

Univerzita Karlova v Praze
Matematicko-fyzikální fakulta



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Barbora Kliková

ANALÝZA NEURČITOSTÍ VÝSTUPŮ REGIONÁLNÍCH KLIMATICKÝCH MODELŮ

Katedra meteorologie a ochrany prostředí

Vedoucí diplomové práce: doc. RNDr. Jaroslava Kalvová, CSc.

Studijní program: Fyzika

Studijní obor: Meteorologie a klimatologie

Praha 2008

Poděkování

Děkuji vedoucí mé diplomové práce, paní doc. RNDr. Jaroslavě Kalvové, CSc., za její trpělivost, cenné rady a zapůjčení studijních materiálů. Poděkovat bych také chtěla své rodině a přátelům za technickou a psychickou podporu.

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

V Praze dne 22. dubna 2008

Barbora Kliková

Obsah

Abstrakt	3
Seznam nejčastěji použitých symbolů a zkratk	4
Úvod	5
1 Modelování klimatického systému a jeho změn.....	7
1.1 Modelování klimatu.....	7
1.2 Použité globální klimatické modely	10
1.3 Použité regionální klimatické modely	12
1.4 Projekt PRUDENCE	14
2 Srážkové poměry v České republice v období 1961-2000	19
3 Použitá data	22
4 Metody zpracování	26
5 Prostorové rozložení srážek regionálních klimatických modelů v ČR.....	29
5.1 Průměrné roční úhrny srážek regionálních klimatických modelů v období 1961-90....	29
5.2 Porovnání srážkového pole regionálních modelů se srážkovým polem CRU v oblasti ČR	33
6 Porovnání srážkových charakteristik simulovaných regionálními klimatickými modely s pozorovanými daty.....	37
6.1 Roční úhrny srážek	38
6.2 Roční chod srážek.....	43
6.3 Počty dní se srážkami	46
6.4 Rozdělení denních úhrnů srážek.....	48
6.5 Počet dní se srážkovým úhrnem 10 mm a více	53
6.6 Kvantily denních úhrnů srážek	55
6.7 Největší 3denní, 5denní a 10denní srážkový úhrn.....	62
Závěr.....	67
Literatura a internetové odkazy	72

Abstrakt

Název práce: Analýza neurčitostí výstupů regionálních klimatických modelů

Autor: Barbora Kliková

Katedra: Katedra meteorologie a ochrany prostředí

Vedoucí diplomové práce: doc. RNDr. Jaroslava Kalvová, CSc.

e-mail vedoucího: jaroslava.kalvova@mff.cuni.cz

Abstrakt: Tato práce se zabývá schopností regionálních klimatických modelů (RCM) simulovat srážkové poměry v České republice a vyhodnocením neurčitostí spojených s použitím různých globálních klimatických modelů řídících tentýž regionální model a naopak s použitím různých regionálních modelů, které jsou řízené jedním globálním modelem. Byly analyzovány výstupy regionálních klimatických modelů RCAO a HIRHAM řízených globálními modely HadAM3H a ECHAM pro období 1961-1990. Ukázalo se, že na prostorovou proměnlivost průměrných ročních úhrnů srážek má hlavní vliv použitý RCM. Řídící globální model určuje hodnoty plošného průměru a minima pro naše území. Oba regionální modely průměrný roční úhrn srážek na většině území nadhodnocují, výrazněji s řídícím modelem ECHAM. Z analýzy dalších charakteristik srážek ve vybraných uzlových bodech RCM vyplynulo, že modely RCAO a HIRHAM simulují většinu charakteristik v těchto bodech odlišně. Většinu charakteristik nebyly modely schopny uspokojivě zachytit, lepší výsledky dával model RCAO. Dále se u obou RCM výsledky liší poměrně značně mezi vybranými oblastmi ČR. Tato proměnlivost je více patrná u modelu HIRHAM.

Klíčová slova: regionální klimatické modely, neurčitosti výstupů RCM, atmosférické srážky, srážkové poměry v České republice

Title: Analysis of uncertainty in regional climate models outputs

Author: Barbora Kliková

Department: Department of Meteorology and Environment Protection

Supervisor: doc. RNDr. Jaroslava Kalvová, CSc.

Supervisor's e-mail address: jaroslava.kalvova@mff.cuni.cz

Abstract: This thesis focuses on examination of the ability of regional climate models (RCMs) to simulate precipitation patterns in the Czech Republic and on evaluation of uncertainties due to different global climate models (GCMs) driving the same RCM and due to different RCMs driven by a single GCM. Model outputs of regional climate models RCAO and HIRHAM driven by global climate models HadAM3H and ECHAM for period 1961-1990 were analyzed. It was shown that spatial variability of mean annual precipitation totals is mainly influenced by RCM. The global driving model determines areal mean and minimum values of precipitation totals for the Czech Republic. Both regional models overestimate the mean annual precipitation totals over most of the area, more markedly with driving model ECHAM. After the analysis of the further precipitation characteristics in selected grid points, it was shown that models RCAO and HIRHAM simulate most of the characteristics differently. Most of the characteristics were not expressed well by the models; the results of the model RCAO were better. Further, the model results distinctively differ between chosen areas. This variability is more noticeable for HIRHAM.

Keywords: regional climate models, uncertainties in RCM outputs, atmospheric precipitation, precipitation patterns in the Czech Republic

Seznam nejčastěji použitých symbolů a zkratk

GCM	globální klimatický model
AOGCM	spojený (coupled) model atmosféra – oceán
RCM	regionální klimatický model
CRU	klimatologie CRU
ERA-40	reanalýza ERA-40
RCAO/Had	běh modelu RCAO řízený modelem HadAM3H
RCAO/ECH	běh modelu RCAO řízený modelem ECHAM
HIR/Had	běh modelu HIRHAM řízený modelem HadAM3H
HIR/ECH	běh modelu HIRHAM řízený modelem ECHAM
ZČ	označení oblasti v západních Čechách
JČ	označení oblasti v jižních Čechách
SČ	označení oblasti v severních Čechách
JM	označení oblasti na jižní Moravě

Úvod

Atmosférické srážky patří k základním charakteristikám klimatu. Jsou klíčovou součástí hydrologického cyklu. Jejich množství a rozdělení během roku ovlivňuje charakter životního prostředí, složení flóry i fauny v dané oblasti a v neposlední řadě také život člověka. Mnohá odvětví lidské činnosti jsou přímo závislá na množství a ročním chodu srážek. Také množství a dostupnost pitné vody jsou přímo závislé na srážkách.

Vzhledem k velké prostorové a časové variabilitě atmosférických srážek nejsou změny této veličiny v globálním měřítku tak patrné, jako je tomu například u teploty vzduchu. Podle Solomon et al. (2007) však byly během 20. století v některých oblastech světa pozorovány dlouhodobé trendy v hodnotách sezónních a ročních úhrnů srážek. V České republice bylo období 1991-2000 na většině stanic oproti třicetiletí 1961-1990 srážkově chudší. Bylo také zjištěno zvýšení četnosti extrémně suchých měsíců (Kalvová a kol., 2001).

Aby bylo možné zmírnit dopady změn klimatu na lidskou společnost, je žádoucí pracovat na vytváření scénářů změny klimatu, včetně atmosférických srážek. K tomu je dnes využíváno především výstupů klimatických modelů. V souvislosti s tím je potřeba věnovat pozornost neurčitostem modelových výstupů pramenícím z různých zdrojů. Pro zdokonalování klimatických modelů je také nezbytné modelové výsledky srovnávat s pozorovanými daty a vyhodnotit rozdíly.

Předkládaná diplomová práce se věnuje posouzení schopnosti regionálních klimatických modelů simulovat srážkové poměry v České republice. Pozornost je zaměřena na stanovení neurčitostí modelových výstupů vyplývajících z použití různých regionálních modelů, které jsou řízeny jedním globálním modelem, a naopak z použití různých globálních modelů řídicích tentýž regionální model.

V první kapitole jsou vysvětleny vybrané pojmy týkající se modelování klimatického systému a jeho změn. Jsou zde uvedeny základní informace o regionálních klimatických modelech RCAO a HIRHAM, jejichž výstupy jsou v této diplomové práci analyzovány, a informace o globálních klimatických modelech HadCM3 a ECHAM4/OPYC, které tyto regionální modely řídí. Dále jsou zde shrnuty hlavní výsledky projektu PRUDENCE týkající se schopnosti regionálních klimatických modelů, zapojených do projektu, simulovat některé klimatické charakteristiky na území Evropy v období 1961-1990.

Druhá kapitola se věnuje popisu srážkových poměrů na našem území v období 1961–2000.

Ve třetí kapitole jsou popsána použitá modelová a pozorovaná data a orografie regionálních klimatických modelů RCAO a HIRHAM a klimatologie CRU.

Následující kapitola se zabývá výběrem uzlových bodů modelů a klimatických stanic pro porovnání, výběrem a definicí vyhodnocovaných srážkových charakteristik a způsobem vytvoření map prostorového rozložení srážek.

Pátá kapitola je věnována vyhodnocení prostorového rozložení průměrných ročních úhrnů srážek modelů RCAO a HIRHAM na území ČR a jeho porovnání se srážkovým polem klimatologie CRU.

V šesté kapitole jsou pak popsány výsledky analýzy srážkových charakteristik simulovaných RCM ve vybraných uzlových bodech a jejich porovnání s naměřenými daty na nejbližších stanicích.

V závěrečné části jsou shrnuty výsledky všech výpočtů a uvedeny náměty pro případné další studium v této oblasti.

1 Modelování klimatického systému a jeho změn

1.1 Modelování klimatu

Při vytváření scénářů změny klimatu se využívá klimatických modelů, numerických modelů klimatického systému Země. Tyto modely jsou velice náročné na výpočetní techniku, experimenty s nimi probíhají na nejvýkonnějších počítačích, které jsou dnes k dispozici.

Při konstrukci scénářů klimatu v daném regionu se využívá globálního klimatického modelu (GCM), jehož výstupy jsou pomocí určité metody přeneseny do menšího měřítka.

Globální klimatické modely

V současné době se používají tzv. spojené (coupled) modely atmosféra-oceán (AOGCM), ve kterých je model atmosféry (AGCM) propojen s trojrozměrným modelem oceánu (OGCM).

Výstupy GCM jsou k dispozici v síti uzlových bodů, jejíž horizontální rozlišení bývá u současných globálních modelů $2^\circ - 4^\circ$ zeměpisné šířky/délky. Každý uzlový bod reprezentuje určitou oblast (gridbox), pro kterou je předepsán jeden typ vegetace, půdy atd. Hodnota veličiny daná klimatickým modelem v daném uzlovém bodě pak také platí pro celou tuto oblast. Rozložení pevnin a oceánů je zachyceno jen s určitou přesností, větší detaily zemského povrchu model nerozeznává. Model tak není schopen zachytit fyzikální procesy ovlivněné vlastnostmi povrchu, které mají vliv na místní charakter klimatu. Ve vertikálním směru modely mají několik (např. dvacet) hladin (vertikální rozlišení).

Zvětšení rozlišení

GCM simulují poměrně spolehlivě velkorozměrná pole klimatologických veličin ve volné atmosféře. Kvůli nízkému horizontálnímu rozlišení však nejsou schopny dobře zachytit lokální rysy klimatu, potřebné pro odhad budoucí klimatické změny a jejích dopadů v dané oblasti. Proto je nutné přenést výstupy GCM do menších měřítek a získat tak přesnější informaci o místním charakteru klimatu. Souhrnně se metody, které tento „přenos“ umožňují, nazývají „downscaling“ (metoda „zmenšování měřítka“). Downscaling zahrnuje především regionální klimatické modely (dynamický downscaling), tzv. „time-slice“ experimenty (metody „časových řezů“) a statistický downscaling (Kalvová, 2004).

Regionální klimatické modely

Regionální klimatické modely jsou numerické modely klimatického systému, které zachycují pouze omezenou oblast, ale s podstatně větším rozlišením než GCM. Hodnoty spočtené globálním modelem jsou použity jako okrajové podmínky předepisované na hranicích omezené oblasti. Horizontální rozlišení RCM bývá několik desítek kilometrů, v současné době jsou již k dispozici simulace s rozlišením okolo 10 km.

„Time-slice“ experimenty (metody „časových řezů“)

Pomocí této metody lze dosáhnout většího rozlišení výstupů, aniž by se podstatně zvýšily nároky na výpočetní techniku. V prvním kroku probíhá integrace AOGCM s nižším rozlišením. Potom se zopakuje simulace pouze s modelem atmosféry v určitém kratším časovém úseku než původní experiment, ale s vyšším rozlišením. Počáteční hodnoty a teploty povrchu oceánu se přebírají z předchozího experimentu.

Statistický downscaling

Tato metoda je založena na hledání statistických vztahů mezi velkoprostorovými proměnnými ve volné atmosféře, které GCM simuluje poměrně spolehlivě, a lokálními přízemními veličinami, které GCM již nedokáže zachytit dostatečně přesně. Pro nalezení vztahů mezi prediktory (velkoprostorové proměnné) a prediktandy (lokální proměnné) jsou použita data z reanalýz (viz dále). Zjištěné vztahy jsou ověřeny na kontrolním běhu modelu, a poté aplikovány na experimentální běhy GCM.

Klimatologická data

Pro porovnání výsledků experimentů s klimatickými modely simulujícími současné klima se skutečným klimatem se nejčastěji využívá souboru klimatologických dat vytvořených Climatic Research Unit (CRU) nebo výsledků reanalýz.

Klimatologie CRU

Klimatologie CRU (CRU Global Climate Dataset) je soubor globálních klimatických dat vytvořený Climatic Research Unit, což je britská instituce zabývající se studiem přirozené a antropogenní změny klimatu. Klimatologii CRU tvoří průměrné měsíční hodnoty přízemních klimatologických prvků v pravidelné síti uzlových bodů pro pevninské oblasti planety kromě území Antarktidy. Klimatologie CRU vzniká interpolací dostupných měření do pravidelné sítě uzlových bodů, při které je uvažována závislost dat na zeměpisné poloze a nadmořské výšce. Data jsou k dispozici od roku 1901 do roku 2000. Pro výpočet byla použita klimatologická data ze stanic, jejichž počet se pohyboval od 3 615 pro rychlost větru

po 19 800 pro srážky. Podrobnosti lze nalézt např. na internetových stránkách IPCC <http://www.ipcc-data.org/>.

Reanalýza ERA-40

Reanalýza ERA-40 byla vytvořena v Evropském středisku pro střednědobou předpověď (ECMWF) v roce 2003 a je výsledkem spolupráce několika předpovědních center. Tato reanalýza popisuje stav atmosféry v období od poloviny roku 1957 do poloviny roku 2002. Horizontální rozlišení je přibližně 125 km. Ve vertikálním směru je obsaženo 60 hladin, z nichž nejvyšší sahá zhruba do výšky 65 km nad povrchem. Časový krok je 6 hodin. Kromě běžně analyzovaných veličin, jako jsou teplota vzduchu, vlhkost vzduchu, směr a rychlost větru, poskytuje také informace např. o stratosférickém ozónu. Podrobný popis ERA-40 lze nalézt v Simmons et al. (2000). Při výpočtu reanalýzy ERA-40 byly využity informace z přízemních i distančních měření. Bylo využito stejných asimilačních technik, jako jsou používány v numerické předpovědi počasí. Při asimilaci dat se informace vytvořená v předchozím časovém kroku modelu zkombinovala s dostupnými pozorováními. Uvedený postup se pokouší vyrovnat nejistotu v pozorovaných datech a předpovědi. Výsledkem je odhad stavu atmosféry v daném okamžiku, který je přesnější než samotná měření nebo předpověď (Simmons et al., 2000).

Neurčitosti v modelování klimatu

S vytvářením scénářů změny klimatu jsou spojeny neurčitosti plynoucí z různých zdrojů. Prvním zdrojem neurčitosti odhadu budoucí změny klimatu je nemožnost předpovědět budoucí vývoj faktorů, které mají na klimatický systém vliv. Mezi přirozené vlivy, které je obtížné předpovědět, patří sluneční aktivita a sopečná činnost. Antropogenní vlivy zahrnují zejména emise skleníkových plynů a aerosolů. Proto Mezivládní panel pro změny klimatu (IPCC) vytvořil různé emisní scénáře (Nakičenić, 2000). S použitím těchto scénářů nyní probíhají jednotlivé experimenty s klimatickými modely. Druhým zdrojem neurčitosti spojené s odhadem budoucí klimatické změny jsou neurčitosti výstupů klimatických modelů. Ty vyplývají z nepřesností v zadání počátečních a okrajových podmínek, z použitých parametrizací a ze struktury modelů (Tebaldi and Knutti, 2007).

V této diplomové práci jsou analyzovány výsledky dvou různých regionálních klimatických modelů řízených dvěma různými globálními modely. Pozornost je věnována neurčitosti plynoucí ze zvolené kombinace regionálního a globálního modelu.

1.2 Použité globální klimatické modely

HadCM3

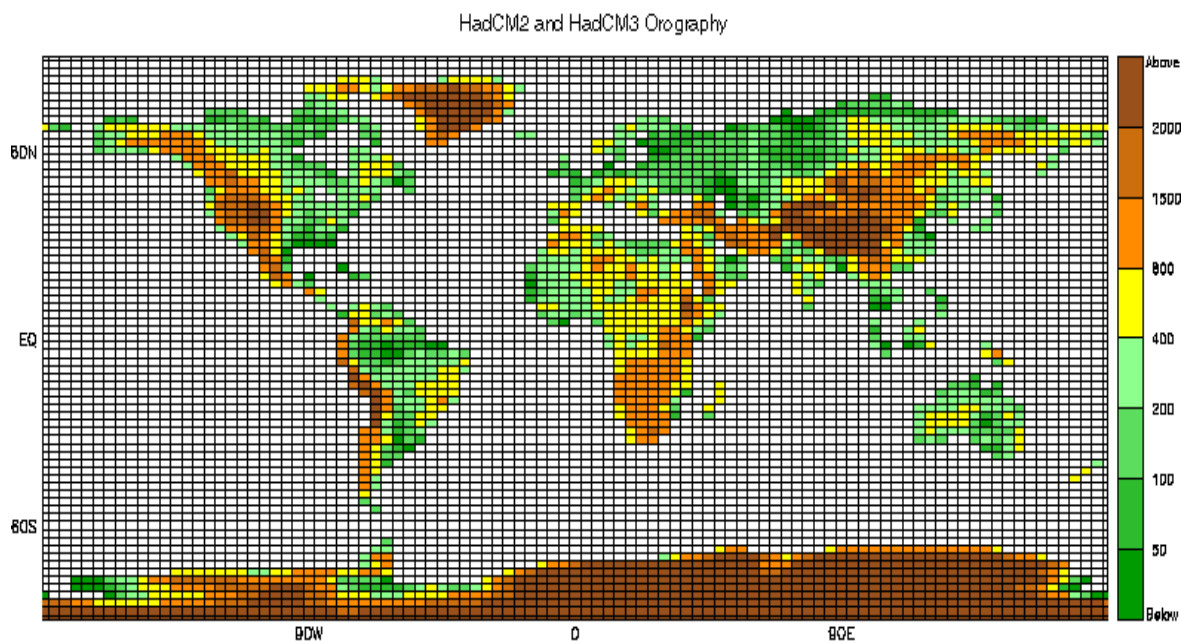
Globální klimatický model HadCM3 je spojený model atmosféra-oceán vyvinutý v britském Hadley Centre. Podrobné informace lze nalézt v Gordon et al. (2000). Oproti předchozím verzím je tato verze vylepšená větším rozlišením oceánické části. Na rozdíl od ostatních globálních modelů nepotřebuje pro dobrou simulaci úpravu toků tepla. Na obr. 1.1 je zachyceno rozložení pevniny a oceánu a orografie modelu HadCM3.

Atmosférická část (HadAM3H) má ve vertikálním směru 19 hladin, sahajících do výšky zhruba 30 km. Horizontální rozlišení je $2,5^\circ$ zeměpisné šířky a $3,75^\circ$ zeměpisné délky, což vytváří globální síť o 96 x 73 uzlových bodech. Odpovídá to přibližně rozlišení 417 km x 278 km na rovníku a 295 km x 278 km na 45. rovnoběžce. Časový krok modelu atmosféry je 30 minut.

Použité radiační schéma obsahuje 6 spektrálních kanálů v krátkovlnné oblasti a 8 kanálů v dlouhovlnné oblasti. V modelu je zachyceno radiační působení CO_2 , vodní páry, ozonu i dalších minoritních skleníkových plynů (Edwards a Slingo, 1996). Model také umožňuje zahrnout transport, oxidaci a depozici antropogenních emisí síry a zachytit tak radiační působení sulfátových aerosolů.

Schéma povrchu Země obsahuje procesy mrznutí a tání půdní vlhkosti, povrchový odtok vody a vysoušení povrchu (Cox et al., 1999). Albedo zemského povrchu je funkcí typu vegetace, výšky sněhové pokrývky a teploty vzduchu nad sněhem a ledem.

Oceánická část modelu obsahuje ve vertikálním směru 20 hladin, sahá do hloubky cca 5 km. Horizontální rozlišení je $1,25^\circ$ x $1,25^\circ$ zeměpisné šířky a délky, tzn. že na jednu atmosférickou gridovou buňku připadá asi 6 gridových buněk oceánských. Toto rozlišení umožňuje zachytit důležité detaily ve struktuře oceánských proudů. Je zachycena výměna vody mezi Středozemním mořem a Atlantským oceánem přes Gibraltar, i když úžina Gibraltaru nespadá do rozlišení modelu. Model mořského ledu využívá jednoduché termodynamické schéma.



Obr. 1.1: Orografie modelů HadCM2 a HadCM3, převzato z <http://www.cru.uea.ac.uk/>.

ECHAM4/OPYC

Globální klimatický model ECHAM4 je 4. ze série modelů ECHAM vyvíjených v Max-Planck Institutu v Hamburku (MPI) a v Německém centru klimatických výpočtů (DKRZ). Vychází z modelu pro předpověď počasí Evropského centra pro střednědobou předpověď ECMWF. Detailní popis modelu lze nalézt v Roeckner et al. (1996). Na obr. 1.2 je rozložení pevniny a oceánu modelu ECHAM4/OPYC.

V modelu se používají hybridní sigma-tlakové souřadnice. Ve vertikálním směru model obsahuje 19 hladin, sahajících do výšky 10 hPa. Horizontální rozlišení modelu je $2,8^\circ \times 2,8^\circ$ zeměpisné šířky/délky. Časový krok je pro dynamickou a fyzikální část 24 minut, pro radiační schéma 2 hodiny.

Radiační kód převzatý z modelu ECMWF byl modifikován. Kromě CO_2 byly zahrnuty i další skleníkové plyny (CH_4 , N_2O a 16 různých freonů), $14,6 \mu\text{m}$ pásmo ozónu a různé typy aerosolů.

Submodel půdy je členěný do 5 vrstev, obsahuje bilanci půdního tepla a vody, sněhovou pokrývku půdy a tepelnou bilanci pevninského ledovce. Zjednodušeně jsou parametrizovány efekty spojené s vegetací jako zachycení kapalných a sněhových srážek v porostu. Parametry povrchu jako albedo, drsnost a vegetační typy, a parametry půdy jako schopnost zadržovat vodu, tepelná kapacita a tepelná vodivost byly namodelovány pro ECHAM4 v souladu s definicí ekosystémů podle Olsona (1983).

Připojený model oceánu OPYC je model vyvinutý v MPI v Hamburku (Oberhuber, 1993). Model využívá izopykny jako vertikální souřadnice, z čehož je odvozen název modelu: Ocean

and isoPYCnal co-ordinates. Použití je založeno na předpokladu, že vnitřní část oceánu se chová téměř jako nedisipativní kapalina. K vnitřnímu oceánu je připojena směšovací vrstva, kde dochází k výrazné turbulenci a uvedený předpoklad neplatí. Zachycuje vertikální mísení při povrchu a zajišťuje působení mezi oceánem a atmosférou. Připojen je model mořského ledu.



Obr. 1.2: Rozložení oceánu a pevniny modelu ECHAM4/OPYC, převzato z <http://www.realclimate.org>.

1.3 Použité regionální klimatické modely

RCAO

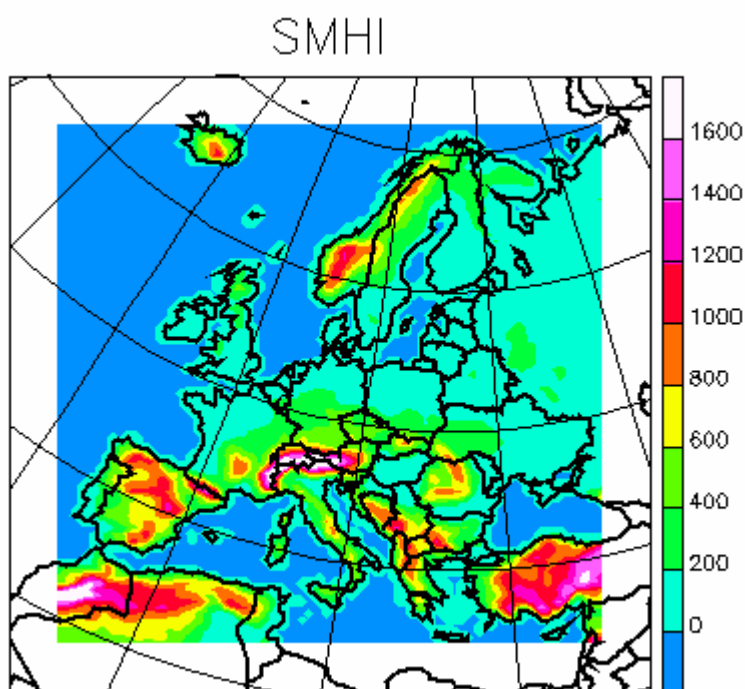
Regionální model RCAO je spojený model atmosféra-oceán vyvinutý v Rossbyho centru ve Švédsku (Döscher et al., 2002). Obsahuje regionální model atmosféry RCA (Rummukainen et al., 2001, Jones et al., 2004) a model oceánu RCO (Meier et al., 2003). Do modelu atmosféry jsou pevně začleněny systém říčních toků a systém jezer. Oceánská a atmosférická část je propojena pomocí spojovacího programu („coupler“) OASIS (Valcke et al., 2000), přes který dochází k výměně příslušných polí stavových veličin a toků.

Model atmosféry RCA vychází z předpovědního modelu na omezenou oblast HIRLAM (Källén, 1996). V projektu PRUDENCE (více o projektu v kapitole 1.4) byla použita verze modelu s rotovanou sítí uzlových bodů s horizontálním rozlišením 50 x 50 km a s 24 hybridními vertikálními hladinami mezi zemským povrchem a hladinou 10 hPa.

Postranní okrajové podmínky jsou aplikovány na okrajovou zónu širokou 8 uzlových bodů. Integrovaná oblast modelu je zachycena na obr. 1.3.

Oceánická část RCO je souběžně běžící program založený na modelu OCCAM (Webb et al., 1997). Interaktivně připojený oceán je omezen na Baltské moře. Horizontální rozlišení je 6 námořních mil (což představuje asi 11,1 km), ve vertikálním směru má model 41 hladin, které mají tloušťku 3 - 12 m. Časový krok je 10 minut.

Regionální model RCAO byl vyvinut, ověřován a používán zpočátku pro severní Evropu a arktickou oblast.



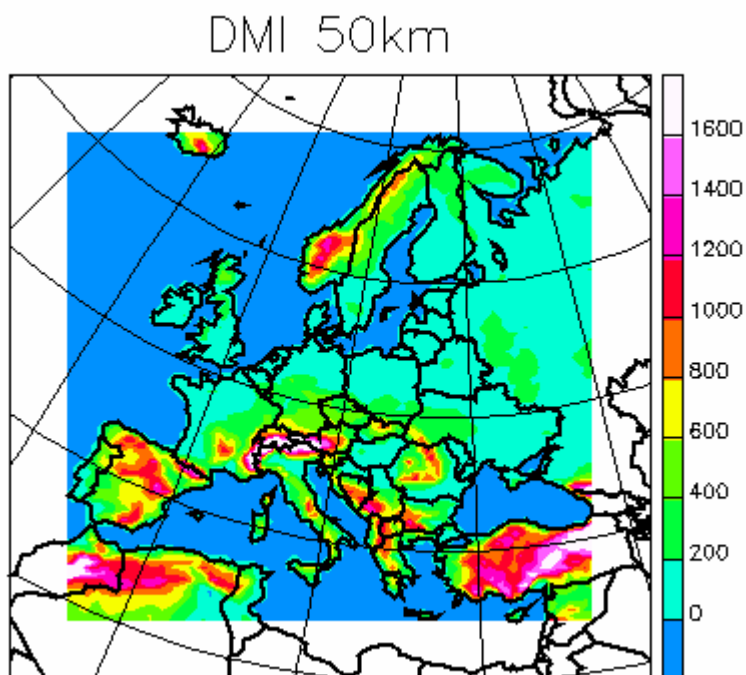
Obr. 1.3: Integrovaná oblast modelu RCAO. Vybarvená část je vnitřní oblast modelu, bílá část představuje okrajovou zónu. Převzato z <http://prudence.dmi.dk/>.

