

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a biometeorologie



Důsledky a rizika klimatické změny v zemědělství

Bakalářská práce

Autor práce: Josef Bištiak

Obor studia: Rostlinná produkce

Vedoucí práce: doc. Dr. Mgr. Vera Potopová

© 2018 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Důsledky a rizika klimatické změny v zemědělství" 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 literatury 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 10. 4. 2018

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucí své bakalářské práce doc. Vere Potopové za cenné připomínky a odborné vedení.

Rovněž děkuji své ženě Janě za stálou podporu ve studiu i při psaní této závěrečné práce.

Důsledky a rizika klimatické změny v zemědělství

Souhrn

Tato bakalářská práce se zaměřuje na identifikaci rizik a předpokládaných důsledků globální klimatické změny, především pak na další vývoj zemědělství v měnících se přírodních podmínkách, zvláště pak v kontextu agroklimatických poměrů České republiky.

První část práce shrnuje dostupná data o globálním vývoji klimatu a stanovuje východiska pro hodnocení vývoje klimatu v českých zemích. Poukazuje na současný stav zemědělství v ČR, stav krajiny a zemědělské půdy a skladbu a strukturu pěstovaných zemědělských plodin. Agrotechnika a způsob obdělávání půdy jsou také klíčové pro hodnocení připravenosti tohoto odvětví čelit převážně negativním dopadům změny klimatu.

Druhá část se věnuje konkrétním dopadům klimatické změny na růst a vývoj rostlin a na celkovou ekonomickou rentabilitu zemědělského podnikání. Postupující změny dokládá dostupnými daty IPCC, ČHMÚ i dalších institucí studujícími problematiku. Na základě uznávaných klimatologických modelů práce shrnuje možné scénáře dalšího vývoje teplotních a vláhových poměrů, úrodnosti půdy i jiných charakteristik podstatných pro úspěšnou a udržitelnou produkci v rámci odvětví, klíčových pro zajištění potravinové bezpečnosti.

Závěrečná část nastiňuje možnosti adaptace a omezení negativních dopadů na zemědělství, ať již se jedná o využití dříve opomíjených genetických zdrojů v rámci šlechtitelské praxe nebo aplikaci nových technologických postupů a uplatnění nových znalostí při obdělávání orné půdy, hospodaření s vodou a péči o naši krajinu.

Klíčová slova: klima, klimatická změna, plodiny, rostliny, zemědělství

The effects of climate change on agriculture

Summary

This bachelor thesis focuses on the identification of risks and the impacts of global climate change. It focuses also on the future development of agriculture in changing natural condition especially in the context of the Czech Republic agroclimatic conditions.

The first part of the thesis summarizes the available data about global climate development and provides the basis for evaluation of the climate development in the Czech lands. It points to the current state of agriculture in the Czech Republic and condition of soil and structure of cultivated agricultural crops. Agrotechnology and soil cultivation are also key to assessing the agriculture preparedness to face predominantly the negative impacts of climate change.

The second part focuses on the concrete impacts of climate change on plant growth and its relation to the economic profitability of the agricultural business. The progressive changes are documented by available data from the IPCC, the CHMI and other institutions studying the mentioned issue. On the basis of recognized climatological models it sets possible scenarios for further development of temperature and precipitation conditions and soil fertility and other characteristics essential for the successful and sustainable production and food security.

The final part outlines the possibilities for adaptation and reduction of negative impacts on agriculture. It is possible to use previously neglected genetic resources in breeding and to use the new technological procedures and new knowledge for cultivation of soil, water management and care of our landscape.

Keywords: climate, climate change, crops, plants, agriculture

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce.....	2
3	Klimatický systém Země	2
3.1	Základní pojmy	2
3.1.1	Radiační bilance Země a radiační (skleníkové) plyny.....	3
4	Modelování klimatu.....	4
4.1	Globální klimatické modely	4
4.2	Regionální klimatické modely.....	5
5	Pozorované změny klimatu v globálním měřítku a v Evropě.....	6
5.1	Teplota.....	8
5.2	Srážky.....	10
5.3	Produkce potravin.....	11
6	Pozorované změny klimatu na území ČR.....	11
6.1	Teplota.....	11
6.2	Vláhové poměry.....	14
6.3	Půda.....	14
7	Očekávaný vývoj klimatických poměrů v České republice.....	15
7.1	Klimatické modely a scénáře vývoje	15
8	Dopady klimatické změny na zemědělskou produkci v České republice.....	18
8.1	Dopady změny teplot.....	18
8.2	Dopady změn vláhových poměrů.....	20
8.3	Půda.....	22
8.4	Posun výrobních oblastí.....	22
8.5	Celkové ekonomické dopady na zemědělskou produkci	25
9	Mitigační a adaptační opatření.....	27
9.1	Mitigace	27
9.2	Emisní scénáře	28
9.3	Mitigační opatření v zemědělství	29
9.3.1	Používání hnojiv a zemědělských vstupů	30
9.3.2	Živočišná výroba.....	30
9.3.3	Hospodaření na půdě	31

9.4	Adaptace.....	32
9.5	Adaptační opatření v zemědělství.....	32
9.5.1	Pozemkové úpravy.....	33
9.5.2	Genetické zdroje, výzkum, šlechtění a zemědělské biotechnologie.....	33
9.5.3	Zalesňování a zatravňování	34
9.5.4	Ekologické zemědělství	34
9.5.5	Snížení eroze půdy.....	35
9.5.6	Opatření proti zemědělskému suchu.....	35
9.5.7	Ochrana biodiverzity.....	36
9.5.8	Diverzifikace zemědělství.....	36
9.5.9	Monitoring, analýza rizik a systémy včasné výstrahy	36
9.5.10	Řešení dopadů extrémních meteorologických jevů na zemědělské hospodářství 36	
9.5.11	Greening SZP.....	37
10	Závěr	38
11	Seznam použité literatury	39
12	Seznam použitých zkratk	45

1 Úvod

Stále více se v odborných i laických kruzích hovoří o klimatických změnách, které mohou ovlivnit a měnit prostředí a podmínky pro zemědělskou výrobu (Šarapatka et al., 2010).

Změna klimatu vždy patřila mezi hlavní faktory vývoje lidské společnosti. V posledních letech dochází ke zrychlování a zesilování těchto změn, které většina odborníků přičítá činností člověka, a při kterých se do atmosféry uvolňují skleníkové plyny. Hlavní hnací silou těchto globálních změn je nárůst emisí skleníkových plynů především z energetiky, průmyslu a dopravy. K nárůstu emisí však dochází ve všech odvětvích s výjimkou emisí a propadů z využívání krajiny, změn ve využívání krajiny a lesnictví. Obdobná shoda panuje i ohledně negativních dopadů změny klimatu a potřeby celosvětové včasné reakce (MŽP, 2017).

Vyšší teploty mohou umožnit pěstování plodin v chladnějších oblastech a vyšších polohách, naopak v teplých oblastech může docházet ke snižování produkce. Může dojít k dalšímu zhoršení nerovnováhy v produkci potravin v chladnějším a mírném pásmu a tropických a subtropických oblastech. Lze rovněž očekávat přímé důsledky globálních klimatických změn na fyziologii rostlin. Jde zejména o účinky zvyšující se koncentrace CO₂, troposférického ozónu a zvýšenou intenzitu UV záření v důsledku rozpadu stratosférického ozónu (Šarapatka et al., 2010).

Od 70. let 20. století je podle IPCC AR4 doložen zvýšený počet horkých extrémů (horkých dnů a nocí, vln horka) a méně extrémů studených a mrazivých. Zároveň se vyskytuje a vlivem zintenzivnění globálního hydrologického cyklu bude pokračovat častější výskyt intenzivních srážek v deštivých oblastech a delší a intenzivnější sucha v oblastech suchých. Tento posun je nerovnoměrný, ale bude pokračovat celosvětově – a trend více horkých a méně chladných extrémů platí i pro Českou republiku (Stejskal, 2012).

I když pro naši republiku scénáře vývoje klimatu neukazují na výrazné snížení celkových srážek, budou v následujících letech vyšší teploty spojené s intenzivnějším výparem a větším kolísáním srážek přinášet častější problémy s nedostatkem vody než dnes. Je přitom zřejmé, že problémem pro zemědělce není jen nedostatek vláhy, ale z velké míry i omezené možnosti předpovědět počasí pro delší časové období.

Bez ohledu na výsledek odborných a politických debat o příčinách nastupující změny klimatu, musí podnikatelé v rostlinné výrobě hledat nové postupy, jak omezit riziko dopadu nepříznivých faktorů prostředí na výnosy a kvalitu produkce (Haberle et al., 2008).

2 Cíl práce

Cílem této práce je především identifikovat rizika a dopady probíhající klimatické změny na pěstování zemědělských plodin v rámci České republiky a nastínit možné postupy pro minimalizaci negativních dopadů na zemědělskou produkci.

3 Klimatický systém Země

3.1 Základní pojmy

Klimatickou změnou se v klimatologickém pojetí (včetně Mezivládního panelu pro změnu klimatu, IPCC) rozumí veškeré změny klimatu, včetně jeho přirozené variability. Přirozenou a antropogenní složku od sebe nelze vzájemně oddělit, a proto je třeba pracovat s výslednicí obou složek (MŽP, 2015b). Rámcová úmluva o změně klimatu (UNFCCC) z roku 1992 definuje změnu klimatu takto: „změna klimatu, která je přisuzována přímo nebo nepřímo lidské aktivitě, jež mění složení globální atmosféry, a která je navíc k přirozené klimatické proměnlivosti pozorována po srovnatelné časové období“. Úmluva taktéž uvádí, že "nepříznivými účinky změny klimatu" se rozumějí takové změny ve fyzickém prostředí nebo v biotě v důsledku změny klimatu, které mají výrazně škodlivé účinky na složení, regenerační schopnosti či produktivitu přirozených a řízených ekosystémů, nebo na činnost sociálně-ekonomických systémů, nebo na lidské zdraví a blahobyt (UN, 1992).

Důležitou vlastností klimatického systému jsou tzv. zpětné vazby. V důsledku těchto vazeb se mohou anomálie, způsobené určitou počáteční poruchou, zesilovat (kladné zpětné vazby) nebo naopak zeslabovat (záporné zpětné vazby). Klasickým příkladem kladné zpětné vazby je vazba mezi teplotou vzduchu a rozsahem polárního zalednění. Pokles teploty může znamenat zvětšení rozsahu sněhové či ledové pokrývky, tedy zvýšení odrazivosti zemského povrchu, který odráží více sluneční energie než povrch bez sněhu a ledu, což vede k dalšímu poklesu teploty v okolí. Negativní zpětná vazba znamená, že změna jednoho parametru utlumuje parametr druhý. Příkladem je změna zalednění oceánu. Pokud se oteplí, část ledovců roztaje. Tím dojde k naředění slané oceánské vody a tato méně slaná voda zamrzá i při menším mrazu, takže se ledová pokrývky zase rychleji obnovuje. V klimatickém systému existuje nespočet pozitivních i negativních vazeb. Pozitivní systém spíše destabilizují, negativní stabilizují (Metelka a Tolasz, 2009).

3.1.1 Radiační bilance Země a radiační (skleníkové) plyny

Teplota naší planety je určována rovnováhou mezi energií přicházející od Slunce ve formě krátkovlnného záření a energií vyzařovanou Zemí do okolního vesmíru. Krátkovlnné sluneční záření prochází zemskou atmosférou a ohřívá zemský povrch. Dlouhovlnné záření zemského povrchu je z části atmosférou pohlcováno a opětovně vyzařováno. Část energie se tak vrací zpět k zemskému povrchu, který se společně s nejspodnějšími částmi atmosféry ohřívá. Tento jev je často přirovnáván k funkci skleníku, a proto se označuje jako skleníkový efekt a plyny, které jej způsobují, jsou nazývány skleníkovými plyny. Koncentrace skleníkových plynů jsou však v současnosti vysoko nad předindustriální úroveň (koncentrací kolem roku 1750) a stále narůstají. Klima je též ovlivňováno aerosolovými částicemi antropogenního původu, které sluneční energii rozptylují, odrážejí ji zpět do vesmíru, čímž naopak přispívají k ochlazení atmosféry (ČHMÚ, <http://portal.chmi.cz>).

Pro pochopení celého problému, je nutné si uvědomit, že naše planeta přijímá od Slunce energii a sama do vesmíru energii vyzařuje. Bilance obou toků za rok musí být vyrovnaná, neboť v opačném případě by se planeta zahřívala (bilance je kladná – více planeta přijme, než vydá) či ochlazovala (bilance je záporná – více planeta vydá, než pohltí). Pokud bilance není vyrovnaná, dochází postupně k jejímu srovnání a je otázka, jaká bude její výsledná bilanční teplota. Průměrná teplota naší planety je v současnosti těsně pod 15 °C. Tato teplota je i důsledkem schopnosti některých plynů pohlcovat v atmosféře radiaci vyzařovanou zemským povrchem. Pokud by plyny obsažené v atmosféře neměly možnost zachycovat dlouhovlnnou radiaci, byla by teplota na naší planetě výrazně nižší (asi – 18 °C). Přirozená přítomnost tohoto procesu je tedy pro výskyt života velmi pozitivní (CzechGlobe, <http://www.klimatickazmena.cz>).

Koncentrace skleníkových plynů je jedním z nejdůležitějších faktorů určujících energetickou bilanci Země (určuje množství záření, jež je atmosféra schopna pojmout). Její nadměrné zvyšování může vést k zesílení skleníkového efektu. Dalším důležitým faktorem je koncentrace aerosolů a jiných polutantů, jež má vliv jednak na množství energie, které může být absorbováno atmosférou, jednak ovlivňuje proces formování srážek a oblačnosti, a zamezuje tedy průniku slunečního záření k zemskému povrchu. Koncentrace skleníkových plynů i aerosolů je ovlivněna přirozenými faktory i lidskou činností (např. průmyslové emise). Složení atmosféry a jeho změny (související zejména se změnami emisí skleníkových plynů) tvoří v podobě tzv. emisních scénářů klíčový vstup globálních klimatických modelů (Hanel et al., 2011).

Dominantním faktorem, ovlivňujícím změny klimatu v posledních více než 100 letech, jsou změny složení zemské atmosféry, zejména nárůst koncentrací tzv. skleníkových plynů. Patří mezi ně zejména oxid uhličitý (CO₂), metan (CH₄), oxid dusný (N₂O), ale i některé freony nebo ozon (O₃). Všechny tyto plyny do určité míry blokuji infračervené vyzařování z atmosféry do kosmu a tím brání přirozenému „chlazení“ atmosféry. Důsledkem je pak postupné zvyšování teploty vzduchu prakticky v globálním měřítku – tzv. globální oteplování (Pondělíček a Šilhánková, 2016).

Nejdůležitějším skleníkovým plynem v atmosféře je vodní pára, která má na přirozeném skleníkovém efektu podíl 36–70 % (bez započtení vlivu oblačnosti). Skleníkový efekt má navíc pozitivní zpětnou vazbu právě na vodní páru. Samozřejmě čím vyšší teplota, tím vyšší je i výpar, tudíž také obsah vodní páry v atmosféře, a tedy i silnější skleníkový efekt – a to následně vede k dalšímu zvyšování teploty (Metelka a Tolasz, 2009).

