Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a rostlinné produkce (FAPPZ)

Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů

Vlivy klimatických změn na zemědělství v EU

Bakalářská práce

Sparysh Larysa

Obor studia: Zahradnictví

Vedoucí práce doc. Dr. Mgr. Vera Potopová

© 2024 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Vlivy klimatických změn na zemědělství v EU" jsem vypracoval(a) 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(ka) uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 10.04.2004 _____

Larysa Sparysh

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala paní doc. Dr. Mgr. Veře Potopové za vedení bakalářské práce, pomoc a dobré rady, které mi velmi pomohly při vytváření mé bakalářské práce.

Vlivy klimatických změn na zemědělství v EU

Souhrn

Téměř všechny lidské činnosti i přírodní procesy jsou ovlivňovány klimatem. Změna klimatu a zemědělství jsou vzájemně propojené procesy, které se odehrávají v celosvětovém měřítku. Změna klimatu bude mít pravděpodobně přímý dopad na produkci potravin po celém světě. Proto změna klimatu patří mezi problémy celosvětového významu.

Hlavní funkcí potravinového systému a jeho primárního sektoru, zemědělství, je uspokojovat základní lidskou potřebu potravin, ale udržitelné potravinové systémy také udržují zdraví ekosystémů a přispívají k sociálnímu blahobytu. Rostoucí populace vyvíjí velký tlak na zemědělství, aby zajistilo potravinovou a výživovou bezpečnost světa, což se dále zhoršuje se změnou klimatu. I když existují nejistoty ohledně budoucího klimatického scénáře a jeho možných dopadů, různé studie uvádějí, že změna klimatu v nadcházejících letech sníží zemědělskou produktivitu. Zemědělská produkce a odolnost potravinového systému závislé na přírodních zdrojích a procesech a jsou citlivé na zhoršování životního prostředí a změnu klimatu. Snížení těchto environmentálních tlaků a přizpůsobení se jejich dopadům je proto nezbytné pro ochranu potravinového zabezpečení, zemědělské půdy a živobytí zemědělců. Zemědělci se proto budou muset vypořádat se změnou klimatu a extrémními klimatickými jevy, které následně ztíží zemědělskou činnost (IPCC 2023). Přístupy ke zmírňování změny klimatu a přizpůsobování se této změně musí být přijaty dříve, než dojde k velké krizi.

Změna klimatu nutí potravinářský průmysl zavádět adaptivní metody k minimalizaci potenciálních ztrát výnosů, včetně používání druhů/odrůd plodin, které jsou méně citlivé, optimalizace hospodaření s vodou a zlepšení kontroly škůdců, chorob a plevelů. Adaptace na dopady změny klimatu umožni minimalizovat negativní dopady změny klimatu na zemědělství. Dopady změny klimatu v Evropě jsou regionálně diferencované, proto je důležité vybrat vhodné opatření pro dané konkrétní místo.

Klíčová slova: Klimatická změna, udržitelnost, ochrana přírody, zemědělství

Impacts of climate change on agriculture in the EU

Summary

Almost all human activities and natural processes are influenced by climate. Climate change and agriculture are interlinked processes that take place on a global scale. Climate change is likely to have a direct impact on food production worldwide. Climate change is therefore a global issue.

The main function of the food system and its primary sector, agriculture, is to meet basic human needs for food, but sustainable food systems also maintain ecosystem health and contribute to social well-being. Growing populations are putting great pressure on agriculture to ensure the world's food and nutrition security, which is further exacerbated with climate change. Although there are uncertainties about the future climate scenario and its possible impacts, various studies have indicated that climate change will reduce agricultural productivity in the coming years. Agricultural production and food system resilience depend on natural resources and processes and are vulnerable to environmental degradation and climate change. Reducing these environmental pressures and adapting to their impacts is therefore essential to protect food security, farmland and farmers' livelihoods. Farmers will therefore have to cope with climate change and extreme weather events, which in turn will make farming more difficult (IPCC 2023). Approaches to mitigating and adapting to climate change must be adopted before a major crisis occurs.

Climate change is forcing the food industry to adopt adaptive methods to minimise potential yield losses, including using crop species/varieties that are less vulnerable, optimising water management and improving pest, disease and weed control. Adaptation to the impacts of climate change will enable the negative impacts of climate change on agriculture to be minimised. The impacts of climate change in Europe are regionally differentiated, so it is important to select appropriate measures for a specific location.

Keywords: Climate change, sustainability, nature conservation, agriculture

Obsah

1 Úvod **7**

2 Cíl práce **8**

3 Literární rešerše **9**

3.1 **Klimatické změny, jejich projevy a dopady v globálním a evropském měřítku** .. **9**

3.1.1 Globální oteplování 9

3.1.2 Vliv globálního oteplovaní v globálním meřítku 11

3.1.3 Dopad změny klimatu na regiony Evropu 14

3.2 Dopady klimatických změn na výnosy hlavních zemědělských plodin **16**

3.2.1 Zvýšeni koncentrace oxidu uhlečitého 17

3.2.2 Účinky teploty a srážek na vývoj a růst plodin 18

3.2.3 Posun různých plodin na sever 20

3.2.4 Škody způsobené extrémními událostmi 21

3.2.5 Změny ve výživě plodin a výskyt plevelů, škůdců a chorob 23

3.2.6 Znečištění životního prostředí (např. vyluhování dusičnanů) nebo degradace zdrojové základny (např. eroze půdy) 24

3.3 Vliv klimatických změn na rajonizace a zemědělské výrobní oblasti EU **24**

3.3.1 Agroklimatické zóny a vliv teploty 26

3.3.2 Pěstované plodiny v Evropě a dopady změny klimatu 29

3.4 Strategie adaptace zemědělství na změnu klimatu v EU **32**

3.4.1 Společné zemědělské politiky (SZP) EU 33

3.4.2 Strategie adaptace na národní úrovni 35

3.4.3 Strategie adaptace na regionální úrovni 36

3.4.4 Strategie adaptace na úrovni podniku 37

4 Závěr **39**

5 Literatura **41**

1 Úvod

Ačkoli změna klimatu je na Zemi neustálým procesem, v nedávné době, se tempo těchto změn mnohonásobně zvýšilo. V důsledku antropogenních aktivit vzrostla průměrná teplota od devatenáctého století o 1 °C, zejména v důsledku emisí skleníkových plynů v atmosféře. Vzhledem k tomu, že emise skleníkových plynů v atmosféře i nadále rostou, stoupá také teplota.

Změna klimatu a zemědělství spolu úzce souvisí. Je zřejmé, že rychlé tempo změny klimatu bude mít dalekosáhlý dopad na zemědělské ekosystémy a jejich produktivitu. Změna klimatu přináší nová rizika, k již tak nejistému vývoji zemědělsko-potravinářského trhu, proto je celosvětovou hrozbou pro zajišťování potravin a výživy. Je nejvyšší čas, abychom se připravili na nadcházející výzvy, abychom bojovali proti dopadům změny klimatu a zajistili dodávky potravin.

Rozsah těchto dopadů se v jednotlivých regionech a plodinách liší, přičemž I mírné dopady klimatu na globální úrovni mohou skrývat významné regionální rozdíly. Tak v Evropě existují velké regionální rozdíly v očekávaných dopadech změny klimatu na pěstování plodin a produktivitu plodin. Změna klimatu již ohrozila produktivitu plodin, zejména u hlavních potravinářských plodin (pšenice, kukuřice, rýže), které jsou základními potravinovými plodinami v mnoha zemích.

Tato práce shrnuje informace shromážděné prostřednictvím literatury týkající se problematiky změny klimatu, jejích možných příčin, její projekce v blízké budoucnosti, jejího dopadu na zemědělský sektor jako vlivu na fyziologické a metabolické aktivity rostlin a jejích důsledků pro růst a produktivitu rostlin, napadení škůdci a strategie zmírňování jejich dopadu.

2 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je zpracovat rešerši, která se zaměřuje na vymezení problematiky klimatické změny.

Analyzovat rozsah probíhajících změn v evropské rostlinné výrobě: možné dopady klimatických změn na růst, vývoj a výnosné parametry hlavních zemědělských plodin.

Charakterizovat probíhající a očekáváné následky změn klimatu na zemědělství a posoudit regionální dopady v rámci celé EU.

Shromáždit a analyzovat informace o zranitelnosti, dopadech a adaptaci zemědělství na změnu klimatu.

V prací jsem vycházela z odborných znalostí vědců.

3 Literární rešerše

3.1 Klimatické změny, jejich projevy a dopady v globálním a evropském měřítku

Klima – je dlouhodobý průměr počasí v určité oblasti, zahrnující teplotu, srážky, vlhkost a další meteorologické jevy. Klima odráží charakteristické podmínky dané geografické oblasti a mění se pomalu během dlouhých období času. Klima může být ovlivněno různými faktory, jako jsou geografická poloha, nadmořská výška, oceánské proudy nebo lidská činnost.

Změnou klimatu se rozumí dlouhodobé změny teplot a vzorců počasí. Takové posuny mohou být přirozené, způsobené změnami ve sluneční aktivitě nebo velkými sopečnými erupcemi. Záznamy údajů o klimatu poskytují důkazy o klíčových ukazatelích změny klimatu, jako je globální nárůst teploty půdy a oceánů; stoupající hladina moří; úbytek ledu na zemských pólech a v horských ledovcích; četnost a závažnost změn extrémního počasí, jako jsou hurikány, vlny veder, požáry, sucha, povodně a srážky; a změny oblačnosti a vegetačního krytu (NASA).

3.1.1 Globální oteplování

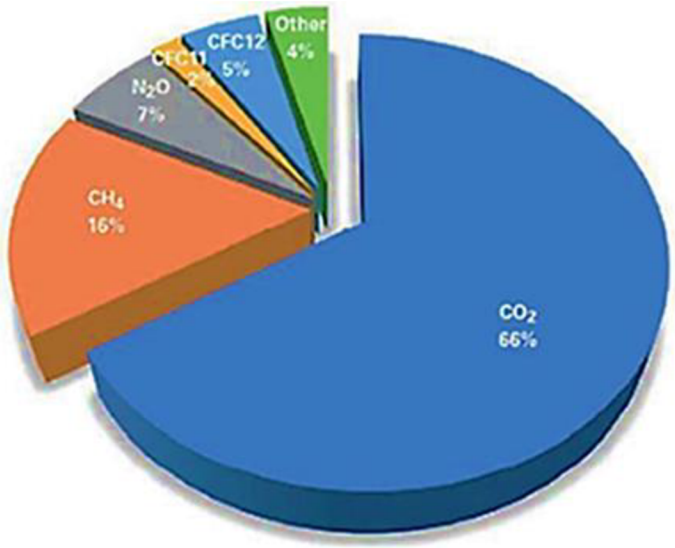
"Změna klimatu" a "globální oteplování" se často používají zaměnitelně, ale mají odlišné významy. Globální oteplování je termín, který popisuje současný vzestup průměrných teplot zemského povrchu, atmosféry a oceánů od předindustriálního období (mezi lety 1850 a 1900) v důsledku lidské činnosti. Období 2011–2020 bylo nejteplejším desetiletím v zaznamenané historii. Průměrná celosvětová teplota v roce 2019 byla 1,1 °C nad úrovní před průmyslovou revolucí (WMO). Globální oteplování vyvolané člověkem v současné době roste tempem 0,2 °C za desetiletí. Nárůst teploty o 2 °C v porovnání s teplotou v předindustriálním období by měl závažné negativními dopady na přírodní prostředí, lidské zdraví a prosperitu, včetně mnohem vyššího rizika, že nastanou nebezpečné a možná dokonce katastrofické změny v životním prostředí. Z tohoto důvodu se mezinárodní společenství shodlo na nezbytnosti udržet oteplování výrazně pod hranicí 2 °C a pokračovat v úsilí o jeho omezení na 1,5 °C. Současný trend oteplování je jednoznačně výsledkem lidské činnosti od 50. let 20. století a po tisíciletí postupuje bezprecedentním tempem (NASA).

Skleníkový efekt

S pojmem globální oteplování jsou pevně spjaty termíny skleníkový efekt a skleníkové plyny. Vědci připisují trend globálního oteplování pozorovaný od poloviny 20. let 20 století k lidské expanzi "skleníkového efektu". Přirozené příčiny jako změna slunečního záření nebo vulkanická aktivita přispěly v období 1890 až 2010 k celkovému oteplení odhadem méně než ± 0,1 °C.

Více než 35 typů skleníkových plynů produkuje člověk, což zvyšuje globální oteplování. Obr. 1 představuje příspěvek nejdůležitějších skleníkových plynů s dlouhou životností ke zvýšení globálního radiačního působení z předindustriální éry do roku 2019.

CO_2 produkovaný lidskou činností nejvíce přispívá ke globálnímu oteplování. Do roku 2021 se jeho koncentrace v atmosféře zvýšila na 149 % nad úrovní před průmyslovou revolucí (WMO). Koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře rostou ve větší míre kvůli spalování fosilních paliv, ale přispívá k tomu i kácení pralesů nebo výroba oceli a cementu.



Obr. 1: Hlavní plyny, které přispívají ke skleníkovému efektu. Zdroj: EPA (https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data)

V důsledku lidské činnosti vznikají také jiné skleníkové plyny, ale jsou uvolňovány v menším množství. Metan (CH_4) má na skleníkový efekt 25krát větší vliv než CO_2, jeho životnost v atmosféře je však kratší. Do atmosféry se dostava především při těžbě fosilních paliv a také na tom má svůj podíl chov dobytka. Z přírodních zdrojů metanu jsou jedním z největších přispěvatelů mokřady.

Oxid dusný (N_2O), stejně jako CO_2, je skleníkový plyn s dlouhou životností, který se v atmosféře hromadí v průběhu desetiletí až století. Vzniká zejména při používání umělých dusíkatých hnojiv.

S dalšími problémy, jako je špatná kvalita ovzduší spojovány jiné znečišťující látky (např. saze, aerosoly), a oni mají na oteplování a ochlazování různé účinky (EPA).

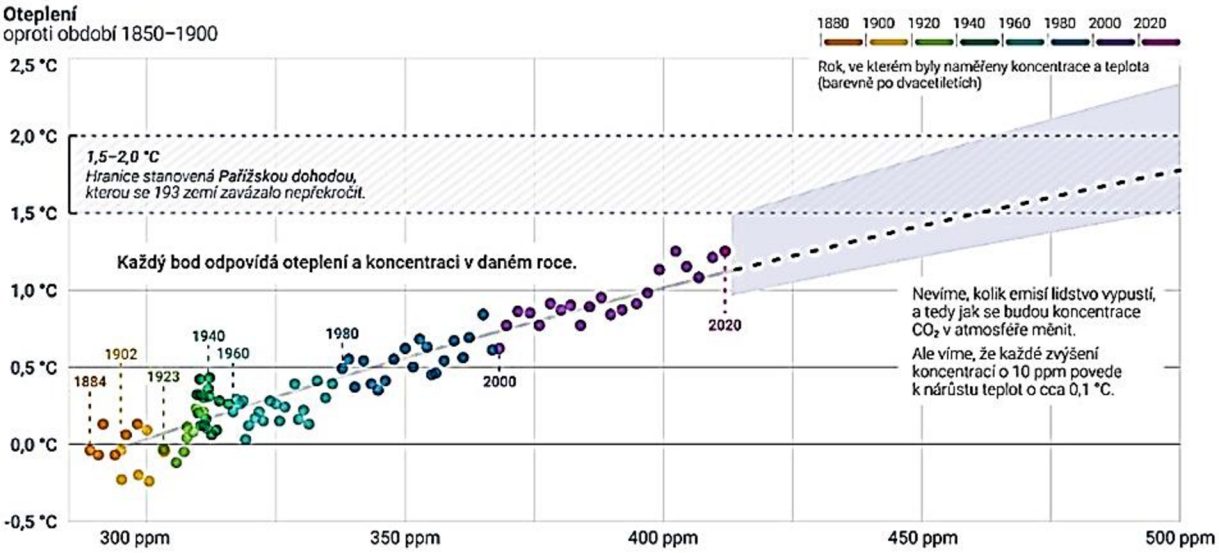
Stoupající teploty

Se zvyšující se koncentrací skleníkových plynů roste i globální povrchová teplota.

V rámci studia klimatické změny jednou z klíčových a nejdéle zkoumaných souvislostí je souvislost globálního oteplování a koncentrace atmosférického oxidu uhličitého. Již v roce 1886 Svante Arrhenius publikoval první výpočty a dalšími studiemi jeho odhady citlivosti klimatu jsou potvrzovány a zpřesňovány.

Z historických dat i modelování budoucího vývoje plyne, že oteplování planety je (přibližně) přímo úměrné nárůstu koncentrací CO_2 v atmosféře (viz Obr. 2). Každé zvýšení koncentrací CO_2 o 10 ppm (parts per million) vede k nárůstu teploty zhruba o 0,1 °C.

Oteplování ovlivněno také i jinými faktory jako další skleníkové plyny, proudění v atmosféře a oceánu, které rozvádí teplo po planetě, ale také aerosoly a formováním oblačnosti (stínící efekt) (Fakta o klimatu). Proto je tento vztah pouze přibližný.



Obr. 2: Souvislost koncentrace CO_2 a globálního oteplovaní. Zdroj: Fakta o klimatu (https://faktaoklimatu.cz/temata/emise)

Body v levé části grafu zobrazují jednotlivé roky v období 1884–2020. Umístění bodu vždy odpovídá hodnotám koncentrace CO_2 v daném roce (na vodorovné ose) a hodnotám teplotní anomálie pro daný rok (na svislé ose) (Fakta o klimatu).

3.1.2 Vliv globálního oteplovaní v globálním měřítku

Šestá hodnotící zpráva IPCC, zveřejněná v roce 2023, zjistila, že lidské emise plynů zachycujících teplo již od roku 1850-1900 ohřály klima o téměř 1,1 stupně Celsia. Avšak je to průměrná teplotní hodnota pro celou planetu – na severní polokouli většina míst je dnes teplejší o 2–3 °C oproti referenčnímu období. Očekává se, že průměrná globální teplota dosáhne nebo překročí 1,5 stupně Celsia během několika příštích desetiletí. Nárůst teploty o 2 °C v porovnání s teplotou v předindustriálním období by měl závažné negativními dopady na přírodní prostředí, lidské zdraví a prosperitu, včetně mnohem vyššího rizika, že nastanou nebezpečné a možná dokonce katastrofické změny v životním prostředí. Tyto změny se dotknou všech oblastí Země.

