

Univerzita Karlova v Praze
Matematicko-fyzikální fakulta

Diplomová práce



Jan Mejsnar

Změny výskytu klimatických typů v simulacích budoucího klimatu

Katedra meteorologie a ochrany prostředí

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

Studijní program: Fyzika, Meteorologie a klimatologie

2009

Děkuji vedoucímu diplomové práce, Mgr. Jiřímu Mikšovskému, Ph.D. za cenné konzultace a rady v průběhu vypracovávání práce a za zpracování modelových dat do měsíčních průměrů.

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

V Praze dne

Jan Mejsnar

Obsah

Úvod	5
1. Klimatické klasifikace vhodné pro Českou republiku	6
1.1. Klasifikace vhodné pro potřeby zemědělství	8
1.2. Jiné klasifikace	13
2. Příklady studií změn klimatu s použitím klimatické klasifikace	14
2.1. Klimatická klasifikace Evropy a její změna v průběhu 20. století	14
2.2. Použití klimatické klasifikace pro odhad změn klimatu v Evropě v 21. století	15
2.3. Změna klimatu v Arktidě	17
2.4. Změny ve výskytu vegetace v Číně	18
2.5. Green planet versus desert world	19
3. Klimatická změna	20
3.1. Klimatické modely	20
3.2. Odhady dopadů klimatické změny pro Českou republiku	21
4. Použité klimatické modely a klimatické klasifikace	24
4.1. Regionální klimatické modely	24
4.2. Použité klimatické klasifikace	26
5. Výsledky	28
5.1. Köppenova klasifikace	28
5.2. Teplotní změna dle Kurlpelové	31
5.3. Klasifikace dle Končeka	35
5.4. Langův dešťový faktor	38
5.5. Dopad klimatické změny na zásoby vody	39
Závěr	44
Literatura a internetové odkazy	46

Název práce: Změny výskytu klimatických typů v simulacích budoucího klimatu
Autor: Jan Mejsnar
Katedra: Katedra meteorologie a ochrany prostředí
Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Jiří Mikšovský, Ph.D.
e-mail vedoucího: Jiri.Miksovsky@mff.cuni.cz

Abstrakt: Práce porovnává klasifikaci klimatu České republiky založenou na dvou regionálních klimatických modelech (ALADIN-Climate a RegCM3) a na dvou modelových obdobích (1961-1990 a 2021-2050). Nejdříve uvádí přehled klasifikací klimatu vhodných pro ČR se zaměřením na klasifikace Köppenovu, Kurlpelové a klasifikaci Končeka. Prezentuje výhody těchto klasifikací, především vztah k výskytu vegetace. Dále práce seznamuje s dnešními regionálními klimatickými modely. Samotná data měsíčních hodnot srážek a teplot reprezentující období 1961-1990 a 2021-2050 pak byla vyhodnocena dle jednotlivých klasifikačních kritérií a následně vykreslena programem SURFER do jednotlivých klimatických podtypů. Rozložení podtypů a věrohodnost obou modelů se následně diskutuje.

Klíčová slova: klasifikace klimatu, regionální klimatické modely, odhady dopadů klimatické změny pro ČR, ALADIN-Climate, RegCM3

Title: Changes in occurrence of climate types in the simulations of future climate
Author: Jan Mejsnar
Department: Department of Meteorology and Environment Protection
Supervisor: Mgr. Jiří Mikšovský, Ph.D.
Supervisor's e-mail address: Jiri.Miksovsky@mff.cuni.cz

Abstract: The thesis compares climate classification of the Czech Republic based on two regional climate models (ALADIN-Climate and RegCM3) and on two model period (1961-1990 and 2021-2050). First, a short summary of climate classifications suitable for the Czech Republic is introduced. Above all are mentioned the classifications of Köppen, Kurlpelová and Konček. The advantages of these classification are presented, especially their relation to occurrence of vegetation. Further, this thesis mentions today's regional climate models. The data of monthly values of precipitation and temperature were analysed by single classifications criteria and consequently visualized by the program SURFER to show individual climatic subtypes. The data represented averaged values for the periods 1961-1990 and 2021-2050. Finally the distribution and the veracity of both models are discussed.

Keywords: climate classification, regional climate models, estimation of impacts of climate change to the Czech Republic, ALADIN-Climate, RegCM3

Úvod

Klima všeobecně pojímáme jako dlouhodobý charakteristický režim atmosférické cirkulace, popsany jednak průměrnými hodnotami klimatických veličin (teplot, srážkových úhrnů a dalších), jednak mírou jejich rozptýlenosti a proměnlivosti a dalšími statistickými deskriptory. Klima každého místa zemského povrchu je jedinečné, ale už od nejstarších dob probíhaly pokusy o klasifikaci klimatických podmínek a nalezení společných charakteristických rysů. Koncem 19. století se objevily první práce, které se snažily o praktickou aplikaci nějaké formy třídění. **Klasifikací** je velké množství a jejich konstrukce závisí na účelu použití.

Při studiu chování a vývoje klimatu hrají stěžejní roli **počítačové modely** klimatu. Současné klimatické počítačové modely, jak globální tak regionální, neustále zlepšují své možnosti. Přesto je stále rozdíl mezi tím, co modely nabízejí, a tím, co je třeba např. pro studie dopadů změn klimatu. Jednou z možností komplexního popisu změn klimatu je aplikace vhodné klasifikace klimatu.

Vstupní modelová data jsou v analyzovaných datových souborech reprezentována soustavou pravidelně rozmístěných gridových bodů. Po aplikování klasifikace klimatu vykreslíme mapy současného a budoucího klimatu České republiky v jednotlivých podtypech a zhodnotíme případné budoucí změny.

V kapitole **1** uvádíme klimatické klasifikace vhodné pro Českou republiku se zaměřením na klasifikace použité v [1] a na klasifikace vhodné pro potřeby zemědělství. Kapitola **2** obsahuje příklady studií změn klimatu, které využívají klimatických klasifikací, především Köppenovu. Kapitola **3** uvádí závěry čtvrté hodnotící zprávy IPCC a nastiňuje odhady dopadů klimatické změny pro Českou republiku.

Kapitola **4** seznamuje s použitými klimatickými klasifikacemi a modely. Jádrem práce je kapitola **5**, která prezentuje mapy rozložení klimatických typů dle jednotlivých klasifikací a diskutuje rozdíly mezi modely i případnou změnu do budoucna.

1. Klimatické klasifikace vhodné pro Českou republiku

Klimatické klasifikace souhrnně vyjadřují klimatické poměry. Je jich velké množství a jejich konstrukce závisí na účelu použití.

Nejvíce rozšířenou a všeobecně uznávanou klasifikaci vypracoval W. Köppen. O vývoji úvah o klimatu od dob starověku do 20. století více informuje kniha [2], článek [3], případně práce [4]. Köppenův model ideálního kontinentu má kořeny až v představách antických Řeků, že svět se dělí na oblasti příliš teplé či suché, oblast životu příznivou a oblasti příliš studené.

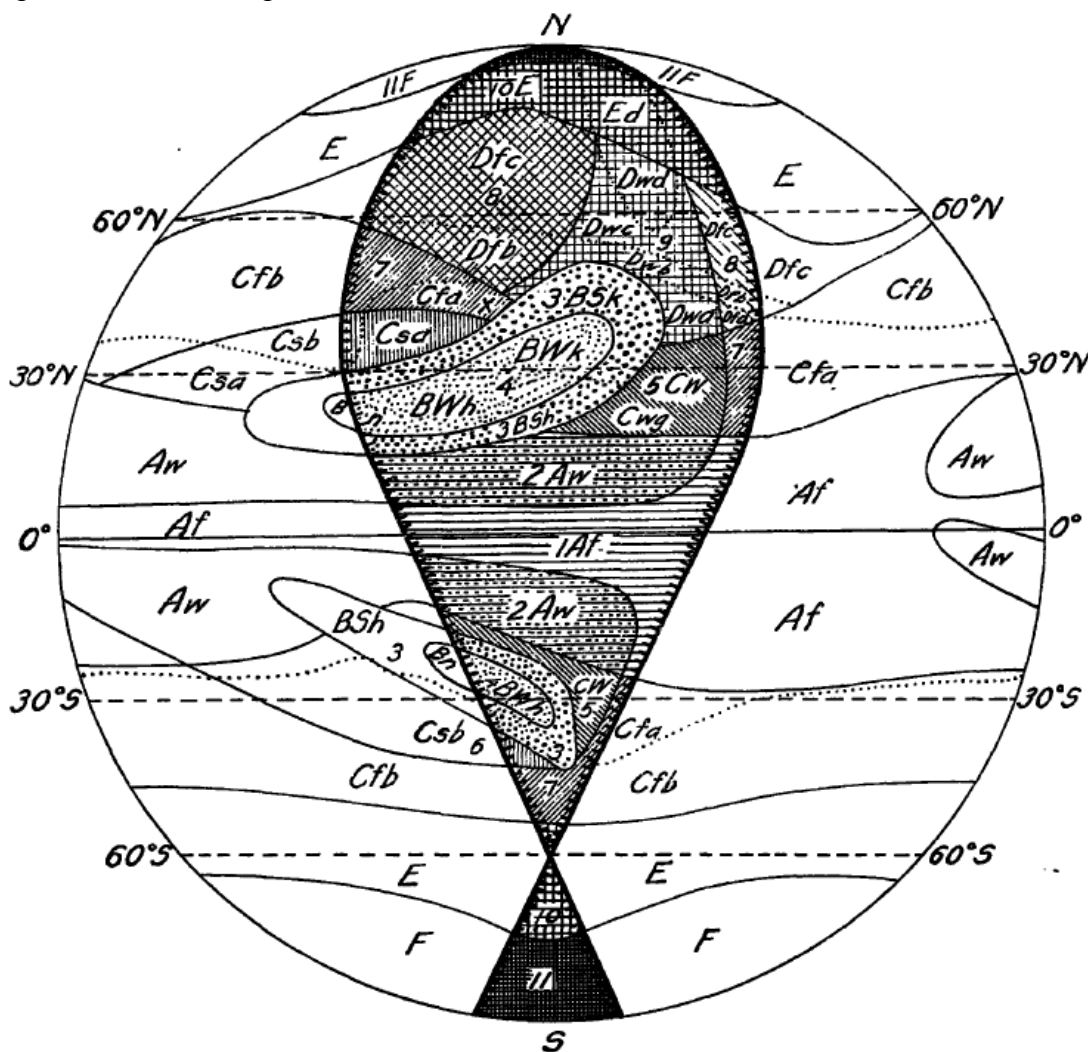


FIG. 2.—Köppen's ideal continent.

Obr. 1. Köppenův model ideálního kontinentu (převzato z [5])

Köppenova klasifikace vycházela podobně jako některé jiné klasifikaci z počátečního zjednodušení v podobě ideálního kontinentu. Přehled typů použitých na obr. 1 je uveden v kapitole 4.2. Tato klasifikace používá pouze měsíční a roční hodnoty průměrné teploty a úhrnů srážek. Řada autorů zkoušela tuto klasifikaci modifikovat, případně vymyslet svoji vlastní, opírající se opět pouze o teplotu a srážky, meteorologické

veličiny, měřené na stanicích od 19. století. Předností Köppenovy klasifikace je **citlivost na výskyt vegetace** a možnosti lidského života.

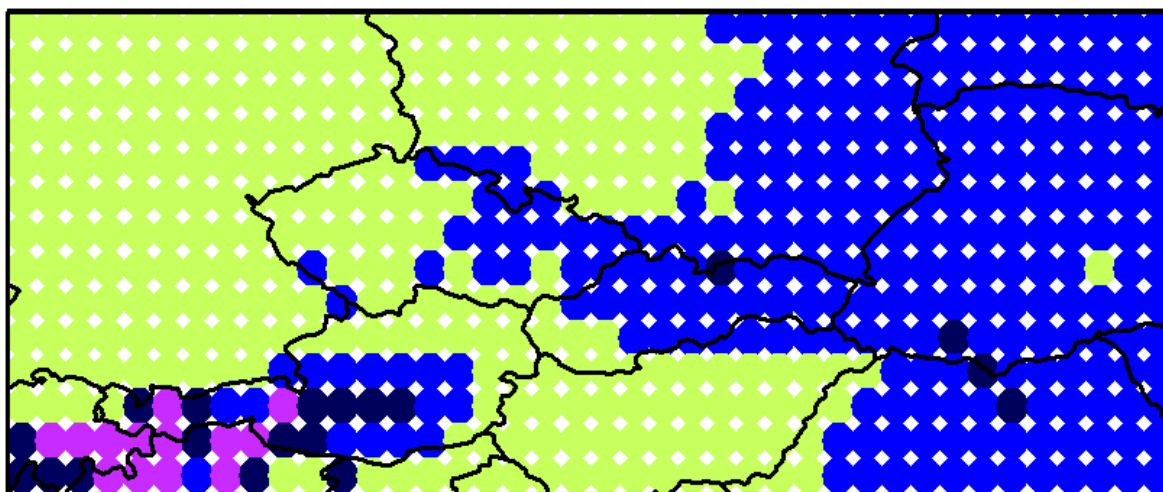
Další skupina klasifikací se podle [2] snaží zahrnout vliv vlhkosti na klima. Příkladem je Thornthwaitova klasifikace se svými indexy využívající hodnoty potenciální evapotranspirace. Problémem je nedostupnost těchto veličin ze staničního měření a nutnost je počítat či spíše různými způsoby odhadovat.

Alissowova klasifikace dělicí svět do sedmi pásů je zástupcem klasifikací genetických a klasifikací využívajících převládajících vzduchových mas.

Z celosvětových klasifikací využijeme pro naše účely pouze klasifikaci Köppenovu. Jako další použijeme klasifikace vyvinuté speciálně pro Československo.

V [6] byla Köppenova klasifikace použita jako jedno z kritérií schopnosti globálních klimatických modelů zachytit současné klima.

V [4] byla Köppenova klasifikace použita pro demonstraci schopnosti regionálních klimatických modelů HIRHAM a RCAO simulovat současné klima představované CRU klimatologií. Horizontální měřítko obou modelů i CRU klimatologie je přibližně 50 km, což je nedostatečné pro vyhodnocení změn klimatu v rámci České republiky. Klasifikace gridových bodů CRU klimatologie na obr. 2 odpovídá klasifikaci uvedené v **Atlase podnebí Česka** [1] (až na Ostravsko, kde v atlase převažuje typ Cfb).



Obr. 2. Köppenova klasifikace střední Evropy podle CRU klimatologie (převzato z [4])

● Cfa ● Cfb ● Cfc ● Dfa ● Dfb ● Dfc ● ET

Další klasifikací klimatu použitou v **Atlase podnebí Česka** [1] je **Quittova klasifikace**, která rozlišuje 23 jednotek ve třech oblastech (teplá, mírně teplá, chladná). Jednotky jsou definovány změnami 14 klimatologických charakteristik (počet letních, mrazových, ledových, jasných a zamračených dní, průměrný počet dní se srážkami 1 mm a více, počet dnů s průměrnou teplotou 10 °C a více, počet dní se sněhovou pokrývkou, srážkový úhrn ve vegetačním a v zimním období, průměrná teplota v lednu, dubnu, červenci a říjnu). Podle [1] je originální metodika značně expertní a subjektivní. V [7] je použita zjednodušená verze s 10 jednotkami. Některé jednotky se nacházejí pouze na východním Slovensku, jiné naopak jen západně od Karpat. V [8] je použita verze jen s 5 jednotkami.

Třetí použitou klasifikací klimatu v Atlase podnebí Česka je klasifikace použitá v **Atlase podnebí ČSR z roku 1958**. Hlavní tři oblasti jsou opět teplá, mírně teplá a chladná.

Při tvorbě klasifikace z roku 1958 bylo podle [9] zřejmé, že je třeba vzít v úvahu speciální vlastnosti našeho území. Vliv kontinentality a průměrné zimní teploty nebyly vhodné vzhledem k růstu vlivu blízkosti oceánu v západních částech republiky. U poměru nejdeštivějšího a nejsuššího měsíce vynikal vliv hor. Po zhotovení mapy letních dnů za rok 1953 se ukázalo, že se izolinie 75 letních dnů velmi dobře shoduje s kukuřičným typem podle mapy výrobních oblastí. Teplá oblast byla nakonec vymezena izolinií **50 letních dnů**. Je to oblast, která je vhodná pro pěstování na teplotu nejnáročnějších plodin jako je kukuřice a tabák. Tato izolinie přibližně souhlasí s izočarou začátku sklizně ozimého žita do 15. července. Žito bylo nejpěstovanější plodinou 1. poloviny 20. století a izočára 15. července byla použita v původní metodice. Oblasti mírně teplá a chladná jsou odděleny **červencovou izotermou 15 °C** (původně pro Slovensko a Beskydy 16 °C). Tato izoterma je podle [9] čarou rentabilního pěstování pšenice. Nachází se na celém území státu přibližně ve stejné nadmořské výšce a to 700 m.n.m.

Pro dělení na menší oblasti se ukázal jako vhodný **Končkův vláhový index**, který dělí oblasti na podoblasti suché, mírně suché, mírně vlhké, vlhké a velmi vlhké. Pro jemnější dělení se dále používá sluneční svit a lednová teplota. Více v kapitole 1.1. a v kapitole 4.2.

1.1. Klasifikace vhodné pro potřeby zemědělství

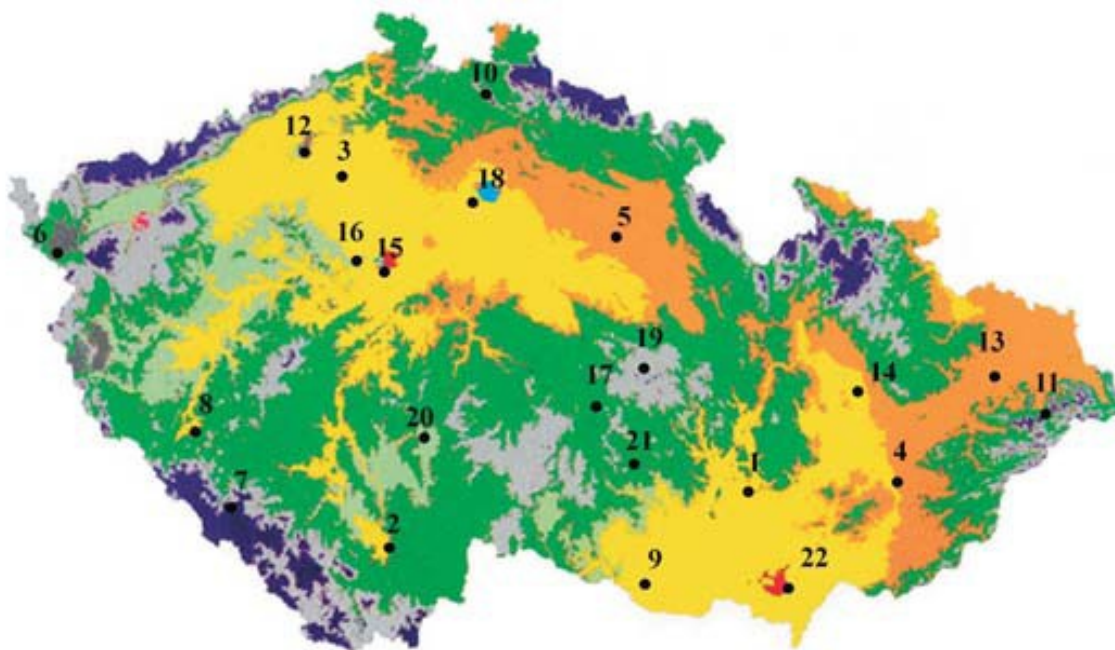
Klima má velký ekonomický význam pro **rostlinnou produkci**, v produkci živočišné nehraje až tak podstatnou roli. Je nutné se rozhodnout, podle jaké klimatické regionalizace postupovat, aby bylo dosaženo co nejlepších výnosů. Dle [9] jsou pro zemědělské účely v ČR dostačující dvě klimatické regionalizace, Kurpelové a Končeka.

Evapotranspirační nároky vrstvy atmosféry přiléhající k zemskému povrchu jsou jedním z nejdůležitějších aspektů vláhových poměrů stanoviště ve vegetační sezóně. Voda je podle [10] limitujícím faktorem ovlivňujícím průběh chemických, fyzikálních a biologických procesů v ekosystémech, tedy i v agroekosystémech. Klasifikace jsou proto často založené na úhrnnu srážek a potenciální evapotranspiraci v jednotlivých měsících.

Jedna z jednoduchých klimatických regionalizací je znázorněna na obr. 3 a v tab. 1 Je založena na ročním úhrnnu srážek, přítomnosti období sucha a počtu dní s teplotou převyšující určitou mez. Pohledem na obr. 3 lze soudit, že severovýchod ČR má vyšší úhrnny srážek (oranžová) a že oblasti bez srážek více než 22 dní (žlutá, světle zelená) jsou jižní Morava, střední, severní a západní Čechy.

Před popsáním dvou klimatických regionalizací dle Kurpelové a dle Končeka si popíšeme charakteristiku zemědělských výrobních oblastí a podoblastí. V této kapitole čerpáme především z [9].