4 Modelování klimatu

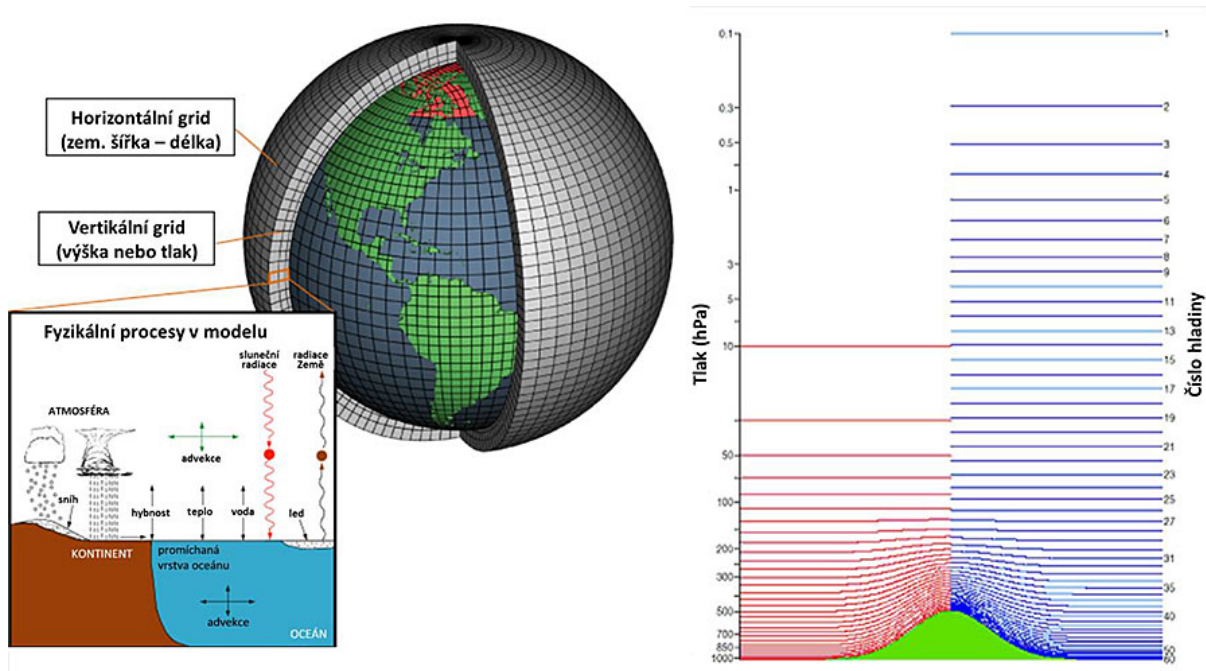
Odhady budoucího vývoje klimatu v souvislosti se zvyšováním koncentrace skleníkových plynů většinou vycházejí ze simulací (globálních či regionálních) klimatických modelů. Klimatický model lze definovat jako matematický popis klimatického systému založený na fyzikálních zákonech. Klimatický model zpravidla diskretizuje prostor do trojrozměrné výpočetní sítě s deseti a více vertikálními vrstvami a s horizontálním rozlišením řádově tisíců až stovek (globální klimatické modely) či stovek až desítek (regionální klimatické modely) kilometrů. V průběhu simulace modelu se řeší toky mezi jednotlivými výpočetními buňkami a zároveň se zjišťuje jejich stav (např. teplota, množství vody dostupné pro srážky atp.), přičemž se vychází zejména ze zákonů zachování hmoty, energie a hybnosti. Modely klimatu mohou být různě komplexní (tj. zahrnují různé procesy, řeší vývoj klimatu v různém počtu dimenzí, mají různé prostorové rozlišení atp.) (Hanel et al., 2011).

4.1 Globální klimatické modely

Nejpoužívanější typ klimatických modelů jsou modely všeobecné cirkulace atmosféry spojené s modelem oceánu. Často se používá zkratka GCM, což označuje buď „general circulation model“ anebo „global climate model“. Jedná se o počítačové modely klimatického systému. Jsou založeny na řešení pohybových a termodynamických rovnic, které popisují procesy v klimatickém systému, pomocí metod numerické matematiky. Jelikož řešení těchto rovnic je výpočetně velice náročné, k realizaci GCM je nutné použít ty nejrychlejší

superpočítače, které jsou v dnešní době k dispozici. Numerické řešení rovnic probíhá v síti tzv. gridových (uzlových) bodů a v různých vertikálních hladinách. Vzájemná horizontální vzdálenost uzlových bodů určuje horizontální rozlišení modelu (CzechGlobe, <http://www.klimatickazmena.cz>).

Obr. 1: Gridová síť globálního cirkulačního modelu (vlevo) a horizontálních vrstev modelu (vpravo).



Zdroj: CzechGlobe (<http://www.klimatickazmena.cz>)

4.2 Regionální klimatické modely

Vzhledem k poměrně hrubému prostorovému rozlišení nedokáží GCM věrně simulovat klima v regionálním měřítku. Proto se používají techniky tzv. downscalingu, tedy zmenšování měřítka. Jednou z možností, jak získat informace o klimatických charakteristikách na menších měřítkách než je to možné u GCM jsou regionální klimatické modely (RCM). Jedná se o modely atmosféry, podobné jako atmosférická část GCM, ovšem výpočet v tomto případě neprobíhá pro celou planetu Zemi, ale pouze na omezené oblasti (domény), např. pro území Střední Evropy. Tím je umožněno dosáhnout s danou výpočetní kapacitou většího rozlišení modelu, které se v současnosti pohybuje od 50 do 10 km (a dokonce i méně) (CzechGlobe, <http://www.klimatickazmena.cz>).

5 Pozorované změny klimatu v globálním měřítku a v Evropě

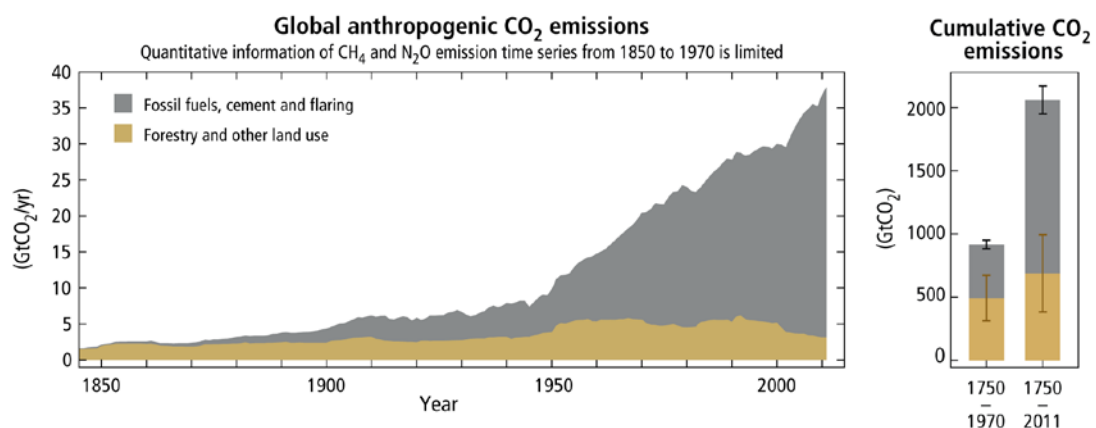
Pátá zpráva IPCC (AR5, 2013) považuje oteplování klimatického systému za nepochybné a od padesátých let minulého století nemá dle jejích závěrů řada pozorovaných změn období po celá desetiletí až tisíciletí. Atmosféra a oceán se oteplily, množství sněhu a ledu kleslo, hladina oceánu stoupla.

Systematická měření skleníkových plynů v atmosféře začala během posledních šesti dekad na různých místech zeměkoule a v různých časech. Dřívější koncentrace plynů v atmosféře (určují se pro rok 1750, toto období označujeme jako pre-industriální) byla a jsou rekonstruována pomocí analyzování vzduchu, který je zadržován v polárních ledovcových jádrech nebo v materiálu, který nazýváme firn (jedná se o přechodné stádium mezi sněhem a ledem, vzniká opakovaným roztáváním a mrznutím sněhu) (IPCC, 2013).

Atmosférické koncentrace oxidu uhličitého (CO₂), metanu a oxidů dusíku se zvýšily na úroveň nebyvalou za posledních minimálně 800 000 let. Koncentrace CO₂ se od preindustriálních dob zvýšily o 40 %, primárně v důsledku emisí z fosilních paliv a sekundárně v důsledku čistých emisí ze změn využívání půdy. Oceán absorboval zhruba 30 % emitovaného antropogenního oxidu uhličitého, což způsobuje jeho acidifikaci (IPCC, 2015).

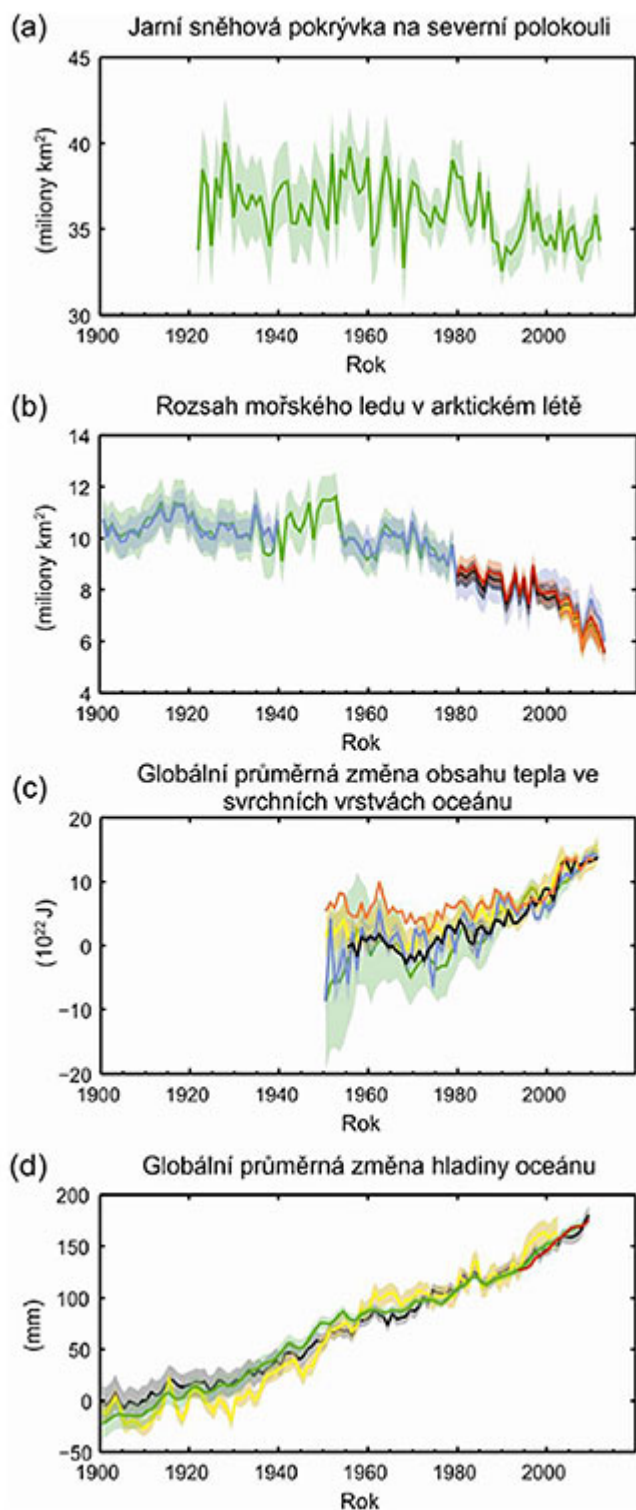
Očekávaná vyšší kyselost oceánu (kvůli větší koncentraci oxidu uhličitého, který reakcí s vodou vytváří slabou kyselinu uhličitou) bude mít zásadní vliv na mořské ekosystémy (postupně se zpomalí pohlcování uhlíku oceánem a vyšší teplota mořské vody může způsobit dodatečné uvolňování oxidu uhličitého do atmosféry). Změny v kvalitě ekosystémů budou mít dopad i na druhovou biodiverzitu. Při zvýšení průměrné globální teploty o 1,5 – 2,5 °C ohrožuje nevratné vymření zhruba 20–30 % druhů rostlin a živočichů (Metelka a Tolasz, 2009).

Obr. 2: Globální antropogenní emise CO₂



Zdroj: IPCC (AR5, 2015)

Obr. 3: Často pozorované ukazatele měnícího se globálního klimatu: (a) Průměrný rozsah sněhové pokrývky na severní polokouli v březnu-dubnu (jaro), (b) průměrný rozsah arktického mořského ledu v červenci-srpnu-září (léto), (c) změna průměrného globálního obsahu tepla ve svrchních vrstvách oceánu (0 - 700 m) zarovnané k období 2006-2010, vzhledem ke středním hodnotám ze všech databází za rok 1971, (d) globální průměrná hladina oceánu oproti průměrným hodnotám nejdelšího nepřetržitého datového souboru za období 1900-1905.



Zdroj: IPCC (AR5, 2015)

5.1 Teplota

Je jisté, že globální průměrná povrchová teplota se zvyšuje od konce 19. století. Všechny poslední tři dekády vykazovaly vyšší teploty nad zemským povrchem než všechny předcházející dekády, během kterých probíhalo přístrojové měření teploty. Zároveň první dekáda 21. století byla ta nejteplejší. V rámci vyhodnocení trendů povrchové teploty je možné rozdělit zeměkouli na oblasti souší a oceánů. Průměrná teplota souší (bývá označovaná jako LSAT – z angl. Land - Surface Air Temperature) se zvýšila během období přístrojových měření s tím, že míra oteplování je přibližně dvojnásobná, než míra oteplování nad oceány, a to od roku 1979 (IPCC, 2013).

Z hlediska zemědělství může být významné rostoucí teplotou dané prodloužení vegetačního období. To se však týká pouze oblastí s dostatkem srážek, např. severní Evropy. Jinde je efekt oteplení nulový, protože na vyprahlé půdě nic navíc nevyroste, zvláště pokud případné srážky vyvolají povodně. Potravinová bezpečnost je na klimatu silně závislá: teploty mají přímý vliv na šíření nálezů, hmyzích škůdců, plísní a virů. Zasažena bude i živočišná výroba. Oteplení, extrémní vedra, bouře a záplavy jsou ideálními podmínkami pro infekční nemoci (Stejskal, 2012).

Povrchová teplota moří (bývá označována jako SST – z angl. Sea Surface Temperature) a teplota vzduchu nad hladinou moře (bývá označováno jako MAT – z angl. Marine Air Temperature) se zvyšují od začátku 20. století. V posledních letech se výrazně zvýšila dostupnost a kompletnost dat a datových řad. Informace o SST jsou v současné době dostupné z různých zdrojů a získávány pomocí různých měřících metod (např. i satelitní data). Všechny tyto inovace přispívají k lepšímu pochopení a k odstranění nejistot, které v minulosti zhoršovaly výpovědní hodnotu těchto dat. Nicméně je v současné době jednoznačné, že povrchová teplota moří a teplota vzduchu nad hladinou moře se zvyšuje od konce 19. století a od roku 1950 (IPCC, 2013).

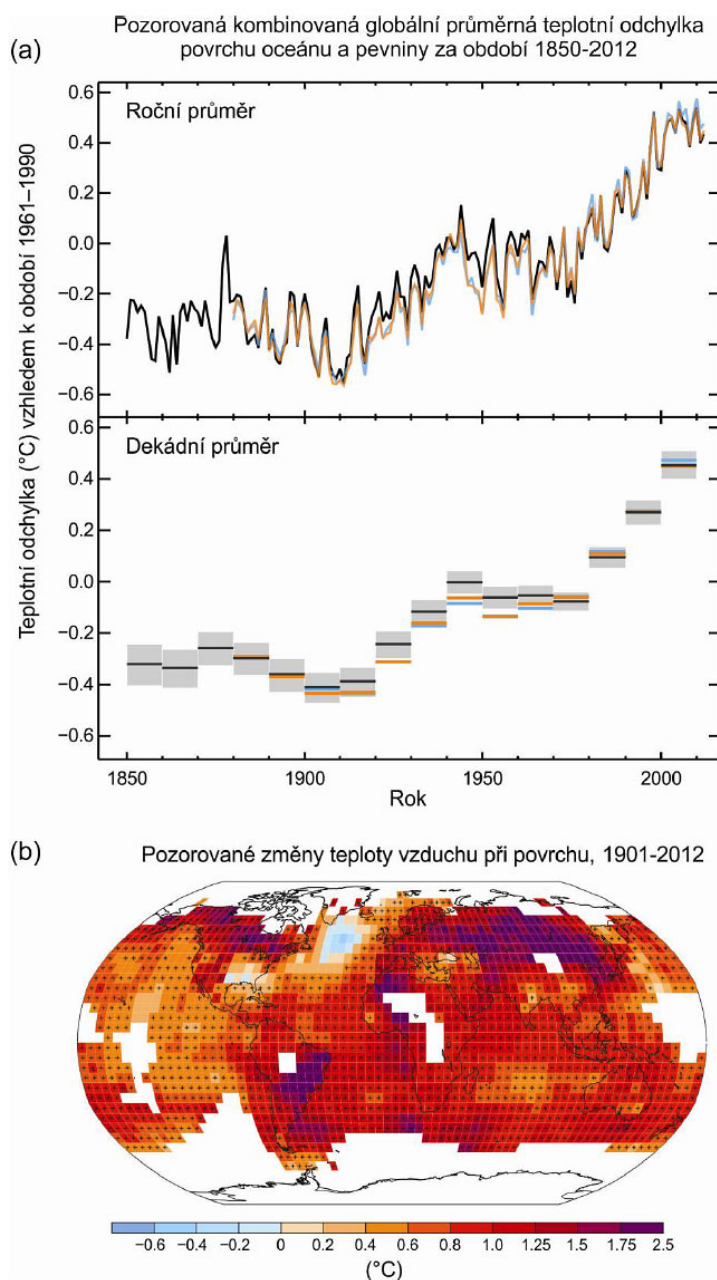
Zpráva EEA (2012) také uvádí, že se mimořádně rychle oteplují rychlá proudění jako v případě Golfského proudu. Teplota Golfského proudu se za uplynulých 100 let zvýšila dva až třikrát rychleji než teplota v Atlantském oceánu.