HIRHAM

Model HIRHAM byl vyvinut Christensenem a van Meijgaardem (1992) a vylepšen Christensenem et al. (1996). Dynamická část modelu je založena na hydrostatickém modelu pro omezenou oblast HIRLAM (Källén, 1996).

V této diplomové práci se pracuje s výsledky verze modelu s rotovanou pravidelnou sítí o 110x104 uzlových bodech. Přejímová oblast mezi řídicím a vnořeným modelem je široká 10 uzlových bodů. Horizontální rozlišení této verze modelu je $0,44^\circ \times 0,44^\circ$, což odpovídá přibližně 50 x 50 km. Ve vertikálním směru má model 19 hladin, použity jsou hybridní sigma-tlakové souřadnice. Teplotu půdy model simuluje v 5 vrstvách, pro transport vlhkosti

využívá jednu vrstvu. Časový krok modelu je 5 minut. HIRHAM používá fyzikální parametrizace obsažené v modelu všeobecné cirkulace ECHAM (Roeckner et al., 1996). Na obr. 1.4 je zachycena integrovaná oblast modelu.



Obr. 1.4: Integrovaná oblast modelu HIRHAM. Vybarvená část je vnitřní oblast modelu, bílá část představuje okrajovou zónu. Převzato z <http://prudence.dmi.dk/>.

Hlavní procesy zachycené modelem v atmosféře jsou radiace, velkoprostorová kondenzace, konvekce, vertikální turbulentní výměna a přenos hybnosti prostřednictvím gravitačních vln.

Hlavní procesy modelované na pevnině jsou výměna hybnosti, tepla a vlhkosti mezi půdou, vegetací a atmosférou. Mezi jednotlivé typy povrchů rozlišované modelem patří 16 typů půdy, oceán, mořský led, sníh a pevninský ledovec. Zadány jsou koncentrace aerosolů a skleníkových plynů (CO_2 , freonů, CH_4 , N_2O), parametry půdy a vegetace, tloušťka mořského ledu, parametry aerosolů a koncentrace oblačných kapiček.

1.4 Projekt PRUDENCE

PRUDENCE (Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects) byl evropský projekt zabývající se regionálním modelováním klimatu, který probíhal od 1. listopadu 2001 do 31. října 2004. Zabýval se vytvořením scénářů změny klimatu vysokého rozlišení pro Evropu, určením nejistot v těchto scénářích (vyplývajících z formulace modelů), odhadnutím změn v extrémních jevech jako

jsou povodně a vichřice, dále posouzením dopadů změny klimatu na různé sféry života společnosti, možnostmi adaptace na změny klimatu a možnostmi zmírnění změny klimatu. V rámci projektu byla vypracována doporučení pro evropskou politiku.

Byla vytvořena řada modelových simulací jednak pro současné klima (období 1961-1990) a jednak pro období 2071-2100. Použito bylo deset regionálních klimatických modelů z různých evropských modelových center. Použité modely jsou ARPEGE, CHRM, HadRM, HIRHAM, REMO, RegCM, PROMES, CLM, RACMO a RCAO.

Jako standardní řídicí globální model byl použit atmosférický model Hadleyho centra HadAM3H. Ve většině simulací budoucího klimatu byl použit emisní scénář SRES A2. Některé experimenty byly provedeny i s řídicím globálním modelem ECHAM4 a v některých případech byl použit scénář emisí B2.

Projekt PRUDENCE především zachytil neurčitosti vyplývající z použití různých regionálních modelů s jedním řídicím globálním modelem. Experimenty s regionálními klimatickými modely RCAO a HIRHAM byly provedeny jak s řídicím globálním modelem HadAM3H, tak i s globálním modelem ECHAM4. Je tak možné posoudit i vliv globálního modelu na simulace regionálních modelů. Podrobné informace o projektu lze nalézt na internetových stránkách <http://prudence.dmi.dk/>.

Výsledky projektu PRUDENCE

Jacob et al. (2007) shrnuje výsledky týkající se schopnosti regionálních klimatických modelů, zapojených do projektu PRUDENCE, simulovat současné klima (období 1961-1990) v Evropě. Pozornost je věnována charakteristikám přízemního tlaku vzduchu přepočteného na hladinu moře, přízemní teploty a srážek simulovaných výše zmíněnými regionálními modely a řídicím globálním modelem HadAM3H. Byly porovnávány jednak odchylky modelů od skutečného klimatu reprezentovaného klimatologií CRU nebo reanalýzou ERA-40, jednak odchylky jednotlivých regionálních modelů od řídicího modelu HadAM3H.

Odchylky průměrného přízemního tlaku přepočteného na hladinu moře simulovaného HadAM3H od ERA-40

Jacob et al. (2007) zjistil, že v zimě globální model HadAM3H na území Evropy simuluje rozložení průměrného přízemního tlaku přepočteného na hladinu moře v hlavních rysech poměrně dobře. Oproti reanalýze ale model simuluje příliš vysoký tlak nad středozemní oblastí a příliš hlubokou islandskou níží, což způsobuje silnější tlakový gradient mezi střední a severní Evropou. Důsledkem je příliš vysoký transport vlhkosti a tepla z oblasti Atlantického oceánu do severní Evropy, který vede k nepřiměřeně vysokým teplotám a srážkám.

V létě jsou výsledky modelu HadAM3H blíže reanalýze ERA-40. Oproti skutečnosti je ale na většině kontinentu průměrný tlak přepočtený na hladinu moře více homogenní a Azorská výše je méně vyjádřena. Západní proudění do Evropy je proto omezeno, dochází k menšímu transportu vlhkosti do této oblasti, než ukazují pozorování, což vede k příliš suchým a teplým podmínkám (Jacob et al., 2007).

Odchyly průměrného přízemního tlaku přepočteného na hladinu moře simulovaného RCM od tlaku simulovaného řídicím HadAM3H

Ukázalo se, že ve většině případů dává průměr ze všech použitých RCM (dále jako průměr z RCM) lepší výsledky než jednotlivé modely. V zimě se tento průměr podle Jacob et al. (2007) velice podobá výsledkům HadAM3H, což nejspíš plyne z faktu, že v zimě bývají podmínky počasí ovlivněny především procesy velkého měřítka. Hodnoty tlaku nad jižní Evropou jsou mírně vyšší než hodnoty simulované HadAM3H, tzn. více se liší od reanalýzy. Nicméně v některých případech, jako jsou oblasti vyššího tlaku nad Pyrenejským poloostrovem a Balkánem, je tlakové pole lépe zachyceno průměrem z RCM.

V létě jsou rozdíly mezi průměrem z RCM a řídicím HadAM3H výraznější. Je to možné vysvětlit menším vlivem atmosférické cirkulace a větším vlivem procesů malého měřítka než v zimě. Hodnoty a struktura tlakového pole pro jižní, západní a střední Evropu simulované RCM jsou bližší hodnotám ERA-40 než výsledky HadAM3H.

Podle Jacob et al. (2007) je průměrná odchylka regionálního modelu od řídicího modelu na většině území Evropy poměrně malá, k největším rozdílům dochází v horských oblastech. V těchto oblastech je též relativně vysoká odchylka mezi jednotlivými RCM.

Přízemní teplota a srážky simulované RCM a HadAM3H ve srovnání s CRU

Pro vyhodnocení schopnosti modelů simulovat klima v Evropě bylo definováno 8 oblastí: Britské souostroví (BI), Pyrenejský poloostrov (IP), Francie (FR), střední Evropa (ME), Skandinávie (SC), Alpy (AL), Středomoří (MD) a východní Evropa (EA) (Christensen, Christensen, 2007). Každé oblasti je přiřazena průměrná hodnota přízemní teploty a srážek. Na obr. 1.5 jsou znázorněny odchylky teploty a srážek jednotlivých RCM a řídicího HadAM3H od klimatologie CRU.

Z výsledků v Jacob et al. (2007) vyplývá, že se nedá jednoznačně říci, zda má na výsledky v jednotlivých regionech určující vliv použitý regionální model nebo řídicí globální model HadAM3H. Pouze v zimě se ukazuje, že jak u teploty, tak u srážek dominuje vliv proudění velkého měřítka, což koresponduje s výsledky týkajícími se tlaku přepočteného na hladinu moře.

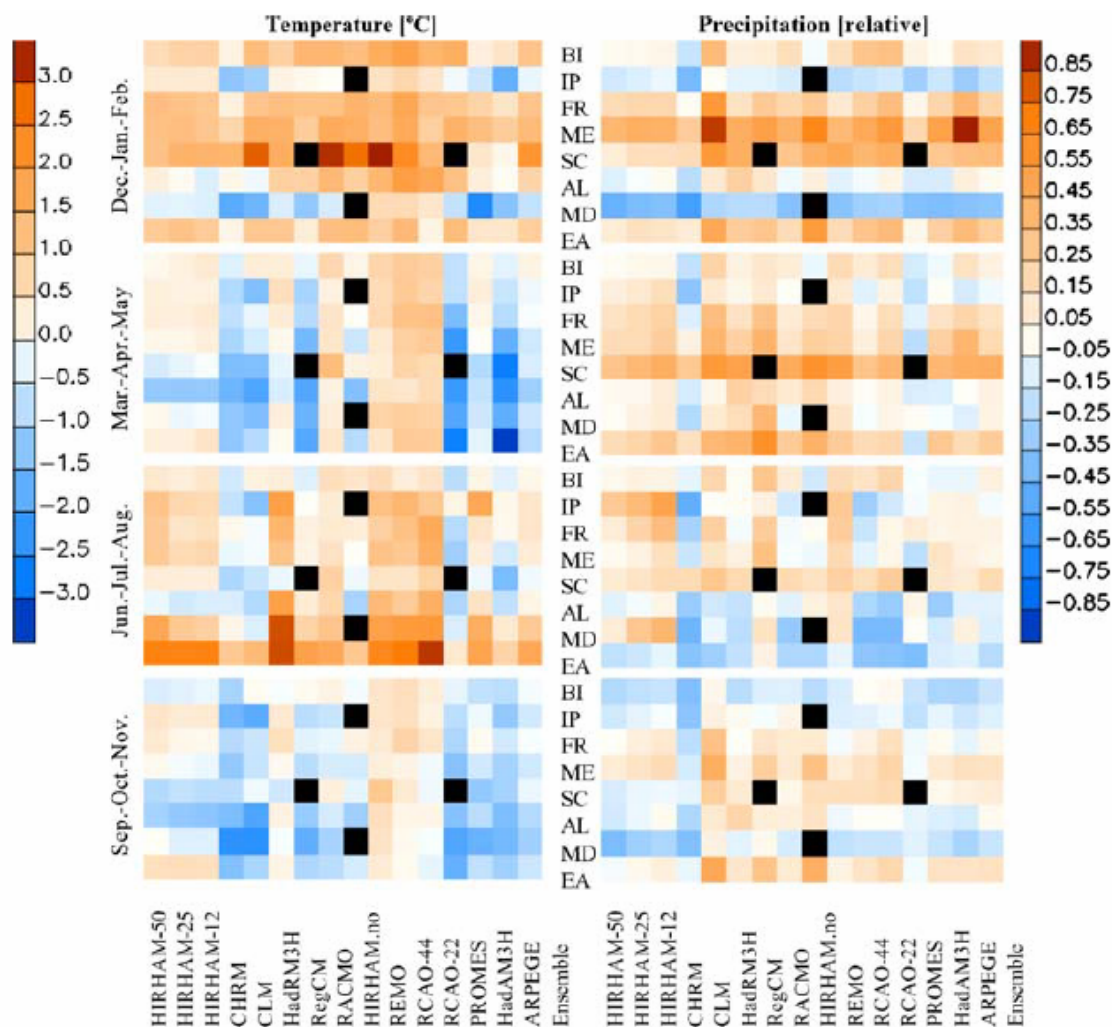
Jacob et al. (2007) dále uvádí, že oblasti s teplou/studenou odchylkou modelů od CRU v zimě většinou vykazují v tomto období vlhké/suché odchylky a v létě je tento vztah obrácený, tedy teplé/studené odchylky se slučují se suchými/vlhkými odchylkami. Skutečnost, že klima simulované HadAM3H je v zimě příliš zonální, vede k vlhkému klimatu ve střední a severní Evropě a naopak suchému klimatu ve Středozevní oblasti. Pro léto a zimu platí, že ve většině oblastí modely vykazují teplou odchylku oproti CRU, zatímco na jaře a na podzim se objevují častěji studené odchylky.

V zimě je teplota odchylka, konzistentní s odchylkou v průměrném přízemním tlaku přepočteném na hladinu moře popsanou výše, u RCM řízených HadAM3H silná především ve Skandinávii. Naopak ve Středomoří je v zimě tendence ke studeným a suchým podmínkám. Meziroční variabilita modelů je ve většině oblastí v zimě menší ve srovnání s CRU, zejména to platí pro severní a západní Evropu. Pravděpodobně je to způsobeno skutečností, že v zimě je HadAM3H příliš zonální a nesimuluje dostatečný počet „blokujících situací“, které jsou v této sezóně hlavním zdrojem meziroční variability.

Jak bylo řečeno výše, Jacob et al.(2007) uvádí, že s odchylkou modelu HadAM3H v přízemním tlaku přepočteném na hladinu moře v létě souvisí skutečnost, že v tomto období většina modelů simuluje příliš teplé a suché klima. Odchylka průměru ze všech použitých RCM od CRU je většinou menší než v zimě. Modelovaná meziroční teplotní variabilita je ve většině případů v létě větší, než ukazují pozorování, oproti zimě dochází k lepší shodě mezi pozorovanými a simulovanými hodnotami.

Znamé „letní vysoušení“ mnoha RCM je patrné především v oblasti Středomoří a ve východní Evropě. Intenzita vysoušení se mění v závislosti na regionálním modelu. Tento jev je zvýšen cirkulačními odchylkami modelu HadAM3H, který v létě simuluje příliš často „blokující situace“, spojené se suchým a slunečným počasím.

Pokud se týká srážek, je meziroční variabilita v relativně dobré shodě s pozorováními jak v zimě, tak v létě.



Obr. 1.5: Sezónní odchylky jednotlivých RCM a řídicího HadAM3H od CRU pro teploty a srážky pro současné klima (1960-90), převzato z Jacob et al. (2007).

Odchylky přízemní teploty a srážek simulovaných RCM od řídicího HadAM3H

Z výsledků v Jacob et al. (2007) je vidět, že v mnoha regionech se odchylky RCM od CRU liší od odchylek HadAM3H od CRU. V některých případech je dokonce charakter odchylek regionálního modelu od globálního modelu nezávislý na regionu – např. modely RCAO a REMO simulují obecně ve všech sezónách teplejší podmínky než HadAM3H, CHRM sušší podmínky a CLM vlhčí – tzn. že v těchto případech je vliv regionálního modelu na teploty nebo srážky výraznější než vliv řídicího HadAM3H. Tyto závěry ukazují, že ačkoli hlavní cirkulační rysy řídicího modelu jsou reprodukovány regionálními modely, jejich odlišné konfigurace vedou k simulacím, které se liší od výsledků GCM.

2 Srážkové poměry v České republice v období 1961-2000

Informace o srážkových poměrech České republiky v období 1961-2000 byly v nedávné době zpracovány v Atlasu podnebí Česka (2007).

Pro atmosférické srážky na území ČR je typická velká prostorová a časová variabilita. Rozložení srážek je dáno interakcí fyzikálních procesů jejich vzniku, atmosférické cirkulace a fyzickogeografických charakteristik území ČR (Atlas podnebí Česka, 2007).

V zimním půlroce, tj. v říjnu až březnu, je výskyt atmosférických srážek vázán zejména na frontální systémy a tlakové níže přecházející přes naše území. Jedná se tedy zpravidla o srážky vypadávající z vrstevnaté oblačnosti, s menší intenzitou a delším trváním. V letním půlroce, tj. v dubnu až září, atmosférické srážky častěji vypadávají z kupovité oblačnosti. Charakteristické je tedy kratší trvání a větší intenzita srážek.

Z hlediska průměrných ročních úhrnů (viz obr. 2.1) jsou na srážky nejbohatší pohraniční pohoří České republiky: nejvyšších úhrnů je dosahováno v Jizerských horách a Krkonoších, dále na Šumavě, v Orlických horách, v Hrubém Jeseníku a v Moravskoslezských Beskydech. Naopak nejsušší oblasti se nacházejí v Podkrušnohoří (v oblasti Kadaně, Žatce a Loun) a na jižní Moravě.

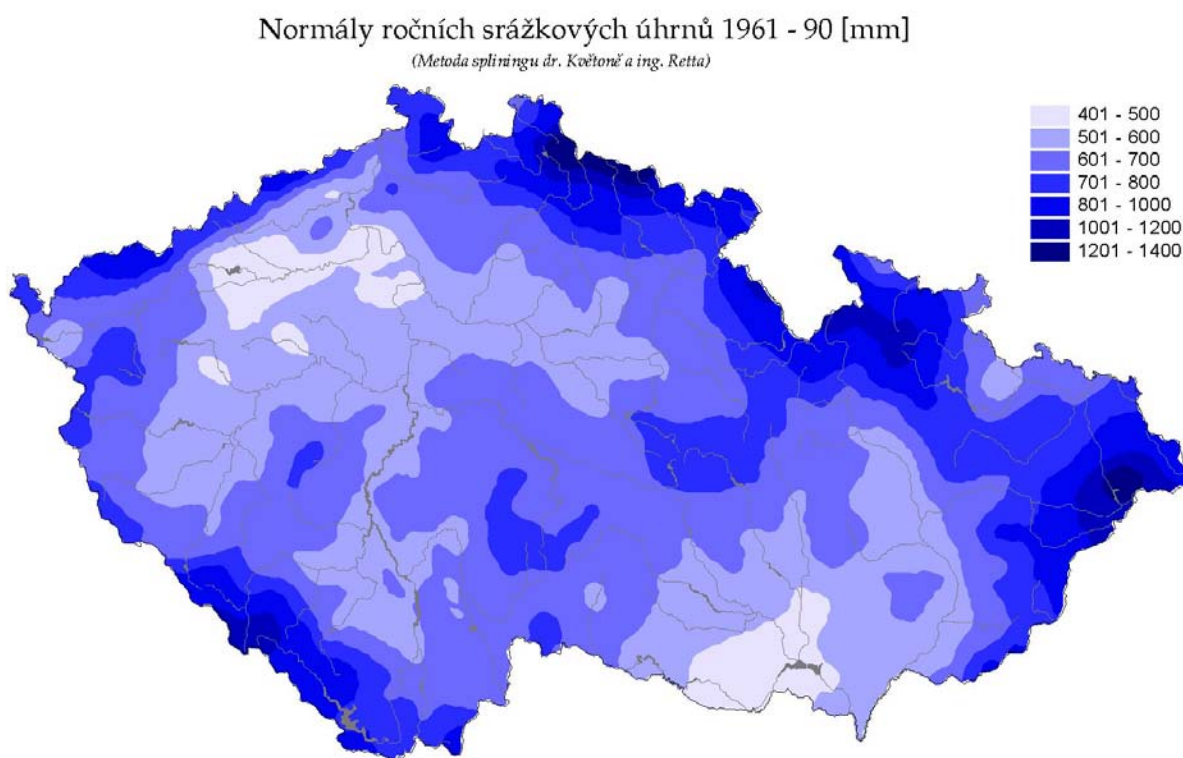
Pokud se týká sezónních srážkových úhrnů, podobné prostorové rozložení jako pro roční úhrny je též v zimě, kdy jsou výrazně vyjádřeny orograficky podmíněné vlivy srážkového návětrí a závětrí, a na jaře (Atlas podnebí Česka, 2007). Na podzim je dobře vyjádřeno srážkové minimum v oblasti Podkrušnohoří, maximální úhrny jsou v Krkonoších a na Šumavě. Letní sezóna se od ostatních ročních období odlišuje zejména oblastí vyšších úhrnů srážek v jižních Čechách.

Jak je uvedeno v Atlasu podnebí Česka (2007), obdobné rysy geografického rozložení atmosférických srážek jako u průměrných sezónních úhrnů pozorujeme také u průměrných měsíčních úhrnů srážek pro měsíce dané sezóny.

Tvar ročního chodu srážek se v jednotlivých částech ČR liší. Pro naši zeměpisnou oblast typická jednoduchá vlna je v některých oblastech doplněna podružnými minimy či maximy. Také umístění hlavních maxim a minim je v rámci našeho území různé. Podle Atlasu podnebí Česka (2007) se obvykle hlavní maximum srážek vyskytuje v červenci, někde ale také v červnu nebo v srpnu, na některých stanicích v severních Čechách dokonce až v prosinci. Hlavní srážkové minimum, obvykle připadající na leden, je v některých oblastech posunuto na únor, někde dokonce na duben, výjimečně se pak vyskytuje v říjnu. Místy je pozorováno

podružné maximum v listopadu nebo v prosinci, což je spojeno s poklesem srážek v říjnu. Na českých horách lze rozpoznat další podružné maximum v březnu.

Další charakteristikou zpracovanou v Atlasu podnebí Česka (2007) je prostorové rozložení průměrných počtů dní se srážkovým úhrnem $\geq 0,1$ mm, $\geq 1,0$ mm, $\geq 5,0$ mm a $\geq 10,0$ mm. Počet srážkových dní, naměřených pozorovatelem, ve srovnání s hodnotami srážkových úhrnů, ve větší míře ovlivňuje kvalita pozorování a prostorová a časová proměnlivost srážek. Je zde též volnější vazba na nadmořskou výšku (Atlas podnebí Česka, 2007). Patrné je to především na prostorovém rozložení průměrného ročního počtu dní se srážkovým úhrnem $\geq 0,1$ mm. Co se týče ročního chodu, pro počet dní se srážkovým úhrnem $\geq 0,1$ mm je na většině území roční chod dvojitý, obsahuje hlavní maximum v prosinci a podružné maximum v červnu. Pro další kategorie srážkových dnů dochází k přechodu k jednoduchému chodu, s letním maximem v červnu a zimním minimem v lednu (Atlas podnebí Česka, 2007).



Obr. 2.1: Prostorové rozložení průměrných ročních úhrnů srážek pro ČR za období 1961-90. Převzato z internetových stránek ČHMÚ (<http://www.chmi.cz/>).

Dalšími srážkovými charakteristikami zpracovanými v Atlasu podnebí Česka (2007), které patří mezi charakteristiky extremity srážek, jsou roční a měsíční maxima jednodenních, dvoudenních a třídních úhrnů srážek. Na tyto charakteristiky má výrazný vliv výskyt extrémně vysokých a zřídka se vyskytujících hodnot srážkových úhrnů, jakými byly v období

1961-2000 například extrémní srážky, které způsobily povodně na Moravě v roce 1997. To má za následek velkou časovou i prostorovou proměnlivost těchto charakteristik. Absolutní roční i měsíční maxima jednodenních, dvoudenních a třídenních úhrnů atmosférických srážek se výrazně liší v jednotlivých letech, velké rozdíly jsou mezi stanicemi. U prostorového rozložení průměrných ročních maxim jednodenních až třídenních úhrnů srážek jsou patrné vyšší hodnoty na horách a nižší hodnoty v níže položených oblastech. Průměrná měsíční maxima jednodenních až třídenních úhrnů srážek vykazují roční chod s více nebo méně výrazným maximem v letních měsících, na některých horských stanicích se objevuje též podružné maximum v zimě.

3 Použitá data

Data ze stanic

K dispozici byly časové řady denních úhrnů srážek za období 1961 – 1990 ze stanic Cheb, Kralovice, Třeboň, Tábor, Doksany, Semčice, Brno-Tuřany, Kuchařovice. Zeměpisné souřadnice a nadmořské výšky těchto stanic jsou uvedeny v tab. 4.1, str. 26. Tato data poskytl Český hydrometeorologický ústav.

Modelová data

Data z regionálních klimatických modelů s horizontálním rozlišením 50 x 50 km byla stažena z archivu projektu PRUDENCE (<http://prudence.dmi.dk/>), který je podporován EU prostřednictvím smlouvy EVK2-CT2001-00132. Data byla k dispozici ve formátu netCDF. Pro další zpracování je připravil RNDr. Petr Pišoft, Ph.D., z KMOP MFF UK pro projekt VZ 01 Voda (2005) a SP/1A6/108/07.

Aby bylo možné zhodnotit neurčitosti vyplývající jak z použití různých regionálních klimatických modelů, tak z použití různých řídicích globálních modelů, byly vybrány simulace dvou různých regionálních modelů RCAO a HIRHAM, u nichž byly k dispozici běhy jak s řídicím globálním modelem HadAM3H, tak s ECHAM4. Použity byly tedy následující čtyři běhy modelů pro období 1961 - 1990:

- běh modelu RCAO řízený modelem HadAM3H (dále jako RCAO/Had),
- běh modelu RCAO řízený modelem ECHAM (dále jako RCAO/ ECH),
- běh modelu HIRHAM řízený modelem HadAM3H (dále jako HIR/Had),
- běh modelu HIRHAM řízený modelem ECHAM (dále jako HIR/ECH).

Poloha a nadmořská výška uzlových bodů regionálních modelů RCAO a HIRHAM v České republice je uvedena na obr. 3.1. Na obr. 3.2 je znázorněna orografie modelů RCAO a HIRHAM.

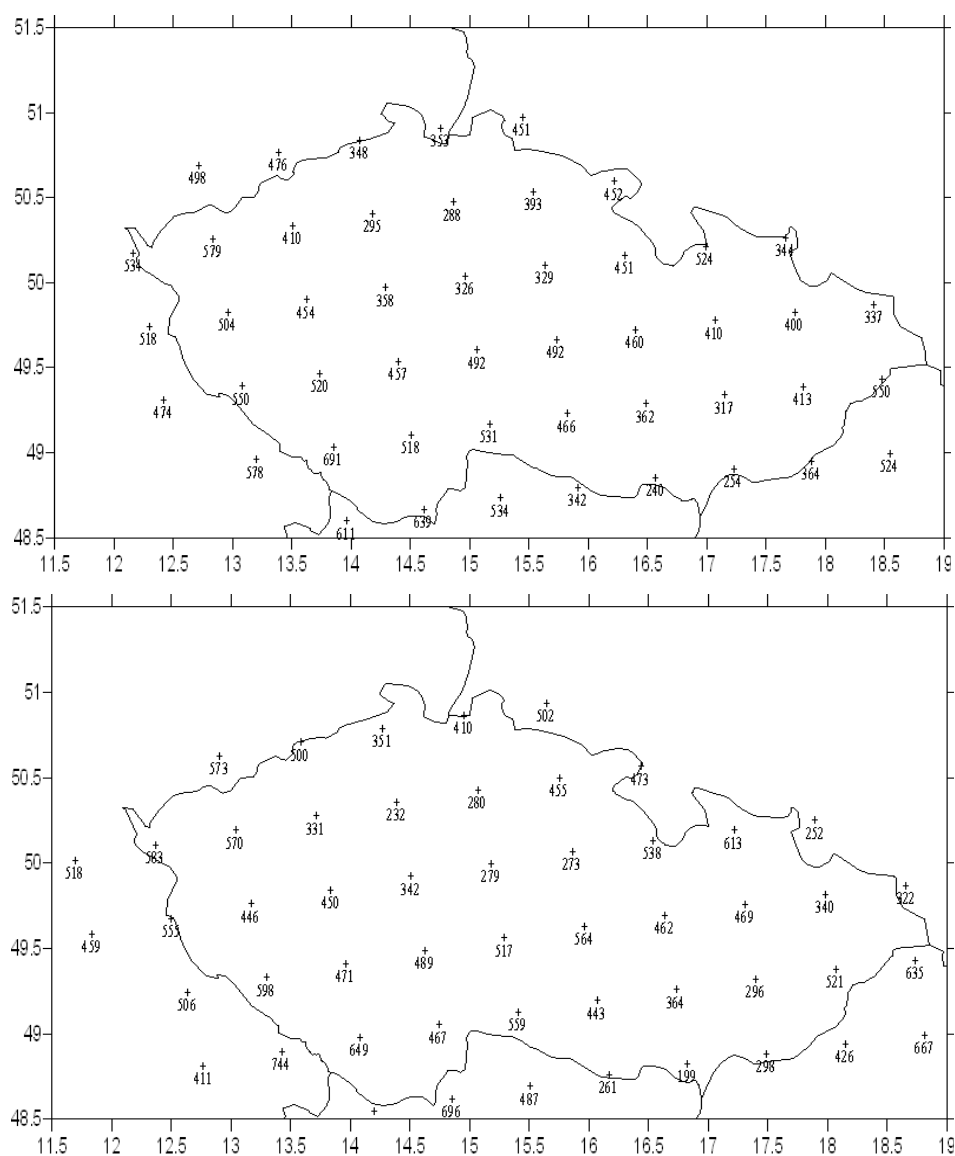
Data klimatologie CRU

Použita byla též klimatologická data vytvořená Climatic Research Unit (CRU) s horizontálním rozlišením $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ zeměpisné šířky a délky (více o CRU v kap. 1.1).

