Odborné analýzy lesnicko-hospodářské, klimatologické, pedologické a zemědělské pro účely řešení projektu číslo EHP-CZ02-OV-1-039-2015 s názvem „Komplexní plánovací, monitorovací, informační a vzdělávací nástroje pro adaptaci území na dopady klimatické změny s hlavním zřetelem na zemědělské a lesnické hospodaření v krajině“

Souhrnná výzkumná zpráva

Zhotovitel:

Tým pracovníků Centra výzkumu globální změny AV ČR v.v.i.
Vedoucí týmu: prof. Ing. Mgr. Miroslav Trnka, Ph.D.

Obsah

1. Úvod a scénáře změny klimatu 3

2. Vymezení nejzranitelnějších oblastí 6

3. **Riziko ohrožení suchem** 7

4. **Dopad na prekurzory zemědělské produktivity** 12

5. **Změna lokace výrobních oblastí** 16

6. **Celkové zhodnocení** 18

1. Úvod a scénáře změny klimatu

Předmětem této zprávy je vyhodnotit je zpracování analýz pro účely řešení projektu číslo EHP-CZ02-OV-1-039-2015 s názvem „Komplexní plánovací, monitorovací, informační a vzdělávací nástroje pro adaptaci území na dopady klimatické změny s hlavním zřetelem na zemědělské a lesnické hospodaření v krajině“ financovaného z fondu EHP 2009 - 2014 programu CZ02 - Biodiverzita a ekosystémové služby/. Studie se zaměřuje na území Jihomoravského kraje a navazuje na zprávu hodnotící dopady očekávaných klimatických podmínek zpracovanou pro výše uvedený projektu v říjnu tohoto roku. Podobně jako předchozí studie byla i tato část zpracována na základě 5 vybraných globálních cirkulačních modelů (GCM) a to pro dva emisní scénáře a období 2021-2040. Protože detailní popis použitých scénářů obsahuje předešlá zpráva omezujeme se v tomto textu pouze na nejdůležitější výstupy relevantní pro JMK.

Očekávané změny jsou zachyceny v tabulkách 1.1-1.4 pro Jihomoravský kraj jako odchylka od hodnoty v referečním období 1991-2010. Obr. 1.1. pak zachycuje hodnoty 4 vybraných klimatických prvků výrazně ovlivněných změnou klimatu tj. denní maximální teploty (Tmax), denní minimální teploty (Tmin), úhrnu srážek (Rain) a sumy globální radiace (Srad). Tyto hodnoty jsou prezentovány v ročním průměru (Tmax, Tmin) resp. v roční sumě (Rain a Srad) pro období 1961-2014 vs. změny očekávané podle 6 vybraných GCM modelů a 2 emisních scénářů vždy pro období 2021-2040.
Z tabulek jednoznačně vyplývá riziko poměrně výrazného zvýšení teploty na území JMK v nejlbižších 25 letech. Toto zvýšení je větší (a to i podle nejpříznivějšího scénáře) než jaké bylo zaznamenáno v průběhu 20. století. Tyto změny teplot pak provází poměrně výrazný nárůst slunečního záření. Na druhé straně v případě srážek je očekávána stagnace případně mírný růst, který však v žádném případě nebude dostatečný na kompenzaci nárůstu teplot a globální radiace. V následujících kapitolách budou nejprve vymezeny nejzranitelnější oblasti na základě metodiky aplikované v Generelu vodního hospodářství krajiny ČR. Následovat pak bude analýza a detailní pozornost bude věnována produkčním předpokladům území a dopadu očekávaných změn ně.

Tabulka 1.1. Změna hodnot Tmax (°C) v jednotlivých měsících a v celém roce na území JMK pro 6 GCM modelů vyjádřená jako odchylka parametru v letech 2021-2040 vs. 1991-2010.

MAXIMÁLNÍ TEPLOTA - Změna oproti období 1991-2010 (°C)													
Model	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**Rok**
BNU_RCP45	1.4	1.1	0.8	1.0	1.1	1.4	1.8	1.9	1.7	1.3	1.1	1.3	**1.3**
BNU_RCP85	1.5	1.3	0.9	1.1	1.2	1.5	2.1	2.1	1.9	1.5	1.2	1.4	**1.5**
CNRM_RCP45	1.5	1.9	1.1	0.9	0.5	0.9	1.1	1.3	1.0	0.9	1.4	1.4	**1.2**
CNRM_RCP85	1.7	2.1	1.3	1.0	0.5	1.0	1.3	1.4	1.1	1.0	1.5	1.5	**1.3**
HadGEM2_RCP45	1.3	1.4	1.5	1.1	1.0	1.3	2.0	2.6	2.6	2.3	1.7	1.2	**1.7**
HadGEM2_RCP85	1.5	1.6	1.7	1.3	1.1	1.4	2.3	2.9	2.9	2.5	1.9	1.3	**1.9**
IPSL_RCP45	0.9	1.2	1.0	1.0	1.2	2.0	1.7	1.6	1.6	1.7	1.1	1.1	**1.4**
IPSL_RCP85	1.0	1.3	1.1	1.1	1.3	2.3	1.9	1.8	1.8	1.9	1.3	1.2	**1.5**
MIROC5_RCP45	2.1	2.5	2.9	2.2	2.5	2.0	2.2	2.4	2.2	2.2	2.5	1.9	**2.3**
MIROC5_RCP85	2.3	2.7	3.2	2.4	2.7	2.2	2.4	2.7	2.4	2.5	2.7	2.1	**2.5**
MRI_RCP45	1.1	0.8	0.6	0.6	0.6	0.5	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.8	**0.8**
MRI_RCP85	1.2	0.9	0.6	0.6	0.6	0.6	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	0.9	**0.9**

Tabulka 1.2. Změna hodnot Tmin (°C) v jednotlivých měsících a v celém roce na území JMK pro 6 GCM modelů vyjádřená jako odchylka parametru v letech 2021-2040 vs. 1991-2010

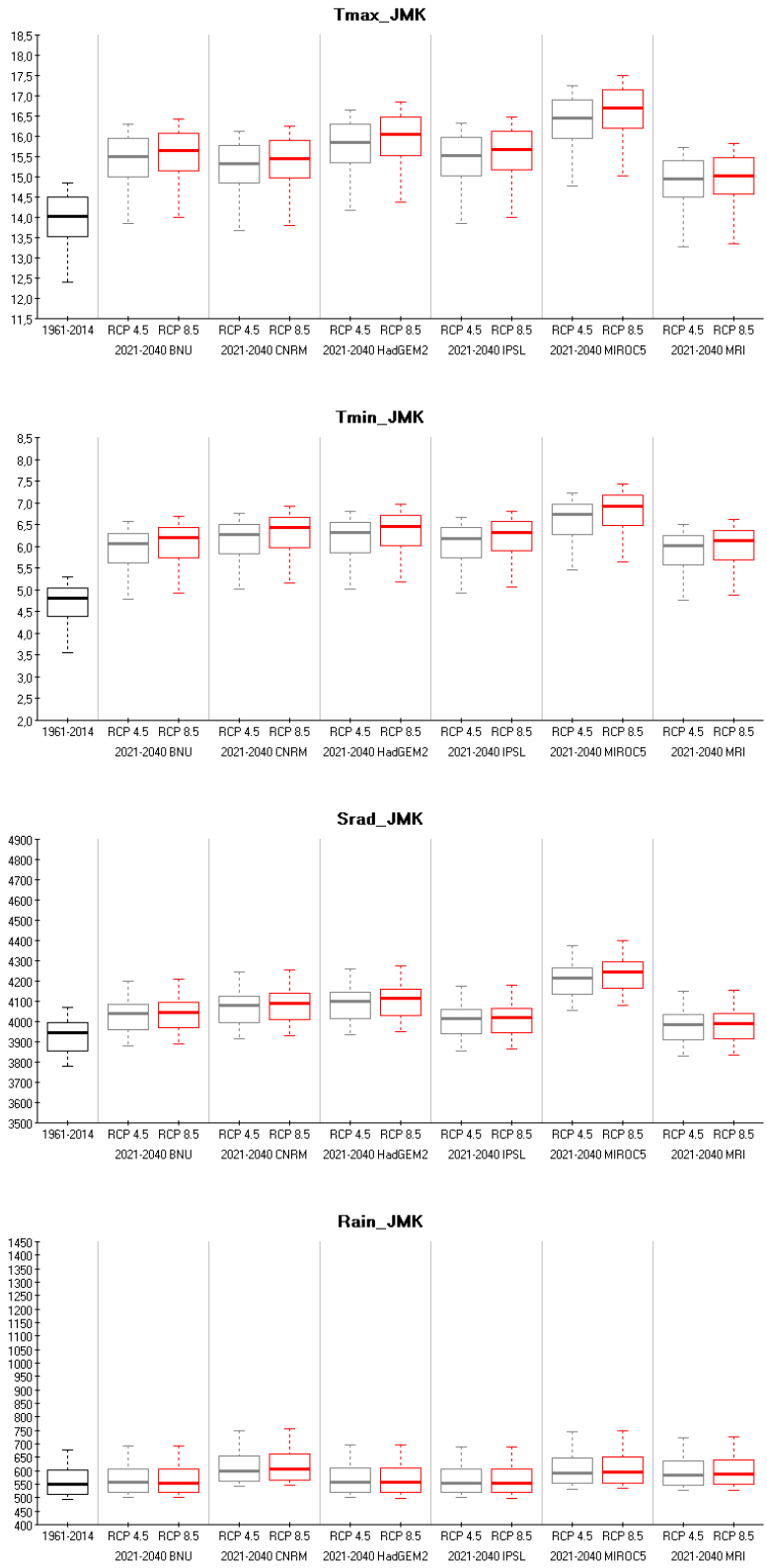
MINIMÁLNÍ TEPLOTA - Změna oproti období 1991-2010 (°C)													
Model	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**Rok**
BNU_RCP45	1.4	1.1	0.8	0.9	0.9	1.2	1.5	1.6	1.2	1.0	1.1	1.3	**1.2**
BNU_RCP85	1.6	1.3	0.8	1.0	1.0	1.3	1.7	1.8	1.4	1.1	1.3	1.4	**1.3**
CNRM_RCP45	1.9	2.3	1.5	1.2	0.8	1.1	1.3	1.5	1.2	1.0	1.3	1.5	**1.4**
CNRM_RCP85	2.1	2.5	1.7	1.3	0.9	1.2	1.4	1.6	1.3	1.1	1.5	1.7	**1.5**
HadGEM2_RCP45	1.3	1.6	1.5	1.1	0.9	1.1	1.6	2.0	2.0	1.7	1.2	0.8	**1.4**
HadGEM2_RCP85	1.5	1.8	1.7	1.2	1.0	1.3	1.8	2.2	2.2	1.9	1.4	0.9	**1.6**
IPSL_RCP45	1.5	2.1	1.4	0.8	0.9	1.1	1.4	1.4	1.6	0.9	1.0	1.4	**1.3**
IPSL_RCP85	1.7	2.3	1.6	0.9	1.0	1.3	1.5	1.5	1.7	1.0	1.1	1.5	**1.4**
MIROC5_RCP45	1.9	2.1	2.2	1.6	1.8	1.6	1.8	1.9	1.7	1.7	1.8	1.8	**1.8**
MIROC5_RCP85	2.1	2.3	2.4	1.8	2.0	1.7	2.0	2.1	1.9	1.9	2.0	2.0	**2.0**
MRI_RCP45	1.4	1.1	0.8	1.0	1.0	1.1	1.3	1.3	1.3	1.2	1.0	1.0	**1.1**
MRI_RCP85	1.5	1.2	0.9	1.1	1.1	1.2	1.5	1.4	1.5	1.3	1.1	1.1	**1.2**