Lineární trend globální průměrné teploty, a to kombinované teploty povrchu souše a oceánů, potvrdil oteplování o 0.85 °C (v rozmezí od 0.65 do 1.06 °C) během období 1880-2012 (tyto výsledky vycházejí z několika nezávislých datových souborů) (IPCC, 2013).

Vlny veder jsou častější a delší a předpokládá se pokračování tohoto trendu. Pokud nebudou realizována adaptační opatření, mohl by podle projekcí v nadcházejících dekádách

nárůst veder způsobit nárůst počtu souvisejících úmrtí. Současně se však předpokládá úbytek úmrtí souvisejících s chladem. Chladné extrémny se v rámci Evropy vyskytují méně často, naopak narůstá počet tropických dní, přičemž také tyto trendy jsou předpokládány do budoucna (EEA, 2012).

Obr. 4: (a) Pozorované anomálie kombinované průměrné globální teploty povrchu souše a oceánu, od roku 1850 do roku 2012 ze tří souborů dat. Horní panel: roční průměrné hodnoty, dolní panel: průměrné dekádní hodnoty včetně odhadu neurčitosti u jednoho souboru dat (černá křivka). Anomálie jsou vztaženy k průměru za období 1961-1990. (b) Mapa pozorovaných změn teploty povrchu od roku 1901 do roku 2012.



Zdroj: IPCC (AR5, 2015)

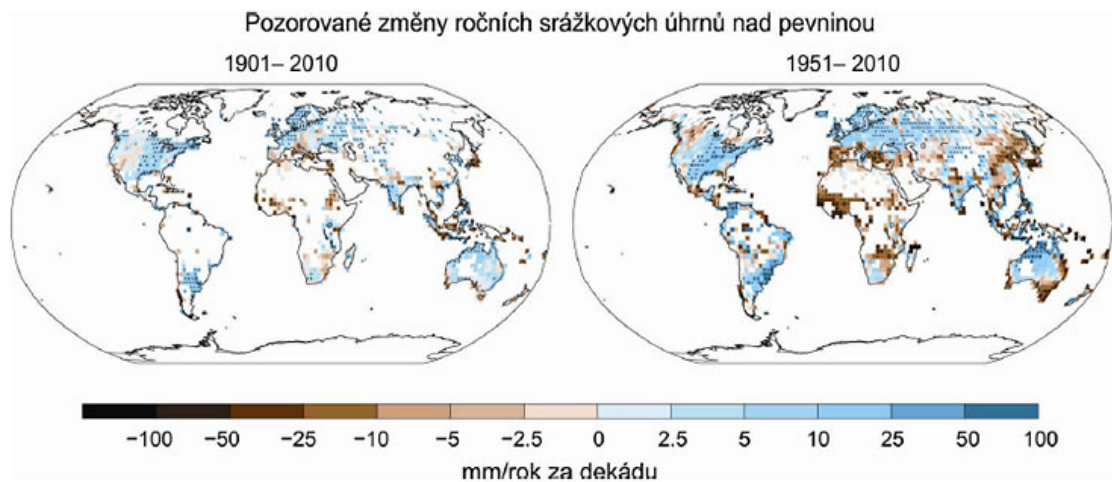
5.2 Srážky

Srážek v jižních oblastech ubývá, zatímco v severní Evropě se jejich množství zvyšuje a podle projekcí budou tyto trendy pokračovat. Současně se předpokládá nárůst počtu dnů s vyššími srážkami. Vzhledem ke skutečnosti, že vyšší teploty a srážky zvyšují intenzitu koloběhu vody, bude zejména v severní Evropě rozvodňování řek stále častějším jevem. V jižní Evropě se naopak zvyšuje frekvence a intenzita vysychání říčních toků a předpokládá se, že minimální stavy vody budou na říčních tocích v jižní Evropě v letním období významně klesat (EEA, 2012).

Zároveň se od roku 1950 vyskytuje vyšší počet silných srážek ve většině regionech zeměkoule. Toto zvyšování počtu silných úhrnů (jak četnost, tak intenzita srážek) je patrnější pro Severní Ameriku a Evropu. (IPCC, 2013).

Se srážkovými úhrny úzce souvisí nárůst extrémních meteorologických jevů, jako jsou dlouhá suchá období, přívalové deště, povodně, vlny horka apod. Očekává se, že výskyt intenzivních srážek bude sužovat zejména deštivé oblasti, zatímco sušší oblasti budou ve větší míře postihovat ještě razantnější období sucha (Stejskal, 2012).

Obr. 5: Mapy pozorované změny srážek od roku 1901 do roku 2010 a od roku 1951 do roku 2010.



Zdroj: IPCC (AR5, 2015)

5.3 Produkce potravin

Klesající výnosy zemědělských plodin, zvláště v Africe, mohou připravit stovky milionů lidí o možnost vyprodukovat nebo nakoupit dostatek potravin. Ve středních až vysokých zeměpisných šířkách se může výnos plodin při mírném nárůstu teploty (2–3 °C) zvýšit, ale s dalším oteplováním se bude snižovat. Při oteplení o 4 °C nebo vyšším bude pravděpodobně vážně postižena celosvětová produkce potravin (MŽP, 2007).

Ve venkovských oblastech se očekává výskyt závažných dopadů na dostupnost vody a její zásobování, potravinovou bezpečnost, infrastrukturu, příjmy ze zemědělství včetně změn produkčních oblastí potravin a nepotravinářských plodin na celém světě. Očekává se, že tyto dopady nerovnoměrně ovlivní životní podmínky chudých v zemědělských oblastech, jako jsou domácnosti samoživitelek a lidé s omezeným přístupem k půdě, k moderním zemědělským vstupům, k infrastruktuře a ke vzdělání. Pro většinu plodin (pšenice, rýže a kukuřice) v tropických a mírných oblastech se očekává, že změna klimatu bude mít negativní dopad na produkci při lokálním nárůstu teploty o 2 °C a více nad úroveň z konce 20. století, ačkoli z toho jednotlivé oblasti mohou mít prospěch (IPCC, 2015).

6 Pozorované změny klimatu na území ČR

Teplota vzduchu a srážkové úhrny jsou dvě základní klimatologické charakteristiky, které patří k nejvýznamnějším indikátorům vývoje regionálního klimatu a jeho změn (Pretel et al., 2011).

6.1 Teplota

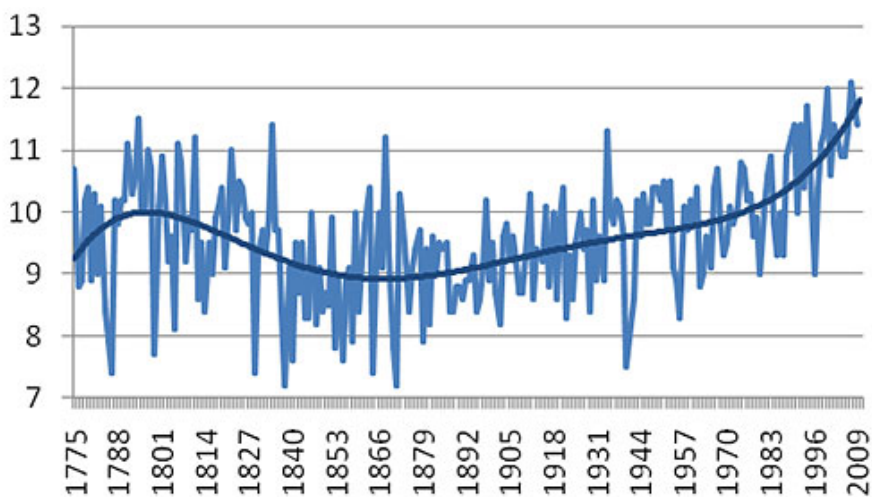
V České republice probíhá sledování teplotních charakteristik od 18. století v pražském Klementinu (teplota od r. 1775 a srážky od r. 1805). Z těchto dat lze vyvodit základní trendy pro území ČR. Co se týče průměrných teplot vzduchu, tak po nárůstu průměrné teploty v druhé polovině 18. století nastal pokles průměrných teplot, který se začal obracet k postupnému nárůstu od konce 19. století. Ten probíhá doposud, kdy při krátkém zpomalení v polovině 20. století se nárůst od osmdesátých let významně zrychlil, a to až do současného období. S tímto hlavním trendem víceméně souvisí také změna sezónních chodů teplot (ČHMÚ, 2011).

Pondělničková a Šilhánková (2006) uvádějí, že zaznamenaný růst teplot v rámci České republiky je však asi o polovinu rychlejší, než je tomu v globálním měřítku. Od poloviny 19. století se průměrné teploty v České republice zvýšily o cca 1,3 až 1,5 °C. Důvodem je skutečnost, že Česká republika leží na kontinentu severní polokoule. Oceány, díky velké tepelné kapacitě vody, totiž tlumí veškeré teplotní výkyvy. Na jižní polokouli, která je oceány pokryta

výrazně více než severní, jsou tedy teplotní změny pomalejší a na severní polokouli naopak rychlejší, než by odpovídalo globálnímu průměru.

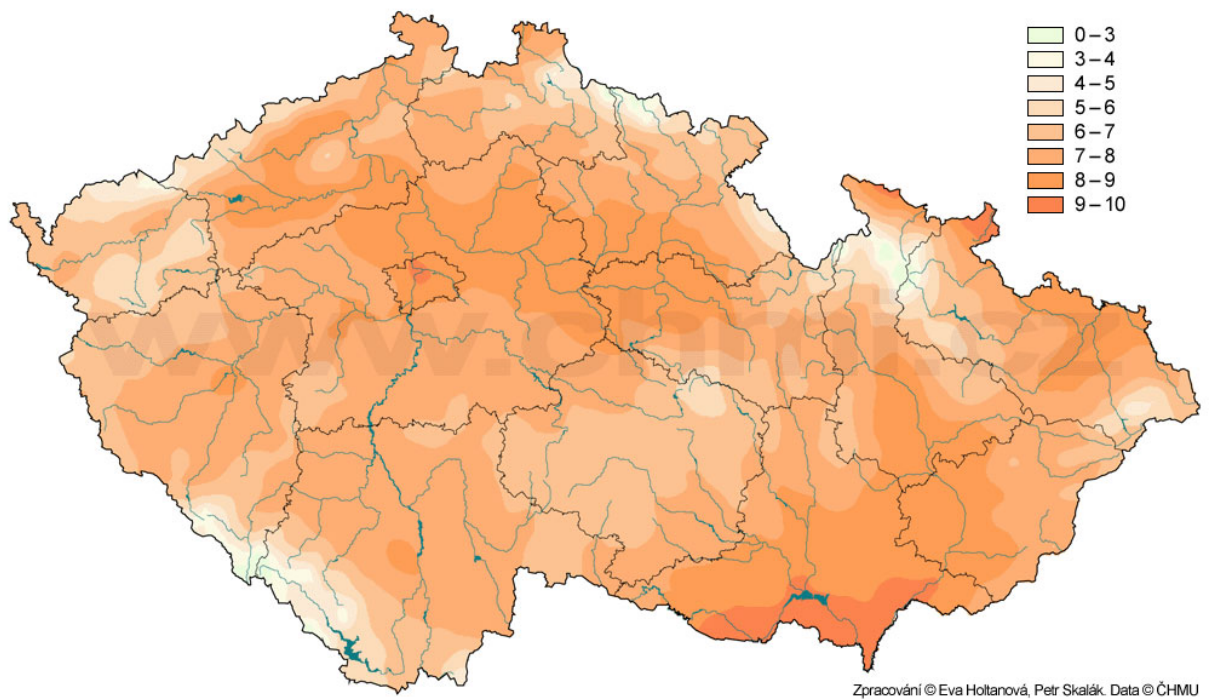
Průměrné roční počty jednotlivých dní s mezními teplotami v období 1961 – 2010 ukazují, že v posledních dvou desetiletích došlo na území ČR na jedné straně ke zvýšení průměrných počtů dní s vysokými (letní a tropické dny, tropické noci a dny s TMA ≥ 35 °C), na druhé straně ke snížení průměrných počtů dní s nízkými teplotami (mrazové, ledové a arktické dny), což je v souladu s postupným nárůstem teplot na našem území a se zvyšující se teplotní extremalitou. Významnější rozdíly mezi Čechami a Moravou v teplé polovině roku nebyly zaznamenány, v chladném období došlo k nepatrně vyššímu poklesu počtu mrazových dní na území Čech (ČHMÚ, 2011).

Obr. 6: Průběh průměrných ročních teplot vzduchu (°C) v období 1775–2010 na stanici Praha - Klementinum



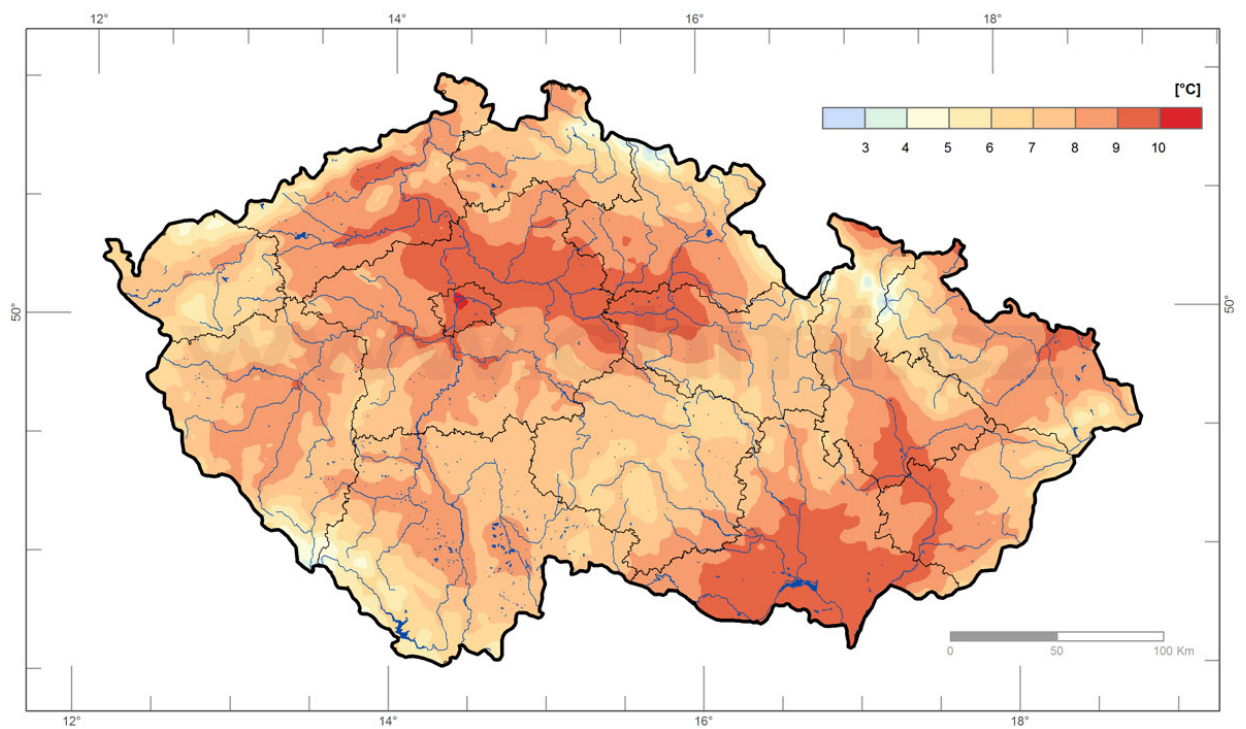
Zdroj: ČHMÚ (<http://portal.chmi.cz/>)

Obr. 7: Průměrná roční teplota vzduchu na území ČR v letech 1961 – 1990



Zdroj: ČHMÚ (<http://portal.chmi.cz/>)

Obr. 8: Průměrná roční teplota vzduchu na území ČR v letech 1981 – 2010



Zdroj: ČHMÚ (<http://portal.chmi.cz/>)

6.2 Vláhové poměry

V současné době jsou odvětví zemědělství a vodohospodářství v ČR velmi náchylné na události sucha. Zvyšující se závažnost sucha může způsobit nežádoucí účinky, jako je snížení množství a kvality vodních zdrojů a snížení výnosů. Zatímco události sucha byly studovány rozsáhle, je omezená diskuse o účincích sucha na variaci výnosů jednotlivých plodin (Potop et al., 2010).

Jak uvádí Potop (2008), v posledních desetiletích způsobují silnější sucha výrazné ekonomické škody, a to zvláště v zemědělství. Již na začátku 21. století se projevila tři mimořádná sucha. V roce 2006 byla zjištěna nerovnoměrná distribuce srážek a také střídání horkých a suchých měsíců se studenými a vlhkými. Je známo, že sucho má kumulativní charakter. Proto byly již na konci roku 2005, zaznamenané podmínky s deficitem půdní vláh v důsledku meteorologického sucha. Sucho v měsících říjnu a listopadu (v roce 2005) mělo negativní vliv na ozimy.