Zemědělské výrobní oblasti (ZVO) charakterizují výrobní podmínky a využití půdního fondu ČR z hlediska půdně klimatických podmínek. Slouží pro účely zemědělské statistiky a pro srovnávání hodnocení zemědělských subjektů. ZVO se člení do 5 oblastí a 21 podoblastí. ZVO **kukuřičná** zahrnuje podoblasti K1 až K5. Zahrnuje území ve velmi teplém a suchém klimatu, v převážně rovinném terénu, stupeň zornění je kolem 85%.Cena



Obr. 3. Mapa tříd klimatické regionalizace ČR dle Moravce a Votýpky (1998) (převzato z [10])

třída	průměrný počet dní s teplotou vzduchu 10 °C a vyšší	průměrný roční úhrn srážek vyšší než 580 mm	průměrný roční úhrn srážek do 580 mm		příklad lokality	barva
			s obdobím beze srážek více jak 22 dní	s obdobím beze srážek do 22 dní		
I	178 a více		10 282 ha		J. Morava, Praha	červená
II		1 141 895 ha			V. Čechy, Sv. Morava	oranžová
III	160–177		1 800 032 ha		Polabí, J. Morava	žlutá
IV				7 785 ha	V. Čechy	modrá
V		2 932 874 ha			J. Čechy, Sv. Čechy, Vysočina	tmavá zelená
VI	142–159		574 898 ha		Z. Čechy, J. Čechy	světlá zelená
VII				41 356 ha	Z. Čechy	tmavá šedá
VIII		997 687 ha			Z. Čechy, Vysočina	světlá šedá
IX	124–141		3 433 ha		Z. Čechy	tmavá růžová
X	do 123	387 621 ha			horské polohy	tmavá modrá

Tab. 1. Klasifikace tříd klimatické regionalizace ČR dle Moravce a Votýpky (1998), upravená Klabzubou a kol. (1999), (převzato z [10])

zemědělských pozemků je velmi vysoká. Jsou zde výborné podmínky pro pěstování vína a ovoce. Na celkové výměře zemědělských půd ČR se oblast K podílí 7% a jedná se především o jižní Moravu.

ZVO **řepařská** má 5 podoblastí. Podoblast Ř1 na Hané a v okolí Hradce Králové je dokonce produkčně nejschopnější oblastí v celé ČR. Podíl oblasti Ř je 24% a nachází se v Polabí a na Hané. Jsou zde výborné podmínky pro pěstování zeleniny, cukrovky, řepky olejné nebo chmele.

ZVO **obilnářská** má 4 podoblasti. Oblast je ve středních nadmořských výškách ve zvlněném terénu. Cena zemědělských pozemků je poloviční oproti oblasti K. Kromě obilí

se pěstují krmné a technické plodiny. Produkční schopnost je kolem 48 bodů ze 100. Oblast má podíl 40% a je zastoupena převážně v podhorských okresech východních Čech a severní Moravy a na velké části jihozápadní poloviny Čech.

ZVO **bramborářská** má 4 podoblasti. Půdy jsou v průměru středně skeletovité, hlinitopísčité až písčitohlinité, vesměs hnědé půdy na krystaliniku. Podíl oblasti je 19% a jedná se o Vysočinu a okresy Příbram, Klatovy a Strakonice.

Poslední oblastí je ZVO **pícninářská** se 3 podoblastmi. Terén je členitý, stupeň zornění je minimální, půdy jsou kamenité a často mělké. Pěstební podmínky jsou vhodné snad jen pro sadební brambory a len. Podíl oblasti je 10% a zahrnuje terén v nadmořské výšce nad 600 m.

Více o výrobních oblastech např. v [9].

Klimatická **regionalizace dle Kurpelové** je určena pro agronomické účely. Popis regionalizace přebíráme z [9]. Nejdůležitější je výběr vhodných agroklimatických ukazatelů, které musí komplexně vyjadřovat prostorové změny podmínek tvorby úrody polnohospodářských kultur. Na našem území je z klimatických faktorů klíčová teplota. Osvědčeným ukazatelem je **teplotní suma** za období s průměrnou teplotou vzduchu větší než 10 °C. Tato teplotní suma dobře charakterizuje vegetační podmínky příslušného místa. Vlhavé podmínky reprezentuje **klimatický ukazatel zavlažení (K)**, který je definován jako rozdíl potenciálního výparu a srážek ($E_o - R$). Třetí charakteristikou je průměr z ročních absolutních minim teploty vzduchu, který je důležitý pro **podmínky přezimování** rostlin.

Klíčovým faktorem je teplotní suma (TS), která naše území rozdělí na 8 oblastí.

TS (°)	
1. >3000	kultury náročné na teplo, pozdní odrůdy, vinná réva, meziplodiny
2. 2800-3000	vinná réva jen rané odrůdy, teplomilné kultury (slunečnice)
3. 2600-2800	cukrová řepa, nevhodné pro méně tepl. kultury (brambory, oves)
4. 2400-2600	konec zóny kukuřice na zrno, meruněk, nástup obilnin (ozimé žito)
5. 2200-2400	konec zóny ozimé pšenice, nástup ovsa a pozdních brambor
6. 2000-2200	konec zóny ozimého žita, nástup lnu
7. 1800-2000	horní hranice vhodných podmínek pro brambory
8. 1600-1800	vhodné pro len, částečně se kryje s horní hranicí polnohospodářské výroby vůbec (750 – 800 m.n.m.)

Klimatický index zavlažení za měsíce červen až srpen dělí naše území na 7 podoblastí od nejsušších, kde už v jarních měsících dochází k nedostatku vláhy, až po území s vysokou zimní zásobou vláhy, kde se v jarních měsících udržuje přebytek vláhy a v letním období příjem vláh převyšuje potenciální výpar. Vyšší index K znamená vesměs nižší TS.

Pro podmínky přezimování jsou klíčová absolutní minima. Kurpelová vyčleňuje 5 okrsků.

T_{min} (°C)	
1. > -18	ovocným stromům hrozí střídání teplotních období na konci zimy
2. -18 až -20	broskvoně, meruňky jen ve výhodných expozičních plochách
3. -20 až -22	stále dobré podmínky přezimování pro peckovité druhy a hrušně
4. -22 až -24	absolutní minimum pod -30 °C dvakrát za 30 let
5. < -24	nevhodné i pro ozimé žito

O významu absolutních minim na podmínky přezimování a o možných katastrofálních dopadech na hospodářské plodiny (konkrétně na citrusy v Číně) se dočteme v [11].

Na základě faktoru TS dělíme území na **tři klimatické makrooblasti**. Teplou (TS 2400-3100), mírně teplou (TS 2000-2400) a chladnou (TS 1600-2000).

Regionalizace dle Končeka je vlastně klimatickou klasifikací z Atlasu podnebí ČSR z roku 1958. Území je rozděleno na oblast teplou, mírně teplou a chladnou pomocí izolinie počtu 50 letních dnů a 15° červencové izotermy. Pro dělení na menší oblasti je zvolen Končekův index zavlažení:

$$I_z = R/2 + \Delta r - 10 t - (30 + v^2),$$

kde R je úhrnn srážek v mm za vegetační období duben až září, Δr je kladná odchylka množství srážek v zimních měsících prosinci až únoru od množství 105 mm (záporné odchylky se neberou v úvahu), t je průměrná teplota celého vegetačního období a v je průměrná rychlost větru ve 14 hodin v celém vegetačním období. Tento index zavlažení podle [9] dobře vymezuje oblasti s různou vláhovou bilancí, na rozdíl od Thornthwaitova indexu vlhka je jeho metoda výpočtu jednoduchá.

I_z	podoblast
< -20	suchá
-20 až 0	mírně suchá
0 až 60	mírně vlhká
60 až 120	vlhká
> 120	velmi vlhká

K dalšímu dělení se používá hodnot slunečního svitu, lednových teplot (> -3 °C mírná zima, -3 °C až -5 °C chladná zima, < -5 °C studená zima) a pro vyšší polohy i hodnoty nadmořské výšky. Takto získáváme 6 klimatických okrsků v teplé oblasti, 10 v oblasti mírně teplé a 3 v oblasti chladné.

Teplá oblast:	
I_z	
A1 < -20	dobré vyhřátí krajiny, časná sklizeň
A2 < -20	jižní Slovensko, sluneční svit nad hranicí 1500h./vegetační období
A3 -20 až 0	jižní Morava, západní Polabí
A4 -20 až 0	východní Polabí, okolí Vyškova
	pouze východní Slovensko, chladnější zima

A5	0 až 60	Písek, Litovel, Uherský Brod
A6	0 až 60	střední a východní Slovensko

Mírně teplá oblast:

Iz

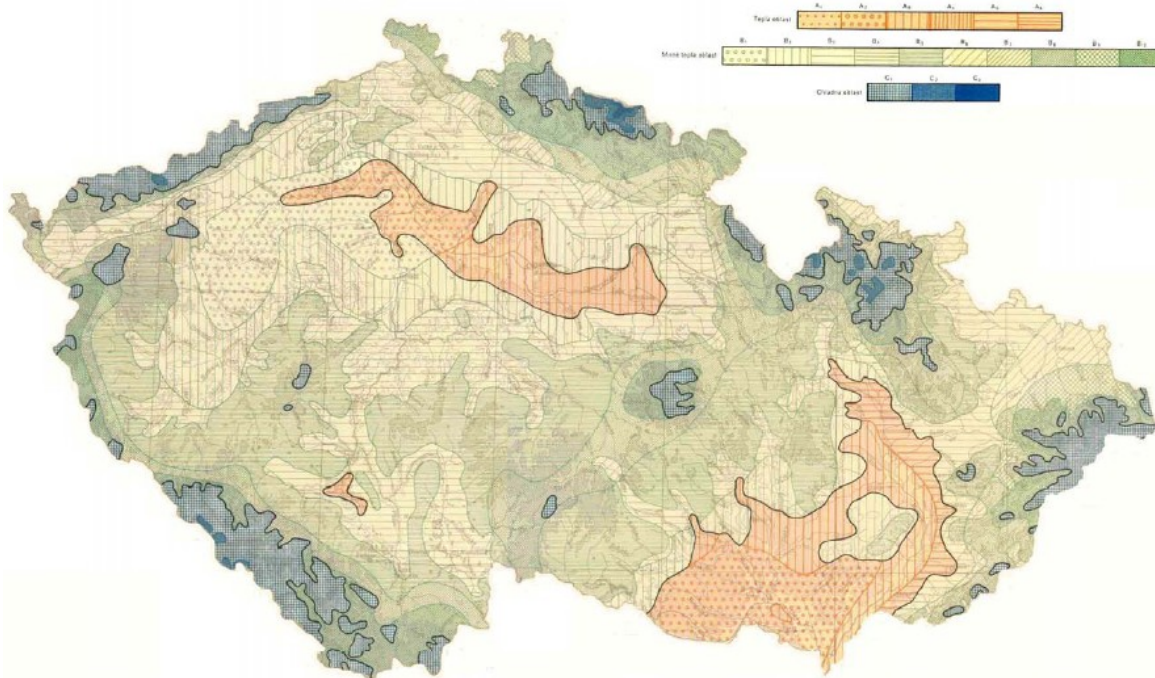
B1	< -20	Žatecko, suchá, mírná zima
B2	-20 až 0	okolí Prahy, Plzně
B3	0 až 60	severovýchodní Čechy, jihočeské pánve, Opavsko, do 500 m.n.m.
B4	0 až 60	jen na Slovensku, studená zima
B5	0 až 60	Vysočina, Český les, Brdy, Českokrumlovsko, nad 500 m.n.m.
B6	60 až 120	podhůří Beskyd, Lužických hor, do 500 m.n.m.
B7	60 až 120	jen na Slovensku, studená zima
B8	60 až 120	podhůří všech hor, vyšší partie Vysočiny, nad 500 m.n.m.
B9	> 120	návětrná strana hor, Beskydy, Frýdlantský výběžek, do 500 m.n.m.
B10	> 120	nad 500 m.n.m.

Chladná oblast: všechny vyšší horské polohy

červencová teplota (°C)

C1	12 až 15	ještě možné horské zemědělství
C2	10 až 12	existence souvislého lesa
C3	< 10	jen nejvyšší hřebeny Krkonoš, pásmo nad hranicí lesa, pásmo skal

Porovnáme-li mapu na obr. 4 a mapu v Atlase podnebí Česka, zjistíme spoustu rozdílů. Ty nejsou způsobeny jen rozdíly v metodice klasifikace, ale především rozdílným časovým obdobím, 1926 – 1950 na obr. 4 a 1961 – 2000 v atlase. Z rozdílů v klasifikaci zmíníme např. Hanou, střední Čechy, Tachovsko, Šumavu a nejvyšší partie Vysočiny.

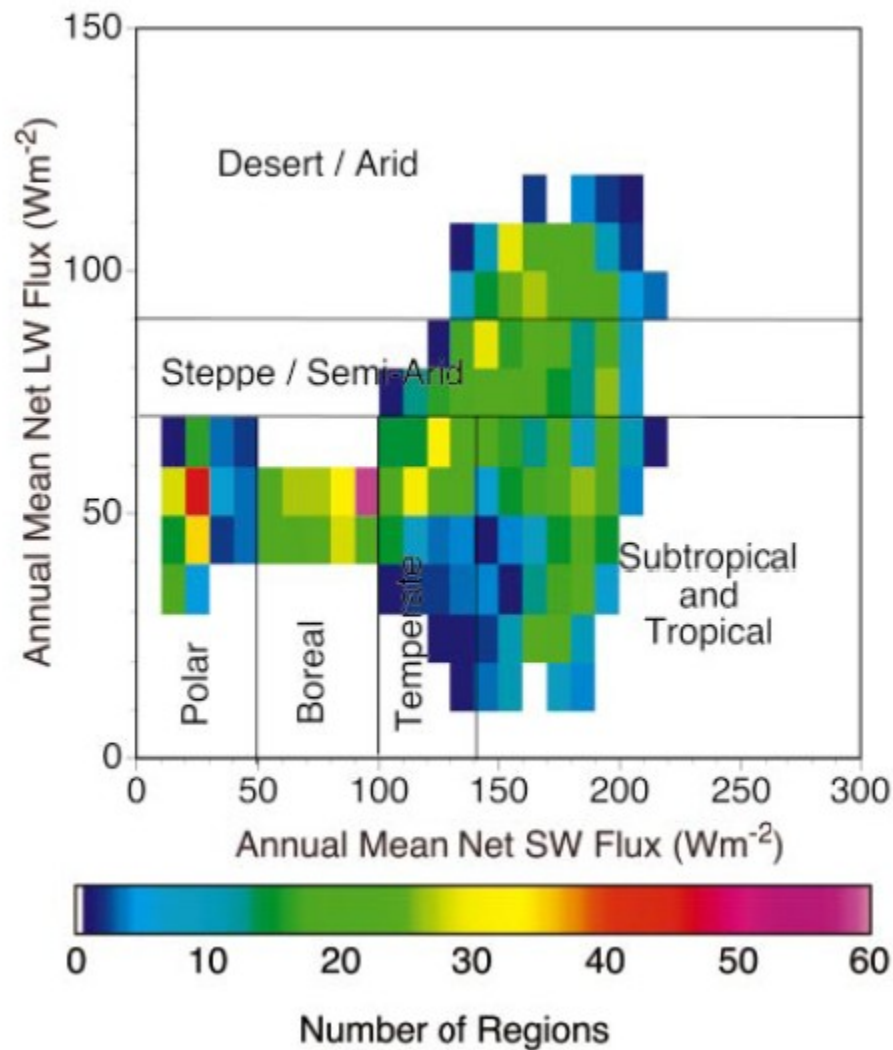


Obr. 4. Originální Končekova klasifikace (převzato z [9])

1.2. Jiné klasifikace

Zajímavou možností klasifikace klimatu je klasifikace na základě **toků dlouhovlnného a krátkovlnného záření**, jejich ročních chodů a amplitud. V [12] se používá Trewarthaova klasifikace, která stejně jako mnohé jiné vychází z Köppenovy klasifikace. Na obr. 5 vidíme základní rozdělení suchozemských regionů na základě celkového průměrného ročního toku dlouhovlnného a krátkovlnného záření.

Tato klasifikace je do budoucna velmi perspektivní i s ohledem na vzrůstající možnosti **družicové meteorologie**, která může kompenzovat nedostatky staniční sítě v některých suchozemských regionech a především v oblastech oceánů.

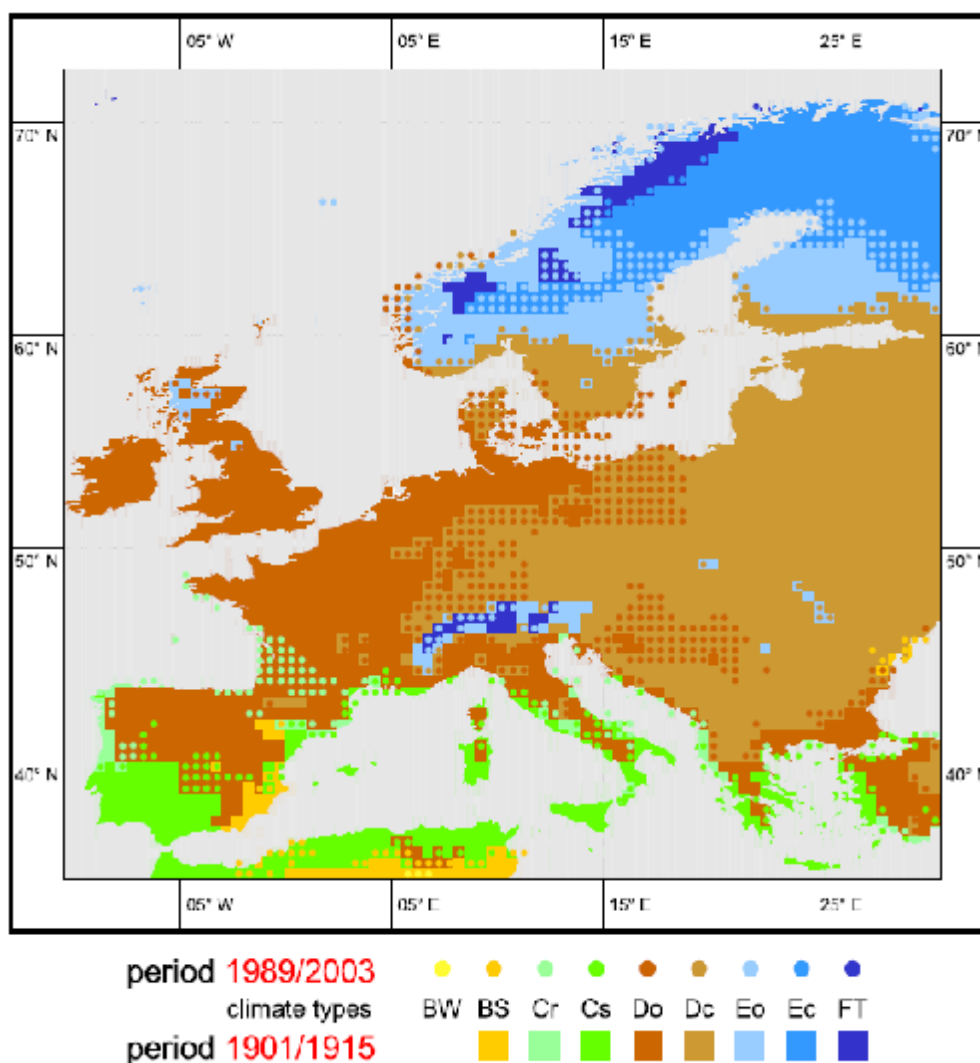


Obr. 5. Klasifikace klimatu světa na základě radiačních toků (převzato z [12]), na osách jsou vyneseny průměrné roční toky krátkovlnného a dlouhovlnného záření, barevná škála představuje počet takto klasifikovaných pevninských regionů

2. Příklady studií změn klimatu s použitím klimatické klasifikace

V této kapitole zmiňujeme několik článků, které k znázornění současných a budoucích změn klimatu využívají klimatické klasifikace, především varianty Köppenovy klasifikace.

2.1. Klimatická klasifikace Evropy a její změna v průběhu 20. století



Obr. 6. Köppenova klasifikace klimatu, 1901-1915 a její změna v letech 1989-2003 (převzato z [13])

Článek [13] zkoumá změny rozložení klimatických typů v Evropě. K tomu používá Köppenovu klasifikaci v poněkud jiné podobě než uvedeme v kapitole 4.2. Proto ji teď stručně uvedme.

BS	Step	podmínku neuvádíme
C		alespoň 8 měsíců > 10 °C
Cs	suché léto	zimní měsíc s nejvyšším úhrnem srážek má třikrát větší úhrn srážek než letní měsíc s nejnižším úhrnem, ten nejnižší letní má méně než 30 mm a $R < 890$ mm
Cr	stále vlhký	menší změny v extrémech než u Cs
D	mírný	alespoň 4-7 měsíců > 10 °C
Do	přímořský	nejchladnější měsíc > 0 °C
Dc	kontinentální	nejchladnější měsíc < 0 °C
E	boreální	alespoň 1-3 měsíců > 10 °C
Eo	přímořský	nejchladnější měsíc > -10 °C
Ec	kontinentální	nejchladnější měsíc < -10 °C
Ft	tundra	nejteplejší měsíc < 10 °C

V [13] se využívá pro období 1901-2003 data z Potsdam Institute for Climate Impact Research. Autoři nejdříve vybrali **15leté průměry** jako období, kdy přidání dalšího roku významně neovlivní výsledky. Poté zjistili rozložení klimatických typů v průběhu celého 20. století. Zjistili, že typy Do, Dc a obdobně Eo, Ec mají do určité míry **inverzní chování**. Např. typ Do dosáhl minima a typ Dc maxima ve 30. letech. Typ BS zvětšil svůj podíl od 50. let téměř na dvojnásobek. Typy Dc, Ec dosáhly minima a typy BS, Cr, Do, Eo maxima právě v posledních 15 letech.

