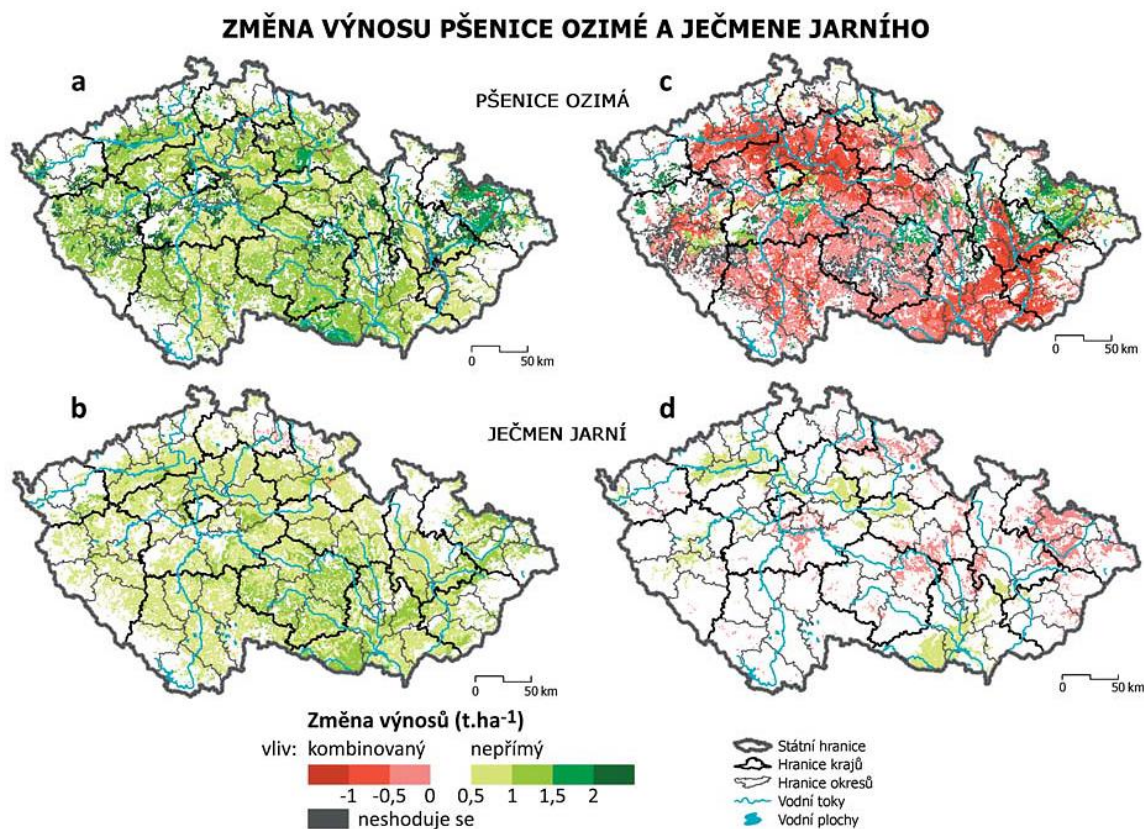
V rámci zemědělské krajiny může v rámci adaptability pomoci dostatečná ochrana biodiverzity, která zahrnuje plemena, rostliny, mikroorganismy a ekosystémy s vazbou na zemědělskou činnost. Čím vyšší je různorodost a druhové bohatství ekosystémů, tím lépe jsou schopny se přizpůsobit novým klimatickým podmínkám. Jako prevenci proti prohlubování dopadů zemědělského sucha je nutné zejména zvýšit retenční schopnosti zemědělské krajiny. V tomto ohledu mají velmi negativní vliv odvodňovací zařízení, bude tedy nutné při nejmenším regulovat jejich průtoky a zavést určitá kompenzační opatření, jako je např. revitalizace malých vodních toků a mokřadů, nebo zvýšení počtu malých vodních nádrží. Dalším významným opatřením proti suchu je rozšíření závlahových systémů. Podle Bláhy (2011) pochází více než 40 % celosvětové produkce potravin ze zavlažovaných pozemků. V jižních oblastech jsou potom vláhové deficity natolik zásadní, že pro účely zavlažování se využívá více než 70 % vodních zdrojů. Na území ČR se nachází v nejúrodnějších a zároveň nejsušších oblastech přes 150 tis. ha závlah, nicméně jsou využívány jen z cca 30 %. Důvodem jsou úsporná opatření ve výrobních nákladech pěstitelů, kteří závlahy využívají pouze v kritických růstových fázích plodin nebo v obdobích extrémních přísušků (Výzkumný ústav zemědělské ekonomiky, 2007). Důležité je rovněž zmínit, že závlahové systémy nejsou zdaleka dostupné ve všech oblastech a navíc v případě jejich plošného využití by došlo k dramatickému poklesu zásob zdrojů vody (Trnka, 2015).

Z pohledu ekonomiky lze mezi důležitá adaptační opatření zařadit zemědělské pojištění, jelikož pomáhá řešit negativní důsledky a stabilizovat zemědělské podnikání. V tomto ohledu rovněž do určité míry pomáhá zemědělcům kompenzovat ztráty vzniklé extrémními meteorologickými jevy stát prostřednictvím Podpůrného garančního rolnického a lesnického fondu (PGRLF), a to až do výše 50 % uhrazených nákladů na pojištění speciálních plodin (Trnka, 2015). Dále je pro zemědělský sektor velmi důležitá diverzifikace

činnosti, jelikož pokud má podnik vedle produkce tržních plodin ještě vedlejší zdroje příjmů (např. agroturistika, doprava, zajištění stravování atd.), případný propad v tržbách způsobený poklesem výnosů může být alespoň do určité míry kompenzován těmito činnostmi (Ministerstvo životního prostředí, 2019).

4.4.7 Scénáře dopadů na výnosy v budoucnu

V důsledku měnícího se klimatu je ovlivňován velmi široký komplex mechanismů a procesů, které určují úroveň výnosů. Na území většiny České republiky lze podle Brázdila (2015) očekávat okolo roku 2050 zvýšení výnosů obilovin u pšenice až o 2 t/ha, u ječmene do 1,5 t/ha (viz Obr. 16 – a, b). Tento odhad ovšem platí pouze za předpokladu, že by zvýšené koncentrace CO₂ pozitivně ovlivnily růst plodin. V případě absence tohoto jevu jsou výhledy o mnoho pesimističtější, významný pokles výnosů pocítí zejména pšenice ozimá (ve většině oblastí o více než 1 t/ha) (viz Obr. 16 – c, d).

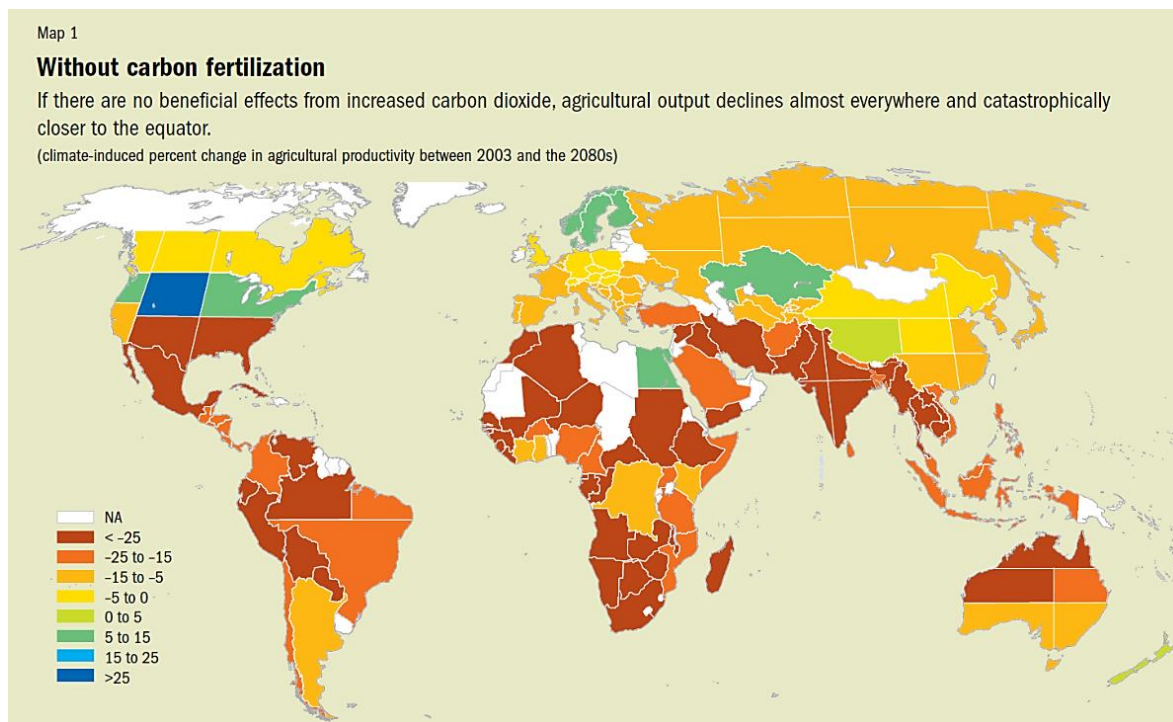


Obr. 16 – Odhad změny průměrných výnosů pšenice ozimé a ječmene jarního okolo roku 2050 na základě emisního scénáře A2 (Brázdil, 2015)

Ministerstvo životního prostředí v tomto ohledu uvádí, že na základě výstupů projektu PESETA II by přesto při lokálním oteplení do 2 °C mohlo české zemědělství z klimatických změn částečně benefitovat, v případě obilovin autoři odhadují nárůst tržeb z produkce okolo

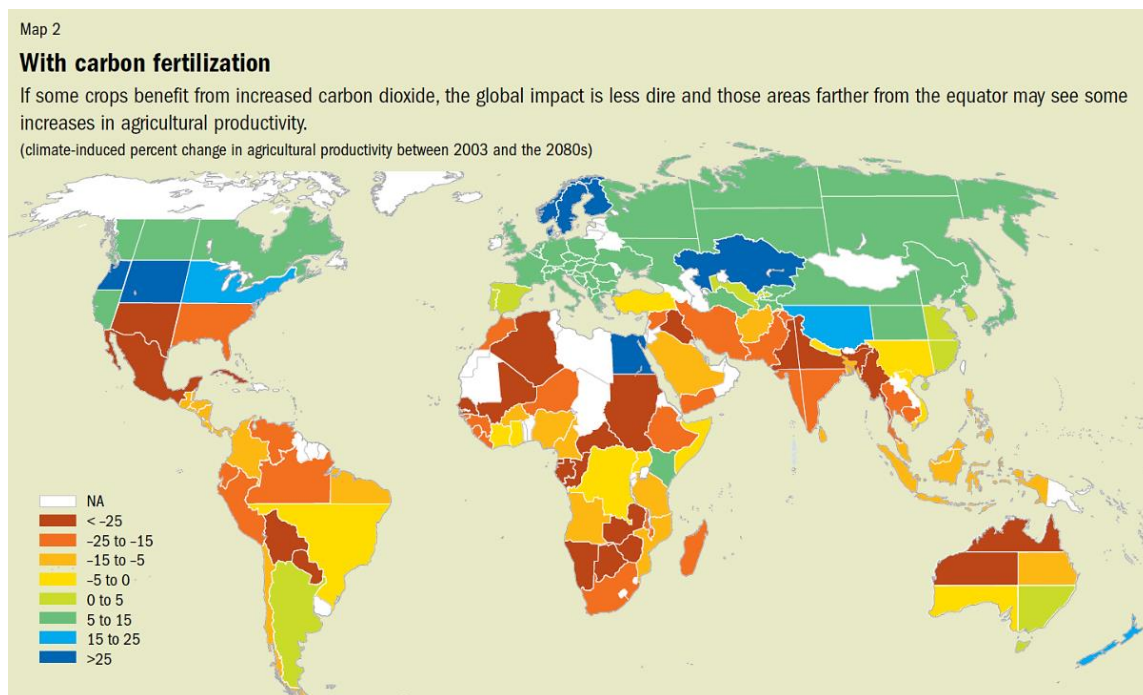
3,7 mld. Kč ročně. Pokud však oteplování dosáhne větších rozměrů, roční ztráty mohou v negativních scénářích dosáhnout hodnoty až 8,5 mld. Kč (Ministerstvo životního prostředí, 2019). Charakteristickým znakem pro vývoj výnosů bude dále silná regionální rozmanitost, kdy na jedné straně budou zvýhodněny chladnější a výše položené oblasti, na druhé straně v suchých a teplých oblastech bude docházet k výraznějším propadům ve výnosech. Ministerstvo životního prostředí (2019) dále uvádí, že *„lze očekávat nárůst meziroční variability výnosů zemědělských plodin díky zvýšené frekvenci a intenzitě nepříznivých situací pro rostlinou produkci jako jsou významné epizody sucha, výskyt stresu vysokými teplotami v citlivých vývojových fázích, poškození nízkými teplotami apod. Toto se v konečném důsledku může projevit až fatálními následky v případě některých sezón a regionů.“*

V globálním měřítku využívá Cline (2007) ve své rozsáhlé studii k predikci budoucího vývoje dvou souborů existujících modelů – jeden z oblasti klimatologie (6 hlavních GCM), který je následně konfrontován s agroekonomickými modely vývoje výnosů zemědělských plodin. Průnik klimatologických modelů v této studii předpokládá, že pokud dojde ke zdvojnásobení emisí skleníkových plynů ve srovnání s referenčním obdobím okolo roku 2003 (z původních 380 ppm na 735 ppm), průměrná globální teplota se okolo roku 2080 zvýší o 3,3 °C. Výstupem studie jsou 2 modely celosvětového vývoje výnosů hlavních zemědělských plodin. První z nich je založen na předpokladu, že zvýšená koncentrace CO₂ nebude mít žádné pozitivní účinky na úrodu. Situace okolo roku 2080 se zde jeví poměrně katastroficky (viz Obr. 17) – v drtivé většině afrických zemí, blízkého východu a jižní Ameriky podle tohoto scénáře dojde k poklesu výnosů o minimálně 25 %. Na území Evropy jsou potom zřetelné tři oblasti: jižní země jako Španělsko, Itálie, Řecko pocítí ztráty v rozmezí 5 – 15 %, střední Evropa (vč. České republiky a sousedních států) v průměru o 5 %, skandinávské země budou naopak z vývoje klimatických podmínek benefitovat (nárůst výnosů o 5 – 15 %).



