

Univerzita Karlova v Praze
Matematicko-fyzikální fakulta



Disertační práce

**Dlouhodobá proměnlivost vztahů mezi
atmosférickou cirkulací a přízemními klimatickými
prvky**

Autor: Mgr. Romana Beranová

Školitel: RNDr. Radan Huth, DrSc.

Praha 2007

Poděkování

Tato disertační práce vznikla za podpory Grantové agentury ČR, projekt 205/05/2282, a Grantové agentury Akademie věd ČR, projekt IAA300420506.

Děkuji RNDr. Radanu Huthovi, DrSc. za vedení této práce a za jeho podnětné připomínky.

Děkuji svým přátelům a kolegům za psychickou podporu a své matce za vytrvalé povzbuzování.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto disertační práci vypracovala samostatně a výhradně s použitím citovaných zdrojů. Souhlasím se zapůjčováním této práce.

Romana Beranová, Praha 2007

Abstrakt

Důležitým předpokladem při konstrukci scénářů změny klimatu pomocí statistických metod je stabilita vztahů mezi atmosférickou cirkulací a přízemními klimatickými prvky v čase. Cílem práce je proto zjistit, zda a jak se mění vztahy mezi atmosférickou cirkulací (charakterizovanou geopotenciálními výškami hladiny 500hPa) a přízemními klimatickými prvky (zejména teplotou a srážkami) v oblasti Evropy a na území ČR. Pro dlouhé období 1901-99 byl analyzován vztah mezi NAO indexem a teplotami a srážkami na 29 respektive 27 stanicích v Evropě. Index NAO silně ovlivňuje klima v Evropě, ale tyto vztahy se v čase mění. Průběh 31 letých klouzavých korelací se v různých oblastech Evropy a v jednotlivých ročních obdobích liší. Pro období 1958-98 byly pomocí rotované analýzy hlavních složek zjištěny z geopotenciálních výšek hladiny 500hPa cirkulační mody. Klima v Evropě ovlivňuje NAO, EA, EU1, EU2 a NA mod. Proměnlivost vztahů byla vyjádřena pomocí 15 letých klouzavých korelací na více než 100 stanicích v Evropě. Pomocí shlukové analýzy (metoda PAM) byly identifikovány oblasti s podobným průběhem klouzavých korelací. I přes značnou proměnlivost vztahů se podařilo nalézt oblasti, kde byl vliv cirkulačního modu na klimatický prvek velký a zároveň se neměnil v čase. V České republice je kromě maximální teploty a srážek zkoumán vztah s dalšími 9 veličinami na 21 stanicích. Nejčastější příčinou nestacionarit vztahů je změna intenzity a polohy akčních center.

Abstract

The stability of the relationships between atmospheric circulation and the surface climatic variables is an important precondition to construct scenarios of climate change by statistical methods. The aim of the work is therefore to examine if and how the relationships between atmospheric circulation (characterized by geopotential heights of 500 hPa level) and surface climatic elements (mainly temperature and precipitation) are changing in European region and in the Czech Republic. The relationship between the NAO index and both temperature and precipitation were analysed for long period (1901-99) at 29 resp. 27 European stations. The NAO index strongly influences climate in Europe. However, the relationships were changing in time. The course of 31-years running correlation differs between different European regions and different seasons. The circulation modes were identified in geopotential heights of 500 hPa level by rotated principal component analysis for period 1958-98. The climate in Europe is influenced by NAO, EA, EU1, EU2 and NA mode. The variability of the relationships was represented by 15-year running correlations at more than 100 European stations. The regions with similar courses of running correlations were identified by cluster analysis (PAM method). Despite the considerable variability of the relations it can be managed to find regions with strong and stable influence of the circulation modes on climatic elements. Except the maximum temperature and precipitation the relations between circulation modes and another 9 climatic elements is examined at 21 Czech stations. The most often cause of the nonstationarity of relations is change of intensity and location of action centers.

Obsah

OBSAH.....	1
SEZNAM ZKRATEK.....	3
1. ÚVOD.....	4
1.1. HISTORICKÝ PŘEHLED	4
1.2 SEVEROATLANTICKÁ OSCILACE (NAO).....	5
1.3. OSTATNÍ CÍRKULAČNÍ MODY V EURO-ATLANTICKÉ OBLASTI	7
1.4. HLAVNÍ CÍLE PRÁCE.....	9
2. POUŽITÉ STATISTICKÉ METODY A KLIMATICKÁ DATA ...	10
2.1. KORELAČNÍ ANALÝZA	10
2.2. ANALÝZA HLAVNÍCH SLOŽEK	11
2.3. SHLUKOVÁ ANALÝZA	15
2.4. INDEX SEVEROATLANTICKÉ OSCILACE	16
2.5. TEPLOTNÍ A SRÁŽKOVÁ DATA V EVROPĚ.....	18
2.6. NCEP/NCAR REANALÝZY	19
2.7. ŘADY PŘÍZEMNÍCH KLIMATICKÝCH PRVKŮ V ČR.....	23
3. ČASOVÁ PROMĚNLIVOST VLIVU SEVEROATLANTICKÉ OSCILACE NA TEPLITU A SRÁŽKY V EVROPĚ.....	28
3.1. ČASOVÁ PROMĚNLIVOST V ZIMĚ.....	28
3.1.1. Vztahy mezi NAOI a teplotou	28
3.1.2. Vztahy mezi NAOI a srážkami.....	32
3.1.3. Kladná a záporná fáze NAOI.....	34
3.1.4 Změny v poloze akčních center NAO.....	34
3.2. ČASOVÁ PROMĚNLIVOST V LÉTĚ.....	36
3.2.1. Vztahy mezi NAOI a teplotou	36
3.2.2. Vztahy mezi NAOI a srážkami.....	39
3.2.3. Kladná a záporná fáze NAOI.....	39
3.2.4. Změny v poloze akčních center NAO.....	41
3.3. ČASOVÁ PROMĚNLIVOST NA JAŘE A NA PODZIM.....	42
3.3.1. Vztahy mezi NAOI a teplotou	42
3.3.2 Vztahy mezi NAOI a srážkami.....	42
3.3.3 Kladná a záporná fáze NAOI.....	45
3.3.4 Změny v poloze akčních center NAO.....	48
3.4. SHRNU TÍ KAPITOLY 3	50
4. ČASOVÁ PROMĚNLIVOST VLIVŮ CÍRKULAČNÍCH MODŮ NA TEPLITU A SRÁŽKY V EVROPĚ.....	53
4.1. POUŽITÉ POSTUPY.....	53
4.2. SEVEROATLANTICKÁ OSCILACE.....	55
4.2.1. Popis modu.....	55
4.2.2. Proměnlivost vlivu NAO na klimatické prvky v zimě.....	56
4.2.3. Proměnlivost vlivu NAO na klimatickými prvky v létě	63
4.2.4. Proměnlivost vlivu NAO na klimatickými prvky na jaře a na podzim.....	64
4.3. VÝCHODOATLANTICKÝ MOD	67