Stoupající teploty. Klimatická krize zvýšila globální průměrnou teplotu. Všechny regiony země zaznamenaly nárůst počtu horkých dnů a vln veder. Očekává se, že vyšší teploty způsobí změnu v zeměpisném rozložení klimatických pásů. To bude mít za následek změny v rozšíření a přirozeném výskytu mnoha rostlinných a živočišných druhů. Mohou se snižovat výnosy a životaschopnost zemědělství a existenci mnohých ekosystémů. Zvýšení teploty může rovněž ovlivnit fenologii: chování a životní cyklus živočišných a rostlinných druhů. To by pak mohlo

vést ke zvýšení počtu škůdců a invazivních druhů, k výskytu některých lidských chorob. Nejvíce postiženými budou nejzranitelnější skupiny obyvatelstva: starší lidé a kojenci, a může to vést ke zvýšené úmrtnosti (European Commission).

Vyšší teploty způsobují větší odpařování vody, což spolu s nedostatkem srážek zvyšuje riziko silného sucha (United Nations). Globální oteplování snižuje předvídatelnost událostí, a tudíž naši schopnost účinně na ně reagovat (European Commission).

Sucho a přírodní požáry. Již nyní se mnoho regionů světa potýká s častějšími, dlouhodobějšími a závažnějšími obdobími sucha a situace se bude zhoršovat vzhledem k měnícímu se klimatu. Globální oteplování zhoršuje nedostatek vody v regionech, ve kterých je již tak nedostatek, a zvyšuje riziko, že sucha v zemědělství budou mít dopad na plodiny a ekologická sucha zvýší zranitelnost ekosystémů. Sucha mohou také způsobit ničivé písečné a prachové bouře, které jsou schopny přemístit miliardy tun písku napříč kontinenty. Pouště se rozšiřují a zmenšují plochu půdy dostupné pro pěstování plodin (United Nations).

Srážkové anomálie mají škodlivé účinky na zemědělství, zejména v rozvojových zemích. Kromě toho, že ovlivňuje výnosy plodin, významně ovlivňuje plochy orné půdy. Existují důkazy, které naznačují, že přibližně 9% tempo expanze orné půdy v rozvojovém světě v posledních dvou desetiletích je způsobeno suchými anomáliemi, protože zemědělci rozšiřují plochu, aby kompenzovali ztráty výnosů (Zhang et al. 2010).

V Evropě sucha mají dopad na zemědělství, energetiku, veřejné zásobování vodou a každý rok způsobují ztráty v přibližné výši 9 miliard eur. Stále častěji se pozorují v Evropě i období extrémního sucha, což s nese i nárůst ztrát. Zejména ve Středomoří častější sucho zvyšuje délku a závažnost lesních požárů (United Nations).

Dostupnost sladké vody. S oteplováním klimatu se zvyšuje tání ledovců a stoupají hladiny moří, mění se režimy srážek. Řeky obvykle pramení v horských oblastech (v Evropě 40 % sladké vody pochází z Alp). Změna dynamiky sněhu a ledovců mohou vést k dočasnému nedostatku vody. Pravděpodobně, že k významným změnám v dostupnosti vody povedou méně předvídatelne srážkové režimy a intenzivnější bouří. Všechny tyto faktory ve velké míře ovlivňují dostupnost sladké vody. Ještě zhorší problém nedostatku vody je to, že rostoucí teploty vody podporují růst toxických řas a bakterií, což moc ovlivnuje kvalitu vody.

Zejména v jižní a jihovýchodní Evropě to povede ke zvýšenému nedostatku vody, a ke zvýšenému riziku povodní na většině kontinentu.

Povodně. Změna klimatu má za následek zvýšený a sporadický výskyt povodní v posledních několika letech. Zpráva vědecké poradní rady evropských akademií (EASAC) naznačuje, že extrémní události, včetně povodní, se za posledních 50 let zvýšily o 10 % a nyní se vyskytují čtyřikrát častěji než před 20 lety. Silné povodně v indické Kerale v roce 2018 jsou zářným příkladem, který to ukazuje. Zatímco krátké, intenzivní průtrže mračen mohou způsobit záplavy, k povodním povedou především déle trvající vydatné srážky. Tyto povodně mají za následek vyplavování svrchní vrstvy půdy a živin z půdy, což má za následek nízkou

produktivitu v nadcházejících letech, pokud a dokud nebudou vypracovány nápravné a proaktivní sanační strategie**.** V posledních třech desetiletích jsou povodně v Evropě poměrně běžná přírodní katastrofa, která spolu s bouřemi způsobila škody na majetku milionů lidí, obrovské hospodářské ztráty a má na svědomí i lidské životy. Pravděpodobně v nadcházejících letech změna klimatu zvýší četnost povodní v celé Evropě (European Commission).

Zesilující bouře. V mnoha regionech došlo ke zvýšení intenzity a četnosti ničivých bouří. S rostoucími teplotami se odpařuje více vláhy, což zesiluje přívalové deště a záplavy, a způsobuje bouře nebezpečnější. Četnost a velikost tropických bouří je také ovlivněna oteplováním oceánů. Cyklóny, hurikány a tajfuny se tvoří v teplých vodách blízko hladiny oceánu. Takové hurikány často ničí domovy a komunity, způsobují ztráty na životech a obrovské ekonomické ztráty (United Nations).

Vzestup hladiny moří. Oceán absorbuje většinu tepla generovaného globálním oteplováním. Za posledních dvacet let se rychlost, s jakou se oceán otepluje, dramaticky zvýšila ve všech jeho hloubkách. Jak se oceán otepluje, jeho objem se zvětšuje, protože voda se při oteplování rozpíná. Tání ledových příkrovů také způsobuje vzestup hladiny moří, což ohrožuje pobřežní a ostrovní komunity. Oceán navíc absorbuje oxid uhličitý z atmosféry, zatímco zvyšující se množství oxidu uhličitého zvyšuje kyselost oceánu, což ohrožuje mořský život a korálové útesy (United Nations).

Globální průměrná hladina moří se od roku 1900 zvýšila asi o 21 cm, a to zrychlujícím se tempem. Od roku 1970 je antropogenní působení hlavní příčinou tohoto zrychlujícího se vzestupu hladiny moří jak v celosvětovém měřítku, tak v evropských regionálních mořích. Tepelná roztažnost vody v oceánech byla zpočátku hlavní hnací silou, ale tání ledovců a ledových příkrovů v Antarktidě a Grónsku překonalo účinky tepelné roztažnosti přibližně od roku 2000. V závislosti zejména na tempu tání ledové vrstvy v Antarktidě, předpokládá se, že do konce 21.století dojde v Evropě ke zvýšení hladiny moří až o 80 cm. Vzestup hladiny moří, riziko povodní a eroze v pobřežních oblastech spolu s dalšími dopady změny klimatu zvýší negativní důsledky pro obyvatelstvo, přírodní podmínky a infrastrukturu v těchto regionech (EEA).

Kromě vzestupu hladiny moří způsobí průnik mořské vody do vrstev s podzemní vodou a tím sníží množství dostupné sladké vody. To povede k mnohem většímu pronikání slané vody do útvarů sladké vody, což ovlivní zemědělství a zásobování pitnou vodou (European Commission).

Biologická rozmanitost. Poslední desetiletí ke změně klimatu dochází takovým rychlým tempem, že se mu nestíhají přizpůsobit mnohé rostlinné a živočišné druhy. Biologická rozmanitost na změnu klimatu reaguje tím, že se mění struktura stanovišť a ekosystémové procesy, složení jednotlivých společenství, četnost a rozšíření druhů, chování a životní cyklus. Svět zhoršený klimatickými změnami ztrácí druhy tisíckrát rychleji než kdykoli v zaznamenané historii lidstva. Milion živočišných druhů je v příštích několika desetiletích ohrožen vyhynutím.

Dopady změny klimatu významně mění fyzikální a biologické složení oceánů. Tyto změny budou mít nevyhnutelné dopady na pobřežní a mořské ekosystémy, což povede k významným socioekonomickým důsledkům pro mnoho regionů (United Nations).

Půdy. Změna klimatu vede k velmi vysoké míře degradace půdy, což způsobuje zvýšenou desertifikaci a nedostatek živin v půdě. Hrozba degradace půdy je charakterizována jako hlavní globální hrozba a s každým dnem se zvyšuje. Podle Globálního hodnocení degradace a zlepšování půdy (GLADA) může být nyní čtvrtina rozlohy po celém světě označena jako znehodnocená. Předpokládá se, že degradace půdy ovlivní životy 1,5 miliardy lidí a každý rok se kvůli antropogenním aktivitám a změně klimatu ztratí 15 miliard tun úrodné půdy. V roce 2017 bylo 500 milionů hektarů zemědělské půdy opuštěno kvůli suchu a desertifikaci, což vede k významným sociálním a environmentálním omezením. Extrémní sucho, které se často vyskytuje v důsledku změny klimatu, snižuje produktivitu plodin tím, že způsobují imobilizaci živin a hromadění soli v půdě, což je činí suchými, nezdravými, slanými a nakonec neplodnými. Taková neúrodná půda se časem stává neornou půdou, a nakonec je zemědělci opouštějí, což vede k ekonomickým ztrátám a sociálním problémům.

Nedostatek jídla. Změny klimatu a nárůst extrémních povětrnostních jevů patří mezi důvody celosvětového nárůstu hladu a špatné výživy. Rybolov, plodiny a hospodářská zvířata mohou být zničeny nebo se mohou stát méně produktivními. Vzhledem k tomu, že oceán je stále kyselejší, jsou ohroženy mořské zdroje, které živí miliardy lidí. Změny sněhové a ledové pokrývky v mnoha arktických oblastech narušily dodávky potravy z pastevectví, lovu a rybolovu. Tepelný stres může úbytek vody a travních porostů pro pastvu, což způsobuje pokles výnosů plodin a ovlivňuje hospodářská zvířata (FAO).

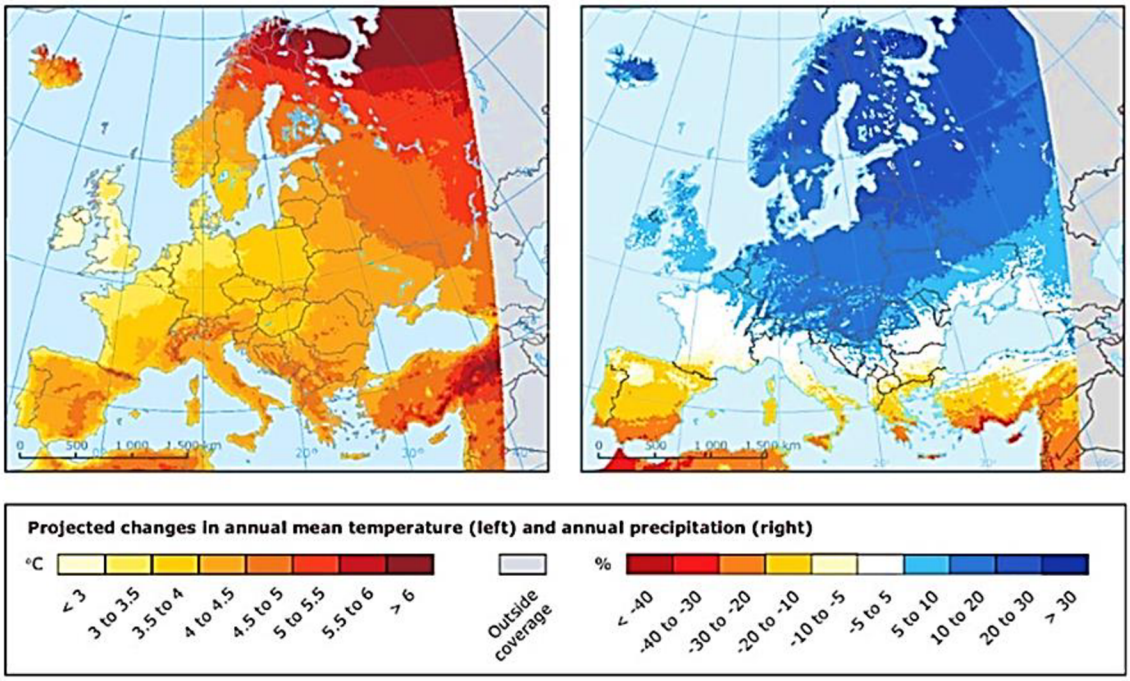
Chudoba a vysídlení. Změna klimatu zvyšuje počet faktorů, které uvrhují a udržují lidi v chudobě. Záplavy mohou smést městské slumy a zničit domovy a živobytí. Teplo může ztížit práci ve venkovních pracích. Nedostatek vody může ovlivnit plodiny. V posledním desetiletí (2010–2019) vyhnaly události související s počasím každý rok z domovů v průměru 23,1 milionu lidí, takže mnoho dalších lidí bylo ohroženo chudobou. Většina uprchlíků pochází ze zemí, které jsou nejzranitelnější a nejméně připravené přizpůsobit se dopadům změny klimatu (FAO).

3.1.3 Dopad změny klimatu na regiony Evropy

Evropa je nejrychleji se oteplujícím kontinentem na světě a klimatická rizika ohrožují její energetickou a potravinovou bezpečnost, ekosystémy, infrastrukturu, vodní zdroje, finanční stabilitu a zdraví lidí.

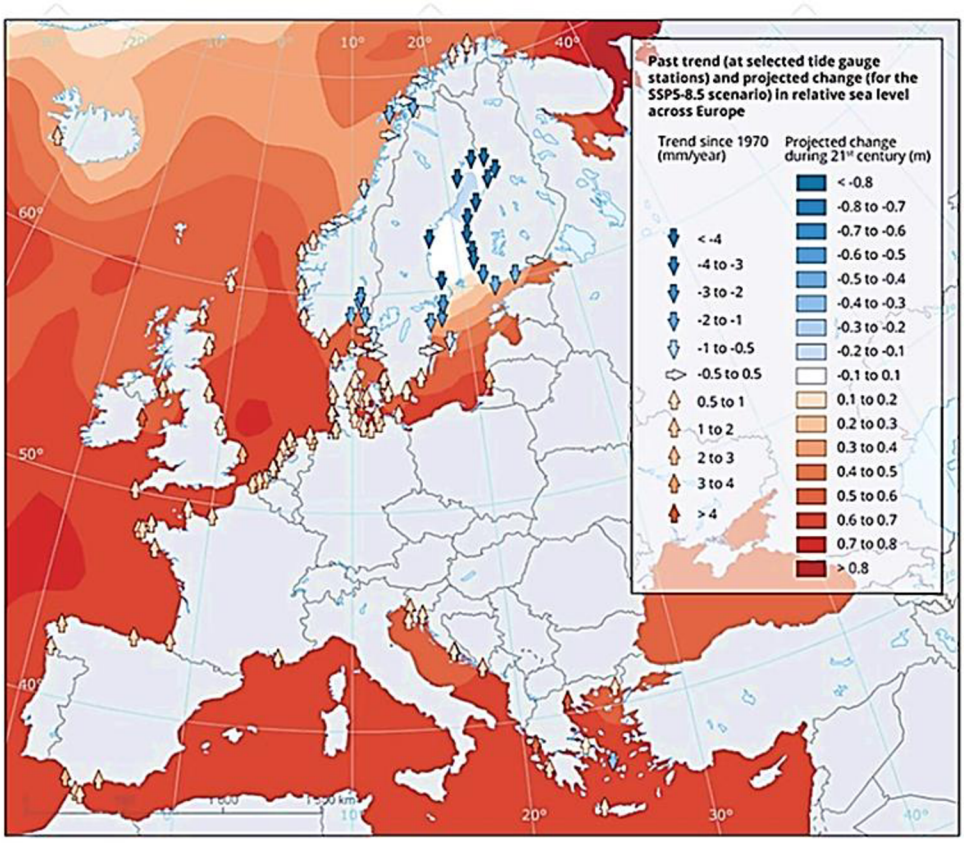
Zatímco dopady změny klimatu jsou pociťovány v celé EU, dopady pociťované v různých regionech se budou lišit. Z našeho posouzení rovněž vyplývá, že některé regiony jsou zranitelnější:

- ✓ Předpokládá se, že průměrné roční teploty pevniny nad Evropou se budou i nadále zvyšovat o více než celosvětovou průměrnou teplotu. Největší nárůst teplot se předpokládá nad východní a severní Evropou v zimě a nad jižní Evropou v létě (viz Obr. 3).
- ✓ Obecně se předpokládá, že roční úhrn srážek v severní Evropě vzroste a v jižní Evropě se sníží, čímž se zvýší rozdíly mezi aktuálně vlhkými a suchými oblastmi (viz Obr. 3). V kombinaci s častějšími vlnami veder bude nižší úhrn srážek představovat větší riziko sucha a lesních požárů na jihu.



Obr. 3: Předpokládané změny průměrné roční teploty (vlevo) a ročních srážek (vpravo). Předpokládané změny jsou pro období 2071–2100 ve srovnání s obdobím 1971–2000. Zdroj: EEA (https://www.eea.europa.eu/help/advanced-search)

- ✓ Předpokládá se, že intenzita bouří se bude v celé Evropě zvyšovat, ale změny četnosti se budou v jednotlivých regionech lišit.
- ✓ Předpokládá se, že ve střední a jižní Evropě bude sněhových srážek ubývat, zatímco v severní Evropě se očekávají smíšené změny.
- ✓ Předpokládá se, že v budoucnu budou relativní změny hladiny moří podél většiny evropského pobřeží přiměřeně podobné celosvětovému průměru. Hlavními výjimkami jsou severní pobřeží Baltského moře a severní pobřeží Norska, kde dochází ke značnému nárůstu pevniny v důsledku postglaciálního odrazu a změn gravitačního pole grónského ledového příkrovu. V důsledku toho bude hladina moří v poměru k pevnině v těchto regionech nadále stoupat pomaleji než jinde, nebo se dokonce může snižovat (viz Obr. 4).
- ✓ Předpokládá se, že povrchová teplota moří se zvýší ve všech evropských mořích. Očekává se také, že evropská moře budou kyselejší (EEA).



Obr. 4: Dosavadní trend a předpokládaná změna relativní hladiny moří v Evropě. Zdroj: EEA (https://www.eea.europa.eu/help/advanced-search)

3.2 Dopady klimatických změn na výnosy hlavních zemědělských plodin

Zemědělství je jedním ze socioekonomických odvětví, které je nejvíce závislé na klimatu a počasí, protože většina produktivity a kvality zemědělství je přímo závislá na různých meteorologických a klimatických faktorech (Akritidis et al. 2023).

