CLIMATE
ANALYTICS

Dopady klimatické změny v České republice

Autoři/přispěvatelé

Nicole van Maanen, výzkumná analytička

Emily Theokritoff, výzkumná analytička

Inga Menke, výzkumná pracovnice

Carl-Friedrich Schleussner, vedoucí klimatické vědy a dopadů

Tato výzkumná zpráva je nezávislým produktem založeným na nejnovějších dostupných vědeckých poznatcích. Její autoři nejsou ovlivněni ve formě ani obsahu probíhajícími spory. Veškeré zdroje využité v této zprávě jsou uvedeny v příloze.

Datum: 18. ledna 2021

Obsah

1. Shrnutí ... 3
2. Demografická analýza ... 5
3. Technická poznámka: Reprezentativní směry vývoje koncentrací – nárůst teploty ... 5
4. Teplota ... 8
5. Srážky ... 11
6. Extrémní události ... 12
   6.1 Vlny veder ... 12
   6.2 Sucho ... 14
   6.3 Silné srážky ... 16
   6.4 Povodně ... 17
   6.5 Požáry ... 19
   6.6 Ekonomické ztráty ... 20
7. Zemědělství ... 21
   7.1 Výnos zemědělských plodin ... 21
   7.2 Dobytek ... 24
   7.3 Produkce chmele ... 24
8. Lesnictví ... 24
9. Zdraví ... 27
   9.1 Teplotní stres a městské tepelné ostrovy ... 27
   9.2 Úmrtnost ... 29
   9.3 Onemocnění přenášená vektory ... 30
   9.4 Kvalita ovzduší a respirační onemocnění ... 31
   9.5 Mentální zdraví ... 34
10. Reference ... 35

1. Shrnutí

Tato zpráva shrnuje vědecké důkazy pozorovaných a předpokládaných dopadů klimatické změny v České republice. Dnes, kdy pozorujeme globální oteplení přibližně o 1,1 °C oproti teplotě před industriální revolucí, Česká republika stále silněji pociťuje důsledky klimatické změny. V roce 2020 zaznamenala Česká republika nový teplotní rekord v průměrné roční teplotě vzduchu: o 2 °C více než v 60. letech 20. století.

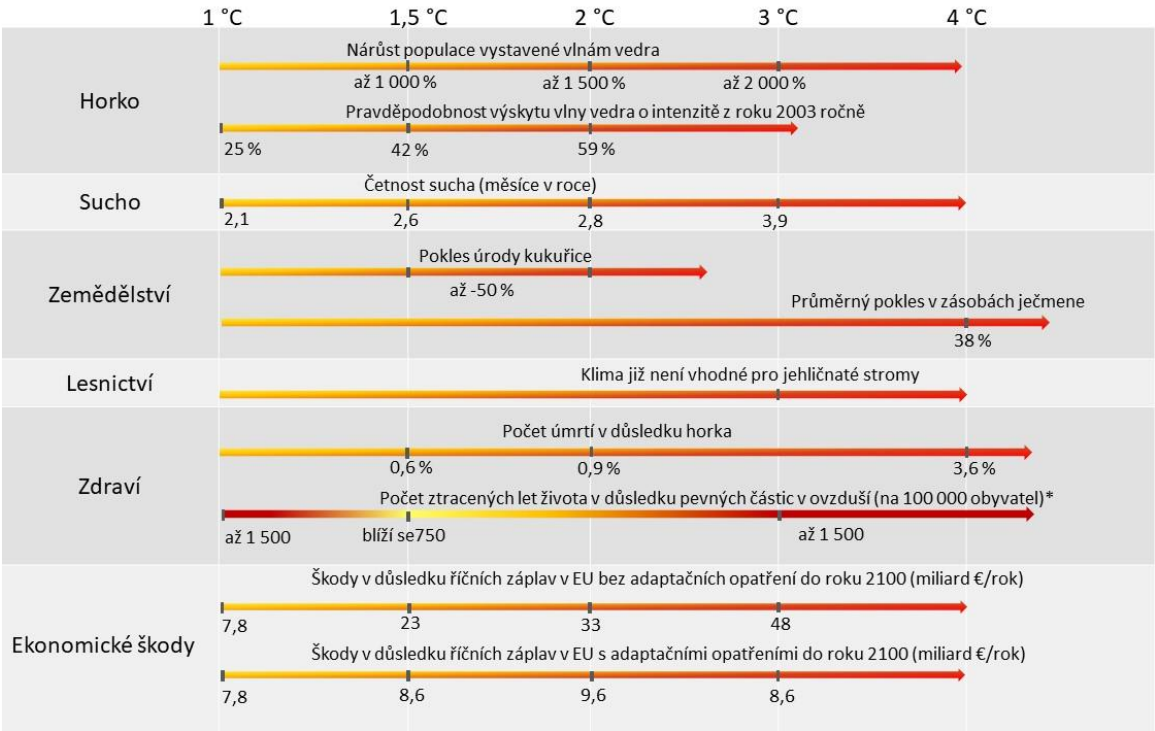
V posledních letech došlo v České republice také ke zvýšení výskytu vln veder, a tento trend bude pravděpodobně s dalším globálním oteplováním zesilovat. Četnost a délka období sucha se bude podle prognóz také zvyšovat, stejně tak jako výše způsobených škod. V minulých letech byly škody způsobené suchem v České republice odhadovány na 500 milionů EUR. Kombinace sucha a vln veder vede v České republice také k extrémním požárům, které se budou pravděpodobně s postupem klimatické změny dále zhoršovat.

Dle projekcí budou i přívalové deště v České republice častější, v období 2071-2100 se očekává nárůst zimních srážek až o 35 %. Výsledné silnější a častější povodně mohou pro zemi představovat hrozbu zejména proto, že se budou vyskytovat ve zranitelné oblasti okolo řeky Moravy (součást povodí Dunaje), kde žije okolo 2,8 milionu obyvatel. V porovnání s ostatními evropskými zeměmi má navíc Česká republika historicky vyšší úmrtnost v souvislosti s povodněmi.

Klimatická změna má také vliv na potravinovou bezpečnost v České republice. Zemědělská produkce již zaznamenala úbytek produktivity plodin v důsledku zvyšujících se teplot a srážkových změn. Rozsah orné půdy a půdy určené k pěstování rostlin trvalých kultur se dramaticky snížil již v průběhu minulých let. Prognózy například předpovídají, že produkce pšenice, která je v České republice nejdůležitější plodinou, poklesne do roku 2030 až o 100 000 tun oproti roku 2000. Při globálním oteplení o 1,5 °C poklesne produkce kukuřice až o polovinu. Výjimkou nejsou ani lesy. Klimatická změna ovlivňuje časové rozložení, intenzitu, míru a frekvenci disturbancí a jejich dopad na lesní ekosystémy. Výskyt škůdců a onemocnění, jako jsou například epidemie kůrovce, které ohrožují 50 % českých lesů a jsou minimálně částečně spojeny s klimatickou změnou, bude v budoucnu markantnější.

Důsledky klimatické změny mají vliv také na lidské zdraví. V letech 1990–2016 došlo v České republice až k 1 000 úmrtí v důsledku extrémně vysokých teplot. Tento trend se bude pravděpodobně zásadně zvyšovat a při globálním oteplení o 4 °C se očekává, že extrémní horko bude mít na svědomí až 3,6 % všech úmrtí. Dopady budou závažnější v urbanizovaných oblastech s vyšší hustotou zalidnění. Výskyt chorob přenášených vektory, jako je například infekce virem západonilské horečky, nebo respiračních onemocnění bude častější a rozšířenější. V roce 2018 bylo až 1 500 předčasných úmrtí v České republice připisováno znečištění ovzduší (konkrétně koncentraci pevných částic v ovzduší). Vystavení látkám znečišťujícím ovzduší vede navíc k závažnějším a smrtelnějším formám onemocnění COVID-19 a může oddálit či komplikovat uzdravení pacientů. Ohroženo je i mentální zdraví. Zejména u mladých lidí představuje obava z klimatických a ekologických hrozeb zásadní problém ve zlomovém období jejich fyzického a psychologického vývoje. Obavy z ekologických hrozeb mohou způsobovat stres, úzkost, deprese a v extrémních případech mohou vést k užívání návykových látek a k dalším poruchám.

Tabulka 1: Prognózované dopady klimatické změny v České republice při různé míře oteplení. Data odkazují ke konci století. Veškerá data a zdroje jsou obsaženy v této zprávě.



** za předpokladu, že při scénáři oteplení o 3 až 4 °C zůstane úroveň znečištění a množství pevných částic v ovzduší (PM) podobné současným hodnotám, zatímco scénář oteplení o 1,5 °C by toto číslo snížil alespoň o polovinu do poloviny století.*

2. Demografická analýza

Česká republika má přibližně 10,6 milionů obyvatel, 20 % z nich je mladší 19 let. Očekává se, že průměrný 16letý Čech se dožije věku 87 let. Tyto demografické předpoklady lze spojit s očekávaným nárůstem průměrných globálních teplot. V návaznosti na nejlepší odhad budoucího vývoje teploty na základě analýzy Climate Action Tracker bude nárůst průměrné globální teploty o 1,5 °C překonán okolo roku 2035, nárůst o 2 °C překonán okolo roku 2055 a nárůst o více než 3 °C bude překonán v roce 2100. Dnešní 16letý Čech má 99% šanci, že se dožije roku 2035, 96% šanci, že se dožije roku 2055, a 6% šanci, že se dožije roku 2100. To znamená, že téměř všechny děti v České republice se pravděpodobně dožijí světa, který bude o 2 °C teplejší a budou se potýkat se souvisejícími důsledky.

Tabulka 2: Pravděpodobnost různých věkových skupin v České republice na dožití do roku 2035, 2055 a 2100. Zdroj: World Data Lab (2019). The World Population Project. Dostupné z: http://www.population.io

				Pravděpodobnost přežití v roce		
Země	Věk	Pohlaví	Střední délka života	2035	2055	2100
Česká republika	16	Ž	89	99 %	97 %	8 %
		M	85	99 %	95 %	4 %
		Průměr	87	99 %	96 %	6 %
	30	Ž	87	98 %	90 %	0 %
		M	83	97 %	83 %	0 %
		Průměr	85	98 %	87 %	0 %
	60	Ž	86	3 %	0 %	0 %
		M	82	2 %	0 %	0 %
		Průměr	84	3 %	0 %	0 %

3. Technická poznámka: Reprezentativní směry vývoje koncentrací – nárůst teploty

Reprezentativní směry vývoje koncentrací

Scénář uvádí věrohodný popis možného budoucího vývoje na základě řady předpokladů o klíčových silách řídících klimatickou změnu a o vztazích mezi nimi (IPCC, 2014). Reprezentativní směry vývoje koncentrací (RCP) jsou souborem scénářů vyvinutých na základě možných budoucích křivek vývoje emisí a koncentrací skleníkových plynů, aerosolů a využívání půdy (Moss et al., 2008).

Mezivládní panel pro změny klimatu (IPCC) a vědci zabývající se modelováním klimatu používají čtyři různé RCP, které jsou pojmenované podle svého potenciálu radiačního působení na konci století (RCP 2,6, 4,5, 6,0 a 8,5) (Moss et al., 2010). Každá hodnota RCP je spojena s aproximací rozsahu zvýšení průměrné globální teploty do roku 2100 ve srovnání se situací před industrializací. Tabulka 3 níže uvádí medián (nejlepší odhad) očekávaného nárůstu teploty tak, jak byl vyhodnocen v Páté hodnotící zprávě IPCC (AR5).

Dále obsahuje „pravděpodobný“ (tedy 66 % pravděpodobnost) rozsah nárůstu teploty spojený s každým příslušným RCP v závorce. Jinými slovy lze říci, že s 66% pravděpodobností se bude oteplení pohybovat v daném rozsahu. To ponechává nezanedbatelnou 17% šanci, že reálná míra oteplení bude ještě vyšší.

Název	**Očekávaný nárůst teploty v období 2081-2100 (medián a [66% rozsah])**
RCP2,6	1,6 °C [0,9–2,3 °C]
RCP4,5	2,4 °C [1,7–3,2 °C]
RCP6,0	2,8 °C [2,0–3,7 °C]
RCP8,5	4,3 °C [3,2–5,6 °C]

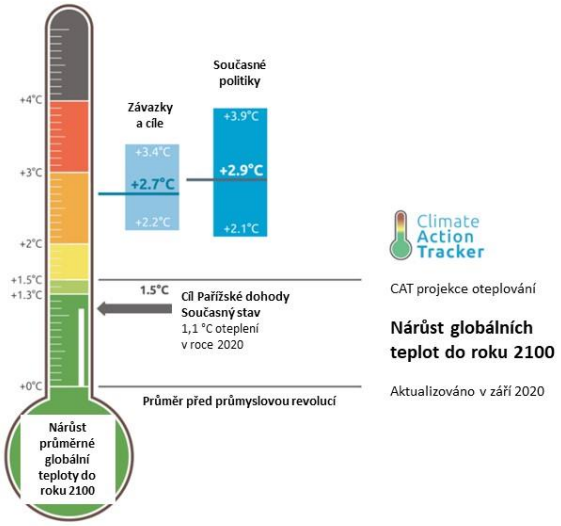
Tabulka 3: Oteplování podle různých scénářů reprezentativních směrů vývoje koncentrací. Tabulka uvádí medián pravděpodobného rozsahu (66 %). Nárůst teplot je uveden pro období 2081–2100, předpokládá, že před obdobím 1986–2005 došlo k oteplení o 0,61 °C. Zdroj: (Stocker et al., 2013)

V důsledku nejistot týkajících se procesů odezvy v zemských systémech je reakce klimatického systému na antropogenní emise $C0_2$ předmětem značné nejistoty. Pátá hodnotící zpráva IPCC odhaduje přechodovou reakci klimatu na kumulativní emise $C0_2$ v rozmezí 0,2–0,7 °C na 1000 Gt $C0_2$. Tato nejistota ohledně reakce klimatu (na základě souboru modelů CMIP5) se odráží také v nejistotě rozsahů uvedených v Tabulce 3.

Výhled současných politik

Na základě klimatických závazků jednotlivých států v rámci Pařížské dohody (Stanovené národní příspěvky, NDCs) a národních politik uvádí analýza Climate Action Tracker nejlepší odhad výsledných trendů vývoje emisí ve 21. století a z nich vycházejících křivek oteplování. Ty jsou uvedeny v Grafu 1 níže. Uvedené rozsahy jsou opět stanoveny jako pravděpodobné (66% pravděpodobnost) rozsahy nárůstu teplot při různých scénářích, například v případě současných politik na zmírnění klimatické změny, které byly globálně přijaty zeměmi. Stejně jako v případě RCP scénářů zahrnují tyto rozsahy nejistoty pramenící z nejistot souvisejících s reakcí zemských systémů. Oteplení o 3,9 °C do konce století se tedy pohybuje v rozsahu *pravděpodobné (66 %)* při projekcích současných politik. Navíc existuje nezanedbatelná 17% pravděpodobnost, že oteplení při současných politikách do konce století přesáhne 3,9 °C. To se částečně překrývá s rozsahem oteplení o 3,2–5,6 °C prognózovaným scénářem RCP8,5 a s příslušnými důsledky očekávanými podle tohoto scénáře.

Současné politiky by do roku 2100 vedly k průměrnému oteplení o 2,9 °C.