4.3.1. Popis modu.....	67
4.3.2. Proměnlivost vlivu EA modu na klimatické prvky v zimě.....	68
4.3.3 Proměnlivost vlivu EA modu na klimatické prvky v létě.....	72
4.3.4. Proměnlivost vlivu EA modu na klimatické prvky na jaře a na podzim.....	73
4.4. EUROASIJSKÝ MOD TYPU 1.....	77
4.4.1. Popis modu.....	77
4.4.2. Proměnlivost vlivu EU1 modu na klimatické prvky v zimě.....	78
4.4.3. Proměnlivost vlivu EU1 modu na klimatické prvky v létě.....	79
4.4.4. Proměnlivost vlivu EU1 modu na klimatické prvky na jaře a na podzim.....	83
4.5. EUROASIJSKÝ MOD TYPU 2.....	86
4.5.1. Popis modu.....	86
4.5.2. Proměnlivost vlivu EU2 modu na klimatické prvky v zimě.....	87
4.5.3. Proměnlivost vlivu EU2 modu na klimatické prvky v létě.....	88
4.5.4. Proměnlivost vlivu EU2 s klimatickými prvky na jaře a na podzim.....	91
4.6. SEVEROASIJSKÝ MOD V ZIMĚ.....	92
4.7 DISKUSE.....	95
4.7.1 Vliv nehomogenit na průběh klouzavých korelací.....	95
4.7.2 Výběr oblastí se stabilním vztahem.....	97
4.8. SHRNU TÍ KAPITOLY 4.....	98
5. ČASOVÁ PROMĚNLIVOST VLVŮ CIRKULAČNÍCH MODŮ NA KLIMATICKÉ PRVKY V ČESKÉ REPUBLICĚ.....	100
5.1. POUŽITÉ POSTUPY.....	100
5.2. SEVEROATLANTICKÁ OSCILACE.....	100
5.2.1. Vliv NAO na klimatické prvky v zimě.....	100
5.2.2. Vliv NAO na klimatické prvky v létě.....	104
5.2.3. Vliv NAO na klimatické prvky na jaře a na podzim.....	105
5.3. VÝCHODOATLANTICKÝ MOD.....	107
5.3.1. Vliv EA modu na klimatické prvky v zimě.....	107
5.3.2. Vliv EA modu na klimatické prvky v létě.....	109
5.3.3. Vliv EA modu na klimatické prvky na jaře a na podzim.....	109
5.4. EUROASIJSKÝ MOD TYPU 1.....	110
5.4.1. Vliv EU1 modu na klimatické prvky v zimě.....	110
5.4.2. Vliv EU1 modu na klimatické prvky v létě.....	111
5.4.3. Vliv EU1 modu na klimatické prvky na jaře a na podzim.....	113
5.5. EUROASIJSKÝ MOD TYPU 2.....	114
5.5.1. Vliv EU2 modu na klimatické prvky v zimě.....	114
5.5.2. Vliv EU2 modu na klimatické prvky v létě.....	116
5.5.3. Vliv EU2 modu na klimatické prvky na jaře a na podzim.....	117
5.6. SEVEROASIJSKÝ MOD V ZIMĚ.....	118
5.7. DISKUSE.....	119
5.7.1 Mody se stabilním vlivem na klimatické prvky v ČR.....	119
5.8. SHRNU TÍ KAPITOLY 5.....	120
6. ZÁVĚR.....	122
LITERATURA.....	124
PŘÍLOHY.....	129

Seznam zkratek

CA	Shluková analýza Cluster analysis
CDAS	Climate Assimilation System
CET	teplotní řada střední Anglie central England temperature
EA	Východoatlantický mod East Atlantic pattern
ECA	European Climate Assessment
SO	Jižní oscilace Southern oscillation
EOF	analýza empirických ortogonálních funkcí empirical orthogonal function analysis
EP	Východopacifický mod East Pacific pattern
EU1	Euroasijský mod typu 1 Eurasian pattern type 1
EU2	Euroasijský mod typu 2 Eurasian pattern type 2
EA/WR	Východoatlanticko/západoruský mod East Atlantic/West Russia pattern
GCM	globální klimatický model global climatic model
NA	Severoasijský mod Northern Asian pattern
NAO	Severoatlantická oscilace North Atlantic oscillation
NAOI	index Severoatlantické oscilace
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NCP	Severomořsko/Kaspický mod North Sea/Caspian pattern
NPO	Severopacifická oscilace North Pacific oscillation
PAM	metoda optimálních středů Partition Around Medoids
PCA	Analýza hlavních složek Principal component analysis
PDO	Pacifická desetiletá oscilace Pacific Decadal oscillation
PNA	Pacificko/Severoamerický mod Pacific/North American pattern
SLP	tlak vzduch reduovaný na hladinu moře sea level pressure
SNHT	Standard Normal Homogeneity test
TNH	Tropical/Northern Hemisphere pattern
WA	Západoatlantický mod Western Atlantic pattern

1. Úvod

1.1. Historický přehled

Odnepaměti se člověk zajímal o úkazy a děje v zemské atmosféře, ale až rozvoj fyziky a zkonstruování prvních přístrojů na měření tlaku a teploty v 17. století dovolily systematický sběr a třídění meteorologických dat. Koncem 18. století vznikají první systematická meteorologická měření tlaku, teploty a srážek. Například observatoř Praha-Klementinum má nepřerušenu řadu meteorologických pozorování od roku 1775.

Již v 19. století byly napsány první práce o možném vztahu mezi změnou atmosférického tlaku a změnou teploty nebo srážek. Autoři si všimli, že některé změny tlakového pole se periodicky opakují, a tak začátkem 20. století začali používat pojmy jako je Jižní oscilace (Southern oscillation, SO), Severoatlantická oscilace (North Atlantic oscillation, NAO) či Severopacifická oscilace (North Pacific oscillation, NPO). Začali zkoumat, jak se tyto oscilace ovlivňují navzájem a jak ovlivňují teploty a srážky na různých místech světa (Walker a Bliss, 1932).

Po druhé světové válce došlo k dalšímu rozvoji meteorologie, hlavně se rozšířila síť meteorologických stanic a stanic provádějících sondážní měření. Od 70. let se začalo využívat družicových dat. S přibývajícím množstvím dat a hustotou sítě přibývalo i autorů, kteří se zabývali hledáním dalších vzájemných vazeb v poli přízemního tlaku, geopotenciálních výšek různých tlakových hladin nebo teploty a identifikací tzv. dálkových vazeb (O'Connor, 1969; Rogers a van Loon, 1979; Namias, 1981).

V 70. a 80. letech různí autoři, přestože používali odlišné metody a soubory dat (různě dlouhé řady, různě husté sítě apod.), identifikovali v měsíčních průměrech přízemního tlakového pole či polí geopotenciálních výšek různých hladin na severní polokouli několik stejných dálkových vazeb (Kutzbach, 1970; Wallace a Gutzler, 1981; Horel, 1981; Barnston a Livezey, 1987).

Nejčastěji používanou metodou pro odhalení dálkových vazeb byly tzv. korelační mapy, mapy zobrazující vzájemné korelace mezi veličinou, nejčastěji přízemním tlakem nebo geopotenciální výškou, v zadaném bodě a v ostatních bodech geografické sítě. Korelační mapy byly použity např. v práci Wallace a Gutzler (1981) a Esbensen (1984). Wallace a Gutzler (1981) se v poli přízemního tlaku a v poli geopotenciálních výšek hladiny 500 hPa snaží pomocí korelačních map najít do té doby známé cirkulační mody vyskytující se v zimě severní polokoule: NAO, NPO a Pacificko/Severoamerický mod (Pacific/North American, PNA). Tato práce potvrdila existenci i několika dalších

cirkulačních modů, jako jsou např. Východoatlantický (East Atlantic, EA), Západoatlantický (Western Atlantic, WA) a Euroasijský (Eurasian, EU) mod.