Vědecké publikace z počátku století uvádějí pozitivní účinky na zemědělství v mírném pásmu. V oblastech středních a vyšších zeměpisných šířek, které jsou charakteristické pro mírné pásmo s nízkými teplotami, mohou zvýšené teploty způsobené změnou klimatu poskytnout delší vegetační období, zavedení nových druhů/odrůd plodin a rozšíření vhodných oblastí. Mírné zvýšení teploty a CO_2 koncentrace mohou také zvýšit produktivitu plodin (Olesen a Bindi 2002; Battisti a Naylor 2009). Výzkum z druhé dekády 21. století však tyto názory změnil. Nové údaje naznačují, že v mírném podnebí, dokonce i při mírném oteplování, změna klimatu sníží výnosy primárních plodin. Tyto změny budou větší během druhé poloviny století (Challinor et al. 2014; Asseng et al. 2015; Van Meijl et al. 2018).

Vzhledem k dopadům změny klimatu je odvětví zemědělství, včetně plodin a hospodářských zvířat, nepříznivě ovlivněno a ohroženo následnou zranitelností způsobenou změnou klimatu. Variabilita klimatu ovlivňuje zemědělství a produktivitu potravin různými

způsoby, přičemž se výrazně liší od globální po regionální úroveň (Tilman et al. 2011; Wu a kol. 2014).

Očekává se, že změna klimatu ovlivní pěstování plodin a živočišnou výrobu, hydrologickou bilanci, dodávky vstupů a další složky zemědělských systémů. Povaha těchto biofyzikálních vlivů a reakce člověka na ně jsou složité a nejisté. Například výnosy plodin a hospodářských zvířat jsou přímo ovlivněny změnami klimatických faktorů, jako jsou např. teplota a srážky a četnost a závažnost extrémních jevů, jako jsou sucha, povodně a záplavy, větrné bouře. Kromě toho má oxid uhličitý zásadní význam pro produkci rostlin; jeho zvyšující se koncentrace má za následek může zvýšit produktivitu agroekosystémů. Změna klimatu může také změnit typy, četnost a intenzitu různých plodin a hospodářských zvířat, škůdců, dostupnost a načasování zavlažovací vody a závažnost půdní eroze (Adams et al. 1998). Kromě dopadů na produktivitu plodin ovlivňuji změny klimatu také nutriční konfiguraci potravin. Bylo zjištěno, že změna klimatu snížila konzumovatelné kalorie v každodenní rutinní stravě během posledních několika desetiletí (Ray et al. 2019).

Změna klimatu ovlivňuje zemědělskou rostlinnou výrobu především šesti způsoby:

(1) přímo prostřednictvím účinků na zvyšování emisí CO_2 koncentrace na produktivitu plodin a efektivitu využívání zdrojů (Kimball et al. 2002; Ainsworth a Long 2005),

(2) přímo prostřednictvím účinků teploty, srážek a soli na vývoj a růst plodin (Olesen a Bindi 2002),

(3) nepřímo prostřednictvím posunů vhodnosti různých plodin, především expanze teplých plodin na sever (Kenny et al. 1993; Carter et al., 1996; Fronzek a Carter, 2007),

(4) přímo prostřednictvím škod způsobených extrémními událostmi, jako jsou extrémní vlny veder, krupobití a záplavy

(5) nepřímo prostřednictvím změn ve výživě plodin a výskytu plevelů, škůdců a chorob

(6) nepřímo prostřednictvím znečištění životního prostředí (např. vyluhování dusičnanů) nebo degradace zdrojové základny (např. eroze půdy) (Kopecká et al. 2023).

3.2.1 Zvýšeni koncentrace oxidu uhlečitého

Různé studie se zaměřily na dopady budoucích klimatických projekcí při různých úrovních CO_2 a že zvýšené hladiny CO_2 pravděpodobně zvýší produktivitu plodin v důsledku zlepšení procesů fotosyntézy a zlepšené účinnosti využívání vody (WUE) v důsledku hnojení vysokým obsahem uhlíku. Naproti tomu bylo také zjištěno, že produktivita plodin se v praxi zvýší s menším tempem, než předpokládá v modelech plodin (Long et al. 2006; Ainsworth a Ort 2010).

Vliv koncentrace CO_2 se lisi podle plodiny, umisteni a velikosti zmeny parametru. Reakce plodin na vyšší koncentraci CO2 se liší pro rostliny C3 a C4. Zatím co fotosyntéza rostlin C4 (kukuřice, čirok, cukrová třtina) je méně ovlivňována nárůstem koncentrace CO_2, v případě rostlin typu C3 (pšenice, rýže, brambory, sója, cukrová řepa atd.) očekává se, že sklizeň se zvýší. Nejvyšší vliv CO_2 byl zaznamenán u hlíznatých plodin, které mají velkou kapacitu pro ukládání sacharidů v podzemních orgánech. Obecně výsledek ale závisí podle podmínek teploty vzduchu, dostupnosti vody a živin. (Trnka et al. 2015).

Zvýšené emise CO_2 Hladiny ve vzduchu způsobují snížení produkce aminokyselin a tím i obsahu bílkovin v jedlých částech plodin a také ovlivňují nutriční hodnotu zeleniny (Dong et al. 2018). Srovnávací analýzy několika obilovin a luštěnin ukázaly snížení obsahu bílkovin v případě obilovin v důsledku vyšší koncentrace CO_2 mezi 7 a 10 %, zatímco později bylo snížení nevýznamné (Myers et al. 2014; Weigel 2014; Dietterich et al. 2015).
Spolu s nedostatkem bílkovin je zvýšený CO_2 také způsobuje snížení základních minerálů v hlavních potravinářských plodinách. Pokud CO_2 koncentrace zahrnuje 550 ppm, snižuje hladinu zinku (Zn) a železa (Fe) o 3–11 % v obilovinách a luštěninách. Kromě toho, pokud by CO_2 hladina dosahuje až 690 ppm, snižuje draslík (K), fosfor (P), vápník (Ca), síru (S) a mangan (Mn) v širokém spektru potravinářských plodin (Loladze 2014; Ebi a Loladze 2019). Při zvýšené úrovni CO_2, obsah zinku a železa v obilí a luštěnin se snižují, což má negativné účinky na lidské zdraví.

3.2.2 Účinky teploty a srážek na vývoj a růst plodin

Rostlinné systémy, a tedy i výnosy plodin, jsou ovlivňovány mnoha faktory prostředí a tyto faktory, jako např. jako vlhkost a teplota, mohou při určování výnosů působit buď synergicky, nebo antagonisticky s jinými faktory (Waggoner 1983).

Teplota. Teplota je hlavním abiotickým faktorem ovlivňujícím fenologický vývoj rostlinných druhů, přičemž teploty akumulované v průběhu času (tj. tepelného času) charakterizují fyziologický vývoj rostlin během jejich životního cyklu (Trudgill et al. 2005). Ačkoli se tepelné požadavky na růst u jednotlivých druhů rostlin liší, pozorované oteplování klimatu již významně přispělo k dřívějšímu výskytu fenofází běžných druhů rostlin, včetně bylin, zemědělských plodin, ovocných stromů a lesů (Schleip et al. 2009), s významnými důsledky pro zdraví rostlin a biologickou rozmanitost (Ceglar et al. 2019).

Teplotní optima se liší podle druhu plodiny, kultivaru a stupně vývoje (Fatima et al. 2020). Na základě teplotního optima pro nejvýznamnější evropské plodiny (tabulka 1) (Kopecká et al. 2023) lze konstatovat, že teploty nad 30 °C již nejsou pro evropskou rostlinnou výrobu optimální.

Vyšší teploty přímo ovlivňují vegetativní stádia rostlin, alokaci zdrojů, a především reprodukční procesy, což může vést k podstatnému snížení výnosů (Khan et al. 2023). Vyšší teploty výrazně ovlivňují reprodukční fáze vývoje. U druhů rodu Brassica snižují teploty přesahující 29,5 °C v období od vypuknutí do konce kvetení květy, počet lusků, hmotnost semen a tím i celkový výnos (Morrison a Stewart 2002). Aiqing et al. (2018) uvedli, že vystavení teplu během gametogeneze jarní pšenice je hlavním určujícím faktorem ztráty výnosu. Analýzy Asseng et al. (2015) ukazují, že globální oteplování zpomaluje růst výnosů pšenice na většině míst, kde se pěstuje. Odhadli, že zvýšení teploty o 1 °C způsobí celosvětový pokles produkce pšenice o 6 %.

Tabulka 1. Optimální teplotní podmínky pro hlavní evropské plodiny (Kopecká et al. 2023)

Plodina	Optimální teplota	Vývojová fáze	Publikace
Pšenice *(Triticum aestivum)*	12-22 °C	kvetení a náplň zrna	Tashiro et al. 1990
Ječmen obecný *(Hordeum vulgare)*	25 °C	obilná náplň	Otero et al. 2021
Kukuřice *(Zea mays)*	28-32 °C	obecné	Arnold 1974
Řepka olejková *(Brassica napus)*	21-25 °C	obecné	Deligios et al. 2013
Cukrová řepa *(Beta vulgaris)*	22-26 °C	růst kulového kořene	Kenter et al. 2006
Brambory *(Solanum tuberosum)*	15-19 °C	růst hlíz	van Dam et al. 1996
Hrozny vinné *(Vitis vinifera)*	20-40 °C	vývoj bobulí	Greer 2018
Rajčata *(Solanum lycopersium)*	22-26 °C	násada a výnos plodů	Sato et al. 2001
Slunečnice *(Helianthus annuum)*	12-20 °C	obecné	Chimenti et al. 2001
Jablka *(Malus domestika)*	18-21 °C	růst výhonků a iniciace květu	Heide et al. 2020

S ohledem na jejich mrazuvzdornost plodiny lze klasifikovat jako citlivé na chlazení, odolné vůči chladu nebo mrazuvzdorné (Ding et al. 2019). Citlivost na teplotní prahy se liší v závislosti na druhu plodiny, kultivaru a vývojovém stádiu jednotlivé rostliny (Mahfoozi a Limin 2021). Mnoho důležitých plodin si může vybudovat odolnost vůči chladu, ale náhlé změny teploty, jejichž výskyt se zvyšuje se změnou klimatu, neumožňují proces aklimatizace.

Mezi vybranými plodinami pěstovanými v Evropě patří pšenice k mrazuvzdorným druhům (Zhao et al. 2020). I když je známo, že pšenice snáší mrazivé podmínky, produkce pšenice může být ovlivněna pozdně jarními mrazy a silnými zimními mrazy bez dostatečné sněhové pokrývky (Trnka et al. 2014). Brambory jsou považovány za plodiny odolné vůči chladu, zatímco kukuřice, rajčata a hrozny jsou považovány za plodiny citlivé na chlad (Fenykl 2004). Cukrová řepa je potenciální ozimou plodinou, ale nízké zimní teploty omezují její produkci. Bylo prokázáno, že teploty již −5 °C nemají vliv na přežití rostlin cukrové řepy, zatímco při −7 °C klesá míra přežití rostlin na 50 % a teploty od −9 °C do −15 °C je zcela zabíjejí (Loel a Hoffmann 2014).

Srážky. Zemědělství v současné době představuje 70 % celosvětové poptávky po čisté vodě a očekává se, že toto procento se bude v nadcházejících letech rychle zvyšovat (Boretti a Rosa 2019). Zvýšení srážek (tj. jejich množství, načasování a variabilita) může prospět polopouštním a jiným oblastem s nedostatkem vody tím, že zvýší půdní vlhkost, ale mohlo by také zhoršit problémy v oblastech s nadbytkem vody, zatímco snížení srážek by mohlo mít opačný účinek (Adams et al. 1998). Podle Evropského střediska pro sledování sucha, se sucho neomezuje pouze na některé konkrétní regiony v Evropě (Copernicus 2023). Nedostatečné srážky, jak ukazuje standardizovaný index srážek, byly zjištěny během léta 2022 ve všech hlavních zemích produkujících plodiny v Evropě a korelovaly s výrazně nižším indexem anomálií půdní vlhkosti v celé Evropě.

Obecně platí, že vyšší potenciál pro zvýšení výnosů obilovin je patrný u vlhčích a chladnějších oblastí (tj. vrchovin) než u sušších a teplejších nížin, kde bude výnosový potenciál

ve většině scénářů stále více omezován klesající dostupností vody a tepla plodin. Kromě toho se v nadcházejících desetiletích zvýší variabilita výnosů, ale ke konci 21. století se může snížit (Eitzinger et al. 2012).

Současné výsledky ukázaly, že plodiny, zejména v teplých a suchých nížinných oblastech (podunajské nížiny a rozsáhlé oblasti panonské oblasti jihovýchodní Evropy), budou potřebovat více vody, aby si udržely svůj produkční potenciál. Pokud jde o zavlažování, doporučuje se účinné hospodaření s regionálními zdroji zavlažovací vody, zlepšení účinnosti využívání vody v zavlažovacích systémech a zavedení a používání účinných zavlažovacích metod, jako je deficitní zavlažování (Ceglar et al. 2019). Vliv změny klimatu na výnosy plodin se liší podle oblasti a aplikace zavlažování. Výnosy plodin lze zvýšit rozšířením zavlažovaných ploch, což může mít škodlivý vliv na životní prostředí (Rodríguez et al. 2014). Studie také naznačila, že za podmínek pravidelného zavlažování jsou anomálie výnosu silněji spojeny s extrémy souvisejícími s teplotou než s faktory souvisejícími se srážkami (Vogel et al. 2019).

Stres ze soli. Vysoce zasolená půda může být výsledkem přírodních procesů (zvětrávání, déšť s obsahem mořské soli) nebo lidské činnosti (mýcení půdy, zavlažování) (Parihar et al. 2015). Stres solí negativně ovlivňuje růst, vývoj a produkci rostlin. Odhaduje se, že přibližně polovina veškeré zavlažované půdy je ovlivněna salinitou (Gong et al. 2020).

Rostliny jsou proměnlivé ve své odolnosti vůči soli. Většina plodin jsou glykofyty, které jsou citlivé na stres ze slanosti. Zelenina citlivá na sůl, jako jsou fazole (Phaseolus vulgaris), mrkev (Daucus carota) nebo cibule (Allium cepa), může tolerovat pouze nízké úrovně slanosti s prahem škodlivých účinků kolem 1 dS/m, což je hluboko pod úrovní 4 dS/m používanou ke klasifikaci půdy jako slané (Munns a Tester 2008). Výnos plodiny pěstované v půdách se zvyšující se salinitou se liší nejen podle rostlinných druhů, ale také podle kultivarů, jak bylo prokázáno v laboratorních podmínkách pro olivy (*Olea europaea*) (Regni et al. 2019) a kukuřici (Chen et al. 2019) a v polních podmínkách pro pšenici, ječmen (Setter et al. 2016) a brambory (Van Straten et al. 2021). Hledání rezistentních kultivarů či odrůd je tedy sice slibnou strategií pro udržení výnosů tam, kde se zvyšuje salinita půdy, ale zjevně se nejedná o konečné řešení.

3.2.3 Posun různých plodin na sever

Přibývá důkazů, že oteplování již silně změnilo systémy zemědělské produkce plodin (Olesen et al., 2011) a také lokalizace a složení ekosystémů v Evropě, mimo fenologické vývojové fáze. Pozorované oteplování také podpořilo přesun druhů plodin do oblastí, které byly dříve omezeny buď příliš krátkou délkou vegetačního období (GSL), nebo nedosažitelnými tepelnými požadavky na dokončení růstového cyklu plodin (Hannah et al. 2013; Park et al. 2016). Dobře zdokumentovaným příkladem je posun v klimatické vhodnosti pro výrobu vína, který byl prostorově většinou omezen na středomořské, jižní námořní a panonské regiony v Evropě (Hannah et al. 2013) a který se v nedávném období rozšířil do několika regionů střední a západní Evropy (Spinoni et al. 2015).

Očekávaná změna klimatu pravděpodobně podpoří další expanzi plodin přizpůsobených teplejšímu klimatu směrem na sever, ale také sníží vhodnost v oblastech

postižených stále vyššími teplotami a častějšími suchy (Hannah et al. 2013; King et al. 2018). King a kol. (2018) navrhli, že podmínky vhodné pro pěstování zažijí do konce 21. století v boreálních oblastech expanzi na sever až o 1200 km. Rozšíření podmínek příznivých pro zemědělskou produkci plodin v boreálních oblastech na sever však bude doprovázeno migrací agroklimatických zón a podmínek pěstování plodin i jinde v Evropě. Migrační rychlost homogenních klimatických zón lze považovat za přímé měřítko proměnlivé vhodnosti teploty pro zemědělství a ekosystémy. Tento princip byl již dříve používán jako indikátor hrozeb pro ekosystémy v oblasti změny klimatu (Loarie at al. 2009).

3.2.4 Škody způsobené extrémními událostmi

Drtivá většina zemědělské půdy prochází abiotickým stresem, který může výrazně snížit zemědělské výnosy. Pochopení mechanismů obrany rostlin proti stresu a uvedení těchto znalostí do praxe je proto nedílnou součástí udržitelného zemědělství. Abiotické stresory, jako je sucho, slanost půdy, teplo a chlad, jsou hlavními omezujícími faktory ovlivňujícími produkci plodin jak kvalitativně, tak kvantitativně. Ve srovnání s rekordními výnosy může abiotický stres snížit výnosy v průměru o více než 60 %.

Z globálního pohledu klimatické extrémy vykazují rostoucí gradient směrem k pólům a teplotní variabilita demonstruje rostoucí převahu tepelných extrémů oproti studeným (Zhang et al. 2022).

Nedávná studie založená na údajích o výnosech na nižší, než národní úrovni ukázala, že klimatické extrémy by mohly vysvětlit až polovinu globální variability výnosů plodin (Vogel et al., 2019). Extrémní sucho a tepelný stres měly nepříznivý dopad na zemědělskou produkci plodin v jižní Evropě, kde se vyskytly střední až extrémní problémy (Fontana et al. 2015).

Tepelný stres. Tepelný stres je definován jako vystavení teplotám nad optimum, které jsou dostatečné k tomu, aby způsobily nevratné poškození růstu a vývoje rostlin. Extrémně vysoké teploty mají za následek rychlé poškození buněk a buněčnou smrt. Tepelný stres ve vegetativní fázi růstu rostliny může vést k nižší rychlosti fotosyntézy následované snížením biomasy (Khan et al. 2022).