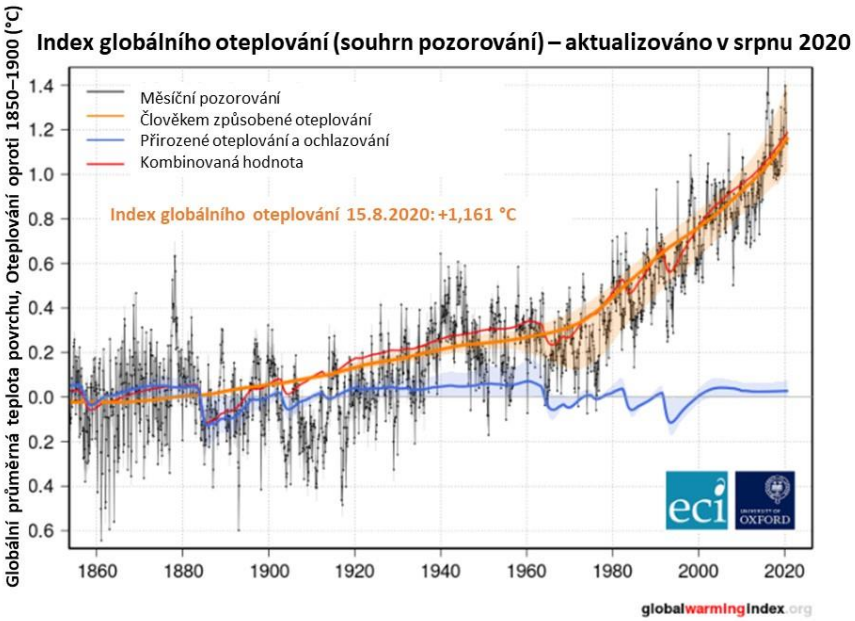
Graf 1: Emise a předpokládané oteplení podle analýzy Climate Action Tracker. Oteplení je zobrazeno pro tři různé předpoklady budoucího oteplování, které rozlišují mezi stanovenými cíli zemí a skutečnými opatřeními přijatými za účelem dosažení těchto cílů: země plnící své aktuální závazky a cíle podle UNFCCC (Závazky a cíle), žádné politiky mimo těch již zavedených. Rozsah nejistoty zahrnuje 66% rozsah pravděpodobnosti založený na nejlepším odhadu rozsahu přechodové reakce klimatu na emise (TCRE) založené na zprávě IPCC AR5. Zdroj: (Climate Analytics; New Climate Institute, 2020)

Analýza dopadů klimatické změny

Příprava simulací klimatu a klimatické změny vyžaduje značné úsilí, proto vědecké studie s cílem připravit různé typy simulací dopadů klimatické změny nespoléhají na všechny scénáře ve stejné míře. Mnohé studie zabývající se výzkumem klimatu využívají podmnožinu scénářů RCP (využívají buď RCP8,5, RCP4,5, RCP2,6 nebo jejich kombinaci) a proto neposkytují odhad dopadů pro všechny úrovně oteplování. Následující analýza je založena na dostupných studiích předpokládaných dopadů klimatické změny v České republice. Dále se budeme odvolávat na předpokládaný průměrný nárůst teploty do roku 2100, který je s konkrétními scénáři RCP spojen, spíše než na samotné RCP. Pro scénáře předpokládající vyšší emise jsou využity RCP8,5 nebo RCP6,0, zatímco RCP2,6 je konzistentně používán pro scénáře s nižšími emisemi.

4. Teplota

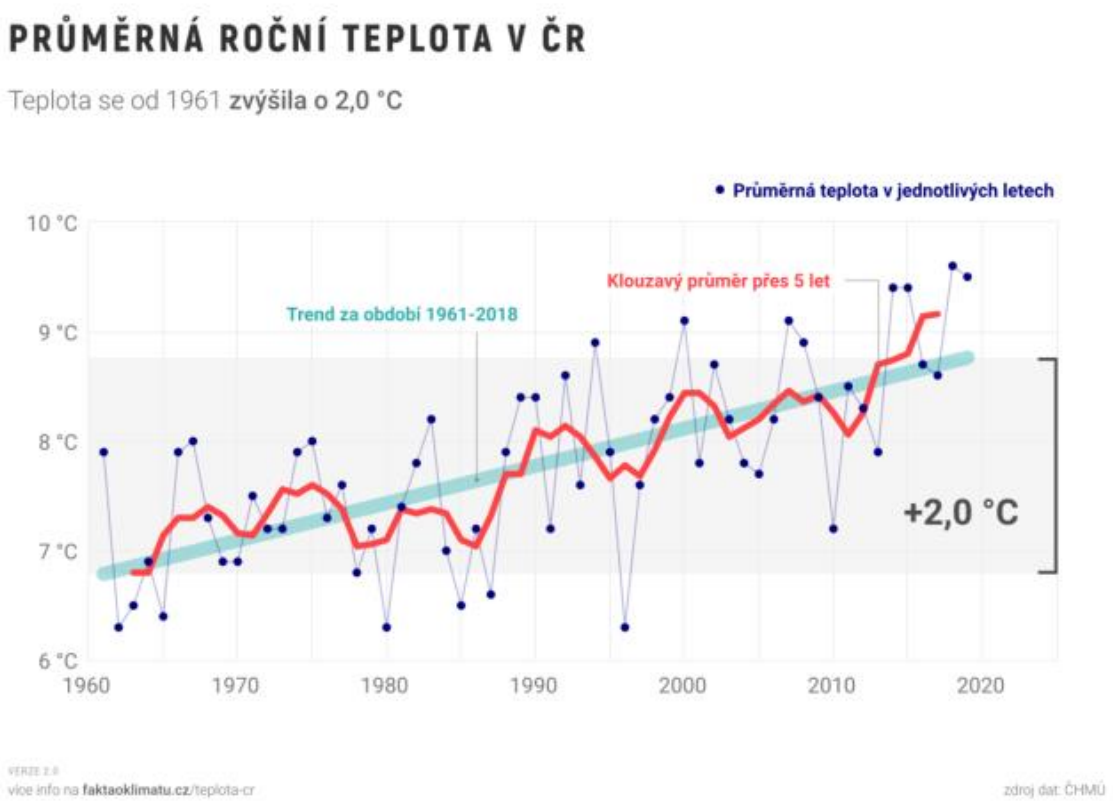
Země nepochybně prochází oteplováním, zejména v průběhu posledních desetiletí (viz Graf 2). IPCC uvádí: „odhaduje se, že lidské činnosti způsobily globální oteplení přibližně o 1,0 °C oproti teplotám před industrializací, s pravděpodobným rozsahem 0,8 °C až 1,2 °C. Globální oteplení pravděpodobně dosáhne hodnoty 1,5 °C mezi lety 2030 a 2052, pokud se bude teplota zvyšovat současným tempem (vysoká pravděpodobnost)“ (Hoegh-Guldberg et al., 2018, str. 4).



Graf 2: Index globálního oteplování, přejato z: https://globalwarmingindex.org

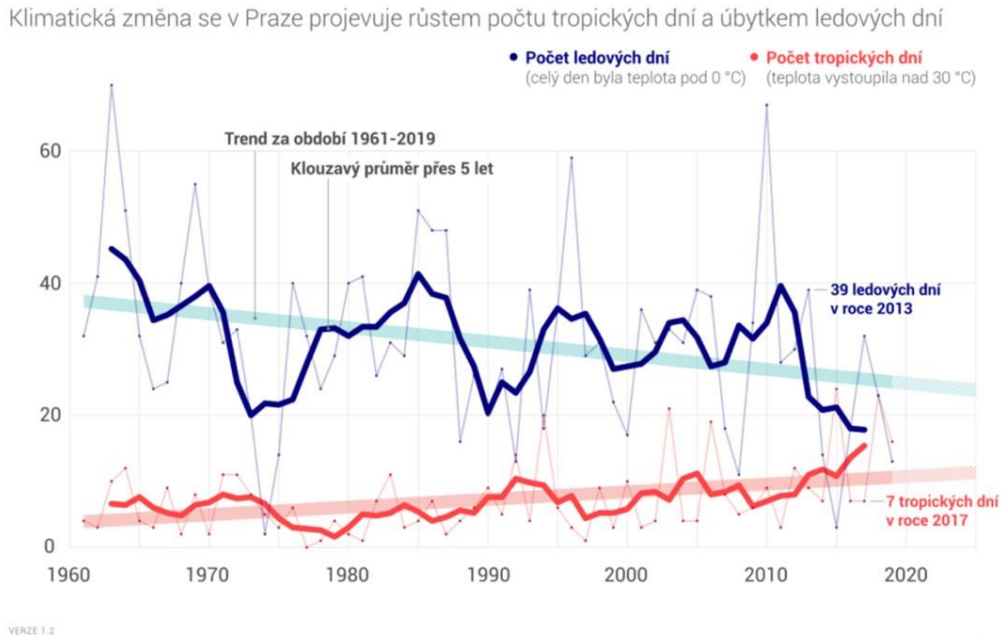
Evropská agentura pro životní prostředí (EEA) uvádí, že: „evropská pevnina se oteplila o 1,6–1,7 °C“ oproti stavu před industrializací (1850–1899) a objevují se značné regionální a sezónní výkyvy (European Environment Agency, 2019b, str. 170). 18 z 19 nejteplejších letních období bylo navíc zaznamenáno v období po roce 2000 (European Environment Agency, 2019b, str. 170).

Graf 3 ukazuje, že průměrná roční teplota se v České republice v průběhu posledních 60 let zvýšila o 2 °C.



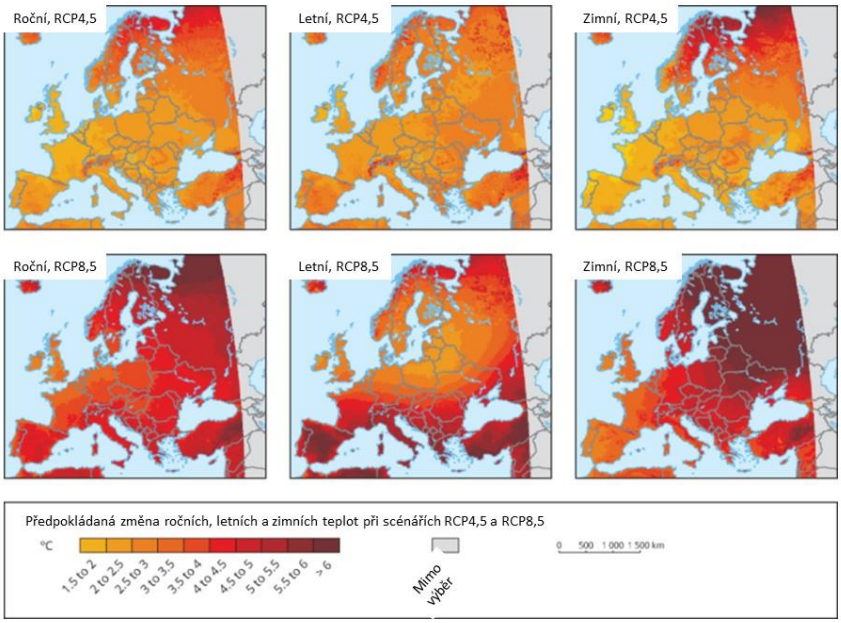
Graf 3: Průměrná roční teplota v České republice od roku 1961, převzato z https://faktaoklimatu.cz/infografiky/teplota-cr

Nárůst počtu tropických dní a pokles počtu ledových dní od roku 1960 byl zaznamenán také v Praze (Graf 4).



Graf 4: Tropické a ledové dny v Praze v letech 1961–2019, převzato z:
https://faktaoklikmatu.cz/infografiky/tropicke-dny-praha

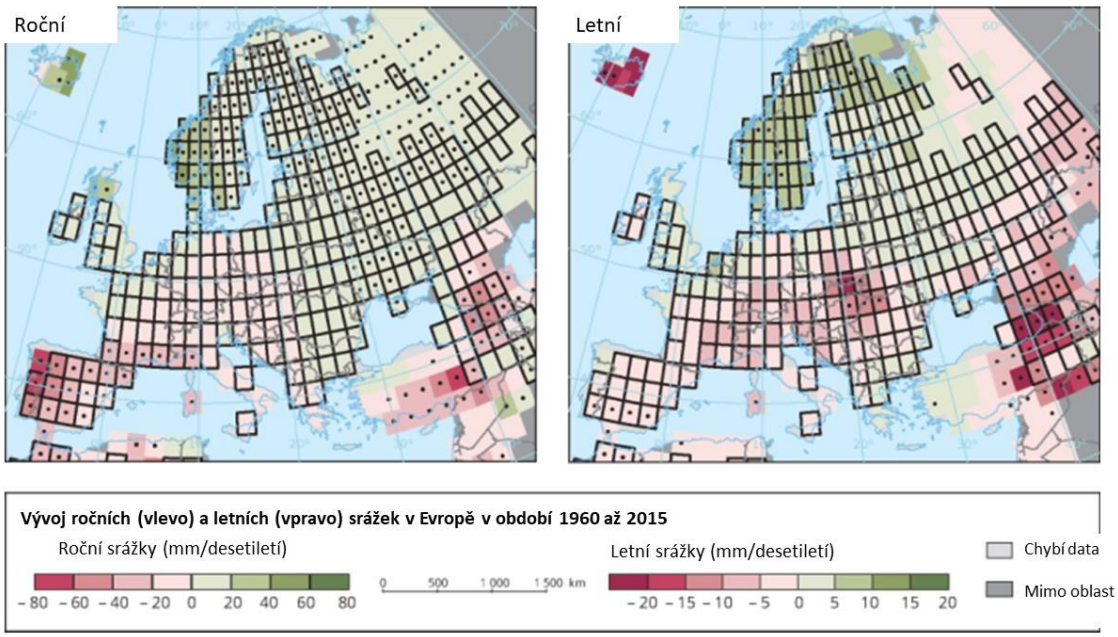
Projekce Evropské agentury pro životní prostředí zobrazené v Grafu 5 níže naznačují, že „oblasti evropské pevniny se budou v průměru ohřívat rychleji než globální pevnina obecně“ (Füssel et al., 2017, str. 76). Výsledky ukazují, že pevninské oblasti v Evropě se podle očekávání při scénáři globálního oteplení o 2,5 °C do roku 2100 (RCP4,5) oteplí o 1 °C až o 4,5 °C a při scénáři globálního oteplení o > 4 °C do konce století (RCP8,5) se oteplí o 2,5 °C až o 5,5 °C (Füssel et al., 2017, str. 76). Podle scénářů oteplení o 2,5 °C do roku 2100 (RCP4,5) a o > 4 °C (RCP8,5) se letní teploty v České republice zvýší až o 2,5 °C a 3,5 °C (podle scénáře) v porovnání s teplotami v období 1971–2000. České zimní teploty ukazují zvýšení až o 3 °C a 5 °C oproti teplotám v období 1971–2000 při scénářích globálního oteplení o 2,5 °C do roku 2100 (RCP4,5) a o > 4 °C (RCP8,5) (podle scénáře).



Graf 5: Předpokládané změny v roční (vlevo), letní (uprostřed) a zimní (vpravo) teplotě vzduchu při povrchu (°C) v období 2071–2100 v porovnání s obdobím 1971–2000 při scénářích RCP4,5 (nahoře – scénář globálního oteplení o 2,5 °C do roku 2100) a RCP8,5 (dole - > 4 °C do roku 2100). Modelové simulace jsou založeny na vícemodelovém souboru průměrů simulací RCM iniciativy EURO-CORDEX. (Füssel et al., 2017, str. 76, mapa 3.4).