Pokud spočítáme pro jednotlivé typy průměrnou roční teplotu a roční úhrn srážek ze všech uzlových bodů v letech 1901-1915, zjistíme, že v letech 1989-2003 jsou změny v klasifikaci uzlových bodů vždy k teplejší průměrné teplotě. V otázce srážek není situace tak jednoduchá.

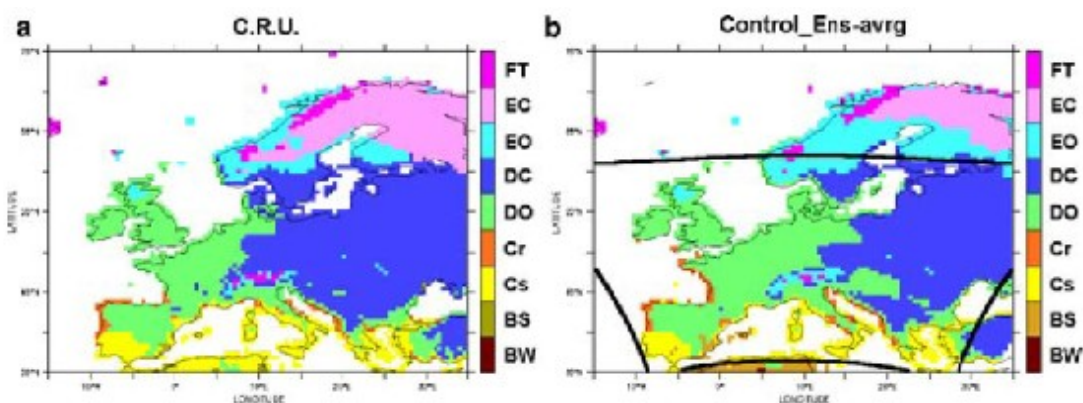
Celkově lze říci, že došlo hlavně k **zvýšení výskytu typů Do, Eo** (mírnější zimy) a také **Cs, Cr** (vyšší počet měsíců nad 10 °C). Více v [13].

2.2. Použití klimatické klasifikace pro odhad změn klimatu v Evropě v 21. století

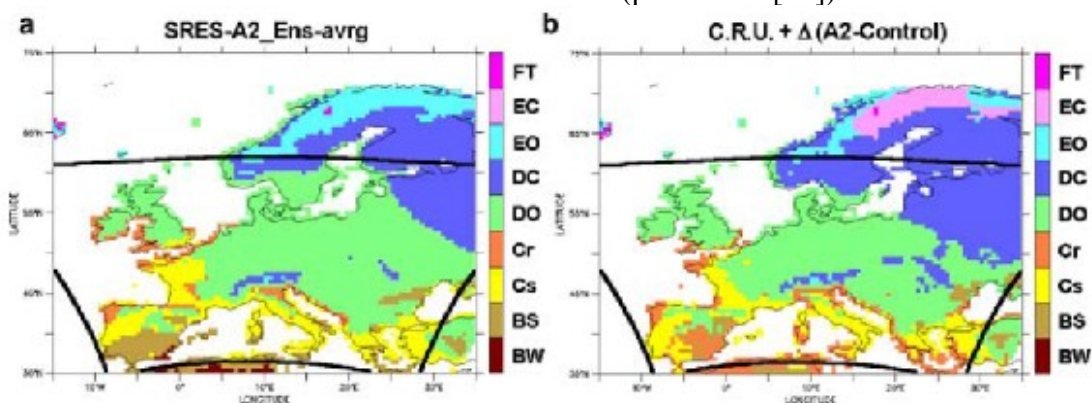
Možností změn klimatu s použitím výsledků 9 regionálních klimatických modelů se zabývá [14].

Důvodem použití Köppenovy klasifikace je dle [14] její jednoduchý vztah mezi vegetací a meteorologickými prvky. Použitá klasifikace je stejná jako v kapitole 2.1. Rozložení typů podle CRU klimatologie, obr. 7a, dobře souhlasí s rozložením na obr. 6

V projektu **PRUDENCE** bylo použito 9 regionálních klimatických modelů se společným horizontálním rozlišením 50 km. Všechny modely byly hydrostatické a používaly konečné diference, ale jinak používaly odlišná numerická schémata. Všechny běžely pod stejným globálním klimatickým modelem. Jako emisní scénář byl použit scénář A2.



Obr. 7. Klasifikace klimatu 1961-1990: a) podle CRU klimatologie, b) ensemble z kontrolních běhů 9 RCM (převzato z [14])



Obr. 8. Klasifikace klimatu 2071-2100: a) ensemble 9 RCM, b) průměr změn 9 RCM (převzato z [14])

Rozdíly mezi RCM a CRU lze dle [14] vysvětlit několika důvody. Předně modelové klima je pouze přiblížením pozorovaného vzhledem k modelovým zjednodušením, ať už v RCM nebo v řídicím AGCM. Dále i “perfektní” AGCM nevyprodukuje přesně pozorované klima vzhledem k přirozené klimatické variabilitě. Nakonec i přesnost CRU klimatologie prostorově kolísá především kvůli nestejnému rozdělení pozorování.

V [14] můžeme nahlédnout do podrobného vyhodnocení matic výskytu všech 9 RCM oproti CRU. Nejlépe si vede **ensemble** průměr, který je zobrazen na obr. 7b. Důvod proč tomu tak je není podle [14] zřejmý. Klasifikace je nelineární proces a proto nelze jednoduše použít průměr ze všech RCM. Souhlas mezi ensemble a CRU je spíše způsoben vyšší spolehlivostí simulací odvozených pomocí ensemble v porovnání s každým jednotlivým modelem vzhledem k vnitřní variabilitě a specifickým chybám jednotlivých modelů. To je důvodem, proč ensemble dává důvěryhodnější projekce klimatické změny a možných důsledků pro pozemské ekosystémy.

Klimatickou klasifikaci Evropy pro období **2071-2100** vidíme na obr. 8. Největší změnu vidíme v rozšíření typu Do na úkor typu Dc. Jako **potenciálně nejcitlivější** lze podle [14] brát ty oblasti, kde dojde k posunu o dva a více typů. Jedná se o oblasti, kde můžeme čekat největší změny ve vegetaci. Na obr. 7 a obr. 8 vidíme, že se jedná především o oblasti Pyrenejského poloostrova, Francie, ústí Dunaje a celé Skandinávie.

Při **studování důsledků klimatických změn** je potřeba mít podle [14] na paměti: 1.) existuje nejistota ohledně simulací budoucího klimatu, 2.) vztah mezi vegetací a klimatem nemusí být v budoucnu stejný, jako je za současných podmínek, 3.) zpětná vazba rozložení vegetace na charakteristiku povrchu v modelech je zanedbávána, 4.) schéma vegetace-klima obsahuje pouze několik dělení, které může stěží reprezentovat skutečnou rozmanitost vegetace.

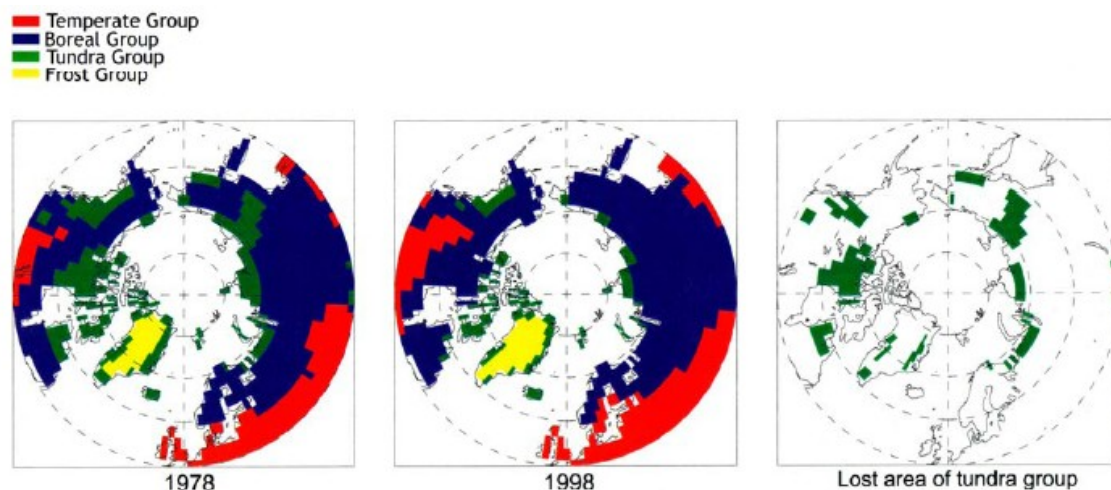
2.3. Změna klimatu v Arktidě

Jednou z nejcitlivějších oblastí na světě vzhledem ke klimatickým změnám je Arktida a právě zde se dají očekávat největší nárůsty teplot v tomto století. [15] zkoumá změny rozložení klimatických typů v Arktidě ve 20. století. Na pomoc si článek bere Köppenovu klasifikaci ve stejné podobě jako v předchozí kapitole, přidává jen typ:

Fi trvale zmrzlá oblast nejteplejší měsíc $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Práce využívá dat družicové meteorologie a s pomocí různých spektrálních kanálů vypočtených indexů, které silně korelují se stavem vegetace.

Na základě výstupů z NCEP reanalýz vyplývá, že maxima a minima rozšíření dosáhla tundra v letech 1978 a 1998 – viz obr. 9



Obr. 9. Klimatická klasifikace založená na NCEP reanalýzách, červená reprezentuje mírné klima, modrá boreální, zelená tundru a žlutá trvale zmrzlá území, obrázek vpravo představuje změnu výskytu tundry mezi lety 1978 a 1998 (převzato z [15])

[15] prezentuje změny v rozšíření klimatických typů severně od 50.st. s. š. ve 20. století na základě CRU klimatologie a NCEP reanalýz. Jednou z nejvýraznějších změn je soustavné **zmenšování podílu tundry** v posledních 25 letech. To lze podle [15] dát do souvislosti s pozorováním zvýšeného výskytu křovin, např. na Aljašce, v posledních desetiletích.

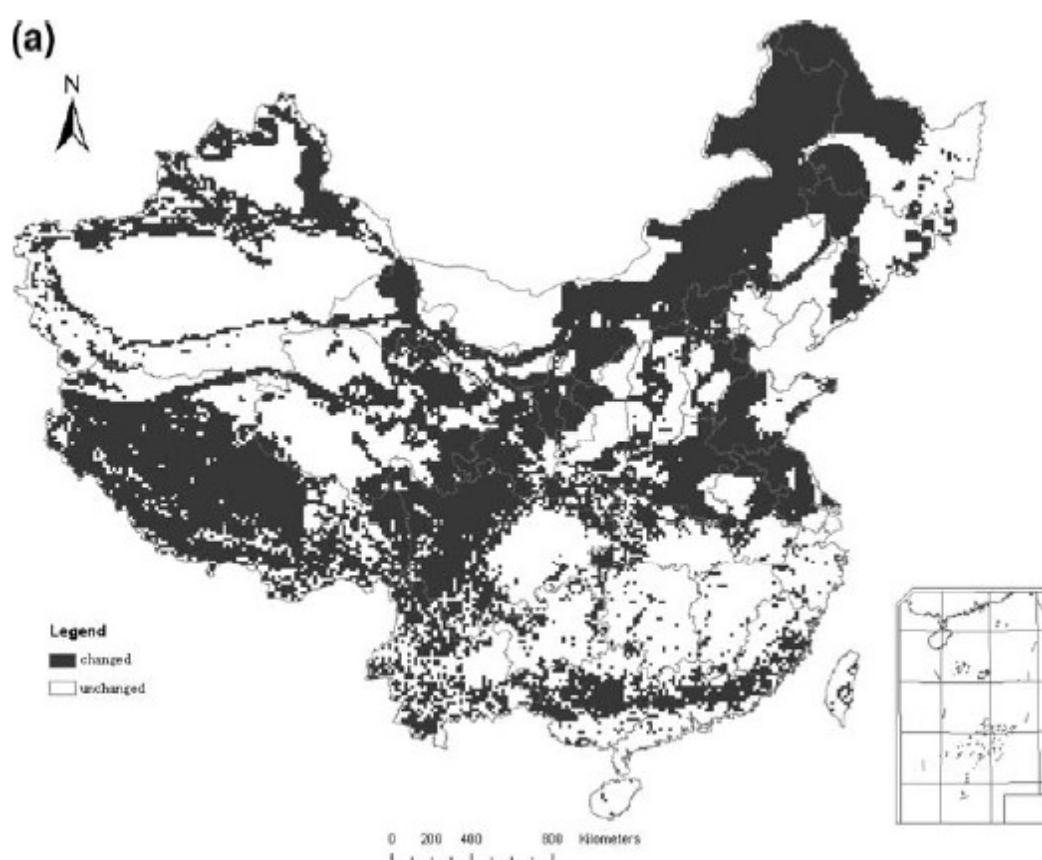
Naproti tomu např. podíl trvale zmrzlé půdy má posledních 50 let setrvalou tendenci. Na obr. 9 vidíme, že v roce 1998 bylo více trvale zmrzlého území než v roce 1978.

Při rozebírání změn v posledních 100 letech odděleně na Sibiři, v severní Evropě, na severovýchodě a na severozápadě Severní Ameriky docházíme k různým trendům v různých časových obdobích.

Změny v celé Arktidě a přilehlých oblastech jsou v článku podpořeny změnami indexu NDVI z družicové meteorologie, jehož hodnota významně **koreluje s výskytem a stavem vegetace**. Více v [15].

2.4. Změny ve výskytu vegetace v Číně

Jako příklad studie zaměřené na dopad změn klimatu ve výskytu vegetace můžeme uvést [16].



Obr. 10. Zabarvené plochy představují oblasti se změněným typem vegetace, simulace klimatických změn, emisní scénář A2 (převzato z [16])

[16] využívá biogeografický model BIOME1 a regionální klimatický model RegCM2/CN. Klasifikace vegetace je založena na několika základních klimatických veličinách. Simulace budoucího klimatu je vztažena k třicetiletí 2071-2100 a používá emisních scénářů A2 a B2. Největší zvýšení teploty (až o 6 °C) a úhrnu srážek (+15%) se očekává na **Tibetské plošině** a v **severovýchodní Číně**. To jsou právě oblasti, kde můžeme čekat nejdramatičtější změny ve vegetačním pokryvu.

Tibetská tundra se bude podle [16] měnit v travnaté a křovinaté oblasti na západě a v chladný opadavý les na východě. K severu se posune hranice tropického lesa (jih Číny) a “subtropického” lesa (střední Čína). Teplé **travnaté a křovinaté oblasti** zaznamenají trojnásobný nárůst rozlohy oproti současnosti (především vnější Mongolsko).

Otázkou zůstává, jak změny ve vegetačním pokryvu zpětně působí na klima.

2.5. Green planet versus desert world

Zajímavým příspěvkem k zjištění maximálního **možného vlivu vegetace na klima** je článek [17]. V práci se nejdříve zadefinuje veškerá souš (kromě trvale zaledněné) jednou jako **tropický deštný les** a podruhé jako **poušť**. Poté se nechá globální klimatický model ECHAM 4 integrovat až do předpokládaného ustálení. Rozdíl v parametrech mezi deštným lesem a pouští je především v albedu a v schopnosti půdy absorbovat srážky, dále v indexu drsnosti (turbulentní toky), indexu plochy listů (evapotranspirace), indexu podílu lesa (odražená radiace od sněhu) a v dalších parametrech.

Práce uvádí rozdíly mezi oběma “světy” (srážky, odtok, tok zjevného tepla, pokrytí oblačností,...). K posouzení výskytu vegetace používá práce Köppenovu klasifikaci v téměř totožné podobě jako uvádíme v kapitole 4.2.

Climatic type	Green planet	Desert world
A: tropical	19.4%	18.1%
B: arid/dry	9.1%	28.2%
C: temperate	29.4%	12.2%
D: cold/snow	23.5%	27.3%
E: ice	18.5%	14.2%

Tab. 2. Klimatická klasifikace, základní typy (převzato z [17])

V tab. 2 vidíme, že největší **rozdíly se týkají typů B a C**. Nejcitlivější oblasti jsou podle [17] Afrika, jižní a střední Asie a Austrálie. Tato práce má i svoje limity. Nejspíše přeceňuje nebo podceňuje některé efekty, dále např. vůbec neuvažuje odezvu oceánů na klimatické změny. Podle [17] je zajímavou možností, že zpětná vazba oceánů a mořského ledu by nakonec způsobila termostatický efekt, chladnější tropy a teplejší Arktidu.

3. Klimatická změna

V roce 2007 byla vydána **čtvrtá hodnotící zpráva** Mezivládního panelu ke klimatické změně (IPCC). V následujících odstavcích vycházíme z českého souhrnu [18].

Zpráva konstatuje, že roční **emise oxidu uhličitého, metanu a oxidu dusného** se neustále zvyšují. V posledních letech došlo k významnému zpřesnění odhadů vlivu jednotlivých látek na oteplování či ochlazování klimatického systému. Podle IPCC je **oteplování Země** zcela evidentní a nezpochybitelné.

Zvýšená urbanizace se podílí na růstu teplot jen lokálně, z globálního hlediska je stále zanedbatelná. Zvyšuje se vodní obsah v atmosféře. Většinu přidaného tepla do systému absorbuje oceán. V některých částech světa dochází k statisticky významným změnám ve srážkových režimech. V posledních desetiletích se výrazně mění i rozložení extrémních teplot. Zatím nebyla prokázána tendence zvyšování počtu tropických cyklon ani jiné statisticky významné trendy projevů extrémního počasí (tornáda, krupobití, blesky nebo písečné bouře).

Zpráva zdůvodňuje, proč je dnes již velmi pravděpodobné, že skleníkové plyny antropogenního původu jsou hlavním hybatelem nárůstu průměrné globální teploty.

V posledních letech se zvyšuje množství provedených modelových simulací a tím se zpřesňuje stanovení očekávaného oteplení. K modelování změn se standardně používají **emisní scénáře SRES** (skupiny scénářů A1, A2, B1, B2). Odhad nárůstu globální teploty na konci 21. století se pohybuje mezi **2 - 3°C**, u varianty s nejpesimističtějšími emisemi dokonce 4 °C. S tím souvisí odhad zvýšení hladin oceánů, zvýšení kyselosti a snížení pH oceánů, změny rozsahu a výšky sněhové pokrývky, tání permafrostu, změny v četnosti a síle extrémních povětrnostních situací. Je pravděpodobné, že bude docházet k oslabování atlantické meridionální cirkulace.

Zpráva IPCC konstatuje, že nelze odvodit žádné kvantitativní stanovení podílu člověka na globálním oteplování a následné klimatické změně. Podíl člověka existuje, je významný a nelze jej podceňovat.

3.1. Klimatické modely

Tato kapitola čerpá především z [6].

Klimatické modely jsou základním zdrojem informací pro konstrukci scénáře změny klimatu. **Globální klimatické modely** mají tři základní složky: model atmosféry, oceánu a kryosféry. Několik desítek až stovek let trvající modelová simulace v tzv. kvazistacionárním stavu, bez vnějšího silového působení na klimatický systém, představuje tzv. **kontrolní běh** modelu. Experimenty s postupnou změnou koncentrací skleníkových plynů se nejprve drží pozorovaného nárůstu (tzv. **historický běh**), poté se řídí určitým scénářem růstu emisí a koncentrací. Nejistoty modelových výstupů, spojené s citlivostí klimatických modelů na počáteční podmínky, můžeme z části kvantifikovat pomocí tzv. skupinových (ensemble) integrací. Při nich modely startují z různých počátečních podmínek, z různých úseků kontrolního běhu modelu.

Pro studie odhadu dopadů změny klimatu v měřítku menších regionů je horizontální **rozlišení GCM nedostatečné**. Je možné použít globální model s nerovnoměrným rozlišením, regionální model na omezené oblasti s vysokou rozlišovací schopností nebo

např. tzv. statistický downscaling, kdy hledáme přenosovou funkci mezi velkorozměrnými poli – prediktory a lokálními charakteristikami klimatu – prediktandy.

Využitelnost GCM pro odhady dopadů klimatické změny je limitována prostorovým rozlišením, obtížností rozlišit antropogenní signál od šumu způsobeného přirozenou vnitřní variabilitou modelu a různou klimatickou citlivostí GCM. Experimenty s GCM jsou finančně náročné a proto vycházejí z omezeného počtu variant budoucího vývoje emisí. Dalším zdrojem nejistot v klimatických scénářích je časové rozlišení.

Více o konkrétních způsobech statistického downscalingu v [19].

Při vybírání vhodných GCM pro scénáře změny klimatu zjistíme, že model, který zachycuje nejlépe např. teplotu vzduchu, nemusí být nejlepší v posuzování srážek či jiného klimatického prvku.

3.2. Odhady dopadů klimatické změny pro Českou republiku

Tato kapitola čerpá především z [6].

Po vybrání vhodných globálních resp. regionálních modelů a reprezentativních emisních scénářů můžeme modelová data využít pro odhad dopadů změn klimatu na vodní zdroje, lesní hospodářství, zemědělství a na zdraví obyvatel České republiky.

Uvedme dle [6] některé obecné rysy změn, jež můžeme čekat v průběhu 21. století na základě GCM HadCM2 a ECHAM4 a krajních emisních scénářů A2 a B1.

Dopady na vodní zdroje:

Zvýší se teplota a potenciální evapotranspirace, sníží se relativní vlhkost vzduchu. Zvýšením výparu (především v zimě) bude docházet v jarních měsících ke **snížení dotace podzemních vod**. Velmi podstatný bude pokles sněhové zásoby. Bude docházet ke zmenšení jarního přímého odtoku z tání a zároveň ke zmenšení celkového odtoku. Nastanou poklesy průtoků a změny ročního chodu průměrných měsíčních průtoků. Největší relativní poklesy průtoků nastanou v září. Je pravděpodobná větší četnost povodní během zimy.