Bheemanahalli a kol. (2019) pozorovali 2–93% snížení klíčivosti pylu po ošetření tepelným stresem u genotypů jarní pšenice. Výnos kukuřice je obvykle snížen potratem jádra, což může být důsledkem nízkého využití rozpustného cukru, které je výsledkem modulace syntézy škrobu během stresu z tepla a sucha. Vysoké teploty v celé fázi plnění zrna kukuřice vedly ke snížení hmotnosti zrna o 28 % (Wang et al. 2021). Mnoho autorů prokázalo, že plodiny jsou velmi citlivé na tepelný stres, zejména během reprodukčních fází. Oblasti nejvíce postižené vysokými teplotami byly v západní a severní Evropě a několik zemí zažilo nejvyšší letní emise lesních požárů nejméně za posledních 20 let (Copernicus 2023). Optimální teplota pro většinu plodin pěstovaných v Evropě je překročena po dobu několika týdnů během sezóny.

Stres chladem. Extrémní povětrnostní jevy způsobené oteplováním klimatu, jako je nízkoteplotní stres obvykle na jaře, představují nepříznivý problém pro produkci potravin (Barlow et al., 2015; Jackson et al. 2021).

Pokud teplota není smrtelná, nízké teploty mohou stále ovlivnit vegetativní a reprodukční růst rostlin. Chladový stres může vést ke špatnému klíčení, chloróze, vadnutí, zpomalení růstu, úbytku květů, pylové sterilitě nebo snížené násadě plodů (Thákur et al. 2010, Moradtalab a al. 2018). Nízké teploty ovlivňují nejen celkový výnos, ale také kvalitu osiva a rostlin. U cizrny (*Cicer arietinum*) byl pozorován významný pokles velikosti semen (24 %), škrobu (34 %), bílkovin (33 %) a tuku (43 %) způsobený chladem spolu se zvýšením hladiny rozpustných cukrů (Nayyar et al. 2005). Celkový obsah fenolických látek révy vinné se může po dlouhodobém chladovém stresu snížit (Król et al. 2015). Odhaduje se, že v několika částech světa snížení výnosů v důsledku nízkoteplotního stresu ozimých obilovin často způsobuje 100% ztrátu produkce. I při optimalizovaných postupech řízení může nízkoteplotní stres na jaře snížit dlouhodobou průměrnou produkci o 10 %, což způsobuje velké ekonomické ztráty (Chauhan a Ryan 2020). Mnoho studií uvedlo, že nízkoteplotní stres během kritických růstových fází u hlavních obilovin významně snižuje rychlost fotosyntézy rostlin, což způsobuje hromadění sacharidů, což vede ke změně hormonálního obsahu a enzymových aktivit (Wang et al. 2017). Nízké teploty snižují koncentrace amylózy, amylopektinu a celkového škrobu v pšeničných zrnech, zatímco drastičtější změny byly pozorovány, když k nízkoteplotnímu ošetření dochází během fáze zavádění spíše než ve fázi spojování.

Stres ze suha. Sucho je stav, kdy déšť buď chybí, nebo je ho nedostatek tak dlouho, že dochází ke značné hydrologické nerovnováze. Stres ze sucha je stále významnější se sníženou dostupností a rostoucí poptávkou po vodě. Zemědělství v současné době představuje 70 % celosvětové poptávky po čisté vodě a očekává se, že toto procento v nadcházejících letech rychle poroste. Podle Evropského střediska pro sledování sucha se sucho neomezuje pouze na některé konkrétní regiony v Evropě. Nedostatečné srážky, jak naznačuje standardizovaný index srážek, byly zjištěny během léta 2022 ve všech hlavních zemích v Evropě produkujících plodiny. Hlavním problémem spojeným se suchem je vznik mnoha vzájemně propojených pozitivních zpětnovazebních smyček, které zhoršují stresové podmínky sucha a vedou k omezení nadzemního růstu. Snížení hmotnostního průtoku vody snižuje získávání živin a způsobuje ztrátu turgoru, což nakonec vede ke snížení růstu rostlin, plochy listů a počtu listů, což vede ke snížení fotosynteticky aktivní plochy Rostliny jsou nuceny syntetizovat osmoprotektivní sloučeniny, místo aby investovaly své zdroje do optimálního růstu. Celkově stres ze sucha ovlivňuje různé fyziologické procesy, což nakonec vede k omezení růstu a nízké produkci (Raza et al. 2023; Farooq et al. 2009).

Silné sucho způsobuje úhyn rostlin, takže ztráta výnosu bez zavlažování může být úplná, jak se ukázalo u ječmene v polních podmínkách (Samarah et al. 2009). Metastudie založená na datech z polních experimentů ukázala, že ztráta výnosu, když se voda snížila přibližně o 40 %, se pohybovala od přibližně 21 % u pšenice do 39 % u kukuřice (Daryanto et al. 2016). U pšenice a kukuřice byl předpovězen pokles výnosů o 10 % v důsledku sucha

v evropských zemích (Webber et al. 2018). Stejně jako u jiných abiotických stresů se ztráta výnosu způsobená suchem u odrůd liší. Sucho navíc zhoršuje kvalitu plodin, např. nižší obsah oleje ze semen byl zaznamenán v semenech řepky v podmínkách nedostatku vody.

3.2.5 Změny ve výživě plodin a výskyt plevelů, škůdců a chorob

Změna klimatu, zejména globální oteplování, zvyšuje míru přežití hmyzu, škůdců a plevelů. Několik nově se objevujících chorob rostlin se již stalo častějšími v důsledku změny klimatu a předpokládá se, že invaze nemoci a škůdci budou intenzivnější a častější v důsledku změn v jejich geografickém rozložení v důsledku změny klimatu (Bebber 2015).

Většina problémů se škůdci a chorobami je úzce spojena s jejich hostitelskými plodinami. To snižuje pravděpodobnost významných změn v otázkách ochrany rostlin. Většina respondentů však považuje za velký problém vyšší výskyt škůdců a chorob (a částečně i plevelů). Tyto obavy jsou výraznější v chladnějších zónách, protože zvýšení teploty je příznivé pro množení hmyzích škůdců, protože mnoho hmyzu pak může dokončit větší počet reprodukčních cyklů (Olesen et al. 2011). Změny v klimatické vhodnosti povedou k invazi plevelů, škůdců a chorob přizpůsobených teplejším klimatickým podmínkám. Rychlost, s jakou se tyto invazní druhy vyskytnou, závisí na rychlosti změny klimatu, míře šíření druhů a na opatřeních přijatých v boji proti nepůvodním druhům (Anderson et al. 2004). Míra šíření škůdců a chorob je nejčastěji tak vysoká, že jejich geografický rozsah je dán rozsahem klimatické vhodnosti. Brouk coloradský, zavíječ polní, octomilka středomořská a kavník karnal jsou příklady škůdců a chorob, u nichž se očekává, že v důsledku oteplování klimatu budou v Evropě vykazovat značnou expanzi na sever s určitými náznaky, že tento proces již začal (Trnka et al. 2007). Původní odrůdy plodin postrádají obranné systémy proti nepůvodním škůdcům (Bebber 2015), které vyžadují možné techniky řízení chovu, aby se s těmito novými hrozbami vyrovnaly. Geografický nesoulad mezi škůdci a patogeny může rovněž narušit řízení biologické kontroly. Změna klimatu a extrémní povětrnostní jevy podkopávají zemědělskou produkci tím, že poskytují mezery pro lepší usazování plevelů, škůdců a chorob však někdy extrémní povětrnostní jevy zvyšují konkurenceschopnost plodin a hospodářských zvířat proti škůdcům (Rosenzweig 2001).

Hmyz má za následek zvýšení ztrát plodin způsobených změnou klimatu. V současné době hmyz konzumuje 5–20 % obilovin na celém světě a zvýšení teploty o 1 °C bude mít za následek dalších 10–25 % výnosů ztracených hmyzem. Ztráty plodin budou největší v mírném pásmu, kde zvýšení teploty zvyšuje populaci a rychlost metabolismu hmyzu.

V poslední době častá invaze starých i nových patogenů a chorob v zemědělských systémech plodin, hospodářských zvířat a lesů stimulovala zvýšené používání pesticidů a léků, což ohrožuje i lidské zdraví (Tirado et al. 2010). Snaha o dosažení vyšší produkce potravin, nepravidelné používání různých chemikálií v hospodářských zvířatech a rybolovu a nadměrné používání syntetických hnojiv v pěstebních systémech ohrožují lidské zdraví.

3.2.6 Znečištění životního prostředí (např. vyluhování dusičnanů) nebo degradace zdrojové základny (např. eroze půdy)

Změna klimatu vede k velmi vysoké míře degradace půdy, což způsobuje zvýšenou desertifikaci a nedostatek živin půdy. Hrozba degradace půdy se každým dnem zvyšuje a je charakterizována jako hlavní globální hrozba. Podle Globálního hodnocení degradace a zlepšování půdy (GLADA) může být nyní čtvrtina rozlohy po celém světě označena jako znehodnocená. Předpokládá se, že degradace půdy ovlivní životy 1,5 miliardy lidí a každý rok se kvůli antropogenním aktivitám a změně klimatu ztratí 15 miliard tun úrodné půdy.

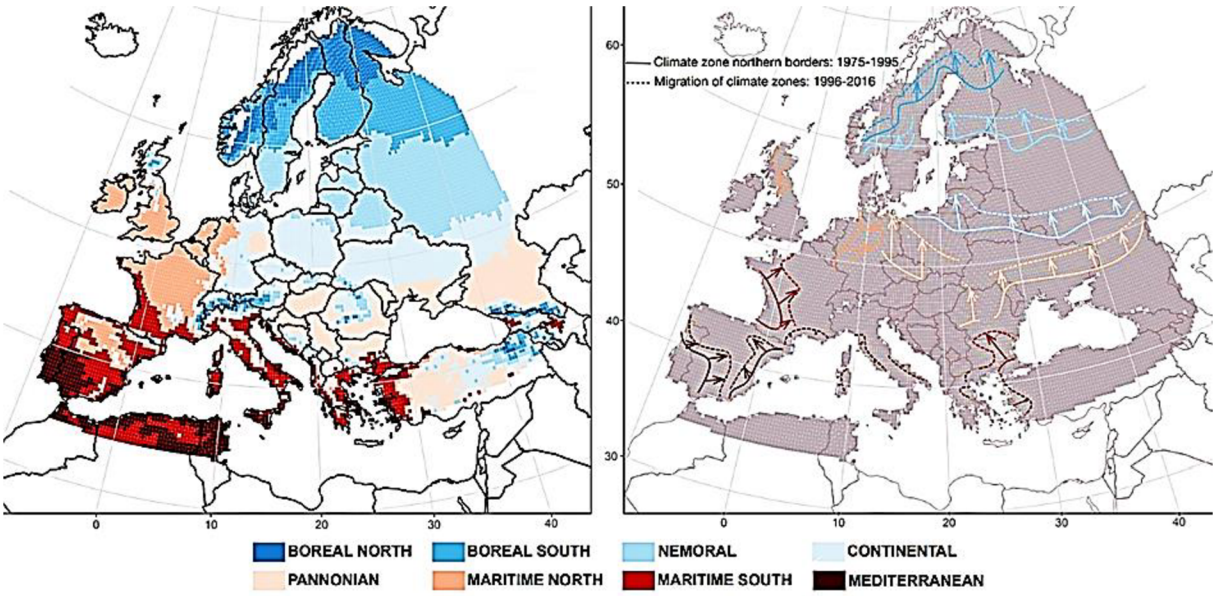
Degradace půdy vede k masové migraci a podle zprávy zveřejněné Programem OSN pro životní prostředí v roce 2017 bylo 500 milionů hektarů zemědělské půdy opuštěno kvůli suchu a desertifikaci, což vede k významným sociálním a environmentálním omezením. Extrémní sucho, které se často vyskytuje v důsledku změny klimatu, zvyšují produktivitu plodin tím, že způsobují imobilizaci živin a hromadění soli v půdě, což je činí suchými, nezdravými, slanými a nakonec neplodnými. Taková neúrodná půda se časem stává neornou půdou, a nakonec je zemědělci opouštějí, což vede k ekonomickým ztrátám a sociálním problémům. Předpokládané klimatické změny se neomezují pouze na nárůst sucha. Extrémní sucho, které se často vyskytuje v důsledku změny klimatu, zvyšují produktivitu plodin tím, že způsobují imobilizaci živin a hromadění soli v půdě, což je činí suchými, nezdravými, slanými a nakonec neplodnými (Arora 2019).

3.3 Vliv klimatických změn na rajonizace a zemědělské výrobní oblasti EU

Identifikace agroklimatických zón byla provedena podle metodiky aplikované Ceglarem et al. (2019). Hodnocení agroklimatických zón bylo založeno na dvou parametrech, které popisují klimatický potenciál systémů zemědělské produkce – délce vegetačního období (GSL) a součtu aktivních teplot (ATS). GSL se vypočte jako součet dnů mezi prvním obdobím v roce, kdy je alespoň šest po sobě jdoucích dnů průměrná denní povrchová teplota vyšší než 5 °C a prvním obdobím po dobu nejméně šesti po sobě jdoucích dnů je průměrná denní povrchová teplota nižší než 5 °C, což představuje délku vegetačního období. ATS se vypočítá jako součet denních povrchových teplot nad prahovou hodnotou 0 °C během vegetačního období.

Obecně lze říct, že identifikované agroklimatické zóny dobře odpovídají environmentální stratifikaci Metzgera et al. (2005) a Köppen-Geigera (Beck et al. 2018), což naznačuje vedoucí roli teploty v prostorovém rozložení ekologických zón v Evropě (Mahlstein et al. 2013). Výsledkem bylo osm homogenních agroklimatických zón (viz Obr. 5). Identifikovaná agroklimatická pásma jsou pojmenována takto (od severu k jihu): boreální sever (BON), boreální jih (BOS), nemorální (N E M), kontinentální (C O N), Panonian (P A N), severní námořní (N M A), jižní námořní (S M A) a Středomoří (MED). Ve východní Evropě jsou charakterizovány koherentními pásy zeměpisné šířky. V západní a jižní Evropě vede klasifikace ke složitějšímu prostorovému vzoru, který odráží vliv Atlantského oceánu, Středozemního moře a komplexní orografie.

Ve srovnání období 1996–2016 a 1975–1995 došlo v Evropě ke značné migraci agroklimatických zón směrem na sever ve srovnání s dřívějším obdobím (viz Obr. 5).



Obr. 5: Agroklimatická zonace Evropy. Založená na délce vegetačního období (GSL) a součtu aktivní teploty (ATS) (Ceglarem et al. 2019)

Ve východní Evropě byla migrace v posledních desetiletích nejvýraznější pro nemorální zónu, s odhadovanou rychlostí šířky zonální hranice směrem k severu přesahující 100 km za 10 let. Kontinentální a panonské zóny postupují na sever rychlostí téměř 70 km za 10 let. Polovina této rychlosti (35 km za 10 let) se odhaduje pro jižní boreální zónu.

Západní Evropa také zažila výraznou migraci námořních a středomořských klimatických zón na sever. Došlo k podstatnému posunu severní námořní zóny směrem k severovýchodnímu směru, který se objevil v regionech, jako je střední a severní Německo, které mělo typicky kontinentální klima v období 1975-1995. Výrazný posun na sever ovlivnil také jižní přímořské klima ve Francii, které bylo během referenčního období regionálně omezeno na jihozápadní a jižní části země. Podobně se rozšířil také v údolí Pádu v severní Itálii, kde se v referenčním období vyskytly charakteristiky vegetačního období chladnějšího panonského klimatického režimu.

Migrace nemorální zóny na sever do dříve jižní boreální zóny patří k nejvýraznějším rysům pozorovaných změn během pozorovaného období. Pozorovaná migrace agroklimatických zón ve velkých částech Evropy (nejvýrazněji v jihovýchodní a severní Evropě) se shoduje s velkým pozitivním trendem v délce termického vegetačního období, dřívějším nástupem sezóny a oddalováním konce sezóny v období 1975–2016. Ukázalo se, že delší vegetační období přispívá ke zvýšené produktivitě vegetace v boreálních oblastech (Park et al. 2016).

3.3.1 Agroklimatické zóny a vliv teploty

Rychlost migrace homogenních klimatických zón lze považovat za přímé měřítko proměnlivé vhodnosti pro zemědělství a ekosystémy v závislosti na teplotě. Tento princip byl již dříve používán jako indikátor hrozeb pro ekosystémy v důsledku změny klimatu (Loarie et al., 2009). Ačkoli ekologické bariéry (jako jsou hory a jezera) mohou dočasně zastavit migraci, rychlost migrace hranic klimatických zón podstatně ovlivňuje prostorové přerozdělení ekologických společenstev (Waldock et al. 2018). Mnoho rostlinných a živočišných druhů proto může mít problém udržet se v příznivých teplotních zónách (Pearson, 2006). Vzhledem k tomu, že ekologické bariéry jsou méně důležité pro systémy zemědělské produkce, které se nacházejí převážně v rovinatých oblastech a jsou aktivně řízeny, migrace agroklimatických zón a vhodnost pro pěstování konkrétních plodin bude pravděpodobně probíhat rychleji než u přírodních ekosystémů.

Spolu se změnami průměrných klimatických podmínek (vyjádřených GSL a ATS) se mohou měnit i extrémní klimatické podmínky, často nelineárním způsobem. To znamená, že zatímco podmínky růstu mohou být dobře charakterizovány klimatickým pásmem, podmínky poškozující plodiny, jako je extrémní tepelný stres, se mohou v daném klimatu měnit různou rychlostí.

Pro lepší pochopení omezení produkce plodin způsobených teplotou jsou pro každou agroklimatickou zónu analyzovány čtyři ukazatele řízené teplotou:

- ✓ mrazivé dny s minimální denní teplotou pod 0 °C;
- ✓ tropické noci, kdy minimální denní teploty překročí 20 °C po dobu nejméně dvou po sobě jdoucích dnů;
- ✓ mírný tepelný stres, kdy maximální denní teploty překročí 31 °C po dobu nejméně dvou po sobě jdoucích dnů;
- ✓ silný tepelný stres, kdy maximální denní teploty překročí 35 °C po dobu nejméně tří po sobě jdoucích dnů.

Plocha zasažená mrazem během chladné poloviny roku se zmenšila ve všech agroklimatických zónách, zejména ve východní Evropě na podzim a na začátku zimy. V pozdním jaru (tj. ve druhé polovině dubna a na začátku května) se podíl ploch postižených mrazovými dny podstatně nezměnil, což naznačuje vyšší expozici rostlin pozdním jarním mrazům v důsledku dřívějšího nástupu vegetačního období. V důsledku toho se pravděpodobně zvýšilo riziko vystavení vegetace mrazu po nástupu vegetační sezóny, což je v souladu s Liu et al. (2018).