5. Srážky

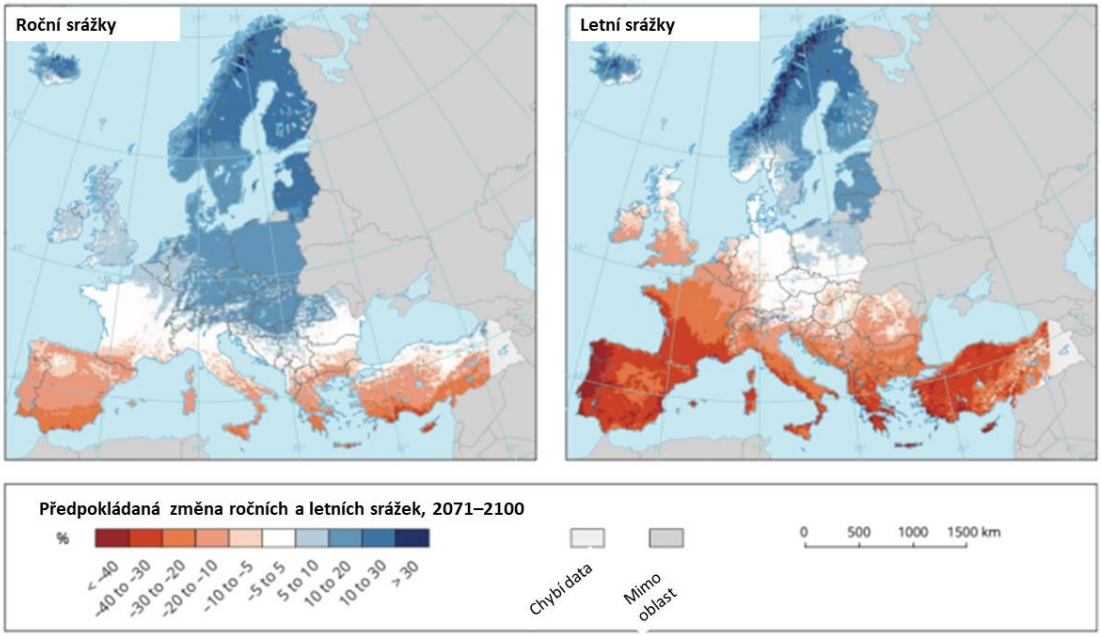
Graf 6 níže ukazuje, že mezi roky 1960 a 2015 zaznamenala Česká republika mírný pokles v ročních (do -20 mm/desetiletí) a letních (do -10 mm/desetiletí) srážkách.



Graf 6: Vývoj ročních (vlevo) a letních (vpravo) srážek v Evropě v období 1960 až 2015 (Füssel et al., 2017, str. 81)

„Aktuální studie pro Evropu (Vautard et al., 2014; Jacob et al., 2018; Kjellström et al., 2018) ukazují, že globální oteplení o 2 °C je spojeno se zásadním zvýšením průměrných srážek ve střední a severní Evropě v zimě, ale pouze v severní Evropě v létě, a se snížením průměrných srážek ve střední/jižní Evropě v létě. Změny v množství srážek až o 20 % předpokládá scénář oteplení o 2 °C (Vautard et al., 2014), tyto změny budou celkově výraznější než u scénáře globálního oteplení o 1,5 °C (Jacob et al., 2018; Kjellström et al., 2018)“ (Hoegh-Guldberg et al., 2018, str. 194).

Graf 7 zvýrazňuje, že letní srážky v České republice zůstanou podle předpokladu více méně nezměněné (mezi -5 % a 5 %), zatímco roční srážky se podle předpokladu v období 2071–2100 při scénáři oteplení o > 4 °C do roku 2100 (RCP8,5) zvýší až o 20 % (European Environment Agency, 2019b, str. 173). I přes celkové zvýšení množství ročních srážek, ke kterému bude docházet hlavně v zimě, to však neznamená, že se sníží riziko sucha, ke kterému dochází zejména v letních měsících (pro více informací viz kapitoly 6.2 a 6.3). Rozložení srážkových událostí se bude také měnit a zejména v zimních měsících bude docházet k extrémnějším srážkovým událostem (pro porovnání viz Graf 11 níže).



Graf 7: Předpokládaná změna ročních (vlevo) a letních (vpravo) srážek (%) v období 2071–2100 oproti základnímu období 1971–2000 při scénáři oteplení o > 4 °C (RCP8,5), předpoklad založený na průměru vícemodelového souboru regionálních klimatických modelů (European Environment Agency, 2019b, str. 173, mapa 7.2).

6. Extrémní události

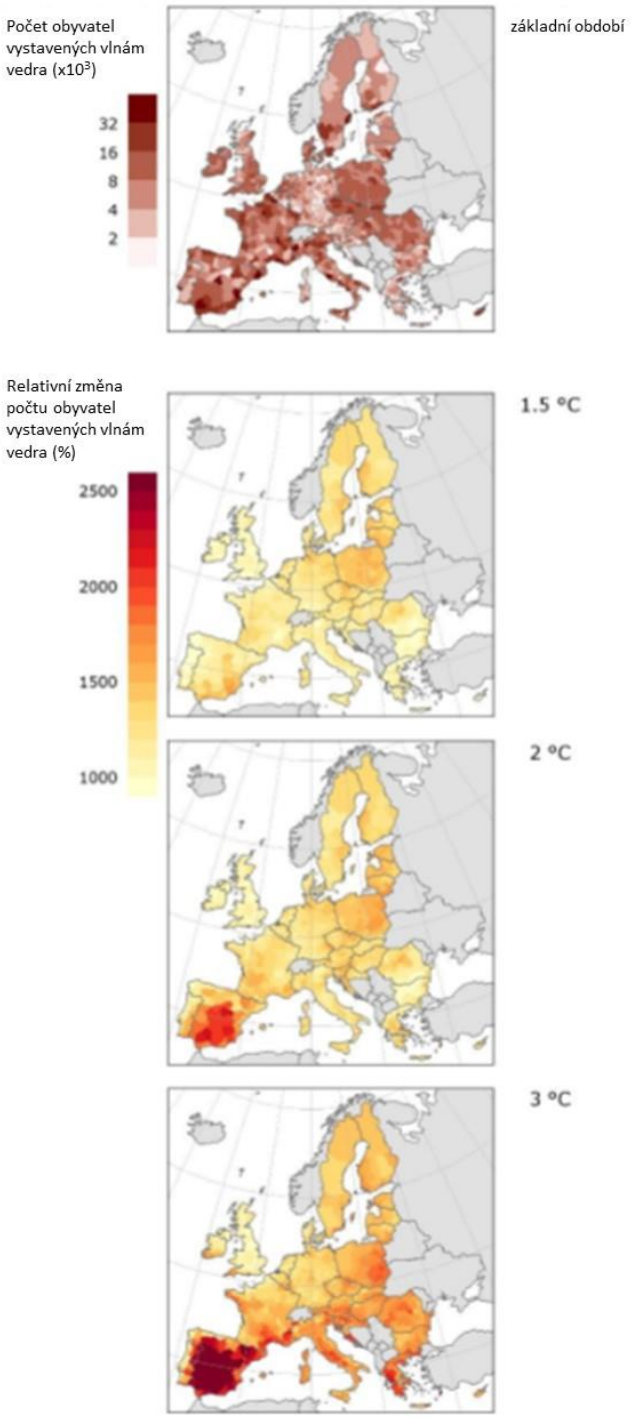
6.1 Vlny veder

Evropská agentura pro životní prostředí uvádí, že „počet horkých dní (dní, kdy percentil překročí hranici 90 základního období) se od roku 1960 téměř zdvojnásobil v evropské pevninské oblasti“. „Mezi lety 1950 a 2015 Evropa zažila 11 silných a dlouhých vln veder, většina z nich proběhla po roce 2000 (v letech 2003, 2006, 2007, 2010, 2014 a 2015)“ (Füssel et al., 2017, str. 77). Scénář s oteplením o > 4 °C (RCP8,5) předpovídá, že vlny veder o stejné nebo vyšší intenzitě se budou v druhé polovině 21. století objevovat až každé dva roky (ibid).

V karpatském regionu[1] se vlny veder prodlužují, jsou intenzivnější a častější. Silné vlny veder zde byly nejčastější mezi lety 1961 a 2010, čtyři ze sedmi proběhly mezi lety 2000 a 2010 (Spinoni et al., 2015). Léto roku 2015 doprovázely navíc extrémně vysoké teploty, maximální denní teploty překračovaly sezónní průměr (1971–2000) o 3 °C (Ionita et al., 2017). Na východě České republiky to bylo nejteplejší a klimatologicky také nejsušší léto v období 1950–2015 (ibid.).

[1] Zahrnuje osm zemí: Chorvatsko, Maďarsko, Slovensko, Českou republiku, Polsko, Ukrajinu, Rumunsko a Srbsko

Graf 8 níže ilustruje skutečnost, že v České republice je každoročně až 32 000 obyvatel vystaveno současným 50letým vlnám veder (Naumann et al., 2020). V některých oblastech by scénář oteplení o 3 °C mohl vést přibližně ke dvacetinásobnému zvýšení počtu obyvatel, kteří jsou vystaveni vlnám veder, než tomu bylo v základním období (ibid.). Snížení míry oteplení na 1,5 °C by snížilo počet obyvatel vystavených vlnám veder přibližně o polovinu.



Graf 8: Počet obyvatel ročně vystavených současným 50letým vlnám veder (horní řada, základní období 1981–2010) a předpokládaná relativní změna ve vystavení populace těmto událostem při úrovních globálního oteplení o 1,5 °C, 2,0 °C a 3,0 °C (Naumann et al., 2020).

Odborníci Mezivládního panelu pro změny klimatu zjistili, že „rozdíly v regionálních teplotních extrémech při průměrném globálním oteplení o 1,5 °C oproti oteplení o 2,0 °C, tedy při rozdílu v oteplení o 0,5 °C, jsou na některých místech spojeny s rozdíly až o 1 °C–1,5 °C, což je dvakrát až třikrát zásadnější než rozdíly v průměrné globální teplotě. Co se týče extrémního horka, k nejmarkantnějšímu oteplování dochází ve střední a východní Severní Americe, střední a jižní Evropě, ve Středozemí, v západní a střední Asii a v jižní Africe (střední jistota)“ (Hoegh-Guldberg et al., 2018, str. 190). „Globální oteplení o 2 °C oproti 1,5 °C by vedlo k častějším a intenzivnějším vlnám veder ve všech vnitrozemských oblastech, stejně tak jako k delším teplým obdobím, což by zasáhlo mnoho hustě osídlených regionů (vysoká pravděpodobnost).“ (Hoegh-Guldberg et al., 2018, str. 191). „Omezení globálního oteplení na 1,5 °C oproti 2 °C by mohlo snížit počet obyvatel často vystavených extrémním vlnám veder o 420 milionů a počet obyvatel vystavených výjimečným vlnám veder o 65 milionů, pokud budeme předpokládat konstantní zranitelnost (střední jistota)“ (Hoegh-Guldberg et el., 2018, str. 191).

Studie publikovaná King & Karoly (2017) ukazuje zvýšení pravděpodobnosti výskytu podobných vln veder při současném zvýšení teploty o přibližně 1 °C, 1,5 °C a 2 °C v porovnání se světem, kde klimatická změna neprobíhá (Graf 9). Bez klimatické změny by k událostem podobným vlně veder ve střední Evropě v roce 2003 docházelo jednou za 100 let. Při současné úrovni oteplování lze podobné události očekávat jednou za čtyři roky. Při oteplení o 1,5 °C se pravděpodobnost výskytu vlny veder zvyšuje na čtyři z deseti let a při oteplení o 2 °C na šest z deseti.

			Pravděpodobnost výskytu podobné události za rok			
UDÁLOST	KONTEXT, DŮSLEDEK	PROMĚNNÁ	PŘIROZENÝ	SOUČASNÝ	1,5 °C	2 °C
Evropa 2016	Nejteplejší zaznamenaný rok	T	**0 %** (0 %)	**27 %** (17–37 %)	**52 %** (42–63 %)	**88 %** (83–92 %)
Střední Anglie 2014	Nejteplejší zaznamenaný rok	T	**0 %** (0–1 %)	**19 %** (13–25 %)	**29 %** (21–37 %)	**48 %** (38–59 %)
Střední Evropa JJA 2003	Nejteplejší zaznamenaný rok, tisíce úmrtí v důsledku horka	T	**1 %** (1–2 %)	**25 %** (17–33 %)	**42 %** (32–51 %)	**59 %** (50–70 %)
		TXx	**2 %** (0–6 %)	**21 %** (7–37 %)	**21 %** (9–34 %)	**31 %** (14–50 %)

Graf 9: Změna v četnosti evropských klimatických extrémů v závislosti na míře globálního oteplení. Pravděpodobnost výskytu daných událostí současných evropských extrémů v daném roce v přirozeném světě, v současném světě, při oteplení o 1,5 °C a o 2 °C. Nejlepší odhad s 90% intervalem jistoty je uveden v závorce. (King & Karoly, 2017)

6.2 Sucho

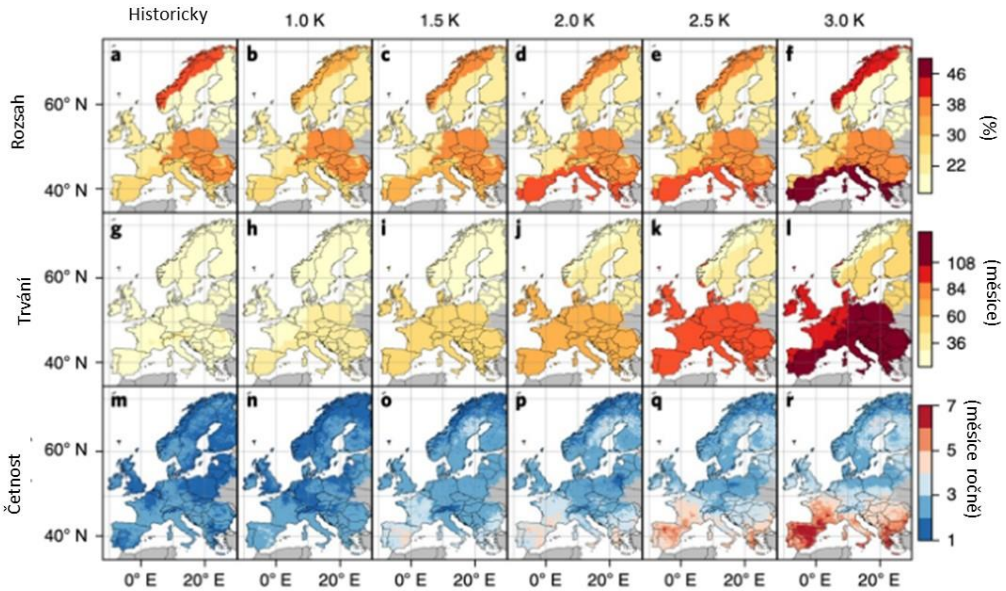
Evropská agentura pro životní prostředí uvádí, že „sucha byla opakující se součástí evropského klimatu. Mezi lety 2006–2010 bylo průměrně 15 % území EU a 17 % populace EU každý rok ovlivněno meteorologických suchem. V desetiletích 1990 a 2000 se ohniska sucha nacházela v oblasti Středozemí a v karpatském regionu (Sepulcre-Canto et al., 2012; Spinoni et al., 2016). Četnost období meteorologického sucha v Evropě se od roku 1950 zvýšila v některých oblastech jižní a střední Evropy (Rakousko a Maďarsko)“. „Vývojové trendy závažnosti období sucha (založené na kombinaci standardizovaného srážkového indexu (SPI), standardizovaného srážkového evapotranspiračního indexu (SPEI) a indexu náhrad sucha (RDI)) ukazují také zásadní zvýšení v oblasti Středozemí (…) a v částech střední a jihovýchodní Evropy“ (Füssel et al., 2017, str. 145).

