

# „Odborný podklad k zohlednění dopadů změny klimatu při přípravě projektů dopravní infrastruktury“

---

## Závěrečná zpráva

Zadavatel: Ministerstvo dopravy České republiky

Zhotovitel: Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ); Univerzita Karlova, Matematicko-fyzikální fakulta (MFF UK)

Řešitelé:

*RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., RNDr. Anna Valeriánová, RNDr. Lenka Crhová, Mgr. Slávek Podzimek, Dr. Ing. Martin Možný (všichni ČHMÚ)*

*RNDr. Eva Holtanová, Ph.D., Mgr. Michal Belda, Ph.D., Mgr. Peter Huszár, Ph.D., Mgr. Michal Žák, Ph.D. (všichni MFF UK)*

Praha

5. červen 2017



EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Doprava

Shrnutí .....	5
Summary .....	8
Úvod .....	11
Rozsah díla stanovený na základě nabídky.....	11
Metodika použitá při plnění veřejné zakázky.....	14
Používané pojmy .....	15
Kvantifikace relevantních meteorologických prvků a jevů pro současnost .....	16
Kvantifikace relevantních meteorologických prvků a jevů pro blízkou budoucnost – výhled pro období 2021–2050 .....	17
Základní poznatky o globálních a regionálních klimatických modelech a scénářích změny klimatu	17
Metodika použitá při kvantifikaci relevantních meteorologických prvků a jevů pro blízkou budoucnost – výhled pro období 2021–2050 .....	20
Formát výstupů .....	22
Scénář změny klimatu pro Českou republiku dle výsledků VaV – SP/1a6/108/07 .....	23
Výsledky.....	25
1 Teplota vzduchu .....	25
1.1 Průměrná roční teplota vzduchu .....	25
1.1.1 Pozorování .....	25
1.1.2 Výhled změn - modelové projekce .....	26
1.2 Průměrná sezónní teplota vzduchu.....	27
1.2.1 Pozorování .....	27
1.2.2 Výhled změn - modelové projekce .....	30
1.3 Průměrný roční počet jasných (slunečných) dní .....	31
1.3.1 Pozorování .....	31
1.3.2 Výhled změn - modelové projekce .....	32
1.4 Průměrný roční počet dní s maximální teplotou nad 34 °C.....	35
1.4.1 Pozorování .....	35
1.4.2 Výhled změn - modelové projekce .....	35
1.5 Průměrný roční počet dní s minimální teplotou pod -20 °C.....	37
1.5.1 Pozorování .....	37
1.5.2 Výhled změn - modelové projekce .....	38
1.6 Průměrná délka trvání nadlimitní (podlimitní) teploty výpočtem z 15 a 10minutových dat teploty vzduchu .....	40



1.7 Horké vlny.....	41
1.7.1. Pozorování.....	41
1.7.2 Výhled změn - modelové projekce .....	42
2 Srážky.....	44
2.1 Průměrný roční úhrn srážek .....	44
2.1.1 Pozorování.....	44
2.1.2 Výhled změn - modelové projekce .....	45
2.2 Průměrný sezónní úhrn srážek .....	47
2.2.1 Pozorování.....	47
2.2.2 Výhled změn - modelové projekce .....	49
2.3 Průměrný měsíční úhrn srážek .....	51
2.3.1 Výhled změn - modelové projekce .....	51
2.4 Průměrný roční počet dní se srážkami s denním úhrnem alespoň 10, 20 a 30 mm .....	52
2.4.1 Pozorování.....	52
2.4.2 Výhled změn - modelové projekce .....	54
2.5 Průměrný roční počet dní se srážkami 30 mm a více za 1 hodinu .....	58
2.5.1. Pozorování.....	58
2.5.2 Výhled změn - rešerše existujících studií.....	58
3. Sucho .....	59
3.1 Průměrný podíl měsíců zasažených suchem v % za celý rok a v teplé části roku (duben až září).....	59
3.1.1 Pozorování.....	59
3.1.2 Výhled změn - modelové projekce .....	61
4. Silný vítr .....	64
4.1 Průměrná roční rychlost větru .....	64
4.1.1 Pozorování.....	64
4.1.2 Výhled změn - modelové projekce .....	64
4.2 Průměrná sezónní rychlost větru .....	66
4.2.1 Pozorování.....	66
4.2.2 Výhled změn - modelové projekce .....	68
4.3 Počet dní s maximálním nárazem větru nad 20,8 m/s .....	70
4.3.1 Pozorování.....	70
4.3.2 Výhled změn - rešerše existujících studií.....	71
5. Sněhová pokrývka.....	72



5.1 Průměrný měsíční a sezónní počet dní se sněžením (listopad až březen) .....	72
5.1.1 Pozorování .....	72
5.1.2 Výhled změn - modelové projekce .....	76
5.2 Průměrný sezónní (listopad – březen) počet dní s novým sněhem 5 cm a více.....	78
5.2.1 Pozorování .....	78
5.2.2 Výhled změn - modelové projekce .....	78
5.3 Sezónní a měsíční úhrn výšky nového sněhu (listopad až březen).....	80
5.3.1 Pozorování .....	80
5.3.2 Výhled změn - modelové projekce .....	83
6. Fázové přechody vody, teplota vody, zamrzání, tání, vzdušná vlhkost .....	85
6.1 Průměrný sezónní (říjen až duben) počet dní s přechodem teploty přes 0 °C.....	85
6.1.1 Pozorování .....	85
6.1.2 Výhled změn - modelové projekce .....	85
7. Kvalita vzduchu, počet dní se špatnými rozptylovými podmínkami .....	87
7.1 Sezónní (listopad až březen) počet dní se zhoršenými rozptylovými podmínkami .....	87
7.1.1. Pozorování .....	87
7.1.2. Výhled změn - modelové projekce .....	90





# Shrnutí

Na základě výběrového řízení na veřejnou zakázku malého rozsahu byla uzavřena mezi Ministerstvem dopravy ČR – objednatelem a Českým hydrometeorologickým ústavem jako zhotovitelem – vedoucím účastníkem a Matematicko-fyzikální fakultou Univerzity Karlovy jako zhotovitelem – účastníkem smlouva na zpracování podkladů „Odborný podklad k zohlednění dopadů změny klimatu při přípravě projektů dopravní infrastruktury“. Předmět plnění veřejné zakázky VZ-5-430/2017 je podrobně popsán ve Smlouvě o dílo číslo smlouvy S-4-430/2017 ze dne 27.2.2017.

Pro kvantifikaci relevantních meteorologických prvků v referenčním období 1986–2015 byla využita data naměřená v staniční síti ČHMÚ archivována v databázi CLIDATA. Na základě naměřených a napozorovaných dat byly pomocí interpolačních metod používaných na ČHMÚ vytvořeny mapové vrstvy požadovaných klimatologických charakteristik pro referenční období 1986–2015, v případě nedostupnosti dostatečného množství dat za období kratší.

Pro kvantifikaci odhadu změn relevantních meteorologických prvků a jevů pro blízkou budoucnost (období 2021–2050) byly vypočteny změny v daném meteorologickém prvku simulované pro dané období oproti referenčnímu období 1986–2015. Výhled vychází z dostupných výstupů regionálních klimatických modelů Euro-CORDEX v rozlišení 0,11° řízených několika různými globálními modely. Změna dané charakteristiky byla odvozena tzv. delta metodou, tedy jako rozdíl mezi hodnotou simulovanou pro budoucí období 2021–2050 a hodnotou pro referenční období 1986–2015. Pro srážkové úhrny byl určen podíl modelových hodnot pro budoucí období a pro referenční období, změny jsou tedy pro srážkové úhrny udávány relativně. Použitím delta metody je zmenšen vliv odchylek hodnot meteorologických prvků simulovaných modely pro referenční období na výsledné očekávané změny. Jedná se o jeden z možných způsobů tvorby scénářů změny klimatu podle doporučení IPCC-TGICA (2007). Pouze u charakteristik sucha byl použit jiný postup s využitím tzv. kvantilové metody korekce modelových výstupů. Očekávané změny dané charakteristiky byly vyjádřeny jako multi-modelový průměr ze souboru modelových simulací, který byl v některých vhodných případech doplněn hodnotou multi-modelové směrodatné odchylky (míra nejistoty modelových výstupů).

Výsledky zpracování jsou vyhotoveny ve trojím formátu:

1. vektorová vrstva (shapefile) v rozlišení 1 km (referenční období) a 10 km (budoucí období) v souřadnicovém systému WGS84
2. ESRI rastr v rozlišení 1 km (referenční období) a 10 km (budoucí období) v souřadnicovém systému WGS84
3. obrázky ve formátu png v rozlišení 300 dpi



Shrnutí základních výsledků týkajících se očekávaných změn relevantních meteorologických prvků pro blízkou budoucnost (období 2021–2050):

- změny průměrné roční teploty vzduchu se pohybují mezi 0,8 – 1,4 °C. Vyšší změny teploty vzduchu modely předpokládají ve vyšších nadmořských výškách;
- je očekáván mírný pokles průměrného ročního počtu jasných dní, pro oba emisní scénáře jsou ale očekávané změny výrazně menší než nejistota modelového odhadu;
- je očekáván nárůst průměrného počtu dní s maximální denní teplotou vzduchu nad 34 °C o 1 – 2 dny. Vzhledem k relativně nízkému počtu dní s maximální teplotou nad 34 °C v referenčním období se jedná o poměrně výraznou změnu;
- u průměrného ročního počtu dní s minimální denní teplotou vzduchu pod -20 °C modely dávají prakticky nulovou změnu, s výjimkou některých horských oblastí;
- je očekáván mírný nárůst průměrného ročního počtu dní s horkou vlnou od 1 do 6 dnů. Vyšší nárůst (4 – 6 dní) je očekáván v nižších nadmořských výškách, v horských oblastech pouze 1 – 2 dny;
- je očekáván nárůst průměrného ročního srážkového úhrnu o 2 – 10 %; pro emisní scénář RCP4.5 dávají modely na jaře a v zimě mírný nárůst srážek, v létě a na podzim je v některých oblastech (zejména na Z a JZ ČR) očekáván velmi mírný pokles srážek, na ostatním území velmi mírný nárůst; pro scénář emisí RCP8.5 se jedná o nárůst srážek ve všech sezónách na většině území ČR; očekávané sezónní změny nejsou mezi jednotlivými měsíci rozloženy zcela rovnoměrně;
- není očekávána výrazná změna v průměrném ročním počtu dní se srážkovým úhrnem nad 10 mm, 20 mm ani 30 mm;
- je očekáván nárůst četnosti episod sucha a růst celkové expozice nejen v letní polovině roku;
- očekávané změny průměrné roční i sezónní rychlosti větru jsou pro oba emisní scénáře velmi malé;
- u průměrného počtu dní s novým sněhem za zimní sezónu (listopad-březen) je pro scénář RCP4.5 očekáván pokles o 8 až 13 dnů v nižších polohách, o 12 až 17 dnů ve středních a vyšších polohách, na horách pak většinou o 15 až 25 dnů (nejvíce na hřebenech Jeseníků). Pro scénář RCP8.5 je očekávaný pokles dnů s novým sněhem o něco málo vyšší;
- u průměrného počtu dní s novým sněhem 5 cm a více za zimní sezónu (listopad-březen) je pro oba emisní scénáře očekáván velmi mírný pokles, pro většinu území ale interval nejistoty zahrnuje i nulovou změnu;
- u průměrného sezónního úhrnu výšky nového sněhu za zimní sezónu (listopad-březen) se očekává jen malá změna s výjimkou horských oblastí, kde modely dávají pokles od 4 do 24 cm. Interval nejistoty ale často zahrnuje i možnost nulových změn;
- pro oba emisní scénáře je očekáván mírný pokles průměrného sezónního počtu dní s přechodem teploty přes 0 °C (říjen až duben);



- na SV ČR je očekáván mírný pokles průměrného sezónního počtu dní se zhoršenými rozptylovými podmínkami (listopad až březen), na JZ ČR je naopak očekáván nepatrný nárůst.



# Summary

Based on an open tender the contract numbered S-4-430/2017 was signed on 27.2.2017 between Ministry of Transport (ordering party) and Czech Hydrometeorological Institute (main contractor) and Charles University, Faculty of Mathematics and Physics (contractor). The contract defines the tasks for preparation of materials „Expert technical basis for considering the impacts of climate change during the preparation of transport infrastructure related projects“.

For quantification of relevant meteorological parameters in the reference period 1986-2015 the data archived in the database of the Czech Hydrometeorological Institute were used. Based on the measured and observed data the maps of relevant characteristics were created using interpolation techniques employed operationally by the Czech Hydrometeorological Institute. In case the data were not available for the whole period of 1986-2015, the maps for a shorter period were created.

For quantification of expected changes of relevant meteorological parameters in the future period of 2021-2050 the simulations of available Euro-CORDEX regional climate models in 0.11° horizontal resolution were incorporated. The changes were obtained using the delta-method, that is as a difference between values simulated for future and reference periods (one of the approaches recommended in IPCC-TGICA, 2007). Only in case of aridity characteristics a quantile-matching bias correction method was used. Expected changes were calculated as multi-model mean values. Where applicable, a multi-model standard deviation was calculated as an estimate of uncertainty.

The results are provided in three different formats:

1. shapefile of 1 km resolution (reference period) and 10 km resolution (future period) in WGS84 coordinate system
2. ESRI grid files of 1 km resolution (reference period) and 10 km resolution (future period) in WGS84 coordinate system
3. graphics in png with 300 dpi resolution

Summary of the main results regarding the expected changes in relevant meteorological parameters in the future period of 2021-2050:

- Changes of the annual average temperature lie between 0.8 – 1.4 °C. Higher temperature increases are projected by models at higher elevations;
- A slight decrease of average annual number of cloud-free days is expected, however, for both emission scenarios, the modeled changes are substantially smaller in magnitude than the associated uncertainty;



- An increase by 1 – 2 of the average number of days in a year with maximum temperature higher than 34 °C is expected. Given the number of such days in the reference period is small, this is a significant change;
- For the number of days with daily minima lower than -20 °C, models give almost zero change, except some mountainous areas;
- An increase of average number of heat wave days by 1 – 6 is expected. Higher increases are modeled for lower altitudes (4 – 6 days), while over mountain regions it is about 1 – 2 days;
- An increase of annual precipitation by 2 – 10 % is expected; for the RCP4.5 scenario for winter and spring, models predict slight increases, while for summer and autumn a very small decrease is modeled for some regions (western, south-western Czechia), while for other regions, a small increase; for the RCP8.5 scenario, increases are expected for the whole country. the expected seasonal changes are not distributed equally between individual months;
- No increase of the number of days with precipitation amounts exceeding 10 mm, 20 mm or 30 mm is expected;
- An increase of the frequency of droughts as well as of the total exposition is expected not only in the warmer part of the year;
- The expected changes of the annual and seasonal wind speed are, for both emission scenarios, very small;
- regarding the average number of days with new snow for winter period (November – March) for the RCP4.5, a decrease by 8 to 13 days for low elevations, 12 to 17 days for mid-elevations and 15 to 25 days for high elevations or mountains (especially over ridges of the Jeseniky Mountains) is expected. For RCP8.5 scenario, the decrease of the number of days with new snow is somewhat higher;
- for the number of days during the winter period (November – March) with at least 5 cm new snow, a very small decrease is expected for both scenarios, however for the majority of the country, the confidence interval allows zero changes as well;
- for the average new snow amount for the winter season (November – March), only a small change is expected, except mountainous areas, where models project decreases from 4 to 24 cm. The confidence interval, against, covers zero change as well;
- for the both emission scenarios, a slight decrease of the average seasonal number of days when temperature crosses 0 °C is expected (October to April);
- over the northeastern part of the country, a slight decrease of the number of days with adverse dispersion conditions is projected for the winter season (November to March); on the other hand over the southwestern part of Czech republic, a slight increase is expected.





# Úvod

Na základě výběrového řízení na veřejnou zakázku malého rozsahu byla uzavřena mezi Ministerstvem dopravy ČR – objednatelem a Českým hydrometeorologickým ústavem jako zhotovitelem – vedoucím účastníkem a Matematicko-fyzikální fakultou Univerzity Karlovy jako zhotovitelem – účastníkem smlouva na zpracování podkladů „**Odborný podklad k zohlednění dopadů změny klimatu při přípravě projektů dopravní infrastruktury**“. Předmět plnění veřejné zakázky VZ-5-430/2017 je podrobně popsán ve Smlouvě o dílo číslo smlouvy S-4-430/2017 ze dne 27.2.2017.

## Rozsah díla stanovený na základě nabídky

### *1. Kvantifikace relevantních meteorologických prvků a jevů pro současnost*

Klimatologické charakteristiky za období 1986–2015 budou zpracovány pro potřeby dopravní infrastruktury ČR v rastrovém formátu v rozlišení 1 km. Data naměřená v základní síti meteorologických stanic budou interpolována do mapové vrstvy metodami používanými pro jednotlivé prvky v ČHMÚ pro prostorovou analýzu dat.

#### 1.1 Teploty, sluneční záření:

Průměrná sezónní a roční teplota vzduchu – výstup mapové vrstvy.

Průměrný roční počet jasných (slunečných) dní určený na základě měření trvání slunečního svitu – výstup mapová vrstva.

Kritická teplota vzduchu – průměrný roční počet dní s překročením stanoveného limitu maximální a minimální teploty vzduchu. Pro maximální teplotu vzduchu navrhuje limitní hodnotu 34 °C, pro minimální teplotu vzduchu -20 °C - výstup mapové vrstvy. (Poznámka: limity pro maximální a minimální teplotu vzduchu budou upřesněny se zadavatelem).

Pro období 2001-2015 pro vybrané stanice průměrná délka trvání nadlimitní (podlimitní) teploty výpočetem z 15 a 10minutových dat teploty vzduchu – výstup tabulka, případně graf.

Na základě definice (po upřesnění zadavatelem) bude zpracován počet horkých vln – výstup mapová vrstva.

#### 1.2. Srážky, záplavy, povodně, půdní eroze, sesuvy:

Průměrný sezónní a roční úhrn srážek – výstup mapové vrstvy.

Průměrný roční počet dní se srážkami s denním úhrnem alespoň 10, 20 a 30 mm – výstup mapové vrstvy.

Průměrný roční počet dní se srážkami 30 mm a více za 1 hodinu - výstup mapová vrstva.

Půdní sesuvy jsou jevy vyvolané a ovlivněné nejen množstvím a intenzitou srážek, ale hlavně morfologií terénu a vlastnostmi půdního horizontu. Pro hodnocení možného rizika výskytu



půdních sesuvů navrhujeme vyhodnotit výskyt hodinových a denních úhrnů srážek nad 30 mm.

1.3. Období sucha, požáry, prachové bouře, dostupnost vody, zasolování půdy:

Průměrný podíl měsíců zasažených suchem v % za celý rok – výstup mapová vrstva.

Průměrný podíl měsíců zasažených suchem v % v teplé části roku (duben až září) – výstup mapová vrstva.

1.4. Silný vítr a vichřice, bouřky:

Průměrná sezónní a roční rychlost větru – výstup mapové vrstvy.

Počet dní s maximálním nárazem větru nad 20,8 m/s – výstup mapová vrstva.

Počet bleskových výbojů za období 2002-2015 – výstup mapová vrstva.

1.5. Sněhová pokrývka, laviny:

Průměrný měsíční počet dní se sněžením (listopad až březen) – výstup mapová vrstva.

Průměrný sezónní (listopad – březen) počet dní s novým sněhem 5 cm a více – výstup mapová vrstva.

Sezónní a měsíční úhrn výšky nového sněhu (listopad až březen) – výstup mapová vrstva.

1.6. Fázové přechody vody, teplota vody, zamrzání, tání, vzdušná vlhkost:

Průměrný sezónní (říjen až březen) počet dní s přechodem teploty přes 0 °C – výstup mapová vrstva.

1.7. Kvalita vzduchu, počet dní se špatnými rozptylovými podmínkami:

Sezónní (listopad až březen) počet dní se zhoršenými rozptylovými podmínkami pro období 2010-2015 – výstup mapová vrstva v rozlišení 4,7 km.

## *2. Kvantifikace relevantních meteorologických prvků a jevů pro blízkou budoucnost – výhled pro období 2021–2050.*

Pokud se týká kvantifikace odhadu změn relevantních meteorologických prvků a jevů pro blízkou budoucnost (období 2021–2050), budou vypočteny změny v daném meteorologickém prvku simulované pro dané období oproti referenčnímu období 1986–2015. Výhled bude vycházet z dostupných výstupů regionálních modelů Euro-CORDEX v rozlišení 0,11°, který obsahuje soubor 8 RCM řízených několika různými globálními modely. Pro hodnocení rozptylových podmínek bude k dispozici pouze jedna modelová simulace v rozlišení 50x50 km.

Multi-modelový průměr z dostupného souboru simulací Euro-CORDEX regionálních modelů bude doplněn hodnotou multi-modelové směrodatné odchylky (míra nejistoty modelových výstupů).





Vlastním výsledkům bude předcházet rešerše, v rámci které budou vyhodnoceny poznatky o pozorovaných a simulovaných změnách relevantních prvků ve střední Evropě a na území ČR vycházející ze studií řešených v rámci národních a mezinárodních projektů. Výhled bude doplněn srovnáním s klimatickým scénářem pro ČR (VaV MŽP, SP/1A6/108/07 z roku 2011), který je součástí Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách České republiky schválené vládou ČR dne 26. října 2015.

Výstupy Euro-CORDEX regionálních modelů budou zpracovány pro následující charakteristiky:

#### 2.1 teploty, sluneční záření:

Průměrná měsíční, sezónní a roční teplota vzduchu.

Počet jasných dní - jasný den definovaný na základě délky slunečního svitu - denní úhrn slunečního svitu alespoň 80 % délky dne

Kritická teplota vzduchu – počet dní s maximální teplotou vzduchu vyšší než 34 °C, počet dní s minimální teplotou vzduchu nižší než -20 °C

Počet horkých vln. Horká vlna je definována jako souvislé období, kdy denní maximum teploty vzduchu neklesne pod 25 °C a je vyšší než 30 °C alespoň ve třech dnech. Dále musí být splněna podmínka, že průměr denních maxim teploty vzduchu pro dny v období horké vlny je vyšší než 30 °C.

#### 2.2 srážky, záplavy, povodně, půdní eroze, sesuvy:

Průměrný měsíční, sezónní a roční úhrn srážek

Počet dní se srážkami s denním úhrnem alespoň 10, 20 a 30 mm

#### 2.3 období sucha, požáry, prachové bouře, dostupnost vody, zasolování půdy:

Průměrný podíl měsíců zasažených suchem v % za celý rok

Průměrný podíl měsíců zasažených suchem v % v teplé části roku (duben až září).

#### 2.4 silný vítr a vichřice, bouřky:

Průměrná sezónní a roční rychlost větru.

#### 2.5 sněhová pokrývka, laviny:

Průměrný měsíční počet dní se sněžením (prosinec až březen).

Průměrný sezónní počet dní s novým sněhem 5 cm a více.

Sezónní a měsíční úhrn výšky nového sněhu (prosinec až březen).



## 2.6 fázové přechody vody, teplota vody, zamrzání, tání, vzdušná vlhkost:

Průměrný měsíční počet dní s přechodem teploty přes 0 °C: počet dní, kdy je minimální teplota vzduchu menší než nula, maximální teplota vzduchu vyšší než nula, a následující den je minimální denní teplota vzduchu nižší než nula.

## 2.7 kvalita vzduchu, počet dní se špatnými rozptylovými podmínkami:

Počet dní se zhoršenými rozptylovými podmínkami (listopad až březen). Rozptylové podmínky budou hodnoceny na základě ventilačního indexu (VI). VI je definován jako součin průměrné rychlosti v mezní vrstvě atmosféry a výšky mezní vrstvy. Při výpočtu se vychází z průměrných denních hodnot. Stejně jako u všech předešlých veličin bude výhled pro budoucí období představovat změnu podmínek oproti referenčnímu období.

# Metodika použitá při plnění veřejné zakázky

V následující části je uveden popis metodiky použité při přípravě požadovaných výstupů. U některých částí jsou uvedena i relevantní fakta shrnující stav vědeckého poznání v dané oblasti s cílem usnadnit správné použití výsledků veřejné zakázky.



## Používané pojmy

Průměrné roční (sezónní) charakteristiky jsou odvozeny z denních měření klimatických prvků. **Sezóny jsou definované následovně:** jaro jako březen až květen, léto jako červen až srpen, podzim jako září až listopad, zima jako prosinec až únor. U map prostorového rozložení změn sezónních charakteristik je používáno značení MAM (jaro), JJA (léto), SON (podzim), DJF (zima).

**Den jasný** je definován jako den s průměrným denním množstvím oblačnosti menším než 2 desetiny. Pro zpracování jejich výskytu byly použity údaje o denních hodnotách relativního slunečního svitu (RSS). RSS je dán poměrem mezi skutečným a efektivně možným slunečním svitem. Jasný den je pak den, kdy je  $RSS > 0.8$ . Při zpracování modelových dat slunečního svitu byla pro výpočet efektivně možného slunečního svitu zvolena 50. rovnoběžka.

**Denní maximální teplota vzduchu** je maximum teploty vzduchu za dobu měření od 21 h předchozího dne do 21 h dne aktuálního. V případě modelových výstupů je definice posunuta na denní interval od 00:00 do 24:00. Udává se v °C.

**Denní minimální teplota vzduchu** je minimum teploty vzduchu za dobu měření od 21 h předchozího dne do 21 h dne aktuálního. V případě modelových výstupů je definice posunuta na denní interval od 00:00 do 24:00. Udává se v °C.

**Horká vlna** je definována jako souvislé období, kdy denní maximum teploty vzduchu neklesne pod 25 °C a je vyšší než 30 °C alespoň ve třech dnech. Dále musí být splněna podmínka, že průměr denních maxim teploty vzduchu pro dny v období horké vlny je vyšší než 30 °C. Tyto prahové hodnoty maximální denní teploty byly vybrány speciálně pro klimatické podmínky ČR a s ohledem na často užívanou definici letních a tropických dní (Huth et al., 2000).

**Dny s přechodem přes 0 °C** jsou dny, kdy denní minimální teplota vzduchu je menší nebo rovna 0 °C, a zároveň denní maximální teplota vzduchu je větší 0 °C, u modelových dat byla podmínka rozšířená o výskyt minimální teploty vzduchu pod 0 °C i v následující den.

**Denní úhrn srážek** je množství srážek, které spadlo za předchozích 24 hodin od termínu měření v 7 h ráno, přičemž je naměřený úhrn zapsán k předchozímu dni. Udává se v mm. V případě modelových výstupů je definice posunuta na denní interval od 00:00 do 24:00.

**Den se sněžením** je den, kdy vypadávaly srážky v podobě sněžení, zmrzlého deště nebo deště se sněhem.

**Výška nového sněhu** se měří v 7 h ráno, pokud v uplynulých 24 hodinách padaly tuhé srážky. Představuje výšku sněhu, který napadl za předchozích 24 hodin. Udává se v cm. V případě modelových výstupů je definice posunuta na denní interval od 00:00 do 24:00.

### Rozptylové podmínky:

Kvalita ovzduší je ovlivňována dvěma faktory: emisemi a meteorologickými podmínkami. Emise představují primární příčinu znečištění ovzduší a obecně platí, že se vzdáleností od emisního zdroje klesá imisní zátěž. Je zde ale i druhý faktor - vliv meteorologických prvků. Je



jich celá řada: např. teplota vzduchu ovlivňuje rychlost chemických reakcí a rychlost suché i mokré depozice, rychlost a směr větru působí na transport chemických látek, stabilita vzduchu ovlivňuje vertikální mísení příměsí a oblačnost a následně srážky působí na mokrou depozici.

Při otázce možného vývoje znečištění ovzduší v budoucnosti se musí zohlednit oba faktory. Budoucí změny znečištění jsou tedy výsledkem současného působení změn samotných emisí (Penrod et al., 2014; Colette et al., 2013; Huszar et al., 2016) a změn meteorologických podmínek (Huszar et al., 2011; Juda-Rezler et al., 2012).

Důležitým faktorem ovlivňujícím transport látek od emisního zdroje je ventilační index (VI), definovaný jako součin průměrné rychlosti větru v mezní vrstvě a samotné výšky této vrstvy. Jelikož se v budoucím klimatu očekávají určité změny meteorologických prvků, tj. i větru a výšky mezní vrstvy, dají se předpokládat i změny VI. Změny VI pak implikují změny rozptylových podmínek. Z tohoto hlediska nás pak zajímají dny, kdy jsou tyto podmínky zhoršené, tj. ventilační index nedosáhne určitou prahovou hodnotu. V tomto ohledu má význam počet dní v chladné polovině roku (listopad až březen), kdy průměrný VI je menší než  $1100 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ .

## Kvantifikace relevantních meteorologických prvků a jevů pro současnost

### Vstupní data

Pro kvantifikaci relevantních meteorologických prvků byla využita data naměřená v staniční síti ČHMÚ archivována v databázi CLIDATA. Všechna data prošla formální a logickou kontrolou. Pro zpracování charakteristik byla využita měření ze stanic, které v období 1986 - 2015 měřily alespoň 25 let u charakteristik srážkových, 22 let u charakteristik teploty vzduchu, 22 let u slunečního svitu a 10 let u rychlosti větru. V případě, že pro prostorovou interpolaci dat byla hustota měřicích bodů splňujících podmínku délky řady nedostatečná (měření v požadovaném období 1986–2015 bylo přerušeno nebo ukončeno), byly pro doplnění řady u teplotních a srážkových charakteristik využity technické řady prvků, které jsou dopočteny na základě měření okolních stanic.

### Interpolace mapové vrstvy

Prostorová analýza jednotlivých klimatologických prvků vycházela z bodového měření jednotlivých stanic. K vytvoření plošného rozložení prvku – mapové vrstvy – byly použity statistické a interpolační metody. Pro interpolaci byla využita metoda inverzního vážení (IDW) nebo kriging. Na základě změn klimatického prvku (zpracovávané charakteristiky)



s nadmořskou výškou byla prostorová analýza provedena buď se závislostí, nebo bez závislosti prvku (zpracovávané charakteristiky) na nadmořské výšce. Pro prvky (zpracovávané charakteristiky) s uvažovanou závislostí na nadmořské výšce byla využita metoda lokální lineární regrese mezi naměřenou nebo vypočítanou hodnotou a digitálním modelem reliéfu.

### **Obecná charakteristika klimatu ČR:**

Území České republiky leží v atlanticko-kontinentální oblasti mírného klimatického pásma severní polokoule s typickým střídáním čtyř ročních období a proměnlivým počasím v průběhu celého roku. V oblasti převládají synoptické situace západních směrů. Celoročně se zde střídají vzduchové hmoty oceánského a kontinentálního původu, které se formují převážně ve středních zeměpisných šířkách. Časté jsou vpády vzduchových hmot tropického a arktického původu. Průměrná roční teplota vzduchu pro celé území ČR za období 1986–2015 dosahuje hodnoty 8,1 °C, průměrný roční úhrn srážek je za uvedené období 683 mm. Významným faktorem, který ovlivňuje podnebí ČR je poměrně členitá orografie, nejnižší položené lokality se nacházejí v nadmořské výšce 115 m n. m., nejvyšší bod je ve výšce 1602 m n. m.

## **Kvantifikace relevantních meteorologických prvků a jevů pro blízkou budoucnost – výhled pro období 2021–2050**

### **Základní poznatky o globálních a regionálních klimatických modelech a scénářích změny klimatu**

Pro tvorbu scénářů změny klimatu se v současnosti běžně používají výstupy globálních a regionálních klimatických modelů. Současná věda nedokáže přesně popsat všechny procesy probíhající v klimatickém systému. Ale ani pokud bychom byli schopni celý klimatický systém explicitně matematicky popsat, tak žádný model nemůže všechny procesy přesně simulovat (Räisänen, 2007), a to nejen z důvodu omezené výpočetní kapacity a konečného prostorového a časového rozlišení, ale i kvůli vysoké závislosti na přesnosti počátečních podmínek v důsledku chaotické povahy systému. Výstupy klimatických modelů jsou proto zatíženy mnoha chybami a nejistotami, které lze analyzovat s pomocí různých metod a přístupů. Shrnutí nejdůležitějších poznatků týkajících se nejistot v modelových výstupech bylo nedávno publikováno ve studii Holtanová a Kalvová (2015).

Globální klimatické modely (GCM) představují v současnosti nejpoužívanější nástroj pro tvorbu scénářů změny klimatu. Navzdory intenzivnímu vývoji a zlepšování GCM jejich prostorové rozlišení zůstává stále příliš hrubé a možnosti aplikace výstupů GCM v regionálním měřítku jsou tím omezené. Použití regionálního klimatického modelu (RCM) představuje jednu z nejoblíbenějších metod zmenšování měřítko (tzv. downscalingu). Modelová simulace



v tomto případě probíhá pouze na omezené oblasti (integrační doména), zato s větším prostorovým i časovým rozlišením. Na okrajích integrační domény jsou jako okrajové podmínky použity výstupy GCM, pro který se pak používá termín "řídící GCM".

Při výhledech změny klimatu do budoucna je nutné zohlednit neurčitosti obsažené v modelových výstupech. Jejich zdroji jsou následující faktory: počáteční podmínky a okrajové podmínky, parametrizace a struktura modelu (viz např. Tebaldi a Knutti, 2007). Nejistota spojená s citlivostí modelových simulací na nepřesnosti v zadaných počátečních a okrajových podmínkách souvisí s chaotickou povahou klimatického systému. U simulací klimatu na delších časových škálách se tento zdroj nejistoty ukazuje jako méně významný. I přes zvyšující se horizontální rozlišení klimatických modelů, není stále možné přímo numericky simulovat všechny procesy malých měřítek (menších než je rozlišení modelu). Mezi takové procesy patří např. rozptyl a absorpce elektromagnetického záření v atmosféře nebo tvorba a vývoj konvektivní oblačnosti. Parametrizační schémata se opírají o znalosti fyzikálních zákonitostí, s doplněním empirických či poloempirických vztahů. Dalším zdrojem nejistoty je struktura modelu. Jedná se např. o prostorové a časové rozlišení, typ sítě uzlových bodů nebo numerické metody. Rozsah této neurčitosti můžeme odhadnout pomocí multimodelových ansámbľů, tj. souborů simulací různých modelů (Holtanová a Kalvová, 2015).

Pro podrobnější informace o zdrojích nejistot v modelových výstupech a o možnostech jejich hodnocení odkazujeme na přehledovou studii Holtanová a Kalvová (2015).

Pokud používáme modelové simulace jako podklad pro scénáře budoucí změny klimatu, tak musíme vedle nejistot v modelových výstupech zohlednit i další, která plyne z neznalosti vývoje přirozených i antropogenních faktorů ovlivňujících klima.

Míra působení jednotlivých antropogenních i přirozených faktorů na klima se posuzuje především podle tzv. radiačního působení na celý klimatický systém, zjednodušeně řečeno jde o jejich vliv na radiační bilanci na horní hranici atmosféry (Forster et al., 2007). Radiační působení se udává ve  $W \cdot m^{-2}$ . Faktory s kladným radiačním působením způsobí zvýšení radiační bilance a tím oteplení klimatického systému. Naopak záporné hodnoty radiačního působení implikují ochlazení (Holtanová, 2012).

Faktory spojené s vlivem lidské činnosti na klimatický systém zahrnují hlavně emise skleníkových plynů a aerosolů a změny ve využívání povrchu. Emisní scénáře představují alternativní možnosti vývoje společnosti a předpokládaných emisí skleníkových plynů a změn ve využívání povrchu. Nejistotu v budoucím vývoji emisí skleníkových plynů a aerosolů pak lze hodnotit pomocí modelových simulací pro různé emisní scénáře.

Donedávna byly používány tzv. SRES scénáře emisí (Nakićenović a Swart, 2000). SRES je zkratka odvozená ze „Special report on emission scenarios“, zprávy publikované Mezivládním panelem pro klimatickou změnu (IPCC) v roce 2000, viz Nakićenović a Swart, 2000. V současné

době se již využívají aktualizované tzv. „Representative concentration pathways (RCP)“ (van Vuuren et al., 2011). Do češtiny se tento termín překládá jako "reprezentativní směry vývoje emisí". Jednotlivé RCP jsou označovány číslicí, která popisuje předpokládané radiační působení v roce 2100 v porovnání s obdobím před průmyslovou revolucí. Na rozdíl od předchozí generace zmíněných SRES emisních scénářů není v pozadí jednotlivých RCP konkrétní socioekonomický vývoj, ale k předpokládaným emisím je možné dospět různými cestami, včetně adaptačních a mitigačních opatření (se kterými SRES scénáře nepočítaly) (Holtanová, 2012).

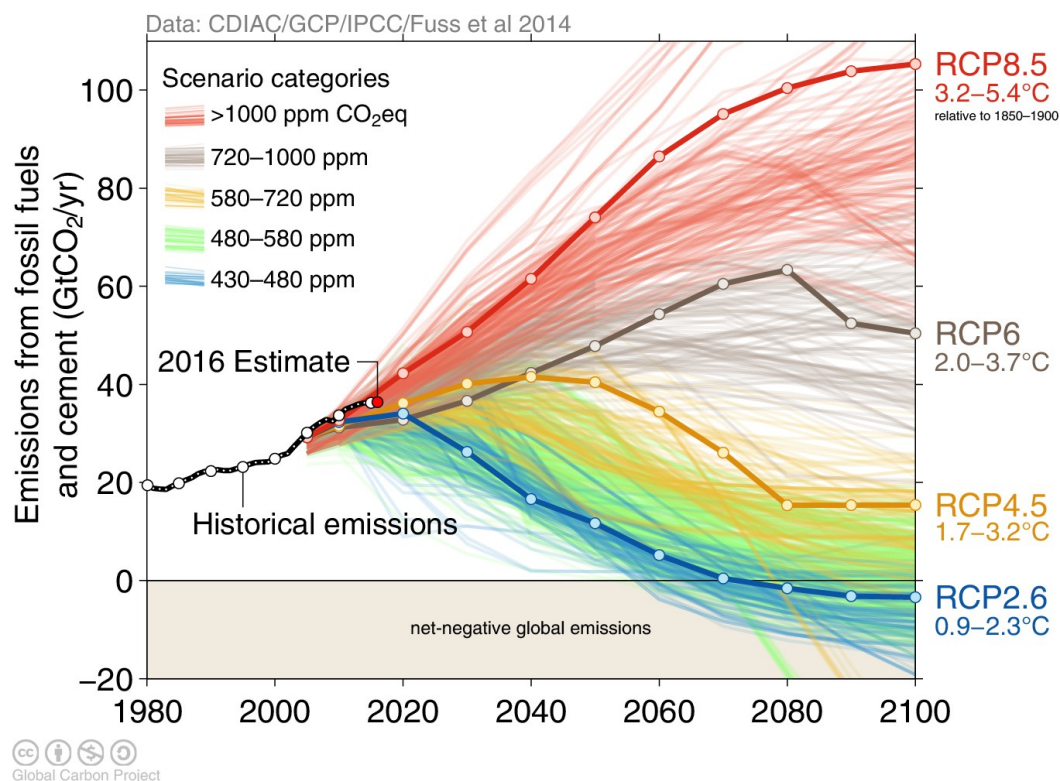
Pro období nejbližších 30 let nelze očekávat výrazný rozdíl mezi jednotlivými emisními scénáři (RCP). Pro zpracování veřejné zakázky byly i tak použity modelové simulace pro dva různé emisní scénáře označované jako RCP4.5 a RCP8.5. První z nich představuje středně optimistickou variantu možného vývoje emisí, RCP8.5 je naopak nejpesimističtější z dostupných RCP (nejvýraznější nárůst emisí a koncentrací skleníkových plynů a další výrazné zásahy člověka do klimatického systému). Vytvořené výhledy změn klimatických prvků pro tyto dva vybrané scénáře tedy poskytují představu o možném vývoji v blízké budoucnosti pro dvě poměrně odlišné trajektorie vývoje společnosti.

Scénář RCP4.5 počítá s mírným nárůstem emisí do poloviny 21. století a poté předpokládá pomalý pokles. Druhý použitý scénář RCP8.5 předpokládá naopak poměrně rychlý růst emisí skleníkových plynů v průběhu celého 21. století. Atmosférické koncentrace většiny skleníkových plynů, zejména oxidu uhličitého, který má dlouhou dobu setrvání v atmosféře, ale porostou za předpokladu obou zmíněných scénářů emisí. Do poloviny 21. století nejsou rozdíly v předpokládaných koncentracích oxidu uhličitého mezi oběma scénáři příliš výrazné, pro některé jiné skleníkové plyny (zejména metan) jsou rozdíly výraznější.

Pro ilustraci možného vývoje emisí oxidu uhličitého (jakožto hlavního antropogenního skleníkového plynu) uvádíme Obrázek 1 převzatý z Global Carbon Budget (2016).