Režimové křivky vodních nádrží potvrzují **nepříznivý vliv** klimatické změny **na zásobní funkci nádrží**.

Zvýšení teploty vody povede k snížení délky až zrušení období s ledovou pokrývkou na nádržích. Bude omezena zimní stratifikace nádrží (charakteristická pro nádrže mírného pásu) s inverzním průběhem teplot. **Poklesne koncentrace kyslíku ve vodě**. Kyslík chybějící pro biochemické pochody v nádržích v době stratifikace povede k prodloužení období anoxie se všemi negativními důsledky (přestup živin a těžkých kovů ze sedimentu do vody). Rozvoj fytoplanktonu povede z vodárenského hlediska k nežádoucím efektům (toxicita, pachy a příchutě upravené pitné vody). Zvýšení teploty povede k vyšší produkci a rozpadu organické hmoty a tím k dalším nárokům na množství kyslíku.

Při povodních bude docházet k splachům z ploch v povodí. **Zvýšení akumulace škodlivin v biomase** organismů bude následkem zrychlení metabolismu v důsledku zvýšení teploty vody. Naopak některým bakteriím se sníží doba přežívání. Již dnes je často problematické dodržet přípustný limit počtu mrtvých organismů fytoplanktonu v surové i pitné vodě. Zvýšení teploty podporuje rozvoj vodních květů sinic. Podíl

kaprovitých vod se zvýší na úkor vod pstruhových.

Povodí, v kterých jsou významné akumulární prostory, v podobě zásob podzemní vody nebo přehradních nádrží, jsou odolnější k důsledkům klimatické změny.

Dopady na lesy:

Genetická variabilita převážně většiny evropských hospodářských dřevin je širší než očekávaná změna klimatu. Některé dřeviny jsou však pěstovány na hranici své tolerance (zejména smrk), a proto může mít významné následky i relativně malá změna stanovištních podmínek. Z hlediska růstových podmínek dřevin mají velký význam i extrémní výkyvy klimatu. V současné době jsou lesy ČR klasifikovány do jednotlivých lesních vegetačních stupňů LVS (v ČR 9 stupňů). Pro budoucí situaci je lepší zavést pojem **vegetační potenciál stanoviště VPS**. VPS přisoudíme kritéria podle LVS. Vlivem zvýšené teploty dojde v budoucnu k posunu o dva i více VPS. Posun VPS vlivem srážek je téměř nulový. Posun vlivem změny délky vegetační sezóny a změnou Langova dešťového faktoru je kompromisem mezi vlivem srážek a vlivem teploty. Ve vyšších nadmořských výškách, tedy ve vyšších stupních VPS je **limitujícím faktorem** teplota, srážek je relativní dostatek. V nižších polohách jsou naopak limitujícím faktorem srážky.

Zvýšená koncentrace CO₂ pozitivně stimuluje fotosyntézu. Podzemní biomasa zvyšuje svůj podíl, dřevina investuje do kořenového systému. Zvyšuje se tolerance ke stresu deficitem vody. Dochází ke zrychlení individuálního vývoje. Vliv zvýšené koncentrace CO₂ na lesní porosty je velmi významný.

Není prokázána reakce půdy na změnu koncentrace CO₂. Stabilita lesních ekosystémů je podmíněna faktory abiotickými a biotickými. Z hlediska minerální bohatosti půd lze zjednodušeně predikovat, že úrodné půdy budou ještě úrodnější a neúrodné ještě neúrodnější. **Nástup suchých period** může mít u ekonomicky důležitých dřevin výrazný negativní dopad. Je nutno říci, že lesy České republiky nelze považovat za klimaticky ohrožené, dopady však budou v jednotlivých regionech až diametrálně odlišné. Lze očekávat sníženou zásobu půdní vody, adaptaci nových škodlivých druhů a zvýšenou patogenicitu již etablovaných druhů.

Smrk je pravděpodobně nejméně stabilní dřevina, rozšířená až na okraj svého ekologického optima. Smrky ve 3. a 4. LVS budou destabilizovány kořenovými hnilobami. Smrky ve vyšších polohách mohou citlivě reagovat např. na přísušky koncem léta nebo na oteplení v předjaří. Mokrý sníh může rozlámat porosty a zvýšit riziko houbových infekcí.

Perspektivní dřevinou pro skladbu ekologicky stabilních lesů je **jedle**. Její současné zastoupení (1%) neodpovídá zastoupení v 18. století (až 40%).

V souvislosti s klimatickými změnami lze u všech lesních dřevin (smrk, borovice, jedle, douglaska, modřín, dub, buk, topoly, bělové listnáče) očekávat **aktivizaci nových chorob a škůdců** a gradaci stávajících. V současnosti zakládání porosty už budou dospívat v období kulminace klimatické změny, to je potřeba při jejich zakládání zohlednit.

Dopady na zemědělství:

Průběh počasí v daném ročníku v rozhodující míře ovlivňuje výnosy, kvalitu i zdravotní stav porostů pěstovaných plodin. **Nepravidelný výskyt srážek** vyvolává v některých letech podmínky velmi vlhké, jindy způsobují delší bezesrážková období sucho. Dojde k nárůstu počtu letních a tropických dnů a k poklesu počtu dnů mrazových a

ledových. Počet těchto dnů můžeme nahlédnout v [20]. [20] zkoumá především vliv výběru RCM, příslušného řídicího GCM a emisního scénáře na simulace budoucího klimatu v ČR právě prostřednictvím změny těchto teplotních charakteristik.

V případě předpokládaného oteplování je třeba čekat nárůst suchých období. Vegetační období se prodlouží s rizikem překročení fyziologicky únosných hodnot (teplotní stres). Očekává se **nárůst potenciální evapotranspirace** a vláhového deficitu ve vegetačním období a zvýšení aridity zemědělských oblastí.

Lze očekávat urychlení dosažení teplotních sum pro jednotlivé plodiny. Výrazným **zkrácením optimální doby vegetace** může dojít ke zkrácení jednotlivých fenologických fází a k **depresi výnosů**. Základním adaptačním opatřením v rostlinné výrobě budou vzhledem k zvýšení evapotranspirace a počtu period sucha vodou šetřící technologie, jako např. bezorebná kultivace půdy. Problémy lze čekat s rozšířením nových chorob a škůdců.

Atmosférický oxid uhličitý je pro rostliny jediným zdrojem uhlíku a jeho současná koncentrace je suboptimální. V budoucnu se nejspíše zkrátí doba vegetace (interval od data setí do fyziologické zralosti). Bez zahrnutí stimulačního vlivu zvýšení hodnot CO₂ by došlo k poklesu výnosů. **Při zahrnutí stimulačního vlivu dojde k vzrůstu výnosů**. Odhady jsou různé pro lokality z různých oblastí (kukuřičné, řepašské, obilnářské, bramborářské, píceňářské).

Např. Rusko by se mohlo stát na konci 21. století největším světovým producentem potravin. Očekává se, že Česká republika nebude z pohledu pěstování např. pšenice ozimé ohrožena očekávanou změnou klimatu díky své geografické poloze. Otázkou zůstává vliv chorob a škůdců a také vliv proklamovaného nárůstu extrémních meteorologických jevů, který může rozevřít hodnoty výnosů do pozoruhodné amplitudy.

Dopady na lidské zdraví:

Zvýší se **četnost horkých letních vln** a s tím spojená úmrtnost. Možné zvýšení frekvence a intenzity extrémních jevů počasí se projeví mnoha nepříznivými účinky. Následky povodní jako např. kontaminace vod a půdy, zvýšený stres, výskyt leptospirózy, případně jiných infekčních onemocnění, představují závažnou socioekonomickou zátěž.

Vysoké **koncentrace znečišťujících látek** jako ozón a oxid dusičitý vyvolávají vážné zdravotní problémy již dnes. Nepříznivý vliv na zvýšení koncentrací látek by mělo zvýšení četností anticyklonálních situací v létě.

Čeká se zvýšení počtu případů Lymeské nemoci a naopak úbytek ohnisek klíšťové encefalitidy. Zvýší se výskyt nemocí přenášovaných hlodavci. Hlavním příznivým efektem změny klimatu bude **snížení počtu zimních úmrtí**.

V současné době dochází k téměř **“epidemickému” výskytu alergických onemocnění** v populaci, který nelze vysvětlit pouze geneticky. Jako rozhodující faktory tohoto nárůstu se jeví změna životního stylu, vliv venkovního a vnitřního prostředí, expozice novým alergenům a v neposlední řadě vliv působení oxidů dusíku, polyaromatických uhlovodíků a dalších lidmi produkovaných látek.

V budoucnu lze očekávat velký nárůst agresivního pylu ambrózie. Množství pylových zrn bylin, travin a spór plísní v ovzduší dobře koreluje s maximální, průměrnou resp. minimální teplotou vzduchu daný den. Množství pylů dřevin je nejvíce ovlivňováno denní relativní vlhkostí, čím nižší, tím vyšší je počet pylových zrn dřevin.

Celkově je možno očekávat prodloužení pylové sezóny, **zvýšení produkce pylů** některých bylin a travin, reakce pylových zrn se znečišťujícími látkami v ovzduší, např. s ozónem. Problémem může být rozšíření např. ambrózie, na níž je citlivá i neotopická část populace.

4. Použité klimatické modely a klimatické klasifikace

V současné době lze pro ČR použít dva regionální klimatické modely s jemným rozlišením. Model ALADIN-Climate běžel na ČHMÚ s krokem **9 km** a model RegCM3 běží na KMOP MFF s krokem **10km**. K dispozici jsme měli kontrolní běhy **1961-1990** a simulované běhy **2021-2050**. Bohužel data pro vzdálenější budoucnost 2071-2100 ještě nebyla k dispozici ani pro jeden z modelů. U obou modelů byl použit **emisní scénář A1B**. Scénář A1 předpokládá rychlý ekonomický růst a postupné snižování regionálních rozdílů. Podtyp B znamená rovnoměrné rozložení energetického mixu fosilních a nefosilních paliv. Tento scénář očekává po zvyšování emisí v 1. pol. 21. století mírný pokles v 2. pol. První pokusy provozování RCM v ČR jsou zmíněny v kapitole 4.1.

4.1. Regionální klimatické modely

[21] pojednává o schopnosti **RegCM3** zachytit klimatické extrémny. Model běžel pro roky 1961- 2000 s horizontálním rozlišením **45 km** a jako hraniční podmínky byly brány NCEP/NCAR reanalýzy. Porovnání se staniční sítí ukazuje dobrou shodu v četnosti a výši srážkových úhrnů. Jako možné nedostatky byly shledány příliš hrubé rozlišení, parametrizace konvekce, podhodnocování denních maximálních teplot a tedy také podhodnocování počtu horkých vln. Denní minimální teploty a chladné vlny jsou modelem zachyceny poměrně dobře.

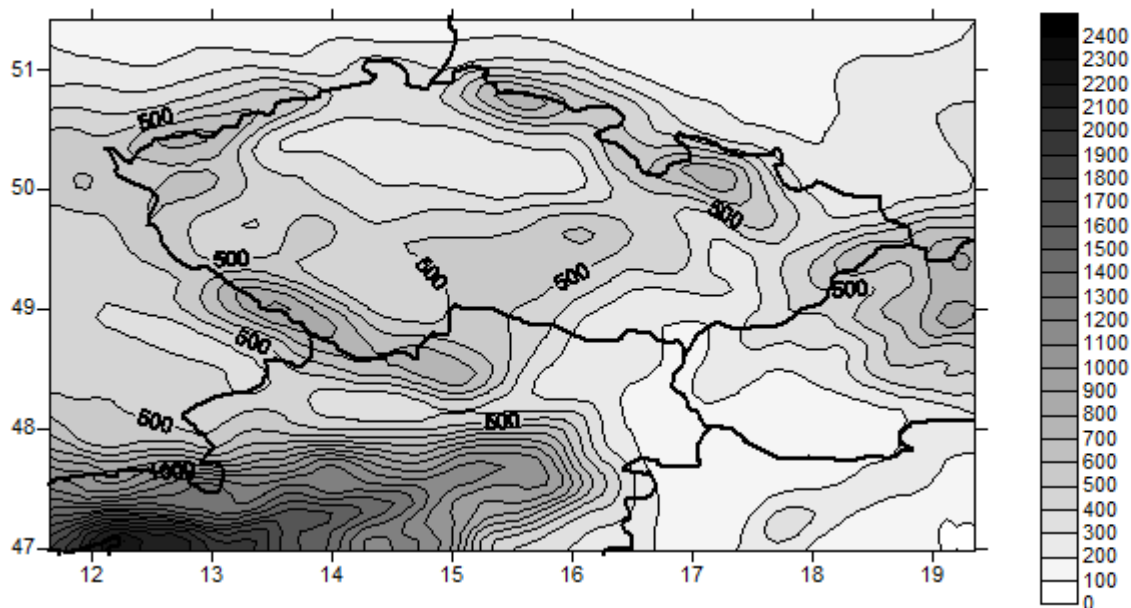
Při **porovnání** srážkových úhrnů stanic a jejich nejbližších uzlových bodů zjišťujeme, že model nadhodnocuje nízké úhrny srážek a podhodnocuje vysoké. Shodných četností úhrnu srážek mezi modelem a pozorováním se dosahuje přibližně při srážkovém úhrnu 5 mm za den. Výjimkou jsou především horské stanice v létě.

Všechny uvedené nedostatky včetně vlivu složité orografie ve skutečném terénu způsobují podhodnocení vysokých úhrnů srážek v horských oblastech. Problém podhodnocení denní maximální teploty je nejspíše způsoben použitím 3 hodinových výstupů z modelu. Více v [21].

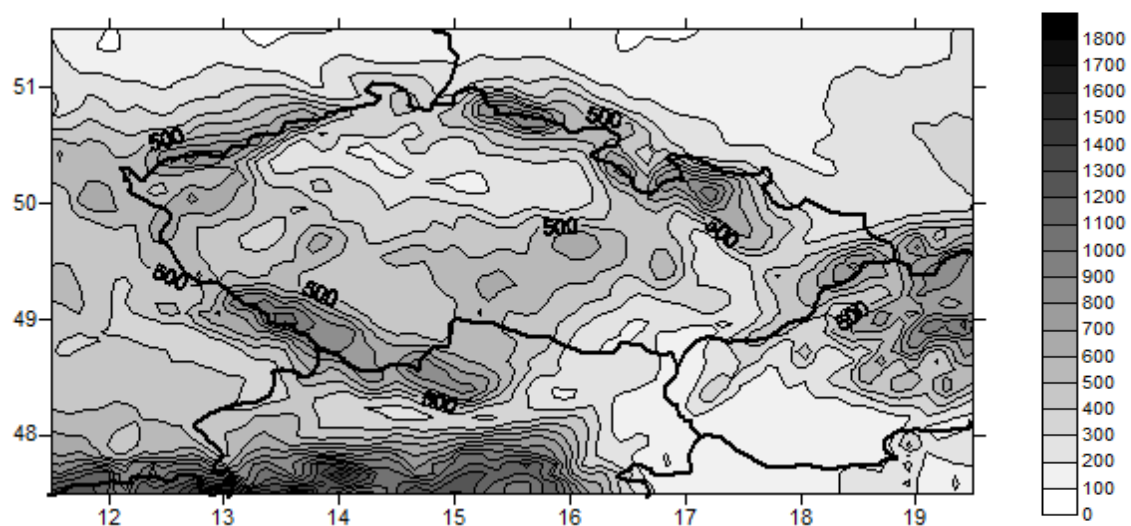
Regionální model má fungovat jako “dynamický interpolátor”, nejen interpolovat z řídké sítě řídicího globálního modelu do své husté sítě, ale i vytvářet své vlastní cirkulace menších měřítek, vyvolané např. lokální orografií, které globální model není schopen zachytit. Jedním z prvních českých regionálních klimatických modelů je **ALADIN-Climate**, který je založen na numerickém předpovědním modelu na omezené oblasti ALADIN. ALADIN je plně trojrozměrný baroklinní spektrální model. Vývoj RCM spočívá v úpravách operační verze předpovědního modelu. Je potřeba upravit numerický kód pro **možnost dlouhodobé integrace**, optimalizovat fyzikální parametrizaci s důrazem na léto a zimu a optimalizovat geometrické faktory. Po prvních pokusných integracích se podle [22] ukázalo, že model je schopen podstoupit dlouhé integrace bez náznaků systematického posunu klimatu nebo instability řešení. Jeden z nedostatků prvních integrací byla kladná systematická chyba srážek způsobená nejspíše vysokou relativní vlhkostí ve spodní troposféře v modelu. Více k závěrům prvních integrací ALADIN-Climate v [22]. Celkově lze říci, že v průběhu integrace se neakumulovaly nadměrné chyby, model dobře přizpůsoboval velkorozměrná pole cirkulace řídicímu modelu a díky

orografii a velkému rozlišení se objevily v některých gridových bodech specifické teplotní a srážkové poměry.

Schopnostmi RCM ALADIN se zabývá i [23]. Jako vstupní data se zde používá reanalýza ERA 40 Evropského centra pro střednědobou předpověď. Práce zkoumá schopnosti modelovat především teplotu a srážky v jednotlivých ročních obdobích jak v rámci celé integrační oblasti (Evropa) tak ve vysokém rozlišení na území České republiky. I přes určité nedostatky je podle [23] ALADIN v klimatickém módu schopen podat dostatečně kvalitní výsledky v režimu dlouhodobé integrace.



Obr. 11. Výška modelového terénu, model RegCM3, krok 10 km



Obr. 12. Výška modelového terénu, model ALADIN, krok 9 km

U modelu RegCM3 jsou nejvyšší gridové body na Šumavě a mají přes 900 m.n.m. U ALADINU má část Šumavy přes 1000 m.n.m. a část Polabí pod 200 m.n.m.

4.2. Použité klimatické klasifikace

Použití klimatických klasifikací je jednou z možností komplexního posouzení klimatických změn. I přes jemné horizontální rozlišení použitých modelů a schopnosti dobře modelovat stále více meteorologických veličin je nutno některé klasifikace zjednodušit. Potom budeme moci klimatické změny i snáze interpretovat.

Uvádíme použitou verzi **Köppenovy klasifikace**, která se drží [24]. **R** je roční úhrn srážek a **T** je průměrná roční teplota. Úhrny jsou v **cm** a teploty ve **stupních Celsia**.

Typ A

Všechny průměrné měsíční teploty $> 18\text{ °C}$ a $R >$ než pro typ B.

Af srážky všech měsíců $> 6\text{ cm}$

Am nejsušší měsíc $>$ 6 4 2 0
Potřebné R pro kompenzaci 100 150 200 250

Aw suché měsíce nekompenzovány podle Am

Typ B

BS

$T + 14 \leq R < 2T + 28$ pro letní srážky

$T + 7 \leq R < 2T + 14$ pro rovnoměrný chod srážek

$T \leq R < 2T$ pro zimní srážky

BW

$R < T + 14$ pro letní srážky

$R < T + 7$ pro rovnoměrný chod srážek

$R < T$ pro zimní srážky

Zde bereme léto a zimu jako půlroky. Rovnoměrný chod srážek znamená, že v obou pololetích spadne 30–70% celoročních srážek.

Typ C

Měsíční průměr nejchladnějšího měsíce mezi -3 °C a 18 °C , $R >$ než pro typ B

Cs zimní měsíc s největšími srážkami jich má 3 krát více než letní s nejmenšími

Cw letní měsíc s největšími srážkami jich má 10 krát více než zimní s nejmenšími

Zde na rozdíl od typu B bereme léto čistě jako červen, červenec a srpen a zimu jako prosinec, leden a únor.

Cf žádné vyznačené období sucha

Cfa nejteplejší měsíc $> 22\text{ °C}$

Cfb nejteplejší měsíc $< 22\text{ °C}$, ale alespoň 4 měsíce $> 10\text{ °C}$

Cfc pouze 1 – 4 měsíce $> 10\text{ °C}$ a nejchladnější $> -38\text{ °C}$

Typ D

Nejteplejší měsíc $> 10\text{ °C}$, nejchladnější měsíc $< -3\text{ °C}$ a $R >$ než pro typ B

Dw **Dwa** **Dwb** **Dwc**

Df **Dfa** **Dfb** **Dfc**

Podmínky zadány stejně jako pro typ C.