Další sucho se projevilo v roce 2007; bylo relativně krátké (duben), avšak s výrazným negativním vlivem, a to zejména na plodiny z jarních výsevů. Jarní sucho nastalo v důsledku nízké zimní zásoby vody v půdě a velmi slabých srážek i nadnormální vysoké teploty vzduchu v dubnu na celém území (Potop, 2008).

6.3 Půda

Současný stav zemědělských půd v ČR není s ohledem na charakter a kvalitu ploch příliš příznivý, což je dáno především značným úbytkem půdní organické hmoty (POH) v důsledku nízké aplikace statkových hnojiv, eroze půdy a dalších faktorů. Přitom obsah POH v půdě sehrává významnou roli i pro půdní vlhkost, neboť mj. omezuje rychlost prohřívání a následně i vysychání půdy v letním období; v zimním období nižší tepelnou vodivostí zmenšuje hloubku promrznutí půdy. Kromě toho POH představuje významný příspěvek k vázání uhlíku, který by jinak mohl být mikrobiálními procesy emitován do atmosféry ve formě skleníkových plynů (MZe, 2011).

Je nutné zdůraznit, že jsme v posledních letech zažili několik extrémních stavů počasí. Došlo k mimořádným výskytům srážek a následně výskytu plošných povodní v letech 1997, 2002 a díky rychlému tání vysoké sněhové pokrývky i v roce 2006. Rok 2010 byl srážkově nadnormální a vyskytl se vysoký počet lokálních povodní z přívalových dešťů. Naopak v letech 2000, 2003 a 2007 roce došlo k výskytu mimořádného sucha díky extrémně nízkým úhrnům

srážek a dlouhým bezsrážkovým obdobím. S ohledem na půdy se oba stavy, tedy povodně i sucho, podílí na výskytu eroze půdy, jako významného degradačního činitele (VÚMOP, 2012).

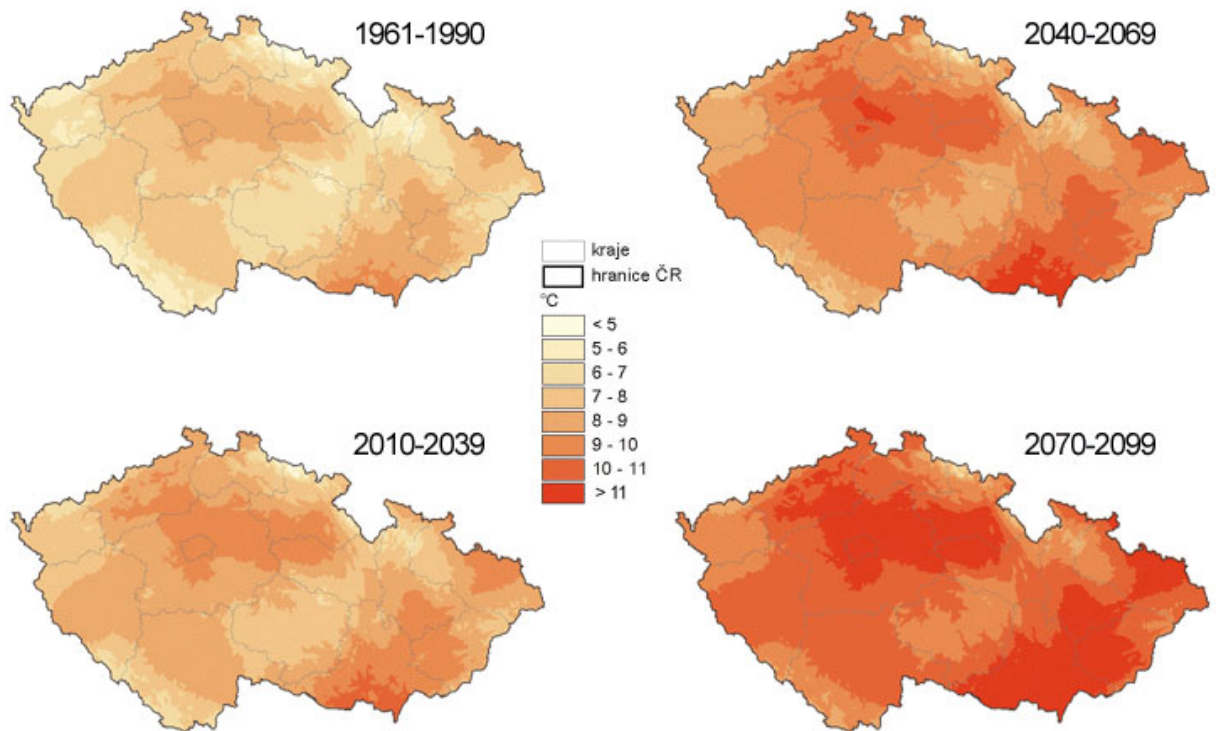
7 Očekávaný vývoj klimatických poměrů v České republice

7.1 Klimatické modely a scénáře vývoje

Do roku 2007 čerpala většina projektů zabývajících se odhady dopadů změny klimatu na různé sektory hospodářství v České republice z globálních modelů (GCM). Použitelnost výstupů GCM pro vytváření scénářů změny klimatu v malých regionech je však omezena jejich hrubým rozlišením. GCM jsou schopny zachytit podstatné rysy průměrných klimatických charakteristik v makroměřítku, nelze od nich např. očekávat zachycení vlivu složité orografie ČR na atmosférické srážky či teplotu vzduchu (ČHMÚ, 2011).

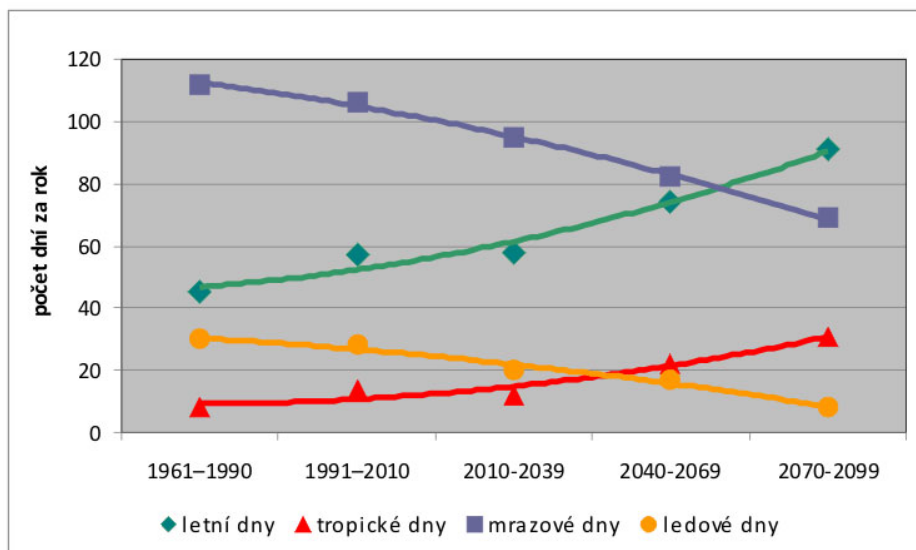
Při konstrukci regionálních scénářů změny klimatu je třeba zohlednit řadu nejistot. Doporučuje se proto zvolit pro scénáře více než jeden klimatický model, aby se pokryla neurčitost spojená s rozptylem výstupů modelů. Je nutno rovněž zvolit příslušný emisní scénář růstu emisí skleníkových plynů, popř. antropogenních aerosolů (ČHMÚ, <http://portal.chmi.cz>).

Obř. 9: Dlouhodobé průměry ročních teplot vzduchu (°C) v referenčním a ve scénářových obdobích



Zdroj: ČHMÚ (<http://portal.chmi.cz>)

Obř. 10: Změny průměrných počtů dní s mezními teplotami ve scénářových obdobích vzhledem k referenčnímu období



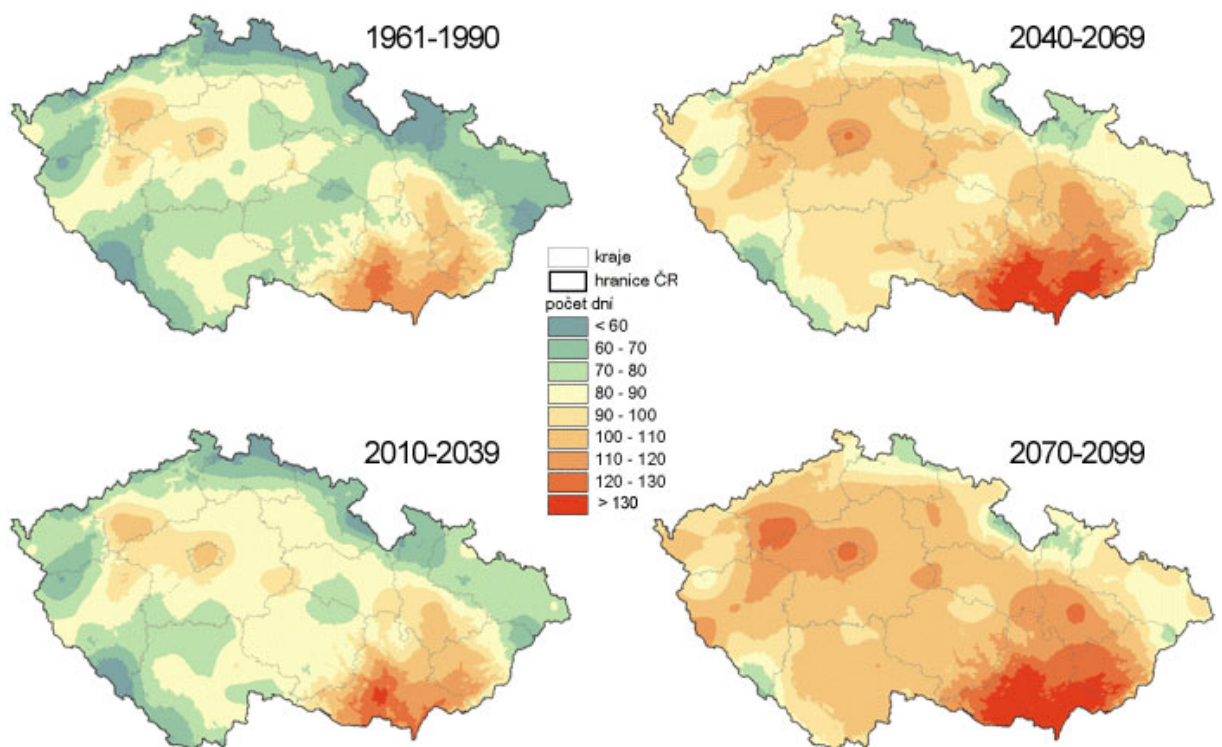
Zdroj: ČHMÚ (<http://portal.chmi.cz>)

Tab. 1: Změny průměrných počtů dní s mezními teplotami ve scénářových obdobích vzhledem k referenčnímu období

	2010-2039	2040-2069	2070-2099
letní dny	13	29	46
tropické dny	4	14	23
tropické noci	0	1	4
mrazové dny	-17	-30	-43
ledové dny	-10	-13	-22
arktické dny	-1	-1	-1

Zdroj: ČHMÚ (<http://portal.chmi.cz>)

Obr. 11. Dlouhodobé průměry počtu dnů bezesrážkového období v referenčním a ve scénářových



Zdroj: ČHMÚ (<http://portal.chmi.cz>)

8 Dopady klimatické změny na zemědělskou produkci v České republice

Mezi primární důsledky globálního oteplování patří především narušení hydrologických systémů – tedy vše, co souvisí s vodou. Na vodu, její ničivost a nedostatek jsou navázány problémy zemědělství a produkce potravin (Stejskal, 2012).

Očekávaná klimatická změna způsobí pravděpodobně aridizaci klimatu v Evropě, a to nejenom ve Středomoří, ale rovněž v oblasti střední Evropy s nevyhnutelnými následky pro země bez významnějších náhradních zdrojů vody mimo atmosférických srážek (jako je i ČR).

Změna hospodaření s vodními zdroji v krajině je nutná, s globální klimatickou změnou pravděpodobně několikanásobně vzroste také pravděpodobnost výskytu skutečně devastujících epizod sucha. Regiony ČR, které jsou tímto vývojem ohroženy nejbezprostředněji, jsou oblast jižní Moravy a Polabí (VÚZE, 2007).

Dopady lze pozorovat především v primární produkci rostlinné výroby, a to jednak přímým ovlivněním růstu a vývoje rostlin (např. změna trvání fenologických fází, výskyt chorob a škůdců) a následně změnou agroklimatických (stanovištních) podmínek (např. posunu výrobních oblastí, výskytu sucha). Nárůst teploty způsobí dřívější začátek vegetační sezóny, což otevře delší okno pro vpády studeného vzduchu a poškození jarními mrazíky nejen v oblasti ovocnářství a vinohradnictví. V případě, že budou teplejší zimy, nedojde k akumulaci vody ve sněhu, ale k jejímu odtoku, v teplejších zimách se více vody vypaří a následkem toho může být neúplné jarní nasycení půdního profilu (MŽP, 2015b).

Těžiště primární zemědělské produkce se bude posunovat do vyšších nadmořských výšek, neboť v nejnižších polohách bude přibývat suchých půdně vlhkostních (hydrických) režimů. Poklesne produkční potenciál kukuřičné i řepařské výrobní oblasti a vzroste v oblastech obilnářské a bramborářské, kde kromě sněhové pokrývky zabraňující vyzimování ozimů bude i relativní dostatek srážek v jarním období. V důsledku déle trvajícího sucha v kombinaci s nevhodným obhospodařováním bude část zemědělské půdy vystavena zvýšené degradaci a projevům eroze, což ve výsledku povede k dalšímu snížení produkčního potenciálu. V období sucha lze také očekávat zvýšený výskyt požárů při žňových pracích (MŽP, 2017).

8.1 Dopady změny teplot

Především nižší oblasti budou stále častěji ohroženy epizodami zemědělského sucha s výraznými dopady na formování výnosotvorných prvků jednotlivých plodin a následně na velikost a kvalitu výnosů. Jejich produkční potenciál se bude trvale snižovat oproti vyšším

nadmořským výškám. Vyšší teploty způsobí dřívější začátek vegetační sezóny, což otevře delší okno pro vpády studeného vzduchu a poškození jarními mrazíky nejen v oblasti ovocnářství a vinohradnictví. V případě, že budou teplejší zimy, nedojde k akumulaci vody ve sněhu, ale k jejímu odtoku, v teplejších zimách se více vody vypaří a následkem toho může být neúplné jarní nasycení půdního profilu, což povede k předčasnému vyčerpání vody vegetací a znásobení sucha zapříčiněného vyšší teplotou v jarních měsících (MŽP, 2017).

Vzhledem k narůstající proměnlivosti teplot v průběhu chladných období se projevují velmi škodlivé vpády arktického vzduchu po předcházejícím oteplení, které vyvolává zahájení fyziologické aktivity rostlin. V probíhající změně klimatu statisticky průkazně rostou průměrné teploty vzduchu, ale zároveň se nám mění jejich extremita. To se může projevovat v chladném půlroce při změnách výskytu dnů s nízkými teplotami vzduchu, kdy sice průměrné teploty vzduchu v zimě porostou, ale výskyt dnů s extrémně nízkou teplotou vzduchu se měnit nemusí. Pozitivní informací je, že počet dnů s minimální teplotou pod bod mrazu na jaře bude ubývat i v budoucnosti, ale překvapivě riziko pozdních mrazů paradoxně stoupne. Příčinou je to, že díky postupnému oteplování a zkracování zimní sezóny a prodlužování vegetační sezóny se nastartuje vegetace dříve, než tomu bylo v minulosti. Dříve nastanou teplé jarní dny a vegetace v dubnu bude již v pokročilejším vývojovém stádiu. Do toho ale může přijít vpád velmi studeného až arktického vzduchu od severu, který přinese na přechodně krátkou dobu velmi nízké teploty vzduchu, které v noci mohou klesat i hlouběji pod bod mrazu. Díky tomu dojde k nezvratnému poškození vegetace (Zahradníček et al., 2017).

Průběh teplot určuje vývoj plodin a tím i načasování většiny agrotechnických operací. Nárůst teploty přináší jak nové možnosti, tak rizika pro určité skupiny plodin. Vyšší teploty vyvolávají rychlejší vývoj plodin, který též ovlivní organizace práce (např. například výsev řepky je limitován včasnou sklizní předplodiny). Současně se vyskytují i určitá rizika, např. kratší doba růstu, předčasný vývoj ozimů na podzim s vyšším rizikem chorob (viróz), nedostatečné otužení ozimů a poškození epizodami vpádu studeného vzduchu v zimě a na jaře. Za významné lze rovněž považovat možné problémy s fertilitou pylu, vlivy vysokých teplot na vývoj semen či odlišnou dynamiku vývoje chorob, škůdců a plevelů (ČHMÚ, 2011).