Střední Evropa byla vystavena zásadním epizodám sucha v letech 2000, 2003, 2012 a 2015, jejichž důsledek se jen v České republice odhaduje na škody ve výši přesahující 500 milionů EUR (Trnka et al., 2020). Sucha představují závažné riziko v podobě svých důsledků a vznikajících škod, případy v letech 2000, 2003 a 2015 patřily mezi pět nejzávažnějších období sucha, co se týče územního rozsahu, významu a trvání, zaznamenaných v období červen–srpen od roku 1961 (ibid).

Mezivládní panel pro změny klimatu předpovídá, že „větší část městské populace ve střední Evropě, jižní Evropě, ve Středozemí, v západní Africe, ve východní a západní Asii a v jihovýchodní Asii by byla vystavena závažným obdobím sucha při oteplení o 1,5 °C a počet dotčených obyvatel by se v těchto regionech ještě zvýšil při oteplení o 2 °C“ (Ove Hoegh-Guldberg et al., 2018, str. 215).

S globálním oteplováním se očekává, že se trvání a četnost období sucha v České republice zvýší (Graf 10). Při dalším oteplování o 3,0 K[2] by přibližně 40 % populace kontinentální Evropy (což zahrnuje i Českou republiku) bylo vystaveno hrozbě sucha v delších časových obdobích (průměrně 122 měsíců, tedy více než 10 let). Četnost událostí sucha by se téměř zdvojnásobila a dosáhla hodnoty 3,9 měsíce sucha ročně oproti základnímu období 1971–2000 (Samaniego et al., 2018, str. 425, Tabulka 1). Případy extrémního sucha, jako tomu bylo v roce 2003, by se navíc staly dvakrát častějšími (ibid). Při oteplení o 2,0 K by bylo 36 % kontinentální Evropy vystaveno hrozbě sucha o délce 66 měsíců a četnosti 2,8 měsíce sucha ročně. Při dalším oteplení o 1,5 K by sucho postihlo 35 % kontinentální Evropy, toto sucho by trvalo 60 měsíců a ročně by docházelo k 2,6 měsícům sucha.

[2] K označuje jednotku Kelvin (stejná jako °C), oteplení je uvedeno ve vztahu k referenčnímu období 1971–2000, přibližně o 0,5 °C vyšší teplota než před industrializací.



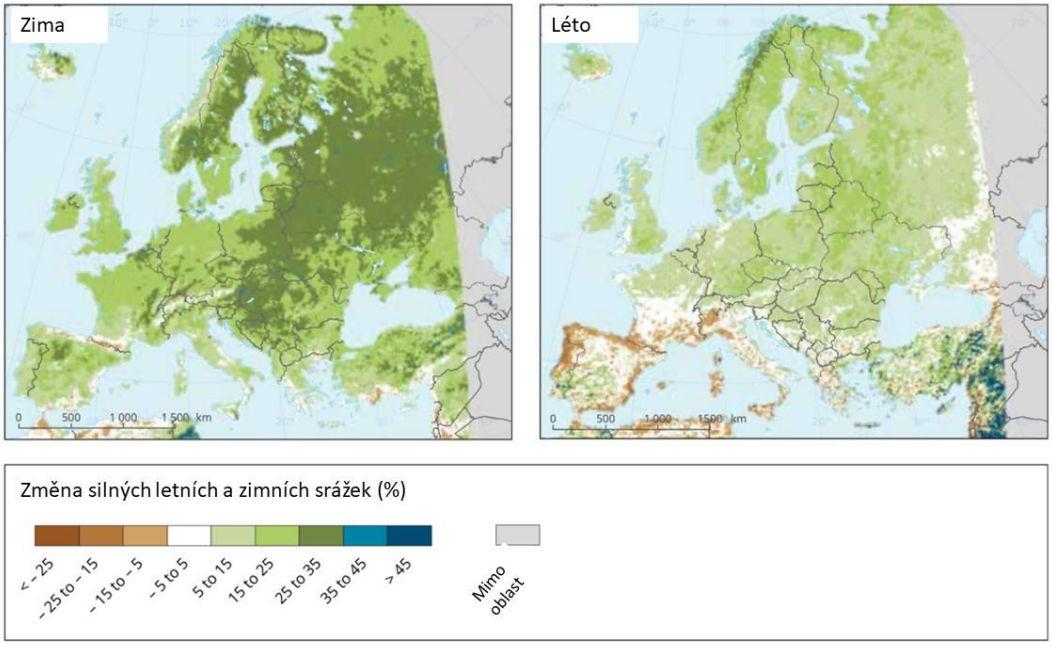
Graf 10: Prostorové rozmístění změn v územním rozsahu sucha, jeho trvání a četnosti (oblast zasažená suchem se hodnotí v rozsahu šesti regionů IPCC AR5 a je kvantifikována jako celková plocha každého regionu při různých úrovních oteplení. g-l, trvání sucha ve stejných regionech a při stejných úrovních oteplení. Rozsah území zasaženého suchem a trvání sucha jsou vypočítány pro vícemodelový medián největších událostí sucha. m-r, četnost suchých měsíců je zobrazena na úrovni jednotlivých buněk tabulky a je vypočítána z vícemodelových odhadů mediánu. Všechny výsledky jsou vypočítány za předpokladu nulové adaptace na klimatickou změnu) (Samaniego et al., 2018, str. 423, graf 2). *Změny průměrné globální teploty jsou uvedeny v [Kelvinech] nad úrovní v období 1971–2000 (asi o 0,5 °C nad úrovní před industrializací).*

6.3 Silné srážky

Všechny indikátory silných srážek ukazují konzistentní nárůst (asi o 20-30 %) v množství zimních srážek v západních regionech České republiky v období 1961–2005 (Kyselý, 2008).

Mezivládní panel pro změny klimatu uvádí, že „zásadní změny v množství silných srážek v porovnání s podmínkami před industrializací jsou evidentní jak při globálním oteplení o 1,5 °C tak o 2 °C (…). Tyto hodnoty jsou také v souladu s výsledky například pro evropský kontinent, přestože analýza byla založena na jiných indikátorech silných srážek. Na základě regionálních klimatických simulací studie provedené Vautard et al. (2014) bylo zjištěno zásadní zvýšení silných srážek ve všech částech Evropy a během všech ročních období, s výjimkou jižní Evropy v létě při oteplení o 2 °C oproti období 1971–2000“ (Ove Hoegh-Guldberg et al., 2018, str. 194).

Četnost případů silných srážek se bude pravděpodobně ve většině Evropy zvyšovat. Předpokládané změny jsou nejvýraznější ve Skandinávii a ve východní Evropě v zimě, kde silné zimní srážky vykazují nárůst až o 35 % pro období 2071–2100 při scénáři oteplení o > 4 °C do roku 2100 (RCP8,5) (Graf 11) (Füssel et al., 2017). Graf 11 ukazuje, že při stejném scénáři (RCP8,5) by v České republice došlo také k nárůstu silných letních srážek až o 25 %.



Poznámka: Tato mapa ukazuje předpokládané změny v silných denních srážkách (%) v zimě a v létě v období 2071–2100 v porovnání se základním obdobím 1971–2000 při scénáři RCP8,5 na základě souhrnného průměru různých RCM začleněných v různých GCM.

Zdroj: EURO-CORDEX (Jacob et al., 2014).

Graf 11: Předpokládané změny v silných letních a zimních srážkách při scénáři oteplení o > 4 °C do roku 2100 (RCP8,5) (Füssel et al., 2017, str. 84)

6.4 Povodně

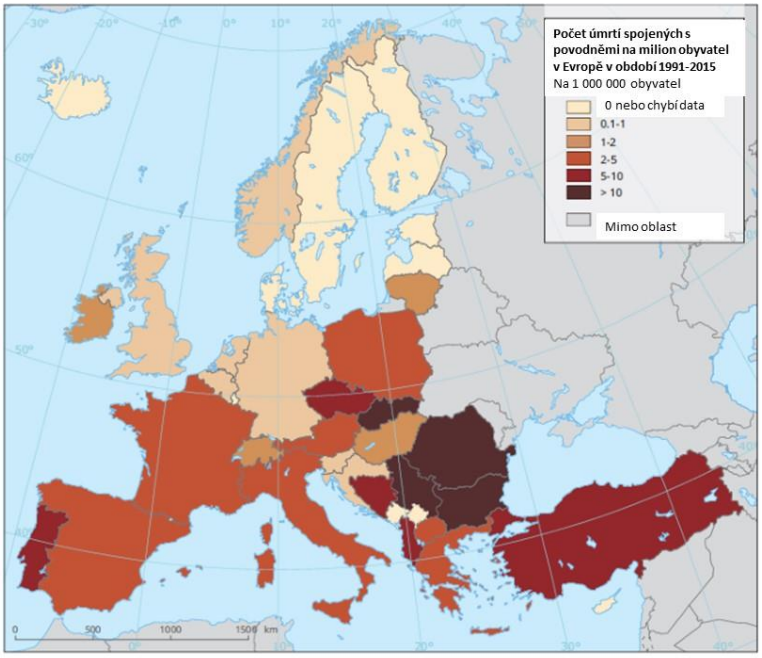
„V období 1980–2010 se počet velmi závažných povodňových událostí v Evropě zvýšil, ovšem se zásadní meziroční variabilitou. Toto zvýšení bývá připisováno přesnějšímu zaznamenávání, změnám ve využívání půdy a zvýšení silných srážek v některých částech Evropy, ale v současnosti není možné kvantifikovat význam těchto faktorů. Podle předpokladů bude globální oteplení zesilovat hydrologický cyklus a zvyšovat výskyt a četnost povodňových událostí v mnoha oblastech Evropy. Pluviální a přívalové záplavy, které jsou způsobeny intenzivními místními srážkovými událostmi, budou pravděpodobně v Evropě stále častější. V oblastech, pro které se v zimě předpovídá snížení sněhové akumulace, se může riziko brzkých jarních povodní snížit. Kvantitativní předpovědi změn v četnosti a závažnosti povodní však i nadále zůstávají značně nejisté“ (Füssel et al., 2017, str. 140).

„Od 70. let 20. století se ztráty spojené s povodněmi v Evropě zásadně zvýšily“. „Trend zvyšujících se ztrát spojených s říčními povodněmi lze primárně připisovat socioekonomickým faktorům, jako je zvyšování bohatství v záplavových zónách, ale zvýšení silných srážek v některých částech Evropy může také hrát svoji roli.“ „Spolehlivé připsání těchto důsledků zatím kvůli nedostatku dat není možné.“

„Co se týče regionálního HDP, povodňová rizika jsou nejvyšší v rozsáhlých oblastech východní Evropy, ve Skandinávii, Rakousku, ve Spojeném království a v částech Francie a Itálie“ (Füssel et al., 2017, str. 141).

„Na konci 21. století lze očekávat nejvyšší zvýšení četnosti stoletých povodní na Britských ostrovech, v severozápadní a jihovýchodní Francii, v severní Itálii, v některých regionech jihovýchodního Španělska, na Balkáně a v karpatském regionu“ (Füssel et al., 2017, str. 142).

Evropská agentura pro životní prostředí zmiňuje vzrůstající zranitelnost vůči povodním v urbanizovaných oblastech Evropy. Konkrétně v České republice představuje region Moravy oblast vysoké zranitelnosti v důsledku své blízkosti řece Moravě v povodí Dunaje (European Environment Agency, 2020, str. 90). Tento region by byl zvlášť závažně ovlivněn povodněmi, protože je hustě osídlen a téměř 2,8 milionu obyvatel žije v blízkosti řeky Moravy (přibližně 3,46 % celkové populace povodí Dunaje) (International Commission for the Protection of the Danube River, 2007). Mezi faktory zásadně zvyšujícími zranitelnost patří „nízký příjem a nízká míra zaměstnanosti, fyzické charakteristiky jako jsou rozsah zastavování území, veřejné povědomí o právech občanů a politická snaha o adaptaci“ (European Environment Agency, 2020, str. 90). Graf 12 demonstruje, že počet úmrtí souvisejících s povodněmi na milion obyvatel v České republice byl historicky v porovnání s ostatními evropskými zeměmi relativně vysoký, dosahoval hodnoty 5–10 úmrtí (EEA, 2020).

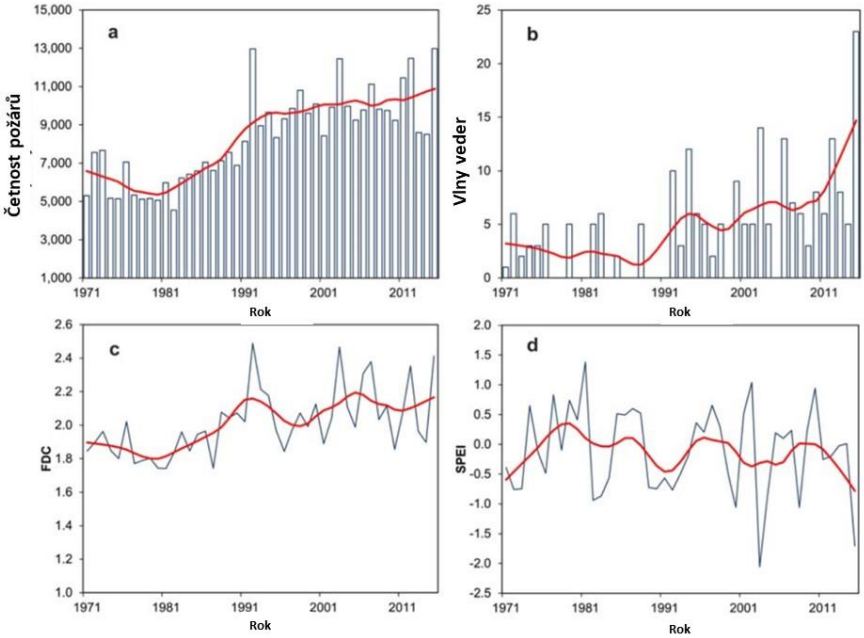


Graf 12: Počet evropských úmrtí v souvislosti s povodněmi na milion obyvatel (1991–2015) (European Environment Agency, 2020, str. 85).

6.5 Požáry

Četnost požárů vegetace[3] se v nejteplejších a nejsušších oblastech České republiky zvýšila mezi lety 1991 a 2015 asi o 70 % v porovnání s obdobím mezi lety 1971 a 1990 (Graf 13) (Mozny et al., 2020). K extrémnímu výskytu požárů vegetace dochází v důsledku kombinace sucha a vln veder, tedy v důsledku klimatické změny (ibid).

[3] „tato studie považuje za požáry vegetace jakékoliv nekontrolované požáry vegetace“ (Mozny et al., 2020)



Graf 13: Výkyvy v četnosti požárů vegetace (a) a vln veder (b), duben–srpen FDC (c) a duben–srpen SPEI (d) v České republice v letech 1971–2015. Data jsou vyhlazena pomocí Gaussova filtru (červená křivka) (Mozny et al., 2020)

V souvislosti s požáry zvláštní zpráva IPCC o stavu půdy uvádí, že „současná míra globálního oteplení je spojená s mírným rizikem nedostatku vody na souši, eroze půdy, úbytku vegetace, poškození požáry, tání permafrostu, degradace pobřeží a snižování výnosu tropických zemědělských plodin (vysoká jistota). Rizika, včetně kaskádových rizik, budou podle předpokladů se zvyšující se teplotou stále závažnější. Okolo míry globálního oteplení o 1,5 °C budou rizika nedostatku vody na souši, poškození v důsledku požárů, degradace permafrostu a nestability řetězce zásobování potravinami vysoká. Při globálním oteplení o 2 °C bude riziko degradace permafrostu a nestability řetězce zásobování potravinami velmi vysoké (střední jistota). Při globálním oteplení o 3 °C je navíc předpovídáno velmi vysoké riziko úbytku vegetace, poškození v důsledku požárů a nedostatku vody na souši (střední jistota)“ (IPCC, 2020, str. 17).