Obrázek 1: Pozorované a možné budoucí emise oxidu uhličitého spojené se spalováním fosilních paliv a výrobou cementu. Na horizontální ose jsou vyneseny roky v období 1980 - 2100. Na vertikální ose emise CO<sub>2</sub> (GtCO<sub>2</sub> za rok). Černou křivkou je zobrazen pozorovaný vývoj emisí před rokem 2006. Tenké barevné křivky zobrazují vývoj podle různých možných socio-ekonomických scénářů publikovaných v odborných studiích. Jejich barevné kategorie jsou vysvětleny v oblasti grafu s uvedením rozsahu koncentrací skleníkových plynů na konci 21. století převedených na ekvivalent CO<sub>2</sub>. Silné barevné křivky představují vývoj podle jednotlivých reprezentativních směrů vývoje koncentrací RCP2.6 (modře), RCP4.5 (žlutě), RCP6 (šedě) a RCP8.5 (červeně). Uveden je také předpokládaný možný rozsah změn průměrné globální teploty u povrchu Země na konci 21. století v porovnání s druhou polovinou 19. století. (Převzato z Global Carbon Budget, 2016).

## Metodika použitá při kvantifikaci relevantních meteorologických prvků a jevů pro blízkou budoucnost – výhled pro období 2021–2050

Změna dané charakteristiky je odvozena tzv. delta metodou, tedy jako rozdíl mezi hodnotou simulovanou pro budoucí období 2021–2050 a hodnotou pro referenční období 1986–2015. Pro srážkové úhrny je určen podíl modelových hodnot pro budoucí období a pro referenční období, změny jsou tedy pro srážkové úhrny udávány relativně. Použitím delta metody je zmenšen vliv odchylek hodnot meteorologických prvků simulovaných modely pro referenční období na výsledné očekávané změny. Jedná se o jeden z možných způsobů tvorby scénářů změny klimatu podle doporučení IPCC-TGICA (2007). U charakteristik sucha byl použit jiný postup (viz níže).

Jak již bylo zdůrazněno výše, při výhledech změny klimatu do budoucna je nutné zohlednit neurčitosti obsažené v modelových výstupech. Při tvorbě výhledů změn relevantních



meteorologických prvků proto bylo pracováno se souborem simulací nejnovějších regionálních klimatických modelů dostupných v rámci iniciativy Euro-CORDEX (<http://www.euro-cordex.net/>). Seznam použitých modelových simulací je uveden v Tabulce 1. Očekávané změny dané charakteristiky jsou vyjádřeny jako multi-modelový průměr z tohoto souboru simulací, který je v některých vhodných případech doplněn hodnotou multi-modelové směrodatné odchylky (míra nejistoty modelových výstupů). Výjimkou je pouze zpracování výhledů změn rozptylových podmínek. Tam je vzhledem k dostupnosti dat možné vycházet pouze z jedné modelové simulace pro jeden emisní scénář RCP4.5. Jedná se o model RegCM a jeho simulaci v horizontálním rozlišení 50 km (na stejné integrační doméně jako ostatní použité simulace). Jako řídicí GCM byl pro tuto simulaci použit model CNRM-CM5. Simulace pokrývá období 1950 až 2100.

*Tabulka 1: Seznam simulací regionálních klimatických modelů použitých při zpracování veřejné zakázky.*

Označení simulace	Regionální klimatický model		Řídící globální model	
	Model	Instituce	Model	Instituce
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5_SMHI-RCA4	RCA4	Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)	CNRM-CM5	Centre National de Recherches Meteorologiques (CNRM)
ICHEC-EC-EARTH_DMI-HIRHAM5	HIRHAM5	Danish Meteorological Institute (DMI)	EC-EARTH	EC-EARTH consortium (ICHEC)
ICHEC-EC-EARTH_KNMI-RACMO22E	RACMO22E	Royal Netherlands Meteorological Institute	EC-EARTH	EC-EARTH consortium (ICHEC)
ICHEC-EC-EARTH_SMHI-RCA4	RCA4	Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)	EC-EARTH	EC-EARTH consortium (ICHEC)
IPSL-IPSL-CM5A-MR_SMHI-RCA4	RCA4	Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)	IPSL-CM5A-MR	Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL)
MOHC-HadGEM2-ES_KNMI-RACMO22E	RACMO22E	Royal Netherlands Meteorological Institute	HadGEM2-ES	Met Office Hadley Centre (MOHC)
MOHC-HadGEM2-ES_SMHI-RCA4	RCA4	Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)	HadGEM2-ES	Met Office Hadley Centre (MOHC)
MPI-M-MPI-ESM-LR_SMHI-RCA4	RCA4	Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)	MPI-ESM-LR	Max Planck Institute for Meteorology (MPI)

Podrobnější komentář k metodice použité pro některé charakteristiky:

- a) Modelové odhady počtu dní s kritickou teplotou vzduchu, počtu dní se srážkami s denním úhrnem alespoň 10, 20, 30 mm a počtu horkých vln:

Jelikož jsou modelové simulace zatíženy různými chybami a nejistotami, byla pro zpřesnění odhadu očekávaných změn uvedených charakteristik použita jednoduchá metoda zmenšení odchylky simulovaných hodnot pro referenční období od pozorovaných hodnot. Pro korekci byly použity dlouhodobé měsíční průměry průměrné denní teploty a srážek. Chyba simulovaných hodnot dlouhodobých průměrů byla odečtena od simulovaných denních hodnot teploty vzduchu a srážek. Touto korekcí je odstraněna chyba měsíčních průměrů, nikoli chyby v rozložení extrémů a v charakteristikách proměnlivosti. Pozorované hodnoty teplot a srážek byly k dispozici pouze pro území ČR. V důsledku nutnosti interpolace do modelové sítě jsou mapy očekávaných změn dotčených charakteristik maskované v pohraničních oblastech.

b) Modelové odhady změn charakteristik sucha:

Jako vstupní data pro výpočet požadovaných charakteristik sucha byly využity modelové výstupy připravené v rámci projektu Státního pozemkového úřadu „Generel vodního hospodářství krajiny České republiky“, jehož spoluřešitelem byl Český hydrometeorologický ústav. Získané výsledky jsou založeny na 11 simulacích regionálních klimatických modelů Euro-CORDEX, z nichž 6 je shodných s těmi, které jsou v rámci této zakázky použity pro ostatní charakteristiky. Modelové výstupy byly pro účely odhadů očekávaných změn upraveny metodou tzv. kvantilové bias-korekce, podrobnosti viz Déqué (2007) a Štěpánek et al. (2016). Výsledky pro budoucí období 2021–2050 nejsou díky tomu prezentovány ve formě očekávaných změn, ale přímo ve formě očekávaných hodnot dané charakteristiky. Velikost změn může být získána porovnáním s pozorovanými hodnotami pro referenční období. Prezentované mapy představují opět multi-modelový průměr.

c.) Modelové odhady změn charakteristik nového sněhu:

Dostupné modelové výstupy poskytují údaje o celkové výšce sněhu, nikoli explicitně o úhrnech nového sněhu tak, jak je tento úhrn měřen na stanicích. Výpočet úhrnu nového sněhu byl tedy založen na mezidenní změně celkové výšky sněhové pokrývky. V tomto výpočtu není ale zohledněno přirozené sesedání sněhu (případně i odtávání), tím pádem jsou úhrny nového sněhu celkově podhodnoceny.

Modelové odhady jsou zatíženy velkou chybou, navíc modelové hodnoty charakteristik nového sněhu (průměrný úhrn nového sněhu za zimní sezónu a průměrný počet dní s novým sněhem nad 5 cm) jsou poměrně nízké, proto výhledy změn těchto charakteristik nejsou uváděny pro jednotlivé měsíce, ale pouze pro celou zimní sezónu listopad – březen.

## Formát výstupů

Výsledky zpracování jsou vyhotoveny ve trojím formátu:

1. vektorová vrstva (shapefile) v rozlišení 1 km (referenční období) a 10 km (budoucí období) v souřadnicovém systému WGS84
2. ESRI rastr v rozlišení 1 km (referenční období) a 10 km (budoucí období) v souřadnicovém systému WGS84
3. obrázky ve formátu png v rozlišení 300 dpi

Všechny mapové vrstvy v požadovaných formátech jsou poskytnuty na CD v příloze této zprávy.

# Scénář změny klimatu pro Českou republiku dle výsledků VaV – SP/1a6/108/07

Předkládané výsledky je nutno zasadit do kontextu již dříve vytvořených scénářů změny klimatu pro Českou republiku, které byly naposledy aktualizovány v rámci projektu VaV – SP/1a6/108/07 "Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření", financovaného Ministerstvem životního prostředí ČR v letech 2007-2011. Pro konstrukci scénáře byly využity výstupy regionálního klimatického modelu ALADIN-CLIMATE/CZ pro emisní scénář A1B (Nakićenović a Swart, 2000) a pozornost byla věnována průměrné denní teplotě vzduchu, dennímu úhrnu srážek, denní sumě globálního záření, průměrné denní rychlosti větru, relativní vlhkosti vzduchu a některým dalším odvozeným charakteristikám (Pretel, 2010). Pro zhodnocení nejistot získaného scénáře byly použity výstupy globálních klimatických modelů z projektu CMIP3 (Meehl et al., 2007) a regionálních klimatických modelů z projektu EU ENSEMBLES (van der Linden a Mitchell, 2009).

Výsledky byly zpracovány ve formě tabulek a grafů průměrných hodnot očekávaných sezónních nebo měsíčních změn pro celé území ČR a ve formě map očekávaných změn s rozlišením 25 km. Očekávané změny byly vytvořeny pro tři časové horizonty 2010-2039, 2040-2069, 2070-2099. Hlavní výsledky jsou shrnuty ve zprávě Pretel (2010).

Přehled hlavních relevantních závěrů projektu VaV – SP/1a6/108/07 pro období 2010-2039 (změny ve srovnání s referenčním obdobím 1961-1990 založené na simulaci modelu ALADIN-CLIMATE/CZ):

- zvýšení průměrné teploty vzduchu přibližně o 1°C, oteplení v létě a v zimě méně výrazné než na jaře a na podzim
- změny maximálních a minimálních teplot vzduchu velmi podobné jako u průměrné teploty
- pokles počtu mrazových dní a nárůst počtu tropických dní koresponduje s očekávanými změnami průměrné, maximální a minimální teploty vzduchu
- ve většině měsíců mírné zvýšení srážkových úhrnů (o méně než 20 %), pouze v lednu, červenci a prosinci snížení srážek
- neprůkazné změny v počtu dní se srážkami nad 20 mm, v maximální délce období beze srážek ani v 95. percentilu denních úhrnů srážek
- pokles relativní vlhkosti vzduchu (ale s vysokou mírou nejistoty)
- nárůst úhrnů globálního záření v zimě o více než 10 %, v ostatních sezónách malé změny
- neprůkazné změny průměrné rychlosti větru, s výjimkou poklesu v březnu a prosinci a zvýšení v dubnu



Pokud se týká zhodnocení nejistoty výše uvedených výsledků, založených na výstupech regionálního klimatického modelu ALADIN-CLIMATE/CZ, ve srovnání s dalšími regionálními a globálními modely, tak závěrečná zpráva projektu VaV – SP/1a6/108/07 (Pretel, 2010) konstatuje, že pro období 2010-2039 očekávané změny teploty vzduchu a srážkových úhrnů dané modelem ALADIN-CLIMATE/CZ dobře zapadají do souboru hodnot daných ostatními modely. Není zde ani patrný výraznější vliv nejistoty spojené s výběrem jednoho konkrétního emisního scénáře A1B.



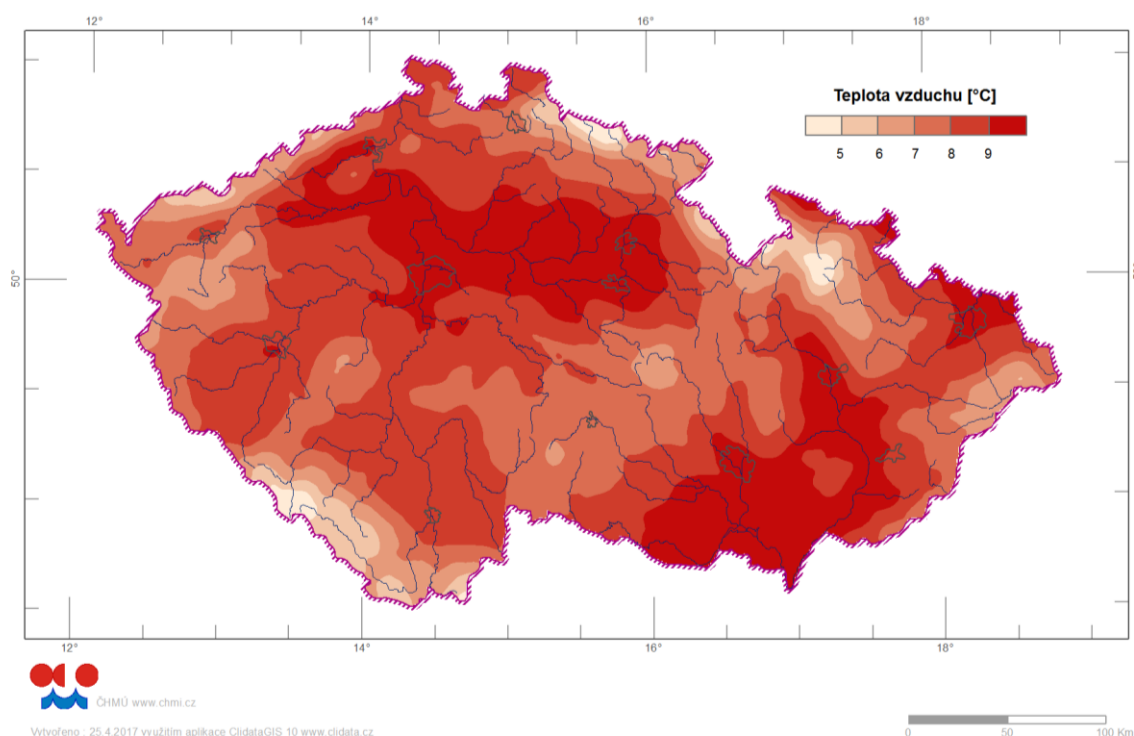
# Výsledky

## 1 Teplota vzduchu

### 1.1 Průměrná roční teplota vzduchu

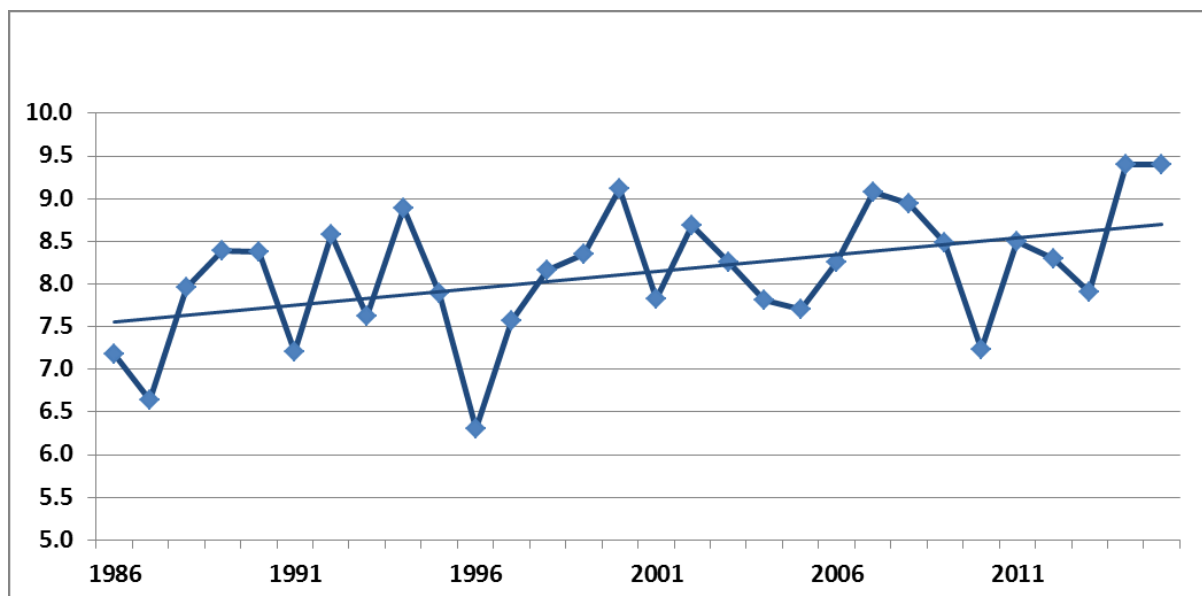
#### 1.1.1 Pozorování

Průměrná teplota vzduchu vykazuje nejvýraznější závislost na nadmořské výšce, pozorovatelné jsou i změny se zeměpisnou polohou. Nejvýznamnější pokles teploty vzduchu s nadmořskou výškou je pozorovatelný v teplém období roku, nejnižší v zimních měsících. Průměrná roční teplota klesá asi 0,58 °C na 100 m. Mezi nejteplejší oblasti na území ČR s průměrnou roční teplotou vzduchu nad 9 °C patří Dyjsko-Svratecký, Dolnomoravský a Hornomoravský úval, Polabí, Poohří, území hlavního města Praha. Nejnižší průměrná roční teplota vzduchu je zaznamenána v horských oblastech. V ročním chodu teploty vzduchu je v dlouhodobém průměru nejchladnější měsíc leden, nejteplejší červenec.



Obr. 1.1.1.1 Průměrná roční teplota vzduchu za období 1986–2015 na území ČR.

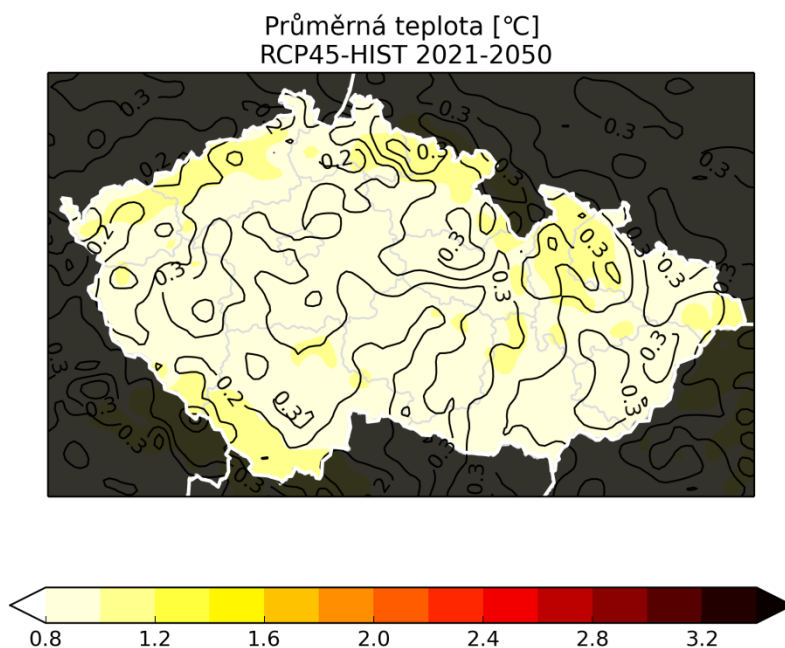
Na grafu na obr. 1.2 je znázorněn průběh průměrné roční teploty vzduchu na území ČR v období 1986–2015. Dlouhodobý roční průměr pro hodnocené období je 8,1 °C, nejchladnější byl rok 1996 s průměrnou roční teplotou 6,3 °C, nejteplejší byly roky 2014 a 2015 (9,4 °C).

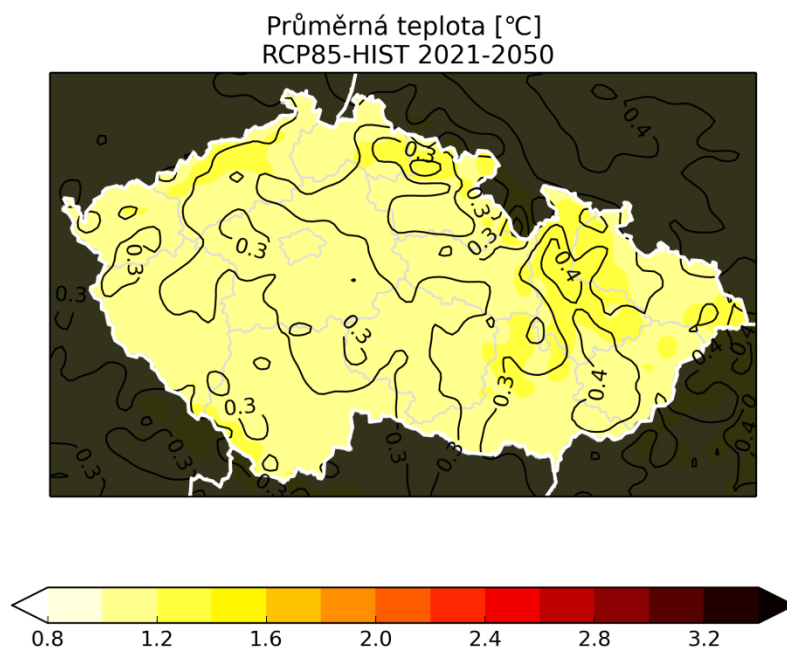


Obr. 1.1.1.2 Průběh průměrné roční územní teploty vzduchu v ČR (°C) v období 1986–2015.

### 1.1.2 Výhled změn - modelové projekce

Prostorové rozložení očekávaných změn průměrné roční teploty vzduchu na území ČR za předpokladu scénáře emisí RCP4.5 je vidět na obr. 1.1.2.1 (nahore). Pro tento scénář se očekávané změny pohybují mezi 0,8 – 1,2 °C s nejistotou 0,1 – 0,3 °C. Pro scénář RCP8.5 (obr. 1.1.2.1 dole) jsou změny v rozmezí 1,0 – 1,4 °C s nejistotou 0,2 – 0,4 °C. Vyšší změny teploty modely předpokládají ve vyšších nadmořských výškách, zejména na pohraničních hřebenech hor.



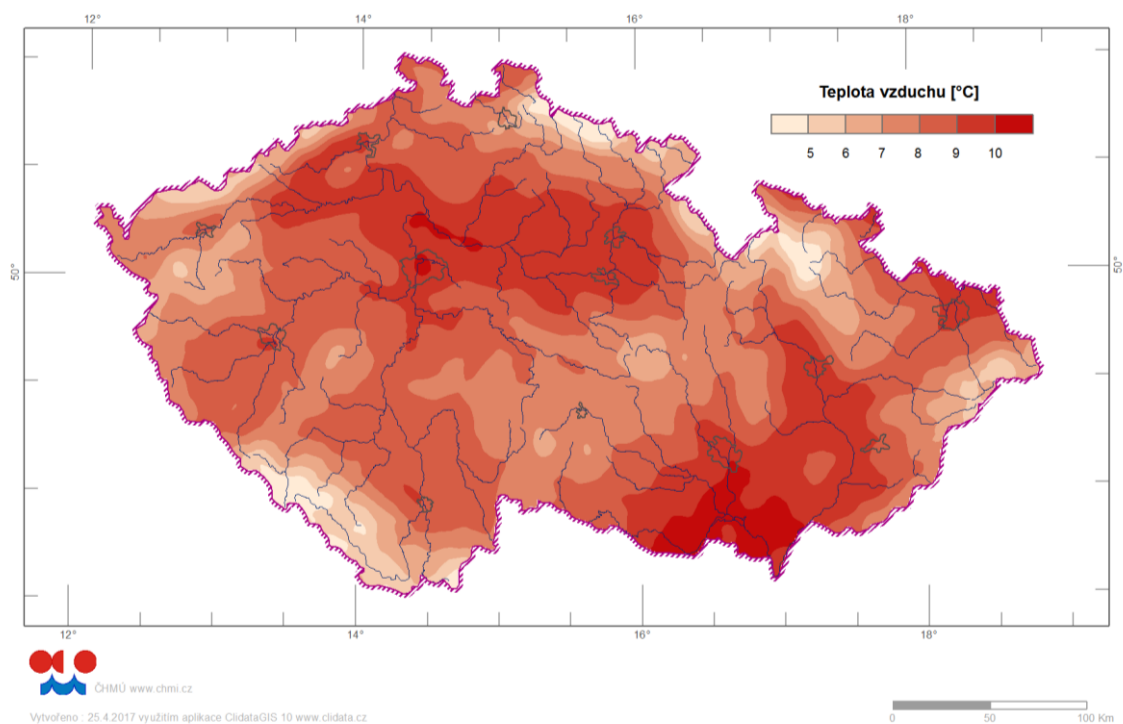


*Obr. 1.1.2.1: Geografické rozložení změn průměrné roční teploty vzduchu [°C] (barevná škála) na území ČR za předpokladu scénáře emisí RCP4.5 (nahore) a RCP8.5 (dole) podle vybraných modelů Euro-CORDEX (tab. 1) pro období 2021–2050 v porovnání s referenčním obdobím 1986–2015. Změny byly spočteny jako multi-modelový průměr. Konturami jsou zobrazeny hodnoty multi-modelové směrodatné odchylky [°C].*

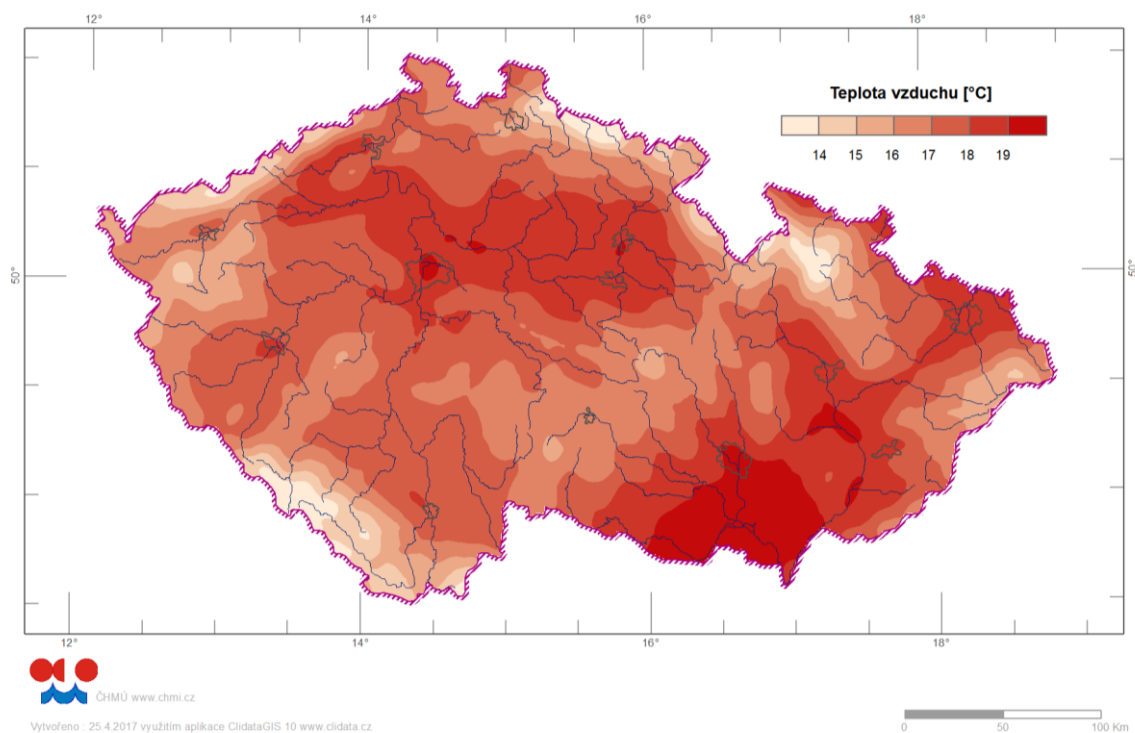
## 1.2 Průměrná sezónní teplota vzduchu

### 1.2.1 Pozorování

Rozložení průměrných teplot v jarní, letní, podzimní a zimní sezóně je na mapách na obr. 1.2.1.1. až 1.2.1.4. Letní sezóna se vyznačuje malými meziročními změnami, nejvyšší výkyvy mezi sezónami jsou zaznamenány v zimě.

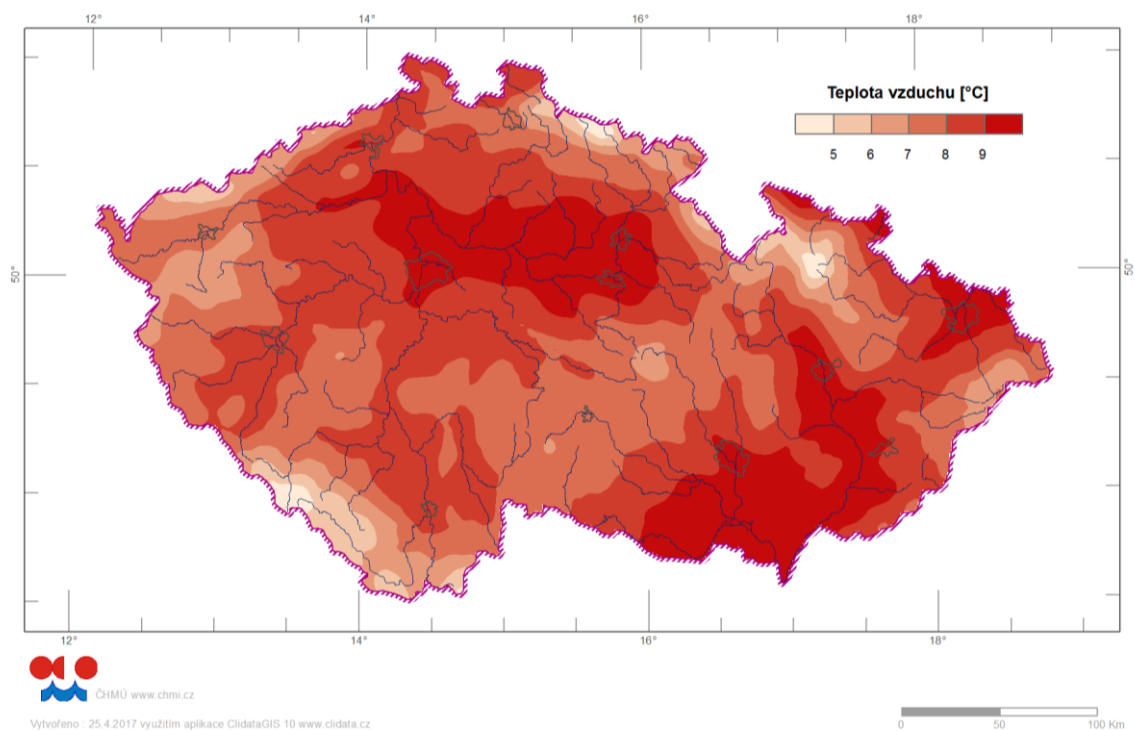


Obr. 1.2.1.1. Průměrná sezónní teplota vzduchu pro jarní sezónu za období 1986–2015 na území ČR.

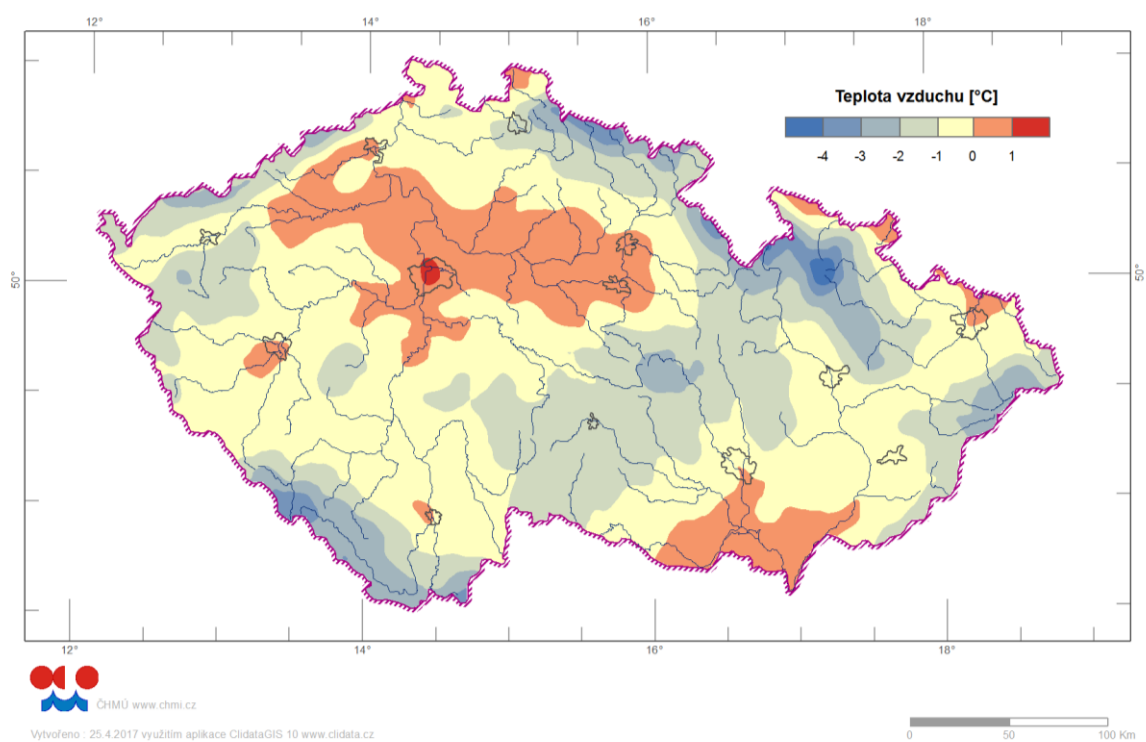


Obr. 1.2.1.2. Průměrná sezónní teplota vzduchu pro letní sezónu za období 1986–2015 na území ČR.





Obr. 1.2.1.3. Průměrná sezónní teplota vzduchu pro podzimní sezónu za období 1986–2015 na území ČR.

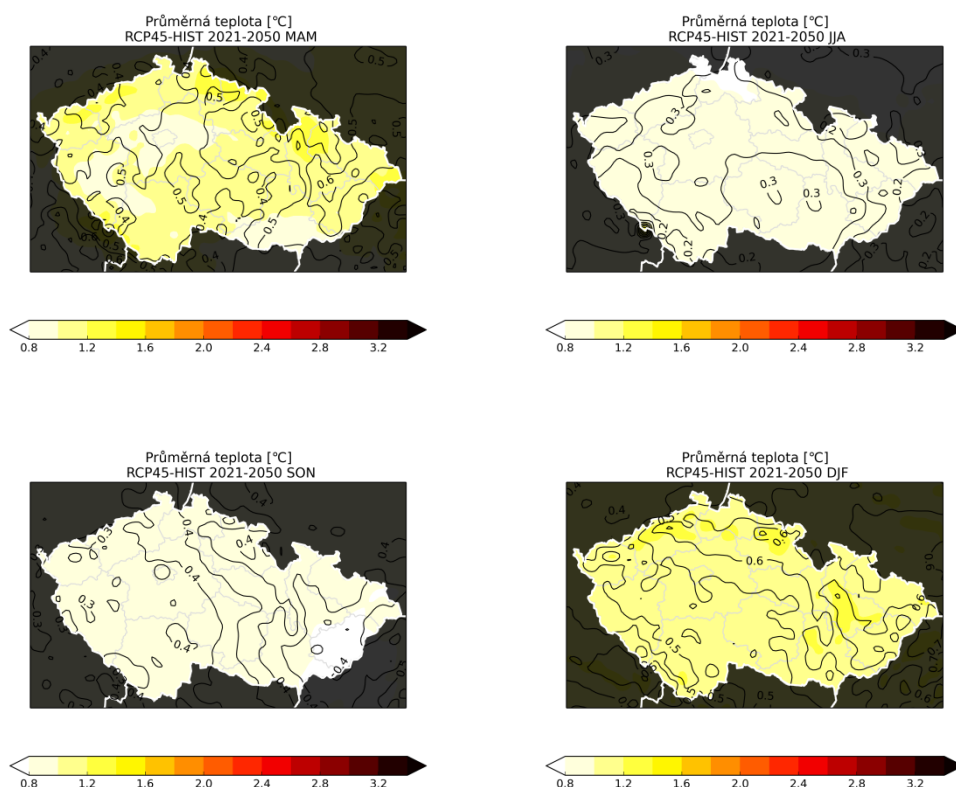


Obr. 1.2.1.4. Průměrná sezónní teplota vzduchu pro zimní sezónu za období 1986–2015 na území ČR.

### 1.2.2 Výhled změn - modelové projekce

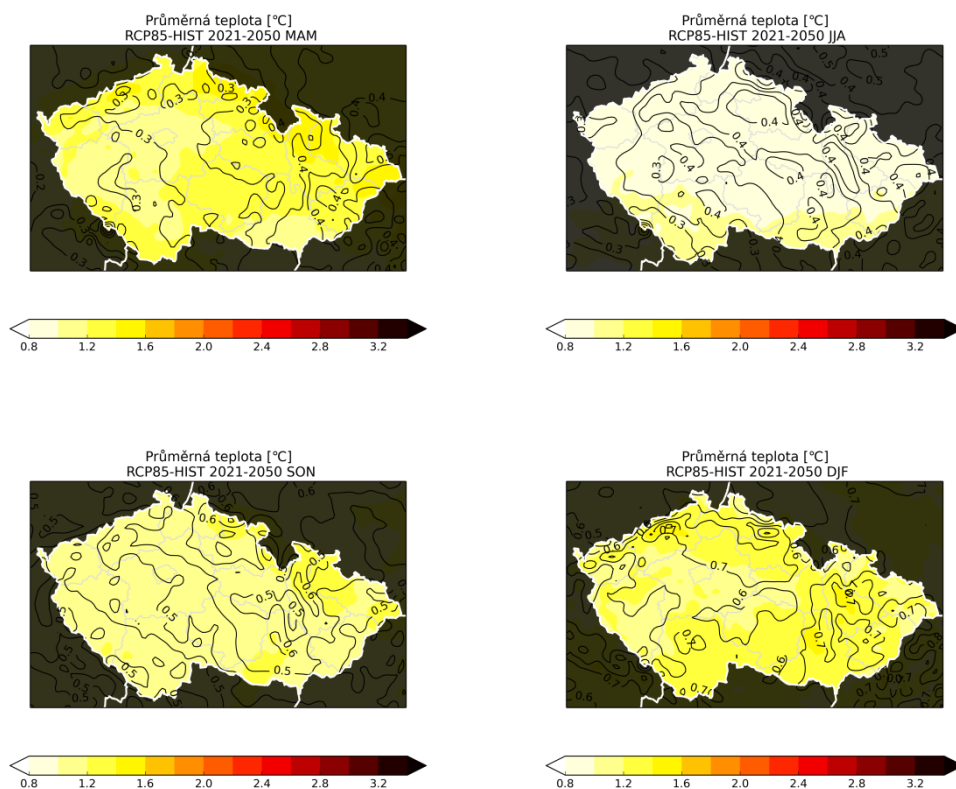
Prostorové rozložení očekávaných změn průměrných sezónních teplot vzduchu na území ČR za předpokladu scénáře emisí RCP4.5 je vidět na obr. 1.2.2.1. Pro tento scénář se očekávané změny pohybují na jaře mezi 0,8 – 1,4 °C s nejistotou 0,3 – 0,5 °C, v létě a na podzim jsou menší než 0,8 °C s nejistotou 0,2 – 0,4 °C, v zimě se pohybují mezi 1,0 – 1,4 °C s nejistotou 0,3 – 0,5 °C. Na jaře je geografické rozložení změn podobné jako u ročního průměru, vyšší změny teploty modely předpokládají ve vyšších nadmořských výškách. V ostatních sezónách mají změny na území ČR homogennější rozložení, závislost na nadmořské výšce není tak jasně vyjádřena.

Předpokládané změny sezónních teplot vzduchu pro druhý scénář emisí RCP8.5 jsou ukázány na obr. 1.2.2.2. Pro tento scénář se očekávané změny pohybují na jaře mezi 1,0 – 1,6 °C s nejistotou 0,2 – 0,4 °C, v létě mezi 0,8 – 1,2 °C s nejistotou 0,3 – 0,5 °C, na podzim mezi 1,0 – 1,4 °C s nejistotou 0,4 – 0,6 °C, v zimě mezi 1,0 – 1,4 °C s nejistotou 0,5 – 0,8 °C. Modelové projekce jsou pro oba scénáře tedy velmi podobné, rozdíl v očekávaných změnách činí maximálně 0,2 °C.



Obr. 1.2.2.1: Geografické rozložení změn průměrné sezónní teploty vzduchu [°C] (barevná škála) na území ČR za předpokladu scénáře emisí RCP4.5 podle vybraných modelů Euro-CORDEX (tab. 1) pro období 2021–2050 v porovnání s referenčním obdobím 1986–2015. Sezóny jsou označeny pomocí anglických zkratk MAM (jaro, vlevo nahoře), JJA (léto, vpravo nahoře), SON (podzim, vlevo dole), DJF

(zima, vpravo dole). Změny byly spočteny jako multi-modelový průměr. Konturami jsou zobrazeny hodnoty multi-modelové směrodatné odchylky [°C].