K pozitivním důsledkům změny klimatu na zemědělskou výrobu patří prodloužení bezmrazového období o 20–30 dnů a posunutí počátku vegetačního období v nejteplejších oblastech na začátek března a konce až do závěru října. Vyšší teploty vzduchu prodlouží vegetační období a ovlivní růst a vývoj plodin tak, že umožní dřívější vzcházení a nástupy dalších fenofází, takže oproti současnému stavu by období zrání či sklizně mohlo být uspišeno nejméně o 10 – 14 dnů. (MZe, 2011).

Předpokládá se, že délka vegetačního období v celé České republice bude v letech 2070 – 2099 o 41 dní delší než v období 1961–1990. V období 2010–2039 (nadmořské výšky 300–400 m) bude délka vegetačního období 234 dní, v období 2040–2069 246 dní. Předností bude rozšíření nových druhů teplomilných plodin, zelenin a ovocných dřevin, zlepšené podmínky pro celoroční pastvu. (ČHMÚ, 2011).

Existuje však i vážné nebezpečí teplotního stresu spojené s častějším výskytem extrémně vysokých teplot. Při předpokládaném nárůstu výparu a bez výraznějšího zvýšení atmosférických srážek budou ve větší míře ohroženy suchem podstatné části střední a jižní Moravy, střední a severozápadní Čechy, dolní a střední Polabí a Povolaví, což by se mohlo negativně promítnout na vyšší výnosů v našich nejproduktivnějších zemědělských oblastech. V nejteplejších podmínkách a na extrémně vlhkých půdách lze předpokládat vznik lokalit nevhodných pro zemědělskou produkci (MZe, 2011).

Lhotka et al. (2017) ve své studii zmiňují také nejistoty spojené s predikcí teplých vln a vln veder ve střední Evropě na základě souboru simulací regionálních klimatických modelů (RCM) za období 1970 – 1999. Vycházejí přitom z projektů Euro - CORDEX a ENSEMBLES (<http://ensemblesrt3.dmi.dk/>).

V blízké budoucnosti (2020–2049) modely simulují dvojnásobnou četnost horkých vln v porovnání s historickým obdobím. Nejistota vychází převážně z výběru RCM a GCM modelů, protože tento nárůst je podobný pro všechny scénáře koncentrací skleníkových plynů (Lhotka et al., 2017).

Orth et al. (2016) zpochybňují dosavadní predikce srážek na příkladu mimořádně suchého léta roku 2015. Uvádějí, že rozsáhlé vlny veder v letech 2003, 2010 i v roce 2015 byly sice v souladu s obecně předpovídanými nárůsty frekvence a rozsahu extrémních teplot, avšak rok 2015 byl zcela bezprecedentní z hlediska deficitu srážek a svým charakterem je spíše typický pro středomořské oblasti. Dle jejich závěrů mohou být budoucí sucha vážnější a silnější než se prozatím předpokládalo v celém modelovém souboru IPCC AR5.

Také Štěpánek et al. (2016) v roce 2015 identifikovali v ČR 35-40 tropických dnů, což bylo více, než predikuje většina modelů Euro - CORDEX do konce 21. století.

8.2 Dopady změn vláhových poměrů

Díky vyšším teplotám lze také očekávat více srážek v podobě deště, což způsobí nižší akumulaci vody ve sněhové pokrývce, popř. i její tání (Potopová et al., 2016). Dojde ke snížení množství vody, které se z ní při tání může uvolnit na začátku vegetačního období (Brázdil et al. 2015). Sucho, které je statisticky vyhodnoceno jako výjimečné, má potenciál vytlačit

ekosystém mimo hranice stanovené jeho přirozenou tolerancí k vodnímu stresu. Extrémní sucha, v člověkem utvářeném prostředí, nelze považovat za zcela přírodní jev, ve skutečnosti lidská činnost aktivně ovlivňuje vznik, šíření a míru sucha (Potopová et al., 2017a).

Loon et al. (2016) tvrdí, že pro úspěšný management sucha v antropocénu musí být do definice sucha plně integrován také lidský faktor. Pro shrnutí lze říci, že zemědělské a hydrologické sucho je důsledkem nízkých vstupů do hydrologického systému (např. nedostatek srážek, tání sněhu, zavlažování), vysokých výstupů (např. vysoká evapotranspirace a lidská spotřeba vody) a omezeného ukládání vody (retenční schopnost krajiny, podzemních vod a nádrží). Z toho vyplývá, že lidská činnost ovlivňuje vstupní, výstupní a retenční parametry hospodaření s vodou a vede ke změnám šíření sucha. V případě absence přírodních regulačních mechanismů může být i samotnou příčinou vzniku sucha.

Pro predikci sucha musíme pochopit, jak je deficit srážek transformován do zemědělského a hydrologického sucha, a následně jak lidská činnost pozitivně i negativně ovlivňuje tuto transformaci (Potopová et al., 2017a).

Faktory spojené s vlivem lidské činnosti na klimatický systém zahrnují především emise skleníkových plynů a aerosolů, ale také změny ve využívání povrchu. Nejistotu v budoucím vývoji emisí skleníkových plynů a aerosolů lze hodnotit pomocí modelových simulací pro různé emisní scénáře (Holtanová a Kalvová, 2015).

Jedná se o alternativní možnosti vývoje společnosti a předpokládaných emisí. V současné době se již využívají aktualizované tzv. Reprezentativní směry vývoje koncentrací (RCP), tj. série čtyř nových scénářů vývoje koncentrací skleníkových plynů.

Pro analýzu budoucího vývoje sucha a dopadu globálního oteplování na meteorologické, zemědělské a hydrologické sucho na území ČR byly použity nejnovější výstupy z iniciativy Euro - CORDEX (www.euro-cordex.net). Příspěvek se zaměřuje na analýzu změny v rozložení četnosti, délky trvání a závažnosti sucha v různých časových měřítkách pro historické i budoucí běhy regionálních klimatických modelů z aktivity Euro - CORDEX. Analýzy v práci Potopová et al. (2017) jsou založeny na experimentech se scénáři vývoje skleníkových plynů RCP4.5 a RCP8.5 v budoucích obdobích 2041 - 2070 a 2071 - 2100 včetně referenčního období 1981 - 2010.

Z nových dostupných korigovaných modelů Euro - CORDEX vyplývá, že do roku 2050 stoupne teplota vzduchu zhruba o 1 °C oproti období 1981 - 2010, avšak na konci století dojde dle RCP4.5 ke zvýšení průměrné roční teploty vzduchu o 2,0 °C, resp. o 4,1 °C dle RCP8.5. V rámci jednotlivých sezón má dojít k největší změně v zimním období. Ke konci století pak bude podle RCP8.5 nárůst teploty vzduchu v zimě až o 4,9 °C. U ročního úhrnu srážek dojde

k navýšení od 7 % (2021 - 2040) do 13 % (konec 21. století) pro RCP4.5, a od 6 % do 16 % pro RCP8.5. Největší změna nastane v zimě, kdy ke konci století dojde k navýšení o 35 %, nejmenší změna je pak očekávána v letních měsících.

Pro Českou republiku se nejnovější výstupy klimatických modelů (Euro - CORDEX) shodují, že bude nadále docházet k nárůstu teploty vzduchu, a to v závislosti emisním scénáři. Do roku 2050 bude nárůst teploty stejný bez ohledu na emisní scénáře, jelikož krajina již nestihne reagovat na změny koncentrací skleníkových plynů. Avšak vývoj teploty v druhé polovině století je již na daném emisním scénáři závislý. Predikce klimatických modelů do budoucna se ve srážkových úhrnech shodují se současným stavem. Tedy bude převládat velká variabilita nad prokazatelným trendem. V posledních letech je zvláště pozorován rozdíl v redistribuci srážek. Roste množství intenzivních dešťů, převážně v létě, spojený s konvektivní činností a oproti tomu se prodlužují bezesrážková období (Potopová et al., 2017b).

8.3 Půda

V případě, že se nebudou důsledně aplikovat protierozní opatření, lze očekávat při vyšším výskytu intenzivních srážek často dopadající na vyschlou půdu, výrazně intenzivnější erozní projevy. Tomu často napomáhá monotónnost a jednostranná zaměřenost naší rostlinné výroby, kdy například pěstování kukuřice pro bioplynové stanice je realizováno v nevhodných (kopcovitých oblastech). Navíc v regionech, které již v současnosti vnímáme jako suché, zásadně narůstá pravděpodobnost výskytu sezónního vyčerpání dostupné půdní vláhly (v letních měsících), jež je poměrně typické pro středomořské klima. Z půdních procesů se očekává zvýšení mineralizace, a to díky vyššímu vysušování půdního profilu, zvýšení provzdušení a oxidaci půdního materiálu. Tento proces však bude částečně kompenzován hromaděním půdní organické hmoty díky vyšší koncentraci CO₂ a současného zvýšení teploty. Zvýší se i fotosyntéza a dojde ke zvýšení růstového indexu a účinnosti využití vody vegetací (Ekotoxa, 2015).

8.4 Posun výrobních oblastí

Vztah zemědělství ke klimatu je mnohoznačný. Na jednu stranu přispívá ke změně klimatu negativním vlivem na vodní režim krajiny. Na stranu druhou některé dopady změny klimatu mohou být pro hospodaření v zemědělství v oblasti střední Evropy i pozitivní (například rozšíření některých výrobních oblastí) (MZe, 2011).

Na první pohled je změna v agroklimatických podmínkách relativně příznivá, neboť zóny se sub-optimálními teplotami (pícninářská a obilnářsko-bramborářská) jsou střídány

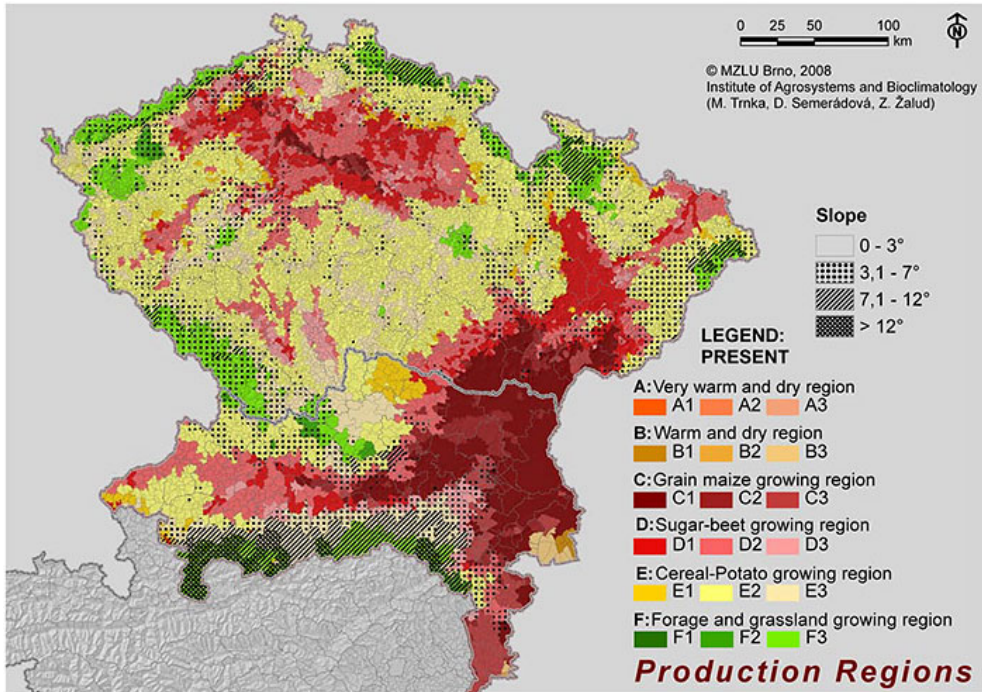
oblastmi s lepším klimatem řepařské výrobní oblasti. Sice teplotní podmínky v „nových oblastech“ budou příznivě, ale limitujícím faktorem bude úrodnost půd a dostupnost pozemků při využívání mechanizace. Existuje riziko snížení potenciální produktivity klíčových zemědělských oblastí v ČR, neboť v důsledku nedostatku vláhy klesá efektivní délka vegetační sezóny. Naopak ve vyšších polohách s relativním dostatkem vláhy hodnota roste, ale zemědělská produkce ve vyšších polohách nebude schopna v dlouhodobém časovém horizontu vykrývat výpadky nižších poloh. Pěstování plodin bez využití závlah se postupně bude stávat v nížinách nerentabilní za předpokladu realizace projekce scénářů vývoje budoucího klimatu. Na druhé straně lze očekávat, že oblasti doposud produkčně okrajové (např. Českomoravská vrchovina) budou z této změny do jisté míry profitovat, neboť odpadne řada klimatických limitů pro pěstování zemědělských plodin (EKOTOXA, 2015).

Trnka et al. (2009) ve své práci doplňují dosavadní rozdělení agroklimatických zón, tak jak je dosud užíváno v České republice a v Rakousku. Odhadují možné dopady klimatické změny na prostorové rozložení agroklimatických podmínek v obou zemích. Z jejich závěrů vyplývá, že kombinace zvýšené teploty vzduchu a změny v množství a rozložení srážek povedou k významným posunům agroklimatických zón do roku 2020. Současné nejproduktivnější oblasti budou degradovány a nahrazeny teplejšími a suššími, pro zemědělství méně vhodnými.

U všech použitých scénářů budoucího vývoje vypořádat společné tendence. Ve všech případech bude oblast agroklimatické zóny E 1-3 výrazně na ústupu a do roku 2050 nahrazena zónami D, C a v některých případech suchou a teplou zónou B. Podíl zóny F klesne do roku 2020 o polovinu a téměř vymizí do roku 2050 kvůli velkým nedostatkům vody během léta. Pokud jde o neproduktivnější podoblast D1, která je optimální pro produkci cukrové řepy (a vhodná téměř pro jakoukoliv plodinu) a která je také, kromě příznivého klimatu, charakterizována kvalitní půdou a relativně rovným terénem, bude právě ona výrazně ovlivněna změnami. Dle všech scénářů se rozloha subregionu D1 sníží ze současných 8,1 % až na 0,8 – 2,7 %. Současně dojde k ústupu chladnějších a vlhčích agroklimatických zón E a F, jejich nahrazení zónou D a rychlou expanzí oblasti C. Zóna C se stane dominantní zónou na příštích několik desetiletí (Trnka et al., 2009).

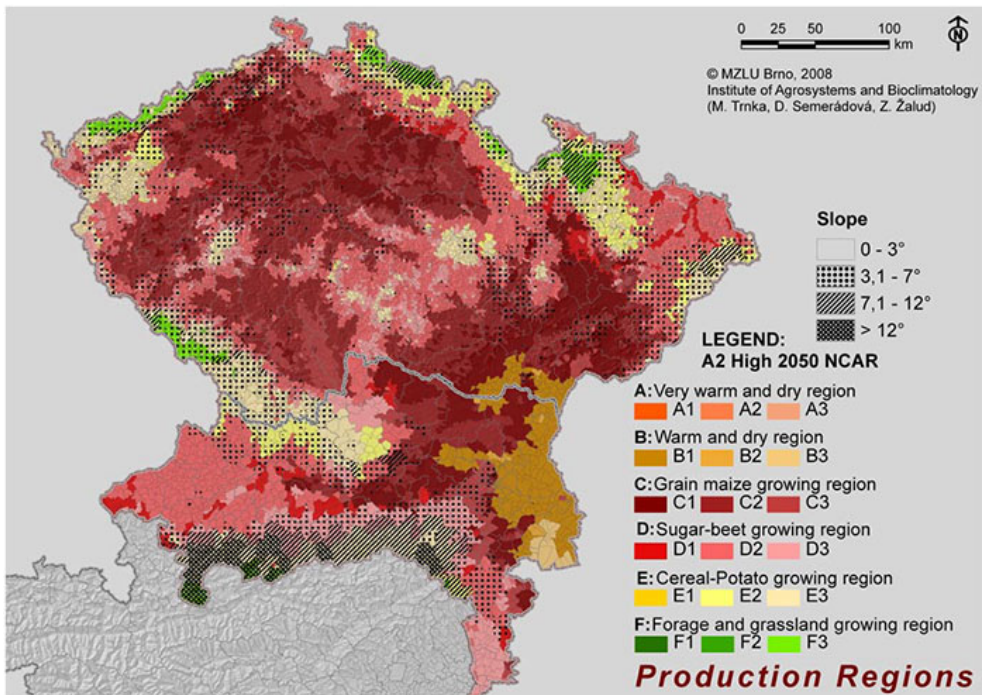
Olesen et al. (2007) potvrzují rozšíření oblastí vhodných pro pěstování kukuřice ve střední Evropě, a to o 30 – 50 % v případě všech emisních scénářů.