Plocha postižená nejméně dvěma po sobě jdoucími tropickými nocemi se v posledním období zvětšila ve všech agroklimatických pásmech s výjimkou boreálních. Nejvyšší nárůst lze pozorovat v panonském, jižním mořském a středomořském pásmu, podobně jako v oblastech postižených mírným tepelným stresem. Kromě zjevného nárůstu v období letního slunovratu lze pozorovat dřívější první výskyt v sezóně, nejzřetelněji ve Středomoří.

Oblast postižená mírným tepelným stresem (tj. maximálními teplotami nad 31 °C po dobu dvou po sobě jdoucích dnů nebo déle) během pozdního jara, které se shoduje s obdobím květu ozimé pšenice, se zvětšila v panonském, kontinentálním, jižním mořském a středomořském klimatickém pásmu. Pokud jde o letní období, oblast postižená mírným tepelným stresem se zvětšila ve všech klimatických podmínkách střední a jižní Evropy. Rozloha se na začátku léta zdvojnásobila ve středomořských a jižních přímořských zónách, přičemž nejvyšší nárůst lze pozorovat v panonské agroklimatické zóně. V období 1975–1995 se výskyt mírného tepelného stresu v jižní boreální zóně nevyskytoval, ale v následujícím období se vyskytoval.

Oblast postižená silným tepelným stresem (tři nebo více po sobě jdoucích dnů s maximální teplotou nad 35 °C), který má nepříznivý vliv na ozimou pšenici během období plnění zrna, omezena především na středomořské a jižní přímořské podnebí. Tyto události zasáhly v nedávném období větší oblasti také v panonském, kontinentálním a nemorálním podnebí, nejvýraznější v letech 2007, 2010 a 2012 (Ceglar et al. 2019). Plocha vystavená silnému tepelnému stresu se ve středomořském a jižním přímořském podnebí zhruba zdvojnásobila.

V řadě evropských zemí, zejména na severu Evropy, k analýze možných dopadů změny klimatu na zemědělství a adaptaci na tyto změny používají různé přístupy a ukazatele.

Zohledňují se také dlouholeté zkušenosti zemí EU s praktickou adaptací zemědělství na výkyvy klimatu. Například ve studii (Olesen a Bindi 2002) se spolu s vegetačním obdobím používají také ukazatele, jako např. začátek a konec mrazů, dostupnost slunečního záření, počet dní s mrazem a sněhem. V některých případech se používají ukazatele počtu dnů s různým množstvím srážek.

Bylo prokázáno, že změna klimatu může posunout hranice zón, optimálních pro pěstování určitých plodin v evropských zemích a změny v koloběhu uhlíku a dusíku mohou výrazně zvýšit erozi půdy a ovlivnit kvalitu vody ve všech zónách. Zvýšení teploty má tendenci urychlovat zrání jednoletých plodin, čímž se snižuje jejich celkový výnosový potenciál.

Na druhé straně tyto změny produktivity a zonality mohou ovlivnit zemědělskou produkci Evropské unie jako celek a její podíl na mezinárodním obchodu. V tabulce 2 je uvedena analýza rizik a zemědělského potenciálu v současných agroklimatických zónách Evropy.

Tabulka 2. Analýza rizik a zemědělského potenciálu v současných agroklimatických zónách Evropy. Zdroj: autor práce

	BON	**BOS**	NEM	CON	PAN	NMA	SMA	MED
Rizika								
Změny osevních ploch v důsledku zhoršení zemědělských podmínek								
Snížení zemědělských výnosů plodiny								
Zvýšení škod způsobených zemědělskými škůdci, chorobami, plevely								
Snížení kvality zrna								
Zvýšené riziko povodní								
Zvýšené riziko sucha a nedostatku vody								
Zvýšená poptávka po zavlažování								
Zhoršení kvality vody								
Eroze půdy, zasolování, rozšiřování pouští								
Tání ledovců a věčně zmrzlé půdy								
Zvyšování hladiny moří								
Potenciál								
Změny v oblastech pěstování obilovin vedoucí ke zvýšení optima zemědělských podmínek								
Zvýšení produktivity zemědělských plodin								
Zvýšení dostupnosti vody								
Snížení nákladů na spotřebu energie pro skleníky								

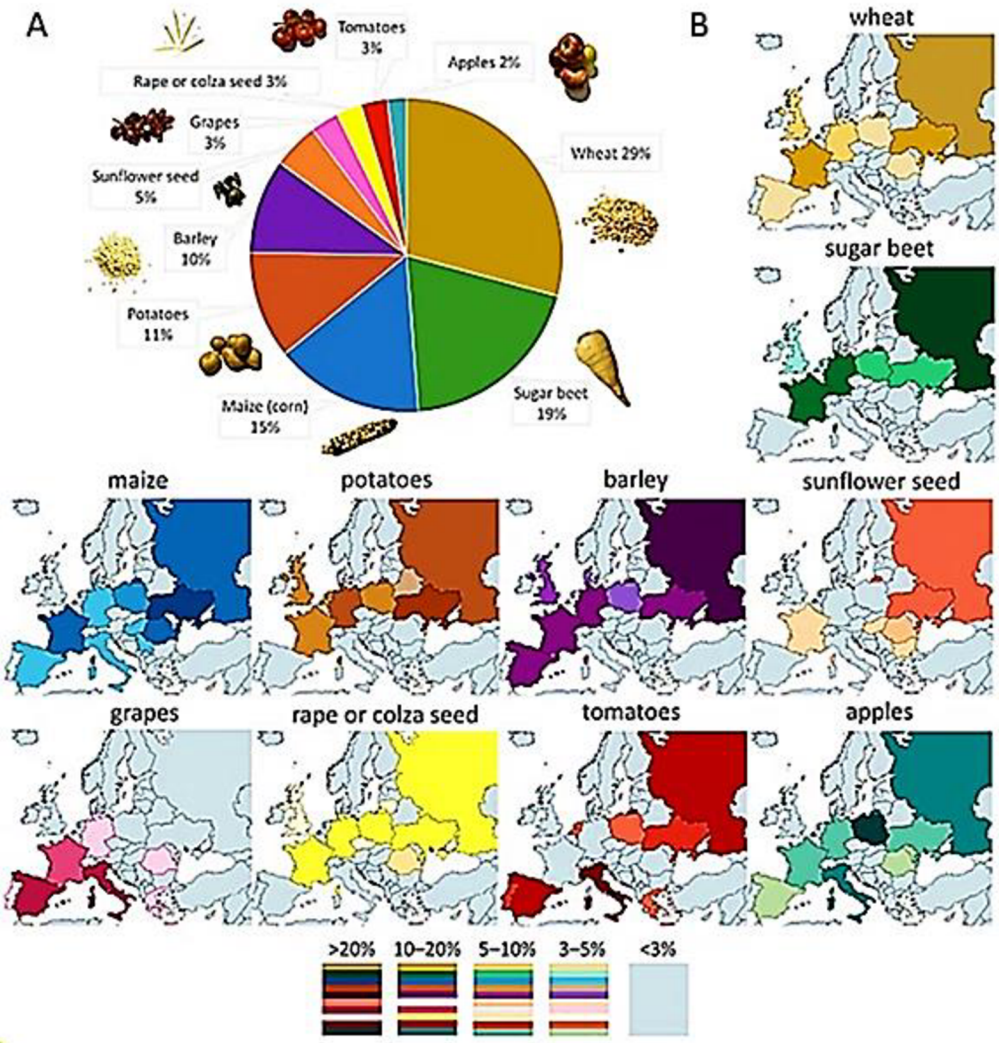
Vysoká úroveň rizika/potenciálu

Střední úroveň rizika/potenciálu

3.3.2 Pěstované plodiny v Evropě a dopady změny klimatu

Evropský region, který je sice středně velký, ale zahrnuje všechna důležitá klimatická pásma, včetně aridních oblastí na jihu a polárních oblastí na severu. Plodiny vyžadují různé podmínky pro optimální růst a dosažení tržní kvality a tyto podmínky určují místo, kde se nejlépe pěstují. Deset nejčastěji pěstovaných plodin v Evropě a země, které se nejvíce podílejí na jejich produkci, jsou znázorněny na Obr. 6 A.

V pořadí podle úrovně produkce v roce 2021 (FAO) jsou nejpěstovanějšími plodinami pšenice, cukrová řepa, kukuřice (*Zea mays*), brambory, ječmen, slunečnice (*Helianthus annuus*), hrozny, řepka (*Brassica napus*), rajčata a jablka.



Obr. 6: Nejdůležitější plodiny vyprodukované v Evropě v roce 2021. Zdroj: FAO (https://www.fao.org/faostat/en/#data/)

(A) Výsečový graf představuje procentuální podíl různých plodin vypěstovaných v Evropě v roce 2021 jako je ječmen (*Hordeum vulgare*), hrozny vinná (*Vitis vinifera*) a cukrová řepa (*Beta vulgaris*), a druhým největším producentem pšenice (*Triticum aestivum*), rajčat (*Solanum lycopersicum*), brambor (*Solanum tuberosum*), okurek (*Cucumis sativus*) a jablek (*Malus domestica*).

(B) hlavní země v Evropě, které produkují vybrané plodiny. Intenzita barevnosti odpovídá příspěvku jednotlivých států k celkové produkci v Evropě.

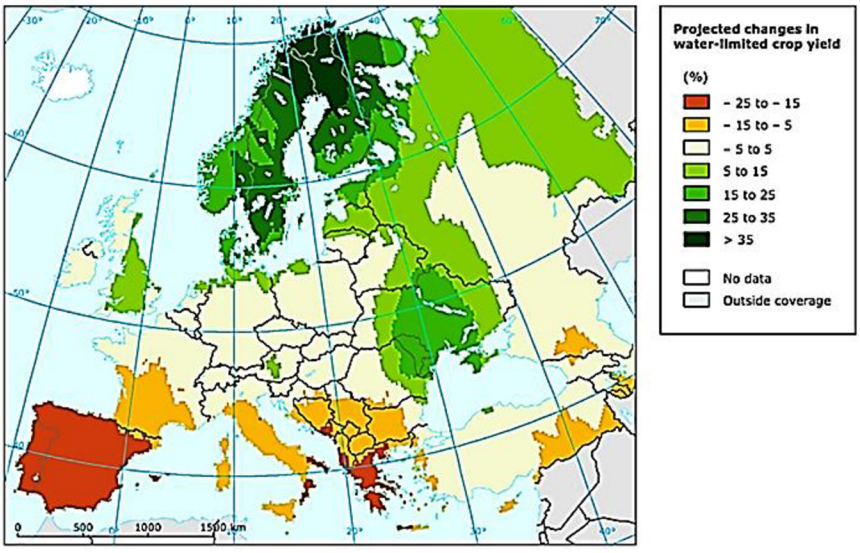
Pšenice je jednou z hlavních plodin pěstovaných nejen v Evropě, ale i na celém světě. Může se přizpůsobit širokému spektru teplot a podmínek prostředí, ale nadměrné srážky spolu s vysokými teplotami mohou způsobit šíření některých běžných onemocnění, které snižují výnosy (Wiik a Ewaldz 2009). Nedostatek vody a vysoká slanost půdy také omezují růst a vývoj pšenice.

Další důležitá obilovina, kukuřice, která má vysoké požadavky na vodu, je náchylná k suchu, zejména v určitých kritických fázích růstu, jako jsou sazenice nebo reprodukční fáze (Raza et al. 2023).

Ječmen je možná obilovina nejvíce tolerantní vůči soli a vykazuje vysokou úroveň odolnosti vůči abiotickému stresu. Jeho vysoká přirozená přizpůsobivost různým pěstitelským podmínkám činí z ječmene slibnou plodinu pro budoucí produkci v měnícím se klimatu (Munns a Tester 2008).

Globální analýza výnosů obilovin (pšenice, kukuřice a ječmen) ukázala, že zvyšující se průměrné teploty v posledních desetiletích mají negativní vliv na výnos. Podobné účinky byly pozorovány u různých zemí Evropy (Peltonen-Sainio et al. 2011). Zvyšující se teploty byly identifikovány jako jedna z hlavních příčin nedostatečného zvýšení výnosu ozimé pšenice ve Francii, a to i přes zlepšení šlechtění plodin (Brisson et al. 2010). Zdá se, že výnosy obilovin v jižní Evropě se stabilizují. Ve Francii a Itálii je také patrná tendence ke zvyšující se variabilitě výnosů obilí, která souvisí s výskytem vln veder a sucha (Olesen et al. 2011). Podobné účinky horka a sucha byly pozorovány celosvětově, zatímco povodně a intenzivní srážky neměly vliv na celkovou produkci plodin.

Tato mapa (viz Obr. 7) poskytuje souhrnný obraz očekávaných změn výnosů plodin v Evropě do roku 2050 (ve srovnání s obdobím 1961–1990). Zahrnují vliv změn teploty, srážek a koncentrace CO_2 na výnosy tří hlavních plodin za předpokladu současné zavlažované plochy.



Obr. 7: Předpokládané změny výnosu plodin s omezením vody (pšenice, kukuřice a ječmen). Zdroj: EEA (https://www.eea.europa.eu/help/advanced-search)

Cukrová řepa je plodina poměrně tolerantní vůči soli díky řadě mechanismů, které jí pomáhají regulovat distribuci soli a jiných rozpuštěných látek v tkáních a udržovat obsah vody (Lv X et al. 2019).

Naproti tomu brambory jsou jednou z plodin nejvíce citlivých na sucho a vysoké množství soli v půdě nepříznivě ovlivňuje vývoj hlíz (Dahal et al. 2019).

Řepka olejka (řepka olejná nebo řepka) je hlavní olejnatou plodinou v Evropě a stejně jako ostatní plodiny mírného pásma je náchylná k mnohonásobnému abiotickému stresu. Výnos semen řepky může být snížen spíše tepelným stresem než samotným suchem (Elferjani et al. 2018).

Slunečnice jsou druhou nejdůležitější olejnatou plodinou v Evropě. Vzhledem k jejich relativně vysoké odolnosti vůči abiotickým stresům se často pěstují v semiaridech a suchých podmínkách. Jejich růst a produkce jsou však v podmínkách sucha a nedostatku soli stále omezené (Keipp et al. 2020).

Rajčata mohou růst téměř ve všech klimatických oblastech světa. Jejich produkce je však ovlivněna suchem, vysokou slaností a teplotními extrémy (Sato et al. 2000; Zhou et al. 2020).

Produkce jabloní je ohrožena pozdními jarními mrazy, které poškozují poupata (Unterberger et al. 2018).

Regionální vzorec předpokládaných dopadů je jasný, obecně ukazuje lepší podmínky v severní Evropě a horší podmínky v jižní Evropě. Ve střední a jižní Evropě patrný zřetelný náznak zhoršujících se agroklimatických podmínek v podobě zvýšeného stresu ze sucha a zkracování aktivního vegetačního období. Existuje riziko rostoucího počtu extrémně nepříznivých let, které by mohly vést k vyšší meziroční variabilitě výnosů plodin a představovat výzvu pro správné hospodaření s plodinami.

Přibývá důkazů o tom, že oteplování již silně změnilo systémy produkce zemědělských plodin (Olesen et al. 2011; Schleip et al. 2009), jakož i umístění a složení ekosystémů v Evropě.

Extrémní sucho a tepelný stres měly nepříznivý dopad na produkci zemědělských plodin v jižní Evropě, kde se vyskytly střední až extrémní problémy (Fontana et al. 2015; Olesen at al. 2011). Pozorované oteplování také podpořilo přesun druhů plodin do oblastí, které byly dříve omezeny buď příliš krátkou délkou vegetačního období (GSL), nebo nedosažitelnými teplotními požadavky na dokončení růstového cyklu plodin (Hannah et al. 2013; Olesen et al. 2011; Park et al. 2016). Dobře zdokumentovaným příkladem je posun v klimatické vhodnosti pro výrobu vína, který byl prostorově omezen většinou na středomořské, jižní přímořské a panonské oblasti v Evropě (Hannah et al. 2013) a který se v nedávném období rozšířil v několika regionech střední a západní Evropy (Spinoni et al. 2015). Kromě častějších a intenzivnějších vln veder a sucha často významně přispěly ke snížení výnosů plodin anomální vlhké podmínky (Ceglar et al. 2019; Olesen a kol. 2011; Trnka et al. 2014).

Očekávaná změna klimatu pravděpodobně podpoří další expanzi plodin přizpůsobených teplejšímu podnebí směrem na sever, ale také sníží vhodnost v oblastech postižených stále vyššími teplotami a častějšími suchy (Hannah et al. 2013; King a kol. 2018).

Rozšiřování podmínek příznivých pro zemědělskou rostlinnou produkci v boreálních oblastech směrem na sever však bude doprovázeno migrací agroklimatických zón a podmínek pěstování plodin i jinde v Evropě.

V příštích desetiletích může migrace agroklimatických zón ve východní Evropě dosáhnout dvojnásobné rychlosti oproti období 1975–2016. Některé regiony Středomoří mohou ztratit vhodnost pro pěstování konkrétních plodin ve prospěch severoevropských regionů. Toto hodnocení založené na ukazatelích naznačuje, že potenciální výhody prodloužení termického vegetačního období v severní a východní Evropě jsou často vyváženy rizikem pozdních mrazů a zvýšeným rizikem časných jarních a letních vln veder.

Dopady změny klimatu v Evropě jsou regionálně diferencované.

V oblasti Středomoří rostou teploty rychleji než v jiných částech Evropy a tento nárůst je doprovázen zvyšující se poptávkou po vodě a rizikem lesních požárů v létě (Battisti a Naylor 2009). Desertifikace a pokles výnosů plodin jsou pro tuto oblast vážnou hrozbou.

Ve střední a východní Evropě ubývá letních srážek a stoupá počet teplých teplotních extrémů (Challinor et al. 2014). Vegetace mírného a boreálního pásma ve středních zeměpisných šířkách trpí vážným poškozením způsobeným zrychlenými fenologickými událostmi, které se překrývají s pozdně jarními mrazy (Asseng et al. 2015).

Severní Evropa je také ovlivněna rostoucími teplotami, ale v tomto případě to může vést ke zvýšení výnosů plodin díky zavedení nových odrůd plodin, delšímu vegetačnímu období a rozšíření ploch vhodných pro rostlinnou výrobu (Ceglar et al. 2019). Sucho může ohrozit výhody delších vegetačních období v severní Evropě a vést k neúrodě plodin v regionech s omezenými vodními zdroji pro zavlažování. Při přizpůsobování zemědělství změně klimatu je proto třeba vzít v úvahu oba faktory, aby se zvýšila celková odolnost.