Díky růstu výkonnosti a kapacity počítačů se začaly ke zpracovávání velkých souborů dat (např. atmosférického tlaku) používat složitější statistické metody, jako je analýza hlavních složek (Barnston a Livezey, 1987; Clinet a Martin, 1992). Barnston a Livezey (1987) analyzovali geopotenciální výšku hladiny 700 hPa pomocí rotované analýzy hlavních složek. Nalezli stejné cirkulační mody jako Wallace a Gutzler (1981) a navíc Severoasijský mod (Northern Asian, NA), Východopacifický mod (East Pacific, EP) a TNH (Tropical/Northern Hemisphere).

S vývojem globálních klimatických modelů (GCM) a s rozvojem statistického downscalingu se v 90. letech objevilo mnoho prací, které zkoumaly vztahy mezi přízemními klimatickými prvky a atmosférickou cirkulací (např. Hurrell a van Loon, 1997; Rodriguez-Puebla a kol., 1998).

Počínaje článkem Opoku-Ankomah a Cordery (1993), ve kterém autoři zjistili časové změny ve vztahu mezi srážkami v Austrálii a indexem Jižní oscilace, přibývají důkazy, že vztah mezi cirkulací a přízemním klimatem není stabilní v čase. Další články zabývající se stacionaritou těchto vztahů se objevují během posledního desetiletí (Chen a Hellström, 1999; Rodó a kol., 1997; Huth, 1997).

Někteří autoři používají pro popis atmosféry tzv. cirkulační indexy, což jsou nejčastěji standardizované rozdíly přízemního tlaku na dvou vzdálených místech na zemi. Takovéto indexy lze konstruovat zpět až do 18. století, a proto se používají pro výzkum dlouhodobé proměnlivosti cirkulace a vazeb s ní spojených (Slonosky a kol., 2001; Jacobeit a kol., 2001). Slonosky a kol. (2001) použili 6 cirkulačních indexů, mezi nimi i Severoatlantický zonální index sestavený z tlakových řad na stanici Gibraltar a Reykjavik nebo index sestavený ze stanic Paříž a Londýn. Analyzovali vztahy mezi těmito cirkulačními indexy a několika dlouhými teplotními řadami začínajícími v 18. století v Evropě. Pomocí klouzavých korelací s 25 letým oknem zjistili významné nestacionarity těchto vztahů.

1.2 Severoatlantická oscilace (NAO)

NAO je hlavním modem atmosférické cirkulace v oblasti severního Atlantiku (Wallace a Gutzler, 1981; Barnston a Livezey, 1987). Severoatlantická oscilace je charakterizována severo-j jižním dipólem s centry ležícími v oblasti islandské níže a azorské výše. NAO významně ovlivňuje advekci, a tím i klimatické prvky v Evropě, stejně jako v mnoha dalších oblastech světa (např. v Severní Americe).

Pro určení intenzity nebo síly NAO se často používají cirkulační indexy. Nejčastěji používané indexy NAO jsou vypočteny jako rozdíl standardizovaného tlaku na hladině moře mezi stanicemi v blízkosti islandské tlakové níže a azorské tlakové výše. Rogers (1984) používá rozdíl mezi stanicemi Akureyri - Ponta Delgada, Hurrell (1995) rozdíl Stykkisholmur – Lisabon a nebo Jones a kol. (1997) používají Reykjavik – Gibraltar. Nevýhodou takto vypočtených indexů je to, že přesně neodrážejí stav cirkulace v atmosféře, jako je pohyb akčních center. Proto existují i jiné přístupy, např. rozdíl průměrných hodnot z několika pevně daných geografických bodů v oblasti islandské níže a azorské výše (Jacobeit a kol., 2001) nebo rozdíl mezi maximálním a minimálním tlakem (Mächel a kol., 1998). Další možností určení a ohodnocení NAO jsou korelační mapy nebo analýza hlavních složek.

Existuje velké množství studií, které se zabývají vlivem NAO na přízemní klimatické prvky v Evropě, zejména vlivem na teplotu a srážky (např. Hurrell a van Loon, 1997; Trigo a kol., 2002). Většina prací je však zaměřena na regionální a lokální vlivy NAO. Nejčastěji zkoumanými regiony jsou Pyrenejský poloostrov (např. Muñoz-Díaz a Rodrigo, 2004; Sáenz a kol., 2001; Ulbrich a kol., 1999) a Skandinávie (např. Busuioc a kol., 2001; Uvo, 2003). Většina autorů zkoumá vliv NAO na klimatické prvky pouze v zimním období, kdy je NAO nejvýraznější.

Jen málo autorů se zabývá vlivem NAO na klimatické prvky v celoevropském měřítku. Hurrell a van Loon (1997) počítali korelace mezi NAO indexem a srážkami na 39 stanicích Evropy, zjistili kladné statisticky významné korelace na severu Evropy a záporné statisticky významné korelace na jihu Evropy. Jones a kol. (2003) zjistili, že vliv NAO indexu na teploty v Evropě je nejsilnější v současnosti a podobně silný byl i na přelomu 19. a 20. století.

Na Pyrenejském poloostrově se častěji zkoumá vliv NAO na srážky a s nimi souvisejícími veličinami jako je průtok řek, délka suchých a vlhkých období a podobně. Rodó a kol. (1997) zjistili, že zimní srážky na celém poloostrově kromě jeho východní části jsou ovlivněny NAO (statisticky významně záporná korelace). Významně záporné korelace mezi NAO a srážkami potvrdili Trigo a kol. (2004), kteří se zabývali i vlivem NAO na průtok řek. Zjistili mimo jiné, že během období 1973-98 byly tyto korelace významnější než v předešlých dekadách.

Vlivem NAO na teploty ve Švédsku se zabývali Chen a Hellström (1999). Zjistili silný vztah mezi NAO a teplotou v zimě v období 1865-1994. Tento vztah se ale mění mezi regiony i mezi různými časovými obdobími: vliv NAO se zmenšuje směrem k severu a

východu. 31 leté klouzavé korelace začaly klesat na začátku 20. století a pokles se zastavil až kolem roku 1930, pak následoval růst klouzavých korelací až do 60. let, kdy následoval mírný pokles. Uvo (2003) ukázal, že srážky ve všech regionech Skandinávie jsou kladně korelovány s NAO, ale korelace se liší mezi regiony. NAO nejsilněji ovlivňuje zimní srážky podél Norského pobřeží a v jižním Finsku.

Práce zkoumající vliv NAO na teploty nebo srážky v jiných regionech jsou jen sporadické. Např. Tomozeiu a kol. (2005) zjistili významný vztah mezi zimními srážkami v Rumunsku a NAO nebo Bukantis a Bartkeviciene (2005) zjistili, že fluktuace teploty vzduchu v Litvě během zimního období (listopad až březen) jsou kladně korelovány s indexem NAO.