Orografie regionálních modelů RCAO a HIRHAM v oblasti ČR

V rozlišení okolo 50 km je modelová orografie podstatně zjednodušena a zhlazena. Regionální klimatické modely s tímto rozlišením zachycují přijatelně pouze rozsáhlejší horské masívy, jako jsou Alpy a Karpaty. Skutečná orografie České republiky, která je z našeho pohledu hodně členitá, je z celoevropského pohledu naopak málo výrazná. V modelech jsou

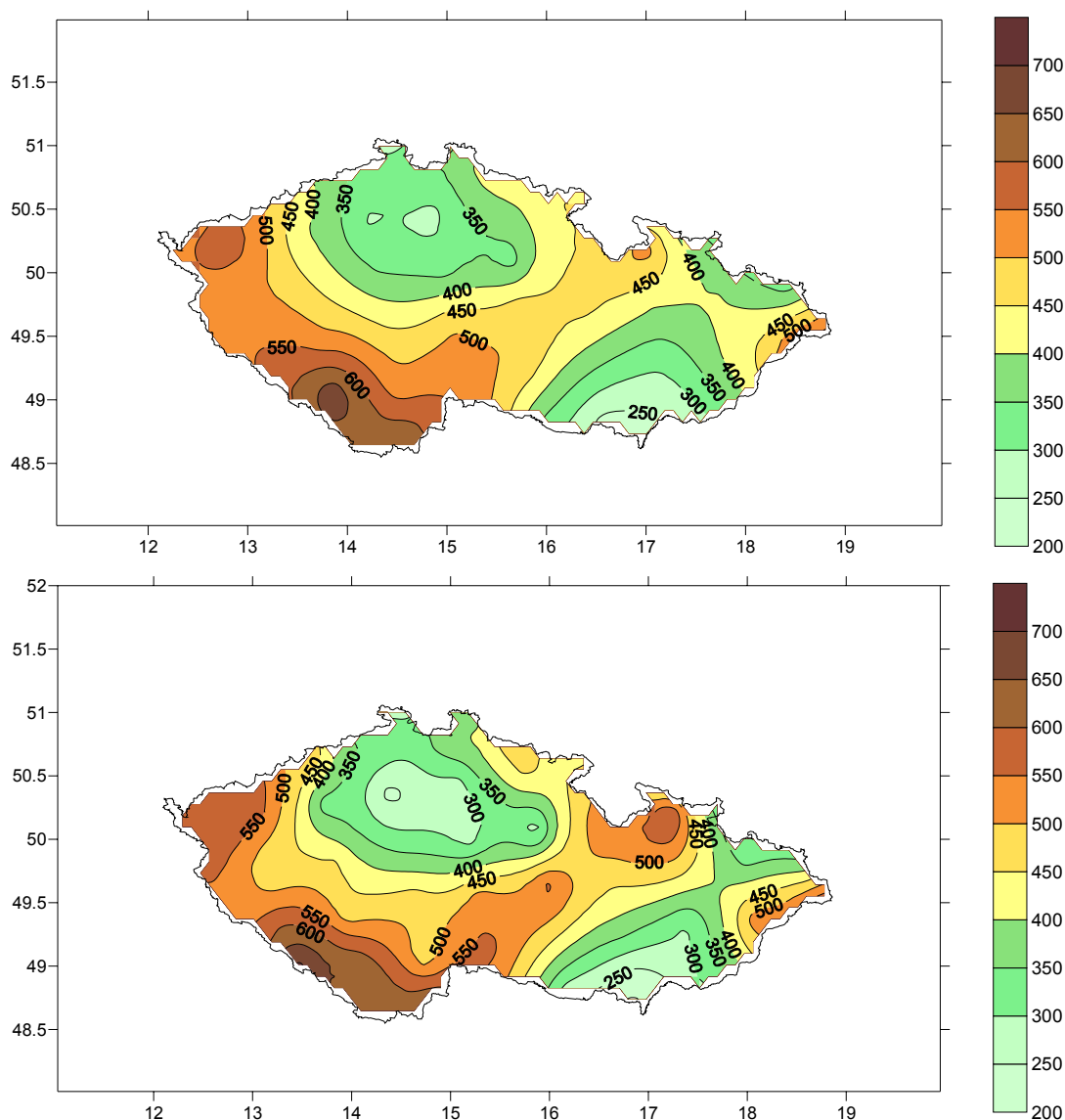
pohoří v České republice vyjádřena spíše jako vyvýšeniny, není zachycena členitost pohoří, ani jednotlivé vrcholy hor. Chybí hlavně pohoří malá rozlohou nebo pohoří ve tvaru úzkého pásu, což je případ Jizerských hor, Krkonoš a Krušných hor. Zda bude dané pohoří v modelu zachyceno, závisí také do značné míry na umístění sítě uzlových bodů, např. v oblasti Jizerských hor a Krkonoš žádný uzlový bod modelů RCAO ani HIRHAM není, pás Krušných hor je orientován šikmo k řadám uzlových bodů apod.



Obr. 3.1: Poloha a nadmořská výška uzlových bodů modelu RCAO (nahore) a modelu HIRHAM (dole), převzato z Kalvová a kol. (2005).

Oba použité regionální modely mají v oblasti ČR orografii v hlavních rysech podobnou (viz obr. 3.2). Nejvýrazněji z českých pohoří je zachycena Šumava (jedině tady se vyskytuje vrstevnice 600 m n.m.), naznačena je Českomoravská vrchovina. Dále je docela věrně

zachycena Polabská nížina, nížiny na jižní Moravě, Beskydy a Javorníky. Naopak téměř chybí Krušné hory a Jizerské hory, jen velmi slabě jsou naznačeny Krkonoše a Jeseníky.



Obr. 3.2: Orografie modelů RCAO (nahore) a HIRHAM (dole).

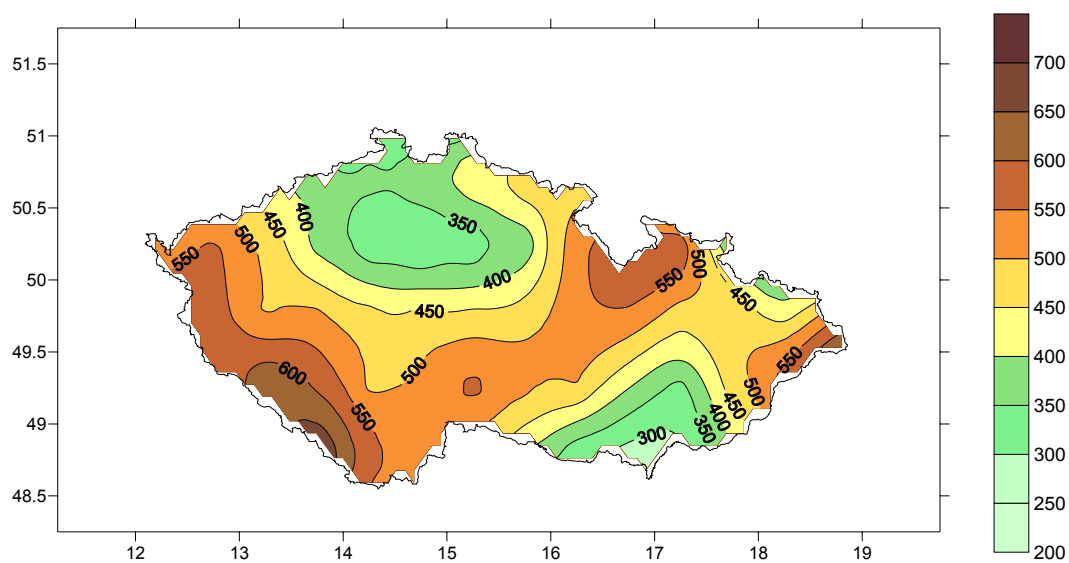
Orografie modelu HIRHAM je více členitá než orografie modelu RCAO. U HIRHAMu jsou větší výškové rozdíly mezi horami a nížinami. Výrazněji je vyjádřena Šumava, Polabská nížina a Jeseníky, vyšší jsou Beskydy a lépe je zachycena Českomoravská vrchovina.

I přesto, že model HIRHAM lépe vystihuje některé rysy skutečné orografie ČR, některá důležitá pohoří jsou naznačena stále jen velmi slabě (Krkonoše, Krušné hory). V některých oblastech ČR je tedy skutečná orografie zachycena modelem lépe než v jiných oblastech.

Orografie klimatologie CRU

Orografie CRU se v daném rozlišení příliš neliší od orografie regionálních modelů RCAO a HIRHAM. Z pohoří je nejlépe zachycena Šumava, Beskydy a Javorníky, naznačeny jsou

Orlické hory a Hrubý Jeseník a jen velice málo jsou naznačeny Krkonoše a Jizerské hory. Krušné hory téměř nejsou vyjádřeny. Docela dobře je zachycena Polabská nížina a nížiny na jižní Moravě (viz obr. 3.3.).



Obr. 3.3: Orografie klimatologie CRU.

4 Metody zpracování

Výběr uzlových bodů a stanic

Pro porovnávání modelových výstupů s pozorováními byly vybrány čtyři oblasti v České republice. Oblasti byly vybrány v rámci projektu VZ 01 Voda (2005), jehož součástí měla být i tato diplomová práce. Každou oblast charakterizuje jeden uzlový bod modelu RCAO a nejbližší uzlový bod modelu HIRHAM. Ke každé dvojici uzlových bodů RCAO a HIRHAM byly přiřazeny dvě nejbližší stanice. Při výběru stanic byl brán ohled jak na zeměpisnou polohu stanice, tak na nadmořskou výšku. Oblasti byly pojmenovány *ZČ* (západní Čechy), *JČ* (jižní Čechy), *SČ* (severní Čechy) a *JM* (jižní Morava). Zeměpisná poloha a nadmořská výška uzlových bodů a stanic v jednotlivých oblastech je uvedena v tab. 4.1.

Tab. 4.1: Zeměpisné souřadnice a nadmořská výška uzlových bodů modelů a stanic ve čtyřech zvolených oblastech.

oblast ZČ				oblast SČ			
	zem.délka	zem.šířka	nadm.v.[m]		zem.délka	zem.šířka	nadm.v.[m]
RCAO	12°58'	49°49'	504	RCAO	14°52'	50°28'	288
HIRHAM	13°10'	49°46'	446	HIRHAM	15°04'	50°26'	280
Kralovice	13°29'	49°59'	468	Doksany	14°10'	50°28'	158
Cheb	12°23'	50°04'	471	Semčice	15°00'	50°22'	234
oblast JČ				oblast JM			
	zem.délka	zem.šířka	nadm.v.[m]		zem.délka	zem.šířka	nadm.v.[m]
RCAO	14°31'	49°06'	518	RCAO	16°29'	49°17'	362
HIRHAM	14°44'	49°04'	467	HIRHAM	16°44'	49°16'	364
Třeboň	14°46'	49°01'	429	Brno-Tuřany	16°41'	49°10'	241
Tábor	14°40'	49°25'	449	Kuchařovice	16°05'	48°53'	334

Výběr srážkových charakteristik

V souladu se zadáním diplomové práce byly vybrány srážkové charakteristiky popisující kromě průměrného klimatu také výskyt extrémních jevů, tzn. především výskyt vysokých srážkových úhrnů.

Vybrány byly následující srážkové charakteristiky:

- roční úhrny srážek,
- roční chod srážek,
- počet dní se srážkami,
- počty dní se srážkovým úhrnem v daném intervalu (rozdělení srážek),
- 20%, 50%, 90%, 95% kvantily denních úhrnů srážek,

- největší 3, 5, 10denní srážkový úhrn,
- počet dní se srážkovým úhrnem nad 10 mm.

Program STARDEX

K výpočtu některých charakteristik byl použit program projektu STARDEX. Jednalo se o 20%, 50%, 90% a 95% kvantily, největší 3, 5 a 10denní srážkový úhrn a počet dní se srážkovým úhrnem nad 10 mm. STARDEX (Statistical and Regional dynamical Downscaling of EXtremes for European regions) byl výzkumný projekt, který probíhal od února 2002 do července 2005. Jeho úkolem bylo porovnání a vyhodnocení různých statistických a dynamických metod downscalingu, které se využívají ke konstrukci scénářů extrémních jevů. Podrobné informace o projektu a výše zmíněný program lze nalézt na internetových stránkách <http://www.cru.uea.ac.uk/projects/stardex/>. Program STARDEX Diagnostic Extremes Indices Software slouží k výpočtu charakteristik popisujících extrémní jevy. Vstupními daty jsou denní data (hodnoty teploty a/nebo srážek). Výstupní data jsou pak hodnoty teplotních/srážkových charakteristik spočtené pro každou sezónu.

Definice použitých srážkových charakteristik

Roční úhrn srážek

Tato charakteristika představuje celkový úhrn srážek v jednom roce.

Roční chod srážek

Tato charakteristika představuje měsíční úhrny srážek pro každý měsíc v roce.

Počet dní se srážkami

Za den se srážkami je považován den se srážkovým úhrnem 0,1 mm a více. Den se srážkovým úhrnem méně než 0,1 mm je pak den beze srážek.

Rozdělení srážek

Tato charakteristika představuje zpracování počtu dní se srážkovým úhrnem v určitém intervalu.

Počet dní se srážkovým úhrnem ≥ 10 mm

Tato charakteristika představuje počet dní v dané sezóně, kdy srážkový úhrn dosáhl 10 mm a více.

Kvantily (20, 50, 90, 95%) denních úhrnů srážek

P% kvantil denních úhrnů srážek (R_p) představuje hodnotu srážkového úhrnu srážkového dne, pro který platí, že p % srážkových dní v dané sezóně má hodnotu úhrnu menší nebo rovnou než R_p a (100-p) % dní má hodnotu srážkového úhrnu větší než R_p .

Největší 3/5/10denní srážkový úhrn

Největší N-denní srážkový úhrn představuje maximum z celkového srážkového úhrnu za N dní jdoucích po sobě v dané sezóně.

Prostorové rozložení modelových srážek v ČR a porovnání s CRU

Kromě vyhodnocení srážkových charakteristik ve čtyřech zvolených oblastech v ČR byly zhotoveny mapy prostorového rozložení průměrných ročních úhrnů srážek regionálních klimatických modelů pro celé naše území a dále mapy podílů průměrných ročních úhrnů srážek regionálních modelů a dat klimatologie CRU. Byla použita modelová data převedená do sítě uzlových bodů společné s CRU.

Způsob zpracování

Kromě programu STARDEX byl ke zpracování dat použit program Microsoft Excel. Mapy rozložení průměrných ročních úhrnů srážek a mapy podílů těchto úhrnů vůči hodnotám CRU byly vytvořeny pomocí programu Surfer8. Při výpočtech bylo bráno v úvahu, že všechny modelové měsíce mají, narozdíl od skutečnosti, délku 30 dní.

5 Prostorové rozložení srážek regionálních klimatických modelů v ČR

5.1 Průměrné roční úhrny srážek regionálních klimatických modelů v období 1961-1990

Rozložení průměrných ročních úhrnů srážek v České republice simulované regionálními modely RCAO a HIRHAM řízenými HadAM3H a ECHAM bylo porovnáno s pozorovaným rozložením srážek za období 1961-1990 (viz obr. 2.1, str. 20, kapitola Srážkové poměry v ČR).

RCAO

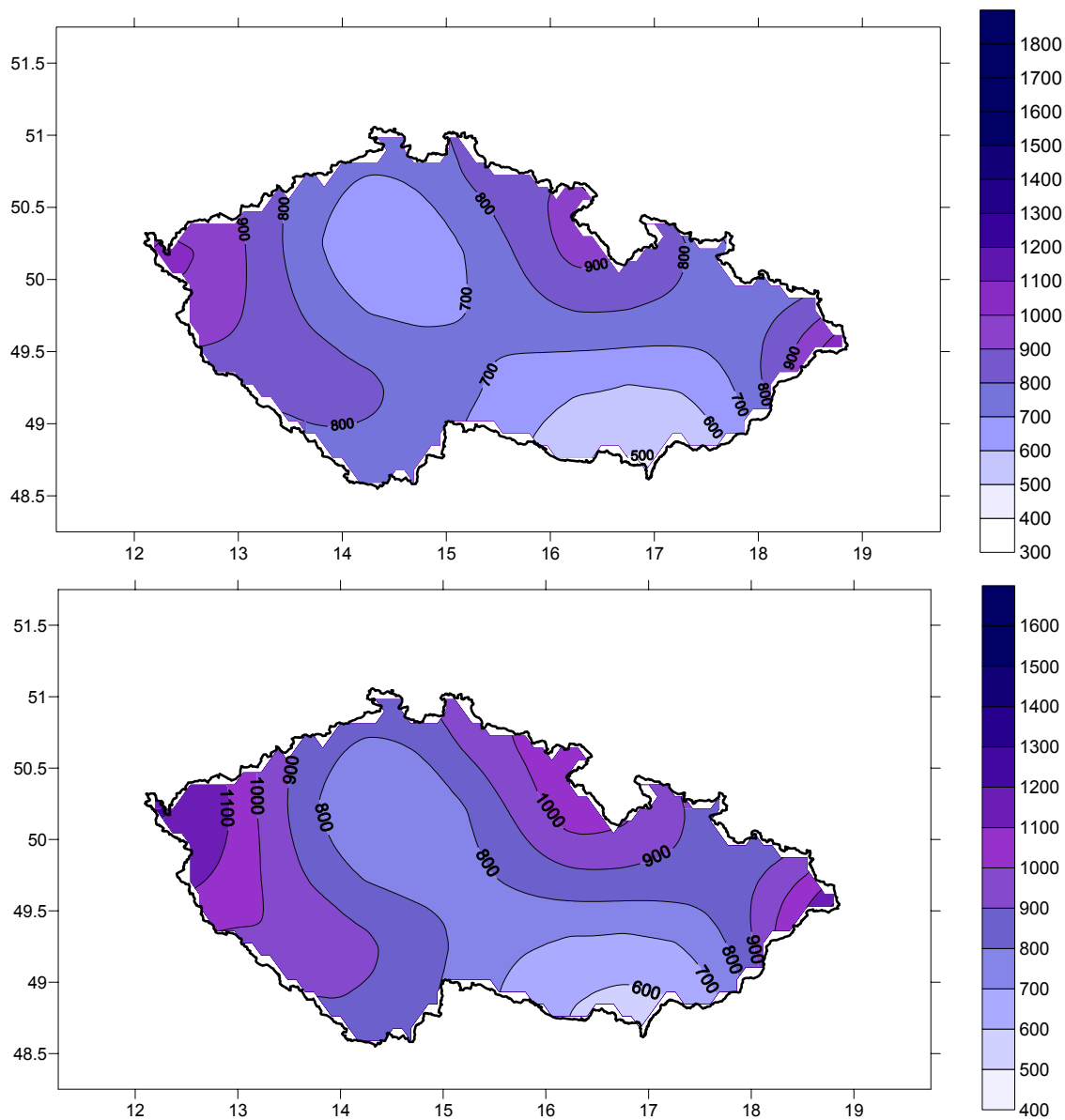
Srážkové pole modelu RCAO je ve srovnání se skutečností poměrně hladké, málo členité, s mírnými gradienty. Na obr. 5.1 jsou znázorněna srážková pole pro kombinace RCAO/Had a RCAO/ECH.

Rozložení srážek modelu RCAO na území České republiky obsahuje tři hlavní maxima srážek. Maximum v oblasti Ašského výběžku a nejzápadnější části Čech je protažené směrem do jihozápadních Čech a do jihozápadní části Krušných hor. Maximum v oblasti Orlických hor a Broumovského výběžku je protažené na severozápad směrem do Krkonoš a Jizerských hor a na jihovýchod směrem k Hrubému Jeseníku. Třetí maximum srážek leží v Moravskoslezských Beskydech. Hodnoty srážkových úhrnů v maximech dosahují hodnot 900 - 1100 mm pro RCAO/Had a 1050 - 1200 pro RCAO/ECH.

Jak je dále vidět na obr. 5.1, srážkové pole modelu RCAO obsahuje dvě hlavní oblasti nízkých ročních úhrnů srážek. První suchá oblast se táhne od Ústí nad Labem přes okolí Prahy k Českomoravské vrchovině. Naznačuje skutečnou oblast s nízkými úhrny srážek v Polabí, Poohří a středních Čechách. Druhá suchá oblast leží na jižní Moravě a poměrně dobře odpovídá skutečné oblasti s nízkými úhrny srážek jižně od Brna.

Při srovnání prostorového rozložení ročních úhrnů srážek modelu RCAO se skutečným polem srážek v ČR můžeme říci, že model nezachycuje dobře vysoké srážkové úhrny v pohraničních pohořích České republiky (což samozřejmě také souvisí s tím, že pohraniční hory nejsou v orografii modelu při daném rozlišení dostatečně dobře zachyceny). Srážkové pole je lépe simulováno na Moravě, kde je docela dobře zachycena suchá oblast na jižní Moravě a vysoké srážkové úhrny v Moravskoslezských Beskydech (které již zřejmě tvoří okraj masívu Západních Karpat). Hůře model zachycuje srážkové pole v Čechách, kde

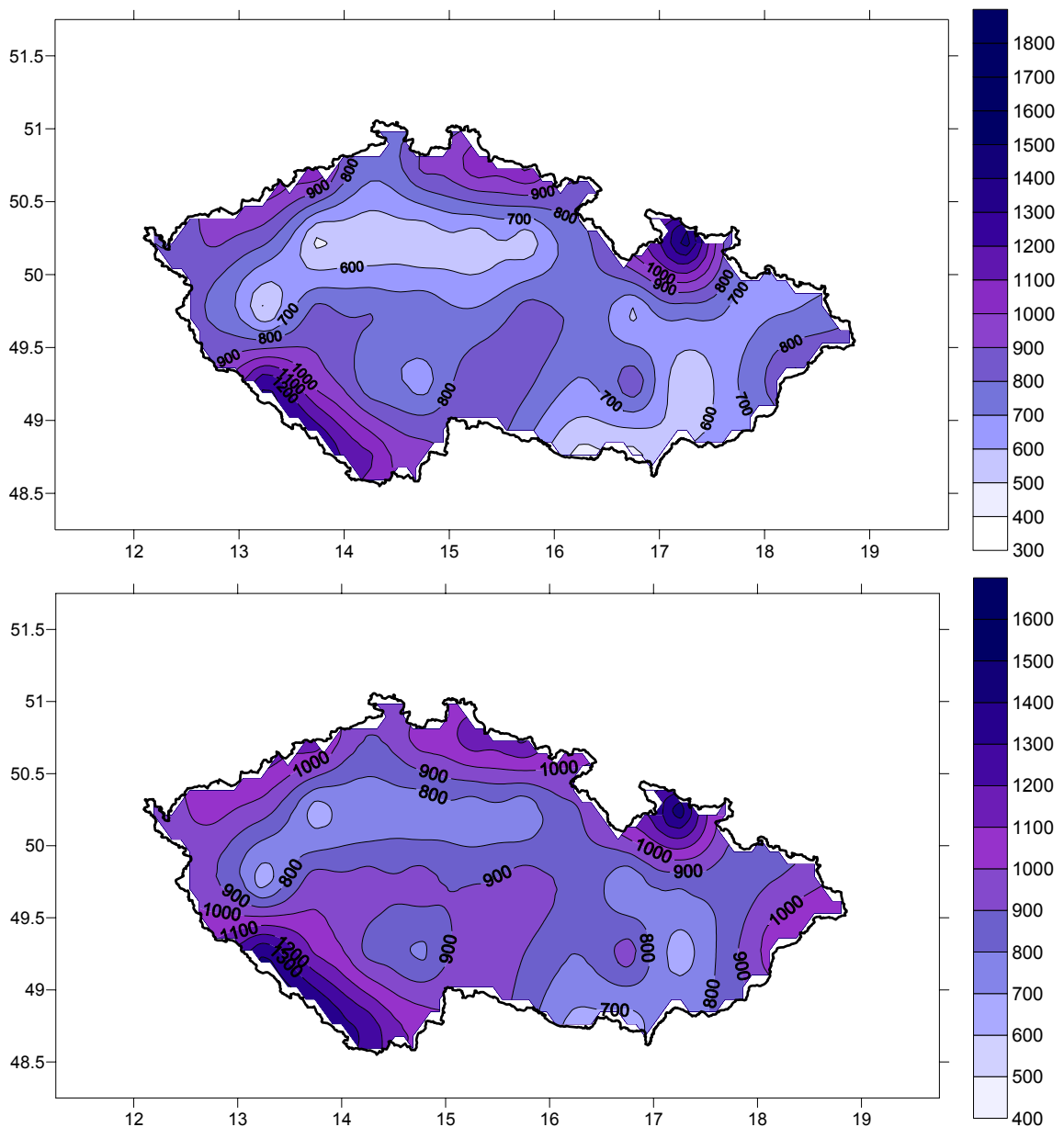
především chybí výrazné maximum srážek v Krkonoších a Jizerských horách a vysoké úhrny srážek na Šumavě. Pouze naznačena je suchá oblast ve střední a severozápadní části Čech.



Obr. 5.1: Rozložení průměrných ročních úhrnů srážek modelových simulací RCAO/Had (nahore) a RCAO/ECH (dole) v období 1961-1990.

HIRHAM

Srážkové pole modelu HIRHAM je prostorově proměnlivější než u RCAO. Je více členité a jsou zde větší rozdíly mezi vysokými a nízkými hodnotami ročních úhrnů srážek v horských oblastech a v nížinách. Na obr. 5.2 je zachyceno prostorové rozložení srážek modelu HIRHAM/Had a HIRHAM/ECH.



Obr. 5.2: Rozložení průměrných ročních úhrnů srážek modelových simulací HIRHAM/Had (nahore) a HIRHAM/ECH (dole) v období 1961-1990.

Model HIRHAM simuluje srážková maxima v oblastech Krušných hor, Šumavy, Krkonoš a Jizerských hor, Hrubého Jeseníku a Moravskoslezských Beskyd. Tato srážková maxima jsou výraznější než u modelu RCAO. Nejvyšší průměrné roční úhrny srážek se nacházejí v oblasti Šumavy a Hrubého Jeseníku. Pro HIRHAM/Had se na Šumavě objevuje izohyeta 1300 mm a v oblasti Hrubého Jeseníku dokonce 1400 mm, pro HIRHAM/ECH srážkové úhrny ještě o 100 mm vyšší, což jsou hodnoty výrazně vyšší než ve skutečnosti. Další méně výrazné a izolované maximum srážek je umístěno severně od Brna v oblasti Dražanské vrchoviny, které se ve srážkovém poli vytvořeném z naměřených dat nevyskytuje.

Jedna oblast s nízkými úhrny srážek se táhne od Plzně přes dolní Poohří a Polabí k Hradci Králové a naznačuje sušší oblast, která zde leží ve skutečnosti. Druhá oblast nízkých

modelových úhrnů srážek se vyskytuje na jižní Moravě a je protažena na sever směrem k Olomouci.

Na první pohled se zdá, že srážkové pole modelu HIRHAM zachycuje skutečné srážkové poměry na území ČR lépe než model RCAO. Oblasti vysokých srážkových úhrnů jsou vyjádřeny lépe než u modelu RCAO. V některých místech jsou ale velké rozdíly mezi hodnotami srážkových úhrnů v sousedních uzlových bodech. Ve srážkovém poli pak jsou vidět izolovaná maxima nebo minima srážek a výrazné gradienty neodpovídající skutečnosti. Modelové srážkové pole je „roztříštěné“.

Skutečnost, že maxima a minima srážkových úhrnů jsou výrazná a nepřesně lokalizovaná ve srovnání se skutečností, může způsobit, že v některých uzlových bodech se budou hodnoty srážkových úhrnů modelu a skutečnosti výrazně lišit. Oblast vysokých modelových úhrnů srážek může ještě zasahovat do oblasti nižších srážek v pozorovaných datech.

Vliv RCM a GCM na výsledky

Z výše uvedeného vyplývá, že použitý regionální klimatický model určuje především členitost srážkového pole, umístění maxim a minim srážkových úhrnů, velikost gradientů srážkových úhrnů. Určuje prostorovou proměnlivost srážek.

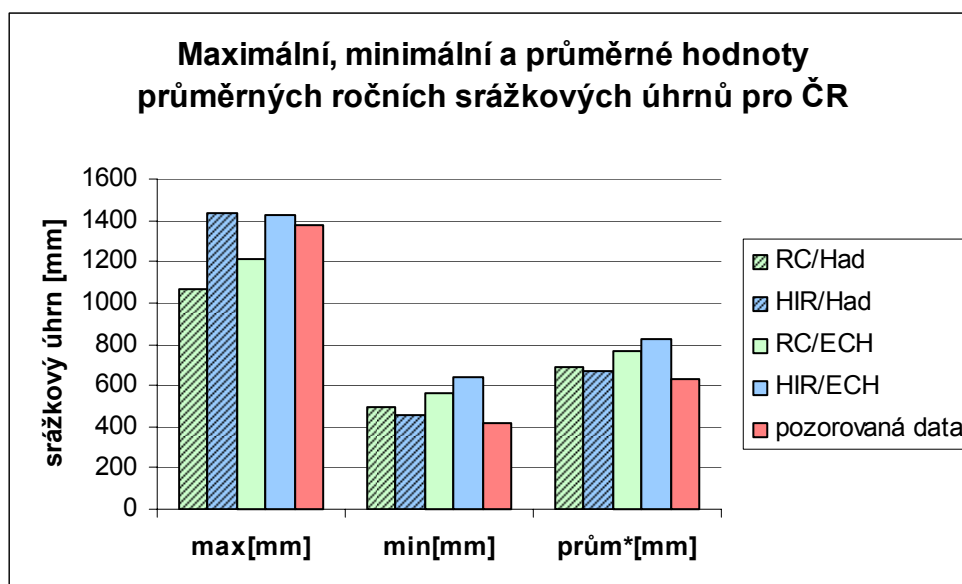
Ze srovnání obr. 5.1 a 5.2 je vidět, že s řídicím globálním modelem ECHAM simuluje daný RCM vyšší hodnoty srážek než s HadAM3H. Pro model RCAO jsou hodnoty v oblastech nejvyšších srážkových úhrnů průměrně zhruba o 150 mm za rok vyšší pro kombinaci s řídicím GCM ECHAM než s HadAM3H, v oblastech nejnižších úhrnů srážek o 100 mm vyšší. S globálním modelem ECHAM je celé srážkové pole posunuté směrem k vyšším úhrnům srážek přibližně o 100-150 mm a rozdíly mezi minimy a maximy jsou asi o 50 mm větší. Pro regionální model HIRHAM vychází s ECHAMem maxima zhruba o 100 mm vyšší a minima o 150 mm vyšší než s HadAM3H. Srážkové pole je pro řídicí ECHAM posunuté také zhruba o 100-150 mm k vyšším srážkovým úhrnům, ale rozdíly mezi minimy a maximy jsou naopak asi o 50 mm menší.