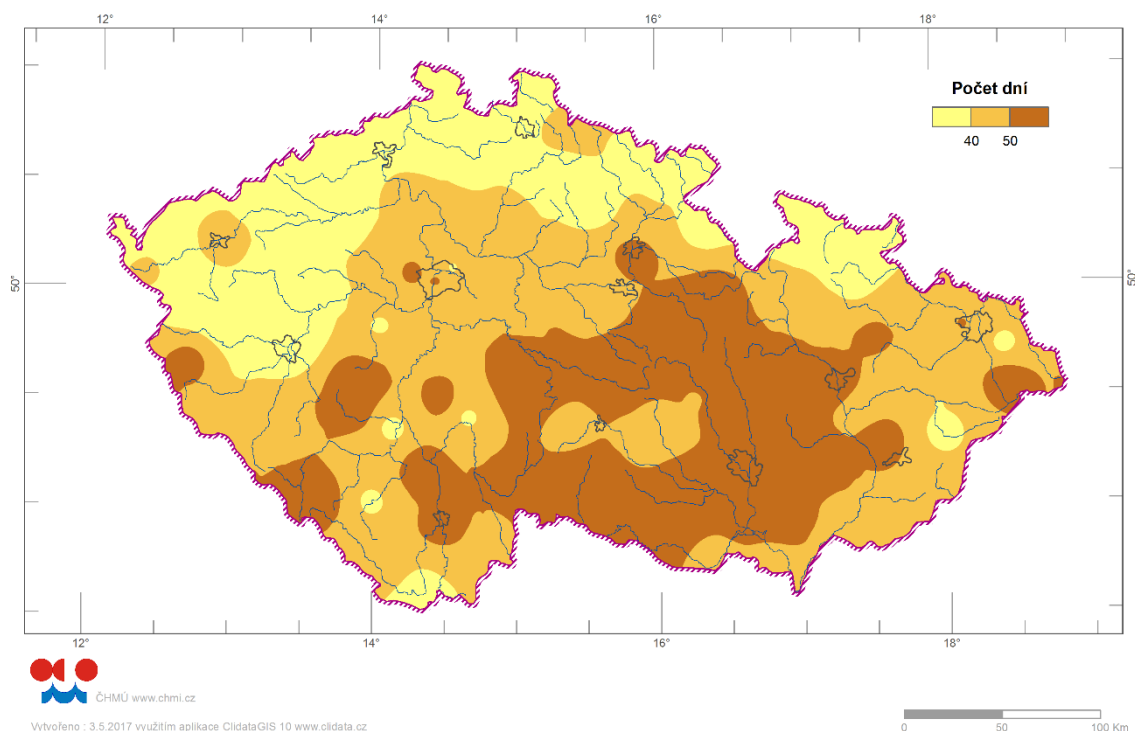


Obr. 1.2.2.2: Jako obr. Obr. 1.2.2.1, ale pro emisní scénář RCP8.5.

## 1.3 Průměrný roční počet jasných (slunečných) dní

### 1.3.1 Pozorování

Počet jasných dní je závislý na tvorbě oblačnosti. Zatímco v letním období je vyšší počet jasných dní v níže položených oblastech (jižní Morava, Polabí), v zimních měsících je pozorován vyšší počet v horských oblastech než v nížinách v důsledku výskytu inverzních situací (Tolasz a kol., 2007).

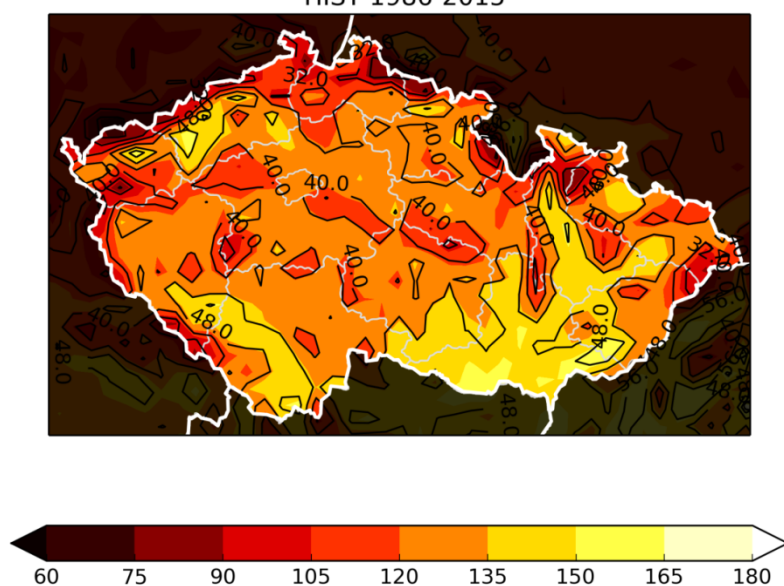


Obr. 1.3.1.1. Průměrný roční počet jasných dní za období 1986 – 2015 na území ČR.

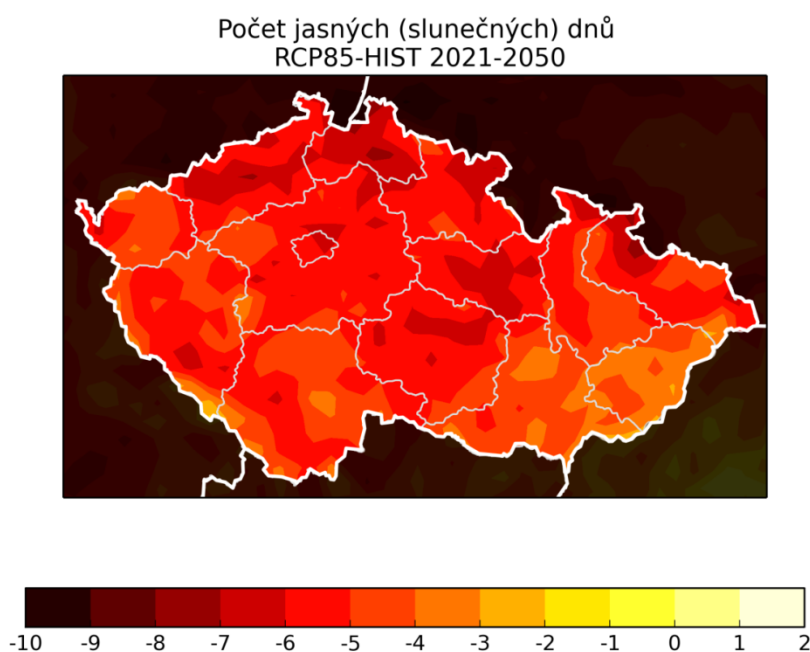
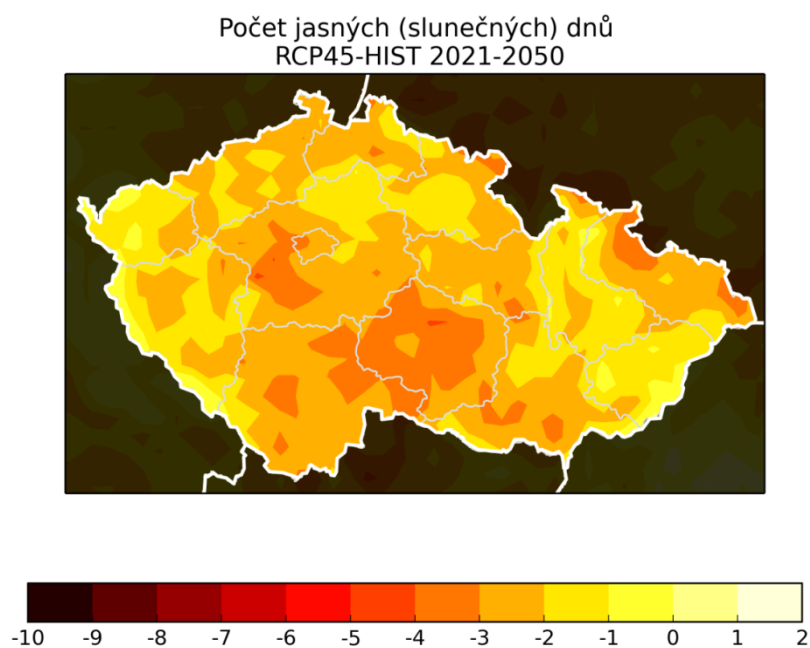
### 1.3.2 Výhled změn - modelové projekce

Průměrný roční počet jasných dní pro referenční období 1986–2015 podle multi-modelového průměru a multi-modelová směrodatná odchylka jsou ukázány na obr. 1.3.2.1. Je vidět, že simulované hodnoty jsou zatíženy poměrně velkou nejistotou (multi-modelová směrodatná odchylka až 40 dní), navíc jsou modelové hodnoty výrazně nadhodnoceny oproti naměřeným hodnotám. Pro budoucí období podle obou emisních scénářů RCP4.5 a RCP8.5 je rozsah nejistoty podobně velký jako v referenčním období (neukázáno). Proto i odhady změn počtu jasných dní jsou zatíženy velkou nejistotou. Samotné očekávané změny jsou zobrazeny na obr. 1.3.2.2. Hodnoty změn se pohybují v absolutní hodnotě do deseti dnů. Většinou se jedná pro oba emisní scénáře o pokles. Výjimkou je pouze několik oblastí pro scénář RCP4.5 s očekávaným nárůstem o 1-1,5 dne, jinak dávají modely pro tento scénář pokles o 1-5 dní. Větší pokles je očekáván pro scénář RCP8.5, zde se pohybují změny od 0 – 10 dnů. Pro oba scénáře jsou ale očekávané změny výrazně menší než nejistota modelového odhadu. Počet jasných dní závisí na změnách charakteristik oblačnosti. Právě simulace charakteristik oblačnosti vnáší výraznou míru nejistoty do modelových simulací budoucího vývoje klimatu, velká nejistota odhadu změn počtu jasných dnů není tedy překvapující.

Počet jasných (slunečných) dnů  
HIST 1986-2015



Obr. 1.3.2.1: Geografické rozložení průměrného ročního počtu jasných dnů (barevná škála) na území ČR v referenčním období 1986–2015 podle vybraných modelů Euro-CORDEX (tab. 1). Hodnoty byly spočteny jako multi-modelový průměr ze simulací uvedených v tab. 1. Konturami jsou zobrazeny hodnoty multi-modelové směrodatné odchylky.

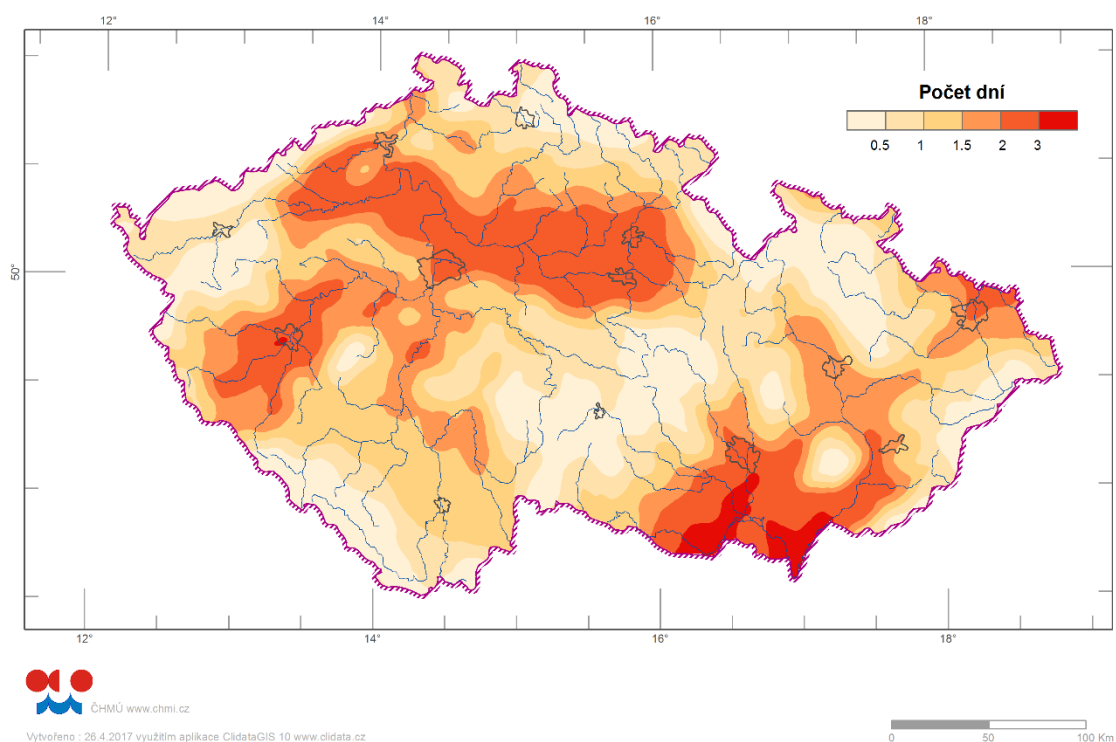


Obr. 1.3.2.2: Geografické rozložení změn průměrného ročního počtu jasných dní (barevná škála) na území ČR za předpokladu scénáře emisí RCP4.5 (nahore) a RCP8.5 (dole) podle vybraných modelů Euro-CORDEX (tab. 1) pro období 2021–2050 v porovnání s referenčním obdobím 1986–2015. Změny byly spočteny jako multi-modelový průměr.

## 1.4 Průměrný roční počet dní s maximální teplotou nad 34 °C

### 1.4.1 Pozorování

Nejvyšší maximální teplota vzduchu na území ČR 40,4 °C byla naměřena 20.8.2012 na stanici Dobřichovice. Maximální teploty 31 °C a více, které se v průběhu léta vyskytují na území ČR, představují zátěž pro lidský organizmus. V rámci Systému integrované výstražné služby (SIVS) je na ně vydávána výstrahy 1. stupně. Zvolená hranice 34 °C pro kritickou maximální teplotu vzduchu představuje 2. stupněm nebezpečí v rámci SIVS (<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/om/sivs/sivs.html>). Maximální denní teplota nad 34 °C se na území ČR vyskytuje převážně od června do srpna, ojediněle koncem května a začátkem září. Průměrný roční počet dní s maximální denní teplotou vzduchu vyšší než 34 °C za období 1986–2015 se pohybuje v rozmezí 0 – 4 dny. Teploty přesahující hranici 34 °C se téměř nevyskytují ve vyšších a horských polohách. Naopak oblasti s nejvyšším průměrným počtem dní se nacházejí na jihu Moravy a v oblasti Polabské nížiny, okolí Prahy a Plzně. Nejvyšší roční počty dní s překročením dané hranice byly zaznamenány v roce 2015, kdy na více jak polovině hodnocených stanic bylo zaznamenáno 10 a více takovýchto dní. Na stanicích Strážnice a Staňkov to bylo až 21 dní.



Obr. 1.4.1.1. Průměrný roční počet dní s maximální denní teplotou vzduchu vyšší než 34 °C za období 1986 - 2015.

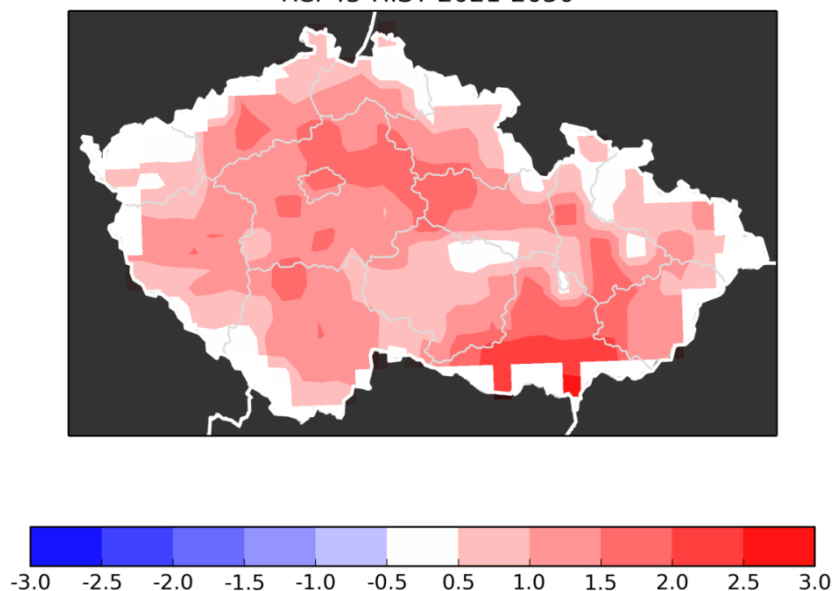
### 1.4.2 Výhled změn - modelové projekce

Prostorové rozložení očekávaných změn průměrného ročního počtu dní s maximální denní teplotou vzduchu nad 34 °C na území ČR je vidět na obr. 1.4.2.1. Pro oba emisní scénáře

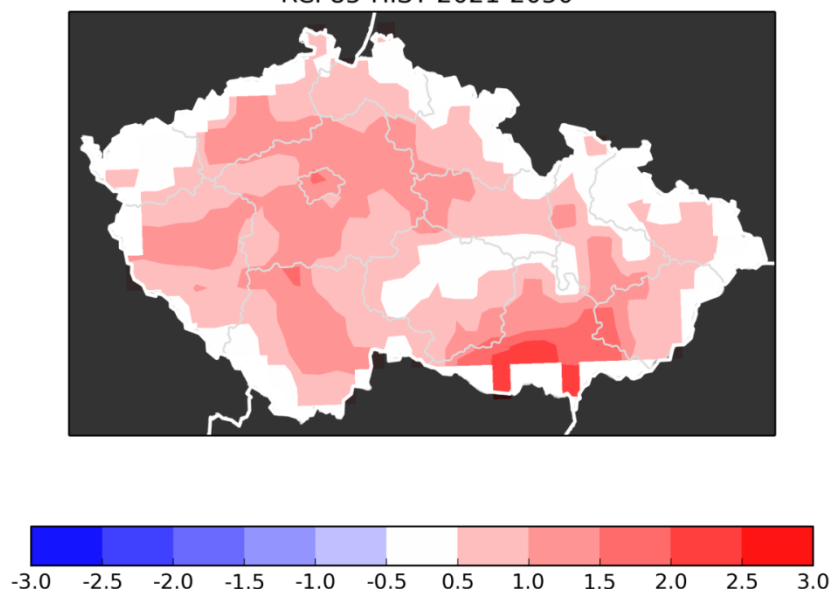


vidíme nárůst počtu o 1 – 2 dny. Vyšší změna je očekávána v oblastech, kde se vyskytuje v referenčním období vyšší počet dní s maximální teplotou nad 34 °C. Vzhledem k relativně nízkému počtu dní s maximální teplotou nad 34 °C v referenčním období se jedná o poměrně výraznou změnu. Poznamenejme, že modely dokáží poměrně dobře vystihnout pozorovaný průměrný počet dní s maximální teplotou nad 34 °C v referenčním období (neukázáno).

Počet dnů s max. teplotou nad 34 °C  
RCP45-HIST 2021-2050



Počet dnů s max. teplotou nad 34 °C  
RCP85-HIST 2021-2050





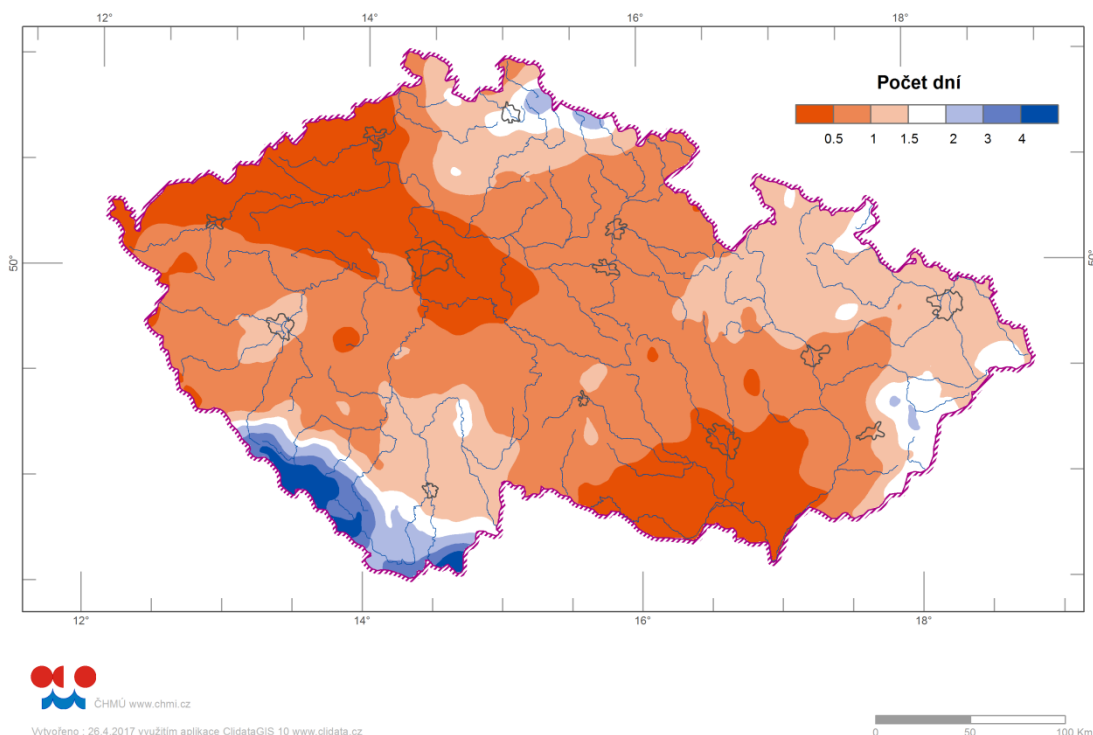
*Obr. 1.4.2.1: Geografické rozložení změn průměrného ročního počtu dní s maximální teplotou vzduchu nad 34 °C (barevná škála) na území ČR za předpokladu scénáře emisí RCP4.5 (nahore) a RCP8.5 (dole) podle vybraných modelů Euro-CORDEX (tab. 1) pro období 2021–2050 v porovnání s referenčním obdobím 1986–2015. Změny byly spočteny jako multi-modelový průměr.*

## **1.5 Průměrný roční počet dní s minimální teplotou pod -20 °C**

### **1.5.1 Pozorování**

Nejnižší minimální teplota vzduchu na území ČR -42,2 °C byla naměřena 11. února 1929 v Litvínovicích u Českých Budějovic. Pro kritickou minimální teplotu vzduchu byla zvolená hranice -20°C, která představuje hodnotu pro velmi silný až extrémní mráz dle kritérií SIVS. Minimální denní teplota vzduchu nižší než -20 °C se vyskytuje nejčastěji v období od prosince do března, výjimečně v mrazových kotlinách v listopadu a dubnu. Průměrný roční počet dní s minimální denní teplotou vzduchu nižší než -20 °C za období 1986–2015 se na území ČR pohybuje v rozmezí 0 – 12 dní, na většině území je jejich četnost od 0 do 4 dnů. Vyšší výskyt je v oblasti Šumavy (stanice Horská Kvilda reprezentující šumavské mrazové pláně), v průměru zde nastane 12 dní s minimální teplotou nižší než -20 °C ročně. Přestože lze pro tuto charakteristiku očekávat rostoucí závislost na nadmořské výšce, v některých lokalitách není tato závislost příliš zjevná (např. Krušné hory, Jeseníky). Naopak v oblasti Šumavy díky umístění stanice Horská Kvilda se zdá závislost na nadmořské výšce výrazná. Oblasti s nejvyšším průměrným počtem dní se tak nacházejí v oblasti Šumavy, naopak nejnižší počty pak na jihu Moravy a severovýchodních a středních Čechách.

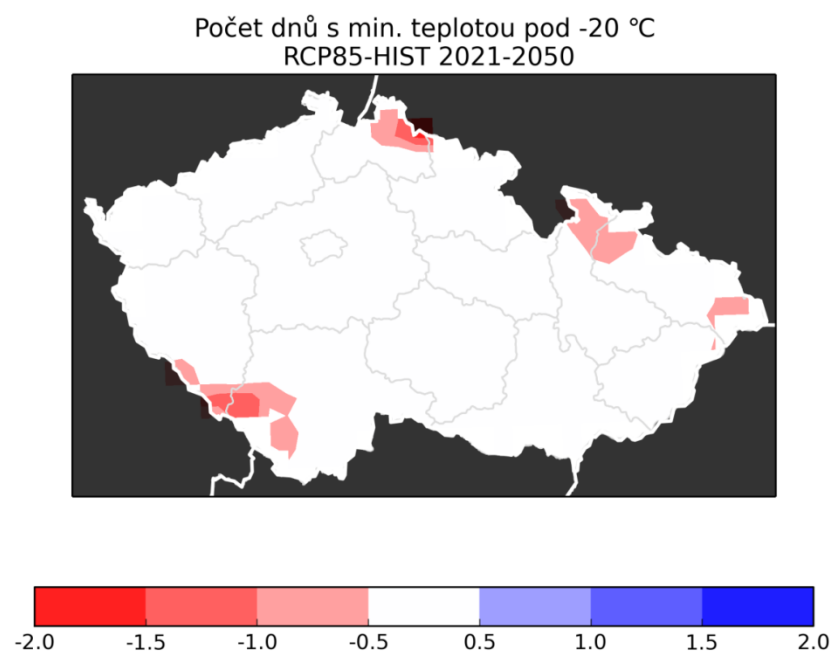
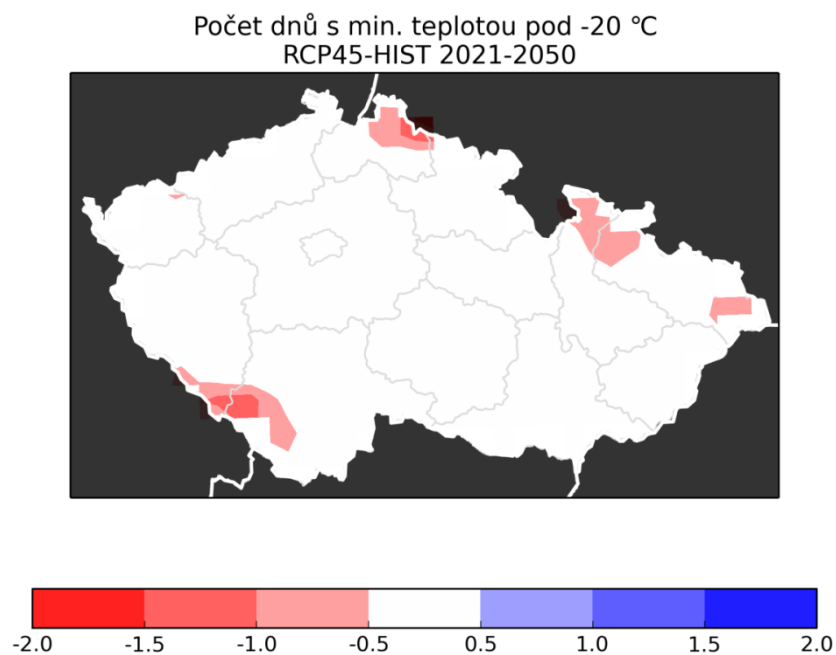
Nejvyšší roční počty dní s překročením dané hranice v hodnoceném období dosáhly hodnoty 10 dní a více pouze asi na 14 % hodnocených stanic. Na dny s minimální denní teplotou klesající pod -20 °C byl bohatý rok 1987, kde na více jak polovině stanic nastalo 6 a více těchto dní, na stanici Lenora (804 m n. m.) to bylo 19 dní a Bedřichov (777 m n. m.) 15 dní. Na stanici Horská Kvilda (1052 m n. m.) v některých letech nastalo více jak 20 takovýchto dní (rok 1996 - 25 dní, 2006 - 24 dní).



*Obr. 1.5.1.1. Průměrný roční počet dní s minimální denní teplotou vzduchu nižší než -20 °C za období 1986 - 2015.*

### 1.5.2 Výhled změn - modelové projekce

Prostorové rozložení očekávaných změn průměrného ročního počtu dní s minimální denní teplotou vzduchu pod -20 °C na území ČR je vidět na obr. 1.5.2.1. Pro oba emisní scénáře vidíme prakticky nulovou změnu pro většinu území ČR, což souvisí i s tím, že hodnoty pro referenční období jsou nízké. Pouze v nejvyšších nadmořských výškách dávají modely pokles počtu dní o půl až jeden den. Opět můžeme poznamenat, že modely dokáží poměrně dobře vystihnout pozorované prostorové rozložení průměrného počtu dní s minimální teplotou pod -20 °C v referenčním období (neukázáno).



*Obr. 1.5.2.1: Geografické rozložení změn průměrného ročního počtu dní s minimální teplotou vzduchu pod -20 °C (barevná škála) na území ČR za předpokladu scénáře emisí RCP4.5 (nahore) a RCP8.5 (dole) podle vybraných modelů Euro-CORDEX (tab. 1) pro období 2021–2050 v porovnání s referenčním obdobím 1986–2015. Změny byly spočteny jako multi-modelový průměr.*

## 1.6 Průměrná délka trvání nadlimitní (podlimitní) teploty výpočtem z 15 a 10minutových dat teploty vzduchu

Situace s trváním nadlimitní (podlimitní) teploty byly určeny z 15 a 10minutových dat teploty vzduchu pro 20 vybraných stanic v období 2001-2015. Počet detekovaných situací, průměrná délka jejich trvání a maximální zaznamenaná délka trvání jsou uvedeny v tabulkách 1.6.1 a 1.6.2.

*Tabulka 1.6.1. Počet situací s teplotou nad 34 °C detekovaných v období 2001-2015, průměrná délka jejich trvání a maximální zaznamenaná délka trvání.*

stanice	Lat	Lon	nadm. výška	počet situací	průměrná délka trvání [min]	maximální délka trvání [min]
Brno, Tuřany	49°09'11"	16°41'20"	241.0	68	103.4	380
Kostelní Myslová	49°09'33"	15°26'21"	569.0	17	55.0	210
Kuchařovice	48°52'52"	16°05'07"	334.0	53	95.9	350
Nedvězí	49°38'04"	16°18'35"	722.0	0	0.0	0
Vatín	49°31'23"	15°58'05"	558.0	10	45.0	250
Velké Meziříčí	49°21'10"	16°00'31"	452.0	57	53.9	340
Tábor, Náchod	49°26'10"	14°39'37"	459.0	78	77.0	410
Vyšší Brod	48°37'03"	14°18'52"	559.0	32	49.2	290
Ústí nad Orlicí	49°58'49"	16°25'20"	401.7	38	76.8	390
Hradec Králové, Nový Hradec Králové	50°10'40"	15°50'18"	278.0	102	72.4	460
Plzeň, Bolevec	49°47'18"	13°23'11"	331.0	113	91.0	470
Karlovy Vary, Olšová Vrata	50°12'06"	12°54'51"	603.0	8	41.3	240
Červená	49°46'38"	17°32'31"	748.1	0	0.0	0
Mošnov	49°41'31"	18°06'46"	252.8	35	89.6	490
Praha, Libuš	50°00'28"	14°26'49"	302.0	65	118.8	510
Praha, Ruzyně	50°06'01"	14°15'20"	364.0	27	85.7	360
Příbrav, Hřiště	49°34'58"	15°45'45"	532.5	5	58.0	250
Tušimice	50°22'36"	13°19'41"	322.4	57	62.5	350
Ústí nad Labem, Kočkov	50°41'00"	14°02'28"	375.4	25	71.2	310
Liberec	50°46'11"	15°01'26"	397.7	19	67.1	260



Tab 1.6.2. Počet situací s teplotou pod -20 °C detekovaných v období 2001-2015, průměrná délka jejich trvání a maximální zaznamenaná délka trvání.

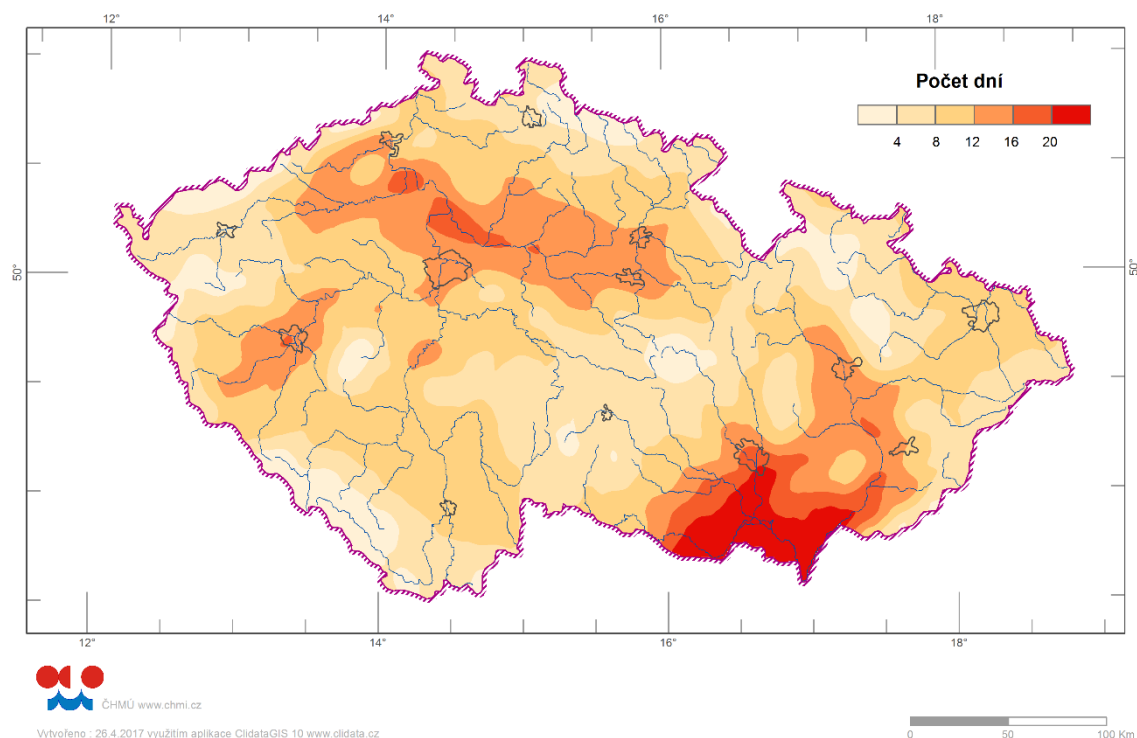
Stanice	Lat	Lon	nadm. výška	počet situací	průměrná délka trvání [min]	maximální délka trvání [min]
Brno, Tuřany	49°09'11"	16°41'20"	241.0	2	262.5	495
Kostelní Myslová	49°09'33"	15°26'21"	569.0	4	40.0	90
Kuchařovice	48°52'52"	16°05'07"	334.0	1	75.0	75
Nedvězí	49°38'04"	16°18'35"	722.0	13	120.4	825
Vatín	49°31'23"	15°58'05"	558.0	42	138.3	735
Velké Meziříčí	49°21'10"	16°00'31"	452.0	20	144.8	540
Tábor, Náchod	49°26'10"	14°39'37"	459.0	25	187.2	555
Vyšší Brod	48°37'03"	14°18'52"	559.0	32	328.1	855
Ústí nad Orlicí	49°58'49"	16°25'20"	401.7	29	105.9	735
Hradec Králové, Nový Hradec Králové	50°10'40"	15°50'18"	278.0	18	52.5	270
Plzeň, Bolevec	49°47'18"	13°23'11"	331.0	19	205.3	560
Karlovy Vary, Olšová Vrata	50°12'06"	12°54'51"	603.0	22	72.3	310
Červená	49°46'38"	17°32'31"	748.1	4	717.5	1860
Mošnov	49°41'31"	18°06'46"	252.8	20	190.3	1035
Praha, Líbuš	50°00'28"	14°26'49"	302.0	3	56.7	140
Praha, Ruzyně	50°06'01"	14°15'20"	364.0	7	39.3	160
Přibyslav, Hřiště	49°34'58"	15°45'45"	532.5	41	93.7	750
Tušimice	50°22'36"	13°19'41"	322.4	0	0.0	0
Ústí nad Labem, Kočkov	50°41'00"	14°02'28"	375.4	0	0.0	0
Liberec	50°46'11"	15°01'26"	397.7	18	150.3	630

## 1.7 Horké vlny

### 1.7.1. Pozorování

Za charakteristiku reprezentující výskyt horkých vln na území ČR byl zvolen roční počet dní s horkou vlnou. Pro určení horkých vln byl použit přístup navržený v Huth et al. (2000) popsáný v kapitole Metodika použita při plnění veřejné zakázky.

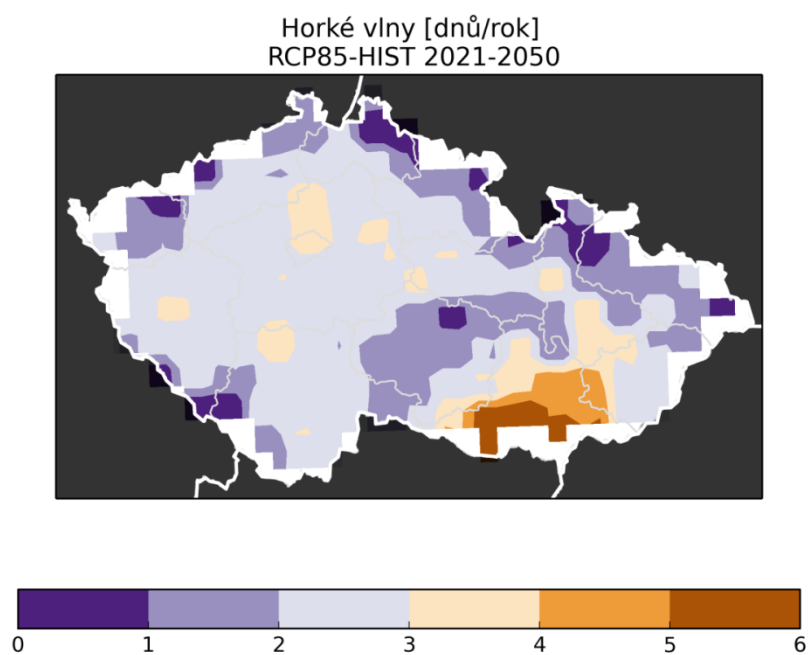
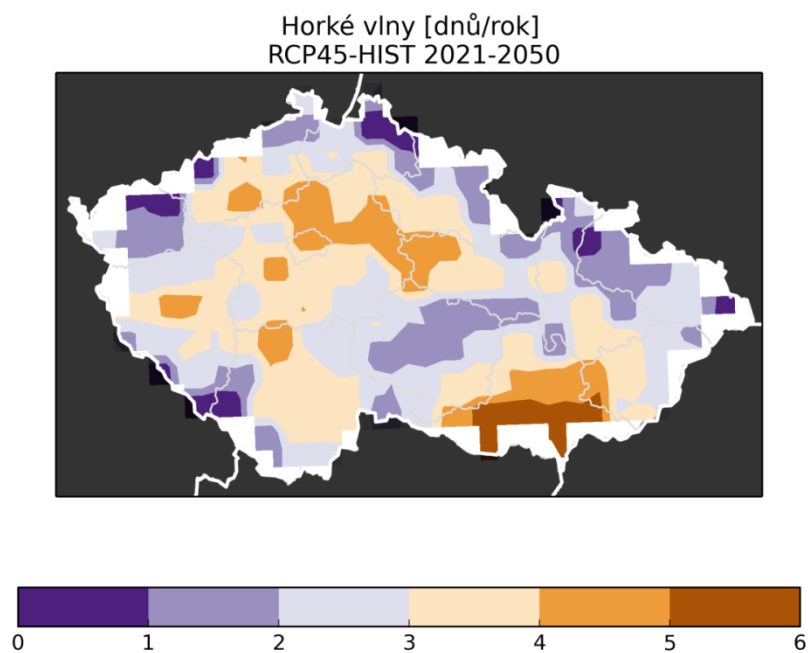
Průměrný roční počet dní s horkou vlnou za období 1986–2015 se na území ČR pohybuje v rozmezí 0 – 26 dní. Oblasti s nejvyšším průměrným počtem dní jsou na jihu Moravy a v oblasti Polabské nížiny, okolí Prahy a Plzně. Počet dní s horkou vlnou je časově značně variabilní. Zatímco v roce 1987 nebyla na žádné z hodnocených stanic zaznamenána horká vlna, vysoké počty dní s horkou vlnou nastaly v letech 1994, 2003, 2012 a 2015. V roce 2003 se na několika stanicích vyskytlo i více jak 60 dní s horkou vlnou. Na většině hodnocených stanic byl však nejvyšší počet dní s horkou vlnou zaznamenán v roce 2015, v tomto roce se vyskytlo na více jak polovině hodnocených stanic 40 a více takových dní (Strážnice 53 dní, Brod nad Dyjí 51 dní).



Obr. 1.7.1.1. Průměrný roční počet dní s horkou vlnou za období 1986 - 2015.

## 1.7.2 Výhled změn - modelové projekce

Prostorové rozložení očekávaných změn průměrného ročního počtu dní s horkou vlnou na území ČR je vidět na obr. 1.7.2.1. Výsledky pro oba emisní scénáře si jsou velmi podobné, a to mírný nárůst průměrného ročního počtu dní s horkou vlnou od 1 do 6 dnů. Vyšší nárůst (4 – 6 dní) je očekáván v nižších nadmořských výškách, v horských oblastech pouze do 1 až 2 dnů.