Tabulka 1.3. Změna hodnot srážek (%) v jednotlivých měsících a v celém roce na území JMK pro 6 GCM modelů vyjádřená jako odchylka parametru v letech 2021-2040 vs. 1991-2010

SRÁŽKY - Změna oproti období 1991-2010 (%)													
Model	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**Rok**
BNU_RCP45	-4%	-2%	-2%	0%	-4%	4%	0%	4%	-6%	-4%	-3%	-2%	**-2%**
BNU_RCP85	-4%	-2%	-2%	0%	-4%	5%	0%	5%	-6%	-4%	-3%	-3%	**-2%**
CNRM_RCP45	1%	11%	9%	10%	8%	5%	1%	6%	13%	11%	6%	7%	**7%**
CNRM_RCP85	1%	12%	10%	12%	9%	6%	2%	6%	14%	12%	6%	8%	**8%**
HadGEM2_RCP45	5%	13%	5%	10%	8%	3%	-5%	-12%	-13%	-8%	-3%	1%	**0%**
HadGEM2_RCP85	5%	14%	6%	11%	8%	3%	-5%	-14%	-14%	-9%	-3%	1%	**0%**
IPSL_RCP45	3%	3%	2%	1%	-4%	-9%	-5%	1%	-7%	4%	5%	6%	**0%**
IPSL_RCP85	3%	3%	2%	1%	-4%	-10%	-6%	1%	-7%	4%	6%	7%	**0%**
MIROC5_RCP45	8%	5%	15%	4%	4%	6%	-1%	4%	5%	9%	5%	7%	**6%**
MIROC5_RCP85	9%	5%	16%	4%	5%	7%	-1%	5%	5%	10%	5%	8%	**7%**
MRI_RCP45	12%	14%	8%	3%	5%	3%	8%	-2%	0%	-2%	-4%	7%	**4%**
MRI_RCP85	14%	15%	9%	4%	5%	4%	8%	-2%	0%	-2%	-4%	8%	**5%**

Tabulka 1.4. Změna hodnot globální radiace (%) v jednotlivých měsících a v celém roce na území JMK pro 6 GCM modelů vyjádřená jako odchylka parametru v letech 2021-2040 vs. 1991-2010

SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ - Změna oproti období 1991-2010 (%)													
Model	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**Rok**
BNU_RCP45	-7%	-4%	-2%	1%	3%	3%	4%	3%	6%	6%	0%	-2%	**1%**
BNU_RCP85	-8%	-5%	-2%	1%	3%	3%	4%	3%	6%	6%	0%	-2%	**1%**
CNRM_RCP45	3%	0%	1%	2%	2%	4%	5%	5%	4%	3%	3%	3%	**3%**
CNRM_RCP85	4%	0%	1%	2%	3%	4%	6%	5%	5%	4%	3%	3%	**3%**
HadGEM2_RCP45	-1%	-3%	-1%	0%	1%	2%	4%	7%	12%	15%	16%	6%	**5%**
HadGEM2_RCP85	-1%	-4%	-1%	0%	1%	2%	4%	8%	13%	17%	18%	6%	**5%**
IPSL_RCP45	1%	-1%	0%	1%	1%	2%	2%	2%	5%	3%	2%	0%	**1%**
IPSL_RCP85	1%	-1%	0%	1%	1%	2%	2%	2%	5%	3%	2%	0%	**1%**
MIROC5_RCP45	4%	5%	8%	8%	8%	6%	5%	6%	9%	11%	14%	5%	**7%**
MIROC5_RCP85	4%	6%	9%	9%	9%	7%	6%	7%	10%	12%	15%	5%	**8%**
MRI_RCP45	-2%	-4%	-2%	0%	0%	1%	1%	2%	3%	5%	6%	0%	**1%**
MRI_RCP85	-2%	-4%	-2%	0%	0%	1%	1%	2%	3%	6%	6%	0%	**1%**

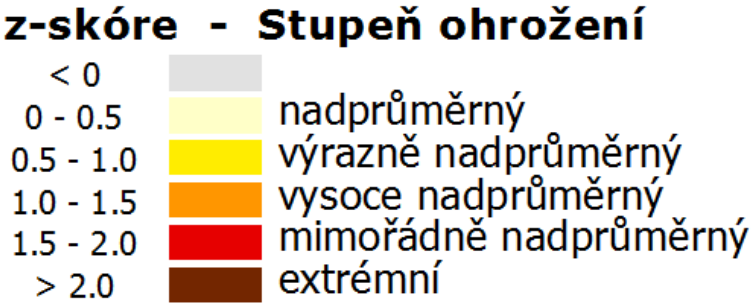


Obr. 1.1 Hodnoty 4 vybraných klimatických prvků výrazně ovlivněných změnou klimatu tj. denní maximální teploty (Tmax - °C), denní minimální teploty (Tmin-°C), úhrnu srážek (Rain – mm za rok) a sumy globální radiace (Srad – MJ/m^2/rok). Tyto hodnoty jsou prezentovány v ročním průměru pro

území celého Jihomoravského kraje (Tmax, Tmin) resp. v roční sumě (Rain a Srad) pro období 1961-2014 vs. změny očekávané podle 6 vybraných GCM modelů a 2 emisních scénářů (RCP 4.5 a RCP 8.5) vždy pro období 2021-2040. Hodnoty jsou vypočteny pro celé území Jihomoravského kraje (JMK) v gridu 500x500 m.

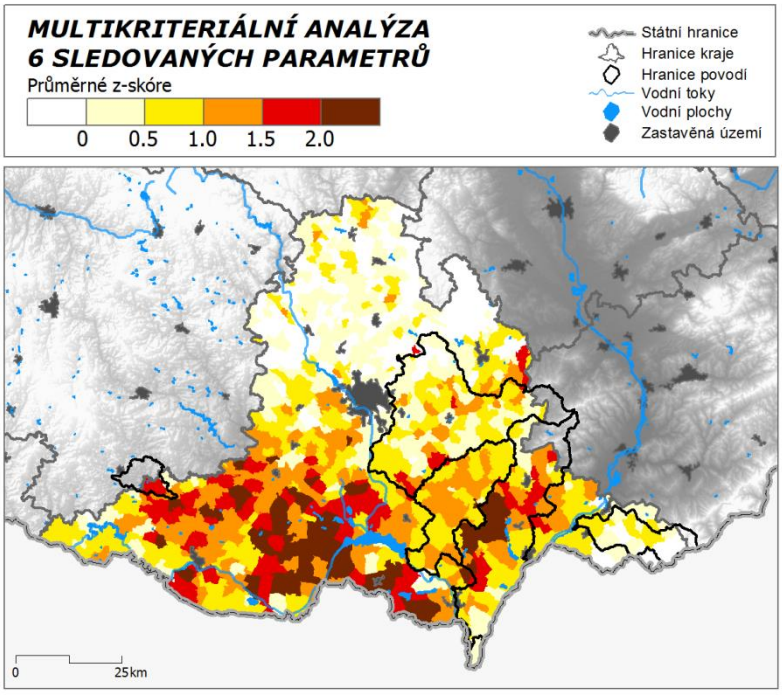
2. Vymezení nejzranitelnějších oblastí

Multikriteriální analýza byla vypracována v souladu s metodikou zvolenou pro Generel vodního hospodářství krajiny ČR (Trnka et al., 2015). Byly zvoleny kritéria reprezentující náchylnost území k ohrožení projevy sucha a přívalových srážek. Přičemž tato analýza zahrnovala oba dva typy jevů současně. Obr 2.1. zachycuje výsledky agregované na úroveň katastrálních území. Prvním krokem multikriteriální analýzy byl výpočet průměrné hodnoty z-skóre prostým aritmetickým průměrem. Na základě Z-skóre lze oblasti rozčlenit na následující stupně podle průměrné míry ohrožení:



Procento území náležející do nejvyšších 3 stupňů ohrožení odpovídá 36% území JMK (při využití 6 kritérií a agregace pro katastrální území). To je podstatně více než necelých 8,0 % v rámci ČR a JMK patří mezi z pohledu plochy nejohroženější kraj. Součástí této analýzy je i vymezení území, které lze považovat za extrémně ohrožené. Za takové jsme považovali to území, kde průměrná hodnota z-skóre byla vyšší než 2. Bohužel i v tomto případě je JMK co do postižené plochy nejvíce ohrožených krajem v rámci ČR s téměř 8% své plochy zařazené do této kategorie, což je 8x více, než je průměrná hodnota v rámci ČR. Nicméně tuto analýzu je třeba brát jako pokus o objektivní aproximaci nejohroženějších regionů a i rozdíly mezi jednotlivými variantami ukazují, že ačkoliv se jedná o metodu robustní, její absolutizace by mohla vést k nežádoucím konsekvencím. Proto je vhodné v případě vymezování ohrožených území pracovat s územími ve všech kategoriích ohrožení.

Prezentovaná multikriteriální analýza se pokusila vymezit zvláště ohrožená území JMK z pohledu rizika sucha a současně potenciálních následků extrémních srážek. Jako nejvíce zranitelné se pak jeví Znojmo a Břeclav, které v rámci ČR patří mezi dva okresy s nejvyšším podílem extrémně ohrožených katastrálních území. Významně jsou ovšem ohroženy i okresy Hodonín a Brno-venkov. V kategorii vysoce nadprůměrného ohrožení se v rámci ČR mezi významně ohroženými okresy nacházejí i Vyškov a Brnov-město.