Maximální, minimální a průměrné hodnoty průměrných ročních úhrnů srážek

Pokud se týká průměrné, maximální a minimální hodnoty průměrných ročních srážkových úhrnů pro území ČR, údaje simulované modely RCAO a HIRHAM byly srovnány s údaji o maximu, minimu a mediánu ročních úhrnů srážek pro pozorovaná data, které byly převzaty z projektu SP/1a6/108/07 (viz obr. 5.3).

Z grafu na obr. 5.3 je vidět, že pro simulace s řídicím modelem ECHAM jsou minimální a průměrné hodnoty pro ČR vyšší než s řídicím HadAM3H bez ohledu na regionální model. Dominuje tedy vliv globálního modelu. Pro velikost maxim je určující použitý regionální

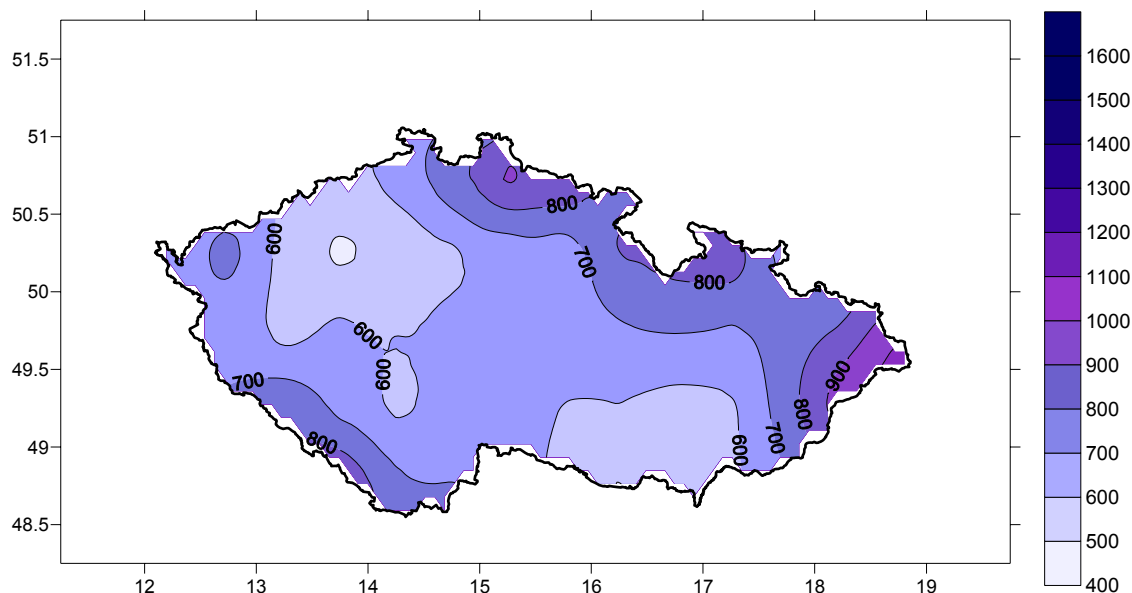
model, hodnoty modelu HIRHAM jsou vyšší než hodnoty s RCAO. Pozorovaným datům nejlépe odpovídají u minimálních hodnot a průměrů simulace obou regionálních modelů s řídicím HadAM3H, u maxim se pozorovaným datům více blíží výsledky regionálního modelu HIRHAM pro oba řídicí modely.



Obr. 5.3: Hodnoty maximálních, minimálních a průměrných hodnot (*pro pozorovaná data mediánu) průměrných ročních srážkových úhrnů pro oblast ČR v období 1961-1990. První dva sloupečky (šrafované) představují hodnoty pro simulace RCM s řídicím modelem HadAM3H, druhé dva sloupečky s řídicím ECHAMem. Poslední sloupeček jsou hodnoty vypočtené z pozorovaných dat, převzaté z projektu SP/1a6/108/07.

5.2 Porovnání srážkového pole regionálních modelů se srážkovým polem CRU v oblasti ČR

Výsledky regionálních modelů RCAO a HIRHAM pro ČR byly porovnány s hodnotami klimatologie CRU (New et al., 1999, viz též kap. 4). Rozložení průměrných ročních úhrnů srážek klimatologie CRU je zobrazeno na obr. 5.4. Oproti skutečnosti ve srážkovém poli CRU chybí úzký pás vyšších úhrnů srážek v oblasti Krušných hor, které ale ani nejsou zachyceny v orografii CRU, a dále není dostatečně zachycena sušší oblast východně od Prahy v okolí Poděbrad. Rozlišení přibližně 50 x 50 km je příliš hrubé pro věrné vystižení prostorově proměnlivého srážkového pole na našem území. V tomto rozlišení tedy ani srážkové pole vytvořené z pozorovaných dat nevystihuje všechny hlavní rysy skutečného rozložení srážek v ČR.



Obr. 5.4: Rozložení průměrných ročních úhrnů srážek klimatologie CRU v období 1961-1990.

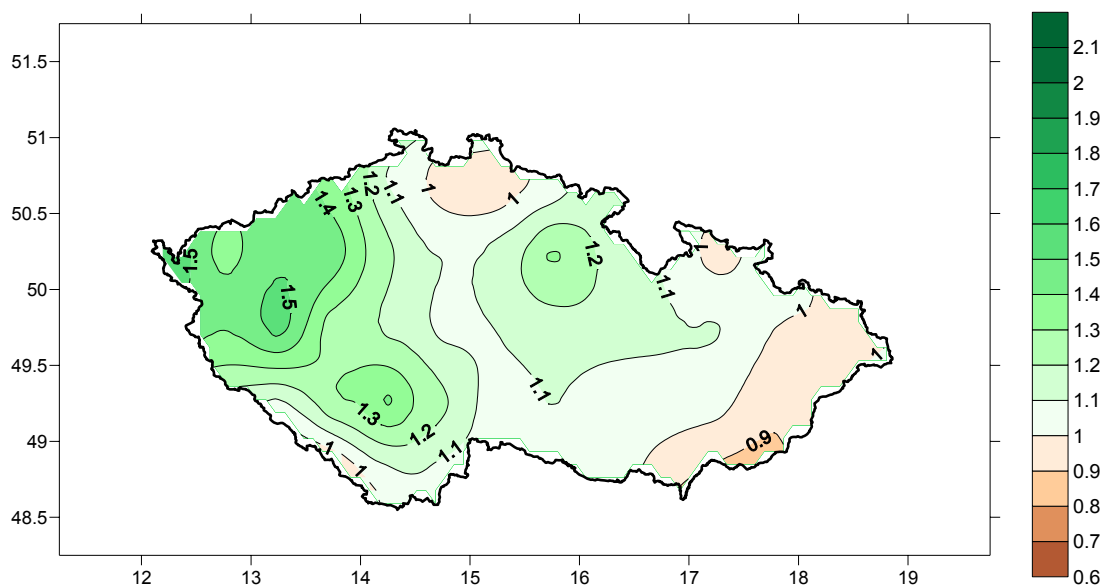
Na obr. 5.5 a 5.6 je znázorněno rozložení podílů průměrných ročních srážkových úhrnů regionálních modelů RCAO a HIRHAM řízených HadAM3H a klimatologie CRU.

RCAO

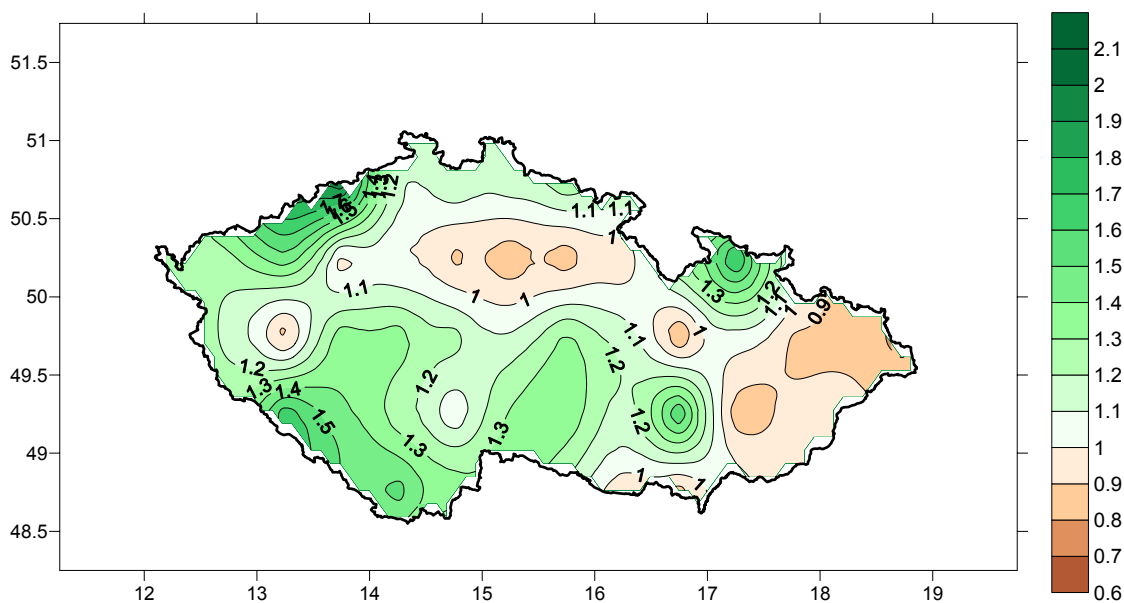
Podobně jako u srážkového pole modelu RCAO je prostorové rozložení podílů poměrně hladké (viz obr. 5.5). V převážné části ČR model RCAO oproti CRU nadhodnocuje srážky, kombinace RCAO/ECH výrazněji. K nejvýraznějšímu nadhodnocování dochází v západní části Čech, kde podíl ročních úhrnů srážek RCAO/Had a CRU dosahuje hodnoty 1,5, podíl RCAO/ECH a CRU až 1,8. O něco menší je nadhodnocování v jižních a východních Čechách (podíl RCAO a CRU vychází 1,2 – 1,4). V ostatních oblastech ČR model lépe odpovídá klimatologii CRU, kombinace RCAO/Had víceméně souhlasí s CRU (0,9-1,1), kombinace RCAO/ECH dává podíly do 1,3.

HIRHAM

Stejně jako pole úhrnů srážek je pole podílů úhrnů srážek modelu HIRHAM vůči CRU prostorově proměnlivější než u RCAO (viz obr. 5.6). Model převážně nadhodnocuje srážky. V případě HIR/Had se v některých oblastech vyskytuje i podhodnocování, u HIR/ECH pozorujeme pouze nadhodnocení. U obou řídicích modelů je nadhodnocování HIRHAMu oproti CRU nejvýraznější v Krušných horách (u HIR/ECH vidíme hodnotu až 2,0). Další výrazné nadhodnocení je na Šumavě, v oblasti Hrubého Jeseníku a Dražanské vrchoviny severně od Brna. Oblasti relativně mírnějšího nadhodnocování se nacházejí na jih od Prahy a na Českomoravské vrchovině. U HIR/Had můžeme pozorovat mírné podhodnocování srážek (do 0,8) především v Polabské nížině v okolí Kolína a ve východní části Moravy.



Obr. 5.5: Rozložení podílů průměrných ročních úhrnů srážek simulace RCAO/Had a klimatologie CRU v období 1961-1990.



Obr. 5.6: Rozložení podílů průměrných ročních úhrnů srážek simulace HIR/Had a klimatologie CRU v období 1961-1990.

Vliv GCM

V kombinaci s řídicím modelem ECHAM tedy regionální modely nadhodnocují oproti CRU více než s HadAM3H. Celé modelové srážkové pole je posunuto směrem k vyšším úhrnům srážek. V simulacích s řídicím modelem HadAM3H dochází na většině našeho území k nadhodnocování srážkových úhrnů oproti CRU, v některých oblastech se ale vyskytuje též mírné podhodnocení. V simulacích s řídicím modelem ECHAM jsou roční úhrny srážek prakticky na celém území oproti CRU nadhodnoceny.

Výše zmíněné výsledky korespondují s tím, co bylo zjištěno v rámci projektu PRUDENCE, a sice že když se spočtou průměrné hodnoty srážkových úhrnů pro větší území, hlavní vliv na výsledek má řídicí globální model (více v kapitole 1.4). I přesto, že území ČR je oproti oblastem použitým v projektu PRUDENCE rozlohou menší. Prostorovou proměnlivost srážek pak určuje regionální model. Čili při vyhodnocování srážkových charakteristik v jednotlivých uzlových bodech bude mít na výsledky větší vliv regionální model a teprve když se spočtou průměrné výsledky pro větší území, ukáže se jako významnější vliv globálního modelu.

6 Porovnání srážkových charakteristik simulovaných regionálními klimatickými modely s pozorovanými daty

Porovnání vybraných srážkových charakteristik regionálních modelů a pozorovaných dat bylo provedeno ve čtyřech oblastech, viz kap. 4. Byly porovnávány výstupy RCM ve vybraných uzlových bodech s hodnotami naměřenými na nejbližších stanicích. Poloha uzlových bodů modelů RCAO a HIRHAM a přiřazených stanic je uvedena v tab. 4.1, str. 26.

Umístění stanic a uzlových bodů ve srážkovém poli ČR

Některé stanice jsou poměrně vzdálené od uzlových bodů modelů a leží v místech s poněkud odlišnými skutečnými srážkovými poměry než uzlové body. Tento fakt může způsobovat rozdíly ve srážkových charakteristikách simulovaných v uzlových bodech a pozorovaných na stanicích.

Do oblasti ZČ spadají stanice Cheb a Kralovice. Stanice Cheb leží u západní hranice naší republiky, Kralovice leží více na východ, severně od Plzně. Stanice jsou od sebe poměrně dost vzdálené, ale obě se nacházejí v oblastech s ročním srážkovým úhrnem okolo 500 mm. Uzlové body modelů leží jižně od spojnice obou stanic v oblasti s poněkud vyššími srážkovými úhrny, než mají zvolené stanice, okolo 600 mm.

Stanice Třeboň a Tábor, které reprezentují oblast JČ, mají navzájem velice podobné roční úhrny srážek – okolo 600 mm. Uzlové body se nachází v blízkosti stanice Třeboň, v oblasti s úhrny srážek 600 – 700 mm.

Oblast SČ je charakterizována stanicemi Doksany a Semčice. Protože uzlové body leží v blízkosti Semčic (okres Mladá Boleslav), je výhodnější pro porovnávání charakteristik tato stanice. Doksany leží podstatně více na západ v oblasti Poohří s typickými nízkými úhrny srážek, jsou tedy pro porovnávání méně vhodné. Semčice leží v oblasti s ročními úhrny kolem 600 mm, uzlové body jsou umístěny v oblasti s obdobnými srážkovými úhrny.

Stanice Brno-Tuřany a Kuchařovice, reprezentující oblast JM, leží v suché oblasti na jihu Moravy, roční úhrny na těchto stanicích dosahují hodnot okolo 500 mm. Uzlové body modelů jsou položeny více na sever do oblasti, kde se terén zvedá směrem k Českomoravské a Dražanské vrchovině, s úhrny srážek zhruba o 100 mm za rok vyššími, než jsou na zvolených stanicích.

6.1 Roční úhrny srážek

Na zvolených stanicích kolísají roční úhrny srážek mezi 450 až 610 mm. U RCAO se srážkový úhrn ve vybraných uzlových bodech mění od 590 do 920 mm pro RCAO/Had a od 660 do 1060 mm pro RCAO/ECH. Výsledky HIRHAMu kolísají v mezích 260-920 mm pro HIR/Had a 410-1000 mm pro HIR/ECH, což znamená podstatně větší proměnlivost než u pozorovaných výsledků.

Výsledky pro všechny čtyři zkoumané oblasti jsou na obr. 6.1a-6.1d. V dalším textu jsou výsledky z grafů na obr. 6.1a-6.1d srovnány též s výsledky uvedenými v kapitole 5, kde se porovnávala srážková pole modelů se srážkovým polem CRU v ČR.

RCAO

Model RCAO roční úhrny srážek ve všech oblastech nadhodnocuje. Nejvýraznější nadhodnocení je v oblastech ZČ a JČ, kde RCAO dává hodnoty 820 až 1060 mm, zatímco na stanicích je 490 - 610 mm (viz obr. 6.1a,b). V oblasti SČ a JM se hodnoty modelu více blíží hodnotám na stanicích, RCAO udává hodnoty mezi 590 a 730 mm, stanice 450 – 580 mm (obr. 6.1c,d).

U modelu RCAO porovnávání výsledků ve vybraných uzlových bodech se stanicemi poměrně dobře souhlasí se srovnáním srážkového pole tohoto modelu se srážkovým polem CRU v daném místě (viz kap. 5.2, obr. 5.5 na str. 35). V oblastech ZČ a JČ spadají uzlové body modelu RCAO do oblastí vysokých srážek modelu v západních a jižních Čechách, kde model výrazně nadhodnocuje oproti CRU. V oblastech SČ a JM jsou vybrané body modelu RCAO umístěny na území, kde model přibližně odpovídá klimatologii CRU pro spojení RCAO/Had nebo mírně nadhodnocuje pro spojení RCAO/ECH. Tyto výsledky přibližně odpovídají porovnání s vybranými stanicemi pro dané oblasti, v oblasti SČ výsledky odpovídají porovnání se stanicí Semčice.

HIRHAM

U modelu HIRHAM se hodnoty ve vybraných uzlových bodech od sebe liší více než u RCAO. V některých oblastech model oproti pozorovaným datům nadhodnocuje, jinde podhodnocuje.

Na mapách v kapitole 5 na obr. 5.2, str. 31 je vidět, že uzlové body HIRHAMu ležící v oblastech ZČ a JČ se nacházejí v oblastech lokálních minim průměrných ročních úhrnů srážek modelu HIRHAM. Uzlový bod v oblasti SČ se nachází na území, kde srážkové úhrny modelu rostou od nízkých úhrnů v Polabí k vysokým úhrnům v Krkonoších. V oblasti JM vybraný uzlový bod spadá do oblasti lokálního maxima modelových srážek severně od Brna

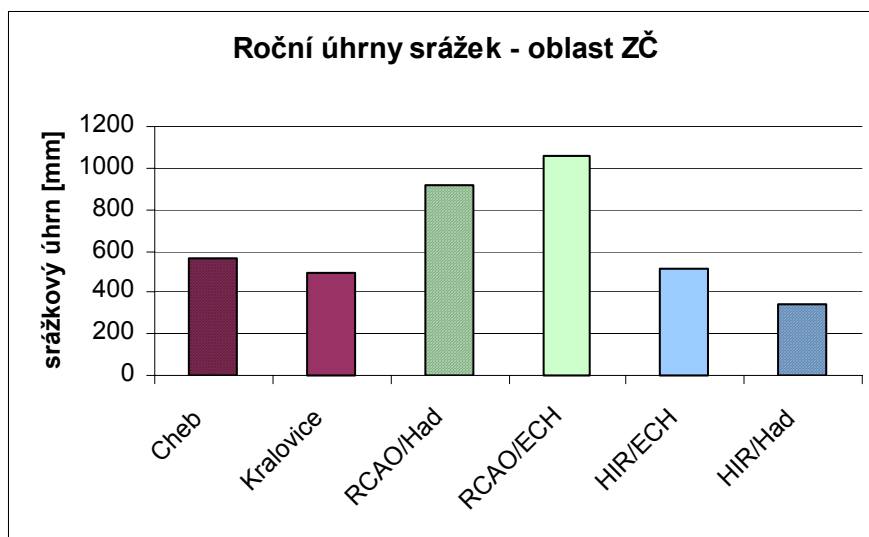
v oblasti Dražanské vrchoviny, v tomto uzlovém bodě jsou úhrny srážek výrazně vyšší než v okolních uzlových bodech modelu.

V uzlových bodech v oblastech ZČ a SČ kombinace modelů HIR/ECH přibližně odpovídá datům ze stanic, kombinace HIR/Had podhodnocuje (viz obr. 6.1a, 6.1c). V oblasti ZČ stanice ukazují roční srážkový úhrn 490 - 560 mm, HIR/ECH 520 mm a HIR/Had 350 mm. V oblasti SČ je na stanici Semčice roční úhrn srážek 580 mm, HIR/ECH dává 640 mm a HIR/Had 440 mm. V oblasti JČ dává HIRHAM nejnižší úhrny srážek ze všech oblastí a výrazně podhodnocuje oproti stanicím (hodnoty modelu jsou 260 – 410 mm, údaje ze stanic jsou výrazně vyšší: 580 – 610 mm). V oblasti JM dává HIRHAM výrazně vyšší hodnoty než v ostatních vybraných oblastech a výrazně nadhodnocuje oproti pozorovaným datům. Ukazuje srážkové úhrny prakticky dvojnásobné oproti stanicím (HIRHAM dává 920 – 1000 mm, stanice 470 – 490 mm), viz obr. 6.1d. K nadhodnocování modelu oproti stanicím může také přispívat fakt, že vybrané stanice Brno-Tuřany a Kuchařovice leží jižněji než uzlový bod HIRHAMu v sušší oblasti.

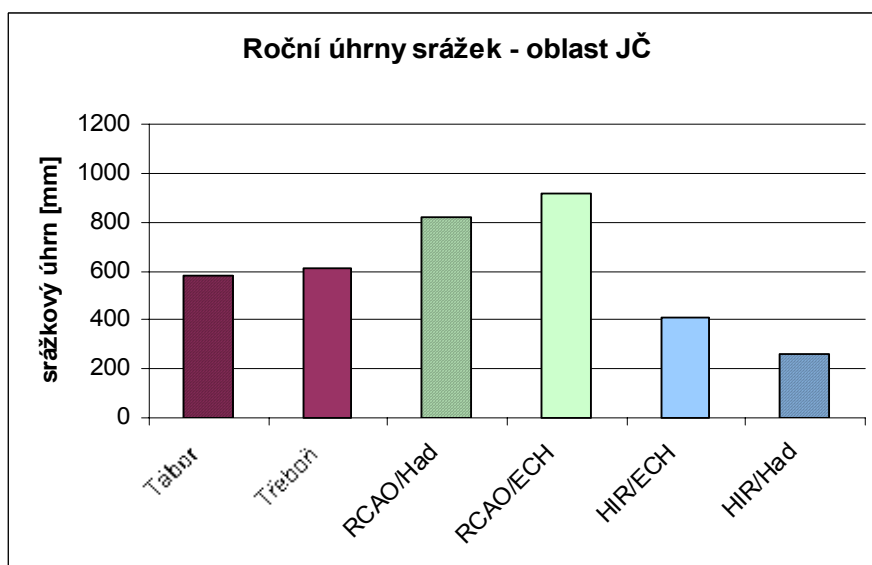
Když se tyto výsledky modelu HIRHAM srovnají s výsledky v kapitole 5, kde se porovnávalo srážkové pole modelu se srážkovým polem CRU (kap. 5.2, obr. 5.6, str. 35), pro čtyři zvolené oblasti vychází následující: V oblastech ZČ, SČ a JM nejsou rozdíly mezi výsledky obou porovnaní příliš velké, i když dochází k větším rozdílům než u modelu RCAO. V oblasti JČ se ale výsledky obou porovnaní výrazně liší. V kapitole 5 bylo zjištěno, že HIRHAM oproti CRU srážkové úhrny v této oblasti nadhodnocuje (s řídicím HadAM3H zde vychází podíl srážkových úhrnů modelu a CRU okolo 1,2, s ECHAMem okolo 1,4), při srovnání výsledků v původním uzlovém bodě modelu s výsledky na stanicích Tábor a Třeboň vychází naopak výrazné podhodnocování modelových srážek, zmíněné výše (srov. obr. 6.1b a obr. 5.6 na str. 35).

Vliv GCM

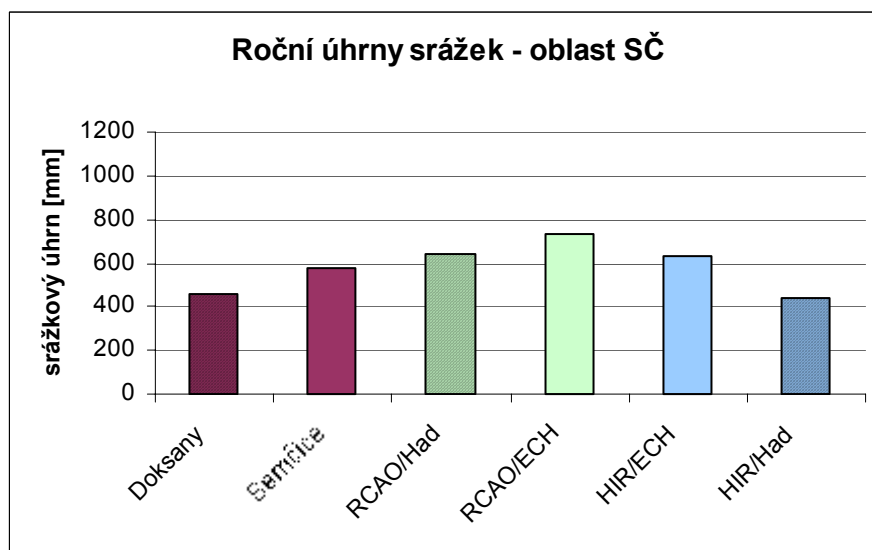
Vliv použitého řídicího globálního klimatického modelu je stejný pro RCAO i HIRHAM a pro všechny oblasti, a to, že ve spojení s globálním modelem ECHAM vychází pro daný RCM vždy vyšší roční úhrn srážek než ve spojení s HadAM3H. U modelu RCAO je rozdíl průměrně 100 mm, u modelu HIRHAM 150 mm srážkových úhrnů za rok.



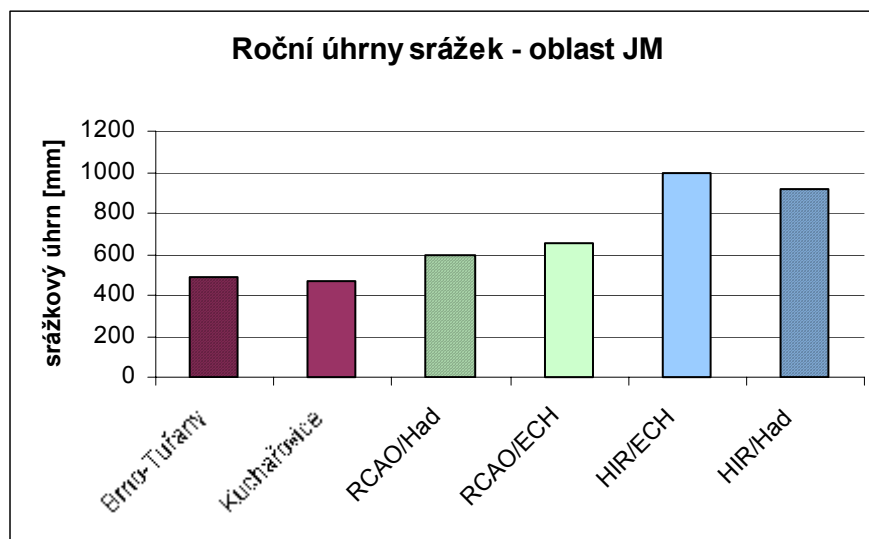
Obr. 6.1a: Průměrné roční úhrny srážek pro stanice a modely v oblasti ZČ.



Obr. 6.1b: Průměrné roční úhrny srážek pro stanice a modely v oblasti JČ.



Obr. 6.1c: Průměrné roční úhrny srážek pro stanice a modely v oblasti SČ.



Obr. 6.1d: Průměrné roční úhrny srážek pro stanice a modely v oblasti JM.

