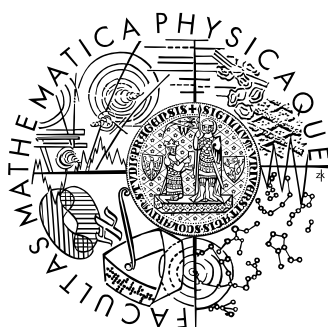


Univerzita Karlova v Praze  
Matematicko-fyzikální fakulta

# BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Petr Šácha

## **Délky vegetačního období odvozené z výstupů regionálních klimatických modelů**

Katedra meteorologie a ochrany prostředí

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Eva Holtanová

Studijní program: Fyzika, obecná fyzika

2010

Ani nejupřímnějším poděkováním se nemohu dostatečně odvděčit paní RNDr. Evě Holtanové za vedení mé bakalářské práce a hlavně za obrovskou spoustu času, který mi věnovala. Bez jejích rad a dobře mířených poznámek by tato práce nikdy nevznikla. Zapomenout nemohu ani na doc. RNDr. Jaroslavu Kalvovou, CSc., za to, že mi umožnila psát bakalářskou práci z oblasti, o kterou mám velký zájem. Mé poděkování patří také rodině, přátelům, spolužákům a spoluhráčům, neboť veškeré síly potřebné pro tvůrčí aktivitu jsem sbíral právě s nimi. Vám všem tedy hluboce děkuji.

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

V Praze dne 4.8.2010

Petr Šácha

# Obsah

Úvod.....	5
<b>1 Základní pojmy a informace.....</b>	<b>6</b>
1.1 Vegetační období.....	6
1.2 Klimatické modely a scénáře.....	7
1.2.1 Globální klimatické modely .....	7
1.2.2 Regionální klimatické modely .....	8
1.2.3 Scénáře budoucího vývoje klimatu.....	8
1.3 Robustní lokálně vážená regrese .....	9
1.3.1 Princip metody robustní lokálně vážené regrese .....	10
1.3.2 Algoritmus RLWR.....	10
1.3.3 Program ROLOWER.....	11
1.4 Použitá data .....	12
<b>2 Porovnání délek vegetačních období získaných z RCM se staničními měřeními pro období 1961–1990 .....</b>	<b>17</b>
2.1 Stanice Žatec .....	18
2.1.1 Velké vegetační období .....	19
2.1.2 Hlavní vegetační období.....	20
2.1.3 Období vegetačního léta .....	21
2.2 Stanice Husinec .....	23
2.2.1 Velké vegetační období .....	24
2.2.2 Hlavní vegetační období.....	25
2.2.3 Období vegetačního léta .....	26
2.3 Shrnutí výsledků testování modelů a jejich diskuze.....	27
<b>3 Délky vegetačního období odvozené z výstupů regionálních klimatických modelů pro období 2021–2050 .....</b>	<b>29</b>
3.1 Velké vegetační období.....	31
3.2 Hlavní vegetační období.....	33
3.3 Vegetační léto.....	34
3.4 Shrnutí a diskuze výsledků modelování délek vegetačních období pro období 2021–2050.....	35
<b>Závěr.....</b>	<b>37</b>
<b>Literatura a použité internetové odkazy .....</b>	<b>40</b>

**Název práce:** *Délky vegetačního období odvozené z výstupů regionálních klimatických modelů*

Autor: *Petr Šácha*

Katedra: *Katedra meteorologie a ochrany prostředí*

Vedoucí bakalářské práce: *RNDr. Eva Holtanová*

e-mail vedoucího: *eva.holtanova@matfyz.cz*

**Abstrakt:** V předložené práci jsou studovány délky vegetačních období odvozené ze simulací regionálních klimatických modelů. Nejdříve jsou popsány základní pojmy, jako např. vegetační období, globální a regionální klimatický model, robustní lokálně vážená regrese, vážený průměr a zhlazený roční chod průměrné denní teploty vzduchu. Pozornost je poté věnována porovnání schopnosti modelů vystihnout průměrné délky vegetačních období pro okolí stanic Žatec a Husinec v referenčním období (1961–1990). Na základě těchto zjištění byly analyzovány modelové průměrné délky vegetačních období pro budoucí klima (období 2021–2050) v obou oblastech. Bylo zjištěno, že rozdíly mezi výstupy jednotlivých modelů jsou značné. Jako nejspolehlivější se často jeví použití multimodelového průměru.

**Klíčová slova:** vegetační období, regionální klimatický model, robustní lokálně vážená regrese, změna délky vegetačního období

**Title:** *Lengths of growing season derived from the outputs of regional climate models*

Author: *Petr Šácha*

Department: *Department of Meteorology and Environment Protection*

Supervisor: *RNDr. Eva Holtanová*

Supervisor's e-mail address: *eva.holtanova@matfyz.cz*

**Abstract:** In the present work the lengths of growing seasons derived from simulations of regional climate models are studied. The information about important terms such as growing season, global and regional climate model, robust locally weighted regression, weighted average and smoothed annual course of daily mean air temperature are presented. Attention was then paid to the comparison of ability of models to estimate lengths of growing seasons for areas of stations Žatec and Husinec in the reference period (1961–1990). On the basis of these findings the modeled lengths of growing seasons for future climate (period 2021–2050) at both areas were analyzed. The differences between individual models are considerable. The multi-model mean was closer to observations than any individual model in most cases.

**Keywords:** growing season, regional climate model, robust locally weighted regression, change of length of the growing season

# Úvod

Život člověka a lidstva byl odjakživa v úzkém sejetí s přírodou. V dnešní době, kdy mnozí na tuto skutečnost zapomínají, je zde stále jedno odvětví lidské činnosti, jehož potřebnost pro lidskou společnost je neoddiskutovatelná a jehož závislost na povětrnostních a klimatických podmínkách je zřejmá. Tímto fenoménem je zemědělství.

Současné rozložení zemědělství na Zemi je kompromisem mezi potřebami lidské společnosti a schopností adaptace vegetace ke stávajícím klimatickým podmínkám (Brázdil a kol., 1995). Nebavme se však jen o zemědělství a kulturně pěstovaných plodinách, ještě větší závislost vzhledem ke klimatickým podmínkám mají přirozené ekosystémy a divoce rostoucí vegetace, jejichž význam není o nic menší. Jedním z nejdůležitějších meteorologických prvků ovlivňujícím rostlinstvo je bezpochyby teplota vzduchu, jejíž dlouhodobý chod určuje vegetační období rostlin a tedy i jejich životní cyklus.

Zemské klima není nezávislé na čase, naopak, během historie se neustále měnilo a vyvíjelo. Během 20.století například v České republice došlo k prodloužení vegetačních období, jak vyplývá například ze studie Černochové (2006). Je tedy logické očekávat, že změny klimatu oproti současnému stavu se budou odehrávat i v budoucích letech. Pro odhad změny klimatických charakteristik v budoucnu se používají klimatické modely. Bez důležitosti pak nezůstává studium změn délek vegetačních období z jejich výstupů, což bude náplní této práce.

Jak již bylo naznačeno, hlavním úkolem předkládané bakalářské práce je odvodit délky vegetačních období z výstupů regionálních klimatických modelů. Práce je členěna následovně. V první kapitole jsme se pokusili podat stručný výklad používaných pojmů (vegetační období apod.), výklad používaných metod práce s daty a postupu výpočtu délek vegetačních období, i stručný popis samotných klimatických modelů, které nám byly zdrojem dat. V druhé kapitole pak již bylo přistoupeno k samotnému získávání délek vegetačních období z výstupů regionálních klimatických modelů, a to pro referenční období 1961-1990. Hlavním cílem této kapitoly bylo jejich porovnání s referenčními délkami získanými z Černochové (2006) v zájmu ohodnocení schopností jednotlivých modelů. V třetí kapitole jsou uvedeny modelové délky vegetačních období pro třicetileté období 2021–2050 a jejich změny oproti referenčnímu období. V závěru práce je uvedeno shrnutí výsledků s jejich souvislostmi.

# 1 Základní pojmy a informace

## 1.1 Vegetační období

Teplota vzduchu je důležitým faktorem ovlivňujícím život a vývoj veškeré vegetace na Zemi. Má přímý vliv na rychlost fotosyntetických reakcí v rostlině, na samotnou rychlost růstu rostliny a hlavně spolu s teplotou půdy určuje teplotní hranici života rostliny, tzv. *biokinetický pás teploty*. Příčinou smrti může být při vyšších teplotách zejména koagulace, tedy ztráta struktury a rozrušení bílkovin protoplastu a membrán. Jestliže hynou rostliny již při teplotách kolem 40 °C je to kvůli poruchám trávení, čímž dochází k otravě rostliny (Šebánek a kol., 1983). V oblastech mírného pásu škodlivé působení vysokých teplot vzduchu na vegetaci nepřichází samo o sobě prakticky v úvahu. Leda při spojení s dalšími faktory jako nízká vzdušná vlhkost, zvýšené proudění vzduchu a nedostatečná půdní vláha.

Dolní teplotní hranice života vegetace závisí na druhu, vývojovém stádiu (v zimě v období vegetačního klidu jsou rostliny vůči působení nízkých teplot velmi odolné) a je různá pro jednotlivé orgány rostliny. Některé rostliny snášejí teploty vzduchu hluboko pod bodem mrazu, avšak obecně je možné říci, že pro vegetaci mírného a studeného pásma jsou kritické teploty vzduchu kolem nuly, kdy dochází ke skupenské přeměně vody. Oproti dřívějším představám o škodlivém působení ledu trhajícím buňky a rostlinné pletivo se nyní pokládá za příčinu poškození mrazem naopak rychlé rozpouštění ledu a následné zaplavení mezibuněčných prostor vodou (Šebánek a kol., 1983).

Teplotní závislost fotosyntézy na teplotě vzduchu je velmi složitá, neboť souběžně s ní ovlivňuje teplota i řadu jiných fyziologických procesů, např. dýchání. Obecně lze říci, že mezi rychlostí fotosyntézy a teplotou je exponenciální závislost, přičemž limitujícím faktorem je intenzita světla (Šebánek a kol., 1983). Závislost růstu rostliny na teplotě vzduchu a v souvislosti s tím i půdy je specifitější. Růst začíná při určité minimální teplotě, je nejintenzivnější při teplotním optimu, při dalším zvyšování teploty se zpomaluje a ustává při určité maximální teplotě. Toto jsou tzv. *kardinální body teploty*. Tyto body ovšem nemůžeme považovat za neměnné, jelikož se mění v závislosti na stáří rostliny a dokonce i na druhu růstu a typu rostoucího orgánu (Šebánek a kol., 1983).

Pojmem vegetační období se označuje období s příznivými podmínkami pro růst rostlinstva. Existují různá kritéria pro vymezení trvání vegetačního období. V České republice se většinou počátek a následně délka vegetačního období ztotožňují s nástupem a ukončením trvání určité charakteristické

teploty vzduchu (Meteorologický slovník, 1993). V této práci se budeme zabývat obdobími s charakteristickými teplotami vzduchu 5 °C, 10 °C, 15 °C.

Podle Havlíček a kol. (1986) ohraničuje nástup a ukončení trvání průměrné denní teploty vzduchu 5 °C a vyšší *velké vegetační období*. Při této teplotě začíná na jaře růst rostlin a vývoj vegetace, kdežto na podzim se činnost vegetace při této teplotě zastavuje. Nástup a ukončení trvání průměrné teploty vzduchu 10 °C a vyšší je hranicí *hlavního vegetačního období*, ve kterém jsou dobré podmínky pro růst a vývoj vegetace. Nástup a ukončení trvání průměrné denní teploty vzduchu 15 °C a vyšší je hranicí *vegetačního léta*. Je to období intenzivního růstu a vývoje vegetace.

Určení nástupu, trvání a ukončení charakteristických teplot vzduchu je založeno na výpočtu ze zhlazeného ročního chodu průměrné denní teploty vzduchu. Průměrná denní teplota vzduchu  $\bar{t}$  se na klimatologických stanicích v ČR získává výpočtem z termínových měření prováděných v 7, 14 a 21 hodin místního středního slunečního času podle tohoto vzorce:

$$\bar{t} = \frac{t_7 + t_{14} + 2 \cdot t_{21}}{4} . \quad (1.1)$$

Jinak je tomu však u regionálních klimatických modelů použitých v této práci, průměrná denní teplota je tu určována jako aritmetický průměr z údajů o teplotách vzduchu v 00:00, 06:00, 12:00 a 18:00 místního modelového času.

