

Univerzita Karlova v Praze  
Matematicko-fyzikální fakulta

## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**



**JOSEF KVASNIČÁK**

### **ANALÝZA VYBRANÝCH TEPLOTNÍCH CHARAKTERISTIK SIMULOVANÝCH REGIONÁLNÍMI KLIMATICKÝMI MODELY**

Katedra meteorologie a ochrany prostředí

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Jiří Mikšovský, Ph.D.

Studijní program: Fyzika, Obecná fyzika

**2008**

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Mgr. Jiřímu Mikšovskému, Ph.D. za velkou ochotu a pečlivost, se kterou k mé práci přistupoval. Děkuji také Českému hydrometeorologickému ústavu za poskytnutá data ze staničních meteorologických měření.

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci napsal samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů. Souhlasím se zapůjčováním práce.

V Praze dne 28. 5. 2008

Josef Kvasničák

# OBSAH

<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>5</b>
<b>2 MODELOVÁNÍ KLIMATICKÉHO SYSTÉMU.....</b>	<b>6</b>
2.1 Klima, klimatický systém .....	6
2.2 Klimatické modely .....	6
2.3 Vstupy klimatických modelů .....	7
2.4 Emisní scénáře .....	7
2.5 Globální a regionální klimatické modely .....	8
2.6 Projekt PRUDENCE .....	9
<b>3 ZPRACOVÁNÍ VÝSTUPŮ MODELŮ.....</b>	<b>10</b>
3.1 Výškový profil České republiky.....	12
3.2 Kontrolní simulace klimatu .....	13
3.3 Simulace klimatu ČR pomocí různých regionálních modelů.....	23
3.4 Simulace klimatu ČR řízené různými globálními modely.....	29
3.5 Simulace klimatu ČR vycházející z různých emisních scénářů .....	35
<b>4 ZÁVĚR .....</b>	<b>41</b>
<b>LITERATURA.....</b>	<b>42</b>

Název práce: Analýza vybraných teplotních charakteristik simulovaných regionálními klimatickými modely

Autor: Josef Kvasničák

Katedra: Katedra meteorologie a ochrany prostředí

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Jiří Mikšovský, Ph.D.

E-mail vedoucího: jiri.miksovsky@mff.cuni.cz

Abstrakt: Práce se zabývá studiem výstupů vybraných regionálních klimatických modelů zahrnutých do projektu PRUDENCE. Analýza se konkrétně týká vybraných teplotních charakteristik pro simulované klima České republiky v posledních třiceti letech 21. století. Práce nejprve shrnuje základní poznatky o simulování klimatického systému pomocí klimatických modelů. Poté se zabývá výstupy simulací klimatu České republiky pro období 1961-1990 a porovnává je se skutečným klimatem. V poslední části jsou diskutovány získané výsledky analýzy, a to především z hlediska tří faktorů, které se podílejí na rozptylu výsledků simulací: vliv řídicích dat z globálních klimatických modelů, vliv odlišností jednotlivých regionálních modelů, vliv použitého scénáře emisí a koncentrací skleníkových plynů. Práce využívá grafické zpracování výstupů klimatických modelů, které bylo provedeno pomocí programu Surfer.

Klíčová slova: regionální klimatický model, projekt PRUDENCE, teplotní charakteristiky

Title: Analysis of selected temperature characteristics simulated by regional climate models

Author: Josef Kvasničák

Department: Department of Meteorology and Environment Protection

Supervisor: Mgr. Jiří Mikšovský, Ph.D.

Supervisor's e-mail address: jiri.miksovsky@mff.cuni.cz

Abstract: This thesis studies the outputs of selected regional climate models contained in the PRUDENCE project. The analysis is concerned with selected temperature characteristics for simulated climate of the Czech Republic at last thirty years of this century. The paper summarises the basic knowledge about mathematical modeling of the climate system. Furthermore, the paper examines outputs of the model simulations of the climate of the Czech Republic for the period 1961-1990 and makes a comparison with real observations. The thesis discusses the outcomes of the analysis with special emphasis to the three factors: the influence of driving data from global climate models, the influence of differences among regional climate models, the influence of used emission scenario. The outputs of climate models are visualized using the computer program Surfer.

Keywords: regional climate model, PRUDENCE project, temperature characteristics

# 1 ÚVOD

Při studiu globální klimatické změny a jejích možných následků patří klimatické modely k základním nástrojům, pomocí kterých se vytvářejí odhady budoucího klimatu. Výsledky získané pomocí různých simulací jsou ovšem odlišné, a to jak kvůli technickým odlišnostem v samotných modelech, tak kvůli rozdílným předpokladům, se kterými simulace pracují (na příklad emise skleníkových plynů).

Abychom byli schopni posoudit, jak významné jsou jednotlivé faktory, které výsledky simulací klimatického systému ovlivňují, studujeme výstupy celého souboru modelů klimatického systému, pracujících s různými předpoklady. Některé odlišnosti v simulacích klimatu jsou dále způsobeny rozdíly ve fungování samotných klimatických modelů. Abychom zjistili, jak velký vliv na výstupy simulace má konkrétní podoba modelu, studujeme výstupy různých klimatických modelů, které pracují se stejnými předpoklady (resp. parametry).

Studium rozdílů ve výstupech klimatických simulací, respektive příčin těchto rozdílů vede k lepšímu pochopení, co a s jakou přesností můžeme na základě klimatických modelů odhadovat a co naopak leží za hranicí rozumné interpretace výstupů modelů. Vedle analýzy výstupů simulací klimatu České republiky jsou předmětem této práce právě některé z příčin rozdílů v těchto výstupech.

## 2 MODELOVÁNÍ KLIMATICKÉHO SYSTÉMU

### 2.1 *Klima, klimatický systém*

Klima definujeme jako dlouhodobý režim počasí, respektive jako typický režim klimatického systému. Klimatický systém se přitom skládá z atmosféry, hydrosféry, kryosféry (ledové pokrývky), litosféry (zemské kůry) a biosféry, přičemž složky systému jsou vzájemně úzce provázány. Jednotlivé veličiny vykazují časovou proměnlivost v rámci široké škály časových měřítek; klima se většinou charakterizuje průměrnými hodnotami (případně dalšími statistickými charakteristikami) fyzikálních veličin za delší období, zpravidla za několik desítek let.

Při veliké provázanosti jednotlivých veličin v klimatickém systému je velmi časté, že změna určité veličiny vyvolává zpětné působení na příčinu, která tuto změnu vyvolala. Toto zpětné působení nazýváme zpětná vazba a rozlišujeme zpětné vazby pozitivní a negativní. Pozitivní zpětné vazby se projevují tak, že změna v klimatickém systému vyvolá procesy, které vedou k zesílení původního působení. Negativní vazba se projevuje opačně: klimatický systém na změnu nějaké veličiny reaguje tak, že působí proti její příčině.

Příkladem pozitivní zpětné vazby je pokles schopnosti oceánů vázat oxid uhličitý způsobený vzrůstem teploty. Při vyšší teplotě oceány absorbují méně oxidu uhličitého, vzrůstá tedy koncentrace tohoto plynu v atmosféře, posiluje se skleníkový efekt a dále se zvyšuje teplota. Příkladem negativní zpětné vazby je změna množství oblačnosti v závislosti na teplotě: Čím větší je teplota, tím více vody je v atmosféře a tím více se vytváří oblačnosti. Oblačnost ale do značné míry odráží sluneční paprsky a způsobuje tak ochlazování atmosféry.

### 2.2 *Klimatické modely*

Klimatický systém je velmi složitý a predikovat jeho budoucí vývoj je značně nesnadný úkol. O mnoha zpětných vazbách, které v klimatickém systému působí, nejsme s to přesně říct, jak významné jejich působení je, a dá se předpokládat, že některých zpětných vazeb jsme si dosud vůbec nevšimli.

Abychom mohli matematicky reprezentovat klimatický systém, musíme méně významné zpětné vazby a klimatické procesy zanedbat či započítat ve zjednodušené podobě. Přibližnou matematickou reprezentaci klimatického systému nazýváme právě klimatickým modelem. Klimatický model, respektive řešení složité soustavy mnoha rovnic, které klimatický model tvoří, nám dává určitý odhad, jak by se za daných počátečních a okrajových podmínek mohl klimatický systém vyvíjet.

## **2.3 Vstupy klimatických modelů**

Každá simulace klimatu je spuštěna se zadanými počátečními podmínkami, tedy nějakým konkrétním stavem klimatického systému. Rozdíl výstupů daného modelu pro různé počáteční podmínky je jedním ze systematicky zkoumaných zdrojů nejistoty v odhadování podoby budoucího klimatu.

Mezi okrajové podmínky patří emise nebo přímo koncentrace skleníkových plynů v atmosféře, které v klimatickém systému mají významnou roli. Koncentrace některých skleníkových plynů je v moderní době už relativně silně závislá na činnosti člověka. (Podle [2] se koncentrace CO<sub>2</sub> zvýšila od dob před industriální revolucí (rok 1750) z hodnoty přibližně 280 ppm na 379 ppm v roce 2005.)

Vývoj antropogenních emisí pochopitelně není možné spolehlivě předpovídat, proto se vytvářejí tak zvané emisní scénáře, které popisují jednotlivé varianty možného vývoje lidské společnosti, respektive vývoje emisí skleníkových plynů způsobených člověkem a příslušné koncentrace těchto plynů v atmosféře. Do klimatických modelů se zadávají různé emisní scénáře a systematicky se zkoumá, k jakým rozdílům ve výstupech modelů vlivem různých emisních scénářů dochází.

## **2.4 Emisní scénáře**

V současné době se používají zejména emisní scénáře IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) označované jako SRES (Special Report on Emission Scenarios, [3]). V těchto scénářích jsou uvažovány varianty vývoje, které počítají s vyrovnáváním ekonomických rozdílů mezi chudými a bohatými zeměmi a intenzivním využíváním fosilních paliv, i varianty počítající s velmi heterogenními ekonomikami a zaváděním bezuhlíkatých technologií. Celkem 40 scénářů SRES se dělí do čtyř hlavních skupin označovaných jako A1, A2, B1 a B2.

- A1 popisuje velmi rychlý růst světové ekonomiky a vývoj nových technologií. Počet obyvatel kulminuje v polovině 21. století a poté zvolna klesá. Tato skupina scénářů obsahuje tři větve, které se liší mírou využívání fosilních paliv: bez využívání fosilních paliv (A1T), intenzivní využívání fosilních paliv (A1FI) a vyrovnané využívání všech zdrojů energie (A1B).
- A2 popisuje svět s velkými ekonomickými a technologickými rozdíly v jednotlivých regionech. Růst světové ekonomiky a zavádění nových technologií je pomalejší než v případě A1 nebo B1. Populace roste po celé 21. století a na jeho konci dosahuje 15 miliard.

- B1 popisuje zmenšování rozdílů, rychlý rozvoj informačních technologií a služeb. Počet obyvatel planety kulminuje v polovině 21. století hodnotou 8,7 miliardy a do konce století klesá na 7 miliard. Je kladen důraz na účinné globální řešení světových problémů, zavádění nových technologií je rychlé.
- B2 popisuje různorodý svět, který se nestmeluje jako v B1. Nicméně i zde je kladen důraz na udržitelný rozvoj. Ekonomika i populace rostou pomaleji než v A2, technologický vývoj je různorodější než v A1 nebo B1.

Realizovat klimatické modely pro všechny emisní scénáře by bylo neúnosně náročné na výpočetní výkon, proto se zpravidla provádějí experimenty jen pro několik málo scénářů, které reprezentují jednotlivé scénářové skupiny.

## **2.5 Globální a regionální klimatické modely**

Globální klimatické modely, označované jako GCM (Global Climate Model nebo také General Circulation Model), modelují klima celé planety. Skládají se zpravidla ze tří složek: model atmosféry, oceánů a kryosféry. V minulosti se kladl důraz na modelování atmosférických procesů a oceánická složka modelů se značně zjednodušovala. V současné době se v globálních modelech zpravidla propojuje třírozměrný model atmosférické cirkulace s modelem cirkulace oceánské – pro takové modely používáme označení AOGCM (Atmospheric-Ocean GCM).

Globální klimatické modely projektu PRUDENCE, na jehož výsledky se zaměřuje tato práce, pracují v horizontálním rozlišení 2-4° zeměpisné délky, respektive šířky. Vzdálenost jednotlivých uzlových bodů modelu je tedy řádově ve stovkách kilometrů. Každý uzlový bod reprezentuje oblast, ve které se nachází: je pro něj zadán jeden typ vegetace, půdy, jedna nadmořská výška atd. Také výstupy modelu pochopitelně pro každý uzlový bod v případě každé sledované klimatické veličiny obsahují pouze jednu hodnotu.

Například na území České republiky se při takovém měřítku nachází typicky jeden nebo jen několik málo uzlových bodů. Taková hustota sítě uzlových bodů je pro odhadování budoucího regionálního klimatu nedostatečná. Hrubé rozlišení brání simulování extrémních jevů a detailního rozložení veličin, jakými jsou teplota nebo srážky, nad různorodým povrchem, jaký lze nalézt například v oblasti Alp, Středozeří nebo Skandinávie, ale i v České republice. Proto se používají různé metody, jak z výstupů modelů získat více informací. Využívá se nerovnoměrná síť uzlových bodů pro globální modely, která je v zájmových oblastech zahuštěna, aby výstup obsahoval detailnější informaci. Jinou metodou je tak zvaný statistický downscaling, který je založený na znalosti či určitém odhadu vazby mezi veličinami popisujícími klima velkých oblastí a charakterem lokálního klimatu.



Nejdetajnější informaci o místním klimatu ovšem poskytují regionální klimatické modely (RCM), do kterých výstupy globálních modelů vstupují v podobě okrajových podmínek (hovoříme pak o tom, že regionální model je řízen globálním modelem). Regionální modely pracují v řádově větším rozlišení, v projektu PRUDENCE typicky 50 km nebo 55 km. Některé modely ale pracují s rozlišením 25 km, provádějí se také simulace v rozlišení 12 km nebo 10 km. Při takovém rozlišení už je možné v klimatickém modelu zohlednit rozsáhlejší pohoří a jiná terénní specifika, která mají vliv na místní klima.

## **2.6 Projekt PRUDENCE**

Soubor regionálních klimatických modelů byl systematicky zkoumán v projektu PRUDENCE (v angličtině toto slovo znamená "opatrnost"; <http://prudence.dmi.dk>). Projekt řídil Dr. Ole Bøssing Christensen z Danish Meteorological Institute. Kromě Dánského meteorologického institutu se projektu vedle jiných účastnily zejména instituce z Francie, Německa, Španělska, Itálie, Velké Británie, Švýcarska a Norska.

Projekt se zabýval odhadem změny evropského klimatu ke konci tohoto století a možnými dopady této změny. Klád si za cíl zmapovat nedostatky výstupů dosavadních klimatických modelů a některé z nich zmírnit nebo odstranit. Dále měl za cíl vyčíslit nejistotu výsledků klimatických simulací pomocí souboru různých klimatických modelů. Jeho závěrem byla interpretace získaných výsledků s ohledem na stávající přizpůsobování se a zmírňování klimatické změny, které v Evropě probíhá (viz [1]).

V projektu se pracovalo s deseti regionálními modely (viz [1]). Simulace klimatu pomocí regionálních modelů byly spuštěny v několika různých konfiguracích:

1. Deset simulací proběhlo s deseti různými RCM, které byly řízeny jediným AGCM (HadAM3H s emisním scénářem A2).
2. Dvě simulace (s modely HIRHAM a HadRM3H) byly řízeny třemi různými výstupy jediného AGCM (HadAM3H s emisním scénářem A2). Tyto tři výstupy pocházely ze simulací, které byly spuštěny s různými počátečními podmínkami.
3. Pět simulací (s modely HIRHAM, HadRM3H, RegCM, RCAO, PROMES) bylo řízeno jedním AGCM, avšak jednou pro emisní scénář A2 a podruhé pro scénář B2.
4. Jedna simulace proběhla s globálním modelem Arpège, avšak na omezeném území a se zahuštěnou sítí uzlových bodů v zájmové oblasti. Tato simulace byla řízena výstupy dvou AGCM.
5. Simulace s modely HIRHAM a RCAO byly ve stejné konfiguraci provedeny dvakrát pro dvě různá rozlišení: kromě 50 km také pro rozlišení 25 km.