Srovnání hodnot ročních úhrnů srážek RCAO a HIRHAM v uzlových bodech původních sítí modelů a v nejbližších uzlových bodech sítě společné s CRU

Pro každou zkoumanou oblast bylo provedeno porovnání ročních úhrnů srážek regionálních modelů RCAO a HIRHAM v uzlovém bodě původní sítě uzlových bodů modelů a v nejbližším uzlovém bodě sítě společné s CRU, viz obr. 6.2. V tabulce 6.1 jsou uvedeny zeměpisné souřadnice dvojic uzlových bodů a hodnoty ročního srážkového úhrnu. V grafech na obr. 6.2 je vidět, že největší rozdíl v hodnotě ročního srážkového úhrnu je u modelu HIRHAM pro dvojici uzlových bodů v oblasti JČ. V uzlovém bodě sítě CRU (14,75°; 49,25°) je hodnota srážkového úhrnu zhruba dvakrát vyšší než hodnota v bodě 14,74°; 49,06° sítě původní pro HIR/Had i HIR/ECH (viz tab. 6.1). Pro model RCAO a v ostatních oblastech modelu HIRHAM si hodnoty přibližně odpovídají.

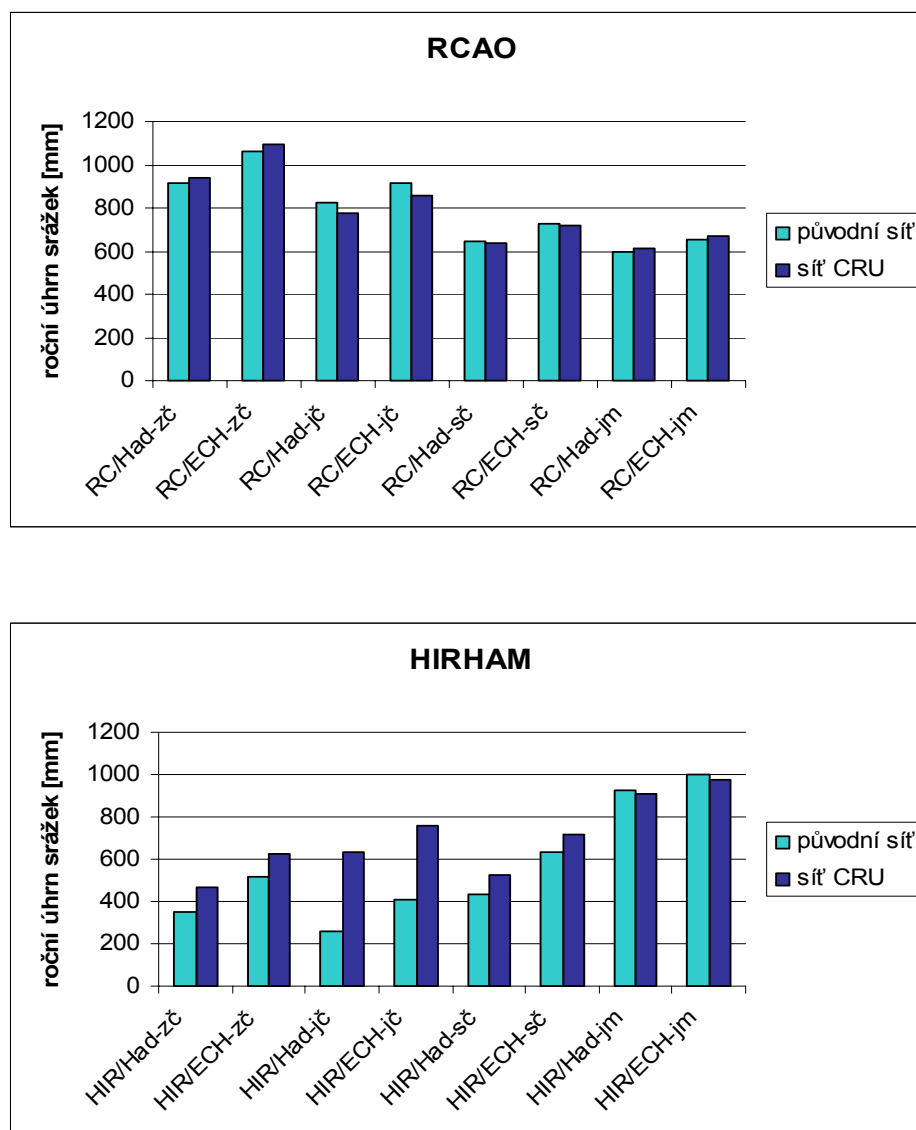
Po prozkoumání okolí uzlového bodu 14,74°; 49,06° původní sítě modelu HIRHAM se ukázalo, že se v okolí tohoto bodu srážkové pole výrazně mění. Jsou zde rozdíly v nadmořské výšce uzlových bodů – zkoumaný bod leží v nadmořské výšce 467 m, sousední body jsou položeny až o 180 m výše – a výrazné rozdíly v hodnotě srážkového úhrnu. Ve zkoumaném uzlovém bodě modelu HIR/Had je srážkový úhrn 257 mm, zatímco ve dvou sousedních uzlových bodech jsou hodnoty srážkových úhrnů až cca 1400 mm a 1050 mm. To je zřejmě důvodem velkého rozdílu mezi hodnotou srážkového úhrnu v nejbližším uzlovém bodě nové sítě a uzlovém bodě sítě původní.

Shrnutí

Rozdíly ve výsledcích obou porovnání mohou být způsobené jednak skutečností, že se hodnoty modelových srážek přepočítávaly z původní sítě uzlových bodů modelu do sítě

společně s CRU a výsledné srážkové pole se díky tomu může lišit od původního, a jednak tím, že rozložení srážek klimatologie CRU je oproti skutečnosti zjednodušené a zhlazené. Pro danou oblast se údaje ze stanic mohou více nebo méně lišit od hodnot CRU.

Srážkové pole modelu HIRHAM je více prostorově proměnlivé než srážkové pole RCAO, proto se při relativně malém posunutí uzlového bodu může srážkový úhrn v novém bodě výrazněji lišit, jak se ukázalo na příkladu oblasti JČ.



Obr. 6.2: Porovnání průměrných ročních úhrnů srážek regionálního modelu RCAO (nahore) a modelu HIRHAM (dole) v uzlových bodech původní sítě a v nejbližších uzlových bodech sítě CRU pro oblasti ZČ, JČ, SČ a JM.

Tab. 6.1: Poloha uzlových bodů původních sítí modelů RCAO a HIRHAM a sítě společně s CRU. Průměrné roční úhrny srážek v jednotlivých uzlových bodech. Červeně jsou zvýrazněny hodnoty ročních úhrnů modelu HIR/Had a HIR/ECH pro uzlový bod v oblasti JČ, kde jsou hodnoty v původních uzlových bodech a uzlových bodech CRU značně odlišné.

RCAO/glob.model-oblast	původní souřadnicová síť			souřadnicová síť CRU		
	zem.délka	zem.šířka	roč.úhrn[mm]	zem.délka	zem.šířka	roč.úhrn[mm]
RC/Had-zč	12,96	49,82	915	12,75	49,75	939
RC/ECH-zč	12,96	49,82	1060	12,75	49,75	1097
RC/Had-jč	14,51	49,10	821	14,75	49,25	775
RC/ECH-jč	14,51	49,10	914	14,75	49,25	855
RC/Had-sč	14,86	50,47	642	14,75	50,25	633
RC/ECH-sč	14,86	50,47	730	14,75	50,25	714
RC/Had-jm	16,49	49,29	592	16,25	49,25	613
RC/ECH-jm	16,49	49,29	656	16,25	49,25	673

HIRHAM/glob.model-oblast	původní souřadnicová síť			souřadnicová síť CRU		
	zem.délka	zem.šířka	roč.úhrn[mm]	zem.délka	zem.šířka	roč.úhrn[mm]
HIR/Had-zč	13,17	49,76	346	13,25	49,75	464
HIR/ECH-zč	13,17	49,76	519	13,25	49,75	621
HIR/Had-jč	14,74	49,06	257	14,75	49,25	637
HIR/ECH-jč	14,74	49,06	411	14,75	49,25	759
HIR/Had-sč	15,07	50,43	436	15,25	50,25	521
HIR/ECH-sč	15,07	50,43	637	15,25	50,25	719
HIR/Had-jm	16,73	49,26	921	16,75	49,25	906
HIR/ECH-jm	16,73	49,26	998	16,75	49,25	976

6.2 Roční chod srážek

Data ze sledovaných stanic vykazují typický jednoduchý roční chod srážek s maximem v letních měsících a minimem v zimě. Maximum měsíčních úhrnů srážek je většinou umístěno na červen, v některých případech na červenec (Semčice) nebo srpen (Doksany, Cheb, Kralovice). Nejnižší srážkové úhrny jsou v měsících leden, únor a březen. Na některých stanicích je jednoduchá vlna doplněna též o nevýrazné podružné maximum srážek v listopadu nebo prosinci, spojené s podružným minimem v říjnu. U modelových dat se charakter ročního chodu výrazně mění s danou oblastí (uzlovým bodem). Většinou je plošší než u pozorovaných dat.

RCAO

Model RCAO nevykazuje typický jednoduchý roční chod, jak by odpovídalo staničním datům, ale chod dvojitý, viz obr. 6.3a-6.3d. Vyjádřena jsou dvě maxima srážek. Jedno maximum je v letním období (od května do srpna), které je více vyjádřeno v oblastech ZČ a JČ. Druhé maximum srážek se vyskytuje na podzim (ve většině případů v listopadu) a svojí výrazností neodpovídá realitě. V oblastech ZČ a JČ je letní maximum výraznější než

podzimní, v oblastech SČ a JM jsou maxima srovnatelně vysoká nebo je dokonce podzimní maximum výraznější (v případě RC/ECH v SČ). Hlavní minimum se vyskytuje v únoru nebo březnu, druhé minimum je nejčastěji v září, v některých případech je posunuto na říjen.

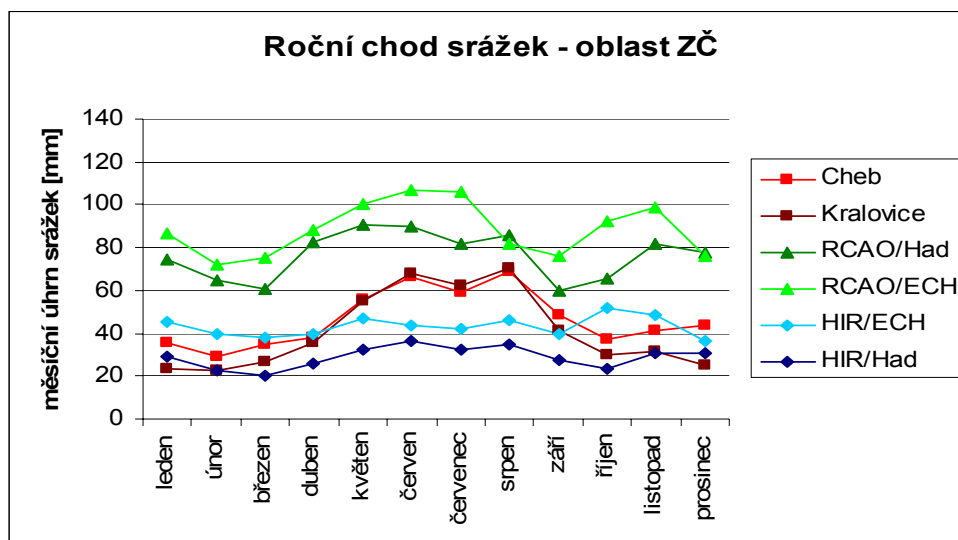
Díky tvaru ročního chodu a absolutním hodnotám měsíčních srážkových úhrnů regionální model RCAO úhrny srážek v oblasti ZČ ve všech měsících nadhodnocuje (obr. 6.3a). V ostatních oblastech RCAO oproti stanicím nadhodnocuje úhrny srážek nejvíce v zimě a na podzim, méně na jaře. V oblasti JM jsou podhodnoceny letní měsíční úhrny (obr. 6.3d).

HIRHAM

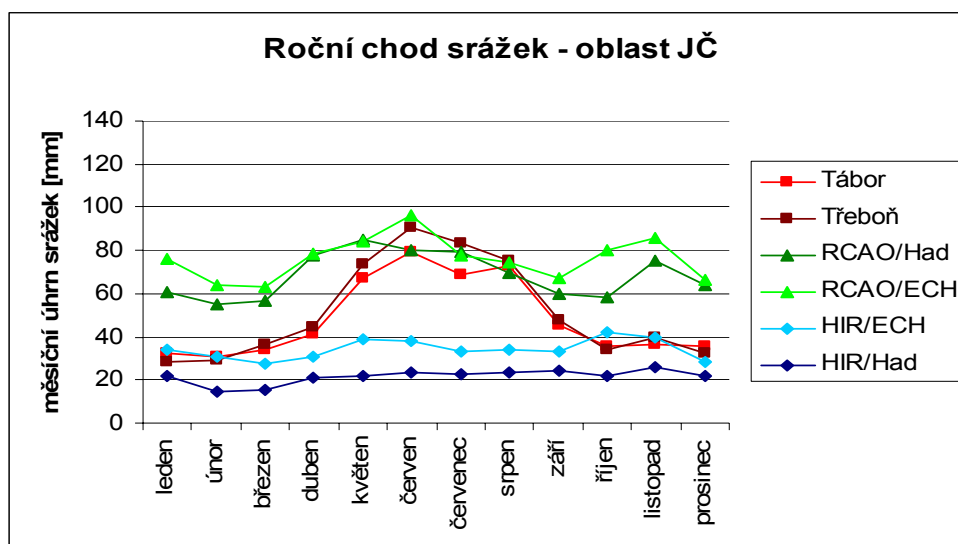
U regionálního modelu HIRHAM se výrazně liší výsledky v oblasti JM od výsledků ve zbývajících oblastech ZČ, JČ a SČ. V oblastech ZČ a JČ (obr. 6.3a, 6.3b) roční chod neodpovídá skutečnému, je velmi plochý, téměř nevyjádřený. Ve všech měsících jsou úhrny srážek nízké, odpovídají pozorovaným srážkovým úhrnům pro zimní měsíce. Díky tomu HIRHAM v těchto oblastech výrazně podhodnocuje v letní polovině roku.

V oblasti SČ je roční chod o něco výraznější, ale stále ještě příliš plochý oproti pozorovaným datům. Má naznačeno letní maximum a dále druhé maximum na podzim (nebo v případě HIR/Had maximum lednové), svojí výrazností neodpovídající realitě. Dochází k podhodnocování srážek v létě a nadhodnocování na podzim a v zimě, viz obr. 6.3c.

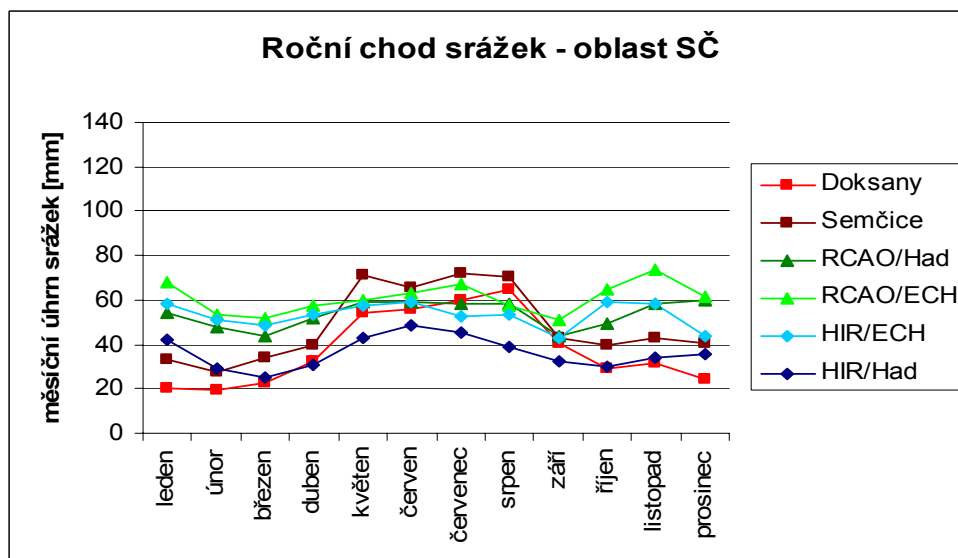
V oblasti JM je simulovaný roční chod na rozdíl od ostatních oblastí naopak výraznější než na stanicích a současně ve všech měsících dochází k výraznému nadhodnocování úhrnů srážek. Hodnoty měsíčních úhrnů udávané modelem jsou přibližně dvojnásobné oproti pozorovaným úhrnům v průběhu celého roku. Roční chod obsahuje výrazné maximum srážek v letních měsících a málo výrazné podružné maximum na podzim (v listopadu). Hlavní minimum je v únoru a vedlejší minimum se vyskytuje v září nebo říjnu.



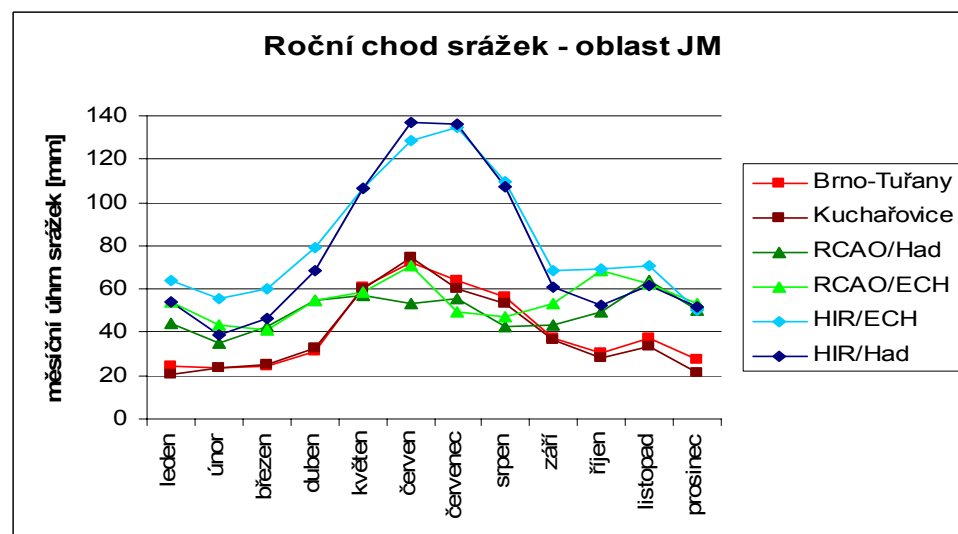
Obr. 6.3a: Průměrný roční chod srážek pro stanice a modely v oblasti ZČ.



Obr. 6.3b: Průměrný roční chod srážek pro stanice a modely v oblasti JČ.



Obr. 6.3c: Průměrný roční chod srážek pro stanice a modely v oblasti SČ.



Obr. 6.3d: Průměrný roční chod srážek pro stanice a modely v oblasti JM.

Vliv GCM

U regionálních modelů RCAO i HIRHAM vycházejí ve všech oblastech pro většinu měsíců vyšší úhrny srážek pro simulaci s řídicím ECHAMem. Rozdíl mezi výsledky RCAO/ECH a RCAO/Had je nejvýraznější v oblasti ZČ (obr. 6.3a) a nejméně výrazný pro oblast JM (obr. 6.3d). V oblastech JČ, SČ a JM (obr. 6.3b-d) je od dubna do srpna a v prosinci rozdíl mezi srážkovými úhrny simulovanými RCAO/ECH a RCAO/Had jen nepatrný. V průměru lepší výsledky dává simulace s HadAM3H.

Model HIRHAM simuluje v oblastech ZČ, JČ a SČ (obr. 6.3a-c) vyšší úhrny srážek v kombinaci s ECHAMem v průběhu celého roku. Navíc zde HIR/ECH simuluje velmi výrazné nereálné maximum srážek v říjnu a listopadu. V oblasti JM (obr. 6.3d) jsou od září do dubna vyšší úhrny srážek u HIR/ECH, od května do srpna jsou pak hodnoty úhrnů srážek HIR/ECH a HIR/Had srovnatelné.

Shrnutí výsledků kapitol 6.1 a 6.2

Ve čtyřech sledovaných oblastech bylo zjištěno, že v uzlových bodech, kde je celkový roční úhrn srážek vysoký a dochází k nadhodnocování úhrnů oproti skutečnosti, je současně více vyjádřený roční chod. Toto je vidět výrazně u modelu HIRHAM v oblasti JM (obr. 6.3d). U RCAO je to méně výrazně vidět v oblastech ZČ a JČ (obr. 6.3a, 6.3b), kde jsou roční úhrny vyšší a roční chod výraznější než v ostatních dvou oblastech. Naproti tomu v bodech, kde jsou roční úhrny nízké a dochází k podhodnocování oproti skutečným úhrnům, je roční chod srážek plochý, bez výraznějších maxim a minim. K tomu dochází u modelu HIRHAM v oblastech ZČ, JČ (obr. 6.3a, 6.3b) a méně nápadně v SČ (obr. 6.3c). Ve vybraných čtyřech oblastech (uzlových bodech modelů) tedy vychází, že výraznost ročního chodu souvisí s hodnotou celkového ročního úhrnu srážek.

Následující srážkové charakteristiky jsou spočítány a vyhodnoceny pro jednotlivé sezóny: jaro (měsíce březen, duben, květen), léto (červen, červenec, srpen), podzim (září, říjen, listopad) a zima (prosinec, leden únor).

6.3 Počty dní se srážkami

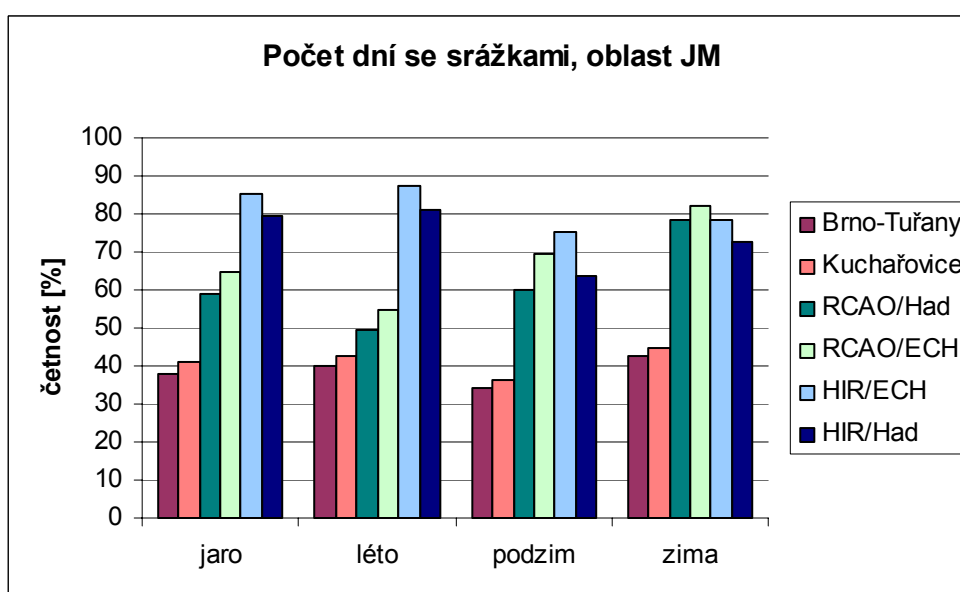
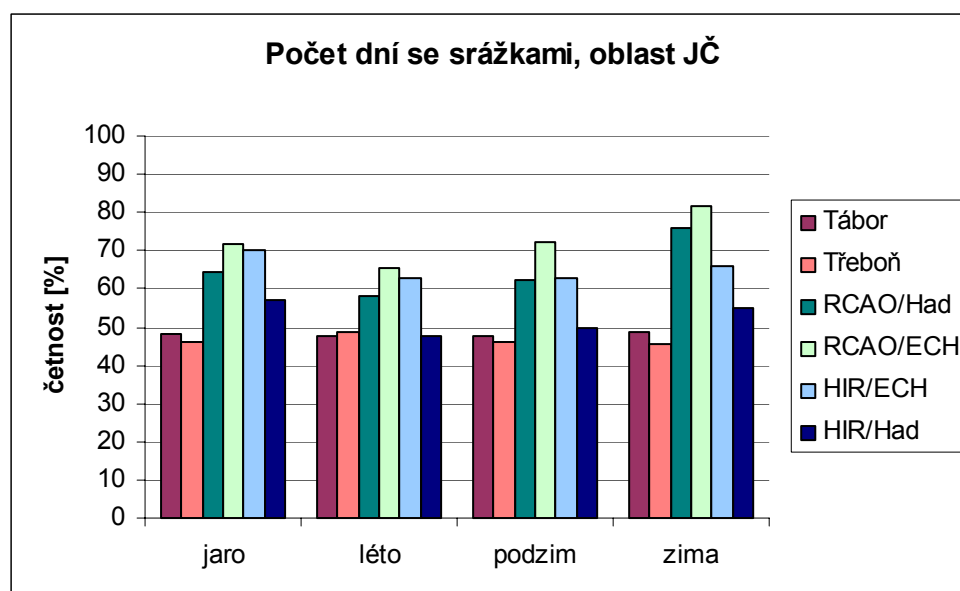
Protože modelové měsíce mají všechny stejný počet dnů – 30 dnů, jsou hodnoty v grafech uváděny v procentech z celkového počtu dní v dané sezóně.

Na stanicích jsou počty dní se srážkami ve všech sezónách vyrovnané. Hodnoty se pohybují nejčastěji mezi 40 % a 50 % dnů (viz obr. 6.4). V oblasti JM jsou počty dní se srážkami nejnižší – okolo 40 %.

Výsledky modelů udávají téměř ve všech případech větší počet dnů se srážkami, než bylo pozorováno na stanicích. V některých případech jsou hodnoty z modelů až dvojnásobné oproti stanicím, jinde se hodnoty blíží hodnotám na stanicích. Narozdíl od pozorovaných dat jsou u modelových výsledků patrné mírné rozdíly v počtu dní se srážkami mezi sezónami. Výsledky modelů se mírně liší v různých oblastech, ale proměnlivost v závislosti na oblasti tu není tak výrazná jako u jiných srážkových charakteristik.

RCAO

Model RCAO nadhodnocuje počty dní se srážkami nejvíce v oblasti ZČ, kde udává hodnoty 64 – 84 %, zatímco na stanicích jsou hodnoty 35 – 52 %. Ve všech oblastech udává největší počty dní se srážkami v zimě (76 – 84 %) a nejmenší v létě (49 – 72 %).



Obr. 6.4: Průměrný počet dní se srážkami pro stanice a modely v oblastech JČ a JM.

HIRHAM

U modelu HIRHAM se výsledky více mění s oblastí než u modelu RCAO. Nejvyšší počty dní udává HIRHAM v oblasti JM (viz obr. 6.4), kde jsou hodnoty ve všech sezónách prakticky dvojnásobné oproti hodnotám na stanicích (HIRHAM udává 64 – 88 % dní, zatímco stanice 34 – 45 % dní). Nejmenší počty dní udává HIRHAM v oblasti JČ (viz obr. 6.4), kde se např. v létě hodnota pro kombinaci HIR/Had shoduje s hodnotami na stanicích Třeboň a Tábor (hodnoty HIR/Had i stanic jsou v rozmezí 47 – 49 %). HIRHAM udává ve všech oblastech nejmenší počet dní se srážkami na podzim, což neodpovídá údajům ze stanic.

Vliv GCM

Oba regionální modely udávají ve všech případech větší počet dní se srážkami v kombinaci s řídicím modelem ECHAM. Tedy údajům ze stanic lépe odpovídá kombinace s modelem HadAM3H, kde hodnoty jsou nižší.

6.4 Rozdělení denních úhrnů srážek

Byly stanoveny intervaly srážkových úhrnů $< 0; 0,1$), $< 0,1; 1$), $(1; 3$), $(3; 5$), $(5; 10$), $(10; 20$ a nad 20 mm. Pro každou sezónu byly vypočítány průměrné počty dnů se srážkovým úhrnem ležícím v daném intervalu a vyneseny do grafů. Vybrané grafy jsou znázorněny na obr. 6.5a – 6.8b.

Jak už bylo řečeno v kapitole 6.3, modely nadhodnocují počet dnů se srážkami. Ve všech grafech můžeme proto pozorovat podhodnocení počtů modelových dnů oproti stanicím v prvním intervalu 0 – 0,1 mm srážkového úhrnu, tzn. dny beze srážek, a nadhodnocování počtů dnů v intervalech srážkových úhrnů nad 0,1 mm. Tvar rozdělení srážkových úhrnů je odlišný u RCAO a HIRHAM (viz podrobnější popis níže). Dále se výsledky RCM mění jak se sezónou, tak s oblastí. Pozorovat lze i vliv řídicího globálního modelu na výsledky.

Počty dní se srážkovým úhrnem v prvním intervalu 0 – 0,1 mm se na stanicích pohybují přibližně mezi 50 – 60 %. U modelů se počty dní s tímto srážkovým úhrnem pohybují v závislosti na sezóně a oblasti a daném modelu přibližně od 20 % (kdy dochází k výraznému podhodnocení počtu dnů) do 50 % (kdy se hodnota modelu blíží hodnotám na stanicích). Nejčastěji se ovšem hodnoty obou regionálních modelů pohybují okolo 30 %, což tedy představuje zhruba poloviční počet dní beze srážek, než ukazují stanice.

Co se týče dalších intervalů srážkových úhrnů, u RCAO pozorujeme nejvýraznější nadhodnocení počtu dní v intervalech 1 – 3 mm, 3 – 5 mm a 5 – 10 mm, v některých případech i v intervalu 0,1 – 1 mm. Model HIRHAM ve většině případů nadhodnocuje počty

dní především v intervalech srážkových úhrnů 0,1 – 1 mm a 1 – 3 mm. Pro intervaly 5 – 10 mm, 10 – 20 mm a nad 20 mm je naopak u tohoto modelu častější podhodnocování počtů dní.