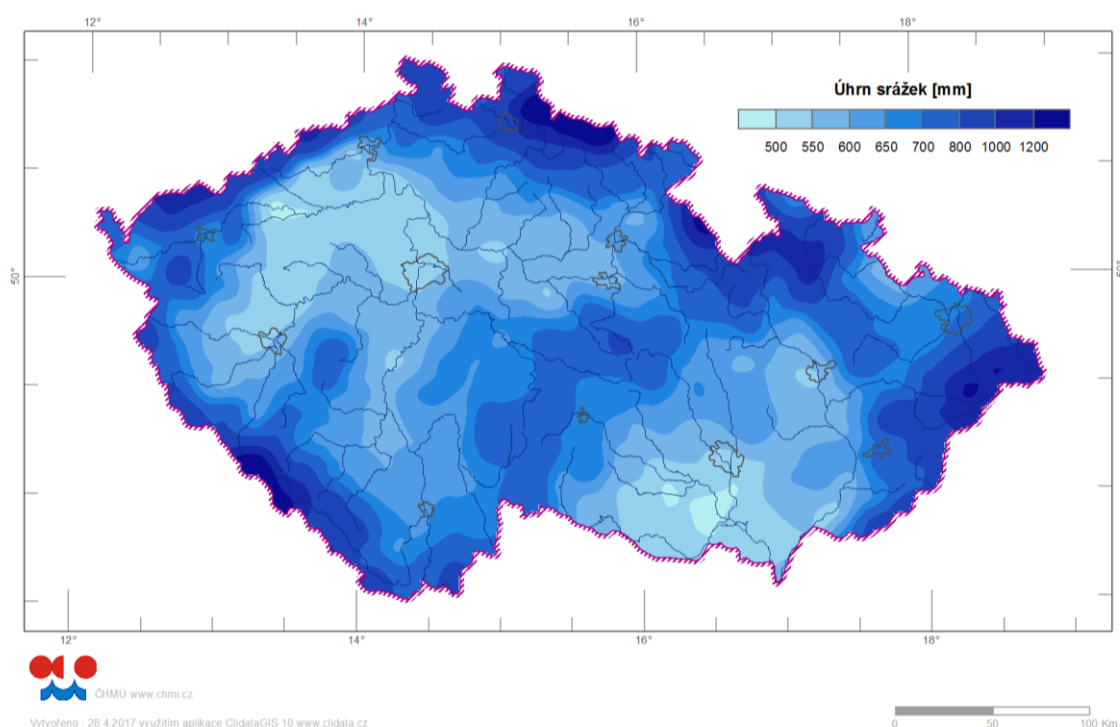
*Obr. 1.7.2.1: Geografické rozložení změn průměrného ročního počtu dní s horkou vlnou (barevná škála) na území ČR za předpokladu scénáře emisí RCP4.5 (nahoře) a RCP8.5 (dole) podle vybraných modelů Euro-CORDEX (tab. 1) pro období 2021–2050 v porovnání s referenčním obdobím 1986–2015. Změny byly spočteny jako multi-modelový průměr.*

## 2 Srážky

### 2.1 Průměrný roční úhrn srážek

#### 2.1.1 Pozorování

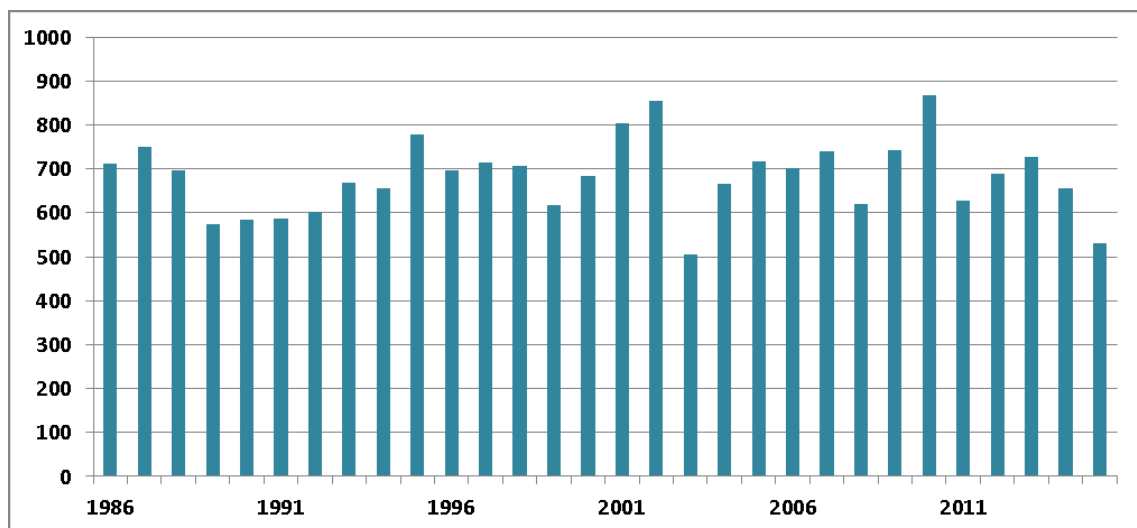
Průměrný roční úhrn srážek se na většině území ČR pohybuje okolo 700 mm. V nejsušších oblastech Žatecké pánve a jižní Moravy je průměrný roční úhrn srážek pod 500 mm. Naopak srážkově nejvydatnější jsou hřebeny hor, kde je průměrný roční úhrn vyšší než 1200 mm. Roční chod srážek se liší v závislosti od polohy lokality. Zatímco v nižších polohách převládá roční chod srážek s letním maximem a minimem v zimě, v horských polohách narůstá podíl srážek na podzim a v zimě (Tolasz a kol., 2007).



##### 2.1.1.1. Průměrný roční úhrn srážek na území ČR za období 1986–2015.

Průměrný roční srážek úhrn na území ČR za období 1986–2015 činí 683 mm. Jak dokumentuje graf na obr. 2.1.1.2. srážky meziročně vykazují poměrně velkou proměnlivost. Na srážky nejbohatší byl za uvedené období rok 2010, kdy územní srážkový úhrn dosáhl hodnotu 867 mm, nejsušší byl rok 2003 s úhrnem 505 mm.



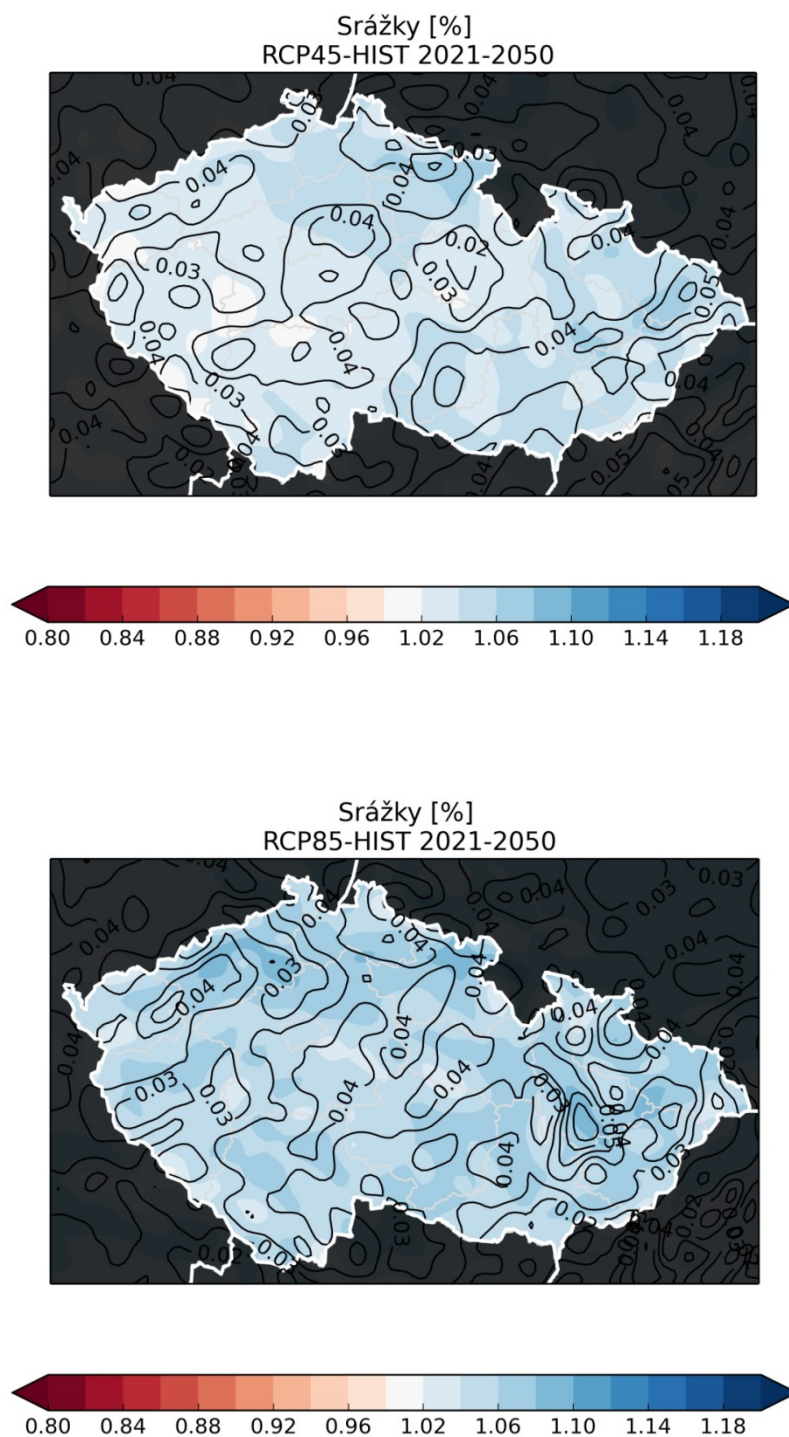


2.1.1.2. Průběh ročního úhrnu územních srážek v ČR (mm) v období 1986-2015

## 2.1.2 Výhled změn - modelové projekce

Prostorové rozložení očekávaných změn průměrného ročního úhrnu srážek na území ČR je vidět na obr. 2.1.2.1. Změny jsou udány relativně, tedy jako podíl hodnoty simulované pro budoucí období 2021–2050 a hodnoty pro referenční období 1986–2015. Změna vyšší než 1 znamená nárůst srážek, menší než jedna naopak pokles.

Pro oba, emisní scénáře vidíme nárůst srážkového úhrnu. Změny se pro scénář RCP4.5 pohybují do 8 %, pro emisní scénář RCP8.5 jsou očekávané změny v intervalu 2 – 10 %. Nejistota odhadu založená na multi-modelové směrodatné odchylce se pohybuje pro oba scénáře mezi dvěma a pěti procenty.

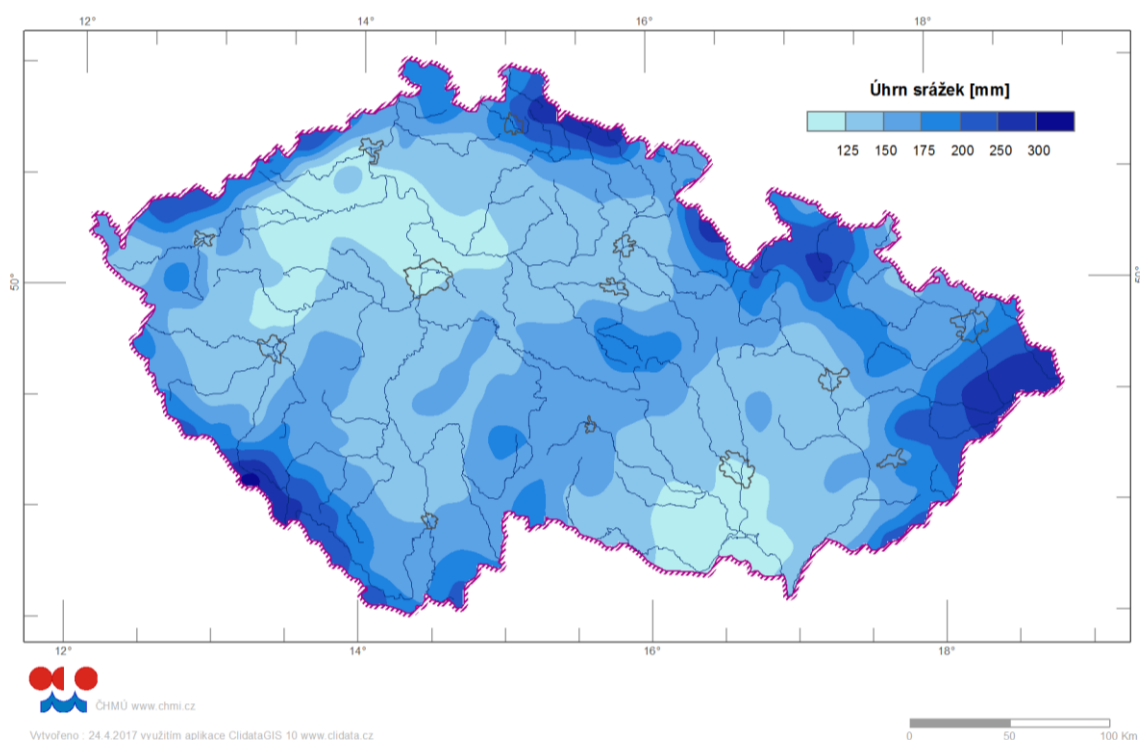


*Obr. 2.1.2.1: Geografické rozložení změn průměrného ročního úhrnu srážek [podíl] (barevná škála) na území ČR za předpokladu scénáře emisí RCP4.5 (nahore) a RCP8.5 (dole) podle vybraných modelů Euro-CORDEX (tab. 1) pro období 2021–2050 v porovnání s referenčním obdobím 1986–2015. Změny byly spočteny jako multi-modelový průměr. Konturami jsou zobrazeny hodnoty multi-modelové směrodatné odchylky [podíl].*

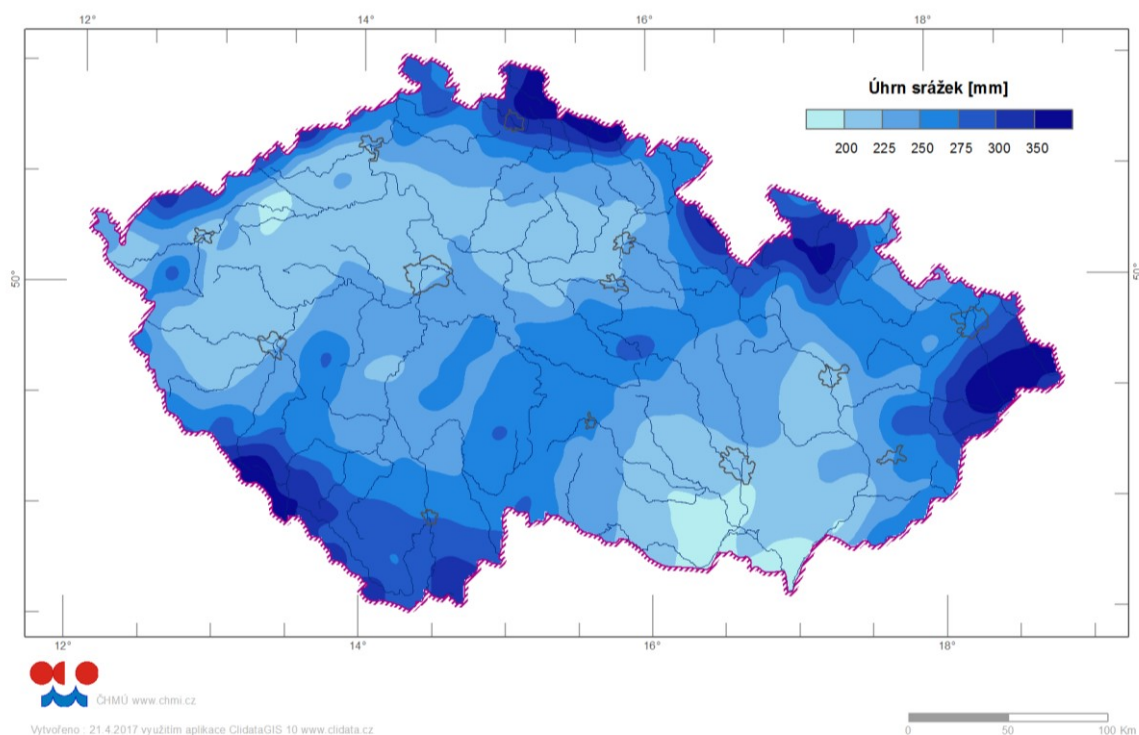
## 2.2 Průměrný sezónní úhrn srážek

### 2.2.1 Pozorování

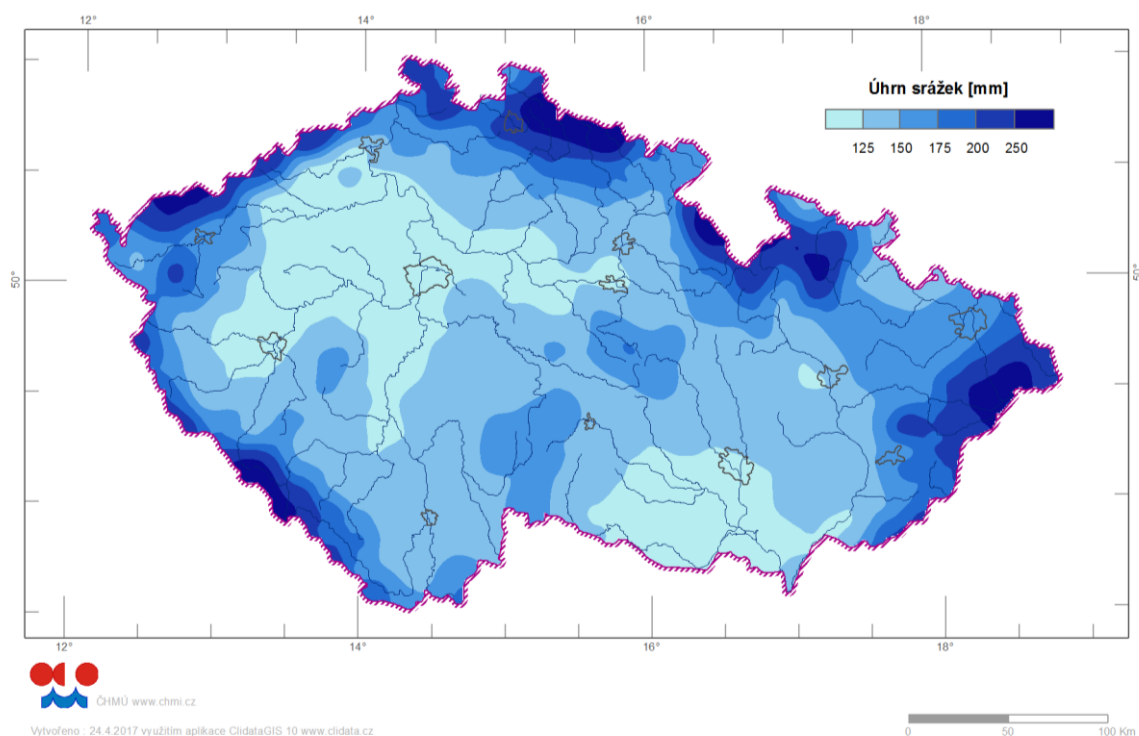
Nejvíce srážek spadne během letního období, v rámci celé České republiky je to okolo 250 mm. Nejméně spadne na Žatecku a jižní Moravě, pod 200 mm, a nejvíce na hřebenech hor, přes 350 mm. Srážkově podobné je jaro a podzim, kdy v průměru spadne okolo 150 mm. Srážkově nejchudší období je zima. Průměrný úhrn srážek se pohybuje okolo 130 mm, méně než 75 mm srážek spadne na Žatecku a jižní Moravě. Nejvíce na hřebenech hor, a to přes 300 mm. Mapy průměrných srážkových úhrnů za jednotlivé sezóny jsou uvedeny na obrázcích 2.2.1.1. až 2.2.1.4.



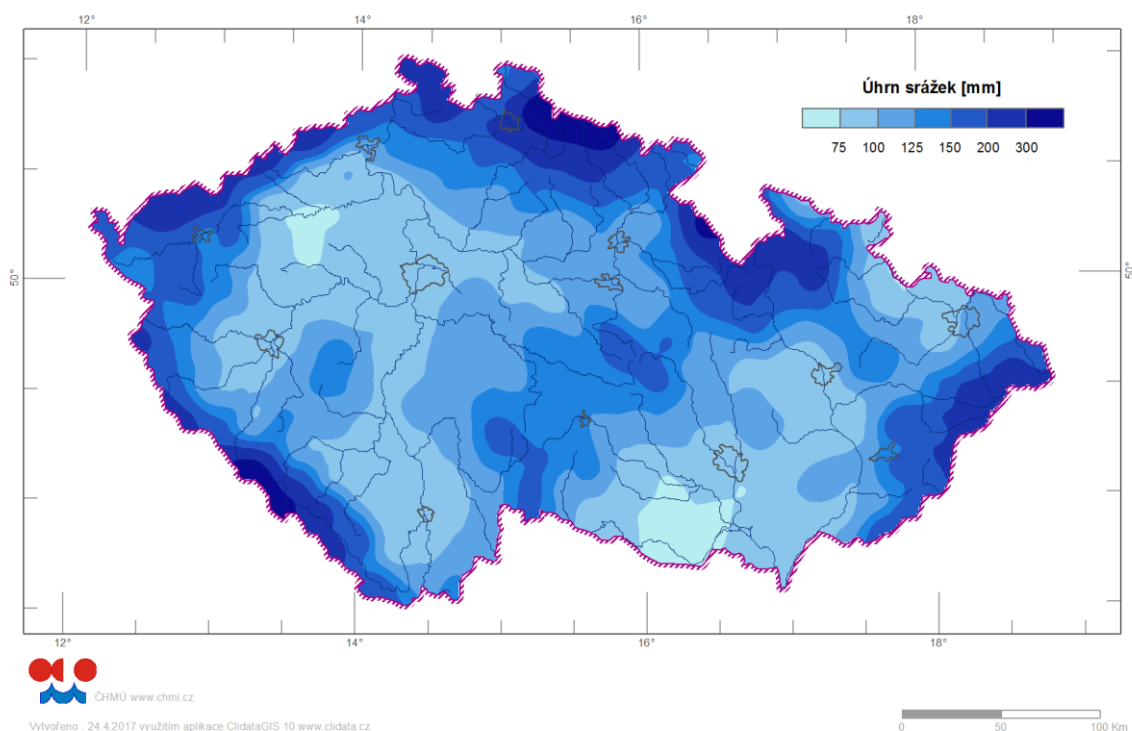
2.2.1.1. Průměrný sezónní úhrn srážek pro jarní sezónu za období 1986–2015.



2.2.1.2. Průměrný sezónní úhrn srážek pro letní sezónu za období 1986–2015.



2.2.1.3. Průměrný sezónní úhrn srážek pro podzimní sezónu za období 1986–2015.



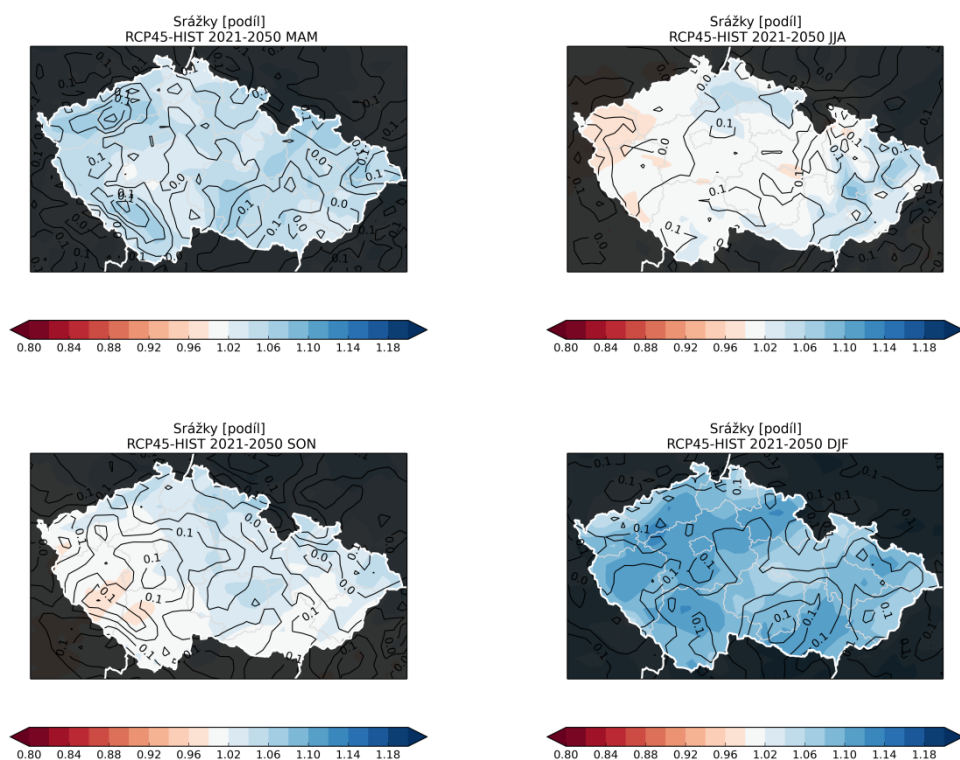
2.2.1.4. Průměrný sezónní úhrn srážek pro zimní sezónu za období 1986–2015.

## 2.2.2 Výhled změn - modelové projekce

Prostorové rozložení očekávaných změn průměrného sezónního úhrnu srážek na území ČR za předpokladu scénáře emisí RCP4.5 je vidět na obr. 2.2.2.1. Na jaře a v zimě dávají modely mírný nárůst srážek, na jaře do 10 %, v zimě na některých místech až o 15 % hodnoty simulované pro referenční období. V létě a na podzim je v některých oblastech (zejména na Z a JZ ČR) očekáván velmi mírný pokles srážek (do 5 %), na ostatním území velmi mírný nárůst.

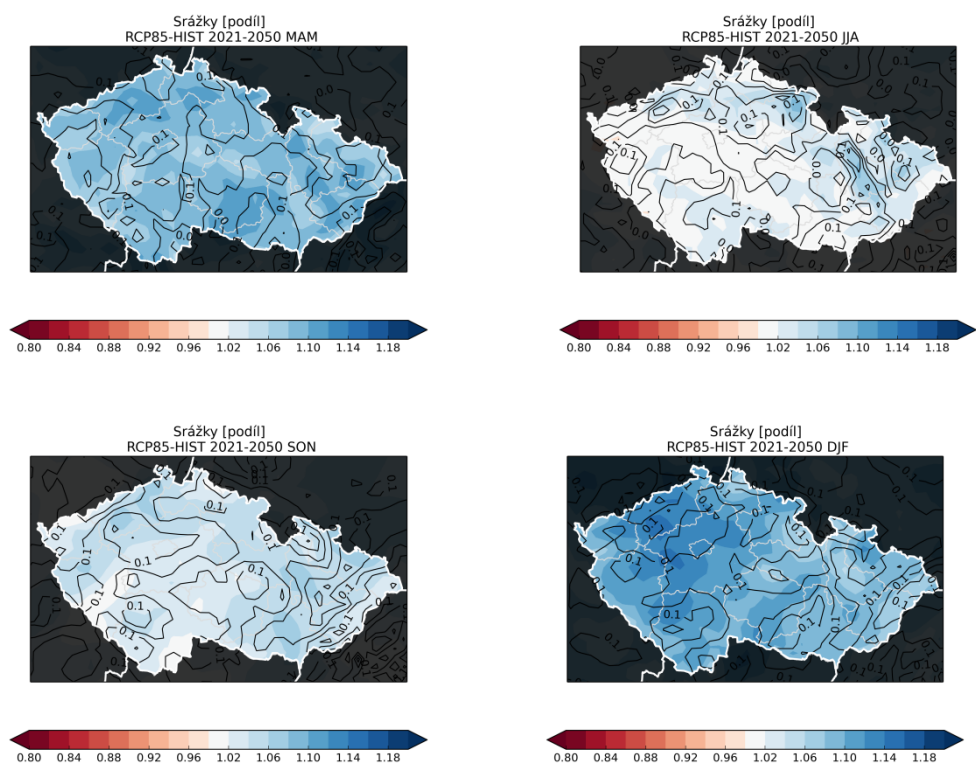
Prostorové rozložení očekávaných změn pro druhý emisní scénář RCP8.5 je vidět na obr. 2.2.2.2. Ve všech sezónách vidíme nárůst srážek na většině území ČR. Velikost změn je velmi podobná jako v případě scénáře RCP4.5, v létě a na podzim do 5 %, na jaře do 10 %, v zimě na některých místech až do 15 % hodnoty simulované pro referenční období.

Nejistota odhadu založená na multi-modelové směrodatné odchylce se pohybuje pro oba scénáře ve všech sezónách kolem deseti procent. Pro scénář RCP4.5 jsou očekávané změny větší než nejistota odhadu jen v některých regionech ČR v zimě, pro scénář RCP8.5 i na jaře, v ostatních případech zahrnuje interval nejistoty na celém území i nulovou změnu (obr. 2.2.2.1 a 2.2.2.2).



Obr. 2.2.2.1: Geografické rozložení změn průměrného sezónního úhrnu srážek [podíl] (barevná škála) na území ČR za předpokladu scénáře emisí RCP4.5 podle vybraných modelů Euro-CORDEX (tab. 1) pro období 2021–2050 v porovnání s referenčním obdobím 1986–2015. Sezóny jsou označeny pomocí anglických zkratk MAM (jaro, vlevo nahoře), JJA (léto, vpravo nahoře), SON (podzim, vlevo dole), DJF (zima, vpravo dole). Změny byly spočteny jako multi-modelový průměr. Konturami jsou zobrazeny hodnoty multi-modelové směrodatné odchylky [podíl].





Obr. 2.2.2.2: Jako obr. Obr. 2.2.2.1, ale pro emisní scénář RCP8.5.

## 2.3 Průměrný měsíční úhrn srážek

### 2.3.1 Výhled změn - modelové projekce

Mapy prostorového rozložení očekávaných změn měsíčních srážkových úhrnů jsou v příloze této zprávy. Z výsledků je vidět, že výše popsané sezónní změny nejsou mezi jednotlivými měsíci rozloženy zcela rovnoměrně. Ve většině měsíců dávají modely nárůst srážkových úhrnů. Pro scénář RCP4.5 je očekáván pokles srážek jen v srpnu a v říjnu, pro RCP8.5 v červenci a říjnu. Pro scénář RCP4.5 je nevýrazný pokles srážek vidět i od dubna do července, ale jen na malé části území a pohybuje se většinou jen do 2 %. Změny se velmi často pohybují do 10 % hodnoty simulované pro referenční období. Výjimkou je pro RCP4.5 prosinec, kdy změny dosahují 10 – 25 %, pro RCP8.5 pak únor, květen, listopad a prosinec (změny opět maximálně do 25 %). Nejistota modelových odhadů se pohybuje v rozmezí 10 – 20 % a je mírně vyšší než u odhadů změn sezónních srážek.

## 2.4 Průměrný roční počet dní se srážkami s denním úhrnem alespoň 10, 20 a 30 mm

### 2.4.1 Pozorování

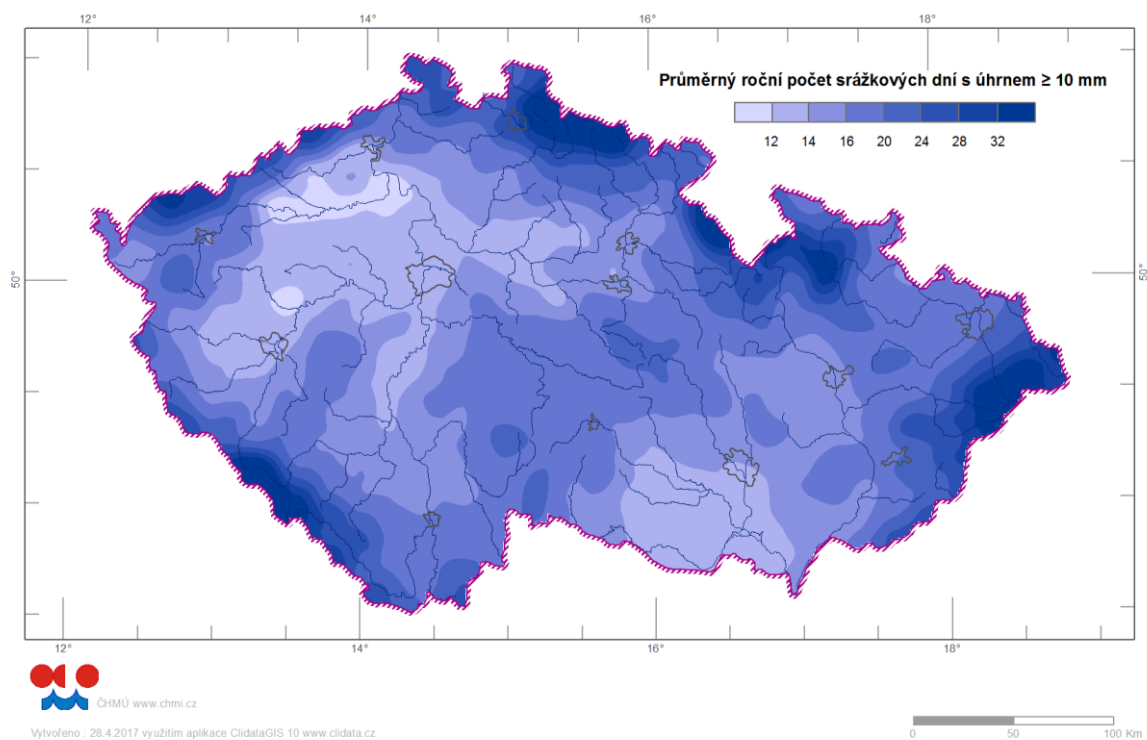
Počty dní se srážkovým úhrnem nad určitou hranicí jsou důležitou charakteristikou dokreslující srážkový režim sledovaného území. Srážkové dny s úhrnem srážek 10 mm a více se vyskytují v ČR v průběhu celého roku, nejčastější výskyty jsou zaznamenány v létě, nejnižší v zimě. Průměrný roční počet dní se srážkami s denním úhrnem alespoň 10 mm vykazuje závislost na nadmořské výšce. Nejmenší počet dní je v oblasti dolní Ohře, kde bylo v průměru zaznamenáno méně než 12 dní s denním úhrnem srážek alespoň 10 mm. Největší počet dní s denním úhrnem srážek alespoň 10 mm je na hřebenech Krkonoš a Šumavy, a to více než 32 dní.

Dny se srážkovým úhrnem 20 mm a více se převážně vyskytují v teplé polovině roku, jejich výskyt v chladném období je méně četný. Nejnižší počet průměrného ročního počtu dní se srážkami s denním úhrnem alespoň 20 mm se nachází v Polabí a na Plzeňsku, a to méně jak 3 dny. Nejvíce opět na hřebenech Krkonoš a Šumavy, a to více než 12 dní v roce.

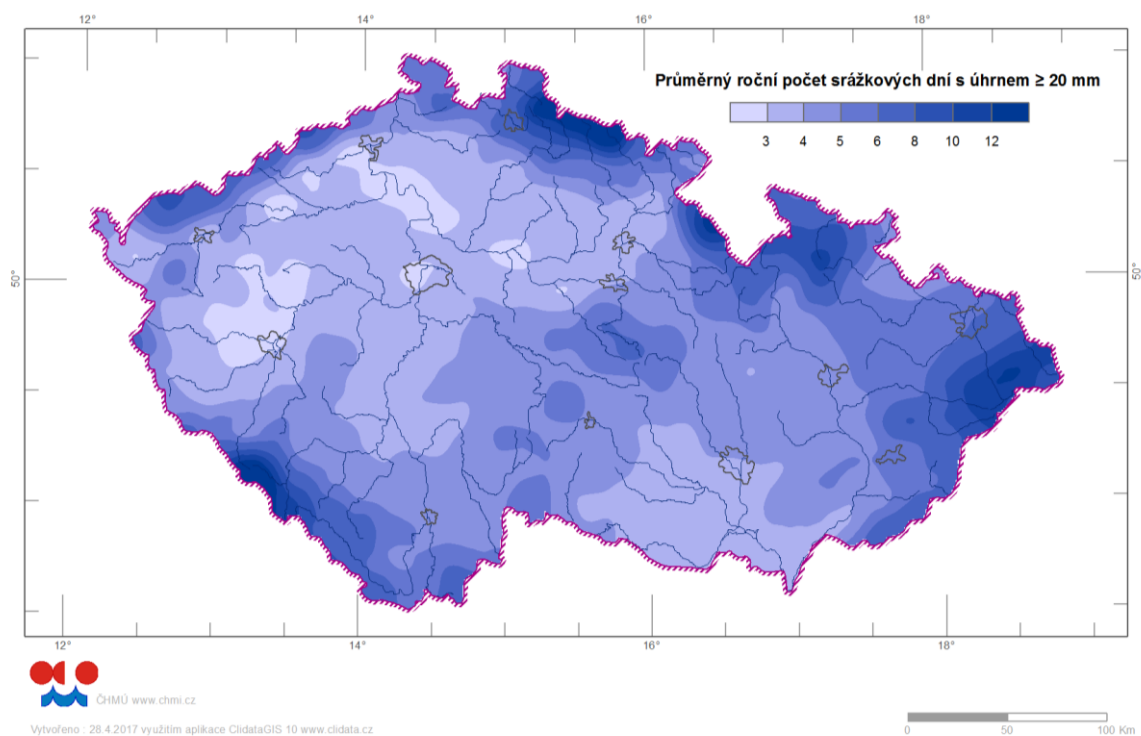
Srážkové dny s úhrnem alespoň 30 mm se vyskytují na našem území převážně v teplé polovině roku, jejich výskyt v zimním období je možný, ale spíše ojedinělý. Geografické rozložení průměrného počtu dní se srážkami s denním úhrnem alespoň 30 mm je podobné jako u předchozích limitů. Nejméně těchto dní nastává v Poohří a Polabí (méně jak 1 den), nejvíce na hřebenech hor (více než 4 dny).



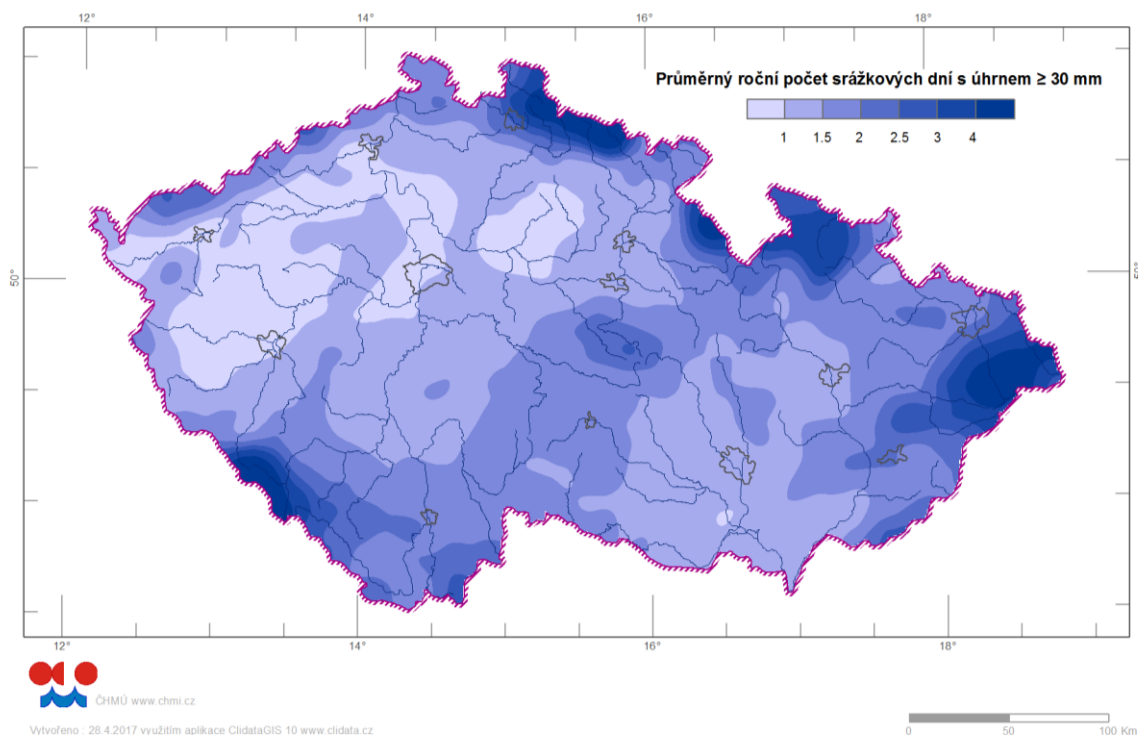




2.4.1.1. Průměrný roční počet dní se srážkami s denním úhrnem alespoň 10 mm za období 1986–2015.



2.4.1.2. Průměrný roční počet dní se srážkami s denním úhrnem alespoň 20 mm za období 1986–2015.



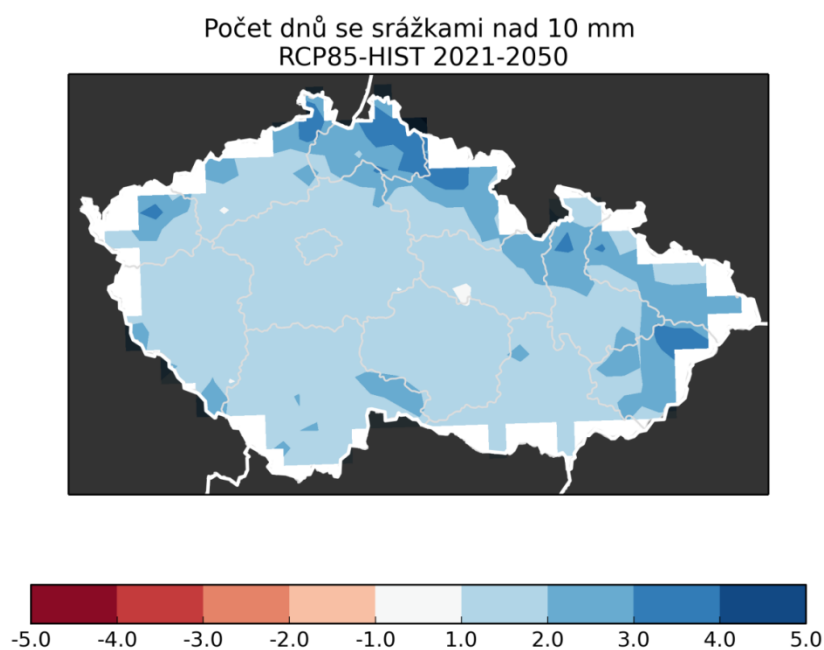
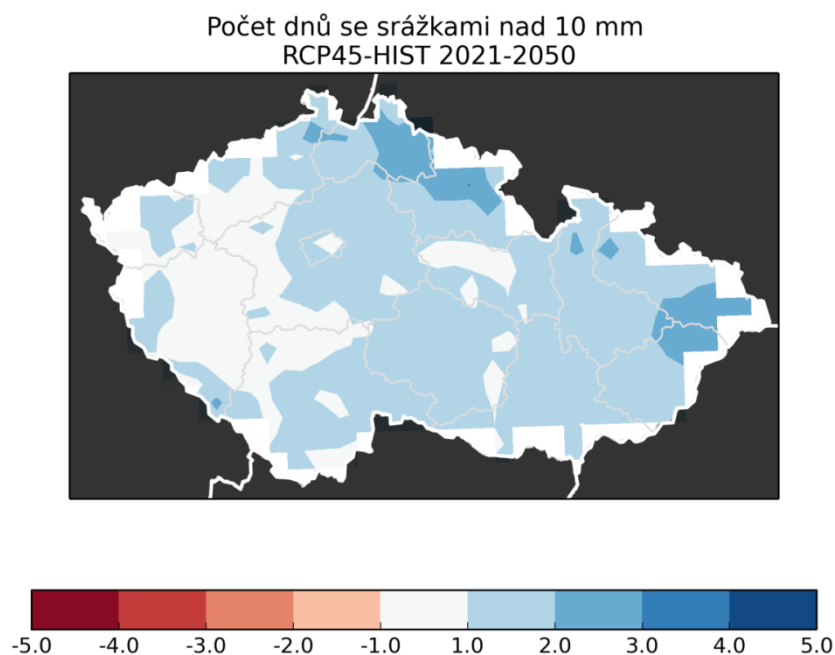
2.4.1.3. Průměrný roční počet dní se srážkami s denním úhrnem alespoň 30 mm za období 1986–2015.