V poslední době se objevují články, které se zabývají změnami samotné NAO. Hurrell a van Loon (1997) poukázali na skutečnost, že NAO index zůstává od počátku 80. let v kladné fázi, a tím je zodpovědný za velkou část oteplení nad Evropou. Gillett a kol. (2003) ukázali, že tento trend je s vysokou pravděpodobností způsoben růstem koncentrací skleníkových plynů, naproti tomu Osborn (2004) poukázal na to, že samotný růst skleníkových plynů nemůže zcela vysvětlit proměnlivost NAO. Jung a kol. (2003) analyzovali posun center NAO na východ v období 1978-97 v porovnání s předchozími dekadami 20. století. Zjistili, že tento posun má velký vliv na výskyt cyklón, přízemní teplotu, turbulentní tok tepla a další prvky v oblasti severního Atlantiku. Posunem akčních center NAO se také zabývali Peterson a kol. (2003), kteří odhalili nelineární závislost mezi prostorovou strukturou NAO a NAO indexem: centra NAO jsou posunuta na východ (západ) při vysokém (nízkém) NAO indexu. Dynamické příčiny tohoto jevu však zůstávají nejasné.

1.3. Ostatní cirkulační mody v Euro-Atlantické oblasti

Mnoho vědců zkoumá i ostatní významné cirkulační mody jako SO (Joyce, 2002; Knippertz a kol., 2003), NPO (Joyce, 2002; Wallace a Gutzler, 1981) nebo Pacifickou desetiletou oscilaci (Pacific Decadal oscillation, PDO) (Bonsal a kol., 2001; Joyce, 2002).

Několik studií se zabývá, na různém stupni podrobnosti, vztahy mezi NAO a SO na severní polokouli (Rogers, 1984). Rodó a kol. (1997) zkoumali vliv jak NAO, tak SO na srážky v jižní Evropě. Knippertz a kol. (2003) zase prozkoumali vztah SO a NAO s ohledem na srážkovou proměnlivost v oblasti Evropy a severní Afriky v jarním období. Některé z těchto studií se také okrajově zabývají nestacionaritami těchto vztahů.

Část vědců, zejména v poslední době, zkoumá vliv cirkulačních modů v Euroatlantické oblasti, jako jsou EA a Euroasijský mod typu 1 (EU1) a 2 (EU2), na klimatické prvky (převážně na srážky) v Evropě (Wibig, 1999; Krichak a kol., 2002). EA mod je definován akčním centrem západně od Britských ostrovů a opačně orientovaným centrem nad severní Afrikou a Středozezemním mořem. EU1 mod, některými autory označován jako Skandinávský, má silné centrum nad Finskem a západním Ruskem a centra opačného znaménka nad Pyrenejským poloostrovem a přilehlým Středozezemním mořem a nad severozápadní Čínou a západním Mongolskem. EU2 mod, některými autory označován jako EA/WR (East Atlantic/West Russia) nebo NCP (North Sea/Caspian pattern), má silné centrum nad Dánskem nebo Britskými ostrovy, centrum opačného znaménka u Kaspického moře a centrum stejného znaménka jako Dánské nad severovýchodní Čínou (Barnston a Livezey, 1987).

Asi nejobsáhlejší práci zabývající se vlivem cirkulačních modů (NAO, EA a EU1) na srážky v celé Evropě napsala Wibig (1999). Pomocí lineárního korelačního koeficientu ukázala, že v období 1951-1990 měla NAO největší vliv na srážky v západní Evropě, kladná fáze NAO zvyšovala srážky v oblasti Francie, Velké Británie a Skandinávie, a byla příčinou nízkých úhrnů srážek ve Španělsku. Anticyklona nad Skandinávií (mod EU1) přinášela vlhké počasí do centrální středomořské oblasti a na Island a sucho do severní a severovýchodní Evropy. Mod EU1 nejvíce ovlivňoval srážky ve východní Evropě. Mod EA byl záporně korelován se srážkami v centrální části západní Evropy a kladně v nejsevernějších a nejjihnějších částech Evropy.

Vlivem hlavních cirkulačních modů na srážky v různých oblastech Evropy se zabývala řada autorů. Rodriguez-Puebla a kol. (1998) zjistili, že na Pyrenejském poloostrově ovlivňují proměnlivost srážek mody NAO, SO, EA a EU1. Krichak a kol. (2002) se zabývali vlivem NAO a modu EU2 na srážky ve východním Středomoří. Podařilo se jim ukázat, že pozorované ubývání srážek v severním Izraeli v období 1958-1998 je způsobeno kladným trendem v časové řadě modu EU2. Martín kol. (2004) se zabývali vlivem cirkulačních modů na jarní srážky v západním Středomoří. V této oblasti jsou srážky ovlivněny NAO a EA modem. Krichak a Alpert (2005) našli dvě oblasti statisticky významných korelací mezi EU2 modem a srážkami v Evropě, záporně jsou korelovány srážky nad východním Atlantikem od Velké Británie po Pyrenejský poloostrov a kladné korelace byly nalezeny ve východní části severní Afriky a nad jihovýchodním Středozezemním mořem.

Jednou z mála prací zabývající se touto problematikou na území České republiky je Huth (1997), který zkoumá vztahy mezi několika cirkulačními indexy (NAO, EA, EU1 a EU2) a řadou přízemních klimatických prvků (srážky, maximální a minimální teplota, zonální a meridionální vítr, apod.) na Milešovce. V zimě jsou teploty nejvíce ovlivňovány mody EA a EU2, zonální vítr je převážně spojen s modem EU1 stejně jako srážky. Autor také zjistil významnou časovou proměnlivost těchto vztahů.

1.4. Hlavní cíle práce

Výzkum proměnlivosti vztahů mezi atmosférickou cirkulací a klimatickými prvky je důležitou součástí výzkumu klimatických změn. Nestacionarita těchto vztahů je v popředí zájmu řady vědců (Chen a Hellström, 1999; Rodó a kol., 1997; Huth, 1997). Většina autorů zkoumá nestacionaritu vztahů zejména v zimním období, méně často v létě. Vztahy na jaře a na podzim nejsou prozkoumány vůbec. Nejčastěji je zkoumána proměnlivost vlivu NAO na klimatické prvky, jen zřídka jsou zkoumány vlivy jiných cirkulačních modů.

Cílem této práce je prozkoumat časovou proměnlivost vztahů mezi atmosférickou cirkulací a klimatickými prvky na stanicích v celé Evropě, a to ve všech ročních obdobích. Součástí práce je i podrobná analýza časové proměnlivosti vztahů na stanicích v České republice. Tato práce je zaměřena jak na analýzu vlivu NAO, tak i na vliv ostatních cirkulačních modů v Euro-Atlantické oblasti a v České republice.

Výsledky této studie mohou být využity při statistickém downscalingu, který je založen na hledání statistických vztahů mezi proměnnými velkého měřítko, jako např. pole geopotenciálních výšek ve střední troposféře (prediktor), a jevy malého měřítko, jako jsou přízemní lokální klimatické prvky (prediktand). Další oblastí pro využití výsledků může být dlouhodobá (sezónní) předpověď počasí.

