

Univerzita Karlova v Praze  
Matematicko-fyzikální fakulta

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Eva Plavcová

### Statistické charakteristiky výstupů regionálních klimatických modelů

Katedra meteorologie a ochrany prostředí  
Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Jiří Mikšovský, Ph.D.  
Studijní program: Obecná fyzika

2006

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

V Praze dne 23. května 2006

Eva Plavcová

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>4</b>
1.1	Počasí, klima . . . . .	4
1.2	Skleníkový efekt . . . . .	4
1.3	Změna klimatu . . . . .	4
1.4	Příklady pozorovaných změn klimatu . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Klimatické modely</b>	<b>6</b>
2.1	Regionální klimatické modely . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Měření teplot</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Statistické pojmy</b>	<b>7</b>
4.1	Průměr . . . . .	7
4.2	Medián . . . . .	7
4.3	Percentil . . . . .	8
<b>5</b>	<b>Zpracování</b>	<b>8</b>
5.1	Zpracované hodnoty v grafech a tabulkách . . . . .	10
5.2	Vyhodnocení . . . . .	19
5.3	Závislost teplotních charakteristik na poloze stanic . . . . .	19
5.4	Závislost teplotních charakteristik na nadmořské výšce stanic	20
5.5	Vliv geografické polohy stanice . . . . .	22
5.6	Mezikvartilová rozpětí . . . . .	22
5.7	Charakteristiky klimatických modelů . . . . .	23
<b>6</b>	<b>Závěr</b>	<b>23</b>

Název práce: Statistické charakteristiky výstupů regionálních klimatických modelů

Autor: Eva Plavcová

Katedra: Katedra meteorologie a ochrany prostředí

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

e-mail vedoucího: Jiri.Miksovsky@mff.cuni.cz

**ABSTRAKT:** Klimatický model je zjednodušená matematická reprezentace klimatického systému Země. Pro regionální modely HIRHAM a RCOA byla analyzována jejich schopnost reprodukovat teplotní charakteristiky. Jejich výstupy byly porovnány s hodnotami naměřenými na 9 meteorologických stanicích v České republice pro referenční období 1961 až 1990. Měsíční a čtvrtletní průměry teplot jsou vyneseny ve formě grafů a tabulek pro jednotlivé oblasti a jsou diskutovány jejich závislosti na vybraných faktorech, například na poloze a nadmořské výšce stanice. Zkoumané modely byly schopné vystihnout základní chování průměrů teplot, přesto jsou v některých případech patrné odchylky od reálného klimatu. Hlavním zdrojem neshody se zdají být rozdíly v nadmořské výšce stanic a vybraných gridových bodů. Také se projevují rozdíly mezi jednotlivými obdobími roku.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** Klimatické modely, teplotní charakteristiky, porovnání

Title: Statistical characteristics of the regional climate models outputs

Author: Eva Plavcová

Department: Department of Meteorology and Environment Protection

Supervisor: Mgr. Jiří Mikšovský, Ph.D.

Supervisor's e-mail address: Jiri.Miksovsky@mff.cuni.cz

**ABSTRACT:** The climate model is a simplified mathematical representation of the Earth's climate system. Two regional climate models, HIRHAM and RCOA, were analyzed here with respect to their ability to reproduce temperature characteristics. Their outputs were compared to the values measured at 9 meteorological stations in the Czech republic for the reference period 1961 - 1990. The monthly and seasonal mean temperatures were displayed in the form of graphs and tables for each location and discussed with respect to their dependence on various factors such as position of the station or its altitude. Although the analyzed models were able to capture basic characteristics of mean temperature, deviations from real climate were profound in some cases. A major source of discrepancies seems to be difference in altitudes of the station and the respective model grid point. There are also noticeable differences between individual seasons of the year.

**KEYWORDS:** Climate models, temperature characteristics, comparison

# 1 Úvod

## 1.1 Počasí, klima

Počasí je definováno jako okamžitý stav atmosféry nad daným místem a vývoj jednotlivých synoptických systémů ze dne na den. Počasí se může měnit z hodiny na hodinu, ze dne na den. Z pohledu několika desítek let se vytváří režim charakteristický pro dané území. Klima (podnebí) je takové „průměrné počasí“. K jeho popisu používáme průměry teploty vzduchu, atmosférických srážek, slunečního svitu, rychlosti větru, vlhkosti vzduchu a dalších klimatických veličin za delší období. Je nutno sledovat i jejich kolísání kolem průměru, proměnlivost ze dne na den a výskyt extrémních jevů.

Klimatický systém se skládá z pěti základních složek - atmosféry, světového oceánu, kryosféry, litosféry a biosféry - provázaných složitým systémem zpětných vazeb a ovlivňovaných řadou vnějších vlivů jako je solární aktivita či vulkanická činnost.

## 1.2 Skleníkový efekt

Atmosféra obsahuje vodní páru, oblaka, oxid uhličitý, metan a další plyny, které část tepelné energie vyzářené zemským povrchem pohltí a znovu vyzáří jednak do kosmického prostoru, jednak, a to je důležitější, zpět k zemskému povrchu. Zemský povrch tuto energii pohltí a uhradí si tak do značné míry ztráty způsobené svým dlouhovlnným vyzařováním. Této vlastnosti atmosféry se říká skleníkový efekt. Kdyby nebylo přirozeného skleníkového efektu, byla by průměrná roční teplota vzduchu při zemském povrchu, vypočítaná pro celý zemský povrch, místo dnešních cca 15 °C pouze -18 °C (podle údajů v [1]). Klima je rovněž ovlivněno charakterem zemského povrchu (povrch pokrytý vegetací, holá půda, písek, skály, led, sníh) a tím, v jaké nadmořské výšce se pohybujeme.

## 1.3 Změna klimatu

V historii Země se střídala dlouhá teplá období bez polárních čepic s obdobími chladnějšími, kdy existovala rozsáhlá pevninská zalednění. Změna klimatu může být vyvolána řadou vnějších i vnitřních faktorů včetně lidské činnosti. Mezi přirozené změny patří především změny sluneční konstanty, změny parametrů oběžné dráhy Země kolem Slunce, změny rozložení pevnin a oceánů, horotvorné procesy, sopečná činnost, změny fyzikálních a chemických vlastností oceánů, oceánická cirkulace, stav biosféry.

Člověk dnes působí na klima nejen v lokálním a regionálním měřítku, ale již i v měřítku globálním. Člověkem způsobené změny (antropogenní

změny) se často dělí do dvou skupin: na změny ve složení atmosféry v globálním měřítku (zesilování přirozeného skleníkového efektu) a na změny ve využívání krajiny (např. odlesňování).

## 1.4 Příklady pozorovaných změn klimatu

Hodnoty jsou brány z [1] a [3].

- Rok 2005 byl jeden ze dvou nejteplejších roků od roku 1850. Posledních 10 let, 1996 - 2005, bylo s výjimkou let 1996 a 2000 nejteplejšími roky za sledované období.
- Ve středních a vysokých zeměpisných šířkách nad kontinenty se zvýšilo pokrytí oblohy oblačností, od začátku 20. století cca o 2 %.
- Během 20. století byl pozorován ústup horských ledovců. Rozsah sněhové pokrývky se od 60. let 20. stol. zmenšil cca o 10 %. Růst hladiny oceánů představoval v globálním průměru ve 20. století 1,0-2,0 mm/rok.

Nárůst skleníkových plynů:

- Od roku 1750 do roku 2002 vzrostla koncentrace  $\text{CO}_2$  z hodnoty 280 ppm na 373 ppm<sup>1</sup>, tzn. o 33 %.
- Koncentrace metanu v atmosféře vzrostla v globálním průměru o 115 % (ze 700 ppb<sup>2</sup> v předindustriálním období na 1745 ppb v roce 1998).
- Koncentrace  $\text{N}_2\text{O}$  je v současnosti o 16 % větší než v předindustriálním období.
- Odhaduje se, že koncentrace troposférického ozónu vzrostly od roku 1750 o 35 %. Troposférický ozón je dnes třetím nejvýznamnějším skleníkovým plynem po  $\text{CO}_2$  a  $\text{CH}_4$  (vodní pára se formálně mezi antropogenními skleníkovými plyny neuvádí, třebaže má také velmi výrazný vliv na radiační bilanci).

---

<sup>1</sup>parts per million, tzn. počet objemových částí sledované plynné látky v milionu objemových částí vzduchu

<sup>2</sup>parts per billion, 1 ppb =  $10^{-3}$ ppm

## 2 Klimatické modely

Klimatický systém nelze napodobit v laboratoři, roli přístroje, pomocí něhož konáme pokusy, přebírají proto matematické modely. Klimatický model je zjednodušená matematická reprezentace klimatického systému Země. V klimatickém systému probíhá obrovské množství fyzikálních a chemických procesů, které jsou navzájem propojeny složitým systémem zpětných vazeb. Všechny tyto procesy je nutno vtělit do rovnic a tuto soustavu řešit. Pochopitelně není možné zahrnout úplně všechny procesy, model je pouze přibližným vystižením složité reality.