Obr. 17 – Scénář vývoje výnosů okolo roku 2080 při absenci pozitivních účinků vyšší koncentrace CO₂
(Cline, 2007)

Ve druhém scénáři jsou zohledněny potenciální pozitivní přínosy zvýšených koncentrací CO₂, která u plodin typu C₃ může stimulovat proces fotosyntézy a přispět tak k růstu výnosů. Cline (2007) však zdůrazňuje, že věda v současné fázi zatím není schopna se stoprocentní jistotou deklarovat, zda je skutečně možné v budoucnu očekávat kladnou odezvu rostlin na rostoucí emise skleníkových plynů. Pokud by tomu tak skutečně bylo, druhý scénář vychází překvapivě velmi pozitivně pro prakticky celou severní polokouli. Téměř celá Evropa (vč. České republiky), Rusko a Kanada budou dosahovat výnosů vyšších o 5 – 15 %, skandinávské země dokonce až o více než 25 %. Bohužel to samé nelze konstatovat o jižní polokouli, kde dojde jen k nepatrnému zmírnění očekávaných propadů (Cline, 2007)



Obr. 18 – Scénář vývoje výnosů okolo roku 2080 za předpokladu pozitivních účinků vyšší koncentrace CO₂ (Cline, 2007)

V celosvětovém měřítku pocítí zhoršené podmínky pro rostlinnou produkci nejvíce rozvojové země v Africe a v jižní Asii (viz Obr. 18). Tyto oblasti se momentálně potýkají s prudkým nárůstem populace, přičemž zemědělství zde ve srovnání s vyspělými státy zaujímá podstatně větší procentuální podíl na národním hospodářství (pro srovnání v Německu 0,9 %, v Zimbabwe 28 %). Očekávaný pokles výnosů tedy v důsledku může mít pro obyvatele devastační účinky. Jelikož stabilita zemědělského sektoru je jednou z klíčových aktivit civilizace, která podmiňuje jeho existenci, rizika dopadů klimatických změn v odvětví jsou velmi závažná. Moderní definice termínu **potravinová bezpečnost** zdůrazňuje fyzickou a ekonomickou přístupnost k potravinám. Podle Trnky (2015) je důležité „*dosažení maximální možné míry potravinové bezpečnosti ve všech částech světa a následně udržení její stability (z hlediska kvantity, kvality, cenové stability), neboť i krátký výpadek může mít na části populaci nebo celé populace fatální důsledky.*“ Současný potravinový systém zabezpečuje obživu pro většinu světové populace, i tak stále přes 800 milionů lidí trpí podvýživou. Přestože od roku 1961 díky zdokonalení agrotechniky a hnojení došlo ke zvýšení objemu potravin na osobu o více než 30 %, ve spojitosti s probíhající populační explozí se očekává více než 50 % zvýšení celosvětové poptávky po potravinách okolo roku 2050 (IPCC, 2019). Vzhledem k růstu životní úrovně a příjmů domácností potom Cline (2017) odhaduje dokonce trojnásobnou poptávku po potravinách oproti dnešku okolo

roku 2080. Dosažení takovéto produkce bude potom navíc komplikováno rostoucími nároky na pěstování energetických plodin.

S ohledem na udržitelnost potravinové bezpečnosti se jeví jako nezbytné přijmout zásadní opatření, kterými se může zemědělský sektor alespoň částečně přizpůsobit probíhajícím změnám. Na socioekonomické úrovni je podle Agovina (2019) nesmírně důležitá zejména dostatečná informovanost politických představitelů o problematice, jelikož jejich dostatečná kompetentnost může značně zjednodušit a urychlit implementaci inovativních a ekologicky šetrných postupů. Na environmentální úrovni je potom potřebná reforma opatření vedoucích k intenzifikaci a maximalizaci produkce, k čemuž jsou nutné investice do výzkumu udržitelné produktivity. Z ekonomického hlediska by se potom dotační podpora zemědělců měla zaměřit zejména na výsledky udržitelnosti, přemíra restrikcí a omezení (např. limity na aplikace dusíku) totiž kvůli jejich nákladnosti a praktické složitosti může omezovat adaptabilitu prvovýroby a demotivovat farmáře v ohledu přijímání inovativních řešení. Závěrem je důležité podotknout, že naplňování cílů udržitelného zemědělství vyžaduje odpovědná opatření osob na všech úrovních agroekonomického systému (dělníků, farmářů, politiků, vědců, ale i prodejců a spotřebitelů) jelikož každá z nich má svoji nezastupitelnou roli v celku. Současné potřeby lidstva je potřebné uspokojovat tak, aniž by došlo k ohrožení potřeb příštích generací (Agovino, 2019).

5 Vlastní práce

Obsahem této části je aplikace statistických metod k posouzení trendu vývoje výnosů pšenice ozimé, ječmene jarního a řepky ozimé od začátku 21. století, a to na celostátní i regionální úrovni. Obdobně je provedena analýza vývoje klimatologických faktorů ve shodném časovém období. Souhrnné údaje v rámci republiky a jednotlivých regionů jsou čerpány z veřejně dostupných dat ČSÚ a ČHMÚ. Vedle toho bylo provedeno dotazníkové šetření u cca 250 prvovýrobců (zemědělské podniky i SHR).

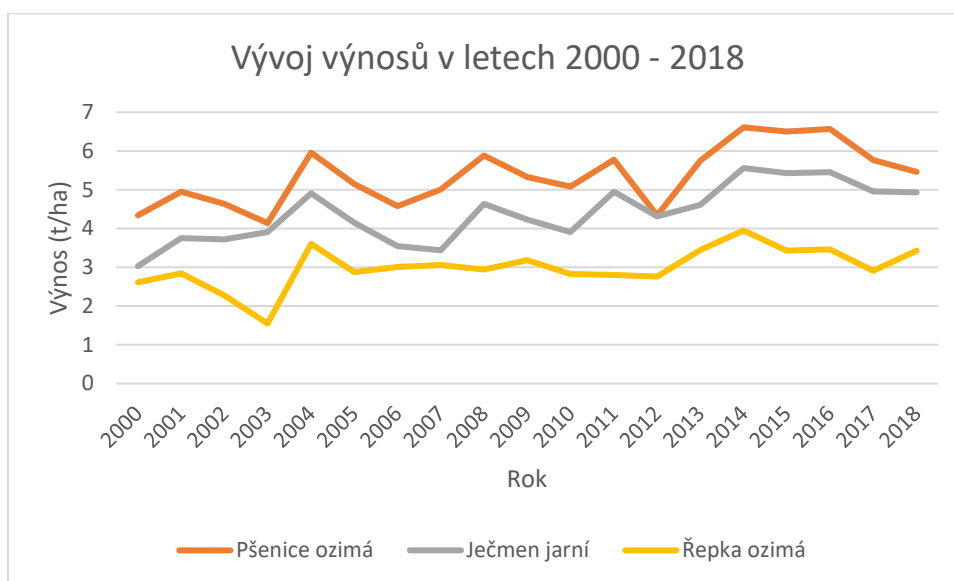
Hlavní částí dotazníku byla tabulka, ve které se autor snažil od respondentů získat údaje o kvantitativních a kvalitativních charakteristikách úrody pro jednotlivé roky (2000 – 2018) v dané lokalitě a následně výběrový vzorek analyzovat jako celek. Výstupy dotazníkového šetření bohužel nenaplnily původně zamýšlený rozsah, jelikož ve většině oslovených podniků nejsou evidována data o výnosech a už vůbec ne o kvalitě produkce v rozsahu 20 a více let. Pro získání použitelných dat bylo spektrum údajů zúženo pouze na výnosy, tímto způsobem se podařilo v každém regionu získat alespoň jeden reprezentativní podnik, jehož data byla podrobena statistické analýze. Údaje o ročních srážkových úhrnech a průměrných teplotách byly opět čerpány z veřejně dostupných dat ČHMÚ (regionální průměry), pouze v případě podniku ze Středočeského kraje se podařilo v požadovaném rozsahu získat data přímo pro danou lokalitu.

Druhá část dotazníku obsahovala 6 otázek ohledně subjektivního hodnocení problematiky z pohledu respondentů. Zde je již rozsah získaných dat znatelně širší, tudíž výstupy této části jsou analyzovány v rámci celku. U respondentů byla zachována jejich anonymita. Veškerá data byla zpracována a analyzována pomocí programu MS EXCEL.

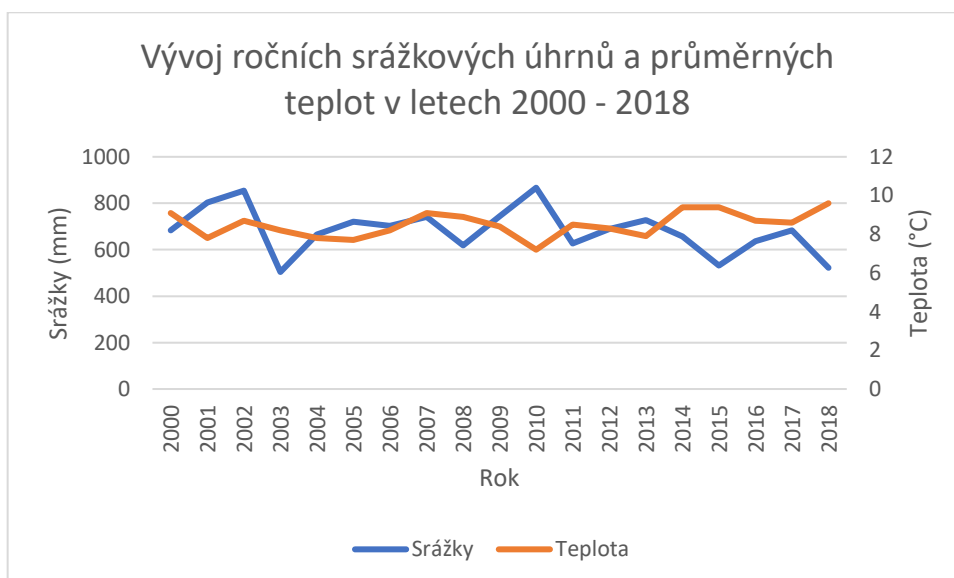
5.1 Celorepublikové vyhodnocení

Z hlediska výnosů je na našem území v delším časovém horizontu poměrně náročné hodnotit, do jaké míry byly ovlivňovány klimatickými faktory. Pro komparaci a výpočet odchylek od průměru se totiž standartně používá jako referenční období 1961 – 1990, ve kterém byl zemědělský sektor v odlišné technologické i politické situaci, než je tomu nyní (např. při transformaci v 90. letech 20. století došlo k razantnímu snížení dávek průmyslových hnojiv). K vyjádření současného trendu vývoje sledovaných ukazatelů tedy byla sesbírána data za roky 2000 – 2018. Za závisle proměnné $y_1, 2, \dots, 5$ byly dosazeny výnosy jednotlivých plodin, roční srážkové úhrny a průměrné roční teploty. Jelikož se jedná o časové

řady, nezávisle proměnná x je nahrazena proměnnou t , jejíž hodnoty reprezentují jednotlivé roky.



Graf 1 – Chronologický vývoj výnosů v letech 2000 - 2019 (ČSÚ, vlastní zpracování)



Graf 2 – Chronologický vývoj srážkových úhrnů a průměrných teplot v letech 2000 – 2018 (ČHMÚ, vlastní zpracování)

Na grafu (Graf 1) je zřetelné, že na celostátní úrovni lze pozorovat u všech tří sledovaných plodin progresivní chování křivek, jedná se teda o trend s rostoucí charakteristikou. Pro postihu trendové funkce se tedy nabízí jako nejvhodnější předpis funkce lineární (3.9), ovšem na konci časových řad od roku 2014 lze pozorovat stagnaci/nepatrný pokles. Pro určení trendové funkce by tedy rovněž bylo možné aplikovat funkci logaritmickou (3.16). Pro výběr vhodnějšího předpisu byla provedena regresní a korelační analýza, jejíž výstupem byly následující hodnoty (viz Tabulka 1):

Regresní a korelační analýza vývoje výnosů v letech 2000 – 2018			
Lineární trend			
	Pšenice ozimá (y ₁)	Ječmen jarní (y ₂)	Řepka ozimá (y ₃)
R²	0,4145	0,5983	0,3170
r	0,6438	0,7735	0,5630
Logaritmický trend			
	Pšenice ozimá (y ₁)	Ječmen jarní (y ₂)	Řepka ozimá (y ₃)
I²	0,3825	0,5563	0,2808
r	0,6185	0,7458	0,5300

Tabulka 1 – Regresní a korelační analýza vývoje výnosů v letech 2000 – 2018 (vlastní zpracování)

Koeficient determinace, který určuje podíl modelem vysvětlené variability celého souboru, byl ve všech případech vyšší u lineární funkce, proto je pro další výpočty využit tento model.

V případě ročních úhrnů srážek a průměrných teplot lze podle grafu (viz Graf 2) opět na prvním místě předpokládat lineární chování souboru (u srážek trend klesající, u teplot rostoucí). Pro porovnání byla u srážek vybrána ještě funkce mocninná (3.14), u teplot funkce exponenciální (3.15).

Regresní a korelační analýza vývoje srážek a teplot v letech 2000 – 2019					
	Linerární	Lineární		Mocninná	Exponenciální
	Srážky (y ₄)	Teploty (y ₅)		Srážky (y ₄)	Teploty (y ₅)
R²	0,1420	0,1345	I²	0,0848	0,1363
r	0,3769	0,3667	r	0,2912	0,3692

Tabulka 2 – Regresní a korelační analýza vývoje srážek a teplot v letech 2000 – 2019 (vlastní zpracování)

Pro časovou řadu srážek se po provedení regresní analýzy jeví opět jako nejvhodnější model lineární, v případě průměrných ročních teplot však nepatrně vyšší hodnoty indexu determinace dosáhla funkce exponenciální. Jednotlivé předpisy funkcí jsou společně zachyceny v následující tabulce:

Trendové funkce a jejich popisné charakteristiky				
	Trendová funkce	Koeficient determinace	Koeficient korelace	Směrodatná odchylka
Pšenice ozimá (y₁)	$y_1 = 4,483 + 0,088t$	0,4144	0,644	0,7664
Ječmen jarní (y₂)	$y_2 = 3,38 + 0,101t$	0,5983	0,7735	0,736
Řepka ozimá (y₃)	$y_3 = 2,468 + 0,053t$	0,317	0,563	0,53
Srážky (y₄)	$y_4 = 750,08 - 6,693t$	0,142	0,3769	99,9285
Teplota (y₅)	$y_5 = 8,069 * e^{0,0049t}$	0,1363	0,3692	0,654

Tabulka 3 – Trendové funkce a jejich popisné charakteristiky (vlastní zpracování)

K porovnání závislosti výnosů (y_1, y_2, y_3) na klimatických faktorech (y_4, y_5) byly pomocí určení koeficientu korelace náhodných složek (3.21) vypočteny hodnoty korelací jednotlivých regresních přímek. Jelikož cílem tohoto výpočtu je prozkoumat, jak těsná je závislost mezi porovnávanými veličinami, vystupují zde klimatické faktory jako vysvětlující proměnné a výnosy jako proměnné vysvětlované.