Typ E

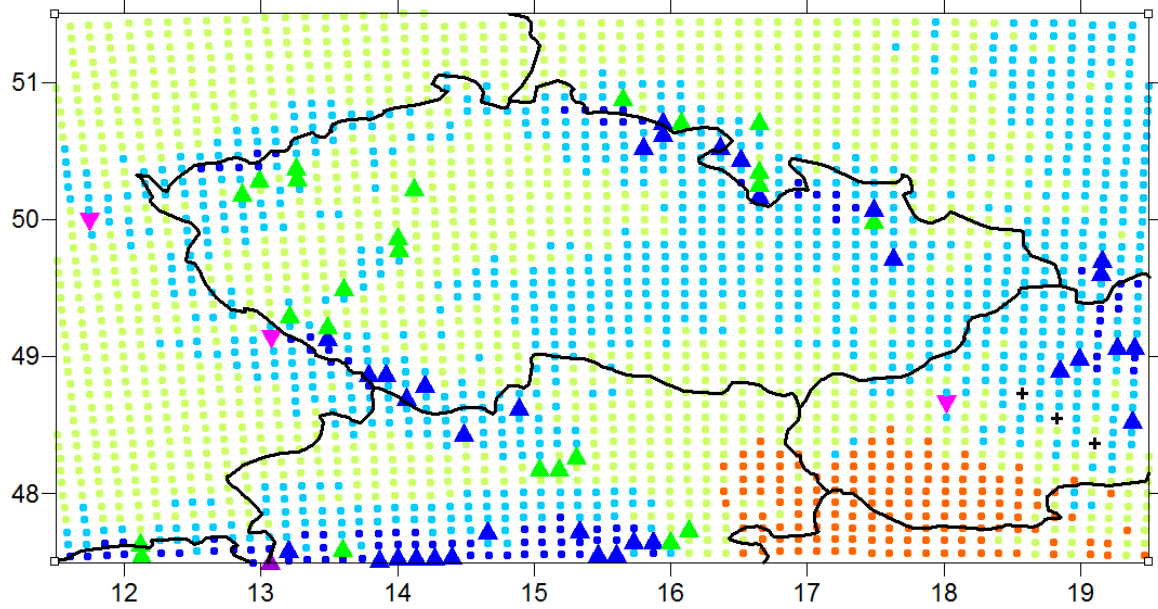
ET Nejteplejší měsíc mezi 0 °C a 10 °C včetně

EF Všechny měsíční průměry teplot $< 0\text{ °C}$

Jako další klasifikace používáme teplotní sumu TS podle Kurpelové a klasifikaci Končekovu, obě dvě v podobě z kapitoly 1.1. Kromě toho zobrazujeme další charakteristiky, které vhodně ilustrují budoucí změnu klimatu, případně vlastnosti modelů.

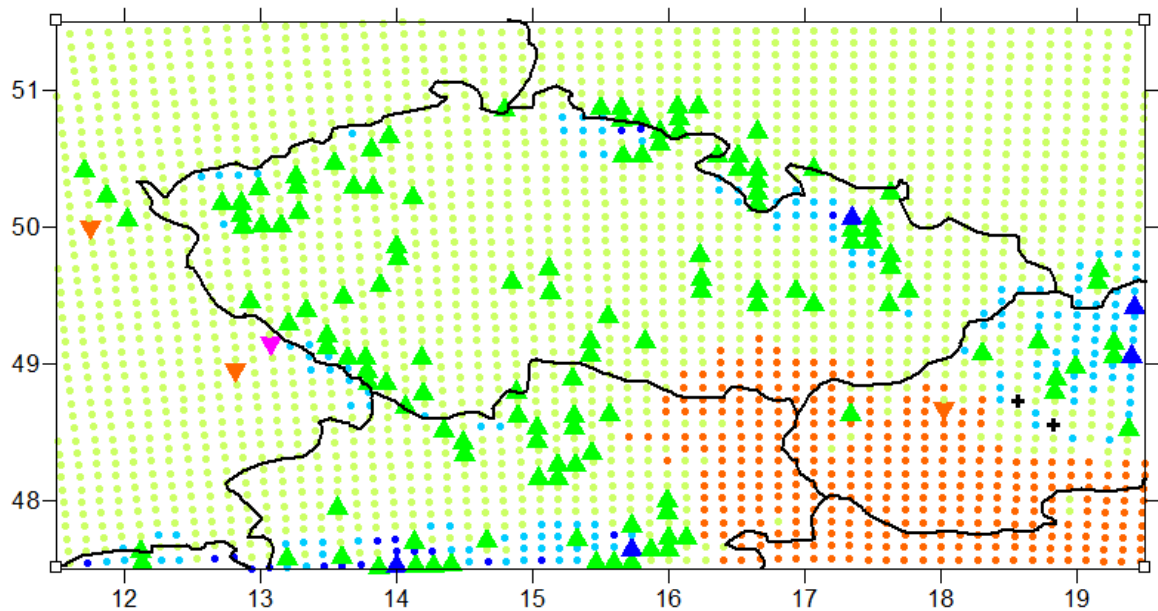
5. Výsledky

5.1. Köppenova klasifikace

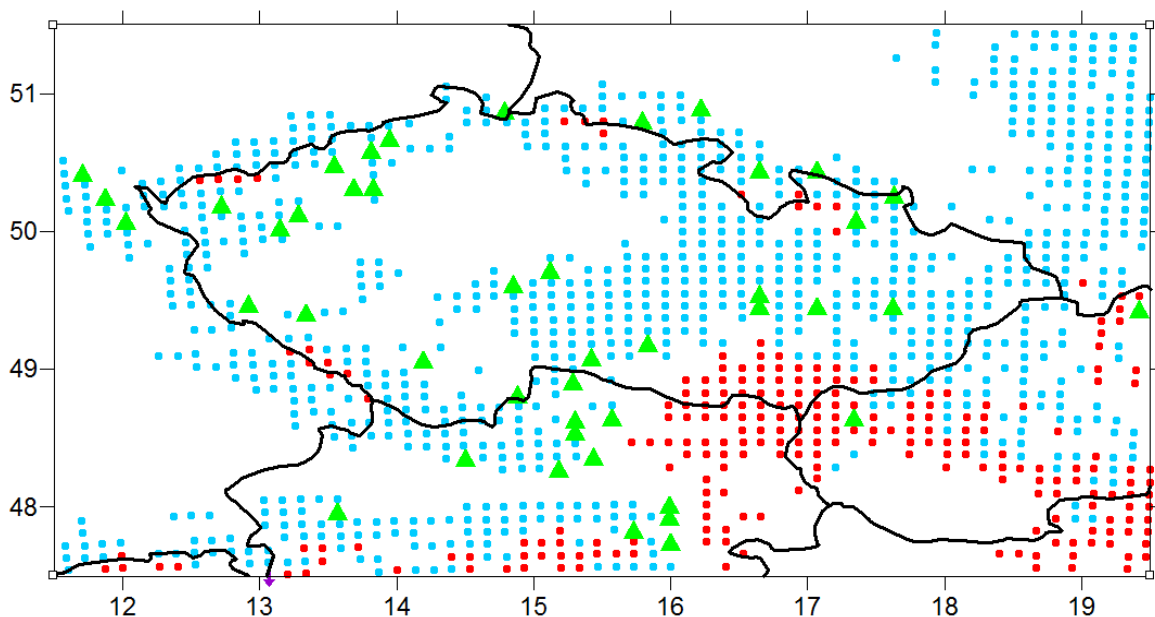


Obr. 13. Köppenova klasifikace podle modelu ALADIN, 1961-1990

+ ● ● ▾ ▲ ● ● ▾ ▲ ▴
B Cfa Cfb Cs Cw Dfb Dfc Ds Dw ET



Obr. 14. Köppenova klasifikace podle modelu ALADIN, 2021-2050



Obr. 15. Gridové body se změněným typem Köppenovy klasifikace podle modelu ALADIN, 2021-2050 proti 1961-1990 (modrá značí změnu z D na C (mírnější zimy), červená značí změnu z Cfb na Cfa nebo z Dfc na Dfb (teplejší léta), zelená značí změnu z Cf na Cw nebo z Df na Dw (převaha letních srážek), fialová šipka značí zánik jediného gridového bodu klasifikovaného jako tundra)

V [1] jsou klasifikovány pouze typy Cfb, Dfb, Dfc a v okolí Sněžky a Pradědu ET. Model ALADIN dle porovnání obr. 13 a [1] mírně nadhodnocuje výskyt typu D. Výskyt typů B, Cs, Cw, Ds a Dw na obr. 13 je způsoben vlivem orografie v modelu.

Porovnáním obr. 2 a obr. 13 lze říci, že **ALADIN** nadhodnocuje výskyt typu D (střední Polsko, Karlovarský kraj) a nadhodnocuje výskyt typu Cfa (Maďarsko, Slovensko).

Na obr. 16 vidíme pro leden srážkový stín v západní polovině Čech. Podle [1] dosahuje úhrnů pod 20 mm v lednu jen část Zatecka, Českobudějovicka a Znojemska. Na obr. 16 přestávají lednové úhrny pod 20 mm všechny teplé barvy.

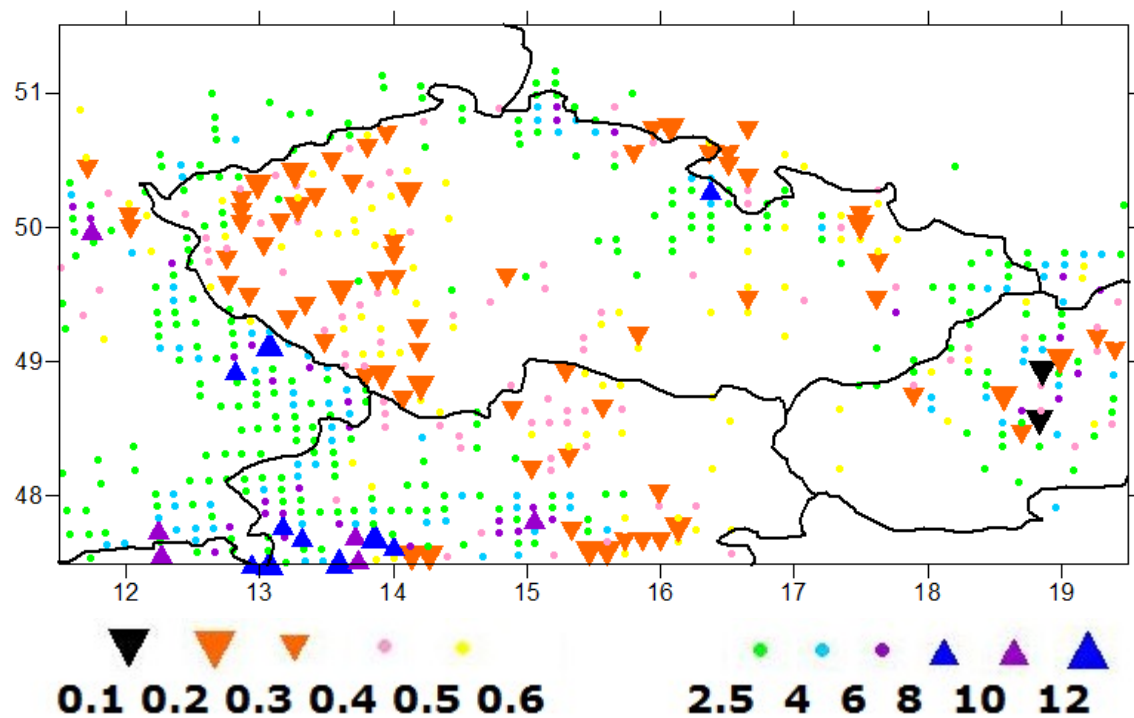
Úhrny nad 80 mm (zelená a modrá) se naopak dle [1] vyskytují jen na českých horách a v části Beskyd. Na obr. 16 jsou však zelené gridové body přítomny i ve vnitrozemí.

Jako příklad **vlivu orografie** v modelu ALADIN uveďme Německo na 50.s.s.š. Nížina přechází ve vrchovinu o výšce cca 650 m.n.m. První gridový bod vrchoviny od západu vykazuje lednové srážky 11,38 mm/den (fialový trojúhelník na obr. 16). Gridové body o 2 vpravo už vykazují srážky pod 0,4 mm/den (oranžový trojúhelník). Přitom jsme stále na stejné vysoké vrchovině.

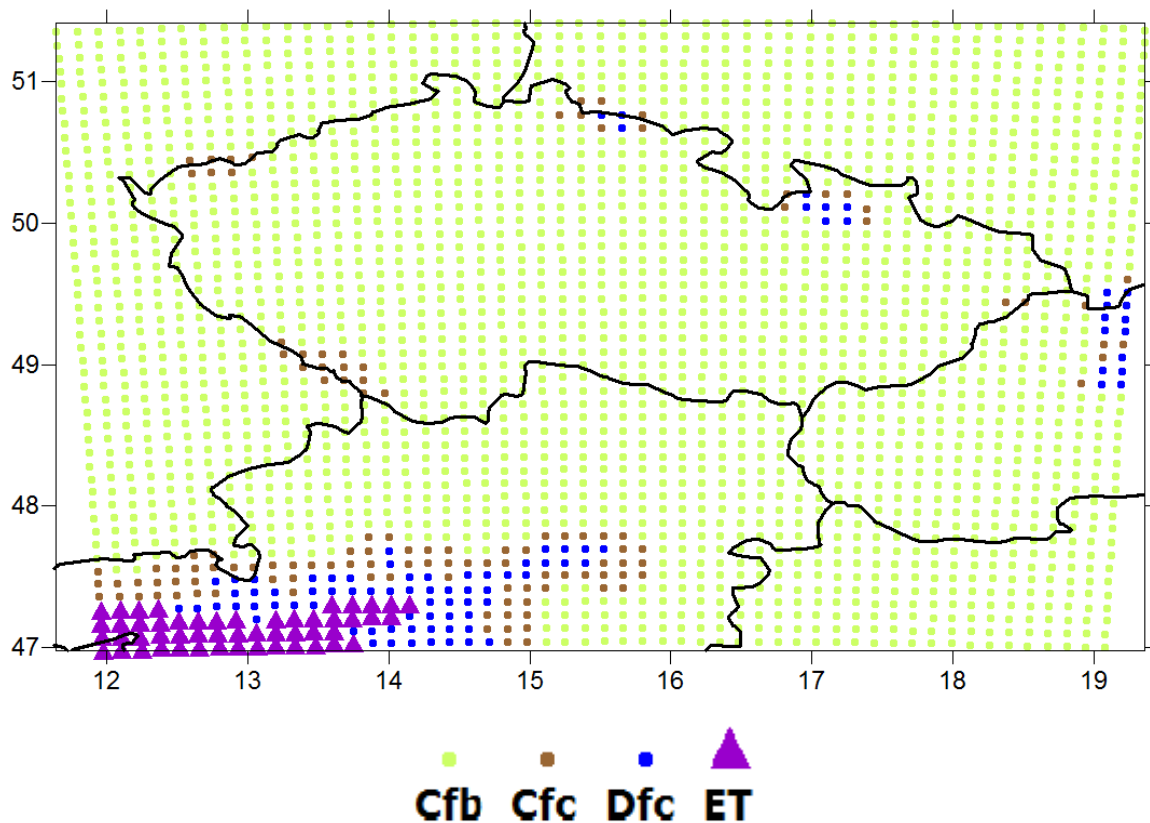
Celkově lze říci, že ALADIN v lednu modeluje větší rozptyl úhrnů srážek oproti skutečnosti.

RegCM3 i ALADIN **nadhodnocují roční úhrny srážek**. Proto je např. zbytečné použít klasifikaci dle Moravce a Votýpky uvedenou v kapitole 1.1. Gridové body na českých horách mají podle ALADINU roční úhrny srážek přes 2000 mm.

Nejteplejším měsícem je v ALADINU srpen, únor je teplejší než prosinec, podzimní pokles teplot je strmější než jarní růst.



Obr. 16. Průměrné denní úhrny srážek v lednu podle modelu ALADIN, 1961-1990

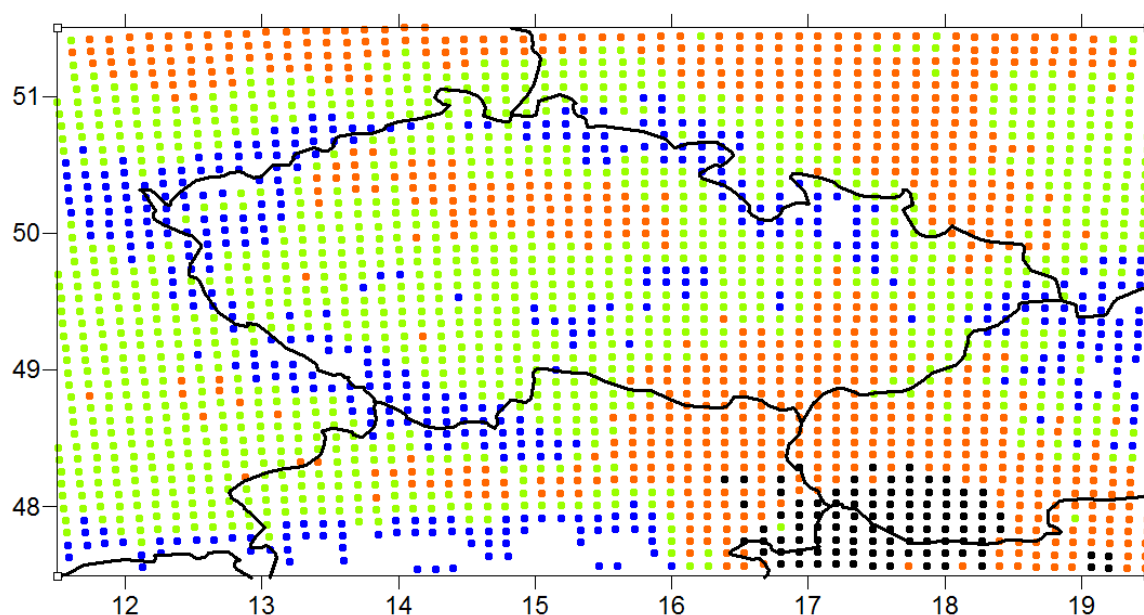


Obr. 17. Köppenova klasifikace podle modelu RegCM3, 1961-1990

Na obr. 17 vidíme, že **RegCM3** neumí modelovat zimní teploty a nadhodnocuje je. Letní teploty však modeluje dobře (nepřítomnost podtypu **a** v Maďarsku, hranice mezi podtypy **b** a **c** v českých horách v porovnání s [1]). Nepřítomnost podtypů **s** a **w** není důsledkem kvalitní či nekvalitní orografie v modelu, nýbrž nadhodnocených a vysokých úhrnů srážek v průběhu celého roku.

Pro období 2021-2050 RegCM3 ponechává v českých pohraničních horách posledních 11 gridových bodů klasifikovaných jako Cfc. Typ D vymizí zcela. Model tedy simuluje zimní a letní oteplení v horách ČR. Mapu neuvádíme.

5.2. Teplotní suma dle Kurpelové



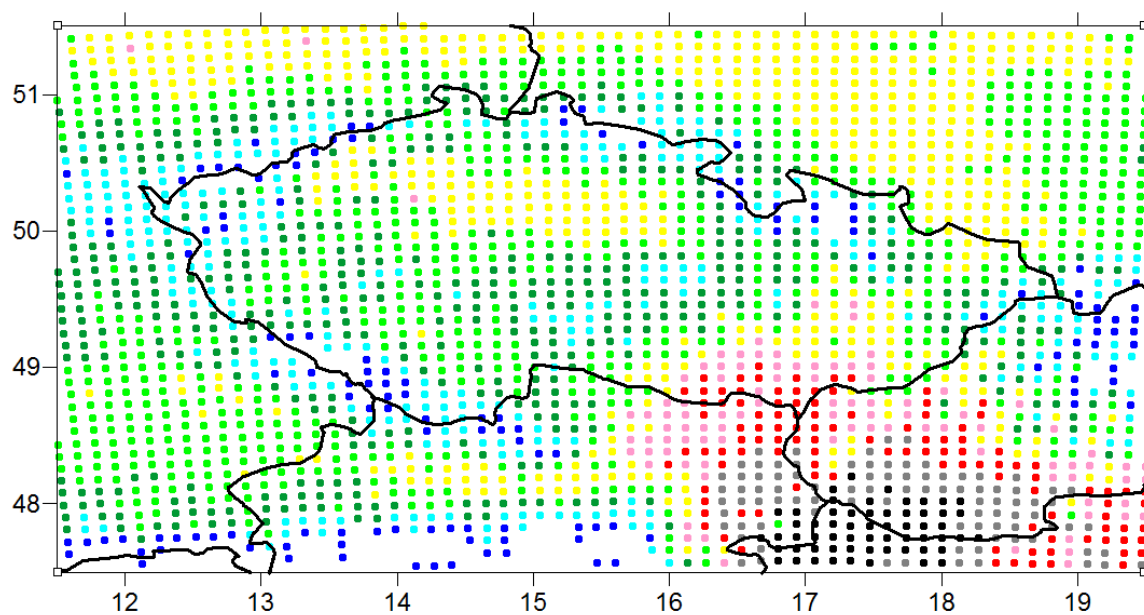
Obr. 18. Makroblasti podle teplotní sumy, model ALADIN, 1961-1990 (červená představuje teplou makroblast, zelená mírně teplou a modrá chladnou, bílá představuje oblasti pro zemědělství nevhodné, černá se podle originální verze nevyskytuje na území Československa)

Pro období 1931-1960 vyhodnotila Kurpelová podle [9] podíl teplé makroblasti ku celkové ploše ČR na 31%, podíl mírně teplé na 48,4% a podíl chladné na 20,6%. Tyto podíly relativně dobře odpovídají stavu na obr. 18.