## 1.2 Klimatické modely a scénáře

### 1.2.1 Globální klimatické modely

Globální klimatické modely jsou zjednodušenou matematickou reprezentací klimatického systému Země, v kterém probíhá obrovské množství fyzikálních i chemických procesů, které jsou navzájem propojeny složitým systémem zpětných vazeb (CSIRO, 2009). Modely nám dávají informace o klimatickém systému Země, používají se ke studiu současného chování tohoto systému a poskytují kvantitativní odhady budoucího vývoje klimatu. Věrohodnost výstupů klimatických modelů je testována schopností modelů simulovat historické a současné klima a je uspokojivá zvláště v kontinentálním a větším měřítku. Vždy je však třeba do klimatických projekcí začlenit určitý odhad nejistoty (CSIRO, 2009).

Současné globální klimatické modely, dále jen *GCM*, v sobě spojují modely atmosféry, oceánu, mořského ledu, zemského povrchu, uhlíkové cyklu a další, jejichž počet a přesnost se stále zvětšují. Dynamické jádro atmosférických modelů tvoří soustavy rovnic vycházející ze základních fyzikálních zákonů, a to zachování hmoty, energie a hybnosti. Část procesů menšího měřítka nebo ne zcela známého mechanismu, jako například vznik srážek a oblačnosti velkých měřítek, je v modelech nutno parametrizovat. Mluvíme o nich jako o fyzikální a doplňkové složce. Řešení jsou hledána numericky v síti uzlových bodů rozprostřených po celé zemské sféře (McGuffie a Henderson-Sellers, 2005). Horizontální rozlišení *GCM* se v současnosti pohybuje kolem 150 km × 150 km. Ve vertikálním směru *GCM* spojujících atmosféru a oceán (*AOGCM*) je atmosféra členěna do 20–40 a oceán do 50 hladin (CSIRO, 2009).

### 1.2.2 Regionální klimatické modely

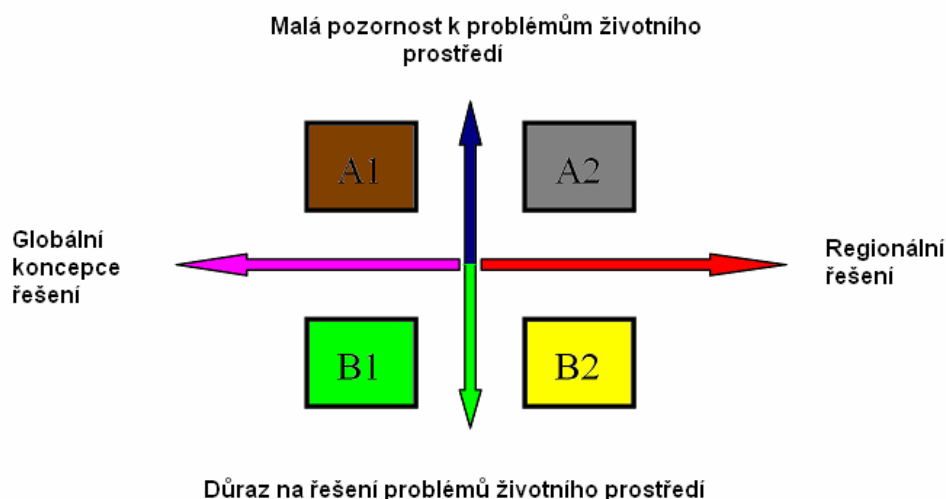
Globální klimatické modely, vzhledem ke svému hrubému prostorovému rozlišení, nedokáží uspokojivě postihnout charakter regionálního a místního klimatu (McGuffie a Henderson-Sellers, 2005). Existuje však několik metod, jak přenést „velkoprostorovou“ informaci do menších měřítek. Souhrnně se tyto postupy nazývají *downscaling* (metoda „zmenšování měřítka“). Na základě metod dynamického *downscalingu*, kdy výstupy *GCM* slouží za počáteční a okrajové podmínky, pracují regionální klimatické modely (*RCM*). Regionální klimatické modely mají větší prostorové rozlišení, což dovoluje lepší reprezentaci procesů malého měřítka. Spolehlivost výstupů *GCM* i *RCM* je závislá nejen na použitých numerických metodách a fyzikálních parametrizacích, ale i na správnosti použitých okrajových a počátečních podmínek (Černochová, 2007).

### 1.2.3 Scénáře budoucího vývoje klimatu

Stav klimatického systému a jeho vývoj závisí na mnoha vnějších faktorech, jejichž přesný vývoj nelze předpovědět. Navíc, klimatické modely, s jejichž pomocí jsou scénáře změny klimatu vytvářeny, nedokáží správně reprezentovat všechny procesy v klimatickém systému (viz výše). Scénář změny klimatu představuje rozdíl mezi „současným“ (např. běh klimatického modelu pro období 1961–1990) a budoucím modelovým klimatem. Scénáře nejsou předpověďmi budoucích klimatických podmínek, popisují pouze přijatelné alternativní stavy klimatu v budoucnosti, které mohou za předpokládaných okolností nastat (Pretel, Vácha, 2003).



Velkou důležitost mají emisní scénáře (SRES), které popisují, jak porostou emise a koncentrace skleníkových plynů v budoucích letech v závislosti na cestách vývoje lidské společnosti. Tyto scénáře byly připraveny pod záštitou IPCC (Mezivládní panel pro klimatickou změnu) a zahrnují varianty vývoje směřujícího k vyrovnání rozdílů mezi bohatými a chudými zeměmi, i vývoje směřujícího k velmi heterogennímu světu. Systém scénářů má čtyři hlavní „rodiny“ scénářů označené jako A1, A2, B1, B2 (viz obr. 1.1). Pro tyto rodiny jsou odlišné předpovědi růstu populace a ekonomického vývoje lidské společnosti. Dělí se dále dle dalších kritérií, např. podle předpokládaných převládajících zdrojů energie. Celkem dostáváme 40 variant scénářů, které zachycují široké spektrum demografických, ekonomických a technologických možností vývoje a na nich závislého množství emisí. Žádná rodina scénářů není považována za více ani méně pravděpodobnou než ostatní. V této práci použité simulace využívají scénář A1B, což je z pohledu růstu emisí spíše střední scénář.



Obr.1.1: Schéma emisních scénářů.

### 1.3 Robustní lokálně vážená regrese

Pro určování délek vegetačních období je třeba vypočítat průměrný roční chod teploty vzduchu. K tomu byla v této práci použita metoda robustní lokálně vážené regrese (dále jen RLWR). Vhodnost této metody pro výpočty průměrných ročních chodů teploty ukázala ve své diplomové práci Černochová (2006). Detailní popis metody RLWR lze nalézt v Solow (1988) nebo Dubrovský (1993). K její aplikaci byl při praktických výpočtech použit program ROLOWER popsany v Dubrovský (1933).

### 1.3.1 Princip metody robustní lokálně vážené regrese

RLWR je robustní neparametrická metoda pracující s časovými řadami, přičemž v této práci se jedná o časové řady 30letých průměrů denních průměrných teplot vzduchu. Takovou časovou řadu rozložíme na systematickou část a část náhodnou s nulovou střední hodnotou a nenulovým rozptylem. Tedy pro všechny časy (v našem případě jednotlivé dny v roce)  $t = t_1, \dots, t_n$  platí :

$$Y_t = M_t + e_t, \quad (1.2)$$

kde  $Y_t$  je člen časové řady v čase  $t$ ,  $M_t$  systematická komponenta a  $e_t$  je náhodná část s rozptylem  $V_t$ .

Tato metoda nám umožní prvky původní časové řady co nejlépe očistit od náhodných vlivů a odlehlých hodnot zavedením robustních vah, čímž získáme odhad systematické komponenty, tj. zhlazený průběh průměrného ročního chodu. Od systematické komponenty v jistém čase očekáváme určitou návaznost na okolní data, aby nedocházelo ze dne na den k jejím prudkým změnám. Zároveň ale chceme zachovat lokální chování časové řady, proto odhad  $M_t$  provádíme na lokálním intervalu  $\langle t-h, t+h \rangle$ , kde  $h$  je volitelná šířka vyhlazovacího okénka. K odhadu je použita metoda vážených nejmenších čtverců. Tento odhad je prováděn pro všechny časy  $t$  a je značen  $\hat{M}_t$ . Výhodou je použití iterativního přístupu k RLWR, kdy rezidua z aktuálního odhadu  $\hat{M}_t$  jsou použita pro odhad rozptylu  $\hat{V}_t$ , který je dále použit pro zpřesnění původního odhadu  $\hat{M}_t$ .

### 1.3.2 Algoritmus RLWR

1. krok:

Pomocí metody vážených nejmenších čtverců je pro každé  $t$  získán první odhad systematické komponenty časové řady  $Y_t$ . Váha přiřazená pozorování  $(t', Y_{t'})$  v bodě  $t$  je dána výrazem  $d_t w(t, t')$ , kde  $d_t$  je robustní váha, která je pro první iteraci rovna jedné, a  $w(t, t')$  je zvolená lokalizační váha (viz níže). Pro ty páry  $(t, t')$ , pro které je  $|t - t'| \geq h$ , kde  $h$  je šířka vyhlazovacího okénka, je velikost  $w(t, t')$  rovna z definice nule. Pokud je pro odhad systematické komponenty  $\hat{M}_t$  časové řady  $Y_t$  na lokálním intervalu

$\langle t-h, t+h \rangle$  použít polynom stupně nula, pak podle Solow(1988) pro tento odhad  $\hat{M}_t$  platí:

$$\hat{M}_t = \frac{\sum_{t'=t_1}^{t_n} d_{t'} w(t', t) Y_{t'}}{\sum_{t'=t_1}^{t_n} d_{t'} w(t', t)} . \quad (1.3)$$

Použití váhové funkce  $w$  dovoluje odhadu  $\hat{M}_t$  reagovat na lokální změny chování.

2. krok:

Definujeme rezidua:

$$r_t = Y_t - \hat{M}_t, \quad t = t_1, \dots, t_n \quad (1.4)$$

a medián absolutních hodnot reziduí  $|r_t|$  označíme jako  $s$ . Dále definujeme robustní váhy  $d_t$  omezující vlivy odlehlých hodnot na  $\hat{M}_t$ :

$$d_t = \left[ 1 - \left( \frac{r_t}{6s} \right)^2 \right]^2, \quad \text{pro } \left| \frac{r_t}{6s} \right| < 1, \quad (1.5)$$

$$d_t = 0, \quad \text{pro } \left| \frac{r_t}{6s} \right| \geq 1.$$

Popsaný algoritmus se dále opakuje až do stanoveného počtu iterací, který označme  $K$ .

### 1.3.3 Program ROLOWER

Program ROLOWER umožňuje aplikaci metody RLWR a byl vyvinut v jazyce Turbo Pascal v.7 (Dubrovský, 1993). Tento program nabízí množství funkcí a volitelných parametrů a není účelem této práce je zkoumat a obšírněji o nich pojednávat. Jejich volba však přímo ovlivňuje získané výsledky, proto je třeba si alespoň stručně shrnout doporučená nastavení, která budou používána v této práci.

Počet iterací  $K$  vhodný pro výpočty průměrných ročních chodů průměrné denní teploty je dle Černochová (2006)  $K=2$ , což je zcela ve shodě s tvrzením, které ve své práci uvádí Solow (1988).

V programu jsou k dispozici 4 typy lokalizačních vah  $w(t, t')$ . Ze zjištění Černochové (2006) vyplývá, že se vypočtené roční chody teploty pro jednotlivé typy vah příliš neliší. Pro výpočty v této práci se bude používat těchto lokalizačních vah:

$$w(x) = (1 - |x|^3)^3, \quad (1.6)$$

při substituci  $x = \frac{(t' - t)}{h}$ , a pro  $|x| \geq 1$  platí  $w(x) = 0$ .