## 2.4.2 Výhled změn - modelové projekce

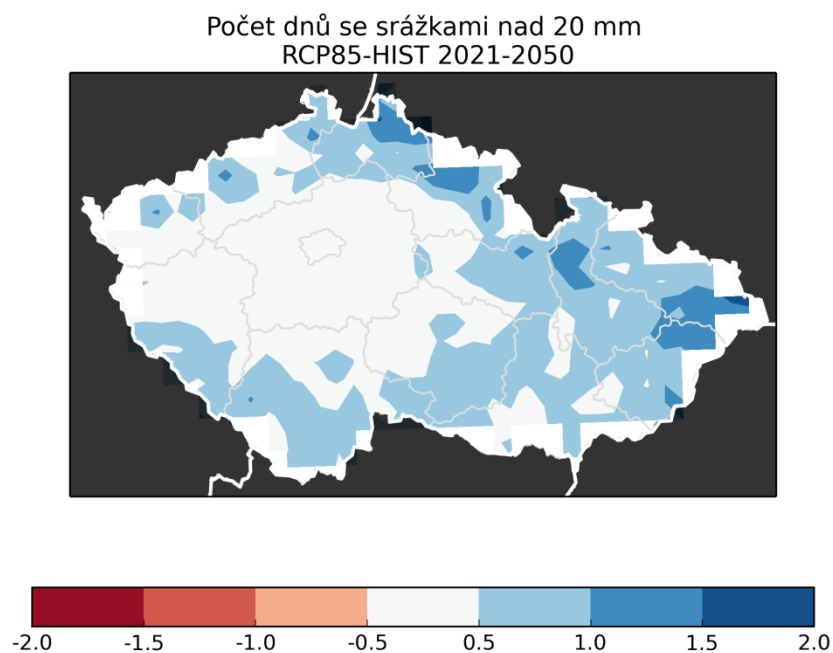
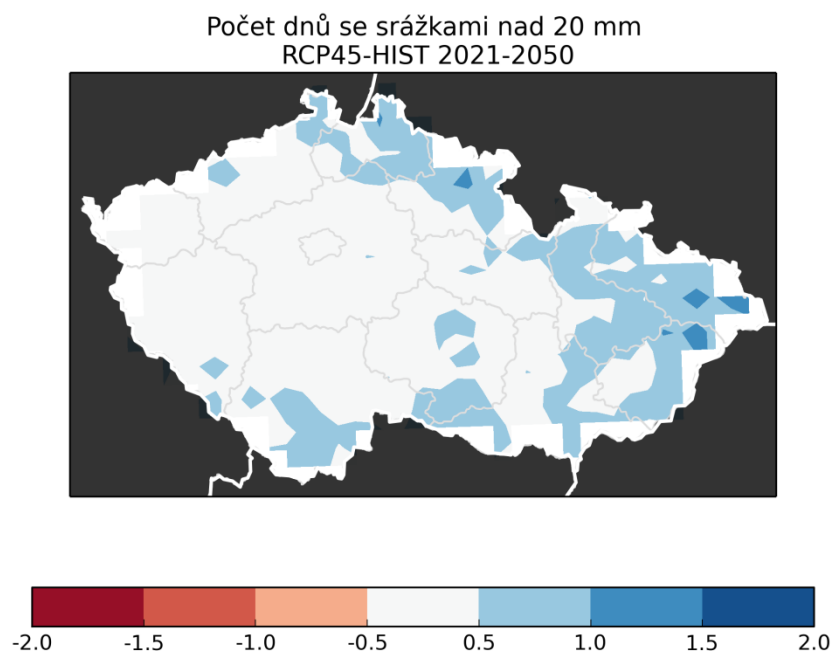
Prostorové rozložení očekávaných změn průměrného ročního počtu dní se srážkami s úhrnem nad 10 mm na území ČR je vidět na obr. 2.4.2.1. Za předpokladu scénáře emisí RCP4.5 se na většině území očekává prakticky malý nárůst do 2 dnů, na severovýchodě Česka, zejména v horských oblastech, až 3 dny. Pro emisní scénář RCP8.5 je nárůst na většině území 1 – 2 dny, na severu Česka výjimečně až 4 dny.

V případě průměrného ročního počtu dní se srážkami s úhrnem nad 20 mm (obr. 2.4.2.2) je očekávaný nárůst na většině území zanedbatelný, jen místy dosahuje 1 dne a výjimečně 1,5 dne (severovýchod ČR). Nepatrně vyšší jsou pak očekávané změny počtu těchto dnů pro scénář RCP8.5, i tak ale většinou nepřesahují 1 den a jen výjimečně (na SV) se pohybují kolem 1,5 dne.

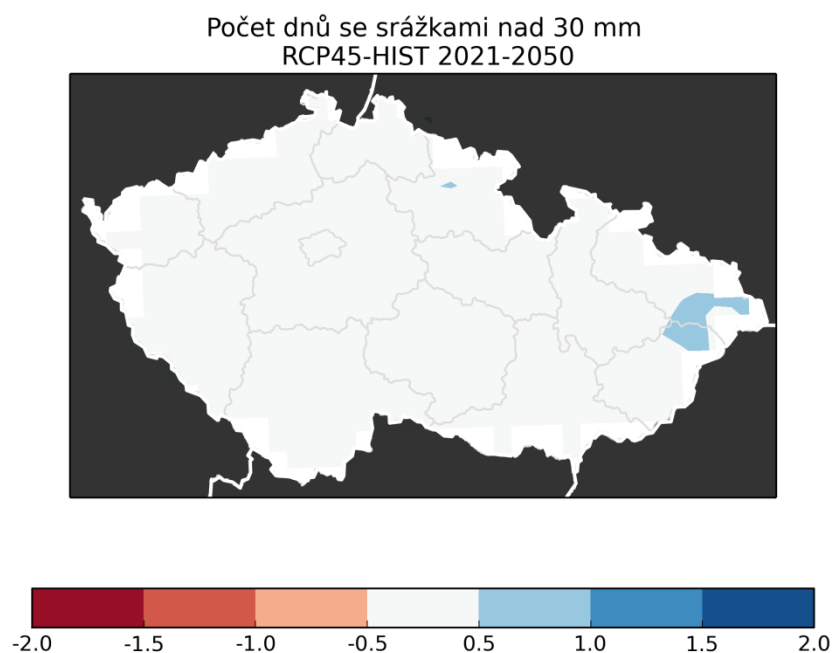
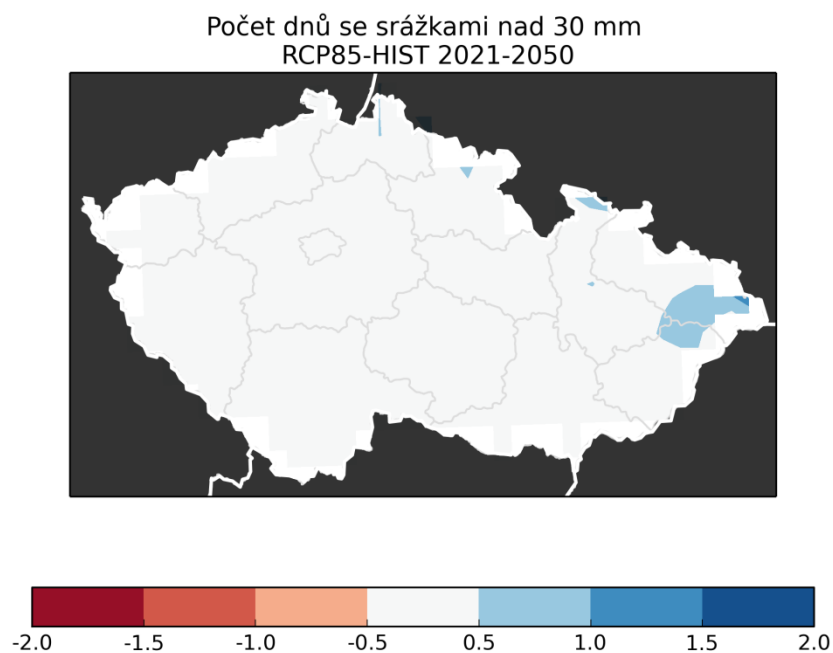
Ještě menší změny lze čekat u nárůstu počtu dní se srážkami nad 30 mm (nutno podotknout, že jejich počet je v období 1986–2015 velmi nízký), jak je patrné z obr. 2.4.2.3 - jen na severovýchodě Česka je očekáván nárůst zhruba o polovinu dne, přičemž rozdíly mezi oběma sledovanými scénáři jsou prakticky zanedbatelné. Na ostatním území půjde o změnu zanedbatelnou (blíží se k nule).



Obr. 2.4.2.1: Geografické rozložení změn průměrného ročního počtu dní se srážkovým úhrnem nad 10 mm (barevná škála) na území ČR za předpokladu scénáře emisí RCP4.5 (nahore) a RCP8.5 (dole) podle vybraných modelů Euro-CORDEX (tab. 1) pro období 2021–2050 v porovnání s referenčním obdobím 1986–2015. Změny byly spočteny jako multi-modelový průměr.



Obr. 2.4.2.2: Geografické rozložení změn průměrného ročního počtu dní se srážkovým úhrnem nad 20 mm (barevná škála) na území ČR za předpokladu scénáře emisí RCP4.5 (nahore) a RCP8.5 (dole) podle vybraných modelů Euro-CORDEX (tab. 1) pro období 2021–2050 v porovnání s referenčním obdobím 1986–2015. Změny byly spočteny jako multi-modelový průměr.



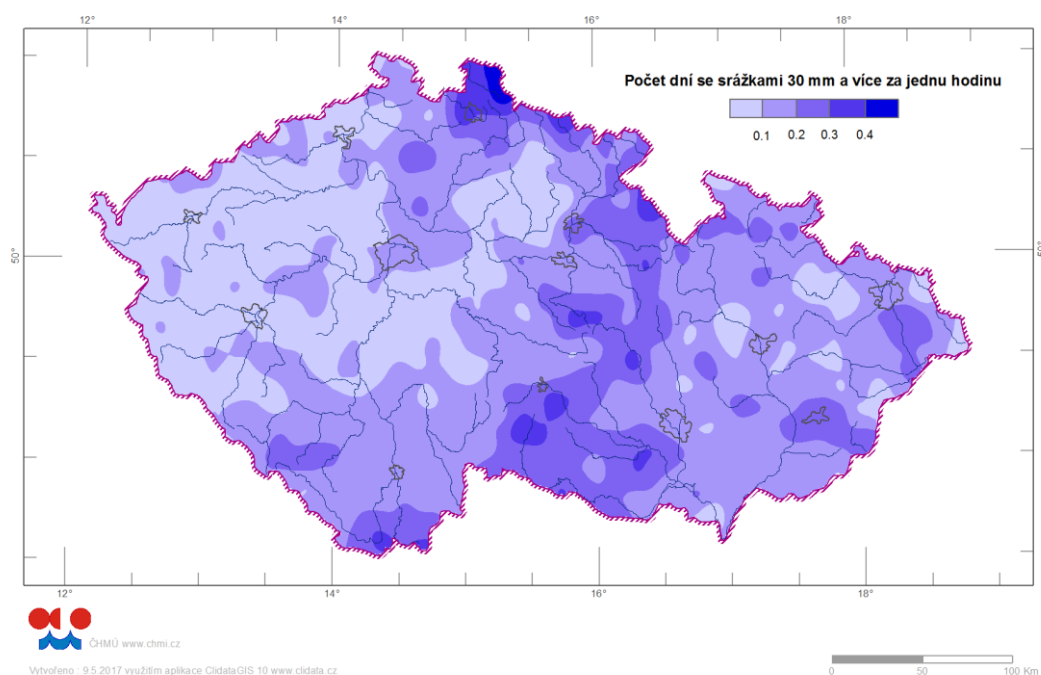
Obr. 2.4.2.3: Geografické rozložení změn průměrného ročního počtu dní se srážkovým úhrnem nad 30 mm (barevná škála) na území ČR za předpokladu scénáře emisí RCP4.5 (nahoře) a RCP8.5 (dole) podle vybraných modelů Euro-CORDEX (tab. 1) pro období 2021–2050 v porovnání s referenčním obdobím 1986–2015. Změny byly spočteny jako multi-modelový průměr.

## 2.5 Průměrný roční počet dní se srážkami 30 mm a více za 1 hodinu

### 2.5.1. Pozorování

Pro stanovení úhrnu srážek za období kratší než jeden den se využívají ombrografické záznamy z doby před automatizací staniční sítě, po automatizaci se vyhodnocují měření úhrnů srážek z automatických srážkoměrů. Vzhledem k tomu, že je v letech 1986-2015 zahrnuto období, kdy bylo v síti stanic ČHMÚ ukončeno měření intenzity srážek ombrografy a začala postupná automatizace stanic, nebyl pro zpracování mapových podkladů dostupný dostatečný počet stanic s dostatečně dlouhou řadou měření intenzity srážek. Připravovaný mapový podklad nepokládáme za dostatečně vypovídající. Jako mapový podklad pro tuto zakázku navrhujeme využít vrstvu průměrného sezónního počtu (květen až září) zpracovanou pro Atlas podnebí Česka (Tolasz a kol., 2007).

Srážky dosahující úhrn 30 mm za hodinu a více se na území ČR vyskytují v období od května do září, nejčastější výskyt je v červenci a srpnu. Jejich výskyt je prakticky možný na celém území ČR, četnost je velmi proměnlivá.



Obr. 2.5.1.1. Průměrný sezónní (květen –září) počet dní se srážkami 30 mm a více za 1 hodinu.

### 2.5.2 Výhled změn - řešerše existujících studií

Klimatické studie zabývající se projekcí budoucího vývoje srážek se často zabývají až situací ve druhé polovině nebo poslední třetině tohoto století. Pro období druhé čtvrtiny 21. století je studií poněkud méně. Na tomto místě je nutné zdůraznit, že nelze jednoduše vzít trendy pro konec tohoto století a extrapolovat z nich změny před polovinou 21. století. Změny

klimatu totiž nemusí probíhat lineárně, podobně jako jejich odezva ve srážkovém režimu. Na základě dostupných studií lze nicméně konstatovat, že se očekává určitá tendence ke změně rozložení ročního úhrnu srážek – jejich zvýšení v zimě a naopak určitý slabý pokles v letním období (např. Bartholy a Pongrácz, 2010). Přitom letní srážky vykazují tendenci k častějšímu výskytu extrémů, i když v období do roku 2050 nejde často o trendy statisticky významné (Rajczak et al., 2013; Nikulin et al., 2011), problém je někdy i se značnou prostorovou heterogenitou rozložení extrémních srážek – modelové výpočty ukazují, že regiony se zvýšenými úhrny občas sousedí s oblastmi snížených extrémů srážek (Feldmann et al., 2012). Pro oblast České republiky přinesla zajímavé výsledky nedávná studie Svoboda et al. (2016). Na základě 30 simulací regionálním klimatickým modelem zkoumali změnu srážkových hodinových úhrnů v letní sezóně (květen – září) a to pro období 2020-2049. Většina jejich výsledků počítá s nárůstem intenzity extrémních hodinových srážek (o 5 – 10 %), kam spadají i úhrny srážek 30 mm za 1 hodinu a více, současně by se mělo zvýšit i množství srážek při dané epizodě. Trvání jednotlivých epizod extrémních srážek by se příliš měnit nemělo. Je ale nutné zdůraznit, že lokalizace konkrétních změn v rámci České republiky není prakticky možná, mezi jednotlivými simulacemi panuje značná prostorová heterogenita. Nejistota odhadů změn srážkových extrémů je navíc vysoká (vyšší než nejistota odhadů změn průměrných srážek), jelikož je nutno uvažovat i nejistoty spojené s odhadem extrémů.

## 3. Sucho

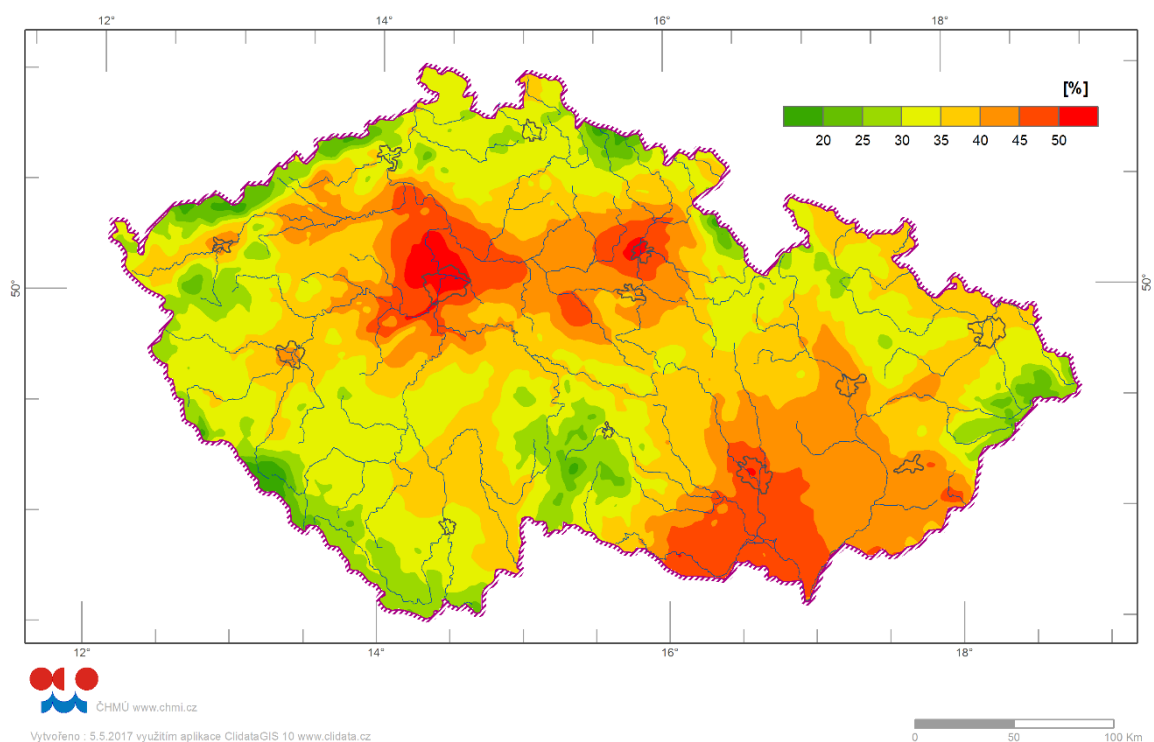
### 3.1 Průměrný podíl měsíců zasažených suchem v % za celý rok a v teplé části roku (duben až září)

#### 3.1.1 Pozorování

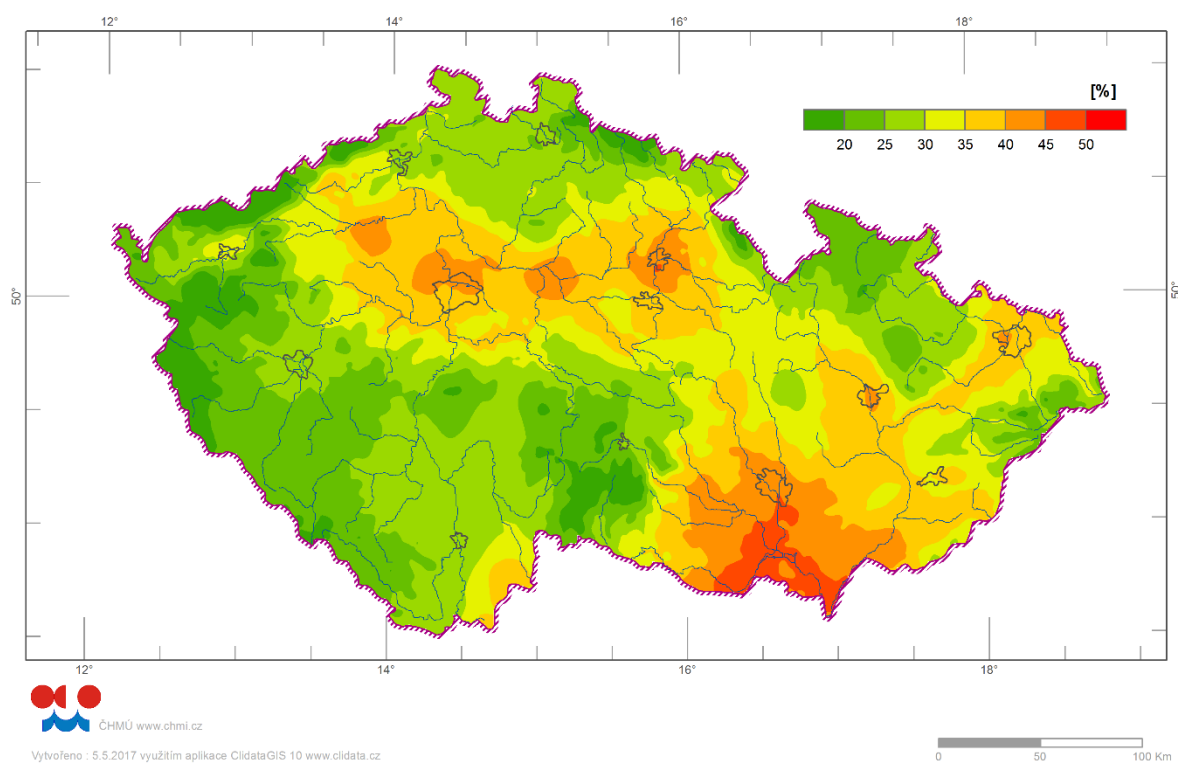
Pro hodnocení sucha byl využit Standardizovaný srážkový evapotranspirační index (SPEI). Index vyvinul kolektiv autorů z Instituto Pirenaico de Ecologia in Zaragoza (Vicente-Serrano et al., 2010). SPEI je definován jako normovaná hodnota rozdílu úhrnu srážek a potenciální evapotranspirace. Pro hodnocení sucha využívá stupnici, identifikující suché či vlhké periody. Pro konstrukci map byla využita analýza 6měsíčního SPEI za duben až září a 12měsíčního SPEI za leden až prosinec v letech 1986–2015. Pro výpočty byly využity denní meteorologické údaje ze sítě stanic ČHMÚ. Jak plyne ze zpracovaných map, byly suchými epizodami nejvíce postihovány nížinné lokality na jižní Moravě a ve středních a východních Čechách, kde se vyskytovaly v 40 až 55 % vegetačních sezón (duben až září). Naopak počet suchých epizod klesal s rostoucí nadmořskou výškou, na horách se vyskytoval pod 20 % všech sezón. Mezi oblastmi nejvíce postiženými epizodami sucha v lednu až prosinci vyniká jižní Morava s 40 až 50 %. To je dané relativně nízkými úhrny srážek a vysokou potenciální evapotranspirací v celé oblasti. Relativně nejpříznivější situace je v západních, severních a jižních Čechách, s výskytem suchých period 15 až 35 %.







**Obr. 3.1.1.1 Průměrný podíl měsíců zasažených epizodami sucha podle hodnot 6měsíčního SPEI v % za duben až září 1986–2015**



**Obr. 3.1.1.2 Průměrný podíl měsíců zasažených epizodami sucha podle hodnot 12měsíčního SPEI v % za leden až prosinec 1986–2015**

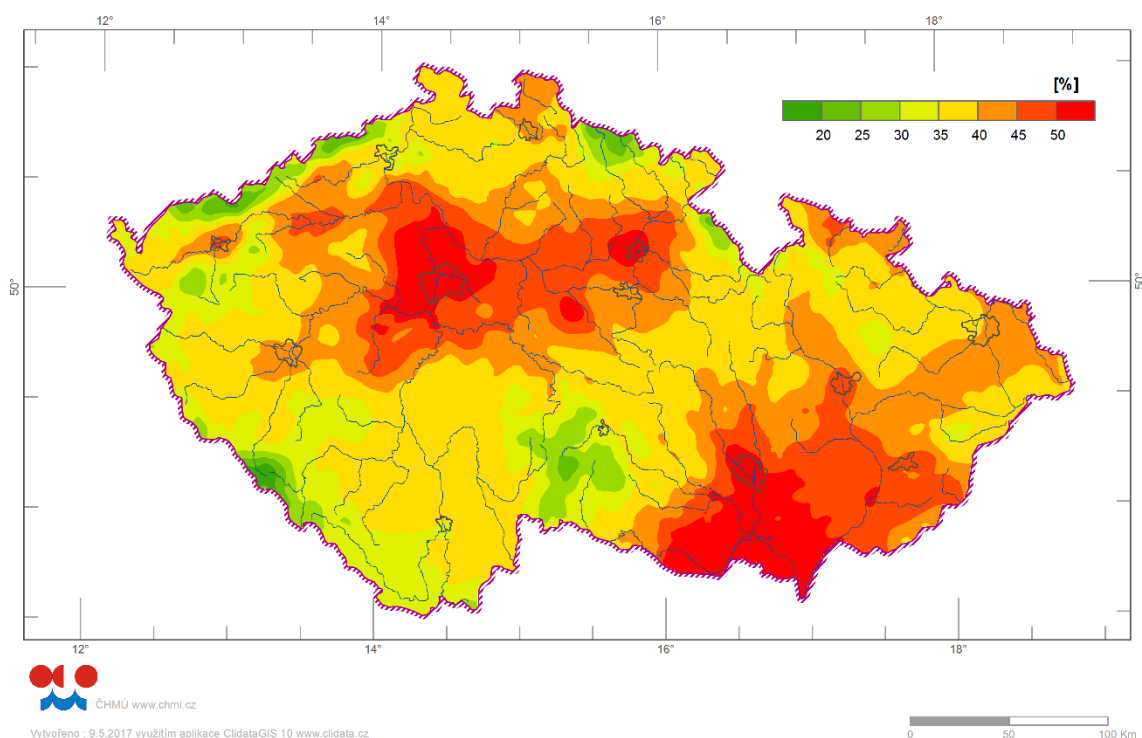


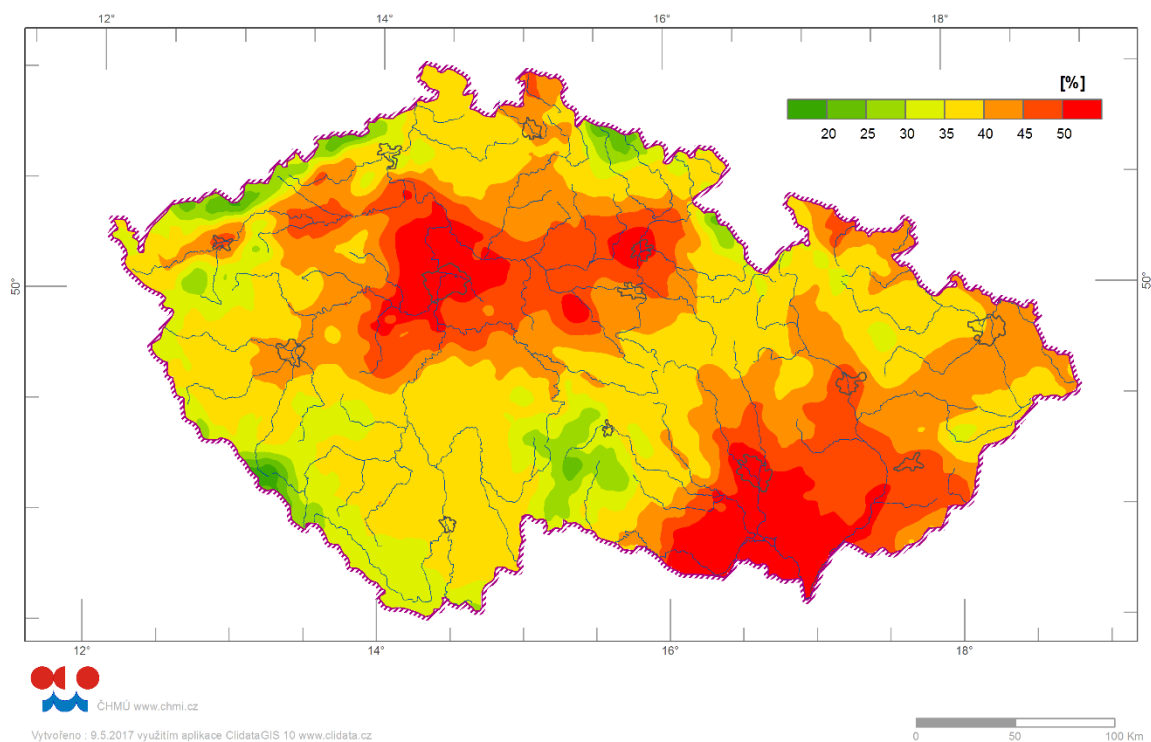
### 3.1.2 Výhled změn - modelové projekce

Pro odhad budoucího vývoje sucha v období 2021–2050 byly do výpočtu SPEI využity hodnoty multi-modelového průměru z výstupů 11 simulací regionálních klimatických modelů Euro-CORDEX (viz kapitola Kvantifikace relevantních meteorologických prvků a jevů pro blízkou budoucnost – výhled pro období 2021–2050).

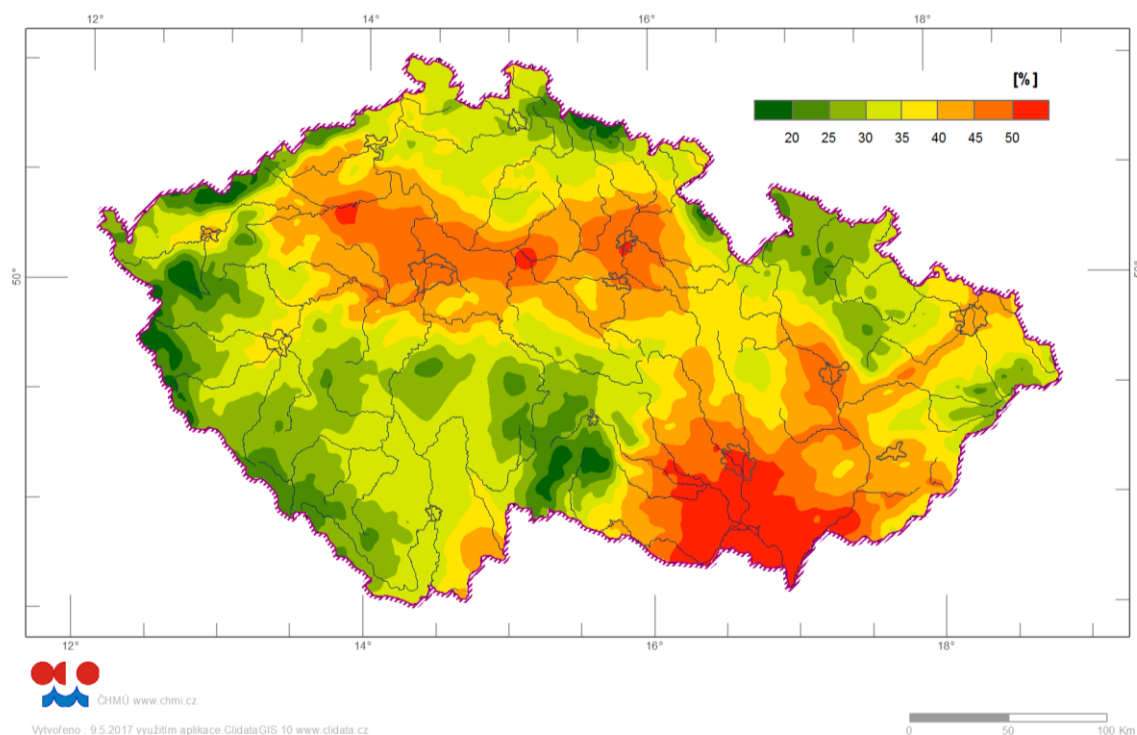
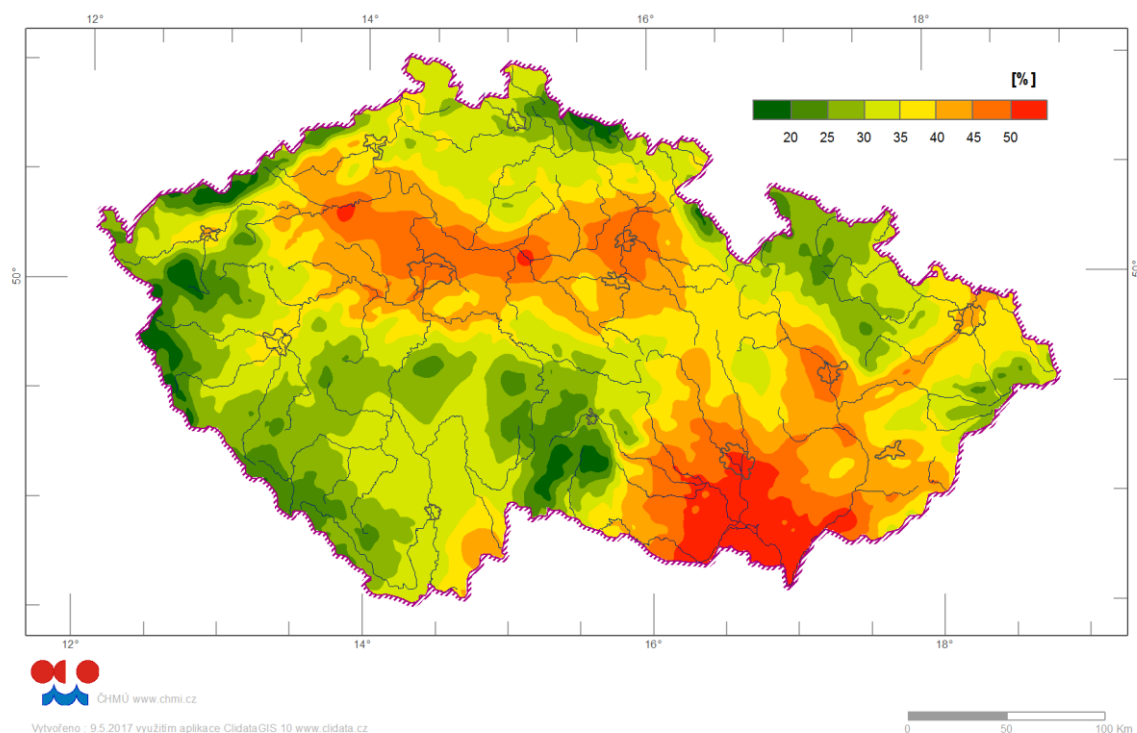
Pro oba emisní scénáře dávají modely zvýšení četnosti epizod sucha a růst celkové expozice nepostiženějších oblastí v teplé polovině roku, a to zřetelně jak v Čechách, tak na Moravě. Zatímco v Čechách expanduje území postižené suchem východním a severozápadním směrem, na Moravě na sever.

Zvýšení četnosti epizod sucha a růst celkové expozice nepostiženějších oblastí, a to především na Moravě, částečně i ve východních a středních Čechách, jsou podle modelových simulací očekávány i pro období leden až prosinec.





*Obr. 3.1.2.1 Průměrný podíl měsíců zasažených epizodami sucha podle hodnot 6měsíčního SPEI v % za duben až září v období 2021–2050 pro emisní scénář RCP4.5 (nahoře) a RCP8.5 (dole) podle vybraných modelů Euro-CORDEX.*



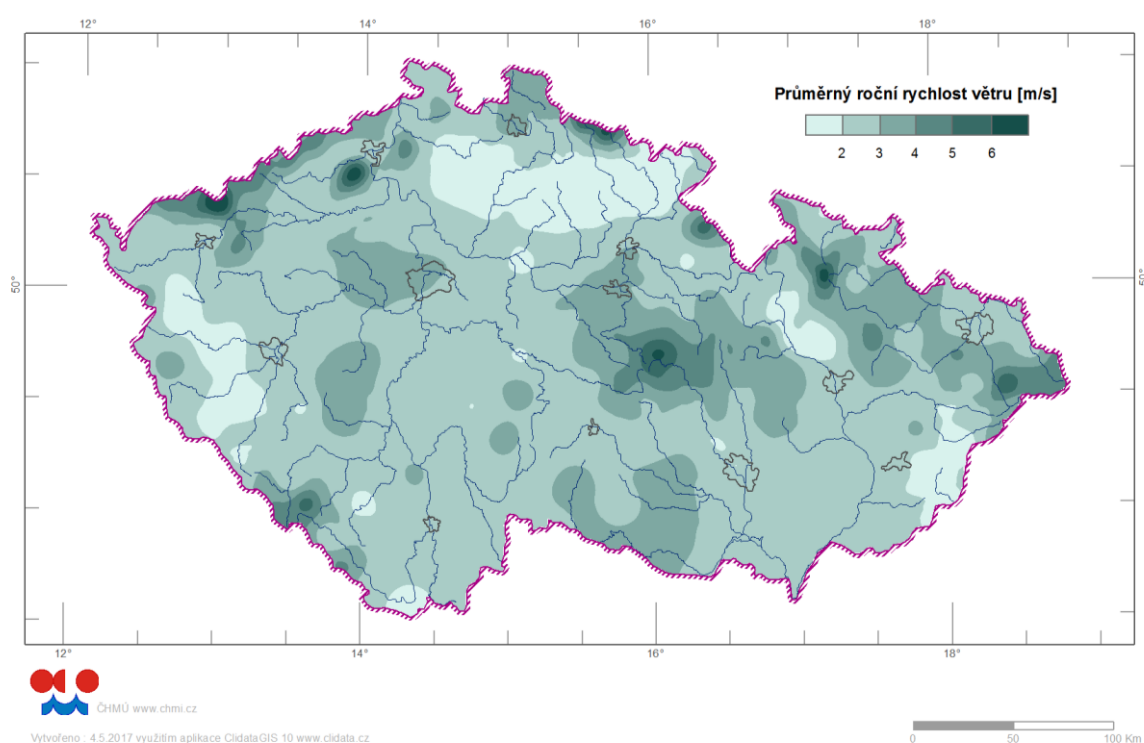
Obr. 3.1.2.2 Průměrný podíl měsíců zasažených epizodami sucha podle hodnot 12měsíčního SPEI v % za leden až prosinec v období 2021–2050 pro emisní scénář RCP4.5 (nahoře) a RCP8.5 (dole) podle vybraných modelů Euro-CORDEX.

