

Univerzita Karlova v Praze
Matematicko-fyzikální fakulta

Bakalářská práce



Jan Mejsnar

Klasifikace současného klimatu Evropy na základě výstupů regionálních klimatických modelů

Katedra meteorologie a ochrany prostředí

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

Studijní program: Fyzika, Obecná fyzika

2007

KARLOV

KNIHOVNA MFF



256003067

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce, Mgr. Jiřímu Mikšovskému, Ph.D. za cenné konzultace v průběhu vypracovávání práce a za poskytnutý software.

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

V Praze dne 29.5.2007

Jan Mejsnar

Jan Mejsnar

Úvodní řeč

Fyzika

92.00

Bakalářská práce

554.5

Obsah

Úvod	5
1. Klasifikace klimatu	6
1.1. Pojem klima	6
1.2. Klimatické klasifikace	6
1.3. Klasifikace před Köppenem	7
1.4. Jiné klasifikace v době Köppena	7
1.5. Wladimir Köppen	8
1.6. Köppenova klasifikace	8
1.7. Použitá verze Köppenovy klasifikace	10
2. Klimatické modely	11
2.1. Globální klimatické modely	11
2.2. Regionální klimatické modely	12
2.3. CRU klimatologie	13
3. Zpracování	13
3.1. Zpracování	13
3.2. Použitá klasifikace	14
3.3. Mapy klimatických typů	15
3.4. Zjištěné rozdíly mezi modely a CRU	20
Závěr	21
Literatura	22

Název práce: Klasifikace současného klimatu Evropy na základě výstupů regionálních klimatických modelů

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 Evropy založenou na dvou regionálních klimatických modelech (HIRHAM a RCAA) a na CRU klimatologii. Nejdříve uvádí stručnou historii klasifikace klimatu. Prezentuje výhody Köppenovy klasifikace, především vztah k výskytu vegetace a možnosti lidského života. Köppenova klasifikace je dodnes jednou z nejužívanějších a v práci je podrobně představena. Dále práce seznamuje s dnešními globálními a regionálními klimatickými modely. Samotná data měsíčních hodnot srážek a teplot reprezentující období 1961–1990 pak byla vyhodnocena programem vytvořeným v programovacím jazyce C++ a následně vykreslena programem SURFER do jednotlivých klimatických podtypů. Rozložení podtypů a věrohodnost obou modelů se následně diskutuje.

Klíčová slova: Köppenova klasifikace, regionální klimatické modely, CRU klimatologie

Title: Classification of current European climate from regional climate models

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 Europe based on two regional climate models (HIRHAM and RCAA) and on CRU climatology. First, a short history of climate classifications is introduced. Then, the advantages of Köppen classification are presented, especially its relation to occurrence of vegetation and to possibilities of human life. Up to the present day, Köppen classification is of the most used categorization systems and it is thoroughly introduced in the thesis. Further, this thesis mentions today's global and regional climate models. The data of monthly values of precipitation and temperature were analysed by means of a program created in the programming language C++ and consequently visualized by the program SURFER to show individual climatic subtypes. The data represented averaged values for the period 1961–1990. Finally, the distribution and the veracity of both models are discussed.

Keywords: Köppen classification, regional climate models, CRU climatology

Úvod

Klima všeobecně pojímáme jako dlouhodobý charakteristický režim atmosférické cirkulace, popsaný jednak průměrnými hodnotami klimatických veličin (teplot, srážkových úhrnů a dalších), jednak mírou jejich rozptýlenosti a proměnlivosti. 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. Dodnes je jednou z nejpoužívanějších **Köppenova klasifikace**, např. její verze z roku 1936. Tato klasifikace používá jako vstupní údaje průměrné měsíční hodnoty teplot a měsíční úhrny srážek. Její výhodou je především ohled na podmínky vhodné pro výskyt určitého typu vegetace a podmínky k životu člověka.

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 posouzení schopností modelů simulovat skutečně pozorovaný charakter klimatu je aplikace Köppenovy klasifikace klimatu.

Vstupní data jsou v analyzovaných datových souborech reprezentována v soustavě pravidelně rozmístěných gridových bodů. Tato data, reprezentující reálné i modelové klima, budou v práci vyhodnocena s ohledem na výskyt jednotlivých Köppenových klimatických typů. Po aplikování klasifikace klimatu vykreslíme mapy současného klimatu Evropy v jednotlivých podtypech a zhodnotíme schopnosti modelů simulovat skutečné klima.

1. Klasifikace klimatu

Následující kapitoly o klasifikacích klimatu čerpají z [1], kde lze rovněž nalézt odkazy na jednotlivé informační zdroje.

1.1. Pojem klima

Dříve než diskutujeme zavedení klasifikace klimatu je vhodné zavést pojem klima. Tento pojem se poprvé objevil u **Parmenidése**, řeckého filozofa, v 5. st. př. K. a podle [1] se vztahoval k mezišírkovým změnám příjmu slunečního záření v tehdy známém světě.

Dammann poukázal v roce 1951 na zajímavý fakt, že lidé mluví o klimatu a myslí tím stav počasí po určitou dobu, jako je týden nebo jen pár dní. Podle [1] většina klimatologických textů za posledních 30 let nedefinuje termín klima a předpokládá, že čtenář zná rozdíl mezi pojmy klima a počasí. Obecně se bere klima jako charakteristický dlouhodobý režim počasí v určitém místě, zjednodušeně jako průměrný stav atmosféry za dostatečně dlouhou dobu (typicky několik desítek let), přesná definice však není snadná. Na začátku 20. století zavádělo spoustu autorů své vlastní definice, v té době byla klimatologie navíc spíše součástí geografie, zato dnes se považuje za součást meteorologie.

Pojem průměrné počasí vedl **Geigera** v roce 1933 k rozlišení na makroklima, mezoklima a mikroklima. My však budeme uvažovat pouze makroklima, event. klima regionu. V roce 1979 přijala **Světová klimatologická konference** zdlouhavou definici klimatu, která lze opět jednoduše shrnout jako průměrný atmosférický stav.

1.2. Klimatické klasifikace

Klasifikace je aplikována na jeden nebo více meteorologických prvků a jednoznačně dělí místa do skupin se stejnými klimatickými podmínkami, tj. stejným klimatickým typem. Jednotlivé skupiny jsou od sebe odděleny hranicemi.

Jednotlivé typy od sebe můžou být odděleny například podle toho, jak ovlivňují žití člověka, vegetaci nebo např. ekonomiku. Podle [1] vyjádřil **Landsberg** roku 1969 pochyby, zda někdy nějaký autor prezentuje takovou klasifikaci klimatu, která by zahrnovala více meteorologických prvků. Tento problém se také vztahuje k využití moderních počítačů.

Griffith rozpoznal problémy spojené s výběrem správné klasifikace a roku 1966 popsal jejich společné vlastnosti. Odlišil čtyři principy:

1. Klasifikace musí být schopna porovnávat kvanta klimatických dat v snadno porovnatelné a srozumitelné podobě.
2. Systém musí být jednoduchý na aplikaci.
3. Musí se směřovat k omezeným, jasně definovaným cílům založeným na atmosférických parametrech.
4. Je třeba stavět na meteorologických zásadách.

1.3. Klasifikace před Köppenem

Klasifikace před rokem 1500 jsou "historické". Mají společné dvě věci. Jednak jsou založeny na množství dopadajícího slunečního záření, protože se měřil úhel dopadu paprsků a délka dne, tudíž teplota naznačovala horkost, mírnost, chladnost. Především však byl znám jen starý svět, tedy hlavně okolí Středozemního moře. Hranice mezi klimatickými pásmi byly vedeny převážně mezišírkově. Později se zjistily rozdíly mezi severní a jižní stranou pohoří. Teprve s objevením ostatních kontinentů a vynalezením teploměru a tlakoměru začal rozvoj klasifikace makroklimatu.

Do roku 1800 spadá většina klasifikací mezi empirické, teprve u Humboldta vidíme změnu. Zmiňme některé osobnosti, které zasáhly do vývoje klasifikace klimatu.

