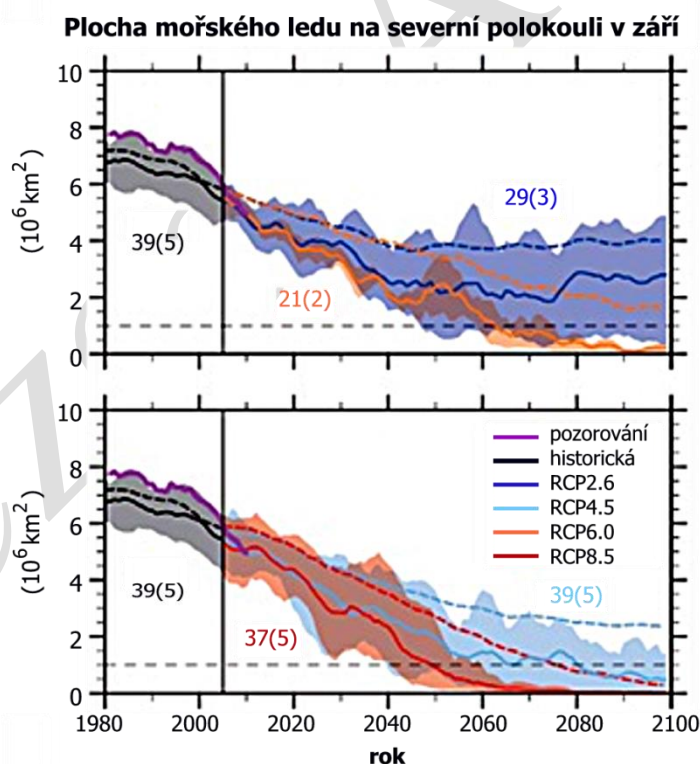


8. Očekávané dopady změn klimatu

8.1. Změny v rozsahu zalednění

Krátkodobé i dlouhodobé projekce změny v zalednění očekávají, že se zvyšující se globální teplotou bude během 21. století nadále pokračovat pozorovaný ústup zalednění v arktické oblasti, bude globálně klesat objem vody vázané v ledocích, stejně jako se bude snižovat množství sněhové pokrývky na území severní polokoule.

Arktická ledová pokrývka moří bude podle modelů budoucího vývoje klimatu v krátkodobém horizontu (do pol. 21. století) velmi pravděpodobně ustupovat a každoročně se ztenčovat. Dále je pravděpodobné, že do poloviny 21. století bude v období září Severní ledový oceán téměř bez zalednění. Existuje ale i možnost, že tající ledová pokrývka v Arktické oblasti může ovlivnit a změnit vertikální stratifikaci (teplotní zvrstvení) oceánu v oblasti Arktidy, a zvýšit tak akumulaci ledu (Bintanja *et al.*, 2013). Modely pro krátkodobý vývoj arktické ledové pokrývky udávají nízkou jistotu svých odhadů, a to z důvodu snížené schopnosti modelů napodobit sezónní cykly, meziroční variabilitu a z důvodu postupného zvětšování oblasti antarktické ledové pokrývky sledované během období satelitního pozorování. Analýzy krátkodobého vývoje zalednění moří indikují, že dominantním faktorem řídícím úbytek ledu bude zvýšené tání, redukce akumulace ledu bude hrát až druhou roli. V dlouhodobých odhadech se např. v období 2081–2100 sníží zalednění v arktické oblasti v porovnání s obdobím 1986–2005 o 8–34 % v období ledna a o 43–94 % v období září, viz obr. 8.1).

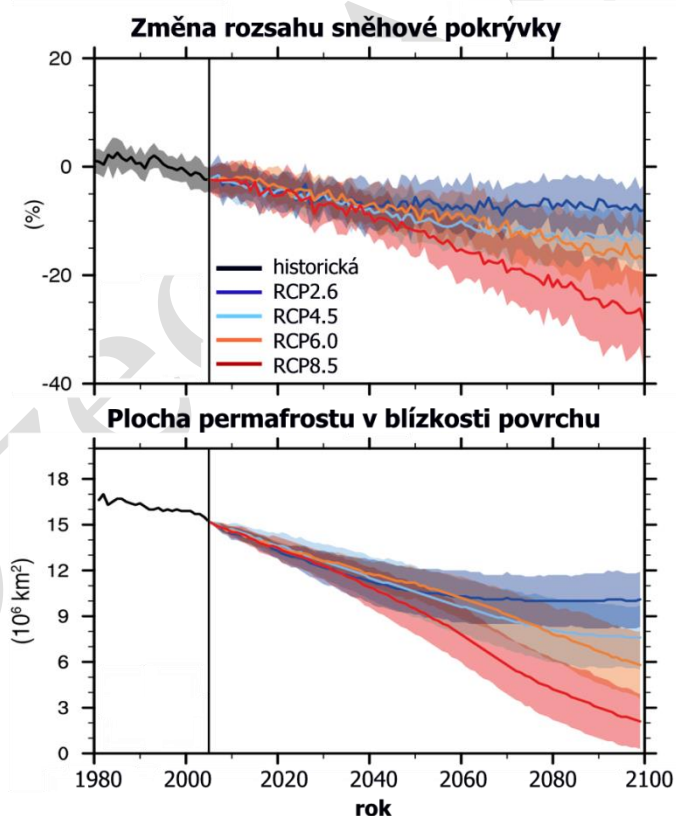


Obr. 8.1: Severní polokoule: měnící se rozsah zalednění v měsíci září v průběhu 21. století podle několika scénářů (RCP).

Úbytek sněhové pokrývky souvisí se zkracováním období, kdy se sněhová pokrývky vyskytuje a řídí se také množstvím srážek a změnou teploty. Tyto faktory mají význam zejména pro sněhovou pokrývku ležící na ledových plochách, kdy úbytek ledu v podzimním období znemožňuje akumulaci sněhové pokrývky. Na základě toho modely změny klimatu očekávají, že v období dubna se v oblastech severně od 70° SŠ průměrná sněhová pokrývka v období 2031–2050 zredukuje ze současných 28 cm na 18 cm. Modely odhadující délku období se sněhovou pokrývkou pro pol. 21. století očekávají, že toto období se zkrátí vlivem posunu začátku výskytu sněhové pokrývky do pozdějších podzimních termínů a začátek tání sněhové pokrývky do dřívějších jarních termínů. Očekávané zvýšení množství sněhových srážek ve většině oblastí vyšších zeměpisných šířek zvýší množství sněhové pokrývky, oteplení ale bude množství pevných srážek redukovat.

Jestli se bude průměrné množství sněhové pokrývky do pol. 21. století zvyšovat či snižovat, to závisí na rovnováze protichůdných faktorů. Rozmezí mezi tím, jestli modely udávají nárůst nebo úbytek vodní hodnoty sněhu, je na úrovni průměrné říjnové a březnové teploty vzduchu -20 °C. Změna v množství sněhové pokrývky se v některých regionech neshoduje s očekávaným množstvím extrémních sněhových srážek, jež jsou hlavním příspěvkem celkové sněhové pokrývky, např. projektované množství sněhové pokrývky bude klesat v severní Číně, zatímco množství případů extrémního sněžení zde poroste.

Co se týče přítomnosti sněhové pokrývky v oblasti severní polokoule, ta bude se zvyšující se teplotou dále ubývat stejně, jako se bude zmenšovat plocha permafrostu (obr. 8.2).



Obr. 8.2: Severní polokoule, výstup několika modelů (RCP) pro 21. století, nahoře: plocha sněhové pokrývky v období březen-duben; dole: plocha permafrostu.

Úbytek sněhové pokrývky bude výsledkem často protikladných procesů, jako jsou změny v rozložení srážek a změny v procesu odtávání sněhu a ledu. Spolehlivost projekcí modelů, které odhadují

množství sněhové pokrývky v oblasti severní polokoule, je pouze střední, protože samotné modely sněhové pokrývky jsou mnohdy zjednodušené, i přesto odhady pro konec 21. století odhadují pokles sněhové pokrývky o 7–25 %.

Odhadované změny v permafrostu jsou závislé nejen na oteplování, ale také na změnách v množství sněhové pokrývky, která zmrzlou půdu kryje. Krátkodobé projekce dopadů změny klimatu očekávají degradaci povrchových vrstev permafrostu (permafrost do hloubky 2 – 3 m) a zvyšování hloubky jeho tání v celé oblasti výskytu (Guo, Wang, 2012). Redukce průměrné roční plochy povrchového permafrostu pro období 2016 – 2035 se na severní polokouli sníží, ve srovnání s obdobím 1986 – 2005, až o 20 % ± 5 % (vysoký emisní scénář RCP8.5). Ke konci 21. století se očekává, že povrchové vrstvy v 37–81 % roztají.

8.2. Zvýšení mořské hladiny

Tato kapitola rozšiřuje poznatky uvedené v části 5.5.1. Projekce udávají, že následkem změny klimatu a stoupající hladiny moře budou pobřeží vystavena vzrůstajícím rizikům, včetně pobřežní eroze, a tento dopad bude dále zhoršován narůstající zátěží pobřežních oblastí působenou člověkem. Zvýšení mořské hladiny negativně ovlivní také pobřežní mokřady, včetně solných bažin a mangrovníků, především v případech, kdy nemají dostatek prostoru na pevninské straně či trpí nedostatkem usazenin.

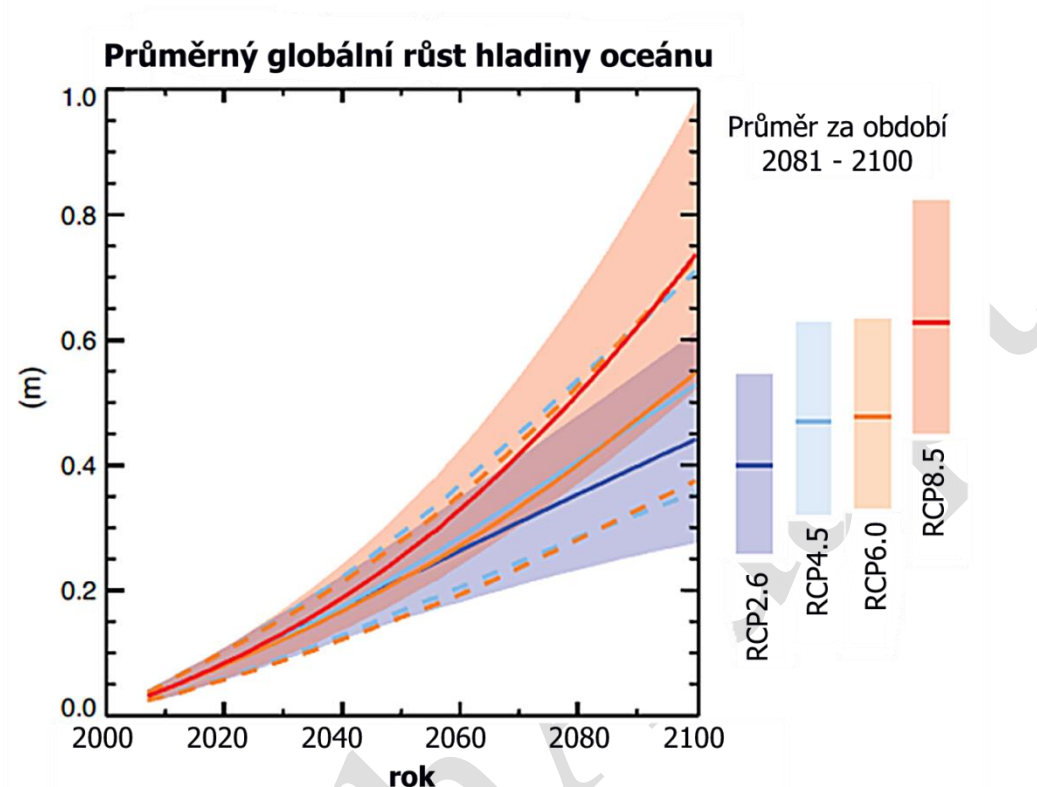
Podle projekcí má být do 80. let tohoto století následkem zvýšení mořské hladiny postiženo každoročně záplavami o mnoho milionů lidí více. Ohroženy jsou především hustě obydlené a nízko položené oblasti, které mají poměrně nízkou adaptační schopnost, a jež jsou již nyní vystaveny jiným obtížím jako např. tropickým bouřím či poklesu pobřeží. Počet postižených bude nejvyšší ve velkých deltách v Asii a Africe, obzvláště zranitelné jsou pak malé ostrovy.

Zvýšení mořské hladiny představuje ohrožení pobřežních ekosystémů a nízko ležících oblastí, může vést k záplavám, erozi a kontaminaci zásobníků sladké vody (Nicholls, 2010). Zvýšení mořské hladiny vlivem termálního rozpínání vody v oceánech, spolu s přibývajícím vodou z tajících ledovců, ledových příkrovů a ledové pokrývky Grónska a Antarktidy, jsou hlavními faktory, které přispívají ke globálnímu zvýšení mořské hladiny.

Velmi významná zvýšení hladiny moře, která by nastala následkem rozsáhlého odtávání ledových příkrovů Grónska a Západní Antarktidy, by s sebou přinesla velké změny v pobřežních oblastech a ekosystémech a zaplavení nízko položených oblastí, což by obrovským způsobem ovlivnilo říční delty. Přemístění obyvatel, ekonomických aktivit a infrastruktury by bylo nákladné a velmi obtížné. Existuje střední míra věrohodnosti, že alespoň částečný úbytek grónského ledového příkrovu a možná i ledového příkrovu Západní Antarktidy by při nárůstu průměrné globální teploty o 1–4 °C (ve vztahu k období 1990 – 2000) nastal v období od několika století po několik tisíciletí, což by způsobilo příspěvek ke zvýšení hladiny moře o nejméně 4 m – 6 m. Úplné rozpuštění grónského ledového příkrovu by vedlo ke zvýšení hladiny oceánů až o 7 m, v případě příkrovu Západní Antarktidy přibližně o 5 m.

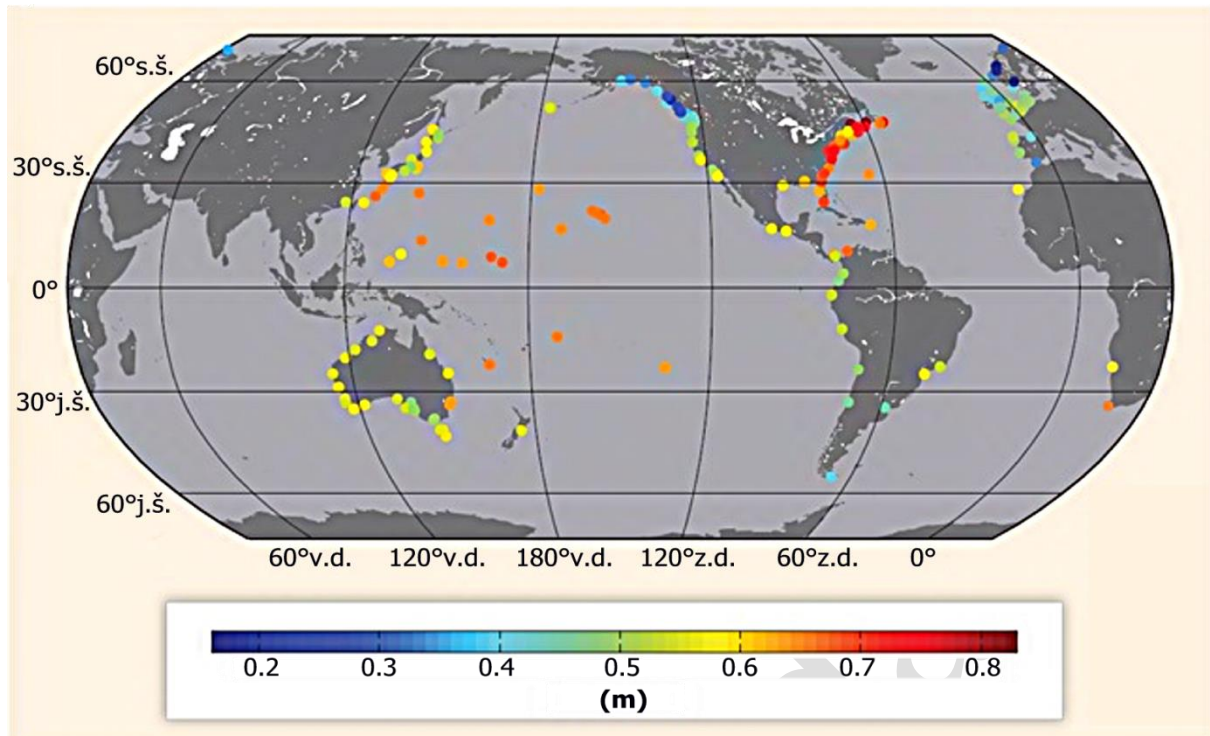
Míra očekávaného zvýšení se regionálně liší a je ovlivněna meziročními a dekádními změnami v cirkulacích oceánů, pohybem ledovců a jejich nárazy a dále tektonickými pohyby. Globální projekce zvýšení mořské hladiny zahrnují i modely termální expanze oceánů, modely odhadující množství vody z tajících ledovců, tajících ploch Grónska a Antarktidy. Tyto projekce odhadují, že do roku 2100 se mořská hladina globálně zvýší až o 74 cm (emisní scénář s vysokou citlivostí). Globální odhad zvýšení hladiny moří se pohybuje v rozmezí 0,26–0,82 m pro období 2081–2100. Odhad pro emisní scénář s vysokou citlivostí pro rok 2100 je zvýšení mořské hladiny o 0,52–0,96 m (obr. 8.3). Existuje i možnost, že pokud dojde během 21. stol. ke kolapsu Antarktického pevninského ledového příkrovu,

tak může být vzestup hladiny moří ještě vyšší. Shoda v odhadu pravděpodobnosti takového kolapsu není mezi modely vysoká a není tak možné stanovit přesnou míru, o kolik se takto hladiny moří zvýší, obecně se počítá s desetinami metru.



Obr. 8.3: Projekce globálního zvýšení mořské hladiny. Plná čára znázorňuje střední odhad, přerušovaná čára pravděpodobný rozsah pro nižší a vyšší odhad středního emisního scénáře (RCP4.5 a RCP6.0), stínovaná plocha rozsah nízkého (RCP2.6) a vysokého emisního scénáře (RCP8.5).

V regionálním měřítku nebude nárůst mořské hladiny uniformní jak v prostoru tak ani v čase (obr. 8.4). Např. hladina Tichého oceánu v rovníkových oblastech může kolísat až o 40 cm vlivem severní oscilace El Niño, což může významně ovlivnit dekadní proměnlivost ve výšce mořské hladiny. Ačkoliv většina (95 %) pobřežních oblastí zakouší v současnosti zvýšení mořské hladiny, pobřeží poblíž současných a bývalých ledovců nebo ledových příkrovů naopak zaznamenávají její pokles (Milne et al., 2009). Tento jev je způsobený tím, že tíha ledové masy způsobená gravitací se táním zmenšuje, jak ledový příkrov taje, tak obnažený povrch půdy má tendenci stoupat, zmenšené plochy ledových ploch oceánů kromě toho ovlivňují tvar dna oceánů (Gomez et al., 2010).



Obr. 8.4: Místa, kde očekávané zvýšení mořské hladiny (m) v letech 2081–2100 zvýší potřebu protipovodňové ochrany. Odhady uvažují regionální rozdíly ve zvýšení mořské hladiny podle středního emisního scénáře.