3.4 Strategie adaptace zemědělství na změnu klimatu v EU

Zprávu Vliv měnícího se klimatu na Evropu vypracovala Evropská agentura životního prostředí, Světová zdravotnická organizace a Společné výzkumné centrum Evropské komise. Vychází z hodnocení čtyřiceti klíčových indikátorů ukazujících následky pozorovaných či očekávaných změn. Jde například i o narůstající riziko povodní a sucha, ztrátu biodoverzity, hrozby pro lidské zdraví a nebezpečí pro hospodářské sektory. Zpráva ukazuje, že ohrožení klimatickými změnami se mění napříč regiony a sektory v Evropě. Nejzranitelnější jsou podle ní horské a arktické oblasti, pobřeží a Středomoří. Zpráva upozorňuje, že nestačí se jen snažit snižovat emise skleníkových plynů, ale pro zmírnění dopadu klimatických změn je třeba se také na tyto změny dobře připravit (Zemědělec 2008).

Změna klimatu má na evropské zemědělství dopad mnoha způsoby. Změna klimatu již negativně ovlivnila odvětví zemědělství v Evropě a bude tomu tak i v budoucnu. Budoucí změna klimatu by také mohla mít určité pozitivní účinky na toto odvětví v důsledku delšího vegetačního období a vhodnějších podmínek plodin. Předpokládá se však, že počet extrémních klimatických událostí, které negativně ovlivňují zemědělství v Evropě, poroste (EEA).

Podle EEA **adaptace** znamená předvídání nepříznivých účinků změny klimatu a přijímání vhodných opatření, díky nimž lze možným škodám zabránit nebo je minimalizovat, nebo využít nové možnosti, které se mohou objevit. Adaptaci lze v zásadě chápat jako proces přizpůsobování současným a budoucím dopadům změny klimatu.

Klíčovým faktorem úspěšnosti zemědělství jsou klimatické podmínky, a proto je nutná i adaptace na ně (Altiery et al. 2015; Wall a Smit 2005). Schopnost zemědělců adaptovat se na měnící se podmínky klimatu a podnebí závisí na mnoha faktorech a to – přírodních, ekonomických, sociálních, kulturních a politických podmínkách. Čím větší schopnost adaptace systém má, tím více si uchová svou integritu vůči stresovým faktorům a je tak udržitelnější (Smit a Wandel 2006).

Zemědělství v EU čelí několika klíčovým výzvám v souvislosti se změnami klimatu:

- ✓ Častější povodně, sucha a extrémní teploty ovlivňují zemědělskou produkci.
- ✓ Zemědělci musí přizpůsobit své postupy tak, aby odolávaly těmto nepříznivým podmínkám.
- ✓ Ztráta biologické rozmanitosti a kvalita půdy a vody:
- ✓ Změna klimatu může ovlivnit biodiverzitu a kvalitu půdy a vody.
- ✓ Udržitelné zemědělství musí chránit přírodu a ekosystémy.
- ✓ Globální konkurence a potravinová soběstačnost:
- ✓ Zemědělci čelí konkurenci na světovém trhu.
- ✓ Musí zajistit dostatek zdravých potravin pro obyvatelstvo EU.

Strategie EU pro přizpůsobení se změně klimatu a společná zemědělská politika umožnily adaptační opatření v odvětví zemědělství. Nově navrhovaná společná zemědělská politika na období 2023–2027 má jako jasný cíl přizpůsobení, což by mohlo vést k tomu, že členské státy EU budou muset zvýšit financování adaptačních opatření v tomto odvětví. Členské státy EU definovaly odvětví zemědělství jako prioritu ve svých vnitrostátních strategiích pro přizpůsobení se změně klimatu nebo v národních adaptačních plánech (Rada Evropské unie 2021).

Opatření na vnitrostátní nebo regionální úrovni zahrnují zvyšování povědomí, praktická opatření ke snížení dopadů a rizik extrémních povětrnostních jevů nebo strategie sdílení rizik a rozvoj a zavádění infrastruktury pro zavlažování a ochranu před povodněmi. Existují příležitosti pro provádění široké škály stávajících opatření na úrovni zemědělských podniků, jejichž cílem je zlepšit hospodaření s půdou a vodou, což může být přínosem pro přizpůsobení, zmírňování, životní prostředí a hospodářství. Adaptace na úrovni zemědělských podniků se však v mnoha případech neuskutečňuje, mimo jiné kvůli nedostatku zdrojů na investice, politických iniciativ zaměřených na přizpůsobení, institucionální kapacity a přístupu ke znalostem o přizpůsobení.

3.4.1 Společné zemědělské politiky (SZP) EU

EU podporuje zemědělství prostřednictvím společné zemědělské politiky (SZP) která byla založena v roce 1962 a prošla řadou reforem, aby bylo zemědělství pro zemědělce

spravedlivější a udržitelnější. Společná zemědělská politika (SZP) se týká našich potravin, životního prostředí a venkova (News European Parliament 2021).

SZP představuje partnerství mezi společností a zemědělstvím, které zajišťuje stabilní dodávky potravin, zaručuje příjmy zemědělců, chrání životní prostředí a udržuje dynamický rozvoj venkovských oblastí. Je to klíčový nástroj pro udržitelnost a konkurenceschopnost evropského zemědělství.

SZP se zaměřuje na:

Podporu evropských zemědělců: EU poskytuje finanční prostředky na podporu zemědělců v jejich úsilí přizpůsobit se klimatickým změnám. To může zahrnovat dotace na investice do nových technologií, zavlažovací systémy, ochrana proti erozi, nebo diversifikace plodin. V EU je přibližně 10 milionů zemědělských podniků a zemědělská a potravinářská odvětví dohromady poskytují v EU téměř 40 milionů pracovních míst. Společná zemědělská politika je financována z rozpočtu EU.

V rámci rozpočtu EU na období 2021–2027 bylo na zemědělství vyčleněno 386,6 miliardy eur. Je rozdělena do dvou částí:

- 291,1 miliardy eur pro Evropský zemědělský záruční fond, který poskytuje podporu příjmů zemědělcům.
- 95,5 miliardy eur pro Evropský zemědělský fond pro rozvoj venkova, který zahrnuje financování venkovských oblastí, opatření v oblasti klimatu a hospodaření s přírodními zdroji.

Poslanci zajistili, aby minimálně 10 % přímých plateb bylo použito na podporu malých a středních zemědělských podniků a nejméně 3 % rozpočtu SZP směřovala k mladým zemědělcům. Trvali rovněž na tom, že bude trvale připravena krizová rezerva s ročním rozpočtem ve výši 450 milionů eur (v běžných cenách), která zemědělcům pomůže s cenovou nebo tržní nestabilitou (News European Parliament 2021).

Zajištění potravinové bezpečnosti: SZP usiluje o dostatečné množství kvalitních potravin pro obyvatelstvo EU.

Ochrana životního prostředí: SZP podporuje udržitelné hospodaření a ochranu přírody.

Rozvoj venkovských oblastí: Pomáhá udržet venkovské komunity živé a prosperující.

Výzkum a inovace: EU podporuje výzkum a inovace v oblasti zemědělství, které mají za cíl zlepšit zemědělskou produkci a odolnost vůči klimatickým změnám. To zahrnuje vývoj nových odrůd plodin odolných vůči suchu a záplavám, optimalizace zavlažovacích technologií a zlepšení ochrany rostlin.

Vzdělávání a informace: EU podporuje vzdělávání zemědělců a poskytuje jim informace o nejlepších postupech pro přizpůsobení se klimatickým změnám. To zahrnuje odborné školení, workshopy a kampaně informovanosti (European Council).

V prosinci 2021 přijaly Parlament a Rada Evropské unie tři legislativní návrhy týkající se SZP na období 2023–2027. Nařízení (EU) 2021/2115, nařízení (EU) 2021/2116 a nařízení (EU) 2021/2117 zavedly nový model poskytování financování SZP na základě vnitrostátních strategických plánů, které vypracuje každý členský stát. Nové právní předpisy v oblasti SZP se

zaměřují na výkonnost a výsledky a uplatňují individuálně uzpůsobený přístup, který členským státům umožňuje větší flexibilitu při uplatňování politiky na místní úrovni (EUR-Lex 2021).

3.4.2 Strategie adaptace na národní úrovni

Členské státy EU definovaly odvětví zemědělství jako prioritu ve svých vnitrostátních strategiích pro přizpůsobení se změně klimatu nebo v národních adaptačních plánech. Adaptační opatření musí brát v úvahu specifickou situaci a socioekonomické podmínky jednotlivých zemí.

Francouzská adaptační opatření, která se odráží v národní strategii přizpůsobení se změně klimatu a jejím akčním plánu, jsou zaměřena na revizi postupů využívání vody a hospodaření s ní v zemědělských oblastech. Zvláštní pozornost je věnována ochraně před povodněmi, zlepšování zdraví a úrodnosti půdy, udržitelnému rozvoji vodních zdrojů. Těmto změnám věnována pozornost i ve strategii rozvoje zemědělství. Francouzské zemědělství se stále více orientuje na agroekologii. To zahrnuje pěstování plodin v souladu s přírodou, snižování používání chemických hnojiv a pesticidů. Francouzská vláda investuje do výzkumu a inovací v oblasti zemědělství. Cílem je nalezení nových technologií a postupů, které pomohou zemědělcům lépe se přizpůsobit změně klimatu. Celkově je adaptace zemědělství ve Francii komplexním úkolem, který vyžaduje spolupráci mezi farmáři, vědci a vládou (Dantes a Roux 2019).

Podobný přístup přijala i Itálie, která se zaměřila na boj proti škodám způsobeným suchem a na zmírnění nedostatku vody. Ochrana vodních zdrojů a hospodaření s nimi je ústředním bodem strategie. Vodní zdroje jsou v centru strategie rozvoje zemědělství, lesnictví a plánování (Italian Government 2022).

Rumunsko vypracovalo Státní akční plán pro změnu klimatu a plán adaptačních opatření, podle kterého byla provedena studie agroklimatického potenciálu země v souvislosti se změnou klimatu. Bylo nutné vypracovat novou agroklimatickou mapu Rumunska s novými hranicemi a klasifikací regionů zranitelných vůči extrémním povětrnostním jevům (Guvernul Romanei 2022).

Finsko vedle negativních změn považuje změnu klimatu za pozitivní trend pro své území a příležitost k rozšíření a diverzifikaci zemědělské výroby: za tímto účelem se plánuje zlepšení a zpružnění využití půdy, zavedení nových technologií a zvýšení flexibility zemědělské výroby (Ministry of Agriculture and Forestry of Finland 2005).

V Polsku v poslední době výrazně zvýšily plochy oseté řepkou, triticale a kukuřicí zatím co plochy brambor, žita a cukrové řepy byly sníženy. Analýza teplotních podmínek pro plodiny ukázala, že zvýšení teploty významně mění podmínky pro dozrávání kukuřice a obecně víceletých plodin, což umožňuje změnu termínů setí. Zvýšení teploty může mít významný vliv nejen na vývoj rostlin, ale také hmyzu žijícího na zemědělských plodinách. Použitím klimatických scénářů pro 2021-2051 a 2071-2100 byly analyzovány scénáře teplotních změn a dostupnosti vody pro zemědělství v Polsku. Přitom byly zohledněny charakteristiky, jako je délka vegetačního období, srážky, fenologie rostlin a dostupnost vody pro zemědělství v Polsku (Ministerstwo Środowiska 2013).

Analýza ukázala nárůst počtu let s nadměrným množstvím srážek během vegetačního období v období 2021-2050 a opačný trend takových podmínek v období 2071-2100. Vzhledem k vysoké proměnlivosti počasí bude docházet k zvýší počtu let s výraznými ztrátami na výnosech, avšak změna průměrných výnosů bude nevýznamná.

3.4.3 Strategie adaptace na regionální úrovni

Dopady změny klimatu se liší v jednotlivých regionech Evropy.

Na regionální úrovni je adaptace zemědělství na změnu klimatu klíčovým tématem. Evropská unie (EU) se zaměřuje na přijímání opatření, která umožní zemědělcům přizpůsobit se nepříznivým dopadům klimatických změn. Zde jsou některé aspekty adaptace zemědělství na regionální úrovni:

Zadržení vody v krajině: Jedním z klíčových opatření je udržení produkční schopnosti půdy. To zahrnuje zvýšení množství organické hmoty v půdě, snížení utužení půd a aplikaci protierozních opatření. Cílem je minimalizovat erozi a ztrátu půdní úrodnosti (Ministerstvo zemědělství 2017).

Podpora udržitelného hospodaření: Regionální politiky by měly podporovat udržitelné zemědělství, které minimalizuje negativní dopady na životní prostředí. To zahrnuje pestřejší plodiny, rotaci plodin, agroekologické metody a snížení používání chemických hnojiv a pesticidů.

Výzkum a inovace: EU investuje do výzkumu a inovací v oblasti zemědělství a klimatu. Regionální úrovně by měly spolupracovat s výzkumnými institucemi a farmáři na nalezení efektivních adaptačních opatření.

Financování: EU poskytuje finanční prostředky na projekty zaměřené na adaptaci zemědělství na změnu klimatu. Regionální politiky by měly využít těchto fondů pro podporu adaptačních opatření.

Vzdělávání a osvěta: Informovanost farmářů a veřejnosti o adaptaci na změnu klimatu je klíčová. Regionální úrovně by měly podporovat vzdělávací programy a kampaně.

V celé Evropě se očekává, že změny v polních postupech, režimu hnojení, ochraně plodin a výběru odrůd budou nejvýznamnějšími adaptačními opatřeními v rámci budoucí předpokládané změny klimatu. Důkladné pochopení pozorovaných a předpokládaných úprav v různých zónách bude užitečné pro podporu rozhodování jak na úrovni zemědělských podniků, tak na úrovni politik (Zhau et al. 2022).

V severní Evropě se uvažuje o změně krajinných a environmentálních předpisů, aby se vyrovnaly se zvyšující se variabilitou srážek a měnícími se pěstebními postupy v důsledku delších vegetačních období. V severní Evropě již bylo pozorováno načasování polních prací a zavádění nových plodin a kultivarů jako hlavní adaptace na delší vegetační období a snížení stresu z nízkých teplot v důsledku změny klimatu.

Zemědělci ve střední a jižní Evropě především měnili hospodaření s vodou a půdou a také zaváděli odrůdy odolné vůči suchu, aby se vyrovnali s rostoucí evapotranspirací a vyšší variabilitou a nižší předvídatelností srážek. Ochrana plodin, pojištění plodin a systémy včasného varování/prognózy byly považovány za účinné způsoby, jak snížit ekonomické ztráty

způsobené zvýšenými riziky a extrémy souvisejícími s klimatem. Rizika a související adaptační opatření se u různých plodin v různých liší.

V jižní a střední Evropě se v rámci plánování adaptace kvůli předpokládanému teplejšímu a suššímu klimatu zavádějí lepší zavlažovací systémy, měnící se systémy pěstování plodin a revidované environmentální předpisy a dotační programy.
Celkově je adaptace zemědělství na změnu klimatu komplexním úkolem, který vyžaduje spolupráci mezi regionálními úrovněmi, farmáři, výzkumnými institucemi a veřejností.

3.4.4 Strategie adaptace na úrovni podniku

Klimatická změna má významný vliv na zemědělskou produkci v Evropské unii a její dopady mohou být zvláště patrné na úrovni podniku. Aby se tyto farmy mohly účinně přizpůsobit změně klimatu, mohou zemědělci využít několik strategií:

Diversifikace plodin: Zemědělci by měli zvážit rozmanitost plodin, aby minimalizovali rizika spojená s nepředvídatelnými klimatickými podmínkami. Pěstování různých druhů plodin může pomoci zmírnit negativní dopady sucha, povodní nebo extrémních teplot. Biologická rozmanitost je příznivější pro produktivitu v zemědělství navzdory rozšířené domněnce, že monokulturní zemědělské systémy jsou (Bailey a Buck 2016). Rozmanitá rostlinná výroba má větší odolnost vůči rostlinným chorobám, hmyzím škůdcům, a to vede k menšímu poškození plodin, a tím k vyšším výnosům ve smíšených kulturách ve srovnání s monokulturami (Altiery et al. 2015).

Zavlažování a zadržování vody: Změny v srážkovém režimu mohou mít vliv na dostupnost vody pro zemědělství. Zemědělci se musí připravit na nestabilní počasí, jako jsou dlouhé období sucha nebo prudké deště. To může zahrnovat změny v plodinách, zavlažování a sklizni. Proto je důležité, aby podniky investovaly do zavlažovacích systémů, které jsou šetrné k životnímu prostředí a účinně využívají dostupnou vodu. Tato investice může pomoci zemědělcům lépe hospodařit s vodou a minimalizovat škody způsobené suchem nebo přílišnými srážkami.

Za adaptační opatření je považováno opětovné využívání vody, neboť snižuje tlak na vodní zdroje a zvyšuje vodní bezpečnost a odolnost. Opětovným využíváním vody se rozumí proces, při kterém se odpadní voda regeneruje z různých zdrojů a čistí se podle normy vhodné pro druhý účel. Opětovné využití vody se stále více uplatňuje pro zavlažování v zemědělství, protože je spolehlivým zdrojem i v době omezené dostupnosti vody (Ministerstvo životního prostředí 2018).

Zlepšení půdní struktury: Kvalitní půda je klíčová pro úspěšné zemědělství. Zemědělci by měli pracovat na udržení a zlepšení půdní struktury, což pomůže zvýšit odolnost proti suchu a erozi (Ministerstvo zemědělství 2017).

Adaptace odrůd plodin: Výběr odrůd plodin, které jsou odolné vůči extrémním klimatickým podmínkám, může zemědělcům pomoci snížit ztráty úrody. Kromě využití již existujících genotypů může šlechtění rostlin poskytnout portfolio odrůd široké škály plodin pro přizpůsobení produkčních systémů změně klimatu. Vývoj nových druhů rostlin a odrůd, které jsou komerčně udržitelné a odolné vůči různým rizikům, zahrnuje zachování více odrůd,

krajových odrůd, vzácných plemen a blízce příbuzných volně žijících příbuzných domestikovaných druhů, aby se zachovala genetická banka pro použití při selekci nových znaků, které jsou odolné vůči různým stresům (Dotlačil at al. 2011).