Pro scénáře změny klimatu se nejčastěji používají údaje trojrozměrných *globálních klimatických modelů* označovaných jako GCM (General Circulation Models nebo také Global Climate Models). GCM mají tři základní složky: model atmosféry, model oceánu a model kryosféry.

Výstupy GCM jsou většinou udávány v horizontální síti uzlových bodů, u současných modelů jejich vzdálenost představuje cca 2 až 4 stupně zeměpisné šířky (délky), tzv. horizontální rozlišení modelů. Pro oblast (gridbox) reprezentovanou uzlovým bodem je zadán jeden typ vegetace, půdy atd. Může tak dojít ke zkrácení fyzikálních procesů spojených s charakterem místního zemského povrchu. Klimatický model dává pro čtverec o této velikosti jednu hodnotu klimatické veličiny. Ve vertikálním směru jsou modely děleny do několika hladin (vertikální rozlišení).

Globální klimatické modely jsou schopny zachytit základní rysy současného klimatu na velkých územích. Jako vstupní informace pro studie dopadů změn klimatu je však požadováno daleko větší rozlišení. Existuje několik metod, jak převést velkorozměrnou informaci do menších měřítek. Souhrnně se tyto postupy nazývají *downscaling* (metoda zmenšování měřítka).

### 2.1 Regionální klimatické modely

Výstupy globálních modelů vstupují ve formě okrajových podmínek do modelů počítaných na omezené oblasti s daleko větším rozlišením. Tento proces se nazývá dynamický downscaling. V současné době probíhá intenzivní rozvoj regionálních klimatických modelů, které již pracují s horizontálním rozlišením několika desítek kilometrů, nejčastěji zhruba 50 x 50 km. Výsledky mnoha regionálních klimatických simulací jsou například dostupné v rámci výstupů projektu PRUDENCE (<http://prudence.dmi.dk>).

Pro svoji práci jsem použila dva regionální modely HIRHAM a RCOA řízené dvěma globálními modely ECHAM4/OPYC a HadCM3 (podrobnosti k těmto globálním modelům jsou uvedeny např. v [2]). Výstupy modelů byly převzaty z projektu PRUDENCE.

RCOA je regionální model Rossbyho Centra [4] ve Švédsku, skládající

se z atmosférického regionálního modelu Rossbyho Centra, označovaného jako RCA [5, 6] a oceánického regionálního modelu [7], opět Rossbyho Centra. RCAO byl vyvinut, ověřován a používán zpočátku pro severní Evropu, zejména pro Arktickou oblast. Horizontální rozlišení modelu je 50 x 50 km.

HIRHAM [8, 9] je regionální klimatický model odvozený z numerického předpovědního modelu na omezené oblasti nazvaného HIRLAM [10, 11]. Tento numerický model byl vyvinut v rámci společného projektu národních meteorologických služeb v Dánsku, Finsku, na Islandu, v Irsku, Holandsku, Norsku, Švédsku a Španělsku ([www.knmi.nl/hirlam/](http://www.knmi.nl/hirlam/)). HIRHAM používá fyzikální parametrizace globálního cirkulačního modelu ECHAM [12]. Horizontální rozlišení modelu HIRHAM je 50 x 50 km, v atmosféře počítá s 19 hladinami.

### 3 Měření teplot

Na stanicích se teplota vzduchu měří v meteorologických budkách nebo automatickými stanicemi ve výšce 2 metrů nad zemí. V klimatologii se denní průměr počítá jako čtvrtina součtu hodnoty v 7 hodin, 14 hodin a dvojnásobku hodnoty ve 21 hodin.

## 4 Statistické pojmy

### 4.1 Průměr

Pomocí průměru  $\bar{x}$  charakterizujeme hodnotu, okolo níž kolísají jednotlivé prvky seznamu. Fyzikálně odpovídá průměr těžišti  $n$  stejně hmotných bodů umístěných na přímce se souřadnicemi danými  $x_i$ . Průměr je ovlivněn všemi naměřenými hodnotami, což může být nevýhoda v případě výskytu nějaké netypické či chybné hodnoty. Hodnota průměru se počítá podle vzorce

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (1)$$

### 4.2 Medián

Mediánem náhodné veličiny  $\xi$  nazýváme takové reálné číslo  $\tilde{x}$ , pro které platí nerovnosti

$$P(\{\xi \leq \tilde{x}\}) \geq 0,5 \quad , \quad P(\{\xi \geq \tilde{x}\}) \geq 0,5. \quad (2)$$



Medián představuje (co do velikosti) prostřední hodnotu. V uspořádaném seznamu  $x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(n)}$  vytvořeném ze všech hodnot náhodné veličiny musí počet hodnot menších nebo stejných jako medián činit alespoň tolik, jako počet hodnot větších nebo stejných jako medián (hodnota mediánu se může vyskytnout několikrát). Tomu odpovídá definice mediánu:

$$\tilde{x} = \begin{cases} x_{(\frac{n+1}{2})} & , n \text{ liché} \\ \frac{1}{2}(x_{(\frac{n}{2})} + x_{(\frac{n}{2}+1)}) & , n \text{ sudé} \end{cases} \quad (3)$$

### 4.3 Percentil

Medián dělí uspořádanou řadu na dvě poloviny hodnot podle velikosti. Jeho zobecněním je pro  $p$ , které splňuje požadavek  $0 \leq p \leq 1$ , **100  $p$ -percentil**. Znamená konstantu, která oddělí  $p$ -tý díl (100  $p$ -procent) nejmenších hodnot. Medián je speciálním případem percentilu pro  $p = 0,5$ .

Zvolíme-li  $p = 0,25$  resp.  $p = 0,75$ , dostaneme jako speciální případ **dolní kvartil** a **horní kvartil**. Dolní kvartil tedy odděluje čtvrtinu nejmenších hodnot od tří čtvrtin hodnot vyšších. Znamená to mimo jiné, že mezi kvartily je „prostřední“ polovina hodnot a určitě tam leží medián.

## 5 Zpracování

Ke zpracování jsem dostala řady naměřených průměrných denních teplot z 9 stanic v České republice. Z těchto dat jsem vypočítala měsíční průměry z období 1.1.1961 až 31.12.1990. Z údajů evropského projektu PRUDENCE (<http://prudence.dmi.dk>) jsem získala výstupy běhů modelů HIRHAM a RCAO pro referenční období 1961 - 1990. Ze seznamu uzlových bodů jsem podle zeměpisných souřadnic vybrala nejbližší body k jednotlivým stanicím. Přesný seznam stanic a jim přiřazených bodů modelů s jejich stupni zeměpisné šířky a délky obsahuje tabulka 1, nadmořské výšky použitých stanic a gridových bodů jsou uvedeny v tabulce 11.

Z dat v těchto bodech jsem opět vypočítala měsíční průměry (v meteorologických modelech jsou používány jednotné 30-ti denní měsíce). Všechna takto získaná data jsem zpracovala pomocí programu STATISTICA 6.0. Pro každou stanicí jsem počítala sezónní a měsíční teplotní charakteristiky. Sezóny se v klimatologii rozlišují na zimu (prosinec, leden, únor), jaro (březen, duben, květen), léto (červen, červenec, srpen) a podzim (září, říjen, listopad).