Korelace časových řad výnosů a klimatických faktorů				
	Srážky (x_1)		Teplota (x_2)	
	r_{xy}	r_{xy} (%)	r_{xy}	r_{xy} (%)
Pšenice ozimá (y_1)	-0,0517	5,17 %	0,0686	6,86 %
Ječmen jarní (y_2)	-0,3480	34,8 %	0,0203	2,03 %
Řepka ozimá (y_3)	0,1901	19,01 %	0,0483	4,83 %

Tabulka 4 – Korelace časových řad výnosů a klimatických faktorů (vlastní zpracování)

Nejtěsnější závislost panuje mezi veličinami výnosů ječmene jarního a srážkovými úhrny. Záporná hodnota zde však poukazuje na nepřímou úměrnost, tzn. čím méně je srážek, tím vyšší je výnos. V případě řepky ozimé je sice těsnost nižší, nicméně poukazuje na negativní vliv nižších srážkových úhrnů na výnosy. Koeficienty korelací ostatních párů veličin jsou velmi blízké 0, poukazují tedy na zdánlivou regresi a nelze tak v jejich případě hovořit o kauzálním vztahu.

5.2 Vyhodnocení v rámci jednotlivých regionů

Jelikož ve většině modelovaných funkcí v rámci celorepublikového vyhodnocení byly nevhodnějšími předpisy lineární, byl tento typ funkce vybrán k postizení trendů i u jednotlivých podniků na regionální úrovni. Analogickým způsobem byly nejprve vypočteny koeficienty a, b a následně pomocí MNČ byly dopočítány koeficienty korelace, determinace a směrodatné odchylky. Vzhledem k velkému objemu dat je regionální vyhodnocení shrnuto v následující tabulce.

Koeficienty lineárních trendových funkcí a jejich popisné charakteristiky								
Kraj	Proměnná	Trendová funkce		Koeficient determinace		Koeficient korelace		Sm. odchylka
		b	a	R ²	R ² (%)	r	r (%)	
Pardubický (okr. Lanškroun)	Pšenice ozimá (y ₁)	0,1	3,801	0,6769	67,69%	0,8227	82,27%	0,6860
	Ječmen jarní (y ₂)	0,085	3,744	0,6281	62,81%	0,7925	79,25%	0,6029
	Řepka ozimá (y ₃)	0,027	2,593	0,1642	16,42%	0,4052	40,52%	0,3676
	Srážky (y ₄)	-9,244	771,702	0,2369	23,69%	0,4867	48,67%	106,8836
	Teplota (y ₅)	0,049	8,047	0,1667	16,67%	0,4083	40,83%	0,6818
Liberecký (okr. Turnov)	Pšenice ozimá (y ₁)	0,118	5,02	0,5361	53,61%	0,7322	73,22%	0,9034
	Ječmen jarní (y ₂)	0,103	2,995	0,8158	81,58%	0,9032	90,32%	0,6387
	Řepka ozimá (y ₃)	0,053	2,774	0,2259	22,59%	0,4753	47,53%	0,6294
	Srážky (y ₄)	-9,458	949,842	0,1301	13,01%	0,3607	36,07%	147,5601
	Teplota (y ₅)	0,027	7,695	0,0588	5,88%	0,2425	24,25%	0,6229
Vysočina (okr. Třebíč)	Pšenice ozimá (y ₁)	0,036	5,028	0,0459	4,59%	0,2143	21,43%	0,9480
	Ječmen jarní (y ₂)	0,107	3,209	0,3465	34,65%	0,5886	58,86%	1,0194
	Řepka ozimá (y ₃)	0,061	2,726	0,1987	19,87%	0,4457	44,57%	0,7638
	Srážky (y ₄)	-8,258	751,895	0,2146	21,46%	0,4632	46,32%	100,3129
	Teplota (y ₅)	0,051	7,621	0,1805	18,05%	0,4249	42,49%	0,6690
Středočeský (okr. Mělník)	Pšenice ozimá (y ₁)	0,13	6,26	0,5052	50,52%	0,7108	71,08%	1,0323
	Ječmen jarní (y ₂)	0,117	4,464	0,4970	49,70%	0,7050	70,50%	0,9353
	Řepka ozimá (y ₃)	0,032	3,32	0,1084	10,84%	0,3293	32,93%	0,5397
	Srážky (y ₄)	-2,78	650,807	0,0175	1,75%	0,1324	13,24%	118,1423
	Teplota (y ₅)	0,043	8,811	0,1396	13,96%	0,3736	37,36%	0,6501
Královhradecký (okr. Broumov)	Pšenice ozimá (y ₁)	0,087	3,502	0,5220	52,20%	0,7225	72,25%	0,6750
	Ječmen jarní (y ₂)	0,081	2,246	0,4112	41,12%	0,6412	64,12%	0,7128
	Řepka ozimá (y ₃)	0,0005	2,289	0,0000	0,00%	0,0046	0,46%	0,6214
	Srážky (y ₄)	-11,07	830,018	0,2876	28,76%	0,5363	53,63%	116,1671
	Teplota (y ₅)	0,044	7,989	0,1340	13,40%	0,3660	36,60%	0,6715
Jihomoravský (okr. Vyškov)	Pšenice ozimá (y ₁)	0,09	3,797	0,3604	36,04%	0,6003	60,03%	0,8459
	Ječmen jarní (y ₂)	0,094	3,107	0,5857	58,57%	0,7653	76,53%	0,6909
	Řepka ozimá (y ₃)	0,065	2,14	0,3699	36,99%	0,6082	60,82%	0,6054

	Srážky (y ₄)	-4,03	592,982	0,0588	5,88%	0,2424	24,24%	93,5474
	Teplota (y ₅)	0,049	9,082	0,1646	16,46%	0,4057	40,57%	0,6814
Zlínský (okr. Kroměříž)	Pšenice ozimá (y ₁)	0,137	3,861	0,5293	52,93%	0,7276	72,76%	1,0633
	Ječmen jarní (y ₂)	0,123	3,294	0,6906	69,06%	0,8310	83,10%	0,8294
	Řepka ozimá (y ₃)	0,077	2,09	0,5366	53,66%	0,7325	73,25%	0,5950
	Srážky (y ₄)	-5,763	800,632	0,0936	9,36%	0,3060	30,60%	105,9817
	Teplota (y ₅)	0,046	8,305	0,1462	14,62%	0,3824	38,24%	0,6815
Moravskoslezský (okr. Karviná)	Pšenice ozimá (y ₁)	0,126	3,925	0,5355	53,55%	0,7318	73,18%	0,9697
	Ječmen jarní (y ₂)	0,112	3,2	0,6258	62,58%	0,7911	79,11%	0,7994
	Řepka ozimá (y ₃)	0,071	2,28	0,4626	46,26%	0,6801	68,01%	0,5867
	Srážky (y ₄)	-4,942	851,895	0,0436	4,36%	0,2087	20,87%	133,2255
	Teplota (y ₅)	0,04	7,882	0,1174	11,74%	0,3426	34,26%	0,6511
Olomoucký (okr. Prostějov)	Pšenice ozimá (y ₁)	0,127	4,56	0,5179	51,79%	0,7196	71,96%	0,9936
	Ječmen jarní (y ₂)	0,09	4,187	0,5018	50,18%	0,7084	70,84%	0,7179
	Řepka ozimá (y ₃)	0,073	2,433	0,4284	42,84%	0,6545	65,45%	0,6306
	Srážky (y ₄)	-5,886	757,544	0,1095	10,95%	0,3309	33,09%	100,0861
	Teplota (y ₅)	0,049	7,898	0,1768	17,68%	0,4205	42,05%	0,6573
Ústecký (okr. Litoměřice)	Pšenice ozimá (y ₁)	0,069	4,356	0,5722	57,22%	0,7565	75,65%	0,5102
	Ječmen jarní (y ₂)	0,058	4,061	0,4053	40,53%	0,6366	63,66%	0,5130
	Řepka ozimá (y ₃)	0,016	2,57	0,0322	3,22%	0,1795	17,95%	0,5056
	Srážky (y ₄)	-2,611	673,579	0,0164	1,64%	0,1281	12,81%	114,7124
	Teplota (y ₅)	0,035	8,339	0,0933	9,33%	0,3055	30,55%	0,6463
Karlovarský (okr. Cheb)	Pšenice ozimá (y ₁)	0,102	4	0,6269	62,69%	0,7917	79,17%	0,7237
	Ječmen jarní (y ₂)	0,06	3,56	0,3864	38,64%	0,6216	62,16%	0,5416
	Řepka ozimá (y ₃)	0,064	2,129	0,3535	35,35%	0,5946	59,46%	0,6080
	Srážky (y ₄)	-7,477	825,509	0,1445	14,45%	0,3801	38,01%	110,7047
	Teplota (y ₅)	0,031	7,04	0,0752	7,52%	0,2743	27,43%	0,6406
Plzeňský (okr. Plzeň-jih)	Pšenice ozimá (y ₁)	0,141	3,674	0,6278	62,78%	0,7923	79,23%	1,0044
	Ječmen jarní (y ₂)	0,103	3,074	0,6897	68,97%	0,8305	83,05%	0,6967
	Řepka ozimá (y ₃)	0,081	2,138	0,6157	61,57%	0,7847	78,47%	0,5809
	Srážky (y ₄)	-6,091	722,439	0,0616	6,16%	0,2481	24,81%	138,1386

	Teplota (y ₅)	0,061	7,986	0,2698	26,98%	0,5194	51,94%	0,6595
Jihočeský (okr. Tábor)	Pšenice ozimá (y ₁)	0,1	4,408	0,2569	25,69%	0,5068	50,68%	1,1099
	Ječmen jarní (y ₂)	0,177	2,649	0,4417	44,17%	0,6646	66,46%	1,4932
	Řepka ozimá (y ₃)	0,004	3,215	0,0012	0,12%	0,0352	3,52%	0,6733
	Srážky (y ₄)	-9,588	805,193	0,1953	19,53%	0,4420	44,20%	122,0765
	Teplota (y ₅)	0,046	7,512	0,1619	16,19%	0,4023	40,23%	0,6454

Tabulka 5 – Koeficienty lineárních trendových funkcí a jejich popisné charakteristiky (vlastní zpracování)

Z tabulky (Tabulka 5) je patrné, že ve všech regionech lze v rámci sledovaného období pozorovat rostoucí trend výnosů všech tří plodin. Při pohledu na hodnoty koeficientů determinace však jsou patrné značné rozdíly mezi jednotlivými regiony: zvolený model **nejlépe** vysvětluje variabilitu souboru pšenice ozimé v kraji Pardubickém (67,69 %), ječmene jarního v kraji Libereckém (81,58 %) a řepky ozimé v kraji Plzeňském (61,57 %). Naopak **nejhorších** hodnot dosahují koeficienty determinace v případě pšenice ozimé na Vysočině (4,59 %), stejně tak u ječmene jarního (34,65 %), zcela nejhoršího výsledku potom dosáhla hodnota koeficientu determinace v Královéhradeckém kraji u řepky ozimé (0 %), lineární trend zde tedy absolutně nevystihl variabilitu souboru.

V případě klimatických faktorů srážek a teploty je situace podobná jako na celostátní úrovni – roční úhrny srážek mají obdobně klesající trend, zatímco průměrné roční teploty rostou. Lineární trend ve většině případů vysvětluje maximálně 20 % variability souborů. **Nejllepších** hodnot dosáhly model srážek Královéhradeckého kraje (28,76 %), v případě teplot nejlépe vysvětlil zvolený model podniků variabilitu souboru hodnot v Plzeňském regionu (26,98 %). **Nejhorších** výsledků dosáhl v případě srážkoměrných údajů kraj Ústecký (1,64 %), u teplot region Liberecký (5,88 %). Pokud sečteme koeficienty determinace jednotlivých proměnných v rámci krajů, vychází ke tvorbě predikcí jako nejvhodnější podnik z Plzeňského kraje.

Co se týče korelace mezi výnosy a klimatickými faktory, dosahují u podniků v rámci jednotlivých regionů oproti celorepublikovému průměru daleko lepších hodnot (viz Tabulka 6). S hodnotami ročních úhrnů srážek korelují nejvíce výnosy pšenice ozimé v Pardubickém kraji (32,55 %), u ječmene jarního v kraji Jihočeském (55,9 %) a u řepky ozimé v regionu Karlovarském (62,88 %). V případě obou obilovin má v uvedených krajích koeficient korelace zápornou hodnotu, což poukazuje na nepřímou úměrnost, tzn. čím nižší jsou srážky, tím vyšší jsou výnosy. Rostoucí teploty potom nejvíce korelují s výnosy ozimů podniku

z Jihočeského kraje: pšenice ozimá (41,65 %), řepka ozimá (39,24 %); křivka ječmene jarního má nejtěsnější závislost s rostoucími teplotami v kraji Karlovarském (42,39 %).