Obr. 12: Výrobní oblastí v ČR v letech 1961-1990, současné členění (A: Velmi teplá a suchá výrobní oblast, B: Teplá a suchá výrobní oblast, C: Kukuřičná výrobní oblast, D: Řepářská výrobní oblast, E: Obilnářsko – bramborářská výrobní oblast, F: Pícninářská výrobní oblast)



Zdroj: Trnka et al., 2009

Obr. 13: Očekávaný posun výrobních oblastí v ČR do r. 2050



Zdroj: Trnka et al., 2009

8.5 Celkové ekonomické dopady na zemědělskou produkci

Jeden z dopadů extrémních meteorologických jevů na zemědělství v podmínkách klimatické změny je snížení výnosů v nejproduktivnějších oblastech. Výsledky analýz dopadů pozorovaných změn klimatu na výnosy čtyř hlavních plodin ukazují, že klimatické trendy negativně ovlivnily výnosy v řadě regionů světa, a to celkem u 79 % regionů pěstujících pšenici, 70 % regionů pěstujících kukuřici, 67 % regionů pěstujících sóju a 53 % regionů pěstujících rýži. Globální ztráta výnosů hlavních plodin činila 7 % u pšenice, 10 % u kukuřice, 11 % u sóji a 7 % u rýže. To pak vedlo k nepoměrnému navyšování cen těchto komodit o 28 %, 40 %, 44 % a 35 %. Předpokládá se, že propady v produkci plodin způsobené klimatickou změnou budou do roku 2020 dvojnásobné a do roku 2070 trojnásobné ve srovnání se současnými propady výnosů jednou až třikrát za dekádu. Výnosy zemědělských plodin v Evropě vzrostly o 24 – 39 %, avšak v posledních dekáдах je v některých oblastech patrný pokles růstu nebo stagnace výnosů a to i přes pokrok v oblasti šlechtění. V posledních 20 letech v jihovýchodní Evropě výrazně narůstá riziko v intenzitě a četnosti abiotických faktorů s negativním dopadem na pěstování cukrové řepy, slunečnice a kukuřice. Ačkoliv výnosy všech plodin zaznamenávají v ČR vzrůstající trendy, došlo k výraznému nárůstu meziroční variability výnosů. Na základě hodnocení stability výnosů ozimých a jarních obilovin pro okresy středních Čech, bylo dokázáno, že oproti minulosti klimatická variabilita ovlivňuje proměnlivost výnosů v současných podmínkách více. U ječmene jarního, ovesa a pšenice jarní převyšují ročníky s nízkým výnosem nad roky s vysokým výnosem. Negativní dopad vysokých teplot v období duben až červen dokládá na příkladu výnosů z jihovýchodní části ČR. Na území ČR vedl nárůst průměrné teploty vzduchu za květen až červen o 1 °C k poklesu výnosů až o 11 % (1961 - 2007) u pšenice ozimé a 10 % u ječmene.

Shrnutí očekávaných změn výnosů způsobených změnou klimatu v průběhu 21. století pro různé emisní scénáře v tropické i mírné oblasti (kombinovaně pro příklady “s“ a “bez“ adaptačních opatření) indikují negativní dopady s větší pravděpodobností po roce 2030. Cca 10 % projekcí do roku 2050 předpokládá vyšší výnosy o více než 10 % a cca 10 % projekcí udává ztráty výnosů o více než 25 %. Po roce 2050 pak riziko vážnějších dopadů narůstá a to v závislosti na úrovni oteplování a adaptačních opatření. Výnosy kukuřice a pšenice začnou v tropických oblastech klesat při lokálním nárůstu teploty o 2 °C. Negativní dopady na produkci všech plodin při překročení nárůstu teploty o 3 °C bez adaptačních opatření v kombinaci se zvýšenou poptávkou po potravinách budou znamenat riziko potravinové bezpečnosti v globálním i regionálním měřítku. Nárůst globální teploty o 4 °C způsobí vyšší frekvenci

extrémně nepříznivých let pro pěstování plodin v evropských zemědělských oblastech (Potopová et al., 2017).

Výnosy zemědělských plodin jsou významně limitovány přírodními podmínkami. Počasí v interakci s půdními a agrotechnickými faktory je hlavní příčinou meziročníkové variability jejich výše. Mimořádné jsou vlivy extrémních jevů, u teplot se jedná převážně o výskyt minimálních teplot vzduchu, zvláště holomrazů, u srážek jde o výskyty sucha, velké škody působí též povodně. Tento vliv “ročníku” se projevuje u jednotlivých zemědělských plodin a jejich odrůd odlišně a je dále modifikován fytopatologickými vlivy. (ČHMÚ, 2011).

Rozhodující bude průběh teploty vzduchu, na které jsou jednoznačně závislé kritické fáze vývoje chorob, plísní a hmyzu. V případě oteplení mohou v některých letech v důsledku urychlení nástupu jednotlivých fází nastat příznivé podmínky pro ukončení další generace plísní a hmyzu. Dále je třeba počítat s rozšířením výskytu virových chorob a s vyšším výskytem houbových chorob (např. plíseň bramborová či chmelová) (MZe, 2011).

VÚMOP ve své studii (2012) identifikuje hlavní negativní dopady v aridních oblastech ČR v těchto bodech:

- Snížení výnosu z důvodu nedostatku srážek
- Nutnost závlahy u trvalých kultur (vyšší náklady na produkci)
- Obtížné zpracování půdy (vyšší spotřeba nafty, prašnost, tvorba velkých hrud půdy...)
- Obtížné zaorání organických hnojiv
- Vyšší opotřebení strojů při zpracování suché půdy (minimální částka se odhaduje na 100 tis. Kč ročně u jednoho stroje na zpracování půdy, a to hlavně z důvodu nutné výměny pracovních ústrojí - zejména pasivních)
- Zvýšený výskyt škůdců
- Větrná eroze
- Rychlejší mineralizace organické hmoty
- Nutnost volby odolnějších odrůd
- Špatné využití hnojiv a herbicidů na suché půdě
- Předčasné ukončení dormance ovocných stromů a jejich následné poškození jarním mrazem

9 Mitigační a adaptační opatření

Jako mitigační (zmírňující) jsou ve spojitosti s klimatickou změnou označována opatření, která vedou ke snížení jejich negativních projevů. Stejně jako adaptační opatření jsou významným krokem na cestě k budoucímu udržitelnému životu na planetě Zemi. Mezi nejvýznamnější mitigační přístupy patří snižování emisí skleníkových plynů do atmosféry a současně snižování obsahu skleníkových plynů v atmosféře. (VÚZE).

Důsledky změny klimatu nemůže nikdo předpovědět s naprostou jistotou. Víme však dost na to, abychom dokázali porozumět rizikům. Zmírňování změny klimatu – přijímání účinných opatření ke snížení emisí – je třeba považovat za investice, za náklady, které budou vynaloženy nyní a v několika příštích desetiletích s cílem zabránit riziku velmi vážných následků v budoucnosti. Pokud budou tyto investice provedeny moudře, náklady budou zvládnutelné a celý proces přinese celou řadou příležitostí k růstu a rozvoji (MŽP, 2007).

Podstatné snížení emisí v příštích několika desetiletích může snížit klimatická rizika v 21. století a kromě toho zlepšit vyhlídky na účinnou adaptaci, snížit náklady a problémy mitigace v delším časovém horizontu a přispět k udržitelnému rozvoji odolnému vůči změně klimatu (IPCC, 2015).

Oblast zemědělství, lesnictví a jiného využití území je odpovědná za přibližně čtvrtinu čistých antropogenních emisí skleníkových plynů převážně z odlesňování, zemědělských emisí z hospodaření s půdou a živinami a z chovu dobytka. Nejnovější odhady naznačují pokles toků CO₂ v tomto sektoru, z velké části kvůli snižujícímu se odlesňování a zvýšenému zalesňování (CzechGlobe, <http://www.klimatickazmena.cz/>).

9.1 Mitigace

Existuje několik směrů mitigace, které by pravděpodobně mohly omezit oteplování na méně než 2 °C ve srovnání s úrovní před průmyslovou revolucí. Tyto směry by vyžadovaly značné snížení emisí v příštích desetiletích a téměř nulové emise CO₂ a dalších skleníkových plynů s dlouhou životností do konce století. Implementace těchto opatření je spojena s významnými technologickými, ekonomickými, sociálními a institucionálními problémy, které se zvyšují s odkládáním mitigace a v případě nedostupnosti klíčových technologií (IPCC, 2015).

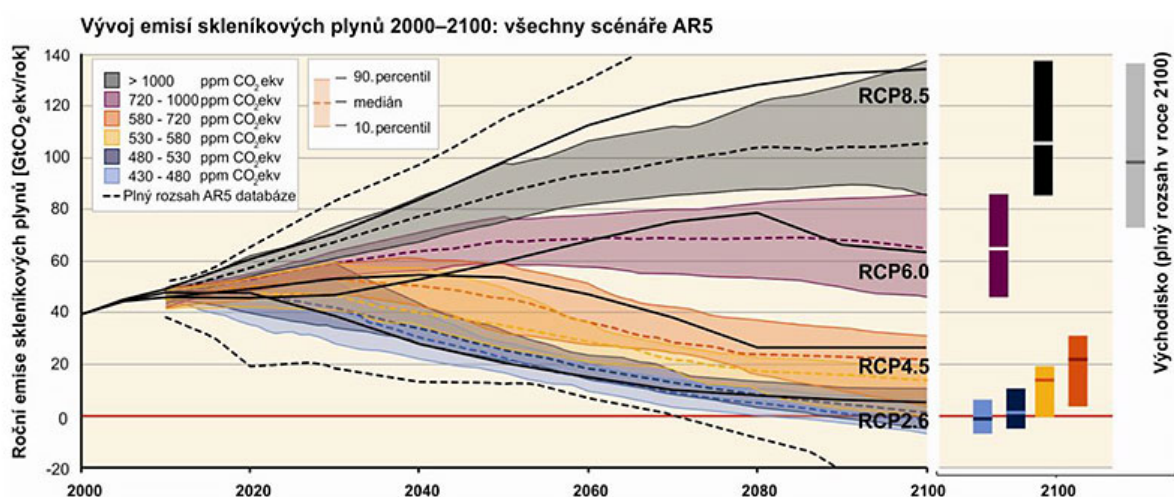
Ústředním bodem tohoto rámce je závazný cíl snížit v EU do roku 2030 domácí emise skleníkových plynů alespoň o 40 % oproti úrovni z roku 1990. Hlavním nástrojem k dosažení tohoto cíle je dobře fungující reformovaný systém obchodování s emisemi EU. Rámcová

úmluva OSN o změně klimatu jako první na mezinárodní úrovni požadovala stabilizaci koncentrací skleníkových plynů v atmosféře na úroveň poskytující čas pro adaptaci ekosystémů a lidské společnosti. Navzdory jejímu přijetí v roce 1992 a následnému stanovení cílů pro ekonomicky vyspělé státy v Kjótském protokolu produkce emisí skleníkových plynů a jejich koncentrace v atmosféře stále roste. V prosinci 2015 byla v Paříži přijata nová dohoda (Paris Agreement), která zahrnuje široký okruh států a počítá se tak se závazky pro vyspělé i rozvojové země. Nová dohoda vstoupila v platnost 4. listopadu 2016 a od roku 2020 se předpokládá zahájení její implementace. Pro rok 2030 je Česká republika vázána cílem EU pro snižování emisí skleníkových plynů z Rámce 2030 ve výši nejméně 40 % v porovnání s rokem 1990. Dále byla v říjnu 2015 schválena Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR. V rámci všech sektorů je řešena také provázanost s mitigačními opatřeními, přičemž největší přesahy jsou viditelné v lesním hospodářství a zemědělství. V lednu 2017 byl schválen navazující Národní akční plán adaptace na změnu klimatu, který již obsahuje konkrétní opatření k realizaci, včetně odpovědnosti jednotlivých resortů a termínů plnění navržených úkolů. I přes více jak třetinový pokles emisí skleníkových plynů od roku 1990 ČR nadále patří mezi státy s nejvyšší produkcí skleníkových plynů na obyvatele. Základní projekce v sektoru zemědělství vychází z prorůstové strategie Ministerstva zemědělství a předpokládá nárůst emisí skleníkových plynů o téměř 12 % mezi roky 2012 a 2030. Hlavní dodatečná opatření lze shrnout pod rámec Společné zemědělské politiky, zejména dodržování zásad správné zemědělské praxe, nebo Programu rozvoje venkova na období 2014–2020, včetně zavádění agroenvironmentálně - klimatických opatření. Se zahrnutím dodatečných opatření projekce předpokládá stabilizaci výše emisí ze zemědělství přibližně na úrovni roku 2012 (MŽP, 2017).

9.2 Emisní scénáře

Přesné množství emisí skleníkových plynů je ovlivněno globálním socio-ekonomickým vývojem (preferované zdroje energie, dostupnost těchto zdrojů, množství obyvatel atp.) a jeho přímá a jednoznačná předpověď není možná. Proto jsou vytvářeny tzv. emisní scénáře. Jde v podstatě o výstupy komplexních modelů (integrující jednoduchý klimatický model s modelem demografického vývoje, nabídky a poptávky energie a zemědělských produktů a s tím související alokace pozemků atp.) popisujících možné varianty demografického, socio-ekonomického a technologického vývoje, někdy včetně iniciativ vedoucích ke snížení emisí skleníkových plynů (Hanel et al., 2011).

Obr. 14: Předpokládaný vývoj emisí skleníkových plynů dle scénářů IPCC (AR 5)



Zdroj: IPCC (AR5, 2015)

9.3 Mitigační opatření v zemědělství

Niggli at al. (2009) řadí mezi oblasti vyžadujícími zdokonalení např. bezorebný způsob pěstování plodin, agrolesnictví, integrovanou rostlinnou a živočišnou výrobu a snižování externích vstupů ve výrobě potravin a zemědělství. Zmiňuje také, že postupy, které nabízí ekologické zemědělství, stojí za to při těchto snahách zvážit.

Zemědělské ekosystémy mají potenciál pro zmírňování změny klimatu zejména ukládáním uhlíku do zemědělské půdy a snižováním emisí skleníkových plynů ze zemědělství, zejména N_2O uvolňovaného z půdy a CH_4 z enterické fermentace v chovu zvířat. Z tohoto hlediska je významné zejména zvyšování obsahu půdního organické hmoty či udržitelné obhospodařování zemědělské půdy. Zalesňování zemědělské půdy nesmí vést k ničení přírodních blízkých biotopů a snižování biodiverzity, která je významná nejen z hlediska omezování dopadů probíhajících a předpokládaných změn klimatu, ale poskytuje lidem další hodnotné ekosystémové služby, jako je opylování, přirozené hubení škůdců a přenašečů chorob nebo podpora půdotvorných procesů. Mitigační opatření se týkají i podpory ekologicky vhodného pěstování porostů rychle rostoucích dřevin a plodin určených pro energetické využití na zemědělské půdě s ohledem na snížení rizika eroze (MŽP, 2015b).

V případě amoniaku je dominantním zdrojem emisí sektor „chov hospodářských zvířat“ (téměř 70 %), významný je však také sektor „aplikace minerálních dusíkatých hnojiv“ (více než 26 % v roce 2012) (MŽP, 2015a).

Národní program pro snižování emisí České republiky (NPSE) (MŽP, 2015a) uvádí na základě dostupných dat ČSÚ indikátory relevantní z hlediska znečišťování ovzduší tyto:

- Stavy skotu po roce 2000 poklesly o 15 %, po roce 2005 nevykazují trend.
- Stavy prasat vykazují mezi roky 2000 a 2013 významný klesající trend (pokles stavu prasat o 56 %).
- Stavy drůbeže po roce 2000 výrazně klesly (o téměř 18 %), mezi roky 2005 a 2013 nevykazují trend.
- Spotřeba dusíkatých minerálních hnojiv vykazuje mezi roky 2000 a 2013 stoupající trend (nárůst spotřeby o cca 23 %).

NPSE identifikuje dále následující slabé stránky českého zemědělství:

- Nárůst spotřeby dusíkatých minerálních hnojiv.
- Vysoký podíl zemědělské půdy ohrožené větrnou erozí.