V kapitole 2 jsou popsány použité statistické metody a použitá klimatická data. Kapitola 3 se zabývá časovou proměnlivostí vztahu indexu Severoatlantické oscilace s teplotou a srážkami v Evropě během 20. století. V kapitole 4 analyzuji proměnlivost vlivu cirkulačních modů na teploty a srážky v Evropě během období 1958-1998. V této kapitole se pokouším nalézt pomocí shlukové analýzy oblasti s podobným chováním klouzavých korelací. V 5. kapitole se zaměřuji na proměnlivost vztahů mezi cirkulačními mody a klimatickými prvky, jako jsou teploty, srážky, sluneční svit, rychlost větru apod., na stanicích v České republice.

2. Použité statistické metody a klimatická data

2.1. Korelační analýza

Pro zjišťování vztahů mezi cirkulačními indexy a přízemními klimatickými prvky byl použit párový Pearsonův korelační koeficient r :

$$(2.1) \quad r = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}},$$

kde \bar{x} a \bar{y} jsou střední hodnoty veličin x a y . Párový korelační koeficient vyjadřuje míru lineární stochastické vazby mezi náhodnými veličinami x a y . Korelace byly počítány z měsíčních hodnot pro jednotlivé sezony. Pro zjištění časové proměnlivosti těchto vztahů jsem počítala klouzavé korelační koeficienty s 31 letým (pro dlouhé řady, kapitola 3) nebo 15 letým (pro kratší časové řady, kapitoly 4 a 5) oknem s časovým krokem jeden rok. Korelační hodnota byla připsána ke středu použitého okna (např. korelace za období 1958-1972 připsána k roku 1965). Tato metoda byla použita např. v práci Slonosky a kol. (2001), ve které zkoumali změny dopadů NAO na teploty v Evropě.

Při konstrukci testů statistické významnosti korelačního koeficientu se využívá testovací statistiky

$$(2.2) \quad F = \frac{r^2}{1-r^2} (n-2),$$

tzv. F-testu, která má pro případ $r = 0$ Fisherovo rozdělení s $(1, n-2)$ stupni volnosti. Testuje se hypotéza $H_0: r = 0$ proti alternativě $H_A: r \neq 0$. Vyjde-li $|F|$ větší než odpovídající kvantil Fisherova rozdělení, hypotéza H_0 se zamítá.

Pro testování rovnosti dvou korelačních koeficientů r_a a r_b byla použita Fisherova transformace hodnot r_a a r_b na normálně rozdělené hodnoty z_a a z_b (Wilks, 1995):

$$(2.3a) \quad z_a = \operatorname{arctgh}(r_a) = 0,5 \ln \left[\frac{1+r_a}{1-r_a} \right]$$

$$(2.3b) \quad z_b = \operatorname{arctgh}(r_b) = 0,5 \ln \left[\frac{1+r_b}{1-r_b} \right]$$

Uvádí se, že pro velká n je rozdělení veličiny z přibližně normální. Testuje se hypotéza $H_0: z_a = z_b$ proti alternativě $H_A: z_a \neq z_b$. Testovací statistika

$$(2.4) \quad u = \frac{z_a - z_b}{\sqrt{\frac{1}{n_a - 3} + \frac{1}{n_b - 3}}}$$

má normální rozdělení $N(0,1)$, n_a a n_b jsou délky řady a a b .

Všechny výpočty statistické významnosti byly počítány s ohledem na autokorelace použitých řad tak, že počet hodnot n v řadě byl nahrazena efektivním počtem n_{eff} takto:

$$(2.5) \quad n_{eff} = n \left(\frac{1 - r_1(x)r_1(y)}{1 + r_1(x)r_1(y)} \right),$$

kde r_l je autokorelační koeficient 1. řádu řady x a y , které uvažujeme (Bretherton a kol., 1999),

$$(2.6) \quad r_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (x_i - \bar{x}_-)(x_{i+1} - \bar{x}_+)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} (x_i - \bar{x}_-)^2 \sum_{i=2}^n (x_i - \bar{x}_+)^2}}$$

Autokorelační koeficient 1. řádu se počítá z $n-1$ párů, průměr řady \bar{x}_- je počítán z prvních $n-1$ hodnot a průměr \bar{x}_+ z posledních $n-1$ hodnot.

2.2. Analýza hlavních složek

Analýza hlavních složek (Principal component analysis, PCA) je nejčastěji používaná vícerozměrná statistická metoda ve vědních oborech týkajících se atmosféry a geofyziky. Tato metoda je občas nazývána analýzou empirických ortogonálních funkcí (empirical orthogonal function, EOF).

Každý fyzikální jev může být popsán třemi základními vlastnostmi nebo dimenzemi. První z těchto dimenzí definuje objekty naší studie, druhá proměnné a třetí čas nebo dobu, za kterou dochází k danému jevu. Tuto myšlenku budu ilustrovat na příkladu z klimatologické praxe. Objekty mohou být definované jako body v prostoru, proměnnou může být tlak v těchto bodech a třetí dimenzí je časová osa. Pro účel analýzy cirkulačních módů používáme analýzu v tzv. S-modu podle terminologie používané např. Richmanem (1986), kdy v řádcích vstupní matice $[\mathbf{X}]$ jsou časové realizace dané veličiny a ve sloupcích uzlové body sítě.

PCA je dobře vysvětlena v pracích Wilks (1995), Meloun a Militký (2004) a Reymant a Jöreskog (1996), z nichž jsem čerpala. Hlavním účelem PCA je snížení dimenze úlohy, čili redukce počtu proměnných, a to bez velké ztráty informace. Techniku lze popsat jako metodu lineární transformace původních proměnných na nové, nekorelované proměnné,

nazvané hlavní složky. Každá hlavní složka představuje lineární kombinaci původních proměnných.

PCA pracuje s korelační maticí $[\mathbf{R}]$ nebo kovarianční maticí $[\mathbf{S}]$. Nové proměnné \mathbf{u} (hlavní složky), které budou postupně vysvětlovat maximální množství společného rozptylu centrovaného datového vektoru \mathbf{x}' (od původních dat je odečten jejich průměr), nalezneme pomocí vlastních vektorů matice $[\mathbf{R}]$. Konkrétně, m -tou hlavní složku u_m získáme jako projekci datového vektoru \mathbf{x}' do m -tého vlastního vektoru \mathbf{e}_m :

$$(2.7) \quad u_m = \mathbf{e}_m^T \mathbf{x}' = \sum_{k=1}^K e_{km} x'_k, \quad m=1, \dots, M$$

m -tá hlavní složka v rovnici (2.7) je počítána z konkrétní řady pozorování K proměnných x'_k . To znamená, že každá z M hlavních složek je jakýsi vážený průměr z hodnot x'_k . Ačkoli součet hodnot e_{km} není roven 1, součet jejich čtverců ano, $\|\mathbf{e}_m\| = 1$. Pokud se vstupní data skládají z n pozorování, pak každá z hlavních složek, neboli nových proměnných u_m , bude mít n hodnot. Prvky hlavní složky $u_{i,m}$, se nazývají skóre hlavních složek či komponentní skóre a prvky vlastního vektoru, e_{km} , jsou komponentní zátěže či váhy (loadings).