Mapa 2.1 Výsledky multikriteriální analýzy založené na 6 vstupních parametrech. Vstupní parametry jsou agregované pro katastrální území

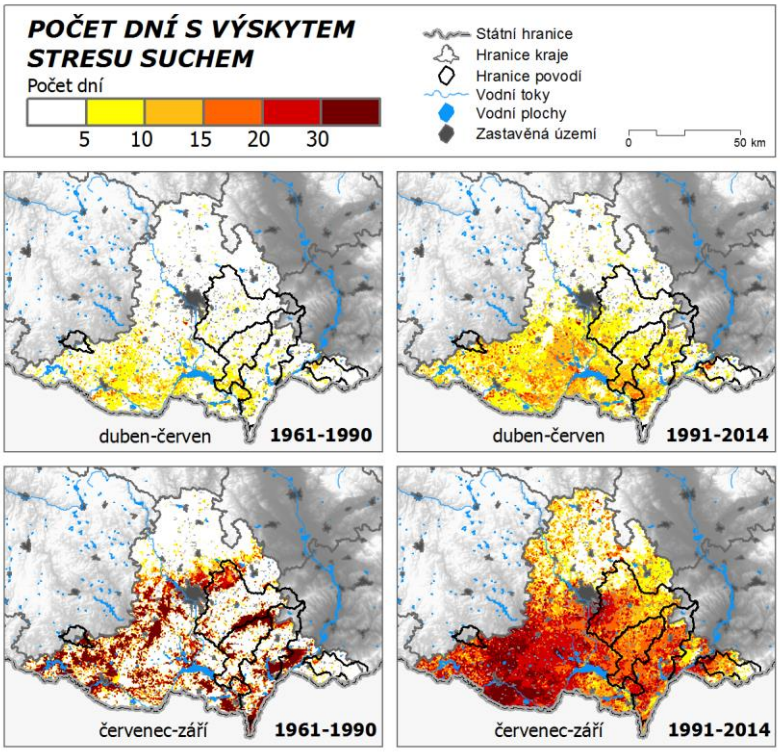
3. Riziko ohrožení suchem

Ačkoliv je sucho mimořádně významným agrometeorologickým jevem, jehož důsledky působí v JMK v některých sezónách škody v řádu miliard korun, neexistuje souhrnná a všeobecně platná definice. To do značné míry ztěžuje jeho monitoring a prognózu a stejně tak i ztěžuje regionalizaci našeho území podle ohrožení výskytem sucha. Z pohledu zemědělství je klíčem k definici sucha obsah vody v kořenové vrstvě, za kterou můžeme s jistým zjednodušením považovat půdní profil do hloubky 1 m. Pro účely této studie je za první kardinální bod považováno snížení zásoby vody v celém půdním profilu (0-100 cm) a v některých případech v povrchové vrstvě půdy (0-40 cm) pod 50 % maximální retenční kapacity, která je definovaná jako rozdíl mezi tzv. polní kapacitou a bodem vadnutí. Jinými slovy za počátek období, kdy se může nedostatek vláhy projevovat (a kdy se podle terénních sledování, měření dopadů i empirických studií skutečně projevuje), se považuje moment, kdy rostliny vyčerpaly více než 50 % disponibilní vody vázané v půdě. Při poklesu relativního nasycení profilu přibližně pod tuto hranici dochází k postupnému zhoršování dostupnosti vody pro kořeny rostlin, a tím může docházet k snižování primární produkce. Při poklesu obsahu půdní vláhy pod hodnotu 30 % disponibilní vody pozorujeme u rostlin obvykle příznaky tzv. stresu suchem a primární produkce se dramaticky snižuje. Tato hodnota byla stanovena na základě řady experimentálních a empirických studií u hlavních zemědělských plodin. V této studii ji používáme pro odhad počátku období, kdy jsou rostliny vystaveny stresu z nedostatku vláhy. Dlouhodobé přetrvávání půdní vlhkosti pod hodnotou 30% dostupné vláhy vede k zásadnímu propadu výnosů (jak např. ukázala situace z roku 2012). Informace o obsahu vody v půdě a její dostupnosti pro rostliny může být získána měřením pomocí řady metod a různých principů (např. gravimetrickou metodou, měřením sacího potenciálu půdy či nepřímo měřením dielektrických vlastností půdního prostředí). Těmito metodami lze získat cenné, avšak na lokální podmínky vázané údaje, a s ohledem na náklady není prakticky možné pomocí zmíněných metod provádět kontinuální a dlouhodobá sledování v síti stanic, které by byly dostatečně reprezentativní, jako je tomu v případě teplot a do jisté míry i srážek. V případech, kdy je třeba získat informaci o pravděpodobném obsahu půdní vláhy z míst, která nejsou vybavena měřicí technikou (od úrovně lokalit až po rozsáhlé regiony), mají svůj nezastupitelný význam matematické modely půdní vlhkosti. Tyto nástroje vycházejí z definice a kvantifikace jednotlivých složek volní bilance půdního profilu, případně jeho jednotlivých vrstev (např. Allen et al., 1998). Takovým modelem je i SoilClim,

který byl za účelem odhadu půdní vlhkosti v denním kroku vyvinut na Ústavu agrosystémů a bioklimatologie na Mendelově univerzitě v Brně a Centru výzkumu globální změny AV CŘ v.v.i. (Hlavinka et al., 2011). Tento nástroj při svém výpočtu bere v potaz výskyty sněhové pokrývky, dynamiku vývoje vegetačního krytu včetně změny fenologických fází, ale také sklonitost, expozici či zastínění horizontu. Model pracuje s hloubkou půdy, jakož i s její retenční schopností a zohledňuje i potenciální vliv vyšší hladiny podzemní vody. Všechny výpočty jsou prováděny v denním kroku v rozlišení 500x500 m.

Výskyt dnů se sníženou dostupností půdní vláhy je normální součástí klimatického režimu a tyto podmínky se vyskytují ve všech hlavních zemědělských oblastech JMK. Mapa 3.1 nicméně ukazuje, že nejvyšší počty těchto dnů najdeme v jižní části JMK, zejména pak na jiho-západě. Jak ukazuje Mapa 3.1, je snížená dostupnost půdní vláhy typická více pro druhou polovinu vegetační sezóny (červenec-září), kdy většina zemědělských plodin ukončila hlavní část svého vývoje a využila proto zásoby vody v půdě nashromážděné v průběhu zimních a časných jarních měsíců. Avšak v závislosti na lokálních podmínkách (zejména v místech s mělkými a lehkými půdami) je možné pozorovat vyčerpání zásob dostupné vláhy již v období dubna-června, přičemž oblast jihozápadu Jihomoravského kraje se jeví v tomto ohledu jako zvláště problematická, neboť je postižen celý region, nejen určité půdní bloky. Nedostatek vláhy v období od dubna do června je zásadním předpokladem pro ekonomicky rentabilní produkci a případný nedostatek vláhy v tomto období představuje obvykle zásadní problém (např. Hlavinka et al., 2009). Nicméně sama snížená dostupnost vláhy nemusí vést k propadu výnosu, a v kombinaci s jinak příznivým průběhem povětrnostních podmínek může v určitých fázích vývoje mít i pozitivní dopad, a to jak díky potenciálně stimulačnímu vlivu na rozvoj kořenového systému či zlepšené dostupnosti pozemků, která umožňuje provádět nezbytné agrotechnické zásahy v požadovaných termínech a kvalitě. Sušší charakter počasí, který vývoj takového vláhového deficitu provází, je obvykle doprovázen i vyššími úhrny globální radiace, což je další klíčový předpoklad pro dosažení vyšších výnosů u řady plodin. Nicméně pokles disponibilní půdní vláhy pod 30 % již vede k projevům stresu suchem a stagnaci růstu.

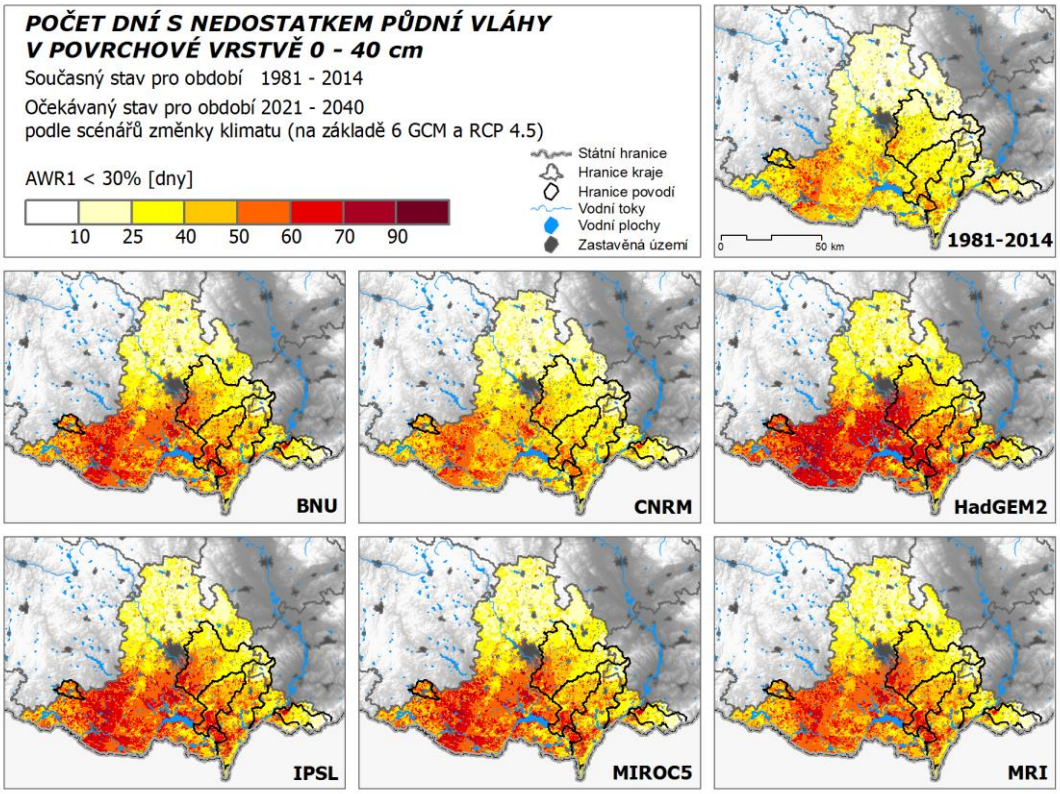
Co je třeba považovat za mimořádně znepokujující je posun v počtu extrémně suchých dní mezi obdobím 1961-1990 a 1991-2014 (Obr. 3.1.). Je evidentní, že podmínky pro zemědělské hospodaření se zejména v jižní části kraje již během tohoto období poměrně výrazně zhoršily.