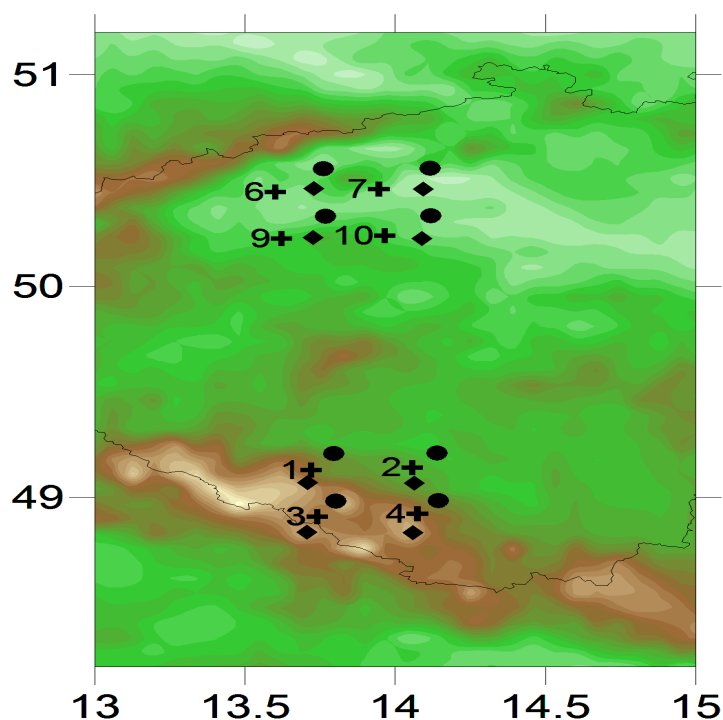
Velkou důležitostí pro získané výsledky má šířka vyhlazovacího okénka  $h$ . Čím větší je velikost  $h$ , tím více detailů chování řady  $Y_t$  je přisouzeno náhodné části  $e_t$  a získaný odhad systematické komponenty  $\hat{M}_t$  je hladší (Solow, 1988). Jde tedy o to, najít vhodné nastavení pro daný problém. Požadujeme sice zhlazení našich původních dat, ale pouze v únosné míře, aby výsledek měl ještě dobrou vypovídající hodnotu. Podle Černochová (2006) jsou pro výpočty průměrných ročních chodů průměrné denní teploty nejvhodnější  $h = 30$  pro desetiletá období a  $h = 15$  pro čtyřicetiletá období, jelikož dokáže lépe vystihnout lokální chování ročního chodu. Při výpočtu metodou RLWR se šířkou vyhlazovacího okénka  $h = 15$  závisí hodnota získaného odhadu systematické komponenty  $\hat{M}_t$  řady průměrných denních teplot pro daný den v roce na třiceti okolních hodnotách, dá se tedy říci, že se jedná o období měsíčního průměru. V této práci se bude pracovat s 30letými průměry a bude se tedy používat  $h = 15$ .

Při práci s programem byla využívána i funkce cycling, která umožňuje vyšetřovanou řadu "zacyklit", tj. na okraj časové řady přiřadit několik hodnot z druhého konce řady, aby se naplnil interval  $\langle t - h, t + h \rangle$ . Díky tomu mají všechny odhady  $\hat{M}_t$ , i ty na počátku a konci roku, stejnou váhu, protože jsou počítány ze stejného počtu hodnot určených volbou  $h$ .

## 1.4 Použitá data

K dispozici byly výstupy šesti regionálních klimatických modelů ve vybraných uzlových bodech na území ČR (viz obr. 1.2.). Zde použité simulace regionálních klimatických modelů proběhly v rámci projektu ENSEMBLES (<http://ensembles-eu.metoffice.com/>), který byl financován z 6. rámcového

projektu EU. Simulace modelu ALADIN-CLIMATE/CZ pochází z projektu VaV SP/1A6/108/07 „Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření“ financovaného MŽP. Archivace a předzpracování všech modelových výstupů proběhlo v rámci projektu VaV SP/1A6/108/07. Zmíněné uzlové body byly vybrány v blízkosti stanic Žatec a Husinec pro možnost porovnání výstupů jednotlivých RCM se staničními daty z období 1961-1990, které bude dále nazýváno obdobím referenčním. Data o průměrných denních teplotách vzduchu v období 1961-1990 pro stanice Žatec a Husinec byly poskytnuty Českým hydrometeorologickým ústavem. Údaje o průměrných délkách období s charakteristickými teplotami byly pro stanice Žatec a Husinec převzaty z Černochová (2006), kde byly vypočteny pomocí stejné metody jako v této práci.



*Obr.1.2: Použité uzlové body (kolečka jsou uzlové body modelu ALADIN-CLIMATE/CZ, křížky modelu RegCM (ICTP), a kosočtverce všech ostatních modelů).*

Základní informace o používaných RCM a GCM jsou shrnuty v tab. 1.1. V tab. 1.2 jsou označeny kombinace RCM a GCM, jelikož u některých regionálních modelů byly k dispozici simulace s různými řídicími daty. Celkově bylo tedy pracováno s ENSEMBLES daty osmi modelových simulací, které budeme dále označovat kombinací zkratky institutu, kde byla provedena, a zkratky řídicího GCM, tedy: DMIARP, DMIECH, ETHZHAD,

KNMIECH, ICTPECH, SMHIECH, SMHIBCM, SMHIHAD. Navíc byl zařazen ještě model ALADIN-CLIMATE/CZ, jehož simulace byla řízena modelem Arpege.

Tab. 1.1: Použité regionální a řídicí globální klimatické modely.

<b>RCM</b>	<b>Institut</b>	<b>Země</b>
ALADIN-CLIMATE/CZ	CHMI	Česká republika
HIRHAM5	DMI	Dánsko
CLM/ETHZ	ETHZ	Švýcarsko
RACMO	KNMI	Holandsko
RCA3/SMHI	SMHI	Švédsko
RegCM	ICTP	Itálie
<b>GCM</b>	<b>Institut</b>	<b>Země</b>
Arpege	ICTP	Francie
HadCM3	METO-HC	Velká Británie
ECHAM	MPIMET	Německo
bccr_bcm2	NERSC	Norsko

Tab. 1.2: Znázornění kombinací regionálních a řídicích globálních klimatických modelů.

<b>RCM</b> \ <b>GCM</b>	Arpege	HadCM3	ECHAM	bccr_bcm2
ALADIN-CLIMATE/CZ	x			
HIRHAM5	x		x	
CLM/ETHZ		x		
RACMO			x	
RCA3/SMHI		x	x	x
RegCM			x	

Původní ENSEMBLES data byla k dispozici ve formě desetiletých průměrů průměrné denní teploty pro období 1961–1970, 1971–1980, 1981–1990 a 2021–2030, 2031–2040, 2041–2050 v jednotlivých uzlových bodech. Z těch byly vypočítány aritmetické průměry průměrné denní teploty ve vybraných uzlových bodech pro třicetiletá období 1961–1990 a 2021–2050. U modelu ALADIN-CLIMATE/CZ byla k dispozici data již ve formě třicetiletých průměrů ze zkoumaných období.

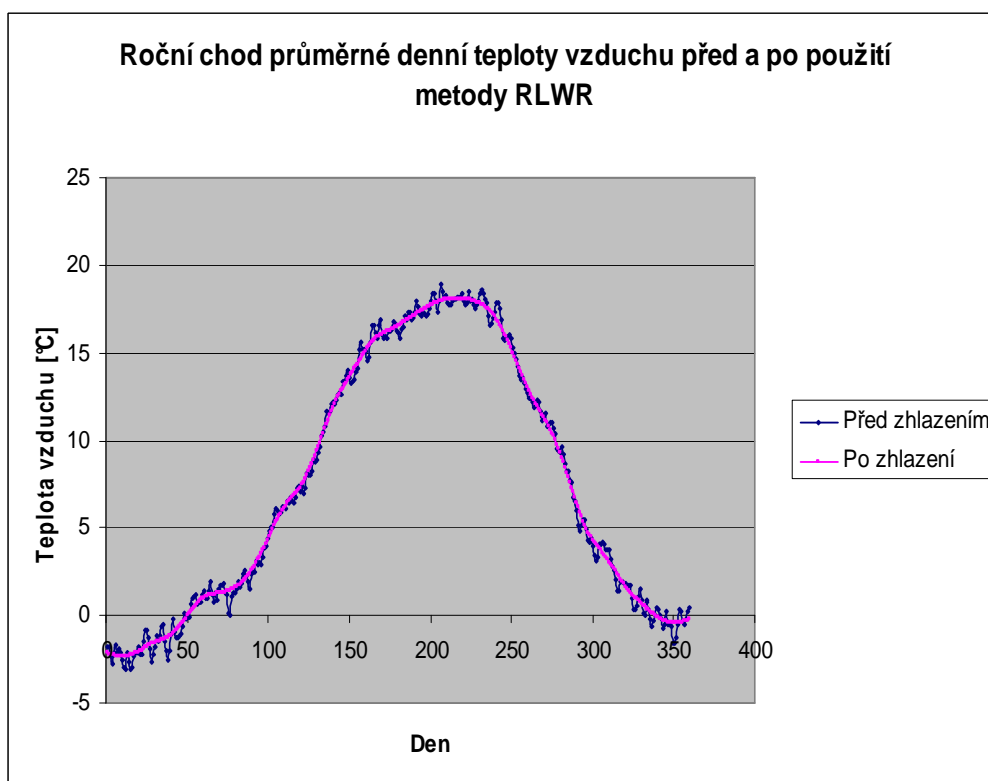
Pro možnost kontroly se staničními měřeními bylo třeba vztáhnout data z okolních uzlových bodů na polohu blízké stanice. Uzlové body nemají jen odlišné zeměpisné souřadnice, ale liší se zejména nadmořskou výškou, jejíž vliv na teplotu vzduchu je velký. Proto bylo užito specifického váženého průměru, kdy uzlový bod přispívá tím větší vahou  $w_i$  do průměru vztaženého ke stanici, čím menší je jeho výšková odlehlost  $d_i$  od ní.

$$w_i = 1 - \frac{d_i}{s}, \quad d_i = |h_s - h_i|, \quad s = \sum_i d_i, \quad (1.7)$$

kde  $i$  je číslo uzlového bodu,  $h_i$  nadmořská výška daného uzlového bodu,  $h_s$  nadmořská výška referenční stanice,  $d_i$  výšková odlehlost (diference) uzlového bodu od stanice a  $s$  je suma těchto diferencí. Vážený průměr mezi sousedícími uzlovými body z hodnot určité veličiny známé pro každý uzlový bod, např. z průměrné denní teploty vzduchu nebo z nadmořské výšky, byl potom počítán jako:

$$p = \frac{\sum_i w_i p_i}{\sum_i w_i}, \quad (1.8)$$

kde  $p$  je výsledný průměr a  $p_i$  je hodnota zkoumané veličiny v  $i$ -tém uzlovém bodě.



Obr. 1.4: Ukázka třicetiletého průměru ročních chodů průměrné denní teploty vzduchu v období 1961-1990 před a po použití programu ROLOWER s  $h = 15$  pro model ALADIN-CLIMATE/CZ.

Takto získané řady třicetiletých průměrů průměrné denní teploty dané jednotlivými modely pro stanice Husinec a Žatec byly dále zhlazeny

programem ROLOWER a poté z nich byly vypočítány délky vegetačních dob pro období 1961-1990 a 2021-2050. Ještě je třeba dodat, že model ALADIN-CLIMATE/CZ a RCM řízené modelem HAD pracují s rokem jen o 360 dnech, takže výsledné délky jejich vegetačních období byly násobeny faktorem  $365/360$  a poté standardně zaokrouhleny. Na obr. 2.1, 2.2, 3.1 a 3.2 grafů průměrných ročních chodů teploty vzduchu je tedy porovnání těchto chodů pouze přibližné, jelikož dny v roce modelů pracujících s různě dlouhým rokem si nemusí navzájem odpovídat.



## 2 Porovnání délek vegetačních období získaných z RCM se staničními měřeními pro období 1961–1990

Hned v úvodu kapitoly je třeba uvést komplikaci vystupující při porovnávání výsledků získaných ze staničních měření a z výstupů klimatických modelů a tím je rozdíl v nadmořské výšce stanic a uzlových bodů kolem nich. V tab. 2.2 a 2.3 jsou uvedeny rozdíly nadmořské výšky stanic a váženého průměru nadmořské výšky uzlových bodů, v kterém byly počítány délky vegetačních období z modelových dat.