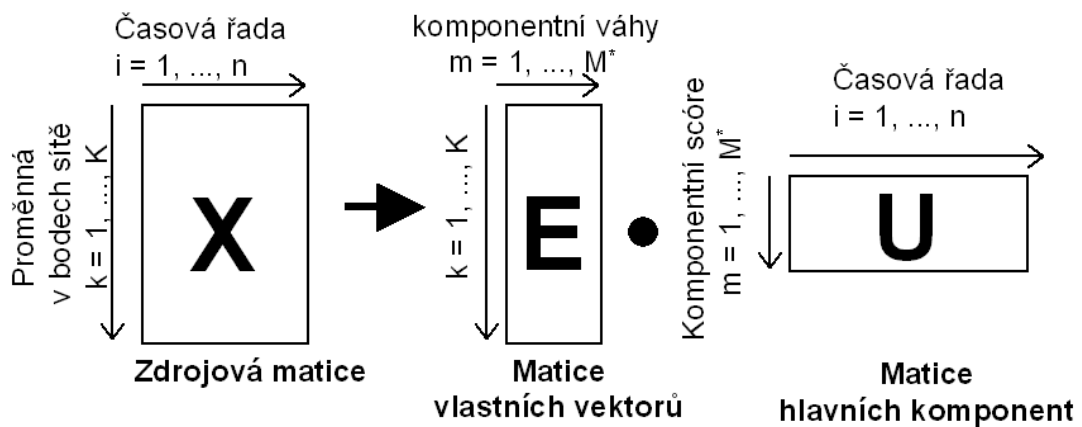
Z geometrického hlediska si situaci můžeme představit takto: první vlastní vektor \mathbf{e}_1 směřuje do směru, ve kterém datové vektory společně projevují největší proměnlivost. Tento první vlastní vektor je spojován s největším vlastním číslem λ_1 . Druhý vlastní vektor \mathbf{e}_2 , který je spojovaný s druhým největším vlastním číslem λ_2 , musí být nutně kolmý k \mathbf{e}_1 , ale zároveň musí být ve směru, ve kterém vektor \mathbf{x}' vykazuje druhou největší proměnlivost. Každý další vlastní vektor musí být kolmý ke všem předchozím a je spojován s dalším v pořadí největším vlastním číslem.

Hlavní složky jsou nekorelované, to znamená, že korelační matice nových proměnných u_m je jednotkovou maticí $[\mathbf{I}]$. Rozptyl m -té hlavní složky u_m je m -té vlastní číslo λ_m . Celková proměnlivost, kterou vykazují hodnoty x'_k , je zcela vyjádřena v hodnotách u_m , v tom smyslu, že součet rozptylů původních dat \mathbf{x}' je roven součtu rozptylů nové proměnné \mathbf{u} .

Standardním využitím PCA je snížení dimenze úlohy bez velké ztráty informace, a to užitím pouze prvních několika hlavních složek M^* . Výběr správného počtu hlavních složek může být nahlížen jako problém oddělení signálu od šumu. Předpokládáme, že existuje nějaká část čistého signálu, která je nesena daty, a toto číslo (M^*) je menší než počet

proměnných (K) obsažených v každém datovém vektoru \mathbf{x} . Doufáme, že výběr několika prvních M^* hlavních složek „odfiltruje“ šum a zanechá významnou část původních dat. Na obr. 2.1. jsou schématicky znázorněny maticové výpočty v PCA v S-modu.

Pro výběr optimálního počtu hlavních složek M^* se používají různá kritéria nebo grafické metody. Často se používá indexový graf úpatí vlastních čísel (tzv. „scree plot“), což je vlastně sloupcový diagram vlastních čísel $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m$ v závislosti na pořadí vlastního čísla. Zobrazuje relativní velikost jednotlivých vlastních čísel. Významné hlavní složky jsou odděleny zřetelným zlomovým místem (Cattel, 1966). Alternativou je graf úpatí pro $\ln \lambda_i$ (logvalue diagram). Autoři Craddock a Flood (1969) doporučují zahrnout složky, které v logaritmickeém grafu vlastních čísel leží za místem, kde se křivka stává lineární. Použití těchto grafů vyžaduje subjektivní posouzení uživatele.



Obr. 2.1 Schématické znázornění maticových výpočtů v PCA.

Fig. 2.1. Schematic representation of the matrix computations in PCA.

Další skupina pravidel pro výběr počtu hlavních složek je založena na existenci prahových hodnot. Počet hlavních složek, které zůstanou, je vybírán na základě poměru celkového rozptylu dat reprezentovaných M^* ponechanými hlavními složkami a celkovým rozptylem všech dat:

$$(2.8) \quad \text{Podíl popsaného celkového rozptylu} = \frac{\sum_{m=1}^{M^*} \lambda_m}{\sum_{m=1}^M \lambda_m}$$

Prahovou hodnotou může být procento P vysvětleného rozptylu. Obvykle se volí $P=70$ až 90% . Guttmanovo kritérium (Guttman, 1954) doporučuje vybrat složky, které vysvětlují více než 1% rozptylu. Někdy se jako prahová hodnota bere průměrné vlastní číslo

$\left(\sum_{i=1}^M \lambda_i\right) / M$, pak se berou v úvahu ty složky, jejichž vlastní číslo je větší než průměr.

Průměrná hodnota vlastních čísel je ekvivalentní průměrné hodnotě rozptylu původních proměnných. Při použití korelační matice je průměrná hodnota rovna 1. To vede k jednoduchému pravidlu vyloučit ty hlavní složky, pro které jsou vlastní čísla menší než 1. Různá pravidla vedou k podstatně (až řádově) odlišným počtům vybraných hlavních složek (viz např. Serrano a kol., 1999).

Pokud je pro nás fyzikální interpretace důležitějším úkolem než komprese dat, pak je vhodné podmnožinu několika prvních hlavních složek rotovat. Rotací získáme druhou sadu nových souřadnicových vektorů. Obvykle rotujeme počet M^* prvních vlastních vektorů z PCA. Jako důsledek rotace vlastních vektorů, získáme sadu nových proměnných, kterým se říká rotované hlavní složky. V závislosti na výběru rotační metody vlastních vektorů, jsou výsledné rotované hlavní složky buď vzájemně korelovány nebo nikoli (kolmá nebo šikmá rotace). Nejčastěji používané kolmé rotační metody jsou varimax a quartimax, šikmá pak promax.

Existuje řada procedur pro rotování původních vlastních vektorů, ale všechny splňují pravidla „jednoduché struktury“ (simple structure) definované L. L. Thurstonem ve 30. letech 20. století a uvedené do praxe v polovině 50. let (podobněji popsáno v Harman, 1967). Důsledkem těchto pravidel jsou jednoduché, jedinečné a statisticky robustní komponentní váhy (Richman, 1986), které rotací získaly regionální charakter, což umožní jejich snadnější interpretaci.

Uvažujme :

$$(2.9) \quad \mathbf{B}=\mathbf{AT},$$

kde \mathbf{A} je matice nerotovaných komponentních vah, \mathbf{B} je matice rotovaných komponentních vah a \mathbf{T} je transformační matice. Cílem rotační procedury je najít transformační matici \mathbf{T} , pomocí které získáme matici \mathbf{B} s požadovanými vlastnostmi. Metoda varimax maximalizuje rozptyl druhé mocniny korelačního koeficientu mezi každou rotovanou hlavní složkou a původní časovou řadou (Horel, 1981).