Regionálně jsou změny ve výšce mořské hladiny ovlivněny dlouhodobým vertikálním pohybem pevniny, lokálně má vliv jak pokles nebo zvýšení pobřežních planin, tak výskyt dalších přirozených jevů. Přirozený pokles terénu může být vlivem sesedání sedimentů v deltách řek (např. v případě řeky Mississippi) (Marriner et al., 2012). Dalším lokálním faktorem jsou tektonické pohyby. Např. zemětřesení v Japonsku v roce 2011 způsobilo pokles severovýchodního pobřeží Tichého oceánu o 1.2 m. Tyto pohyby jsou významné zejména v pobřežních oblastech poblíž okrajů aktivních desek. Lokální a regionální změny se liší o 10 až 25 % od odhadů v globálním měřítku. Kromě zvyšování mořské hladiny je pravděpodobné, že do konce 21. století se významně zvýší i výskyt extrémů v kolísání výšky hladiny moří. Dále se očekává, že vlivem zvýšené rychlosti větru poroste výška vln v jižních částech oceánu. Výška vln a délka sezóny, kdy se tyto vlny vyskytují, se bude velmi pravděpodobně prodlužovat také v oblasti Severního ledového oceánu.

8.3. Výskyt extrémních jevů

Dopady extrémních jevů počasí závisí na jejich frekvenci a intenzitě, stejně jako na stupni ohrožení společnosti a na množství jejich prostředků. V posledních dekádách byly pozorovány změny v četnosti a intenzitě extrémních jevů zahrnující vysoké teploty, sucho, přívalové deště, povodně a intenzivní tropické cyklony.

Stanovení změn ve výskytu klimatických extrémů představuje ojedinělý úkol. Nejen kvůli výjimečné povaze extrémních jevů, ale také proto, že jejich důsledky bývají často ničivé. Extrémní jevy jsou silně spjaty s pochody počasí jak v malém, tak velkém měřítku, dále s proměnlivostí počasí, s termodynamickými procesy v atmosféře a se zpětnou vazbou pevnina-atmosféra. Pro vznik některých extrémních událostí, jako je sucho, povodně a horké vlny, musí dojít ke kombinaci několika jiných extrémů.

Extrémní klimatické jevy mohou způsobovat ekonomické ztráty na soukromém i veřejném majetku, dočasné narušení ekonomických a sociálních aktivit a dále další dopady i mimo zasažené oblasti. Extrémní jevy budou mít mnohem větší dopad na sektory, které mají přímou vazbu na klima. To platí pro sektory spojené s vodou a vodním hospodářstvím, sektory zemědělství, potravinové bezpečnosti, lesnictví, lidského zdraví a turismu.

Mezi extrémní jevy související s teplotou patří horké vlny, chladná období a tyto mají různé dopady na lidské zdraví, ekosystémy a energetickou spotřebu.

Změny teplot v absolutních hodnotách pro regiony velmi pravděpodobně převýší očekávané zvýšení globální teploty. Očekává se například, že letní teplotní extrémů v jižní Evropě budou stoupat víc než průměrné lokální teploty, a to vlivem meziroční a sezónní variability teploty. Teplotní extrémů související s nízkými teplotami v zimním období se budou měnit ve větší míře než lokální průměrné teploty, podobně jako je očekáváno u letních teplotních extrémů. Zvýšená četnost zimních extrémů se očekává hlavně ve vyšších zeměpisných šířkách jako výsledek snížené teplotní variability související s ubývajícím sněhovou pokrývkou a snížením teplotního rozdílu mezi mořem a pevninou.

Očekávané změny ve výskytu extrémních jevů předpokládají sníženou četnost chladných dní a nocí, zvýšení počtu horkých dní a nocí, prodloužení trvání horkých vln a zvýšení počtu a intenzity případů silných srážek, to vše v blízké i vzdálenější budoucnosti.

Antropogenní klimatická změna pravděpodobně v globálním měřítku již způsobila posun hodnot extrémních teplot a jejich minim a maxim směrem nahoru. Modely klimatické změny očekávají, že tento posun bude pokračovat i během 21. stol. Klimatické modely naznačují, že výskyt extrémů spojených s vysokými teplotami souvisí se zpětnou vazbou půdní vlhkost-teplota vzduchu. Změny ve výskytu teplotních extrémů mohou být ovlivněny také teplotním rozdílem mezi mořem a pevninou, tento jev se vyskytuje např. v oblasti jižní Austrálie, kde je přítomna anomální advekce teplého vzduchu ve vnitrozemí. Největší míra navýšení počtu extrémů souvisejících s vysokými teplotami je očekávána v kontinentálních středních zeměpisných šířkách, kde budou sušší podmínky, a tudíž i nižší ochlazující efekt výparu. Ke zvyšujícím se teplotám se úzce váže i změna ve výskytu sucha a povodní.

Mezi další extrémní jevy patří i tropické cyklony, u nichž se očekává, že jejich průměrná maximální rychlost větru se bude zvyšovat, ne však plošně ve všech místech oceánů a je pravděpodobné, že frekvence tropických cyklon buďto zůstane stejná nebo se sníží.

S velkou jistotou lze tvrdit, že změny ve výskytu horkých vln, v ústupu ledovců a degradace permafrostu ovlivní v horských oblastech stabilitu svahů, pohyb hmoty, stejně jako výlevy ledovcových jezer a silné srážky v některých regionech ovlivní půdní sesuvy.

Extrémní klimatické jevy představují hlavní faktor řídicí migrace populací, ovlivňují zejména krátkodobé migrace obyvatelstva z důvodu ztráty obydlí či rozvratu ekonomiky. Pouze část těchto přesunů populace se vyvine v permanentní migraci. Přesun obyvatelstva z původního místa obydlí se může vyskytnout při extrémních jevech počasí, jako jsou povodně a sucha, které učiní původní oblasti neobyvatelnými. Většina extrémních jevů v minulosti vedla k dočasným přesunům populací a očekávané změny v působení extrémních jevů budou zřejmě riziko těchto přesunů jen zesilovat a zřejmě způsobí přesun obyvatelstva z vesnických oblastí do měst. Extrémní jevy související se změnou klimatu mohou totiž ve venkovských oblastech způsobovat značné škody, např. povodně, sucha a zvýšení hladiny moří v pobřežních oblastech Evropy představují riziko i ve vyspělých regionech.

8.3.1. Teorie výskytu extrémních jevů

Tato teorie se používá pro určování pravděpodobnosti výskytu extrémních jevů a využívá dva různé přístupy stanovení. Jeden uvažuje pravděpodobnost výskytu maximálních hodnot v rámci určitých časových období (např. v roce) a druhý přístup stanovuje události na základě přesažení určité prahové hodnoty. Kromě významu extrémů hodnocených jako pravděpodobnost výskytu nebo přesažení určitého prahové hodnoty spočívá definice extrémních jevů také v hodnocení trvání událostí, rozlohy zasažené oblasti, načasování události a její opakování, datum počátku výskytu a kontinuita události (výskyt přerušení dané události).

Stanovení extrémních událostí se vždy vztahuje k určitému historickému referenčnímu období, např. 1961–1990 nebo také ke klimatickým datům získaných v modelu. Výběr referenčního období může ovlivnit konečné hodnocení závažnosti daného extrémního jevu.

Doposud stále není k dispozici žádná přesná definice extrémních jevů, limitace jsou i ve stanovení podle obou přístupů teorie výskytu extrémních jevů. Tato omezení zmíněných přístupů jsou např.: i) jevy, které jsou extrémní vzhledem k pravděpodobnosti a četnosti výskytu, nemusí být extrémní z hlediska dopadů, ii) v případě uvažování prahových hodnot ve vztahu k míře dopadu extrémního jevu, se může závažnost daného jevu lišit v místě a čase, tj. že např. absolutní prahová hodnota 25 mm srážkového úhrnu nemusí vystihnout extrém ve všech oblastech a všech časových periodách (sezóna, dekáda). Např. hodnocení změn v trvání horkých vln v rámci roku je silně závislé na indexu, který je použitý pro určení trvání horkých vln, tady se naráží na variabilitu a kolísání denní teploty v závislosti na geografii. Podobný problém nastává v hodnocení sucha.

8.3.2. Počet extrémně teplých dní

Modely pro 21. stol. očekávají zvýšení četnosti a významu extrémních jevů souvisejících s vysokými teplotami a naopak snížení extrémních u jevů souvisejících s nízkými teplotami, obojí v globálním měřítku. Je velmi pravděpodobné, že se bude zvyšovat délka, četnost a intenzita teplých period a horkých vln ve většině oblastí.

Speciální zpráva IPCC pro extrémní jevy (SREX) udává, že je velmi pravděpodobné, že celkově v globálním měřítku poroste počet horkých dní a nocí. Nejvyšší nárůst v počtu nejteplejších dní v roce je předpokládán v subtropích a středních zeměpisných šířkách. V tropech se očekávají zase největší změny v rozložení teplých dní, teplých nocí a tropických nocí. Nárůst v počtu tropických nocí se očekává zejména v jihovýchodní části severní Ameriky, ve Středozeří a centrální Asii. Emisní scénáře A2 a A1B odhadují, že je pravděpodobné, že roční teplotní extrémy, které se v současnosti opakují jednou za 20 let, se budou do konce 21. stol. vyskytovat jednou za dva roky, a to ve většině regionů s výjimkou vyšších zeměpisných šířek, kde se budou vyskytovat jednou za pět let. V absolutních hodnotách se dvacetileté maximum extrémních teplot zvýší o 1 až 3 °C do pol. 21. stol. o 2–4 °C do konce 21. stol. (v závislosti na oblasti a emisním scénáři).

Je velmi pravděpodobné, že horké vlny, definované jako perioda po sobě jdoucích dní s teplotami nad určitý práh daný historickým klimatologickým pozorováním, se budou vyskytovat ve větší četnosti a v delším trvání jako přímý následek zvýšených sezónních teplot (Fischer, Schär, 2010).

Např. studie prováděná pro území Spojených států a Kanady udává, že i) abnormálně horké dny, noci a horké vlny budou velmi pravděpodobně četnější, ii) chladné dny a noci budou méně četnější, iii) horké dny, které se vyskytují jednou za 20 let se budou do pol. 21. stol. vyskytovat každý třetí rok ve vnitrozemí Spojených států a každý pátý rok v Kanadě, do konce století se tyto události budou vyskytovat každoročně. Studie prováděné pro oblast Austrálie odhaduje navýšení počtu teplých dní o 15–50 % do konce století a prodloužení trvání horkých vln spolu se snížením počtu mrazových dní (Alexander, Arblaster, 2009). Dále se očekává, že se vnitrozemské oblasti budou oteplovat více než ty pobřežní, a pro ty vnitrozemské je odhadováno zvyšující se množství dní s teplotami >35–40 °C.

Jak již bylo řečeno, scénáře změny klimatu projektují v blízké budoucnosti (do pol. 21. století) rostoucí četnost horkých vln, a je otázkou, na kolik např. aklimatizace zmírní jejich dopady na lidské zdraví. Je odhadováno, že např. v New Yorku může přivyknání vysokým teplotám až čtyřnásobně zmírnit vliv letních horkých vln na zdraví obyvatel. V Austrálii se očekává růst počtu horkých dní, kdy se venkovní aktivity stávají pro obyvatelstvo životu ohrožující, nárůst je pravděpodobný ze současných 4 až 6 dní ročně na 33 až 45 pro neuvyklé obyvatele a 5 až 14 pro aklimatizované (projekce pro rok 2070) (Knowlton et al., 2007). Zejména velké populace obyvatelstva rozvojových zemí budou v ohrožení horkými vlnami, a to hlavně kvůli omezeným možnostem adaptace. Naopak není zcela jasné, jestli bude klesat ohrožení obyvatelstva chladem v zimním období, každopádně úmrtnost v letním období v důsledku horkých vln jasně převáží výhody méně chladných period.

Kromě toho byly na území všech kontinentů dokumentovány úhyny lesních porostů vlivem kombinace vysokých teplot a sucha. Odumírání lesních porostů ovlivňuje druhovou skladbu, strukturu a věkové složení druhů, sukcesní pochody v postižených porostech a v některých případech vede snížení druhové pestrosti ke zvýšenému riziku invazí. Velkoplošné vymírání stromů má mimo jiné vliv na interakce biosféra-atmosféra a může v budoucnu sehrát významnou roli v uhlíkovém cyklu prostřednictvím zpětných vazeb s komplexem vlivů, jako jsou biofyzikální vlastnosti a biochemické cykly. Globální analýzy udávají, že až 70 % zkoumaných porostů se v současnosti nachází na hranici tolerance vodního stresu (Kane et al., 2011).

Christidis et al. (2012) uvádí, že s pravděpodobností větší než 95 % antropogenní klimatická změna zčtyřnásobila riziko extrémních letních horkých vln v Evropě v období 1999–2008. Horká vlna v roce 2003 byla jedna z takových rekordních událostí a je více než 75 % pravděpodobnost, že tato událost provázená 15 tis. úmrtími ve Francii byla zapříčiněná antropogenní změnou klimatu.

Diskomfort obyvatelstva a jeho ohrožení horkými vlnami v letních měsících nezávisí jen na výskytu vysokých teplot, ale také na kombinaci vysokých teplot specifické vlhkosti vzduchu. Stres z vysokých teplot (heat stress) je definovaný jako kombinovaný efekt teploty a vlhkosti vzduchu a očekává se, že riziko tohoto stresu se bude v budoucím klimatu zvyšovat s tím, jak se bude zvyšovat teplota a snižovat se relativní vlhkost vzduchu vlivem vysychající půdy (Dunne et al., 2013). Nejvyššímu nárůstu rizika stresu z vysokých teplot budou vystaveny pobřežní Středozemní oblasti.

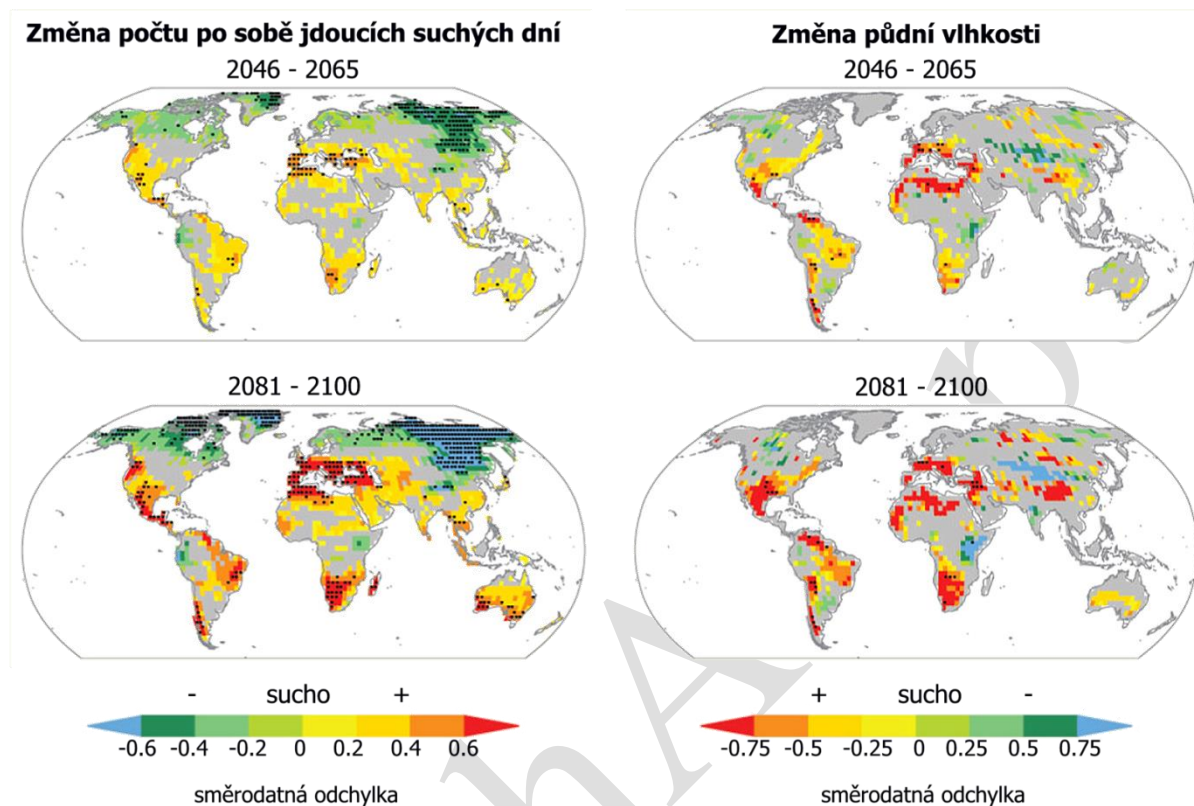
8.3.3. Riziko výskytu sucha

Sucho je definováno jako období abnormálního suchého počasí způsobující hydrologickou disbalanci. Ke vzniku sucha přispívá dlouhodobé snižování srážkových úhrnů, úbytek sněhové pokrývky a tajícího ledu nebo zvýšení evapotranspirace vlivem vyšších teplot, čerpání a snižování hladiny podzemních vod a chybějící voda z tání, kterou se na jaře plní řeky (Konikow, Kendy, 2005).

Modely změny klimatu se střední spolehlivostí předpokládají, že vlivem snižujících se srážkových úhrnů a zvyšujících se evapotranspirací se do konce 21. stol. stane sucho v některých oblastech a některých obdobích déle trvajícím a intenzivnějším. Tyto oblasti zahrnují jižní Evropu a Středozemí, střední Evropu, centrální severní Ameriku, centrální Ameriku a Mexiko, severovýchodní Brazílii, jižní Afriku, jižní Austrálii a Novém Zélandu. Sucho v rámci kontinentů se pravděpodobně zvýší v období léta v mnoha vnitrozemských oblastech středních zeměpisných šířek (střední a jižní Evropa, Středozemí), v období jara v zalesněných oblastech a v centrální Americe v suchých periodách ročního cyklu.

Z dopadů, které sucho způsobuje, lze zejména v jižní Evropě očekávat, že sucho ohrozí biodiverzitu a tradiční ekosystémy, kromě toho může dojít ke snížení kvality vody. Pokles ekonomické aktivity může vést k úbytku venkovského obyvatelstva a poškodit vývoj městských komunit. Studie mapující dopady ve Spojeném království a dalších evropských zemích ukazují různý trend v rizicích, zatímco Evropa

(obr. 8.5) bude ohrožena vzrůstajícím suchem (nejvíce budou postiženy letní plodiny ve Středozevní oblasti), Spojené království bude zaznamenávat vyšší riziko povodní (Giannakopoulos *et al.*, 2009). Dlouhodobé adaptace mohou zmírnit ztráty v případě, že se zemědělská a lesnická produkce přemístí z jižní do severní Evropy



Obr. 8.5: Očekávané změny ve výskytu sucha: vlevo změna v počtu po sobě jdoucích dní se srážkami $<1\text{mm}$ v roce, vpravo změny půdní vlhkosti. Zvyšující se sucho je vyznačeno barevnou škálou od žluté po červenou, snižující se sucho v barvách od zelené po modrou. Jednotky vyznačené barevnou škálou: standardní odchylka meziroční variability dvacetiletých period 1980–1999, 2046–2065, and 2081–2100. Obrázky znázorňují změny ve dvou časových horizontech 2046–2065 a 2081–2100 podle emisního scénáře SRES A2 v porovnání s periodou 1980–1999.

Doposud panovalo přesvědčení, že konvenční zemědělství závislé na atmosférických srážkách je změnou klimatu značně ohroženo a toto ohrožení je možné snížit zavedením závlah. Současné studie ale dokládají, že použití závlah naopak zvyšuje ohrožení klimatickou změnou (Lioubimtseva, Henebry, 2009).