Tab. 2.1: Geografické údaje o stanicích.

Název stanice	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka	Nadmořská výška [m]
Žatec	50°19'	13°32'	201
Husinec	49°02'	13°59'	536

Tab. 2.2: Vážený průměr nadmořských výšek uzlových bodů jednotlivých RCM pro stanici Žatec.

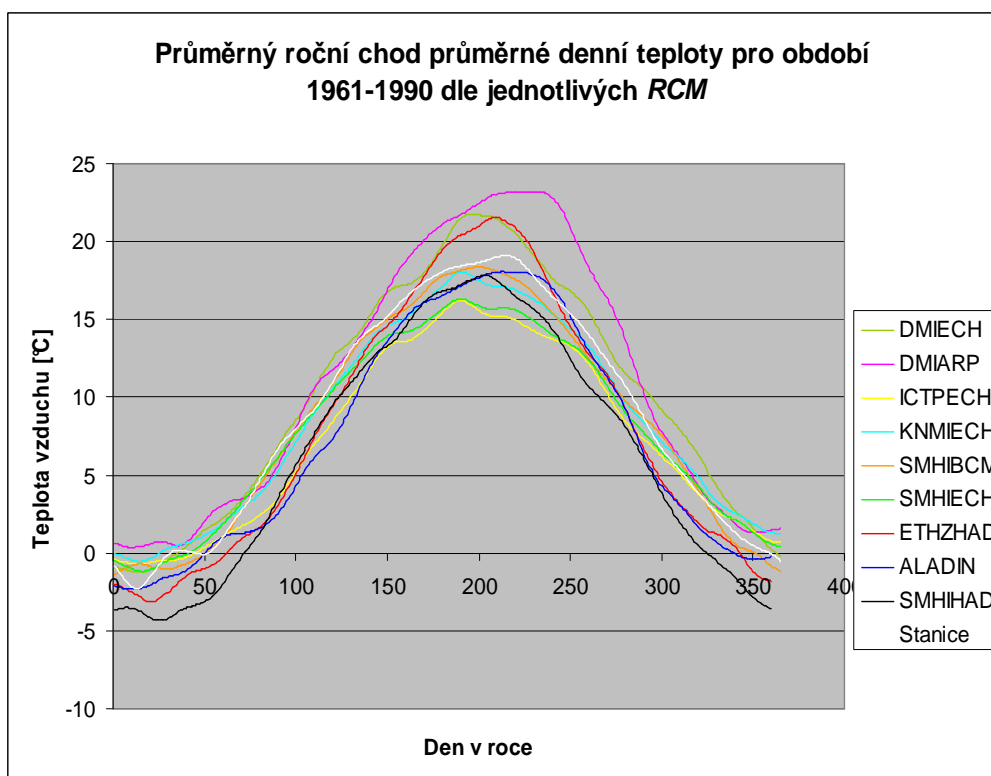
Model	Nadmořská výška váženého průměru	Výškový rozdíl od stanice
DMI	301	100
ETHZ	301	100
ICTP	339	138
KNMI	298	97
SMHI	300	99
ALADIN	255	54

Tab. 2.3: Vážený průměr nadmořských výšek uzlových bodů jednotlivých RCM pro stanici Husinec.

Model	Nadmořská výška váženého průměru	Výškový rozdíl od stanice
DMI	691	155
ETHZ	691	155
ICTP	658	122
KNMI	689	153
SMHI	687	151
ALADIN	634	98

## 2.1 Stanice Žatec

Na obr. 2.1 jsou zobrazeny vážené průměry třicetiletých průměrů ročních chodů průměrných denních teplot vzduchu z uzlových bodů u stanice Žatec (obr. 1.2 body č. 6-10) simulované jednotlivými modely pro referenční období. Je z něj patrné, že délky vegetačních období budou mezi modely velice rozdílné, jelikož každý model simuluje zřetelně jiné amplitudy teplot a také rozložení těchto teplot, počet a výraznost singularit a den, v kterém se nabývá teplotního maxima. Zejména model DMIARP dává pro období 1961-1990 po většinu roku výrazně vyšší teploty než ostatní a jeho chod nabývá maxima až kolem 250. dnu, tedy kolem 7. září. Dalším důležitým rysem je „šířka“ ročního chodu, protože z ní se poté přímo odvíjí délka vegetačních období. V tomto ohledu se modely také liší (obr. 2.1).



Obr. 2.1: Průměrné roční chody průměrné denní teploty vzduchu dle jednotlivých modelů pro referenční období pro Žatec (referenční roční chod na stanici je znázorněn bílou barvou) zhlazené metodou RLWR s  $h = 15$ .

Vypočítané délky vegetačních období jsou souhrnně uvedeny v tab. 2.4 a jejich rozbor bude dále proveden pro velké a hlavní vegetační období i vegetační léto zvlášť.

Tab. 2.4: Průměrné délky vegetačních období vypočtené z výstupů RCM pro stanici Žatec v období 1961-1990 (u modelů se jedná o vážený průměr z bodů 6-10 na obr. 1.2, spočtený podle vzorce (1.8)), multimodelový průměr je aritmetickým průměrem délek od všech modelů.

Zdroj dat	Délka vegetačního období v dnech		
	5°C	10°C	15°C
Stanice	230	169	104
DMIARP	229	184	134
DMIECH	246	187	123
KNMIECH	231	162	85
ETHZHAD	199	154	93
ICTPECH	212	142	43
SMHIECH	232	158	57
SMHIBCM	231	164	94
ALADIN-CLIMATE/CZ	195	147	93
SMHIHAD	201	145	74
Multimodelový průměr	220	160	88

### 2.1.1 Velké vegetační období

V tab. 2.5 jsou uvedeny délky a odchylky průměrné délky období s charakteristickou denní teplotou vzduchu 5 °C a vyšší, tedy velkého vegetačního období, udávané modely pro období 1961–1990 od výpočtů ze staničních měření. Vzhledem k tomu, že nadmořská výška váženého průměru uzlových bodů je o desítky metrů větší (viz tab. 2.2) než nadmořská výška stanice, lze očekávat, že délky období udávané modely budou o několik dnů menší (podhodnocené).

Tab. 2.5: Porovnání délek velkého vegetačního období udávaných RCM pro stanici Žatec pro referenční období (ve sloupci „Rozdíl v dnech“ je uvedena odchylka modelem dané délky od délky referenční).

Zdroj dat	Délka v dnech	Rozdíl v dnech
Stanice	230	0
DMIARP	229	-1
DMIECH	246	16
KNMIECH	231	1
ETHZHAD	199	-31
ICTPECH	212	-18
SMHIECH	232	2
SMHIBCM	231	1
ALADIN-CLIMATE/CZ	195	-35
SMHIHAD	201	-29
Multimodelový průměr	220	-10

Za vyzvednutí stojí výsledky modelů DMIARP, KNMIECH, SMHIECH a SMHIBCM, které odhadly délku velkého vegetačního období pro okolí stanice Žatec s výbornou přesností. Dobře vystihl tuto délku i multimodelový průměr. Vzhledem k již zmiňované možnosti lehkého podhodnocení se slušným zdá i výpočet modelu ICTPECH. Modely ETHZHAD a SMHIHAD podhodnotily délku již podstatně více a model DMIECH dokonce mírně nadhodnotil. Zarážející je ovšem velké podhodnocení u modelu ALADIN-CLIMATE/CZ (o 35 dní), který má přitom poloviční výškový rozdíl od stanice než ostatní modely.

### 2.1.2 Hlavní vegetační období

U délky období s charakteristickou denní teplotou vzduchu 10 °C a vyšší znovu očekáváme mírné podhodnocení a bude zajímavé sledovat nejen to, zda modely potvrdí či vyvrátí předchozí domněnky o svých kvalitách, ale také to, zda je celková schopnost modelů simulovat délku hlavního vegetačního období stejná, či odlišná od schopnosti modelovat velké vegetační období.

Tab. 2.6: Porovnání délek hlavního vegetačního období udávaných RCM pro stanici Žatec pro referenční období (ve sloupci „Rozdíl v dnech“ je uvedena odchylka modelem dané délky od délky referenční).

Zdroj dat	Délka v dnech	Rozdíl v dnech
Stanice	169	0
DMIARP	184	15
DMIECH	187	18
KNMIECH	162	-7
ETHZHAD	154	-15
ICTPECH	142	-27
SMHIECH	158	-11
SMHIBCM	164	-5
ALADIN-CLIMATE/CZ	147	-22
SMHIHAD	145	-24
Multimodelový průměr	160	-9

Z tab. 2.6 vidíme, že pro hlavní vegetační období se výkony modelů vyrovnávají. Přesně neodhadl délku tohoto období žádný model, ale velice slušné výsledky vzhledem k očekávanému mírnému podhodnocení vykázaly opět modely KNMIECH, SMHIECH a hlavně SMHIBCM a modelový průměr. Překvapivě zdařilý je výpočet ze simulace ETHZHAD, který délku velkého vegetačního období silně podhodnotil, ale simulovaná délka hlavního vegetačního období není tolik odlišná od údaje pro stanici Žatec. Naopak model DMIARP dal pro toto období značně nepřesný výsledek, když délku hlavního vegetačního období nadhodnotil o téměř 9 % (15 dní). Ve své simulaci došel k nadhodnocení ještě model DMIECH, oproti tomu ostatní modely podhodnotily výslednou dobu o 22 dnů a více a tedy o více než 13 % trvání hlavního vegetačního období na stanici Žatec.

### 2.1.3 Období vegetačního léta

Toto období je nejužší, takže je nutné si uvědomit, že určitá odchylka v počtu dnů znamená mnohem větší procentuální odchylku a tedy i větší chybu modelové simulace než u předchozích vegetačních období. Předpoklad o mírném podhodnocení zůstává i zde v platnosti.

Tab. 2.7: Porovnání délek vegetačního léta udávaných RCM pro stanici Žatec pro referenční období (ve sloupci „Rozdíl v dnech“ je uvedena odchylka modelem dané délky od délky referenční).

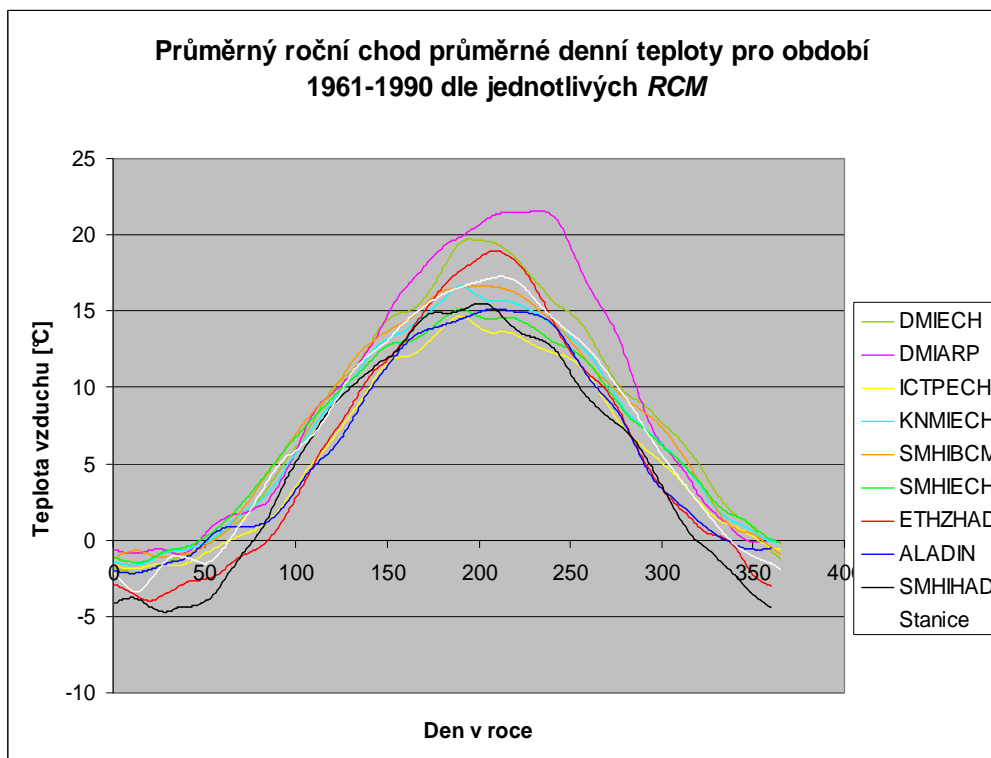
Zdroj dat	Délka v dnech	Rozdíl v dnech
Stanice	104	0
DMIARP	134	30
DMIECH	123	19
KNMIECH	85	-19
ETHZHAD	93	-11
ICTPECH	43	-61
SMHIECH	57	-47
SMHIBCM	94	-10
ALADIN-CLIMATE/CZ	93	-11
SMHIHAD	74	-30
Multimodelový průměr	88	-16