Výklad v této kapitole probíhal za předpokladu, že vlastní vektory jsou normovány na jednotkovou délku: $\|e_m\| \equiv 1$. Někdy je užitečné vyjádřit a zpracovat výsledky PCA

použitím jiného způsobu normování. Uděláme to tak, že každý člen vlastního vektoru je vynásoben toutéž konstantou, to znamená, že jejich relativní velikosti a vztahy zůstanou nezměněny. Kvalitativní výsledky PCA nezávisí na vybraném normování. Ale pokud chceme porovnat výsledky s příbuznými analýzami, pak je důležité uvědomit si, jaká normovací konvence byla použita.

Vlastní vektory jsou běžně normovány vynásobením každého elementu druhou odmocninou příslušného vlastního čísla. Potom je délka vlastního vektoru : $\|e_m\| \equiv (\lambda_m)^{1/2}$. Největší výhodou tohoto normování je, že členy vlastního vektoru je možno lépe interpretovat ve smyslu vzájemných vztahů mezi hlavními složkami a původními daty. Při této normě má každý člen vlastního vektoru $e_{k,m}$ číselně shodnou hodnotu s korelací mezi m -tou hlavní složkou a k -tou standardizovanou proměnnou. Tato norma je obvykle použita v případě, že chceme podmnožinu vlastních vektorů rotovat.

2.3. Shluková analýza

Shluková analýza (Cluster analysis, CA) patří mezi metody, které se zabývají vyšetřováním podobnosti vícerozměrných objektů a jejich klasifikací do tříd čili shluků. Shluk je skupina objektů s podobnými vlastnostmi. Podle způsobu shlukování se postupy dělí na hierarchické a nehierarchické. Hierarchické metody jsou založeny na hierarchickém uspořádání objektů a jejich shluků, tedy je to jakési větvení, zjemňování klasifikace. K hierarchickému shlukování lze přistupovat ze dvou stran – rozlišujeme přístup divizní (vycházíme z celku, jednoho shluku, a ten dělíme) a aglomerativní (vycházíme z jednotlivých objektů, shluků o jednom členu, a ty spojujeme). Hierarchické shlukování nabízí více alternativních řešení, celý proces shlukování je pak možné vyjádřit dendogramem. Nehierarchické shlukování je takový systém, kde je průnik shluků prázdný, jedná se o disjunktní množiny. Nejčastěji používaná hierarchická metoda je Wardova metoda a mezi nehierarchické metody patří metoda nejbližších těžišť (K-means) a metody optimálních středů čili medoidů.

Pro určení regionů se stejným chováním klouzavých korelací byla použita právě metoda optimálních středů čili medoidů, konkrétně metoda PAM (Partition Around Medoids). Metoda PAM je více robustní než známější metoda K-means při přítomnosti odlehlých bodů a šumu, protože medoid je méně ovlivněn odlehlými body nebo extrémními hodnotami než průměr. Metoda je dobře popsána v Kaufman a Rousseeuw (1990) nebo v Meloun a Militký (2004).

Medoid, čili optimální střed shluku, je střední objekt shluku, pro který platí, že průměrná vzdálenost k ostatním objektům v tomto shluku je minimální. Medoidy a shluky se vytvářejí na základě vzdáleností, čili nepodobností. Jako míra vzdáleností mezi objekty byla použita eukleidovská vzdálenost, která představuje délku přepony pravouhlého trojúhelníka:

$$(2.10) \quad d_{kl}(x_k, x_l) = \sqrt{\sum_{j=1}^m (x_{kj} - x_{lj})^2}$$

Metoda PAM minimalizuje celkovou vzdálenost D:

$$(2.11) \quad D = \sum_{l=1}^k \sum_{i \in c_l} \sum_{j \in c_l} d_{ij} ,$$

kde k je celkový počet shluků, d_{ij} představuje vzdálenost mezi i -tým a j -tým objektem a c_k udává soubor všech objektů ve shluku l . Proces postupuje takto: algoritmus nejprve nalezne soubor k reprezentativních objektů (medoidů) tak, že hodnota D je co nejmenší. Možné alternativy polohy k medoidů jsou vybírány iteračním způsobem. Po nalezení množiny medoidů je každý objekt vstupního souboru zařazen k nejbližšímu medoidu.

Každý objekt ve shluku je prezentován siluetou s , která ukazuje, zda objekt leží uvnitř shluku nebo na přechodné pozici mezi shluky. Hodnota siluety se mění od -1 do 1 a je mírou úspěšné klasifikace do shluků. Je-li s blízko hodnotě -1 , pak objekt je špatně klasifikován. Průměrná silueta může být dobře využita pro nalezení „nejlepšího“ počtu shluků, a to určením takového počtu shluků k , který vede k největší hodnotě průměrné siluety.

Pro zpracování byla použita procedura PAM ze sady programů Cluster softwaru RGui.

2.4. Index Severoatlantické oscilace

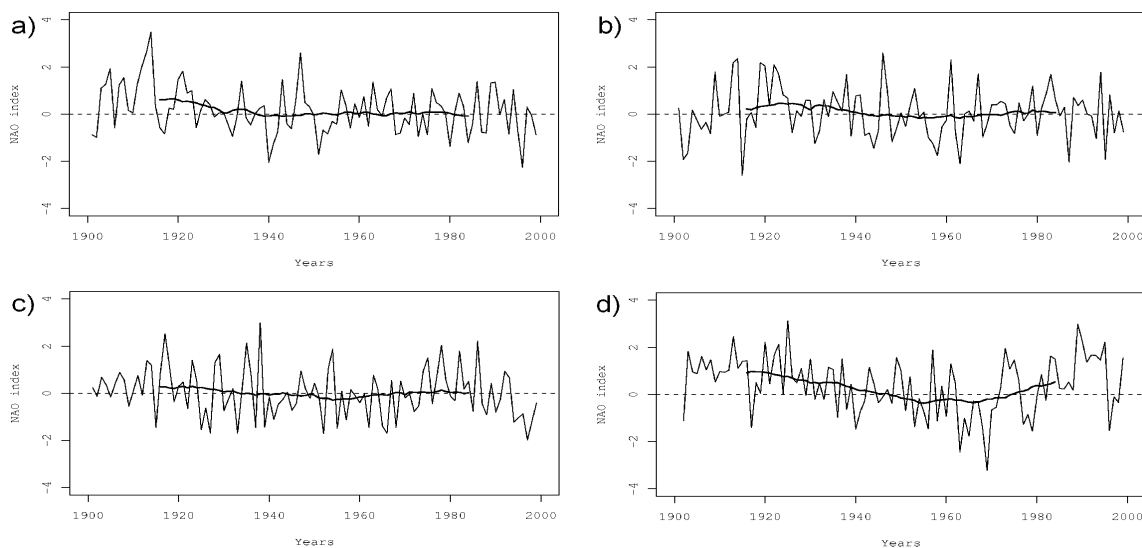
V kapitole 3 budu analyzovat téměř stoleté období 1901-1999. Pro dlouhá časová období je třeba, z důvodu dostupnosti dat, používat cirkulační indexy. Index Severoatlantické oscilace pro období 1901-1999 (dále jako NAOI) používaný v kapitole 3 je počítán pomocí indexů akčních center, které jsou popsány v (Hameed a kol., 1995). Měsíční NAOI je definován následovně:

$$(2.12) \quad NAOI = \frac{x - \bar{x}}{\sigma_x} - \frac{y - \bar{y}}{\sigma_y},$$

kde x je průměrný tlak na hladině moře v azorské výši pro příslušný měsíc, y reprezentuje průměrný tlak na hladině moře v islandské výši pro příslušný měsíc, \bar{x} je průměr tlaku na

hladině moře v azorské výši za období 1950-1990 pro příslušný měsíc, \bar{y} je průměr tlaku na hladině moře v islandské níži za období 1950-1990 pro příslušný měsíc, σ_x je standardní odchylka tlaku na hladině moře v azorské výši za období 1950-1990 a σ_y je standardní odchylka tlaku na hladině moře v islandské níži za období 1950-1990. Časová řada měsíčních NAO indexů je dostupná na internetových stránkách <http://atmos.msrb.sunysb.edu/coa/naomonth.shtml>.