Mnohé studie očekávají v oblastech se vzestupem teplot $>4\text{ }^{\circ}\text{C}$ zvýšení ohrožení suchem, vodním stresem a povodněmi. Očekává se, že plocha zemědělské půdy ohrožená suchem (jeden a více měsíců s hodnotou Palmerova indexu sucha (PDSI) <-3) se zvýší z dnešních 15 % na 44 % (+6 %) v roce 2100 (Li *et al.*, 2009). Oteplení klimatu o $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ bude pravděpodobně významným faktorem pro dopad na ekosystémy srovnatelným se změnou využití krajiny (tzv. landuse). Vědecké studie očekávají významné zvýšení vodního stresu, větší výskyt suchých epizod a nutnost zvýšeného čerpání podzemních vod.

Očekává se, že v průběhu 21. století se ve většině subtropických regionů vlivem změny klimatu sníží množství obnovitelných zdrojů vody, zásoby podzemní vody výrazně poklesnou a zintensivní se

soutěživost jednotlivých sektorů o vodní zdroje. V regionech, které jsou v současnosti považovány za suché, se četnost opakování suchých period bude do konce 21. století zvyšovat. Naopak zásoby vodních zdrojů ve vyšších zeměpisných šířkách porostou. Dále je pravděpodobné, že změna klimatu sníží kvalitu pitné vody prostřednictvím kombinace několika faktorů: zvýšené teploty vody, zvýšené sedimentace, splachem živin a škodlivin přivalovými srážkami, zvýšenou koncentrací škodlivin v epizodách sucha a povodní.

Vysoké emisní scénáře modelu dopadů změny klimatu udávají, že 27 až 50 % globální populace bude vystavena 10 % úbytku vodních zdrojů zejména v suchých oblastech s velkým zalidněním. Naopak pro 20 až 45 % populace ve vlhčích oblastech s nižším zalidněním je pravděpodobné, že narostou zásoby podzemních vod, to vše do roku 2080. Dále modely pro konec 21. století odhadují snižování půdní vlhkosti a rostoucí riziko vzniku sucha v současných suchých regionech jak na regionální tak na globální úrovni. Nejvýraznější trend je očekáván ve Středozeří, jihovýchodní USA a jižní Africe.

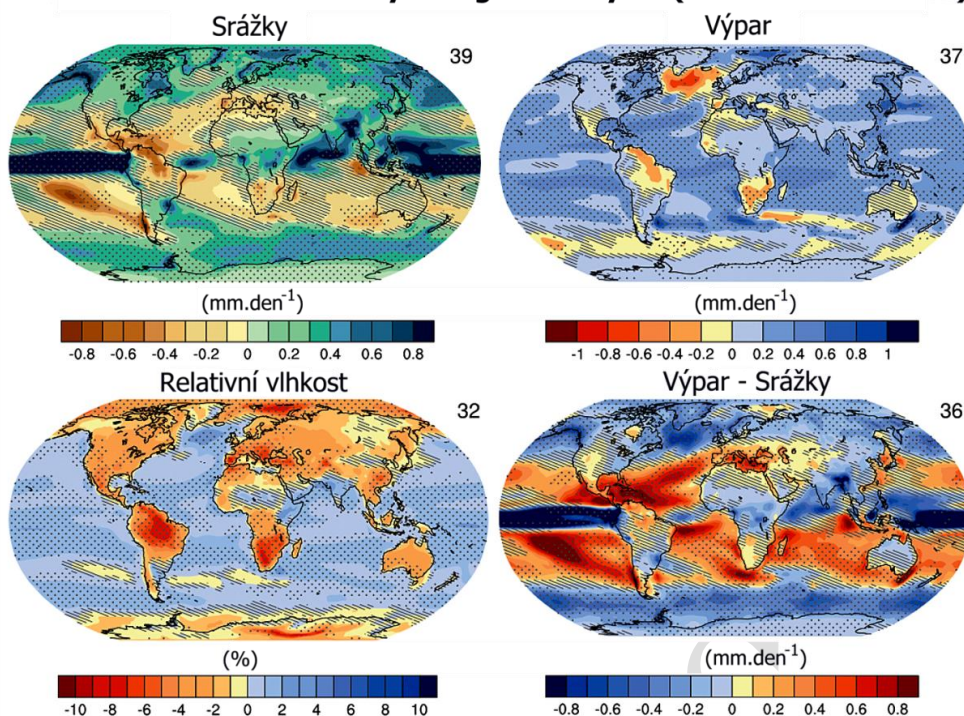
8.4. Změny intenzity srážek

Většina scénářů změny klimatu očekává do budoucna větší četnost případů intenzivních srážek, které se budou vyskytovat ve většině světových oblastí. Pokud toto nastane, dají se očekávat povodně začínající v malých povodích, které budou mít následné dopady i ve větších povodích. Co se týče oblastí, ve kterých bude obyvatelstvo vystavené vyššímu riziku povodní, tak mezi takové oblasti patří Asie, Afrika, střední a jižní Amerika.

Narůstající intenzita srážek (a tím zvyšující se riziko povodní) a výskyty letních suchých period v některých kontinentálních oblastech je považován za důkaz globálního oteplení a je jak doložený pozorováním v posledních dekádách, tak očekávaný v projekcích modelů.

Očekává se, že četnost silných srážek a celkové úhrny dešťových srážek se na mnoha místech zeměkoule do konce 21. stol. zvýší. Toto platí zejména pro vyšší zeměpisné šířky, tropické regiony a pro zimní období v severních částech středních zeměpisných šířek. Podobně intenzita a četnost silných srážek spojených s tropickými cyklony se bude také zvyšovat. Se střední spolehlivostí modely udávají, že v některých regionech se budou silné srážky vyskytovat i přes očekávané snížení celkových srážkových úhrnů. Různé emisní scénáře projektují v mnoha regionech do konce 21. stol. změnu maximálního 24-hodinového úhrnu srážek, který se vyskytoval jednou za dvacet let a jeho posun do frekvence výskytu jednou za 5-15 let (obr. 8.6).

Průměrná změna ročního hydrologického cyklu (RCP8.5: 2081-2100)



Obr. 8.6: Roční změny srážek, evaporace, relativní vlhkosti a evaporace-srážek pro období 2081–2100 ve srovnání s 1986–2005.

Konzervativní odhady udávají počet 2.8 bilionu lidí, kteří byli v období 1980 až 2009 zasaženi povodněmi, z toho bylo zaznamenáno 500 tis. úmrtí. Očekává se, že velmi pravděpodobně budou tyto počty obyvatel poškozených bouřemi a záplavami v tomto století narůstat, pokud nebudou zahájena adaptační opatření. Dasgupta et al. (2009) vytvořil prostorový model ohrožení povodněmi pro lokality ležící na mořském pobřeží a to v 84 rozvojových zemích a 577 městech. Model uvažoval stoletý silný mořský příboj a stanovil budoucí dopad změny klimatu na výšku mořské hladiny jako 10% nárůst v intenzitě tohoto příbojového jevu, kterým bude do roku 2100 ohroženo v 84 rozvojových zemích 52 milionů obyvatel na ploše 30 tis. km^2 půdy.

Nízká jistota panuje ve stanovení změny ve výskytu bouřek, a to zejména z důvodu nedostatku specifických modelových studií a nedostatku shody mezi existujícími studiemi. Leslie et al. (2008) ve své studii pro okolí Sydney v Austrálii uvádí, že do roku 2050 se podle SRES A1B zvýší četnost i intenzita bouřek.

8.5. Změny v biosféře

Globální oteplování představuje významné riziko pro přírodu. Už při optimistických scénářích může hrozit vyhynutí třetině rostlinných a živočišných druhů. Pokud by se teplota zvýšila o čtyři stupně, mohlo by to znamenat naprosto zásadní vymírání druhů s důsledky pro světové ekosystémy i člověka, které lze dnes jen těžko předvídat. Mezi nejohroženější ekosystémy patří korálové útesy. Už při globálním oteplení kolem dvou stupňů Celsia hrozí zánik naprosté většiny z nich. Přírodní rozmanitost (tzv. biodiverzita) je přitom klíčová pro stabilitu jednotlivých ekosystémů a ty jsou zase životně důležité pro člověka.

Je pravděpodobné, že odolnost mnoha ekosystémů bude v tomto století překročena v důsledku bezprecedentní kombinace změny klimatu, souvisejících narušení (např. povodně, sucha, požáry,

hmyz, okyselování oceánů) a jiných příčin změny klimatu (např. změna využití krajiny, znečištění, přlíšné využívání zdrojů).

Biodiverzita

Změna klimatu a reakce druhů na ni může mít zásadní vliv na biodiverzitu a ekosystémové služby. Riziko vyhynutí určitých druhů se bude v průběhu 21. stol. regionálně lišit vlivem kombinace mnoha faktorů jako jsou environmentální nika, demografie, životní historie druhu a interakce mezi těmito faktory (Swab et al., 2012). Změny v četnosti budou spojeny se změnami v genetické diverzitě, která bude dána mírou migrace, může dojít ke snížení schopnosti adaptace druhů. Další z příčin snížení genetické diverzity může být introdukce nepůvodních druhů a fragmentace místa výskytu druhu.

Genotypická adaptace, jako jedna z reakcí na klimatickou změnu, je spojená se snížením počtu druhů. Posun hranic výskytu druhů je spojen se změnami v četnosti, s možným vyhynutím nebo naopak kolonizací druhů, což může ovlivnit výskyt dominantních druhů, jako jsou stromy, opylovači nebo přenašeči chorob.

Změna klimatu zvýší v nadcházejícím století riziko globálního vyhynutí mnoha druhů. Některé druhy totiž nebudou schopny reagovat dostatečnou měrou a dostatečně rychle na měnící se klima, což výrazně sníží jejich možnost přežití. Při nižší očekávané míře klimatické změny a s využitím ochranných opatření je možné, že velká většina druhů se bude schopná adaptovat na nové klima nebo změnit místo svého výskytu a zvýšit tak možnost svého přežití. Ztráta prostředí a přítomnost bariér pro pohyb druhů zvyšuje riziko jejich vyhynutí.

Se střední spolehlivostí lze tvrdit, že 20-30 % rostlinných a živočišných druhů je vystaveno rostoucímu riziku vyhynutí v případě, že globální průměrné teploty přesáhnou hranici 2-3 °C nad průměrnou teplotu v preindustriální éře (Fischlin et al., 2007).

Lesní porosty

Lesní porosty budou silně ovlivněny změnou klimatu: teplota vzduchu, solární radiace, srážky a koncentrace atmosférického CO₂, to jsou všechno hlavní vlivy řídící dynamiku a produktivitu lesních porostů. Lesní porosty mají vliv na množství CO₂ v atmosféře, který z atmosféry poutají nebo ho do ní zpětně uvolňují, absorbují nebo odráží sluneční záření (albedo), ochlazují atmosféru evapotranspirací a produkcí aerosolů nutných pro vznik oblačnosti.

Pro lesní porosty v **severních oblastech** (boreální lesy) většina projekcí očekává jejich rozšiřování směrem k severu do oblastí tundry, kromě toho je pravděpodobný posun v druhovém složení těchto porostů směrem k vyššímu zastoupení temperátních druhů (stálezelené jehličnaté druhy budou nahrazeny opadavými širokolistými druhy, v chladnějších oblastech budou opadavé jehličnany nahrazeny stálezelenými) (Pearson *et al.*, 2013).

Pro **temperátní lesní porosty** se očekává jak posun severním směrem, tak do vyšších nadmořských výšek. Odhady tohoto posunu se pohybují v rámci kilometrů ročně až dekadně, což je rychlejší posun jak v případě přirozené migrace. Růstové modely v průběhu 21. stol. indikují zvýšené přírůstky stromů ve vyšších zeměpisných šířkách a v oblastech při hranici jejich výskytu. Dále modely dopadů změny klimatu na lesní porosty odhadují, že dopady na reprodukci mohou být hlavním limitujícím faktorem pro distribuci stromů.

Současné modelové studie odhadují, že budoucí výskyt **vlhkých tropických lesů** bude určován posunem klimatologických oblastí a během 21. stol. se očekává jejich ústup i rozšíření. Množí se také důkazy o tom, že výskyt extrémních jevů v kombinaci s landuse (využití krajiny), ovlivňují režim požárů v tropických lesích. Mnohé vlhké tropické lesy nejsou během typických let bohatých na

dešťové srážky k požárům náchylné. Selektivní kácení a sucho mohou tuto odolnost k požárům redukovat. Tyto souvislosti sice nejsou obsaženy v klimaticko-vegetačních modelech, ale i přes to panuje vysoká spolehlivost v odhadech, které udávají, že četnost a závažnost lesních požárů stoupá v interakci sucha a landuse. Se střední jistotou je úhyn stromů v Amazonském pralese způsobený suchem a lesními požáry a s nízkou jistotou je spojený s oteplováním klimatu.

Lesní požáry hrají dominantní roli v dynamice lesních porostů v mnohých částech světa. Panuje pouze nízká jistota v tom, jestli změna klimatu způsobí více nebo méně častější lesní požáry. Pro vysoké scénáře změny klimatu se výrazně sníží schopnost lesů požáry přežít.

Savany jsou oblasti se smíšeným výskytem stromů a travin, pokrývají téměř čtvrtinu rozlohy planety. Savany jsou charakteristické výskytem každoročních nebo dekádních požárů s relativně nízkou intenzitou, tyto požáry jsou důležitým faktorem v údržbě poměru stromy-travní porost. Model pro travní porosty, savany a lesní porosty předpokládá, že zvyšující se koncentrace CO₂ zvýší pravděpodobnost vyššího podílu stromů v savanách (v různé míře v závislosti na míře zvýšení koncentrace plynu) (Higgins, Scheiter, 2012), kromě CO₂ jsou významnými řídicími faktory také landuse, vodní bilance a mikroklima. Zastoupení stromů v savanách je závislé na dešťových srážkách a očekává se, že zvýšení srážkových úhrnů v budoucím klimatu zvýší v mnoha (ne všech) oblastech celkovou biomasu stromů.

Jako reakce na změnu klimatu se očekává zvýšení rozlohy **pouštních oblastí**, a to v různém poměru podle jejich polohy. Rozloha pouští působí jako zpětná vazba globálního oteplení: pouště poblíž rovníku podporují oteplení, pouště v severnějších boreálních oblastech naopak ochlazení klimatu. Očekává se, že pouště se v budoucím klimatu oteplí a budou sušší v kratším časovém měřítku než ostatní terestriální ekosystémy (Stahlschmidt et al., 2011).

Ekosystémy mediteránního typu se vyskytují na všech kontinentech a jsou charakterizovány jako chladné a vlhké v zimě a horké a suché v létě. V těchto oblastech jsou pozorovány změny ve fenologii mediteránních druhů, v omezení hranic jejich výskytu a ve snížení růstu dominantních druhů stromů. Dále je zde přítomné zvýšené riziko desertifikace zvláště ve velmi suchých oblastech. Modely změny klimatu očekávají pokračování těchto pozorovaných trendů.

Sladkovodní ekosystémy jsou považovány za nejohroženější klimatickou změnou. Znečištění pocházejících z měst a zemědělství snižuje kvalitu vody a způsobuje tak největší vymírání druhů právě v tomto ekosystému. Má se za to, že téměř 20 tis. druhů sladkovodních ryb je ohroženo nebo již vyhynulo v důsledku lidské činnosti (Strayer, Dudgeon, 2010). Je velmi pravděpodobné, že stresory tohoto typu budou dále přetrvávat i v budoucím klimatu, dominovat bude rostoucí poptávka lidstva po vodních zdrojích spolu se zvyšující se urbanizací a zemědělství využívající závlahy. Nicméně změna klimatu bude mít další dopady na sladkovodní ekosystémy a těmi jsou změny v termálních režimech, změny ve srážkových úhrnech rozložení srážek během roku a v případě pobřežních ekosystémů také zvyšování hladiny moří. Obzvláště náchylné k reakcím na tyto změny související s klimatem budou specifická sladkovodní společenství vyšších zeměpisných šířek a nadmořských výšek jako jsou oblasti Arktidy, subarktidy a permafrostu, horské a arktické potoky a jezera.

Zvyšující se teplota vody v mnoha jezerech v mírných (temperátních) zeměpisných šířkách způsobuje zkracování období zamrznání vody v jezerech a dřívější nástup, delší trvání a vyšší stabilitu tzv. termokliny (jinak také „skočná vrstva“, přechodová vrstva mezi dvěma rozdílnými teplotami vody) v letním období. Tyto prvky podporují dominanci drobného fytoplanktonu a cyanobakterií zejména v ekosystémech, které jsou vystaveny lidskému působení a vyššímu obsahu živin, což ovlivňuje kvalitu vody a produktivitu celého ekosystému.

Změny v hydrologických režimech zahrnující dřívější odtok a snižující se letní průtoky, ty budou mít vliv na sladkovodní ekosystémy hlavně prostřednictvím změny kvality vody. Snižené srážky a jejich zvýšená meziroční variabilita zvýší pravděpodobnost výskytu nižších průtoků a suchých období v suchých oblastech, snížení kvality vody v přetrvávajících tůních, ztrátu permanentních vodních refugií pro přežití vodních druhů a vodního ptactva, změnu sladkovodních potravních zdrojů a vysušení mokřadů.

Tyto změny v rozložení srážek budou pravděpodobně rozhodujícím vlivem určujícím vegetaci **rašeliníšť** v mírných a severních (boreálních) oblastech, kde snižující se vlhkost během růstové sezony způsobí posun druhového složení od rašeliníku směrem k cévnatým rostlinám a dlouhodobě sníženému uvolňování uhlíku. Významnému riziku ze strany změny klimatu čelí také středoevropské ekosystémy **močálů**, pro které představují ohrožení především vysoké letní teploty.

V průběhu minulého století se **Arktické ekosystémy**, kde dominuje tundra, oteplily ve větší míře než je globální průměr. Má se za to, že pokračující oteplování významným způsobem změní arktické jezerní ekosystémy a během 21. stol. dojde k expanzi dřevin pokrývajících tundu. Očekává se, že změny v arktické vegetaci budou pokračovat i dále po stabilizaci globálních teplot, v některých regionech snížené albedo vzniklé zvýšeným vegetačním pokryvem krajiny dále podpoří lokální oteplení i po stabilizaci koncentrace skleníkových plynů v atmosféře (Falloon *et al.*, 2012).

Se střední spolehlivostí lze tvrdit, že rychlá změna v Arktických ekosystémech ovlivňuje i arktickou zvířenu. Např. některé populace ledních medvědů zůstávají co do počtu jedinců stabilní, jiné v počtu klesají, jiné zase rostou. Pokles jedinců je zapříčiněn poklesem mořské ledové pokrývky a očekává se, že populace ledních medvědů v oblasti Arktidy budou s dalším oteplováním klesat.

8.6. Uhlíkový cyklus a další biogeochemické cykly

Změna klimatu s vysokou spolehlivostí ovlivní procesy koloběhu uhlíku takovým způsobem, který zesílí nárůst CO₂ v atmosféře.