9.3.1 Používání hnojiv a zemědělských vstupů

MZe (2011) shrnuje opatření v této oblasti v několika bodech:

- Používání postupů přesného zemědělství (optimalizace používání minerálního a organického dusíku a dalších živin podle výnosu a obsahu živin v půdě).
- Celkové snížení vnějších vstupů (např. nepoužívání minerálních dusíkatých hnojiv v ekologickém zemědělství).
- Cílem je nezvyšovat množství aplikovaných průmyslových hnojiv na 1 ha, zvláště dusíkatých, a dosáhnout optimálních termínů možné aplikace těchto hnojiv na pozemky. Výsledek pro rok 2020 bude ovlivněn snižováním výměry orné půdy, které by se mělo zastavit nebo výrazně omezit. Přesto lze vyjádřit dosažitelné snížení emise oxidů dusíku pro rok 2020 jako pokles o 450 tis. tun ekvivalentního CO₂ (MZe, 2011).

9.3.2 Živočišná výroba

- Extenzivní formy obhospodařování pastvin při chovu hospodářských zvířat, protože trvalé travní porosty i pícniny pěstované na orné půdě umožňují ukládat v půdě velké množství uhlíku ve formě půdní organické hmoty.
- Optimalizace složení směsné krmné dávky a aplikace krmných aditiv, protože výživa a množství přijímané potravy ovlivňují uvolňování metanu z těl zvířat a z hnoje. Opatření týkající se správné výživy a krmení hospodářských zvířat a vedoucí ke snížení obsahu vyloučeného dusíku a fosforu jsou považovány za nejlepší dostupnou techniku (BAT). Jedná se zejména o krmení fázovými krmivými s obsahem aminokyselin (lysin,

methionin apod.) Dále lze využít ověřené postupy krmení biotechnologickými přípravky, upevňující vazbu dusíkatých látek v exkrementech. (MZe, 2011)

9.3.3 Hospodaření na půdě

- Půdoochranné zemědělství (omezená nebo žádná orba), které zabraňuje nebo omezuje narušování půdy a zároveň přináší významné úspory energie.
- Udržování rostlinného půdního pokryvu orné půdy v průběhu celého roku, používání meziplodin, zapracovávání organických látek udržitelným způsobem (živočišný hnůj, splaškové kaly, obilná sláma, kompost).
- Ochrana organické půdní hmoty před oxidací, zejména v půdách bohatých na uhlík (rašeliništích, mokřinách a loukách).
- Obnova vysušených rašelinišť a mokřin v místech, kde je to vhodné a přínosné.
- Obnova uhlíku v degradovaných půdách, kterým hrozí riziko eroze.
- Pestré oseední postupy včetně velkého podílu vikvovitých rostlin. Odhaduje se, že v ČR by změny oseedního postupu (zvýšení zastoupení leguminóz, organicky hnojených a hluboko kořenících plodin, pěstování meziplodin) s cílem vyprodukovat co nejvíce podzemní biomasy nebo zapravit maximální množství biomasy do půdy mohly přinést snížení emisí CO₂ pro rok 2020 o 950 tis. tun.
- Udržování a ochrana trvalých pastvin a přeměna orných půd na trvalé travní porosty; Rozšiřování trvalých travních porostů by prostřednictvím většího ukládání uhlíku v půdě, ale také snížením eroze půdy mohlo k roku 2020 (při trendu zvyšování jejich výměry o 2000 až 3000 hektarů ročně) znamenat snížení emisí skleníkových plynů o 63 tis. t CO₂ (MZe, 2011).

Při sekvestraci (zachycování a ukládání) uhlíku a solubilizaci minerálů (schopnost rozpouštět látky v čistém disperzním prostředí nerozpustné) hrají významnou úlohu mykorhizní houby. Pěstování leguminóz jako meziplodin a podsevů je spolu se zařazováním hluboko a mělce kořenících plodin dalším způsobem, jak zvyšovat produktivitu a účinnost živin hospodařením se zdrojem dusíku uvnitř systému. Potřebný dusík může být dodáván jak symbiotickou, tak i nesymbiotickou fixací dusíku a také symbiotickou mykorhizou za využití půdního fosforu a vody (Mäder et al., 2000).

9.4 Adaptace

Mezivládní panel pro změnu klimatu (IPCC) definuje adaptaci následovně: „Proces přizpůsobení se aktuálnímu nebo očekávanému klimatu a jeho účinkům. V lidských systémech se adaptace snaží zmírnit škodu nebo se jí vyhnout nebo využít příležitosti. V některých přírodních systémech může lidský zásah usnadnit přizpůsobení se očekávanému klimatu a jeho dopadům.“ (IPCC, 2015).

Adaptační opatření by měla být, tam kde to je možné, vedena v souladu s opatřeními ke snižování emisí a zvyšování jejich propadů (mitigačními opatřeními). Pozitivní synergie a interakce v oblasti adaptací a mitigací je možná a žádaná (například v oblasti krajinného managementu). Nevhodnými adaptačními opatřeními jsou ta, která nezvyšují odolnost ekosystémů či zvyšují jejich zranitelnost, jsou environmentálně nevyvážená, finančně neefektivní nebo v rozporu s cíli jiných politik (MŽP, 2017).

Bez ohledu na scénáře růstu teplot i na to, nakolik úspěšné se ukáže být úsilí o zmírnění změny klimatu, se budou dopady na změnu klimatu v příštích desetiletích zvyšovat, a to z důvodu opožděného dopadu nárůstu emisí skleníkových plynů. Je proto nutné přijmout adaptační opatření a zabývat se nevyhnutelnými dopady změny klimatu a jejich hospodářskými, environmentálními a sociálními náklady. Opatření vedoucí k adaptaci na změnu klimatu budou tedy potřebná i v případě, že uspějí evropské a celosvětové snahy o snížení emisí, protože bude žádoucí, aby se společnost vypořádala s nevyhnutelnými dopady již probíhajících změn (MŽP, 2015b).

9.5 Adaptační opatření v zemědělství

Mezi základní podmínky úspěšné adaptace patří flexibilní a šetrné využívání území stejně jako zavádění nových technologií. Další základní podmínkou úspěšné adaptace je diverzifikace plodin a jejich odrůd, plemen hospodářských zvířat, zemědělských kultur, produktů a způsobů jejich produkce používaných v zemědělství. V krajině se pak jedná o adaptačně-preventivní opatření s kombinovaným účinkem zejména na kvalitu půdy, vody (s důrazem na zadržování vody v krajině), zachování agrobiodiverzity a genetických zdrojů. Vzhledem k velkému významu půdy je její udržitelné využívání (např. ochrana proti erozi a degradaci, zvýšení retence vody v půdě, zachování půdní úrodnosti) klíčovou podmínkou pro přizpůsobení se změně klimatu. Řešení by měla být založena zejména na těchto principech udržitelného hospodaření (MŽP, 2015b):

- minimalizace vyjímání půdy ze zemědělského půdního fondu s výjimkou jejího zalesňování,
- vhodné prostorové uspořádání zemědělské půdy,
- půdoochranná a protierozní opatření,
- zlepšování půdní struktury,
- zvyšování podílu organické hmoty v půdě.

9.5.1 Pozemkové úpravy

Pozemkovými úpravami jsou vytvářeny podmínky pro racionální hospodaření vlastníků půdy, pozemky se jimi prostorově a funkčně uspořádávají a zabezpečuje se jejich přístupnost. Pozemkové úpravy zejména ve formě komplexních pozemkových úprav v daném katastrálním území jsou procesem, který má potenciál podílet se na plnění klíčových bodů adaptační strategie rozhodující měrou. Aby pozemkové úpravy tento potenciál dostatečně plnily, musí spočívat ve vhodném plánování využití území pro zemědělské hospodaření, promyšlené tvorbě krajinné mozaiky s dostatečným zastoupením mokřadů, lesních porostů, a dalších krajinných prvků, jež mají pozitivní vliv na vodní režim krajiny, půdu, biodiverzitu, a ve zlepšení propojenosti přírodních a krajinných struktur (MŽP, 2015b).

Zásadní změny v krajinné struktuře spojené s produkčním zemědělstvím vedly k odstranění protierozních prvků, scelení půdních bloků a narušení prvků umožňujících zasakování vody do půdy, k narušení odtokových poměrů, což sebou přináší zejména zrychlení odtoku vody. Retenční schopnost krajiny je narušena i zhutněním půd, rozsáhlým systémem meliorací a dalšími faktory (VÚMOP, 2012).

9.5.2 Genetické zdroje, výzkum, šlechtění a zemědělské biotechnologie

Šlechtění a další běžně využívané biotechnologické postupy v zemědělství vytváří předpoklady pro tvorbu odrůd rostlin a plemen zvířat s novými vlastnostmi, které jim mohou pomoci přizpůsobit se rychleji a efektivněji změněným životním podmínkám v důsledku změn klimatu a dalších složek životního prostředí.

Genetické zdroje a jejich diverzita na všech úrovních (tzn. v rámci druhu, mezi druhy a populacemi a mezi přírodními ekosystémy) jsou přitom zásobárnou nových nebo doposud nepoznaných vlastností. Genetické zdroje jsou součástí přírodního bohatství každého státu, ať už se nachází ve volné přírodě, nebo jsou uchovávány ve specifických zařízeních – genobankách (MŽP, 2015b).

VÚMOP (2012) ve studii zaměřené na možnosti řešení degradace půdy, doporučuje šlechtění druhů plodin odolným vůči stresovým faktorům působících v aridních oblastech (sucho, ale i vymrzání).

9.5.3 Zalesňování a zatravnění

Změna orné půdy na lesní porosty s kvalitní druhovou skladbou nebo na trvalé travní porosty působí jako opatření proti větrné a (v případě lesů částečně) vodní erozi a snižuje ztráty půdní vláhly. Opatření má navíc i mitigační účinek, protože lesní i trvalé travní porosty umožňují oproti orné půdě ukládat mnohem více uhlíku a kromě toho v nekypřených půdách se omezují oxidační procesy vedoucí ke vzniku emisí oxidů dusíku a oxidu uhličitého. Stejný význam má také zakládání remízků, mezi či výsadba soliterních dřevin, které mají navíc pozitivní vliv na strukturu krajiny a biodiverzitu (MŽP, 2015b).

9.5.4 Ekologické zemědělství

Pravidla ekologického zemědělství vytvářejí předpoklady pro dosažení vyššího průměrného obsahu uhlíku a humusu v půdě, lepší péči o edafon atd., což lze považovat za přínosné z hlediska adaptace zemědělství na měnící se klimatické podmínky. Navíc podporují zachování biodiverzity jak v oblasti kulturních organismů, tak organismů přímo či nepřímo vázaných na zemědělskou půdu, čímž snižují rychlost genetické eroze.

Ekologické zemědělství může přispět při adaptaci zemědělství na změnu klimatu zachováním genetických zdrojů tradičních odrůd a plemen, uchováním tradičních znalostí, postupů a metod regulace škůdců nebo metod omezujících spotřebu vody a erozi půdy a metodami biologické ochrany rostlin, které jsou v ekologickém zemědělství vzhledem k zákazu chemické ochrany a využití GMO preferovány (MŽP, 2015b).

Niggli et al. (2009) Uvádějí, že intenzivní rostlinná výroba (často založená na monokulturách a vysoké produktivitě) je velkou měrou závislá na vnějších vstupech, jako jsou minerální hnojiva a pesticidy. Trvale udržitelné zemědělské postupy, jako např. ekologické zemědělství, takovou závislost na vstupech silně omezují pomocí:

- recyklace odpadů jako zdroje živin
- pěstování rostlin fixujících dusík
- zlepšování pěstebních systémů a údržby krajiny
- nepoužívání syntetických pesticidů

- integrace rostlinné a živočišné produkce do výrobního procesu jedné farmy a pěstování jetelotrávy pro výrobu krmiv, čímž se omezuje nákup krmivových koncentrátů

9.5.5 Snížení eroze půdy

Protierozní opatření se vzhledem k očekávanému zvýšení erozního tlaku musí stát běžnou součástí zemědělského hospodaření, příprav pozemkových úprav a jedním z hlavních nástrojů adaptačních opatření (MŽP, 2015b).

9.5.6 Opatření proti zemědělskému suchu

Vzhledem k očekávanému častějšímu výskytu sucha je nutné podporovat opatření přispívající k zadržení vody v krajině a optimalizaci zavlažovacích systémů a minimalizovat negativní vliv odvodňovacích zařízení na zrychlený odtok vody z krajiny (tj. obnovovat stávající odvodnění zemědělských pozemků odvodňovacími systémy s řízenou regulací odtoku nebo se současnou kompenzací změny vodního režimu, např. obnovou mokřadů, výstavbou malých vodních nádrží či poldrů, a nové odvodnění provádět pouze se současnou kompenzací změny vodního režimu). Z hlediska zvýšení retence vody v půdě a zemědělské krajině je také žádoucí podporovat revitalizace drobných vodních toků, rušení odvodňovacích zařízení, která ztratila opodstatnění, a zakládání povodňových průlehů v blízkosti regulovaných vodních toků, kde revitalizace není vhodná. Významnou součástí retence vody v krajině je údržba, obnova a budování malých vodních nádrží pro účely závlah a retence v zemědělské krajině (MŽP, 2015b).

V aridních oblastech lze předcházet škodám na zemědělské produkci i pomocí závlahových systémů. Zvyšování znalostí v oblasti potřeb vláhy plodin i technologický pokrok, umožňují efektivní systém závlah, s minimalizací nároků na zdroje vody (např. kapková závlaha, mikropostřikovače...) v období, kdy rostliny vláhu nejvíce potřebují. Pro zajištění závlah i těch s efektivním čerpáním vody, je nutné mít k dispozici dostatečné zdroje vody. V současné době se voda čerpá především z vodních nádrží a vodních toků, je však možné využít i alternativní zdroje závlahové vody. Možnou alternativou je využití odpadních vod - využití těchto vod je cenově výhodné, snižují se požadavky na odstranění veškerých živin (N, P) a organických látek z odpadní vody a dochází k recyklaci živin komunálních odpadních vod a splaškových kalů. K závlaze je možno použít jen takové odpadní vody, které svým složením a vlastnostmi odpovídají příslušným normám (VÚMOP, 2012).

K možnostem využití závlah v ČR uvádí Haberle et al. (2008), že u obilnin nelze v nejbližších letech z ekonomických důvodů očekávat významné zvýšení zavlažovaných ploch, proto je potřeba se zaměřit na ostatní agrotechnické možnosti a postupy. I v případě, že by v budoucnu závlahy byly u obilnin ziskové, scénáře hydrologické bilance ukazují, že v suchých obdobích pro ně nebude dostatek vody.

9.5.7 Ochrana biodiverzity

Diverzita na všech úrovních (genetická, druhová, ekosystémová) zvyšuje odolnost na měnící se podmínky prostředí. Součástí biodiverzity je agrobiodiverzita, zahrnující plemena, rostliny, mikroorganismy a ekosystémy ovlivňované zemědělskou činností. Geneticky různorodé populace a druhově bohaté ekosystémy mají větší potenciál přizpůsobit se změně klimatu. Zároveň lze předpokládat, že změna klimatu podpoří negativní trend vývoje biodiverzity vázané na zemědělskou krajinu. Základem pro její zachování je sledování změn a včasné reagování na negativní vývoj za pomoci vhodných opatření (MŽP, 2015b).

9.5.8 Diverzifikace zemědělství

Vzhledem k předpokládaným dopadům změny klimatu je diverzifikace zemědělských činností jedním z klíčových adaptačních opatření. Systém, kde má zemědělský podnik více zdrojů příjmů (také jiné než ze zemědělské produkce) snižuje rizika plynoucí ze závislosti na samotné zemědělské výrobě potenciálně zvýšená o dopady změny klimatu (MŽP, 2015b).

9.5.9 Monitoring, analýza rizik a systémy včasné výstrahy

Zdokonalení národního systému analýz rizik škodlivých organismů rostlin ve smyslu jeho zaměření také na rizika spojená se změnami škodlivosti těchto organismů v souvislosti se změnou klimatu. Zaměření stávajícího rostlinolékařského monitoringu škodlivých organismů rostlin na včasné zachycení průniku nových škodlivých organismů nebo změn škodlivosti původních druhů v souvislosti se změnou klimatu v agroekosystémech na území ČR a včasné zveřejnění případů průniku nových škodlivých organismů a změn škodlivosti původních druhů (MŽP, 2015b).

9.5.10 Řešení dopadů extrémních meteorologických jevů na zemědělské hospodaření

Proti některým extrémním meteorologickým jevům (např. krupobití v sadech) existují účinná technická opatření a jejich zavádění probíhá. Proti některým extrémním meteorologickým jevům (přívalové deště, krupobití, tornáda, orkány, velkoplošné požáry,

dlouhodobé sucho) nebo jejich kombinaci však je technická nebo biologická ochrana náročná či neexistuje. Vzhledem k tomu, že častější výskyt těchto extrémních meteorologických jevů zároveň snižuje ochotu pojišťoven poskytovat komerční zemědělské pojištění nebo zvyšuje jeho cenu, je třeba tuto problematiku řešit komplexně. Součástí řešení může být intervence státu motivující farmáře k využívání zemědělského pojištění a pojišťovny k jeho poskytování, zlepšující dostupnost takového pojištění a předcházející snahám farmářů domáhat se mimořádných kompenzací z veřejných prostředků v případě výskytu živelních pohrom. Prioritou je realizace preventivních a adaptačních opatření, přičemž pojištění může být součástí komplexního managementu rizik a prevence vůči negativním dopadům změny klimatu (MŽP, 2015b).