Instituce	Model (RCM)	Řídící data (AGCM)	Simulace	Akronym	
DMI	HIRHAM	HadAM3H A2	Kontrolní běh	HC1	
			Budoucí klima	HS1	
		ECHAM5 A2	HadAM3H B2	Budoucí klima	HB1
			Kontrolní běh	ECC	
		Budoucí klima	ECS		
Hadley Centre	HadRM3P	HadAM3P	Kontrolní běh	ADEHA	
			Budoucí klima	ADHFA	
		HadAM3P B2	Budoucí klima	ADHFD	
ETH	CHRM	HadAM3H A2	Kontrolní běh	HC_CTL	
			Budoucí klima	HC_A2	
GKSS	CLM	HadAM3H A2	Kontrolní běh	CTL	
			Budoucí klima	SA2	
MPI	REMO	HadAM3H A2	Kontrolní běh	3003	
			Budoucí klima	3006	
SMHI	RCAO	HadAM3H A2	Kontrolní běh	HCCTL	
			Budoucí klima	HCA2	
		ECHAM4/OPY A2	HadAM3H B2	Budoucí klima	HCB2
			Kontrolní běh	MPICTL	
		ECHAM4/OPY B2	ECHAM4/OPY A2	Budoucí klima	MPIA2
Budoucí klima	MPIB2				

Tab. 1: Vybrané simulace projektu PRUDENCE využité v této práci.

### 3 ZPRACOVÁNÍ VÝSTUPŮ MODELŮ

Cílem této práce je zmapovat a diskutovat rozptyl výstupů klimatických modelů v rámci dvou typů experimentu:

- a) Výstupy různých RCM řízených stejným AGCM.
- b) Výstupy týchž RCM řízených různými AGCM, respektive stejnými AGCM s různými emisními scénáři.

V rámci práce jsou výstupy vybraných klimatických modelů (viz tab. 1) zpracovány a jsou z nich vypočteny vybrané teplotní charakteristiky, konkrétně nárůst a pokles počtu ledových, mrazových, letních a tropických dní. Definice těchto dní je podle [4]:

- Ledový den            maximální teplota je menší než 0 °C
- Mrazový den        minimální teplota je menší než 0 °C
- Letní den             maximální teplota je alespoň 25 °C
- Tropický den        maximální teplota je alespoň 30 °C

Získané výsledky jsou zpracované graficky v podobě map České republiky, ve kterých jsou zanesena barevná pole příslušející určité relativní změně počtu dnů s danou teplotní charakteristikou. Pro tropické a letní dny pokrývá barevná škála relativní nárůst počtu těchto dnů, pro mrazové a ledové dny škála pokrývá naopak relativní pokles. To je dáno obecnou tendencí ke zvyšování maximálních i minimálních teplot v oblasti střední Evropy, která se odráží i v modelových výstupech.

Výstupy modelů obsahují pouze hodnoty pro uzlové body, které tvoří přibližně čtvercovou padesátikilometrovou síť. Hodnoty pro celé území byly dopočítány v programu Surfer metodou „kriging“.

Počty dnů s příslušnou charakteristickou teplotou obsažených ve výstupech klimatických modelů ovšem nejsou porovnávány pouze s hodnotami ze staničních měření, ale především s výstupy týchž klimatických modelů (viz kapitola 3.2), které v tak zvaném kontrolním běhu simulovaly klimatický systém z konce dvacátého století (1961-1990). Důvodem k takovému porovnávání je nedostatečné pokrytí území staničními měřeními, porovnání lze provést pouze částečné.

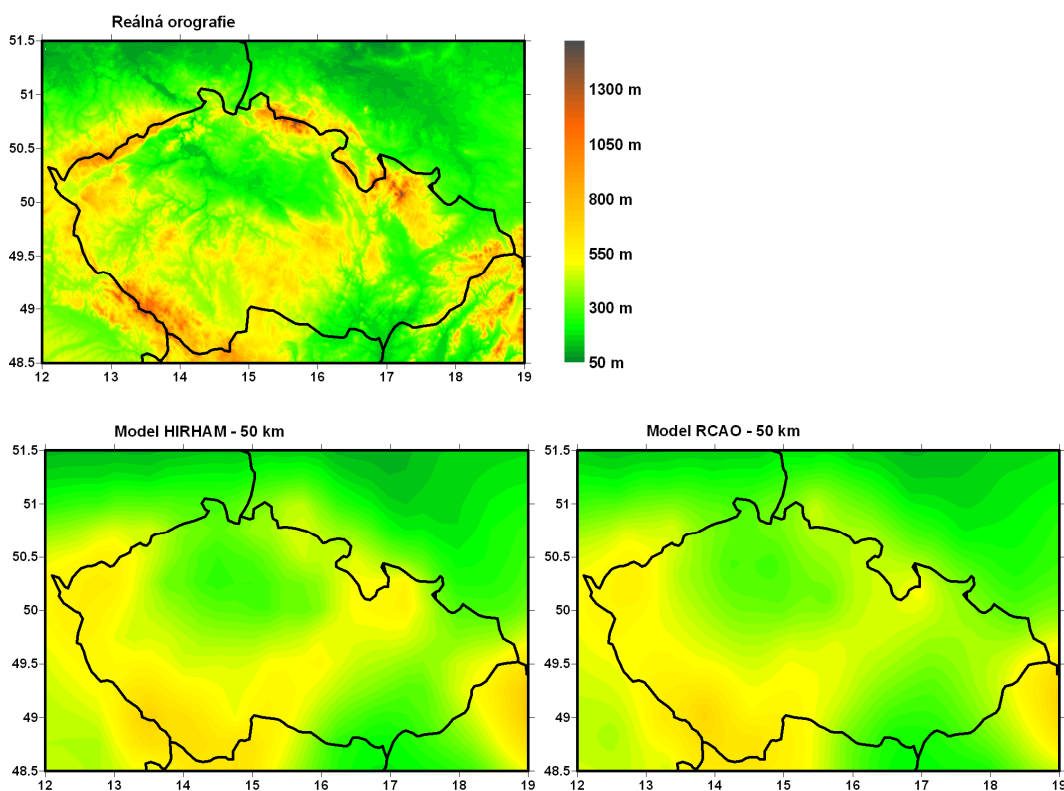
Výhodou porovnání s výstupy kontrolních běhů je také redukce vlivu případného nadhodnocování či podhodnocování nějakých veličin v klimatickém modelu – pokud model systematicky nadhodnocuje nebo podhodnocuje nějakou veličinu, vzniklá nepřesnost se neprojeví tak výrazně, porovnáváme-li výstupy modelů s výstupy jeho vlastního kontrolního běhu, který obsahuje stejné zkruslení.

Další výhodou je odstranění nesouladu mezi reálným a „modelovým“ výškovým profilem území. V modelu zanikají například menší pohoří, která velmi ovlivňují naměřenou teplotu vzduchu.

### 3.1 Výškový profil České republiky

Protože klimatické modely pracují se sítí uzlových bodů, zanikají v rozlišení 50 km menší výškové útvary. Na obrázku 1 vidíme, že síť uzlových bodů prakticky nezachytí například Krkonoše. Zatímco ve skutečnosti je klima Krkonoš značně odlišné od podhůří, v simulaci klimatu pomocí modelů HIRHAM nebo RCAO s rozlišením 50 km tato odlišnost zcela zaniká. Stejná situace je pro nejvyšší útvary Šumavy, Jeseníků nebo Krušných hor, ale také nížin na jižní Moravě nebo v severních Čechách.

Tento rozdíl mezi skutečným výškovým profilem a profilem vystupujícím v simulacích klimatu způsobuje, že simulace „zanedbávají“ specifika klimatu menších území, které se svou výškou výrazně liší od okolní krajiny.



Obr. 1: Porovnání reálné orografie České republiky a orografie, jak je „viděna“ dvěma vybranými modely pracujícími s rozlišením 50 km.

### **3.2 Kontrolní simulace klimatu**

Grafické porovnání výstupů kontrolních simulací se staničními údaji je znázorněno na obrázcích 2 až 9. V případě staničních údajů (viz tab. 2) představují číselné hodnoty průměrný počet dnů s příslušnou charakteristikou za jeden rok během období 1961-2000. V případě kontrolních simulací představují hodnoty barevné škály průměrný počet dnů za rok během období 1961-1990.

Výstupy většiny kontrolních simulací se poměrně shodují se staničními měřeními. Simulované počty dnů s charakteristickou teplotou se od skutečnosti většinou neliší více než o několik desítek procent. Velmi často můžeme tento rozdíl poměrně uspokojivě vysvětlit výše popsaným zploštěním výškového reliéfu republiky.

Pro výškově výrazné oblasti je rozdíl mezi staničním měřením a výstupem kontrolní simulace značný. To platí zejména pro Beskydy, Jeseníky, Šumavu, polabské nížiny a nížiny v Podyjí.

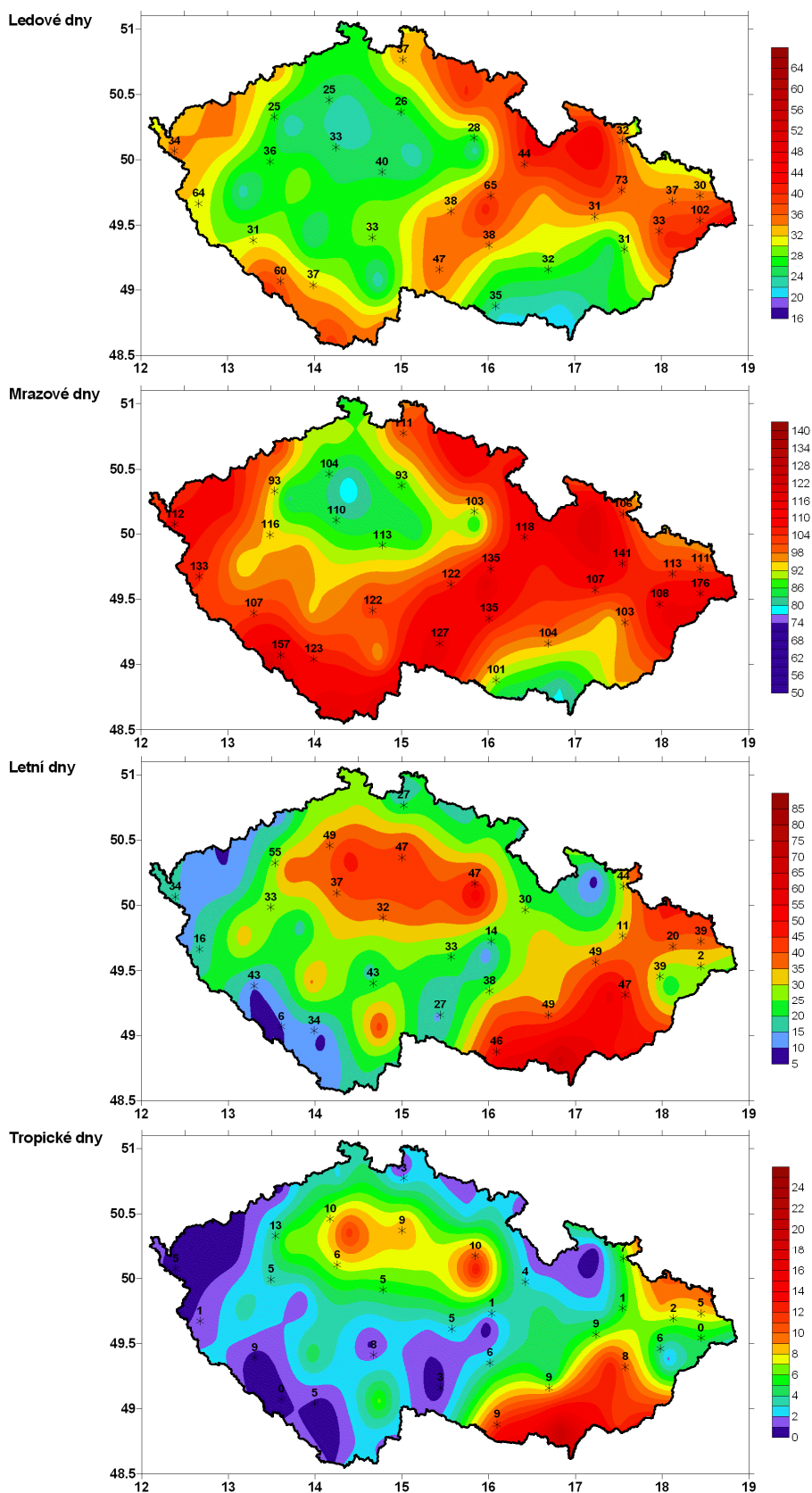
Některé rozdíly ovšem nemůžeme připsat na vrub vyhlazení výškového profilu území, ke kterému v simulacích dochází. Například simulace HCCTL, MPICTL a 3003 zjevně systematicky nadhodnocují teplotu vzduchu v chladnější polovině roku a jejich výstupy dávají pro většinu území výrazně menší počet mrazových dnů, než kolik meteorologické stanice v období 1961-1990 skutečně naměřily. Výstupy většiny simulací dávají také nereálně nízký počet ledových dnů.

V počtu letních dnů se výstupy kontrolních simulací poměrně dobře shodují se staničními údaji, a to pro převažující většinu simulací. V případě počtu tropických dnů je shoda menší, nicméně stále ji můžeme sledovat pro většinu simulací. Výrazněji se odlišují simulace ECC a ADEHA, které dávají více než dvojnásobný počet tropických dnů ve srovnání se staničními měřeními, a simulace HC1, která naopak pro některé oblasti udává několikanásobně menší počet tropických dnů.