6.6 Ekonomické ztráty

V období mezi lety 1980 a 2017 zaznamenala Česká republika v důsledku extrémního počasí a klimatických událostí ztráty ve výši 10 533 milionů EUR (European Environment Agency, 2019b), tato částka se rovná ztrátě 1 018 EUR na osobu (ibid).

Evropská komise poukazuje také na skutečnost, že v důsledku nedostatečné adaptace bude více obyvatel vystaveno riziku povodní a při všech scénářích bude docházet k vyšším škodám (Graf 14) (Dottori et al., 2020).

	Dnes	2100 – bez adaptace			2100 – s adaptací		
		1,5 °C	2 °C	3 °C	1,5 °C	2 °C	3 °C
Škody (miliard €/rok)	7,8	24	33	48	8,6	9,6	8,6
Počet vystavených osob (1000/rok)	172	252	338	482	92	100	90

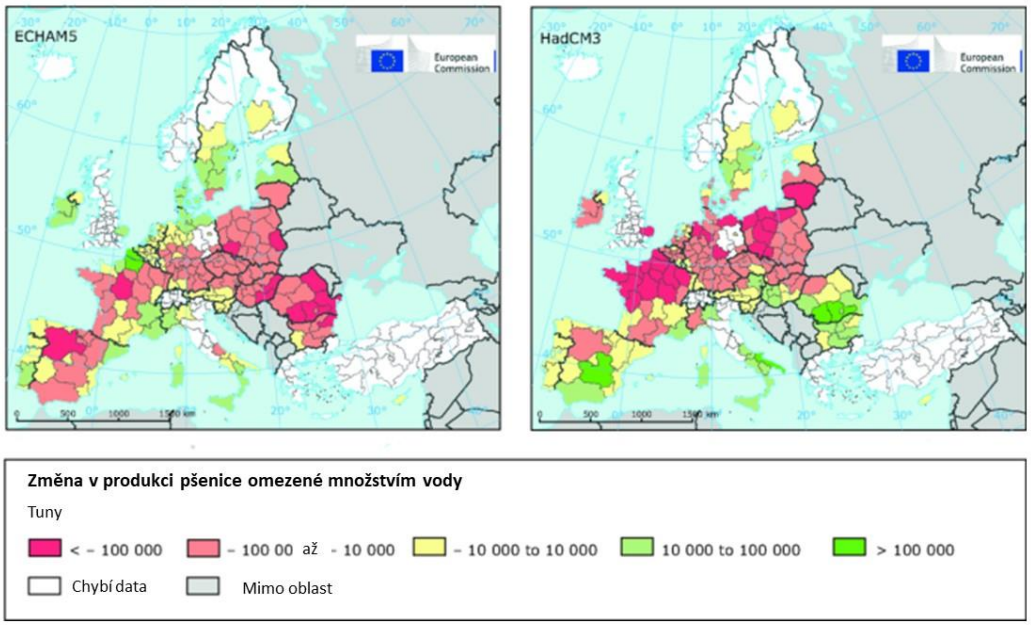
Graf 14: EU + UK roční škody a počty osob vystavených říčním záplavám dnes a do roku 2100 při různých úrovních oteplení s adaptací nebo bez adaptace. Scénář „bez adaptace" je založen na současných protipovodňových opatřeních. Scénář „s adaptací" je založen na implementaci zadržovacích zón, kde bude zachycována přebytečná záplavová voda do takové úrovně, která maximalizuje ekonomický prospěch (Dottori et al., 2020)

7. Zemědělství

7.1 Výnos zemědělských plodin

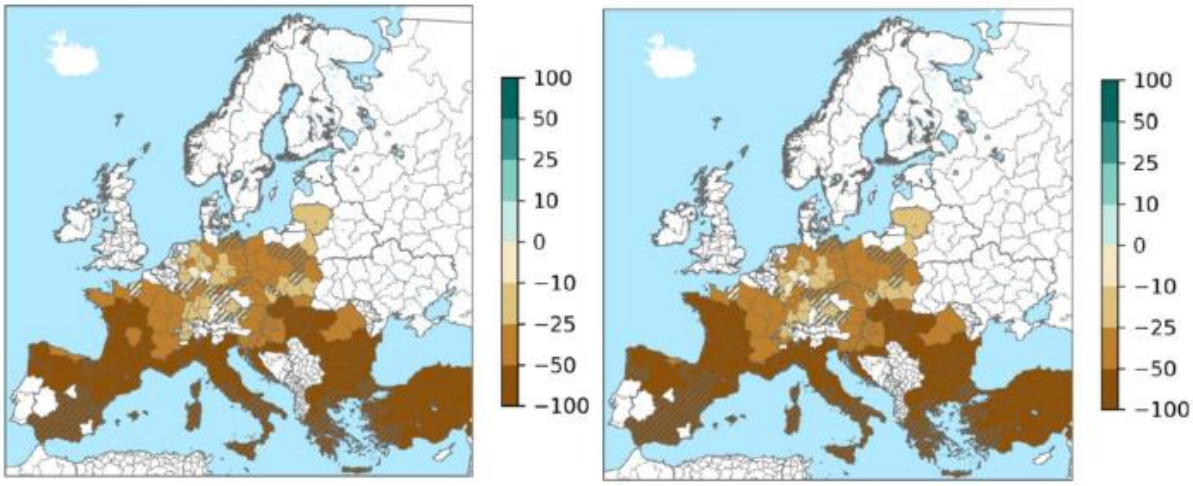
„Klimatická změna má již vliv na potravinovou bezpečnost" v Evropě (vysoká jistota) (IPCC, 2019, str. 453). Jak velkoobjemové zemědělství, tak drobné zemědělství již v Evropě zaznamenalo pokles v produktivitě zemědělských plodin v důsledku zvyšující se teploty a změn v množství srážek (IPCC, 2019, str. 453). Zemědělské systémy jsou vysoce citlivé na změnu a variabilitu klimatu, což dále zhoršuje budoucí rizika spojená s potravinovou bezpečností a socioekonomickou situací. Například budoucí snížení množství dostupné vody a vyšší vystavení extrémním horkům budou mít negativní vliv na místní zemědělskou produkci (Schleussner et al., 2016). Jak již bylo uvedeno v kapitole 6, vlny veder se budou dle projekcí v Evropě zvyšovat, a v důsledku toho také s nimi spojený „výskyt a intenzita sucha" (střední jistota) (IPCC, 2019, str. 133). Východní Evropa bude stále více čelit negativním důsledkům vzrůstající teploty na zemědělské plodiny, jelikož oteplování klimatu „je částečně příčinou stagnace výnosu zemědělských plodin od poloviny 80. let 20. století" (IPCC, 2019, str. 453).

Zejména v České republice se očekává pokles stability výnosu tradičně pěstované kořenové zeleniny v nejteplejších oblastech státu (IPCC, 2019, str. 453). Evropská agentura pro životní prostředí zjistila, že ve východní a střední Evropě změny v teplotách a rozložení srážek mají již nyní negativní vliv na potenciální výnos brambor a obilnin (pšenice, kukuřice a ječmen) (European Environment Agency, 2019b, str. 45). Očekává se, že průměrný výnos brambor se dramaticky sníží při všech RCP scénářích a ve všech obdobích, v některých případech se očekává dokonce zanedbatelný nebo nulový průměrný výnos (Papadimitriou et al., 2019). V důsledku nedostatku vody se očekává další pokles výnosu pšenice, nejdůležitější plodiny v České republice. Graf 15 níže ukazuje v roce 2030 očekávaný pokles produkce pšenice omezené vodou až o 100 000 tun oproti roku 2000 (European Environment Agency, 2020).



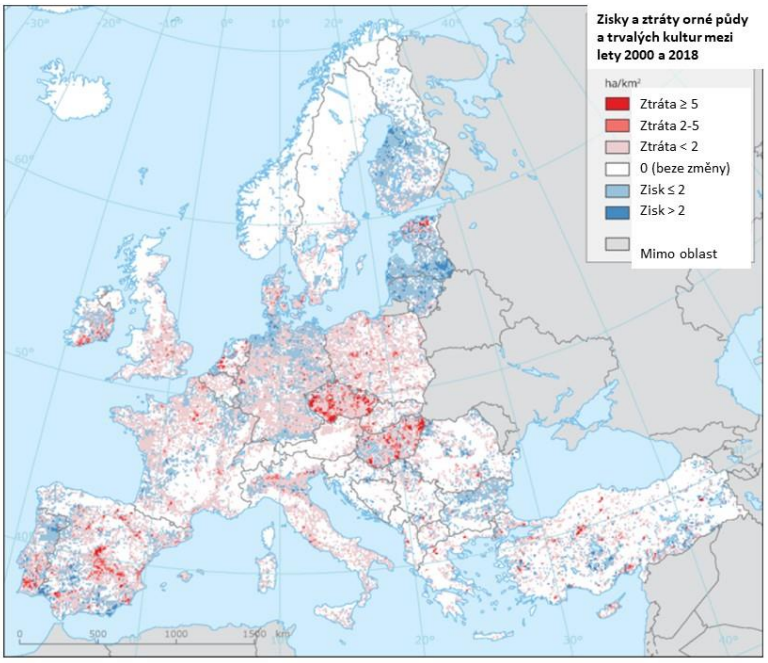
Graf 15: Simulace změny v produkci pšenice omezené množstvím vody v Evropě. Graf zobrazuje simulaci změny v produkci pšenice omezené množstvím vody v roce 2030 v porovnání s rokem 2000 při globálním oteplení o 3 °C do roku 2100 (A1B) při použití studené (vlevo) a teplé (vpravo) projekce klimatické změny (European Environment Agency, 2020).

Klimatická změna v Evropě bude mít největší dopad na produkci kukuřice (Hristov et al., 2020, str. 6). Při srážkovém zavlažování „se očekává kolaps evropské produkce kukuřice okolo roku 2050, kdy ve všech zemích EU klesne výnos kukuřice o více než 23 %“ (Hristov et al., 2020, str. 6). Graf 16 níže ukazuje, že výnos kukuřice v České republice poklesne až o 50 % při obou scénářích globálního oteplení o 1,5 °C a o 2 °C. „Testované adaptační strategie (např. změna doby osevu a osev odrůdami odolnými vůči tepelnému stresu a suchým podmínkám) nebudou dostatečné k vyrovnání se s negativními důsledky klimatické změny“ (Hristov et al., 2020, str. 6).



Graf 16: Soubor průměrných změn ve výnosu kukuřice na zrno (% oproti historickému období) předpokládaných při oteplení o 1,5 °C (vlevo) a o 2 °C (vpravo) za předpokladu, že nebudou zavedeny nové systémy zavlažování (tedy pouze srážková závlaha). Šrafování označuje oblasti, pro které mezi modely panuje nízká shoda (Hristov et al., 2020, str. 7).

Extrémně vysoké teploty snižují výnos zemědělských plodin, jelikož minimalizují fotosyntézu rostlin, efektivitu jejich transpirace a zabraňují rozvoji kořenových systémů (European Environment Agency, 2019b, str. 48). Z grafu 17 níže je patrné, že orná půda a trvalé kultury v České republice již mezi lety 2000 a 2018 zaznamenaly jednu z nejvyšších ztrát (přes 5 ha/km^2) ze všech evropských zemí. K této ztrátě došlo v důsledku celé řady enviromentálních změn (např. pokles biodiverzity) a klimatických vlivů (např. sucha), což mělo negativní dopad na zvyšující se zranitelnost České republiky vůči důsledkům klimatické změny (European Environment Agency, 2019).



Graf 17: Zisky a ztráty orné půdy a trvalých kultur mezi lety 2000 a 2018. Mapa zobrazuje zisky a ztráty orné půdy a trvalých kultur. Změny jsou monitorovány na úrovni 1 ha, mapa je potom agregována v mřížce 10 km^2 (European Environment Agency, 2019)

Klimatická změna pravděpodobně zvýší rozsah a rychlost šíření škůdců a chorob, což v rámci zemědělského roku povede k závažnějšímu a dřívějšímu napadení plodin škůdci (European Environment Agency, 2019b, str. 48). Předpokládá se, že počet generací škůdců ve střední Evropě a v České republice vzroste, což povede ke škodám na plodinách a ke snížení zemědělské produkce (European Environment Agency, 2019b, str. 48).

7.2 Dobytek

Předpokládaný nárůst událostí extrémního počasí a klimatu pravděpodobně také naruší výnos zemědělských plodin a produktivitu chovu dobytka ve všech regionech Evropy (European Environment Agency, 2019b, str. 42). Podle projekcí bude zejména sucho hrát zásadní roli ve snížení produktivity chovu dobytka, protože ovlivní kvalitu pastvin a zdraví dobytka (European Environment Agency, 2019b, str. 42). Obecně lze říci, že klimatická změna přinese důsledky pro chov dobytka přímo, a to svým dopadem na zdraví a welfare zvířat, a také nepřímo, a to svým dopadem na krmivo, vodní zdroje a patogeny (European Environment Agency, 2019b, str. 48). Pro dobytek může navíc zvýšit riziko přenosu infekčních onemocnění (především nemoci pocházející z vody nebo přenášené vektory) (European Environment Agency, 2019b, str. 48). Extrémní klimatické události mohou také vést k nedostatku krmiv a vody, tedy k narušení infrastruktury, nebo mohou snížit dostupnost pastvin (European Environment Agency, 2019b, str. 48). Při teplotě nad 25 °C trpí dobytek zvýšeným tepelným stresem, který snižuje jeho produkci a způsobuje větší náchylnost vůči onemocněním (Gantner et al., 2011). Jak již bylo uvedeno v kapitole 6.1, zvýšená pravděpodobnost výskytu častějších vln veder v nadcházejících desetiletích tedy ohrozí ziskovost chovu dobytka. Další prognózy naznačují, že intenzivní zemědělství může být v budoucnu v České republice výnosnější než chov dobytka a zpracování mléka (Papadimitriou et al., 2019).