Korelace časových řad výnosů a klimatických faktorů								
Kraj	Plodina	Srážky	Teplota		Kraj	Plodina	Srážky	Teplota
Pardubický	Pšenice oz.	-0,3255	0,0803		Liberecký	Pšenice oz.	0,1157	0,0789
	Ječmen jar.	-0,2548	-0,0837			Ječmen jar.	0,2825	-0,1079
	Řepka oz.	0,2271	0,2129			Řepka oz.	0,1071	0,0050
Vysočina	Pšenice oz.	0,0619	-0,2478		Středočeský	Pšenice oz.	-0,0581	0,0409
	Ječmen jar.	-0,4137	0,1653			Ječmen jar.	0,0683	-0,0353
	Řepka oz.	0,2227	-0,1795			Řepka oz.	-0,3594	0,1487
Královhradecký	Pšenice oz.	0,0427	-0,0366		Jihomoravský	Pšenice oz.	0,1155	-0,0157
	Ječmen jar.	-0,4630	0,1736			Ječmen jar.	-0,1446	0,0467
	Řepka oz.	-0,1987	0,2117			Řepka oz.	0,3594	-0,1072
Zlínský	Pšenice oz.	0,0143	-0,1584		Moravskoslezský	Pšenice oz.	-0,0030	-0,1106
	Ječmen jar.	-0,1115	-0,1243			Ječmen jar.	-0,4915	0,1061
	Řepka oz.	0,2519	-0,0245			Řepka oz.	-0,0128	0,0058
Olomoucký	Pšenice oz.	-0,2325	0,0290		Ústecký	Pšenice oz.	0,0108	-0,2093
	Ječmen jar.	-0,4938	0,1384			Ječmen jar.	0,3391	-0,3576
	Řepka oz.	-0,0842	-0,0262			Řepka oz.	0,3483	-0,2531
Karlovarský	Pšenice oz.	0,0530	0,2747		Plzeňský	Pšenice oz.	-0,1241	0,2113
	Ječmen jar.	-0,3495	0,4239			Ječmen jar.	-0,3498	0,2315
	Řepka oz.	0,6268	-0,2060			Řepka oz.	0,0865	0,0058
Jihočeský	Pšenice oz.	-0,2936	0,4165					
	Ječmen jar.	-0,5590	0,3279					
	Řepka oz.	-0,3762	0,3924					

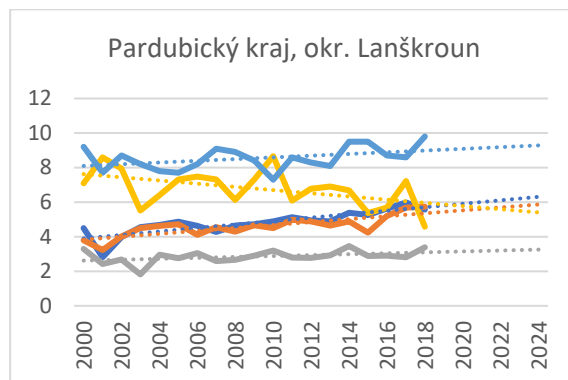
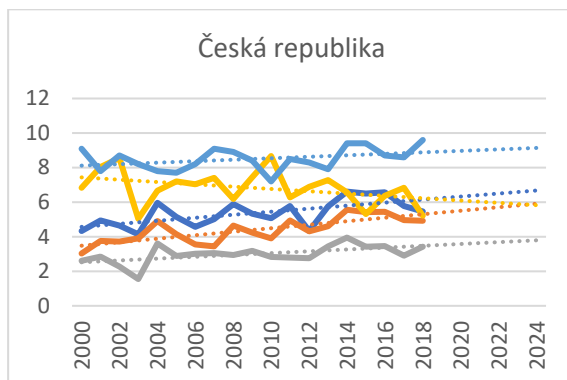
Tabulka 6 – Korelace časových řad výnosů a klimatických faktorů (vlastní zpracování)

5.3 Predikce budoucího vývoje

Vypočtené předpisy trendových funkcí pro jednotlivé proměnné (viz Tabulka 5) byly využity k vytvoření predikce ve střednědobém horizontu. Jelikož se prognóza standartně vytváří maximálně na 1/3 délky původní časové řady, lze na základě vývoje mezi lety 2000 – 2018 ($n = 19$) vytvořit odhad hodnot závisle proměnných pro $t = 25$, tedy pro rok 2024. Na následujících grafech (viz Graf 3 - 16) jsou vizuálně zachyceny časové řady proměnných $y_{1...5}$ proložené odpovídajícími trendovými přímkami. Aby bylo možné veškeré křivky zachytit vždy v jednom grafu pro daný region, jsou zde roční úhrny srážek (y_4) vyjádřeny ve 100 mm/rok.

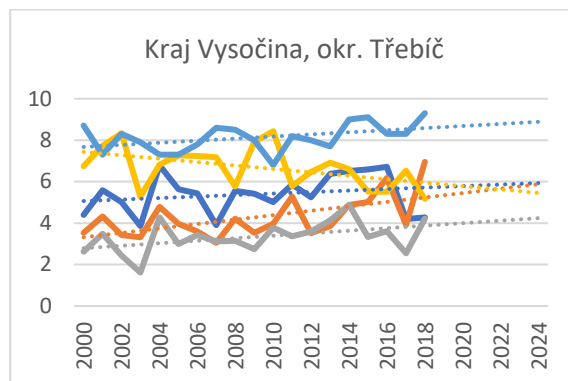
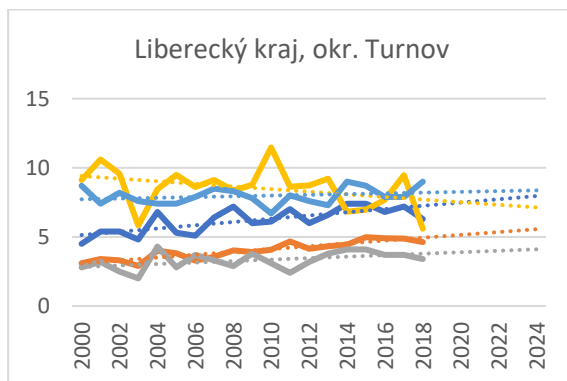
Z grafů 3 – 16 je patrné, že lze ve všech případech k roku 2024 skutečně očekávat zvýšení výnosů všech tří sledovaných plodin ($y_{1,2,3}$) za předpokladu zachování stávajícího trendu. Rostoucí trend vykazují ve všech regionech rovněž hodnoty průměrných ročních teplot y_4 , naopak tendenci klesající mají hodnoty ročních úhrnů srážek y_5 . V rámci Jihomoravského kraje (Graf 9) je zřetelná výrazná korelace klesajících výnosů od r. 2015 s klesajícími srážkovými úhrny. V tomto kraji se srážkové úhrny v rámci sledovaného období dlouhodobě pohybují na výrazně nižší úrovni, než u ostatních regionů, stejně tak průměrné teploty jsou zde na poměrně vysoké úrovni okolo 10 °C. Pokud by se zde časová řada zkrátila na období 2013 – 2018, byl by trend výnosů nepochybně klesající. Podobné chování vykazují křivky výnosů i v ostatních moravských regionech (viz Graf 10 - Graf 12), stejně jako na území celé republiky (Graf 3). Naopak v kraji Pardubickém (Graf 4), Jihočeském (Graf 16) a částečně na Vysočině (Graf 6) se i v posledních letech víceméně udržuje progresivní charakter výnosů, což značí, že k žádnému zlomu zde zatím nedošlo a výnosy tedy velmi pravděpodobně budou i nadále růst.

— Pšenice ozimá (t/ha) — Ječmen jarní (t/ha) — Řepka ozimá (t/ha) — Srážky (100 mm/rok) — Teplota (°C)



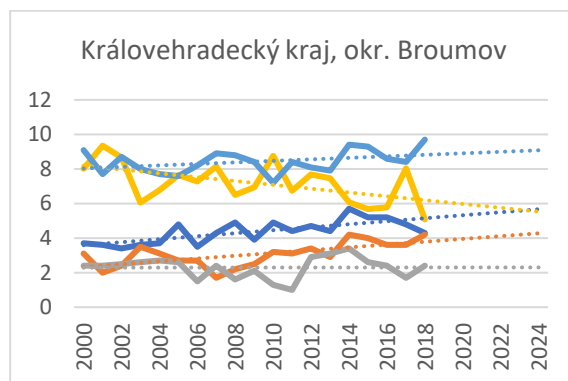
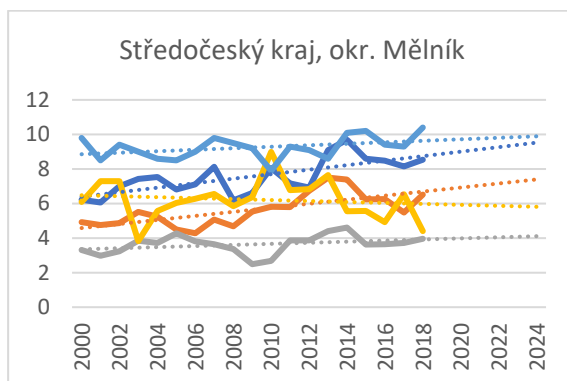
Graf 3 - Prognóza pro celé území ČR (ČHMÚ, vlastní zpracování)

Graf 4 - Prognóza pro podnik v Pardubickém kraji (ČHMÚ, vlastní zpracování)



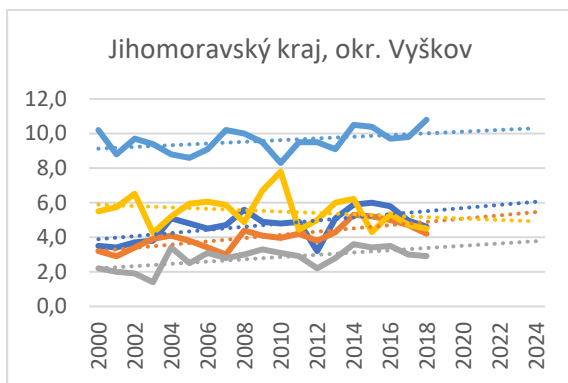
Graf 5 - Prognóza pro podnik v Libereckém kraji (ČHMÚ, vlastní zpracování)

Graf 6 - Prognóza pro podnik na Vysočině (ČHMÚ, vlastní zpracování)

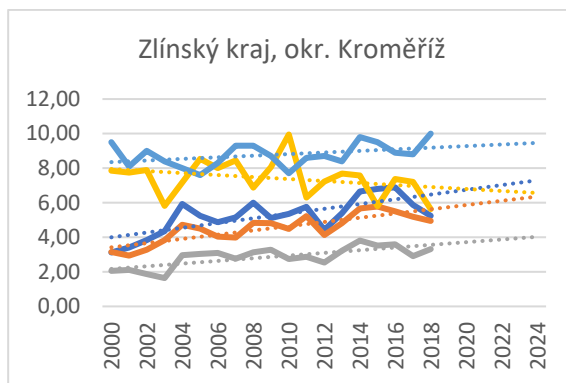


Graf 7 - Prognóza pro podnik ve Středočeském kraji (ČHMÚ, vlastní zpracování)

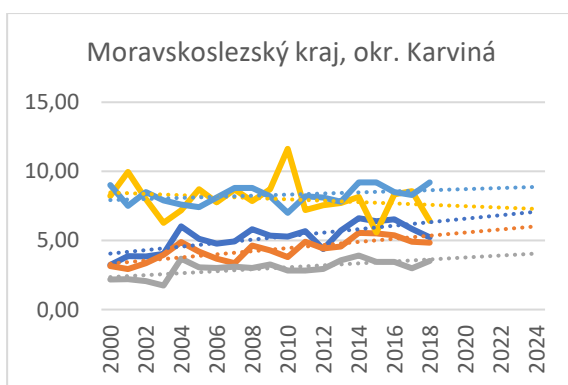
Graf 8 - Prognóza pro podnik v Královéhrad. Kraji (ČHMÚ, vlastní zpracování)



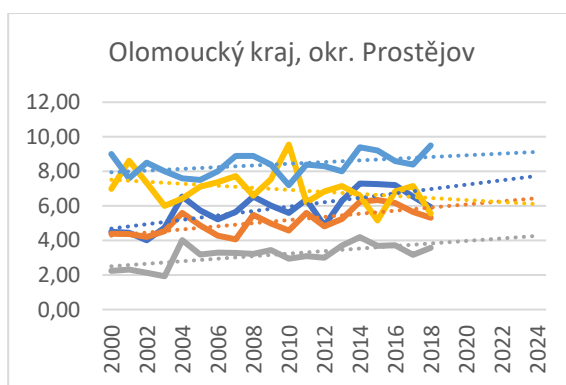
Graf 9 - Prognóza pro podnik v Jihomoravském kraji (ČHMÚ, vlastní zpracování)



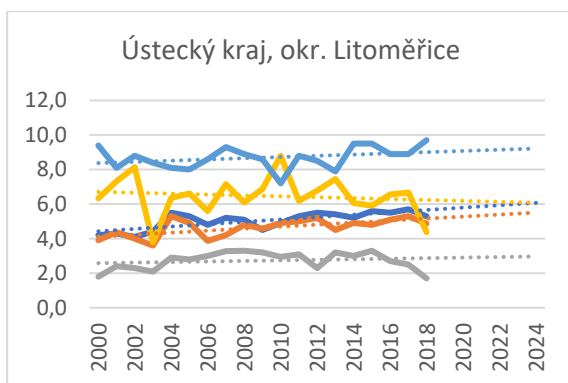
Graf 10 - Prognóza pro podnik ve Zlínském kraji (ČHMÚ, vlastní zpracování)



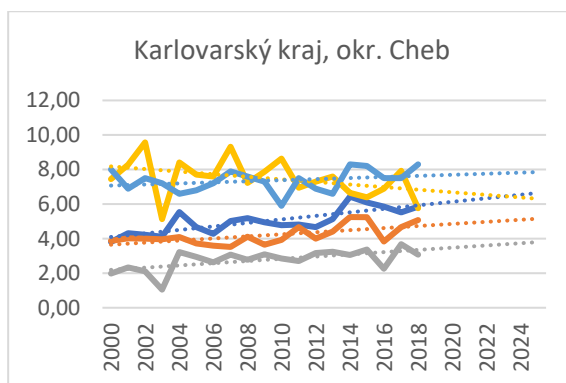
Graf 11 - Prognóza pro podnik v Moravskoslezském kraji (ČHMÚ, vlastní zpracování)