<b>Stanice</b>	<b>Zeměpisná šířka</b>	<b>Zeměpisná délka</b>	<b>Nadmořská výška [m]</b>
Kuchařovice	48°52'57"	16°05'11"	334
Husinec	49°02'23"	13°59'34"	536
Churáňov	49°04'06"	13°36'47"	1118
Brno, Tuřany	49°09'35"	16°41'44"	241
Kostelní Myslová	49°09'36"	15°26'21"	569
Holešov	49°19'07"	17°34'24"	224
Velké Meziříčí	49°21'14"	16°00'31"	452
Klatovy	49°23'32"	13°18'06"	430
Tábor	49°24'49"	14°40'09"	437
Valašské Meziříčí	49°27'50"	17°58'30"	334
Lysá hora	49°32'46"	18°26'52"	1324
Olomouc-Slavonín	49°34'00"	17°14'00"	225
Havlíčkův Brod	49°36'42"	15°34'48"	455
Přimda	49°40'10"	12°40'46"	742
Mošnov	49°41'39"	18°07'12"	251
Lučina	49°43'52"	18°26'33"	300
Svratouch	49°44'06"	16°02'01"	737
Červená	49°46'39"	17°32'31"	750
Ondřejov	49°54'39"	14°46'52"	526
Ústí nad Orlicí	49°58'49"	16°25'20"	402
Kralovice	49°59'20"	13°29'39"	468
Cheb	50°04'26"	12°23'20"	471
Praha, Ruzyně	50°06'03"	14°15'28"	364
Město Albrechtice-Žáry	50°09'07"	17°33'19"	483
Hradec Králové	50°10'34"	15°50'19"	278
Žatec	50°19'57"	13°32'50"	201
Semčice	50°22'02"	15°00'16"	234
Doksany	50°27'31"	14°10'14"	158
Liberec	50°46'09"	15°01'30"	398

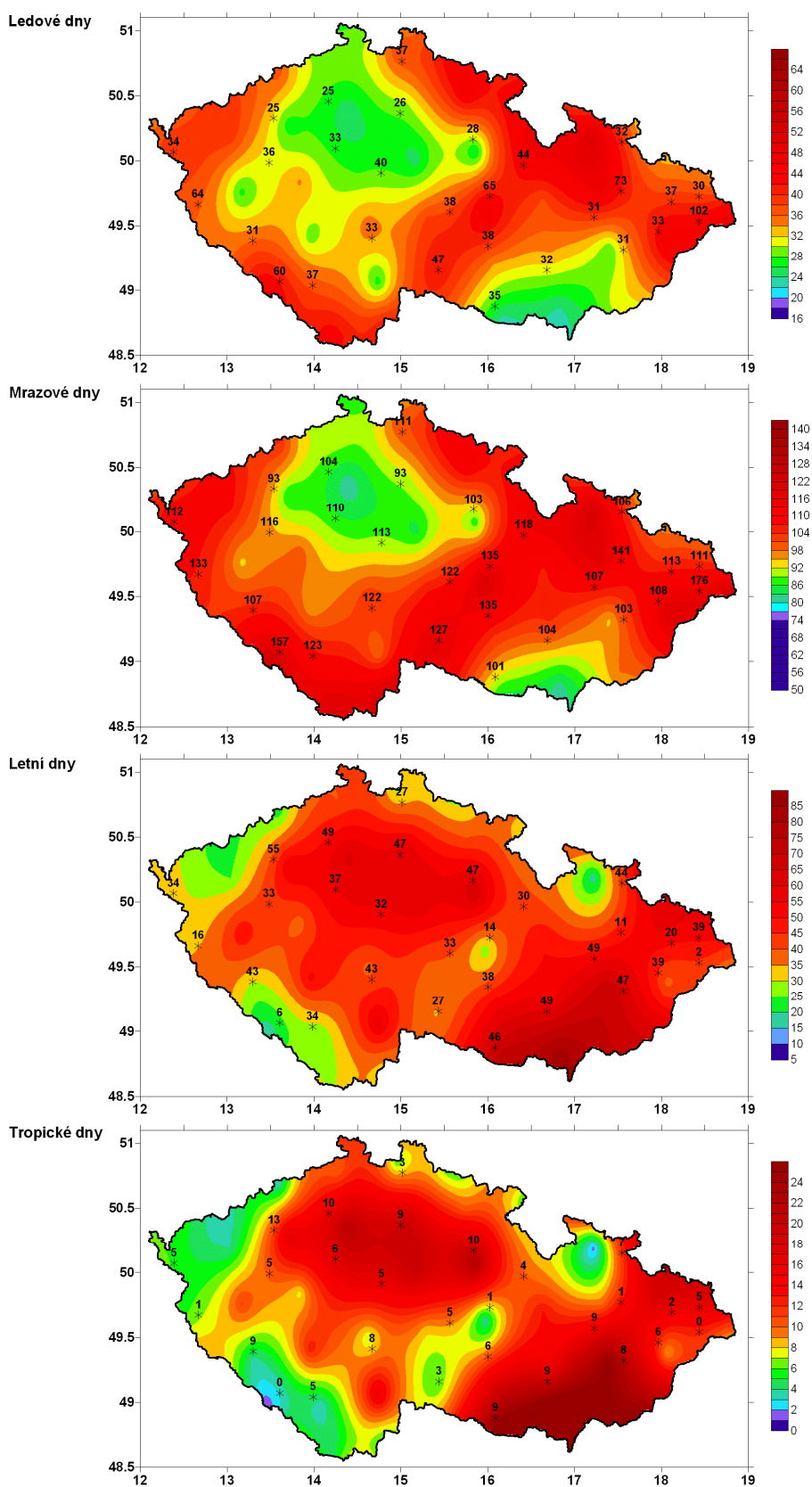
*Tab. 2: Seznam meteorologických stanic, jejichž měření je porovnáno s výstupy kontrolních simulací.*

## Kontrolní simulace HC1



Obr. 2: Počty dnů s vybranými teplotními charakteristikami, které udávají meteorologická staniční měření (číselné hodnoty u vyznačených stanic) a které dává výstup kontrolní simulace HC1 (barevná škála).

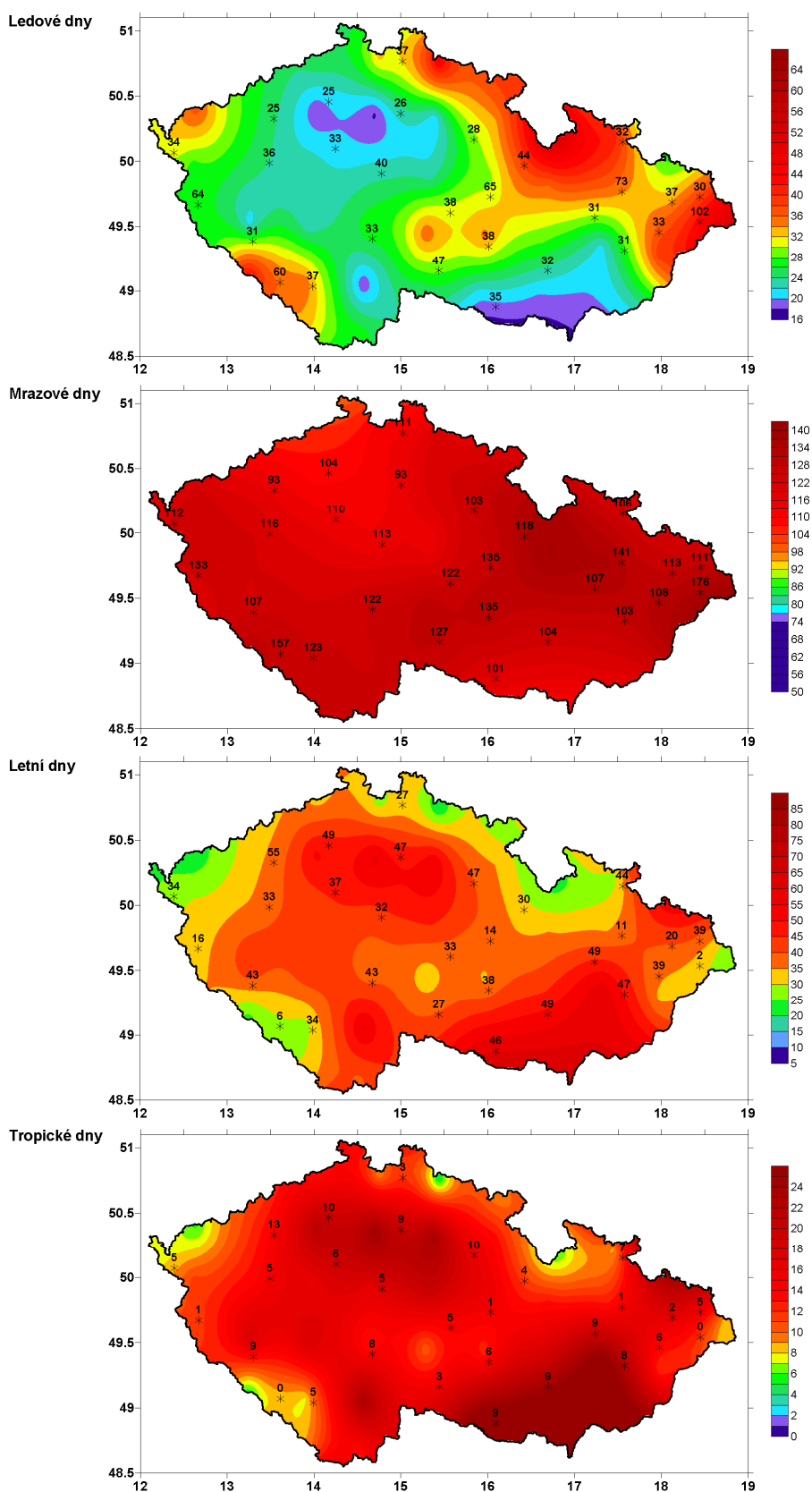
## Kontrolní simulace ECC



Obr. 3: Počty dnů s vybranými teplotními charakteristikami, které udávají meteorologická staniční měření (číselné hodnoty u vyznačených stanic) a které dává výstup kontrolní simulace ECC (barevná škála).

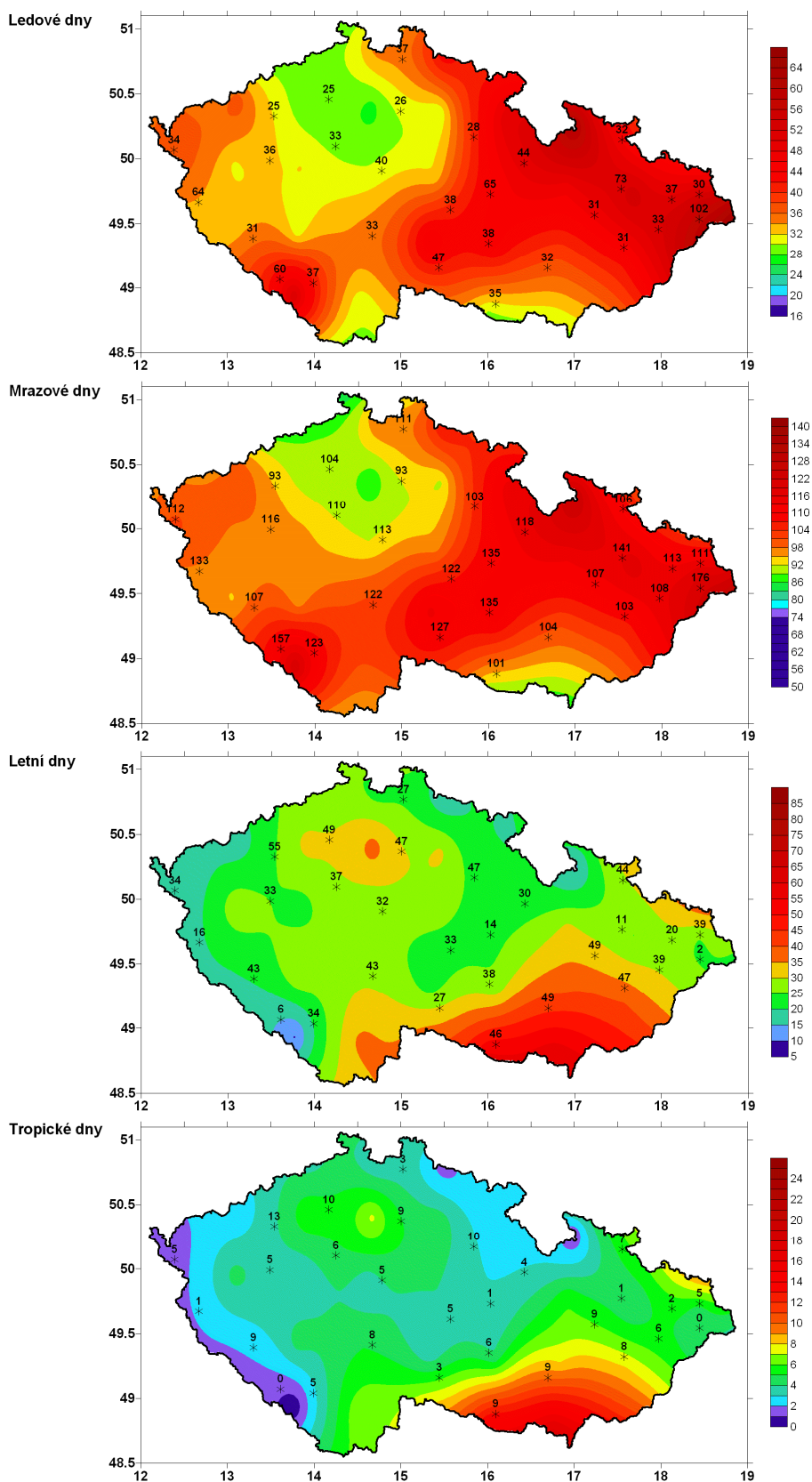


## Kontrolní simulace ADEHA



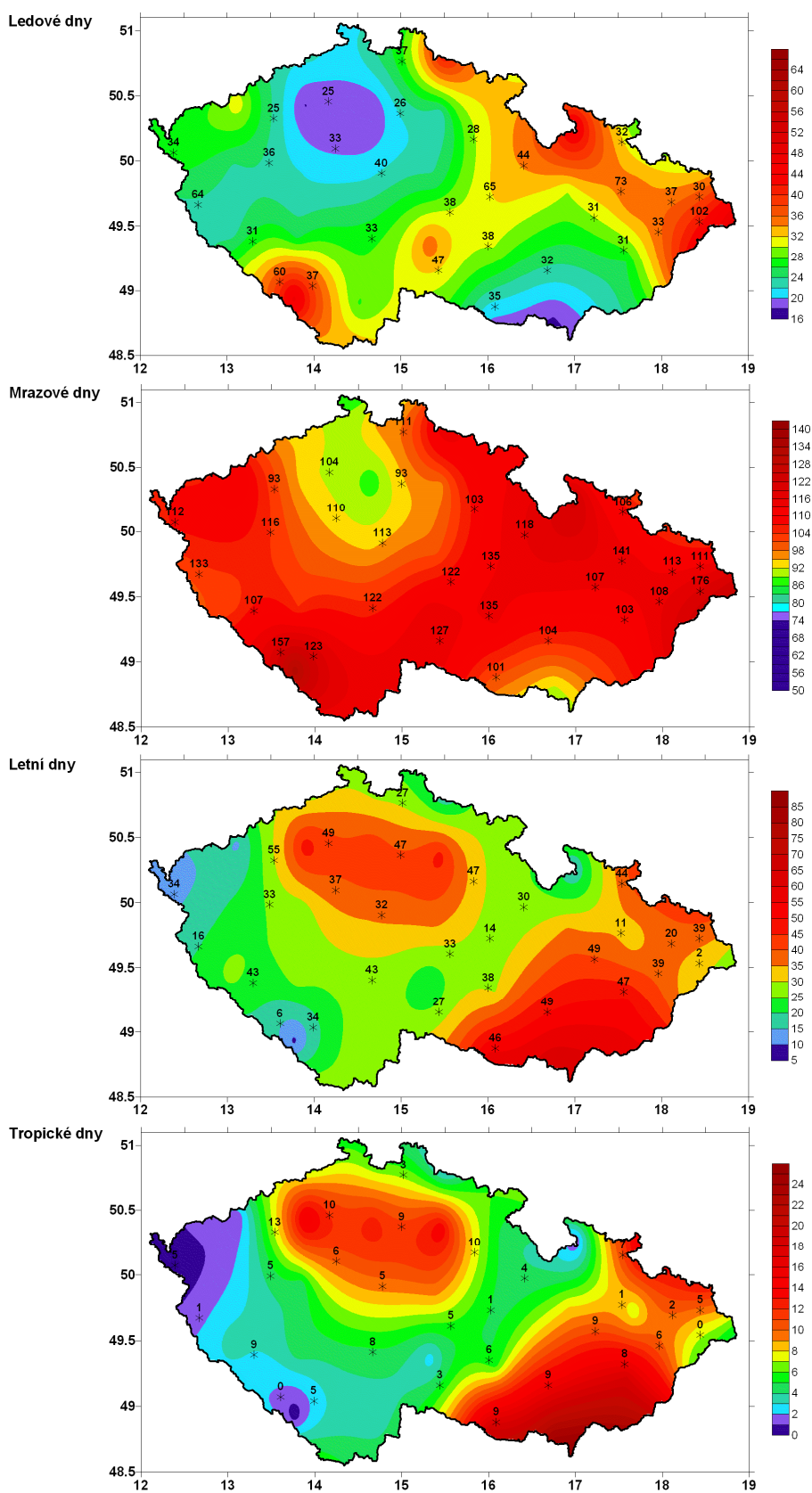
Obr. 4: Počty dnů s vybranými teplotními charakteristikami, které udávají meteorologická staniční měření (číselné hodnoty u vyznačených stanic) a které dává výstup kontrolní simulace ADEHA (barevná škála).