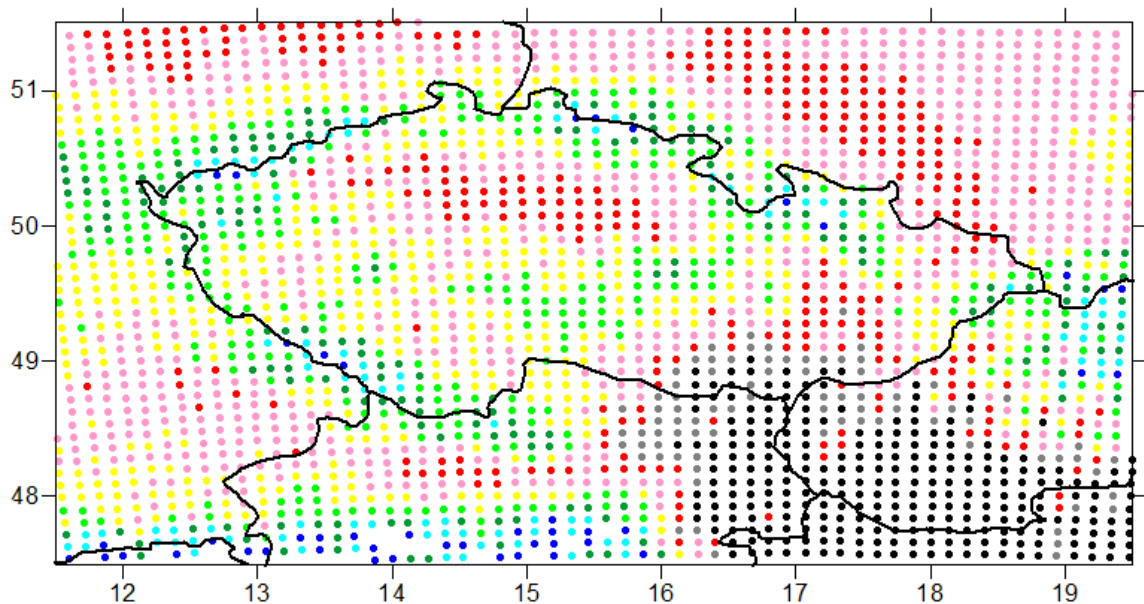
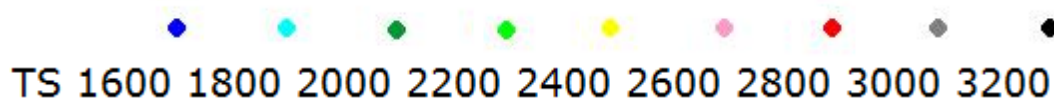
Rozdíl teplotní sumy TS mezi obdobími 1961-1990 (obr. 19) a 2021-2050 (obr. 20) je v 80% gridových bodů 300-400 stupňů. Více než 400 je to pouze na jižním Slovensku a v Maďarsku. Méně než 300 je to v severním podhůří Alp a Krkonoš a především v severním, tedy německém, podhůří Krušných hor.

Na obr. 21 vidíme, že v **budoucím klimatu** spadá většina území **ČR do makroblasti teplé**.

Na obr. 22 vidíme, že největší oteplení za měsíce květen až září čekáme na jižní a východní hranici námi vybrané modelové oblasti, v ČR pak v jižním podhůří Šumavy, Krkonoš a Jeseníků, ne však v Podkrušnohoří. V rámci ČR se jedná o oteplení o 1,15-1,65°C, v celé oblasti pak o 1,00-2,35°C (severní hranice- gridový bod v Alpách). Zajímavá je singularita oteplení nad Neusiedlerským jezerem. Otázkou zůstává, do jaké míry je rozmanitost oteplení na obr. 22 důsledkem vlastností klimatu a vlastností modelu.

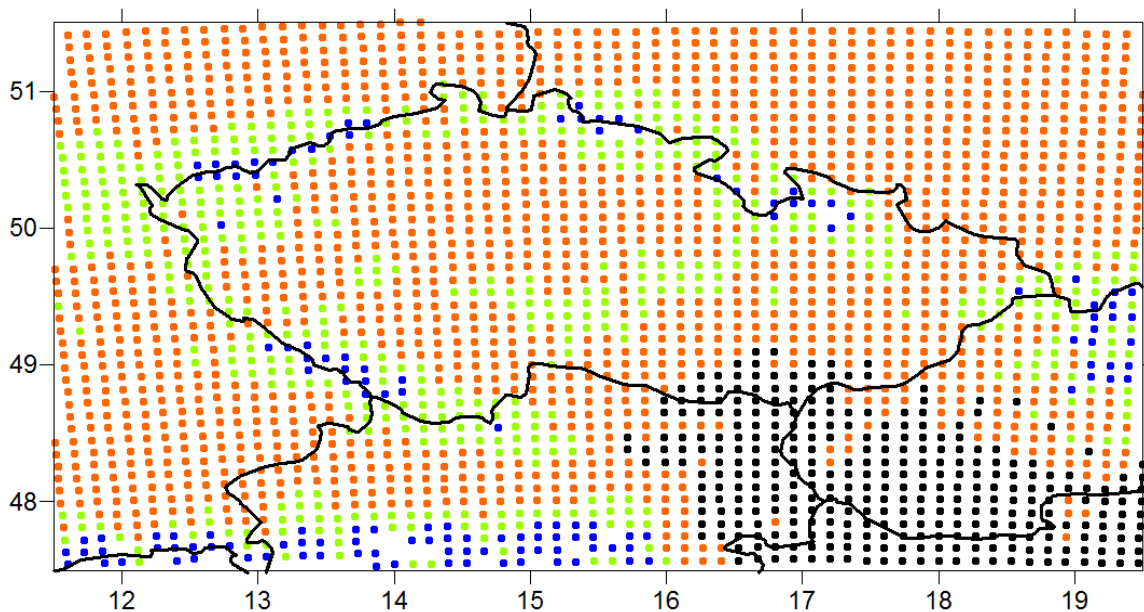


Obr. 19. Oblasti podle teplotní sumy, model ALADIN, 1961-1990

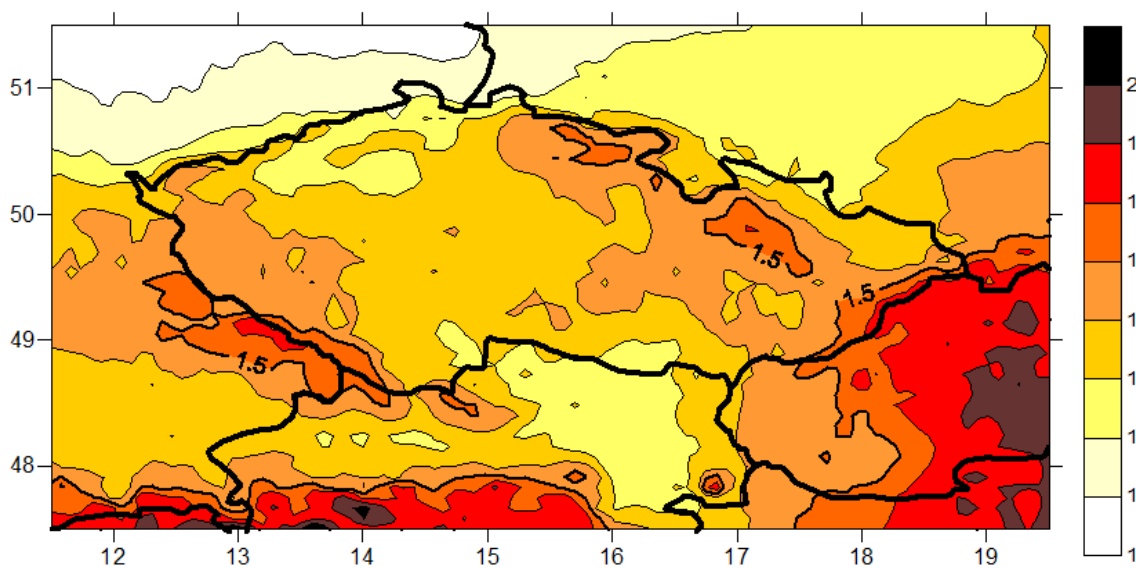


Obr. 20. Oblasti podle teplotní sumy, model ALADIN, 2021-2050

Stručně zmiňme možné **dopady na zemědělství**: pěstování slunečnice v Polabí (červená a růžová), cukrová řepa v jižních Čechách (růžová), nevhodnost pěstování brambor v Polabí (růžová), možnost pěstování obilnin na původních pastvinách (zelená-západní Čechy, Vysočina).



Obr. 21. Makroblasti podle teplotní sumy, model ALADIN, 2021-2050 (popisky viz obr. 18)

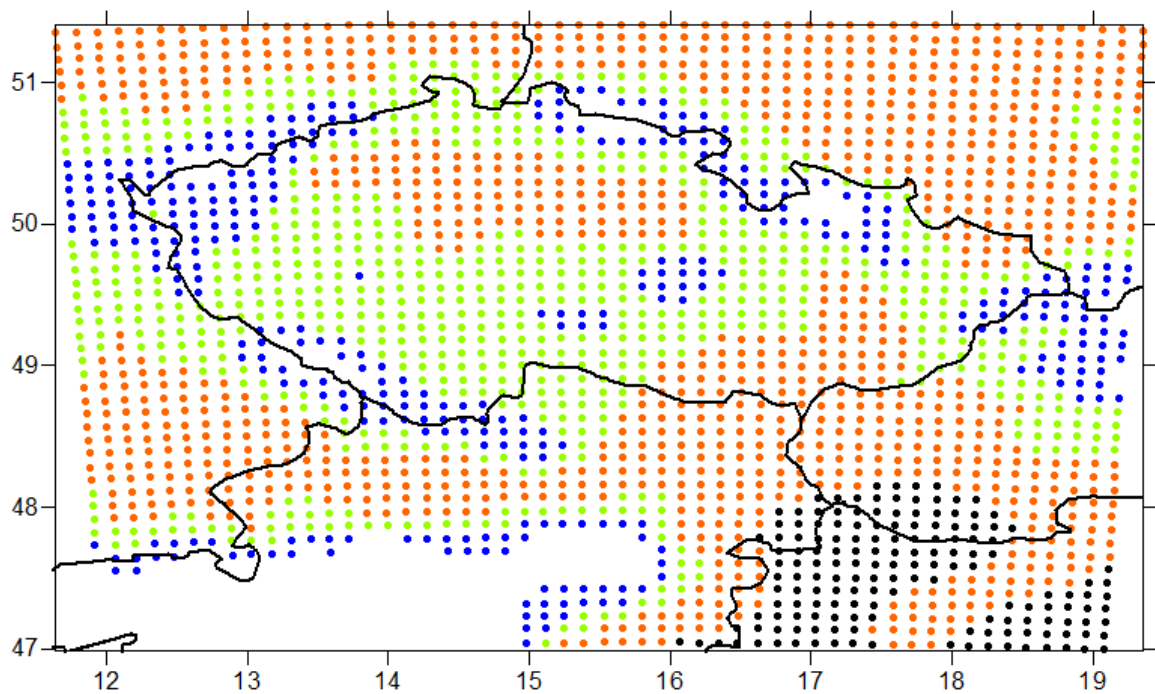
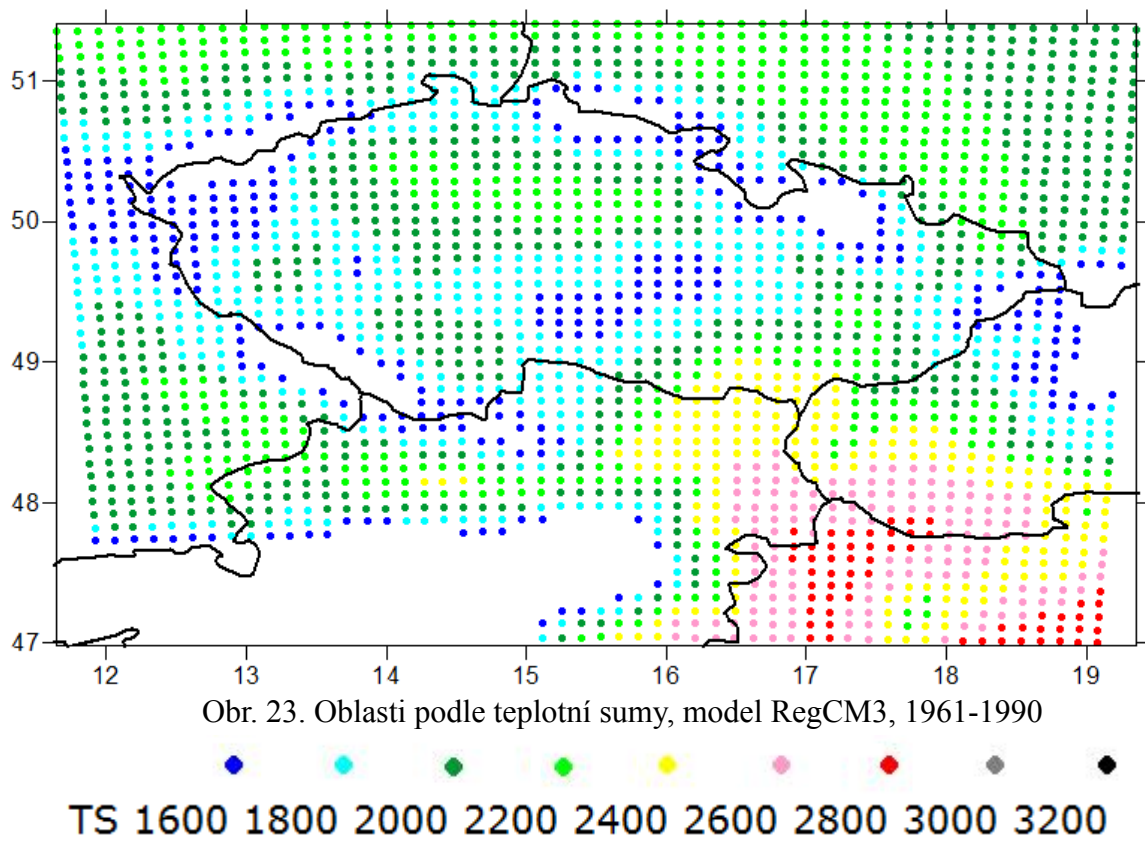


Obr. 22. Změna průměrné teploty vzduchu za květen až září, model ALADIN, 2021-2050 proti 1961-1990

Na obr. 23 vidíme, že **RegCM3 podhodnocuje teplotní sumu**. To je způsobeno nižšími průměrnými teplotami měsíců ve vegetačním období než jaké jsou ve skutečnosti. Pokud by byl obr. 23 realitou, nemohli bychom pěstovat na jižní Moravě vinnou révu, v Polabí kukuřici a meruňky a v západních Čechách a na Vysočině obilniny.

Budoucí makroblasti podle RegCM3 (obr. 24) téměř přesně kopírují současné makroblasti podle ALADINU (obr. 18). V tomto faktu spočívá podstata rozdílu mezi modely v simulacích letních teplot.

Obr. 24 je samozřejmě stejně jako ostatní pole RegCM3 oproti obr. 18 a ostatním polím ALADINU zhlazenější. To je způsobeno rozdílem v horizontálním kroku a hlavně rozdílným vlivem orografie na chod modelů.

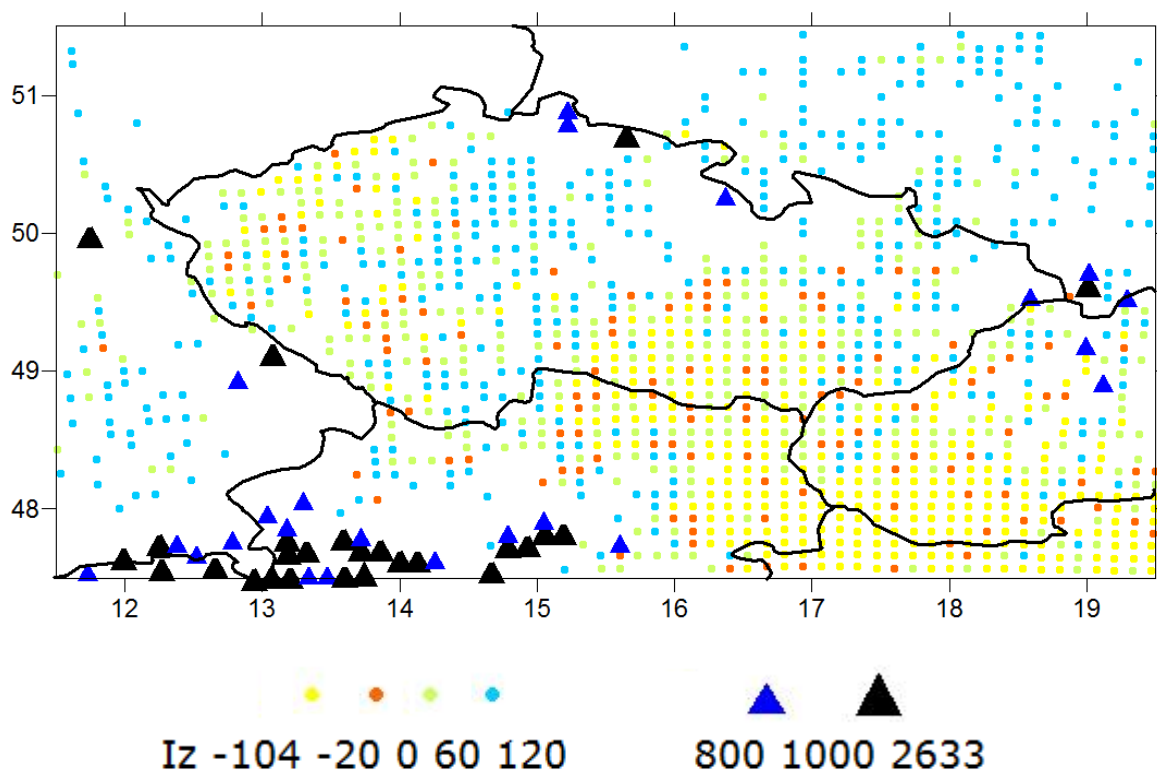


Průměrný rozdíl TS mezi obdobími 1961-1990 a 2021-2050 je u RegCM3 menší než u ALADINU, ale má větší rozptyl. 50% bodů má nárůst pod 300 stupňů, 50% nad. Nárůst o více než 350 se vyskytuje i v polském Poodří a v Německu podél severní hranice oblasti. Nárůst o méně než 200 je u ALADINU lokalizován opravdu jen do centrálních částí hor, včetně těch českých.

Pokud jde o změnu průměrné teploty za květen až září, dává RegCM3 nižší odhady než ALADIN. Konkrétně 0,6 °C u severní hranice oblasti, více než 0,7 °C na jižní Moravě a více než 1 °C pro pár gridových bodů u Italských hranic (maximum je 2,13 °C).

5.3. Klasifikace dle Končeka

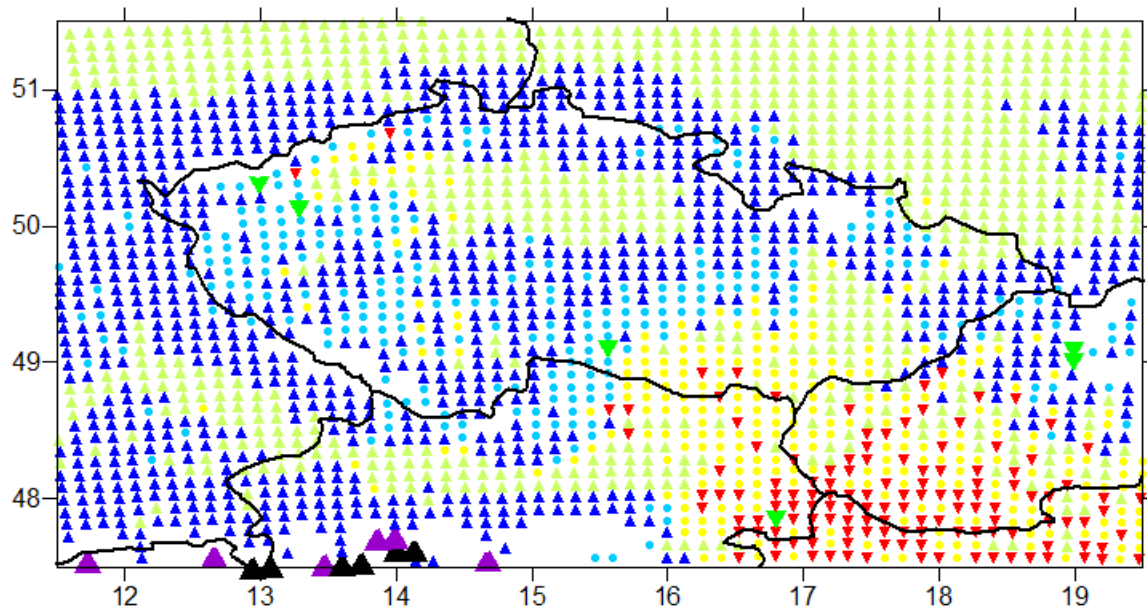
Podle [9] klasifikoval Konček období 1901-1950 a území ČR rozdělil na **oblast teplou** (14,2%), **mírně teplou** (71,8%) a **chladnou** (14%). Popis klasifikace je v kapitole 1.1. Pro naše účely použijeme jako hranici teplé oblasti místo izolinie 50 letních dnů letní izotermu 17,5 °C. Místo hodnoty kvadrátu rychlosti modelového větru použijeme odmocninu nadmořské výšky gridových bodů nakalibrovanou tak, abychom pro nížiny i hory dostávali smysluplné hodnoty. Poslední změnou je zavedení okrsku A7, vlhkého až velmi vlhkého a teplého.