Nejdůležitější zjištěním pro nás vyplývajícím z tab. 2.7. je to, že souhrnná schopnost modelů modelovat délku vegetačního léta je podstatně nižší, než u předchozích období. Výjimkou jsou modely ALADIN-CLIMATE/CZ a ETHZHAD u nichž docházelo se zužováním období k zlepšování výsledků. Velice věrohodný výsledek dostáváme znovu od modelu SMHIBCM a v porovnání s ostatními je na tom dobře i KNMIECH a modelový průměr, jemuž nahrává existence velkých podhodnocení i nadhodnocení v simulacích modelů, takže dojde k jejich částečnému vyrušení. Naopak výsledky modelů DMIARP, ICTPECH a SMHIECH jsou pro odhad vegetačního léta velmi nevěrohodné. Za povšimnutí stojí zvětšení nadhodnocování délek období s vyšší teplotou vzduchu regionálním modelem DMI, a fakt, že za použití řídicího GCM ECHAM, je tento trend méně výrazný. Na druhou stranu jsme v souvislosti s řídicím modelem ECHAM svědky největšího podhodnocování vegetačních dob zvláště patrného u modelu ICTP.

Porovnání výsledných délek vegetačních období udávaných modely pro okolí stanice Žatec s reálnými délkami na této stanici pozorovanými nám přineslo řadu domněnek o věrohodnosti těchto modelů. Nyní přistupme k analýze pro oblast stanice Husinec pro možnost dalšího srovnání.

## 2.2 Stanice Husinec

Pro stanici Husinec očekáváme ještě větší podhodnocování délek vegetačních období, jelikož při pohledu na tab. 2.3 vidíme, že jediný model ALADIN-CLIMATE/CZ se vejde do výškového rozdílu sta metrů, ostatní modely mají vážené průměry nadmořských výšek uzlových bodů o 120 až 150 m výše než je nadmořská výška stanice Husinec. Na obr. 2.3. jsou zobrazeny roční chody třicetiletých průměrů průměrných denních teplot vzduchu modelované jednotlivými modely pro okolí stanice Husinec. Při pohledu na něj je patrné, že simulované teploty vzduchu jsou v průměru o pár stupňů menší, než jak tomu bylo v simulacích pro okolí stanice Žatec. Nedá se ale říci, že by šlo z obr. 2.2 vyzpozorovat větší podhodnocování měřených teplot než v předchozí oblasti, jelikož rozložení křivek chodů modelových simulací kolem referenční křivky je přibližně stejné jako v obr. 2.1. Také je z obr. 2.2 vidět, že model ICTPECH nedává pro oblast Husince ani jeden den s průměrnou teplotou vzduchu v období 1961-1990 větší než 15 °C, což je samozřejmě naprosto nesprávná simulace, neboť ze staničních měření byla Černochovou (2006) vypočtena pro stanici Husinec délka vegetačního léta 69 dní.



Obr. 2.2: Průměrné roční chody průměrné denní teploty vzduchu dle jednotlivých modelů pro referenční období pro Husinec (referenční roční chod na stanici je znázorněn bílou barvou) zhlazené metodou RLWR s  $h = 15$ .

Délky vypočítaných vegetačních období jsou souhrnně uvedeny v tab. 2.8 a jejich rozbor bude dále proveden opět pro období s charakteristickými teplotami 5, 10 a 15°C zvlášť.

Tab. 2.8: Průměrné délky vegetačních období vypočtené z výstupů RCM pro stanici Husinec v období 1961-1990 (u modelů se jedná o vážený průměr z bodů 1-4 na obr. 1.2, spočtený podle vzorce (1.8)).

Zdroj dat	Délka vegetačního období v dnech		
	5°C	10°C	15°C
Stanice	211	149	69
DMIARP	213	163	117
DMIECH	227	157	87
KNMIECH	216	146	56
ETHZHAD	185	134	68
ICTPECH	192	124	0
SMHIECH	224	144	7
SMHIBCM	226	152	67
ALADIN-CLIMATE/CZ	181	125	16
SMHIHAD	197	127	21
Multimodelový průměr	207	141	49

### 2.2.1 Velké vegetační období

Tab. 2.9. uvádí odchylky délky trvání velkého vegetačního období udávané modely od výpočtů ze staničních měření v Husinci. Jak již bylo předesláno, vzhledem k velkému rozdílu nadmořských výšek jsou přípustná rozumná podhodnocení této délky a stejně tomu bude i u dalších dvou vegetačních období.

Výsledky tab. 2.9 jsou poněkud překvapivé, jelikož 5 z 9 modelů udává pro okolí Husince delší vegetační období pro třicetiletý průměr 1961-1990, než bylo zjištěno ze staničních měření. Nejedná se o velká nadhodnocení, zejména odhady modelů DMIARP a KNMIECH jsou velice zdařilé, což ale nemění nic na tom, že původní očekávání bylo spíše opačné, o málo kratší délka období, a tedy její podhodnocení. Z tohoto pohledu vystihuje velké vegetační období nejlépe multimodelový průměr. Podhodnocení délky jsme se dočkali i u modelů ETHZHAD, ICTPECH, ALADIN-CLIMATE/CZ a SMHIHAD a u druhého a čtvrtého z těchto modelů bychom jej mohli označit v rámci předpokladu o výškovém rozdílu za přijatelné a tedy jejich výsledek za dobrý. Nakonec je třeba se zmínit o zatím největším neúspěchu modelu SMHIBCM, který se v předešlé oblasti jevil jako nejspolehlivější. Nyní ale patří spíše do horší poloviny modelů.



*Tab. 2.9: Porovnání délek velkého vegetačního období udávaných RCM pro stanici Husinec pro referenční období (ve sloupci „Rozdíl v dnech“ je uvedena odchylka modelem dané délky od délky referenční).*

<b>Zdroj dat</b>	<b>Délka v dnech</b>	<b>Rozdíl v dnech</b>
<i>Stanice</i>	211	0
DMIARP	213	2
DMIECH	227	16
KNMIECH	216	5
ETHZHAD	185	-26
ICTPECH	192	-19
SMHIECH	224	13
SMHIBCM	226	15
ALADIN-CLIMATE/CZ	181	-30
SMHIHAD	197	-14
Multimodelový průměr	207	-4

### 2.2.2 Hlavní vegetační období

Porovnání délek hlavního vegetačního období z výstupů modelů s daty ze stanice Husinec je uvedeno v tab. 2.10.

*Tab. 2.10: Porovnání délek hlavního vegetačního období udávaných RCM pro stanici Husinec pro referenční období (ve sloupci „Rozdíl v dnech“ je uvedena odchylka modelem dané délky od délky referenční).*

<b>Zdroj dat</b>	<b>Délka v dnech</b>	<b>Rozdíl v dnech</b>
<i>Stanice</i>	149	0
DMIARP	163	14
DMIECH	157	8
KNMIECH	146	-3
ETHZHAD	134	-15
ICTPECH	124	-25
SMHIECH	144	-5
SMHIBCM	152	3
ALADIN-CLIMATE/CZ	125	-24
SMHIHAD	127	-22
Multimodelový průměr	141	-8

Po porovnání výsledků tab. 2.10 s tab. 2.9 zjistíme, že na rozdíl od výsledků pro okolí stanice Žatec se schopnost modelů simulovat hlavní vegetační období nikterak nezhoršila od schopnosti modelovat období hlavní, spíše naopak. Velký úspěch zaznamenává nyní globální model ECHAM,

jelikož jím řízeným RCM se povedl velmi přesný výpočet délky období, ovšem vyjma typicky špatného ICTPECH. Nejhorších výsledků opět dosahuje model ALADIN-CLIMATE/CZ a dále DMIARP a SMHIHAD. Naopak po předchozím horším výsledku při výpočtu délky velkého vegetačního období dává velice dobrý odhad model SMHIBCM. Slušně vystihuje délku tohoto období opět i multimodelový průměr.

### 2.2.3 Období vegetačního léta

V případě vegetačního léta budeme svědky zřejmě největších nepřesností v odhadech a zde se asi také nejvíce projeví již zmíněný rozdíl nadmořských výšek. Výsledky jsou uvedeny v tab. 2.11.

*Tab. 2.11: Porovnání délek vegetačního léta udávaných RCM pro stanici Husinec pro referenční období (ve sloupci „Rozdíl v dnech“ je uvedena odchylka modelem dané délky od délky referenční).*

Zdroj dat	Délka v dnech	Rozdíl v dnech
Stanice	69	0
DMIARP	117	48
DMIECH	87	18
KNMIECH	56	-13
ETHZHAD	68	-1
ICTPECH	0	-69
SMHIECH	7	-62
SMHIBCM	67	-2
ALADIN-CLIMATE/CZ	16	-53
SMHIHAD	21	-48
Multimodelový průměr	49	-20

Výsledky tabulky nám dokazují, že naše obavy byly oprávněné. Špatný výsledek modelu ICTPECH jsme předvíдали už z obr. 2.3, z kterého je dále vidět, že také křivky chodů modelů ALADIN-CLIMATE/CZ, SMHIHAD a SMHIECH překročily hranici 15 °C jen nepatrně. V důsledku toho převládající velké podhodnocování délky vegetačního léta zapříčinilo dosud největší odchylku multimodelového průměru od referenční délky. Velice špatně se jeví i výsledek získaný z modelu DMIARP, který, ač vážený průměr jeho uzlových bodů je o 155 metrů výše nad mořem než stanice Husinec, nadhodnotil délku trvání vegetačního léta o téměř 70 % oproti pozorování. Vynikající výsledek dává model SMHIBCM. Model ETHZHAD opět prokázal skvělé vystihnutí chování teplot vzduchu v letním období, ač v oblasti chladnějších teplot při nástupu velkého a hlavního vegetačního období není

tak přesný. Za, v porovnání s ostatními modely, slušné můžeme označit výsledky modelů KNMIECH a DMIECH.

## 2.3 Shrnutí výsledků testování modelů a jejich diskuze

V této podkapitole budou shrnuty výsledky porovnání modelů, co se týče úspěšnosti modelování délek vegetačních období v referenčním období. To nám napoví ohledně důvěryhodnosti jejich výstupů pro budoucnost. V souhrnné tab. 2.12 jsou shrnuty výsledky z předchozích dvou podkapitol a jsou zde navíc uvedeny sumy celkového rozdílu mezi délkami vegetačních období modelů a stanice pro představu, jaké období se modelům povedlo simulovat věrohodněji. Pro zajímavost je uvedena celková chyba výsledků jednotlivých modelů pro obě stanice a všechny tři období, i tento údaj může sloužit pro vzájemné porovnání modelů. Do tab. 2.12 není uveden tzv. multimodelový průměr, tj. průměr ze simulovaných hodnot všech modelů. Z mnoha prací v poslední době vyplývá, že multimodelový průměr je spolehlivější než jednotlivé modely (Černochová, 2007). Což v této práci nelze zcela potvrdit, neboť ještě lepší výsledky dávaly v souhrnu všech vegetačních období modely SMHIBCM a KNMIECH. To ale nemění nic na tom, že multimodelový průměr dokázal všechna vegetační období velmi slušně vystihnout a je určitě spolehlivější než většina zkoumaných modelů.