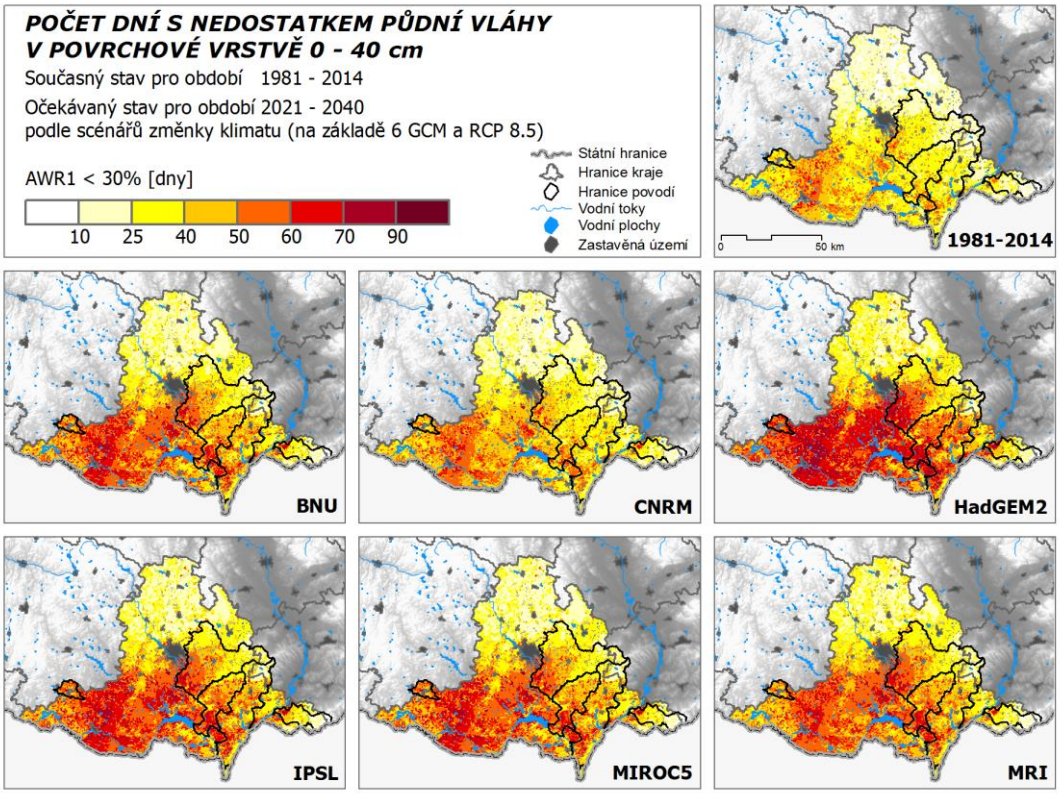


Obr. 3.1. počet dní s půdní vlhkostí pod 30% disponibilní pro rostliny dostupné zásoby vypočtené jako medián za období 1961 – 1990 a 1991-2014 a to pro období duben-červen (první část

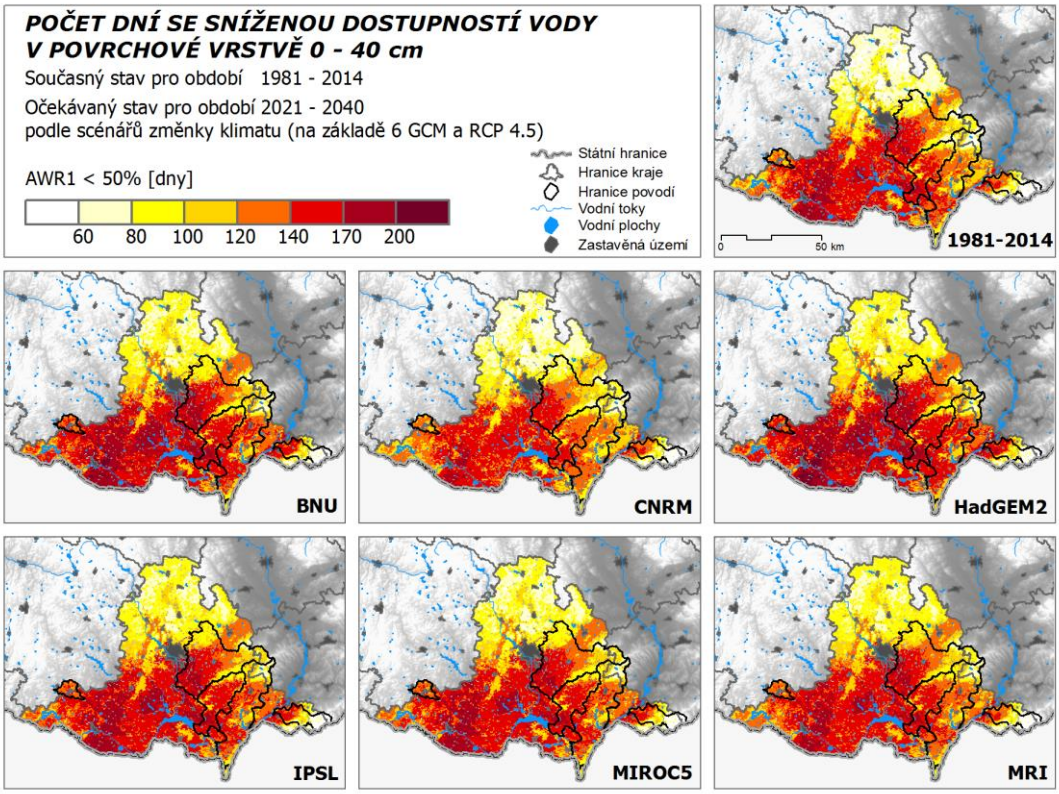
vegetační sezóny) a červenec – září (druhá polovina vegetační sezóny). Hodnota půdní vlhkosti je vypočtena pro celý pro povrch půdního profilu tj. 0-40 cm

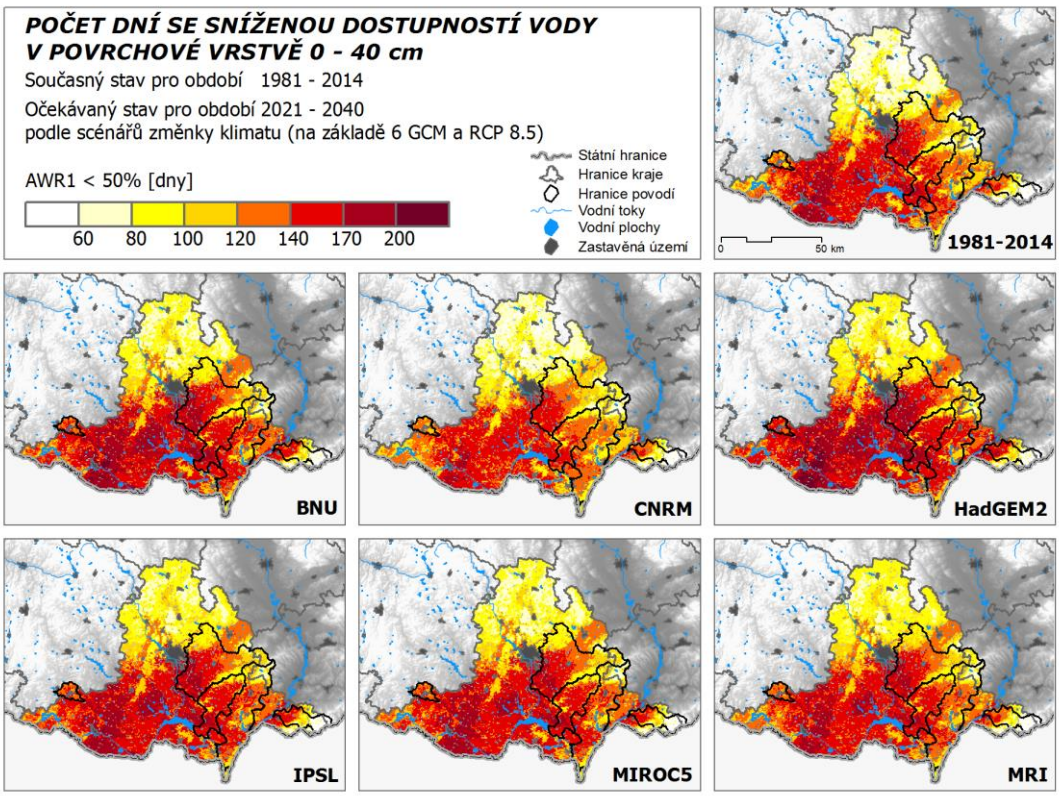
Jakkoliv Obr. 3.1. vymezuje území, kde se v současné době můžeme setkat s nedostatkem půdní vláhy, jsou to existující trendy klíčových parametrů determinujících vodní bilanci, které si vyžadují mimořádnou pozornost. Naprostá většina území JMK vykazovala v období 1961-2014 nárůst hodnot referenční evapotranspirace v období od dubna do září, a to i více než 50 mm. Zároveň na většině území pozorujeme negativní tendenci tzv. klimatologické vodní bilance (tj. rozdílu mezi srážkami a referenční evapotranspirací). Tento parametr vykazuje signifikantní pokles hodnot, a roste tak vodní deficit, který výrazně zvyšuje riziko nedostatku půdní vláhy. Tyto trendy se následně projevují na průměrné zásobě disponibilní vody v hlavní kořenové zóně, která na většině území v období 1961-2014 klesla o 10 až 40 mm. Tyto trendy jsou výrazné, prostorově koherentní a mají svoje jasné příčiny, jak dokládají studie Brázdila et al. (2014) a Trnky et al. (2014a,b).
Je evidentní (Obr. 3.2), že riziko postižení území suchem poměrně výrazně vzroste a to podle všech uvažovaných scénářů změny klimatu a to dokonce i těch, které na území JMK předpokládají komparativně nejmenší nárůst teplot a současně mírné zvýšení srážek (tj. CNMR a MIROC5). Realizace projekcí modelů předpokládající výraznější nárůst teplot a globální radiace spolu s poklesem či stagnací srážek (zejména modely HadGEM2 a IPSL) vedou k výraznému zvýšení počtu extrémně suchých dní v povrchové vrstvě (Obr 3.2.). Současně se výrazně zvyšuje i počet dní s obsahem půdní vláhy pod 50% maximální retenční kapacity (tj. pod tzv. bodem snížené dostupnosti), kdy je příjem vody rostlinou již limitován a může docházet ke snížení produktivity (Obr. 3.3). Tyto změny pak pozorujeme nejen v povrchové části půdního profilu, ale i ve hlubších vrstvách (Obr. 3.4).