Výraz meteorologica pochází od Aristotela (asi 350 př.K.), ačkoli on osobně ještě nerozlišoval mezi počasím a klimatem. **Torricelli** vynalezl zhruba kolem roku 1641 rtuťový tlakoměr a o 30 let později byl vynalezen rtuťový teploměr. Objevily se také astronomické přístroje a první mapy světa. V 2. polovině 18. st. začala na několika místech světa pravidelná meteorologická měření se standardizovanými přístroji v pevně stanovených časech. **William Dampier** (1652-1715) vytvořil první mapy světa s rychlostmi větru nad oceány. Mapy byly úžasně přesné. V širším smyslu je můžeme brát jako první vývojové klasifikace. **Alexander von Humboldt** představil roku 1817 první mapu světa s průměrnými ročními teplotami. Vzhledem k účinkům na žití člověka rozdělil svět na sedm zón, které už nevedly mezišírkově. Rovněž poukázal na změnu teploty s výškou. Přišel s pojmem lidský faktor a jedná se nejspíše o první klasifikaci, která sledovala určitou praktickou aplikaci. Jeho průkopnická práce zahrnovala celý svět.

Griesenbach (1872) představil myšlenku vztažení klimatu k růstu vegetace. Ravenstein (1900) bral jako první v úvahu jak teploty a srážky, tak i vlhkost.

1.4. Jiné klasifikace v době Köppena

Herbertson (1912) jako první přijal hranice teploty 0 °C, 10 °C a 20 °C a pomocí teplot nejteplejšího a nejchladnějšího měsíce definoval 10 zón. Lang (1915) navrhnul index suchosti. DeMartonne (1925) hledal význam indexu odtoku. Většina systémů vůbec nebере v úvahu jako parametr vítr. Penck (1910) uvažuje vodní cyklus, tj. srážky, výpar, odtok a spodní vodu.

Hettnerova práce (1930, podle [1]) je první skutečnou vývojovou klasifikací založenou na mapách větru. Mapy větru zrcadlí systém všeobecné cirkulace poháněný slunečním zářením, tlakem a rotací Země kolem své osy. Ačkoli je známo sedm odlišných režimů větru, není možné je matematicky popsat. Hettner odlišuje následující typy:

- A. Východní polární větry
- B. Pás nízkého tlaku vzduchu – polární fronta
- C. Převládající západní větry
- D. Subtropický pás vysokého tlaku – koňské šírky
- E. Oblast pasátů
- F. Rovníkové pásmo tišin – zóna konvergence (ITC)
- G. Zvláštní typy závislé na nadmořské výšce

Tyto typy se ještě dále dělí. Velkou nevýhodou je nejasnost hranic a nemožnost je zakreslit.

1.5. Wladimir Köppen

Wladimir Köppen se podle [2] narodil roku 1846 v Sankt Petěrburgu a zemřel 1940 v Grazu. Většinu života strávil v Německu a Rakousku. Největším přínosem byla jeho klasifikace klimatu, která se dodnes běžně používá. Byl jedním z posledních učenců, který měl dostatečně široké zázemí a intelektuální schopnosti, aby významně zasáhl do více odvětví vědy. Jeho dědeček se do Ruska dostal jako lékař, jednu dobu byl dokonce osobním lékařem cara. Jeho otec byl etnografem starých ruských kultur. Wladimir studoval v Simferopoli na Krymu a poté na univerzitě v Petěrburgu. Flóra, geografická rozmanitost Krymského poloostrova a rozdíl mezi klimatem v Petěrburgu a doma na Krymu u něj probudily zájem o studování vztahu mezi přírodou a klimatem. Poté zastával různé posty na německých univerzitách a ústavech. Mimo jiné experimentoval s balóny, aby získal data z vrchních vrstev troposféry. Roku 1884 publikoval svoji první verzi klasifikace. Poslední uvedl spolu s **Rudolfem Geigerem** roku 1936.

Dále se zabýval paleoklimatologií a jeho zet' podpořil roku 1924 Milankovičovu teorii o dobách ledových. Köppen byl plodný vědec, sepsal více než 500 článků a udržel si svoji intelektuální zvědavost a široký záběr zájmů po celý svůj život. Zajímal se o sociální otázky, reformu školství a byl velkým zastáncem esperanta, do kterého přeložil mnoho svých prací.

1.6. Köppenova klasifikace

Jak uvádí [1], W. Köppen na své klasifikaci pracoval více než 30 let, než byl konečně spokojen. Především verze z roku 1936 (spolu s Geigerem) je všeobecně používaná. Jeho záměrem bylo zavést efektivní, komplexní systém, který načrtne teplotní a srážkové režimy. Obával se však, že bude potřebovat údaje z celého světa. Ty byly tehdy dostupné v postačujícím množství jako měsíční a roční průměry teplot a měsíční a roční sumy srážek. Za použití měsíčních hodnot byl později kritizován, jiné však nebyly v jeho době dostupné. Mnoho jeho studií začínalo metodou idealizovaného kontinentu.

Köppen začínal s pěti hlavními typy **A**, **B**, **C**, **D**, **E** (názvy typů nemají nic společného s Hettnerovou prací uvedenou v kap. 1.4). Hranice byly stanoveny biologickými, ekonomickými a vegetačními faktory - především účinky na život lidí a rostlin. Všiml si, že **18 °C** je optimální teplota pro lidskou činnost. Zóny s teplotou stále nad **18 °C** jsou už příliš horké. Pokud nějaký měsíční průměr klesne pod **-3 °C**, zůstává na tom místě v zimě sníh. Trewartha a Critchfield upravili tuto hranici pro USA na **0 °C**.

Systém klasifikace bude matematicky popsán v kapitole 3.2, zde zatím uvedeme myšlenky, ke kterým došel Köppen. Při stejném úhrnu srážek za rok, bude suchý typ-B spíše oblast se srážkami v létě, tj. rostlinám více vyhovují zimní srážky. Kde letní období je v tomto smyslu vlastně vegetační období (duben- září) a zimní období (říjen - březen) je doba klidu. Pokud v obou pololetích spadne **30–70%** celoročních srážek, jedná se o místo s rovnoměrně rozloženými srážkami.

Pokud měsíční průměr nikdy nepřekročí **10 °C**, ale někdy vystoupí nad **0 °C**, nemá lokalita lesní porost, ale nízké rostliny mohou přes léto růst. Tyto regiony nazýváme tundrou, oblastí trvale zmrzlé půdy, a v Köppenově klimatické klasifikaci jim přísluší značení **Et**. V případě stálých teplot pod bodem mrazu je oblast pokryta ledem po celý rok. Tento klimatický typ se označuje jako **Ef** a vyskytuje se především v oblastech za polárním kruhem a horských oblastech.

Nás nejvíce zajímají typy vyskytující se ve většině Evropy - **C** a **D**. Ty se dělí pomocí dvou kritérií - ročního rozložení srážek a možnosti, že některé letní měsíce jsou obzvláště teplé. O těchto kritériích opět více při samotném zpracování.

Typ **A** obecně odpovídá velmi teplému klimatu. Zohledňuje také případnou existenci monzunu, pro který zavádí kategorii se suchými měsíci, ale celoročním nadbytkem srážek (**Am**).

Köppen rovněž zavádí indexy pro různé druhy mlh, trend teploty během roku nebo pro hodnoty teplot během roku v suchých typech **B**.

Hlavních pět klimatických typů lze na mapě snadno rozoznat, ale úplná klasifikace se všemi podtypy může vytvořit takové hranice, že jednotlivá pásmá vytvářejí složitou strukturu. Přesto tato klasifikace umožňuje přesná rozhodnutí o podtypu. Jediným nedostatkem zdůrazněným ostatními autory je to, že Köppenova klasifikace neuvažuje **délku slunečního svitu a vítr** jako explicitní prvky.

Ne všechny podtypy na Zemi skutečně existují - např. typ **As** se vypouští, protože je velmi vzácný a vyskytuje se jen na Havaji.

1.7. Použitá verze Köppenovy klasifikace

V této podkapitole uvádíme jednu z verzí Köppenovy klasifikace podle [1], která má 24 podtypů a horské klima H.

Af	Tropický deštný les, horko, déšť rovnoměrně
Am	Tropický monzunový, horko, sezónní nadměrné úhrny srážek
Aw	Tropická savana, horko, období sucha (většinou v průběhu zimy)
BSh	Tropická step, horko, polopoušt'
BSk	Step středních šířek, polopoušt', chladno, zima
BWh	Tropická poušt', horko, suchá oblast
BWk	Poušt' středních šířek, chladno, zima, suchá oblast
Cfa	Vlhké subtropy, srážky celoročně, dlouhé horké léto, mírná zima
Cfb	Mořské, srážky celoročně, teplé léto, mírná zima
Cfc	Mořské, srážky celoročně, krátké léto, mírná zima
Csa	Vnitrozemské středomořské, mírná zima, teplé, suché léto
Csb	Přímořské středomořské, mírná zima, horké, suché léto
Cwa	Subtropické monzunové, mírná, suchá zima, horké léto
Cwb	Tropické náhorní, mírná, suchá zima, teplé léto
Dfa	Vlhké kontinentální, srážky celoročně, horké léto, studená zima
Dfb	Vlhké kontinentální, srážky celoročně, teplé léto, studená zima
Dfc	Subarktické, srážky celoročně, krátké léto, studená zima
Dfd	Subarktické, srážky celoročně, krátké léto, krutá zima
Dwa	Vlhké kontinentální, horké léto, studená, suchá zima
Dwb	Vlhké kontinentální, teplé léto, studená, suchá zima
Dwc	Subarktické, krátké léto, studená, suchá zima
Dwd	Subarktické, krátké léto, krutá, suchá zima
ET	Tundra, velmi krátké léto
EF	Pokryto sněhem a ledem celý rok
H	Horské klima

Typ H nelze snadno popsat. Některé typy (Dfd, Dwd) se téměř nevyskytují a některé dvojice můžeme pro zjednodušení sloučit (BS, BW, Cs, Cw). Námi vyhodnocované podtypy jsou uvedeny v kapitole 3.2.