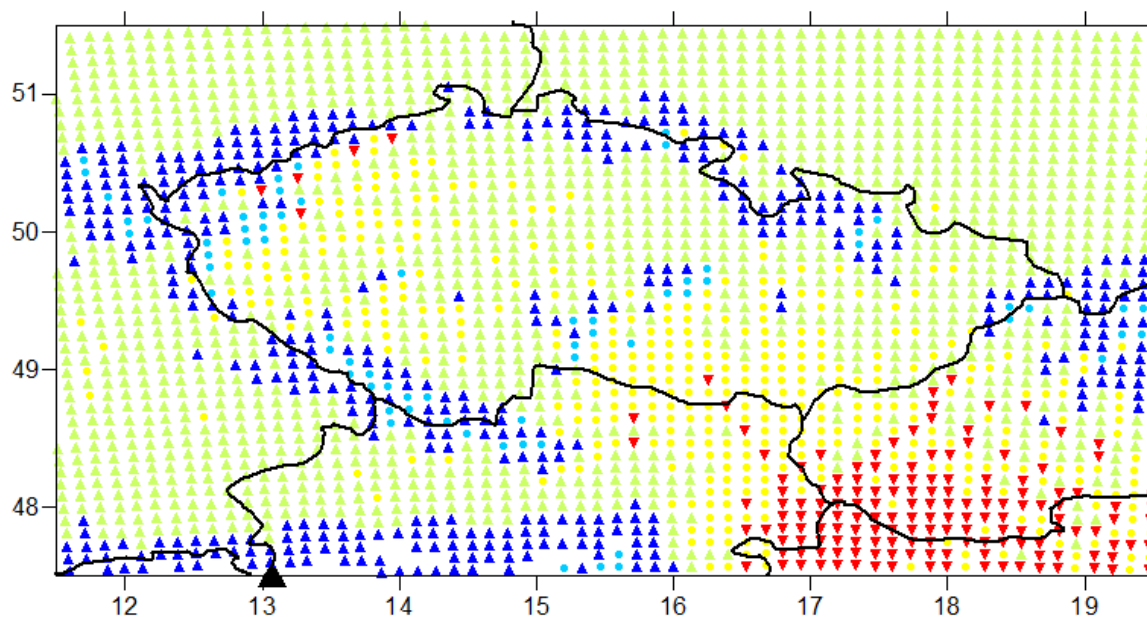
Obr. 25. Končekův vláhový index podle modelu ALADIN, 1961-1990

Konček vymýšlel svůj index pro Československo a tudíž všechny vláhové podoblasti měly své významné zastoupení – viz obr. 4 . Zmíňme hodnoty indexu pro některé stanice: Lysá hora 450, Churáňov 290, Žatec -41, Kuchařovice -37, Doksy -32.

Z obr. 25 vyplývá, že velmi vlhkým územím (bílá plocha) je severovýchod Čech, severní Morava, Německo a většina Rakouska a Polska. Západní polovina Čech je ve **srážkovém stínu** pohraničních hor. Jihovýchodní čtvrtina obr. 25 je ve srážkovém stínu Alp a navíc má příliš vysoké letní teploty, proto je klasifikována jako suchá.



Obr. 26. Končekova klasifikace podle modelu ALADIN, 1961-1990



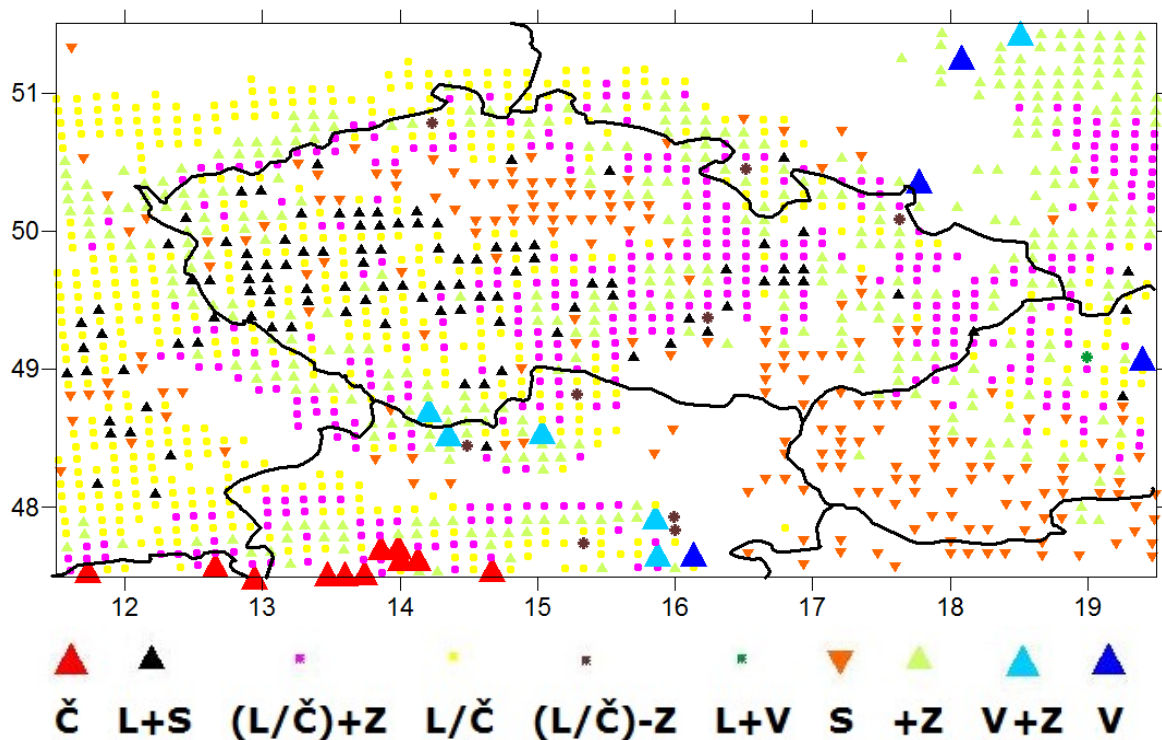
Obr. 27. Končekova klasifikace podle modelu ALADIN, 2021-2050

Na obr. 25 dostáváme dokonce 10 gridových bodů s vláhovým indexem menším než -60 a to v Podkrušnohoří a na Znojemsku. V ČR má 5 modelových bodů index vyšší než 800, což je nereálné. Po porovnání s obr. 4. a s [1] můžeme říci, že **ALADIN modeluje prostorové rozložení hodnot Končeka vláhového indexu poměrně dobře**. Problémem je posun modelu k vlhčím oblastem.

Na obr. 26 a obr. 27 je uvedena zjednodušená Končekova klasifikace pro dvě daná třicetiletí. Vidíme, že většina území ČR je v budoucím klimatu klasifikována jako teplé a vlhké a velmi vlhké klima A7.

Dá se říci, že v budoucím klimatu se změněnými hodnotami teploty a vláhových indexů ztratí Končekova klasifikace svůj význam a bude potřebovat zásadně modifikovat s ohledem na výskyt vegetace a hospodářských kultur.

Stále musíme mít na paměti, že model ALADIN nadhodnocuje roční úhrny srážek ve všech gridových bodech a nadhodnocuje měsíční úhrny srážek ve většině gridových bodů.



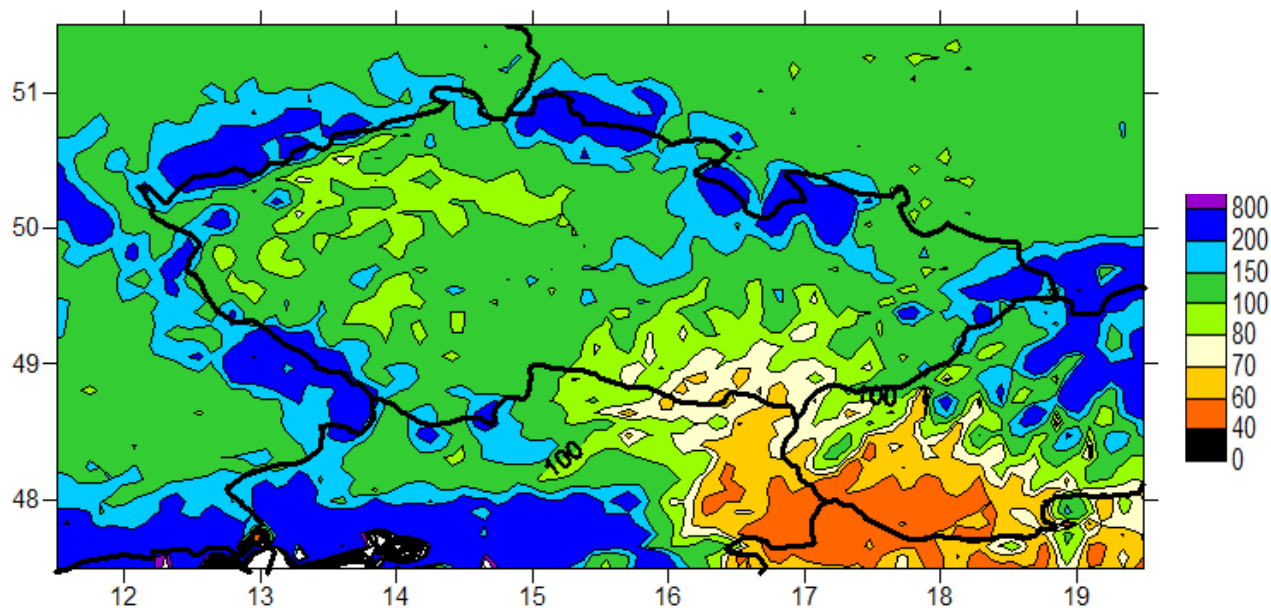
Obr. 28. Gridové body se změněným typem Končeka klasifikace pro model ALADIN, 2021-2050 proti 1961-1990

Na obr. 28 Č znamená změnu v klasifikaci vlivem zvýšení červencové teploty (změna z C2 a z C3), L vlivem letní teploty (z B na A), L/Č vlivem jedné z nich (Č pro C a L pro B). +Z znamená změnu okrsku vlivem zvýšení a -Z vlivem snížení průměrné teploty nejchladnějšího měsíce nad resp. pod hodnotu -3 °C. S znamená změnu oblasti na sušší a V na vlhčí podle Končeka indexu. Bílá plocha znamená žádnou změnu.

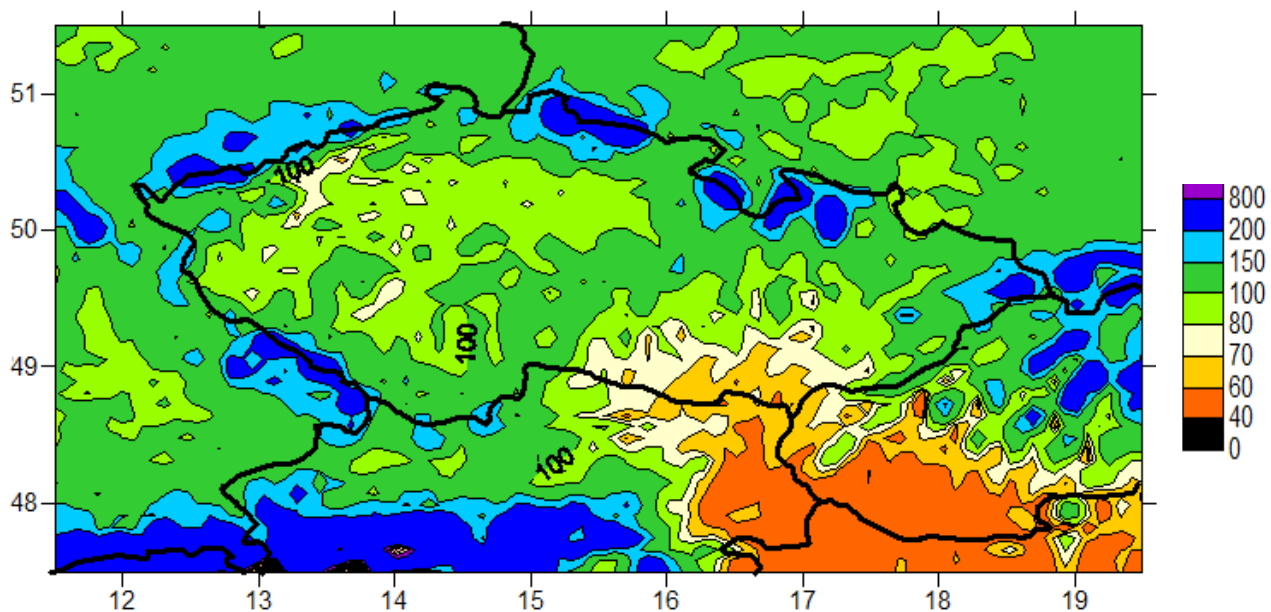
Celkově **zaznamenáváme posun k teplejším zimám** (nachová, zelená), **teplejším létům** (červená, černá, nachová, žlutá) a **sušším rokům** (černá, oranžová). Změnu v klasifikaci vlivem chladnějších zim (9 hnědých gridových bodů) a vlhčích roků (1 tmavě zelený, 6 světle modrých a 4 tmavě modré) jsme zaznamenali výjimečně.

Pro **RegCM3** a období 1961-1990 jsou všechny gridové body klasifikovány jako velmi vlhké. Oblast A se vyskytuje pouze v Maďarsku a ve 4 gridových bodech na Slovensku. To se dá pouze částečně zdůvodnit tím, že jsme jako hranici teplé oblasti vybrali letní izotermu 17,5 °C. Faktem je, že RegCM3 letní teploty podhodnocuje, na rozdíl od ALADINU, který je nadhodnocuje. RegCM3 např. celou Vysočinu nesprávně vyhodnocuje jako chladnou oblast C. Mapu neuvádíme.

5.4. Langův dešťový faktor



Obr. 29. Langův dešťový faktor podle modelu ALADIN, 1961-1990



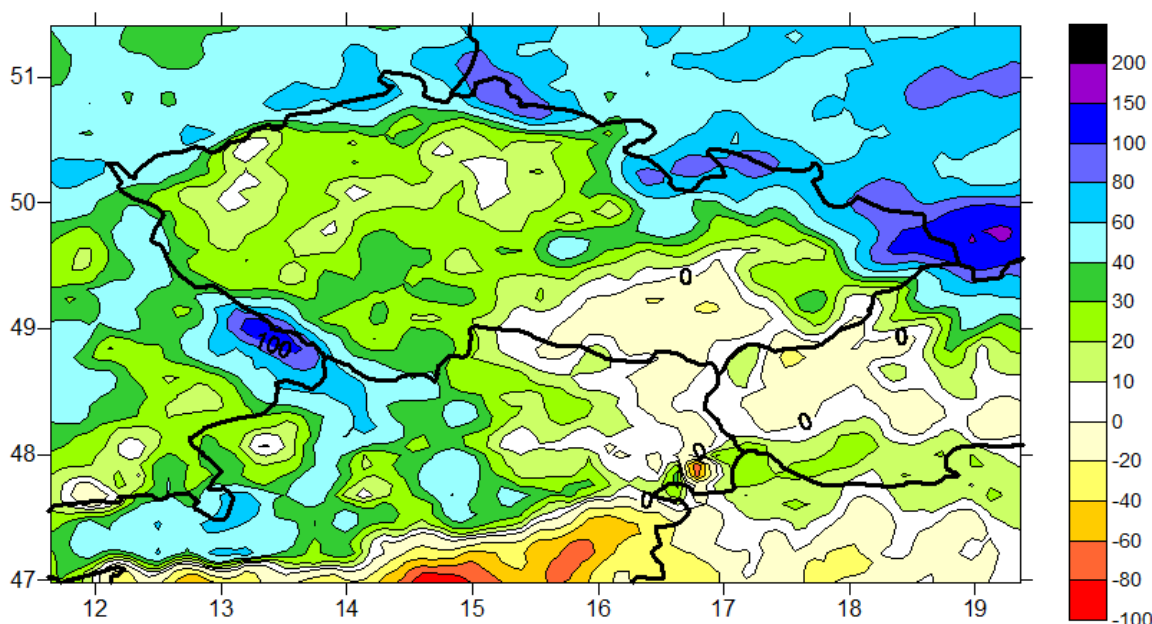
Obr. 30. Langův dešťový faktor podle modelu ALADIN, 2021-2050

Podle [1] je Langův dešťový faktor jedním z nejstarších a nejpoužívanějších parametrů pro **klasifikaci oblastí podle dostupnosti vláhy**. Je oblíbený pro svoji jednoduchost, jedná se o podíl průměrného ročního úhrnu srážek a průměrné roční teploty vzduchu. Hodnoty teploty nahrazují hodnoty potenciální evapotranspirace s kterými zčásti koreluje.

Nás zajímá z obr. 29 a obr. 30 skutečnost, že v simulacích budoucího klimatu dochází k poklesu velikosti Langova faktoru. To není způsobeno nižšími úhrny srážek, ale vyšší průměrnou teplotou vzduchu.

Největší **riziko sucha** je nutné očekávat na jižní Moravě a v Podkrušnohoří, nejmenší pak v severovýchodní třetině Čech.

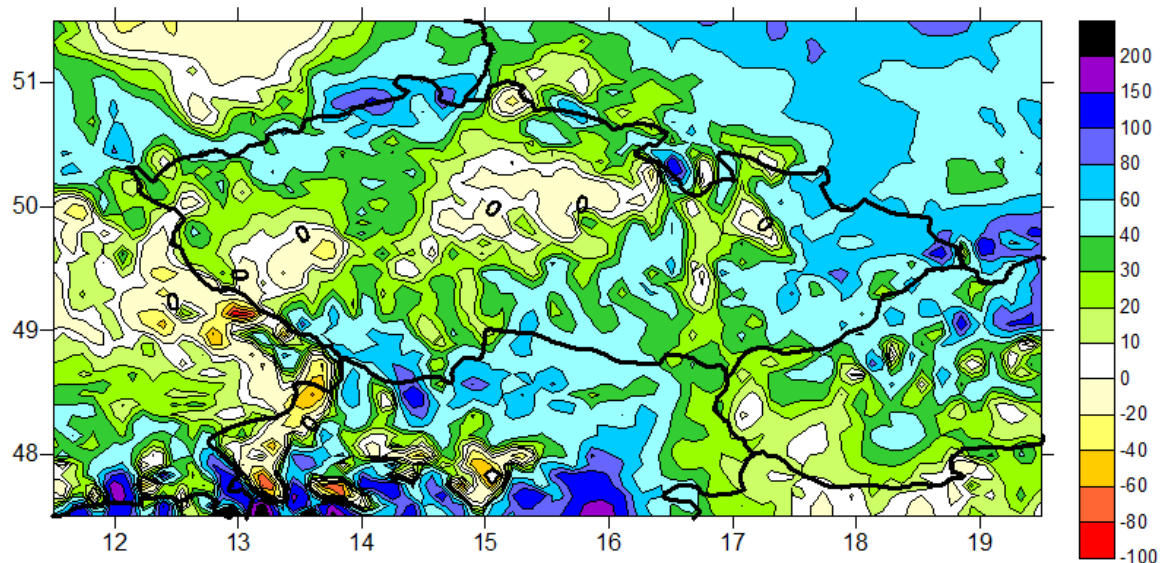
5.5. Dopad klimatické změny na zásoby vody



Obr. 31. Změna průměrného ročního úhrnu srážek, model RegCM3, 2021-2050 proti 1961-1990

Model RegCM3 (obr. 31) simuluje mírné navýšení úhrnů srážek na celém území ČR vyjma jižní Moravy. Prostorová rozmanitost změn v celé oblasti lze přisuzovat **změně převládajícího proudění v modelu**, kde dojde k posílení severní složky proudění na úkor jižní. Průměrné zvýšení úhrnů za celou oblast lze zdůvodnit budoucí vyšší teplotou.

Model ALADIN (obr. 32) simuluje podobné průměrné navýšení ročních úhrnů. Pole změn je více prostorově proměnlivé než u RegCM3. Přijmeme-li fakt, že srážky vypadávají spíše na návětrné straně hor, zjišťujeme u ALADINU posílení východní složky proudění na úkor západní. Úbytek srážek čekáme na Plzeňsku a Pardubicku. Jižní Morava si naopak polepší.

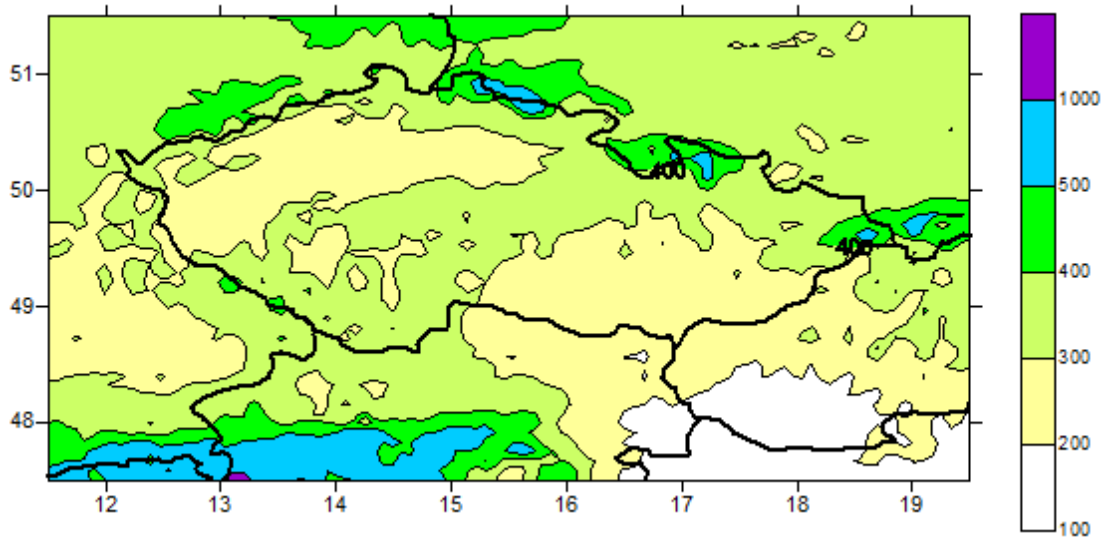


Obr. 32. Změna průměrného ročního úhrnu srážek, model ALADIN, 2021-2050 proti 1961-1990

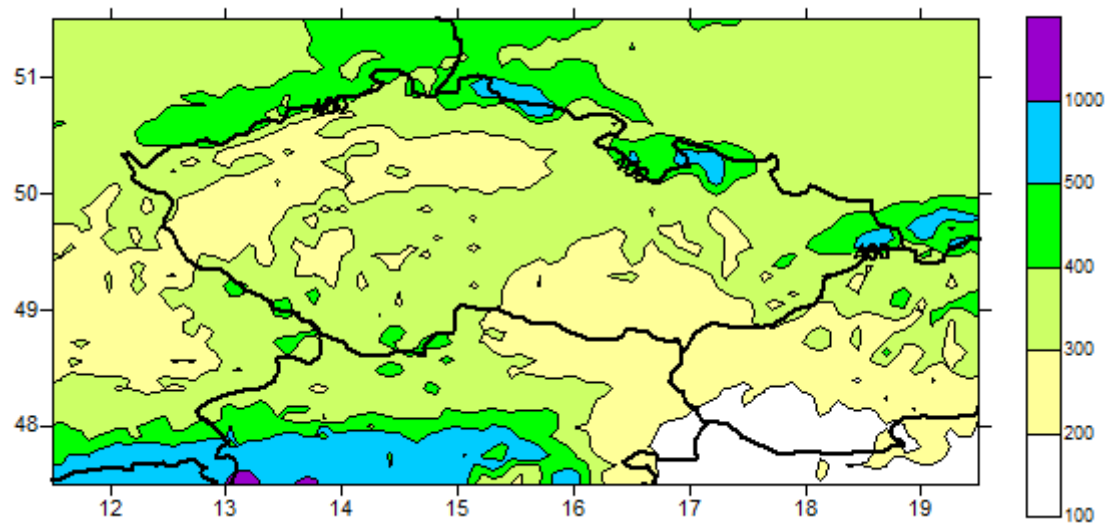
Na obr. 33-36 jsou vykresleny letní a zimní úhrny srážek pro současné i budoucí klima podle modelu ALADIN. Prostorová variabilita je u letních úhrnů zachycena velmi dobře, jejich výše je však o třetinu až polovinu větší než v [1]. To samé lze říci pro zimní úhrny.