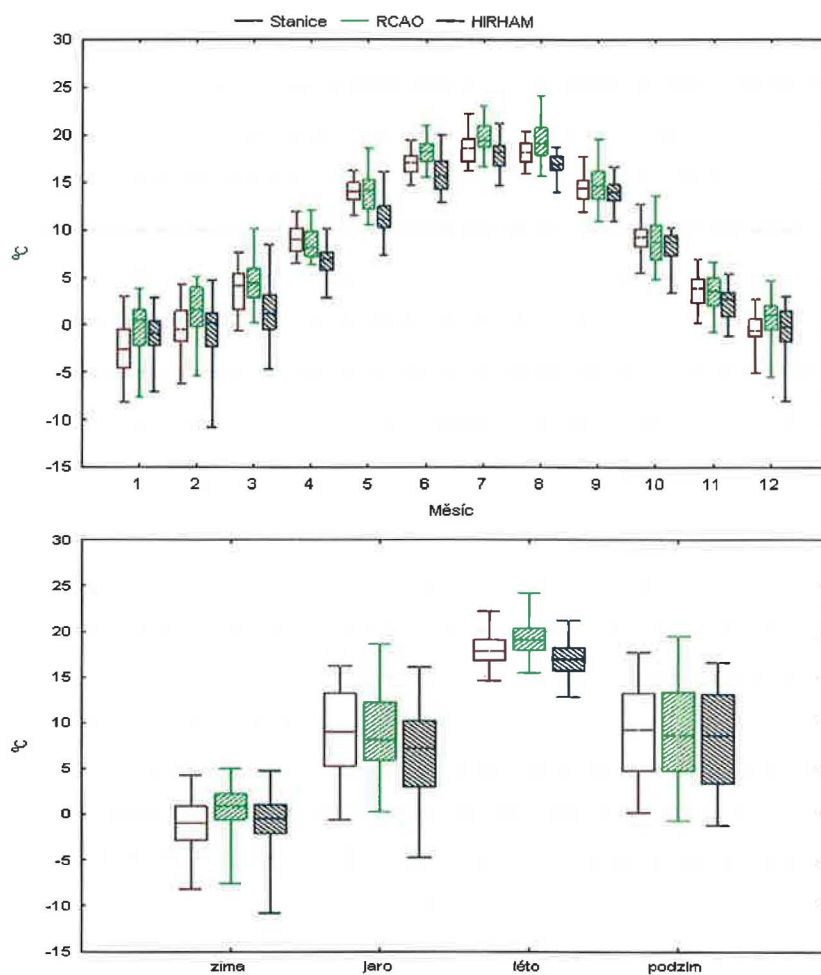
Do obrázků 1 až 9 jsem pro hodnoty ze stanic a oba dva modely vykreslila medián (vodorovná linka), horní a dolní kvartily (shodují se s horní a

Tabulka 1: Seznam stanic a jim přiřazených uzlových bodů modelů

Stanice	RCAO		HIRHAM
	stupeň vých.zem.délky - sev.zem.šířky		
Brno, Tuřany	16,69-49,16	16,49-49,29	16,73-49,26
Hradec Králové	15,84-50,17	15,64-50,10	15,86-50,07
Cheb	12,39-50,07	12,17-50,18	12,37-50,11
Churáňov	13,61-49,07	13,85-49,03	13,43-48,90
Mošnov	18,12-49,69	18,41-49,87	17,99-49,81
Praha, Ruzyně	14,26-50,10	14,30-49,97	14,51-49,92
Svratouch	16,03-49,74	15,73-49,67	15,96-49,63
Třeboň	14,46-49,00	14,51-49,10	14,74-49,06
Žatec	13,54-50,33	13,51-50,33	13,72-50,28

dolní hranou boxu) a maxima a minima (svorky). Konkrétní číselné hodnoty ve stupních Celsia jsou uvedeny v tabulkách 2- 10, kde S označuje hodnoty naměřené na stanicích, R hodnoty z modelu RCAO a H z modelu HIRHAM.

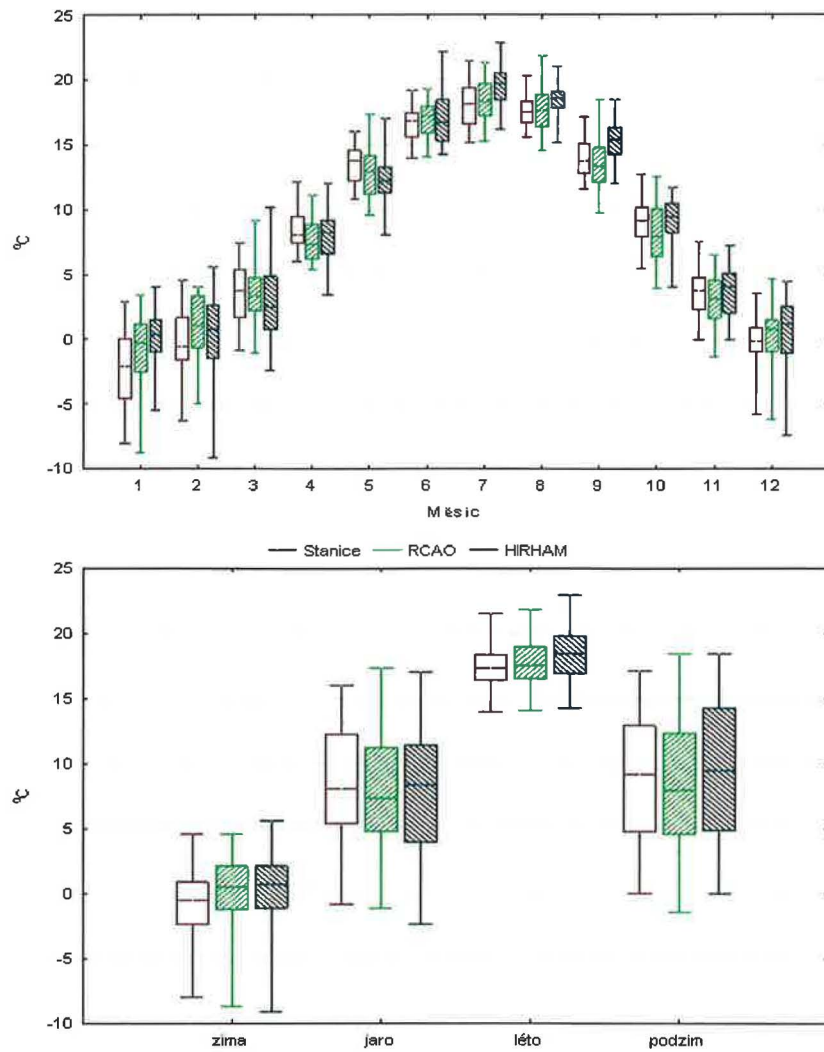
## 5.1 Zpracované hodnoty v grafech a tabulkách



Obrázek 1: Boxploty teplot modelových a naměřených v Brně

Tabulka 2: Statistické charakteristiky teplot z Brna a modelů. Písmeno S označuje stanici, R model RCAO a H model HIRHAM.

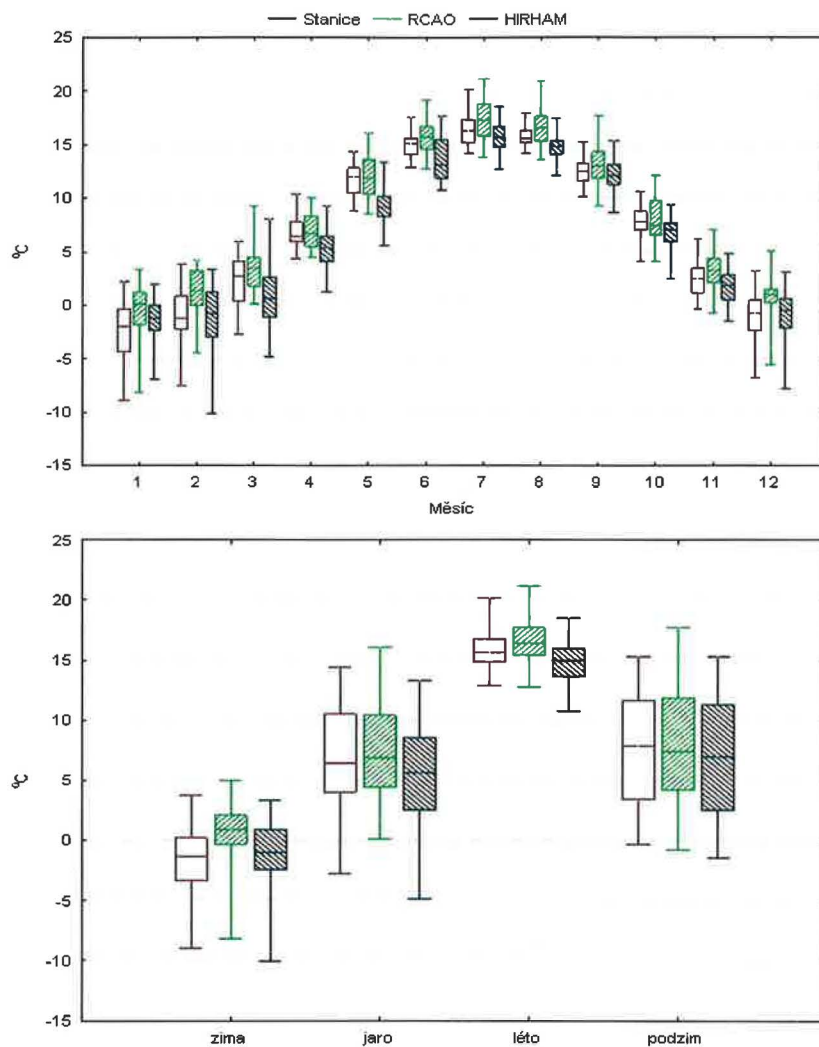
	S	R	H	S	R	H	S	R	H
	dolní kvartil [°C]			medián [°C]			horní kvartil [°C]		
zima	-2,9	-0,6	-2,1	-0,9	0,9	-0,5	0,8	2,2	1,1
jaro	5,3	5,9	3,0	9,0	8,2	7,3	13,2	12,2	10,3
léto	16,9	17,9	15,8	17,8	19,1	17,0	19,1	20,4	18,1
podzim	4,8	4,8	3,4	9,2	8,7	8,7	13,3	13,4	13,1



Obrázek 2: Boxploty teplot modelových a naměřených v Hradci Králové

Tabulka 3: Statistické charakteristiky teplot z Hradce Králové a modelů. Písmeno S označuje stanici, R model RCAO a H model HIRHAM.