2. Klimatické modely

Následující kapitoly pojednávající o klimatických modelech čerpají z [3].

2.1. Globální klimatické modely

Podle [3] jsou globální klimatické modely (GCM) základním prostředkem pro vytvoření scénářů změny klimatu. U současné generace modelů se typicky jedná o spojení modelu atmosféry (AGCM) s modelem oceánu (OGCM). Výstupy modelů se udávají v horizontální síti uzlových bodů. Část povrchu příslušná jednomu uzlovému bodu, tzv. **gridbox**, má zadán jeden typ vegetace a půdy a reprezentuje několik stupňů zeměpisné šířky a délky. Fyzikální podmínky ovlivňující místní klima jsou tedy zjednodušeny a zkresleny. Pro každý gridbox dává model jednu hodnotu klimatické veličiny. Ve vertikálním směru je model dělen do několika hladin. **Spolehlivost** výstupů klesá s rostoucím horizontálním rozlišením od kontinentálního k lokálnímu měřítku. Přestože se GCM mohutně rozvíjí, stále neposkytují tak vysoké rozlišení, aby splnilo všechny požadavky na vstupní informace, např. pro studie dopadů změn klimatu.

Mezi GCM patří např. model ECHAM4/OPYC. Obě složky byly vyvinuty v Hamburku. **ECHAM4** má rozlišení zhruba $2.8 * 2.8$ stupně a 19 výškových hladin. V radiačních schématech vystupují kromě CO_2 i další skleníkové plyny CH_4 , N_2O , freony nebo O_3 . V úvahu je brána i sněhová pokrývka a další složité procesy probíhající v mezní vrstvě atmosféry.

OPYC je model oceánu, vertikální souřadnicí je potenciální teplota. Předpokládá se chování oceánu jako nedisipativní tekutiny. To však neplatí v oblastech turbulence při povrchu oceánu. Působení atmosféry na směšovací vrstvu oceánu musí být dobře propojeno s vnitřní částí oceánu. Model zahrnuje i model mořského ledu.

Dalším globálním klimatickým modelem je **HadCM3** z britského Hadleyho Centra. Horizontální rozlišení je $2.5 * 3.75$ stupnů. Celý svět je tedy reprezentován $73 * 96$ body, což např. v oblasti severní Itálie představuje $278 * 295$ km. Schéma zemského povrchu zahrnuje vliv zamrzání a tání na půdní vlhkost. V [3] se uvádí, že model atmosféry počítá i transport, oxidaci a odstraňování antropogenních emisí sloučenin síry fyzikální depozicí a vymýváním. To umožňuje modelování působení sulfátových aerosolů. V tomto modelu jsou skleníkové plyny počítány explicitně každý zvlášť.

Porovnání rozložení klimatických typů mezi HadCM3, ECHAM a CRU můžeme nahlédnout v [4].

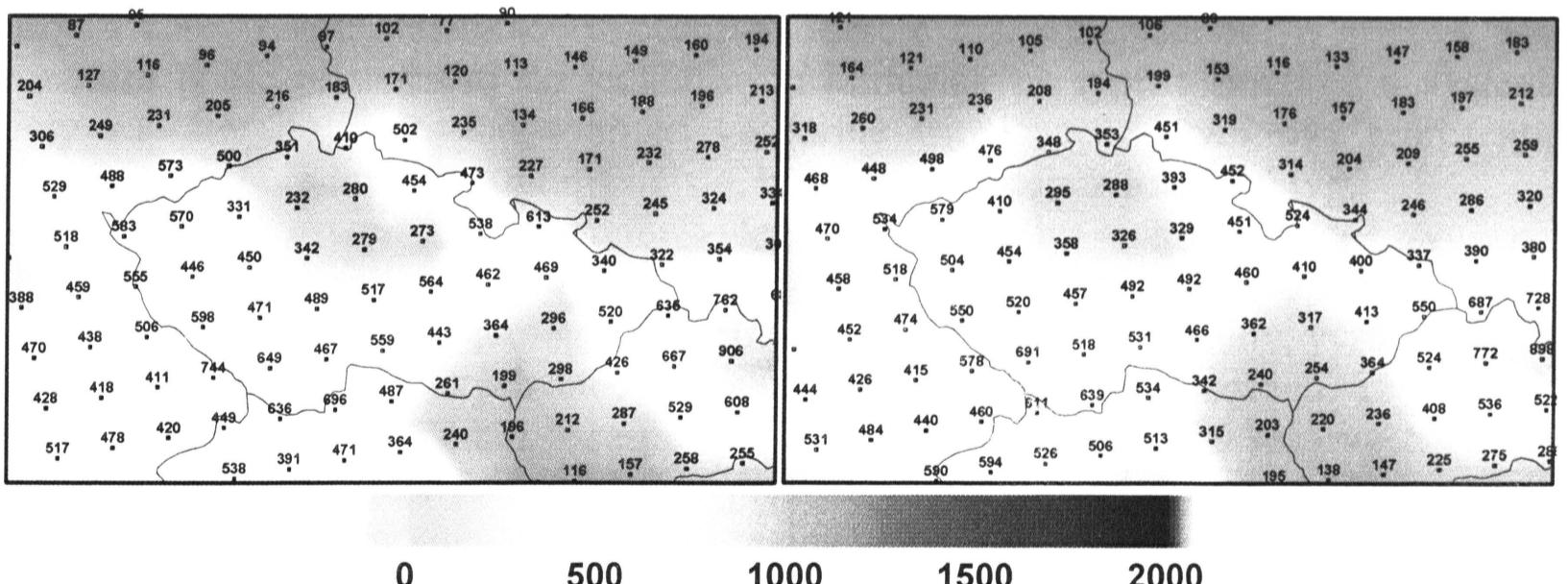
2.2. Regionální klimatické modely

Podle [3] existují metody přenesení velkorozměrové informace do menších měřítek - tzv. **downscaling** ("metoda zmenšování měřítka"). Dynamickým downscalingem rozumíme použití modelu s daleko větším rozlišením na omezené oblasti (tzv. regionálního klimatického modelu – RCM), přičemž jako okrajové podmínky do lokálního modelu vstupují hodnoty získané globálními modely. Další možný způsob, **metoda časových řezů**, spočívá v integraci modelu s vyšším rozlišením na kratším časovém úseku, kde jako okrajové podmínky vstupují výsledky integrace původního úseku. Konečně pod **statistickým downscalingem** chápeme hledání statistických vztahů mezi velkorozměrnými poli ve volné atmosféře - prediktory a špatně simulovatelnými avšak pro dopad výsledků klimatických změn důležitými prediktandy.

Model **RCAO** vznikl ve Švédsku a v případě námi prováděné analýzy byl řízen globálním modelem HadCM3. Zpočátku byl používán zejména pro Arktickou oblast. Model **HIRHAM** byl vyvinut v rámci společného projektu meteorologických služeb Dánska, Finska, Islandu, Irska, Holandska, Norska, Švédska a Španělska. Pro okrajové podmínky používá globální cirkulační model ECHAM. Horizontální rozlišení HIRHAMu je $50 * 50$ km.

Za zmínu stojí problém **orografie**. Čím plošší terén, tím reprezentativnější modelování. V [3] se uvádí, že v České Republice leží přibližně 34 gridových bodů u modelu HIRHAM mezi 199 m a 744 m. U RCAO od 240 m do 691 m. Tvar modelového terénu obou použitých regionálních modelů a nadmořská výška jednotlivých gridových bodů je zachycena na obr. 1.

Z výsledků uvedených v [3] je pro nás zajímavé: Regionální klimatické modely nadhodnocují pro ČR zimní teploty a především zimní srážky. To je nejspíše způsobeno příliš hlubokou tlakovou níží modelu nad ČR oproti skutečnosti.