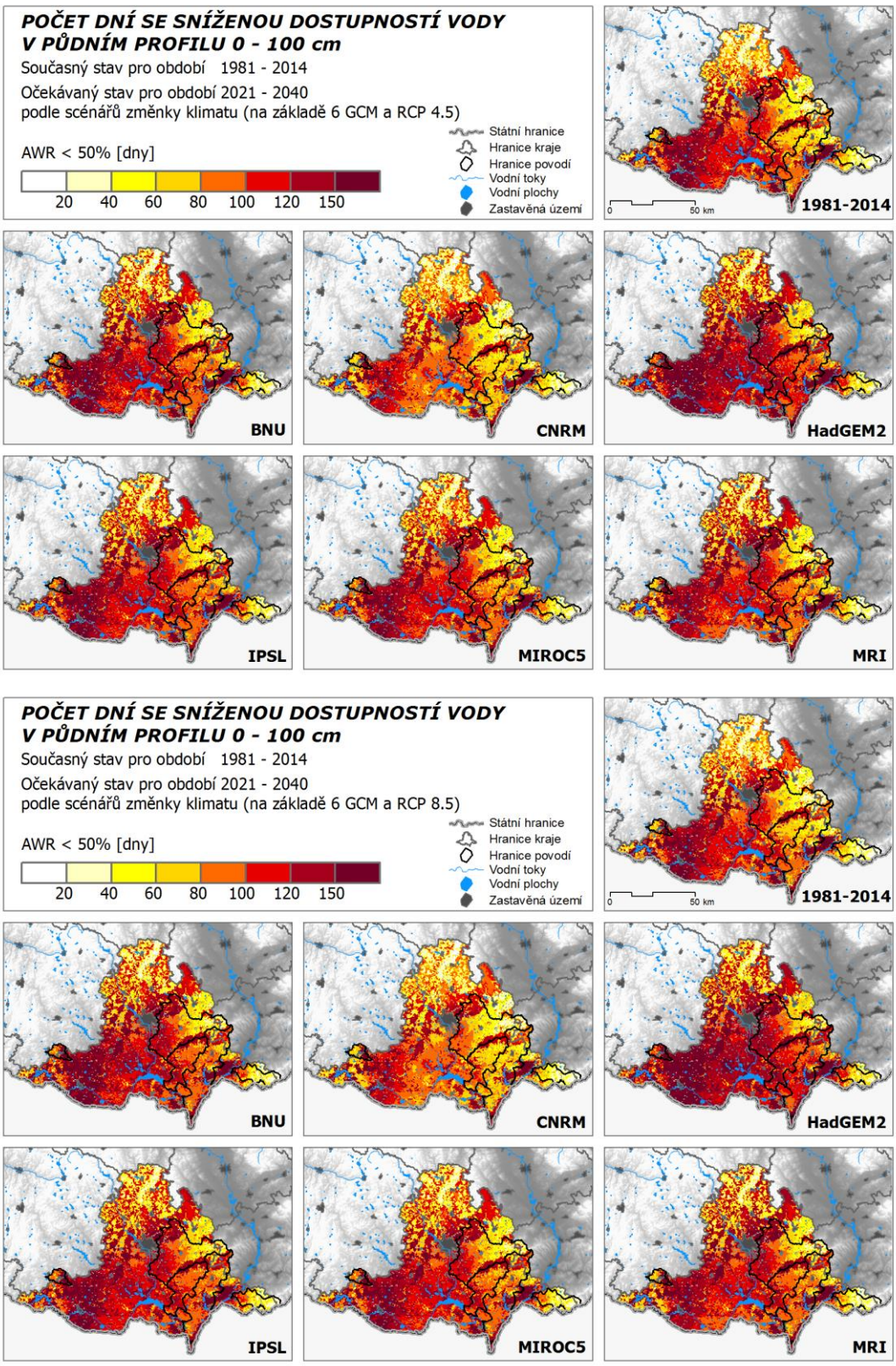


Obr. 3.2 Mapa počtu dní se stresem suchem v povrchové vrstvě půdy (odpovídá Obr. 3.1) pro současné období (1981-2014) a pro období 2021-2040 pro 2 emisní scénáře (RCP 4.5-nahoře; RCP 8.5 dole).





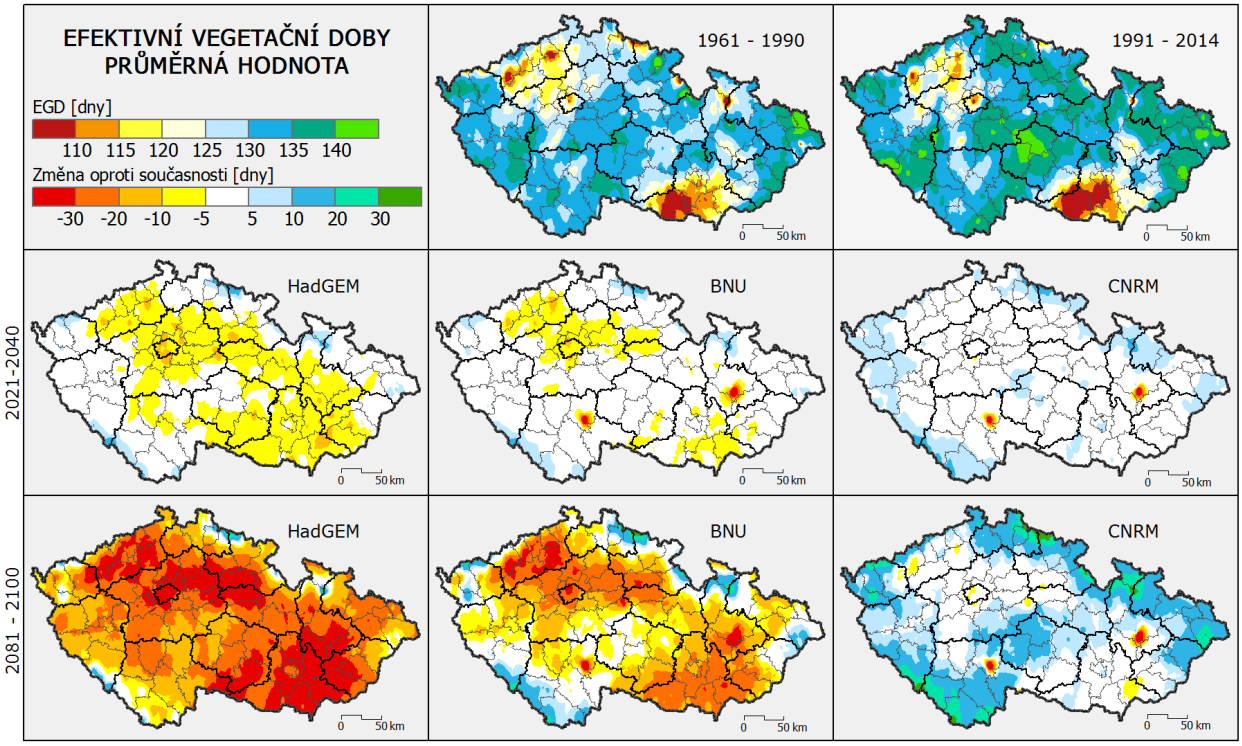
Obr. 3.3 Mapa počtu dní se sníženou dostupností půdní vláhy v povrchové vrstvě půdy (0-40 cm) pro současné období (1981-2014) a pro období 2021-2040 pro 2 emisní scénáře (RCP 4.5- nahoře; RCP 8.5 dole).



Obr. 3.4. Mapa počtu dní se sníženou dostupností půdní vláhy ve vrstvě půdy 0-100 cm pro současné období (1981-2014) a pro období 2021-2040 pro 2 emisní scénáře (RCP 4.5-nahoře; RCP 8.5 dole).

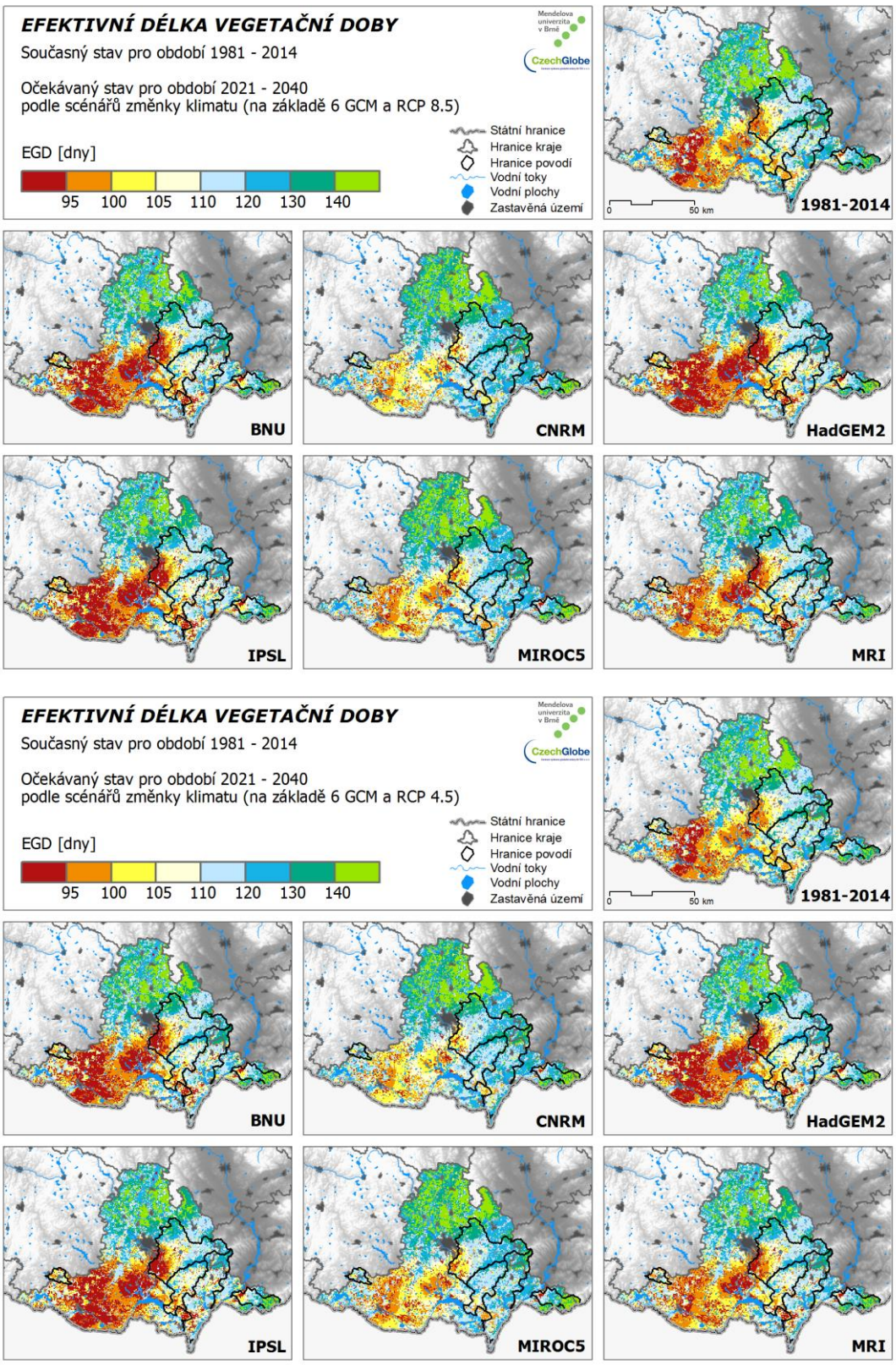
4. Dopad na prekurzory zemědělské produktivity

Efektivní délka vegetačního období (EDVO) a efektivní suma globální radiace (EGR) jsou indikátory, které můžeme použít pro vyhodnocování produkční schopnosti území z pohledu zemědělské výroby. Jak dokládá obr. 4.1 mezi léty 1961-1990 a 1991-2014 došlo k poměrně výraznému snížení EDVO v oblasti jižní Moravy a severozápadních Čech. Přes nárůst teplot, který obecně potenciální trvání vegetační doby a tedy i EDVO prodloužil se EDVO na řadě míst snižuje a tento trend v JMK, je ve vztahu ke zbytku území jednoznačný. Ke snížení došlo v oblastech s podprůměrnými srážkovými úhrny a bylo tedy způsobeno zvýšením nedostatku vláhy (např. Obr. 3.1). Naopak ve vyšších polohách se průměrná hodnota EDVO zvýšila (obr. 4.1) právě v důsledku vyšších teplot, přičemž srážky byly stále ještě dostatečné, aby udrželi zásobu vody v půdě na dostatečné úrovni. V případě JMK je pak evidentní, že změny EDVO i EDGR velmi závisí na regionu (obr. 4.2-4.3). Tyto změny jsou pro nebližších 30 let spíše pozitivní pro nejvýše položené oblasti kraje, ale spíše negativní až velmi negativní pro tradiční zemědělské oblasti. Je třeba upozornit na značnou variabilitu mezi použitými modely. Zatímco modely HadGEM2, BNU, MRI a IPSL předvídají pro zemědělské oblasti spíše snížení EDVO a EGR, modely CNRM a MIROC5 ukazují opačnou tendenci (pro nebližších 30 let. v následujících dekádách dochází i u těchto modelů ke snížení hodnot EDVO a EGR. Tato mezimodelová variabilita je velmi důležitá, neboť předchozí verze modelu CNMR byla řídícím modelem pro většinu analýz provedených Pretlem et al. (2011) a je zřejmé, že tento model postihl pouze jednu možnou tendenci vývoje agroklimatických podmínek.