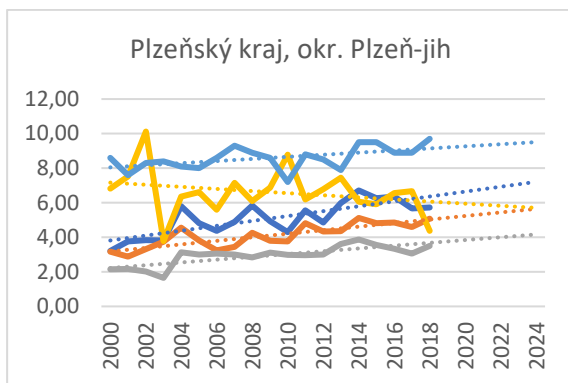
Graf 12 - Prognóza pro podnik v Olomouckém kraji (ČHMÚ, vlastní zpracování)



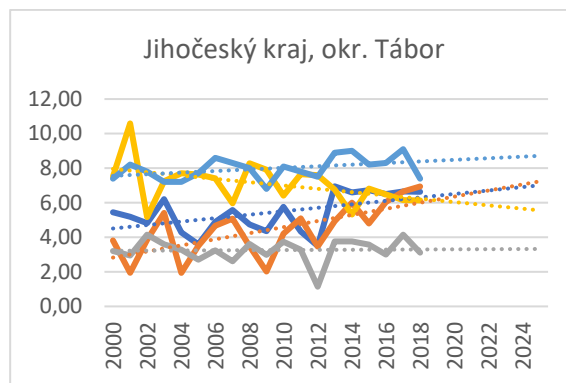
Graf 13 - Prognóza pro podnik v Ústeckém kraji (ČHMÚ, vlastní zpracování)



Graf 14 - Prognóza pro podnik v Karlovarském kraji (ČHMÚ, vlastní zpracování)



Graf 15 - Prognóza pro podnik v Plzeňském kraji
(ČHMÚ, vlastní zpracování)



Graf 16 - Prognóza pro podnik v Jihočeském kraji
(ČHMÚ, vlastní zpracování)

Konkrétní predikované hodnoty sledovaných ukazatelů jsou zachyceny v následující tabulce (viz Tabulka 7). Pomocí prostého dosazení hodnoty $t = 25$ (rok 2024) do příslušných trendových funkcí byly vypočteny bodové odhady proměnných $y_{1...5}$. Pro každou veličinu byla následně pomocí vztahu (3.22) spočítána intervalová prognóza. K aplikaci tohoto výpočtu bylo nutné nejprve aplikovat vztah (3.23) pro výpočet směrodatné chyby a určit pomocí tabulkových hodnot Studentovo t-rozdělení na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ o $n-2$, tedy 23 stupních volnosti: $t_{0,05}^{[23]} = 1,714$. Výpočet tedy udává, v jakém rozmezí se budou s 95 % pravděpodobností pohybovat hodnoty veličin v roce 2024. Pro srovnání jsou v posledním sloupci uvedené aritmetické průměry sledovaných veličin z let 2000 – 2018.

Intervalové a bodové prognózy sledovaných proměnných ve srovnání s průměrem 2000 – 2018					
Kraj	Proměnná	Int. spolehlivosti		Bodový odhad	Průměr 2000 – 2018
		Dolní mez	Horní mez		
Česká republika	Pš. ozimá (t/ha)	5,7099	7,6561	6,6830	5,3600
	Ječ. jarní (t/ha)	5,1601	6,6499	5,9050	4,3916
	Řep. ozimá (t/ha)	3,0584	4,5276	3,7930	2,9979
	Srážky (mm)	425,2783	740,2317	582,7550	683,1579
	Teplota (°C)	6,6070	9,7760	8,1915	8,5000
Pardubický (okr. Lanškroun)	Pš. ozimá (t/ha)	5,6979	6,9041	6,3010	4,8042
	Ječ. jarní (t/ha)	5,2879	6,4501	5,8690	4,5926
	Řep. ozimá (t/ha)	2,6971	3,8389	3,2680	2,8574
	Srážky (mm)	382,7818	698,4222	540,6020	679,2632
	Teplota (°C)	8,2148	10,3292	9,2720	8,5421
Liberecký (okr. Turnov)	Pš. ozimá (t/ha)	6,9709	8,9691	7,9700	6,1947
	Ječ. jarní (t/ha)	5,2039	5,9361	5,5700	4,0179

	Řep. ozimá (t/ha)	3,1623	5,0357	4,0990	3,3053
	Srážky (mm)	479,0682	947,7158	713,3920	855,2632
	Teplota (°C)	7,3371	9,4029	8,3700	7,9632
Vysočina (okr. Třebíč)	Pš. ozimá (t/ha)	4,3442	7,5118	5,9280	5,3884
	Ječ. jarní (t/ha)	4,5052	7,2628	5,8840	4,2758
	Řep. ozimá (t/ha)	3,0920	5,4100	4,2510	3,3305
	Srážky (mm)	394,9280	695,9620	545,4450	669,3158
	Teplota (°C)	7,8681	9,9239	8,8960	8,1263
Středočeský (okr. Mělník)	Pš. ozimá (t/ha)	8,3231	10,6969	9,5100	7,5684
	Ječ. jarní (t/ha)	6,3030	8,4750	7,3890	5,6358
	Řep. ozimá (t/ha)	3,2512	4,9888	4,1200	3,6353
	Srážky (mm)	380,7520	781,8620	581,3070	622,9105
	Teplota (°C)	8,8599	10,9121	9,8860	9,2421
Královehradecký (okr. Broumov)	Pš. ozimá (t/ha)	4,9169	6,4371	5,6770	4,3684
	Ječ. jarní (t/ha)	3,3630	5,1790	4,2710	3,0579
	Řep. ozimá (t/ha)	1,2365	3,3665	2,3015	2,2947
	Srážky (mm)	388,2439	718,2921	553,2680	719,3158
	Teplota (°C)	8,0253	10,1527	9,0890	8,4263
Jihomoravský (okr. Vyškov)	Pš. ozimá (t/ha)	4,9169	7,1771	6,0470	4,6995
	Ječ. jarní (t/ha)	4,7442	6,1698	5,4570	4,0453
	Řep. ozimá (t/ha)	2,9630	4,5670	3,7650	2,7895
	Srážky (mm)	337,1055	647,3585	492,2320	552,6842
	Teplota (°C)	9,2489	11,3651	10,3070	9,5737
Zlínský (okr. Kroměříž)	Pš. ozimá (t/ha)	6,0997	8,4723	7,2860	5,2353
	Ječ. jarní (t/ha)	5,6608	7,0772	6,3690	4,5184
	Řep. ozimá (t/ha)	3,3574	4,6726	4,0150	2,8651
	Srážky (mm)	484,4127	828,7013	656,5570	743,0000
	Teplota (°C)	8,3838	10,5262	9,4550	8,7684
Moravskoslezský (okr. Karviná)	Pš. ozimá (t/ha)	6,0017	8,1483	7,0750	5,1858
	Ječ. jarní (t/ha)	5,2265	6,7735	6,0000	4,3337
	Řep. ozimá (t/ha)	3,3466	4,7634	4,0550	2,9884
	Srážky (mm)	505,4789	951,2111	728,3450	802,4737
	Teplota (°C)	7,8397	9,9243	8,8820	8,2789
Olomoucký (okr. Prostějov)	Pš. ozimá (t/ha)	6,6102	8,8598	7,7350	5,8298
	Ječ. jarní (t/ha)	5,6082	7,2658	6,4370	5,0908
	Řep. ozimá (t/ha)	3,4684	5,0476	4,2580	3,1655

	Srážky (mm)	449,3980	771,3900	610,3940	698,6842
	Teplota (°C)	8,1106	10,1354	9,1230	8,3895
Ústecký (okr. Litoměřice)	Pš. ozimá (t/ha)	5,5440	6,6180	6,0810	5,0421
	Ječ. jarní (t/ha)	4,8537	6,1683	5,5110	4,6367
	Řep. ozimá (t/ha)	2,1187	3,8213	2,9700	2,7270
	Srážky (mm)	413,4501	803,1579	608,3040	647,4737
	Teplota (°C)	8,1641	10,2639	9,2140	8,6895
Karlovarský (okr. Cheb)	Pš. ozimá (t/ha)	5,8511	7,2489	6,5500	5,0122
	Ječ. jarní (t/ha)	4,3534	5,7666	5,0600	4,1905
	Řep. ozimá (t/ha)	2,9117	4,5463	3,7290	2,7705
	Srážky (mm)	464,3952	812,7728	638,5840	750,7368
	Teplota (°C)	6,7629	8,8671	7,8150	7,3526
Plzeňský (okr. Plzeň-jih)	Pš. ozimá (t/ha)	6,2304	8,1676	7,1990	5,0879
	Ječ. jarní (t/ha)	5,0530	6,2450	5,6490	4,1021
	Řep. ozimá (t/ha)	3,5913	4,7347	4,1630	2,9485
	Srážky (mm)	341,4679	798,8601	570,1640	661,5263
	Teplota (°C)	8,5610	10,4610	9,5110	8,5947
Jihočeský (okr. Tábor)	Pš. ozimá (t/ha)	5,2933	8,5227	6,9080	5,4074
	Ječ. jarní (t/ha)	5,2301	8,9179	7,0740	4,4132
	Řep. ozimá (t/ha)	2,1617	4,4683	3,3150	3,2568
	Srážky (mm)	379,8301	751,1559	565,4930	709,3158
	Teplota (°C)	7,6580	9,6660	8,6620	7,9737

Tabulka 7 – Intervalové a bodové prognózy sledovaných proměnných ve srovnání s průměrem 2000 – 2018
(vlastní zpracování)

5.4 Výsledky dotazníkového šetření

V rámci dotazníkového šetření bylo osloveno celkem 243 zemědělských podniků a soukromě hospodařících rolníků napříč jednotlivými regiony, z nichž otázky zodpovědělo celkem 67 respondentů. Šetření obsahovalo následujících 6 otázek týkajících se problematiky výnosů v souvislosti s klimatickými podmínkami:

1. Vnímáte současný trend vývoje klimatických podmínek jako negativní pro Vaši produkci?
2. O kolik procent se během posledních 20ti let snížily výnosy vlivem nepříznivých klimatických faktorů?
3. Kterou z následujících možností považujete za největší riziko?

4. Jaké procento Vašich nákladů průměrně určujete na kompenzaci poškození produkce vzniklého v souvislosti s klimatem?
5. Je pro Vás motivující vývoj cen komodit v souvislosti s vývojem agroklimatických podmínek daného roku?
6. Uvažujete do budoucna o změně osevních postupů a využití nových, suchomilných plodin (proso, čirok atd...)?

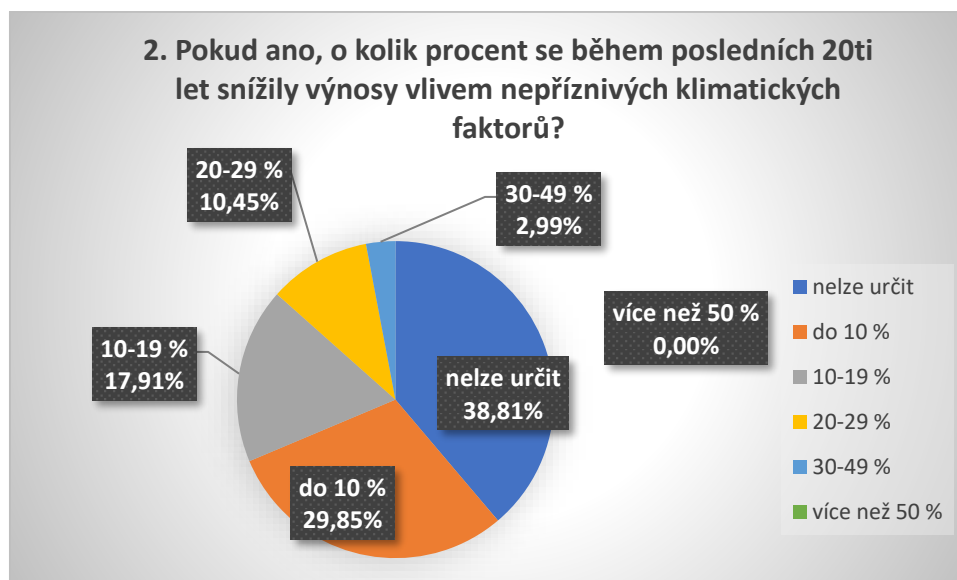
5.4.1 Otázka č. 1 a č. 2

Cílem první otázky bylo zjistit, zdali pěstitelé subjektivně pozorují negativní vliv současných proměn klimatu na pěstované plodiny. V tomto ohledu se největší část respondentů (37,31 %) vyslovila pro možnost *spíše ano*, následovala varianta *určitě ano* (31,34 %). Dohromady tedy v určité míře hodnotí současný trend vývoje klimatických podmínek jako negativní celkem 46 z 67 respondentů (68,65 %).



Graf 17 - Otázka č. 1 (vlastní zpracování)

Cílem druhé otázky bylo kvantifikovat ztráty na výnosech způsobené nepřízní počasí. Při posuzování výsledků je nezbytné podotknout, že za snížení výnosů vlivem klimatických podmínek lze v tomto případě považovat i jednorázové propady, jako např. krupobití, což ostatně jeden z respondentů v doplňujícím komentáři uvedl.