## Kontrolní simulace HC\_CTL



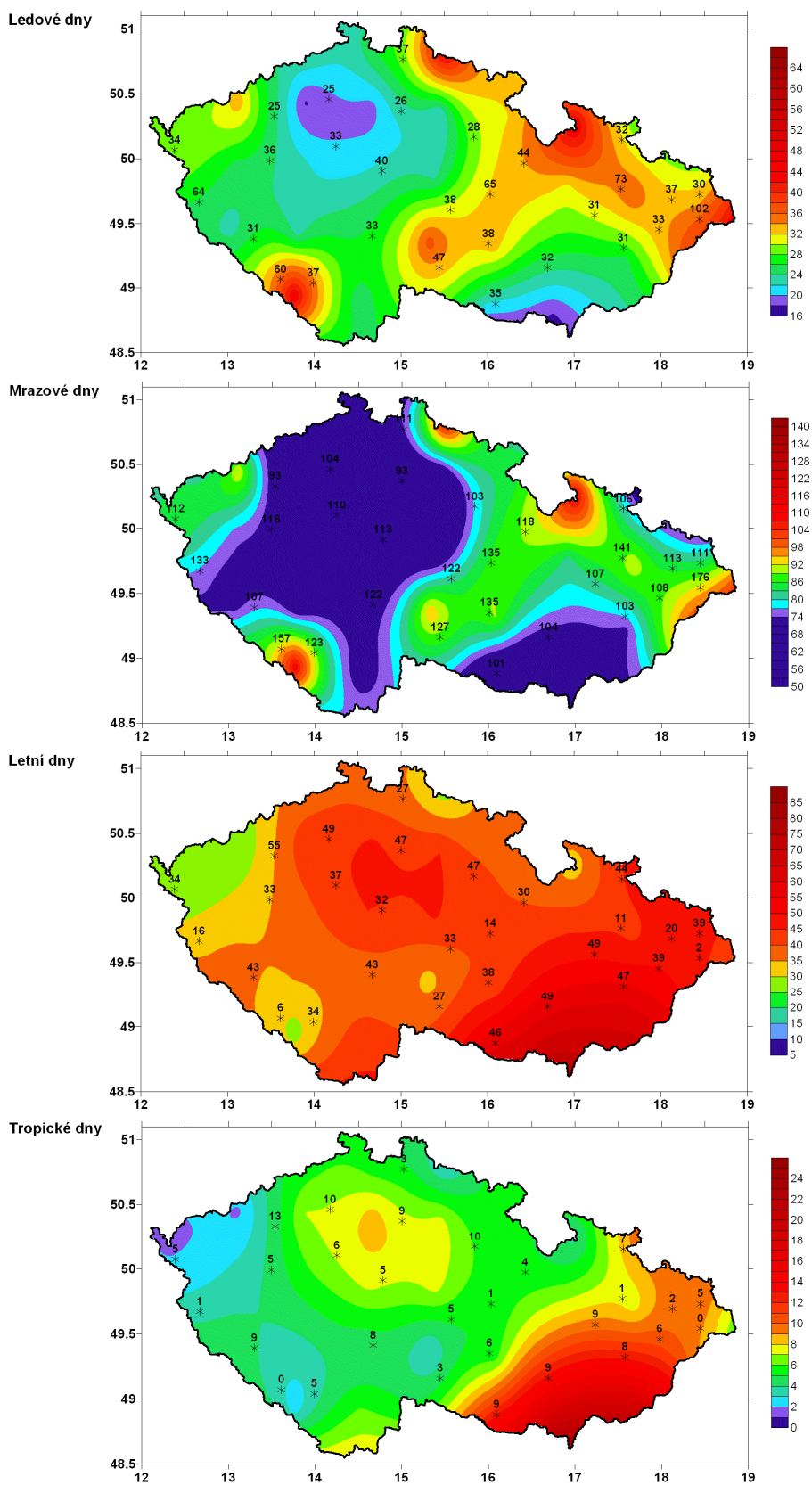
Obr. 5: Počty dnů s vybranými teplotními charakteristikami, které udávají meteorologická staniční měření (číselné hodnoty u vyznačených stanic) a které dává výstup kontrolní simulace HC\_CTL (barevná škála).

## Kontrolní simulace CTL



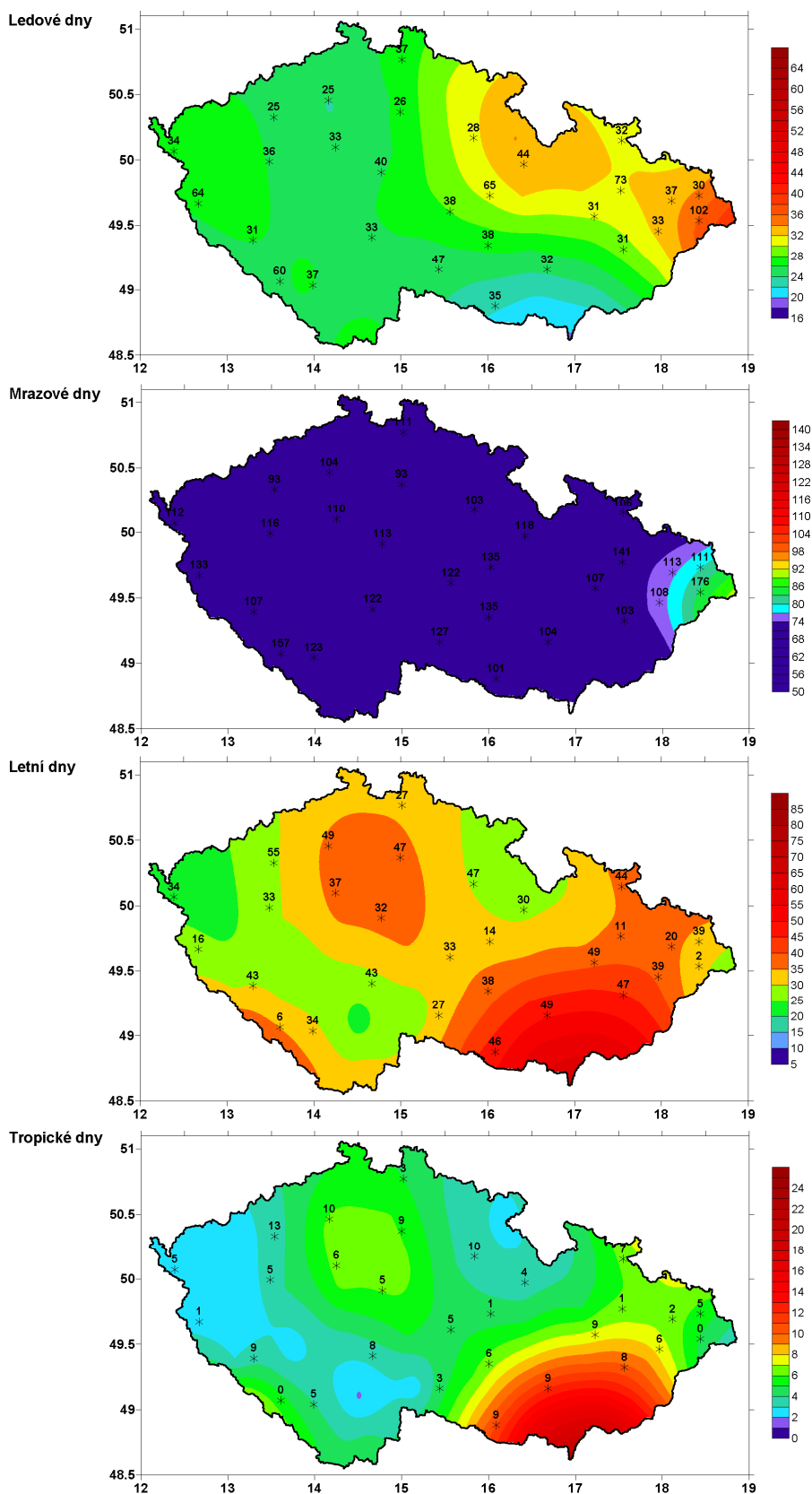
Obr. 6: Počty dnů s vybranými teplotními charakteristikami, které udávají meteorologická staniční měření (číselné hodnoty u vyznačených stanic) a které dává výstup kontrolní simulace CTL (barevná škála).

## Kontrolní simulace 3003



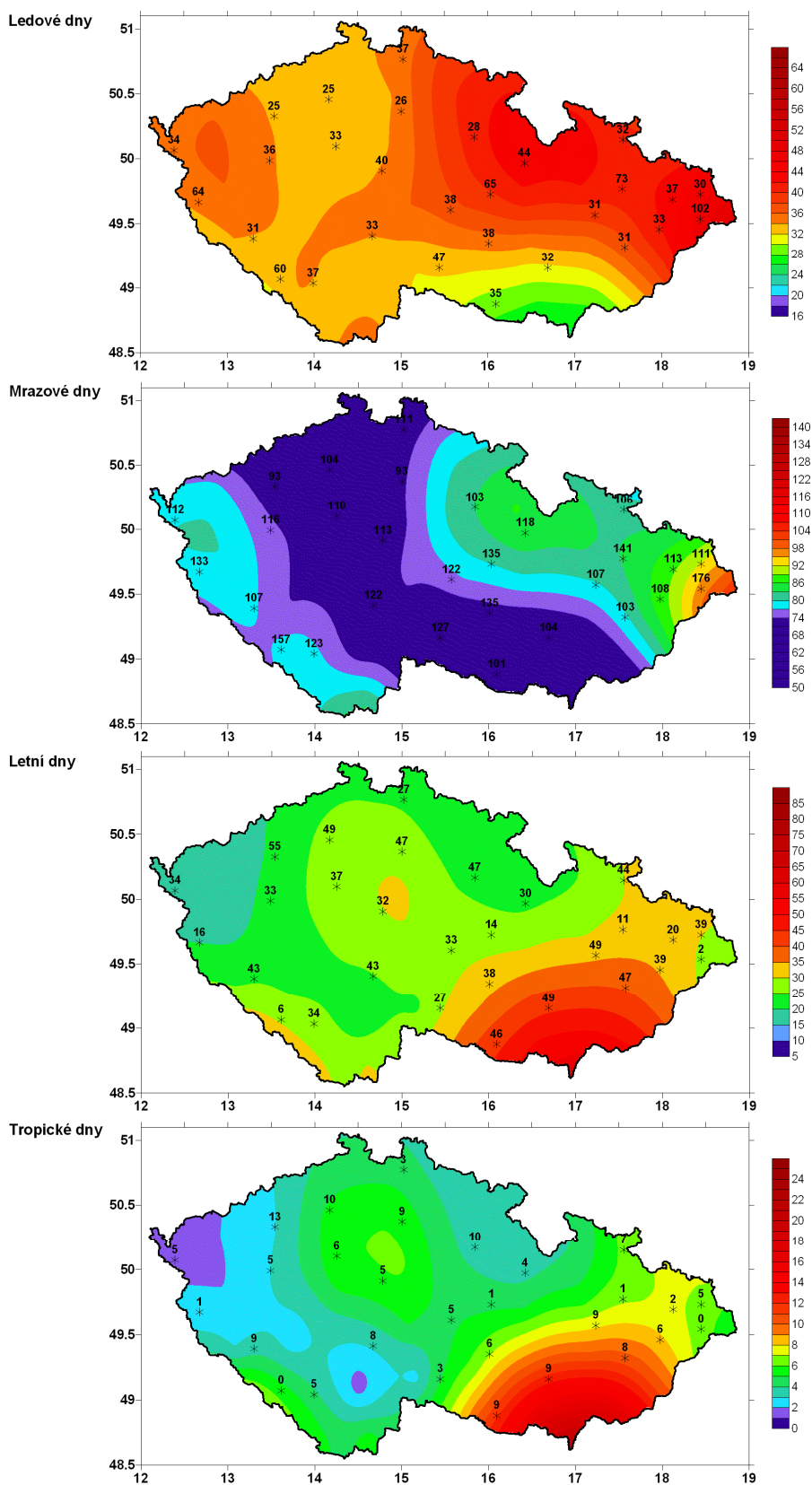
Obr. 7: Počty dnů s vybranými teplotními charakteristikami, které udávají meteorologická staniční měření (číselné hodnoty u vyznačených stanic) a které dává výstup kontrolní simulace 3003 (barevná škála).

## Kontrolní simulace HCCTL



Obr. 8: Počty dnů s vybranými teplotními charakteristikami, které udávají meteorologická staniční měření (číselné hodnoty u vyznačených stanic) a které dává výstup kontrolní simulace HCCTL (barevná škála).

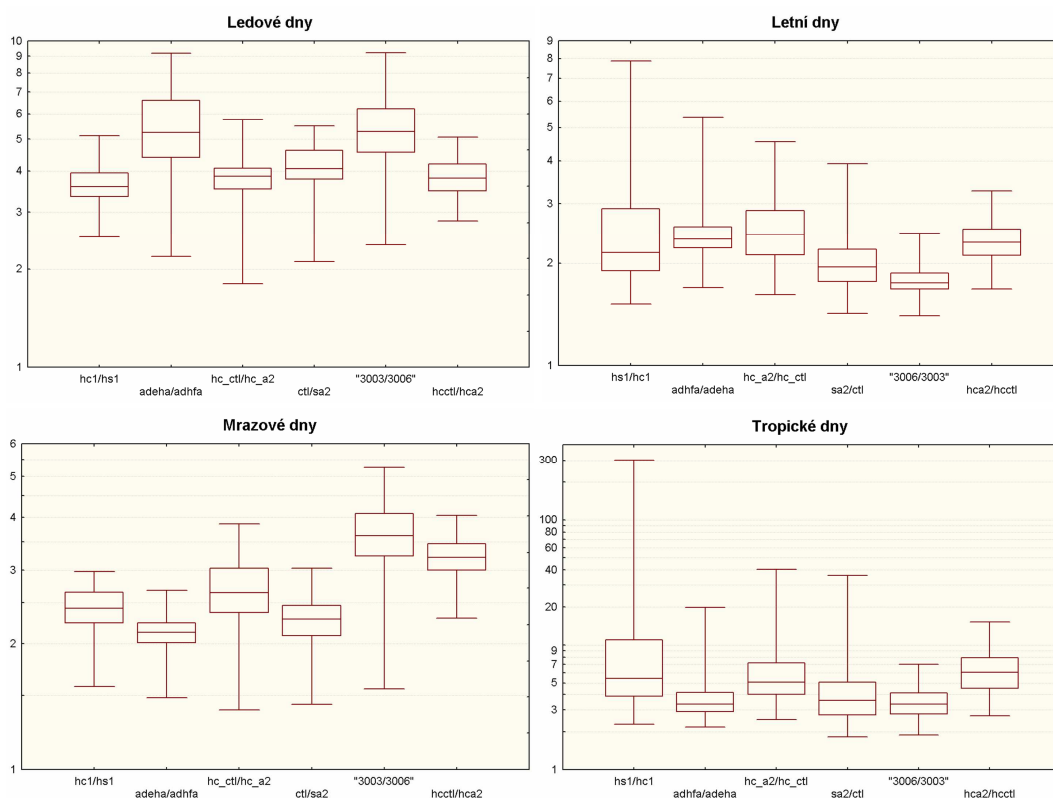
## Kontrolní simulace MPICTL



Obr. 9: Počty dnů s vybranými teplotními charakteristikami, které udávají meteorologická staniční měření (číselné hodnoty u vyznačených stanic) a které dává výstup kontrolní simulace MPICTL (barevná škála).

### 3.3 Simulace klimatu ČR pomocí různých regionálních modelů

V tomto porovnání sledujeme výstupy šesti různých regionálních klimatických modelů, které byly řízeny tímž globálním modelem HadAM3H (popřípadě HadAM3P). Zaměřujeme se tedy na otázku, nakolik se liší podoba budoucího regionálního klimatu simulovaná různými regionálními modely, pokud okrajové podmínky těchto modelů jsou totožné.



Obr. 10: Statistické srovnání relativní změny počtu dnů s příslušnou teplotní charakteristikou dané výstupy šesti regionálních modelů řízených globálním modelem HadAM. Svorky vyznačují maximální a minimální hodnoty udávané pro uzlové body simulace, box kvartily těchto hodnot, horizontální čára jejich medián.