*Tab. 2.12: Shrnutí porovnání délek vegetačních období udávaných modely s referenčními délkami na stanicích (celkové sumy jsou počítány pro absolutní hodnoty)*

Vegetační období	Žatec				Husinec				Souhrnný rozdíl za obě stanice
	5 °C	10°C	15°C	Celkem	5°C	10°C	15°C	Celkem	
Zdroj dat	Rozdíl v dnech				Rozdíl v dnech				
DMIARP	-1	15	30	<b>46</b>	2	14	48	<b>64</b>	<b>110</b>
DMIECH	16	18	19	<b>53</b>	16	8	18	<b>42</b>	<b>95</b>
KNMIECH	1	-7	-19	<b>27</b>	5	-3	-13	<b>21</b>	<b>48</b>
ETHZHAD	-31	-15	-11	<b>57</b>	-26	-15	-1	<b>42</b>	<b>99</b>
ICTPECH	-18	-27	-61	<b>106</b>	-19	-25	-69	<b>113</b>	<b>219</b>
SMHIECH	2	-11	-47	<b>60</b>	13	-5	-62	<b>80</b>	<b>140</b>
SMHIBCM	1	-5	-10	<b>16</b>	15	3	-2	<b>20</b>	<b>36</b>
ALADIN-CLIMATE/CZ	-35	-22	-11	<b>68</b>	-30	-24	-53	<b>107</b>	<b>175</b>
SMHIHAD	-29	-24	-30	<b>83</b>	-14	-22	-48	<b>84</b>	<b>167</b>
<b>Suma</b>	<b>134</b>	<b>144</b>	<b>238</b>	<b>516</b>	<b>140</b>	<b>119</b>	<b>314</b>	<b>573</b>	<b>1089</b>

Jedním z úkolů této bakalářské práce je odvodit odhad změn délek vegetačních období v budoucnosti z výstupů RCM. Pro ohodnocení schopnosti jednotlivých modelů generovat roční chod teploty vzduchu co nejbližší realitě,

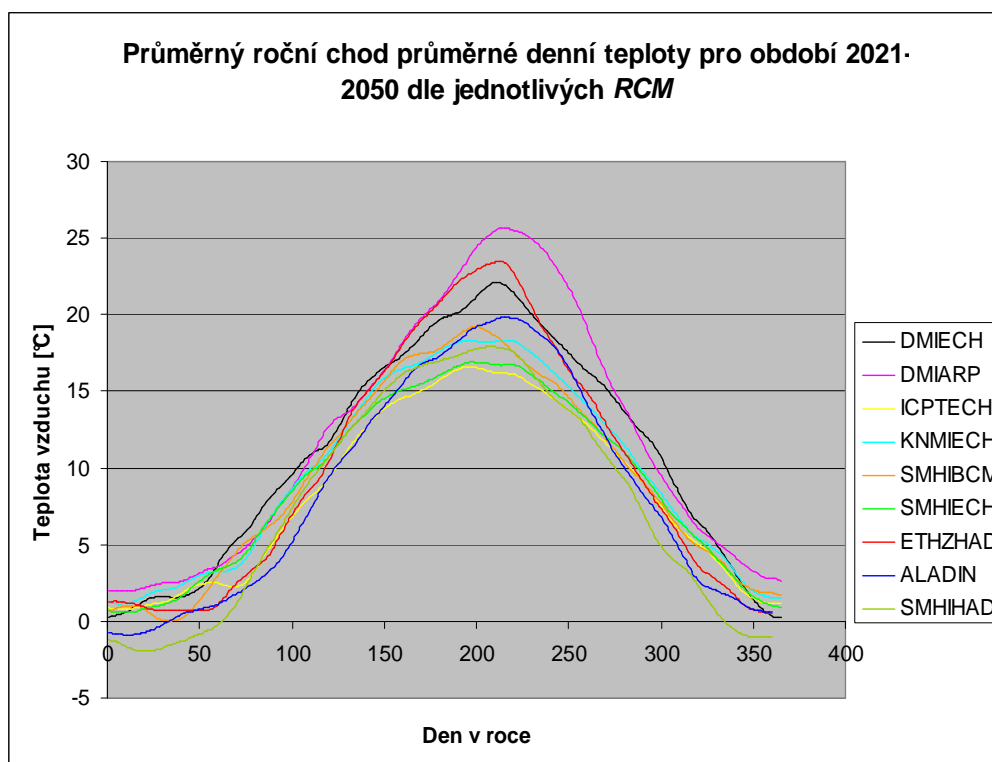
a tedy i co nejreálněji modelovat délku vegetačních období, byla použita řada porovnání výsledků výpočtů z jejich výstupů s výpočty z měření klimatologických stanic. Můžeme si tak udělat obrázek o vhodnosti určitých modelů pro účely výpočtu vegetačních období a o tom, jakou váhu můžeme přiřadit jejich odhadům budoucích změn vegetačních období. Z tab. 2.12 můžeme vidět, že schopnost modelů odhadnout délku vegetačního období je pro obě stanice přibližně stejná. Pro Husinec je sice přece jen číselně o něco horší, což lze ale vysvětlit větším rozdílem nadmořských výšek uzlových bodů a stanice a také složitějším charakterem povrchu než u Žatce, který leží v rovinaté oblasti..

Co se týče schopnosti modelů vystihnout délky jednotlivých vegetačních období, můžeme ze sumárních čísel v tabulce vyvodit závěr, že odhadnout délku velkého a hlavního vegetačního období je pro modely snazší než odhadnout délku užšího období vegetačního léta. To neplatí pouze pro model ETHZHAD, pro který věrohodnost výstupů roste s vyššími teplotami a jehož odhad délky vegetačního léta je v porovnání s ostatními modely velmi dobrý.

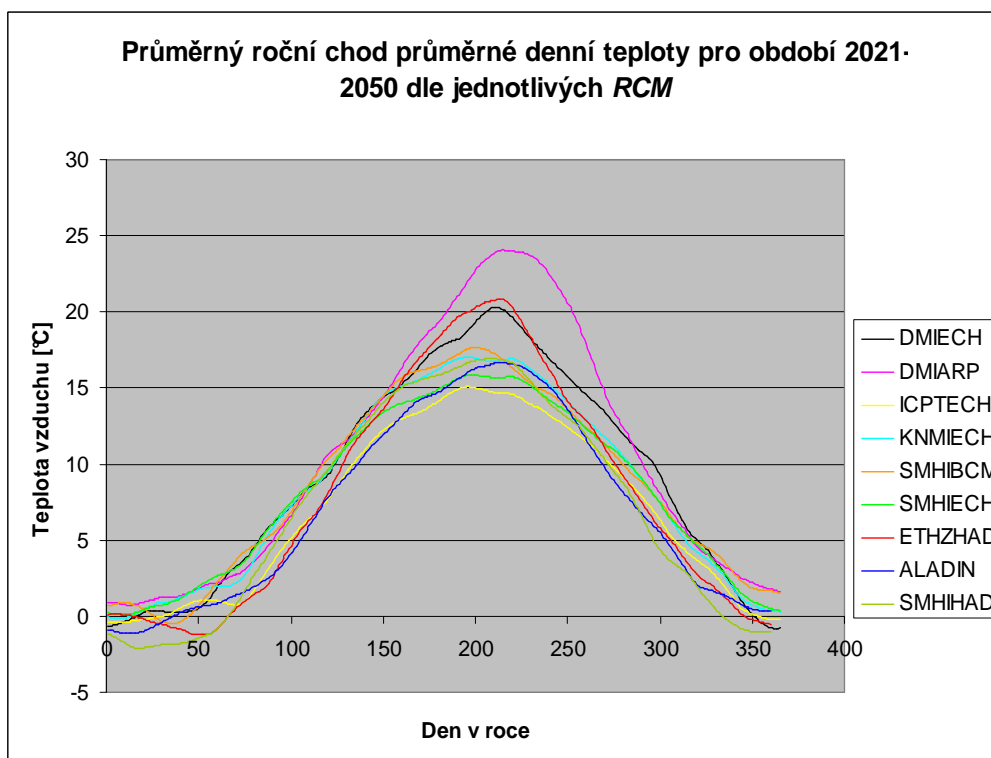
Přistoupíme-li tedy nyní k samotnému porovnání kvality a vhodnosti modelů pro účely této práce, musíme vyzvednout hlavně modely SMHIBCM a KNMIECH, které trvale vykazovaly velmi přesné odhady navíc s velmi malým rozptylem pro obě stanice i všechna vegetační období. Z obou simulací modelu DMI se jako celkově lepší ukazuje ta řízená globálním modelem ECHAM, tato simulace se však v každém období dopustila ač malé, přesto nezanedbatelné chyby v odhadu. Model DMIARP je naprosto nevhodný pro určování délky vegetačního léta, ale zato dokáže výborně odhadnout trvání velkého vegetačního období. Podobný výrok platí i pro model SMHIECH jen s tím rozdílem, že ono výborně nahradíme slovem uspokojivě a dodáme, že uspokojivě umí určit i hlavní vegetační období. Modely SMHIHAD, ALADIN-CLIMATE/CZ a zejména ICTPECH vykazovaly trvale od stanic velmi odlišné výsledky a jejich výsledné délky vegetačních období pro období 2021–2050 nebudou mít velkou váhu. Přesto bude zajímavé sledovat, jaký bude celkový rozptyl výsledků, a jestli se budou lišit simulované změny délek vegetačních období u lepších a horších modelů.

### 3 Délky vegetačního období odvozené z výstupů regionálních klimatických modelů pro období 2021–2050

Skutečnost, že modely vykazují chyby v simulaci délek období v referenčním období, a to nejen v důsledku rozdílných nadmořských výšek, ukazuje, že simulované hodnoty pro budoucí období jsou zatíženy určitou chybou, a tím, že uděláme rozdíl mezi budoucí a referenční simulací se do určité míry té chyby zbavíme. Proto bude pro nás hlavním zdrojem informací údaj o rozdílu mezi délkou vegetačního období udávané modelem pro referenční a budoucí období. Jedná se o obvyklý postup při tvorbě scénářů změny klimatu. Tyto údaje budou k nalezení v tabulkách, které budou uvedeny v podkapitolách týkajících se jednotlivých vegetačních období. Nyní uvedeme na obr. 3.1 a na obr. 3.2 grafy modely simulovaných průměrných ročních chodů teploty vzduchu pro období 2021–2050 a ve dvou souhrnných tabulkách tab. 3.1 a tab. 3.2 z nich vypočítané délky vegetačních období pro obě stanice.



Obr. 3.1: Průměrné roční chody průměrné denní teploty vzduchu zhlazené metodou RLWR s  $h = 15$  dle jednotlivých modelů pro období 2021–2050 pro Žatec.



*Obr. 3.2: Průměrné roční chody průměrné denní teploty vzduchu zhlazené RLWR s  $h = 15$  dle jednotlivých modelů pro období 2021–2050 pro Husinec.*

Porovnáme-li roční chody pro obě stanice, opět vidíme, že chod jednoho modelu se stanici od stanice liší jen ve velikosti nabývaných teplot, ostatní charakteristiky, jako například den nabývání maxima, se téměř neliší. Níže jsou uvedeny tab. 3.1 a 3.2 s celkovými výsledky, které budou rozebírány dále.

*Tab. 3.1: Délky vegetačních dob vypočtené pro okolí stanice Žatec pro období 2021–2050.*

Model	Délka vegetačního období v dnech		
	5 °C	10 °C	15 °C
DMIARP	255	191	134
DMIECH	263	200	135
KNMIECH	246	178	109
ETHZHAD	224	169	121
ICTPECH	232	160	67
SMHIECH	245	174	84
SMHIBCM	245	171	102
ALADIN-CLIMATE/CZ	212	159	101
SMHIHAD	214	162	90

Tab. 3.2: Délky vegetačních dob vypočtené pro okolí stanice Husinec pro období 2021–2050.

Model	Délka vegetačního období v dnech		
	5°C	10°C	15°C
DMIARP	228	174	116
DMIECH	238	173	99
KNMIECH	227	160	85
ETHZHAD	207	149	89
ICTPECH	210	140	8
SMHIECH	234	161	50
SMHIBCM	233	162	80
ALADIN-CLIMATE/CZ	202	135	58
SMHIHAD	207	152	74

Nyní provedeme bližší rozbor simulací modelů, ale, na rozdíl od druhé kapitoly, se nebudeme tolik soustředit na rozdíly mezi stanicemi a ve třech podkapitolách rozebereme udávanou změnu daného vegetačního období pro obě oblasti současně.