Celková absorpce uhlíku suchozemskými ekosystémy během tohoto století bude pravděpodobně kulminovat před polovinou století a poté bude slábnout či se dokonce obrátí, čímž bude změna klimatu zesílena. Ukládání antropogenního CO₂ v oceánu bude pokračovat podle všech čtyř scénářů RCP až do roku 2100, přičemž s vyšší koncentrací bude docházet k vyššímu ukládání. Budoucí vývoj ukládání uhlíku na pevnině je méně jistý. Většina modelů projektuje ve všech scénářích RCP pokračující ukládání uhlíku na pevnině, ale některé modely simulují ztrátu uhlíku v půdě v důsledku kombinovaného efektu změny klimatu a změny využívání půdy. Na základě modelů existuje vysoká spolehlivost, že zpětná vazba mezi klimatem a uhlíkovým cyklem je v 21. stol. kladná; to znamená, že změna klimatu částečně kompenzuje nárůst ukládání uhlíku na pevnině a v oceánu v důsledku vyššího atmosférického CO₂. Proto v atmosféře zůstane více emitovaného antropogenního CO₂. Kladnou zpětnou vazbu mezi klimatem a uhlíkovým cyklem v měřítku století až tisíciletí podporují paleoklimatická pozorování a modelování. Očekává se, že progresivní okyselování oceánů, které je působeno zvyšováním koncentrací oxidu uhličitého v atmosféře, bude mít negativní dopady na mořské organismy tvořící pevnou schránku (např. korály) a druhy na nich závislé. Modely projektují globální zvýšení acidifikace oceánů u všech scénářů RCP. Odpovídající snížení hodnoty pH povrchových vod oceánu bude do konce 21. stol. v rozsahu 0,06 až 0,32 (rozsah všech scénářů RCP). Ztráta uhlíku za zmrzlé půdy představuje pozitivní zpětnou vazbu, která není obsažena v projekcích modelů ESM (Earth System Model). S vysokou jistotou se očekává, že oteplování oceánů a změny v jejich cirkulacích sníží ukládání uhlíku v Severním ledovém oceánu a v severním Atlantickém oceánu.

8.7. Evropa: dopady na jednotlivé sektory

Poprvé byla zdokumentována široká škála dopadů změn současného klimatu: ústup ledovců, delší vegetační období, změny rozsahu přirozeného výskytu druhů a zdravotní důsledky způsobené vlnou vedra bezprecedentní síly. Uvedené pozorované změny se shodují s projekcemi pro budoucí změnu klimatu. U téměř všech evropských regionů lze očekávat, že budou v budoucnu negativně ovlivněny určitými dopady změn klimatu, což pro mnohé ekonomické sektory bude představovat obtíže. Změna klimatu podle předpovědí zvýší regionální rozdíly v přírodních zdrojích a aktivech Evropy. Negativní dopady budou zahrnovat zvýšené riziko náhlých povodní ve vnitrozemí a častější záplavy na pobřeží a zvýšenou erozi (z důvodu bouřlivého počasí a vzestupu mořské hladiny). Převážná většina organismů a ekosystémů bude mít s adaptací na změnu klimatu problémy. Horské oblasti se budou potýkat s ústupem ledovců, úbytkem sněhové pokrývky a snížením zimního cestovního ruchu a rozsáhlým úbytkem druhů (v některých oblastech až 60 % do roku 2080 v případě scénáře předpokládajícího vysoké emise).

Očekává se, že v jižní Evropě změna klimatu zhorší podmínky (vysoké teploty a sucha) v regionu již nyní zranitelném klimatickou variabilitou a sníží dostupnost vody, možnosti výroby elektřiny z vodních zdrojů, letní cestovní ruch a produktivitu plodin obecně. Dále se promítají zvýšená zdravotní rizika následkem vln veder a častých požárů. Ve střední a východní Evropě ukazují projekce pokles srážek v letním období, což bude mít za následek vyšší vodní stres. Zdravotní rizika lidstva z důvodu vln veder se mají zvýšit. Produkce lesního hospodářství by se podle předpovědí měla snižovat a četnost požárů rašelinišť zvyšovat.

V severní Evropě by změna klimatu měla z počátku přinést smíšené dopady včetně některých přínosů, jako jsou snížené požadavky na vytápění, vyšší výnosy sklizní a rychlejší růst lesních porostů. Nicméně s pokračující změnou klimatu je pravděpodobné, že přínosy budou převáženy negativními dopady (včetně častějších zimních záplav, ohrožených ekosystémů a rostoucí půdní nestability).

Pro adaptaci na změnu klimatu budou pravděpodobně přínosné zkušenosti získané při reagování na extrémní klimatické jevy, především realizace aktivnějších adaptačních plánů pro řízení rizik v oblasti změny klimatu.

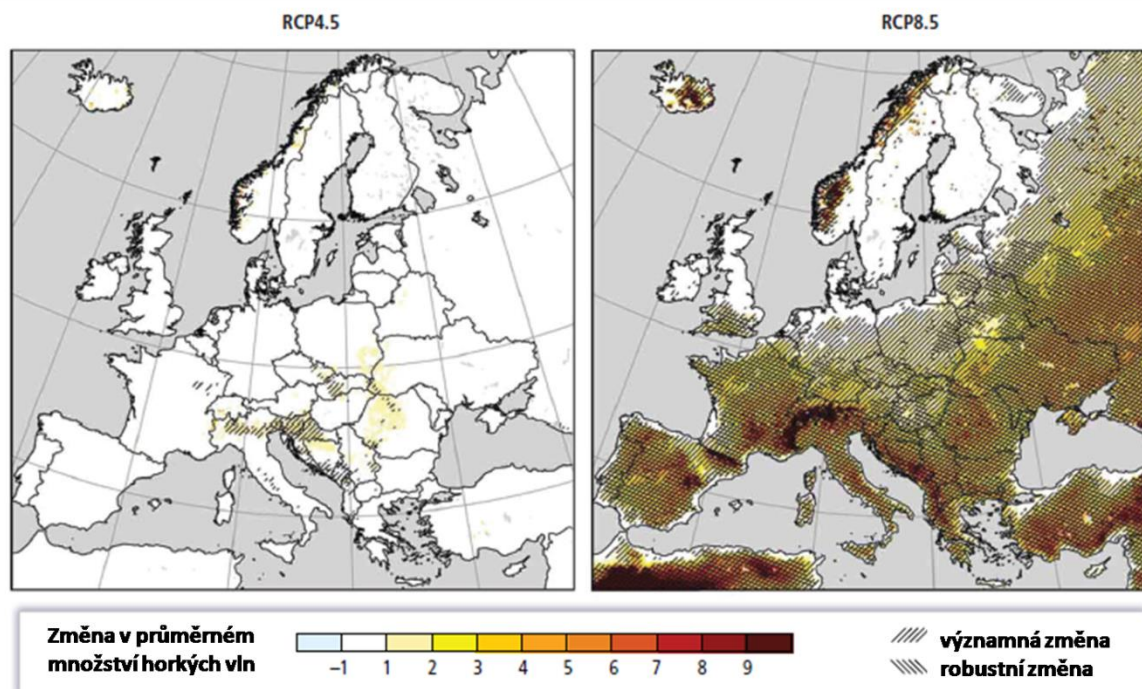
Rozložení srážek se očekává měnit následujícím způsobem: nárůst v severní Evropě a snížení srážkových úhrnů v jižní Evropě. Např. až po hranici Švédska bude docházet ke snižování srážek v letních měsících, k nárůstu v zimním období s tím, že v horských oblastech bude více srážek vypadávat ve formě deště než sněhu. Dále se v severní Evropě očekává snižování délky trvání sněhové pokrývky.

Výskyt extrémních jevů

V budoucím klimatu se očekává zvýšený výskyt zejména horkých vln, sucha a extrémních srážek (obr. 8.7). Extrémní srážky se očekávají hlavně v severní Evropě v rámci všech ročních období, ve střední Evropě (kromě léta). Bude přibývat i extrémních jevů spojených se stoupající hladinou moře. Bouřlivý příboj se bude vyskytovat v různé intenzitě podél evropského pobřeží. Nárůst ve výskytu se očekává ve východní části Severního ledového oceánu, na západě Spojeného království a Irsku. Zvyšující se nebo stabilní četnost výskytu tohoto jevu se očekává v jižní části severního ledového oceánu na pobřeží Německa. Se zvyšující se hladinou moří souvisí také zvyšující se riziko povodní, což zůstává hlavní hrozbou pro evropská města ležící na pobřeží, přístavy a další infrastrukturu. Bez zavedení adaptačních opatření je riziko, že povodněmi v důsledku stoupající hladiny moří bude do roku 2080 zasaženo 5,5 milionů obyvatel ročně.

S rizikem extrémních dešťů se zvyšuje také riziko výskytu bleskových povodní. K těm přispívá kromě intenzivních srážek také urbanismus, lesní požáry, které vedou k vyšší erozi obnažené půdy a

k vyššímu povrchovému odtoku. Některé studie poukazují na zvyšující se riziko ekonomických ztrát vlivem silných bouří v severozápadní Evropě, jejich výskyt ale není jednoznačně připisován antropogenní změně klimatu.



Obr. 8.7: Změna v průměrném množství horkých vln na území Evropy. Odhad scénářů RCP4.5 a RCP8.5 pro období květen-září 2071 – 2100 ve srovnání s periodou 1971 – 2000.

Energetická produkce

Do roku 2050 se v severní Evropě neočekávají větší změny v produkci energie získané z větrných elektráren. Po roce 2050 se v severní a kontinentální Evropě a v oblasti Atlantického oceánu očekává zvýšená produkce energie z větru během zimního období a její pokles během léta (Hueging et al., 2013). V jižní Evropě lze očekávat pokles celoročně.

Během 2071-2100 se předpokládá zvýšená produkce elektrické energie z vodních elektráren ve Skandinávii, v kontinentální Evropě a alpských oblastech a jižní Evropě bude docházet ke snižování produkce.

Turismus

Po roce 2070 je pravděpodobné, že hlavní turistické aktivity budou změnou klimatu ovlivněny hlavně v letním období, méně během podzimu a jara, a to v severní Evropě, Finsku, jižní Skandinávii a jižní Anglii. Ve Středozeří se po roce 2050 zhorší podmínky pro venkovní turistické aktivity, naopak se zlepší během jarního a podzimního období.

Turismus v horských oblastech může z klimatické změny naopak těžit v letních měsících, v zimě spíše naopak, období se sněhovou pokrývkou vhodnou pro lyžování se bude zkracovat a snížením turismu budou trpět zejména oblasti, kde je omezená možnost umělého zasněžování lyžařských svahů (nízko ležící a malá lyžařská centra) (Steiger, 2011).

Rostlinná produkce, produkce potravin

Antropogenní změna klimatu bude mít vliv na úspěšnost pěstování plodin v Evropě. Nárůst teplot v roce 2080 o 2,4 °C může způsobit jen malé změny ve výnosech plodin (regionální průměr 3 %), zatímco oteplení o 5,4 °C už může průměrné výnosy snížit až o 10 %. Počáteční přínos vyšší

Autoři: Trnka M., Žalud Z., Hlavinka P, Bartošová L a kol.

koncentrace CO₂ pro produkci zemědělských plodin závislých na dešťových srážkách bude ke konci století v kontrastu s poklesy výnosů v mnoha evropských regionech. Nárůst globální teploty o 4 °C způsobí vyšší frekvenci extrémně nepříznivých let pro pěstování plodin v evropských zemědělských oblastech (Trnka et al., 2011).

Propady v produkci plodin, které jsou definované jako roky s produkcí nižší jak 50 % průměrné produkce za normál, budou do roku 2020 dvojnásobné a do roku 2070 trojnásobné ve srovnání se současným výskytem jednou až třikrát za dekádu, platí pro nejvíce produkční oblasti Evropy a Ruska (Alcamo et al., 2007). K nejvyšším ztrátám na výnosech bude v roce 2080 docházet v jižní Evropě (až 25 % ztráty). Teplejší a sušší podmínky budoucího klimatu budou způsobovat i pokles výnosů plodin ve střední Evropě, v západní Evropě mohou očekávané vlny horka v období kvetení způsobit ztráty na výnosech pšenice. V severní Evropě se očekávají pozitivní změny ve výnosech kombinované s rozšiřováním klimaticky vhodných oblastí pro pěstování plodin (při oteplení o 2,5 – 4 °C) (Bindi, Olesen, 2011). Na ozimé plodiny bude mít vliv zvýšená variabilita klimatu, která může způsobit jejich ve vyšších nadmořských výškách.

Kvůli omezené dostupnosti půd a jejich úživnosti (mimo oblast černozemě) se neočekává, že by posun zemědělských oblastí do severních zeměpisných šířek vykompenzoval ztráty na výnosech plodin, které se pěstují v jižních částech Evropy a Ruska a ke kterým bude docházet vlivem zvyšující se aridity těchto regionů.

S neplujícím se a sušším klimatem je pravděpodobné, že větší riziko budou představovat hluboko kořenící plevele a plevele ze skupiny C4. Zvýšené ztráty na plodinách vlivem škůdců a chorob jsou očekávané do roku 2050 i v severních zemích, kde byly plodiny doposud před škodlivými činiteli chráněny tuhými zimami a geografickou izolací (Hakala et al., 2011).

Vodní zdroje a zemědělství

Projekce budoucích dopadů klimatu potvrzují, že se budou zvyšovat rozdíly mezi dostupností vodních zdrojů v severní a jižní Evropě. V severní a Kontinentální Evropě hrozí vyšší riziko povodní, které budou způsobovat vyšší ztráty na zemědělských plodinách, zvyšovat variabilitu v jejich výnosech a budou také komplikovat zpracování půdy. Do konce 21. stol. bude v jižní Itálii, ve Španělsku, severní Francii a Belgii snižované doplňování hladiny podzemních vod a snížení hladiny povrchových vod. Sníží se tak vhodnost klimatu pro zemědělství založené na dešťových srážkách a bude se zvyšovat potřeba závlah.

Lesnictví

V současnosti pozorované reakce lesních porostů na změnu klimatu zahrnují změny v růstových poměrech, fenologii, skladbě živočišných a rostlinných společenstev, zvýšený počet lesních požárů a škod způsobených bouřemi a zvýšené škody způsobené škůdci a chorobami. Střednědobé projekce očekávají, že v severní Evropě a ve východních evropských státech na pobřeží Atlantiku poroste produktivita lesních porostů vlivem zvýšené koncentrace CO₂ (Lindner et al., 2010), opačný trend se očekává v jižní a východní Evropě vlivem zvyšujícího se sucha.

Riziko lesních požárů poroste v jižní Evropě, poroste počet dní s rizikem požárů a délka období pro výskyt požárů. Lesní požáry (spalování biomasy) mohou přispívat k dalšímu zvýšení koncentrací skleníkových plynů.

Očekávají se také zvýšené škody na porostech v důsledku bouří, toto riziko poroste hlavně v období jara a podzimu a půjde ruku v ruce se zkracováním období, kdy je promrzlá půda.

Zejména ve vnitrozemí Evropy porostou škody na porostech způsobené houbovými chorobami, které budou těžit z vlhčích zim.

Rybářství

Je pravděpodobné, že produkce mořských ryb v severních částech Atlantského oceánu se bude zvyšovat. V evropských mořích bude mít oteplování vliv na přesun rybích populací k severu a/nebo na přesun v hloubce, což bude mít své dopady v rybářství (Daufresne *et al.*, 2009). Např. v Baltském moři se očekává, že vlivem zvýšené teploty může dojít k imigraci několika nových druhů, ale jen některé v tomto moři přežijí díky jeho nižší salinitě.

V reakci na změnu klimatu zřejmě velkoplošně dojde ke snižování velikosti lovných ryb a střední velikosti zooplanktonu, což již bylo pozorováno a dále se očekává, že to bude mít následný vliv na udržitelnost rybářství. Kromě toho některá přirozená prostředí mohou zanikat díky vzestupu hladiny moří a vzestupná acidifikace moří může narušit časná vývojová stadia měkkýšů, která tvoří potravu mnoha druhů ryb.

8.8. Zemědělství a potravinová bezpečnost

8.8.1. Změna klimatu – riziko pro potravinovou bezpečnost

Mezi sektory lidské činnosti, které jsou a v budoucnu budou probíhající změnou klimatu významně ovlivňovány, patří bezesporu zemědělství. Situaci je nutné brát velmi vážně, protože jde o jednu z klíčových aktivit lidstva podmiňující jeho existenci prostřednictvím zajištění potravinové bezpečnosti a dostupnosti dalších surovin. Pro potravinovou bezpečnost existuje řada definic. Zatímco dřívější definice byly orientovány spíše na produkci potravin, novější zdůrazňují přístup k potravinám. Jednou z možností je popsat potravinovou bezpečnost jako možnost přístupu (fyzicky i ekonomicky) všech lidí, bez časového omezení, k dostatečnému množství bezpečných a výživných potravin k uspokojení jejich stravovacích potřeb a preferencí pro možnost aktivního a zdravého života (FAO, 1996). Důležité je dosažení maximální možné míry potravinové bezpečnosti ve všech částech světa a následně udržení její stability (z hlediska kvantity, kvality, cenové stability), neboť i krátký výpadek může mít na části populací nebo celé populace fatální důsledky. V celosvětovém měřítku se na obyvatele sice produkuje dostatek potravy, ale i přesto přibližně 870.000.000 lidí v období 2010–2012 hladovělo (FAO *et al.*, 2012). Je třeba počítat s tím, že sektor zemědělské produkce nebude ovlivňován pouze klimatickými podmínkami, ale i změnou úrovně poznání, dostupností technologií, procesy v rámci životního prostředí a v neposlední řadě díky vyšší poptávce po produkci v důsledku rostoucí globální populace, kdy se odhaduje, že do roku 2050 přesáhne hranici 9 mld. Kromě zvyšujícího se počtu obyvatel na Zemi se očekává i nárůst poptávky díky změnám stravovacích návyků. Na základě předpokládaných trendů se odhaduje potřeba nárůstu produkce potravin o 60 % do roku 2050 (FAO *et al.*, 2012). Vzhledem k tomu, že zemědělství neprodukuje jen potraviny, ale i řadu dalších surovin, bude situace v budoucnu ovlivňována i konkurenční poptávkou po produkci nepotravinového charakteru (vč. energetického využití). Do celkového stavu pak promluví i aspekty z oblasti zpracování, skladování a transportu nezbytných vstupů a dosažené produkce. Aby bylo možné nastítnit možnosti budoucího vývoje a případná rizika pro potravinovou bezpečnost, je třeba vyhodnotit nejvýznamnější vazby v rámci mimořádně komplexních procesů, které se v rámci studované oblasti odehrávají. I přes rozsáhlé znalosti, které má současná věda k dispozici, není bohužel možné, aby se na připravené scénáře a prognózy vývoje dalo bezesbýtku spolehnout. Jde spíše o to poukázat na možné trendy a pokusit se kvantifikovat přínosy a negativa, která budou pravděpodobně zemědělskou produkci v budoucnu ovlivňovat. Smyslem takových analýz je s předstihem upozornit na budoucí problémy, minimalizovat jejich podcenění a vytvořit základ pro zahájení včasné přípravy oboru na nové podmínky v jednotlivých regionech. Řada dostupných a aplikovaných metod zůstává od uveřejnění 4. hodnotící zprávy IPCC podobných, nicméně došlo díky novým experimentům a zejména většímu využití metod dálkového průzkumu Země či využití geografických informačních systémů

k prohloubení znalostí o studovaném systému, což by mělo vést k lepšímu pochopení problematiky a dalšímu zpřesnění prognóz.