RCAO

U modelu RCAO se vyskytují odlišnosti v rozdělení srážek především v závislosti na sezóně. Nejlépe RCAO simuluje rozdělení srážek v létě. Oproti ostatním sezónám dochází k méně výraznému podhodnocování v prvním intervalu 0 – 0,1 mm (tzn. počet dní beze srážek lépe odpovídá stanicím) a k méně výraznému nadhodnocování v intervalech nad 1,0 mm, kde výsledky RCAO docela dobře odpovídají hodnotám na stanicích. Oproti ostatním sezónám pozorujeme naopak výraznější nadhodnocení počtu dní v intervalu 0,1 – 1,0 mm (viz obr. 6.5a, 6.7a, 6.8a). Na jaře a na podzim se objevuje především výrazné nadhodnocení počtu dní v intervalech od 1,0 mm do 10,0 mm (viz obr. 6.5b, 6.6a, 6.6b). Pro zimu jsou navíc typické výrazně nízké počty dní beze srážek (viz též kap. 6.3, viz obr. 6.7b a 6.8b).

Dále u modelu RCAO nepozorujeme příliš velké rozdíly ve tvaru rozdělení srážek mezi jednotlivými oblastmi.

HIRHAM

Pro HIRHAM je typické, že výsledky jsou především odlišné v různých oblastech, výrazně se od sebe liší výsledky v oblastech ZČ, JČ a SČ a oblasti JM. Co se týče jednotlivých sezón, tak výsledky HIRHAMu lépe odpovídají stanicím na podzim a v zimě, výraznější rozdíly oproti stanicím jsou patrné na jaře a v létě.

Oblasti ZČ, JČ a SČ

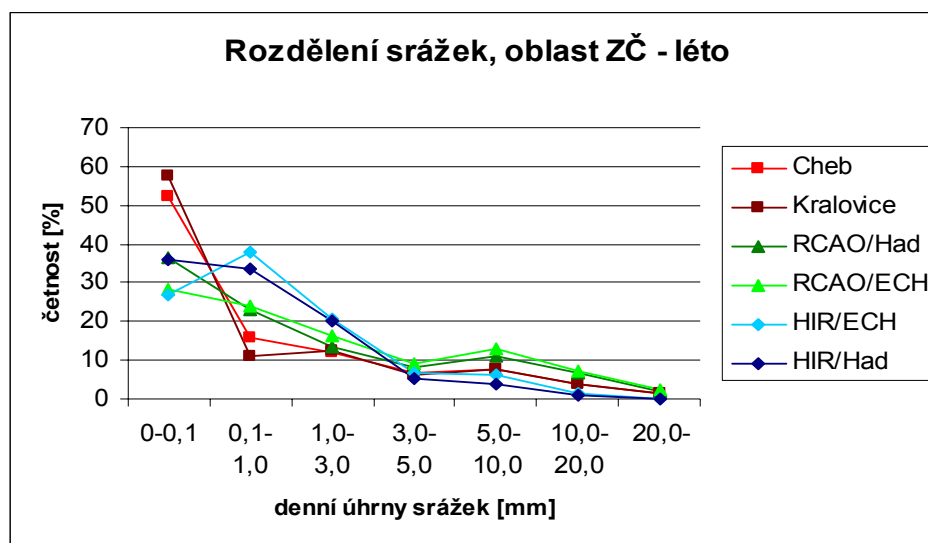
V oblastech ZČ, JČ a SČ (viz obr. 6.5a – 6.7b) HIRHAM podhodnocuje počty dní v prvním intervalu 0 – 0,1 mm (dny beze srážek) většinou méně než RCAO nebo srovnatelně s RCAO. V intervalech 0,1 – 1 mm a 1 – 3 mm se vyskytuje ve většině případů výrazné nadhodnocování počtu dní, v některých případech HIRHAM simuluje až dvojnásobný počet dní než stanice. V některých případech zde HIRHAM nadhodnocuje jen mírně nebo odpovídá výsledkům ze stanic. Počty dní se srážkovým úhrnem 3 - 5 mm modelu se nejvíce blíží hodnotám na stanicích (někdy HIRHAM odpovídá pozorovaným datům, někdy podhodnocuje, někdy nadhodnocuje). Pro úhrny nad 5 mm výsledky modelu výrazněji závisí na oblasti a sezóně. V oblastech ZČ a JČ (viz obr. 6.5a – 6.6b) se vyskytuje v těchto intervalech podhodnocování počtu dní, v některých případech velmi výrazné (a to především pro úhrny nad 10 mm, viz obr. 6.5a, 6.6a), někde výsledky HIRHAMu přibližně odpovídají

výsledkům na stanicích (v případě 5 – 10 mm, ZČ, podzim, zima, viz obr. 6.5b). V oblastech ZČ a JČ výsledky modelu lépe odpovídají hodnotám ze stanic na podzim a v zimě, na jaře a v létě je zmíněné podhodnocování výraznější. V oblasti SČ (viz obr. 6.7a, 6.7b) výsledky modelu pro intervaly nad 5 mm nejlépe ze všech oblastí odpovídají staničním měřením.

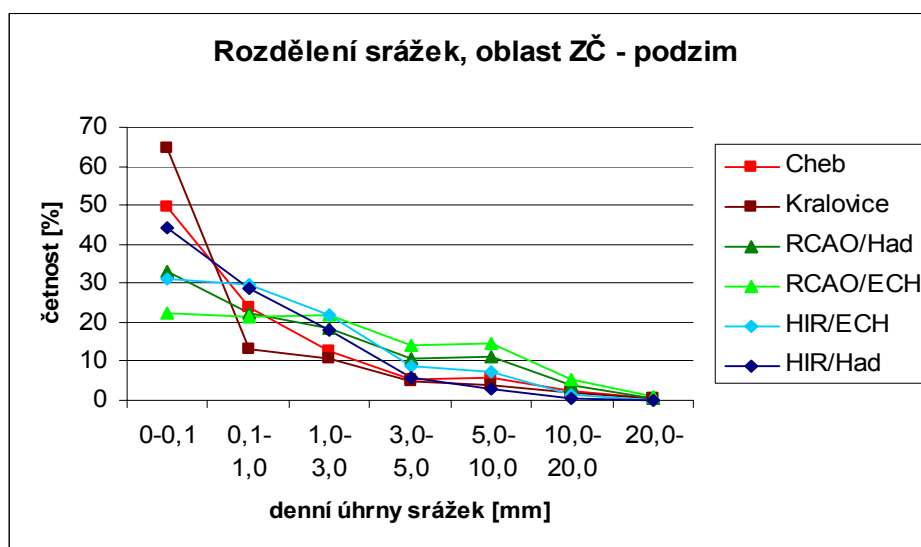
Oblast JM

Výsledky modelu HIRHAM v oblasti JM (viz obr. 6.8a, 6.8b) se od výsledků v ostatních oblastech liší výraznějším podhodnocováním počtu dní v intervalu 0 – 0,1 mm (dny beze srážek). Toto podhodnocování je nejvýraznější na jaře a v létě, viz obr. 6.8a.

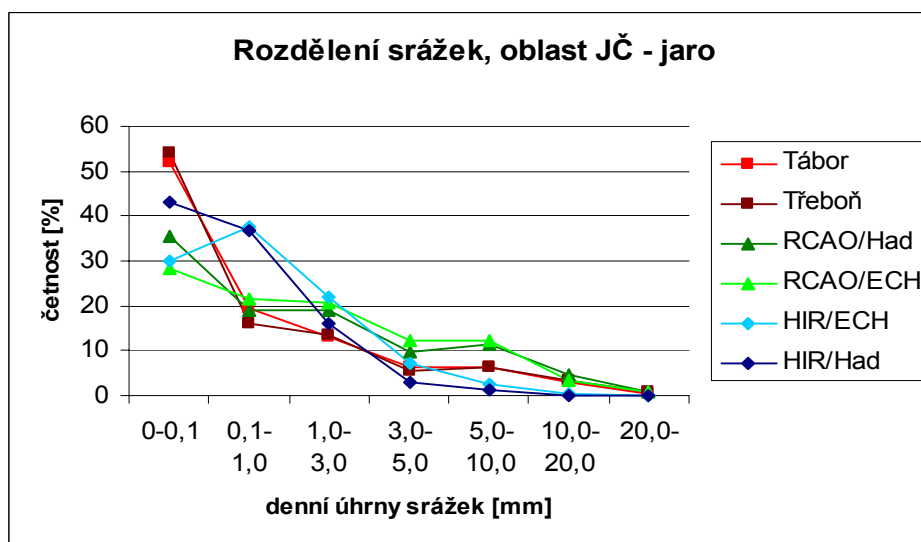
Dále oproti ostatním oblastem dochází k výraznému nadhodnocování počtu dní pro intervaly nad 5 mm (5 – 10 mm, 10 - 20 mm), které je nejvýraznější v létě (viz obr. 6.8a). V oblasti JM tedy HIRHAM nadhodnocuje počty dní pro všechny intervaly srážkových úhrnů nad 0,1 mm (0,1 – 20 mm). K výraznějšímu nadhodnocování dochází na jaře a v létě (viz obr. 6.8a), k méně výraznému na podzim a v zimě (viz obr. 6.8b).



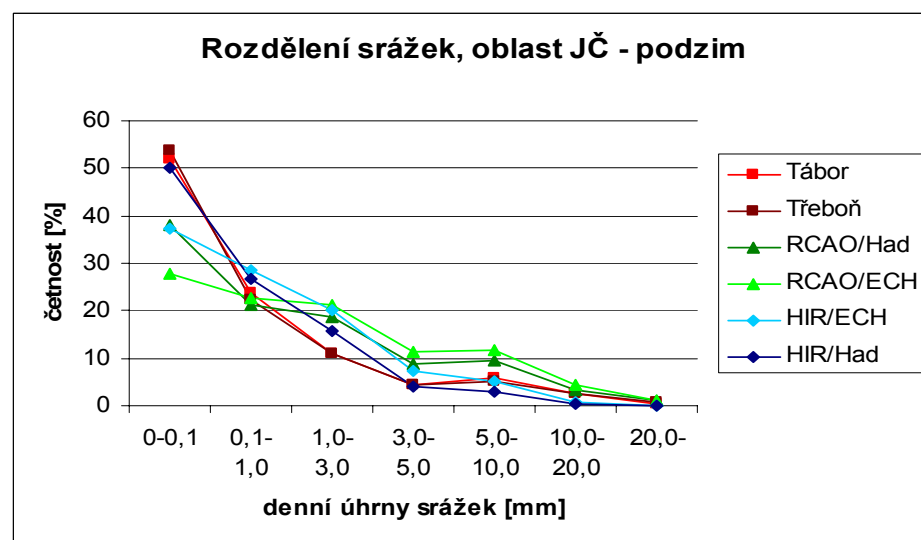
Obr. 6.5a: Průměrné rozdělení srážek pro stanice a modely v oblasti ZČ pro léto.



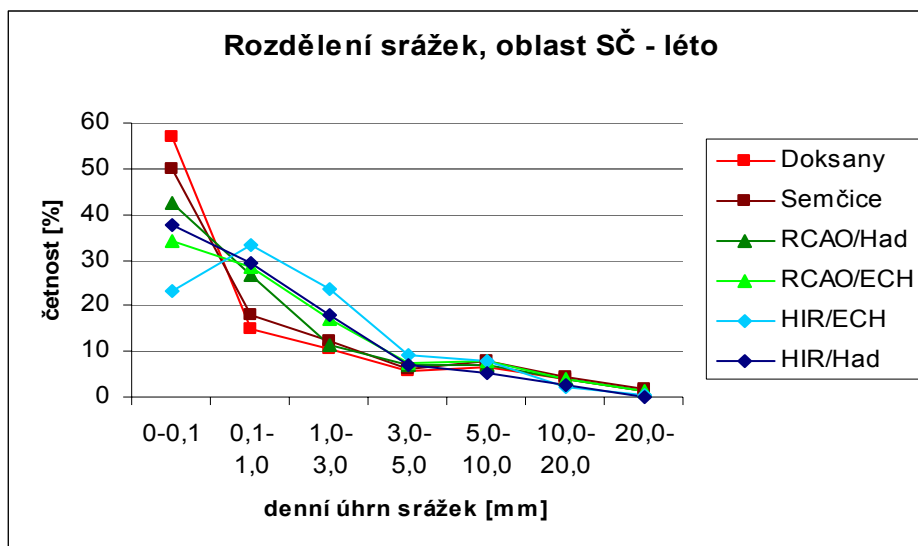
Obr. 6.5b: Průměrné rozdělení srážek pro stanice a modely v oblasti ZČ pro podzim.



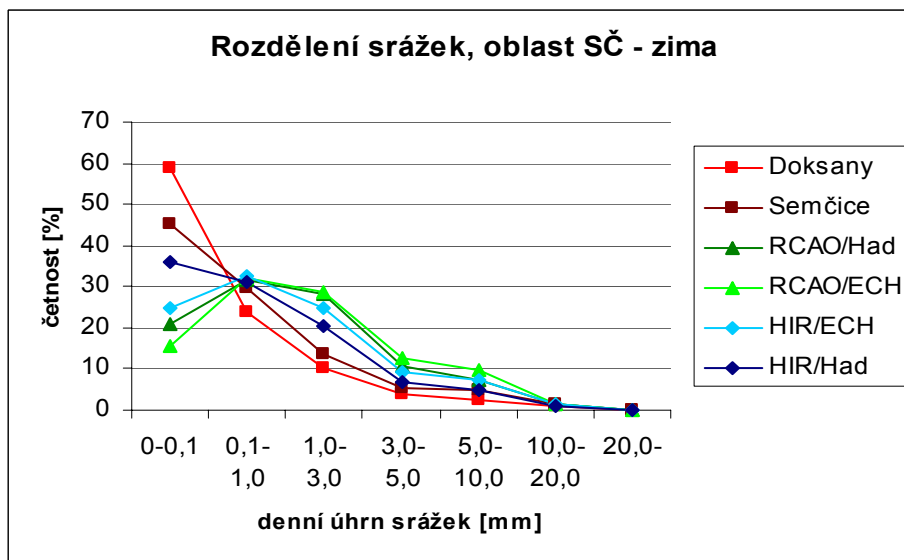
Obr. 6.6a: Průměrné rozdělení srážek pro stanice a modely v oblasti JČ pro jaro.



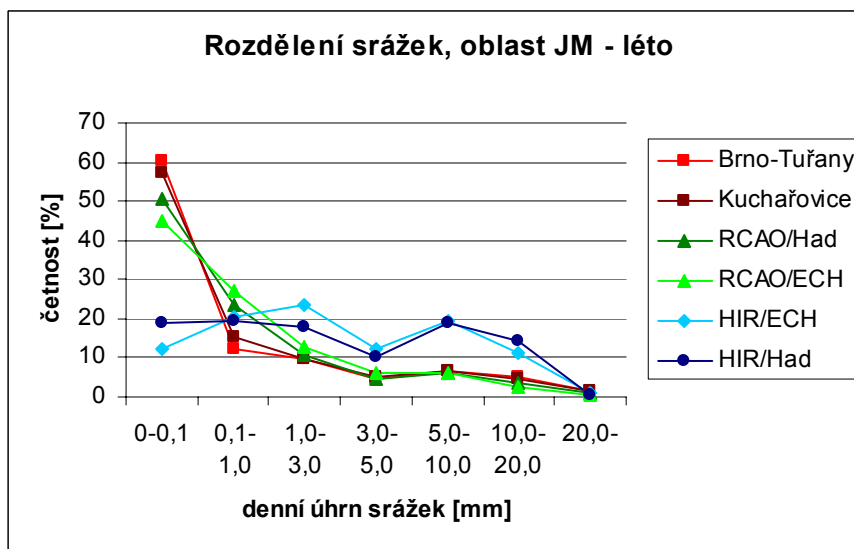
Obr. 6.6b: Průměrné rozdělení srážek pro stanice a modely v oblasti JČ pro podzim.



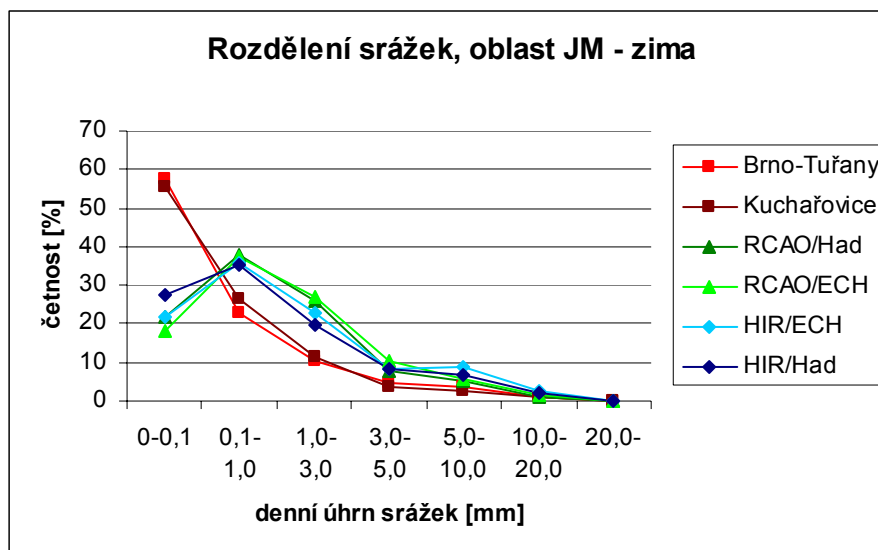
Obr. 6.7a: Průměrné rozdělení srážek pro stanice a modely v oblasti SČ pro léto.



Obr. 6.7b: Průměrné rozdělení srážek pro stanice a modely v oblasti SČ pro zimu.



Obr. 6.8a: Průměrné rozdělení srážek pro stanice a modely v oblasti JM pro léto.



Obr. 6.8b: Průměrné rozdělení srážek pro stanice a modely v oblasti JM pro zimu.

Vliv řídicího globálního modelu

U modelu RCAO lépe odpovídají datům ze stanic výsledky simulace s řídicím modelem HadAM3H. V prvním intervalu (0 – 0,1 mm) dochází k menšímu podhodnocení počtu dní oproti stanicím a v ostatních intervalech srážkových úhrnů k menšímu nadhodnocení ve srovnání se simulací s řídicím ECHAMem.

Simulace modelu HIRHAM s řídicím HadAM3H dává větší počty dní pro srážkové úhrny v intervalu 0 – 0,1 mm (dny beze srážek) a nižší počty dní pro srážkové úhrny nad 0,1 mm než simulace s řídicím ECHAMem. Tedy pro srážkové úhrny do 3 mm lépe odpovídá datům ze stanic kombinace HIR/Had (menší podhodnocení v intervalu 0 – 0,1 mm a menší nadhodnocení v intervalech 0,1 – 3 mm). Pro další intervaly srážkových úhrnů záleží na konkrétním případě (oblasti a sezóně), zda je lepší kombinace s HadAM3H nebo ECHAM.

6.5 Počet dní se srážkovým úhrnem 10 mm a více

Hodnoty této charakteristiky, vyjadřující četnost výskytu vysokých denních úhrnů srážek, jsou u pozorovaných dat mírně proměnlivé v závislosti na oblasti. Nejvyšší hodnoty se vyskytují v oblasti JČ, nejnižší v oblasti JM. U pozorovaných i modelových dat pozorujeme ročních chod s nejvyšší četností dní se srážkovým úhrnem větším nebo rovným 10 mm v létě a nejnižší četností v zimě. Na stanicích pozorujeme v závislosti na oblasti v létě 5 – 8 těchto dní, na jaře a na podzim 2 – 4 dny a v zimě 0 – 2 dny.

Výsledky RCM se výrazně mění s danou oblastí, u této charakteristiky nápadněji než u jiných. V závislosti na oblasti dochází často k výraznému nadhodnocení nebo podhodnocení počtu dní. Celkově lépe simuluje model RCAO, objevuje se buď

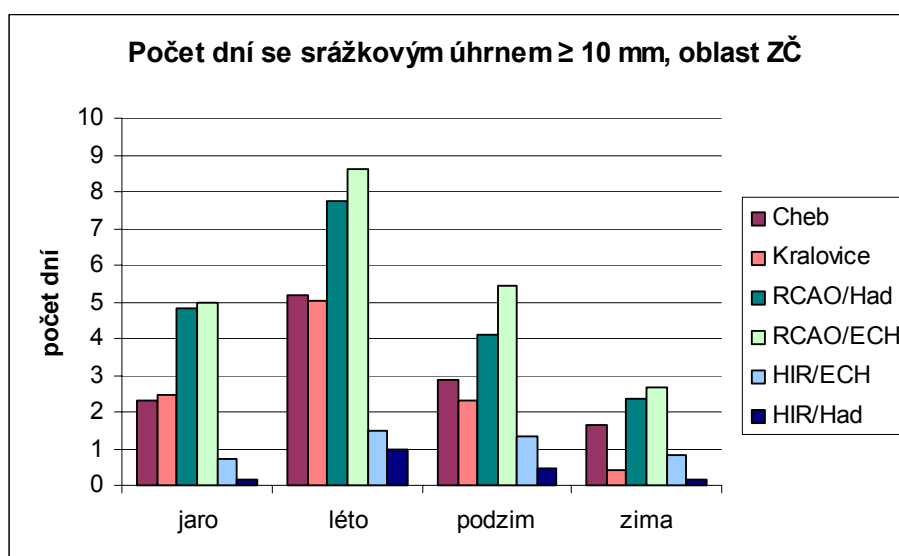
nadhodnocení, nebo model odpovídá skutečnosti. Model HIRHAM nesimuluje úhrny srážek nad 10 mm dobře, výsledky jsou velmi rozdílné v různých oblastech. Ve třech oblastech dává příliš nízké počty dnů, naproti tomu v oblasti JM dává velmi vysoké počty dnů. Výsledky pro oblasti ZČ, SČ a JM jsou na obr. 6.9a – 6.9c.

RCAO

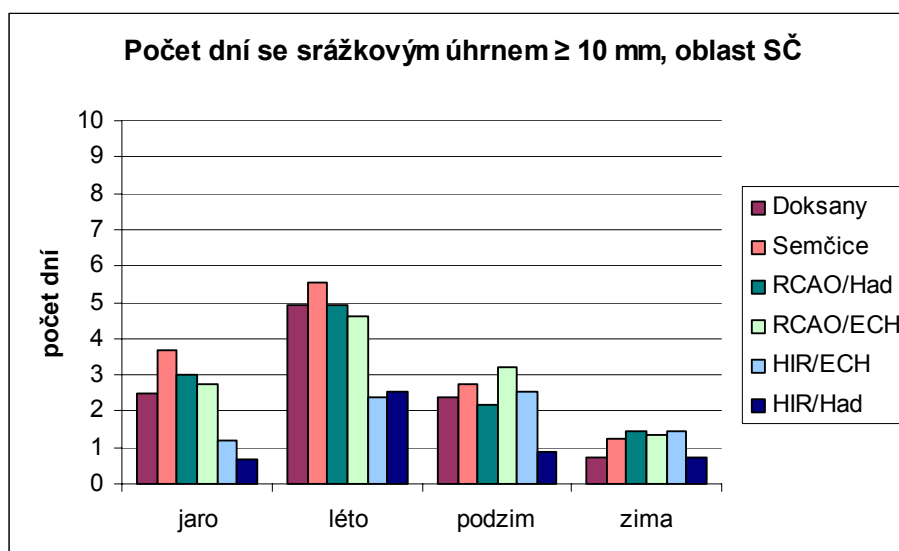
Model RCAO počty dní se srážkovým úhrnem 10 mm a více spíše nadhodnocuje. V oblasti ZČ (viz obr. 6.9a) tento model nadhodnocuje ve všech sezónách nejvíce ze všech oblastí, udává až dvojnásobný počet dní než ukazují data ze stanic. V oblasti JČ RCAO nadhodnocuje o něco méně než v ZČ, hodnoty pro léto odpovídají datům ze stanic, v ostatních sezónách se vyskytuje nadhodnocování v průměru o jeden až dva dny. V oblasti SČ (viz obr. 6.9b) RCAO docela dobře odpovídá hodnotám na stanicích ve všech sezónách. V oblasti JM (viz obr. 6.9c) RCAO simuluje oproti ostatním oblastem nízké počty dní. Např. pro léto simuluje 4 dny, zatímco v oblasti ZČ to bylo 8 – 9 dní. V létě dochází k mírnému podhodnocování oproti pozorovaným datům, na podzim mírně nadhodnocuje, na jaře a v zimě simuluje hodnoty srovnatelné s hodnotami na stanicích.

HIRHAM

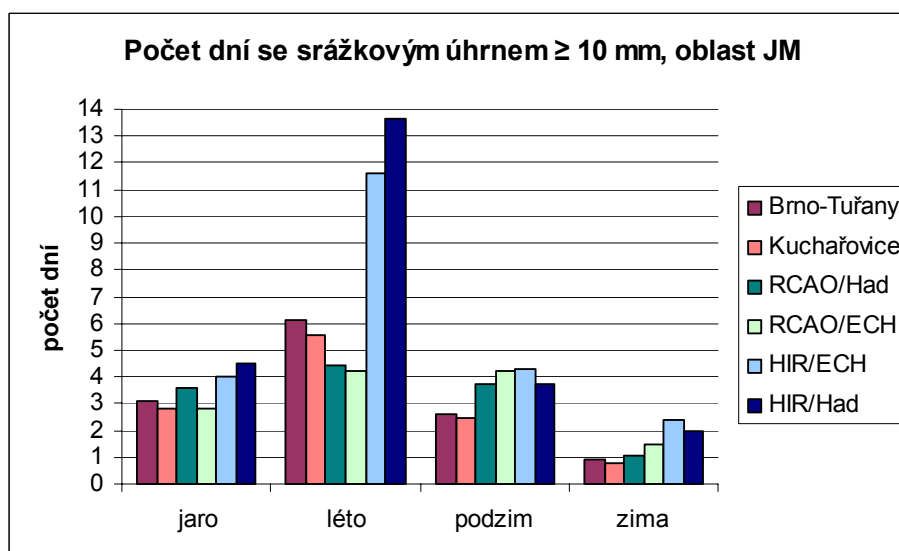
Model HIRHAM udává výsledky velice proměnlivé v závislosti na oblasti, většinou výrazně podhodnocuje, kromě oblasti JM, kde výrazně nadhodnocuje a v létě ukazuje hodnotu více než dvojnásobnou oproti pozorovaným datům. V oblastech ZČ (viz obr. 6.9a) a JČ ukazuje velmi nízké hodnoty, ve všech sezónách dává žádný nebo 1 den se srážkovým úhrnem ≥ 10 mm. V oblasti SČ (viz obr. 6.9b) ukazuje hodnoty o něco větší, ale stále ještě



Obr. 6.9a: Průměrný počet dní se srážkovým úhrnem 10 mm a více pro stanice a modely v oblasti ZČ.



Obr. 6.9b: Průměrný počet dní se srážkovým úhrnem 10 mm a více pro stanice a modely v oblasti SČ.



Obr. 6.9c: Průměrný počet dní se srážkovým úhrnem 10 mm a více pro stanice a modely v oblasti JM.

podhodnocuje, hlavně na jaře (kdy HIRHAM dává 1 den, ale stanice ukazují 2 – 4 dny) a v létě (kdy udává 2 – 3 dny, zatímco na stanicích je 5 – 6 dnů). V oblasti JM (viz obr. 6.9c) udává podstatně vyšší hodnoty než v ostatních zkoumaných oblastech. Ve všech sezónách zde nadhodnocuje, nejvíce v létě, kde udává 12 – 14 dní s daným srážkovým úhrnem, zatímco na stanicích je pouze 6 dní.

Vliv GCM

Regionální modely ukazují ve většině případů o něco vyšší hodnoty ve spojení s řídicím modelem ECHAM. Neplatí to ale všude, např. v oblasti JM na jaře a v létě dávají jak RCAO, tak HIRHAM vyšší hodnoty s řídicím HadAM3H (viz obr. 6.9c).

6.6 Kvantily denních úhrnů srážek

Hodnoty kvantilů zmíněné v této kapitole popisují tvar rozdělení denních úhrnů srážek srážkových dní (zatímco rozdělení denních úhrnů srážek popsané v kap. 6.4 se týkalo všech dní, tedy i dní beze srážek).

U pozorovaných dat vykazují hodnoty všech kvantilů denních úhrnů srážek roční chod s nejvyššími hodnotami v létě a nejnižšími v zimě. Výsledky modelu RCAO vykazují tento roční chod jen pro 90% a 95% kvantil, ale s méně výrazným letním maximem a zimním minimem. Pro 20% a 50% kvantily vypadá roční chod odlišně (podrobněji viz níže). U modelu HIRHAM pozorujeme v oblasti JM roční chod kvantilů blízcí se staničním měřením, v ostatních oblastech je roční chod nevýrazný, hodnoty kvantilů jsou srovnatelně vysoké pro jednotlivé sezóny.