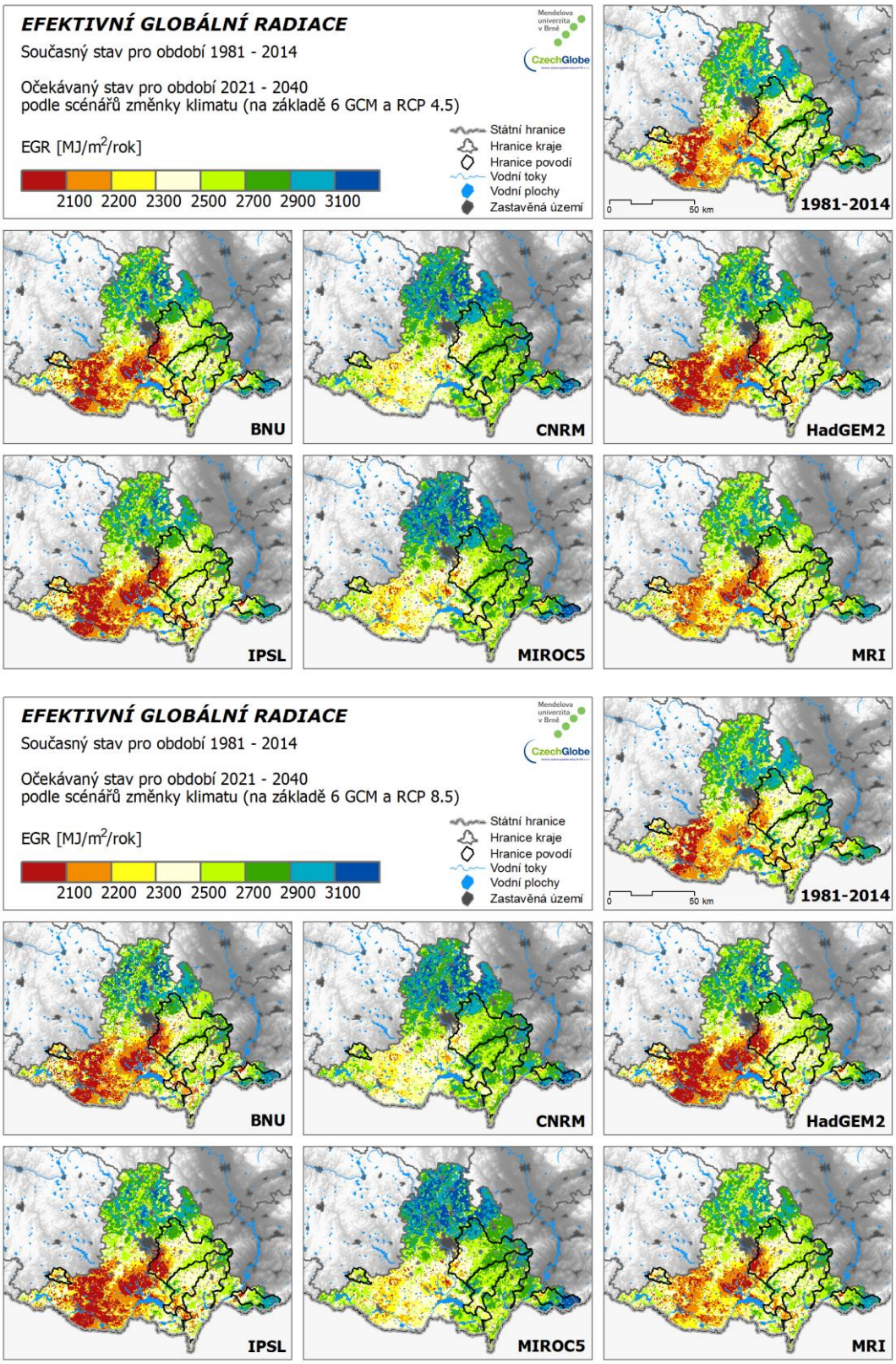


Obr. 4.1. Efektivní délka vegetačního období v období 1961-1990 a 1991-2014 a jeho změna (oproti 1991-2014) pro období let 2021-2040 a 2081-2100 pro 3 GCM modely a RCP 8.5 na území ČR (převzato ze studie Komplexní studie dopadů, zranitelnosti a zdrojů rizik souvisejících se změnou klimatu v ČR – kolektiv autorů, 2015).

.



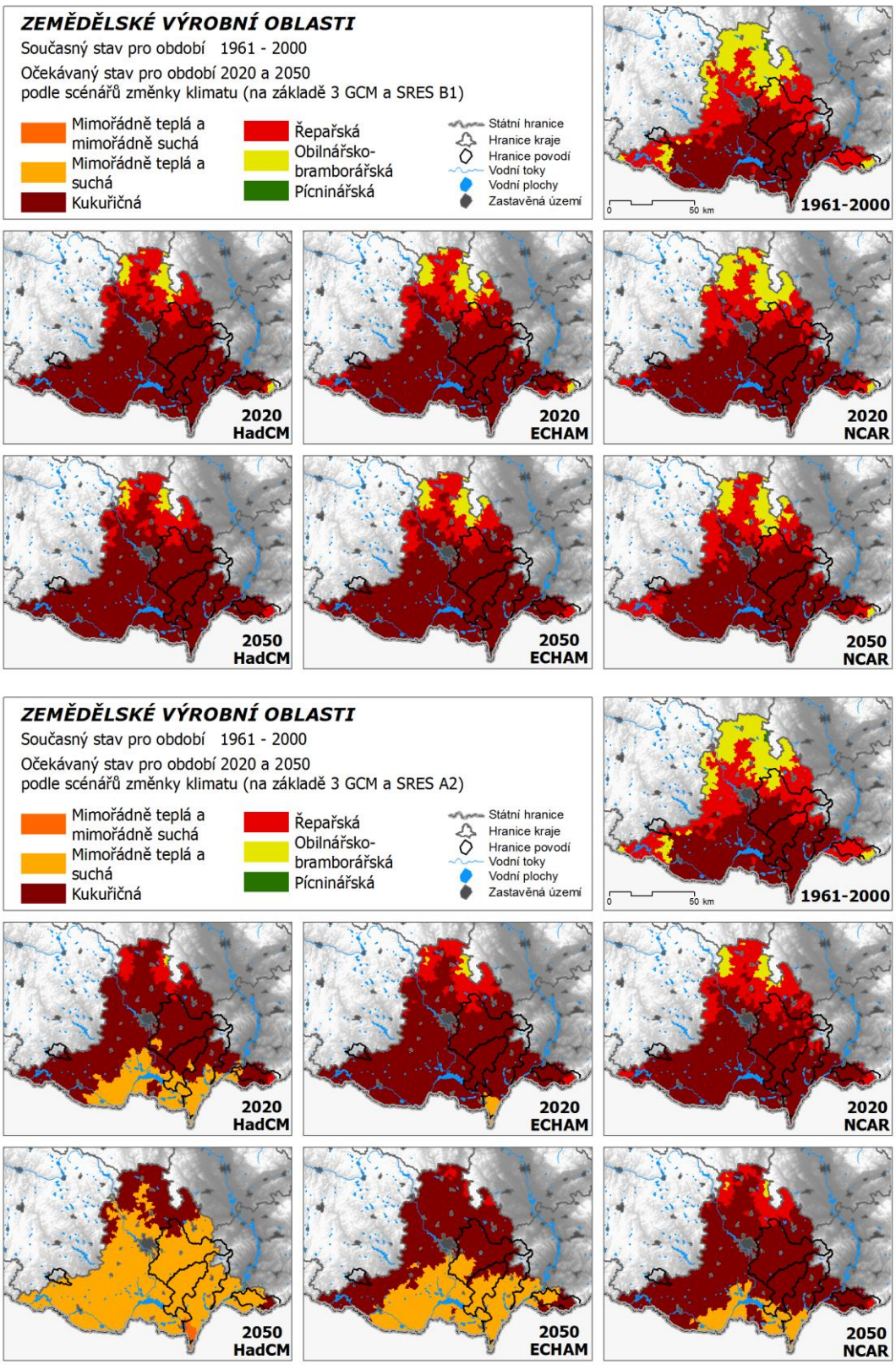
Obr. 4.2. Mapy délky efektivní vegetační doby pro současné období (1981-2014) a pro období 2021-2040 pro 2 emisní scénáře (RCP 4.5-nahoře; RCP 8.5 dole).



Obr. 4.3. Mapy délky efektivní globální radiace pro současné období (1981-2014) a pro období 2021-2040 pro 2 emisní scénáře (RCP 4.5-nahoře; RCP 8.5 dole