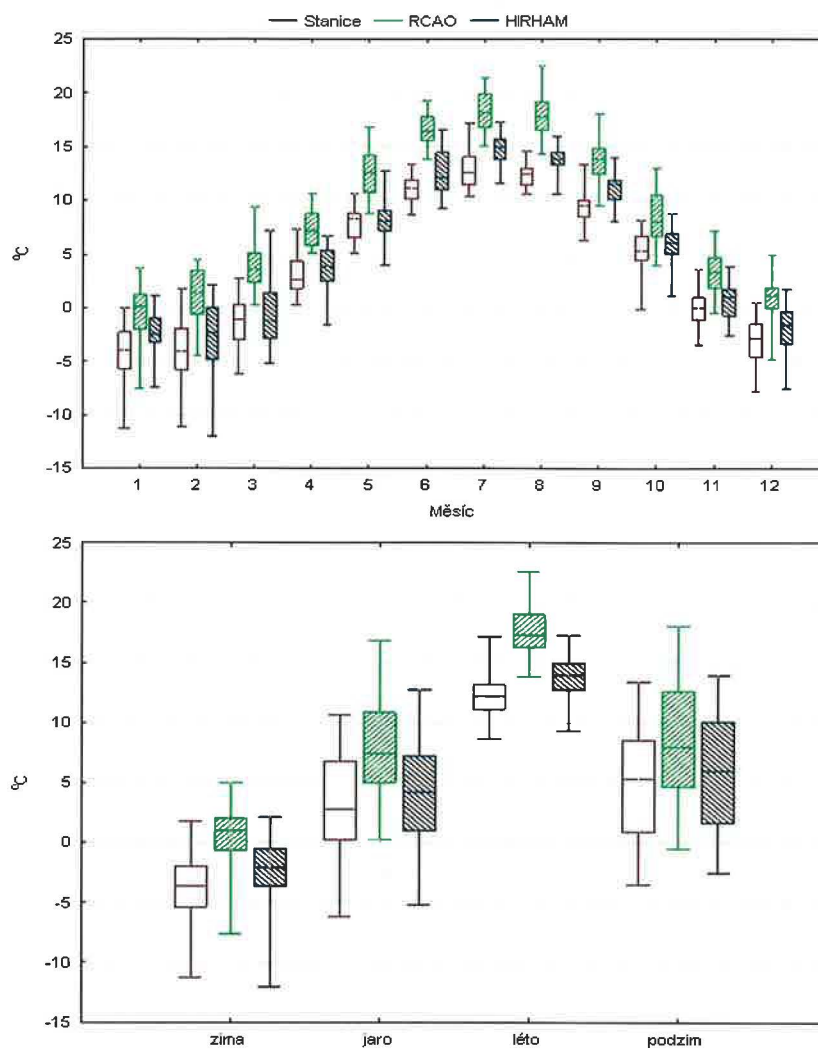
	S	R	H	S	R	H	S	R	H
	dolní kvartil [°C]			medián [°C]			horní kvartil [°C]		
zima	-2,4	-1,3	-1,1	-0,5	0,5	0,6	0,9	2,1	2,1
jaro	5,4	4,8	3,9	8,0	7,4	8,4	12,3	11,2	11,4
léto	16,4	16,5	16,9	17,4	17,5	18,5	18,4	19,0	19,7
podzim	4,7	4,5	4,9	9,2	7,9	9,5	12,9	12,3	14,3



Obrázek 3: Boxploty teplot modelových a naměřených v Chebu

Tabulka 4: Statistické charakteristiky teplot z Chebu a modelů. Písmeno S označuje stanici, R model RCAO a H model HIRHAM.

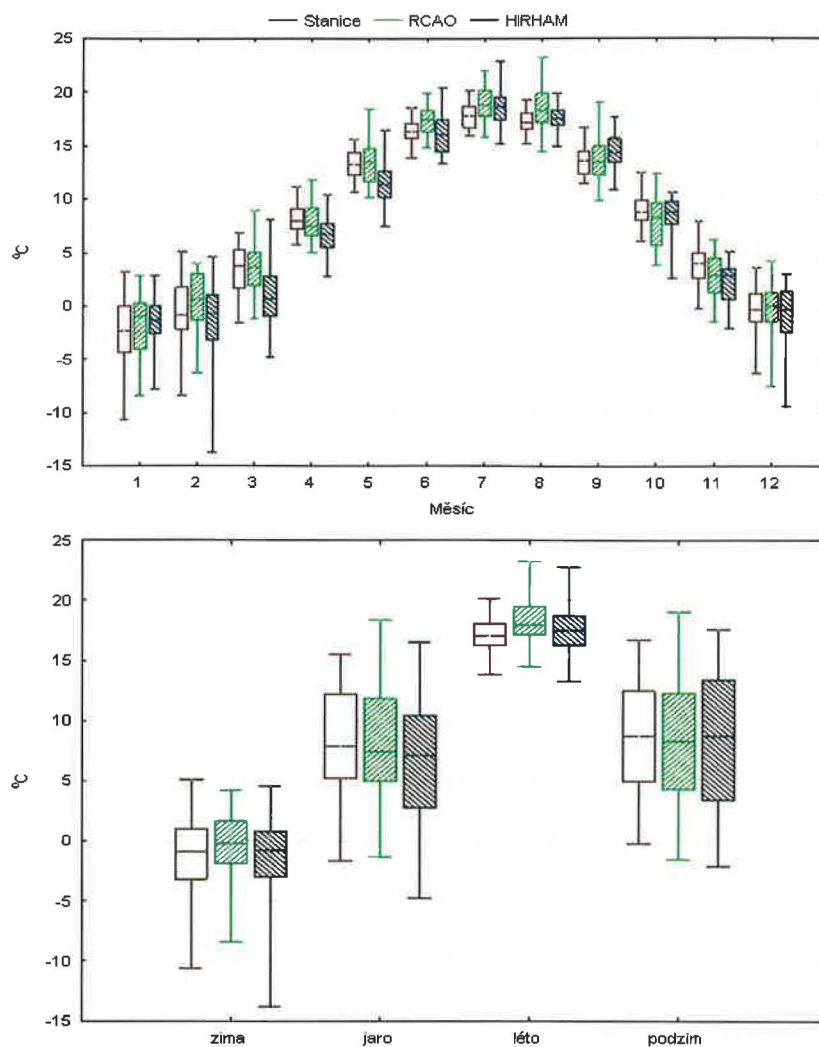
	S	R	H	S	R	H	S	R	H
	dolní kvartil [°C]			medián [°C]			horní kvartil [°C]		
zima	-3,3	-0,3	-2,4	-1,4	0,9	-0,9	0,2	2,1	0,9
jaro	4,1	4,4	2,6	6,5	6,9	5,7	10,5	10,4	8,5
léto	14,8	15,4	13,6	15,6	16,4	14,9	16,7	17,7	15,9
podzim	3,5	4,2	2,5	7,8	7,4	7,0	11,7	11,9	11,3



Obrázek 4: Boxploty teplot modelových a naměřených na Churáňově

Tabulka 5: Statistické charakteristiky teplot z Churáňova a modelů. Písmeno S označuje stanici, R model RCAO a H model HIRHAM.