Přizpůsobení agrotechnických postupů: Zemědělci by měli zvážit změny v agrotechnických postupech, jako je například přizpůsobení termínu setí nebo sklizně plodin. Také farmy by měly zvažovat používání šetrných zemědělských praktik, jako je například agroekologie nebo permakultura. Tyto techniky mohou pomoci snížit použití chemických hnojiv a pesticidů, zlepšit stav půdy a zachytit více uhlíku z atmosféry.

Podpora udržitelného zemědělství: Podpora udržitelných zemědělských praktik, které mohou pomoci snížit emise skleníkových plynů a zmírnit dopady klimatické změny na zemědělskou produkci.

Vzdělávání a spolupráce: Zemědělci by měli být informováni o nejnovějších vědeckých poznatcích a spolupracovat s odborníky na změnu klimatu a udržitelné zemědělství.

Využití technologií a inovací: Moderní technologie, jako jsou precizní zemědělské stroje, senzory a digitální řízení, mohou pomoci zemědělcům monitorovat a reagovat na změny v povětrnostních podmínkách.

Celkově je důležité, aby zemědělské podniky v EU byly schopny flexibilně reagovat na změny klimatu a neustále hledaly nové a inovativní způsoby, jak zlepšit svou odolnost vůči změnám klimatu. Spolupráce s odborníky na zemědělství a využití dostupných technologií mohou pomoci úspěšně se přizpůsobit novým podmínkám a zajistit udržitelnou produkci potravin i v budoucnosti. Lze očekávat, že EU bude nadále poskytovat podporu a finanční prostředky pro zemědělce, kteří se snaží adaptovat své farmy ke klimatickým změnám. To může zahrnovat například dotace na nákup moderních technologií nebo investice do změn v produkčních technikách.

4 Závěr

Klimatické proměnné, jako jsou nízké a vysoké teplotní stresy, změna frekvence a intenzity srážek a další katastrofy vyvolané změnou klimatu, jako je sucho, slanost a erupce hladiny moří, se mění pomalu, ale rozhodně budou mít negativní dopad na produkci plodin v nadcházejících desetiletích.

V posledních letech se značně zvýšil počet studií o dopadech změny klimatu na globální nebo regionální úrovni. Výsledky těchto globálních studií nejsou snadno srovnatelné, často protichůdné a ukazují, že existuje široká škála nejistot spojených s klimatickými projekcemi, účinky produktivity plodin a úpravami trhu. Přesto panuje všeobecná shoda na tom, že změna klimatu prostřednictvím svých dopadů na produktivitu plodin velmi pravděpodobně v nadcházejících letech zvýší tlaky na zemědělsko-potravinářském trhu.

Dopady změny klimatu v Evropě jsou regionálně diferencované. Studie antropogenní změny klimatu provedené v posledním desetiletí nad Evropou ukazují nárůstu teploty a různých vzorců srážek s rozsáhlým nárůstem v severní Evropě a poklesem v částech jižní a východní Evropy. Změna klimatu povede jak k přerozdělení plodin v každém regionu EU, tak k přerozdělení rostlinné produkce mezi regiony EU. V mnoha zemích v posledních letech existuje tendence ke stagnaci výnosů obilovin a zvýšené variabilitě výnosů.

V oblasti Středomoří rostou teploty rychleji než v jiných částech Evropy a tento nárůst je doprovázen rostoucí poptávkou po vodě a rizikem lesních požárů v létě. Trvalé kultury (olivy, vinná réva, ovocné stromy atd.) jsou proto v tomto regionu důležitější. Tyto plodiny jsou ovlivněny extrémními povětrnostními jevy (jako jsou krupobití a bouře), které mohou snížit nebo zcela zničit výnos. Kvůli vysoké evapotranspirace a omezeným srážkám v mnoha středomořských zemích pro rostlinnou výrobu je důležité zavlažování. Desertifikace a pokles výnosů plodin jsou pro tuto oblast vážnou hrozbou. Některé plodiny, které v současné době rostou převážně v jižní Evropě, se stanou vhodnějšími dále na severu nebo ve vyšších nadmořských výškách na jihu.

Severní Evropa je také ovlivněna rostoucími teplotami, ale v tomto případě to může vést ke zvýšení výnosů plodin zavedením nových odrůd plodin, delším vegetačním obdobím a rozšířením ploch vhodných pro rostlinnou výrobu

Ve střední a východní Evropě klesá množství letních srážek a stoupá počet teplých teplotních extrémů. Mírná a boreální vegetace ve středních zeměpisných šířkách trpí vážným poškozením způsobeným zrychlenými fenologickými událostmi překrývajícími se s pozdními jarními mrazy.

Očekávané dopady, pozitivní i negativní, jsou stejně velké v severní Evropě jako ve středomořských zemích, což do značné míry souvisí s možnostmi účinného přizpůsobení se k udržení současných výnosů. Ve většině evropských regionů existuje široká škála možností přizpůsobení, jak zmírnit mnoho negativních dopadů změny klimatu na rostlinnou výrobu v Evropě. Pokud se však jedná o půdu a vodní zdroje, budování odolných systémů může vyžadovat dlouhodobé plánování a změny již nyní v očekávání změny klimatu.

Pro přizpůsobení ke změně klimatu Evropská komise přijala novou strategii EU. Obecným cílem strategie je zvýšit odolnost Evropy vůči změně klimatu ve všech oblastech činnosti. Přístupy k adaptaci na změnu klimatu se posunuly od přímé reakce na katastrofy k prevenci, předcházení a řízení rizik. Více konkrétních opatření jsou zahrnuta v evropských a národních strategiích rozvoje konkrétních odvětví: zemědělství, energetiky, lesnictví a lesního hospodářství.

Adaptace zemědělství na současné a předpokládané dopady změny klimatu vyžaduje politiky a opatření na národní, regionální a lokální úrovni a musí brát v úvahu specifickou situaci a socioekonomické podmínky jednotlivých zemí.

5 Literatura

Adams RM, Hurd BH, Lenhart S, Leary N. 1998. Effects of global climate change on agriculture: an interpretative review. Climate Research **11(1)**:19-30. DOI:10.3354/cr011019

Ainsworth A a Ort DR. 2010. How do we improve crop production in a warming world? Plant Physiology **154**(2):526-530. DOI: 10.1104/pp.110.161349

Ainsworth EA, Long SP. 2005. What have we learned from 15 years of free-air CO2 enrichment (FACE)? A metaanalytic review of the responses of photosynthesis, canopyproperties and plant production to rising CO2. New Phytologist **165**: 351–372. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2004.01224.x

Aiqing S, Somayanda I, Sebastian SV, Singh K, Gill K, Prasad PVV, Jagadish SVK. 2018. Heat stress during flowering affects time of day of flowering, seed set, and grain quality in spring wheat. Crop Science **58(1)**: 380-392. DOI: 10.2135/cropsci2017.04.0221

Akritidis D, Georgoulias A, Lorilla R, Kontoes Ch, Ceglar A, Toreti A, Alkiviadis Kalisoras A, Zanis P. 2023. On the Northward Shift of Agro-Climatic Zones in Europe under Different Climate Change Scenarios. Environmental Sciences Proceedings 26, 20. Available from https://doi.org/10.3390/environsciproc2023026020

Anderson PK, Cunningham AA, Patel NG, Morales FJ, Epstein PR, Daszak P. 2004. Emerging infectious diseases of plants: pathogen pollution, climate change and agrotechnology drivers. Trends in ecology & evolution **10**: 535–544. DOI: 10.1016/j.tree.2004.07.021

Arnold CY. 1974. Predicting Stages of Sweet Corn (*Zea mays* L.) Development. American Society for Horticultural Science **99(6)**: 501–505. DOI: 10.21273/JASHS.99.6.501

Arora NK. 2019. Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions. Dopad změny klimatu na zemědělskou produkci a její udržitelná řešení. Environmental Sustainability **2**: 95–96. DOI: 10.1007/s42398-019-00078-w

Asseng S, Ewert F, Martre P, Rosenzweig C, Jones J, Hatfield J, Ruane A, Boote K, Thorburn P, Rötter R, Cammarano D, Basso B, Aggarwal P, Angulo C, Bertuzzi P, Biernath C, Challinor A, Doltra J, Gayler S, Goldberg R, Grant R, Heng L, Hooker J, Hunt T, Ingwersen J, Izaurralde C, Kersebaum C, Müller C, Naresh Kumar S, Nendel C, O'Leary G, Olesen J, Osborne T, Palosuo T, Priesack E, Ripoche D, Semenov M, Shcherbak I, Steduto P. 2015. Benchmark data set for wheat growth models: field experiments and AgMIP multi-model simulations. Open Data Journal for Agricultural Research **1**: 1-5. DOI:10.18174/odjar.v1i1.14746

Bailey I a Buck LE. 2016. Managing for resilience: a landscape framework for food and livelihood security and ecosystem services. Food Security **8**: 477-490. DOI:10.1007/s12571-016-0575-9

Battisti DS a Naylor RL. 2009. Historical Warnings of Future Food Insecurity with Unprecedented Seasonal Heat. Historická varování před budoucí potravinovou nejistotou s bezprecedentním sezónním teplem. Science 323: 240–244. DOI: 10.1126/science.1164363

Bebber DP 2015. Range-expanding pests and pathogens in a warming world. Annual review of phytopathology **53**: 335–356. DOI: 10.1146/annurev-phyto-080614-120207

Beck HE, Zimmermann NE, Mc Vicar TR, Vergopolan N, Berg A, Wood EF. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1 km resolution. Scientific Data 5**(1)**: 180214. DOI:10.1038/sdata.2018.214

Bheemanahalli R, Sunoj VJ, Saripalli G, Prasad PVV, Balyan HS, Gupta PK, Grant N, Gill KS, Jagadish SVK. 2019. Quantifying the impact of heat stress on pollen germination, seed set, and grain filling in spring wheat. Crop Science **59**: 684-96. DOI: 10.2135/cropsci2018.05.0292

Boretti A a Rosa L. 2019. Reassessing the projections of the world water development report. Clean Water. Přehodnocení projekcí Zprávy o světovém rozvoji vodních zdrojů. Clean Water **2** (e15). Available from https://doi.org/10.1038/s41545-019-0039-9

Brisson NN, Gate PP, Gouache D, Charmet G, Oury F-X, Huard F. 2010. Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. Field Crops Research **119 (1)**: 201-202. DOI: 10.1016/j.fcr.2010.07.012

Carter TR, Saarikko RA, Kai KJ. 1996. Assessing the risks and uncertainties of regional crop potential under a changing climate in Finland. Agricultural and Food Science **5(3)**: 329-350. DOI: 10.23986/afsci.72750

Ceglar A, Zampieri M, Toreti A, Dentener F. 2019. Observed northward migration of agro-climate zones in Europe will further accelerate under climate change. Earth's Future **7(9)**: 1088-1101. DOI: 10.1029/2019EF001178

Ceglar A, Zampieri M, Toreti A, Dentener F. 2019. Observed northward migration of agro-alimate zones in Europe will further accelerate under climate change. Earth's Future **9**: 1088–1101. DOI: 10.1029/2019EF001178

Copernicus. Europe’s eyes on Earth. 2023. Available from https://www.copernicus.eu (vyhledáno leden 2024)

Dahal K, Li X-Q, Tai H, Creelman A, Bizimungu B. 2010. Improving potato stress tolerance and tuber yield under a climate hange scenario – a urrent overview. Frontiers in Plant Science **10** (e563). Available from https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00563

Dantes R a Roux J-Y. 2019. Adapting France to climate change by 2050. Available from https://www.senat.fr/rap/r18-511/r18-5111.pdf

Daryanto S, Wang L, Jacinthe PA. 2016. Global synthesis of drought effects on maize and wheat production. PLoS ONE **11** (e0156362). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156362

Deligios PA, Farci R, Sulas L, Hoogenboom G, Ledd, L. Predicting growth and yield of winter rapeseed in a Mediterranean environment: Model adaptation at a field scale. Field Crops Research **144:** 100–112. DOI: 10.1016/j.fcr.2013.01.017

Dietterich LH, Zanobetti A, Kloog I, Huybers P, Leakey A, Bloom AJ, et al. (2015). Impacts of elevated atmospheric CO2 on nutrient content of important food crops. Nature Scientific data **2** (e 150036). DOI: 10.1038/sdata.2015.36

Ding Y, Shi Y, Yang S. 2019. Advances and challenges in uncovering cold tolerance regulatory mechanisms in plants. New Phytologist **4**: 1690-1704. DOI: 10.1111/nph.15696

Dong J, Gruda N, Lam SK, Li X, Duan Z. 2018. Effects of elevated CO2 on nutritional quality of vegetables: A Review. Frontiers in Plant Sciens **9**(e924). Available from https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00924

Dotlačil l, Dvořáček, Hermuth J, Prohasková A, Stehno Z, Svobodová L. 2011. Využití genetických zdrojů pšenice ve šlechtění pro pekařskou kvalitu. Český časopis genetiky a šlechtění rostlin **47**: S71-S76. DOI: 10.17221/3258-CJGPB

Ebi, K. L., and Loladze, I. (2019). Elevated atmospheric CO2 concentrations and climate change will affect our food's quality and quantity. Lancet. Planet Health **3(7)**: e283-e284. DOI:10.1016/S2542-5196(19)30108-1

Eitzinger J, Trnka M, Semerádová D, Thaler S. 2012. Regional climate change impacts on agricultural crop production in Central and Eastern Europe – hotspots, regional differences and common trends. The Journal of Agricultural Science **151(6**). DOI:10.1017/S0021859612000767

Elferjani R a Soolanayakanahally R. Canola. 2018. Reakce na sucho, teplo a kombinovaný stres: sdílené a specifické účinky na asimilaci uhlíku, výnos semen a složení oleje. Frontiers in Plant Science **9** (e 1224). https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01224

EUR-Lex. 2021. Summaries of EU legislation. Available from https://eur-lex.europa.eu/browse/summaries.html (vyhledáno leden 2024)

European Commission. An official website of the European Union. Energy, Climate change, Environment. Available from https://climate.ec.europa.eu/climate-change_en (vyhledáno prosinec 2023)

European Commission. Agriculture and rural development. Available from https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-glance_en#capfinancing (vyhledáno leden 2024)

European Commission. Agriculture and rural development. Report from the Commission to the European Parliament and the Council: "Summary of CAP Strategic Plans for 2023-27: joint effort and collective ambition". Available from https://agriculture.ec.europa.eu/cap-my-country/cap-strategic-plans_en (vyhledáno leden 2024)

European Council. Council of the European Union. Available from https://www.consilium.europa.eu/en/policies/cap-introduction/ (vyhledáno leden 2024)

European Environment Agensy (EEA). Available from https://www.eea.europa.eu/en/topics/at-a-glance/state-of-europes-environment (vyhledáno leden 2024)

European Union. Agriculture. Available from https://european-union.europa.eu/priorities-and-actions/actions-topic/agriculture_en (vyhledáno leden 2024)

Evropský parliament. Available from https://www.europarl.europa.eu/factsheets/en/home (vyhledáno listopad 2023)

Fakta o klimatu. Available from https://faktaoklimatu.cz/temata/emise (vyhledáno listopad 2023)

Farooq M, Wahid A, Lee DJ. 2009. Exogenously applied polyamines increase drought tolerance of rice by improving leaf water status, photosynthesis and membrane properties. Acta Physiologiae Plantarum **31**: 937–945. DOI: 10.1007/s11738-009-0307-2

Fatima Z, Ahmed M, Hussain M, Abbas G, Ul-Alláh S, Ahmad S, Ahmed N, Ali MA, Haque E, Haque E, Iqbal P, Hussain S. 2020. The fingerprints of climate warming on cereal crops phenology and adaptation options. Nature. Scientific reports **10** (e 18013). Available from https://www.nature.com/articles/s41598-020-74740-3

Fenykl A. 2004. Freezing Tolerance and Injury in Grapevines. Crop Improvement **10(1-2)**: 201-235. DOI: 10.1300/J411v10n01_09

Fontana G, Toreti A, Ceglar A, De Sanctis G. 2015. Early heat waves over Italy and their impacts on durum wheat yields. European Geosciences Union **15(7)**: 1631–1637. DOI: 10.5194/nhess-15-1631-2015

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Available from https://www.fao.org/food-systems/news-events/news/en/ (vyhledáno prosinec 2023).