20% kvantil

Na vybraných stanicích se hodnoty 20% kvantilu pohybují na jaře od 0,50 do 0,64 mm, v létě od 0,66 (Kuchařovice) do 0,91 mm (Kralovice), na podzim se pohybují od 0,34 (Semčice) do 0,62 mm (Kralovice) a v zimě od 0,32 (Kuchařovice) do 0,49 mm (Tábor).

RCAO

Hodnoty 20% kvantilu simulované modelem RCAO se oproti pozorovaným datům liší především „ročním chodem“ (tzn. rozdíly v hodnotách mezi sezónami). Na jaře, na podzim a v zimě simuluje RCAO vyrovnané hodnoty 20% kvantilu, v létě dává podstatně nižší hodnotu než v ostatních sezónách, zatímco na stanicích je hodnota 20% kvantilu v létě naopak nejvyšší, takže v létě dochází ve všech oblastech k výraznému podhodnocování. Nejvyšší hodnoty 20% kvantilu ve všech sezónách dává RCAO v oblasti ZČ (viz obr. 6.10). Na jaře, na podzim a v zimě udává model v této oblasti hodnoty od 0,56 do 0,75 mm (což odpovídá pozorovaným hodnotám na stanicích v letní sezóně), v létě pak udává nižší hodnoty 0,46 - 0,47 mm (které by odpovídaly spíše hodnotám na stanicích v zimě). Poněkud nižší hodnoty 20% kvantilu simuluje RCAO v oblasti JČ. Na jaře, na podzim a v zimě zde udává hodnoty od 0,52 do 0,66 mm, v létě 0,43 mm. Ještě nižší hodnoty dává RCAO pro oblast SČ, na jaře, na podzim a v zimě od 0,42 do 0,54 mm, v létě 0,29 - 0,33 mm. Nejnižší hodnoty 20% kvantilu simuluje RCAO v oblasti JM (viz obr. 6.10). Na jaře, na podzim a v zimě udává v této oblasti hodnoty od 0,37 do 0,41 mm (což odpovídá hodnotám na stanicích v zimě), v létě pak 0,31 - 0,33 mm.

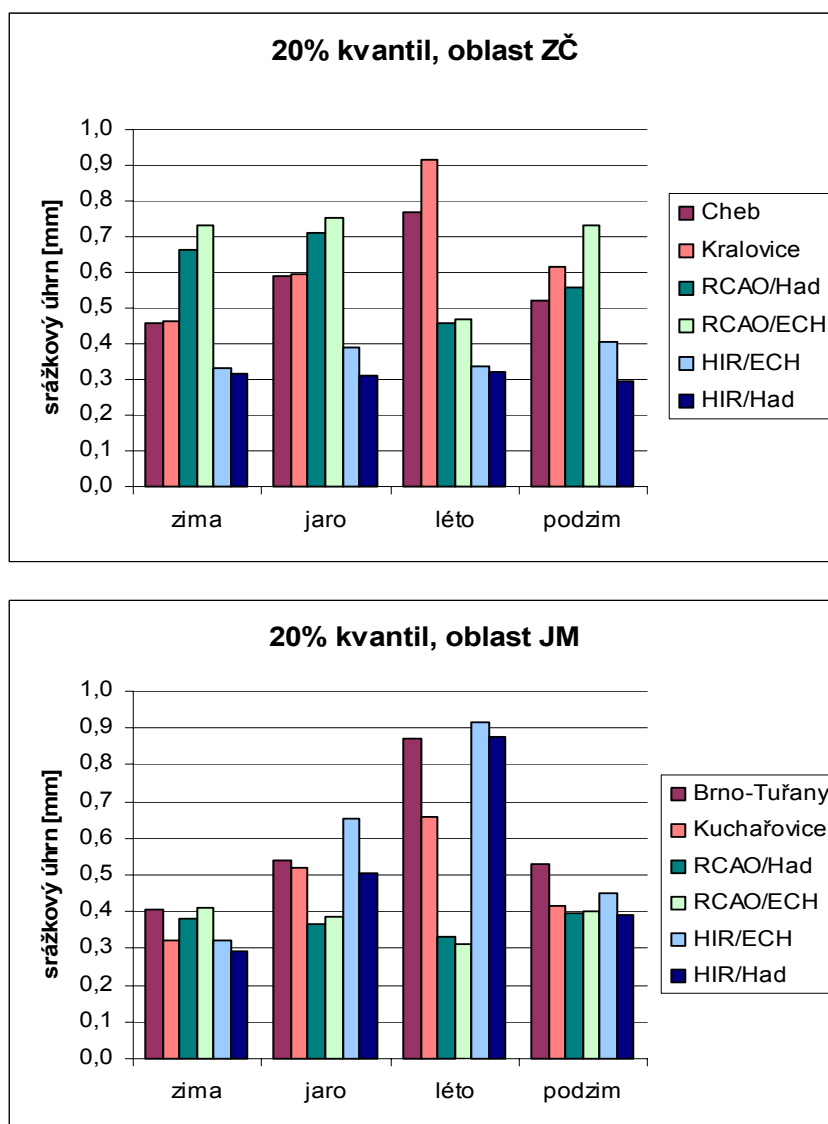
HIRHAM

V oblastech ZČ, JČ a SČ jsou hodnoty 20% kvantilu simulované modelem HIRHAM ve všech sezónách navzájem srovnatelné a, především v létě, jsou výrazně podhodnocené oproti

pozorovaným datům (viz obr. 6.10 pro ZČ). V oblastech ZČ a JČ jsou hodnoty 20% kvantilu nejnižší ze všech oblastí, pohybují se od 0,24 do 0,40 mm. V oblasti SČ jsou simulované hodnoty 20% kvantilu o něco vyšší, pohybují se mezi 0,31 a 0,49 mm. Na podzim a v zimě v této oblasti modelové hodnoty odpovídají pozorovaným datům, na jaře a v létě jsou podhodnocené. V oblasti JM (viz obr. 6.10) je na rozdíl od ostatních oblastí docela dobře vyjádřen „roční chod“ 20% kvantilu a hodnoty udávané modelem jsou celkově vyšší než v ostatních oblastech. Výsledky ve všech sezónách zde tedy docela dobře souhlasí s hodnotami na stanicích.

Vliv GCM

Ve většině případů vychází pro model RCAO i HIRHAM vyšší hodnoty 20% kvantilu v simulacích řízených globálním modelem ECHAM. Rozdíly mezi jednotlivými simulacemi jsou maximálně 0,17 mm.



Obr. 6.10: Průměrná hodnota 20% kvantilu v oblastech ZČ a JM.

50% kvantil

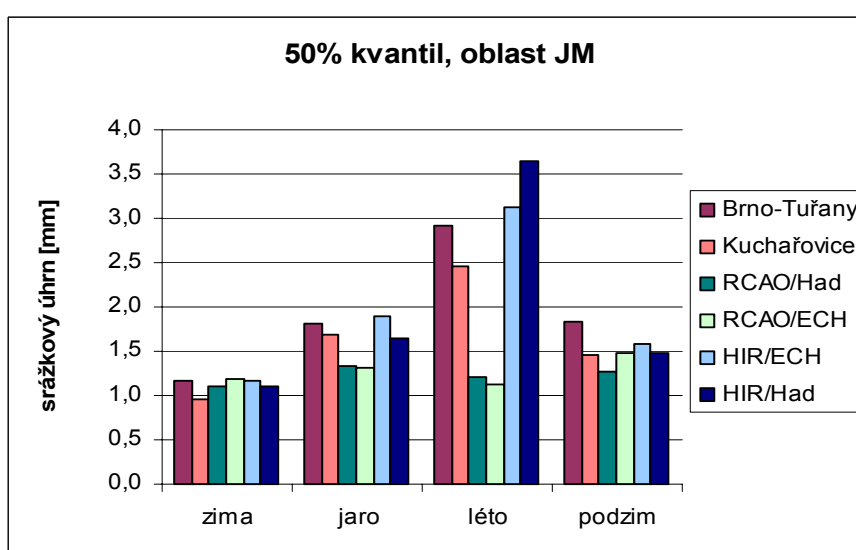
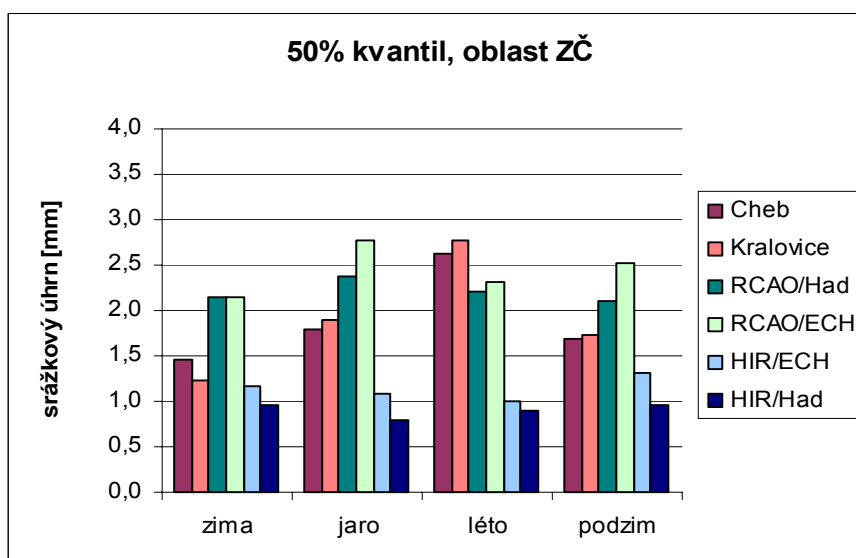
Hodnoty 50% kvantilu jsou u pozorovaných dat nejvyšší v létě a nejnižší v zimě. Na jaře se pohybují od 1,7 do 1,9 mm, v létě od 2,4 do 3,1 mm, na podzim od 1,4 do 1,8 mm a v zimě od 1,0 do 1,5 mm.

RCAO

Model RCAO simuluje hodnoty 50% kvantilu srovnatelně vysoké pro všechny sezóny, což neodpovídá pozorovaným datům. V létě pak dochází ve všech oblastech k více nebo méně výraznému podhodnocování. Můžeme ovšem pozorovat rozdíly mezi jednotlivými oblastmi. Nejvyšší hodnoty dává RCAO v oblasti ZČ, nejnižší v oblasti JM. V oblasti ZČ (viz obr. 6.11) se hodnoty 50% kvantilu ve všech sezónách pohybují mezi 2,1 a 2,8 mm. V létě jsou hodnoty mírně podhodnocené, v ostatních měsících model nadhodnocuje. V oblasti JČ se hodnoty 50% kvantilu pohybují mezi 1,8 - 2,3 mm, v létě zde model výrazně podhodnocuje, v ostatních sezónách dochází k nadhodnocení. Pro oblast SČ RCAO udává hodnotu 50% kvantilu ještě menší, a to v rozmezí 1,3 až 1,6 mm. Tyto hodnoty odpovídají pozorovaným datům na stanicích na podzim. Na jaře a v létě dochází k podhodnocování, létě je hodnota 50% kvantilu jen zhruba poloviční ve srovnání s pozorovanými daty, v zimě pak model nadhodnocuje. Pro oblast JM (viz obr. 6.11) jsou hodnoty 50% kvantilu nejmenší, 1,1–1,5 mm, což odpovídá hodnotě na stanicích v zimě, pro ostatní měsíce jsou hodnoty 50% kvantilu podhodnocené, v létě více než o polovinu hodnoty odpovídající pozorovaným datům.

HIRHAM

Výsledky modelu HIRHAM vykazují pro 50% kvantil, podobně jako pro 20% kvantil, velké rozdíly mezi oblastmi. V oblastech ZČ, JČ a SČ HIRHAM simuluje ve všech sezónách nízké hodnoty 50% kvantilu a výrazně podhodnocuje oproti stanicím. V oblasti JČ HIRHAM podhodnocuje nejvíce, udává hodnoty mezi 0,6 a 1,1 mm, což představuje asi polovinu hodnoty na stanicích v zimě a jen asi 27% pozorované hodnoty v létě. Pro oblast ZČ (viz obr. 6.11) HIRHAM udává hodnoty 50% kvantilu mezi 0,8 a 1,3 mm. V oblasti SČ dává 0,9 – 1,5 mm, což odpovídá hodnotě na stanicích v zimě, pro ostatní sezóny dochází k nadhodnocení. Pro oblast JM dává HIRHAM zcela odlišné výsledky (viz obr. 6.11). Udává podstatně vyšší hodnoty 50% kvantilu a jsou zde vyjádřeny rozdíly mezi sezónami. Na jaře, na podzim a v zimě výsledky docela dobře souhlasí s pozorovanými daty, v létě je hodnota 50% kvantilu nadhodnocená (HIRHAM udává 3,1 – 3,7 mm, stanice 2,4 – 2,9 mm).



Obr. 6.11: Průměrná hodnota 50% kvantilu v oblastech ZČ a JM.

Vliv GCM

Regionální model HIRHAM dává ve všech případech kromě léta v oblasti JM vyšší hodnoty 50% kvantilu v kombinaci s řídicím ECHAMem než s řídicím HadAM3H. Kombinace HIRHAM/ECHAM lépe odpovídá pozorovaným datům. Model RCAO simuluje vyšší hodnoty ve většině případů též s řídicím ECHAMem, kromě oblasti JČ v létě a oblasti JM na jaře a v létě, kdy vychází vyšší hodnoty pro RCAO/HadAM3H.

90% kvantil

Na stanicích se hodnota 90% kvantilu pohybuje v létě mezi 11,3 - 14,1 mm, na jaře mezi 7,4 - 9,9 mm, na podzim mezi 7,2 - 8,7 mm a v zimě mezi 4,5 - 6,3 mm.

Modelový 90% kvantil je většinou podhodnocený, případně odpovídá hodnotám na stanicích. Pozorovaným datům lépe odpovídají výsledky modelu RCAO. RCAO vykazuje roční chod 90% kvantilu s maximem v létě a minimem v zimě, ale rozdíly mezi maximální a

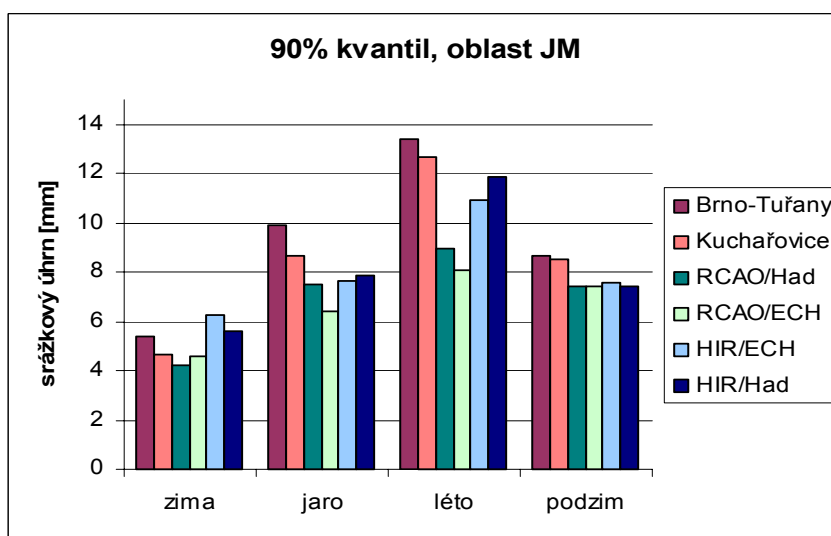
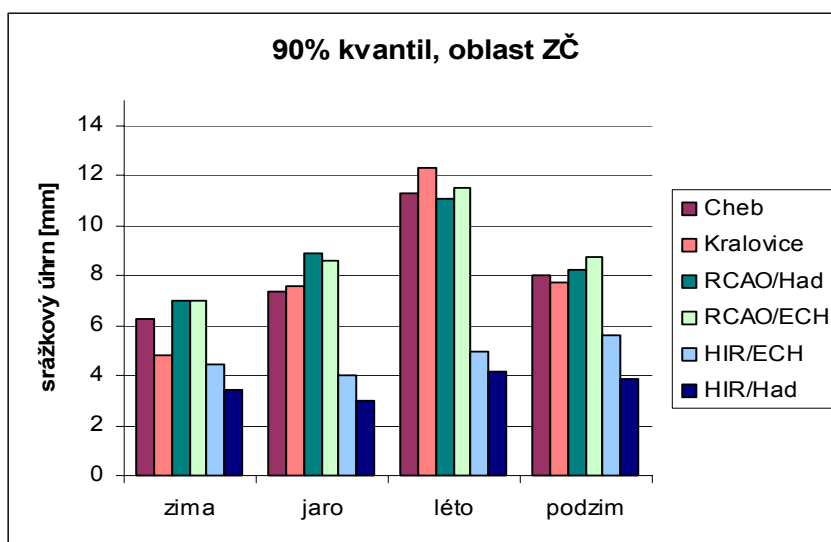
minimální hodnotou jsou menší než u pozorovaných dat. Výsledky modelu HIRHAM jsou odlišné v různých oblastech, především výsledky v oblasti JM se výrazně liší od výsledků v ostatních oblastech. V oblastech ZČ, JČ a SČ jsou hodnoty 90% kvantilu simulované modelem HIRHAM příliš nízké.

RCAO

Model RCAO simuluje 90% kvantil lépe v oblastech ZČ a JČ a hůře v oblastech SČ a JM. V oblasti ZČ (viz obr. 6.12) výsledky na jaře, v létě a na podzim docela dobře odpovídají hodnotám ze stanic (hodnoty se liší o 0,2 - 1,5 mm), v zimě RCAO nadhodnocuje o 0,7 - 2,2 mm. V oblasti JČ model RCAO v létě podhodnocuje o 1,9 - 3,1 mm, v ostatních sezónách výsledky modelu RCAO poměrně dobře souhlasí s pozorovanými daty (rozdíly oproti stanicím jsou max. 1,0 mm). V oblastech SČ a JM (viz obr. 6.12) výsledky RCAO v zimě docela dobře souhlasí se stanicemi (rozdíly oproti stanicím jsou 0 - 1,1 mm), v ostatních sezónách RCAO podhodnocuje, nejvíce v létě, kdy udává hodnotu o 2,5 - 5,3 mm nižší, než udávají staniční měření.

HIRHAM

Výsledky modelu HIRHAM se velmi liší v jednotlivých oblastech, především v oblasti JM HIRHAM simuluje 90% kvantil výrazně odlišně než ve zbývajících oblastech. V oblastech ZČ (viz obr. 6.12), JČ a SČ HIRHAM dává velmi nízké hodnoty 90% kvantilu - od 2,4 do 6,1 mm, zatímco na stanicích jsou hodnoty od 4,5 (zima, Doksany) do 14,1 mm (léto, Třeboň). Výsledky HIRHAMu vykazují velmi malé rozdíly mezi sezónami, takže k nejmenšímu podhodnocování dochází v zimě (v oblasti SČ v zimě výsledky HIRHAMu odpovídají staničním hodnotám, v oblastech ZČ a JČ HIRHAM podhodnocuje o 0,4 - 3,3 mm) a k největšímu podhodnocování dochází v létě (HIRHAM podhodnocuje o 5,5 - 10,4 mm, což znamená 26 - 53% hodnoty na stanicích). V oblasti JM (viz obr. 6.12) HIRHAM simuluje podstatně vyšší hodnoty než v ostatních oblastech a zachycuje pozorované rozdíly mezi sezónami. Výsledky HIRHAMu se v této oblasti blíží pozorovaným datům i pokud se týká samotných hodnot. V zimě můžeme pozorovat mírné nadhodnocení (o 0,2 - 1,7 mm), v ostatních měsících podhodnocení, které je mírnější na jaře a na podzim a poněkud výraznější v létě (o 0,8 - 2,5 mm).



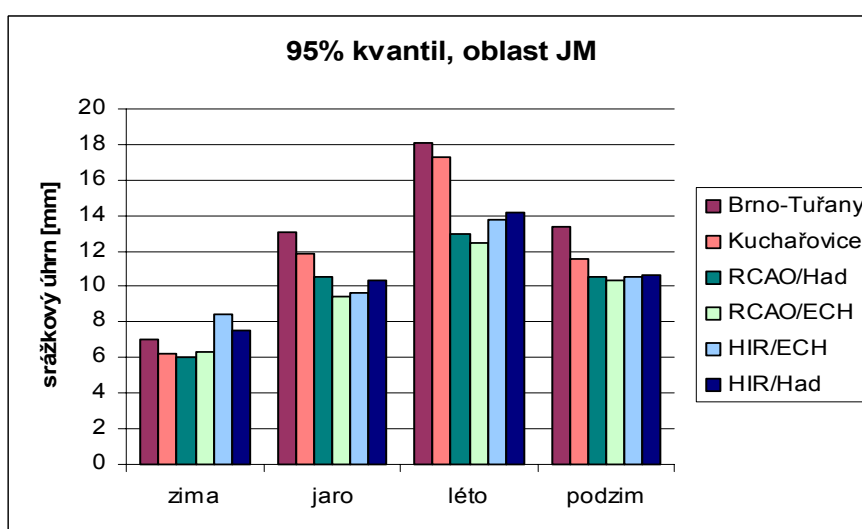
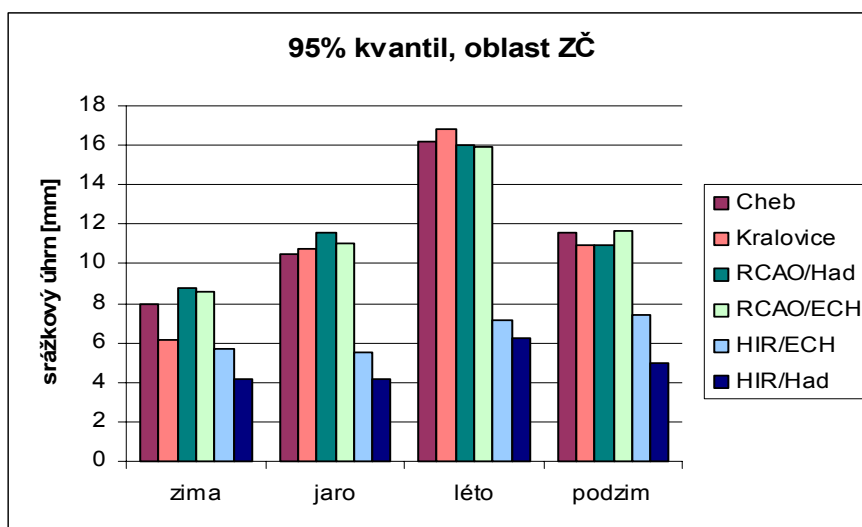
Obr. 6.12: Průměrná hodnota 90% kvantilu v oblastech ZČ a JM.

Vliv GCM

Model HIRHAM řízený globálním modelem ECHAM udává ve většině případů vyšší hodnotu 90% kvantilu než s řídicím HadAM3H. Rozdíly jsou 0,7 - 1,7 mm. U modelu RCAO vychází v některých případech vyšší hodnota 90% kvantilu pro kombinaci RCAO/ECHAM (většinou na podzim a v zimě), v některých případech pro RCAO/ HadAM3H (většinou na jaře a v létě). Rozdíly jsou max. 1,1 mm.

95% kvantil

Pro 95% kvantil vychází porovnání hodnot stanic a modelů prakticky stejně jako u 90% kvantilu. Pro model RCAO a HIRHAM vychází srovnatelná míra podhodnocení resp. nadhodnocení pro dané sezóny a oblasti, jako bylo popsáno u 90% kvantilu (viz obr. 6.13).



Obr. 6.13: Průměrná hodnota 95% kvantilu v oblastech ZČ a JM.

6.7 Největší 3denní, 5denní a 10denní srážkový úhrn

V této kapitole jsou popsány největší 3denní, 5denní a 10denní srážkové úhrny. Stejně jako u ostatních charakteristik se jedná se o průměrné hodnoty největších N-denních úhrnů srážek za třicetiletí.

Největší 3denní srážkový úhrn

Průměrné hodnoty největších 3denních srážkových úhrnů se na stanicích pohybují od 15 mm v zimě do 51 mm v létě.

Model RCAO relativně dobře zachycuje 3denní srážkové úhrny ve všech oblastech a sezónách (rozdíly oproti stanicím jsou 0 – 14 mm). Naproti tomu HIRHAM dobře zachycuje tuto charakteristiku pouze v oblasti JM (rozdíly oproti stanicím jsou 0 - 11 mm), v ostatních oblastech výrazně podhodnocuje. Do výsledků se promítají již dříve zmíněné skutečnosti, že

RCAO simuluje největší srážkové úhrny v oblasti ZČ a nejmenší v oblastech SČ a JM a HIRHAM nejmenší úhrny v oblastech ZČ a JČ a výrazně vyšší v oblasti JM.

RCAO

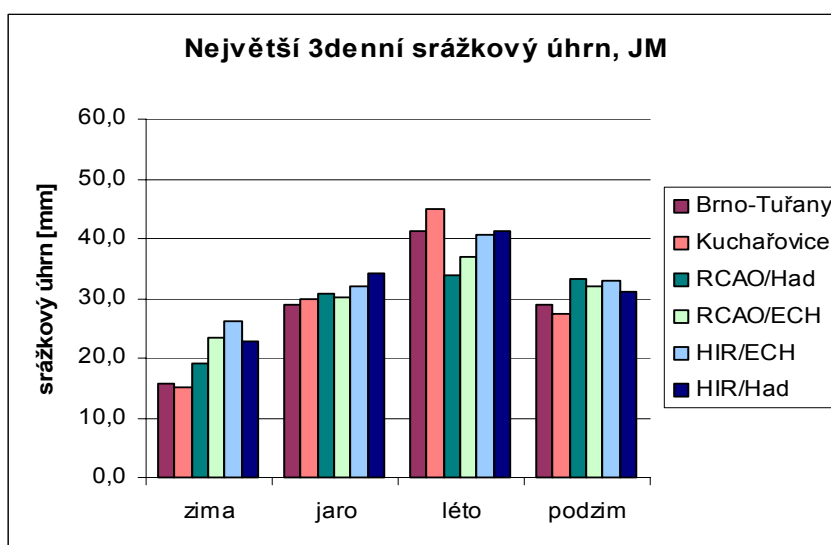
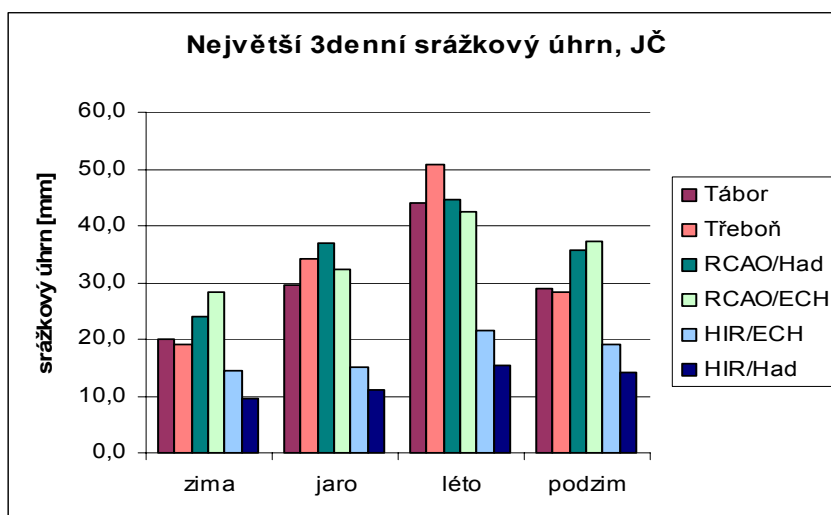
Model RCAO simuluje menší rozdíly mezi hodnotami největších 3denních srážkových úhrnů v jednotlivých sezónách, než vykazují data ze stanic. Proto v zimě a na podzim model většinou nadhodnocuje, a to nejvíce v oblastech ZČ a JČ (viz obr. 6.14 pro JČ), kde dochází k nadhodnocení o 4 – 14 mm, a nejméně v SČ, kde je nadhodnocení 0 – 8 mm. V létě výsledky RCAO buď odpovídají hodnotám největších 3denních srážkových úhrnů na stanicích (v oblastech ZČ a JČ) nebo dochází k podhodnocování o 4 – 11 mm (v oblastech SČ a JM, viz obr. 6.14). Na jaře RCAO nadhodnocuje max. o 12 mm (ZČ, JČ), nebo odpovídá hodnotám na stanicích (SČ, JM).

HIRHAM

Model HIRHAM vykazuje u největšího 3denního srážkového úhrnu jednak malé rozdíly mezi sezónami, tzn. nevýrazné maximum v létě a minimum v zimě, a jednak velké rozdíly mezi oblastmi. V oblastech ZČ a JČ (viz obr. 6.14) model dává příliš malé 3denní úhrny ve všech sezónách, největší podhodnocení je v létě, kdy je modelová hodnota méně než poloviční ve srovnání s pozorovanými daty. V oblasti SČ jsou hodnoty ve všech sezónách o něco vyšší než v předcházejících dvou oblastech. Úhrny v zimě odpovídají datům na stanicích, v ostatních sezónách (nejvíce v létě) jsou podhodnocené. V oblasti JM (viz obr. 6.14) jsou výrazně vyšší hodnoty největšího 3denního srážkového úhrnu než v ostatních oblastech, např. hodnota v létě (41 mm) v oblasti JM je přibližně dvojnásobná oproti hodnotě v oblastech ZČ a JČ (15 – 23 mm). Rozdíly mezi sezónami jsou v oblasti JM výraznější než v ostatních oblastech, ale stále ještě příliš malé ve srovnání s daty ze stanic. V létě simulovaná hodnota úhrnu odpovídá pozorovaným datům (na stanicích je 41 – 45 mm, HIRHAM dává 41 mm), na jaře, na podzim a především v zimě je nadhodnocená (v zimě jsou hodnoty na stanicích 15 – 16 mm, HIRHAM dává 23 – 26 mm).