Obr. 1: Rozložení gridových bodů modelů HIRHAM (vlevo) a RCAO (vpravo) v oblasti České republiky a výška modelového terénu [m]. Čísla představují výšku jednotlivých gridových bodů (Autor: Jiří Mikšovský, zdroj dat: PRUDENCE)

2.3. CRU klimatologie

Climatic Research Unit (<http://www.cru.uea.ac.uk/>) je podle [5] jedno z široce známých center, které působí v oblasti studia přírodních a člověkem způsobených změn klimatu. Je součástí University of East England v Norwichi.

Pozorované souhrnné celosvětové soubory dat produkované CRU jsou dostupné v gridových bodech v síti **0.5 * 0.5** zeměpisného stupně. Pro každý bod jsou dostupné hodnoty různých klimatických proměnných, reprezentující podmínky v dané oblasti. Řady různých center se mohou mírně lišit. Řada CRU, kterou využijeme i my, je jednou z nejpoužívanějších.

Všechna naše data už jsou přímo dostupná v **gridových bodech**. Pokud bychom klasifikovali klima oblasti, která není dostatečně pokryta meteorologickými stanicemi, jako např. v práci [6] pro vnitrozemí Brazílie, a nemohli bychom nebo nechtěli použít gridovaný soubor některého centra, mohli bychom použít např. matematickou metodu Voronoiho polygonů.

3. Zpracování

3.1. Zpracování

Jako **vstupní data** nám v případě regionálních modelů posloužily soubory modelových výstupů, dostupné na stránkách projektu PRUDENCE [7]. Datové soubory CRU klimatologie byly staženy přímo ze stránek IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change – Mezivládní panel pro změnu klimatu – [8]). Všechna data jsou pro příslušné gridové body. Jak pro modely HIRHAM a RCAO, tak pro CRU klimatologii byly využity soubory udávající hodnoty měsíčních průměrů teplot a srážkových úhrnů. Všechny hodnoty jsou **průměry za období 1961 – 1990**. Srážky byly uvedeny v mm/den, teploty ve stupních Celsia nebo v Kelvinech.

Textové soubory jsme načetli pomocí programu, vytvořeného v programovacím jazyku **C++**. Podle klasifikace uvedené v kapitole 3.2. jsme jednotlivé gridové body roztrídili podle příslušnosti do jednotlivých klimatických typů a podtypů a výsledky byly zapsány do textového souboru ve formě tří sloupců. První dva reprezentují geografické souřadnice a v třetím je číslo, které reprezentuje klimatický typ.

Poté byly v programu **Surfer** vykresleny jednotlivé mapy s vhodně zvoleným barevným škálováním a mapy byly doplněny podkladovou mapou hranic států.

Zatímco CRU klimatologie je definována jen pro oblast pevniny, výstupní oblast obou použitých klimatických modelů zahrnuje i povrch moří a oceánů. Liší se také struktura modelových sítí, respektive polohy jednotlivých uzlových bodů. V prezentované analýze jsou výsledky prezentovány v původní podobě, bez snahy o konverzi do jednotné sítě, a v případě regionálních modelů byla vykreslena i oblast oceánů, přestože v ní není porovnání s CRU klimatologií možné.

3.2. Použitá klasifikace

Uvádíme použitou klasifikaci, která se drží verze uvedené v [4].

R je roční úhrn srážek a **T** je průměrná roční teplota.

Úhrny jsou uvedeny v **cm** a teploty ve **stupních Celsia**.

Typ A

Všechny průměrné měsíční teploty $> 18^{\circ}\text{C}$ 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

Typ C

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

Cs zimní srážky mají více než třikrát větší úhrn než letní

Cw letní srážky mají více než desetkrát větší úhrn než zimní

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 $> 22^{\circ}\text{C}$

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

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

Typ D

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

Dw

Dwa **Dwb** **Dwc**

Df

Dfa **Dfb** **Dfc**

Podmínky zadány stejně jako pro typ C.