## 4. Silný vítr

### 4.1 Průměrná roční rychlost větru

#### 4.1.1 Pozorování

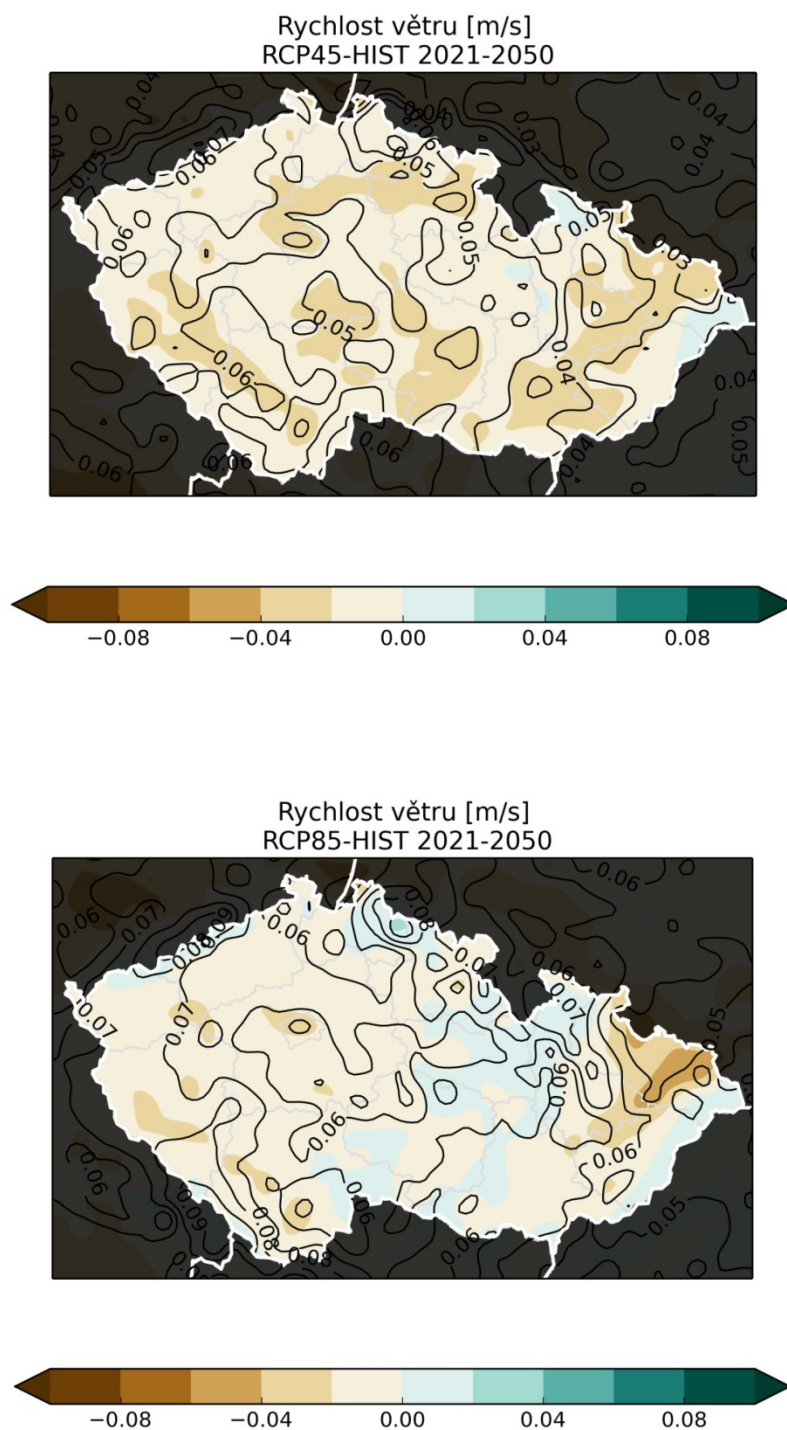
Čidla pro měření rychlosti větru jsou v síti stanic ČHMÚ standardně umístěná ve výšce 10 m nad povrchem, uvedené charakteristiky tedy reprezentují proudění ve výšce 10 m nad zemským povrchem. Průměrná roční rychlost větru se na většině území ČR pohybuje mezi 2 a 4 m/s. Nejnížší rychlost větru je zaznamenána v údolích řek a v pánevních oblastech jihozápadních a jižních Čech. Největřnější jsou horské polohy nad 1000 m v Jeseníkách a Krkonoších a nad 850 m v Krušných horách a Českém středohoří (Tolasz a kol., 2007).



Obr. 4.1.1.1. Průměrná roční rychlost větru za období 1986–2015.

#### 4.1.2 Výhled změn - modelové projekce

Prostorové rozložení očekávaných změn průměrné roční rychlosti větru na území ČR za předpokladu scénáře emisí RCP4.5 je vidět na obr. 4.1.2.1 (nahore), pro scénář RCP8.5 na obr. 4.1.2.1 (dole). Očekávané změny jsou pro oba scénáře velmi malé (pokles nebo nárůst o maximálně 0,05 m/s). Pro celé území ČR zahrnuje interval nejistoty i nulovou změnu.

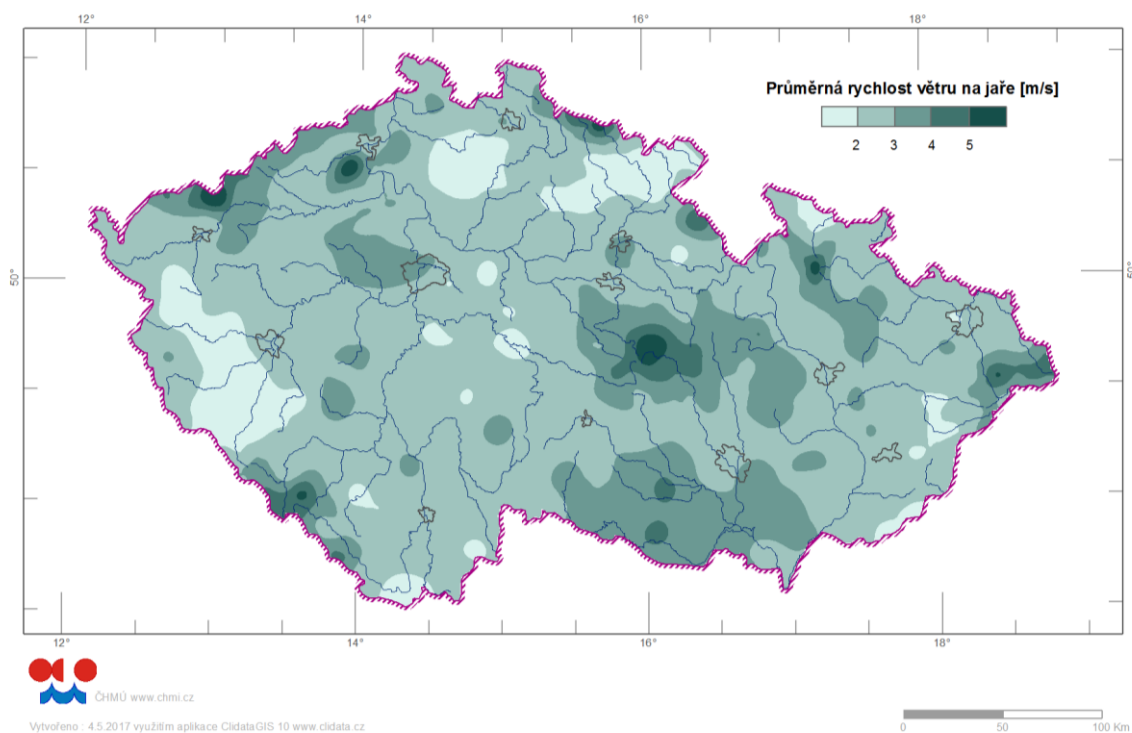


Obr. 4.1.2.1: Geografické rozložení změn průměrné roční rychlosti větru [m/s] (barevná škála) na území ČR za předpokladu scénáře emisí RCP4.5 (nahoře) a RCP8.5 (dole) podle vybraných modelů Euro-CORDEX (tab. 1) pro období 2021–2050 v porovnání s referenčním obdobím 1986–2015. Změny byly spočteny jako multi-modelový průměr. Konturami jsou zobrazeny hodnoty multi-modelové směrodatné odchylky [m/s].

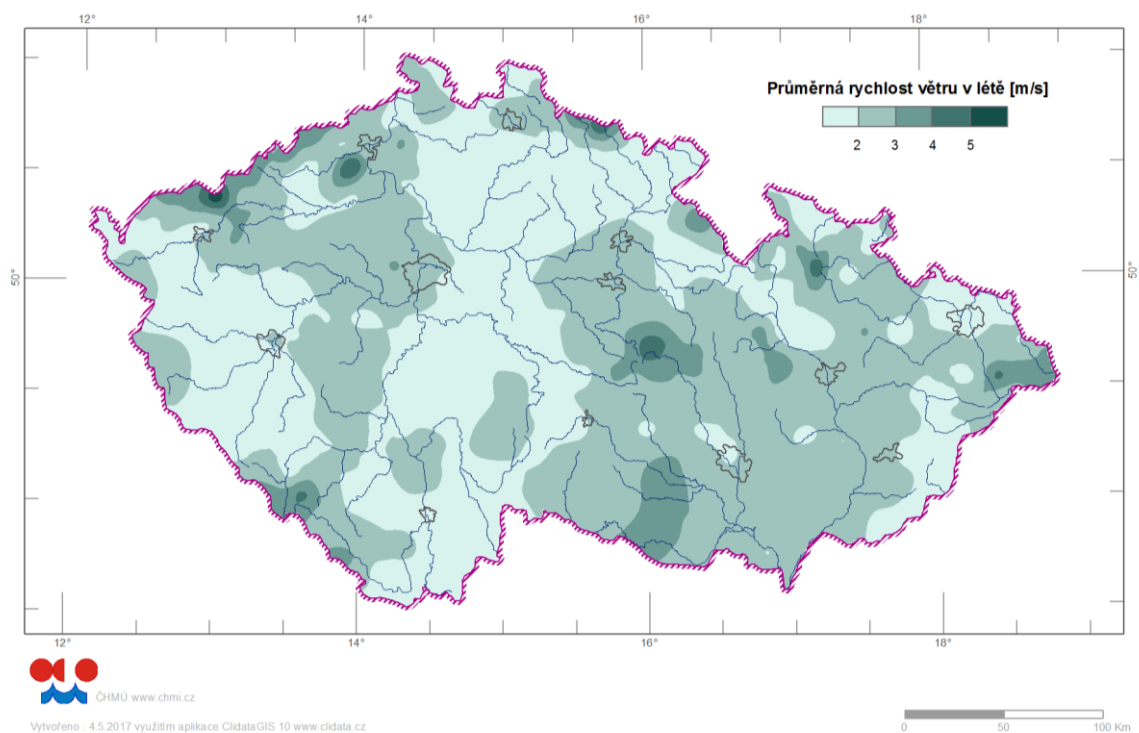
## 4.2 Průměrná sezónní rychlost větru

### 4.2.1 Pozorování

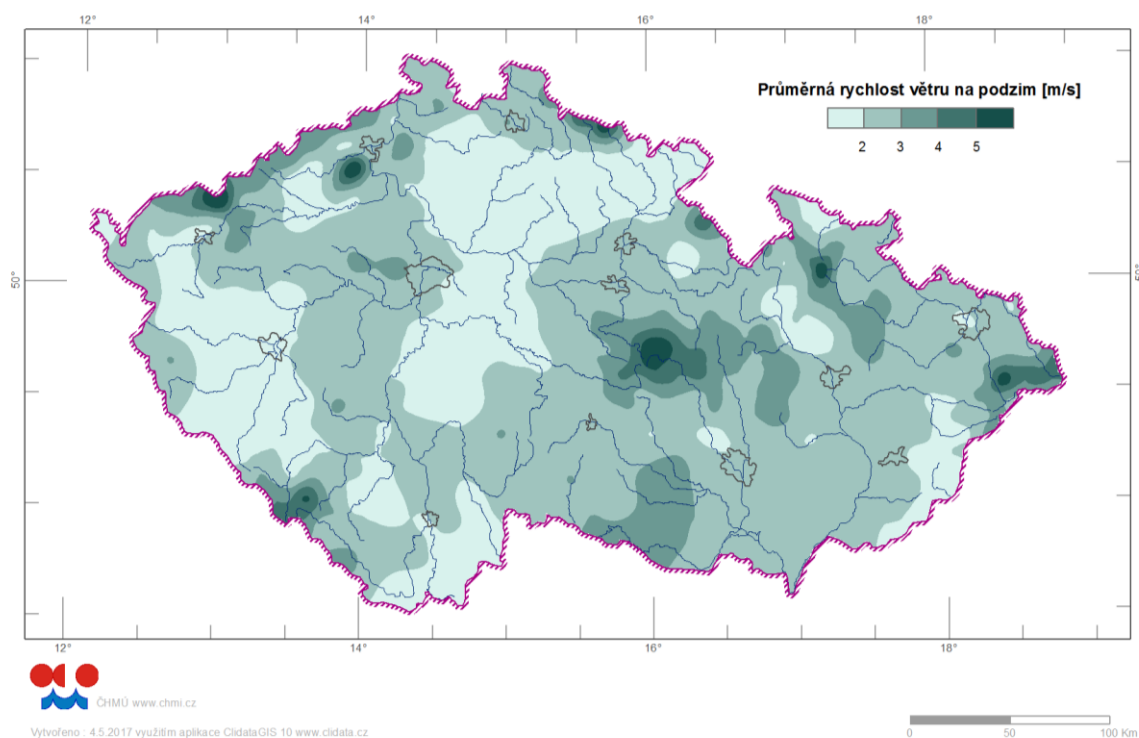
Nejnižší průměrná rychlost větru je pozorována v letní sezóně, o něco větrnější jsou přechodové sezóny jaro a podzim. Nejvyšší průměrné rychlosti větru jsou zaznamenány v zimě, nárůst je patrný zejména v horských polohách.



Obr. 4.2.1.1. Průměrná sezónní rychlost větru pro jarní sezónu za období 1986 – 2015.

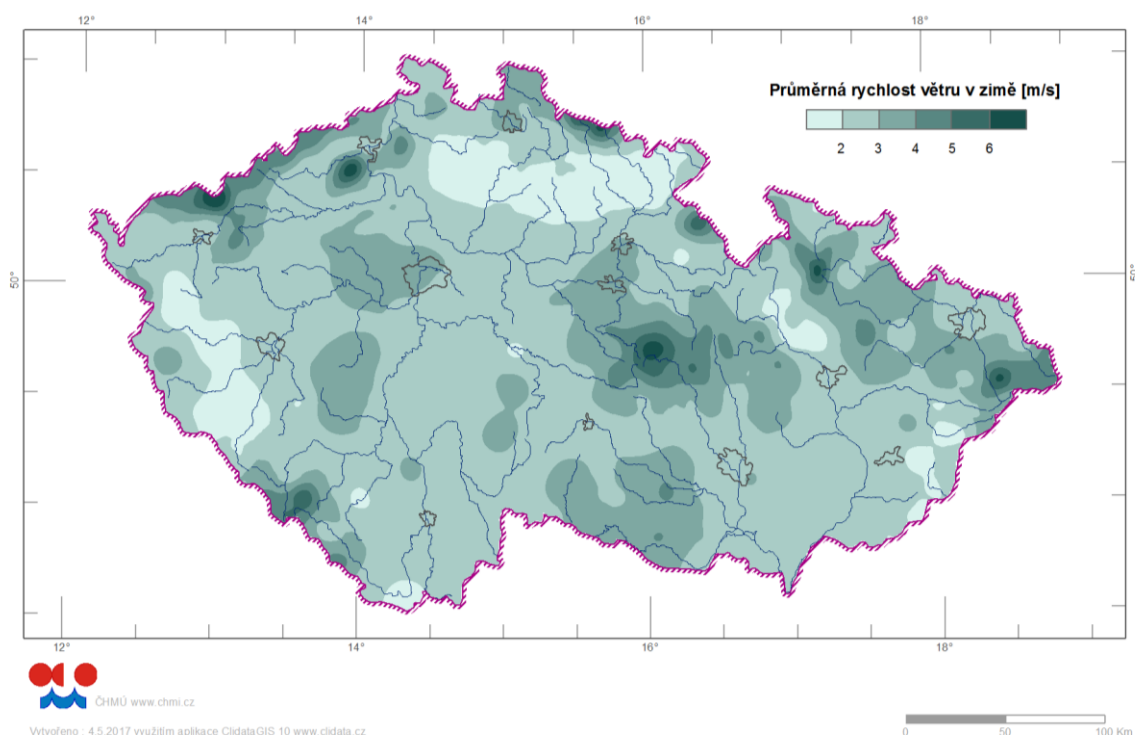


Obr. 4.2.1.2. Průměrná sezónní rychlost větru pro letní sezónu za období 1986 – 2015.



Obr. 4.2.1.3. Průměrná sezónní rychlost větru pro podzimní sezónu za období 1986 – 2015.



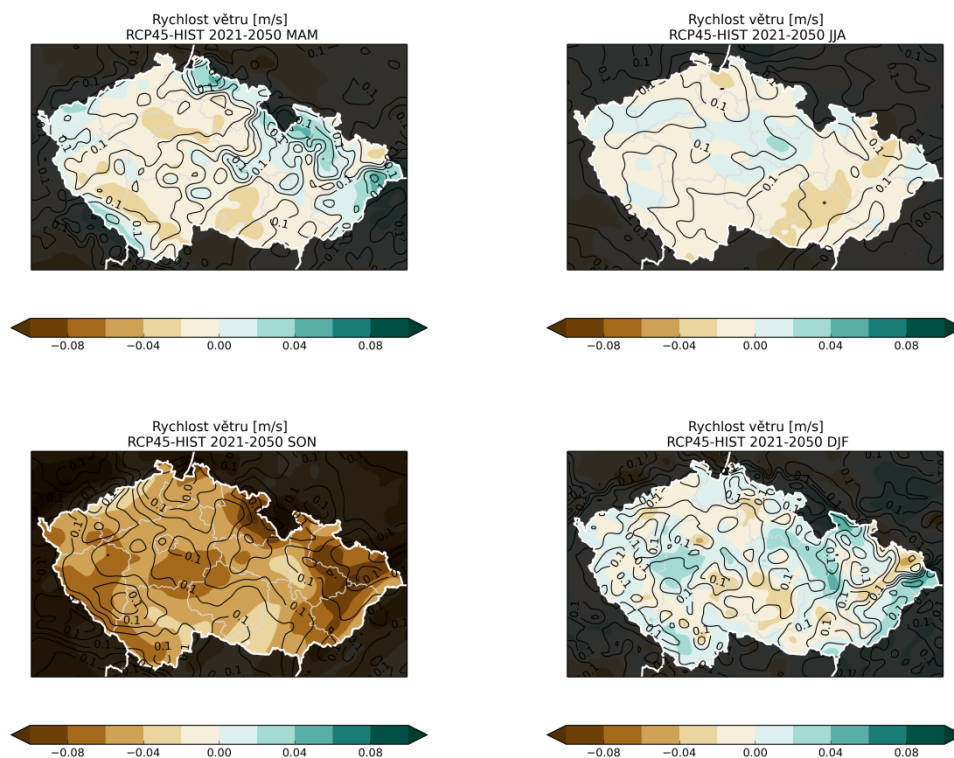


Obr. 4.2.1.4. Průměrná sezónní rychlost větru pro zimní sezónu za období 1986 – 2015.

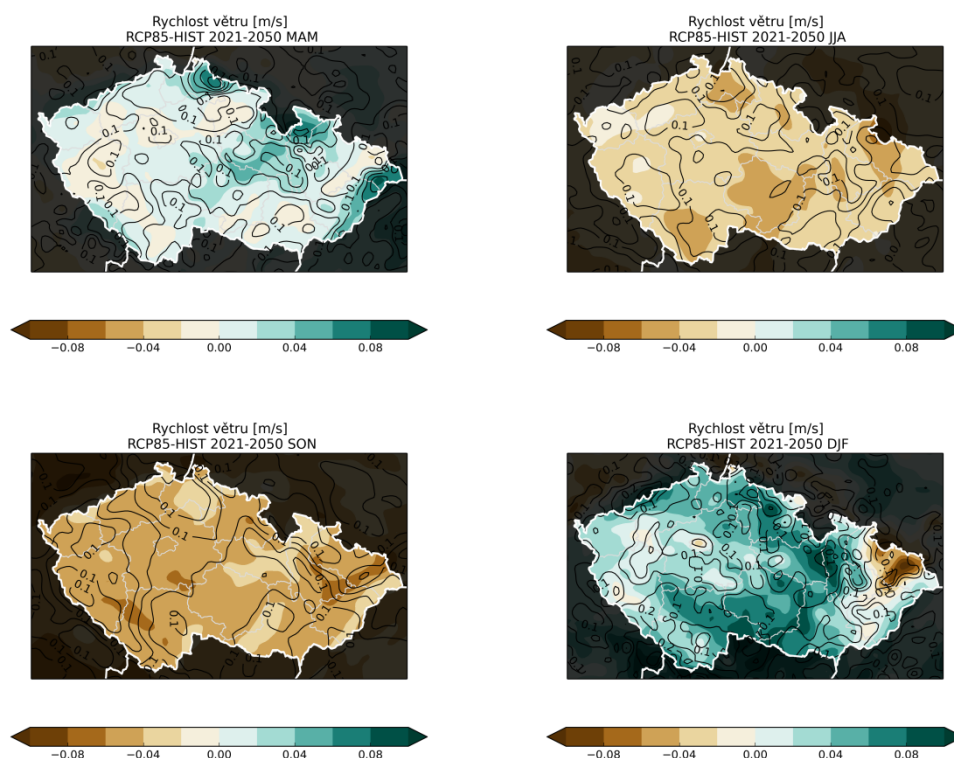
#### 4.2.2 Výhled změn - modelové projekce

Prostorové rozložení očekávaných změn průměrné sezónní rychlosti větru na území ČR za předpokladu scénáře emisí RCP4.5 je vidět na obr. 4.2.2.1, pro scénář RCP8.5 na obr. 4.2.2.2. Velikost očekávaných změn rychlosti větru v jednotlivých sezónách je sice větší než pro roční průměrné hodnoty, absolutní hodnota změn je ale i tak malá a představuje pokles či nárůst rychlosti o maximálně 0,08 m/s. Pro scénář RCP8.5 jsou očekávané změny vyšší a na jaře a v zimě se jedná spíše o nárůst rychlosti, v létě a na podzim o pokles. Rozsah nejistoty modelových změn sezónní rychlosti větru je ještě větší než v případě ročních hodnot, pohybuje se v rozmezí 0,1 – 0,3 m/s. Interval nejistoty změn tak opět na celém území ČR zahrnuje i nulovou změnu rychlosti větru.





Obr. 4.2.2.1: Geografické rozložení změn průměrné sezónní rychlosti větru [m/s] (barevná škála) na území ČR za předpokladu scénáře emisí RCP4.5 podle vybraných modelů Euro-CORDEX (tab. 1) pro období 2021–2050 v porovnání s referenčním obdobím 1986–2015. Sezóny jsou označeny pomocí anglických zkratk MAM (jaro, vlevo nahoře), JJA (léto, vpravo nahoře), SON (podzim, vlevo dole), DJF (zima, vpravo dole). Změny byly spočteny jako multi-modelový průměr. Konturami jsou zobrazeny hodnoty multi-modelové směrodatné odchylky [m/s].

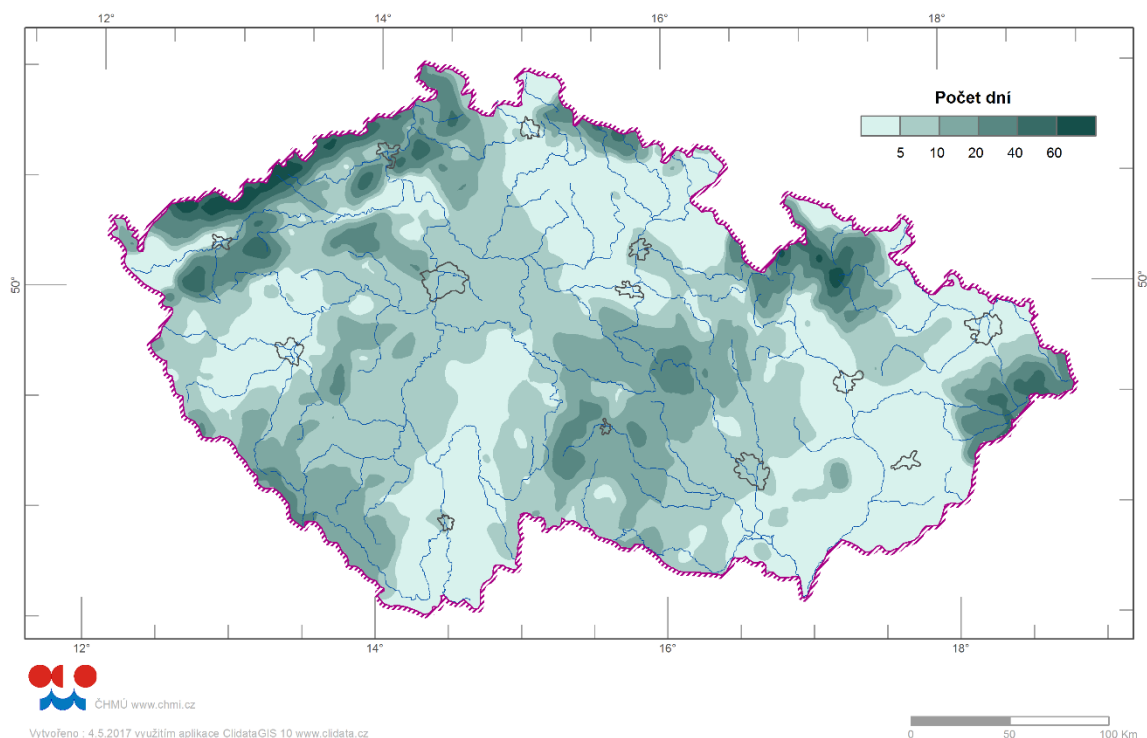


Obr. 4.2.2.2: Jako obr. Obr. 4.2.2.1, ale pro emisní scénář RCP8.5.

## 4.3 Počet dní s maximálním nárazem větru nad 20,8 m/s

### 4.3.1 Pozorování

Náraz větru je charakteristika, která odpovídá krátkodobému zvýšení rychlosti větru, popř. odklonu větru od trvalejšího směru. Obecně z hlediska rychlosti větru odpovídá náraz větru převýšení rychlosti větru o 5 m/s na dobu 1 s nejvýše však po dobu 20 s. Maximální náraz větru je hodnota maximálního okamžitého nárazu větru v časovém intervalu několika sekund naměřená za 24 hodin. Vyšší hodnoty nárazu větru se mohou vyskytnout při přechodu front v chladné polovině roku, v létě při bouřkách, případně při dalších specifických meteorologických situacích (Tolasz a kol., 2007). Hranice 20,8 m/s odpovídá dolní mezi pro stanovení vichřice dle Beaufortovy stupnice síly větru. Vyšší četnosti nárazu větru nad 20,8 m/s pozorujeme v horských oblastech či v blízkosti horských vrcholů (např. v západních Čechách Přimda, nebo na severozápadě Čech Milešovka).



Obr. 4.3.1.1. Průměrný roční počet dní s maximálním nárazem větru nad 20,8 m/s za období 1986 – 2015.

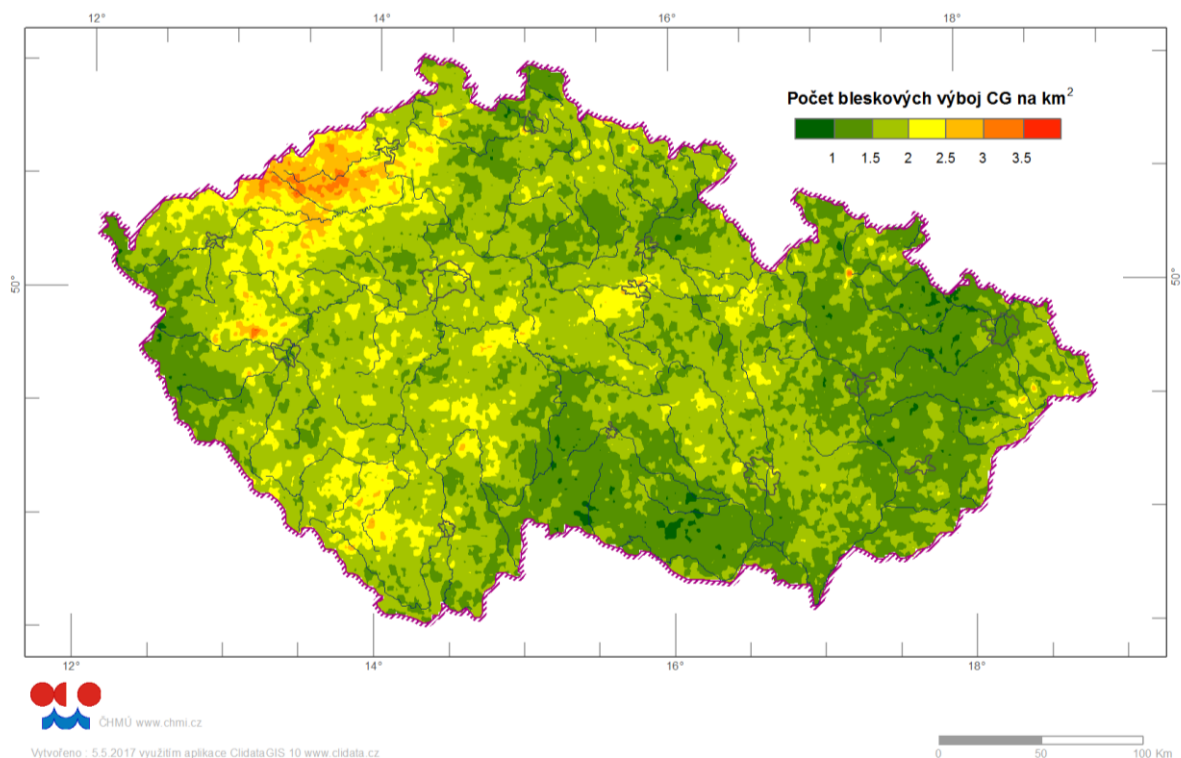
#### 4.3.2 Výhled změn - řešerše existujících studií

Studií zabývajících se vývojem extrémně silných nárazů větru je pro oblast střední Evropy a období do poloviny 21. století jen velmi málo. Celkově lze konstatovat, že jejich výsledky neposkytují jednoznačný trend změn. Jak ukazuje např. Nikulin et al. (2011), jsou pro oblast střední Evropy výsledky projekcí výskytu extrémně silného větru velmi nespolehlivé, jinými slovy, nelze prakticky stanovit konkrétní trend. Studie Rauthe et al. (2010) pak na základě simulací dvou regionálních klimatických modelů s vysokým rozlišením konstatuje spíše tendenci k určitému malému poklesu četnosti výskytu silných nárazů větru pro oblast Německa, což můžeme s jistou dávkou opatrnosti extrapolovat i pro oblast Česka.

#### 4.4 Počet bleskových výbojů za období 2002-2015

Na mapě jsou zpracovány bleskové výboje typu CG (cloud-to-ground) za období 2002-2015. Bleskové výboje jsou měřeny v síti CELDN (Central European Detection Network), která poskytuje pro území ČR dostatečně přesné informace od roku 2002. Podrobná data o jednotlivých výbojích jsou doplňkovým zdrojem informací dálkové detekce pro velmi krátkodobou předpověď počasí a pro detekci konvektivních bouří. Průměrný roční počet těchto CG výbojů v síti 1x1 km ukazuje značnou místní proměnlivost bez významnějších

prostorových pravidelností (obr. 4.4.1.1.). Vyšší hustotu výbojů v oblasti Krušných hor, Podkrušnohoří a v okolí Plzně neumíme vysvětlit, bodové extrémy jsou způsobeny existencí významného stožáru výrazně převyšujícího své okolí (např. Praděd v Jesenících). Hustota výbojů nemá jednoznačnou závislost na geografické poloze (zeměpisné souřadnice, nadmořská výška).



Obr. 4.4.1. Průměrný roční počet bleskových výbojů za období 2002-2015.

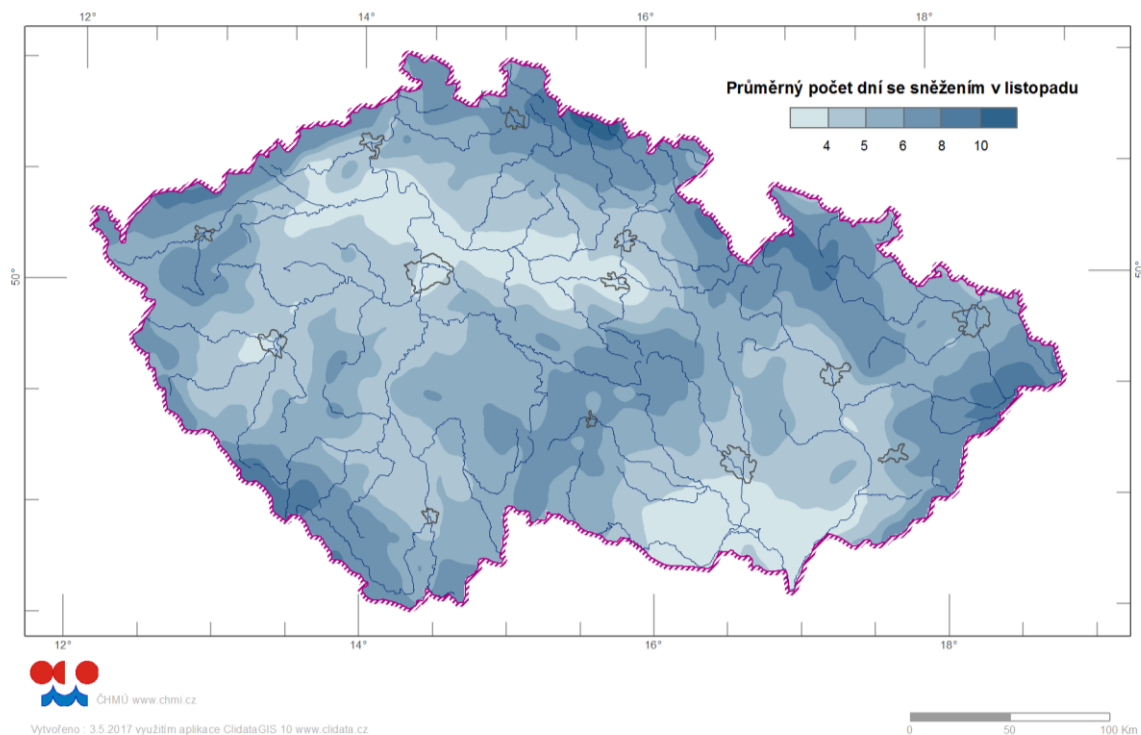
## 5. Sněhová pokrývka

### 5.1 Průměrný měsíční a sezónní počet dní se sněžením (listopad až březen)

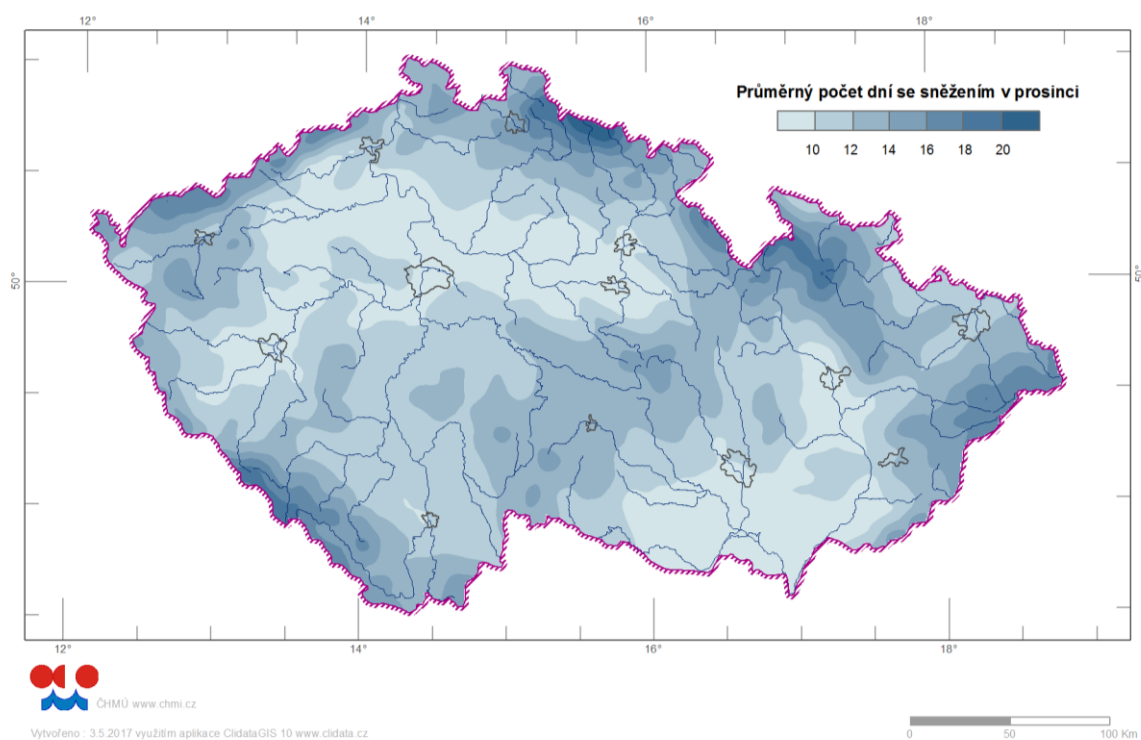
#### 5.1.1 Pozorování

Průměrný měsíční počet dní se sněžením je závislý na nadmořské výšce. Nejvyšší počet těchto dní se vyskytuje v měsíci lednu. Na hřebenech hor v průměru sněží více jak 20 dní v měsíci, naopak nejnižší počet dní se sněžením se v lednu vyskytuje v oblasti Polabí a jižní Moravy, kde v průměru sněží méně než 10 dní v měsíci. Podobně jako leden jsou na tom měsíce prosinec a únor, v průměru na území ČR však mají o jeden den sněžení méně. Nejmenší počet dní se sněžením (méně než 10 dní) nastává v těchto měsících v Polabí, na Plzeňsku, jižní Moravě a Olomoucku. V prosinci a únoru nejčastěji sněží na hřebenech Krkonoše a Jeseníků, a to více jak 20 dní v měsíci. V březnu je průměrný počet dní se sněžením menší než v předchozích měsících. Méně jak 8 dní v měsíci sněží v průměru v Polabí, Poohří,

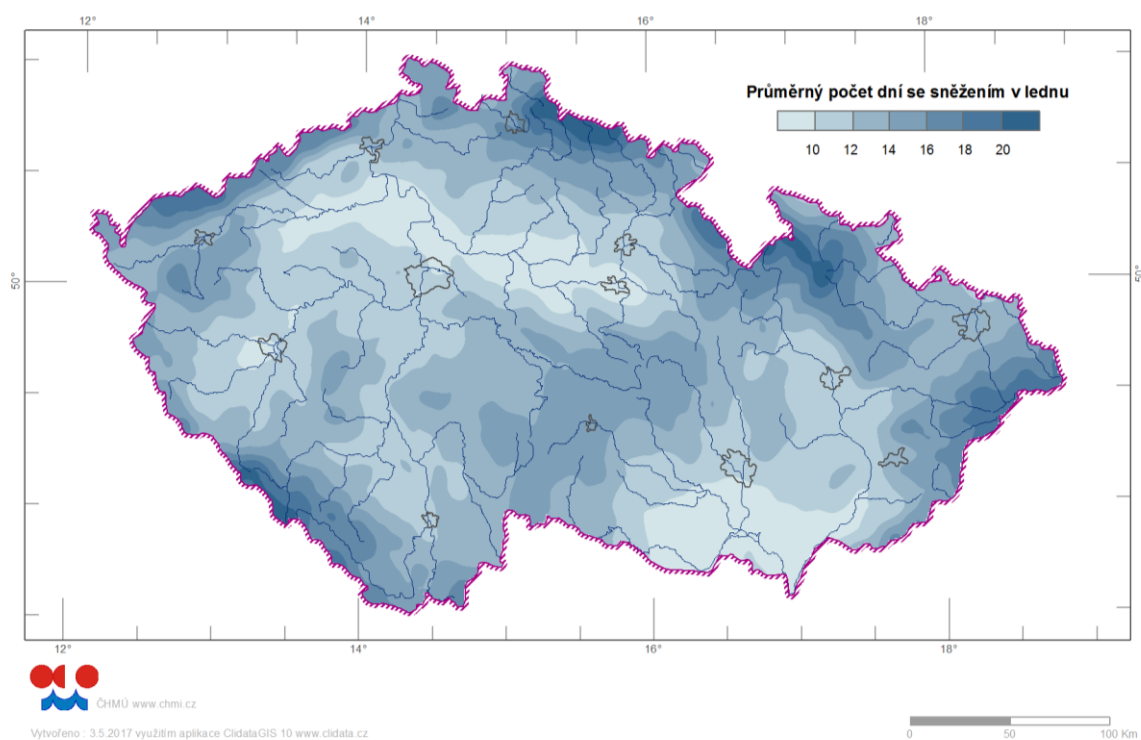
na Plzeňsku, jižní Moravě a na Olomoucku. Nejčastěji na hřebenech hor, a to více jak 16 dní. Nejmenší průměrný počet dní se sněžením se během zimní sezóny (listopad až březen) vyskytuje v listopadu. V nížinách sněží méně jak 4 dny v měsíci, na horách více jak 10 dní.