Charakteristickým znakem, který se v případě vztahů mezi měnícím se klimatem a zemědělskou produkcí projevuje a bude projevovat, je tzv. asymetrie dopadů, a to jak regionálně tak druhově. Jinak řečeno, některé regiony budou v rámci budoucích podmínek oproti současnosti zvýhodněny, v jiných dojde ke zhoršení (analogicky některé druhy plodin a živočichů budou v daných regionech zvýhodněny, jiné budou pod větším tlakem). Obecně jsou vztahy mezi počasím a výnosy specifické pro plodinu, region, způsob hospodaření, vlastnosti půdy, načasování a trvání vystavení plodin daným podmínkám. Toto tvrzení lze doložit příkladem výnosů rýže, které jsou v některých regionech pozitivně korelovány s teplotou, zatímco v jiných regionech negativně (Zhang et al., 2008, Zhang et al., 2010). To je opět dáno několika mechanismy, přičemž obecně se dá říci, že záleží na tom, zda jsou výnosy limitovány nízkými nebo vysokými teplotami. Dalším významným faktorem potravinové bezpečnosti jsou mezinárodní ceny komodit. Tyto jsou stále významněji provázány s cenou surové ropy, ale i dalšími faktory, což činí hledání vazeb s klimatickými podmínkami poměrně komplikované.

Pokud bychom se začali vybranými regiony zabývat více konkrétně, je třeba mezi významná východiska studované problematiky zařadit skutečnost, že velká část globální zemědělské produkce je dosažena bez využití závlah. Proto zde existuje velká závislost na vhodném rozložení srážek a vodní bilanci daných stanovišť. Současné klima (vlivem slunečního svitu, teplot vzduchu, srážek, troposférická koncentrace CO_2 , O_3 , a dalších faktorů) není jedinou hybnou silou pro úroveň produkce, ale důležitou roli hraje i půdní úrodnost, případná dostupnost infrastruktury, hnojení, ekonomická úroveň, sociologické aspekty atd. I v případě omezení pouze na vazby v rámci fyziologických procesů plodin a interakce s podmínkami klimatu, stanoviště a agronomické praxe se neustále jedná o mimořádně komplexní systém, který nakonec vyústí v dosaženou úroveň produkce (např. Žalud et al., 2009). Měnící se klima přináší jak pozitivní, tak negativní vlivy, jejichž poměr a význam se bude dále vyvíjet. Mezi pozitivní faktory můžeme zařadit například vzrůstající úroveň atmosférické koncentrace CO_2 stimulující fotosyntézu a vedoucí k efektivnějšímu hospodaření rostlin s vodou (tzv. WUE – Water Use Efficiency). Dále také možnost vyšších sum teplot či delšího vegetačního období (delší doba využitelná pro růst biomasy). Na druhé straně mezi negativa patří větší pravděpodobnost výskytu a vyšší intenzity sucha (vyšší míra stresu pro rostliny), rychlejší vývoj vegetace (to se projeví kratší dobou k tvorbě biomasy od setí do zralosti v případě stávajících odrůd), vyšší riziko stresu vysokými teplotami v průběhu citlivých vývojových fází, vyšší riziko výskytu povodní či negativně působících intenzivních srážkových situací. Mezi očekávané negativní vlivy můžeme rovněž zařadit narůstající vliv troposférického ozonu (O_3) na rostliny.

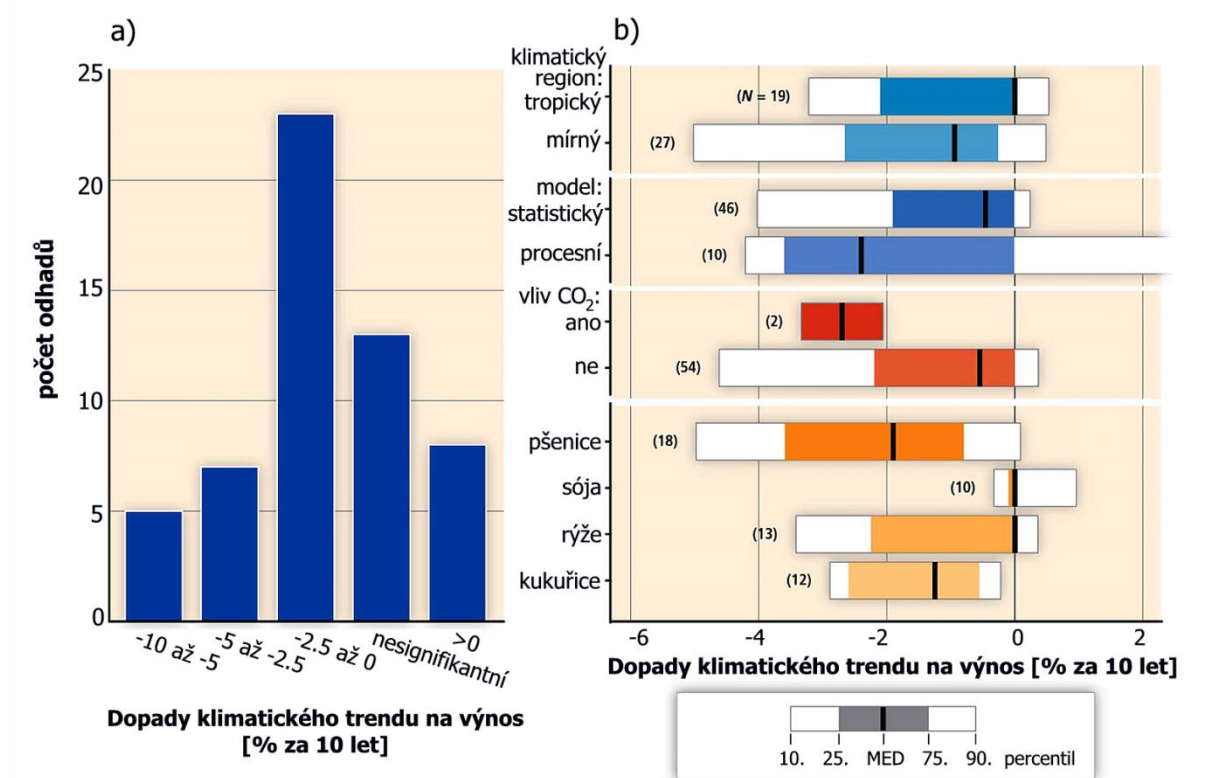
Obecně studie (experimentální i modelové) ukazují, že interakce mezi jednotlivými faktory jako je CO_2 , O_3 , teplota, extrémní situace, dostupnost vody a dusíku jsou nelineární a je těžké v některých situacích výsledky jejich budoucích interakcí předpovědět. Z výzkumů je zřejmé, že pozitivní reakce plodin na vyšší koncentraci CO_2 se liší pro rostliny typu C_3 a C_4 . Vliv je významnější v případě rostlin typu C_3 (pšenice, rýže, brambory, sója, cukrová řepa atd.) než v případě C_4 rostlin (kukuřice, čirok, cukrová třtina), protože fotosyntéza u C_4 je méně ovlivňována nárůstem okolní koncentrace CO_2 . 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. Vliv zvýšené koncentrace je pak limitován jak vysokou tak nízkou teplotou. Mezi významné mechanismy můžeme zařadit i zvýšený stomatální odpor vlivem vyšší koncentrace CO_2 , což zlepšuje hospodaření rostlin s vodou. U suchem stresovaných plodin je vliv CO_2 vyšší. Analogicky lze předpokládat, že vyšší CO_2 ovlivní spíše plodiny bez závlah oproti těm pod závlahou. Stále však existuje nejistota v oblasti přesné kvantifikace vlivu CO_2 a význam interakcí s dalšími faktory. Mezi zajímavé okolnosti lze zařadit i fakt narůstajícího počtu experimentů typu FACE (Free

Air Concentration Enrichment), které testují vliv zvýšené koncentrace O_3 místo CO_2 a nebo současně s CO_2 . Zajímavá je pokračující debata o rozdílných výsledcích dosažených v rámci FACE experimentů a v růstových komorách typu open-top či ve sklenících. Jak bylo zmíněno i v čtvrté hodnotící zprávě IPCC, FACE studie ukazovaly spíše menší odezvu na zvýšenou koncentraci CO_2 .

Zatímco ozón (O_3) ve stratosféře poskytuje ochranu před škodlivým ultrafialovým zářením ze Slunce, v případě jeho výskytu v troposféře působí jako fytotoxický polutant. Jeho koncentrace v tomto případě narůstají díky prekurzorům (CO , NO_x , některé organické látky) antropogenního původu z automobilů, elektráren, spalování biomasy a dalších typů spalování. Ozón je do rostlin přijímán prostřednictvím průduchů během fotosyntézy. Na rozdíl od CO_2 je jeho koncentrace významně závislá na geografické poloze, nadmořské výšce a zdrojích. Jako významný oxidant O_3 ovlivňuje fotosyntézu a další významné fyziologické pochody, což se ve výsledku projevuje v oblasti kvality a kvantity produkce. Odhady globálních ztrát na výnosech v důsledku zvýšené koncentrace O_3 se v případě sóji, pšenice a kukuřice v roce 2000 pohybovaly od 8,5 do 14,0 %, od 3,9 do 15,0 % a od 2,2 do 5,5 % v uvedeném pořadí pro zmíněné plodiny (Avnery et al., 2011). Opět platí, že interakce O_3 s dalšími faktory jako je CO_2 , teplota a srážky nejsou zcela popsány, nicméně je očekáván nárůst ztrát v případě kombinace vyšších koncentrací O_3 s vyšší teplotou vzduchu.

Poslední zpráva IPCC uvádí, že vliv probíhající změny klimatu se v rámci produkce rostlin a potravin již projevil v několika regionech světa (Porter et al., 2014), přičemž negativní dopady klimatických trendů byly více časté než pozitivní. I zde se projevil princip asymetrie dopadů, kdy v případě teplých a suchých regionů převládaly negativní vlivy a v chladnějších regionech (např. oblasti vyšších zeměpisných šířek) byly pozorovány pozitivní dopady. V důsledku změny podmínek (vč. růstu CO_2) byly zaznamenány i změny výskytu a významu chorob a škůdců. Tímto tématem se podrobně zabývá kapitola 8.7.3. Oteplení může být hybnou silou i pro posun rozšíření vybraných plevelů do vyšších zeměpisných šířek. V rámci konkurenčních vztahů může v případě nárůstu CO_2 plevelé zvýhodňovat jejich fenotypická a genotypová plasticita.

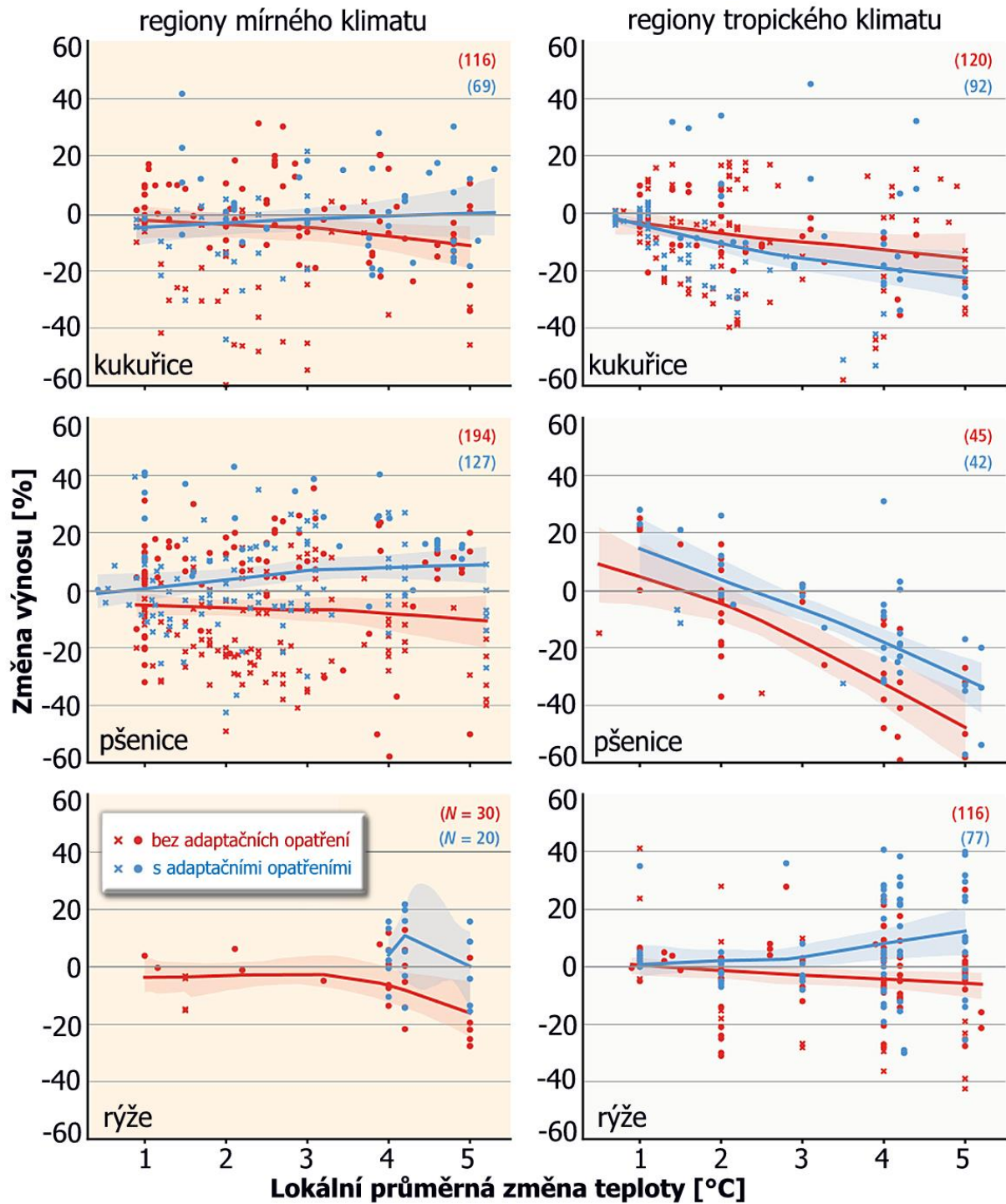
Přehled odhadu dopadů sledovaných klimatických trendů na výnosy čtyř hlavních plodin (pšenice, sóje, rýže, kukuřice) na základě široké škály oponovaných publikací je shrnut v obr. 8.8, kdy jsou zahrnuty různé metody (od statistických modelů až po fyziologicky a procesně orientované modely), prostorové škály (lokality, regiony až globální úroveň) a časová období. Při vyhodnocení pozorovaných změn je třeba nezapomínat na fakt, že úroveň výnosů v minulém období se nevyvíjela jen v důsledku změn klimatických podmínek, ale docházelo např. k průběžným změnám používaných odrůd, pěstitelských postupů, či ovlivnění půdních vlastností. To vše komplikuje možnost přesné kvantifikace vlivu klimatických prvků v rámci pozorovaných výnosových trendů. Souhrn studií se střední jistotou říká, že klimatické trendy negativně ovlivnily výnosy pšenice a kukuřice v řadě regionů, zatímco dopady na rýži a sóju byly malé v případě hlavních produkčních regionů i globálně (obr. 8.8).



Obr. 8.8: Přehled odhadu dopadů sledovaných klimatických trendů na výnosy čtyř hlavních plodin (shrnutí oponovaných publikací). Jsou zahrnuty různé metody (statistické modely vs. fyziologicky a procesně orientované modely), prostorové škály (lokality, regiony až globální úroveň) a časová období (medián délky hodnocených období je 29 let). Počet odhadů (a) s různým stupněm dopadu v % změny za deset let. Kvantifikace dopadů (b) zvláště pro regiony tropického a mírného klimatu, modelovací metody (statistické vs. procesně orientované přístupny), s vlivem a bez vlivu přímého efektu CO₂ a pro jednotlivé plodiny. V rámci krabicových grafů je vyznačen medián hodnot (tučná vertikální linie), oblast mezi 25. a 75. percentilem (barevně) a mezi 10. a 90. percentilem (bílá oblast). Údaje v závorkách indikují počet zahrnutých odhadů. Obsažené studie byly zaměřeny na řadu regionů (vč. Číny, Indie, USA, Mexika, Francie, Austrálie, Ruska atd.) přičemž některé se týkaly více zemí současně či prováděly hodnocení na globální úrovni (upraveno dle Porter et al., 2014).

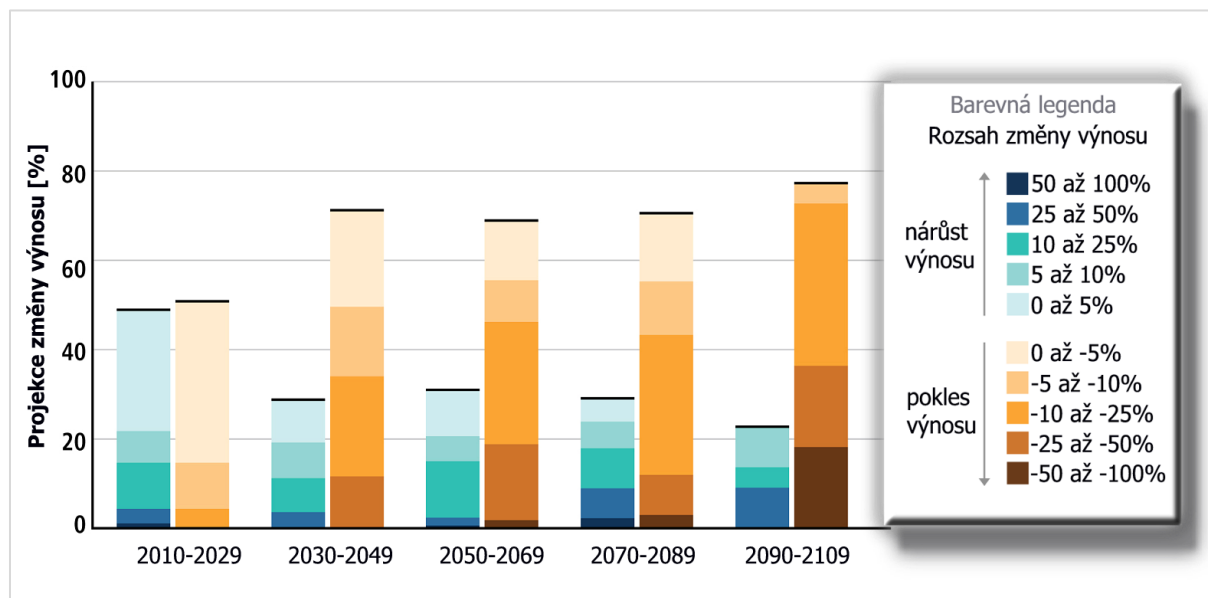
Pro hlavní plodiny jako jsou pšenice, rýže a kukuřice v regionech tropického a mírného klimatu, bude klimatická změna bez přijetí adaptačních opatření znamenat negativní dopady. Dle aktuálních poznatků se očekávají negativní dopady při lokálním nárůstu teplot o 2 °C a více nad úroveň konce 20. století. Obrázek 8.9 zachycuje odhadované změny výnosů uvedených tří plodin (v %) jako funkce lokálního vývoje teplot pro regiony mírného a tropického klimatu pro případy s a bez zahrnutého vlivu CO₂ a s využitím adaptačních opatření nebo bez nich. Projekce dopadů se velmi liší podle regionu, plodin a adaptačních scénářů. V rámci aktuální zprávy IPCC je s využitím analýzy 66 studií zaměřených na dopady výnosů uvedeno, že výnosy u kukuřice a pšenice začnou v tropických oblastech klesat při lokálním oteplením o 1 °C až 2 °C. Ačkoliv 4. hodnotící zpráva IPCC konstatovala (na střední úrovni spolehlivosti), že pro regiony středních a vyšších zeměpisných šířek slabé oteplení přinese vzestup výnosů, nové poznatky poukazují na fakt, že pokles výnosů pšenice v důsledku teploty je stejně pravděpodobný, jako že k němu nedojde. Předpokládá se negativní dopad pro všechny plodiny při překročení lokálního oteplení o 3 °C bez adaptačních opatření, a to i v případě uvážení

pozitivního vlivu CO₂ a srážek. Obrázek 8.10 zachycuje projekce průměrných výnosů zahrnující případy bez adaptací a při postupném využívání adaptací. Výsledky indikují negativní dopady, které