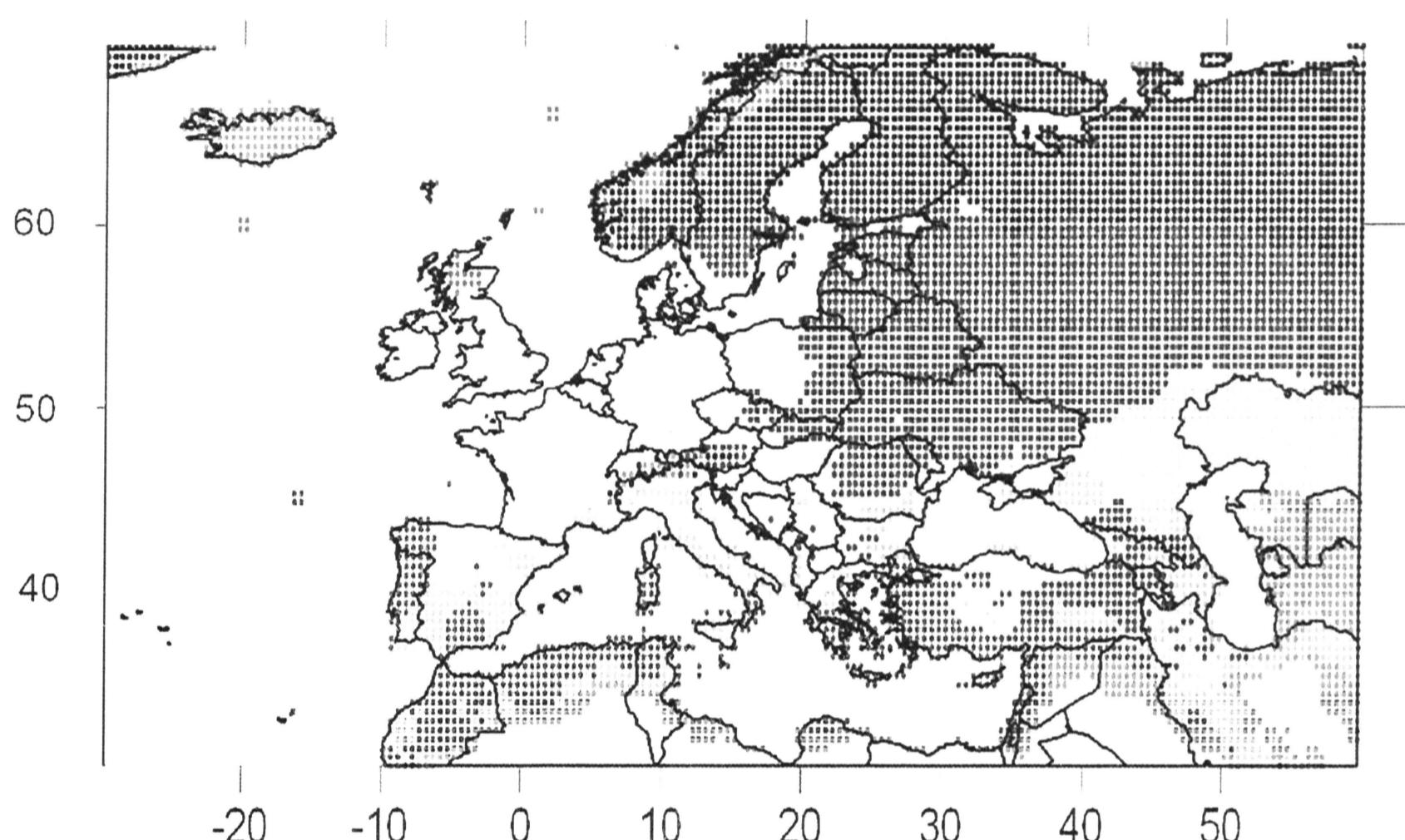
Typ E

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

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

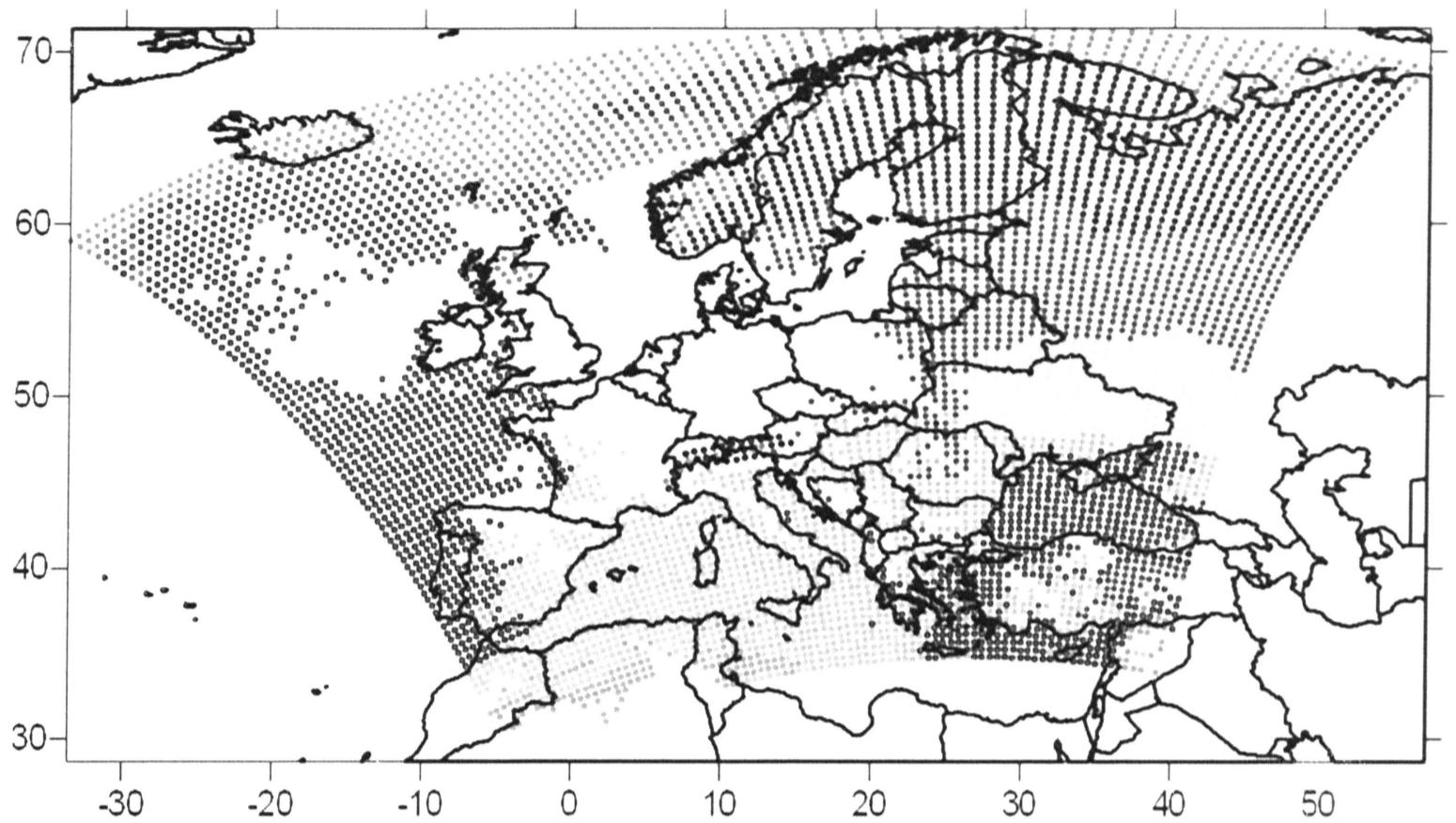
3.3. Mapy klimatických typů

Vykresleny byly mapy se všemi vyskytujícími se podtypy, mapy jen se základními typy B, C, D a E a mapy střední Evropy. Zjistili jsme, že typy A (tropy) a Cw, Dw (výrazná převaha letních srážek) se v Evropě a jejím nejbližším okolí nevyskytují.