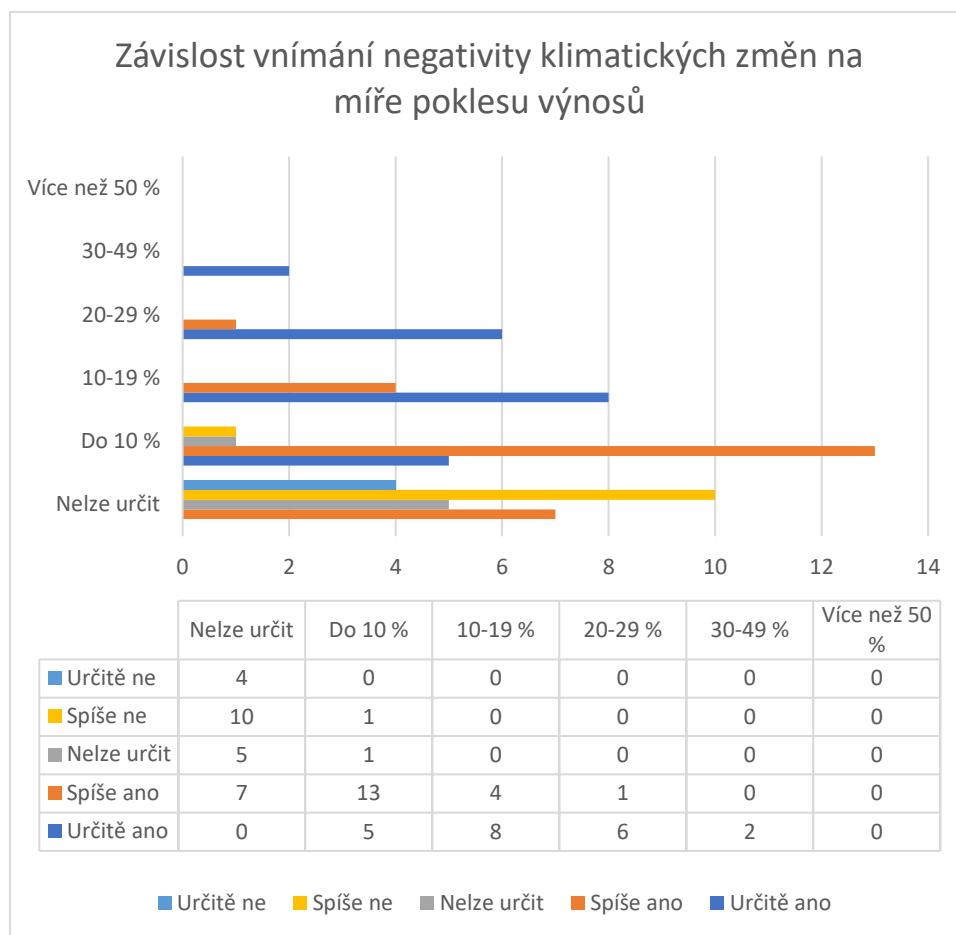


Graf 18 - Otázka č. 2 (vlastní zpracování)

5.4.1.1 Závislost vnímání negativity klimatických změn na míře poklesu výnosů

Vzhledem k úzké vzájemné souvislosti mezi 1. a 2. otázkou bylo k podrobnějšímu vyhodnocení využito kontingenční tabulky (v řádcích jako vysvětlované proměnné odpovědi ot. č. 1, ve sloupcích jako vysvětlující proměnné možnosti ot. č. 2). Cílem této analýzy bylo prozkoumat, v jaké míře ovlivňuje výše poklesu výnosů vnímání negativity klimatických změn pro rostlinnou produkci. Možnost *nelze určit* ve 2. otázce měla největší zastoupení (38,81 %), nicméně jak je na následujícím grafu patrné, tuto možnost vybrali většinou respondenti, kteří vliv klimatických změn hodnotí spíše, nebo zcela pozitivně. Lze tedy předpokládat, že v těchto případech výnosy spíše rostou.

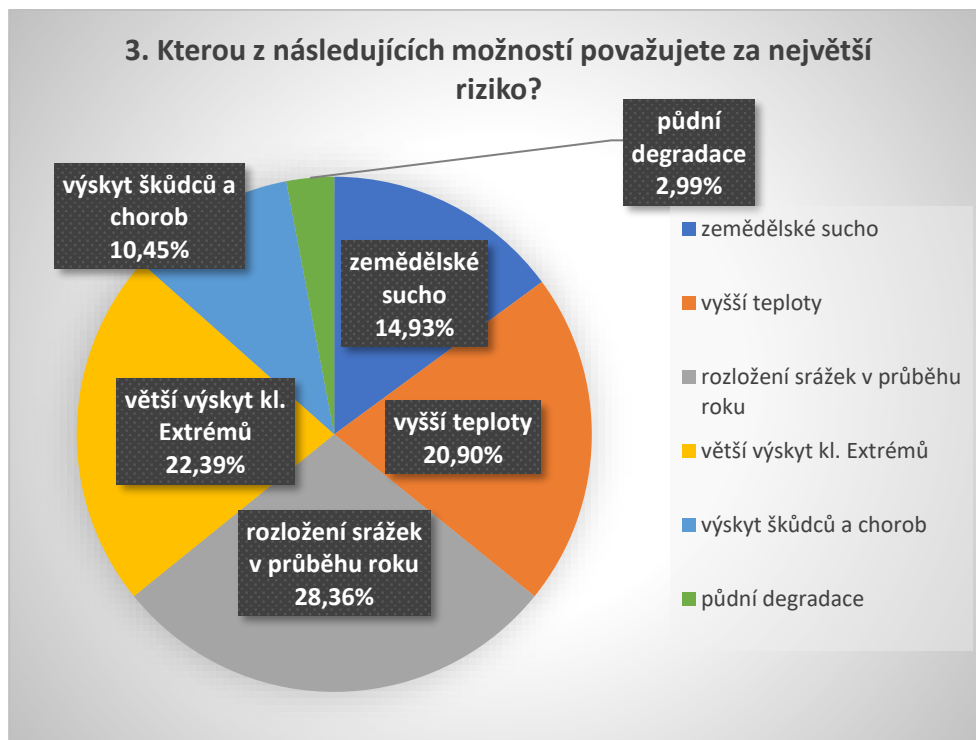
V případě ostatních možností z otázky č.2 potom s rostoucím procentem snížení výnosů roste také zastoupení vnímání klimatických změn jako negativních. Celkově je tak možné dedukovat, že čím vyšší jsou pozorovatelné ztráty na výnosech, tím více negativně vnímají pěstitelé měnící se klima (viz Graf 19).



Graf 19 – Závislost vnímání negativity klimatických změn na míře poklesu výnosů (vlastní zpracování)

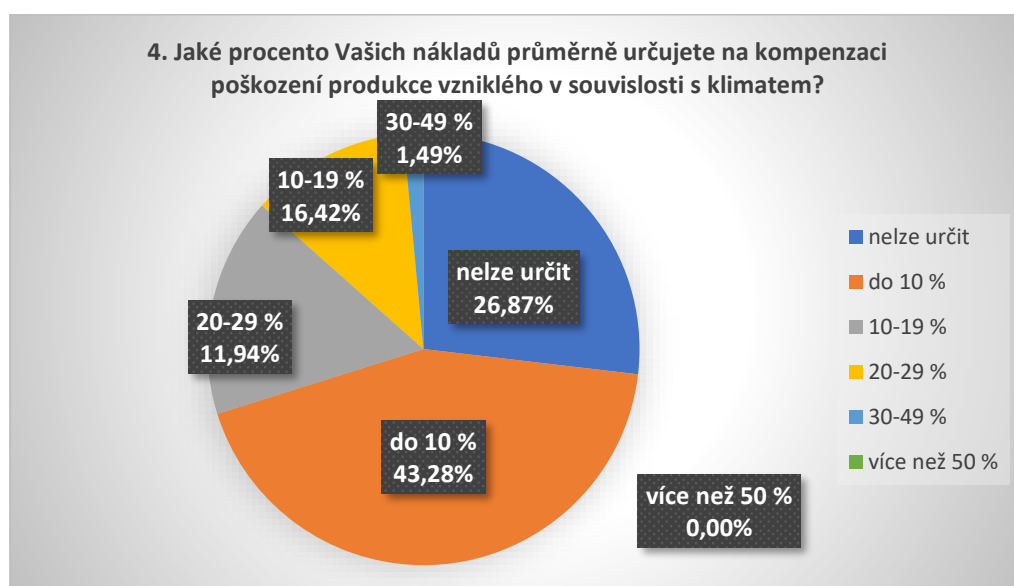
5.4.2 Otázka č. 3 a č. 4

Z hlediska specifikace hlavního rizika pro rostlinou výrobu v současnosti bylo zastoupení jednotlivých možností poměrně vyrovnané. Překvapivým zjištěním zde bylo, že možnost *zemědělské sucho* zvolilo pouze 14,93 % respondentů. Odpovědi s největším zastoupením (*vyšší teploty* – 20,9 %, *větší výskyt klimatických extrémů* – 22,39 % a *rozložení srážek v rámci roku* – 28,36 %) však mohou být příčinou zemědělského sucha, jelikož např. kombinací nízkých srážkových úhrnů v jarních měsících a vyšších teplot dochází k vyšší evapotranspiraci půdní vláh, čímž se zvyšuje intenzita zemědělského sucha. Na základě dotazníkového šetření se tedy jeví, že není až tak velkým problémem nedostatek vody všeobecný, nýbrž její nedostatek v kritických měsících. Klimatické extrémy, kterými byly myšleny jevy jako vlny veder, přívalemé deště, jarní mrazíky atd., reprezentují spíše jednorázová a krátkodobá rizika, která ovšem mohou mít rovněž devastující vliv na úrodu, a jejichž výskyt se v posledních letech zintenzivňuje.



Graf 20 - Otázka č. 3 (vlastní zpracování)

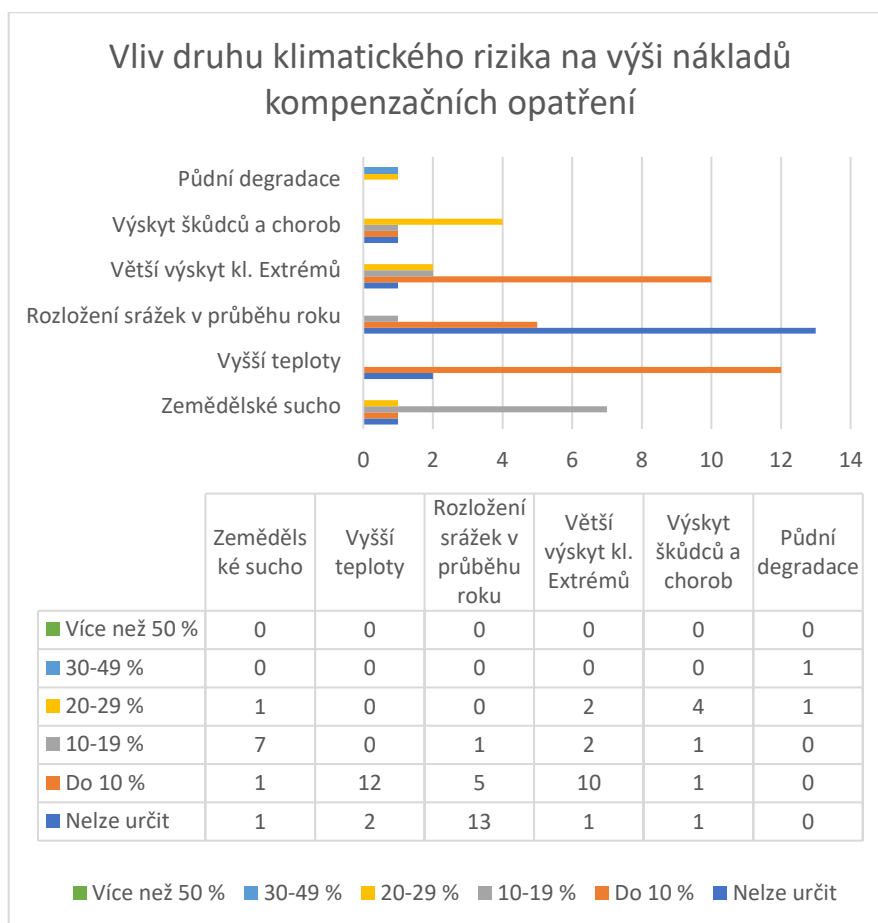
V rámci čtvrté otázky bylo autorovou snahou zjistit, jak se případné poškození úrody promítá v rozpočtu do nákladů. Podobně jako v případě otázky č. 2, i zde výrazně převažuje možnost *do 10 %* (43,28 %). Alespoň zčásti pozitivním zjištěním je, že ani jeden z respondentů nemusí vynaložit na boj s vlivy klimatu více než 50 % nákladů a jen velmi malá část (1,49 %) vybrala variantu 30 – 49 %.



Graf 21 - Otázka č. 4 (vlastní zpracování)

5.4.2.1 Výše nákladů na kompenzaci jednotlivých negativních jevů vzniklých klimatickými změnami

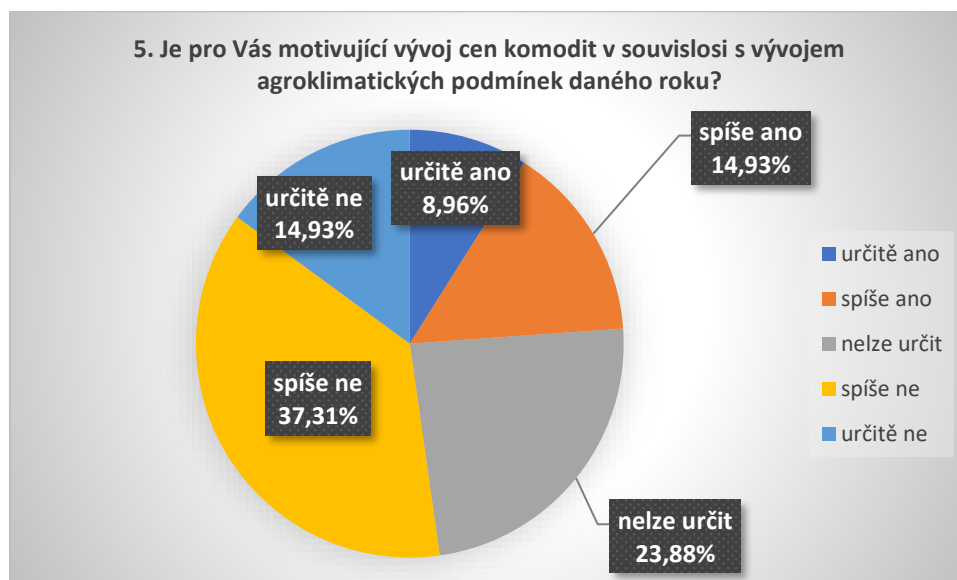
Analogicky jako v případě otázek č. 1 a 2. je rovněž mezi otázkami 3. a 4. možné pozorovat určitou závislost, konkrétně se jedná o volbu určitého rizika jako nejzávažnějšího v kombinaci s jednotlivými nákladovými úrovněmi. Hovoříme tedy o závislosti výše nákladů kompenzačních opatření na druhu negativního klimatického jevu. Z následujícího grafu (Graf 22) je patrné, že i přes nízkou četnost (2) se jeví jako nejnákladnější jev půdní degradace, následovaná výskytem škůdců a chorob. Jako příklad zde lze uvést vysoké výdaje na rekultivaci degradovaných půd, v případě škůdců a chorob mohou poměrně nákladnou položkou být např. pesticidy a insekticidy. V případě zemědělského sucha převládá možnost 10 – 19 %, jako příklad je možné uvést např. vysoké opotřebení mechanizace při zpracování vysušené půdy, náklady na pohonné hmoty, nebo závlahové systémy. Co se týče rozložení srážek v průběhu roku, největší zastoupení zde má možnost *nelze určit*, jelikož tento jev v zásadě není možné v případě konvenční produkce kompenzovat.