### 3.1 Velké vegetační období

Na začátku každé podkapitoly bude uvedena tabulka, kde jsou uvedeny délky vegetačních období udávané jednotlivými modely pro zkoumané období a jejich rozdíl v dnech a procentech od jimi udávaných délek pro období referenční. Modely dobře simulující právě zkoumané vegetační období jsou vyznačeny tučně.

Jak již bylo uvedeno, nejdůležitější údaj je pro nás rozdíl mezi vegetační délkou simulovanou modelem pro období 2021–2050 a pro 1961–1990. Z pohledu na tab. 3.3 je zřejmé, že všechny modely simulují prodloužení délky trvání velkého vegetačního období. Modelované prodloužení se pohybuje mezi 3 až 11 % simulované délky pro budoucí období oproti simulaci pro referenční období. Nahlíženo ve dnech rozdílu, největší prodloužení dává pro obě oblasti celkově model ETHZHAD, nejmenší naopak SMHIBCM.

Díky zjištěním v druhé kapitole se dále můžeme zaměřit na modely, které dávaly dobré výsledky v referenčním období a tedy modely SMHIBCM, KNMIECH a pro velké vegetační období se osvědčily i DMIARP a SMHIECH. Oproti svým simulacím pro referenční období modelují všechny tyto modely větší prodloužení pro okolí Žatce než Husince a to jak počítáno ve dnech, tak v procentech celkové délky období. DMIARP dává celkově největší

prodloužení velkého vegetačního období, o 10 % pro Žatec a pro Husinec o 7 % své simulace délky budoucího velkého vegetačního období. To působí spíše jako extrémní odhad, protože modely SMHIBCM, SMHIECH a KNMIECH v průměru modelují prodloužení o 14 dnů pro Žatec a 9 dnů pro Husinec, tedy o 6 % a 4 %. Pokud vezmeme průměrnou délku období od těchto čtyř modelů, dostaneme po zaokrouhlení délku trvání velkého vegetačního období 248 dnů pro Žatec a 231 dnů pro Husinec. Jak už bylo zmíněno, větší váhu než této průměrné modelované délce vegetačního období přiřazujeme délce vegetačního období vypočtené díky průměrnému prodloužení vegetačních dob oproti modelovým simulacím pro současnost. Kdyby došlo k takovému prodloužení referenčních vegetačních období, dostali bychom vegetační období o délce 244 dnů pro Žatec a 220 pro Husinec.

*Tab. 3.3: Délky velkého vegetačního období pro roky 2021-2050 (procenta jsou počítána z délky udávané modelem pro budoucnost).*

<b>Žatec 5 °C</b>			
<b>Zdroj dat</b>	<b>Délka v dnech</b>	<b>Rozdíl od svých výstupů 1961-1990 v dnech</b>	<b>Rozdíl od svých výstupů 1961-1990 v procentech</b>
<b>DMIARP</b>	<b>255</b>	<b>26</b>	<b>10</b>
DMIECH	263	17	6
<b>KNMIECH</b>	<b>246</b>	<b>15</b>	<b>6</b>
ETHZHAD	224	25	11
ICTPECH	232	20	9
<b>SMHIECH</b>	<b>245</b>	<b>13</b>	<b>5</b>
<b>SMHIBCM</b>	<b>245</b>	<b>14</b>	<b>6</b>
ALADIN	212	17	8
SMHIHAD	214	13	6
<b>Husinec 5 °C</b>			
<b>Zdroj dat</b>	<b>Délka v dnech</b>	<b>Rozdíl od svých výstupů 1961-1990 v dnech</b>	<b>Rozdíl od svých výstupů 1961-1990 v procentech</b>
<b>DMIARP</b>	<b>228</b>	<b>15</b>	<b>7</b>
DMIECH	238	11	5
<b>KNMIECH</b>	<b>227</b>	<b>11</b>	<b>5</b>
ETHZHAD	207	22	11
ICTPECH	210	18	9
<b>SMHIECH</b>	<b>234</b>	<b>10</b>	<b>4</b>
<b>SMHIBCM</b>	<b>233</b>	<b>7</b>	<b>3</b>
ALADIN	202	21	10
SMHIHAD	207	10	5



## 3.2 Hlavní vegetační období

Tab. 3.4: Délky hlavního vegetačního období pro roky 2021–2050 (procenta jsou počítána z délky udávané modelem pro budoucnost).

Žatec 10 °C			
Zdroj dat	Délka v dnech	Rozdíl od svých výstupů 1961-1990 v dnech	Rozdíl od svých výstupů 1961-1990 v procentech
DMIARP	191	7	4
DMIECH	200	13	7
<b>KNMIECH</b>	<b>178</b>	<b>16</b>	<b>9</b>
ETHZHAD	169	15	9
ICTPECH	160	18	11
<b>SMHIECH</b>	<b>174</b>	<b>16</b>	<b>9</b>
<b>SMHIBCM</b>	<b>171</b>	<b>7</b>	<b>4</b>
ALADIN	159	12	8
SMHIHAD	162	17	10
Husinec 10 °C			
Zdroj dat	Délka v dnech	Rozdíl od svých výstupů 1961-1990 v dnech	Rozdíl od svých výstupů 1961-1990 v procentech
DMIARP	174	11	6
DMIECH	173	16	9
<b>KNMIECH</b>	<b>160</b>	<b>14</b>	<b>9</b>
ETHZHAD	149	15	10
ICTPECH	140	16	11
<b>SMHIECH</b>	<b>161</b>	<b>17</b>	<b>11</b>
<b>SMHIBCM</b>	<b>162</b>	<b>10</b>	<b>6</b>
ALADIN	135	10	7
SMHIHAD	152	25	16

Pro odvození délky hlavního vegetačního období jsou nejvhodnější dle 2. kapitoly modely KNMIECH, SMHIBCM a SMHIECH a na jejich výsledky se detailněji zaměříme. Obecně vzato všechny modely dávají větší prodloužení pro Husinec. Porovnáme-li modelovaná prodloužení pro předešlé velké a hlavní vegetační období, zjistíme, že jsou procentuelně prakticky stejná. Největší prodloužení dávají ICTPECH a SMHIECH, nejmenší naopak opět SMHIBCM a nově DMIARP. Průměrné prodloužení udávané třemi vybranými modely je 13 dnů pro Žatec a 14 dnů pro Husinec. Po přičtení těchto údajů k průměrné délce tohoto období pro obě stanice v referenčním období dostaneme odhadovanou průměrnou délku hlavního vegetačního období v třicetiletí 2021-2050 182 dnů pro Žatec a 163 dnů pro Husinec.

### 3.3 Vegetační léto

Tab. 3.5: Délky vegetačního léta pro roky 2021–2050 (procenta jsou počítána z délky udávané modelem pro budoucnost).

Žatec 15 °C			
Zdroj dat	Délka v dnech	Rozdíl od svých výstupů 1961-1990 v dnech	Rozdíl od svých výstupů 1961-1990 v procentech
DMIARP	134	0	0
DMIECH	135	12	9
<b>KNMIECH</b>	<b>109</b>	<b>24</b>	<b>22</b>
<b>ETHZHAD</b>	<b>121</b>	<b>28</b>	<b>23</b>
ICTPECH	67	24	36
SMHIECH	84	27	32
<b>SMHIBCM</b>	<b>102</b>	<b>8</b>	<b>8</b>
ALADIN	101	8	8
SMHIHAD	90	16	18
Husinec 15 °C			
Zdroj dat	Délka v dnech	Rozdíl od svých výstupů 1961-1990 v dnech	Rozdíl od svých výstupů 1961-1990 v procentech
DMIARP	116	-1	-1
DMIECH	99	12	12
<b>KNMIECH</b>	<b>85</b>	<b>29</b>	<b>34</b>
<b>ETHZHAD</b>	<b>89</b>	<b>21</b>	<b>24</b>
ICTPECH	8	8	100
SMHIECH	50	43	86
<b>SMHIBCM</b>	<b>80</b>	<b>13</b>	<b>16</b>
ALADIN	58	42	72
SMHIHAD	74	53	72

Při pohledu do tab. 3.5 vidíme, že oproti velkému a hlavnímu vegetačnímu období jsme svědky mnohem většího rozptylu prodloužení délky vegetačního léta než u předchozích dvou období. Zejména překvapivé je nulové prodloužení a mírné zkrácení délky simulované modelem DMIARP a modelovaná obrovská procentuální prodloužení u modelů ICTPECH, SMHIECH a ALADIN-CLIMATE/CZ pro Husinec. Je to tím, že období vegetačního léta simulovaly zvláště tyto modely (viz kapitola 2) nejméně úspěšně. Proto je třeba brát u nich udávané procentuelní údaje s velkou rezervou, jelikož i malé prodloužení v dnech se u nich projevilo obrovským v procentech.

Nejlepší výsledky pro referenční období dávaly modely SMHIBCM a ETHZHAD a poměrně dobrý byl i model KNMIECH, takže budeme podrobněji rozebírat hlavně jejich výsledky. KNMIECH a SMHIBCM dávají větší prodloužení letního vegetačního období pro stanici Husinec, naproti tomu ETHZHAD pro Žatec. Model SMHIBCM dává oproti druhým dvěma

modelům mnohem menší prodloužení délky, o 6 % pro Žatec a 8 % pro Husinec, zatímco KNMIECH a ETHZHAD pracují s prodlouženími o více jak 20 % procent. Takového rozdílu jsme u velkého a hlavního období nebyli mezi doporučenými modely svědky, jelikož zde modely, na které jsme se zaměřovali, dávaly vzájemně podobná prodloužení. I to dokládá specifickou obtížnost modelování vegetačního léta zejména pro okolí stanice Husinec. Nemůžeme tedy rozhodnout, zda pravda leží na straně SMHIBCM či ETHZHAD a KNMIECH, takže si nemůžeme dovolit nezahrnout jeden z nich do výpočtů průměrů. Tyto průměry nebudou mít tedy takovou vypovídající hodnotu jako v předchozích dvou podkapitolách. Průměrná simulovaná délka vegetačního léta činí pro Žatec 111 dnů a 85 dnů pro Husinec. Kombinací délky vypočítané ze staničního měření s udávaným prodloužením těmito modely, které činí 20 dnů pro oblast Žatce a 21 dnů pro oblast Husince, dostáváme průměrnou délku vegetačního léta v období 2021–2050 124 dnů pro Žatec a 90 dnů pro Husinec.

### 3.4 Shrnutí a diskuze výsledků modelování délek vegetačních období pro období 2021–2050

V níže uvedené tab. 3.6 jsou uvedeny délky vegetačních období pro třicetileté období 2021–2050 vypočtené dvojí metodou z výstupů modelů, které se pro dané období v kapitole 2 dobře osvědčily. Pod názvem modelový průměr je uveden aritmetický průměr délky vegetačního období udávané těmito vybranými modely pro roky 2021–2050 a pod kombinovaným průměrem se skrývá součet referenční délky vegetačního období pro danou oblast, tedy délky vypočtené ze staničních měření v období 1961–1990, a průměrného prodloužení, které dávají doporučené modely narozdíl od svých simulací pro referenční období.

Tab. 3.6: Průměrné modelové délky velkého, hlavního vegetačního období a vegetačního léta pro třicetileté období 2021–2050.

<b>Žatec</b>			
<b>Vegetační období</b>	<b>5°C</b>	<b>10°C</b>	<b>15°C</b>
<b>Zdroj dat</b>			
<i>Stanice (referenční období)</i>	230	169	104
Modelový průměr	248	184	111
Kombinovaný průměr	244	182	124
<b>Husinec</b>			
<b>Vegetační období</b>	<b>5°C</b>	<b>10°C</b>	<b>15°C</b>
<b>Zdroj dat</b>			
<i>Stanice (referenční období)</i>	211	149	69
Modelový průměr	231	161	85
Kombinovaný průměr	220	163	90

V diskuzi, který z průměrů má větší vypovídající hodnotu, je zřejmě správnější se přiklonit k průměru kombinovanému, neboť v modelovém průměru i přes vyřazení modelů, které dávaly méně přesné výsledky, je stále určitá nejistota kvůli ne zcela dokonalé simulaci délek v referenčním období. Tato nejistota je do jisté míry odstraněna v kombinovaném průměru, neboť ten pracuje s referenční délkou a nejistotu vnáší až modelování budoucího vývoje. Nicméně rozdíl mezi těmito dvěma průměry není velký a jen ve dvou případech přesáhne hranici deseti dnů, takže v rámci zmíněné nejistoty není mezi takto vypočítanými délkami velký rozdíl.