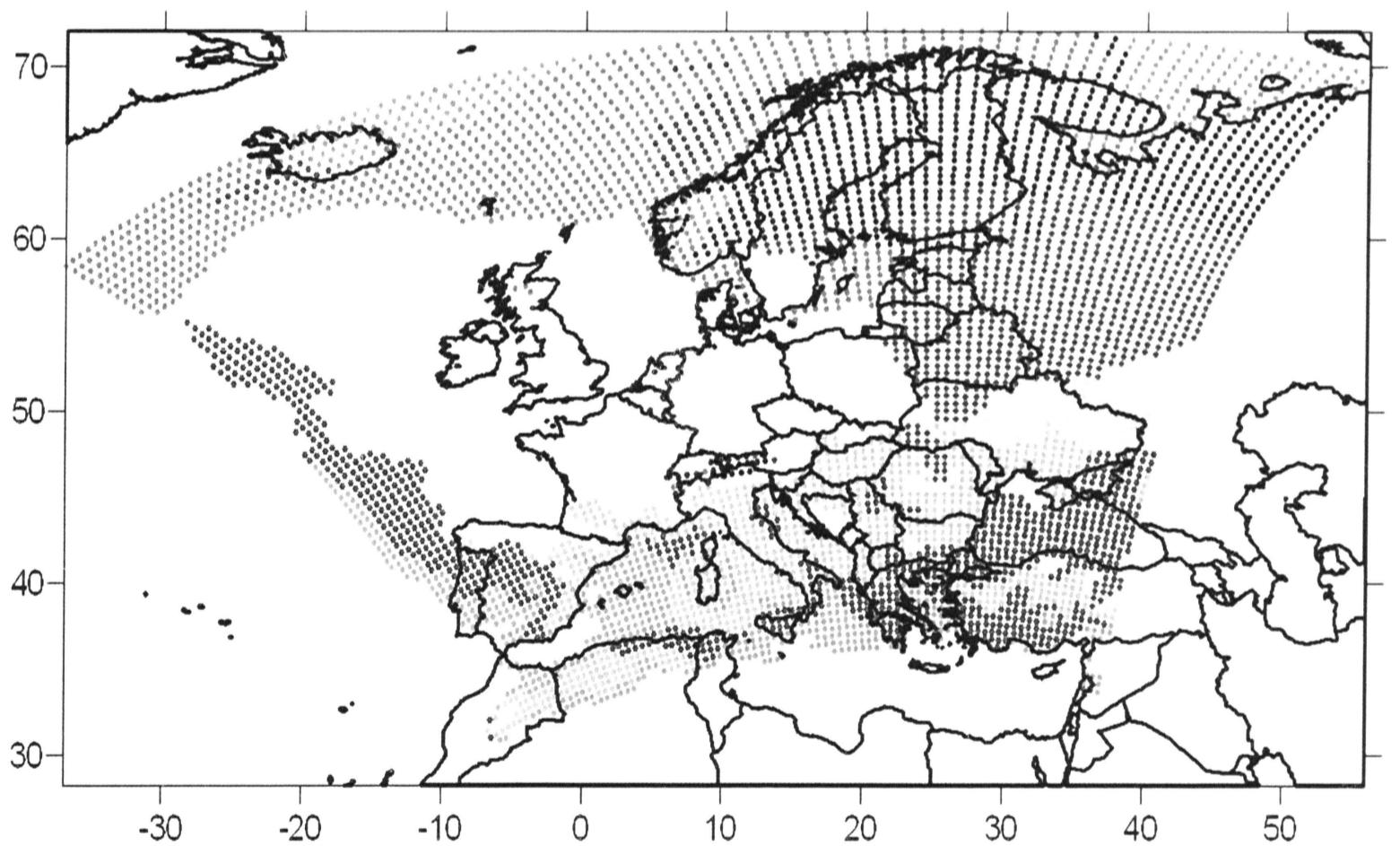


Obr.2.a) Köppenova klasifikace klimatu Evropy podle CRU klimatologie

BW	• Cfa	Dfa	• ET
• BS	Cfb	• Dfb	• EF
• Cs	• Cfc	• Dfc	

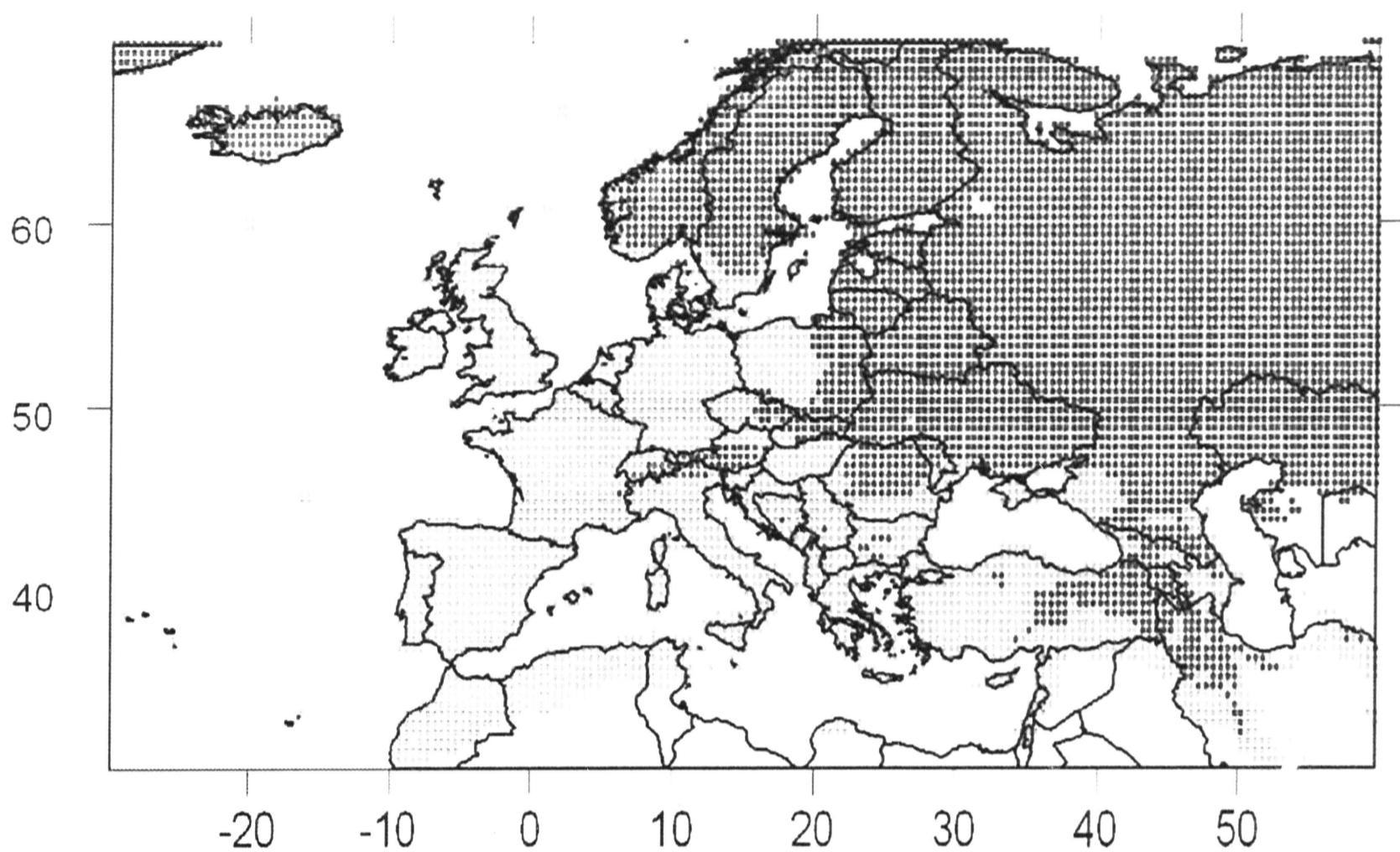


Obr.2.b) Köppenova klasifikace klimatu Evropy podle modelu HIRHAM

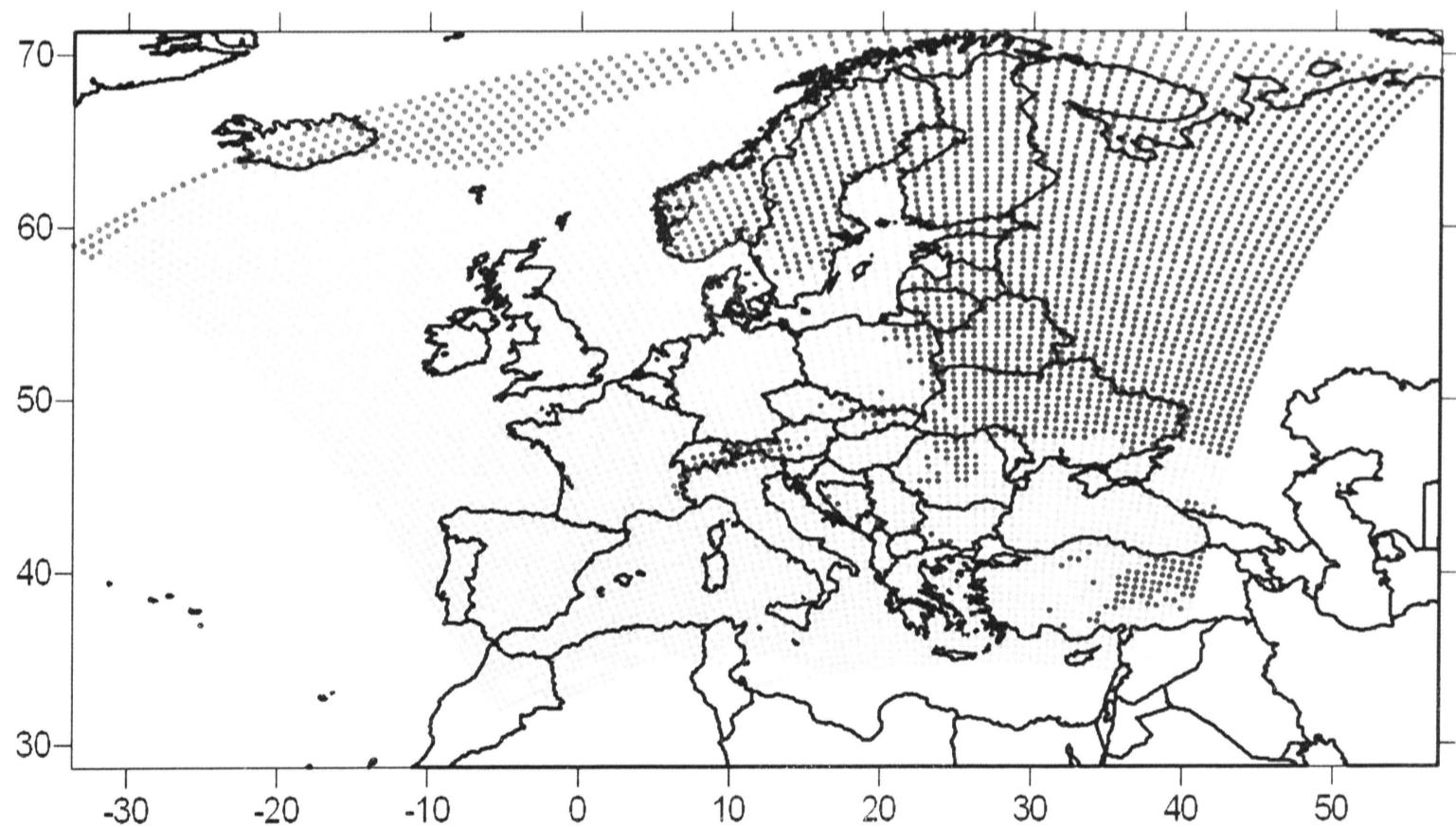