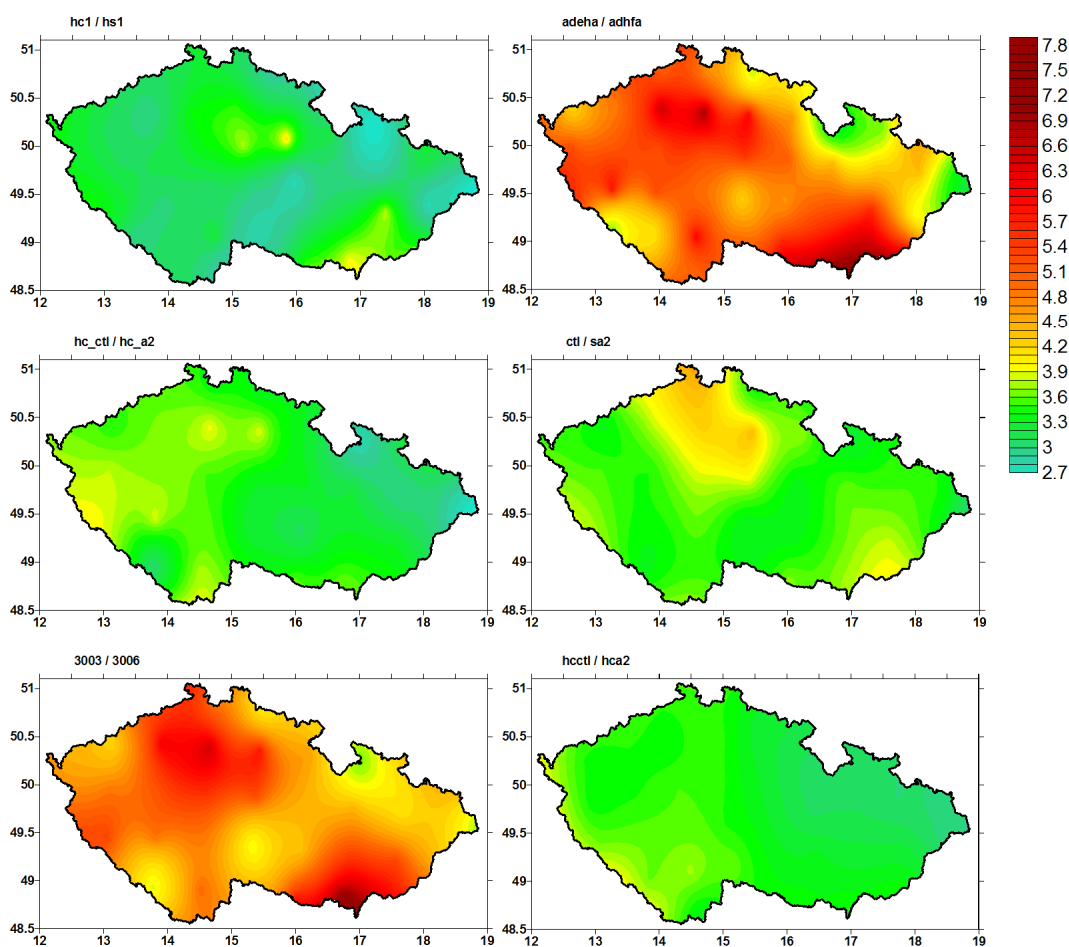
V relativní změně počtu letních a také mrazových dnů (které jsou v našich podmínkách časté) se výstupy jednotlivých simulací příliš neliší (viz obr. 10). V případě ledových a tropických dnů je rozptyl výstupů jednotlivých simulací větší. To je způsobeno tím, že tropických dnů je ve výstupech kontrolních simulací udáváno relativně málo, respektive v simulacích budoucího klimatu je obsaženo poměrně málo ledových dnů. Pro oba případy tedy platí, že malý rozdíl v absolutním počtu daných dnů se ve výsledku projeví poměrně výrazně, protože sledujeme relativní změnu. Ze stejného důvodu dávají výstupy simulací několik málo velmi odlehlých hodnot pro relativní nárůst počtu tropických dnů.

## Ledové dny

Výstupy čtyř ze šesti simulací se v relativní změně počtu ledových dnů prakticky shodují. Výstupy simulací HC\_A2, SA2, HCA2 a HS1 dávají přibližně čtyřnásobný pokles počtu ledových dnů. Výstupy zbylých dvou simulací (3006 a ADHFA) dávají jako medián pro všechny uzlové body hodnotu pětínásobného poklesu, přičemž pro některé oblasti v České republice dávají až šestnásobný pokles počtu ledových dnů.

Podle výstupů většiny simulací nastane nejmenší pokles počtu ledových dnů ve Slezsku a na východní Moravě. V těchto oblastech má být dvakrát až čtyřikrát méně ledových dnů. Výstupy shodně dávají také trojnásobný až čtyřnásobný pokles pro centrální Šumavu, kde má být podle simulací změna počtu ledových dnů relativně malá.

Poměrně výrazná shoda je také v tom, která oblast má největší pokles počtu ledových dnů: jedná se o území, které leží severovýchodně od Prahy. Udávané hodnoty relativní změny mají velký rozptyl, pohybují se přibližně mezi trojnásobným a osminásobným poklesem.



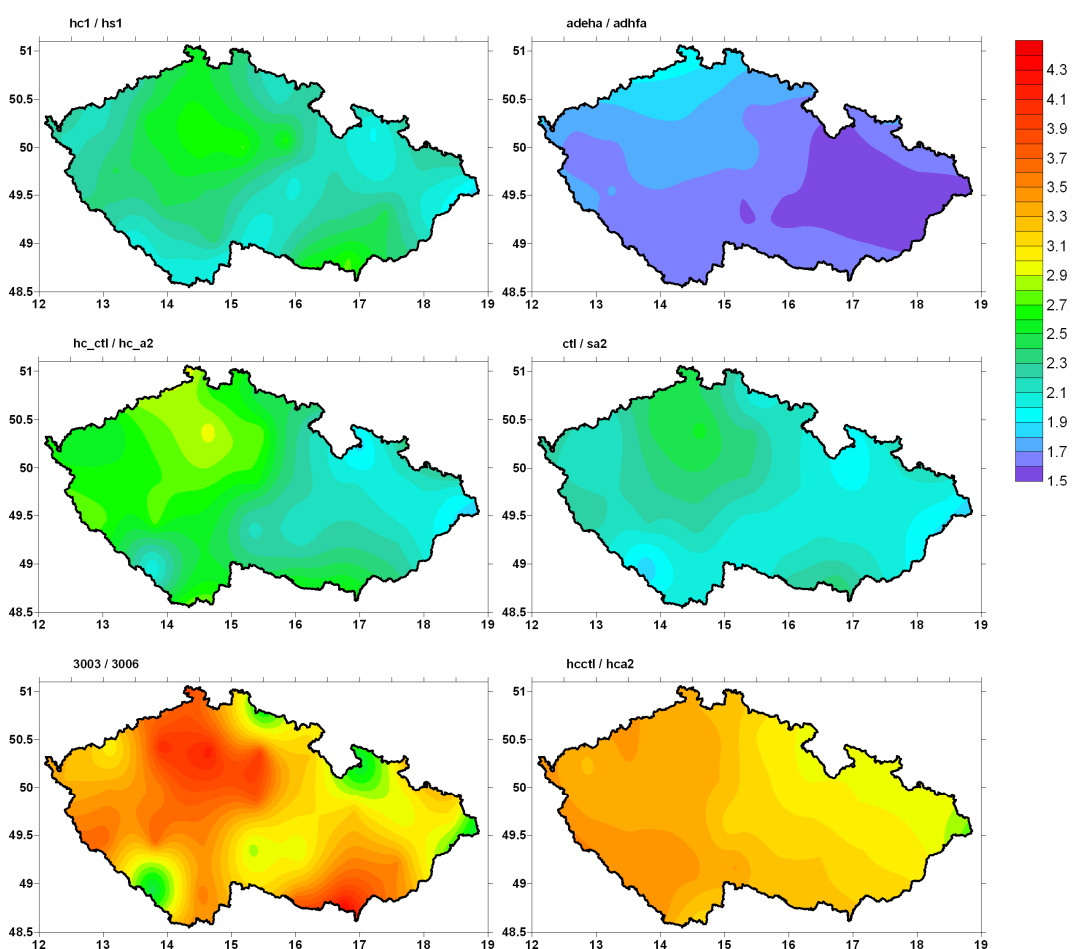
Obr. 11: Srovnání relativní změny počtu ledových dnů ve výstupech simulací klimatu ČR, které se liší použitým regionálním klimatickým modelem. Barevná škála popisuje udávaný pokles počtu ledových dnů.



## Mrazové dny

Výstupy čtyř simulací dávají pro většinu území dvojnásobný až trojnásobný pokles počtu mrazových dnů. Výstupy ostatních dvou simulací dávají výraznější pokles, a to trojnásobný až čtyřnásobný.

Výstupy všech simulací shodně dávají nejmenší pokles mrazových dnů pro východ republiky (jedenapůlnásobný až trojnásobný pokles). Stejně jako v případě ledových dnů shodují se výstupy simulací v tom, že největší úbytek mrazových dnů připadá na území severně a severovýchodně od Prahy. Kromě jedné simulace všechny dávají dvaapůlnásobný nebo větší pokles (až čtyřnásobný).

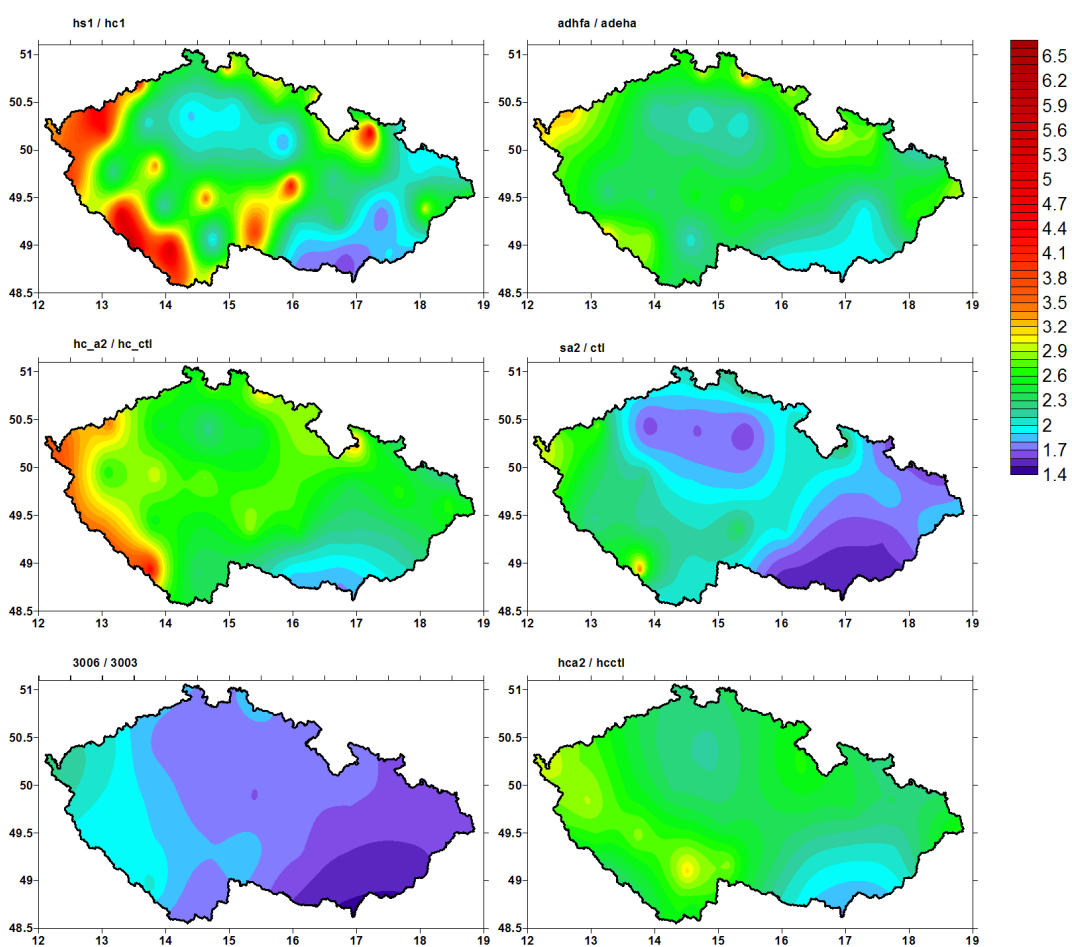


Obr. 12: Srovnání relativní změny počtu mrazových dnů ve výstupech simulací klimatu ČR, které se liší použitým regionálním klimatickým modelem. Barevná škála popisuje udávaný pokles počtu ledových dnů.

## Letní dny

Ve výstupech simulací leží většina udávaných hodnot relativního nárůstu počtu letních dnů v intervalu 1,5 – 3. Medián těchto hodnot je přibližně 2, přičemž výstup žádné simulace se od této hodnoty nijak výrazně neodlišuje. Výstupy tří simulací tuto hodnotu pro většinu uzlových bodů překračují (ADHFA, HC\_A2, HCA2 s mediány okolo 2,5), výstup jedné simulace udává pro většinu území menší relativní přírůstek počtu letních dnů (3006 s mediánem přibližně 1,7).

Ve výstupech většiny simulací jsou území s nejmenším nárůstem počtu letních dnů táž: území jižní Moravy a na severovýchod od Prahy. Pro jižní Moravu se počet letních dnů v simulacích pohybuje přibližně mezi jedenapůlnásobkem až dvojnásobkem ve srovnání s kontrolní simulací, pro území na severovýchod od Prahy přibližně mezi jedenapůlnásobkem a dvaapůlnásobkem. Výstupy se shodují (ovšem méně výrazně) také v tom, pro kterou oblast dávají nejvyšší nárůst počtu letních dnů: západní část republiky, nejvíce pak území Šumavy. Počet letních dnů se pohybuje od dvojnásobku do čtyřnásobku. Simulace HS1 dokonce pro tuto území udává až šestnásobný nárůst.

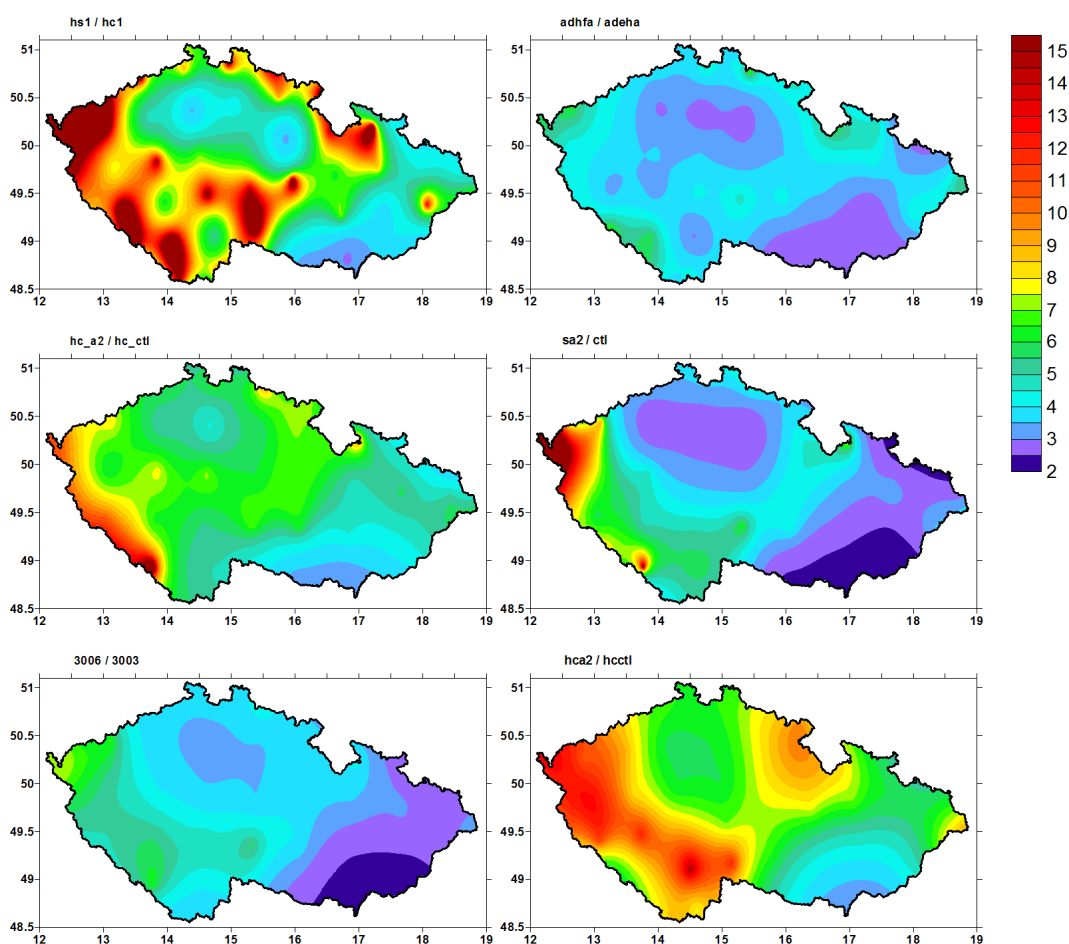


Obr. 13: Srovnání relativní změny počtu letních dnů ve výstupech simulací klimatu ČR, které se liší použitým regionálním klimatickým modelem. Barevná škála popisuje udávaný pokles počtu ledových dnů.