7.3 Produkce chmele

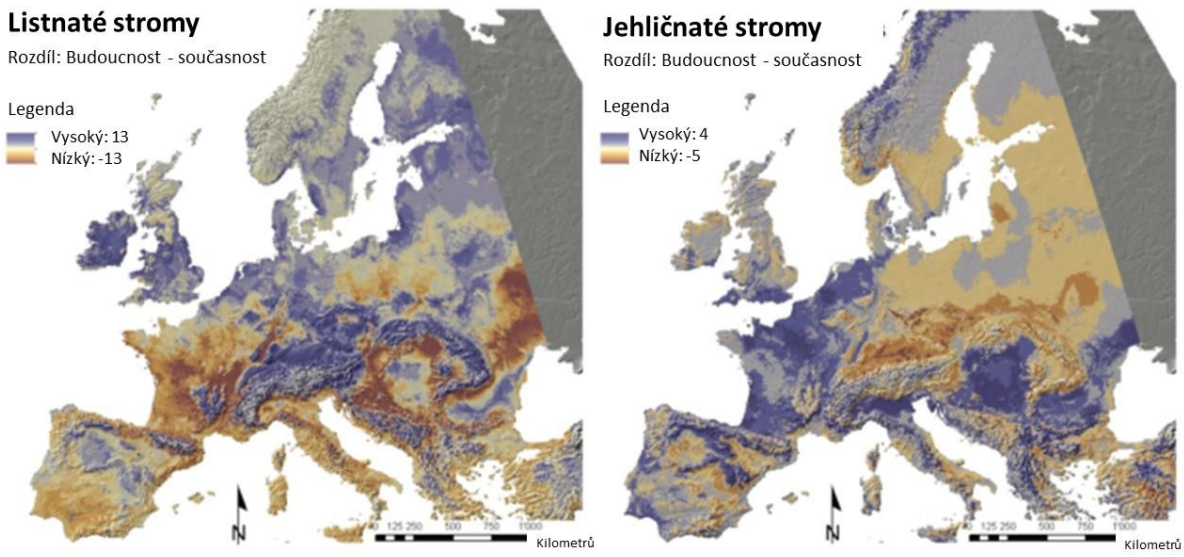
V České republice má pěstování chmele tradici přesahující 1000 let, Česká republika se řadí mezi přední světové producenty chmele (Mozny et al., 2009). Země se specializuje na pěstování žateckého chmele, což je velmi aromatický druh využívaný v pivovarnickém průmyslu (Mozny et al., 2009). Klimatická změna sníží produktivitu hned několika způsoby: „od vysokých teplot během vegetačního období, kratšího vývojového stádia plodiny, snížení kyselosti v důsledku nesezónních srážek nebo nepříznivých teplot a slunečního svitu během vývojového stadia“ (Mozny et al., 2009). Modely předpovídají, že „stále rozsáhlejší a závažnější období sucha a horka způsobená klimatickou změnou povedou k zásadnímu narušení globální konzumace piva a zvyšování jeho cen“ (Xie et al., 2018a). Ekonomické modely dále předpovídají, že průměrná zásoba ječmene v České republice by se mohla snížit až o 38 % při scénáři globálního oteplení o 4,3 °C do konce století, což by mohlo mít zásadní dopad na toto odvětví a celou ekonomiku (Xie et al., 2018b).

8. Lesnictví

Lesy přispívají ke zmírňování klimatické změny prostřednictvím „značného množství uhlíku, který z atmosféry odebírají nebo který naopak uvolňují, vlivu na absorpci nebo odraz slunečního záření, své schopnosti ochlazovat díky evapotranspiraci a díky produkci aerosolů, které napomáhají tvorbě mraků“ (Bastrup-Birk et al., 2016, str. 39).

Z toho plyne, že ztráta lesů v důsledku změny využití půdy nebo převodu a degradace lesů zvyšuje množství CO_2 a dále přispívá ke klimatické změně (Bastrup-Birk et al., 2016, str. 39). Lesy také pomáhají společnosti s adaptací na klimatickou změnu poskytováním ekosystémových služeb, tedy regulací vody, klimatu a eroze, což napomáhá snižování zranitelnosti, a poskytováním kulturních služeb, například rekreačních a náboženských (Research Center for International Forestry, 2012). Lesy mají zvláštní důležitost pro hydrologické ekosystémové služby díky své schopnosti vyrovnávat důsledky klimatické změny prostřednictvím infiltrace, snižováním odtoku a zabraňováním úbytku půdy (Research Center for International Forestry, 2012).

Klimatická změna bude mít pravděpodobně zásadní dopad na lesy střední Evropy, tedy také na lesy v České republice (Hlásny et al., 2014, str. 1), svým vlivem na časové rozložení, intenzitu, míru a četnost disturbancí v lesních ekosystémech. Například změny teploty a množství vody mohou mít vliv na rozšíření druhů a na celkové složení lesa (Bastrup-Birk et el., 2016, str. 39). V důsledku toho přestanou být některé lokality kvůli suchu nebo onemocněním vhodné pro současně zastoupené druhy stromů, což může vést ke snížení rozsahu zalesněných oblastí. Graf 18 níže demonstruje, že vhodnost stanovišť pro druhy stromů v Evropě se zásadním způsobem změní. Při scénáři globálního oteplení o 3 °C do roku 2100 by se klima v České republice stalo nevhodné pro jehličnaté stromy, které v současnosti představují 65 % českých lesů (Fitzgerald and Lindner, 2013, str. 20; Ministerstvo zemědělství České republiky, 2017). Zvyšující se teploty a proměnlivost rozložení srážek mají navíc vliv na „strukturu lesa, složení růstových vzorců, produktivitu a funkci“ (Bastrup-Birk et al., 2016, str. 39). Obzvláště Česká republika, kde k degradaci půdy již dochází, čelí zásadní hrozbě desertifikace (Bastrup-Birk et al., 2016, str. 39).

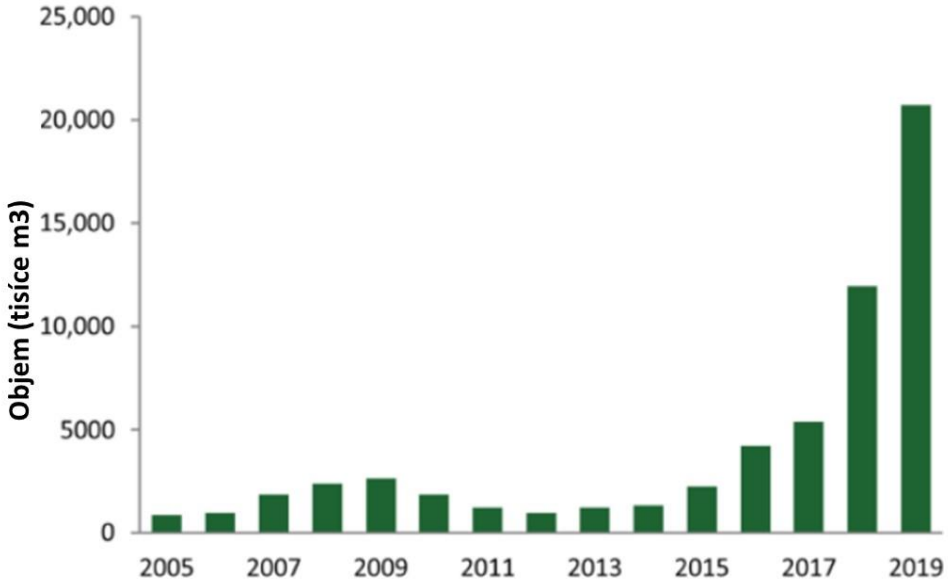


Graf 18: Předpokládaná změna ve vhodnosti klimatu pro listnaté a jehličnaté stromy při globálním oteplení o 3 °C do roku 2100 (scénář A1B) (Fitzgerald and Lindner, 2013, str. 20)

Navíc „klimatická změna pravděpodobně ovlivní populace lesních hmyzích škůdců v důsledku delších teplých období, změn v rozložení srážek, změn v dostupnosti potravy a kvalitativních a kvantitativních změn v populacích predátorů a parazitů“ (Bastrup-Birk et al., 2016, str. 37). Evropské lesy již nyní zaznamenaly zvýšený výskyt škůdců a onemocnění a posun v územním a časovém rozsahu výskytu hmyzu (Bastrup-Birk et al., 2016, str. 41). Například defoliace stromů bekyní velkohlavou vedla ke snížení počtu druhů dubů v celé střední Evropě (Bastrup-Birk et al., 2016, str. 41).

Zejména Česká republika velmi znatelně pocítila vliv kůrovce (*Ips typographus*), druhu, který zásadním způsobem poničil evropské lesy v důsledku horkých a suchých letních období zesílených klimatickou změnou. Dlouhotrvající sucha umožnila kůrovci napadnout množství stromů v českých smrkových lesích, což vedlo k tomu, že „polovina všech lesů v České republice (…) je nyní ohrožena potenciálními škodami způsobenými kůrovcem“ (Anthroposphere, 2019). V roce 2019 země zaznamenala zamoření kůrovcem ve 20,7 milionech m^3 vytěženého smrkového dřeva, nárůst o více než 70 % oproti roku 2018, což je zobrazeno na Grafu 19 níže (Fernandez-Carrillo et al., 2020). Masivní zamoření smrků bylo způsobeno vyššími průměrnými teplotami a nižším množstvím srážek v průběhu předcházejících pěti let v porovnání s dlouhodobým normálním stavem (Fernandez-Carrillo et al., 2020).

Očekává se, že teplejší zimy budou v České republice stále častější (European Environment Agency, 2017; Fiala et al., 2010; Carbon Brief, 2018). Tato skutečnost dále usnadní šíření škůdců, kteří by v minulosti byli vyhubeni mrazem. Reuters uvádí, že v roce 2019 způsobilo „eskalující šíření kůrovce, který hubí nejčastější jehličnatý strom v této středoevropské zemi,“ škody ve výši 1,7 miliardy $ (Reuters, 2019). Jelikož kůrovci vyhovují suchá a horká léta, která se v důsledku klimatické změny prodloužila a zesílila, bude Česká republika vystavena vyššímu riziku další degradace.



Graf 19: Zaznamenaný objem smrkového dřeva vytěženého v České republice v letech 2005 až 2019 a zamořeného kůrovcem (Fernandez-Carrillo et al., 2020).

9. Zdraví

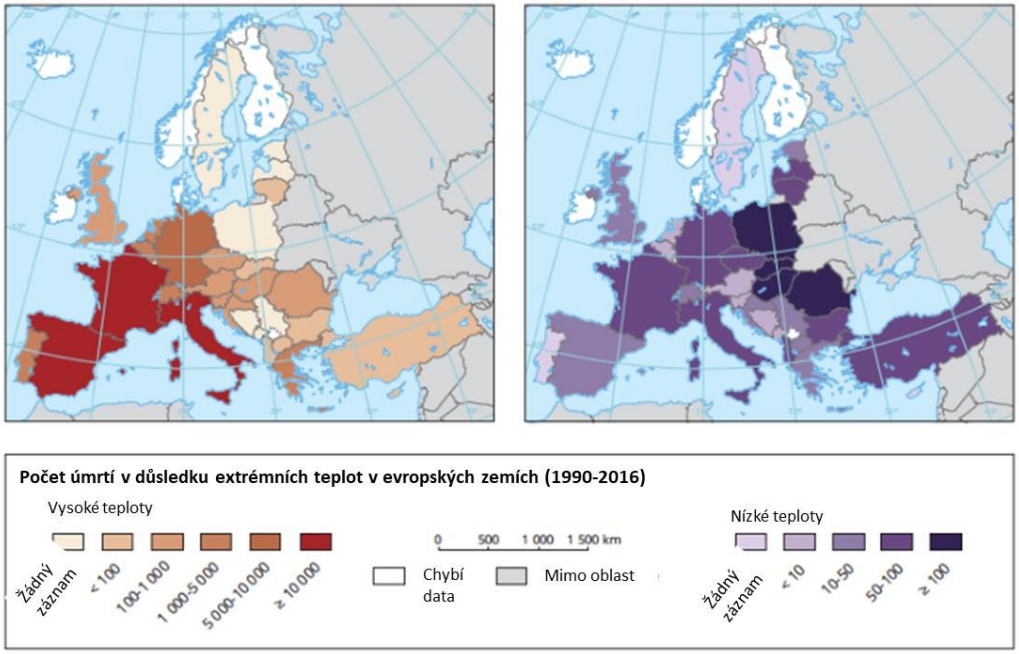
„Klimatická změna přispívá k zátěži onemocněními a k předčasným úmrtím v Evropě“ (European Environment Agency, 2020, str. 81). Představuje zásadní riziko pro zdraví „vedoucí ke zraněním a zvyšujícímu se riziku jak přenosných, tak nepřenosných chorob“ (European Environment Agency, 2020, str. 81). Představuje přímou hrozbu pro zdraví v důsledku způsobených podmínek, jako jsou extrémní horka, požáry nebo povodně, ale přináší s sebou také nepřímá a dlouhodobá rizika, jako jsou změny v rozšíření infekčních onemocnění a alergenů (European Environment Agency, 2020, str. 81). Populace nejvíce ohrožená těmito faktory nejsou jen „osoby vyššího věku, lidé s podlomeným zdravím, těhotné ženy, děti, migranti a opomíjení obyvatelé,“ ale také „urbanizované oblasti s vysokou hustotou zalidnění“ (European Environment Agency, 2020, str. 81).

„Co se týče ekonomických dopadů klimatické změny, celkové zaznamenané ekonomické ztráty způsobené extrémním počasím nebo klimatickými jevy v členských zemích EHP v období 1980–2017 dosáhly přibližně 453 miliard EUR, z čehož téměř třetina je spojená s povodněmi“ (European Environment Agency, 2020, str. 82).

9.1 Teplotní stres a městské tepelné ostrovy

Zvyšující se teplota má vliv na lidské zdraví a úmrtnost, způsobuje únavu z vedra, úžeh, tepelný stres a může také zhoršovat existující zdravotní problémy (European Environment Agency, 2020, str. 82). „Vlny veder jsou nejsmrtelnějším typem extrémního počasí v celé Evropě“, v období 1980–2017 bylo vlnám vedra připisováno 77 637 úmrtí. Ve východní Evropě, včetně České republiky, byl výskyt chladu a bouří další příčinou velkého počtu úmrtí.

V důsledku extrémně vysokých a extrémně nízkých teplot bylo v Evropě mezi lety 1990 a 2016 zaznamenáno 1000 a 100 obětí, jak ukazuje Graf 20 níže (European Environment Agency, 2020, str. 84). Při globálním oteplení o 1,5 °C bude prognózovaný počet nadúmrtí v důsledku extrémního horka představovat 0,6 % všech úmrtí v České republice (Carbon Brief, 2018). Toto číslo by se zvýšilo na 0,9 % v případě globálního oteplení o 2 °C a na 3,6 % v případě globálního oteplení o 4 °C (ibid.).



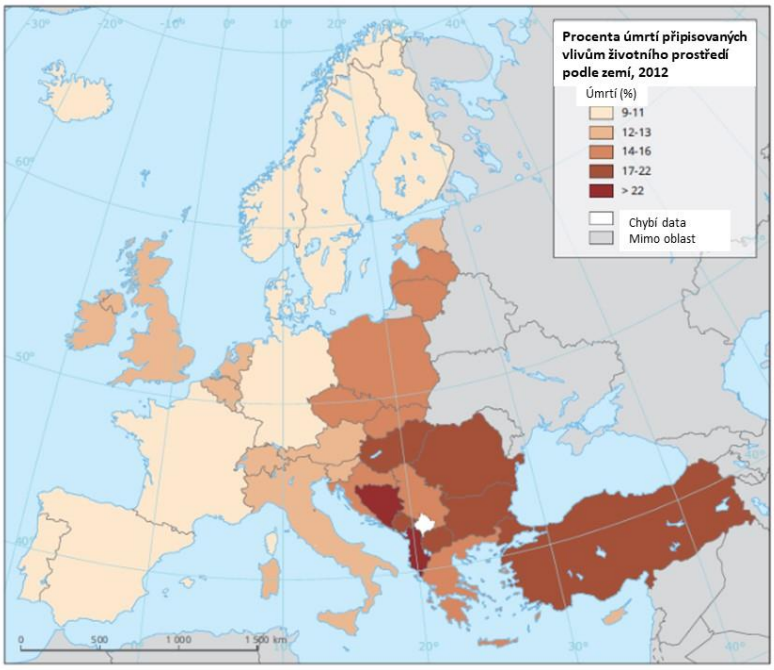
Graf 20: Počet úmrtí v důsledku extrémních teplot v Evropě (1990–2016) (European Environment Agency, 2020, str. 84).