Obr.2.c) Köppenova klasifikace klimatu Evropy podle modelu RCAO

BW	• Cfa	• Dfa	• ET
• BS	• Cfb	• Dfb	• EF
• Cs	• Cfc	• Dfc	

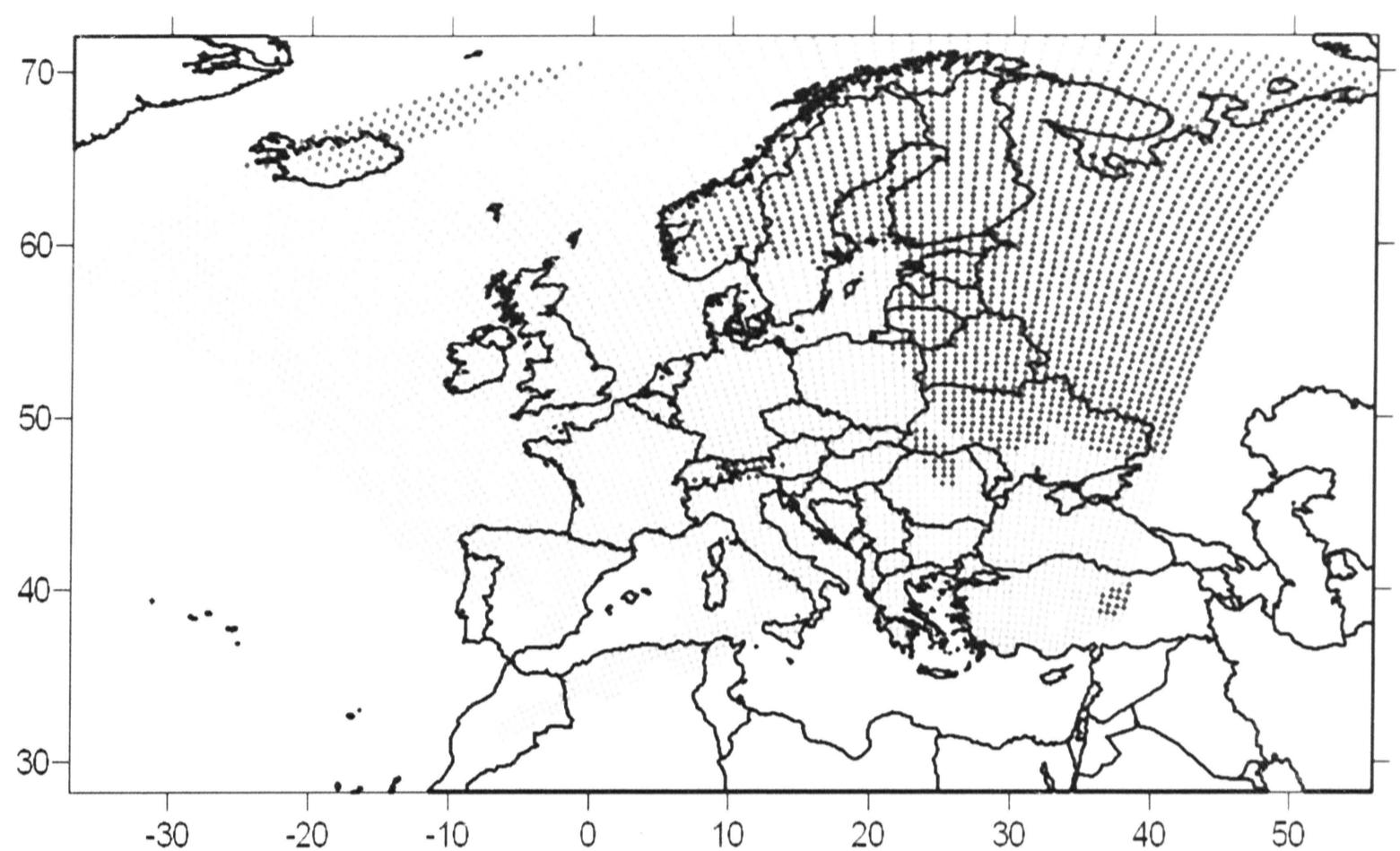


Obr.3.a) Köppenova klasifikace, základní typy B, C, D, E podle CRU klimatologie



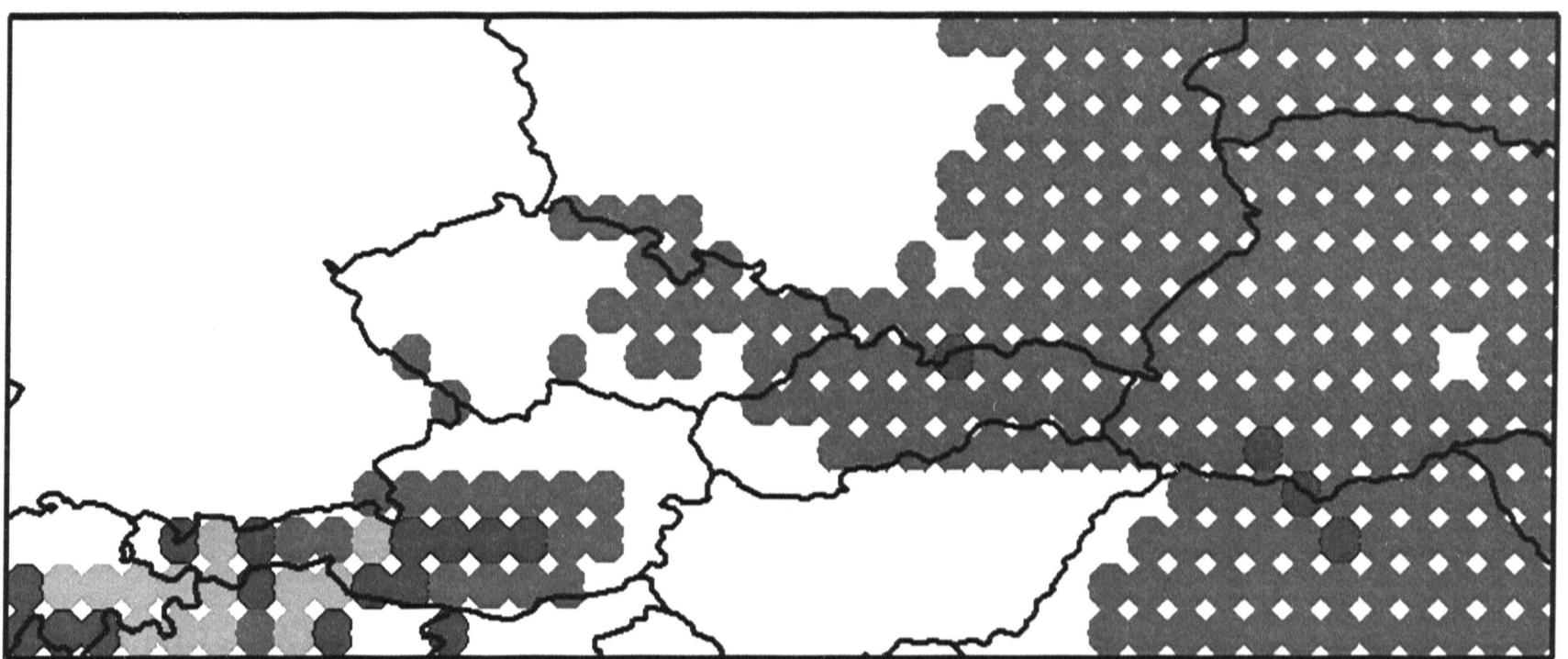
Obr.3.b) Köppenova klasifikace, základní typy B, C, D, E podle modelu HIRHAM