5. Změna lokace výrobních oblastí

Během uplynulých 150 let se na našem území ujala myšlenka agroklimatické zonace a přešla postupně do širokého povědomí zemědělské veřejnosti. Jedním z prvních pokusů byla práce prof. Kořistky (1860), který rozdělil Předlitavskou část Rakousko-Uherska na tzv. přirozené hospodářské oblasti, a jeho metoda byla s různými úpravami používána přes 60 let. Ačkoliv Kořistkova klasifikace vycházela z řady agroklimatických indikátorů (jako byla délka vegetace či dostupnost vláhy), byla subjektivní a dodržovala administrativní a nikoliv přirozené hranice. V důsledku toho začala být od 20. let 20. století nahrazována zonacemi novými, které se orientovaly na škálu základních plodin a snažily se respektovat přirozené hranice agroklimatických regionů. Uvedené snahy vyvrcholily v 70. letech stanovením nových objektivních hydro-termických charakteristik, které byly aplikovány na území bývalého Československa Kurpelovou *et al.*, 1975. Tato klasifikace rozdělila území tehdejší ČSSR do 10 agroklimatických zón, které se vyznačovaly podobnými agroklimatickými podmínkami pro produkci polních plodin (blíže např. Petr, 1991). S využitím agroklimatických zón byly v zásadě empirickými postupy definovány tzv. výrobní oblasti a pojmenovány podle typických plodin. Agroklimatická klasifikace pozemku se pak mj. projevila i v daňové politice státu, přičemž podobný přístup byl aplikován i v sousedním Rakousku. Dělení území do výrobních oblastí je pravděpodobně nejrozšířenějším agroklimatickým produktem používaným v zemědělské praxi, a díky tomu i velmi vhodným nástrojem pro přiblížení možných dopadů klimatické změny. Za tímto účelem byl řešitelským kolektivem (Trnka et al., 2009) vytvořen algoritmus pro objektivní definování výrobních oblastí na základě klimatický parametrů (teplotních poměrů a vodní bilance), který co nejvíce respektuje původní metodiky, avšak odstraňuje subjektivní vliv zpracovatele na výsledek nepřipouštěním zásahů ex-post a např. obilnářská a bramborářská výrobní oblast byly sloučeny do jedné (Mapa 2.28). Výsledky klasifikace byly agregovány z původního rozlišení 500x500 m na úroveň nejnižších správních jednotek tj. katastrálních území. Dopady globální klimatické změny na agroklimatické podmínky v JMK budou značné a jejich rozsah je patrný z Map 5.1. Jak plyne z porovnání mapových podkladů, dojde nepochybně k ústupu agroklimatických podmínek pícninářské a obilnářsko-bramborářské výrobní oblasti, a to ústupu zásadnímu a dramatickému. Současně s tím se bude zvětšovat plocha s podmínkami oblasti kukuřičné (podle některých odhadů až na celé území). Na území jižní Moravy se již v horizontu příští dekády začínají objevovat agroklimatické podmínky, charakterizované velmi vysokou teplotní sumou nad 10°C v kombinaci s výrazným vodním deficitem, tedy podmínky, jež z našeho území doposud neznáme a bude tak nutné nalézt vhodné pojmenování těchto výrobních oblastí (pokud bude podobný typ klasifikace vůbec smysluplné používat). Na první pohled je změna v agroklimatických podmínkách zčásti příznivá, neboť zóny se suboptimálními teplotami (pícninářská a obilnářsko-bramborářská) jsou střídány oblastmi s lepším agroklimatem řepařské výrobní oblasti. Oblasti, ve kterých dochází k přechodnému zlepšení agroklimatických podmínek, se co do kvality půdy nemohou s oblastí Hané ani Polabí měřit. Nástup teplejších, leč povětšinou sušších ročníků znamená vyšší riziko výskytu sucha během letních měsíců a problémy s obděláváním půdy na konci léta i v oblastech, kde jsme těmto problémům doposud nemuseli čelit. Pěstování plodin bez využití závlah se postupně bude stávat v oblastech jihu JMK nerentabilní za předpokladu realizace v současnosti uznávaných scénářů vývoje budoucího klimatu. Na druhé straně lze očekávat, a současné výsledky tomu nasvědčují, že oblasti doposud produkčně okrajové (např. předhůří Českomoravské vrchoviny či oblasti Drahanské vrchoviny) budou z této změny do jisté míry profitovat, neboť odpadne řada klimatických limitů pro pěstování zemědělských plodin. Co však musíme vzít v úvahu, je fakt, že naplněním výše uvedených odhadů dojde k posunu agroklimatických podmínek, který nemá minimálně v novodobých dějinách zemědělství na našem území obdoby. Změna nastane nikoli během století, ale spíše dekád a adaptace bude ztížena jak panující nejistotou v odhadech budoucího vývoje klimatu (Obr. 5.1) a také důsledky očekávaných změn koncentrace oxidu uhličitého. Využití map výrobních oblastí pro projekci potenciálních důsledků změny klimatu, umožňuje velmi efektivně zachytit hlavní charakter očekávaných změn klimatu na zemědělskou výrobu a v hlavních rysech souhlasí s pozorovanými změnami v JMK v posledních 15 letech.

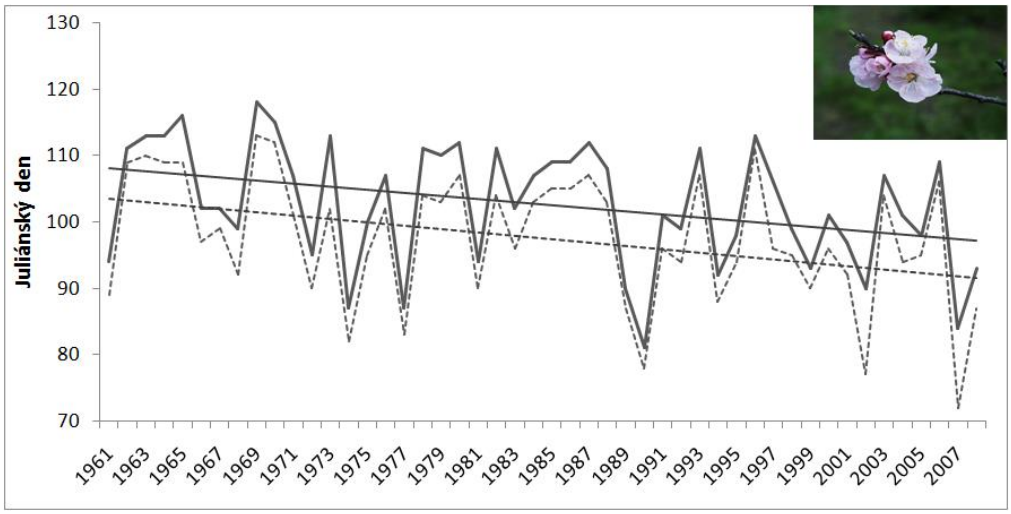


Obr. 5.1: Odhad agroklimatických podmínek na území ČR v období okolo let 2020 a 2050 podle modelů NCAR, HadCM a ECHAM za předpokladu emisních scénářů SRES-B1 a nízké citlivosti klimatického systému a SRES-A2 a vysoké citlivosti klimatického systému na nárůst koncentrací CO_2,

což odpovídá přibližně nárůstu teploty o +1,5°C / +2,5°C oproti období 1961-1990 resp. +1,0/+2°C oproti 1961-2000 (Dubrovský et al., 2005)

6. Celkové zhodnocení

Zdokumentované oteplení (teplota vzduchu) na území JMK činí za období 1981 – 2014 téměř 1°C. Dopady lze pozorovat především v primární produkci rostlinné výroby a to jednak přímým ovlivněním růstu a vývoje rostlin (např. změna trvání fenologických fází, výskyt chorob a škůdců) a následně změnou agroklimatických (stanovištních) podmínek (např. posunu výrobních oblastí, výskytu sucha). Současný a očekávaný nárůst teplot logicky povede k výraznému prodloužení vegetačního období, a to o až o cca 10 dní do roku 2030 oproti období 1981-2014 a o téměř 3 týdny v horizontu roku 2050. Tuto změnu lze nejlépe demonstrovat na příkladu posunu délky vegetačního období na jižní Moravě či posunem fenologických fází (Obr. 6.1).



Obr. 6.1 Počátek prvního květu a plného květu meruňky obecné na lokalitě Lednice (Bauer et al., 2009)

V našich podmínkách je prodloužení vegetační sezóny přibližně symetrické - rozděleno shodně mezi jaro a podzim. Nárůst teplot sebou ale přinese i zvýšení sum efektivních teplot, jež povede ke zkrácení fenologických fází rostlin (např. plnění zrna) s nepříznivými vlivem na tvorbu výnosu (Lobell a Field, 2007). Tyto změny již ovlivňují a nadále významně ovlivnit i životní cykly škůdců a jejich predátorů, jak ukazuje příklad zavíječe kukuřičného (např., Trnka *et al.*, 2007) a dalších škůdců či vektorů chorob (např. Kocmánková et al., 2014).
Samotná délka vegetačního období tak jak je definována nemusí znamenat zlepšení podmínek pro rostlinnou produkci. Jako vhodnější se jeví kombinace více ukazatelů např. ve formě efektivní sumy globální radiace (EGR) tj. Obr. 4.3 nebo efektivní délky vegetačního období (EDVO) tj. Obr. 4.2. EGR je sumou globální radiace za období bez sněhové pokrývky, kdy průměrná teplota vzduchu je trvale vyšší než 5°C a minimální teplota neklesá pod -2°C a aktuální evapotranspirace dosahuje alespoň 40% úrovně evapotranspirace referenční (tedy je splněn předpoklad, že rostliny netrpí kritickým nedostatkem půdní vláhy). Je zřejmé, že změna klimatu pozitivně ovlivní hodnotu EGR i EDVO, a to jednak zvýšením počtu dní s teplotou vyšší než 5°C a v některých oblastech i zvýšením globální radiace, které souvisí s nižším výskytem oblačnosti spojené s poklesem srážek zvláště v letních měsících. Pokles srážek, ale zároveň zvyšuje riziko nedostatku vláhy což se na hodnotě EGR projeví negativně. Jak dokládají Obr. 4.2. a 4.3 v současných klimatických podmínkách jsou nejvyšší hodnoty EGR a EDVO (a tedy i potenciální produktivitu) severu a jihovýchodě modelovaného území.

Změna klimatu pak zjevně přinese pozitivní změnu EGR a EDVO podle 2 ze 6 testovaných modelů zejména na severu území. JMK patří v kontextu ostatní krajů, k těm kde dojde obecně ke zhoršení agroklimatických předpokladů. Celkově povede nárůst teplot pak povede spíše ke snižování sum EGR a EDVO v souvislosti s prohlubujícím se vodním deficitem. V zásadě lze ale říci, že na většině území JMK včetně hlavních zemědělských oblastí má zvýšení teplot o 2-3°C negativní dopad na průměrný produkční potenciál a spíše pokles EDVO a EGR.

Jedním z velmi často používaných agroklimatických indexů je tzv. Huglinův index (Huglin, 1978), který byl původně vyvinut pro klasifikaci vinařských oblastí ve Francii. Pro svoji jednoduchost je často aplikován ve studiích zabývajících se dopady změny klimatu na potenciál pěstování vinné révy v rámci celé Evropy (např. Stock et al., 2005, Eitzinger et al., 2009), byť se svojí konstrukcí hodí do oblastí maritimního klimatu. Jeho hlavním nedostatkem je, že nedokáže postihnout řadu důležitých limitujících faktorů (např. chod minimálních teplot v zimních měsících, srážkové a terénní poměry). Na území JMK lze v nejbližším období očekávat sice změny zásadního charakteru a zároveň dojde k pravděpodobně k nárůstu meziroční variability hodnot Huglinova indexu což zákonitě povede k vyšší variabilitě v kvalitě jednotlivých ročníků. Tyto skutečnosti si v příštích 40 letech nejspíše vynutí nejen přechod na jiný sortiment odrůd, ale nejspíše i celkovou změnu charakteru vinařství ve střední Evropě. Posun severní hranice pěstování vinné révy byl už podrobně analyzován řadou prací a např. Moisselin et al. (2001). K tomuto posunu i směrem do vyšších nadmořských výšek dochází a je patrný i v JMK v posledním desetiletí, kdy se vinná réva vrací i na místa kde byla podle historických pramenů naposledy pěstována v 16. století.