## Tropické dny

Z hlediska nárůstu počtu tropických dnů můžeme výstupy modelů rozdělit na dvě stejně početné skupiny: ve výstupech ADHFA, SA2 a 3006 se objevuje pro většinu území dvojnásobný až čtyřnásobný nárůst, ve výstupech HS1, HC\_A2 a HCA2 je to pro většinu území přinejmenším čtyřnásobný nárůst. (V případě HS1 je to pro značnou část jižních a západních Čech dokonce více než desetinásobný nárůst.)

Pomineme-li dramaticky vyšší hodnoty nárůstu počtu tropických dnů (které jsou způsobené malým počtem tropických dnů v referenční, tedy kontrolní simulaci), platí pro změnu počtu tropických dnů totéž co pro počty dnů letních: nejmenší nárůst dávají simulace pro jižní Moravu (dvojnásobný až trojnásobný) a pro území na severovýchod od hlavního města (dvaapůlnásobný až čtyřnásobný), naopak největší nárůst počtu tropických dnů dávají pro jihozápadní (mezi čtyřnásobným až patnáctinásobným nárůstem) a západní (více než patnáctinásobný nárůst) okraji republiky.



Obr. 14: Srovnání : Srovnání relativní změny počtu tropických dnů ve výstupech simulací klimatu ČR, které se liší použitým regionálním klimatickým modelem. Barevná škála popisuje udávaný pokles počtu ledových dnů.

## **Shrnutí výstupů simulací pracujících s různými regionálními modely**

Použití různých regionálních klimatických modelů při stejných okrajových podmínkách (stejném řídicím globálním modelu) vede k výstupům, které mají nezanedbatelný rozptyl, nicméně ve všech případech můžeme vysledovat výrazně převažující hodnoty relativní změny počtu dnů s příslušnou charakteristikou. Kdybychom chtěli na základě výstupů těchto šesti simulací stanovit očekávatelný vývoj, řekli bychom, že ledových dnů bude ke konci století čtyřikrát méně, mrazových dnů dvaapůlkrát méně. Letních dnů by mělo být naopak dvaapůlkrát víc, tropických dnů pak čtyřikrát více.

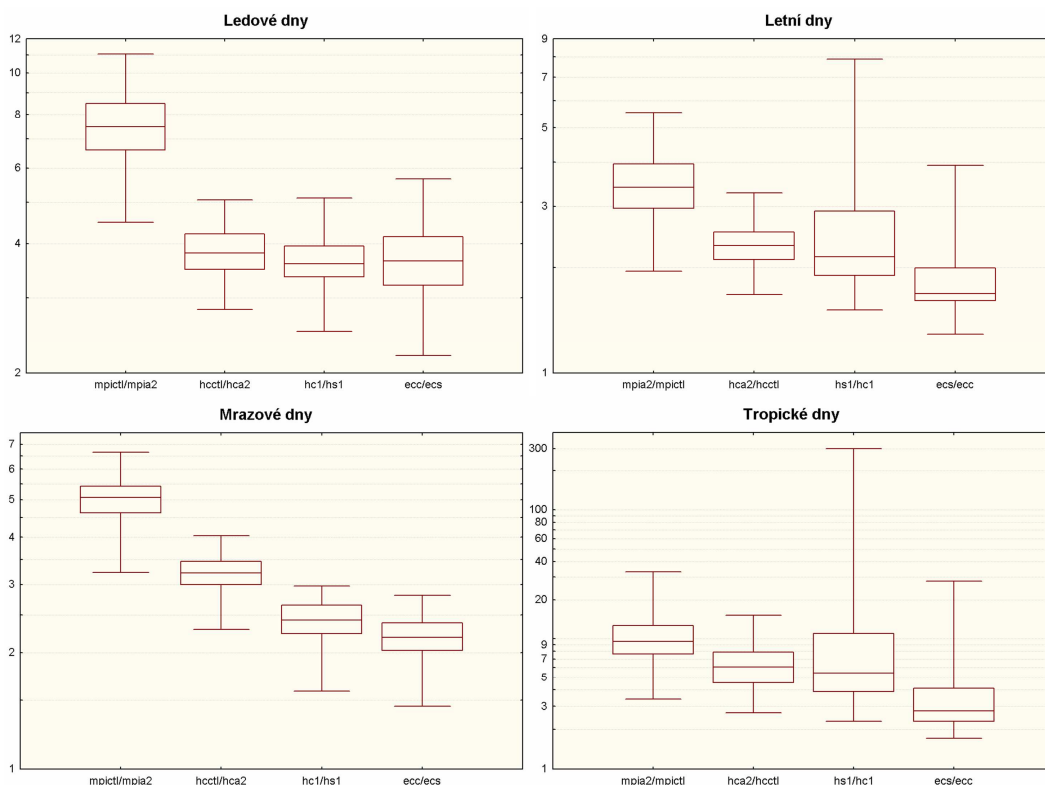
Výstupy modelů popisují v případě počtu ledových a mrazových dní výrazně více uniformní změnu než v případě letních a tropických dní. To ukazuje na skutečnost, že v simulovaném budoucím klimatu jsou „teplé“ extrémy daleko častější než „chladné“. Zima je daleko mírnější, zatímco v teplejší polovině roku se tropické dny začínají vyskytovat i v oblastech, kde v současných klimatických podmínkách jsou jen zřídka.

Výstupy modelů ukazují na klimaticky relativně stálá území: jižní Morava a území na severovýchod od Prahy (tedy nížiny a roviny). Nárůst počtu letních a tropických dnů je pro tato území – stejně jako pokles počtu mrazových a ledových dnů – nejmenší.

Použití různých regionálních klimatických modelů v simulacích klimatu tedy vede k odlišným výstupům, nicméně shoda jednotlivých výstupů je vesměs dobrá. Výstupy několika málo simulací se v některých případech od výstupů ostatních simulací odlišují výrazněji, nicméně vždy se jedná spíše o výjimečnou neshodu v jinak relativně jednotném souboru výstupů.

### 3.4 Simulace klimatu ČR řízené různými globálními modely

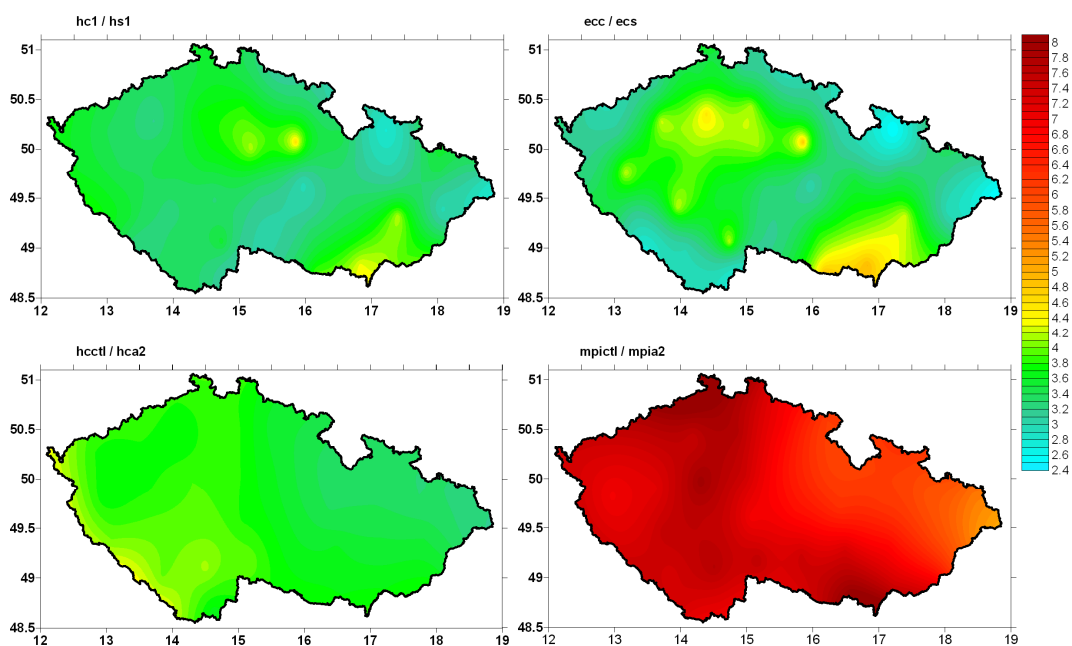
V tomto porovnání sledujeme výstupy dvou dvojic simulací. Dva regionální klimatické modely (HIRHAM a RCAO) simulovaly klima při dvou různých okrajových podmínkách pocházejících z různých globálních klimatických modelů (HadAM a ECHAM). Chceme tedy zjistit, jak výrazné změny v simulacích místního klimatu způsobuje použití různých řídicích globálních modelů.



Obr. 15: Statistické srovnání relativní změny počtu dnů s příslušnou teplotní charakteristikou dané výstupy dvou regionálních modelů řízených dvakrát různým globálním modelem. Svorky vyznačují maximální a minimální hodnoty udávané pro uzlové body simulace, box kvartily těchto hodnot, horizontální čára jejich medián.

## Ledové dny

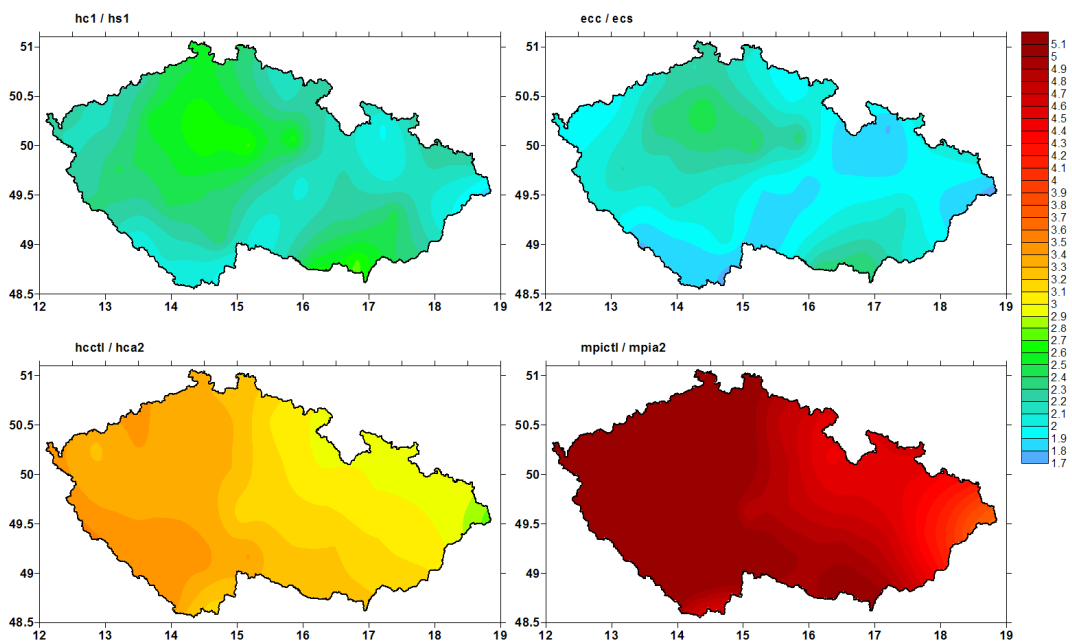
Výstupy simulací ECS a HS1 (model HIRHAM) jsou téměř totožné, dávají přibližně tříapůlnásobný pokles počtu ledových dnů pro celou Českou republiku. Výstupy simulací HCA2 a MPIA2 (model RCAO) se ale dramaticky odlišují. Zatímco výstup HCA2 je v dobré shodě s výstupy ECS a HS1, tedy dává trojnásobný až čtyřnásobný pokles počtu ledových dnů, pokles ve výstupu MPIA2 je šestinásobný až osminásobný pro území celé České republiky.



Obr. 16: Srovnání relativní změny počtu ledových dnů ve výstupech simulací klimatu ČR, které se liší použitým regionálním klimatickým modelem. Barevná škála popisuje udávaný pokles počtu ledových dnů.

## Mrazové dny

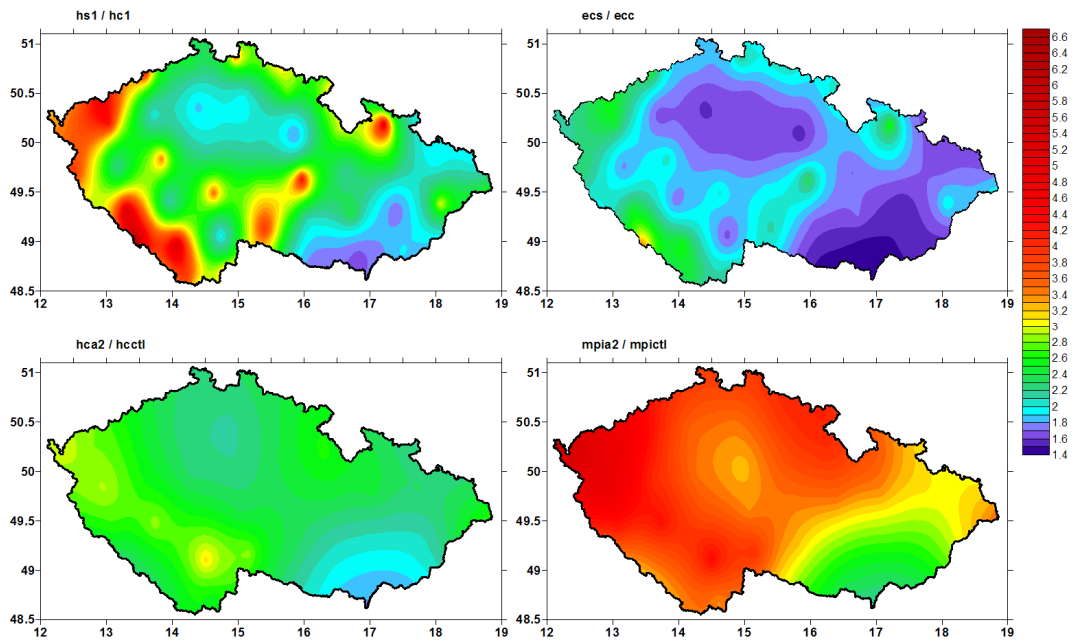
Pro relativní změnu počtu mrazových dnů je situace obdobná. Simulace HS1 a ECS obsahují zhruba dvaapůlkrát méně mrazových dnů než kontrolní simulace a jsou v dobré shodě. V případě simulací HCA2 a MPIA2 se ovšem různost řídicích dat opět velmi výrazně projevuje: výstup HCA2 dává přibližně trojnásobný pokles pro celou republiku, ovšem v případě MPIA2 je to pro většinu území přibližně pětinasobný pokles počtu mrazových dnů.