typ B ● **typ C** ● **typ D** ● **typ E**

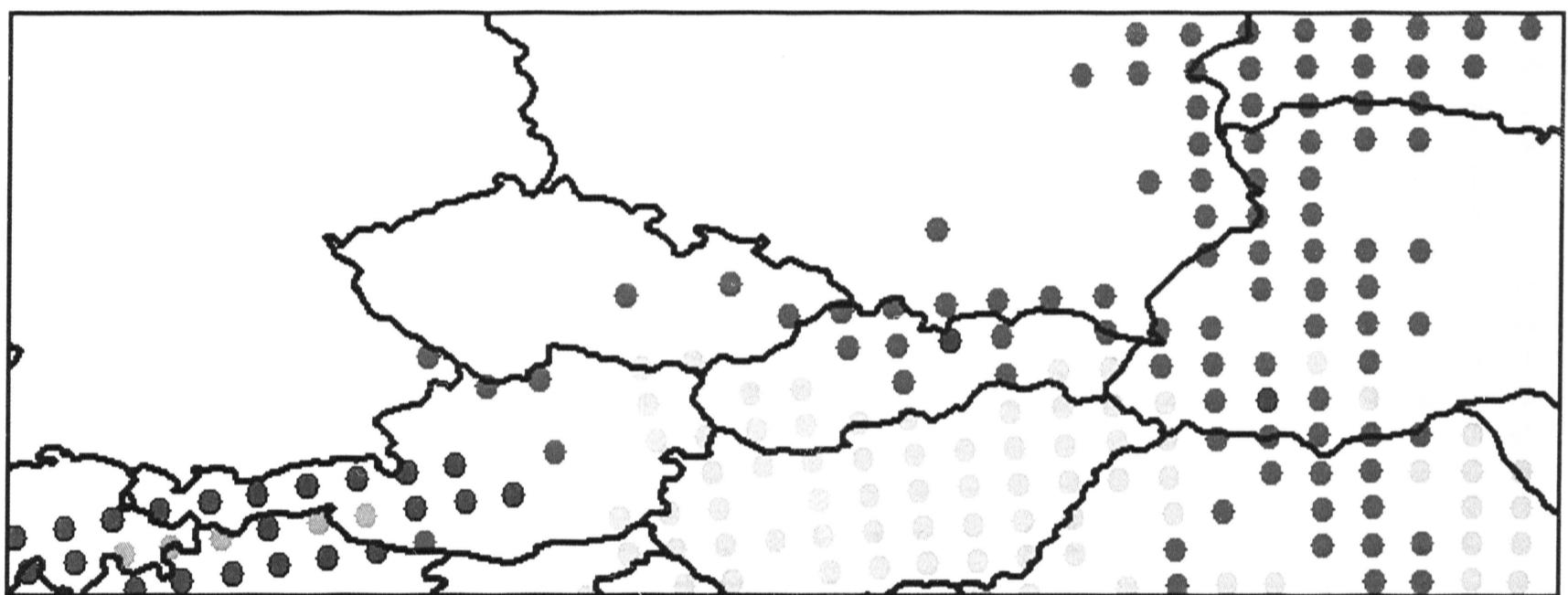


Obr.3.c) Köppenova klasifikace, základní typy B, C, D, E podle modelu RCAO

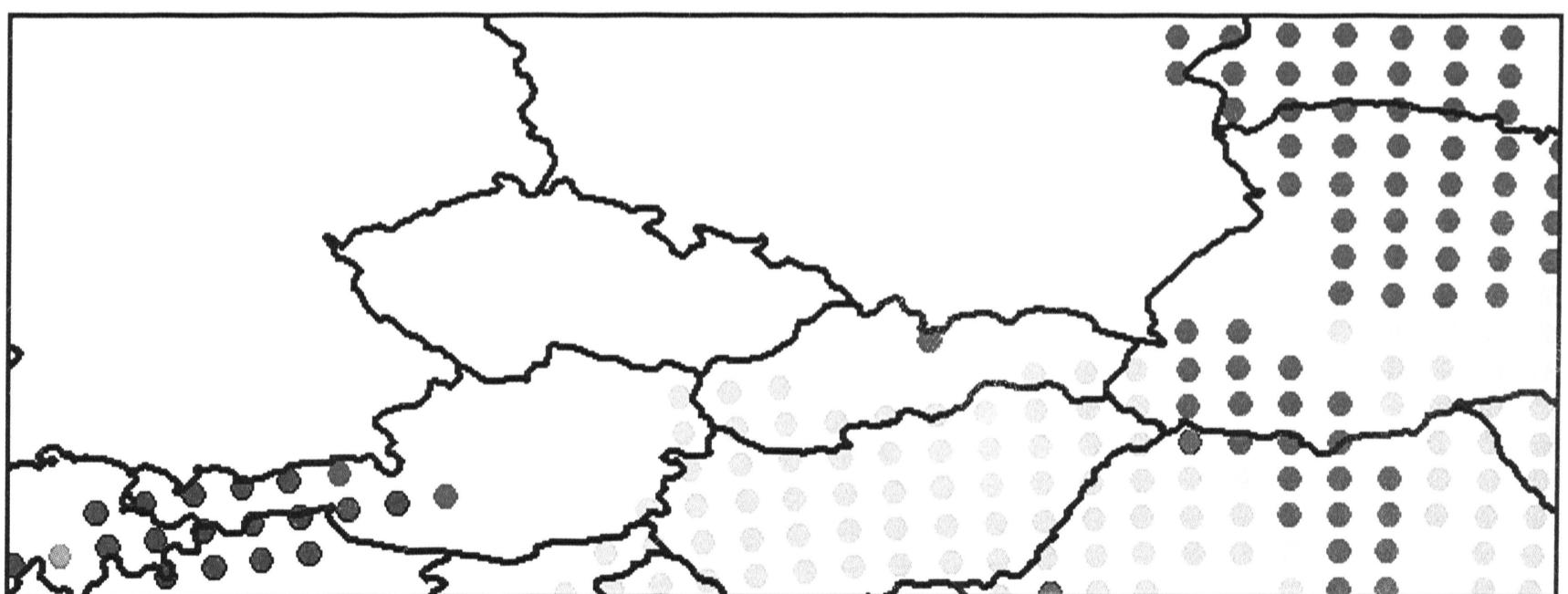
typ B **typ C** **typ D** **typ E**



Obr.4.a) Köppenova klasifikace střední Evropy podle CRU klimatologie



Obr.4.b) Köppenova klasifikace střední Evropy podle modelu HIRHAM



Obr.4.c) Köppenova klasifikace střední Evropy podle modelu RCAO

•Cfa •Cfb •Cfc •Dfa •Dfb •Dfc •ET

3.4. Zjištěné rozdíly mezi modely a CRU

Nejdříve uvedeme **nejvýraznější rozdíly** (v závorce je vždy uveden klimatický typ, který v dané oblasti odpovídá modelu, oproti typu, který přísluší CRU klimatologii):

Rozdíly mezi modely a CRU:

RCAO nadhodnocuje letní teploty v jižním Finsku (Dfb – Dfc).

Oba modely nadhodnocují letní teploty na Ukrajině (Dfa – Dfb).

RCAO nadhodnocuje letní teploty ve Skotsku (Cfb – Cfc).

Oba modely nadhodnocují zimní teploty na Slovensku a Polsku (Cfb – Dfb).

Oba modely nadhodnocují letní teploty na Balkáně, v severním Turecku a v Itálii (Cfa – Cfb).

HIRHAM podhodnocuje letní teploty v jižním Norsku (ET – Dfc).

RCAO podhodnocuje srážky na Kypru, na řeckých ostrovech, v Tunisku, na Baleárách, v Maroku a v jižním Španělsku (BW, BS – Cs, Cfa).

Především HIRHAM podhodnocuje oblasti převážně zimních srážek v Maroku, v Řecku a na Sicílii (Cs).

Rozdíly mezi modely:

HIRHAM oproti RCAO situuje srážky nad severním Atlantikem do zimy (Cs).

RCAO oproti HIRHAMU vykazuje severně od Norska teplejší léta.

Nadhodnocování teplot oproti CRU je u RCAO výraznější.

RCAO oproti HIRHAMU ubírá srážky v celé oblasti Středozemního moře.

Vyhodnocení rozdílů:

Oba modely nadhodnocují teploty, RCAO více než HIRHAM (víme, že RCAO bylo původně používáno pro Arktickou oblast).

V severní půlce Evropy jsou rozdíly jasně zřetelné, v jižní se ale k faktoru teploty přidává faktor celkového úhrnu srážek a jeho rozdělení v průběhu roku (pro určení typu B se používá léto jako půlrok, pro typ Cs jako čtvrtletí), proto nelze situaci ve Středozemí jednoduše zobecnit.

Přesto lze říci, že model RCAO výrazně podhodnocuje srážky ve Středozemí.

Závěr

Práce zkoumala **schopnosti současných klimatických modelů** věrohodně reprezentovat skutečně pozorované hodnoty stěžejních klimatických veličin. Bylo provedeno porovnání výskytu Köppenových klimatických typů pro dva regionální modely (HIRHAM a RCAO) a CRU klimatologii, reprezentující pozorované klima. Oba modely (RCAO výrazněji) mírně nadhodnocují hodnoty v **poli teplot**.

Otázka **pole srážek** je složitější. V severním Atlantiku si modely odporují, ale v této oblasti nelze provést porovnání se skutečnými údaji. V střední a východní Evropě se faktor srážek do klasifikace nepromítne a ve Středozemí se k faktoru teploty přidává faktor celkového úhrnu srážek a jeho rozdělení v průběhu roku (pro určení typu B se používá léto jako půlrok, pro typ Cs jako čtvrtletí), proto nelze situaci ve Středozemí jednoduše zobecnit a otázka věrohodnosti pole srážek je diskutabilní.

Celkově lze říci, že **oba modely** (především HIRHAM) poměrně dobře modelují reálné hodnoty teplot a srážek a jimi dané rozložení klimatických pásem. Základní klimatické typy jsou reprezentovány věrně. Vyhodnocení podtypů základních typů se může v regionálním měřítku lišit.

Literatura

- [1] Essenwanger O. M: World Survey of Climatology Volume 1C/ General Climatology 1C, Elsevier, Amsterdam 2001
- [2] Životopis Wladimira Köppena dostupný k 5.5.2007 na <http://en.wikipedia.org/wiki/Wladimir_K%C3%B6ppen>
- [3] Kalvová a kol.: Vytvoření scénářů změny klimatu pro Českou republiku. Výzkumná zpráva projektu VZ 01 Voda, Subprojektu 03 „Dopady klimatických a antropogenních změn na hydrologické a ekologické systémy“, Praha, 2005
- [4] Kalvová J., Halenka T., Bezpalcová K., Nemešová I.: Köppen climate types in observed and simulated climates. Studia Geophysica et Geodaetica 47 (1), 185-202, 2003
- [5] Stránky Climatic Research Unit dostupné k 12.5.2007 na <<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/bground/>>
- [6] Sparovek G., Van Lier Q., Neto D. D.: Computer assisted Koeppen climate classification: a case study for Brazil. International Journal of Climatology 27(2), 157-166, 2006
- [7] Projekt PRUDENCE (Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining EuropeaN Climate change risks and Effects): <<http://prudence.dmi.dk/>>
- [8] IPCC Data Distribution Centre: <<http://www.ipcc-data.org/>>