Obr. 8.9: Simulovaná změna výnosů kukuřice, pšenice a rýže (v %) jako funkce lokální teplotní změny pro regiony mírného a tropického klimatu na základě řady studií. Vykreslení hodnot pomocí bodů indikuje, zda byla v rámci dané studie využita známá koncentrace CO₂ v ovzduší. Pokud hodnoty CO₂ nebyly do odhadů zahrnuty, výsledky jsou vyznačeny pomocí křížků. Rozdíl ve vyneseních bodech a křížcích však neznázorňuje přesnou míru přímého efektu CO₂, protože mezi studiemi mohl být rozdíl i v jiných parametrech (např. u srážek). Vynesené barevné pruhy odpovídají konfidenčním intervalům s hodnotou 95 %. Případy

s využitím adaptací jsou vykresleny modře a bez adaptačních opatření červeně. V případě kukuřice v tropických regionech je regresní křivka pro hodnoty bez adaptací o něco vyšší než s jejich využitím, což je dáno asymetrií dat, protože ne všechny studie srovnávaly plodiny s a bez adaptací (upraveno dle Porter et al., 2014)



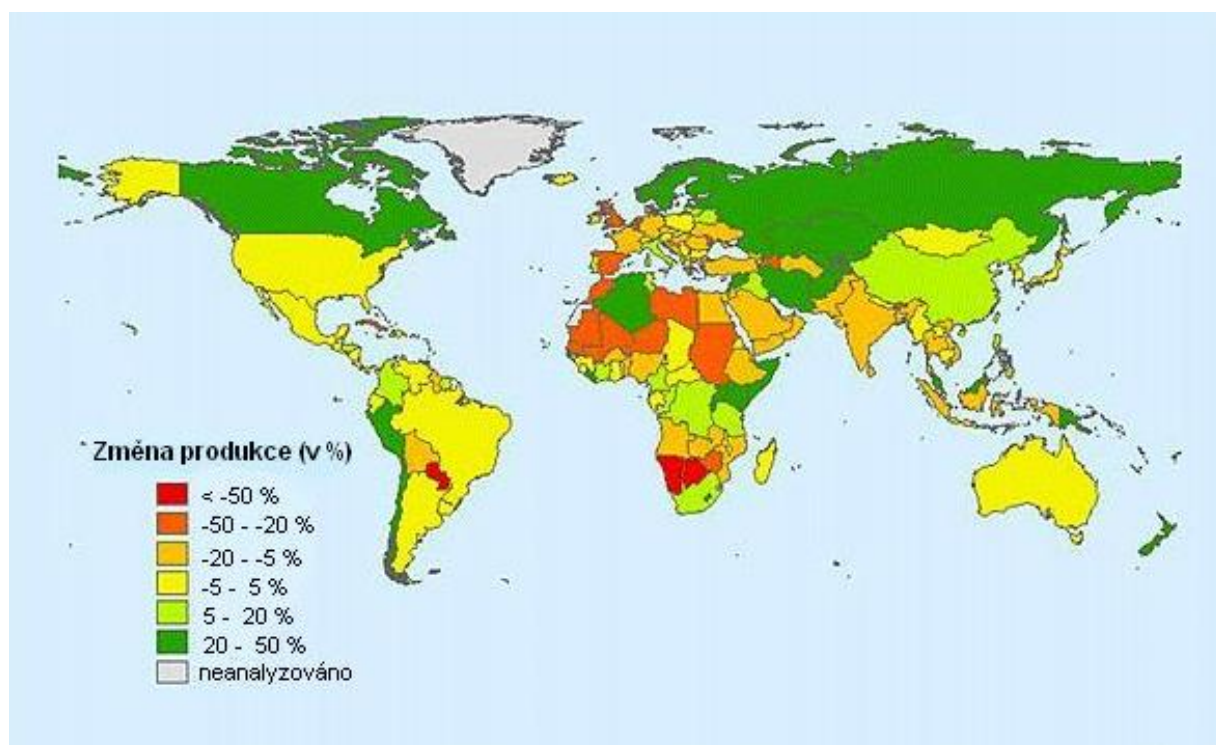
Obr. 8.10: Souhrn predikovaných změn ve výnosech (souhrnně pšenice, rýže a kukuřice) v průběhu 21. století vlivem změny klimatu. Obrázek obsahuje projekce pro různé emisní scénáře, regiony tropického a mírného klimatu a kombinovaně pro příklady s a bez adaptačních opatření. Relativně málo studií zahrnuje dopady pro případ nárůstu globální teploty o 4 °C a více. Změny ve výnosech jsou vztaheny ke konci 20. století (upraveno dle Porter et al., 2014).

budou více pravděpodobné po roce 2030. Některé rozdíly v rámci scénářů a regionů jsou v rámci tohoto obrázku však maskovány. Pouze okolo 10 % projekcí budoucích výnosů pro období 2030-2049 předpokládá nárůst výnosů o více než 10 % a 10 % projekcí předpokládá ztráty na výnosech větší než 25 % v porovnání s koncem 20. století. Po roce 2050 pak riziko vážnějších dopadů narůstá (Porter et al., 2014).

Například studie Lobella et al. (2008) využívající statistické modely ve spojení s 20 GCMs označila jižní Asii a jižní Afriku jako dva regiony, které v případě absence adaptačních opatření, budou trpět největšími dopady na nejvýznamnější plodiny. Mezi nejvíce ohrožené oblasti patří zejména rozvojové země s často rychle rostoucí populací, kde zemědělství navíc představuje významnou část národního hospodářství, takže můžeme očekávat až devastující dopady na některé národní ekonomiky (Senegal, Súdán apod.). Znevýhodňuje je i ekonomicky omezená kapacitou adaptovat se na nové okolnosti spojené se změnou klimatu. Například Cline (2008) uvádí, že v rozvojových zemích pro období okolo roku 2080 (průměr od 2070 do 2099) zemědělská produktivita poklesne (díky globálnímu oteplení) o 10-15 % z jednotkové plochy (při zahrnutí přímého i nepřímého vlivu vyšší koncentrace oxidu uhličitého). Naopak v oblastech vyšších zeměpisných šířek (např. Kanada, Rusko, severní Evropa, Jižní Amerika) změna klimatu může přinést zvýšení výnosů, prodloužení vegetační sezóny a rozšíření rozlohy orné půdy. Limitem může být kvalita půdy nebo nedostatek srážek v některých regionech.

Organizace FAO (2008) v roce 2008 zveřejnila studii, ve které mapuje změny produkčního potenciálu pěstování obilnin (bez využití závlah) do období okolo roku 2050 (oproti referenčnímu

období 1961-1990). Práce je založena na výstupech několika globálních cirkulačních modelů a z výsledků i v tomto případě vyplývá výrazně asymetrický dopad změny klimatu v jednotlivých částech světa (Obr. 8.11). V reálných podmínkách lze však v některých oblastech částečně počítat s určitým pozitivním efektem při využití závlah či zastoupení nových plodin v osevních postupech.



Obr. 8.11: Dopady změny klimatu na produkční potenciál obilnin (bez využití závlah) pro období okolo roku 2050 (referenční období 1961-1990). Uvedené výsledky jsou odvozeny na základě klimatických podmínek odpovídajících průměru globálních cirkulačních modelů ECHAM4, HadCM2 a CGCM1 (FAO, 2008)

Kromě změn v průměrných hodnotách produkce se očekává, že změna klimatu přinese vyšší meziroční variabilitu výnosů v mnoha regionech. Müller a Robertson (2014) na základě globálních simulací předpokládají nárůst koeficientu variability o více než 5 % v případě 64 % zahrnutých (hodnocených) gridů a pokles o více než 5 % v 29 % případů. Nárůst koeficientu variability může být způsoben poklesem výnosů či nárůstem směrodatné odchylky nebo kombinací obou.

V případě nárůstu teploty o 4 °C a více oproti konci 20. století, kombinovaného s nárůstem poptávky po potravinách bude situace představovat velké riziko pro potravinovou bezpečnost na regionální i globální úrovni, přičemž obecně větší riziko hrozí v nižších zeměpisných šířkách. Odhaduje se, že změny v teplotách a srážkách (bez uvážení přímého efektu CO₂) přispějí k nárůstu globálních cen potravin do roku 2050 v rozsahu od 3 do 84 %. Projekce, které zahrnují změny CO₂, ale nezahrnují O₃, či choroby a škůdce, indikují, že nárůst globálních cen je stejně pravděpodobný, jako že ceny neporostou s rozsahem od -30 do +45 % do roku 2050 (Porter et al., 2014). Kolísání cen vede k větší nejistotě ohledně budoucnosti a může vést ke snížené ochotě investovat omezené prostředky do aktivit zvyšujících produkci. Jde např. o pořízení hnojiv v případě farmářů, či investice do infrastruktury v případě vlád. Jednou z příčin kolísání cen je i výskyt extrémních situací. Zranitelnost lokalit je podporována i např. povinným využíváním biopaliv a zvýšeným propojením mezi zemědělskými a energetickými trhy (World Bank, 2012). Kvantifikace extrémních situací je pak velmi komplikovaná (viz kapitola 8.7.3.). Současné nebude ovlivněna jen rostlinná výroba, ale živočišná produkce vč. chovu ryb a rybolovu. V oblasti dopadů na dobytek a chov ryb v akvakulturách bylo provedeno

podstatně méně výzkumů, což ale neznamená nedostatek reálných dopadů v této oblasti v důsledku klimatických trendů.

Numerické simulační modely jsou využívány k hodnocení řady environmentálních a hospodářských aspektů, přičemž toto je možné díky prováděným experimentům. V rámci vědeckých aktivit je zde snaha kvantifikovat nejistoty odhadu budoucích klimatických podmínek a rovněž nejistoty v oblasti jejich dopadů.

Probíhající změny se bezesporu dotknou i kvality produkce (např. obsahu proteinů, obsahu minerálů atd.) prostřednictvím vlivu biotických i abiotických faktorů. Např. u obilovin rostoucích ve zvýšené koncentraci CO₂ byl zaznamenán pokles v obsahu proteinů, podobně to platí i pro koncentraci minerálních látek.

V případě dostupnosti píce se opět jedná o poměrně komplikovaný problém, přičemž můžeme například očekávat posun vhodných podmínek pro růst směrem k časnějšímu jaru a později na podzim. To může znamenat menší potřebu pro skladování píce v průběhu zimy v takových regionech. Platí obecná shoda, že vyšší CO₂ zvýhodní plodiny C₃, zatímco v případě vyšších teplot a sušších podmínek budou zvýhodněny plodiny C₄. V některých oblastech může problémy způsobovat teplé a suché období v letních měsících dle podmínek v daném regionu. Nárůst teploty pak může znamenat problémy přímo pro hospodářská zvířata. Nedostatek vody v určitých regionech pak bude chov dobytka velmi komplikovat (např. sub saharská Afrika, Jižní Asie apod.). Lze počítat s dopady v oblasti produkce krmiv, přímého vlivu teploty a dostupnosti vody pro zvířata a nepřímého vlivu díky změnám v oblasti chorob. Díky vyšším teplotám se prodlouží vegetační doba pro produkci píce, ale je možné že bude klesat kvalita, přičemž i zde se očekává nárůst variability díky změnám ve srážkových úhrnech. Teplotní stres může v některých regionech vést ke snížení produkce mléka, poklesu přírůstkům živé hmotnosti zvířat, snížení konverze krmiv, zhoršení podmínek pro reprodukci a nárůstu mortality zvířat. Oblasti mírného pásma se mohou stát více vhodné pro přenašeče tropických chorob.

Z hlediska rybolovu je předpoklad, že negativní dopady zle očekávat na rozvojové země v oblasti tropů, zatímco severnější rozvinuté země mohou očekávat zlepšení. Kromě oteplení může být problémem i postupující acidifikace s negativním dopadem na některé druhy bezobratlých, které se např. podílí na tvorbě korálových útesů, jenž vytváří životní prostor pro řadu rybích druhů.

Pro zmírnění dopadů je v sektoru zemědělské produkce nutné průběžně se adaptovat dostupnými způsoby. Z hlediska prostorové dimenze jde o opatření na úrovni pozemku, farmy či regionu na základě rozhodnutí farmářů nebo odpovědných orgánů. Na tomto poli mají velký význam investice do výzkumu a zavádění nových technologií, infrastruktury, vzdělání a šíření informací. Mezi základní adaptace, které farmáři provádí, patří změna termínu polních operací, včetně zakládání porostů, přizpůsobení druhové skladby plodin, volba odrůd, přizpůsobení využití závlah, strategie hnojení, zpracování půdy, celkové způsoby hospodaření atd. Důležité je efektivnější hospodaření a využití půdní vláhy. V této souvislosti je nutné se zaměřit na agronomická opatření vedoucí k udržení vody v půdě a zvýšení retenční kapacity půdy a krajiny. K tomu by měla směřovat dlouhodobá úprava postupů hospodaření a zpracování půdy, využívání alternativních přístupů (např. agroforestry) či navyšování obsahu půdního uhlíku. Mezi klíčové aktivity lze zařadit šlechtění odrůd k vyšší odolnosti vůči suchu a toleranci k vysokým teplotám. Důležitým adaptačním opatřením je zvyšování diverzity aktivit. U adaptačních opatření však existují i rizika, že pokud budou zvolena nesprávně (včetně načasování - příliš brzy nebo pozdě) mohou být kontraproduktivní. Prostředky se mohou významně lišit dle půdních, klimatických i ekonomických podmínek daného regionu. Z výše uvedených důvodů je nutné si uvědomit, že výzkum v těchto vědních disciplínách má obrovský význam, tak abychom byli na přicházející podmínky včas a co nejlépe připraveni. Své místo zde bezesporu najde i systém dostupných podpůrných ekonomických nástroj a možnosti pojištění.

Vzhledem k tomu, že jsme svědky spíše počátečních fází změny klimatu, zatím máme k dispozici jen několik málo jednoznačných případů úspěšných adaptací. Pro zavádění adaptací bude navíc nutné překonat v některých případech určité překážky (technologické, informační, finanční, kulturní ...).

8.8.2. Produktivita zemědělské půdy a výnosy

Řada studií na základě známých předpokladů očekává v globálním měřítku celkový nárůst orné půdy do roku 2050. Ne všechny tyto studie však zahrnují vliv měnícího se klimatu a navíc situace v jednotlivých regionech může být velmi odlišná. Nárůst rozlohy orné půdy se předpokládá především v oblastech severních zeměpisných šířek, pod současným omezením nízkých teplot. Je však třeba počítat s nižší kvalitou těchto půd a méně dostupnou infrastrukturou potřebnou pro převedení těchto ploch na ornou půdu, což činí odhady budoucího vývoje v jistém ohledu nejisté.

Pro zachování produktivity půd je a bude nutné podnikat opatření vedoucí k ochraně půdního fondu a to zejména v oblasti protierozních opatření a omezení degradace půdních vlastností. Zde se budou projevovat interakce způsobů hospodaření a půdních procesů, které rovněž budou pod vlivem měnících se klimatických podmínek. Studie Trnky et al. (2013) předpokládá významné budoucí změny v půdně vlhkostních a teplotních režimech půd pro studované oblasti (střední Evropa a střed USA), s významnými dopady na půdotvorné procesy. Současně předpokládá nárůst rizika suchých epizod s důsledky v podobě vyššího rizika eroze a poklesu půdní produktivity. Predikované podmínky (bez adaptace způsobu hospodaření) pravděpodobně povedou ke změnám obsahu organické hmoty v případě zemědělsky využívaných ploch.

V řadě regionů bude pro udržení půdní produktivity klíčové udržení dostupnosti závlah.

8.8.3. Výskyt extrémních situací

Oblastí, která bude mít v budoucích podmínkách pravděpodobně mimořádný význam, jsou dopady tzv. extrémních situací a to včetně dopadů na rostlinnou produkci. Jedná se o agrometeorologické situace, které vedou k negativním dopadům na rostlinnou produkci a v současných klimatických podmínkách se vyskytují spíše zřídka. Na základě prognóz vývoje klimatu se očekává nárůst frekvence a intenzity některých z těchto extrémních situací. Vzhledem k jejich současnému méně častému výskytu a tak i omezenému množství dat, je však poměrně komplikovaná přesná kvantifikace jejich dopadů v budoucnu. Mezi takové extrémní situace řadíme výskyt epizod sucha, neobvykle vysoké denní a noční teploty vzduchu, výskyt nízkých teplot (např. pozdní mrazíky, holomrazy), dopady vysokých rychlostí větru (např. poléhání porostů), nadměrná vlhkost či zaplavení pozemků (úhyn rostlin, znemožnění polních prací a přístup na pozemky). Studie Trnky et al. (2014) odhaduje změnu výskytu jedenácti nepříznivých agrometeorologických situací pro produkci pšenice v Evropě. Pro potřeby studie byly hlavní Evropské produkční oblasti pšenice reprezentovány 14 charakteristickými lokalitami, přičemž pro období okolo roku 2050 je očekáván významný nárůst těchto situací. To pravděpodobně povede k častějšímu výpadku výnosů napříč Evropou. Současně je nutné uvažovat, že extrémní situace nemusí působit v rámci dané sezóny jednotlivě, ale může docházet k případům, kdy takové situace nastanou dvě či více v rámci jedné sezóny.

Sucho je často označováno jako jedna z hlavních příčin poklesu potravinové bezpečnosti. Za pozornost stojí i fakt, že studium dopadů sucha na výnosy je více časté než v případě dopadů povodní (Porter et al., 2014). Výskyt klimatických extrémů (frekvence a intenzita) může ovlivnit nejen stabilitu dostupnosti potravin, ale i jejich cenu. V nedávném období (od vydání 4. hodnotící zprávy IPCC) došlo k několika rychlým nárůstům ceny obilovin a potravin v důsledku dopadů klimatických extrémů (Porter et al., 2014), což vypovídá o citlivosti trhu i ke klimatickým extrémům. Navzdory komplikacím při modelování dopadů těchto jevů však jsou následky patrné velmi brzy po jejich výskytu a často nejsou překryty vlivem pomaleji působících faktorů.

Kromě sucha je z hlediska rostlinné produkce problém i výskyt vysokých teplot v průběhu citlivých vývojových fází. Několik studií upozornilo na fakt, teplotní trendy jsou významné pro určení, jak minulých tak budoucích dopadů klimatu na výnosy v sub-kontinentálním a globálním měřítku. V měřítku jednotlivých států nebo menším zůstává velmi klíčová projekce srážek, ale jde o nejistý faktor z hlediska hodnocení budoucích dopadů. Pro kvantifikaci dopadů byly od 4. hodnotící zprávy IPCC použity jak statistické tak procesně orientované modely pro studium odezvy výnosů na změny teploty. Modely potvrdily význam známých fyziologických procesů s výslednicí v podobě kratšího trvání do zralosti v případě nárůstu teplot, pokles množství zrna pokud se vysoké teploty vyskytnou v době kvetení. Reakce rostlin na teplotu jsou dobře zmapovány až do oblasti optimálních hodnot z hlediska vývoje, ale delší vliv hodnot za hranici optima není zcela pochopen. Ačkoliv řada biofyzikálních procesů je známá na úrovni rostliny či pole, zůstává poměrně obtížné kvantifikovat, na kolik jsou tyto mechanismy odpovědné za pozorované výnosy na regionální úrovni. Navzdory těmto omezením, kde je míra pochopení nižší, důkazy z analýz regionálních statistik (Schlenker, Roberts, 2009) and procesně orientovaných modelů ukazují jasný negativní dopad teplot nad 30 °C až 34 °C na výnosy (v závislosti na plodině a regionu). Dá se ale předpokládat, že vysoké teploty mohou limitovat v budoucnu i výnosy v chladnějších oblastech (např. Semenov et al., 2012).