Obr. 17: Srovnání relativní změny počtu mrazových dnů ve výstupech simulací klimatu ČR, které se liší použitým regionálním klimatickým modelem. Barevná škála popisuje udávaný pokles počtu ledových dnů.

## Letní dny

Rozdílnost výstupů z hlediska relativní změny počtu letních dnů není tak výrazná, ovšem kvalitativně je situace obdobná: výstupy ECS a HS1 dávají přibližně dvojnásobný, respektive dvaapůlnásobný nárůst počtu letních dnů, zatímco výstupy HCA2 a MPIA2 dávají dvaapůlnásobný, respektive třiapůlnásobný nárůst počtu letních dnů. Rozdílnost výstupů je tedy opět větší pro dvojici simulací HCA2 a MPIA2.

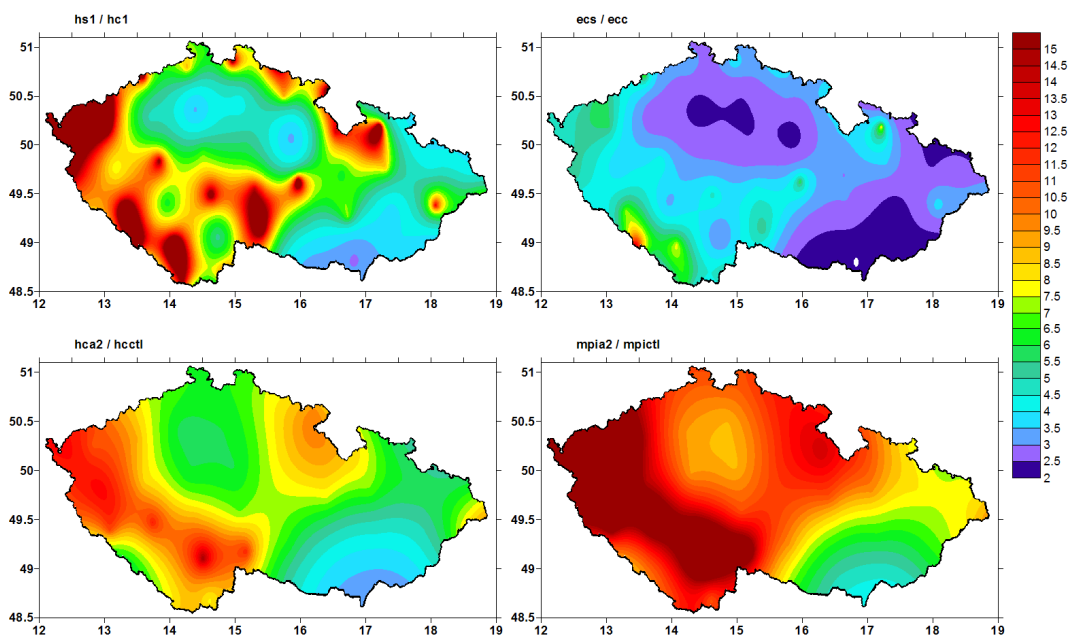


Obr. 18: Srovnání relativní změny počtu letních dnů ve výstupech simulací klimatu ČR, které se liší použitým regionálním klimatickým modelem. Barevná škála popisuje udávaný pokles počtu ledových dnů.



## Tropické dny

V případě relativní změny počtu tropických dnů je situace opačná než v předchozích případech. Dvojice simulací ECS a HS1 (model HIRHAM) má více odlišné výstupy než dvojice pracující s modelem RCO, tedy simulace HCA2 a MPIA2. Výstup ECS dává přibližně trojnásobný nárůst počtu tropických dnů, výstup HS1 zhruba šestinásobný nárůst. Ovšem v simulaci HCA2 přibývají tropické dny v průměru asi šestinásobně a v případě simulace MPIA2 přibližně devítinásobně.



Obr. 19: Srovnání relativní změny počtu tropických dnů ve výstupech simulací klimatu ČR, které se liší použitým regionálním klimatickým modelem. Barevná škála popisuje udávaný pokles počtu ledových dnů.

## **Shrnutí výstupů simulací řízených různými globálními modely**

Ve výstupu simulace MPIA2 (řízené modelem ECHAM) sledujeme ve srovnání s výstupem HCA2 (řízené modelem HadAM) ve všech případech výrazně větší změny: změna dávaná MPIA2 je zhruba dvojnásobná ve srovnání s HCA2. Oproti tomu výstupy simulací ECS a HC1 se poměrně dobře shodují a různost řídicích dat se v těchto simulacích neprojevuje nijak výrazně. Jedinou výjimkou je relativní změna počtu tropických dnů, která je ve výstupu HS1 přibližně dvakrát větší (zhruba šestinásobný nárůst) než ve výstupu ECS (zhruba trojnásobný nárůst).

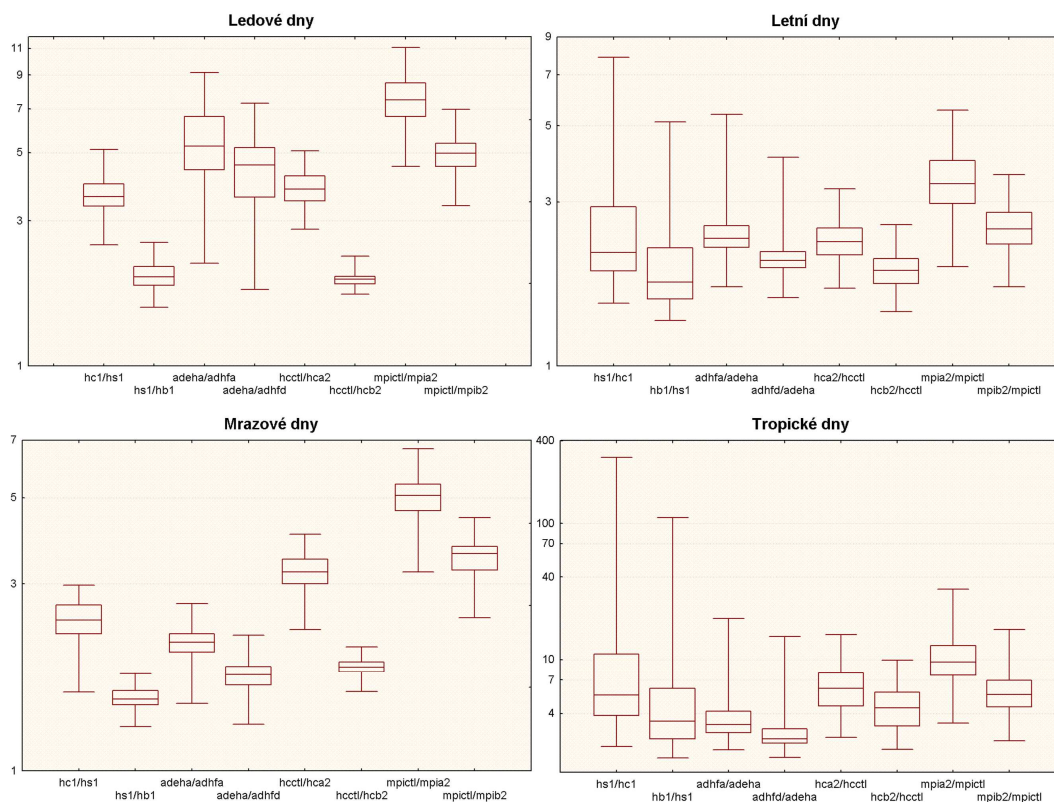
Zajímavá je skutečnost, že v případě simulací HCA2 a MPIA2 obsahovala výraznější změny počtu dnů s vybranými teplotními charakteristikami simulace řízená globálním modelem ECHAM, zatímco z dvojice simulací ECS a HS1 nacházíme výraznější změny ve výstupu simulace, která je řízena modelem HadAM, tedy simulace HS1. Tento rozdíl může být způsobem tím, že simulace ECS byla řízena verzí ECHAM5, zatímco simulace MPIA2 byla řízena starší verzí tohoto modelu ECHAM4.

V projektu PRUDENCE je k dispozici příliš málo simulací, abychom mohli vyvozovat jednoznačné závěry o míře vlivu řídicích globálních modelů. Nicméně můžeme odhadovat, že vliv řídicích dat je značný. Podíváme-li se na odlišnosti ve výstupech regionálních modelů řízených stejným globálním modelem (kapitola 3.3), nacházíme podobně výrazné rozdíly jako v tomto srovnání, nicméně pro žádnou dvojici modelů neplatí, že by výstup jednoho dával ve všech případech větší či menší relativní změnu počtu dnů s příslušnou charakteristikou. V tomto srovnání ale taková situace nastává prakticky v obou případech, byť pro dvojici simulací pracujících s regionálním modelem HIRHAM není odlišnost výstupů nijak výrazná.

Toto srovnání tedy poukazuje na skutečnost, že řídicí globální model pravděpodobně má podstatný vliv na simulaci regionálního klimatu. Rozdíly v simulacích způsobené aplikací různých globálních modelů mohou být i velmi výrazné (jak je vidět v případě simulací MPIA2 a HCA2).

### 3.5 Simulace klimatu ČR vycházející z různých emisních scénářů

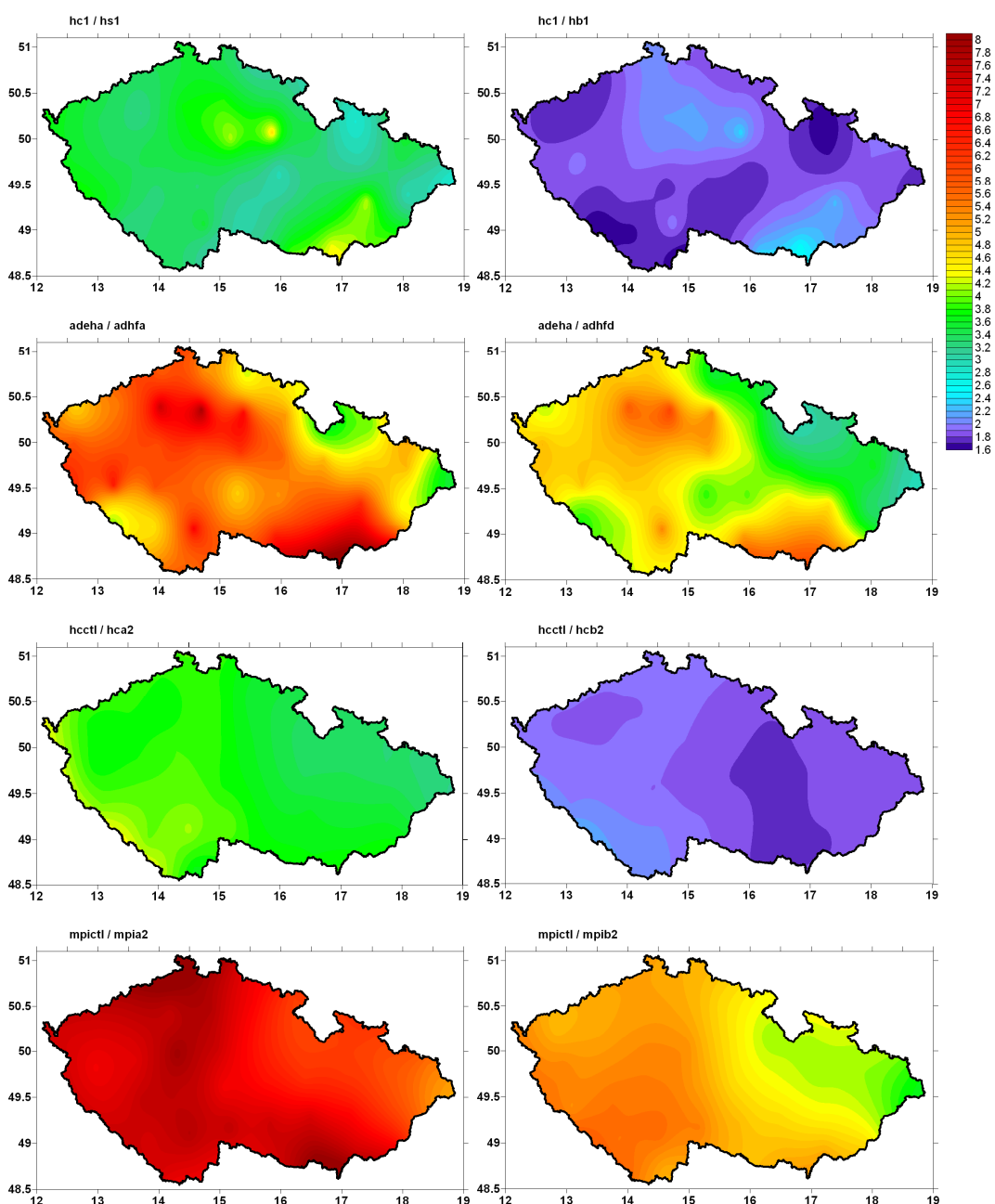
V tomto srovnání se zaměřujeme na rozdíly, které ve výstupech simulací způsobuje použití různých emisních scénářů. V projektu PRUDENCE simulace vycházely ze scénářů A2 a B2. Nyní se budeme soustředit na čtyřikrát dvě simulace, které se od sebe liší pouze použitím těchto dvou různých emisních scénářů.



Obr. 20: Statistické srovnání relativní změny počtu dnů s příslušnou teplotní charakteristikou dané výstupy čtyř dvojic simulací. V každé dvojici se simulace liší pouze v zahrnutém emisním scénáři (A2 nebo B2). Svorky vyznačují maximální a minimální hodnoty udávané pro uzlové body simulace, box kvartily těchto hodnot, horizontální čára jejich medián.

## Ledové dny

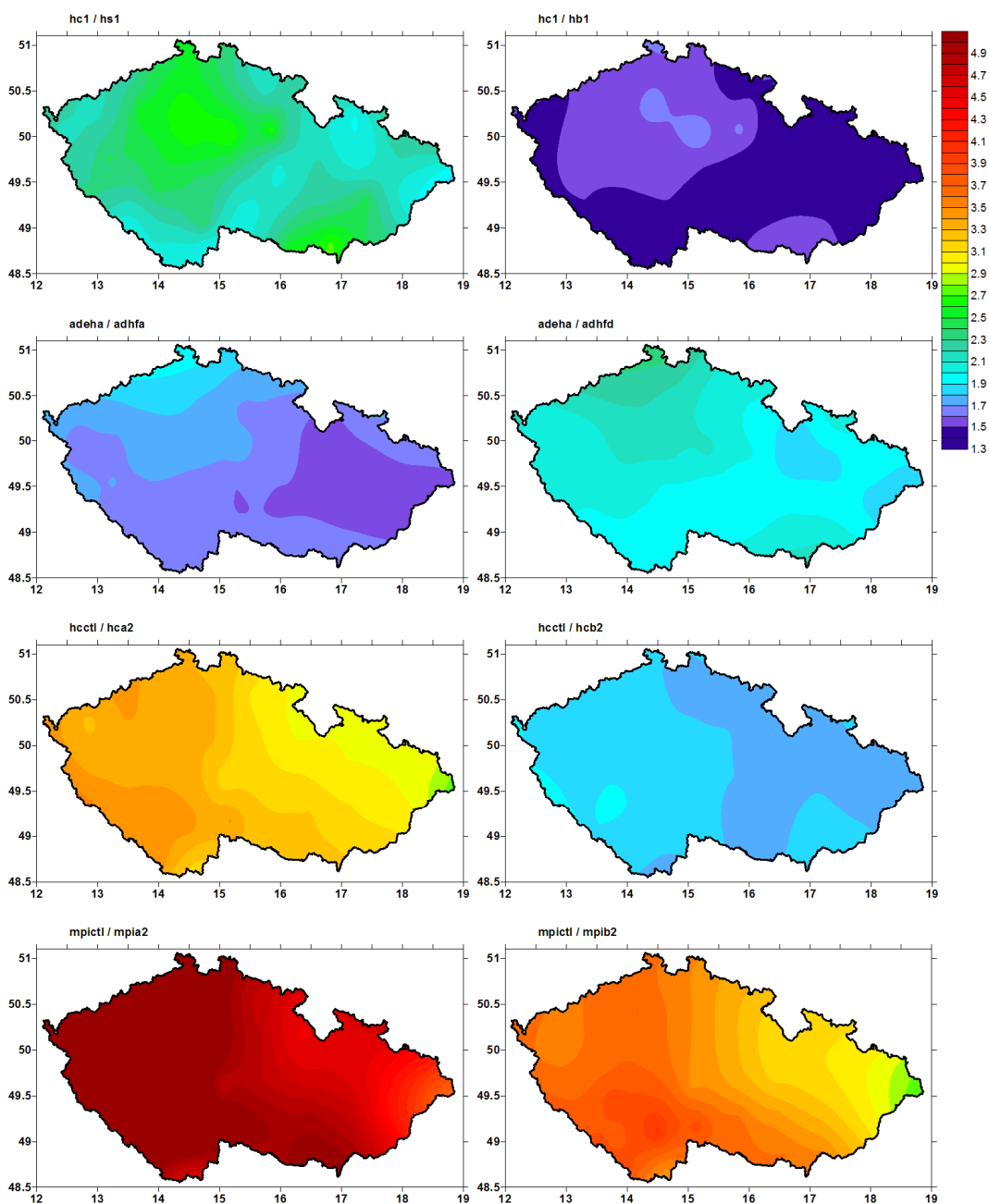
V simulacích ADHFA a ADHFD ubývá počet ledových dnů srovnatelně (okolo pětinasobného úbytku), stejně tak ve dvojici simulací MPIA2 a MPIB2 (přibližně pětinasobný a sedminásobný úbytek). Ovšem pro výstupy zbývajících dvou dvojic platí, že simulace vycházející ze scénáře A2 dává přibližně dvakrát větší pokles počtu ledových dnů než simulace vycházející ze scénáře B2. Pro obě dvojice platí, že simulace se scénářem B2 dává zhruba dvakrát menší počet ledových dnů než referenční simulace, zatímco simulace se scénářem A2 dává čtyřikrát menší počet.