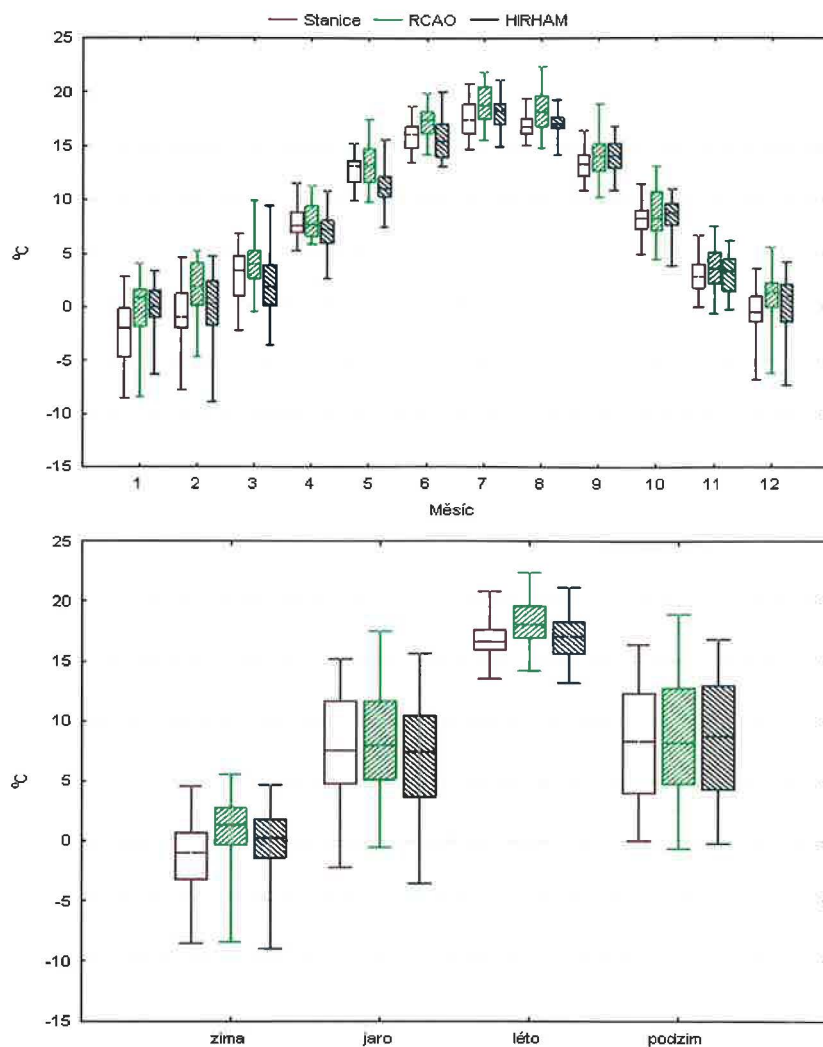
	S	R	H	S	R	H	S	R	H
	dolní kvartil [°C]			medián [°C]			horní kvartil [°C]		
zima	-5,4	-0,7	-3,6	-3,7	1,0	-2,1	-1,9	2,1	-0,5
jaro	0,2	5,0	1,0	2,8	7,4	4,2	6,7	10,8	7,2
léto	11,1	16,3	12,7	12,1	17,3	13,9	13,1	19,0	14,9
podzim	0,9	4,7	1,7	5,3	8,0	6,0	8,5	12,7	10,1



Obrázek 5: Boxploty teplot modelových a naměřených v Mošnově

Tabulka 6: Statistické charakteristiky teplot z Mošnova a modelů. Písmeno S označuje stanici, R model RCAO a H model HIRHAM.

	S	R	H	S	R	H	S	R	H
	dolní kvartil [°C]			medián [°C]			horní kvartil [°C]		
zima	-3,2	-1,9	-2,9	-0,9	-0,2	-0,8	1,0	1,6	0,8
jaro	5,2	5,0	2,8	7,9	7,5	7,1	12,2	11,8	10,4
léto	16,3	17,1	16,3	17,1	18,0	17,5	18,1	19,5	18,7
podzim	5,0	4,3	3,4	8,8	8,3	8,8	12,5	12,3	13,5

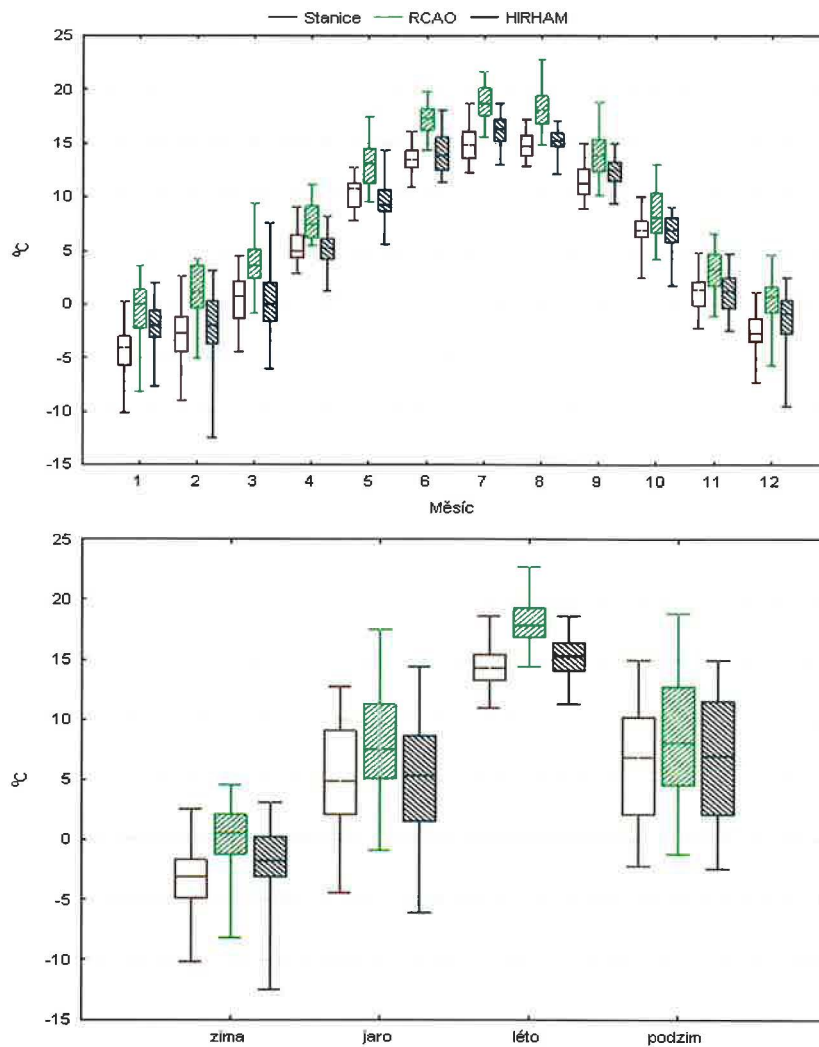


Obrázek 6: Boxploty teplot modelových a naměřených v Ruzyni

Tabulka 7: Statistické charakteristiky teplot z Ruzyně a modelů. Písmeno S označuje stanici, R model RCAO a H model HIRHAM.

	S	R	H	S	R	H	S	R	H
	dolní kvartil [°C]			medián [°C]			horní kvartil [°C]		
zima	-3,2	-0,4	-1,4	-1,0	1,3	0,3	0,7	2,7	1,8
jaro	4,7	5,1	3,6	7,5	8,0	7,4	11,6	11,7	10,4
léto	15,9	16,9	15,7	16,7	18,1	17,0	17,6	19,6	18,3
podzim	3,9	4,7	4,3	8,3	8,3	8,8	12,3	12,7	13,0

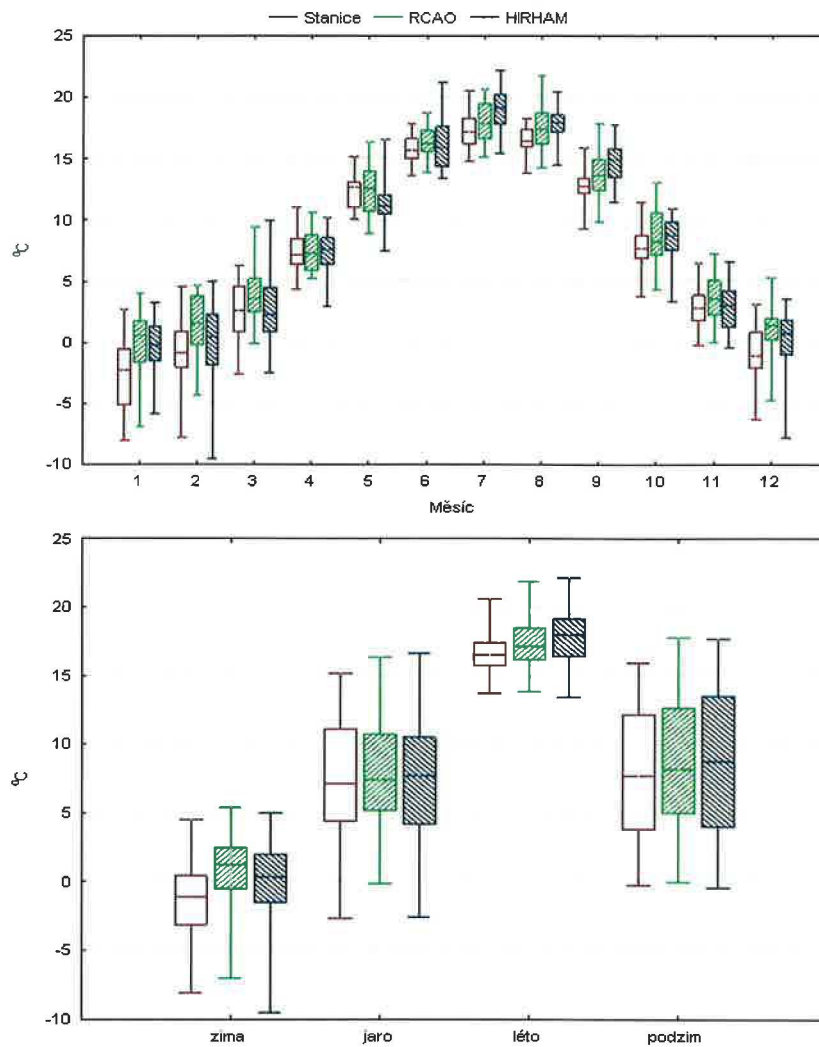




Obrázek 7: Boxploty teplot modelových a naměřených na Svatouchu

Tabulka 8: Statistické charakteristiky teplot ze Svatouchu a modelů. Písmeno S označuje stanici, R model RCAO a H model HIRHAM.