V zimních měsících pozorujeme a nadále lze očekávat zvláště ve středních a nižších polohách úbytek trvání sněhové pokrývky což zásadně ovlivňuje především přezimování polních plodin, které jsou v případě výskytu holomrazů (došlo k poklesu teploty vzduchu pod bod mrazu a současně absentuje sněhová pokrývka) postiženy vymrzáním neboť nejsou chráněné izolačními vlastnostmi sněhové pokrývky. I když se v zimě očekává pokles četnosti výskytu ledových (teplota celodenně pod 0°C) i arktických (teplota celodenně pod -10 °C) dní, nelze jejich výskyt vyloučit. A v této souvislosti je nutné podotknout, že již 5 cm sněhu výrazně snižuje působení nízkých teplot a 20 cm vysoká sněhová pokrývka prakticky eliminuje účinky i silných mrazů (např. v sezóně 2002/2003). Především u pšenice ozimé a řepky ozimé je možné pozorovat regionální postižení, kdy buď voda v rostlině zamrzne, zvětší svůj objem a roztrhá buněčná pletiva či zmrzne voda v půdě, následně dojde k jejímu pohybu a poškození kořenového systému či při častějším střídání vyšších a nižších teplot k vytahování rostlin. Klesají a budou klesat průtoky našich řek, snižuje se transport vody do níže položených území, kde z ní díky zvyšování hladiny podzemní vody těží zemědělství i ovocnářství. Všechny tyto důsledky lze v posledních letech pozorovat jak v zemědělsky intenzivních oblastech např. Polabí či jižní a střední Moravy. Zima beze sněhu či s kratší dobou trvání a samotnou nižší výškou sněhové pokrývky se stává prvním předpokladem jarního sucha.
Vyšší teploty v zimě jsou spojené s přezimováním (diapauzou) škůdců, kdy některé typy jsou napadeny predátory a prakticky se v daném roce neobjeví. Existuje poměrně rozšířená představa, že teplé zimy podporují rozvoj škůdců. Ve střední Evropě je to až na výjimečné případy právě naopak. Převážná většina středoevropských škůdců přečkává zimu ve stadiu diapauzy, kterou musí absolvovat při dostatečně nízké teplotě, často pod bodem mrazu, a po dostatečně dlouhou dobu. Pro jejich zdárný vývoj je proto nejvhodnější dlouhá mrazivá zima se sněhovou pokrývkou a mírnými výkyvy teplot. Teplá zima bez mrazů nebo delší období s teplotami nad 10 ºC vedou k vysoké mortalitě různých vývojových stadií škůdců. Ta není způsobena jen nevhodnou teplotou pro průběh diapauzy, ale také např. vysokými ztrátami energie, rozvojem patogenů škůdců a větší dostupností predátorům. Pokud se klimatická změna projeví nástupem bezmrazových zim, bude většina středoevropských škůdců ovlivněna negativně a význam některých může klesat. Zimním oteplením budou pozitivně ovlivněny nemnohé druhy, pro které není zimní klidové období nezbytnou součástí vývoje, při ochlazení pouze snižují aktivitu. Bezmrazové zimy mohou pozitivně ovlivnit i některé migranty, kteří k nám dosud většinou pronikají jen sezonně.

Mírnější zimy i snížená půdní vlhkost nemá významnější vliv na přežití půdních fytopatogenních organismů, které tvoří speciální struktury nebo silnostěnné spory, pomocí kterých

přečkávají období s nepříznivými podmínkami po dlouhé období i několika let v půdě (sklerocia; chlamydospory a oospory). Mezi ně patří některé druhy zařazené do rodů např. *Botrytis, Fusarium, Rhizoctonia, Sclerotinia* aj. U druhů přezimujících na hostitelských rostlinách nebo jejich zbytcích a tvořících primární inokulum na napadených rostlinných pletivech (r. *Alternaria, Cercospora, Colletotrichum, Erysiphe* aj.) se projevuje vyšší škodlivost vlivem lepších podmínek přezimování. Výskyt mírných zim povede k rozšíření přezimujících druhů plevelů v ozimých plodinách např. blínu černého (*Hyoscyamus niger*). Vyšší konkurenční schopnost v zimním období je novým prvkem, který může výrazně ovlivnit kvalitu přezimování ozimých plodin a jejich růst v jarním období.

Jaro je roční období, které je z pohledu zemědělství nejvýznamnější, realizuje se v něm nejvíce agrotechnických zásahů, kumuluje se řada polních prací a současně probíhá intenzivní růst a vývoj. V jarní období pozorujeme zvyšování teploty, což má za následek dřívější nástup velkého (průměrná denní teplota vzduchu je vyšší než 5 °C) ale i hlavního (průměrná denní teplota vzduchu je vyšší než 10 °C) vegetačního období. Velké vegetační období bude v nižších polohách začínat již počátkem března a končit v poslední dekádě října. Vyšší teploty vzduchu dovolí dřívější setí a následně ovlivní růst a především vývoj plodin tak, že budeme stále častěji pozorovat dřívější vzcházení a nástupy dalších fenofází včetně fyziologické zralosti. Oproti současnému stavu by období zrání kolem roku 2040 mohlo být uspíšeno v nižších polohách (do 400 m n m.) o 8 – 11 dnů, ve vyšších o 11 – 16 dnů. Zrychluje se dosažení teplotních sum jako podmínka dosažení jednotlivých fenologických fází. Na rozdíl od jiných sektorů (např. stavebnictví) není dřívější zahájení vegetačních období vždy pozitivní. Časně se vyvíjející vegetace především v oblasti vinohradnictví a ovocnářství je vystavena vyššímu riziku vpádů studeného vzduchu (advekční mrazíky) nebo radiačnímu ochlazení. Na základě ubývající vlhkosti půdy, které je způsobena jednak menší zásobou vody ve sněhové pokrývce, ale také právě dřívější aktivitou vegetace a vyšší potřebou vláhy na transpiraci, dochází a bude docházet k častějšímu výskytu jarního sucha. Sucho v období jara bude podpořeno i přímým vzestupem teploty, kdy dochází jednak ke zvýšení neproduktivní evaporace, ale i k zesílení vzestupných konvekčních proudů a mění se rozložení srážek, a to ve smyslu ubývání jak srážkových dnů, tak i dnů s nižšími srážkovými úhrny v tomto pro rostliny klíčovém období. Právě časný začátek jara v kombinaci se suchem povede k pěstování suchovzdorných odrůd či přímo plodin (čirok, proso) stejně jako vyšší výsadně teplomilných odrůd vinné révy zvláště pak odrůd červených a to i přes riziko jarních mrazíků.
V kontextu přezimování a následné jarní aktivity chorob a škůdců je nutné zmínit jarní kumulaci abiotických a biotických stresů. Je zřejmé, že suchem či mrazíky oslabené a poškozené porosty jsou následně snazším cílem veškerých patogenů. Snižuje se nejen odolnost samotných plodin či dřevin, ale i účinnost ochranných prostředků jako jsou např. fungicidy a insekticidy.

V letním období jsou dopady spojené především s nárůstem teploty, úbytkem srážek a změny jejich rozložení (obdobně jako v jarním období více přívalů) a výskytem hydrometeorologických extrémů. Nástup teplejších, leč povětšinou sušších ročníků znamená vyšší riziko výskytu sucha během letních měsíců a problémy s obděláváním půdy na konci léta i v oblastech, kde jsme těmto problémům doposud nemuseli čelit. Zvyšující se počet letních a tropických dnů a s nimi spojených horkých vln ohrožuje na konci jara a v létě veškeré polní plodiny a to i v situaci, kdy je v půdě relativně dostatek vláhy. Ta se však díky klimatickým podmínkám snižuje a obdobně jako v období jarním pozorujeme nárůst agronomického (zemědělského) sucha, jehož definice je spojena s půdní vlhkostí. Prakticky se jedná o nedostatek vláhy pro rostlin. Dopady sucha na plodiny budou stále častěji příčinou vysoké variability výnosů a regionálních výnosových propadů. Jednou z příčin budou i nižší průtoky řek ovlivňující hladinu podzemní vody a nižší stavy vodních nádrží, které by byly potenciálním zdrojem pro závlahy. Právě v době jejich nejvyšší potřeby bude logicky nejméně disponibilní vody.
Odhlédneme-li od neutěšeného stavu současného stavu meliorační sítě, je zřejmé, že to mohou být v budoucnu právě závlahy, které posunou zemědělské podniky postihované suchem z červených čísel. Samozřejmostí se stanou úsporné kapkové závlahy pro ovocnáře, vinohradníky a zelináře. O velkoplošných závlahách vzhledem k množství vody uvažovat nelze ani v kontextu JMK a závlahu bude nutné koncentrovat do produkce s vysokou přidanou hodnotou. Dalším rizikem budou intenzivní srážky související s vyšší variabilitou podnebí (střídání sucho x povodně) budou na konci jarního, ale především v letním období příčinou problémů se sklizní, které se mohou vyskytnout prakticky na celém území České republiky.

Podzimní období je významné z pohledu sklizně některých plodin (např. některé ovoce, vinná réva, kukuřice na zrno) a zakládání porostů ozimých obilnin. Rok 2015 ukázal, že výskyt sucha ve druhé polovině vegetačního období postihuje převážně komodity s vysokou přidanou hodnotou (cukrová řepa, Pokud se zamyslíme nad změnou klimatu a dopady do zemědělství jedná se o roční období, které bude relativně nejméně ovlivněno. Podzim se stane v nejnižších polohách součástí velkého vegetačního období a prodlouží se v jeho rámci počet dnů umožňující růst a vývoj především ozimů. V současné době se v průběhu podzimu projevuje spíše nárůstem srážek, které však na rozdíl od letních nemají přívalový charakter, zvýšení teploty sice vyvolá vyšší potenciální i aktuální evapotranspiraci, ale dopady už nemohou mít vzhledem k potřebám rostlin takový vliv jako v období jarním a časně letním.

Je evidentní, že existuje riziko snížení potenciální produktivity klíčových zemědělských oblastí JMK, neboť v důsledku nedostatku vláhy klesá efektivní délka vegetační sezóny. Na severu území a ve vyšších polohách s relativním dostatkem vláhy hodnota roste, ale zemědělská produkce v těchto regionech nebude schopna v dlouhodobém časovém horizontu vykrývat výpadky hlavních produkčních oblastí JMK. Současně dochází riziko výskytu sucha, a to podle některých scénářů i několikanásobně. To v kombinaci s výše uvedenými změnami podvazuje produkční schopnost zvláště těch regionů, které dnes spadají do kukuřičné a řepařské výrobní oblasti. Počet extrémně teplých dní se zvýší dramaticky a riziko negativních dopadů pro zemědělské plodiny i hospodářská zvířata a akvakultury je vysoké. Navíc na rozdíl od nedostatku vláhy není zvýšení počtu extrémně teplých dní řešitelné u polních kultur technickými opatřeními. Dramaticky se zvyšuje riziko výskytu dní s maximem vyšším než 35°C a také riziko vysokých teplot již v měsíci květnu. Očekávané dopady na produktivitu zemědělství JMK tak budou zásadní.