Obr. 21: Srovnání relativní změny počtu ledových dnů ve výstupech simulací klimatu ČR, které se liší použitým regionálním klimatickým modelem. Barevná škála popisuje udávaný pokles počtu ledových dnů.

## Mrazové dny

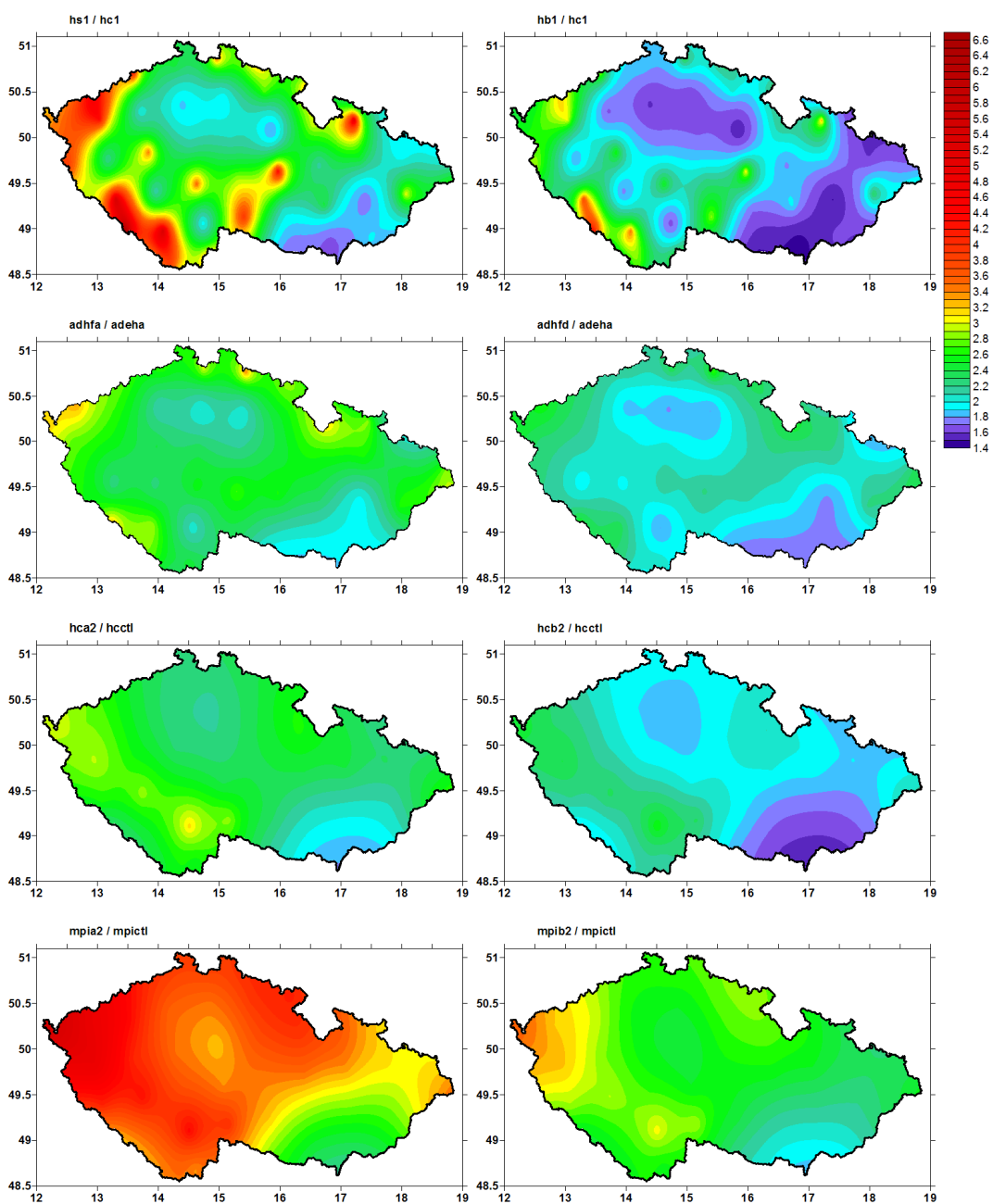
Mrazové dny jsou ve všech simulacích založených na scénáři B2 zhruba o polovinu častější než v simulacích vycházejících ze scénáře A2. V simulacích vycházejících ze scénáře B2 se ve srovnání s kontrolní simulací v průměru vyskytuje zhruba poloviční počet mrazových dnů, zatímco v simulacích vycházejících ze scénáře A2 je to průměrně zhruba třetinový počet. Výjimku tvoří simulace MPIA2 a MPIB2, ve kterých je situace výrazně dramatičtější: úbytek mrazových dnů přibližně na třetinu (MPIB2), respektive na pětinu (MPIA2).



Obr. 22: Srovnání relativní změny počtu mrazových dnů ve výstupech simulací klimatu ČR, které se liší použitým regionálním klimatickým modelem. Barevná škála popisuje udávaný pokles počtu ledových dnů.

## Letní dny

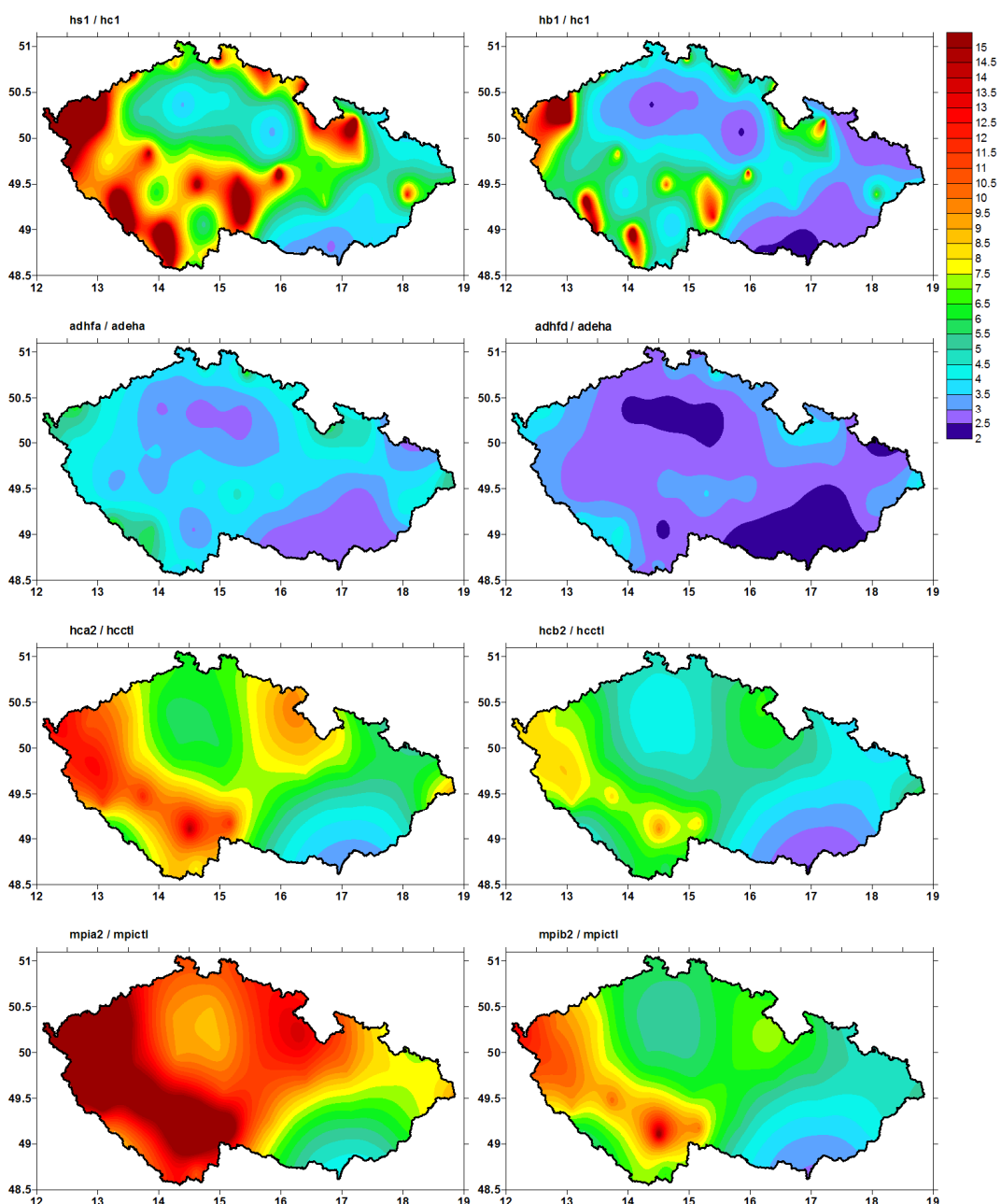
Letní dny jsou v „pesimističtějších“ simulacích zahrnujících scénář A2 častější než v simulacích se scénářem B2, ale rozdíl není tak veliký jako v případě mrazových dnů. Relativní změna je pro simulace se scénářem A2 (vesměs téměř trojnásobný nárůst počtu letních dnů) zhruba o 25% větší než pro simulace se scénářem B2 (okolo dvojnásobného nárůstu počtu letních dnů). Simulace MPIA2 a MPIB2 se i v tomto případě výrazně odchyľují od ostatních dvojic a dávají výraznější změnu.



Obr. 23: Srovnání relativní změny počtu letních dnů ve výstupech simulací klimatu ČR, které se liší použitým regionálním klimatickým modelem. Barevná škála popisuje udávaný pokles počtu ledových dnů.

## Topické dny

Tropické dny jsou ve výstupech dvojic simulací zastoupeny v podobném poměru jako mrazové dny: pro všechny dvojice dává výstup simulace se scénářem A2 zhruba o polovinu větší relativní změnu než simulace se scénářem B2. Výstupy simulací zahrnujících scénář B2 dávají v průměru asi čtyřnásobný počet tropických dnů, zatímco výstupy simulací zahrnujících scénář A2 dávají v průměru více než pětinašobný nárůst.



Obr. 24: Srovnání relativní změny počtu tropických dnů ve výstupech simulací klimatu ČR, které se liší použitým regionálním klimatickým modelem. Barevná škála popisuje udávaný pokles počtu ledových dnů.

## **Shrnutí výstupů simulací vycházejících z různých emisních scénářů**

Pro převažující většinu případů platí, že simulace klimatu za předpokladu vývoje emisí a koncentrace skleníkových plynů podle scénáře A2 dávají zhruba o polovinu větší relativní změnu než podle scénářů B2. Geografické rozložení relativní změny počtu dnů s příslušnými charakteristikami je pro výstupy všech dvojic simulací kvalitativně stejné, výstupy se liší pouze udávanou velikostí změny.

Kdybychom sledovali průměrnou relativní změnu počtu dnů s příslušnou charakteristikou, kterou dávají výstupy zde srovnávaných simulací, mohli bychom konstatovat, že podle simulací pracujících se scénářem B2 bude mrazových dnů dvakrát méně a letních dnů naopak dvakrát více. Oproti tomu podle simulací vycházejících ze scénáře A2 bude třikrát méně mrazových dnů a trojnásob letních dnů. Použití scénáře B2 vede k třetinovému počtu ledových dnů v simulaci, zatímco použití scénáře A2 vede k méně než čtvrtinovému počtu. Pro tropické dny dávají simulace čtyřnásobný počet (scénář B2), respektive v průměru asi šestinásobný počet (A2) ve srovnání s kontrolními běhy.



## 4 ZÁVĚR

V prezentované práci byl analyzován výskyt dnů s charakteristickou teplotou vzduchu v regionálních simulacích současného a budoucího klimatu. Zároveň byl zkoumán i rozptyl výsledků daný aplikací různých globálních a regionálních modelů a dvou různých emisních scénářů. Ukazuje se, že použití různých řídicích dat (různý globální model nebo jiný emisní scénář) způsobuje větší rozdíl ve výstupech simulací než použití různých regionálních modelů.

Kdybychom při odhadu podoby budoucího klimatu vycházeli ze simulací řízených globálním modelem HadAM a vycházejících z emisního scénáře A2, řekli bychom, že ledových dnů bude ke konci století čtyřikrát méně, mrazových dnů dvaapůlkrát méně. Letních dnů dvaapůlkrát přibude a tropických dnů bude čtyřikrát více.

Lze ovšem očekávat, že použití jiných řídicích dat vede k poněkud jiným výsledkům. Ve výstupech studovaných simulací se ukázalo, že vycházejí-li řídicí data ze scénáře A2, dávají přibližně o 50 % větší relativní změnu počtu dnů s příslušnou teplotní charakteristikou než simulace, které vycházejí ze scénáře B2.

Nicméně výstupy všech studovaných simulací budoucího klimatu značí, že teplé extrémy budou daleko častější než chladné. Zimní sezóna je v simulacích znatelně mírnější, zatímco v létě se na příklad tropické dny začínají vyskytovat i v některých horských oblastech, kde se v současnosti prakticky nepozorují. Nejméně výraznou relativní změnu klimatu udávají výstupy simulací pro jižní Moravu a území na severovýchod od Prahy, tedy pro nížiny a roviny.

## LITERATURA

[1] Christensen J. H., Christensen O. B. (2007): a summary of the PRUDENCE model projection of changes in European climate by the end of this century. *Climatic Change* 81, 7–30.

[2] IPCC (2007): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. IPCC, WMO, UNEP, Paris.

[3] Nakicenovic N, Alcamo J., Davis D., de Vries B., Fenhann J., Gaffin S., Gregory K., Grübler A., Jung T.Y., Kram T., La Rovere E.L., Michaelis L., Mori S., Morita T., Pepper W., Pitcher H., Price L., Riahi K., Roehrl A., Rogner H.-H., Sankovski A., Schlesinger M., Shukla P., Smith S., Swart R., van Rooijen S., Victor N., Dadi Z. (2000): Emissions Scenarios. a Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, New York. (dostupné na <http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf>)

[4] Český hydrometeorologický ústav, Univerzita Palackého v Olomouci (2007): Atlas podnebí České republiky. Univerzita Palackého v Olomouci – Vydavatelství, Praha, Olomouc.