Jelikož klimatická změna může zásadním způsobem ovlivňovat mikroklima ve městech, urbanizované oblasti s vysokou hustotou zalidnění jsou obzvláště zranitelné (European Environment Agency, 2020, str. 81). Efekt městského tepelného ostrova[4] dále přispívá k vyšší míře úmrtnosti zaznamenávané v hustě zalidněných urbanizovaných oblastech.

[4] Efekt městského tepelného ostrova je definován rozdílem teplot vzduchu mezi teplejšími městy a chladnějším okolním venkovem a dosahuje svého maxima v noci za jasných a klidných povětrnostních podmínek.

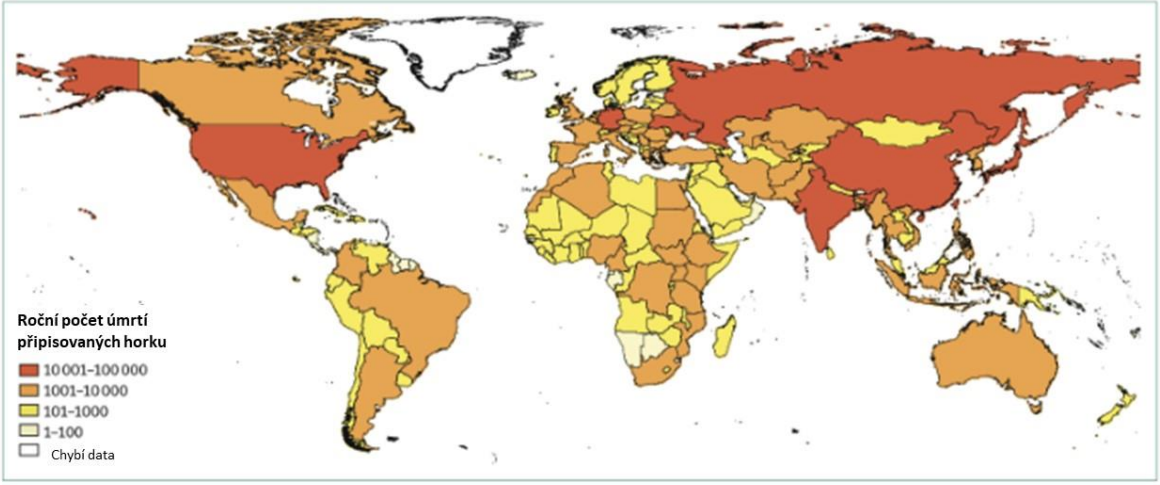
9.2 Úmrtnost

V období 1980–2017 bylo dalších 90 325 úmrtí způsobeno událostmi souvisejícími s počasím. 13 % úmrtí, tedy 630 000 úmrtí ročně, je v Evropě připisováno stresovým faktorům v životním prostředí, jako jsou polutanty (European Environment Agency, 2020, str. 23). Znečištění životního prostředí vede k onemocněním jako jsou rakovina, srdeční onemocnění, mrtvice, respirační onemocnění a neurologické poruchy (European Environment Agency, 2020, str. 23). Navíc „k 90 % úmrtí připisovaných jevům v životním prostředí dochází v důsledku nepřenosných onemocnění, jako jsou rakovina, kardiovaskulární onemocnění, mrtvice, chronické obstruktivní plicní choroby, mentální, behaviorální a neurologické poruchy, cukrovka, onemocnění ledvin a astma“ (European Environment Agency, 2020, str. 23). Graf 21 níže ukazuje zásadní rozdíl mezi jednotlivými evropskými zeměmi, kdy východní části Evropy zaznamenávají nejvyšší podíl úmrtí připisovaných jevům v životním prostředí. V České republice je 14–16 % úmrtí připisováno stresovým faktorům v životním prostředí.



Graf 21: Procenta úmrtí připisovaných vlivům životního prostředí podle zemí v roce 2012 (European Environment Agency, 2020, str. 26).

Zpráva Lancet došla k závěru, že průměrný roční počet úmrtí spojených s horkem u populace starší 65 let v České republice v období 2014–2018 byl 1001–10000 (Watts et al., 2020).

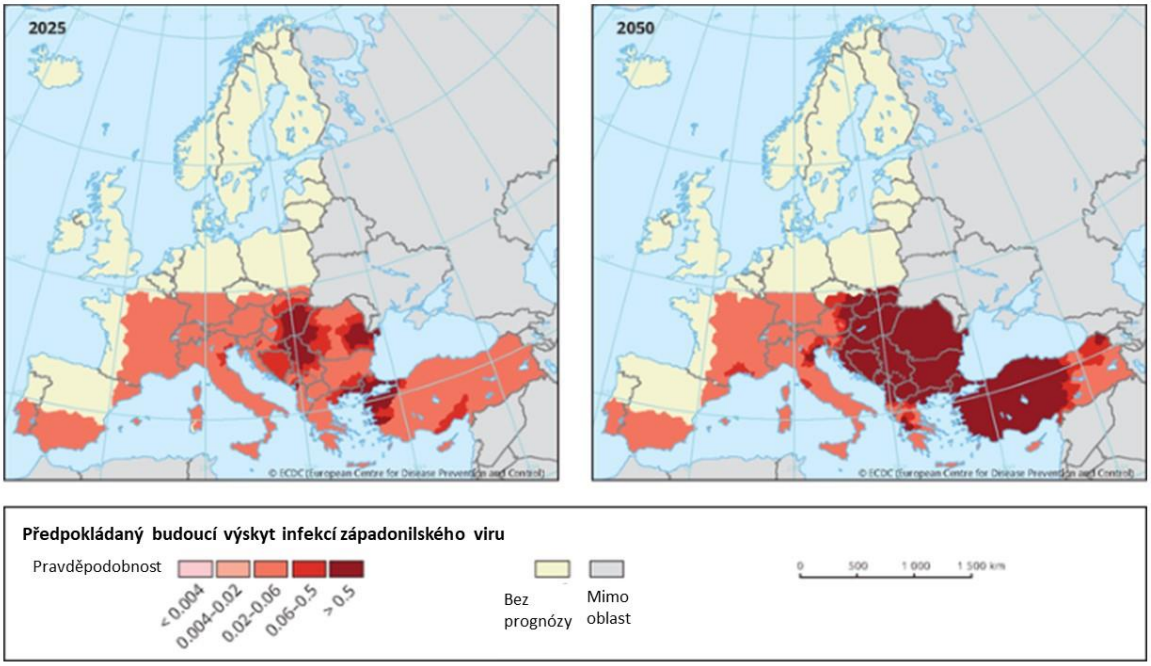


Graf 22: Průměrný roční počet úmrtí spojených s horkem u populace starší 65 let v období 2014 až 2018. (Zdroj: Watts et al., 2020, str. 8)

9.3 Onemocnění přenášená vektory

Onemocnění přenášená vektory často přenáší hmyz nebo hlodavci. „Podle prognóz způsobí klimatická změna zásadní změnu v geografickém a časovém rozložení přítomnosti vektorů a s nimi spojených onemocnění v Evropě a je možné, že umožní výskyt exotických onemocnění, která se v současnosti na tomto kontinentě nevyskytují“ (European Environment Agency, 2020, str. 85).

Klimatická změna byla identifikována jako hlavní příčina šíření druhu klíštěte *Ixodes Ricinus*, přenašeče lymské boreliózy a klíšťové encefalitidy (European Environment Agency, 2020, str. 86). Mezi další vektory, jejichž výskyt se v Evropě rozšiřuje s postupujícím globálním oteplováním, patří komár tygrovaný, který může přenášet horečku dengue, virus chikungunya a Zika virus (European Environment Agency, 2020, str. 86). Místa, která mají podle prognóz být v budoucnu teplejší a vlhčí, jako například Česká republika, budou pro tyto druhy vhodnější než dříve. Pro východní Evropu se předpovídá také zvýšení výskytu západonilského viru, přenášeného komárem (European Environment Agency, 2020, str. 86). Prognóza budoucího rozšíření výskytu západonilského viru (Graf 23) ukazuje více než 0,5 pravděpodobnost výskytu těchto infekcí také v České republice v roce 2050 (EEA, 2016).

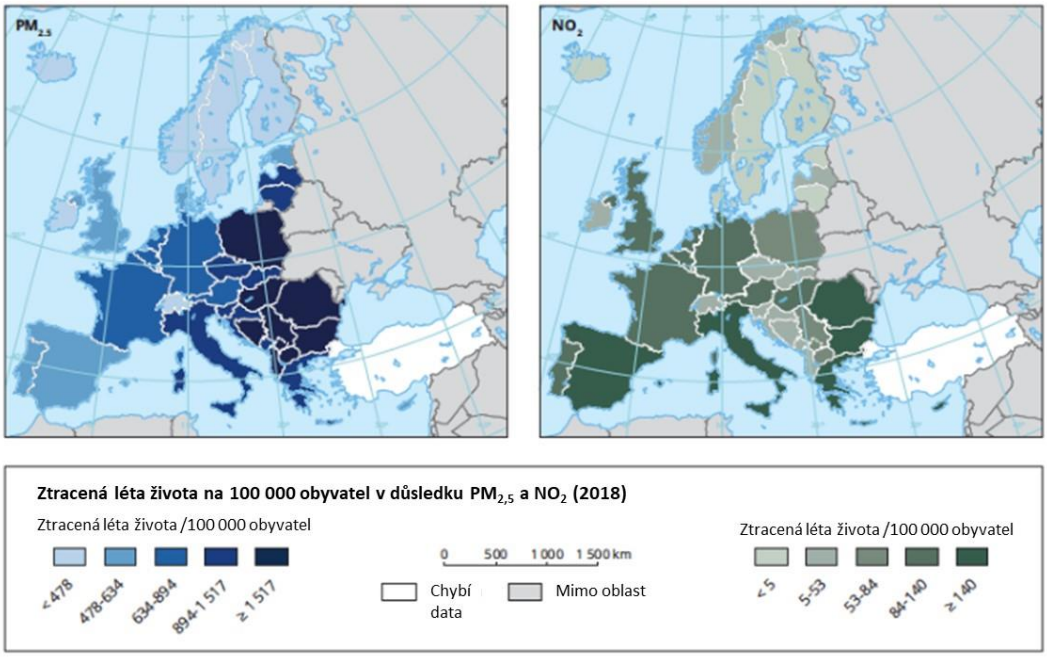


Graf 23: Předpokládaný budoucí výskyt infekcí západonilského viru (European Environment Agency, 2016).

9.4 Kvalita ovzduší a respirační onemocnění

„Znečištění ovzduší je v Evropě největším zdravotním rizikem spojeným s životním prostředím a má zásadní vliv na zdraví evropské populace zejména v urbanizovaných oblastech“ (European Environment Agency, 2020, str. 63). Znečištění ovzduší způsobuje respirační a kardiovaskulární onemocnění, která vedou ke zhoršení funkce plic, k respiračním infekcím a ke zhoršení astmatu (European Environment Agency, 2020, str. 63).

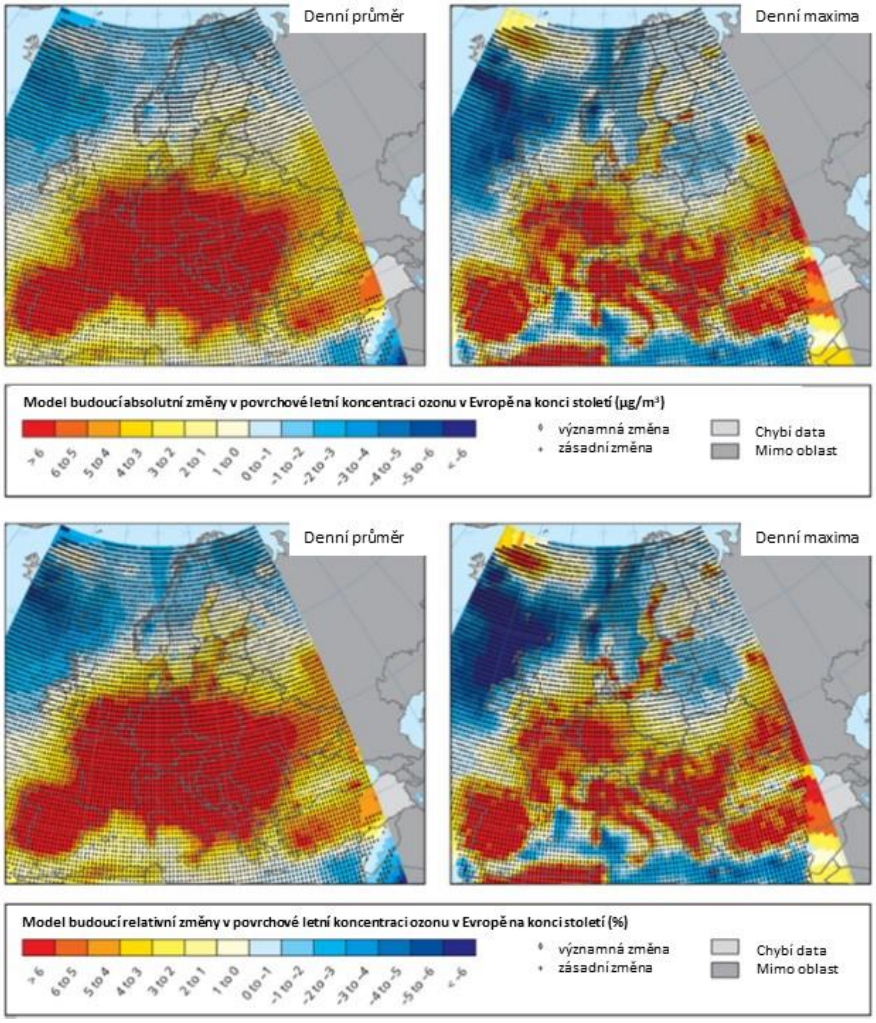
Nejzávažnějšími polutanty s negativním vlivem na lidské zdraví v Evropě, včetně České republiky, jsou pevné částice v ovzduší (PM), oxid dusičitý (NO_2) a přízemní ozón (European Environment Agency, 2020, str. 63). V roce 2018 „ve 28 zemích EU došlo přibližně k 379 000 předčasných úmrtí v důsledku působení pevných částic v ovzduší. Dalších 19 400 úmrtí je připisováno působení ozónu a k 54 000 úmrtí došlo v důsledku vystavení NO_2 (European Environment Agency, 2020, str. 65).



Graf 24: Ztracená léta života na 100 000 obyvatel v důsledku působení $PM_{2,5}$ (vlevo) a NO_2 (vpravo) v roce 2018 (European Environment Agency, 2020, str. 67).

Graf 24 ukazuje, že v České republice bylo mezi 894–1517 lety života na 100 000 obyvatel ztraceno v důsledku působení pevných částic v ovzduší a mezi 5-53 lety života na 100 000 obyvatel ztraceno v důsledku působení NO_2 (European Environment Agency, 2020, str. 67). Více než 50 % pevných částic v ovzduší v urbanizovaných oblastech v České republice pochází z jiných zdrojů než ze zemědělství (Thunis et al., 2018). Proto by země mohla prostřednictvím úplného vyloučení fosilních paliv a splněním cíle oteplení o 1,5 °C snížit do roku 2050 množství pevných částic v ovzduší o 50 % nebo více (konzervativní odhad).