*Obr. 5.1.1.1. Průměrný měsíční počet dní se sněžením pro měsíc listopad za období 1986–2015.*

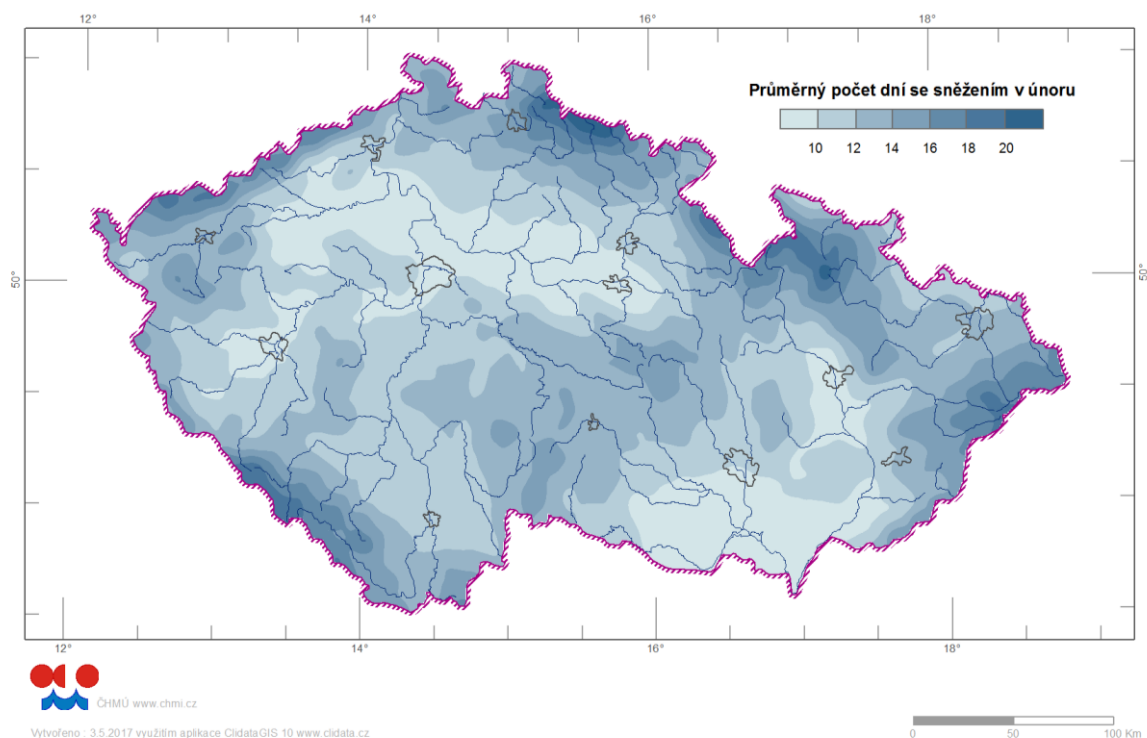


Obr. 5.1.1.2. Průměrný měsíční počet dní se sněžením pro měsíc prosinec za období 1986–2015.

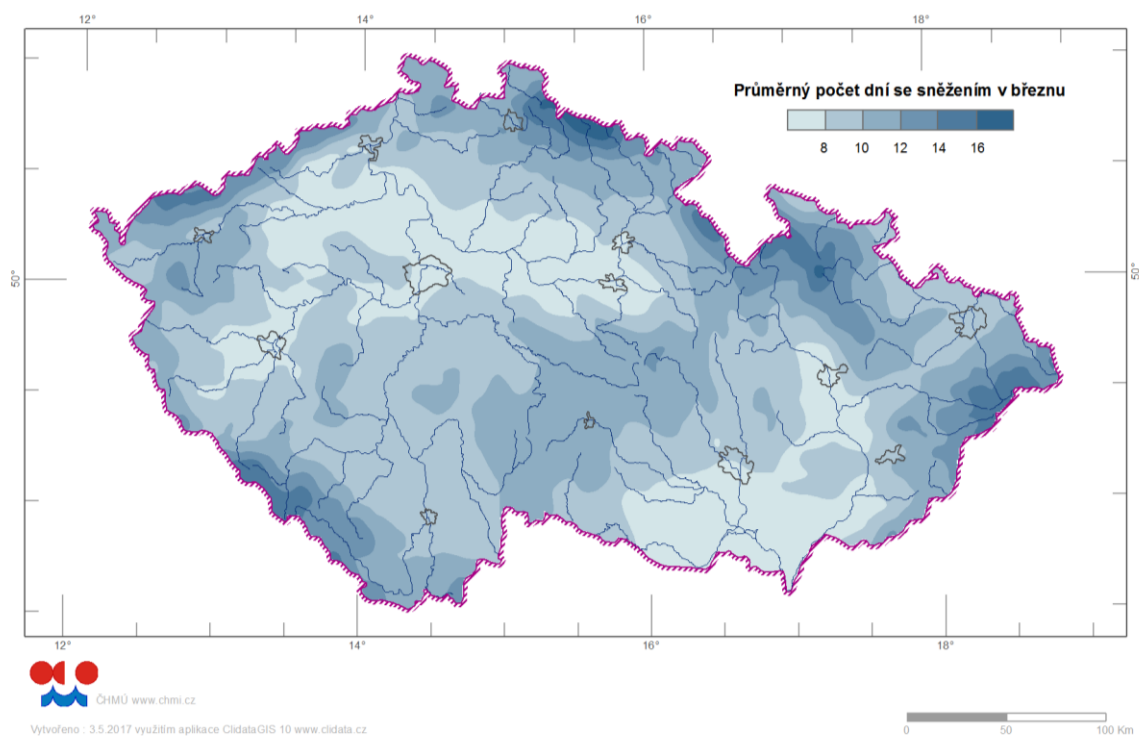


Obr. 5.1.1.3. Průměrný měsíční počet dní se sněžením pro měsíc leden za období 1986–2015.





Obr. 5.1.1.4. Průměrný měsíční počet dní se sněžením pro měsíc únor za období 1986–2015.



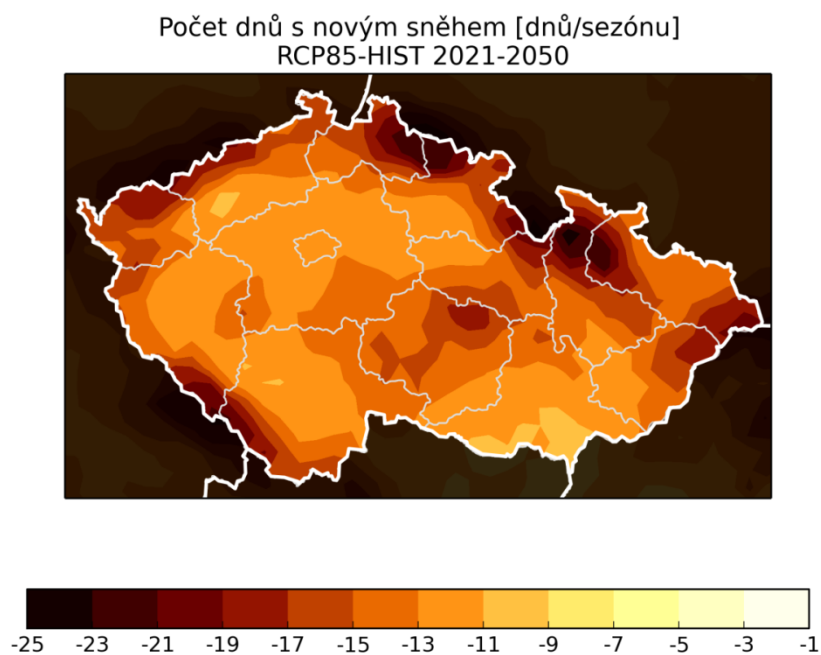
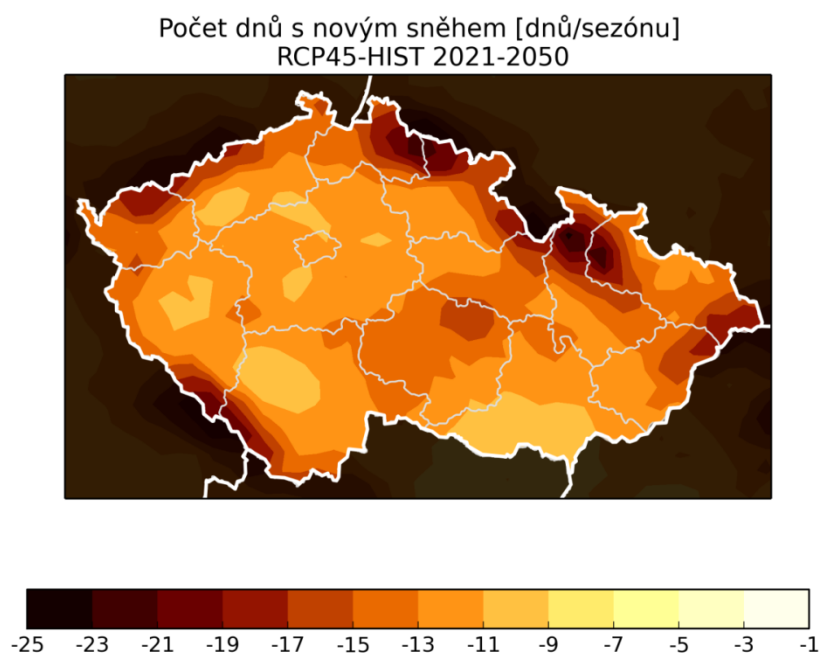
Obr. 5.1.1.5. Průměrný měsíční počet dní se sněžením pro měsíc březen za období 1986–2015.

### 5.1.2 Výhled změn - modelové projekce

Prostorové rozložení očekávaných změn průměrného počtu dní s novým sněhem za zimní sezónu (listopad až březen) na území ČR je znázorněn na obr. 5.1.2.1 včetně multi-modelových směrodatných odchylek. Pro scénář RCP4.5 je očekáván pokles o 8 až 13 dnů v nižších polohách, o 12 až 17 dnů ve středních a vyšších polohách, na horách pak většinou o 15 až 25 dnů (nejvíc na hřebenech Jeseníků). Míra nejistoty modelových výstupů je pak většinou mezi 2 a 4 dny, přičemž tyto hodnoty jsou prostorově poměrně variabilní. Pro scénář RCP8.5 je očekáván pokles dnů s novým sněhem o něco málo vyšší a činí 10 až 14 dnů v nižších polohách, 13 až 18 dnů ve středních a vyšších polohách, na horách pak většinou 16 až 26 dnů (nejvíc opět na hřebenech Jeseníků). Míra nejistoty je podobná jako pro scénář RCP4.5.





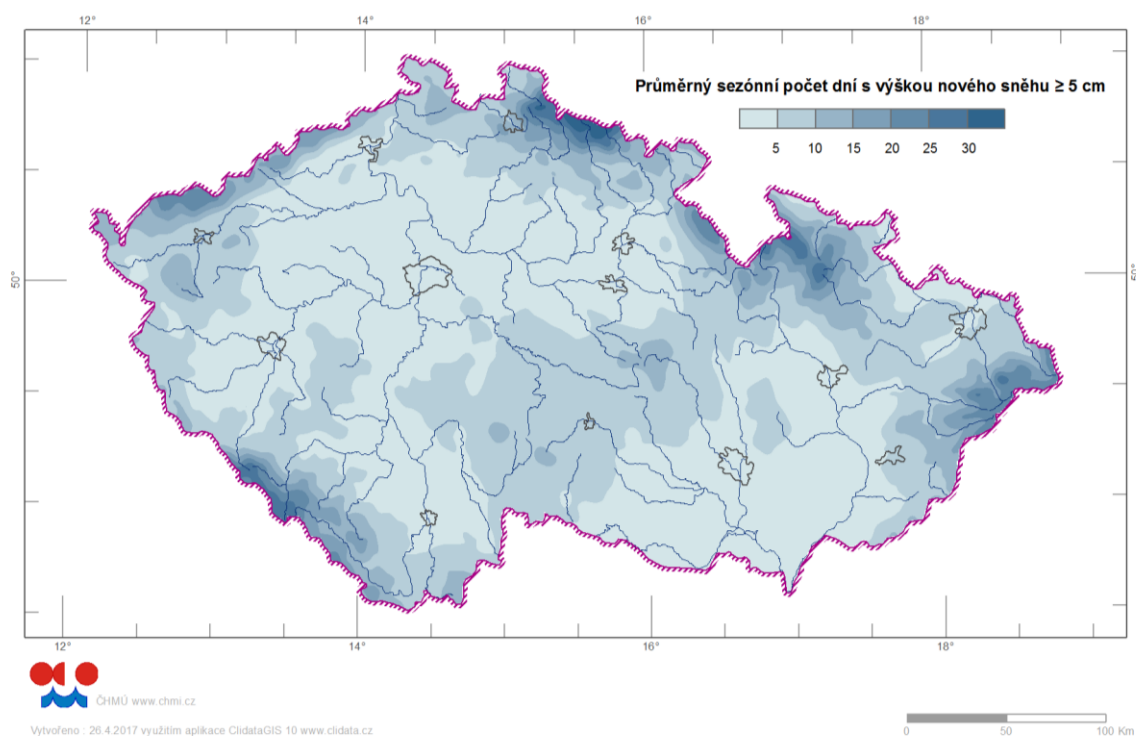


Obr. 5.1.2.1: Geografické rozložení změn průměrného sezónního (listopad až březen) počtu dní se sněžením (barevná škála) na území ČR za předpokladu scénáře emisí RCP4.5 (nahoře) a RCP8.5 (dole) podle vybraných modelů Euro-CORDEX (tab. 1) pro období 2021–2050 v porovnání s referenčním obdobím 1986–2015. Změny byly spočteny jako multi-modelový průměr.

## 5.2 Průměrný sezónní (listopad – březen) počet dní s novým sněhem 5 cm a více

### 5.2.1 Pozorování

Průměrný sezónní počet dní s výškou nového sněhu alespoň 5 cm je silně závislý na nadmořské výšce. V nižších polohách České republiky v průměru nastává méně než 5 takovýchto dní, zatímco na horských hřebenech je to více než 30 dní v sezóně.

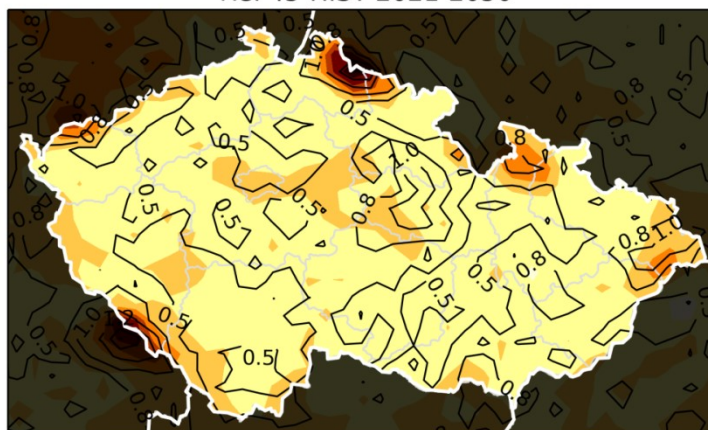


Obr. 5.2.1.1. Průměrný sezónní počet dní s výškou nového sněhu 5 cm a více za období 1986–2015.

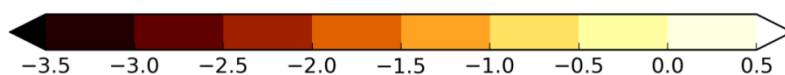
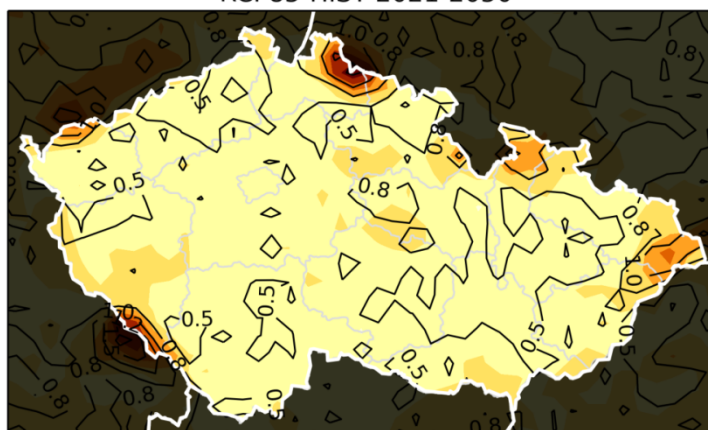
### 5.2.2 Výhled změn - modelové projekce

Prostorové rozložení očekávaných změn průměrného počtu dní s novým sněhem 5 cm a více za zimní sezónu (listopad až březen) na území ČR je znázorněn na obr. 5.2.2.1 včetně multi-modelových směrodatných odchylek. Pro oba emisní scénáře je očekáván pokles o 0,5 – 1 den. Výjimkou jsou hřebeny nejvyšších hor, kde je očekáván úbytek o 2 – 3 dny. Míra nejistoty modelových výstupů je pak většinou 0,5 – 1 den. Pro většinu území tedy očekávané změny zahrnují možnost nulové změny.

Počet dnů s novým sněhem nad 5 cm [dnů/sezónu]  
RCP45-HIST 2021-2050



Počet dnů s novým sněhem nad 5 cm [dnů/sezónu]  
RCP85-HIST 2021-2050

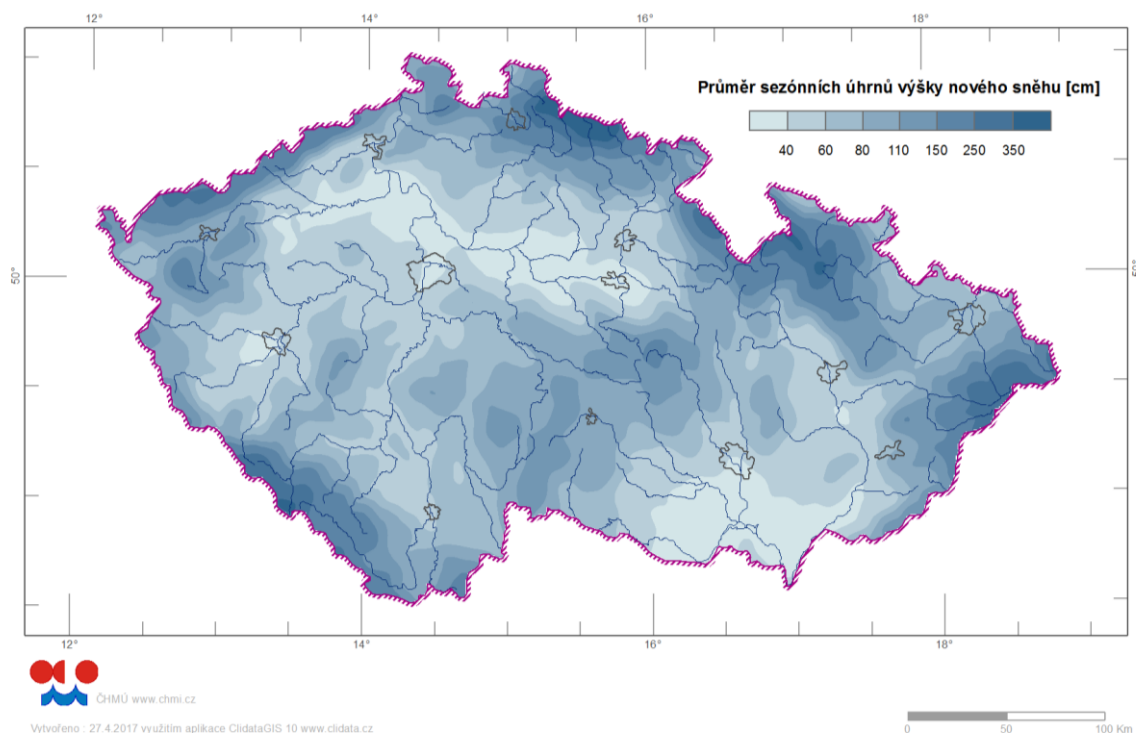


Obr. 5.2.2.2: Geografické rozložení změn průměrného sezónního (listopad – březen) počtu dní s novým sněhem 5 cm a více (barevná škála) na území ČR za předpokladu scénáře emisí RCP4.5 (nahore) a RCP8.5 (dole) podle vybraných modelů Euro-CORDEX (tab. 1) pro období 2021–2050 v porovnání s referenčním obdobím 1986–2015. Změny byly spočteny jako multi-modelový průměr. Konturami jsou zobrazeny hodnoty multi-modelové směrodatné odchylky.

## 5.3 Sezónní a měsíční úhrn výšky nového sněhu (listopad až březen)

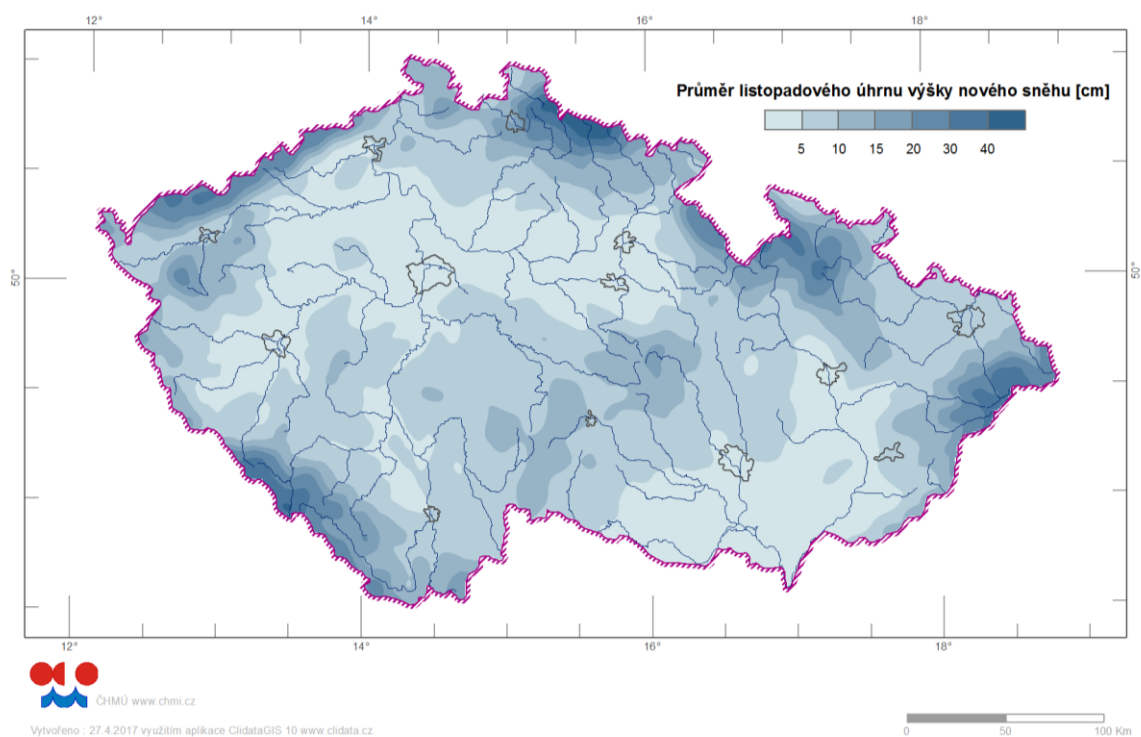
### 5.3.1 Pozorování

Sezónní úhrn výšky nového sněhu udává sumu nově napadlého sněhu a je vhodnou charakteristikou např. pro popis náročnosti daného místa na údržbu komunikací. Průměrný sezónní úhrn výšky nového sněhu je v rámci území České republiky nejnižší v oblasti Polabí, Poohří a na jižní Moravě. V těchto oblastech nedosahuje ani 40 cm za sezónu. Naopak nejvyšší je na hřebeni Krkonoš, a to přes 350 cm.

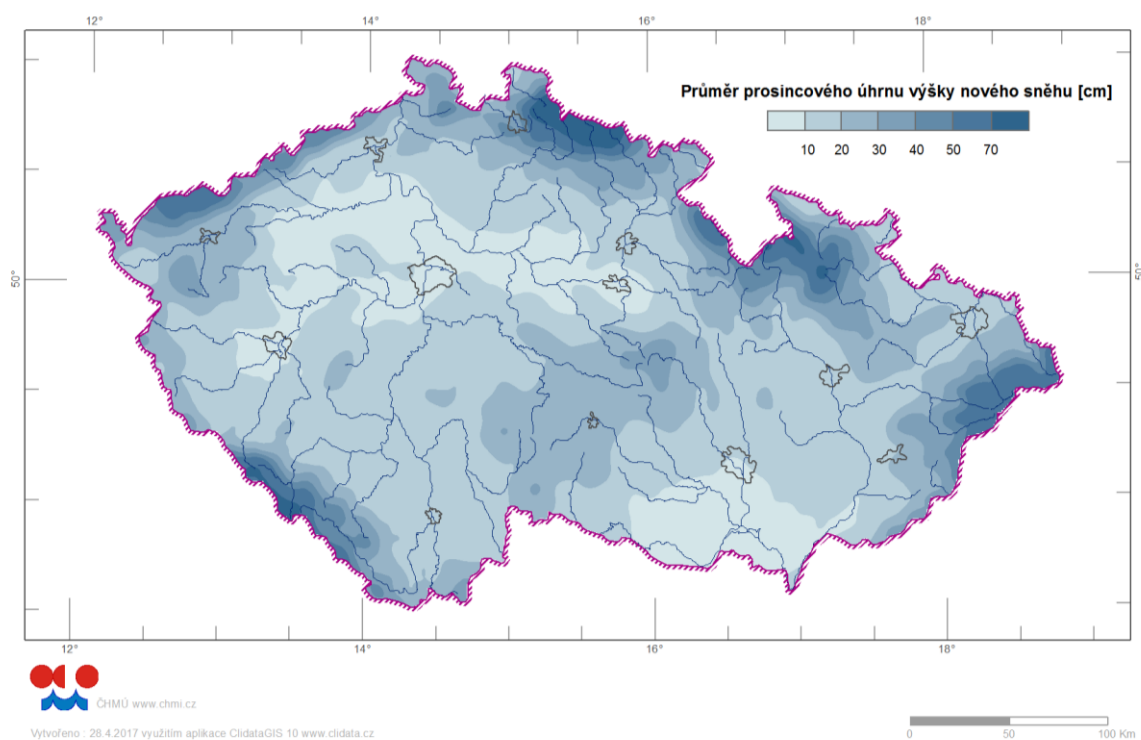


#### 5.3.1.1. Průměrný sezónní úhrn výšky nového sněhu za období 1986–2015.

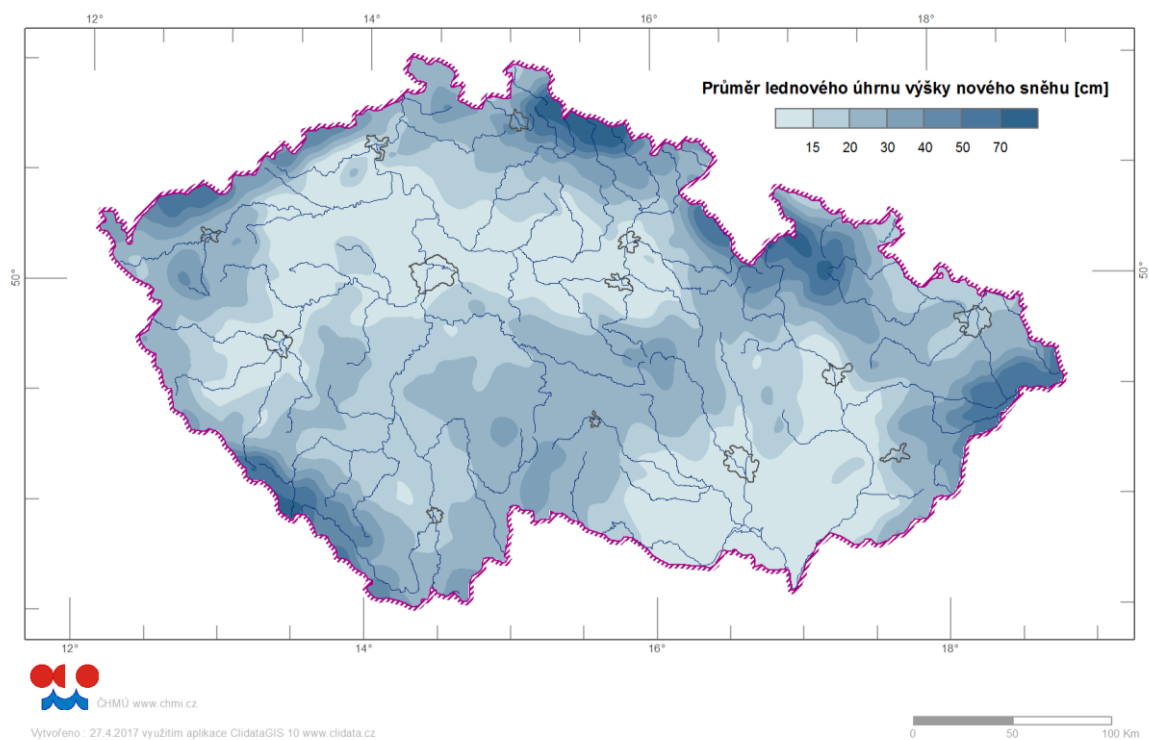
Nejvyšší úhrny nového sněhu se vyskytují v měsíci lednu, v nižších polohách v tomto měsíci v průměru napadne méně než 15 cm nového sněhu, zatímco na horách je to více jak 70 cm. V listopadu a v březnu je průměrná výška nového sněhu v nížinách nižší než 5 cm, kdežto na hřebenech hor dosahuje více jak 40 cm. V prosinci a únoru se vyskytují nejnižší úhrny nového sněhu v Polabí, Poohří a na jižní Moravě, kde v průměru napadne méně než 10 cm. Nejvyšší hodnoty se vyskytují na hřebech hor, a to přes 70 cm nového sněhu.



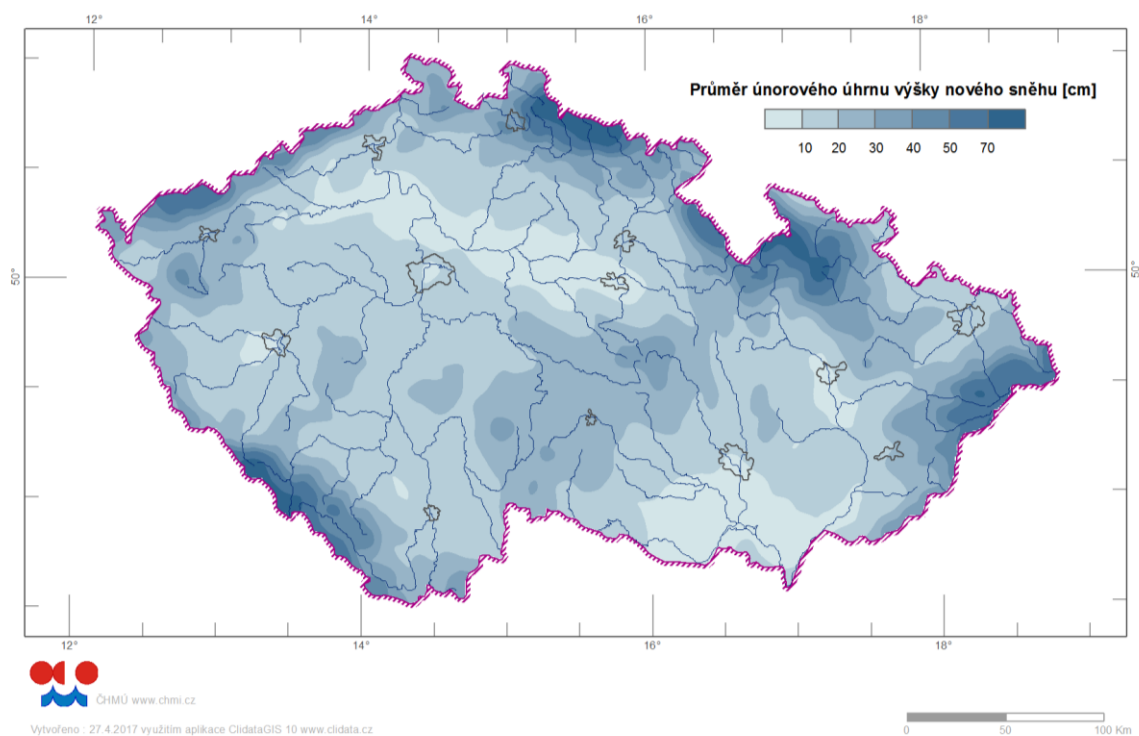
5.3.1.2. Průměrný měsíční úhrn výšky nového sněhu pro měsíc listopad za období 1986–2015.



5.3.1.3. Průměrný měsíční úhrn výšky nového sněhu pro měsíc prosinec za období 1986–2015.

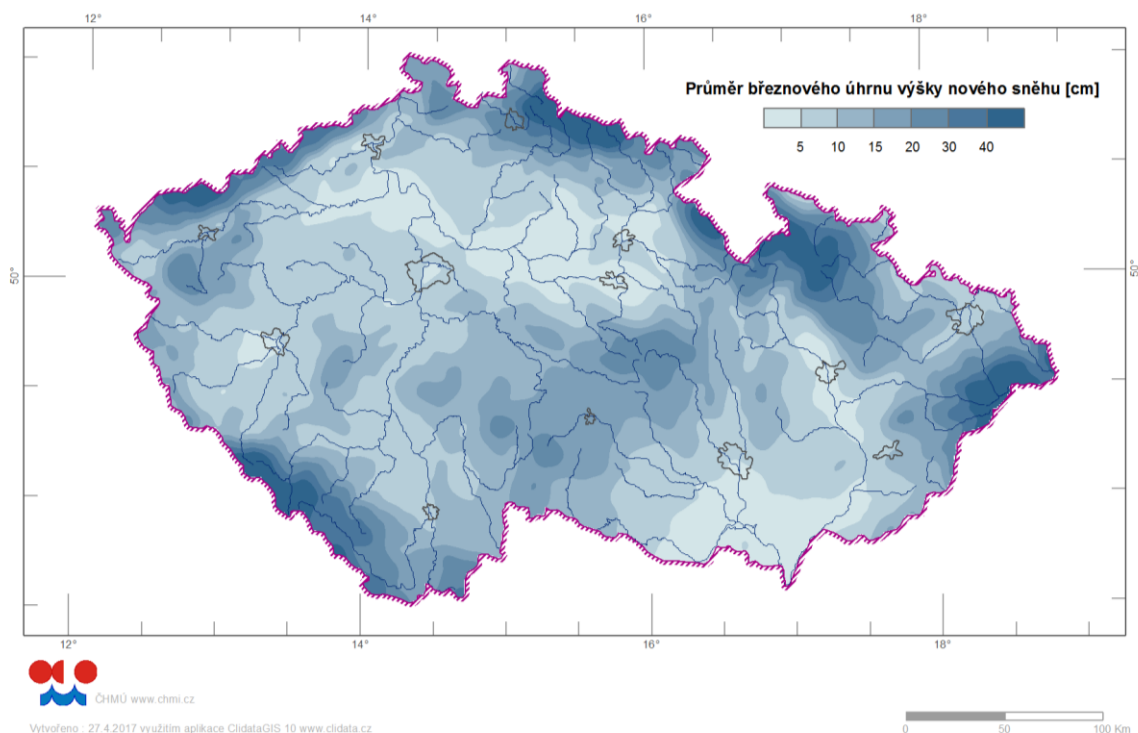


5.3.1.4. Průměrný měsíční úhrn výšky nového sněhu pro měsíc leden za období 1986–2015.



5.3.1.5. Průměrný měsíční úhrn výšky nového sněhu pro měsíc únor za období 1986–2015.

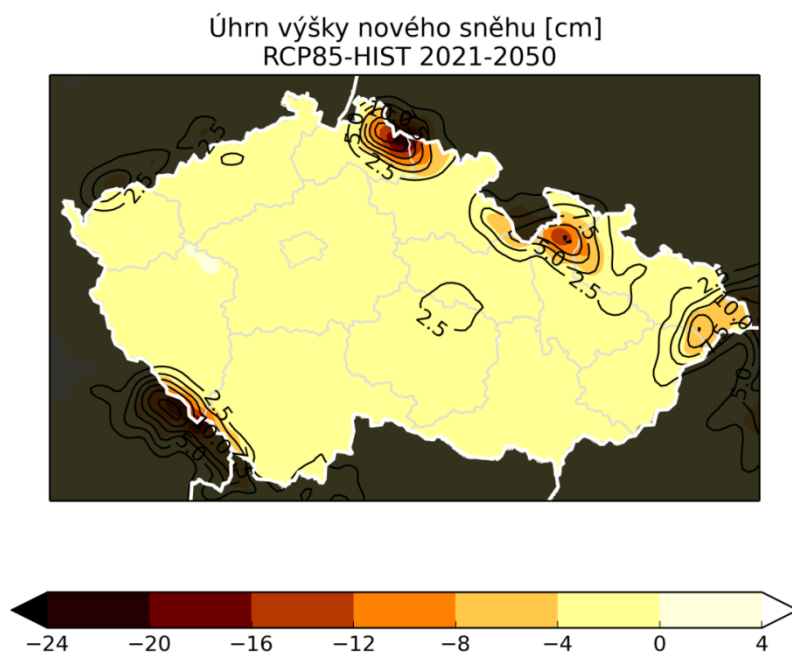
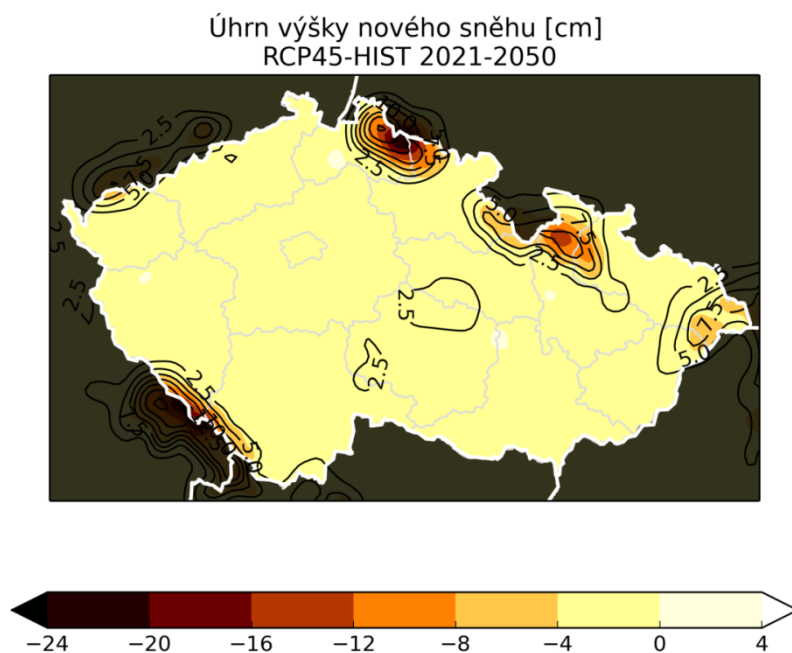




5.3.1.6. Průměrný měsíční úhrn výšky nového sněhu pro měsíc březen za období 1986–2015.

### 5.3.2 Výhled změn - modelové projekce

Prostorové rozložení očekávaných změn průměrného sezónního úhrnu výšky nového sněhu za zimní sezónu (listopad až březen) na území ČR je vidět na obr. 5.3.2.1 včetně znázornění multi-modelových směrodatných odchylek. Pro oba scénáře jsou výsledky velmi podobné. Na většině území se očekává jen malá změna, většinou slabý pokles do 4 cm. Až v horských oblastech jsou očekávané úbytky sněhu větší a pohybují se od 4 do 20 cm, na hřebenech Krkonoš až 24 cm. Míra nejistoty těchto změn je ale relativně velká, často zahrnuje i možnost nulových změn.



Obr. 5.3.2.1: Geografické rozložení změn průměrného sezónního (listopad až březen) úhrnu výšky nového sněhu (barevná škála) na území ČR za předpokladu scénáře emisí RCP4.5 (nahore) a RCP8.5 (dole) podle vybraných modelů Euro-CORDEX (tab. 1) pro období 2021–2050 v porovnání s referenčním obdobím 1986–2015. Změny byly spočteny jako multi-modelový průměr. Konturami jsou zobrazeny hodnoty multi-modelové směrodatné odchylky.