Vliv GCM

U modelu HIRHAM ve většině případů vychází vyšší hodnoty srážkového úhrnu s řídicím modelem ECHAM (o 1 – 7 mm), ale není to pravidlem, např. v oblasti JM vychází na jaře a v létě vyšší úhrny ve spojení s HadAM3H (o 0 – 2 mm). U RCAO nejsou velké rozdíly ve výsledcích v závislosti na řídicím globálním modelu. V některých případech udává RCAO vyšší hodnoty ve spojení s ECHAM, jinde s HadAM3H.



Obr. 6.14: Průměrná hodnota největšího 3denního srážkového úhrnu v oblastech JČ a JM.

Největší 5denní a největší 10denní srážkový úhrn

Průměrné hodnoty největších 5denních srážkových úhrnů se na stanicích pohybují od 17 mm v zimě do 61 mm v létě. Pokud se týká největších 10denních srážkových úhrnů, hodnoty pozorovaných dat jsou v rozmezí 22 mm (v zimě) a 76 mm (v létě).

Porovnání simulovaných největších 5denních a 10denních srážkových úhrnů s pozorovanými daty je obdobné jako u největších 3denních srážkových úhrnů. Proto jsou níže uvedeny zejména rozdíly zjištěné pro tyto charakteristiky oproti největším 3denním úhrnům. Na obr. 6.15 jsou vidět největší 10denní úhrny srážek v oblastech JČ a JM, pro největší 5denní srážkové úhrny vypadají grafy velmi podobně.

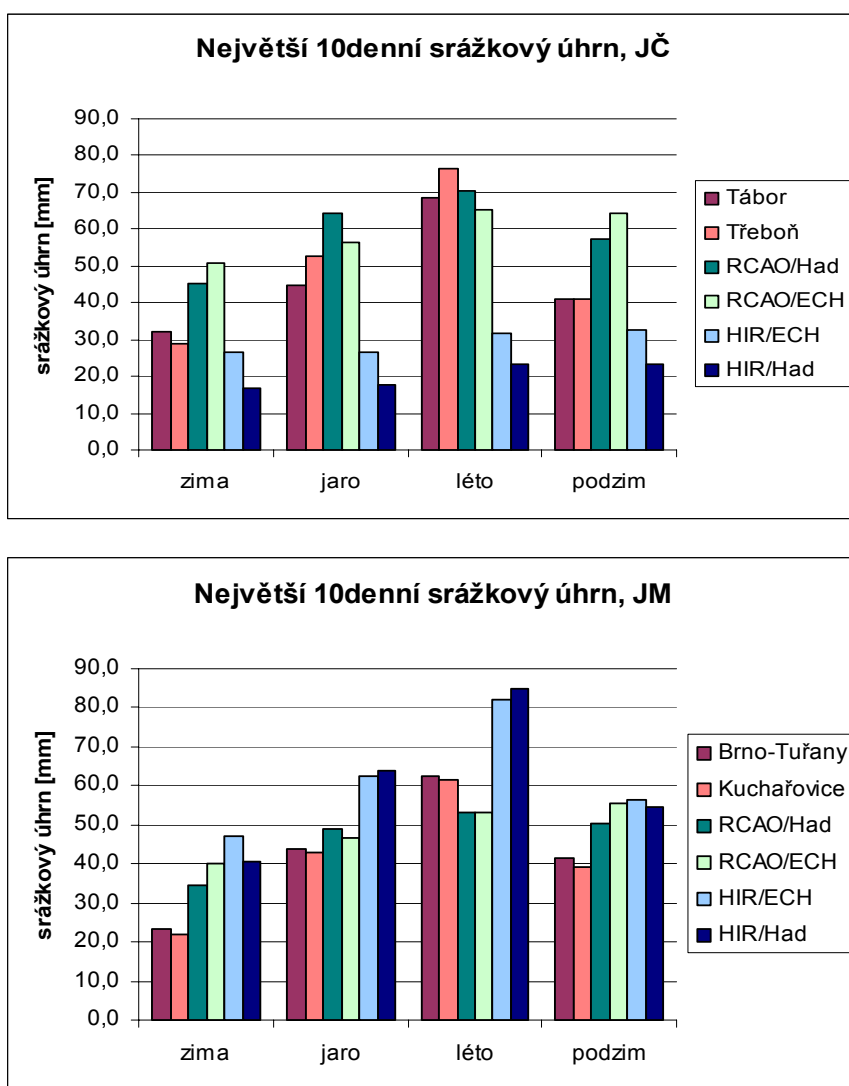
RČAO

V některých sezónách je ve srovnání s největšími 3denními úhrny srážek u největších 5denních a 10denních úhrnů patrný nárůst modelových hodnot oproti staničním pozorováním,

a to především v oblastech ZČ a JČ (viz obr. 6.15). V těchto oblastech tak RCAO ve všech sezónách oproti stanicím nadhodnocuje, nejméně v létě a nejvýrazněji v zimě. Pro oblasti SČ a JM (viz obr. 6.15) dochází k podhodnocování v létě a nadhodnocování v ostatních sezónách.

HIRHAM

V oblastech ZČ, JČ (viz obr. 6.15) a SČ je pro největší 5denních a 10denní úhrny srážek srovnání se staničními daty obdobné jako u největších 3denních úhrnů srážek. Tzn. vyskytují se nízké hodnoty úhrnů srážek modelu a nevýrazné rozdíly modelových hodnot mezi sezónami, takže v zimě model často odpovídá datům ze stanic, ale v létě výrazně podhodnocuje. V oblasti JM (viz obr. 6.15) jsou hodnoty nejvyšších 5denních a 10denních úhrnů ve srovnání s nejvyššími 3denními úhrny oproti stanicím vyšší, a to především na jaře a v létě. Ve všech sezónách tak dochází k nadhodnocování oproti stanicím.



Obr. 6.15: Průměrná hodnota největšího 10denního srážkového úhrnu v oblastech JČ a JM.

Vliv GCM

U největších 5denních a 10denních úhrnů simuluje HIRHAM ve většině případů vyšší hodnoty s řídicím modelem ECHAM, až na jaro a léto v oblasti JM, kdy vychází vyšší údaj pro simulaci s řídicím HadAM3H. Pro model RCAO jsou rozdíly v závislosti na řídicím globálním modelu méně výrazné, v některých případech simuluje vyšší hodnoty s řídicím ECHAMem, jinde s řídicím HadAM3H.

Závěr

Úkolem diplomové práce bylo studovat neurčitosti výstupů regionálních klimatických modelů (RCM). Pozornost byla věnována schopnosti RCM simulovat srážkové poměry v České republice a vyhodnocení neurčitostí spojených s použitím různých globálních modelů řídících tentýž regionální model a naopak s použitím různých regionálních modelů, které jsou řízené jedním globálním modelem.

Použity byly čtyři běhy dvou regionálních klimatických modelů pro období 1961-90. Jednalo se o modely RCAO a HIRHAM s horizontálním rozlišením 50 x 50 km řízené globálními modely HadAM3H a ECHAM4/OPYC. Modelová data byla stažena z archivu projektu PRUDENCE, který byl v době zahájení diplomové práce hlavním zdrojem dat z RCM.

Nejdříve byly analyzovány mapy prostorového rozložení modelových průměrných ročních úhrnů srážek a mapy prostorového rozložení podílů průměrných ročních úhrnů srážek modelů a klimatologie CRU pro území celé ČR. Pro podrobnější analýzu výstupů regionálních klimatických modelů pak byly vybrány čtyři oblasti, situované v západních (ZČ), jižních (JČ) a severních (SČ) Čechách a na jižní Moravě (JM). Výběr oblastí vycházel z požadavků projektu VZ 01 Voda (2005). Každou oblast charakterizuje jeden uzlový bod modelů RCAO a HIRHAM a dvě nejbližší klimatologické stanice. Modelová data pro danou oblast byla pak porovnána s daty z vybraných stanic. Vyhodnocovány byly následující charakteristiky srážek: průměrný roční úhrn srážek a roční chod srážek, pro jednotlivé sezóny pak průměrný počet dní se srážkami, rozdělení denních úhrnů srážek a počet dní se srážkovým úhrnem 10 mm a více, dále průměrné hodnoty 20%, 50%, 90% a 95% kvantilů denních úhrnů srážek a průměrný největší 3denní, 5denní a 10denní srážkový úhrn.

Pokud se týká prostorového rozložení průměrných ročních úhrnů srážek, srážkové pole modelu RCAO je ve srovnání se skutečností poměrně hladké, s mírnými gradienty. Oblasti s vysokými a nízkými úhrny srážek jsou jen velmi hrubě naznačeny. Naproti tomu srážkové pole modelu HIRHAM je členitější než u RCAO. Jsou zde větší rozdíly v hodnotách průměrných ročních úhrnů srážek mezi suššími a srážkově bohatšími oblastmi. Oblasti vysokých srážkových úhrnů HIRHAM zachycuje lépe RCAO. V některých místech jsou ale velké rozdíly mezi hodnotami srážkových úhrnů v sousedních uzlových bodech. Ve srážkovém poli pak jsou vidět izolovaná maxima nebo minima srážek a výrazné gradienty neodpovídající skutečnosti.

Z provedené analýzy vyplynulo, že použitý regionální klimatický model určuje především prostorovou proměnlivost srážek, tzn. umístění oblastí s vysokými a nízkými úhrny srážek a velikost gradientů srážkových úhrnů. Řídící globální model má potom vliv na samotné hodnoty průměrných ročních srážkových úhrnů, s řídicím globálním modelem ECHAM simuluje daný RCM vyšší hodnoty srážek než s HadAM3H, a to zhruba o 100-150 mm.

Po spočtení průměrné, maximální a minimální hodnoty průměrného srážkového úhrnu pro celé území ČR bylo zjištěno, že pro simulace obou RCM s řídicím modelem ECHAM jsou minimální a průměrné hodnoty pro ČR vyšší než s řídicím HadAM3H. Dominuje zde tedy vliv globálního modelu. Pro velikost maxim je naopak určující použitý regionální model, plošné maximum modelu HIRHAM pro ČR je vyšší než maximum modelu RCAO bez ohledu na řídicí GCM. Uvedené výsledky odpovídají tomu, co bylo zjištěno v rámci projektu PRUDENCE, a sice že když se vypočítají průměrné hodnoty srážkových úhrnů pro větší území, hlavní vliv na výsledek má řídicí globální model (Jacob et al., 2007).

Při porovnávání srážkového pole RCM se srážkovým polem klimatologie CRU se ukázalo, že u modelu RCAO je prostorové rozložení podílů průměrných ročních úhrnů srážek vůči CRU poměrně hladké. V převážné části ČR model RCAO oproti CRU nadhodnocuje srážky, v kombinaci s řídicím modelem ECHAM více. K nejvýraznějšímu nadhodnocování dochází v západní části Čech. Pole podílů úhrnů srážek modelu HIRHAM vůči CRU je, stejně jako pole úhrnů srážek, prostorově proměnlivější. Model převážně nadhodnocuje průměrné roční srážkové úhrny oproti CRU, pouze s řídicím modelem HadAM3H dochází v některých oblastech i k podhodnocování. U obou řídicích modelů je nadhodnocování HIRHAMu oproti CRU nejvýraznější v Krušných horách, dále na Šumavě, v oblasti Hrubého Jeseníku a Dražanské vrchoviny.

Dále je uvedeno shrnutí vyhodnocení výše zmíněných srážkových charakteristik ve čtyřech vybraných oblastech v ČR. Průměrné roční úhrny srážek model RCAO ve všech vybraných uzlových bodech nadhodnocuje, výrazněji v oblastech ZČ a JČ, méně výrazně v oblastech SČ a JM. Roční chod srážek simulovaný RCAO je většinou plošší než u pozorovaných dat a obsahuje podružné maximum srážek na podzim, které svojí výrazností neodpovídá pozorovaným datům. Ve vybraných oblastech dochází většinou k nadhodnocování průměrných měsíčních úhrnů srážek v zimní polovině roku, v létě se modelové hodnoty ve většině případů blíží pozorovaným datům. V oblasti ZČ ale RCAO nadhodnocuje průměrné měsíční úhrny srážek v průběhu celého roku. Model HIRHAM simuluje ve třech uzlových bodech (ZČ, JČ a SČ) velmi plochý roční chod srážek a ve většině případů výrazně podhodnocuje průměrné měsíční úhrny srážek v letní polovině roku. Tento rys je nejvýraznější v uzlovém bodě v oblasti JČ, kde je pak také celkový roční úhrn srážek

výrazně nižší než u pozorovaných dat. Naproti tomu v oblasti JM je roční chod srážek modelu HIRHAM příliš výrazný, dochází ke značnému nadhodnocování průměrných měsíčních úhrnů oproti staničním měřením v průběhu celého roku a průměrný roční úhrn srážek pak vychází zhruba dvojnásobný ve srovnání s měřeními. Při srovnání s mapou prostorového rozložení průměrných ročních úhrnů srážek je vidět, že uzlový bod HIRHAMu v oblasti JM leží v lokálním a izolovaném maximu modelových srážek, které má model v této oblasti v rozporu s realitou.

Dále, po provedení porovnání ročních úhrnů srážek regionálních modelů v uzlovém bodě původní sítě uzlových bodů modelů a v nejbližším uzlovém bodě sítě společné s CRU byl zjištěn velký rozdíl v hodnotě ročního srážkového úhrnu u modelu HIRHAM pro dvojici uzlových bodů ležících v oblasti JČ. V uzlovém bodě sítě CRU je hodnota srážkového úhrnu zhruba dvakrát vyšší než hodnota v uzlovém bodě sítě původní. Důvodem velkého rozdílu je zřejmě skutečnost, že se v okolí tohoto uzlového bodu původní sítě srážkové pole HIRHAMu výrazně mění. U modelu RCAO a v ostatních oblastech modelu HIRHAM si hodnoty v uzlových bodech dané dvojice uzlových bodů přibližně odpovídají.

Počet dní se srážkami je u modelu RCAO pro všechny oblasti a sezóny výrazně nadhodnocený, nejvíce v zimě a nejméně v létě. Nejvýraznější nadhodnocení počtů dní je patrné v intervalech srážkových úhrnů 1–3 mm, 3–5 mm a 5–10 mm, v některých případech (především v létě) i v intervalu 0,1–1 mm. Co se týče počtů dní se srážkovým úhrnem 10 mm a více, v oblasti ZČ dává RCAO ve všech sezónách vyšší počty dní než by odpovídalo měřením, v ostatních oblastech se výsledky blíží datům ze stanic. Celkově RCAO simuluje nejlépe rozdělení denních úhrnů srážek v létě a nejhůř v zimě. Model HIRHAM nadhodnocuje počet dní se srážkami nejvíce v oblasti JM, kde simuluje zhruba dvojnásobné počty srážkových dní, naproti tomu v oblasti JČ je počet dnů se srážkami jen mírně vyšší než hodnoty, které udávají stanice. V oblastech ZČ, JČ a SČ HIRHAM ve většině případů nadhodnocuje počty dní v intervalech srážkových úhrnů 0,1–1 mm a 1–3 mm. Pro intervaly 5–10 mm, 10–20 mm je naopak v těchto oblastech častější podhodnocování počtů dní. Výsledky v oblasti JM se liší především výrazně vyššími počty dní se srážkovým úhrnem 5–10 mm a 10–20 mm, než ukazují měření, nejvíce patrné je to na jaře a v létě. Co se týče dnů se srážkovým úhrnem nad 20 mm, tak v oblastech ZČ a JČ model HIRHAM dny s tímto úhrnem srážek prakticky nesimuluje, naproti tomu v oblasti JM dochází k docela dobré shodě s naměřenými daty.

Co se týče hodnot kvantilů denních úhrnů srážek, tak hodnoty 90% a 95% kvantilu simulované modelem RCAO v oblastech ZČ a JČ poměrně dobře odpovídají měřením pro všechny sezóny. Pro další dvě oblasti jsou modelové hodnoty o něco nižší a dochází

k podhodnocování v létě. Pokud jde o hodnoty 20% kvantilu, model RCAO dává příliš nízkou hodnotu v létě a v této sezóně proto dochází ve všech oblastech k výraznému podhodnocování oproti pozorovaným datům, což souvisí s nadhodnocením počtů dní se srážkovým úhrnem 0,1–1 mm v létě, viz výše. V ostatních sezónách RCAO hodnotu 20% kvantilu většinou nadhodnocuje. Hodnoty modelového 50% kvantilu RCAO simuluje srovnatelně vysoké ve všech sezónách a dochází k výraznému podhodnocování v létě a většinou nadhodnocování v ostatních sezónách. Model HIRHAM v oblasti JM hodnoty 20%, 50%, 90% a 95% kvantilů denních úhrnů srážek srážkových dní simuluje docela dobře a hodnoty všech kvantilů se blíží pozorovaným datům. V ostatních oblastech jsou všechny sledované kvantily výrazně podhodnocené, a to především v létě, kdy modelová hodnota často nedosahuje ani poloviny hodnoty pozorované. Tzn. že rozdělení denních úhrnů srážek srážkových dní je v těchto oblastech oproti skutečnosti posunutá doleva směrem k nižším úhrnům srážek.

Pokud jde o průměrný největší 3denní, 5denní a 10denní srážkový úhrn, tak model RCAO největší 3denní srážkový úhrn relativně dobře zachycuje ve všech oblastech. Simuluje ale menší rozdíly mezi hodnotami v jednotlivých sezónách, takže v zimě a na podzim RCAO většinou zmíněné úhrny mírně nadhodnocuje a v létě v některých případech mírně podhodnocuje. U největších 5denních a 10denních úhrnů srážek je pro model RCAO v některých sezónách ve srovnání s největšími 3denními úhrny patrné zvyšování nadhodnocení (příp. snižování podhodnocení) oproti pozorovaným datům. Naproti tomu model HIRHAM simuluje největší 3denní srážkový úhrn poměrně dobře pouze v oblasti JM, kde v zimě nadhodnocuje a v ostatních sezónách hodnoty odpovídají pozorovaným datům. V ostatních oblastech HIRHAM simuluje srovnatelné hodnoty pro všechny sezóny a kromě zimy podhodnocuje. U největších 5denních a 10denních úhrnů srážek je v oblasti JM ve srovnání s největšími 3denními úhrny patrné zvyšování nadhodnocení, pro největší 10denní úhrny pak ve všech sezónách HIRHAM dává výrazně vyšší hodnoty než staniční data.

Oba regionální klimatické modely simulují vyšší srážky v kombinaci s řídicím modelem ECHAM. Ve spojení s ECHAMem simuluje RCAO i HIRHAM ve většině případů vyšší roční a měsíční úhrny srážek, větší počet srážkových dní, pro většinu oblastí a sezón větší počet dní se srážkovým úhrnem 10 mm a více, dále vyšší hodnoty 20%, 50%, 90% a 95% kvantilů a také vyšší hodnoty největšího 3denního, 5denního a 10denního srážkového úhrnu. Oba regionální modely tak v mnoha případech ve spojení s ECHAMem dané charakteristiky srážek znatelněji nadhodnocují a pozorovaným datům se více blíží simulace s řídicím modelem HadAM3H.

Z provedené analýzy výsledků RCM ve čtyřech oblastech, stejně jako z vyhodnocení srážkového pole RCM, se ukázalo, že hlavní vliv na výsledky má regionální klimatický

model, protože ve vybraných oblastech se od sebe výrazně liší výsledky jednotlivých regionálních modelů. Pro daný RCM se hodnoty simulovaných srážkových charakteristik liší mezi oblastmi výrazněji než hodnoty odvozené z měření. Pro model HIRHAM je tato proměnlivost větší než pro RCM, což souhlasí s výše zmíněnou „roztříštěností“ srážkového pole HIRHAMu.

Z rozboru ve vybraných uzlových bodech dále vyplynulo, že v konkrétním uzlovém bodě může RCM některé srážkové charakteristiky simulovat poměrně uspokojivě, ale jiné charakteristiky dobře zachyceny nejsou. Protože porovnání se staničními daty u obou RCM dává rozdílné výsledky v různých oblastech, lze jen těžko shrnout typické chování modelů pro tyto oblasti.

Mezi hlavní rysy modelových simulací srážek patří nadhodnocování počtů dní se srážkami („modely často prší“) a většinou plošší „roční chody“ (malé rozdíly mezi sezónami) jednotlivých charakteristik srážek ve srovnání s naměřenými daty. Co se týče vysokých denních úhrnů srážek, RCM ve vybraných bodech simuluje celkem uspokojivě, model HIRHAM většinou výrazně podhodnocuje počty dní se srážkovým úhrnem 10 mm a více, kromě oblasti JM, kde je naopak patrné výrazné nadhodnocování počtu dní. Obdobně HIRHAM ve třech oblastech podhodnocuje např. průměrné největší 3-denní, 5-denní a 10-denní úhrny srážek a v oblasti JM naopak spíše nadhodnocuje.

I když regionální klimatické modely obecně dávají lepší výsledky než globální klimatické modely, z výše řečeného vyplývá, že RCM s horizontálním rozlišením 50 x 50 km stále ještě nejsou schopny zachytit srážkové poměry v ČR s dostatečnou přesností, která je potřeba pro výzkumy dopadů změny klimatu. Jedním z důvodů je, že toto rozlišení je příliš hrubé pro zachycení orografie ČR, která má vliv na prostorové rozložení srážek.

Pro podrobnější studium schopnosti RCM simulovat srážkové poměry na území ČR by bylo potřeba analyzovat simulované charakteristiky srážek pro více uzlových bodů, příp. porovnávat plošné průměry odvozené ze simulovaných a pozorovaných dat, a to jak pro celé území ČR, tak pro menší oblasti. Dále by bylo užitečné zkoumat také cirkulační poměry simulované modely.

Určité zlepšení schopnosti RCM modelovat klimatické charakteristiky na našem území by měly přinést simulace s větším rozlišením (25 a 10 km), které již jsou dnes k dispozici.

Literatura a internetové odkazy

Atlas podnebí Česka (2007): kolektiv autorů: Atlas podnebí Česka, ČHMÚ, Univerzita Palackého v Olomouci.

Christensen, J. H., Christensen, O. B., Lopez, P., Van Meijgaard, E., and Botzet, M. (1996): The HIRHAM4 Regional Atmospheric Climate Model, Scientific Report 96-4, 51 pp., DMI, Copenhagen.

Christensen, J. H., Christensen, O. B. (2007): A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century, *Climatic Change* 81:7-30.

Christensen, J. H. and Van Meijgaard, E. (1992): On the construction of a regional climate model. Tech. Rep. 96-14, DMI, Copenhagen, 22 s.

Cox, P., Betts, R., Bunton, C., Essery, R., Rowntree, P.R., and Smith, J. (1999): The impact of new land surface physics on the GCM simulation of climate and climate sensitivity. *Climate Dynamics* 15: 183-203.

Döscher, R., Willén, U., Jones, C., Rutgersson, A., Meier, H.E.M., Hansson, U., Graham, L.P. (2002): The development of the coupled regional ocean-atmosphere model RCAO. *Boreal Env. Res.* 7, 183-192.

Edwards, J.M. and Slingo, A. (1996): Studies with a flexible new radiation code. I: Choosing a configuration for a large scale model. *QJR Meteor. Soc.* 122: 689-719.

Gordon, C., Cooper, C., Senior, C.A., Banks, H., Gregorz, J.M., Johns, T.C., Mitchell, J.F.B., Wood, R.A. (2000): The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Center coupled model without flux adjustments. *Climate dynamics* 16, 147-168.

Jacob, D., Bärring, L., Christensen, O.B., Christensen, J.H., de Castro, M., Déqué, M., Giorgi, F., Hagemann, S., Hirschi, M., Jones, R., Kjellström, E., Lenderink, G., Rockel, B., Sánchez, E., Schär, C., Seneviratne, S.I., Somot, S., van Ulden, A., van den Hurk, B. (2007): An inter-comparison of regional climate models for Europe: model performance in present-day climate, *Climatic Change* 81:31-52.

- Jones, C. G., Willén, U., Ullerstig, A. and Hansson, U. (2004): 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.
- Källén, E. (1996): *HIRLAM Documentation Manual, System 2.5*, The Swedish Meteorological and Hydrological Institute (Available from SMHI, S-60176 Norrköping, Sweden).
- Kalvová, J. (2004): Klima a jeho změny, In: Aktuální otázky znečištění ovzduší (autor kapitoly), Univerzita Karlova, Praha, s. 176-204, učebnice VŠ.
- Kalvová, J., Chládová, Z., Mikšovský, J., Pišoft, P., Raidl, A. (2005): Vytvoření scénářů změny klimatu pro Českou republiku. *Výzkumná zpráva projektu VZ 01 VODA, subprojekt 03 Dopady klimatických a antropogenních změn na hydrologické a ekologické systémy*. MFF UK, Praha, 21 s.
- Kalvová, J., Metelka, L., Květoň, V. (2001): Výzkum dopadů klimatické změny vyvolané zesílením skleníkového efektu na Českou republiku. *Závěrečná zpráva za DP01 projektu VaV/740/1/00*. MFF UK, NKP, MŽP.
- Meier, H. E. M., Döscher, R. and Faxén, T. (2003): A multiprocessor coupled ice-ocean model for the Baltic Sea: Application to salt inflow. *J. Geophys. Res.* 108:C8, 3273, doi:10.1029/2000JC000521.
- Nakićenović, N., Davidson, O., Davis, G., Grübler, A., Kram, T., Lebre La Rovere, E., Metz, B., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Sankovski, A., Shukla, P., Swart, R., Watson, R., Dadi, Z., (2000): Summary for Policymakers, Special Report on Emission Scenarios, A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- New, M., Hulme, M. and Jones, P.D. (1999): Representing twentieth century space-time climate variability. Part 1: development of a 1961-90 mean monthly terrestrial climatology. *Journal of Climate* 12, 829-856.
- Oberhuber, J. M. (1993): Simulation of the Atlantic circulation with a coupled sea ice–mixed layer–isopycnal general circulation model, Part I: Model description. *J. Phys. Oceanogr.* 23, 808–829.
- Olson, J.S., Watts, J.A., and Allison, L.J. (1983): Carbon in live vegetation of major world ecosystems. ORNL-5862, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN.
- Roeckner, E., Arpe, K., Bengtsson, L., Christoph, M., Claussen, M., Dumenil, L., Esch, M., Giorgetta, M., Schlese, U., Schulzwieda, U. (1996): The atmospheric general circulation

model ECHAM-4: Model description and simulation of present-day climate. Max-Planck-Institute für Meteorologie, Hamburg, Germany, Report no. 218, 90 s.

Rummukainen, M., Räisänen, J., Bringfelt, B., Ullerstig, A., Omstedt, A., Willén, U., Hansson, U. and Jones, C. (2001): A regional climate model for northern Europe: model description and results from the downscaling of two GCM control simulations. *Clim. Dyn.* 17, 339-359.

Solomon, S., D. Qin, M. Manning, R.B. Alley, T. Berntsen, N.L. Bindoff, Z. Chen, A. Chidthaisong, J.M. Gregory, G.C. Hegerl, M. Heimann, B. Hewitson, B.J. Hoskins, F. Joos, J. Jouzel, V. Kattsov, U. Lohmann, T. Matsuno, M. Molina, N. Nicholls, J. Overpeck, G. Raga, V. Ramaswamy, J. Ren, M. Rusticucci, R. Somerville, T.F. Stocker, P. Whetton, R.A. Wood and D. Wratt (2007): Technical Summary. 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.

Simmons, A. J., and Gibson, J. K. (2000), *The ERA-40 Project Plan*, ERA-40 Project Report Series No. 1, 63 pp., Eur. Cent. for Medium-Range Weather Forecasts, Reading, UK.

Tebaldi, C., Knutti, R. (2007): The use of the multi-model ensemble in probabilistic climate projections.

Valcke, S., Terray, L., and Piacentini, A. (2000): Oasis 2.4, Ocean atmosphere sea ice soil: user's guide. *Technical Report TR/CMGC/00/10*, CERFACS, Toulouse, France.

Webb, D. J., Coward, A.C., de Cuevas, B.A. and Gwilliam, C. S. (1997): A multiprocessor ocean circulation model using message passing. *J. Atmos. Oceanic Technol.* 14, 175-183.

Internetové odkazy:

Internetové stránky projektu PRUDENCE: <http://prudence.dmi.dk>

Internetové stránky Českého hydrometeorologického ústavu: <http://www.chmi.cz>

Internetové stránky Climatic Research Unit: <http://www.cru.uea.ac.uk/>

Internetové stránky projektu STARDEX: <http://www.cru.uea.ac.uk/projects/stardex/>

Datový archiv Mezivládního panelu pro změny klimatu (IPCC): <http://www.ipcc-data.org>

Internetové stránky Real Climate: <http://www.realclimate.org>