Troposférický ozon (O_2) je hlavním polutantem znečišťujícím vzduch, který má vliv na kardiopulmonální systém (Jahn and Hertig, 2020a). Vysoká koncentrace ozonu může způsobovat například záněty plic, poškození plicní tkáně, astma, infarkty a další respirační nebo kardiovaskulární onemocnění (Jahn and Hertig, 2020b). Graf 25 ukazuje, že koncentrace ozonu se bude podle prognóz ve 21. století zvyšovat a představovat značné riziko pro lidské životy. Kombinace vysoké koncentrace ozonu a zvyšujících se teplot ve stejných oblastech by mohla vytvořit „zásadní riziko pro lidský život v důsledku spojení těchto dvou faktorů a jejich kombinovaných důsledků pro lidské zdraví“ (Jahn and Hertig, 2020b).



Graf 25: Model budoucí změny (absolutní a relativní) v povrchové letní koncentraci ozonu (vlevo: denní průměr, vpravo: denní maxima) v Evropě na konci století. Absolutní a relativní rozdíly mezi budoucím (2071–2100) a současným (1960–2010) letním průměrem denní a maximální koncentrace ozonu na souboru tří modelů. Zobrazené modelové posuny jsou způsobeny pouze klimatickou variabilitou a změnou. Znak diamantu je umístěn na místech s významnou změnou a znak plus je umístěn na místech se zásadní změnou v průběhu dvou třetin modelových let. Období let 2071–2100 je vybráno jako reprezentativní období pro konec 21. století (2100) (European Environment Agency, 2015).

Kvalita ovzduší a související vznik respiračních onemocnění pravděpodobně povede ke značným ekonomickým ztrátám v důsledku „zkracování životů, rostoucích nákladů na zdravotní péči a snížení produktivity skrze ztracené pracovní dny v celé ekonomice“ (European Environment Agency, 2020, str. 65).

Jak již bylo zmíněno výše, znečištění ovzduší (například pevnými částicemi) je spojeno s významnými nepříznivými důsledky pro zdraví, jako je astma, a ve velké míře se vyskytuje především ve městech nebo v blízkosti chemického průmyslu. V nedávné době byla také nalezena „souvislost mezi koncentrací polutantů v ovzduší a lidskými respiračními viry, které v kombinaci nepříznivě ovlivňují dýchací systém“ (Domingo et al., 2020). Řada studií navíc ukazuje, že „chronické vystavení některým polutantům v ovzduší vede k vážnějším a letálním formám onemocnění COVID-19 a k delšímu/komplikovanějšímu procesu uzdravování u pacientů s tímto onemocněním“ (Domingo et al., 2020).

9.5 Mentální zdraví

Klimatická změna představuje zásadní hrozbu pro mentální zdraví (Wu et al., 2020, str. 435). I v zemích, které zatím nejsou přímo ovlivněny devastací v důsledku klimatické změny, „evidujeme množství osobních a klinických záznamů subklinických depresivních stavů, pocitů zoufalství a viny spojených s klimatickou krizí a dalšími globálními environmentálními problémy“ (Ingle and Mikulewicz, 2020, str. 1). Vědomí, že nebezpečí se blíží, ale nemáme ve svých rukou potřebné schopnosti nebo možnosti jej zmírnit, je klíčovým faktorem přispívajícím k obavám spojeným s klimatem a ekologickými otázkami, což může vést k „dramatickým reakcím, jako je například ztráta chuti k jídlu, nespavost a záchvaty paniky“ (Ingle and Mikulewicz, 2020, str. 1). V lidech mohou vznikat pocity bezmoci pramenící ze skutečnosti, že nejsou schopni situaci zlepšit, a zanechávají v nich nevyřešený pocit ztráty, neschopnosti reagovat a frustrace (Ingle and Mikulewicz, 2020, str. 1). Mezi obzvláště ohrožené skupiny patří lidé s nižším socio-ekonomickým statusem, u kterých se může rozvinout obava, že klimatická změna povede k narušení jejich života ve formě ztráty života, zdrojů, sociální podpory nebo k relokaci (Cianconi et al., 2020). Zvýšená mentální zátěž se objevuje zvláště v zemích vážně zasažených enviromentálními katastrofami.

Současné riziko výskytu povodní v České republice blíže popsané v kapitole 6.4 je obzvláště relevantní proto, že ovlivňuje mentální zdraví obětí. EEA uvádí, že „stres způsobený obětím povodní může ovlivnit mentální zdraví obětí i v dlouhodobém časovém horizontu po takové události. Až tři čtvrtiny osob zasažených povodněmi zaznamenaly následky na svém mentálním zdraví“ (European Environment Agency, 2020, str. 85).

Zpráva Lancet odhalila, že mladí lidé (ve věku 10-24) neúměrně trpí eko-obavami a souvisejícími psychologickými důsledky (Wu et al., 2020, str. 435). 1,6 milionu školou povinných protestujících (jen v březnu 2019) projevilo obavu o svou kolektivní budoucnost. Přírodní katastrofy, jako jsou například povodně, povedou ke zvýšení výskytu depresí, úzkosti, post-traumatického stresu a poruch mentálního zdraví (Wu et al., 2020, str. 435). Mladí lidé se nacházejí „v rozhodujícím období svého fyzického a psychologického vývoje, kdy zvýšená zranitelnost vůči důsledkům stresu a každodenní úzkosti zvyšuje riziko budoucích depresí, úzkosti a poruch spojených s užíváním návykových látek“ (Wu et al., 2020, str. 435).

10. Reference

Anthroposphere, 2019. https://www.anthroposphere.co.uk/post/on-bark-beetles-and-droughts-in-the-czech-republic.

Bastrup-Birk, A., Reker, J., Zal, N., 2016. European forest ecosystems: State and trends, EEA Report n° 5/2016.

Carbon Brief, 2018. https://interactive.carbonbrief.org/impacts-climate-change-one-point-five-degrees-two-degrees/.

Climate Analytics; New Climate Institute, 2020. The CAT thermometer [WWW Document]. URL https://climateactiontracker.org/global/cat-thermometer/ (accessed 11.17.20).

Domingo, J.L., Marquès, M., Rovira, J., 2020. Influence of airborne transmission of SARS-CoV-2 on COVID-19 pandemic. A review. Environ. Res. 188, 17–20. https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109861

Dottori, F., Mentaschi, L., Bianchi, A., Alfieri, L., Feyen, L., 2020. JRC Technical report. Adapting to rising river flood risk in the EU under climate change JRC PESETA IV project-Task 5. https://doi.org/10.2760/14505

European Environment Agency, 2020. Healthy environment, healthy lives: how the environment influences health and well-being in Europe.

European Environment Agency, 2019a. Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe. EEA Rep. 112.

European Environment Agency, 2019b. Economic losses from climate-related extremes in Europe [WWW Document]. URL https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/direct-losses-from-weather-disasters-3/assessment-2 (accessed 11.16.20).

European Environment Agency, 2019c. Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe 112.

European Environment Agency, 2015. Air pollution due to ozone: health impacts and effects of climate change [WWW Document]. URL https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/air-pollution-by-ozone-2/assessment

European Environmental Agency, 2020. https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/simulated-change-in-water-limited.

European Environmental Agency, 2019. https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/agriculture-land-loss-and-difference [WWW Document].

Fitzgerald, J., Lindner, M., n.d. Adapting to climate change in European forests 110.

Füssel, H.-M., Jol, A., Marx, A., Hildén, M., 2017. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016 — European Environment Agency, European Environment Agency.

Hlásny, T., Mátyás, C., Seidl, R., Kulla, L., Merganičová, K., Trombik, J., Dobor, L., Barcza, Z., Konôpka, B., 2014. Climate change increases the drought risk in Central European forests: What are the options for adaptation? For. J. 60, 5–18. https://doi.org/10.2478/forj-2014-0001

Hoegh-Guldberg, O., D. Jacob, M., Taylor, M., Bindi, S., Brown, I., Camilloni, A., Diedhiou, R., Djalante, K.L., Ebi, F., Engelbrecht, J., Guiot, Y., Hijioka, S., Mehrotra, A., Payne, S.I., Seneviratne, A., Thomas, R.W., Zhou, G., 2018. Chapter 3: Impacts of 1.5°C of Global Warming on Natural and Human Systems, in: Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P.R., Pirani, A., Moufouma-Okia, W., Péan, C., Pidcock, R., Connors, S., Matthews, J.B.R., Chen, Y., Zhou, X., Gomis, M.I., Lonnoy, E.,

Maycock, T., Tignor, M., Waterfield, T. (Eds.), Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 175–311.

Hristov, J., Toreti, A., Pérez, I., Dentener, F., Fellmann, T., Elleby, C., Ceglar, A., Fumagalli, D., Niemeyer, S., Cerrani, I., Panarello, L., Bratu, M., 2020. Analysis of climate change impacts on EU agriculture by 2050. https://doi.org/10.2760/121115

Ingle, H.E., Mikulewicz, M., 2020. Mental health and climate change: tackling invisible injustice. Lancet Planet. Heal. 4, e128–e130. https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30081-4

International Commission for the Protection of the Danube River, 2007. Czech Republic [WWW Document]. URL https://www.icpdr.org/main/danube-basin/czech-republic (accessed 11.16.20).

Ionita, M., Tallaksen, L.M., Kingston, D.G., Stagge, J.H., Laaha, G., Van Lanen, H.A.J., Scholz, P., Chelcea, S.M., Haslinger, K., 2017. The European 2015 drought from a climatological perspective. Hydrol. Earth Syst. Sci. 21, 1397–1419. https://doi.org/10.5194/hess-21-1397-2017

IPCC, 2020. Summary for Policymakers, in: Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmot. pp. 1–15. https://doi.org/10.1002/9781118786352.wbieg0538

IPCC, 2019. Summary for Policymakers. IPCC Spec. Rep. Clim. Chang. Desertif. L. Degrad. Sustain. L. Manag. food Secur. Greenh. gas fluxes Terr. Ecosyst. https://doi.org/10.4337/9781784710644

IPCC, 2014. Data Distribution Centre [WWW Document]. IPCC. URL https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/glossary/glossary_s.html

Jahn, S., Hertig, E., 2020a. Modeling and projecting health-relevant combined ozone and temperature events in present and future Central European climate. Air Qual. Atmos. Heal. 3.

Jahn, S., Hertig, E., 2020b. Modeling and projecting health-relevant combined ozone and temperature events in present and future Central European climate. Air Qual. Atmos. Heal. 3.

King, A.D., Karoly, D.J., 2017. Climate extremes in Europe at 1.5 and 2 degrees of global warming. Environ. Res. Lett. 12, 114031. https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa8e2c

Kyselý, J., 2008. Trends in heavy precipitation in the Czech Republic over 1961-2005. Int. J. Climatol. 2011–2029. https://doi.org/10.1002/joc.1784

Ministry of Agriculture of the Czech Republic, 2018. https://informar.eu/sites/default/files/pdf/Presentation%20CZ%20062018.pdf.

Moss, R., Babiker, M., Brinkman, S., Calvo, E., Carter, T., Edmonds, J., Elgizouli, I., Emori, S., Erda, L., Hibbard, K., Jones, R., Kainuma, M., Kelleher, J., Lamarque, J.F., Manning, M., Matthews, B., Meehl, J., Meyer, L., Mitchell, J., Nakicenovic, N., O'Neill, B., Pichs, R., Riahi, K., Rose, S., Runci, P., Stouffer, R., Vuuren, D. van, Weyant, J., Wilbanks, T., Ypersele, J.P. van, Zurek, M., 2008. Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts and Response Strategies, IPCC Expert Meeting Report. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland.

Moss, R., Edmonds, J., Hibbard, K., Manning, M., Rose, S., van Vuuren, D., Carter, T., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G. a, Mitchell, J.F.B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P., Wilbanks, T.J., 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. Nature 463, 747–56. https://doi.org/10.1038/nature08823

Mozny, M., Tolasz, R., Nekovar, J., Sparks, T., Trnka, M., Zalud, Z., 2009. The impact of climate change on the yield and quality of Saaz hops in the Czech Republic. Agric. For. Meteorol. 149, 913–919. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.02.006

Mozny, M., Trnka, M., Brázdil, R., 2020. Climate change driven changes of vegetation fires in the Czech Republic.

Naumann, G., Russo, S., Formetta, G., Ibarreta, D., Forzieri, G., Girardello, M., Feyen, L., 2020. Global warming and human impacts of heat and cold extremes in the EU. Publ. Off. Eur. Union. https://doi.org/10.2760/47878

Ove Hoegh-Guldberg, Jacob, D., Taylor, M., et al, 2018. Chapter 3: Impacts of 1.5°C global warming on natural and human systems, in: Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P.R., Pirani, A., Moufouma-Okia, W., Péan, C., Pidcock, R., Connors, S., Matthews, J.B.R., Chen, Y., Zhou, X., Gomis, M.I., Lonnoy, E., Maycock, T., Tignor, M., Waterfield, T. (Eds.), Global Warming of 1.5 C :An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5 C above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change,. IPCC, Geneva, Switzerland. https://doi.org/10.1093/aje/kwp410

Reuters, 2019. https://www.reuters.com/article/czech-environment-barkbeetle-idUSL5N26S1SE.

Samaniego, L., Thober, S., Kumar, R., Wanders, N., Rakovec, O., Pan, M., Zink, M., Sheffield, J., Wood, E.F., Marx, A., 2018. Anthropogenic warming exacerbates European soil moisture droughts. Nat. Clim. Chang. 8, 421–426. https://doi.org/10.1038/s41558-018-0138-5

Spinoni, J., Lakatos, M., Szentimrey, T., Bihari, Z., Szalai, S., Vogt, J., Antofie, T., 2015. Heat and cold waves trends in the Carpathian Region from 1961 to 2010. Int. J. Climatol. 35, 4197–4209. https://doi.org/10.1002/joc.4279

Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., (eds.), V.B. and P.M.M., 2013. Summary for Policymakers, in: Intergovernmental Panel on Climate Change (Ed.), Climate Change 2013 - The Physical Science Basis. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 1–30. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Thunis, P., Degraeuwe, B., Pisoni, E., Trombetti, M., Peduzzi, E., Belis, C.A., Wilson, J., Clappier, A., Vignati, E., 2018. PM2.5 source allocation in European cities: A SHERPA modelling study. Atmos. Environ. 187, 93–106. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.05.062

Trnka, M., Hlavinka, P., Možný, M., Semerádová, D., Štěpánek, P., Balek, J., Bartošová, L., Zahradníček, P., Bláhová, M., Skalák, P., Farda, A., Hayes, M., Svoboda, M., Wagner, W., Eitzinger, J., Fischer, M., Žalud, Z., 2020. Czech Drought Monitor System for monitoring and forecasting agricultural drought and drought impacts. Int. J. Climatol. 1–18. https://doi.org/10.1002/joc.6557

Wu, J., Snell, G., Samji, H., 2020. Climate anxiety in young people: a call to action. Lancet Planet. Heal. 4, e435–e436. https://doi.org/10.1016/S2542-5196(20)30223-0

Xie, W., Xiong, W., Pan, J., Ali, T., Cui, Q., Guan, D., Meng, J., Mueller, N.D., Lin, E., Davis, S.J., 2018a. Decreases in global beer supply due to extreme drought and heat. Nat. Plants 4, 964–973. https://doi.org/10.1038/s41477-018-0263-1

Xie, W., Xiong, W., Pan, J., Ali, T., Cui, Q., Guan, D., Meng, J., Mueller, N.D., Lin, E., Davis, S.J., 2018b. Decreases in global beer supply due to extreme drought and heat. Nat. Plants 4, 964–973. https://doi.org/10.1038/s41477-018-0263-1