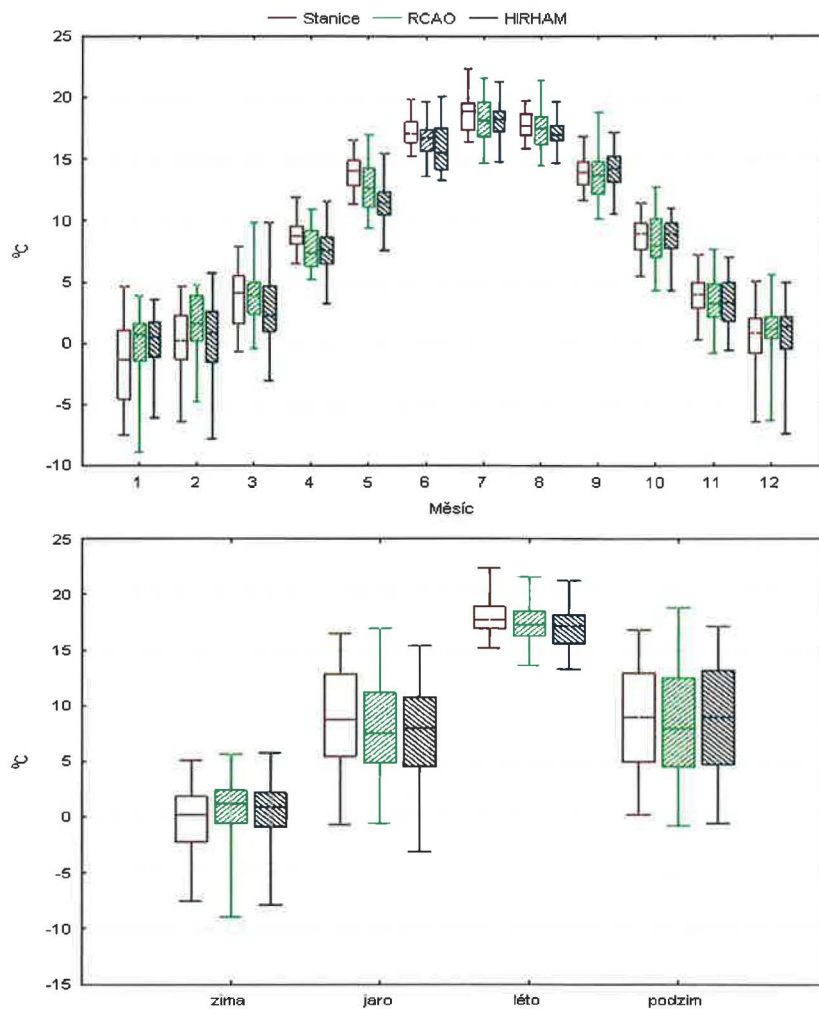
	S	R	H	S	R	H	S	R	H
	dolní kvartil [°C]			medián [°C]			horní kvartil [°C]		
zima	-4,9	-1,2	-3,1	-3,0	0,6	-1,7	-1,7	2,1	0,2
jaro	2,1	5,1	1,6	4,9	7,5	5,4	9,1	11,3	8,7
léto	13,3	16,8	14,1	14,3	17,9	15,2	15,4	19,3	16,4
podzim	2,1	4,6	2,1	6,9	8,1	6,9	10,2	12,8	11,5



Obrázek 8: Boxploty teplot modelových a naměřených v Třeboni

Tabulka 9: Statistické charakteristiky teplot z Třeboně a modelů. Písmeno S označuje stanici, R model RCAO a H model HIRHAM.

	S	R	H	S	R	H	S	R	H
	dolní kvartil [°C]			medián [°C]			horní kvartil [°C]		
zima	-3,1	-0,5	-1,5	-1,2	1,2	0,3	0,4	2,5	2,0
jaro	4,4	5,2	4,2	7,2	7,4	7,7	11,1	10,7	10,5
léto	15,7	16,1	16,4	16,5	17,1	17,9	17,4	18,5	19,1
podzim	3,8	5,0	4,0	7,7	8,2	8,8	12,2	12,6	13,5



Obrázek 9: Boxploty teplot modelových a naměřených v Žatci

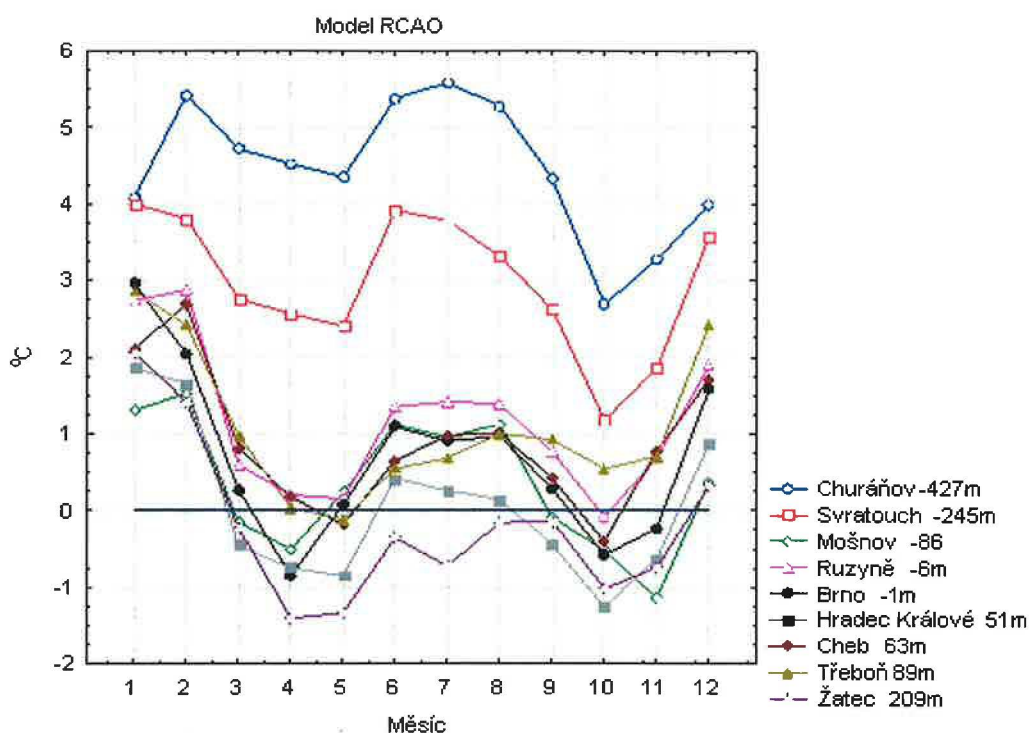
Tabulka 10: Statistické charakteristiky teplot ze Žatce a modelů. Písmeno S označuje stanici, R model RCAO a H model HIRHAM.

	S	R	H	S	R	H	S	R	H
	dolní kvartil [°C]			medián [°C]			horní kvartil [°C]		
zima	-2,2	-0,5	-0,9	0,2	1,2	0,9	1,9	2,4	2,2
jaro	5,5	4,9	4,5	8,7	7,6	8,0	12,9	11,1	10,8
léto	16,9	16,3	15,7	17,7	17,2	17,2	18,9	18,5	18,2
podzim	5,0	4,5	4,7	9,0	8,0	9,0	13,0	12,5	13,2

## 5.2 Vyhodnocení

Do obrázků 10 a 11 jsem pro oba dva modely vynesla rozdíly vypočítaných mediánů průměrných měsíčních teplot z modelových a naměřených hodnot. Pro přehlednost jsem v legendách seřadila stanice podle rozdílu nadmořské výšky modelového bodu a stanice a hodnotu tohoto rozdílu v metrech také uvedla.