Z tab. 3.6 je patrné, že podle modelových simulací lze očekávat znatelné prodloužení vegetačních období v obou oblastech. To se projeví změnou agroklimatického potenciálu těchto oblastí, mimo jiné i na posunu teplotních hranic sumy efektivních teplot a v té souvislosti i na potenciálních možnostech zemědělství. Oblast Husince bude mít podobné délky vegetačních období, jako oblast Žatce v referenčním období, což může mít pro zdejší zemědělství velice kladný přínos. Naopak Žatec bude mít vegetační léto dlouhé přibližně 4 měsíce, což je zatím v České republice nevídané. Problematickým efektem (dobře viditelným na obr. 3.1) prodloužení vegetačních období by zde však mohla být hlavně redukce zimního ochlazení, které rostliny potřebují k začátku či urychlení klíčení (Brázdil, Rožnovský a kol., 1995). K tomu, aby analyzovala budoucí dopady změn délky trvání vegetačních období, není však tato práce určena. Jejím úkolem bylo za použití co nejpečlivějších postupů odvodit modelované změny délky vegetačních období, což bylo také učiněno.

## Závěr

V následujících odstavcích se pokusíme udělat výtah z dosavadního textu a výsledky shrneme. První kapitola začínala podkapitolou, kde byly vyloženy pojmy týkající se života rostlin, přičemž cílem bylo dostat se přes průměrnou denní teplotu vzduchu a období s charakteristickou teplotou vzduchu k pojmu vegetační období, speciálně pak k pojmům velké vegetační období, hlavní vegetační období a vegetační léto. Definice těchto období byly převzaty z Havlíček a kol. (1986), jakožto období ohraničená nástupem a ukončením trvání průměrné denní teploty 5 °C pro velké, 10 °C pro hlavní vegetační období a 15 °C pro vegetační léto. V druhé podkapitole pak byl podán stručný popis klimatických modelů a tvorby scénářů budoucího vývoje klimatu. Třetí podkapitola měla již mnohem praktičtější ráz, protože v ní byla rozebírána metoda RLWR (robustní lokálně vážená regrese) a algoritmus programu ROLOWER, v kterém byly použitím metody RLWR zhlazeny veškeré roční chody teploty vzduchu používané v této práci. Velkou důležitostí pak má podkapitola čtvrtá, jelikož jsou v ní uvedené zdroje používaných dat a veškeré potřebné informace jak o zdrojích, tak i o datech. Hlavně je zde popsán postup práce s daty, neboť pro možnost výpočtu bylo nutné pečlivě připravit teplotní řady z modelových výstupů.

Druhou kapitolou začíná prezentace vlastních analýz a diskuze získaných výsledků. Hlavním cílem druhé kapitoly bylo ohodnotit schopnost modelů vystihnout délky vegetačních období, což bylo učiněno na základě srovnání s referenčními délkami vegetačních období vypočtených z měření na klimatologických stanicích Žatec a Husinec. Hned v úvodu bylo zdůrazněno zatížení tohoto srovnávání chybou, kterou vnáší mimo jiné rozdílné nadmořských výšek uzlových bodů a jimi obklopené stanice. Pro zjemnění dopadu této chyby byl počítán namísto aritmetického průměru mezi těmito uzlovými body průměr vážený. Nyní se pokusme shrnout výsledky druhé kapitoly pro jednotlivé řídicí modely.

Modely řízené *GCM* Arpege, tedy *RCM* ALADIN-CLIMATE/CZ a HIRHAM5, které se objevovaly v práci pod názvy ALADIN-CLIMATE/CZ a DMIARP, vykazovaly, i přes skutečnost, že jsou řízeny stejným globálním modelem, od sebe velmi rozdílné výsledky s velkým rozptylem od referenčních délek. Model DMIARP sice dokázal velmi věrohodně modelovat velké vegetační období pro obě oblasti, ale trvání dalších dvou období již silně nadhodnocoval. Naproti tomu ALADIN-CLIMATE/CZ pro obě oblasti i všechna vegetační období dával silně podhodnocené délky trvání vegetačních období v referenčním období 1961-1990, což souvisí se zjištěním, že model

ALADIN-CLIMATE/CZ dává ve srovnání s pozorovanými teplotami vzduchu v období 1961-1990 zejména na jaře chladnější teploty (Pretel a kol., 2008).

Nejpočetnější byla skupina *RCM* řízená *GCM* ECHAM, tedy jmenovitě HIRHAM5, RACMO, RCA3/SMHI a RegCM, jejichž simulace byly nazývány popořadě DMIECH, KNMIECH, SMHIECH a ICTPECH. Společným rysem těchto modelů bylo postupné zhoršování jimi dávaných výsledků s rostoucí teplotní hranicí vegetačního období, čehož extrémním dokladem jsou modely SMHIECH a ICTPECH. Zatímco SMHIECH dokázal dobře modelovat alespoň délky velkého a hlavního vegetačního období, model ICTPECH udával soustavně velmi rozdílné výsledky od referenčních délek, což vzhledem k tomu, že jiné modely řízené *GCM* ECHAM vykazovaly malé odchylky od pozorování, vede k pochybnostem o schopnosti *RCM* RegCM správně simulovat teploty vzduchu v obou zkoumaných oblastech. Tuto schopnost ovšem nepostrádá *RCM* RACMO, označovaný KNMIECH. Ten prokazoval velmi dobrou schopnost modelovat vegetační období a jeho celkový rozptyl od referenčních délek byl druhý nejmenší ze všech modelů. Pozitivně působil globální klimatický model ECHAM na *RCM* HIRHAM5 (DMI) v období vegetačního léta, neboť simulace DMIECH nadhodnocovala jeho délku mnohem méně než DMIARP a dosáhla tak celkově menších chyb.

*GCM* HadCM3 byly řízeny *RCM* CLM/ETHZ a RCA3/SMHI, udávané pod jmény ETHZHAD a SMHIHAD. Tyto modely dávaly systematicky značně podhodnocené délky vegetačních období, což bude zřejmě pro HadCM3 charakteristické. Věrohodného výsledku dosáhl jen jím řízený ETHZHAD v období vegetačního léta, kde pro obě oblasti patří jeho simulace k nejlepším.

Globální klimatický model bccr\_bcm2 se v práci vyskytoval pouze v kombinaci s *RCM* HIRHAM5 jakožto SMHIBCM. Tento model prokazoval výborné simulace s velice malým rozptylem od referenčních hodnot a jeho celkový rozptyl je nejlepší ze všech modelů. *GCM* bccr\_bcm2 se tedy ukazuje jako zdaleka nejvhodnější pro řízení modelu HIRHAM5, jelikož ten dával s *GCM* ECHAM a hlavně HADCM3 mnohem horší výsledky.

Výborné výsledky pro obě oblasti a všechna vegetační období vykazoval tzv. multimodelový průměr, který se ukazuje být k výpočtům délek vegetačních období vhodnější než většina zkoumaných modelů.

V třetí kapitole jsou uvedeny modelové délky vegetačních období pro třicetileté období 2021–2050 udávané všemi modely. Následně jsou v podkapitolách patřících každá jednomu vegetačnímu období tyto výsledky rozebírány a jsou zde odvozeny průměrné vegetační délky udávané modely, které prošly nejlépe pro to které období srovnáváním s referenčními údaji

v kapitole 2. Délky vegetačních období udávané těmito „schválenými“ modely pro období 2021–2050 mají od sebe mnohem menší rozptyl, než délky ostatních modelů. To tak docela neplatí pro průměr nazývaný kombinovaný, kde se tyto rozdíly umazávají, jelikož do něj se promítají jen modelovaná prodloužení délek vegetačních období oproti simulovaným délkám pro referenční období. Tato prodloužení jsou v kombinovaném průměru přičtena k údaji platnému pro danou stanici v referenčním období. Tato simulovaná prodloužení jsou pro velké a hlavní vegetační období pro všechny modely velmi podobná jak v dnech, tak v procentech celkového trvání. Pro období vegetačního léta jsme však svědky velkých rozptylů udávané změny jeho délky a to i mezi modely, které byly pro toto období označeny jako nejvhodnější.

Celkově práce ukázala, že rozptyl výsledků daných různými RCM je poměrně velký, a to jak pro referenční období, tak i pro období budoucí. Naopak v případě simulovaného číselného prodloužení délek vegetačních období v budoucnosti panovala mezi modely až na pár výjimek dobrá shoda, což může být částečně zapříčiněno tím, že všechny zkoumané simulace pro budoucí období jsou řízeny jedním emisním scénářem - A1B. Analýza byla provedena jen pro dvě vybrané oblasti ČR, i mezi nimi byly určité rozdíly, takže schopnost vystihnoutí změn zřejmě závisí i na geografické oblasti. Potvrzení výsledků by potom mohlo být námětem na další analýzu. Námětem pro další výzkum je také souvislost délky trvání vegetačních období s výpočtem teplotních sum, neboli termických vegetačních konstant. Jde o součty průměrných teplot vzduchu všech dní, po něž trvá vegetace (Šebánek a kol., 1983). Tyto teplotní sumy určují hranice výskytu jednotlivých druhů rostlin z hlediska jejich náročnosti na teploty vzduchu. Výpočet těchto termických vegetačních konstant není v rozsahu naší práce, ale jedná se o zajímavý námět pro práce další, v kterých by se daly použít například zhlazené roční chody průměrné teploty vzduchu.

## Literatura a použité internetové odkazy

Brázdil, R., Rožnovský, J. a kol. (1995). *Dopady možné změny klimatu na zemědělství v České republice – Územní studie změny klimatu, Element 2.* Nakladatelství Český hydrometeorologický ústav. Praha. 140 stran.

CSIRO. *Hot topics - climate models* [online]. c2009, poslední revize 1.8.2010 [cit. 2010-05-13]. Dostupné z: <<http://www.climatechange.gov.au/en/climate-change/myths/~media/publications/science/hot-topics-climate-models.ashx>>

Černochová, E. (2006). *Změny délek období s charakteristickými teplotami vzduchu.* [Diplomová práce.] Praha: MFF UK. 71 s.

Černochová, E. (2007). *Uncertainties in Climate Model Outputs, in WDS'07 Proceedings of Contributed Papers: Part III – Physics* (eds. J. Safrankova and J. Pavlu), Prague, Matfyzpress, pp. 156–160.

Dubrovský, M. (1993): *Robust locally weighted regression: algorithm, programming and application to radiation data.* Ústav fyziky atmosféry, Akademie věd České republiky.

Havlíček, V. a kol. (1986): *Agrometeorologie, Státní zemědělské nakladatelství.* Praha. 264 stran.

Internetové stránky projektu ENSEMBLES (přístup 10. 4. 2010), <http://ensembles-eu.metoffice.com/>.

McGuffie, K., Henderson-Sellers, A. (2005): *A Climate Modelling Primer.* John Wiley & Sons, Ltd. , Third Edition.

*Meteorologický slovník* (1993): kolektiv autorů: *Meteorologický slovník výkladový a terminologický.* MŽP, Praha, 594 s.

Pretel, J., Metelka, L., Kalvová, J., Novický, O., Kašpárek, L. a kol. (2008). *Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (II).* Závěrečná zpráva o řešení projektu VaV – SP/1a6/108/07 v roce 2008, MŽP, Praha.



Pretel, J., Vácha, D., *Studie pro Ministerstvo životního prostředí, samostatné oddělení změny klimatu* [online]. c2003, poslední revize 1.8.2010 [cit. 2010-05-13]. Dostupné z: <<http://www.chmi.cz/cc/inf/index.htm> >

*Solow, A.R. (1988): Detecting changes through time in the variance of a long-term hemispheric temperature record: an application of robust locally weighted regression, Journal of Climate 1, 290-296.*

*Šebánek, J. a kol. (1983). Fyziologie rostlin. Státní zemědělské nakladatelství, Praha. 558 s.*