Graf 22 – Vliv druhu klimatického rizika na výši nákladů kompenzačních opatření (vlastní zpracování)

5.4.3 Otázka č. 5

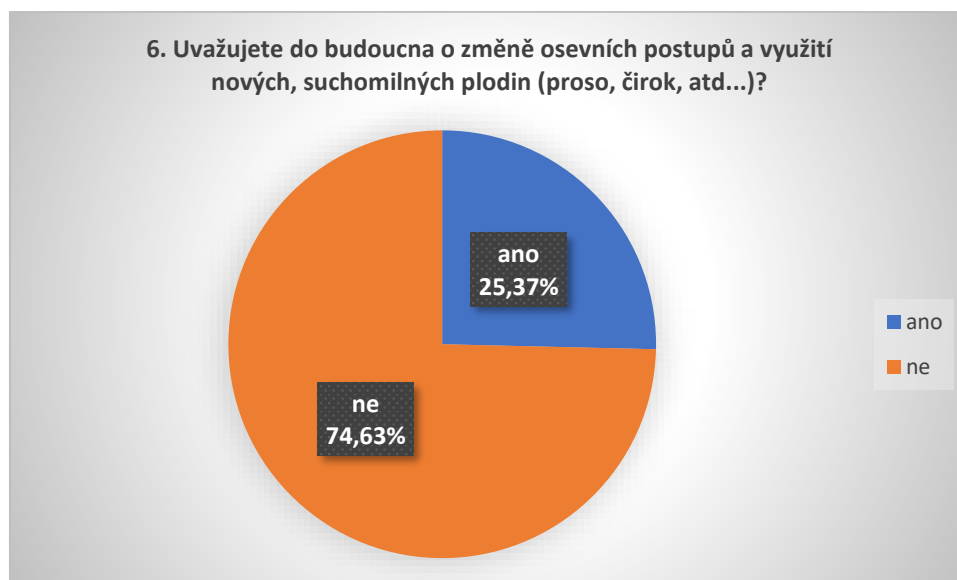
Cílem otázky č. 5 bylo zjištění, zdali podle subjektivního hodnocení respondentů jsou realizační ceny zemědělských komodit adekvátní vlivům klimatu, které determinují výši výnosů. Otázka č. 5 úzce souvisí s otázkami č. 2 a č. 4, jelikož pokud podnik utrpí výnosové ztráty (byť „jen“ do 10 %), a pokud na opatření za účelem minimalizace ztrát věnuje opět „pouze“ 0 – 10 % svých nákladů, tato skutečnost by za předpokladu adekvátního růstu cen komodit nemusela nutně vést k horšímu ekonomickému výsledku hospodaření. Nicméně otázka byla pravděpodobně ne zcela šťastně formulována, jelikož poměrně velká část respondentů zvolila možnost *nelze určit* (23,88 %). I přesto varianta *spíše ne* se zastoupením 37,31 % do značné míry potvrzuje autorovu hypotézu, že ceny komodit farmáře k prevenčním/adaptačním opatřením příliš nemotivují.



Graf 23 - Otázka č. 5 (vlastní zpracování)

5.4.4 Otázka č. 6

V rámci poslední otázky se autor snažil zjistit, jaká část dotázaných vzhledem k současnému stavu je v tuto chvíli připustná určitým adaptacím na měnící se klimatické podmínky. Jako příklad bylo vybráno zařazení teplomilných a suchomilných plodin do struktury plodin, nicméně tuto možnost momentálně připouští pouze čtvrtina respondentů.



Graf 24 - Otázka č. 6 (vlastní zpracování)

5.5 Shrnutí výstupů vlastní práce a diskuse

Na základě souhrnných celorepublikových dat je možné sledovat mezi roky 2000 – 2018 postupné zvyšování výnosů všech tří sledovaných plodin. Tento trend nicméně není možné vysvětlit pouze vývojem klimatických faktorů, jelikož v poslední době došlo ke značnému vývoji v oblasti šlechtění hybridních osiv, mechanizace a dalších zemědělských technologií, což nepochybně napomohlo ke zvýšení výnosů. Rovněž je důležité zmínit, že i přes poměrně vysoké koeficienty determinace zvolených regresních funkcí v případě výnosů by mohly složitější předpisy funkcí (jako např. polynomická) variabilitu souborů vystihnout lépe, a být tak ke tvorbě prognóz vhodnější.

V případě srážkoměrných a teplotních časových řad jsou potom koeficienty determinace výrazně nižší, hodnoty blízké 0 poukazují na absolutní nevhodnost zvolených regresních funkcí k prognózování. Při porovnání těchto trendů s výstupy studií uvedenými v teoretické části se však prognózy natolik nereálné nejeví. Podle citovaných autorů je postupné zvyšování průměrných ročních teplot zjevné, stejně jako úbytek srážkových úhrnů (byť se značnými výkyvy). Zvyšující se teploty navíc umocňují nedostatek vláhy, jelikož dochází k většímu výparu vody. Krátké přehánky s nízkým srážkovým úhrnem sice v celoročním součtu mohou utvořit v zásadě „standartní“ hodnotu, nicméně vzhledem rychlému odparu je rostliny nemohou efektivně využít. Pokud tedy zmíněné trendy budou nadále pokračovat, je jen otázkou času, kdy nastane zlom, ve kterém tyto klimatické faktory začnou nabývat pro rostliny natolik negativních hodnot, že zapříčiní výraznou degeneraci

výnosů. Při pohledu na grafické znázornění křivek (Graf 3) lze uvažovat, že tento zlom již nastal – konkrétně okolo let 2014 – 2015, kdy se růst výnosů zastavil, a v posledních letech sledovaného období začal mírně klesat. Na druhou stranu je toto období poměrně krátké k vyvození relevantních závěrů, při celkovém pohledu na chování křivek klimatických faktorů je totiž zřetelná značná rozkolísanost v čase. Dalším neopomenutelným faktorem je zmiňovaný vliv zvýšené koncentrace CO₂ v atmosféře na rostliny, který dosud není příliš objasněn. I za předpokladu pozitivního vlivu na růst rostlin však budou vodní zdroje primárním faktorem určujícím výši výnosů.

Data sesbíraná z jednotlivých podniků se v komparaci s celorepublikovými údaji příliš neodlišují, rozdíly jsou pozorovatelné pouze v intenzitě růstu/poklesu mezi jednotlivými regiony. Lze tedy konstatovat, že vlastní šetření víceméně potvrdilo souhrnné údaje z celé republiky. Exaktnějšímu vyhodnocení by napomohl jednak větší rozsah dat, jednak komparace s hodnotami teplot a srážek přímo v oblasti, kde daný podnik hospodaří. V tomto ohledu je tedy díky lokálním údajům k predikci nejvhodnější podnik z kraje Středočeského.

Co se vyhodnocení dotazníkového šetření týče, je v komparaci s první částí vlastní práce patrná určitá neshoda ve výstupech otázek č. 1 a č. 2 – v rámci analýzy časových řad výnosy sledovaných plodin rostou, přesto většina respondentů označila v určité míře vývoj klimatických podmínek jako negativní pro rostlinnou produkci. Tento fakt může do určité míry potvrdit úvahu, že se výnosy zvýšily zejména díky zdokonaleným technologiím, přestože se klimatické podmínky zhoršují. Pokud by tato hypotéza byla pravdivá, současné výnosy by při optimálních klimatických podmínkách byly pravděpodobně vyšší. Rovněž je důležité zmínit, že cca 22 % dotázaných popřelo negativní vliv klimatických změn, což opět poukazuje na potenciální pozitivní přínos, a to zejména ve vyšších oblastech.

6 Závěr

Hlavním cílem bakalářské práce bylo posouzení souvislosti mezi klimatickými změnami a vývojem sledovaných ukazatelů zemědělské produkce (v rostlinné výrobě). Dosažení hlavního cíle bylo realizováno pomocí čtyřech dílčích cílů. V rámci prvního dílčího cíle byly nejprve shrnuty poznatky z oblasti klimatologie, kde byl kladen důraz na zachycení podstaty fungování klimatického systému. V chronologickém vývoji byly popsány proměny klimatu vyvolané přirozenou variabilitou klimatu ve vzdálenější minulosti, následně byly v globálním měřítku popsány změny klimatu od 18. století vyvolané antropogenní činností. Součástí bylo také představení základních metod modelování klimatu, na základě nichž jsou sestaveny scénáře budoucího vývoje.

S ohledem na problematiku zemědělského sektoru byly v rámci druhého cíle v teoretické části uvedeny základní údaje o rostlinné produkci v ČR. V návaznosti byly zachyceny probíhající změny rozložení výrobních oblastí a délky vegetačního období – kukuřičné oblasti postupně ztrácejí svůj produkční potenciál, zatímco řepařsko-obilnářské oblasti se stávají z hlediska úrodnosti rentabilnější. Rovněž zde byly popsány dopady zvýšených koncentrací CO₂ na rostliny jako takové, s čímž pracují i některé z následně uvedených studií týkajících se budoucího vývoje výnosů v celosvětovém i národním měřítku. Za předpokladu pozitivního vlivu lze na základě citovaných prací očekávat na území ČR pokračující růst výnosů, který ovšem bude limitován dostatkem vodních zdrojů. V celosvětovém měřítku potom podobný vývoj lze očekávat zejména na severní polokouli ve vyšších oblastech, naopak polokoule jižní se bude potýkat s postupnou degresí, jejíž míra bude v případě absence pozitivního vlivu CO₂ na rostliny umocněna.

Ve vlastní práci byly nejprve v celorepublikovém měřítku sesbírány hodnoty výnosů hlavních zemědělských plodin (pšenice ozimá, ječmen jarní, řepka ozimá) z veřejně dostupných dat ČSÚ, stejně jako roční úhrny srážek a průměrné roční teploty v letech 2000 – 2018 na celorepublikové i regionální úrovni z dat ČHMÚ. Následně byl vytvořen dotazník, který se skládal jednak z formuláře pro sběr údajů o výnosech a kvalitě produkce (obsah N u obilovin, olejnatost u řepky ozimé) ve sledovaném období (2000 – 2018), jednak ze 6ti otázek směřujících k naplnění čtvrtého dílčího cíle. Celkem bylo osloveno 243 vybraných zemědělských podniků a SHR napříč jednotlivými regiony. Původním záměrem první části dotazníku bylo vytvoření průměrných hodnot výnosů a kvality produkce pro výběrový soubor a následná komparace s celorepublikovými údaji, nicméně značnou překážku

v naplnění třetího dílčího cíle představovala nedostatečná evidence takovýchto dat v oslovených podnicích. V drtivé většině případů byly bohužel údaje o výnosech dohledatelné maximálně v rozsahu do 10ti let, údaje o kvalitě produkce dokonce většinou zcela chyběly. V tomto ohledu se nicméně podařilo najít v každém kraji alespoň jeden podnik, kde byla vedena evidence výnosů v požadovaném rozsahu.

Pomocí metod statistické analýzy byly vytvořeny regresní funkce modelující variabilitu výnosů, a to jak pro Českou republiku jako celek, tak pro podniky reprezentující jednotlivé kraje ČR. Předpisy lineárních funkcí využité k postižení variability souborů výnosů dosahovaly uspokojivých hodnot koeficientu determinace – nejlépe vystihnul model variabilitu výnosů ječmene jarního podniku z Libereckého kraje. Překvapivým zjištěním bylo, že ve sledovaném období měly ve všech regionech výnosy všech tří plodiny rostoucí trend. Obdobně byly vytvořeny regresní funkce pro roční úhrny srážek a průměrné teploty v jednotlivých regionech. Lineární trend nejlépe srážkoměrné údaje z kraje Královéhradeckého, průměrné roční teploty potom v kraji Plzeňském. V případě teplot byl opět ve všech případech zjištěn rostoucí trend, u srážek naopak trend klesající, což potvrdilo odborné poznatky o vývoji obou veličin uvedené v literární rešerši, byť jsou zde korelační koeficienty vzhledem k vysoké rozkolísanosti hodnot o poznání nižší. Co se týče vlivu konkrétního klimatického faktoru na výnosy, koeficient korelace náhodných složek na celorepublikové úrovni poukázal na těsnější závislost výnosů na srážkách oproti teplotám.

Následně byla vytvořena prognóza stavu sledovaných údajů k roku 2024. Za předpokladu správnosti predikce se jeví vývoj výnosů pro všechny regiony poměrně optimisticky a lze i nadále očekávat jejich růst, což by mohlo potvrdit pozitivní vliv zvýšených koncentrací CO₂. Pokud se tedy predikce naplní, výnosy veškerých plodin se mohou zvýšit v průměru o 1 t/ha. Při pohledu na data z nejvíce problematických oblastí Jihomoravského a Ústeckého kraje bylo ovšem patrné, že v posledních 5ti letech došlo nejprve k zastavení a následnému poklesu výnosů, což poukazuje na možný zlom ve vývoji. Predikce navíc poukázala na očekávané snížení srážkových úhrnů k roku 2024, a to v průměru o 50 – 100 mm/rok, což v aridních oblastech konstantní zvyšování výnosů neumožní.

Poslední částí vlastní práce byla analýza výstupů druhé části dotazníkového šetření, kde bylo v rámci naplnění čtvrtého dílčího cíle zkoumáno subjektivní vnímání problematiky dopadů klimatických změn na rostlinnou prvovýrobu. Objem získaných dat zde již byl o poznání uspokojivější, v požadovaném rozsahu se k jednotlivým otázkám vyjádřilo celkem

67 respondentů. Většina dotázaných označila současný vývoj klimatických podmínek pro rostlinnou produkci jako negativní, míra negativity zde byla determinována deklarovanou výší škod způsobených nepřízní klimatu. Alespoň zčásti pozitivním zjištěním bylo, že negativní vliv klimatických faktorů u většiny respondentů nevyvolal ztráty na výnosech vyšší, než 20 %. V případě jednotlivých rizik plynoucích z klimatických změn byla jako nejnákladnější vyhodnocena půdní degradace, popř. výskyt škůdců a chorob. Co se adaptačních opatření týče, pouze čtvrtina respondentů připustila změnu osevních postupů a zařazení pěstování suchomilných plodin do technologie. Nicméně vzhledem k momentálně nízké poptávce a ziskovosti těchto plodin je to zcela pochopitelné, neboť již v současnosti při neustále rostoucích nákladech není ekonomická situace v rámci sektoru příliš příznivá.