VÚMOP (2012) také doporučuje vytvoření fondu nepojistitelných rizik. Do fondu by přispívali zemědělci, pojišťovny a stát za předem dohodnutých pravidel. Správcem fondu by mohlo být MZe a představenstvo fondu by podle schválených pravidel likvidovalo nepojistitelné škody vzniklé v zemědělské výrobě (vzniklé suchem a jinými nahodilými nepříznivými událostmi).

9.5.11 Greening SZP

Greening neboli tzv. ozelenění Společné zemědělské politiky EU je novou povinnou ekologicky zaměřenou složkou přímých plateb, která má za účel podpořit plnění zemědělských postupů příznivých pro klima a životní prostředí. Zavedení této složky má zemědělce orientovat k hospodaření šetrnějšímu k životnímu prostředí a zároveň plnit cíle v oblasti klimatu. Tyto postupy mají podobu jednoduchých, všeobecných, mimosmluvních a každoročních opatření, která jdou nad rámec podmíněnosti a souvisí se zemědělstvím v podobě tří základních složek, které jsou diverzifikace plodin, zachování trvalých travních porostů a zřizování ploch v ekologickém zájmu (tzv. EFA). Jako plochy EFA je možné zvolit úhor využívaný v ekologickém zájmu, krajinné prvky v ekologickém zájmu, souvrať, plochy s rychle rostoucími dřevinami, některé zalesněné plochy, plochy s meziplodinami nebo plochy s plodinami, které vážou dusík (MŽP, 2015b).

10 Závěr

V současné době již není sporu o tom, že globální klimatická změna skutečně probíhá. V nedávné minulosti jsme i na území České republiky zažili extrémní klimatické jevy, které je možné dávat do souvislosti s tímto vývojem. Přinejmenším výskyt extrémních a dlouhodobých veder, jejich rostoucí frekvence a intenzita, potvrzují predikce mnohých klimatických modelů, ať už jsou postaveny na jakémkoliv emisním scénáři. Stejně tak častý výskyt sucha a velký deficit srážek nebo naopak extrémně vysoké srážky a s tím spojené povodňové situace, jsou potvrzením rostoucích extrémů našeho klimatu. Některé závěry dokonce naznačují, že by změny v budoucnosti mohly být mnohem rozsáhlejší a silnější než jsme prozatím předpokládali. Je také jisté, že převážně negativní scénáře již nebude možné zvrátit, ale pouze zmírnit jejich dopady a přizpůsobit se novým podmínkám.

Tyto pravděpodobně největší změny klimatu, kterým jsme kdy čelili, nastupují navíc velmi rychle. I přes řadu mezinárodních aktivit spojenými se snahou zmírnit dopady klimatické změny a opatřeními i pozitivními výsledky na úrovni České republiky, nelze prozatím konstatovat, že by byla zaváděna do praxe s dostatečnou rychlostí a razancí.

Právě zemědělství, které je na změny podnebí nejvíce citlivé, si s sebou nese i velkou zátěž z minulých dob v podobě necitlivých zásahů do krajiny a půdy, které dosud nebyly uspokojivě napraveny. Největší problémy bude nadále přinášet nárůst teplot a změna ročního chodu srážek. Ze závěrů řady studií vyplývá, že bude nutné se vypořádat s častějšími periodami sucha nebo naopak povodní, úbytkem a ztrátou vydatnosti vodních zdrojů, zvýšeným rizikem eroze půdy a častým výskytem dalších meteorologických jevů, jako jsou vichřice a krupobití nebo s nástupem nových chorob a škůdců.

Všechna tato zvýšená rizika je však možné částečně eliminovat, v oblasti zemědělství převážně zaváděním mitigačních a adaptačních opatření. Je potom na zodpovědnosti EU, vlády ČR, samospráv i zemědělců, aby tato opatření účinně realizovaly. Domnívám se, že zároveň se změnou klimatu by měla probíhat i celospolečenská diskuze, která povede ke změně vztahu k zemědělství. Protože zemědělství vždy patřilo a nadále bude patřit k tomu vůbec nejdůležitějšímu hospodářskému odvětví, jistě si zaslouží naši plnou podporu a péči.

11 Seznam použité literatury

Brázdil, R., Trnka, M. 2015. Drought in the Czech Lands: past, present and future. Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v.v.i. Brno. p. 402. ISBN: 978-80-87902-11-0.

Czech Globe - Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i. Průvodce změnou klimatu [online]. Klimatická změna.cz. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z <<http://www.klimatickazmena.cz/cs/vse-o-klimaticke-zmene/pruvodce-zmenou-klimatu/>>.

ČHMÚ. Změna klimatu [online]. ČHMÚ. [cit. 2018-03-30]. Dostupné z <<http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/zmena-klimatu/zakladni-informace>>.

ČHMÚ. Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření, Technické shrnutí výsledů projektu v letech 2007–2011. [online]. ČHMÚ. 2011 [cit. 2018-03-30]. Dostupné z <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/vav_TECHNI_CKE_SHRNUTI_2011.pdf>.

EEA. Climate change, impacts and vulnerability in Europe, EEA Report No 12/2012 [online]. EEA. 2012 [cit. 2018-03-30]. Dostupné z <<http://www.eea.europa.eu/publications/climate-impacts-and-vulnerability-2012>>.

EKOTOXA s.r.o. Komplexní studie dopadů, zranitelnosti a zdrojů rizik souvisejících se změnou klimatu v ČR [online]. EKOTOXA. 2015 [cit. 2018-04-08]. Dostupné z <[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/studie_dopadu_zmena_klimatu/\\$FILE/OEOK-Komplexni_studie_dopady_klima-20151201.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/studie_dopadu_zmena_klimatu/$FILE/OEOK-Komplexni_studie_dopady_klima-20151201.pdf)>.

Haberle J., Trčková M., Růžek P. 2008. Příčiny nepříznivého působení sucha a dalších abiotických faktorů na příjem a využití živin obilninami a možnosti jeho omezení. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha. 28 s. ISBN: 978-80-87011-45-4.

Dostupný také z: <<https://www.vurv.cz/sites/File/Publications/ISBN978-80-87011-45-4.pdf>>.

Hanel, M., Kašpárek, L. Mrkvičková, M., Horáček, S., Vizina, A., Novický, O., Fridrichová, R. 2011. Odhad dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci v ČR a možná adaptační

opatření. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i. Praha. 108 s. ISBN: 978-80-87402-22-1.

Holtanová, E., Kalvová, J. 2015. Neurčitosti výstupů regionálních klimatických modelů. Meteorologické Zprávy. 68. 116-123.

IPCC. 2013. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Cambridge University Press. Cambridge. p 1-30. ISBN: 978-1-107-05799-1 (hardback) ISBN 978-1-107-66182-0 (paperback). Dostupný také z: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf>.

IPCC. 2015. Climate Change 2014: Synthesis Report. IPCC. Geneva. p. 151. ISBN: 978-92-9169-143-2. Dostupný také z: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf>.

Lhotka, O., Kyselý, J., Farda, A. 2017. Climate change scenarios of heat waves in Central Europe and their uncertainties. Theoretical and Applied Climatology. 131 (3-4). 1043.

Loon van, A.F., Gleeson, T., Clarck, J., Van Dijk, A.I.J.M., Stahl, K., Hannafjord, J., Teuling, A., Tallaksen, L.M., Uijlenhoet, R., Hannah, D.M., Sheffield, J., Svoboda, M., Verbeiren, B., Wagener, T., Rangecroft, S., Wanders, N., Van Lanen, H.A.J. 2016. Drought in the Anthropocene. Nature Geoscience. 9. 89-91.

Mäder, P., Edenhofer, S., Boller, T., Wiemken, A., Niggli, U. 2000. Arbuscular mycorrhizae in a long-term field trial comparing low-input (organic, biological) and high-input (conventional) farming systems in a crop rotation. Biology and Fertility of Soils. 31. 150-156.

Metelka, L., Tolasz, R. 2009. Klimatické změny: fakta bez mýtů. Univerzita Karlova v Praze, Centrum pro otázky životního prostředí. Praha. 40 s. ISBN: 978-80-87076-13-2.

MZe. 2011. Zemědělství a změna klimatu. Tisk Horák a.s. Praha. 32 s. ISBN: 978-80-7084-932-3.

MŽP. Ekonomické aspekty změny klimatu, Sternova studie, shrnující zpráva [online]. Vydání financováno z prostředků britského Ministerstva zahraničních věcí ve spolupráci Britského velvyslanectví v Praze, British Council ČR a Ministerstva životního prostředí ČR. 2007 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z

<[https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/E7EF577C57BA9B18C12572BB002DAF3D/\\$file/Sternova%20zprava.pdf](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/E7EF577C57BA9B18C12572BB002DAF3D/$file/Sternova%20zprava.pdf)>.

MŽP. Národní program snižování emisí České republiky. MŽP. 2015a [cit. 2018-04-08]. Dostupné z

<[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/narodni_program_s nizovani_emisi/\\$FILE/OO-O-NPSE_final-20151217.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/narodni_program_s nizovani_emisi/$FILE/OO-O-NPSE_final-20151217.pdf)>.

MŽP. Politika ochrany klimatu v ČR [online]. MŽP. 2017 [cit. 2018-03-30]. Dostupné z

<[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_170322_POK/\\$FILE/POK_v_CR.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_170322_POK/$FILE/POK_v_CR.pdf)>.

MŽP. Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR [online]. MŽP. 2015b [cit. 2018-03-30].

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)>.

Niggli, U., Fliessbach, A., Hepperly, P., Scialabba, N. Low Greenhouse Gas Agriculture: Mitigation and Adaptation Potential of Sustainable Farming Systems [online]. FAO. 2009 [cit. 2018-03-30]. Dostupné <<http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/010/ai781e/ai781e00.pdf>>.

Olesen, J., Fronzek, S., Heidmann, T., Hickler, T., Holt, T., Minguéz, M.I., Morales P., Palutikov, J., Quemada, M., Ruiz-Ramos, M., Rubæk, G., Sau, F., Smith, B., Sykes, M. 2007. Uncertainties in projected impacts of climate change on European agriculture and ecosystems based on scenarios from regional climate models. *Climate Change*. 81. 123–143.

Orth, R., Zscheischler, J., Seneviratne, S. I. 2016. Record dry summer in 2015 challenges precipitation projections in Central Europe. *Scientific Reports*. 6.

- Pondělíček, M., Šilhánková, V. 2016. Změna klimatu a adaptace, Bezpečnost a rozvoj v krajině. Adaptace sídel - Civitas per Populi, o.p.s. Hradec Králové. 85 s. ISBN: 978-80-87756-10-2.
- Potopová, V., Štěpánek, P., Zahradníček, P., Farda, A., Türkott, L., Soukup, J. 2018. Projected changes in the evolution of drought on various timescales over the Czech Republic according to Euro - CORDEX models. *Int. J. Climatol.*
- Potopová, V., Türkott, L., Kožnarová, V., Možný, M. 2010. Drought episodes in the Czech Republic and their potential effects in agriculture. *Theoretical and Applied Climatology*, 99 (3-4), 373-388.
- Potopová, V. 2008. Hodnocení mimořádného sucha v letech 2006 a 2007 na území ČR. *Úroda*. 56 (10), 66-68.
- Potopová, V., Türkott, L. Extrémní a rizikové meteorologické jevy a jejich dopady na zemědělskou produkci v podmínkách klimatické změny. 2017. In: *Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2017. ČZU v Praze 12. - 14. 9. 2017.* 164-169. ISBN: 978-80-213-2767-2.
- Potopová, V., Zahradníček, P., Štěpánek, P., Türkott, L., Farda, A., Soukup, J. The impacts of key adverse weather events on the field-grown vegetable yield variability in the Czech Republic from 1961 to 2014. *Int. J. Climatol.* 2017a. 37 (3), 1648-1664.
- Potopová, V., Štěpánek, P., Zahradníček, P., Farda, A., Türkott, L., Hřimanová, D. 2017b. Využití modelů Euro - CORDEX pro predikci sucha s ohledem na holomrazy a srážkový deficit v chladném období roku. In: *Mrazy a jejich dopady. Hrubá Voda* 26. - 27. 4. 2017. 16 s. ISBN: 978-80-87577-69-1.
- Potopová V., Boroneat C., Možný M., Soukup J. 2016. Driving role of snow cover on soil moisture and drought developing during the growing season in the Czech Republic. *Int. J. Climatol.* 36 (11). 3741-3758.

Rožnovský, J., Fukalová, P., Chuchma, F., Středa, T. 2010. Dynamika podnebí jižní Moravy ve vztahu k vymezení klimatických regionů. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (ed). 2010. Voda v krajině. Lednice 31.5. – 1. 6. 2010. ISBN: 978-80-86690-79-7.

Stejskal, L. Změna klimatu a její dopady: hlavní hrozba 21. století [online]. Ministerstvo vnitra České republiky. 2012 [cit. 2017-07-05]. Dostupné z <http://sbp.fsv.cuni.cz/SBP-254-version1-TRS_WP_15.pdf>.

Šarapatka, B., Abrahamová, M., Čížková, S., Dotlačil, L., Hluchý, M., Křen, J., Kuras, T., Laštůvka, Z., Lososová, Z., Pokorný, E., Pokorný, J., Pokorný, R., Salašová, A., Tkadlec, E., Tuf, I. H., Vácha, M., Zámečník, V., Zeidler, M., Žalud, Z. 2010. Agroekologie: východiska pro udržitelné zemědělské hospodaření. Bioinstitut. Olomouc. 440 s. ISBN: 978-80-87371-10-7.

Štěpánek, P., Zahradníček, P., Farda, A., Skalák, P., Trnka, M., Meitner, J., Rajdl, K. 2016. Projection of drought-inducing climate conditions in the Czech Republic according to Euro-CORDEX models. *Clim. Res.* 70 (2-3). 179-193.

Trnka, M., Eitzinger, J., Hlavinka, P., Dubrovský, M., Semerádová, D., Štěpánek, P., Thaler, S., Žalud, Z., Možný, M., Formayer, H. 2009. Climate-driven changes of production regions in Central Europe *Plant Soil Environ.* 55 (6). 257-266.

UN. United Nations Framework Convention on Climate Change [online]. UN. 1992 [cit. 2017-07-05]. Dostupné z <<https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>>.

VÚMOP. Možnosti řešení degradace půdy a její ovlivnění změnou klimatu na příkladu aridních oblastí [online]. VÚMOP. 2012 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z <http://eagri.cz/public/web/file/192106/Aridita_zkraceny_souhrn.pdf>.

VÚZE. Analýza adaptačních opatření na změnu klimatu na území ČR v oblasti zemědělství, Výstup funkčního úkolu MZe ČR č. 4228. VÚZE. Prosinec 2007 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z <http://user.mendelu.cz/xvlcek1/rrc/vuze/KLIMA_VUZE_low2007.pdf>.

Zahradníček, P., Rožnovský, J., Brzezina, J., Štěpánek, P., Farda, A., Chuchma, F., Potopová, V. Mrazové indexy v chladném půlroce na území České republiky. 2017. In: Mrazy a jejich dopady. Hrubá Voda 26. - 27. 4. 2017. 16 s. ISBN: 978-80-87577-69-1.

12 Seznam použitých zkratek

AR4, AR5 Assessment Report – Hodnotící zpráva Mezivládního panelu pro změnu klimatu (čtvrtá, pátá)

ČHMÚ Český hydrometeorologický ústav

ČSÚ Český statistický úřad

EEA European Environmental Agency - Evropská agentura pro životní prostředí

EU Evropská unie

FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations - Organizace pro výživu a zemědělství

GCM Global Climate Model nebo General Circulation Model - Globální klimatický model

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change – Mezivládní panel pro změnu klimatu

LSAT Surface Air Temperature – průměrná teplota souší

MAT Marine Air Temperature - teplota vzduchu nad hladinou moře

MZe Ministerstvo zemědělství České republiky

MŽP Ministerstvo životního prostředí České republiky

NPSE Národní program pro snižování emisí České republiky

POH Půdní organická hnota

SST Sea Surface Temperature - povrchová teplota moří

UN United Nations

UNFCCC United Nations Framework Convention on Climate Change - Rámcová úmluva OSN o změně klimatu

VÚMOP Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy

VÚZE Výzkumný ústav zemědělské ekonomiky a informací