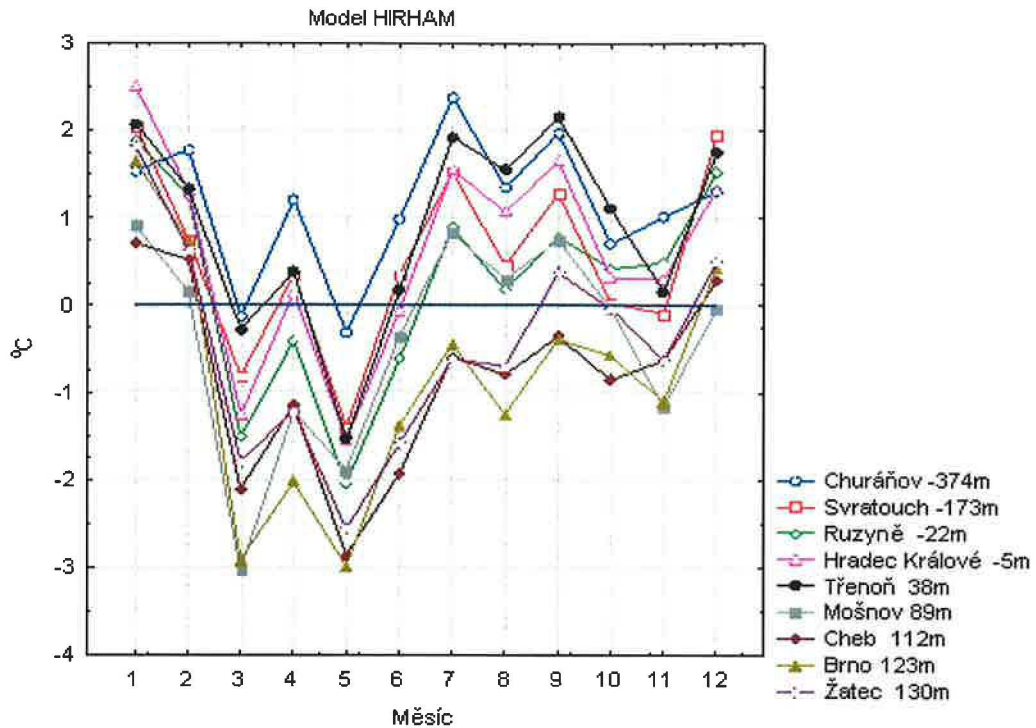
Obrázek 10: Odchyly mediánů průměrných měsíčních teplot modelu RCAO od hodnot naměřených na stanicích. V legendě je uveden rozdíl nadmořské výšky modelového bodu a stanice v metrech.



## 5.3 Závislost teplotních charakteristik na poloze stanic

Je nutno připomenout, že sítě uzlových bodů modelů mají rozlišení několika desítek kilometrů. Ve skutečnosti tak porovnávám jiné geografické polohy (to je patrné z mapy na obrázku 12). Přesnějších výsledků by se mohlo dosáhnout, kdyby se použila data vypočítaná interpolací z více nejbližších uzlových bodů. Zároveň je nutno mít na paměti, že modelové

Obrázek 11: Odchyly mediánů průměrných měsíčních teplot modelu HIRHAM od hodnot naměřených na stanicích. V legendě je uveden rozdíl nadmořské výšky modelového bodu a stanice v metrech.



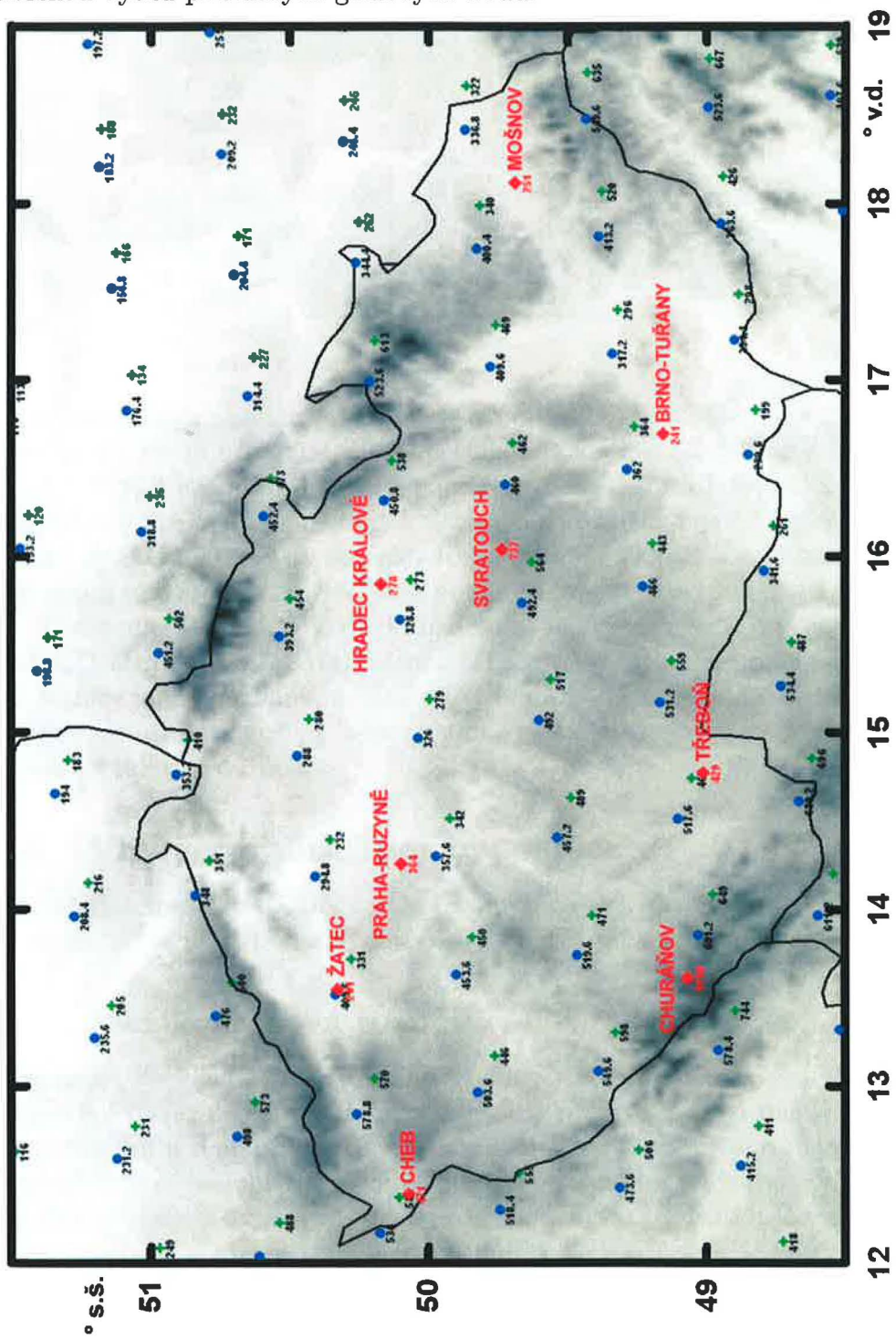
výstupy reprezentují oblast celého gridového boxu s horizontálním rozsahem několika desítek kilometrů, zatímco měření na meteorologických stanicích reprezentují oblasti podstatně menší.

#### 5.4 Závislost teplotních charakteristik na nadmořské výšce stanic

Na hodnoty kvartilů má velký vliv nadmořská výška stanice. V tabulce 11 je srovnání nadmořských výšek meteorologických stanic a použitých bodů modelů. Oba modely shlazují extrémy, neboť průměrují nadmořskou výšku z větší oblasti (gridboxu). To se projevuje zejména u stanic ve vyšších polohách.

Pro dvě nejvýše položené stanice, Churáňov a Svratouch, činí rozdíly nadmořské výšky  $-427$  m a  $-245$  m (RCAO), resp.  $-374$  m a  $-173$  m (HIRHAM). Z obrázku 10 je patrné, že pro obě stanice jsou hodnoty teploty z modelu RCAO výrazně nadhodnoceny. Pro Churáňov dosahují rozdíly

Obrázek 12: Mapa uzlových bodů modelů a poloh použitých meteorologických stanic. Modrá = RCAO, zelená = HIRHAM. Čísla udávají nadmořskou výšku příslušných gridových bodů.



Tabulka 11: Nadmořská výška stanic a jim přiřazených bodů modelů v metrech.

Stanice		RCAO	HIRHAM
Brno, Tuřany	241	362	364
Hradec Králové	278	329	273
Cheb	471	534	583
Churáňov	1118	691	744
Mošnov	251	337	340
Praha, Ruzyně	364	358	342
Svratouch	737	492	564
Třeboň	429	518	467
Žatec	201	410	331

mezi naměřenými hodnotami a modelovými z RCAO až  $5,6^{\circ}\text{C}$  (v srpnu), pro stanici Svratouch  $4,0^{\circ}\text{C}$  (leden). Dokonce v létě je dolní kvartil RCAO o  $3,2^{\circ}\text{C}$  vyšší než horní kvartil z naměřených staničních hodnot.