Na základě výstupů práce lze závěrem konstatovat, že určitá souvislost mezi klimatickými změnami a výsledky rostlinné výroby nepochybně existuje. Konkrétní dopady jsou však mezi jednotlivými regiony rozdílné, a i přes víceméně pozitivní současné výhledy je poměrně složité tvrdit, jakých výsledků bude rostlinná produkce dosahovat ve vzdálenější budoucnosti. V každém případě je nutné problematice věnovat náležitou pozornost, neboť v případě naplnění negativních scénářů bude ohrožen nejen agrární sektor, ale i zajištění jedné ze základních lidských potřeb – potravy.

7 Citovaná literatura

- ACOT, Pascal, 2005. *Historie a změny klimatu: od velkého třesku ke klimatickým katastrofám*. 1. vydání. Praha: Karolinum, 240 s. ISBN 80-246-0869-3.
- AGARWAL, Animesh, 2018. *Linear Regression using Python* [online]. Towards Data Science. [cit. 2019-08-27]. Dostupné z: <https://towardsdatascience.com/linear-regression-using-python-b136c91bf0a2>
- AGOVINO, Massimiliano, 2019. *Agriculture, climate change and sustainability: The case of EU-28* [online]. Ecological Indicators. **2019**(105), 525-543 [cit. 2019-11-18]. Dostupné z:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X18303170?via%3Dihub>
- AGRIS.CZ, 2019. *Svaz: Hrabošů je někde víc než v létě, škody přesáhly 1,3 mld.Kč* [online]. Agris [cit. 2019-11-16]. Dostupné z: http://www.agris.cz/clanek/206668/svaz-hrabosu-je-nekde-vic-nez-v-lete-skody-presahly-1-3-mld-kc?id_cause=19
- ALLEN, Leon, 1997. *The CO₂ fertilization effect: higher carbohydrate production and retention as biomass and seed yield*. 20. Food and Agriculture Organization of the United Nations [online]. FAO [cit. 2019-11-13]. Dostupné z: <http://www.fao.org/3/W5183E/w5183e06.htm>
- ARLT, Josef a Markéta ARLTOVÁ, 2003. *Finanční časové řady*. Praha: Grada, 220 s. ISBN 978-80-247-0330-5.
- BALÍKOVÁ, Marie, 2003. *Obsahová analýza* [online]. KTD: Česká terminologická databáze knihovnictví a informační vědy (TDKIV). Praha: Národní knihovna ČR [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: https://aleph.nkp.cz/F/?func=direct&doc_number=000001586&local_base=KTD
- BEHRINGER, Wolfgang, 2010. *Kulturní dějiny klimatu: od doby ledové po globální oteplování*. Praha: Paseka, 408 s. ISBN 978-80-7432-022-4.
- BLÁHA, Ladislav, 2011. *Znaky adaptability k podmínkám stresu u zemědělských plodin*. Úroda. 2011. Praha: Profi Press, **2011**(59), 725-735. ISSN 0139-6013.
- BRÁZDIL, Rudolf a Miroslav TRNKA, 2015. *Historie počasí a podnebí v Českých zemích: minulost, současnost, budoucnost*. Brno: Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky. ISBN 978-80-87902-11-0.

CLINE, William, 2007. *Global Warming and Agriculture: Impact Estimates by Country*. Washington DC: Center for Global Development and the Peterson Institute for International Economics. ISBN 978-0-88132-403-7.

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, 2009. *Vývoj klimatu v minulosti* [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav [cit. 2019-10-30]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/cc_chap05.pdf

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, 2009. *Skleníkový efekt* [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav [cit. 2019-10-30]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/cc_chap05.pdf

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, 2009. *Modelování klimatu a jeho změn* [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav [cit. 2019-10-30]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/cc_chap07.pdf

DVOŘÁKOVÁ, Ilona, 2010. *Obsahová analýza / formální obsahová analýza / kvantitativní obsahová analýza* [online]. Plzeň: AntropoWeb při Katedře antropologie FF ZČU v Plzni [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: http://antropologie.zcu.cz/media/webzin/webzin_2_2010/Dvorakova__I-2-2010.pdf

HANČLOVÁ, Jana a Lubor TVRDÝ, 2013. *Úvod do analýzy časových řad* [online]. Ostrava: VŠB-TU, Ekonomická fakulta [cit. 2019-08-27]. Dostupné z: https://www.fd.cvut.cz/departament/k611/PEDAGOG/VSM/7_AnalyzaCasRad.pdf

HANEL, Martin, 2011. *Odhad dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci v ČR a možná adaptační opatření*. 1. vydání. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, 107 s. ISBN 978-80-87402-22-1.

HENDL, Jan, 2015. *Přehled statistických metod: analýza a metaanalýza dat*. 5., rozšířené vydání. Praha: Portál, 736 s. ISBN 978-80-262-0981-2.

HINDLS, Richard, 2007. *Statistika pro ekonomy*. 8. vydání. Praha: Professional Publishing, 415 s. ISBN 978-80-86946-43-6.

HOLÝ, Dalibor, 2019. *Proč sezónně očišťovat?* [online]. Statistika a my. [cit. 2019-08-28]. Dostupné z: <https://www.statistikaamy.cz/2015/03/proc-sezonne-ocistovat/>

HONSOVÁ, Dagmar, 2007. *Pražské Klementinum – aneb nejstarší meteorologické měření u nás* [online]. Příroda.cz: příroda, ekologie, život.... Praha [cit. 2019-10-29]. Dostupné z: <https://www.priroda.cz/clanky.php?detail=898>

HOUSER, Pavel, 2017. *Oteplování Golský proud narušit nemusí* [online]. SCIENCEmag.cz. Praha [cit. 2019-11-07]. Dostupné z: <https://sciencemag.cz/oteplovani-golsky-proud-narusit-nemusi/>

INTERSUCHO, 2019. *Co je sucho?* [online]. Ústav globální změny AV ČR [cit. 2019-11-16]. Dostupné z: <https://www.intersucho.cz/cz/o-suchu/co-je-sucho/>

IPCC, 2019. *IPCC SRCCL Report, Chapter 5: Food Security* [online]. IPCC [cit. 2019-11-18]. Dostupné z: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/2f.-Chapter-5_FINAL.pdf

KOVÁŘ, Blahoslav, 1974. *Obsahová analýza dokumentu*. Praha: Ústředí vědeckých, technických a ekonomických informací, 44 s. Metodické letáky, Sv.105. ISBN (brož.).

LE TREUT, Hervé, 2007. *Historical Overview of Climate Change. 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: Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-88009-1.

METELKA, Ladislav a Radim TOLASZ, 2009. *Klimatické změny: fakta bez mýtů*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Centrum pro otázky životního prostředí, 35 s. ISBN 978-80-87076-13-2.

MÍKOVÁ, Taťána, 2001. *Změna klimatu ve světle současného poznání* [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav [cit. 2019-10-26]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/556-zmena-klimatu-ve-svetle-soucasneho-poznani-1-cast>

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, 2015. *Sucho: vážná hrozba pro Českou republiku* [online]. Praha: Ministerstvo zemědělství [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/434050/Problem_sucho.pdf

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, 2018. *Situační a výhledová zpráva: Půda*. 2018. Praha: Ministerstvo zemědělství. ISSN 1211-7692. ISBN 978-80-7434-476-3.

MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, 2015. *Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR* [online]. Praha [cit. 2019-10-30]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zmena_klimatu_adaptacni_strategie/\\$FILE/OEOK-Adaptacni_strategie-20151029.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zmena_klimatu_adaptacni_strategie/$FILE/OEOK-Adaptacni_strategie-20151029.pdf)

MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, 2019. *Komplexní studie dopadů, zranitelnosti a zdrojů rizik souvisejících se změnou klimatu v ČR* [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav [cit. 2019-10-30]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/studie_dopadu_zmena_klimatu

- MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, 2019. *Mezivládní panel pro změnu klimatu (IPCC)* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí [cit. 2019-10-29]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/mezivladni_panel_pro_zmenu_klimatu
- MULAČOVÁ, Věra a Petr MULAČ, 2013. *Obchodní podnikání ve 21. století*. Praha: Grada, 520 s. Finanční řízení. ISBN 978-80-247-4780-4.
- NEUBAUER, Jiří, 2016. *Základy statistiky: aplikace v technických a ekonomických oborech*. 2., rozšířené vydání. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-5786-5.
- NOAA, 2017. *Global Climate Report - Annual 2016* [online]. NOAA [cit. 2019-10-30]. Dostupné z: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201613>
- OCHRANA, František, 2019. *Metodologie, metody a metodika vědeckého výzkumu*. 1. vydání. Praha: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum, 148 s. ISBN 978-80-246-4200-0.
- PAZDERA, Josef, 2015. *Dopady pěstování geneticky modifikovaných plodin* [online]. OSEL: Objective Source E-Learning [cit. 2019-11-17]. Dostupné z: <http://www.osel.cz/8335-dopady-pestovani-geneticky-modifikovanych-plodin.html>
- PRETEL, Jan, 2011. *Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření, TECHNICKÉ SHRNU TÍ VÝSLEDKŮ PROJEKTU v letech 2007–2011* [online]. Praha: Český hydrometeorologický úřad [cit. 2019-11-07]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/vav_TECHNICKE_SHRNU TI_2011.pdf
- PRETEL, Jan, 2012. *Klimatické změny a jejich dopady na život lidí* [online]. Zeměpis v nové perspektivě na OU. Ostrava [cit. 2019-10-26]. Dostupné z: <http://zemepisnove.osu.cz/wp-content/uploads/3.1.Klimatick%C3%A9-zm%C4%9Bny-a-jejich-dopady-na-%C5%BEivot-lid%C3%AD.pdf>
- PŘIBOVÁ, Marie, 1996. *Marketingový výzkum v praxi*. Praha: Grada, 238 s. ISBN 80-716-9299-9.
- QUASCHNING, Volker, 2010. *Renewable energy and climate change*. Hoboken, N.J.: Wiley. ISBN 978-0470747070.
- ROŽNOVSKÝ, Jaroslav, 2011. *Možné dopady měnícího se klimatu na zemědělství v ČR* [online]. Zpravodaj Ekozemědělci přírodě, **2011**(02), 19-20 [cit. 2019-11-13]. Dostupné z: https://aa.ecn.cz/img_upload/7331e1faea7fac726e0197358f83ecdd/bio1102_zpravodaj.pdf

- ŠIMEK, Miroslav a Jana MACKOVÁ, 2015. *Degradace půdy a emise skleníkových plynů z půd a ze zemědělství – nutné zlo?*. 1. vydání. Praha: Středisko společných činností AV ČR, v.v.i., pro Kancelář Akademie věd ČR, 46 s. ISBN 80-270-3115-X.
- ŠTĚDRONĚ, Bohumír, 2012. *Prognostické metody a jejich aplikace*. 1. vydání. V Praze: C.H. Beck, 224 s. Beckova edice ekonomie. ISBN 978-80-7179-174-4.
- TRNKA, Miroslav, 2009. *Climate-driven changes of production regions in Central Europe* [online]. Plant, Soil and Environment. **55**(6), 257-266 [cit. 2019-10-26]. DOI: 10.17221/1017-PSE. ISSN 12141178. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Miroslav_Trnka/publication/282297144_Climate-driven_changes_of_production_regions_in_Central_Europe/links/567f10f308ae19758389a47f/Climate-driven-changes-of-production-regions-in-Central-Europe.pdf
- TRNKA, Miroslav, 2015. *Průvodce změnou klimatu* [online]. Klimatická změna.cz. Brno: Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i. [cit. 2019-10-26]. Dostupné z: <https://www.klimatickazmena.cz/cs/vse-o-klimaticke-zmene/pruvodce-zmenou-klimatu/>
- VOPRAVIL, Jan, 2010. *Vývoj a degradace půd v podmínkách očekávaných změn klimatu. Voda v krajině*. Praha: Ministerstvo zemědělství, Celostátní síť pro venkov v nakl. Český hydrometeorologický ústav. ISBN 978-80-86690-79-7.
- VOŠTA, Milan, 2010. *Společná zemědělská politika EU a její aplikace v České republice* [online]. Současná Evropa. **2010**(02), 127-142 [cit. 2019-11-18]. Dostupné z: <https://sev.vse.cz/pdfs/sev/2010/02/07.pdf>
- VYSOUDIL, Miroslav, 2014. *Základy fyzické geografie 1: Meteorologie a klimatologie* [online]. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci [cit. 2019-10-29]. Dostupné z: <http://distgeo.upol.cz/uploads/vyuka/skripta-vysoudil.pdf>
- VÝZKUMNÝ ÚSTAV ZEMĚDĚLSKÉ EKONOMIKY, 2007. *Analýza adaptačních opatření na změnu klimatu na území ČR v oblasti zemědělství: výstup funkčního úkolu MZe* [online]. Brno [cit. 2019-11-16]. Dostupné z: http://user.mendelu.cz/xvlcek1/rrc/vuze/KLIMA_VUZE_low2007.pdf
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2019. *History of IMO* [online]. Ženeva, Švýcarsko: WMO [cit. 2019-10-29]. Dostupné z: <https://public.wmo.int/en/about-us/who-we-are/history-IMO>
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2018. *Greenhouse gas levels in atmosphere reach new record* [online]. Ženeva, Švýcarsko [cit. 2019-10-29]. Dostupné z:

<https://public.wmo.int/en/media/press-release/greenhouse-gas-levels-atmosphere-reach-new-record>

ZVÁRA, Karel, 2008. *Regrese*. Vyd. 1. Praha: Matfyzpress, 253 s. ISBN 978-80-7378-041-8.

ŽALUD, Zdeněk, 2009. *Očekávané dopady změny klimatu na zemědělskou produkci* [online]. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně [cit. 2019-11-07]. Dostupné z: http://www.ufa.cas.cz/dub/crop/2009-kukurice_v_praxi-zdenek.pdf

8 Seznam příloh

Příloha A – Tabulka s výpočty (vlastní zpracování)

priloha_A_vypocty.xlsx