Hlavním problémem v zimních měsících je vliv orografie modelu. **Rozdíl úhrnů srážek mezi návětrnou a závětrnou stranou pohoří je nadhodnocován.** Můžeme si všimnout vysokých úhrnů srážek v Německu na obr. 35 popř. již výše diskutovaného obr. 16.

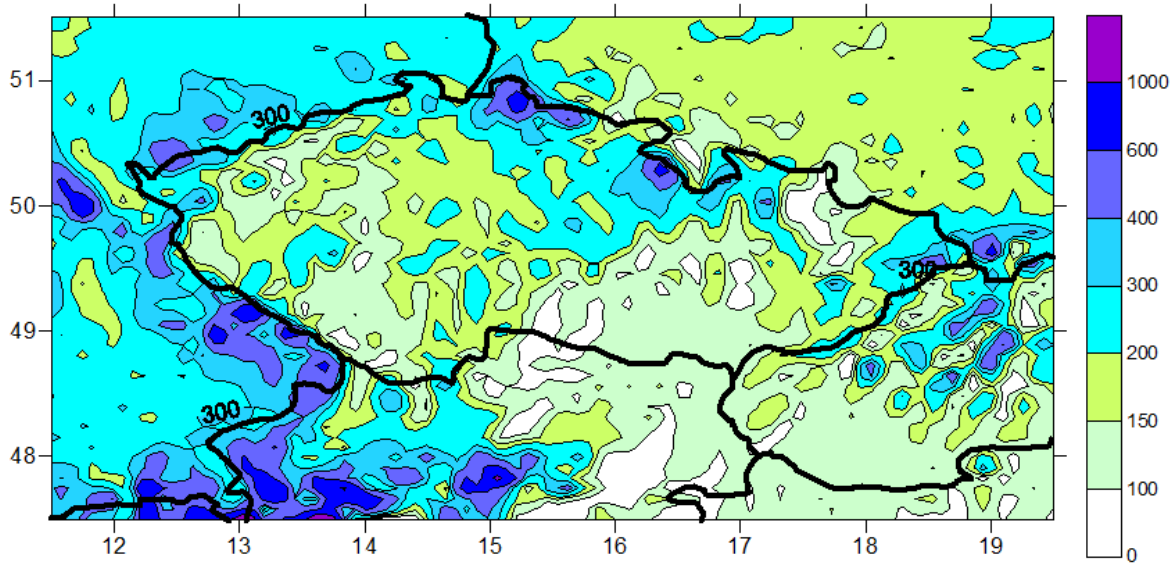
Jednou z klíčových změn klimatu očekávaných v ČR je zvýšení průměrné teploty v zimních měsících (obr. 37 a obr. 38). Model ALADIN očekává zvýšení přibližně o 1,5°C. Taková změna je svázána se zkrácením až **zánikem období se sněhovou pokrývkou**, zvýšením zimních průtoků řek, nedostatečnou dotací podzemních vod na konci zimy a nedostatkem vláhy v jarních a především letních měsících.



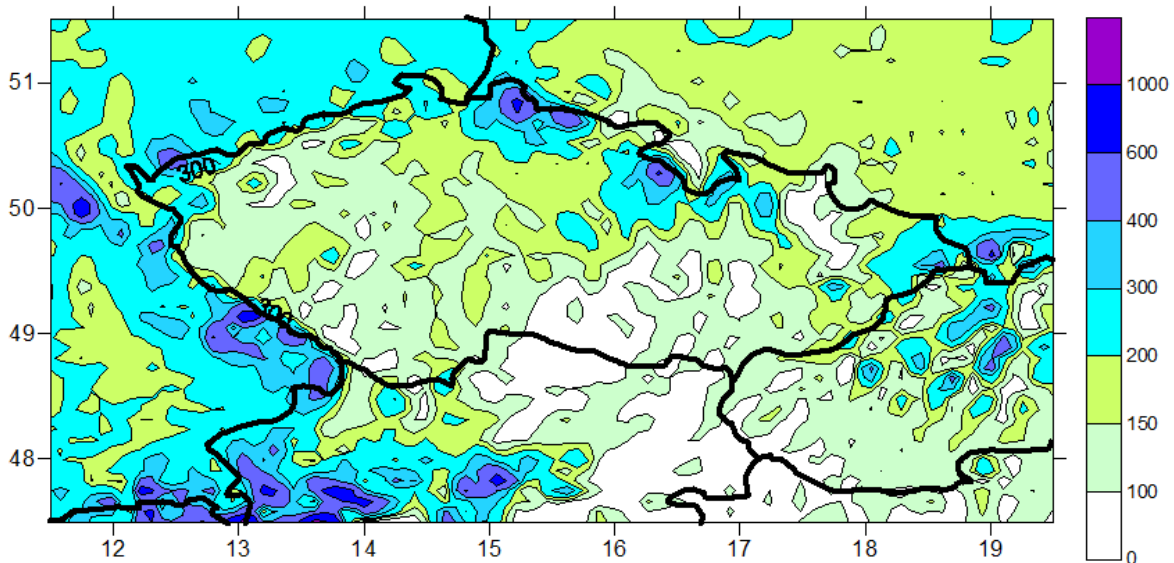
Obr. 33. Průměrný letní úhrn srážek, model ALADIN, 1961-1990



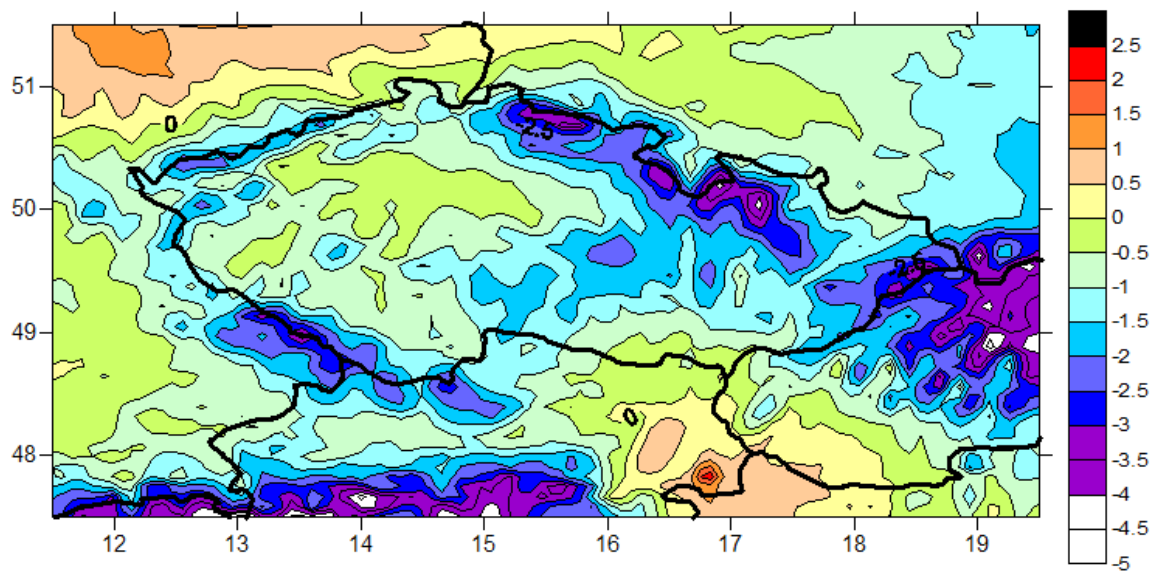
Obr. 34. Průměrný letní úhrn srážek, model ALADIN, 2021-2050



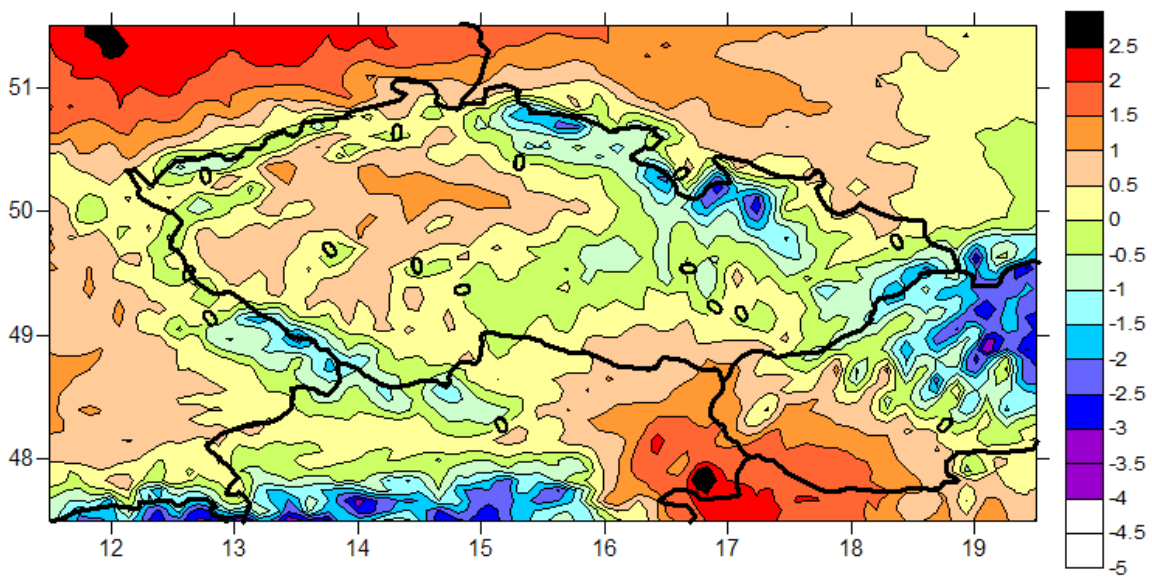
Obr. 35. Průměrný zimní úhrn srážek, model ALADIN, 1961-1990



Obr. 36. Průměrný zimní úhrn srážek, model ALADIN, 2021-2050



Obr. 37. Průměrná zimní teplota, model ALADIN, 1961-1990



Obr. 38. Průměrná zimní teplota, model ALADIN, 2021-2050

Závěr

V této diplomové práci jsem na příkladu dvou regionálních klimatických modelů ALADIN-Climate a RegCM3 studoval **možnosti využití klimatických klasifikací jako nástrojů pro posouzení budoucí změny klimatu**. V souladu se zadáním diplomové práce jsem nastudoval klimatické klasifikace používané pro svět a Evropu. Z těch jsem vybral klasifikaci Köppenovu, která je nejvíce rozšířenou a všeobecně uznávanou.

Z klasifikací vhodných pro ČR uvedených v [1] jsem nepoužil klasifikaci Quittovu, která je značně expertní a subjektivní. Naopak vhodná je Končekova klasifikace se svým indexem zavlažení, jehož výpočet je na rozdíl od Thornthwaitova indexu vlhka jednoduchý. Z klasifikace Kurlpelové jsem použil teplotní sumu TS za období s průměrnou teplotou vzduchu větší než 10 °C. Její klimatický ukazatel zavlažení jsem nepoužil. Potenciální výpar je totiž obtížně zjistitelný nejen z modelových dat. Úplnou klasifikaci Kurlpelové i Končeka spolu s popisem zemědělských výrobních oblastí jsem uvedl v kapitole 1.1.

V kapitole 2. jsem uvedl příklady studií změn klimatu v Evropě, v Arktidě a v Číně ve 20. a 21. století. Tyto práce využívají vesměs nějaké varianty Köppenovy klasifikace. Jako **oblasti nejcitlivější ke klimatické a teplotní změně** můžeme brát oblasti v současné době nejchladnější (Arktida, Tibetská plošina) a oblasti, kde se očekává posun o dva a více vegetačních typů (Španělsko, ústí Dunaje, Skandinávie).

Podle IPCC je oteplování Země zcela evidentní a nezpochybitelné. Odhad nárůstu globální teploty na konci 21. století se pohybuje mezi 2-3 °C. Klimatické modely jsou základním zdrojem informací pro konstrukce scénářů změny klimatu. V současné době se v ČR provozují dva regionální klimatické modely **ALADIN-Climate** a **RegCM3**.

Měl jsem k dispozici denní a měsíční časové řady vybraných meteorologických prvků simulovaných oběma modely pro období 1961-1990 a 2021-2050. Pro mnou vybrané klasifikace stačily hodnoty průměrných měsíčních teplot vzduchu a průměrných měsíčních úhrnů srážek. Oba dva modely použily emisní scénář A1B, který se vyznačuje rovnoměrným rozložením energetického mixu fosilních a nefosilních paliv. Nejedná se tedy o nejvíce extrémní variantu budoucího vývoje emisí. V práci jsem používal spíše model ALADIN, který teplotu a hlavně srážky simuluje věrněji.

Ukázal jsem, že ALADIN nadhodnocuje letní teploty a podhodnocuje zimní. U RegCM3 je to naopak. Zjistil jsem, že ALADIN v některých měsících přeceňuje vliv orografie na chod modelu. U obou dvou modelů dochází ke zvýšení průměrných letních a zimních teplot vzduchu.

Oba modely nadhodnocují úhrny srážek, RegCM3 výrazněji. ALADIN očekává mírný nárůst letních srážek a mírný pokles zimních. Zjistil jsem, že oba modely očekávají v průměru mírný nárůst průměrného ročního úhrnu srážek. Konkrétní prostorové rozložení nárůstů a poklesů ročního úhrnu se mezi modely značně liší a nejspíše souvisí s vnitřními vlastnostmi a nastaveními modelu.

Pětina všech bodů vykazala u modelu ALADIN podle Končekova indexu **budoucí změnu směrem k vyšší suchosti**. Gridových bodů, které vykazaly posun k vlhčímu typu je minimum.

I přes mírný nárůst srážkových úhrnů dojde v budoucím klimatu podle obou modelů k zmenšení Končekova indexu zavlažení a Langova dešťového faktoru. Důvodem k tomu je především nárůst teplot.

Zvýšení zimních teplot povede k dramatickým změnám ve výskytu sněhové pokrývky a v **dostupnosti vláhy v jarních měsících**. V kapitole 3.2. jsem uvedl některé obecné rysy dopadů klimatické změny pro ČR. Jsou to např. zhoršení zásobní funkce nádrží, zvýšená akumulace škodlivin v biomase organismů, aktivizace nových chorob a škůdců lesních dřevin, zkrácení optimální doby vegetace, deprese výnosů zemědělských plodin pokud nezahrneme stimulační vliv CO₂, zvýšení četnosti horkých letních vln a zvýšení produkce pylů.

Oba dva regionální klimatické modely dobře simulují současné klima ČR. **Aplikace klimatických klasifikací na období 1961-1990 a 2021-2050 prokázala probíhající klimatickou změnu**, která zasahuje do zemědělství, do všech přírodních ekosystémů a ovlivňuje i život člověka.

Literatura a internetové odkazy

- [1] Tolasz R. a kol.: *Atlas podnebí Česka*, Český hydrometeorologický ústav, Praha, Olomouc, 2007
- [2] Essenwanger O. M.: *World Survey of Climatology Volume 1C/ General Climatology 1C*, Elsevier, Amsterdam, 2001
- [3] Sanderson M.: *The Classification of Climates from Pythagoras to Koeppen*, Bulletin of the American Meteorological Society **80** (4), 669-673, 1999, dostupné k 8.4.2009 na <<http://ams.allenpress.com/archive/1520-0477/80/4/pdf/i1520-0477-80-4669.pdf>>
- [4] Mejsnar J.: *Klasifikace současného klimatu Evropy na základě výstupů regionálních klimatických modelů*, bakalářská práce na MFF UK, 2007
- [5] James P.E.: *KÖPPEN'S CLASSIFICATION OF CLIMATES: A REVIEW*, Monthly Weather Review **50** (2), 69-72, 1922, dostupné k 8.4.2009 na <<http://docs.lib.noaa.gov/rescue/mwr/050/mwr-050-02-0069.pdf>>
- [6] Kalvová a kol., Kašpárek a kol., Janouš a kol., Žalud a kol., Kazmarová a kol.: *Scénáře změny klimatu na území České republiky a odhady dopadů klimatické změny na hydrologický režim, sektor zemědělství, sektor lesního hospodářství a na lidské zdraví v ČR*, Národní klimatický program České republiky 32, Praha, 2002
- [7] Doubrava J. a kol.: *Atlas ČSSR*, Geodetický a kartografický podnik, Praha, 1986
- [8] Klímová E. a kol.: *Školní atlas České republiky*, Geodézie ČS, 1999
- [9] Pšeničková P.: *Porovnání klimatické regionalizace ČR Kurlpelové a Končeka*, bakalářská práce na Fakultě agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, ČZU, 2006, dostupné k 8.4.2009 na <http://janpivec.wz.cz/BP_PP.pdf>
- [10] Pivec J., Brant V.: *Evapotranspirační nároky vybraných stanovišť na území České republiky*, Agro 2005 (11-12), 24-26, 2005, dostupné k 8.4.2009 na <http://janpivec.wz.cz/Pivec_Agro_11_12_2005.pdf>
- [11] Bo H. S.: *A Climatic Classification for Citrus Winter Survival in China*, Journal of climate **4** (5), 550-555, 1991, dostupné k 8.4.2009 na <<http://ams.allenpress.com/archive/1520-0442/4/5/pdf/i1520-0442-4-5-550.pdf>>
- [12] Smith L. et al.: *Surface Radiation Budget and Climate Classification*, Journal of climate **15** (10), 1175-1188, 2002, dostupné k 9.4.2009 na <<http://ams.allenpress.com/archive/1520-0442/15/10/pdf/i1520-0442-15-10-1175.pdf>>
- [13] Gerstengarbe F.-W., Werner P.C.: *A short update on Koeppen climate shifts in Europe between 1901 and 2003*, Climatic Change **92** (1-2), 99-107, 2009
- [14] de Castro M., Gallardo C., Jylha K., Tuomenvirta H.: *The use of a climate-type classification for assessing climate change effects in Europe from an ensemble of nine regional climate models*, Climatic change **81**, 329-341, 2007
- [15] Wang M., Overland J. E.: *DETECTING ARCTIC CLIMATE CHANGE USING KOPPEN CLIMATE CLASSIFICATION*, Climatic change **67** (1), 43-62, 2004
- [16] Weng E., Zhou H.: *Modeling distribution changes of vegetation in China under future climate change*, Environmental Modeling and Assessment **11** (1), 45-58, 2006
- [17] Kleidon A., Fraedrich K., Heimann M.: *A GREEN PLANET VERSUS A DESERT WORLD: ESTIMATING THE MAXIMUM EFFECT OF VEGETATION ON THE LAND SURFACE CLIMATE*, Climatic change **44**, 471-493, 2000
- [18] Pretel J.: *Mezivládní panel ke klimatické změně (IPCC) – Nová hodnotící zpráva z roku 2007*, Meteorologické zprávy **60** (2), 33-36, 2007

- [19] Demeterová A.: *Regionalizace výstupů globálních klimatických modelů lineárními metodami*, diplomová práce na MFF UK, 2005
- [20] Kvasničák J.: *Analýza vybraných teplotních charakteristik simulovaných regionálními klimatickými modely*, bakalářská práce na MFF UK, 2008
- [21] Halenka T. et al.: *On the capability of RegCM to capture extremes in long term regional climate simulation- comparison with the observations for Czech republic*, Theoretical and Applied Climatology **86**, 125-145, 2006
- [22] Huth R. a kol.: *Regionální klimatické modelování v České republice- projekt ALADIN- Climate*, Meteorologické zprávy **56** (4), 97-103, 2003
- [23] Farda et al.: *Model ALADIN in Climate mode forced with ERA40 reanalysis (coarse resolution experiment)*, Meteorologický časopis **10**, 123-130, 2007
- [24] Kalvová J. et al.: *Köppen climate types in observed and simulated climates*, Stud. Geophys. Geod. **47**, 185-202, 2003