Pro nejnižše položenou stanici, Žatec, činí rozdíl nadmořské výšky pro model RCAO 209 m a na obrázku 10 je vidět, že pro jarní a letní měsíce dochází u této stanice k největšímu podhodnocení teplot (duben  $-1,4^{\circ}\text{C}$ ).

Pro model HIRHAM je rozdíl nadmořských výšek největší pro stanice Žatec (130 m), Brno (123 m) a Cheb (112 m). V obrázku 11 jsou pro tyto tři stanice jejich mediány modely nejvíce podhodnoceny (až  $-3,0^{\circ}\text{C}$ ).

Pro ostatní stanice již nepovažují závislost na rozdílu nadmořských výšek za tak podstatnou.

## 5.5 Vliv geografické polohy stanice

Žádné systematické rozdíly mezi chováním západně a východně položených stanic se mi nepodařilo detekovat. Taktéž pro rozlišení sever a jih.

## 5.6 Mezikvartilová rozpětí

Z obrázků 1 - 9 je patrné, že staniční hodnoty se pro zimní a letní období vyznačují menším rozptylem (variabilitou), konkrétně že je menší rozdíl mezi horním a dolním kvantilem (mezikvartilové rozpětí) oproti jarnímu a podzimnímu období. To je dáno charakterem jara a podzimu coby přechodných sezón s výrazným vlivem ročního chodu. V grafech je vidět, že oba modely tuto vlastnost dobře vystihují.

## 5.7 Charakteristiky klimatických modelů

Na obrázcích 10 a 11 je patrné, že se rozdíl mezi teplotními charakteristikami vypočítanými z modelových dat a naměřenými na stanicích v průběhu roku mění. V zimních a letních měsících dochází k nadhodnocení teplot, v jarních a podzimních měsících je patrný pokles modelových mediánů k větší shodě se staničními hodnotami.

U modelu HIRHAM vykazují křivky rozdílu mediánů od naměřených hodnot i charakteristické oscilace. Lokální maxima jsou v lednu, dubnu, červenci a září. Lokální minima jsou dosažena v březnu, květnu, srpnu a během října a listopadu. Tento průběh je dosažen u všech zpracovávaných stanic (pouze u stanice Churáňov je únorový rozdíl větší než lednový). Celkově dochází k nejlepší shodě modelu se staničními hodnotami pro období října a listopadu.

Pro model HIRHAM mi vychází absolutní maximum kladného rozdílu mediánu z modelových hodnot a naměřených  $2,5^{\circ}\text{C}$  (Hradec Králové, leden), záporného rozdílu  $-3,0^{\circ}\text{C}$  (Mošnov, březen; Brno, květen). Model HIRHAM teploty pro jarní období spíše podhodnocuje.

Model RCAO vykazuje maxima rozdílů v zimním a letním období, minima v dubnu a květnu a v říjnu a listopadu.

Pro model RCAO je maximum rozdílů  $5,6^{\circ}\text{C}$  (Churáňov, srpen) a  $-1,4^{\circ}\text{C}$  (Žatec, duben). Kdybych neuvažovala stanice s velkým rozdílem nadmořských výšek (Churáňov, Svratouch), činil by maximální kladný rozdíl  $3,0^{\circ}\text{C}$  (Brno, leden).

## 6 Závěr

Základním prostředkem zkoumání budoucí změny klimatu jsou globální (GCM) a regionální (RCM) klimatické modely. Klimatické modely jsou však pouze zjednodušením skutečnosti. Charakter místního zemského povrchu aproximují do uzlových bodů v síti několika desítek kilometrů a pro čtverec o této velikosti dávají jednu hodnotu klimatické veličiny. Nemohou proto přesně vystihnout konkrétní klimatické poměry jednotlivých stanic.

Cílem mé práce bylo zjistit do jaké míry je schopen RCM simulovat základní teplotní charakteristiky klimatu v oblasti České republiky. Použila jsem výstupy dvou regionálních modelů, RCAO a HIRHAM, pro referenční období 1961 až 1990 a porovnála je s reálně naměřenými hodnotami na 9 meteorologických stanicích. Sezónní a měsíční průběhy teplot pro jednotlivé oblasti jsem vykreslila do obrázků 1 až 9 a základní statistické charakteristiky shrnula do doprovodných tabulek 2 až 10. Do obrázků 10 a 11 jsem vynesla rozdíly mediánů modelových teplot a mediánů teplot naměřených na jednotlivých stanicích. Z těchto grafů je patrné,



jak přesně modely charakterizují skutečné teploty pro jednotlivé oblasti a období roku. Například, že pro zimní a letní měsíce nadhodnocují teploty více než pro jarní a podzimní období. Pro model HIRHAM mi vyšlo rozmezí odchylek měsíčních mediánů od naměřených staničních hodnot v rozmezí od  $+2,5$  do  $-3,0$  °C, pro model RCAO od  $+5,6$  do  $-1,4$  °C. Podařilo se mi detekovat jistý vztah shody modelů v závislosti na rozdílu nadmořských výšek stanice a příslušného gridového bodu. Zejména u modelu RCAO je výrazné zvětšení nepřesnosti modelu pro stanice s velkou nadmořskou výškou. Konkrétně pro stanici Churáňov, pro niž rozdíl nadmořské výšky gridového bodu vůči výšce stanice činí  $-427$  m, je odchylka měsíčních mediánů teplot v intervalu  $+2,8$  až  $+5,6$  °C. Žádnou zřejmou závislost odchylky modelových teplot od reality na geografické poloze stanice v rámci České republiky jsem neobjevila.

Klimatické modely jsou potřebné k modelování budoucího globálního i regionálního klimatu. Každou projekci změny klimatu je však nutné vztáhnout k určitému výchozímu stavu, tzn. referenčnímu období, které představuje současný stav. Jaká je celková shoda obou modelů s globálním klimatem nevím, ale má práce ukazuje, jakou přesnost lze od těchto modelů očekávat pro oblast České republiky. Je pravděpodobné, že se zdokonalením výpočetní techniky dojde i ke zdokonalení klimatických modelů. Nadále však zůstanou pouze přibližným vystižením reality.

## Reference

- [1] Kalvová J., *Klima a jeho změny*, v *Aktuální otázky znečištění ovzduší* (kolektiv autorů), Univerzita Karlova, Praha, 176-204, 2004.
- [2] Kalvová J., Raidl A., Pišoft P., Mikšovský J., Chládová Z., *Vytvoření scénářů změny klimatu pro Českou republiku*, výzkumná zpráva, Univerzita Karlova, MFF, 21 pp, 2005.
- [3] World Meteorological Organization, *WMO statement on the status of the global climate in 2005*, No. 998, [http://www.wmo.ch/web/wcp/wcdmp/statement/html/WMO998\\_E](http://www.wmo.ch/web/wcp/wcdmp/statement/html/WMO998_E)
- [4] Döscher R., Willén U., Jones C., Rutgesson A., Meier H.E.M., Hansson U., Graham L.P., *The development of the coupled regional ocean-atmosphere model RCAO*, Boreal Env. Res. 7, 183-192, 2002.
- [5] Rummukainen M., Räisänen J., Bringfelt B., Ullerstig A., Omstedt A., Willén U., Hansson U., Jones C., *A regional climate model for northern Europe: model description and results from the downscaling of two GCM control simulations*, Clim. Dyn. 17, 339-359, 2001.
- [6] Jones C.G., Willén U., Ullerstig A., Hansson U., *The Rossby Centre Regional Atmospheric Climate Model Part I: Model Climatology and Performance for the Present Climate over Europe*, Ambio 33:4-5, 199-210, 2004.
- [7] Meier H.E.M., Döscher R., Faxén T., *A multiprocessor coupled ice-ocean model for the Baltic Sea: Application to salt inflow*, J. Geophys. Res. 108:C8, 3273, doi:10.1029/2000JC000521, 2003.
- [8] Christensen J.H., E. van Meijgaard, *On the construction of a regional climate model*, Tech. Rep., 92-14, DMI, Copenhagen, 22 pp, 1992.
- [9] Christensen J.H., Christensen O.B., Lopez P., E. van Meijgaard, Botzen M., *The HIRHAM4 regional atmospheric climate model*, Sci. Rep., 96-4, DMI, Copenhagen, 51 pp, 1996.
- [10] Machenhauer B., *The HIRLAM final report*, HIRLAM Techn. Report, No. 5, Copenhagen, 116 pp, 1988.
- [11] Gustafsson N., *The HIRLAM 2 final report*, HIRLAM Techn. Report, No. 9, Norrköping, 126 pp, 1993.

- [12] Roeckner E., Arpe K., Bengtsson L., Christoph M., Claussen M., Dümenil L., Esch M., Giorgetta M., Schlese U., Schulzweida U., *The atmospheric general circulation model ECHAM-4: Model description and simulation of present-day climate*, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg, Germany, Report no. 218, 90 pp, 1996.