Fronzek S, Carter TR. 2007. Assessing uncertainties in climate change impacts on resource potential for Europe based on projections from RCMs and GCMs. Climatic Change **81**:375-371. DOI:10.1007/S10584-006-9214-3

Gong Z, Xiong L, Shi H, Jang S, Herrera-Estrella LR, Xu G, Chao DY, Li J, Wang, PY, Qin F.2020. Plant abiotic stress response and nutrient use efficiency. Reakce rostlin na abiotický stres a efektivita využití živin. Science China. Life Sciences **5**: 635–674. DOI: 10.1007/s11427-020-1683-x

Greer DH. 2018. Canopy Growth and Development Processes in Apples and Grapevines. Horticultural Reviews **45:** 313–369. Online ISBN:9781119431077

Guvernul romanei. 2022. Strategia națională privind adaptarea la schimbările climatice pentru perioada 2023-2030 cu perspectiva anului 2050 (SNASC). Available from https://www.mmediu.ro/categorie/cadrul-national/408 (vyhledáno leden 2024)

Hannah L, Roehrdanz P R, Ikegami M, Shepard AV, Shaw MR, Tabor G, Zhi L, Marquet PA, Hijmans RJ. 2013. Climate change, wine, and conservation. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of **110(17)**: 6907–6912. DOI:10.1073/pnas.1210127110

Heide OM, Rivero R, Sønsteby A. 2020. Temperature control of shoot growth and floral initiation in apple (*Malus × domestica* Borkh.). CABI Agriculture and Bioscience **1**(e 8). Available from https://cabiagbio.biomedcentral.com/articles/10.1186/s43170-020-00007-6

Challinor AJ, Watson J, Lobell DB, Howden SM, Smith DR, Chhetri N. 2014. A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. Nature Climate Change **4**: 287–291. DOI: 10.1038/nclimate2153

Chauhan YS a Ryan M. 2020. Frost Risk Management in Chickpea Using a Modelling Approach. Agronomy **10**: 460. https://doi.org/10.3390/agronomy10040460

Chen F, Fang P, Peng Y, Zeng W, Zhao X, Ding Y, Zhuang Z, Gao Q, Ren B. 2019. Comparative proteomics of salt-tolerant and salt-sensitive maize inbred lines to reveal the molecular mechanism of salt tolerance. International Journal of Molecular Sciences **20** (e 4725). https://doi.org/10.3390/ijms20194725

Chimenti CA, Hall AJ, Sol López M. 2021. Embryo-growth rate and duration in sunflower as affected by temperature. Field Crops Research **69**: 81–88. DOI:10.1016/S0378-4290(00)00135-0

IPCC. 2023: Změna klimatu 2023: Souhrnná zpráva. Příspěvek pracovních skupin I, II a III k šesté hodnotící zprávě Mezivládního panelu pro změnu klimatu [Core Writing Team, H. Lee a J. Romero (eds.)]. IPCC, s. 35-115. DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647 Available from https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/ (vyhledáno leden 2024)

Italian Government. Ministry of Enviroment and Energy Security. 2022. National Plan for Adaptation to Climate Change. Available from https://va.mite.gov.it/it-IT/Oggetti/Documentazione/7726/11206 (vyhledáno leden 2024)

JS Bale, GJ Masters, ID Hodkinson, C Awmack, TM Bezemer, VK Brown, J Butterfield. 2002. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. Global change biology **1**: 1–16. DOI: 10.1046/j.1365-2486.2002.00451.x

Keipp K, Hütsch BW, Ehlers K, Schubert S. 2020. Drought stress in sunflower causes inhibition of seed filling due to reduced cell-extension growth. Journal of Agronomy and Crop Science **206(5)**: 517–528. DOI: 10.1111/jac.12400

Kenny GJ, Harrison PA, Olesen JE and Parry ML. 1993. The effects of climate change on land suitability of grain maize, winter wheat and cauliflower in Europe. European Journal of Agronomy **2**:325-338. DOI: 10.1016/S1161-0301(14)80180-9

Kenter C, Hoffmann CM, Märländer B. 2006. Effects of weather variables on sugar beet yield development (*Beta vulgaris* L.). European Journal of Agronomy **24:** 62–69. DOI: 10.1016/J.EJA.2005.05.001

Khan AH, Min L, Ma Y, Zeeshan M, Jin S, Zhang X. 2022. High-temperature stress in crops: male sterility, yield loss and potential remedy approaches. Plant Biotechnology Journal **21**: 680-697. https://doi.org/10.1111/pbi.13946

Khan AH, Min L, Ma Y, Zeeshan M, Jin S, Zhang X. 2023. High-temperature stress in crops: male sterility, yield loss and potential remedy approaches. Plant Biotechnology Journal **21(4)**: 680-697. DOI: 10.1111/pbi.13946

Kimball BA, Kobayashi K, Bindi M. 2002. Responses of agricultural crops to free-air CO_2 enrichment. Advances in Agronomy **77**: 293-368. DOI: 10.1016/S0065-2113(02)77017-X

King M, Altdorff D, Li P, Galagedara L, Holden J, Unc A. 2018. Northward shift of the agricultural climate zone under 21st-century global climate. Scientific Reports 8 (e 7904). Available from https://www.nature.com/articles/s41598-018-26321-8

Kopecká R, Kameniarová M, Cerný M, Brzobohatý B, Novák J. 2023. Abiotický stres v rostlinné výrobě. International Journal of Moleular Sciences 24(7). Available from https://doi.org/10.3390/ijms24076603

Król A, Amarowicz R, Weidner S. 2015. The effects of cold stress on the phenolic compounds and antioxidant capacity of grapevine (*Vitis vinifera* L.) leaves. Journal of Plant Physiology **189**: 97-104. DOI: 10.1016/j.jplph.2015.10.002

Loarie SR, Duffy PB, Hamilton H, Asner GP, Field CB, Ackerly DD. 2009. Rychlost změny klimatu. Nature **462**: 1052–1055. DOI:10.1038/nature08649

Loel J a Hoffmann CM. 2014. Importance of growth stage and weather conditions for the winter hardiness of autumn sown sugar beet. Field Crops Research **162**: 70-76. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.03.007

Loladze I. 2014. Hidden shift of the ionome of plants exposed to elevated CO2 depletes minerals at the base of human nutrition. Elife **3** (e02245). doi: 10.7554/eLife.02245

Long SP, Zhu X-G, Naidu SL, Ort DR. 2006. Can improvement in photosynthesis increase crop yields? Plant, Cell&Environment **29(3)**: 315-330. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2005.01493.x

Lv X, Chen S, Wang Y. 2019. Advances in understanding the physiological and molecular responses of sugar beet to salt stress. Frontiers in Plant Science **10** (e 1431). Available from https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01431

Mahfoozi S, Limin AE, Fowler DB. 2001. Developmental regulation of low-temperature tolerance in winter wheat. Annals of Botany **6:** 751-757. DOI: 10.1006/anbo.2001.1403

Mahlstein, I., Daniel, J. S., & Solomon, S. (2013). Tempo změn v klimatických regionech se zvyšuje s globální teplotou. Nature Climate Change, **3**: 739–743. DOI: 10.1038/nclimate1876

Meijl H, Havlík P, Lotze-Campen H, Stehfest E, Witzke P, Domínguez IP, Bodirsky BL, van Dijk M, Doelman J. 2018. Comparing impacts of climate change and mitigation on global agriculture by 2050. Environmental Research Letters **13** (e 064021). DOI 10.1088/1748-9326/aabdc4

Metzger, M. J., Bunce, R. G. H., Jongman, R. H. G., Mücher, C. A., & Watkins, J. W. 2005. A climatic stratification of the environment of Europe. Global Ecology and Biogeography **14**(6): 549–563. DOI: 10.1111/j.1466-822X.2005.00190

Ministerstvo zemědělství (MZ). 2017. Adaptace zemědělství na změny klimatu v podmínkách ČR. Souhrn aktuálních informací. ISBN 978-80-7434-388-9. Available from https://eagri.cz/public/web/file/552908/publikace_Adaptace_zemedelstvi_final.pdf (vyhledáno leden 2024)

Ministerstvo životního prostředí (MŽP). 2018 Hodnotící zpráva Adaptační strategie EU. Available from https://www.mzp.cz/cz/hodnotici_zprava_adaptacni_strategie (vyhledáno listopad 2023).

Ministerstwo Środowiska. 2013. Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020 z perspektywą do roku 2030. Available from https://bip.mos.gov.pl/fileadmin/user_upload/bip/strategie_plany_programy/Strategiczny_plan_adaptacji_2020.pdf

Ministry of Agriculture and Forestry of Finland. 2005. Finland's National Strategy for Adaptation to Climate Change. http://urn.fi/URN:ISBN:952-453-231-X

Moradtalab N, Weinmann M, Walker F, Höglinger B, Ludewig U, Neumann G. 2018. Silicon improves chilling tolerance during early growth of maize by effects on micronutrient homeostasis and hormonal balances. Frontiers in plant science **9**. DOI: 10.3389/fpls.2018.00420

Morrison MJ, Stewart DW. 2002. Heat stress during flowering in summer Brassica. Crop science **42(3)**: 797-803. DOI: 10.2135/cropsci2002.7970

Munns R, Tester M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology **59**(1):651-81. DOI: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911

Myers SS, Smith MR, Guth S, Golden CD, Vaitla B, Mueller ND, Alan D, Huyberse P. 2017. Climate change and global food systems: Potential impacts on food security and undernutrition. Annual Reviews **38**: 259–277. DOI: 10.1146/annurev-publhealth-031816-044356

NASA. Global climate change. Available from https://climate.nasa.gov/effects/ (vyhledáno listopad 2023)

National Centers for Environmental Information (NOAA). Available from https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202313 (vyhledáno prosinec 2023).

Nayyar H, Bains TS, Kumar S, Kaur G. 2005. Chilling effects during seed filling on accumulation of seed reserves and yield of chickpea. Science of food and agriculture **11**: 1925-1930. Available from https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.2198

News European Parliament. 2021. Common Agricultural Policy reform gets final approval from MEPs. Available from https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20211118IPR17613/common-agricultural-policy-reform-gets-final-approval-from-meps (vyhledáno leden 2024)

News European Parliament. Available from https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20211118IPR17613/common-agricultural-policy-reform-gets-final-approval-from-meps (vyhledáno listopad 2023)

Olesen E a Bindi M. 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. European Journal of Agronomy **16**:239-262. Available from https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00004-7

Olesen JE, Trnka M, Kersebaum KC, Skjelvåg AO, Seguin B, Rossi F, Kozyra J. 2011. Impacts and adaptation of european crop production systems to climate change. European Journal of Agronomy **2**: 96–112. DOI: 10.1016/j.eja.2010.11.003

Otero EA, Miralles DJ, Benech-Arnold, R.L. 2021. Development of a precise thermal time model for grain filling in barley: A critical assessment of base temperature estimation methods from field-collected. Field Crops Research **260** (e 108003). Available from https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.108003

Parihar P, Singh S, Singh R, Singh VP, Prasad SM. 2015. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. Environmental science and pollution research **22**: 4056–4075. https://doi.org/10.1007/s11356-014-3739-1

Park T, Ganguly S, Tïmmervik H, Euskirchen ES, Hïgda KA, Karlsen SR, Brovkin V, Nemani R R, Myneni RB. (2016). Změny v délce vegetačního období a produktivitě severské vegetace odvozené z dlouhodobých dat dálkového průzkumu Země. Environmental Research Letters **11(8)** (e084001). Available from https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/8/084001

Peltonen-Sainio P, JauhiainenL, Hakala K. 2010. Reakce plodin na teplotu a srážky podle dlouhodobých pokusů na více místech v podmínkách vysokých zeměpisných šířek. Agricultural Science **149(01)**: 49–62. DOI:10.1017/S0021859610000791

Porter JJ, Dessai S, EL Tompkins EL. 2014. What do we know about UK household adaptation to climate change? A systematic review. Climatic change **127**:371–379. Available from DOI: 10.1007/s10584-014-1252-7

Rada Evropské unie. 2021. Společná zemědělská politika na období 2023–2027. Available from https://www.consilium.europa.eu/cs/policies/cap-introduction/cap-future-2020-common-agricultural-policy-2023-2027/#planning (vyhledáno listopad 2023)

Ray DK, West PC, Clark M, Gerber JS, Prishchepov AV, Chatterjee S. 2019. Climate change has likely already affected global food production. PLoS One **14(5)** (e0217148). Available from https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217148

Raza A, Mubarik MS, Sharif R, Habib M, Jabeen W, Zhang C, Chen H, Chen Z, Siddique KHM, Zhuang W, Kadambot HM, Siddique, Čuang W, Varshney RK. 2023. Developing drought-smart, ready-to-grow future crops. The Plant Genome **16** (e20279). Available from https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/tpg2.20279

Regni L, del Pino AM, Mousavi S, Palmerini CA, Baldoni L, Mariotti R, Mairech H, Gardi T, D'Amato R, Proietti P. 2019. Behavior of four olive cultivars during salt stress. Frontiers in Plant Science 10. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00867

Rodríguez VM, Butrón A, Rady MOA, Soengas P, Revilla P. 2014. Identification of quantitative trait loci involved in the response to cold stress in maize (*Zea mays* L.). Molecular breeding **33:** 363–371. DOI: 10.1007/s11032-013-9955-4

Rosenzweig C, Iglesius A, Yang XB, Epstein PR, Chivian E. 2001. Climate change and extreme weather events-Implications for food production, plant diseases, and pests. Global Change and Human Health **2**(2): 90-104. DOI: 10.1023/A:1015086831467

Samarah NH, Alqudah AM, Amayreh JA, McAndrews GM. 2009. The effect of late-terminal drought stress on yield components of four barley cultivars. Journal of Agronomy and Crop Science **195**: 427–441. DOI:10.1111/j.1439-037X.2009.00387.x

Sato S, Peet MM, Thomas JF. 2000. Physiological factors limit fruit set of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under chronic, mild heat stress. Plant, Cell & Environment Prostředí rostlinných buněk **23**: 719–726. DOI: 10.1046/j.1365-3040.2000.00589.x

Setter TL, Waters I, Stefanova K, Munns R. 2016. Salt tolerance, date of flowering and rain affect the productivity of wheat and barley on rainfed saline land. Field Crops Research **194**: 31–42. DOI: 10.1016/j.fcr.2016.04.034

Schleip C, Sparks TH, Estrella N, Menzel A. 2009. Spatial variation in onset dates and trends in phenology across Europe. Climate Research **39(3):** 249–260. DOI:10.3354/cr00830

Sloggy MR, Suter JF, Rad MR, Manning DT, Goemans C. 2021. Changing opinions on a changing climate: the effects of natural disasters on public perceptions of climate change. Climatic Change **168**: 1-26. DOI: 10.1007/s10584-021-03242-6

Spinoni J, Vogt J, Barbosa P. 2015. European degree-day climatologies and trends for the period 1951–2011. International Journal of Climatology **35(1)**: 25-36. DOI: 10.1002/joc.3959

Tashiro T, Wardla, I. 1990. The response to high temperature shock and humidity hanges prior to and during the early stages of grain development in wheat. Australian Journal of Plant Physiology **17(5)**: 551–561. DOI: 10.1071/PP9900551

Thákur P, Kumar S, Malik JA, Berger JD, Nayyar H. 2010. Cold stress effects on reproductive development in grain crops: An overview. Environmental and Experimental Botany **67**: 429–443. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2009.09.004

Tilman D, Balzer Ch, Hill J, Befort BL. 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. Proceedings of the National Academy of Sciences **108(50)**:20260-4. DOI:10.1073/pnas.1116437108

Tirado, M. C., Clarke, R., Jaykus, L. A., McQuatters-Gollop, A. a Frank, J. M. (2010). Climate change and food safety: A review. Food Research International **7**: 1745–1765. DOI: 10.1016/J.FOODRES.2010.07.003

Trnka M, Dotlačil L, Hermuth J, Stehno Z. 2015. Průvodce změnou klimatu. Available from https://www.klimatickazmena.cz/cs/vse-o-klimaticke-zmene/pruvodce-zmenou-klimatu/ (vyhledáno listopad 2024)

Trnka M, F. Muska, D. Semerádová, M. Dubrovskij, E. Kočmanková, Z. Zalud. 2007. European Corn Borer life stage model: Regional estimates of pest development and spatial distribution under present and future climate. Ecological Modelling **207**: 61-84. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.04.014

Trnka M, Rötter RP, Ruiz-Ramos M, Kersebaum KC, Olesen JE, Žalud Z, Semenov MA. 2014. Adverse weather conditions for European wheat production will become more frequent with climate change. Nature Climate Change **4**: 637–643. DOI: 10.1038/nclimate2242

Trudgill D, Honek A, Li D, Straalen NM. 2005. Thermal time – concepts and utility. Annals of Applied Biology **146(1)**: 1–14. DOI: 10.1111/j.1744-7348.1946.tb06282.x

United States Environmental Protektion Agency (EPA). Available from https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data (vyhledáno listopad 2023).

Unterberger C, Brunner L, Nabernegg S, Steininger KW, Steiner AK, Stabentheiner E, Monschein S, Truhetz H. 2018. Riziko jarních mrazů pro regionální produkci jablek v teplejším klimatu. PLoS ONE, **13** (e 0200201). Available from https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200201

Van Dam J, Kooman PL, Struik PC. 1996. Effects of temperature and photoperiod on early growth and final number of tubers in potato (Solanum tuberosum L.). Vliv teploty a fotoperiody na raný růst a konečný počet hlíz u bramboru (Solanum tuberosum L.). Potato research **39**: 51–62. DOI:10.1007/BF02358206

Van Straten G, Bruning B, De Vos AC, González AP, Rozema J, van Bodegom PM. 2021. Estimating cultivar-specific salt tolerance model parameters from multi-annual field tests

for identification of salt tolerant potato cultivars. Agricultural Water Management **252** (e106902). Available from https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106902

Vogel E, Donat MG, Alexander LV, Meinshausen M, Ray DK, Karoly D, Meinshausen N. 2019. The effects of climate extremes on global agricultural yields. Environmental Research Letters **14** (e 054010) DOI:10.1088/1748-9326/ab154b

Waggoner PE (1983) Agriculture and a climate changed by more carbon dioxide. Changing climate. National Academy Press, Washington DC, p.383–418. Available from https://nap.nationalacademies.org/read/18714/chapter/9 10.1088/1748-9326/ab154b

Wang X, Liu F, Jiang D. 2017. Priming: a promising strategy for crop production in response to future climate. Journal of Integrative Agriculture **16**: 2709–2716. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61786-6

Wang, X.; Yan, Y.; Xu, C.; Wang, X.; Luo, N.; Wei, D.; Meng, Q.; Wang, P. 2021. Mitigating heat impacts in maize (Zea mays L.) during the reproductive stage through biochar soil amendment. Agriculture, Ecosystems &Environment **311** (e 107321). Available from https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107321

Webber H, Ewert F, Olesen JE, Müller C, Fronzek S, Ruane AC, Bourgault M, P Martre. 2018. Diverging importance of drought stress for maize and winter wheat in Europe. Nature communications **9** (e4249). Available from https://www.nature.com/articles/s41467-018-06525-2

Weigel HJ, 2014. Plant quality declines as CO2 levels rise. Elife Magazín Insight. Available from https://doi.org/10.7554/eLife.03233

Wiik L, Ewaldz T. 2009. Impact of temperature and precipitation on yield and plant diseases of winter wheat in southern Sweden 1983–2007. Crop Protection **28(11)**: 952-962. DOI: 10.1016/j.cropro.2009.05.002

World Meteorological Organization (WMO). Available from https://wmo.int/publication-series/state-of-global-climate-2022 (vyhledáno listopad 2023)

Wu W, Verburg PH, Tang H. 2014. Climate change and the food production system: impacts and adaptation in China. Reg. Environ **14**: 1–5. DOI: 10.1007/s10113-013-0528-1

Zemědělec. 2008. Klimatické změny a zemědělství. Available from https://zemedelec.cz/klimaticke-zmeny-a-zemedelstvi/ (vyhledáno leden 2024)

Zhang Y, Li Q, Ge Y, Du X, Wang H. 2022. Growing prevalence of heat over cold extremes with overall milder extremes and multiple successive events. Commun Earth Environ **3 (73)**. Available from https://www.nature.com/articles/s43247-022-00404-x

Zhang Y, Long CN, Rossow WB, Dutton EG. 2010. Exploiting diurnal variations to evaluate the ISCCP-FD flux calculations and radiative-flux-analysis-processed surface observations from BSRN, ARM, and SURFRAD. JGR Atmospheres **115**: D15. DOI: 10.1029/2009JD012743

Zhao Y, Li J, Zhao R, Xu K, Xiao Y, Zhang S, Tian J, Yang X. 2020. Genome-wide association study reveals the genetic basis of cold tolerance in wheat. Molecular Breeding volume 40, 36. https://doi.org/10.1007/s11032-020-01115-x