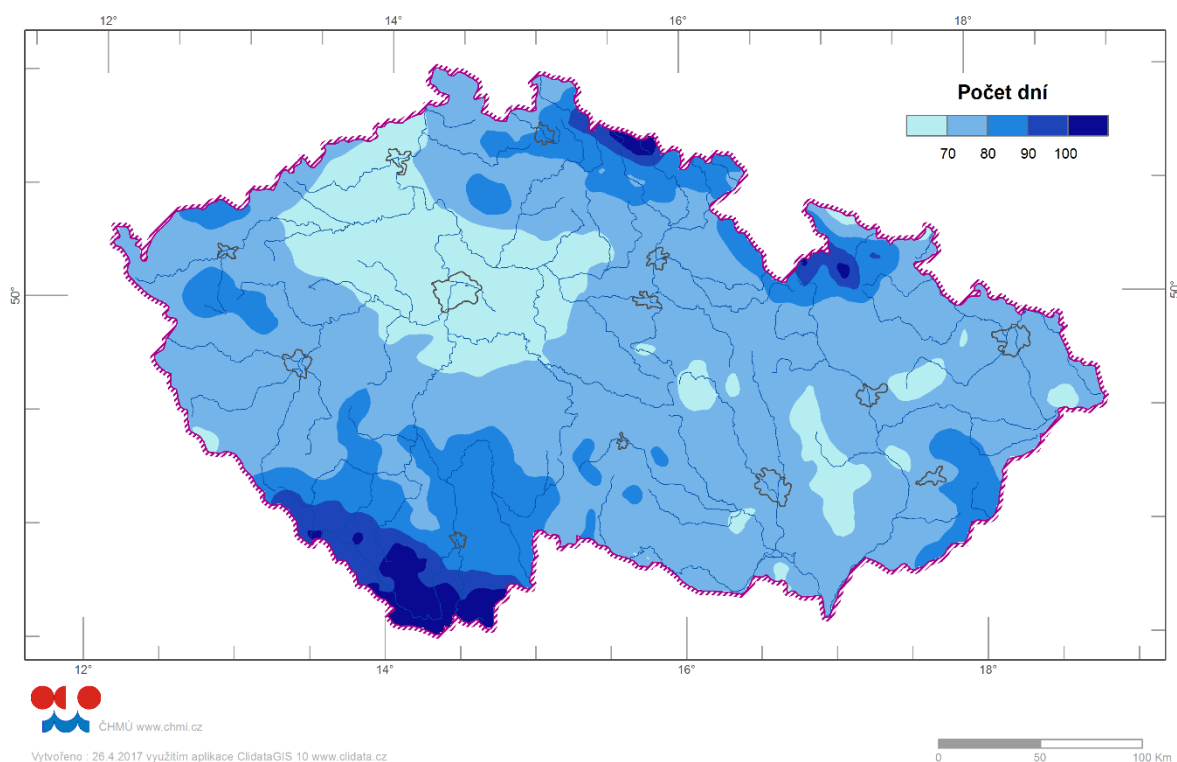


## 6. Fázové přechody vody, teplota vody, zamrzání, tání, vzdušná vlhkost

### 6.1 Průměrný sezónní (říjen až duben) počet dní s přechodem teploty přes 0 °C

#### 6.1.1 Pozorování

Dny, kdy přechází teplota vzduchu přes 0 °C, se v největší míře vyskytují v období od října do dubna, proto bylo období pro zpracování mapového podkladu rozšířeno o měsíc duben oproti nabídce. Na většině území ČR se počet těchto dní pohybuje v průměru mezi 70 až 90 dny. Počet dní, kdy přechází teplota vzduchu přes 0 °C, nevykazuje lineární závislost na nadmořské výšce.

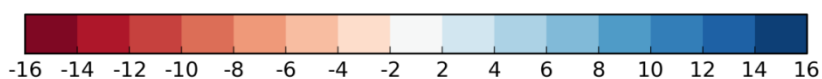
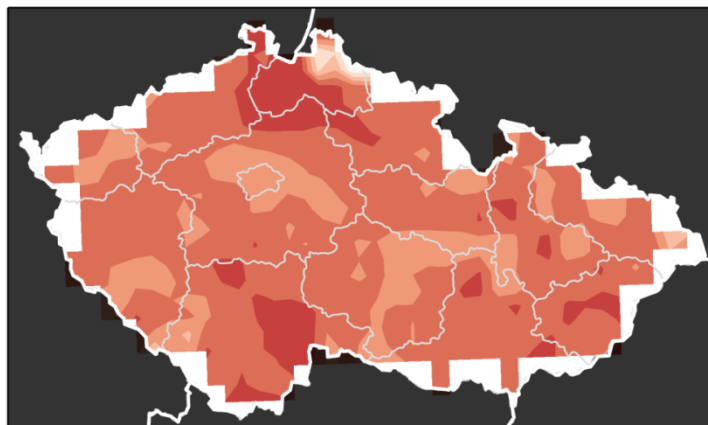


Obr. 6.1.1.1. Průměrný sezónní (říjen až duben) počet dní s přechodem teploty přes 0 °C za období 1986–2015.

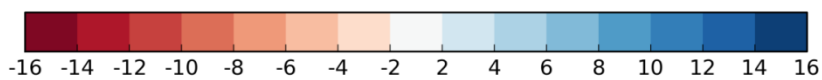
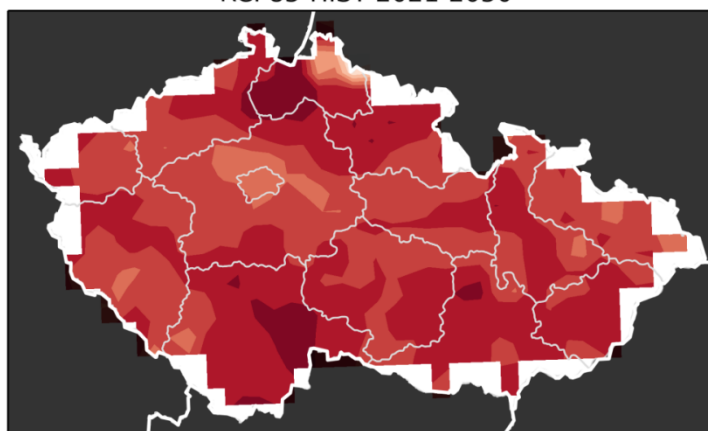
#### 6.1.2 Výhled změn - modelové projekce

Prostorové rozložení očekávaných změn průměrného sezónního počtu dní s přechodem teploty přes 0 °C (říjen až duben) na území ČR je vidět na obr. 6.1.2.1. Pro oba emisní scénáře je očekáván pokles, pro mírnější scénář RCP4.5 je na většině území ČR očekáván pokles o 5 – 10 dní, pro druhý scénář RCP8.5 se jedná o 7 – 14 dní.

Počet dnů s přechodem teploty přes 0°C  
RCP45-HIST 2021-2050



Počet dnů s přechodem teploty přes 0°C  
RCP85-HIST 2021-2050



Obr. 6.1.2.1: Geografické rozložení změn průměrného sezónního (říjen až duben) počtu dní s přechodem teploty přes 0 °C (barevná škála) na území ČR za předpokladu scénáře emisí RCP4.5 (nahoře) a RCP8.5 (dole) podle vybraných modelů Euro-CORDEX (tab. 1) pro období 2021–2050 v porovnání s referenčním obdobím 1986–2015. Změny byly spočteny jako multi-modelový průměr.

## 7. Kvalita vzduchu, počet dní se špatnými rozptylovými podmínkami

### 7.1 Sezónní (listopad až březen) počet dní se zhoršenými rozptylovými podmínkami

#### 7.1.1. Pozorování

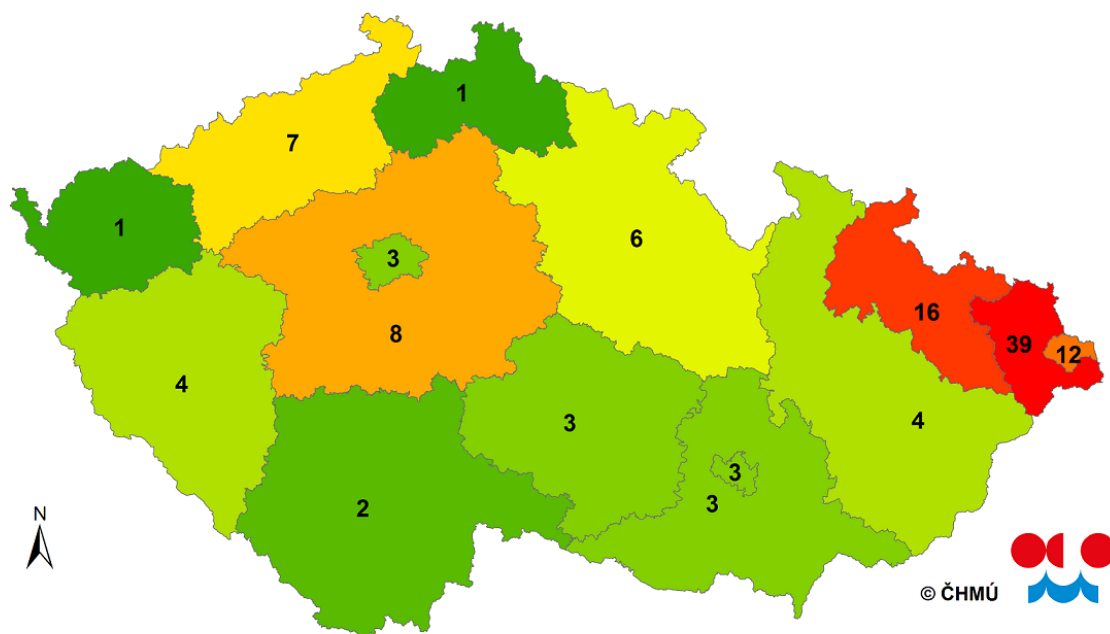
##### Smogové situace

Na obrázku 7.1.1.1. je uveden průměrný počet dní se smogovou situací pro PM<sub>10</sub> za rok. Údaje odpovídají zpětnému přepočtu podle pravidel vyhlášení smogových situací pro PM<sub>10</sub> uvedených v zákoně č. 201/2012 Sb. (novela zákona platná od 1. ledna 2017). Největší počet dní se smogem se vyskytuje na území Aglomerace Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek bez Třinecka, Zóny Moravskoslezsko a Třinecka. Podrobné výsledky jsou uvedeny níže v tabulce 1. Vyhlášení smogové situace z důvodu vysokých koncentrací NO<sub>2</sub> a SO<sub>2</sub> je málo pravděpodobné.

*Tab. 1 Zpětná analýza smogových situací a regulací pro PM<sub>10</sub> od 1. 10. 2004 do 31. 3. 2017. Vyhlášení byla spočtena dle novely zákona č. 201/2012 Sb. platné od 1. ledna 2017 s využitím reprezentativních stanic platných pro dané období. Před 1. říjnem 2012 byly použity stanice podle Věstníku MŽP 2012/9.*

Kód <sup>1</sup>	Území SVRS	Smogové situace			Regulace		
		průměrný počet za rok	trvání [dny]		průměrný počet za rok	trvání [dny]	
			průměr za situaci	průměr za rok		průměr za situaci	průměr za rok
CZ01	Aglomerace Praha	1.4	2.3	3.1	0.2	3.0	0.7
CZ02	Středočeský kraj	2.2	3.9	8.5	0.5	3.3	1.6
CZ03	Jihočeský kraj	1.0	2.2	2.2	0.3	1.5	0.5
CZ03	Plzeňský kraj	1.5	2.5	3.8	0.2	3.0	0.5
CZ04	Karlovarský kraj	0.6	2.0	1.1	NA	NA	NA
CZ04	Ústecký kraj	2.1	3.3	7.0	0.4	3.0	1.2
CZ05	Královéhradecký a Pardubický kraj	1.8	3.0	5.6	0.4	3.0	1.2
CZ05	Liberecký kraj	0.6	2.0	1.3	0.1	1.0	0.1
CZ06A	Aglomerace Brno	1.3	2.1	2.7	0.1	1.0	0.1
CZ06Z	Jihomoravský kraj bez Brna	1.2	2.7	3.2	0.2	2.0	0.3
CZ06Z	Kraj Vysočina	1.2	2.7	3.2	0.4	3.0	1.2
CZ07	Zlínský a Olomoucký kraj <sup>2</sup>	2.0	3.2	6.4	0.6	3.0	1.8
CZ08A	Aglomerace Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek bez Třinecka	9.9	4.0	39.2	5.0	3.0	15.0
CZ08A	Třinecko	3.6	3.3	11.8	1.8	2.6	4.6
CZ08Z	Zóna Moravskoslezsko	6.0	2.7	16.2	1.8	2.3	4.0

<sup>1</sup> Kód zóny aglomerace dle přílohy č. 3 k zákonu 201/2012 Sb.



Obr. 7.1.1.1. Průměrný počet dní se smogovou situací  $PM_{10}$  za rok. Zpětný přepočít pro období 1.10.2004 – 31.3.2017 podle novely zákona 201/2012 Sb. platné od 1. ledna 2017. Olomoucký a Zlínský kraj nejsou odděleně zahrnuty, protože k dispozici byly údaje pouze od 1.10.2016.

Příslušný shapefile **SVRS\_PM10\_2004-10\_2017-03\_WGS1984-UTM-33N.shp**. Význam sloupců:

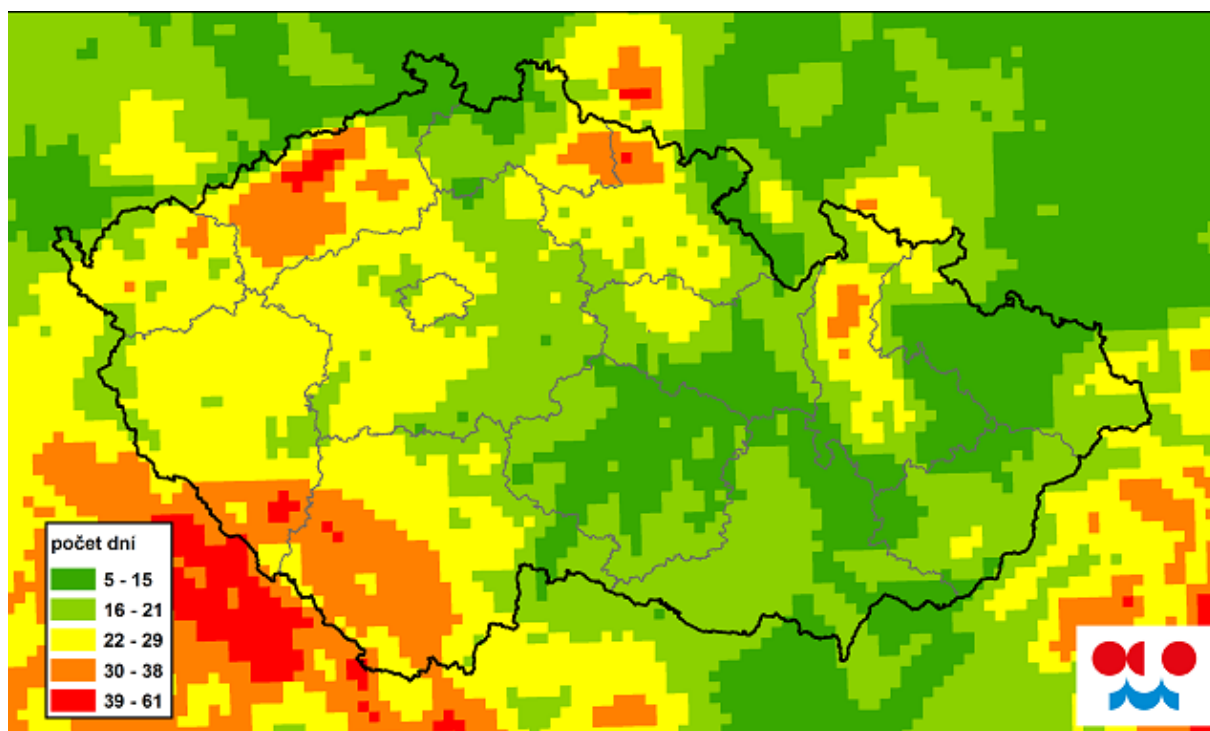
kod	Kód zóny aglomerace dle přílohy č. 3 k zákonu 201/2012 Sb.
uzemi_SVRS	Území SVRS, pro něž je jako celek vyhlášována smogová situace pro $PM_{10}$ . Od 1. října 2016 došlo k rozdělení Zóny Střední Morava na Olomoucký a Zlínský kraj. Z důvodu nedostatečného počtu měřicích stanic
uzemi_kod	Zkratka názvu území SVRS
smg_n_rok	Průměrný počet smogových situací za rok
smg_sit_d	Průměrné trvání jedné smogové situace (dny)
smg_rok_d	Průměrný počet dní se smogovou situací za rok (dny)
reg_n_rok	Průměrný počet regulací za rok
reg_sit_d	Průměrné trvání jedné regulace (dny)
reg_rok_d	Průměrný počet dní s regulací za rok (dny)

### Rozptylové podmínky

Počet dní se špatnými rozptylovými podmínkami byl hodnocen na základě denních průměrů ventilačního indexu. Hodnocené období bylo listopad 2010 až březen 2016; vždy pouze měsíce listopad – březen, kdy je zvýšené riziko výskytu zimních smogových situací.

Ventilační index (VI) je parametr indikující rozptylové podmínky v atmosféře. Rozptylové podmínky podmiňují promíchávání a ředění emisí zdrojů a ovlivňují úroveň imisních koncentrací, ale nelze je zaměňovat se samotnou kvalitou ovzduší a jeho znečištěním. Špatné rozptylové podmínky neznamenaají nutně vysoké koncentrace škodlivin (např. jsou-li v letním období nízké emise znečišťujících látek). Naopak vysoké koncentrace nastávají zpravidla za nepříznivých rozptylových podmínek a při spolupůsobení dalších faktorů, jako je například nízká teplota vzduchu. Podle klasifikace ČHMÚ jsou rozptylové podmínky při hodnotách  $VI < 1100 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  označovány jako nepříznivé.

Ventilační index byl převzat z výstupů operativního cyklu modelu předpovědi počasí ALADIN (vždy předpověď na 0 až 5 hodin s počátkem v 0, 6, 12 a 18 UTC).



Obr. 7.1.1.2. Počet dní se špatnými rozptylovými podmínkami od 1. listopadu do 31. března. Průměr za období listopad 2010 do března 2016 (pouze měsíce listopad až březen). Hodnoceno na základě denních průměrů ventilačního indexu počítaných modelem ALADIN.

Příslušný shapefile **vi-rp\_2010-nov--2016-mar\_nov-mar\_WGS84-UTM-33N.shp**. Význam sloupců:

rp_bad_r	Průměrné relativní zastoupení dní od 1. listopadu do 31. března, kdy denní průměr ventilačního indexu klesnul pod $1100 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ , což odpovídá špatným rozptylovým podmínkám (hodnota od 0 do 1).
----------	--

rp_bad_n	Průměrný počet dní od 1. listopadu do 31. března, kdy denní průměr ventilačního indexu klesnul pod $1100 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ , což odpovídá špatným rozptylovým podmínkám.
----------	---

Příslušný shapefile **vi-avg\_2010-nov--2016-mar\_nov-mar\_WGS84-UTM-33N.shp**. Význam sloupců:

vi_avg	Průměrná hodnota ventilačního indexu počítaná z hodinových dat
--------	--

### 7.1.2. Výhled změn - modelové projekce

Prostorové rozložení očekávaných změn průměrného sezónního počtu dní se zhoršenými rozptylovými podmínkami (listopad-březen) na území ČR je vidět na obr. 7.1.2.1. Na SV ČR dochází k mírnému poklesu, zatímco na JZ republiky je očekáván nepatrný nárůst, a to o 0,1 dne v průměru za rok.

Kromě změny počtu dní s nepříznivými rozptylovými podmínkami jsme vyhodnotili i změny průměrné hodnoty ventilačního indexu a prvků, ze kterých je počítán. Prostorové rozložení očekávaných změn průměrné sezónní hodnoty ventilačního indexu pro měsíce listopad až březen na území ČR pro scénář emisí RCP4.5 je vidět na obr. 7.1.2.2. Pro tuto charakteristiku je očekáván na celém území pokles v rozmezí  $150 - 750 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ . Nejvyšší pokles je simulován pro SV část ČR, nejnižší naopak v JZ oblastech.

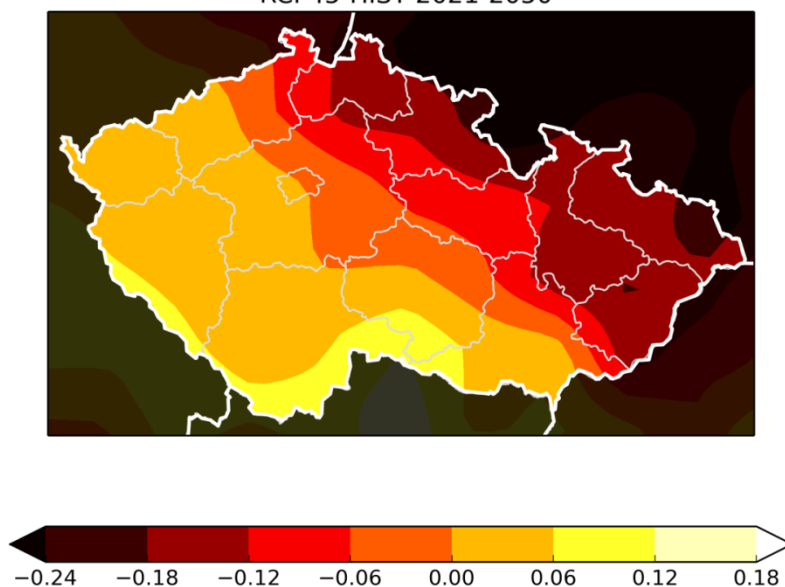
Prostorové rozložení očekávaných změn průměrné výšky mezní vrstvy pro měsíce listopad až březen na území ČR pro scénář emisí RCP4.5 je vidět na obr. 7.1.2.3. Pro JZ polovinu ČR je očekáván pokles až o 16 m, zatímco pro SV část jde o mírný nárůst o 4 – 8 m.

Prostorové rozložení očekávaných změn průměrné rychlosti větru v mezní vrstvě pro měsíce listopad až březen na území ČR pro scénář emisí RCP4.5 je vidět na obr. 7.1.2.4. Očekávaná změna představuje pro celé území ČR pokles v rozmezí od  $0,2$  do  $0,6 \text{ ms}^{-1}$ . Nejvyšší hodnoty poklesu jsou zaznamenány pro JZ části.

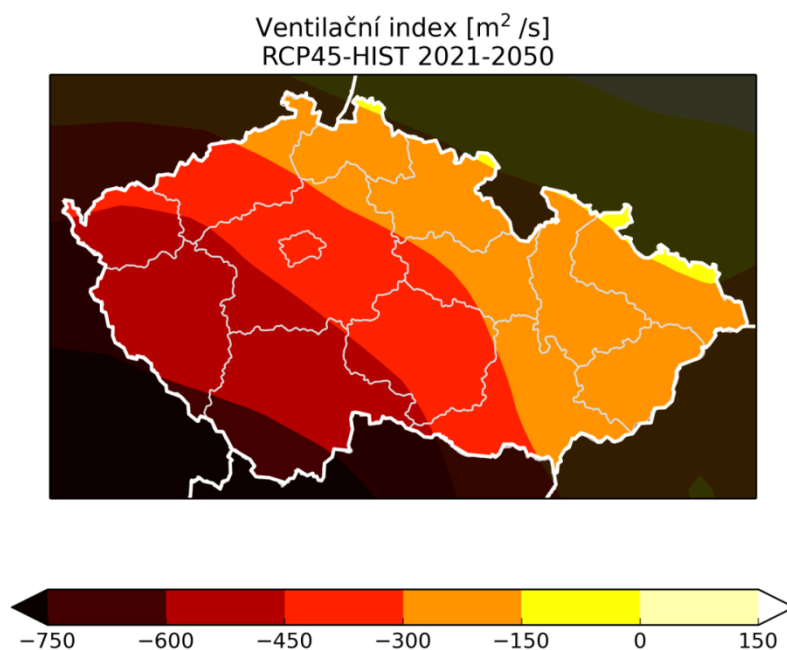
Modelem očekávaná změna ventilačního indexu dobře odpovídá změnám rychlosti větru a výšky mezní vrstvy, tj. ventilační index klesá tam, kde dochází k nevýraznějšímu poklesu rychlosti větru a zároveň klesá výška mezní vrstvy nejvíce (JZ ČR). U počtu dní s nepříznivými rozptylovými podmínkami je situace poněkud složitější. Přestože ventilační index klesá nad celým územím, počet dní s nepříznivými rozptylovými podmínkami klesá pouze nad částí ČR. U tohoto parametru totiž sledujeme pouze četnost výskytu hodnot ventilačního indexu pod  $1100 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ , nikoliv pokles průměrného ventilačního indexu jako takového.



Počet dní s nepříznivými rozptylovými podmínkami za rok  
RCP45-HIST 2021-2050

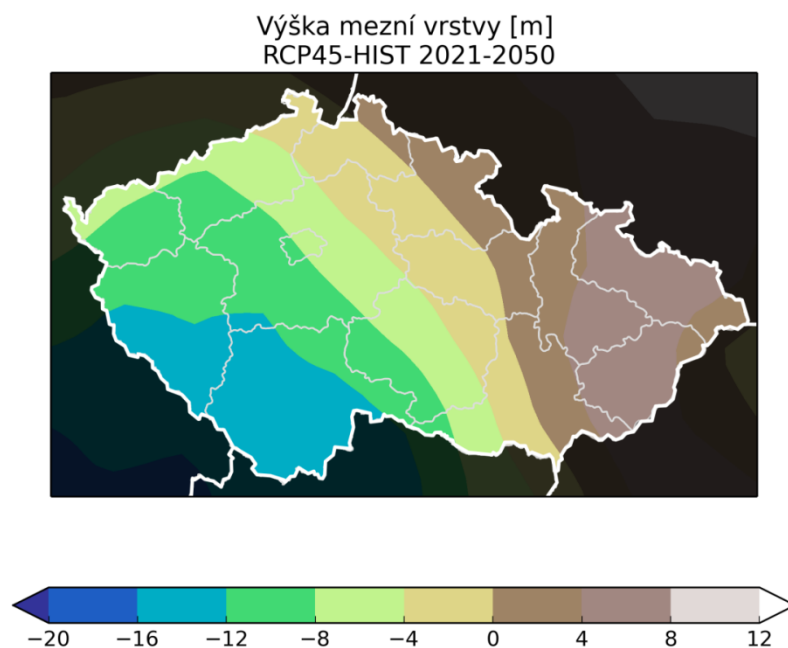


*Obr. 7.1.2.1: Geografické rozložení změn průměrného sezónního (listopad až březen) počtu dní se zhoršenými rozptylovými podmínkami na území ČR za předpokladu scénáře emisí RCP4.5 podle regionálního klimatického modelu RegCM řízeného globálním modelem CNRM-CM5 pro období 2021–2050 v porovnání s referenčním obdobím 1986–2015.*



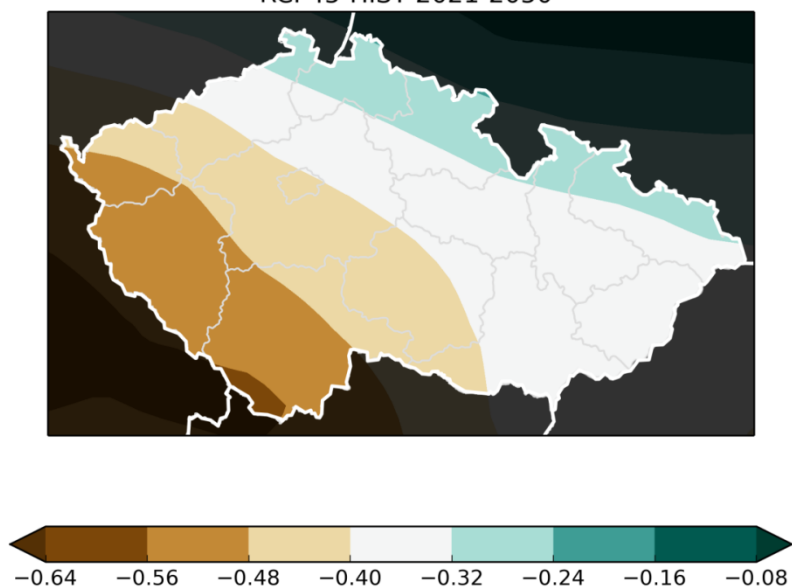
Obr. 7.1.2.2: Geografické rozložení změn průměrné sezónní hodnoty (listopad až březen) ventilačního indexu na území ČR za předpokladu scénáře emisí RCP4.5 podle regionálního klimatického modelu RegCM řízeného globálním modelem CNRM-CM5 pro období 2021–2050 v porovnání s referenčním obdobím 1986–2015.





Obr. 7.1.2.3: Geografické rozložení změn průměrné výšky mezní vrstvy (listopad až březen) na území ČR za předpokladu scénáře emisí RCP4.5 podle regionálního klimatického modelu RegCM řízeného globálním modelem CNRM-CM5 pro období 2021–2050 v porovnání s referenčním obdobím 1986–2015.

Průměrná rychlost větru v mezní vrstvě [m/s]  
RCP45-HIST 2021-2050



*Obr. 7.1.2.4: Geografické rozložení změn průměrné rychlosti větru v mezní vrstvě (listopad až březen) na území ČR za předpokladu scénáře emisí RCP4.5 podle regionálního klimatického modelu RegCM řízeného globálním modelem CNRM-CM5 pro období 2021–2050 v porovnání s referenčním obdobím 1986–2015.*

# Závěr

---

Předkládané očekávané změny zpracovaných meteorologických prvků představují projekci možných změn založenou na výstupech numerických modelů procesů v klimatickém systému. Jedná se o scénáře změny klimatu pro určitý předpokládaný vývoj vnějších faktorů, které klima ovlivňují. Představují možné alternativní cesty vývoje klimatu v budoucnosti, které mohou nastat při splnění daných předpokladů. Vliv řady faktorů, které nelze prakticky předpovědět, se ale neuvažuje. Předkládané výsledky tedy nelze chápat jako přesnou předpověď vývoje v budoucnu. Pro období blízké budoucnosti, pro které byly podklady zpracovány, navíc lze očekávat vliv přirozené variability klimatu, která na takto relativně krátké časové škále může mít srovnatelný vliv se zohledněnými antropogenními vlivy. Vliv přirozené variability klimatu není možné v klimatických modelech z principu zcela přesně zachytit.



# Seznam mapových vrstev

---

## Seznam vrstev pro referenční období 1986–2015

### 1 Teplota, sluneční záření

Průměrná roční teplota vzduchu za období 1986–2015

Průměrná sezónní teplota vzduchu za období 1986–2015 - jaro, léto, podzim, zima

Průměrný roční počet jasných dní za období 1986–2015

Průměrný roční počet dní s maximální denní teplotou vyšší než 34 °C za období 1986–2015

Průměrný roční počet dní s minimální denní teplotou nižší než -20 °C za období 1986–2015

Průměrný roční počet dní s horkou vlnou za období 1986–2015

### 2 Srážky

Průměrný roční úhrn srážek za období 1986–2015

Průměrný sezónní úhrn srážek za období 1986–2015 - jaro, léto, podzim, zima

Průměrný roční počet dní se srážkami s denním úhrnem alespoň 10 mm za období 1986–2015

Průměrný roční počet dní se srážkami s denním úhrnem alespoň 20 mm za období 1986–2015

Průměrný roční počet dní se srážkami s denním úhrnem alespoň 30 mm za období 1986–2015

Průměrný roční počet dní se srážkami 30 mm a více za 1 hodinu

### 3 Sucho

Průměrný podíl měsíců zasažených epizodami sucha podle hodnot 6–měsíčního SPEI v % za duben až září 1986–2015

Průměrný podíl měsíců zasažených epizodami sucha podle hodnot 12–měsíčního SPEI v % za leden až prosinec 1986–2015

### 4 Vítr, bouřky

Průměrná roční rychlost větru za období 1986–2015

Průměrná sezónní rychlost větru za období 1986–2015 – jaro, léto, podzim, zima

Průměrný roční počet dní s maximálním nárazem větru nad 20,8 m/s za období 1986–2015

Průměrný roční počet bleskových výbojů za období 2002–2015

### 5 Sníh

Průměrný měsíční počet dní se sněžením za období 1986–2015 – měsíce listopad až březen

Průměrný sezónní počet dní s výškou nového sněhu 5 cm a více za období 1986 – 2015

Průměrný sezónní úhrn výšky nového sněhu za období 1986–2015

Průměrný měsíční úhrn výšky nového sněhu za období 1986–2015 – měsíce listopad až březen



## **6 Fázové přechody vody**

Průměrný sezónní počet dní s přechodem teploty přes 0 °C za období 1986 – 2015.

## **7 Kvalita vzduchu**

Průměrný počet dní se smogovou situací PM<sub>10</sub> za rok pro období 2004 – 2017

Počet dní se špatnými rozptylovými podmínkami za období 2010 -2016

Průměrná hodnota ventilačního indexu počítaná z hodinových dat za období 2010 - 2016

## **Seznam vrstev pro změny relevantních meteorologických prvků a jevů pro období 2021–2050 v porovnání s referenčním obdobím 1986–2015**

### **1 Teplota, sluneční záření - vždy verze pro scénáře emisí RCP4.5 a RCP8.5**

Změna průměrné roční teploty vzduchu

Změna průměrné sezónní teploty vzduchu - jaro, léto, podzim, zima

Změna průměrného ročního počtu jasných dní

Změna průměrného ročního počtu dní s maximální denní teplotou vyšší než 34 °C

Změna průměrného ročního počtu dní s minimální denní teplotou nižší než -20 °C

Změna průměrného ročního počtu dní s horkou vlnou

### **2 Srážky - vždy verze pro scénáře emisí RCP4.5 a RCP8.5**

Změna průměrného ročního úhrnu srážek

Změna průměrného sezónního úhrnu srážek - jaro, léto, podzim, zima

Změna průměrného měsíčního úhrnu srážek - pro každý měsíc v roce

Změna průměrného ročního počtu dní se srážkami s denním úhrnem alespoň 10 mm

Změna průměrného ročního počtu dní se srážkami s denním úhrnem alespoň 20 mm

Změna průměrného ročního počtu dní se srážkami s denním úhrnem alespoň 30 mm

### **3 Sucho- vždy verze pro scénáře emisí RCP4.5 a RCP8.5**

Průměrný podíl měsíců zasažených epizodami sucha podle hodnot 6měsíčního SPEI v % za duben až září.

Průměrný podíl měsíců zasažených epizodami sucha podle hodnot 12měsíčního SPEI v % za leden až prosinec.

### **4 Vítr - vždy verze pro scénář emisí RCP4.5 a RCP8.5**

Změna průměrné roční rychlosti větru

Změna průměrné sezónní rychlosti větru – jaro, léto, podzim, zima

### **5 Sníh - vždy verze pro scénář emisí RCP4.5 a RCP8.5**

Změna průměrného sezónního (listopad až březen) počtu dní se sněžením

Změna průměrného sezónního (listopad – březen) počtu dní s novým sněhem 5 cm a více



Změna průměrného sezónního (listopad až březen) úhrnu výšky nového sněhu

#### **6 Fázové přechody vody - verze pro scénář emisí RCP4.5 a RCP8.5**

Změna průměrného sezónního (říjen až březen) počtu dní s přechodem teploty přes 0 °C

#### **7 Rozptylové podmínky - pro scénář emisí RCP4.5**

Změna průměrného sezónního (listopad – březen) počtu dní se zhoršenými rozptylovými podmínkami

Změna průměrné sezónní (listopad – březen) hodnoty ventilačního indexu

Změna průměrné sezónní (listopad – březen) hodnoty výšky mezní vrstvy (listopad – březen)

Změna průměrné sezónní (listopad – březen) hodnoty rychlosti větru v mezní vrstvě



# Použité zdroje:

---

- Bartholy, J. a Pongrácz, R. (2010): Analysis of precipitation conditions for the Carpathian Basin based on extreme indices in the 20th century and climate simulations for 2050 and 2100. *Physics and Chemistry of the Earth*, 35(1-2), 43-51
- Déqué, M. (2007): Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: model results and statistical correction according to observed values. *Global Planet Change*, 57, 16–26
- Colette, A., Bessagnet, B., Vautard, R., Szopa, S., Rao, S., Schucht, S., Klimont, Z., Menut, L., Clain, G., Meleux, F., Curci, G., and Rouil, L. (2013): European atmosphere in 2050, a regional air quality and climate perspective under CMIP5 scenarios, *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 7451-7471, doi:10.5194/acp-13-7451-2013
- Feldmann, H., Schädler, G., Panitz, H.-J. a Kottmeier, C. (2012): Near future changes of extreme precipitation over complex terrain in Central Europe derived from high resolution RCM ensemble simulations, *International Journal of Climatology*, 33, 1964–1977
- Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Berntsen, R. Betts a kol. ( 2007). Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Global Carbon Budget (2016): Carbon budget and trends 2016.  
[[www.globalcarbonproject.org/carbonbudget](http://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget)] published on 14 November 2016
- Holtanová, E. (2012): Scénáře změny klimatu. *Ochrana ovzduší*, 24 (44), č. 4, 11–14.
- Holtanová, E., Kalvová, J. (2015): Neurčitosti výstupů regionálních klimatických modelů. *Meteorologické zprávy*, 68, 4, 116-123
- Huszár, P., Juda-Rezler, K., Halenka, T., Chervenkov, H. and others (2011): Effects of climate change on ozone and particulate matter over Central and Eastern Europe, *Clim. Res.* 50, 51-68, doi:10.3354/cr01036
- Huszár, P., Belda, M., and Halenka, T. (2016): On the long-term impact of emissions from central European cities on regional air quality, *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 1331-1352, doi:10.5194/acp-16-1331-2016
- Huth, R., Kyselý, J., Pokorná, L., (2000): A GCM simulation of heat waves, dry spells, and their relationships to circulation. *Climatic Change*, Vol. 46, p. 29-60. ISSN 1573-1480



- IPCC-TGICA (2007): General Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment. Version 2. Prepared by T.R. Carter on behalf of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment, 66 pp.
- Juda-Rezler, K., Reizer, M., Huszár, P., Krueger, B., Zanis, P., Syrakov, D., Katragkou, E., Trapp, W., Melas, D., Chervenkov, H., Tegoulas, I. and Halenka, T. (2012): Modelling the effects of climate change on air quality over central and Eastern Europe: concept, evaluation and projections, *Clim. Res.*, 53:179-203, 2012 doi: 10.3354/cr01072
- Meehl, G.A., Covey, C., Delworth, T., Latif, M., McAvaney, B. et al. (2007): The WCRP CMIP3 multi-model dataset: A new era in climate change research, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88, 1383–1394
- Nakićenović, N., Swart, R. (Eds.) (2000): Emissions Scenarios. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Nikulin, G., Kjellström, E., Hansson, U., Strandberg, G. a Ullerstig, U. (2011): Evaluation and future projections of temperature, precipitation and wind extremes over Europe in an ensemble of regional climate simulations. *Tellus* 63 A, 41-55, doi: 10.1111/j.1600-0870.2010.00466.x
- Penrod, A., Zhang, Y., Wang, K., Wu, S. Y., and Leung, R. L. (2014): Impacts of future climate and emission changes on U.S. air quality, *Atmospheric Environment*, 89, 533-547, ISSN 1352-2310, <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.01.001>.
- Pretel, J. (Ed.) (2010): Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření. Technické shrnutí 2007-2011. Český hydrometeorologický ústav, Praha.  
([http://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/vav\\_TECHNICKE\\_SHRNU TI\\_2011.pdf](http://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/klimazmena/files/vav_TECHNICKE_SHRNU TI_2011.pdf))
- Räisänen, J. (2007): How reliable are climate models? *Tellus A*, roč. 59, č. 2–29. ISSN: 1600-0870
- Rajczak, J., Pall, P., Schär, C. (2013): Projections of extreme precipitation events in regional climate simulations for Europe and the Alpine Region, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118, 3610-3626
- Rauthe, M., Kunz, M., Kottmeier, C. (2010): Changes in wind gusts extremes over Central Europe derived from a small ensemble of high resolution regional climate models. *Meteorologische Zeitschrift*, 19, 299–312
- Svoboda, V., Hanel, M., Máca, P., Kyselý, J. (2016): Projected changes of rainfall event characteristics for the Czech Republic. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 64, 415-425
- Štěpánek, P., Zahradníček, P., Farda, A., Skalák, P., Trnka, M., Meitner, J., Rajdl K. (2016): Projection of drought-inducing climate conditions in the Czech Republic according to Euro-CORDEX models. *Climate Research*. Vol.: 70, pp. 179 - 193





- Tebaldi, C., Knutti, R., 2007. The use of the multi-model ensemble in probabilistic climate projections. *Philosophical Transactions of Royal Society A*, 365, 2053–2075.
- Tolasz, R. (Ed.) (2007): Atlas podnebí Česka, © Český hydrometeorologický ústav, 2007 © Univerzita Palackého v Olomouci, 2007
- van der Linden, P., Mitchell, J.F.B. (eds.) (2009): ENSEMBLES: Climate Change and its impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160 pp.
- van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A. et al. (2011): The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, roč. 109, s. 5-31, ISSN: 1573-1480
- Vicente-Serrano, S.M., Begueria, S., Lopez-Moreno, J.I. (2010): A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*, 23:1696–1718