8.8.4. Výskyt chorob a škůdců

O postupu a šíření chorob rozhodují tři faktory: jedním je samotný patogen, jenž je původcem choroby, dále je to hostitelská rostlina a konečně prostředí, ve kterém se hostitel i patogen vyskytují. Jestliže se změní jeden ze tří faktorů, může dojít ke změnám v patogenitě a výskytu samotné choroby. Z faktorů vnějšího prostředí jsou považovány za nejdůležitější podmínky pro vývoj houbových i dalších patogenů teplota a přítomnost vody v různých skupenstvích a formách (vodní pára nebo voda v kapalném skupenství), rosa, mlha, mrholení, příp. i vysoká vlhkost vzduchu, závlahová voda, které pozitivně ovlivňují vznik infekcí, rychlost vývoje a tedy délku cyklu, sporulaci a umožňují uvolňování spor a šíření onemocnění. Prodloužení období vhodných vlhkostních podmínek nebo zvýšení jejich četnosti může vést ke vzniku epidemii (epifytocií).

V případě teploty očekávaná klimatická změna nemusí mít jednoznačný dopad. Většina patogenů je aktivních v poměrně širokém teplotním rozmezí a proto jim vyhovují současné i předpokládané podmínky, za nízkých teplot je rychlost vývoje velmi nízká, optimální teploty se většinou pohybují v intervalu 18-24 °C, pouze během období vrcholného léta lze předpokládat období s nevhodnými teplotními podmínkami, během kterých může dojít k omezení, zastavení růstu patogenu nebo dokonce k jeho eliminaci při dosažení letálních hodnot, to vše ještě může být současně doprovázeno i nedostatkem vody potřebné pro jeho vývoj a šíření. Obecně lze spíše očekávat vlivem nárůstu teplot ve vegetačním období, poklesu úhrnů srážek a jejich nerovnoměrnému rozdělení spíše pokles škodlivosti chorob rostlin, případně jen mírné zvýšení škodlivost v období počátku a konce vegetace, tedy na jaře a na podzim.

Výskyt chorob však bude ovlivněn i přímým vlivem změněných klimatických podmínek nejen na patogeny, ale i hostitelské druhy rostlin. Tento vliv bude synergický, v případě vhodných podmínek pro patogen a současně nevhodných, stresujících, podmínek pro hostitele nebo naopak antagonistický, v případě vhodných podmínek pro oba činitele, kdy proti sobě budou působit přirozená či získaná rezistence a virulence patogenu. Dá se očekávat, že C_3 -rostliny a mnoho druhů plevelů mohou v optimálních podmínkách a při dvojnásobné koncentraci CO_2 zvýšit svoji produktivitu o 20 až 30 %. Zvýšený růst plodin a větší produkce biomasy ovlivní mikroklima porostu a přispěje tak k šíření chorob, zejména těch, které vyžadují vyšší relativní vlhkost, zvyšující se množství posklizňových zbytků poskytne materiál pro přežívání patogenů do další sezóny. Celkově zvýšení produkční schopnosti rostlin pravděpodobně povede k vyššímu výskytu a vážnějším následkům působení patogenů rostlin.

Dalším a významným faktorem přímo působícím na vývojový cyklus a šíření patogenů je teplota. Vliv zvýšené teploty se bude lišit v průběhu roku, během chladnějších období může vyšší teplota snížit stres rostlin, naopak v rámci teplých období pravděpodobně stres zvýší. V případě stresu z vysokých teplot může být reakce rostlin podobná jako reakce na stres ze sucha, příznaky provázející tyto reakce zahrnují vadnutí, spálení, svinování nebo opad listů.

Předpokládá se, že vliv klimatické změny nebude tak významný u monocyklických druhů patogenů (prodávajících jeden vývojový cyklus, např. zástupci r. *Ustilago*, *Sclerotinia*) jako u polycyklických (s více vývojovými cykly během vegetace, r. *Colletotrichum*, *Puccinia*; *Peronospora*, *Phytophthora* apod.). U těchto patogenů může dojít za příznivých podmínek některých let vlivem prodloužení vegetační sezóny ke zvýšení počtu vývojových cyklů a následně k mnohonásobnému nárůstu množství inokula. Na druhou stranu může být tento případný vliv prodloužení vegetačního období v nepříznivých letech neutralizován nevhodnými podmínkami během letního období (extrémní teploty, nízké srážky). Naopak u monocyklických patogenů (př. tracheomykózy), které způsobují vadnutí a kořenové hniloby, lze očekávat silnější projevy příznaků následkem stresu způsobeného nedostatkem vláhy.

Kromě houbových patogenů může být ovlivněn výskyt, rozšíření a škodlivost patogenů virových a bakteriálních. Polák (2009) uvádí, že klimatická změna může být příčinou rozšiřování viru žluté mozaiky cukety (*Zucchini yellow mosaic virus – ZYMV*), která byla typická pro subtropické oblasti a od 90. let minulého století je ve velkém měřítku nalézána na jižní Moravě. Virové patogeny jsou přenášeny různými druhy hmyzu, jejichž aktivita a vývoj mohou být ovlivněny podmínkami prostředí, především teplotami. Delší a teplejší podzimy a mírné zimy jsou pravděpodobně příčinou delší letové aktivity některých druhů mšic napadajících obilniny a vyššího výskytu kříška polního. Tyto druhy hmyzu jsou důležitými přenašeči významných druhů virů obilnin – virus žluté zakrslosti obilnin (*Barley yellow dwarf virus - BYDV*) a virus zakrslosti pšenice (*Wheat dwarf virus - WDV*). Nárůst ploch obilnin napadených těmito viry může být proto také zapříčiněn klimatickou změnou.

Škůdci, stejně jako všechny ostatní organismy, vyžadují ke své existenci určité rozmezí teplot, vlhkosti i dalších podmínek prostředí. V rámci tohoto rozmezí se nachází optimum, při němž nejlépe prospívají, dosahují nejvyšší zdatnosti a početnosti. Na obě strany od optima jejich vitalita klesá až po určité meze, za kterými již příslušný druh nemůže existovat, protože jeho reprodukční schopnost a přežívání jsou nižší než úmrtnost (blíže např. Laštůvka, Krejčová 2000). Jednotliví škůdci mají v rámci svých klimatických nároků speciální dílčí požadavky na počasí, někteří vyžadují např. teplé a suché jaro, jiní suchý podzim, další zase mrazivou nebo naopak mírnou zimu. Proto je každý rok z hlediska výskytu škůdců jiný a zvláštní a škodlivost určitých druhů lze při dobré znalosti jejich ekologických nároků alespoň do určité míry a s různě velkým časovým předstihem předpovídat. Je proto logické, že změna klimatu vyvolá odezvu ve výskytu, početnosti i rozšíření škodlivých druhů. Čím bude tato změna výraznější a rychlejší, tím budou i reakce škůdců větší. Přitom musíme počítat s tím, že se některé druhy ve změněných podmínkách dostanou blíže optimu, mohou se šířit, dosáhnou vyšších početností a jejich škodlivost poroste, u jiných to může být naopak a význam budou ztrácet.

Dosavadní výzkumy ukazují, že klimatická změna bude na organismy působit převážně negativně. Je zajímavé, že výsledky studií věnovaných škůdcům rostlin jsou často opačné – mnozí z nich se mají šířit a jejich početnost i význam mají narůstat. Škůdci rostlin představují skutečně do značné míry specifickou skupinu. Obecně jsou ve srovnání s ostatními („indiferentními“) druhy ekologicky mnohem přizpůsobivější, s širokým rozmezím nároků, jsou schopni přežít v extrémních podmínkách agrosystémů, šířit se v antropogenně pozmeněné krajině, rychle osídlivat vhodné biotopy a nová území a dosahovat tam vysokých početností. Díky těmto vlastnostem se mohou se změnou klimatu snáze vyrovnat nebo z ní dokonce profitovat. Každý druh vyžaduje samostatnou analýzu, při

kteří je nutné vycházet z přesných poznatků o jeho teplotních prazích vývoje, rozmezí existenčních teplot, sumách teplot, vlhkostních nárocích apod.

Změna klimatu může škůdce ovlivnit následujícími způsoby:

- změny projevů a významu místních škůdců
- přímý vliv změn teploty a vlhkosti
- rychlejší vývoj a větší počet generací
- odlišné podmínky během přezimování
- změna vztahu škůdce-rostlina
- změna struktury a rozmístění plodin
- šíření nových druhů škůdců na naše území
- růst počtu zavlečených škůdců a jejich šíření
- častější výskyt a větší škodlivost migrantů
- přechod skleníkových škůdců do vnějšího prostředí.

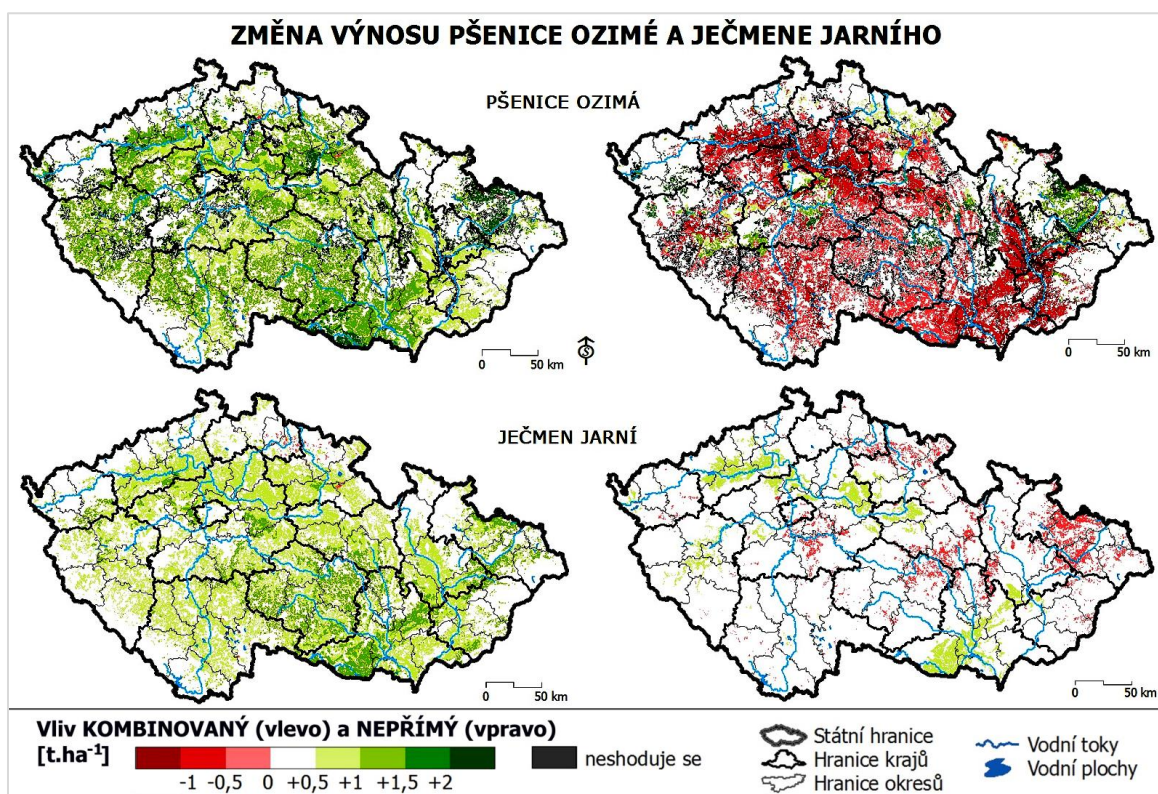
Míra ovlivnění škodlivých druhů bude přímo úměrná změně klimatu. Ve střední Evropě bude klimatická změna rostoucí měrou posilovat působení dalších faktorů vedoucích ke změně druhového složení a významu škůdců. Změna klimatu může vést k částečné změně výskytu a významu domácích škůdců (růst významu teplo- a suchomilných škůdců a úbytek druhů vlhko a chladnomilných, škodlivá početnost některých druhů i ve vyšších polohách, vyšší škodlivost několika druhů v důsledku většího počtu generací). Mohou nastat změny ve vzájemných vztazích škůdce – hostitelská rostlina, které se v jednotlivých případech projeví růstem i poklesem škodlivosti. Negativně mohou ovlivnit početnost řady druhů domácích škůdců (a tím snížit jejich škodlivost) bezmrazové zimy, nízká vlhkost, povětrnostní extrémy, rozvoj antagonistů, případně fenologický nesoulad s hostitelskou rostlinou. Šíření zcela nových druhů škůdců na území ČR způsobené klimatickou změnou bude jen velmi omezené. Několik skleníkových škůdců může v budoucnu přecházet do vnějšího prostředí, patrně bez většího významu v ochraně rostlin. Zvýšení teploty může být příčinou malého vzrůstu počtu nepůvodních invazních druhů a s rostoucí teplotou mírně poroste také význam migrantů.

8.9. Dopady změn klimatu v ČR s důrazem na zemědělství

Odhadovanou změnu průměrné úrovně výnosů pro pšenici ozimou a ječmen jarní na základě aplikace vybraného růstového modelu pro období okolo roku 2050 dle studie Eitzingera et al. (2013) uvádí obr. 8.12. Při uvážení možných klimatických podmínek i pozitivního vlivu vyšší koncentrace CO₂ lze pro obě významné obiloviny předpokládat nárůst průměrných výnosů až o 1,5 (ječmen j.) a 2,0 (pšenice oz.) tun na hektar v některých regionech. Z uvedených analýz rovněž vyplývá, že pokud by nebyl započítán přímý vliv CO₂ (stimulace fotosyntézy a zvýšení WUE), došlo by pravděpodobně k poklesu výnosů pšenice ozimé na většině orné půdy (v některých regionech i o více než jednu tunu na hektar).

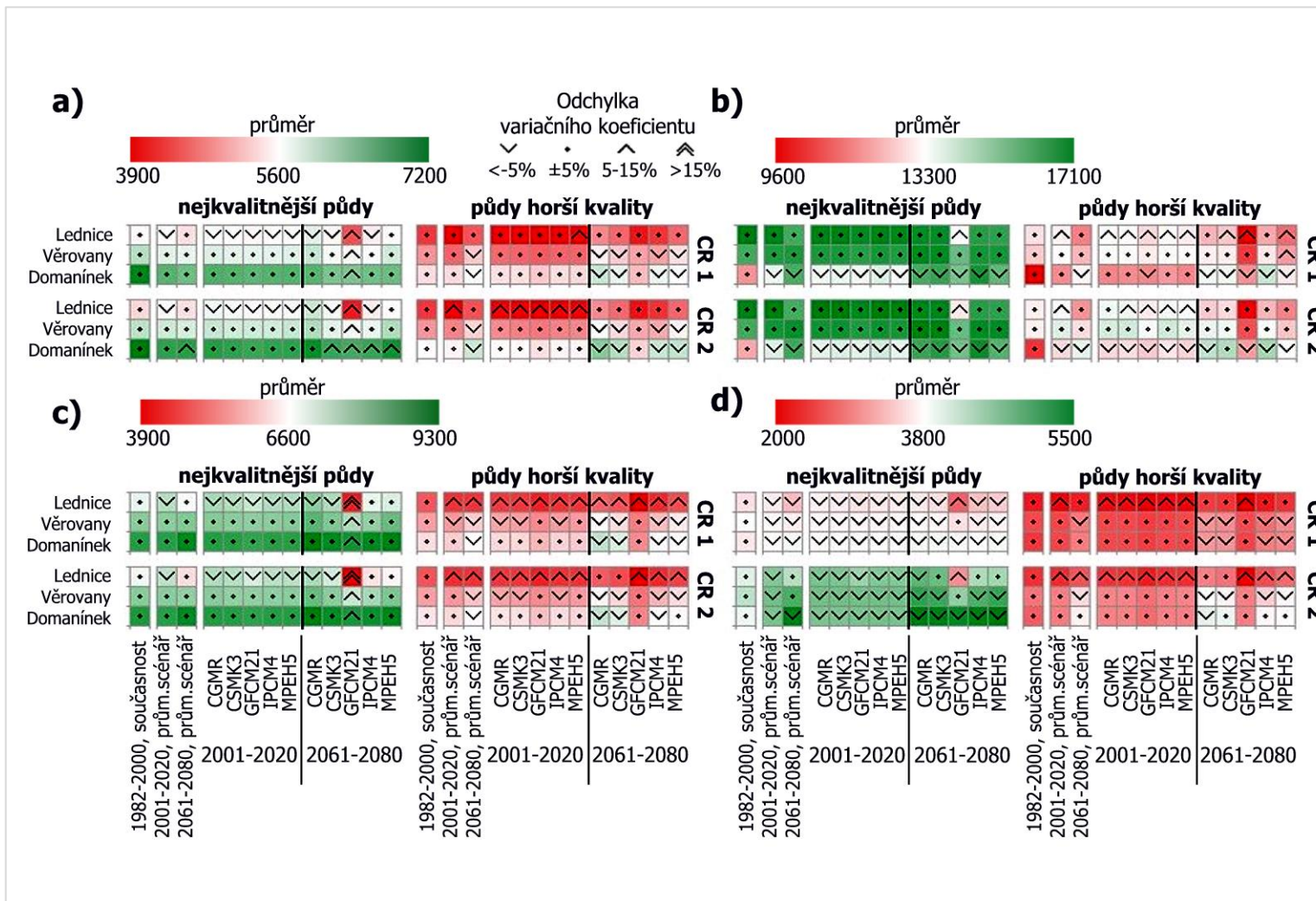
Dále je zřejmé, že situace bude v jednotlivých regionech odlišná, přičemž bude docházet k nárůstu významu nepříznivých situací. Zhoršení podmínek lze očekávat v již suchých a teplých regionech, zatímco v chladnějších regionech budou příznivější podmínky. Zvýhodněny budou teplomilné plodiny a odrůdy. Výsledky uvedených analýz vycházejí z předpokladu udržení kvality půd ve stejném stavu jako v současnosti. Pokud by však došlo ke zhoršení půdních vlastností lze očekávat negativní vliv na budoucí výnosy. V důsledku změny dostupnosti půdní vláhy pak v některých oblastech bude problematická i stabilní produkce trvalých travních porostů. Studie Hlavinky et al. (2015) odhaduje s využitím růstového modelu HERMES vývoj výnosů polních plodin (ječmen jarní, pšenice ozimá, kukuřice na siláž a řepka ozimá) až do roku 2080 pro různé GCM scénáře a způsoby hospodaření. Kromě očekávané průměrné úrovně, byla vyhodnocena i odhadovaná změna variability výnosů pro tři

reprezentativní lokality (Lednice – kukuřičná výrobní oblast; Věrovany – řepařská výrobní oblasti; Domanínek – bramborařská výrobní oblast). Dále nabízí srovnání vlivu dvou různých půdních profilů a dvou způsobů hospodaření (CR1 – pouze minerální hnojení, bez meziplodin, velká část posklizňových zbytků odvezena z pozemku a CR2 – využití i statkových hnojiv, zařazeny meziplodiny, zapravení veškerých posklizňových zbytků do půdy). Očekávaná situace z hlediska výnosů je zachycena v Obr 8.13.



Obr. 8.12: Odhad změny průměrných výnosů pšenice ozimé (a,c) a ječmene jarního (b,d) pro období kolem roku 2050 vzhledem k období 1961-1990. Mapy zachycují situaci v případě zohlednění vlivu změny klimatických faktorů včetně zvýšené koncentrace CO₂ (a, b) a bez započítání přímého vlivu CO₂ (c, d) (upraveno dle Eitzinger et al., 2013)

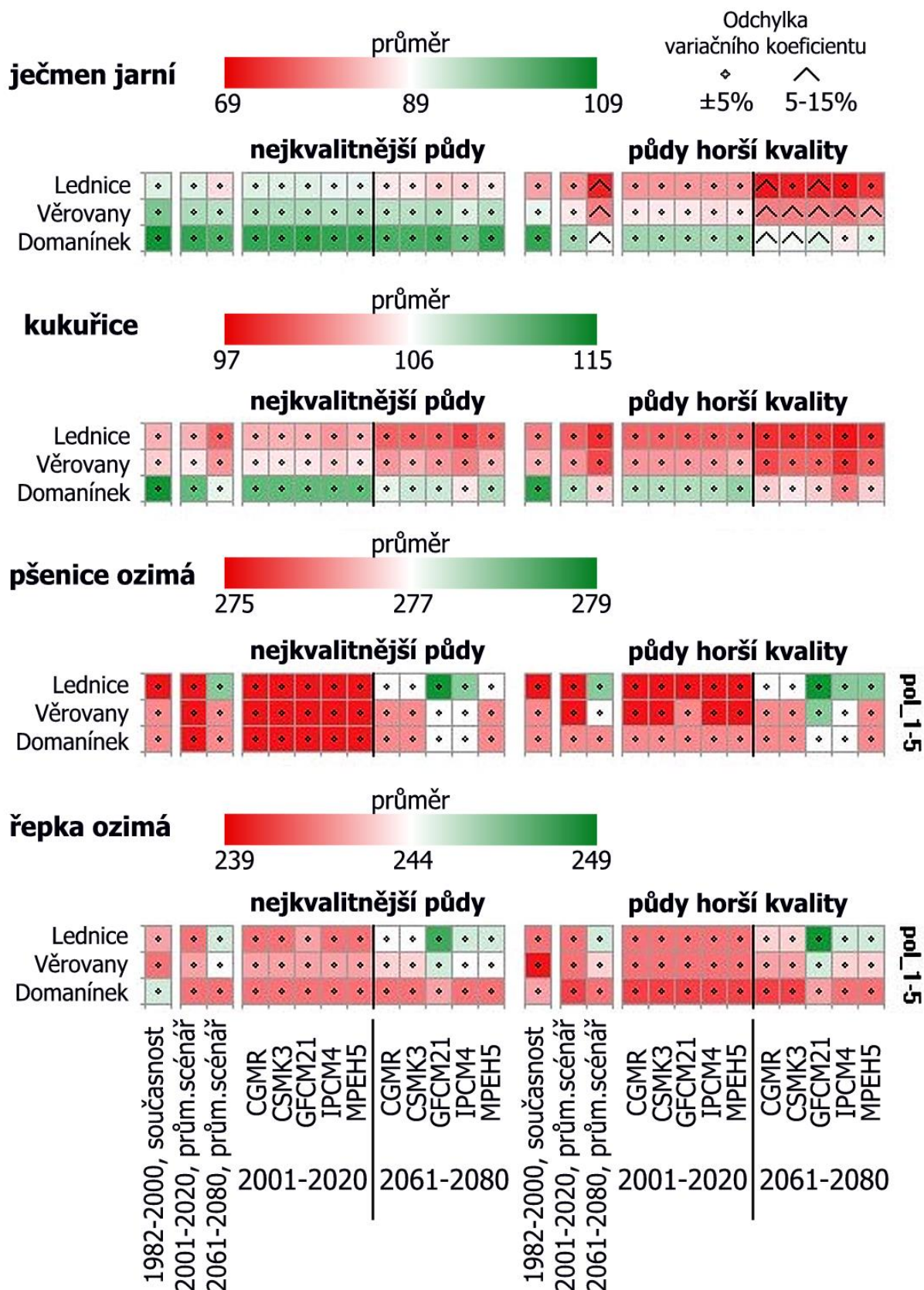
V rámci analýz byla umožněna adaptace v podobě změny termínu setí, pokud to podmínky v rámci dané sezóny dovolily. Odhadované termíny setí jsou patrné z Obr. 8.14. Tato studie mj. upozorňuje na situaci, kdy v případě naplnění sušších scénářů změny klimatu bude velmi komplikované v nejteplejších oblastech ČR udržet současnou úroveň průměrných výnosů analyzovaných plodin (ječmen jarní, pšenice ozimá, kukuřice, řepka ozimá). Současně je pro takové scénáře očekáván nárůst ročníků s dramatickými propady výnosů (kromě kukuřice). Dále bude v některých letech díky nedostatku vody problematické úspěšné pěstování meziplodin. Ty mohou díky spotřebované půdní vláze způsobit problém následující cílové plodině. Ve vyšších polohách je očekáván nárůst průměrné úrovně výnosů nejvýznamnějších plodin. Situace na jednotlivých pozemcích pak bude ovlivněna stávajícími půdními vlastnostmi z hlediska retenční kapacity, celkové úrodnosti půdy, případně charakterem terénu.



Autoři: Trnka M., Žalud Z., Hlavinka P, Bartošová L a kol.

Obr. 8.13: Odhadované průměrné výnosy (kg/ha) ječmene jarního (a), kukuřice na siláž (b), pšenice ozimé (c) a řepky ozimé (d) pro období 1982-2000, 2001-2020 a 2061-2080 na základě pěti GCM modelů (CGMR, CSMK3, GFCM21, IPCM4, MPEH5). Očekávaná změna variability výnosů je zachycena prostřednictvím odchylky variačního koeficientu oproti období 1982-2000.

CZECHAdapt



Obr. 8.14: Odhadované průměrné termíny setí pro období 1982-2000, 2001-2020 a 2061-2080 pro ječmen jarní, kukuřici na siláž, pšenici ozimou a řepku ozimou. Očekávaná změna

Autoři: Trnka M., Žalud Z., Hlavinka P, Bartošová L a kol.

variability termínu setí je zachycena prostřednictvím odchylky variačního koeficientu oproti období 1982-2000.

Otázkou zůstává, jak významný bude tlaku chorob a škůdců, které do prognóz budoucích výnosů zatím rovněž nejsou přímo zahrnuty. Další neznámou z hlediska budoucnosti jsou vlastnosti nových odrůd. I přes svá omezení hraje modelování odhadu budoucích agroklimatických podmínek bezesporu nezastupitelnou úlohu v definování nejvýznamnějších očekávaných rizik, na která by výzkum, vývoj (včetně šlechtitelských aktivit - odolnost k suchu, odolnost k vysokým teplotám) a praxe (např. využití lokálních závlah, větší zastoupení teplomilných plodin – kukuřice, slunečnice, sója) měly reagovat.

Literatura:

Alcamo, J., Moreno, J.M., Novak, B., Bindi, M., Corobov, R., Devoy, R.J.N., Giannakopoulos, C., Martin, E., Olesen, J.E., Shvidenko, A. (2007): Europe. In: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der

Alexander, L.V. and J.M. Arblaster, 2009: Assessing trends in observed and modelled climate extremes over Australia in relation to future projections. *International Journal of Climatology*, 29(3), 417-435.

Avnery, S., Mauzerall, D.L., Liu, J., Horowitz, L.W. (2011): Global crop yield reductions due to surface ozone exposure: 1. Year 2000 crop production losses and economic damage. *Atmospheric Environment*, 45(13), 2284-2296.

Bintanja, R., Graversen, R. G., Hazeleger, W. (2011): Arctic winter warming amplified by the thermal inversion and consequent low infrared cooling to space. *Nature Geosci.*, 4, 758–761.

Bindi, M., Olesen, J.E. (2011): The responses of agriculture in Europe to climate change. *Regional Environmental Change*, 11(Suppl. 1), 151-Christidis, N., Stott, P.A., Jones, G.S., Shiogama, H., Nozawa, T., Luterbacher, J. (2012): Human activity and anomalously warm seasons in Europe. *International Journal of Climatology*, 32(2), 225-239.

Brázdil R., Trnka M. - editoři (2015) – Sucho v českých zemích – minulost, současnost, budoucnost, Centrum výzkumu globální změny, Brno, 340 s.,

Cline, W.R. (2008): Global warming and agriculture. *Finance and Development*, 45, 23-27.

Daufresne, M., Lengfellner, K., Sommer, U. (2009): Global warming benefits the small in aquatic ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(31), 12788-93.

Dasgupta, S., Laplante, B., Murray, S., Wheeler, D. (2009): *Climate Change and the Future Impacts of Storm-Surge Disasters in Developing Countries*. Working Paper 182, Center for Global Development (CDG), Washington, DC, USA, 22 pp.

Dunne, J. P., et al. (2013): GFDL's ESM2 global coupled climate-carbon Earth System Models. Part II: Carbon system formation and baseline simulation characteristics. *J. Clim.*, 26, 2247-2267.

Eitzinger, J., Trnka, M., Semerádová, D., Thaler, S., Svobodová, E., Hlavinka, P., Šiška, B., Takáč, J., Malatinská, L., Nováková, M., Dubrovský, M., Žalud, Z. (2013): Regional climate change impacts on

Autoři: Trnka M., Žalud Z., Hlavinka P, Bartošová L a kol.

agricultural crop production in Central and Eastern Europe – hotspots, regional differences and common trends. *Journal of Agricultural Science*, 151, 787–812.

Falloon, P.D., Dankers, R., Betts, R.A., Jones, C.D., Booth, B.B.B., Lambert, F.H. (2012): Role of vegetation change in future climate under the A1B scenario and a climate stabilisation scenario, using the HadCM3C earth systems model. *Biogeosciences*, 9(11), 4739-4756.

Fischer, E. M., Schar, C. (2010): Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves. *Nature Geosci.*, 3, 398–403.

FAO (1996): Rome Declaration and World Food Summit Plan of Action. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO) World Food Summit, Rome, Italy, 13-17 November 1996, FAO, Rome, Italy, www.fao.org/docrep/003/w3613e/w3613e00.HTM.

FAO (2008): FoodClimate e-newsletter, Number 2, December 2008 (<http://www.fao.org/climatechange/56743/en/>)

FAO, WFP, and IFAD (2012): The State of Food Insecurity in the World: Economic Growth is Necessary but not Sufficient to Accelerate Reduction of Hunger and Malnutrition. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), the International Fund for Agricultural Development (IFAD), and the World Food Programme (WFP), FAO, Rome, Italy, 62 pp.

Giannakopoulos, C., Le Sager, P., Bindi, M., Moriondo, M., Kostopoulou, E., Goodess, C.M. (2009): Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2 degrees C global warming. *Global and Planetary Change*, 68(3), 209-224.

Gomez, N., Mitrovica, J.X., Huybers, P., Clark, P.U. (2010): Sea level as a stabilizing factor for marine-ice-sheet grounding lines. *Nature Geosciences*, 3(12), 850-853.

Guo, D. L., Wang, H. (2012): A projection of permafrost degradation on the Tibetan Plateau during the 21st century. *J. Geophys. Res.*, 117, D05106, doi:10.1029/2011JD016545.

Hakala, K., Hannukkala, A.O., Huusela-Veistola, E., Jalli, M., Peltonen-Sainio, P. (2011): Pests and diseases in a changing climate: a major challenge for Finnish crop production. *Agricultural and Food Science*, 20(1), 3-14.

Hlavinka, P., Kersebaum, K.Ch., Dubrovský, M., Fischer, M., Pohanková, E., Balek, J., Žalud, Z., Trnka, M. (2015): Water balance, drought stress and yields for field crop rotations under present and future conditions in the Czech Republic. *Climate Research* (submitted).

Hueging, H., Haas, R., Born, K., Jacob, D., Pinto, J.G. (2013): Regional changes in wind energy potential over Europe using regional climate model ensemble projections. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52(4), 903-917

Higgins, S.I., Scheiter, S. (2012): Atmospheric CO₂ forces abrupt vegetation shifts locally, but not globally. *Nature*, 488(7410), 209-212.

Kane, J.M., Meinhardt, K.A., Chang, T., Cardall, B.L., Michalet, R., Whitham, T.G. (2011): Drought-induced mortality of a foundation species (*Juniperus monosperma*) promotes positive afterlife effects in understory vegetation. *Plant Ecology*, 212(5), 733-741.

Knowlton, K., Lynn, B., Goldberg, R.A., Rosenzweig, C., Hogrefe, C., Rosenthal, J.K., Kinney P.L. (2007): Projecting heat-related mortality impacts under a changing climate in the New York City region. *American Journal of Public Health*, 97(11), 2028-2034.

Autoři: Trnka M., Žalud Z., Hlavinka P., Bartošová L a kol.

Konikow, L.F., Kendy, E. (2005): Groundwater depletion: a global problem. *Hydrogeology Journal*, 13, 317-320.

Laštůvka Z., Krejčová P. (2000): *Ekologie*. Konvoj, Brno, 186 s.

Linden, P.J., Hanson C.E. (eds.]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New Yoork, NY, USA, pp. 541-580.

Lindner, M., Maroschek, M., Netherer, S., Kremer, A., Barbati, A., Garcia-Gonzalo, J., Seidl, R., Delzon, S., Corona, P., Kolström, M., Lexer, M.J., Marchetti, M. (2010): Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 259(4), 698-709. Steiger, R., 2011: The impact of snow scarcity on ski tourism. An analysis of the record warm season 2006/07 in Tyrol (Austria). *Tourism Review*, 66(3), 4-13.

Leslie, L.M., Leplastrier, M., Buckley, B.W. (2008): Estimating future trends in severe hailstorms over the Sydney Basin: A climate modelling study. *Atmospheric Research*, 87(1), 37-57.

Li, Z., Liu, W.-z., Zhang, X.-c., Zheng, F.-l. (2009): Impacts of land use change and climate variability on hydrology in an agricultural catchment on the Loess Plateau of China. *Journal of Hydrology*, 377(1-2), 35-42.

Lioubimtseva, E., Henebry, G.M. (2009): Climate and environmental change in arid Central Asia: impacts, vulnerability and adaptations. *Journal of Arid Environments*, 73(11), 963-977.

Lobell, D.B., M.B. Burke, C. Tebaldi, M.D. Mastrandrea, W.P. Falcon, and R.L. Naylor, 2008: Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science*, 319, 607-610.

Marriner, N., Flaux, C., Morhange, C., Kaniewski, D. (2012): Nile Delta's sinking past: quantifiable links with Holocene compaction and climate-driven changes in sediment supply? *Geology*, 40(12), 1083-1086.

Milne, G.A., Gehrels, W.R., Hughes, C.W., Tamisiea, M.E. (2009): Identifying the causes of sea-level change. *Nature Geoscience*, 2, 471-478.

Müller, C., Robertson, R.D. (2014): Projecting future crop productivity for global economic modeling. *Agricultural Economics*, 45, 37-50.

Nicholls, R.J. (2010): Impacts of and responses to sea-level rise. In: *Understanding Sea-level Rise and Variability* [Church, J.A., P.L. Woodworth, T. Aarup, and W.S. Wilson (eds.)]. Wiley-Blackwell, Chichester, UK and Hoboken, NJ, USA, pp. 17-51.

Pearson, R.G., Phillips, S.J., Loranty, M.M., Beck, P.S.A., Damoulas, T., Knight, S.J., Goetz, S.J. (2013): Shifts in Arctic vegetation and associated feedbacks under climate change. *Nature Climate Change*, 3, 673-677.

Polák, P. (2009): Vliv změn klimatu a oteplování v České republice na šíření rostlinných virů a fytoplazem původně se vyskytujících ve Středozezemním subtropickém region. In ŠAFRÁNKOVÁ, I. - ŠEFROVÁ, H. XVIII. Česká a slovenská konference o ochraně rostlin. Sborník abstraktů. MZLU v Brně 2009, 2.-4. září. 1. vyd. Brno: MZLU v Brně, s. 210. SRS: *Apid Bulletin*
http://www.srs.cz/portal/page/portal/SRS_Internet_CS/so/so_mon_so/so_mon_so_mo_msic_aphid

Porter, J.R., Xie, L., Challinor, A.J., Cochrane, K., Howden, M.S., Iqbal, M.M., Lobell, D.B., Travasso, M.I. (2014): Food security and food production systems, in: Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R., White, L.L.

Autoři: Trnka M., Žalud Z., Hlavinka P., Bartošová L a kol.

(Eds.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Schlenker, W., Roberts, M.J. (2009): Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(37), 15594-15598.

Semenov, M., R. Mitchell, A. Whitmore, M. Hawkesford, M. Parry, Shewry, P. (2012): Shortcoming in wheat yield productions. *Nature Climate Change*, 2, 380- 382.

Stahlschmidt, Z.R., DeNardo, D.F., Holland, J.N., Kotler, B.P., Kruse-Peeples, M. (2011): Tolerance mechanisms in North American deserts: biological and societal approaches to climate change. *Journal of Arid Environments*, 75(8), 681-687.

Strayer, D.L., Dudgeon, D. (2010): Freshwater biodiversity conservation: recent progress and future challenges. *Journal of the North American Benthological Society*, 29(1), 344-358.

Trnka, M., Olesen, J.E., Kersebaum, K.C., Skjelvåg, A.O., Eitzinger, J., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., Rötter, R., Iglesias, A., Orlandini, S., Dubrovský, M., Hlavinka, P., Balek, J., Eckersten, H., Cloppet, E., Calanca, P., Gobin, A., Vučetić, V., Nejedlik, P., Kumar, S., Lalic, B., Mestre, A., Rossi, F., Kozyra, J., Alexandrov, V., Semerádová, D., Žalud, Z. (2011): Agroclimatic conditions in Europe under climate change. *Global Change Biology*, 17(7), 2298-2318.

Trnka, M., Kersebaum, K.C., Eitzinger, J., Hayes, M., Hlavinka, P., Svoboda, M., Dubrovský, M., Semerádová, D., Wardlow, B., Pokorný, E., Možný, M., Wilhite, D., Žalud, Z. (2013): Consequences of climate change for the soil climate in Central Europe and the central plains of the United States. *Climatic Change*, 120, 405-418.

Trnka, M., Rötter, R.P., Ruiz-Ramos, M., Kersebaum, K.C., Olesen, J.E., Žalud, Z., Semenov, M.A. (2014): Adverse weather conditions for European wheat production will become more frequent with climate change. *Nature Climate Change*, 4, 637–643.

World Bank, (2012): *Global Monitoring Report 2012: Food Prices, Nutrition, and the Millenium Development Goals*. Global Monitoring Report (GMR) 68171, The World Bank and the International Monetary Fund, The World Bank, Washington, DC, USA, 169 pp.

Zhang, T., J. Zhu, X. Yang, Zhang, X. (2008): Correlation changes between rice yields in North and Northwest China and ENSO from 1960 to 2004. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148, 1021-1033.

Zhang, T., Zhu, J., Wassmann, R. (2010): Responses of rice yields to recent climate change in China: an empirical assessment based on long-term observations at different spatial scales (1981-2005). *Agricultural and Forest Meteorology*, 150, 1128-1137.

Žalud, Z. (Eds.) (2009): *Změna klimatu a české zemědělství – dopady a adaptace*. Folia Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně, Brno, 155 pp.