Pro ilustraci jsou na obr. 2.2 znázorněny časové řady NAOI pro všechny sezóny (zima = prosinec, leden, únor; jaro = březen, duben, květen atd.) a jejich 31 leté klouzavé průměry. Z grafů 31 letých klouzavých průměrů je vidět, že největší změny prodělal NAOI v zimním období (obr. 2.2 d). V zimě lze vysledovat dvě období, kdy je NAOI spíše kladný a jedno období s převažujícím záporným NAOI. Celkový průměr NAOI za celé období 1901-1999 v zimě je 0,4 a směrodatná odchylka je 1,74. První kladné období spadá přibližně mezi roky 1901-1930 s průměrem 0,96 a směrodatnou odchylkou 1,56, druhé kladné období lze nalézt mezi roky 1970-1999 s průměrem 0,65 a směrodatnou odchylkou 1,77. Zbývající období 1931-1969 lze charakterizovat jako záporné s průměrem $-0,23$ a směrodatnou odchylkou 1,64. K podobným závěrům dospěli i autoři, kteří používali jiné definice NAO indexu (Rogers, 1984; Hurrell a van Loon, 1997). V ostatních sezónách nelze jednoznačně určit období s převládající fází NAO.



Obr. 2.2 Časová řada NAOI: a) jaro, b) léto, c) podzim a d) zima. Silná čára reprezentuje 31 letý klouzavý průměr.

Fig. 2.2. Time series of the NAO index: a) spring, b) summer, c) autumn and d) winter. The heavy solid line represents 31-year running average.

2.5. Teplotní a srážková data v Evropě

Teplotní a srážková data pro evropské stanice jsou převzata z projektu European Climate Assessment (ECA) (Klein Tank a kol., 2002). Data a metadata jsou dostupná na <http://eca.knmi.nl>. Projekt ECA začal v roce 1998, hlavním cílem projektu je analyzovat klima na základě teplotních a srážkových dat v Evropě a na Blízkém východě. Projekt se zaměřuje zejména na trendy extrémů během 20. století. Dostupná data obsahují denní maximální, minimální a průměrné teploty a denní úhrny srážek na více než 200 meteorologických stanicích, které pokrývají období 1961-1990, asi polovina stanic má hodnoty od roku 1925. Databáze se stále rozšiřuje a doplňuje.

V rámci projektu byla zkoumána homogenita dat pomocí 4 běžně používaných testů (Standard Normal Homogeneity, Von Neumann Ratio, Buishand Range and Pettitt Test). Testy byly aplikovány na roční průměry denní amplitudy teploty (maximální teplota – minimální) a na počet dnů se srážkami (srážky ≥ 1 mm) pro celé období 1901-1999 a pro kratší období 1946-1999. Jednotlivé časové řady byly podle výsledků testů rozděleny do tří tříd: užitečné-sporné-podezřelé (v ang. useful-doubtful-suspect). Bohužel, mnoho problémů souvisejících s homogenitou řad nebylo ještě vyřešeno. Všechny metody byly použity na testování měsíčních nebo ročních dat, ale dosud nebyla vyvinuta a vyzkoušena vhodná metoda, která by dokázala detekovat nehomogenity v řadě s denním rozlišením a nehomogenity vhodně odstranit. Mezi teplotními řadami za období 1901-1999 existuje pouze 5 stanic, které byly klasifikovány jako „užitečné“. Mezi srážkovými řadami za toto období bylo ohodnoceno jako „užitečné“ velké procento dat, ale to neznamená, že by byla kvalita srážkových dat větší. Srážková data mají větší variabilitu, což snižuje pravděpodobnost detekce nehomogenit při použití statistických testů.

Pro účely analýzy v kapitole 3 byly z databáze vybrány stanice s dlouhými teplotními a srážkovými řadami. Vybrané stanice, jejich geografická poloha, nadmořská výška a délka časové řady jsou v tab. 2.1. Celé analyzované období 1901-1999 pokrývá pro teploty i pro srážky 13 stanic. Do výběru byly zahrnuty i některé stanice s kratšími časovými řadami. Celkem analyzují 29 teplotních a 27 srážkových stanic.

Pro účely kapitoly 4 byly vybrány stanice pokrývající rovnoměrně celou Evropu, jejichž teplotní a srážkové řady zahrnují období 1958-1998. Soupis použitých stanic, jejich geografické souřadnice a nadmořská výška jsou v tab. 2.2. Prostorové rozložení stanic je na obr. 2.3. Na obrázku jsou rozlišeny stanice s teplotními, srážkovými řadami a stanice, které mají jak teplotní, tak srážkové řady. Červeně jsou označeny stanice, které byly

vybrány pro zobrazení v dalších obrázcích, jsou to stanice použité v kapitole 3 doplněné o několik dalších stanic. Dohromady zkoumáme 103 teplotních a 100 srážkových řad. V řadách jen výjimečně chybí denní hodnoty, chybějící hodnoty se při analýze neberou v úvahu.

I přesto, že v kapitole 4 analyzujeme kratší časové období, je polovina teplotních řad označena v ECA databázi jako „podezřelá“, čili testy homogenity objevily v řadě několik nehomogenit. Stanice označené jako „podezřelé“ jsou rozloženy rovnoměrně po celé Evropě a v každé oblasti existuje několik stanic označených jako „užitečné“. Výjimkou je oblast Alp a Dánsko, kde není žádná stanice označena jako „užitečná“, na jihu Balkánského poloostrova je jako „užitečná“ označena pouze stanice Larisa (Gre). Ve srážkových řadách je situace lepší, pouze 7 řad spadá do kategorie „podezřelé“.

Protože ECA databáze obsahuje denní řady, tak pro účely této práce byly vypočteny měsíční průměry maximálních a minimálních teplot a průměrné měsíční srážkové úhrny. V několika časových řadách chybí několik denních hodnot (ne více než 2 hodnoty v měsíci), které nebyly při počítání měsíčních úhrnů brány v potaz (průměr byl počítán z méně hodnot). Na několika stanicích (viz. poznámky k tab. 2.1) chybí několik měsíců během druhé světové války. Tyto měsíce byly z další analýzy vyňaty a klouzavé korelace byly počítány z méně hodnot.

2.6. NCEP/NCAR reanalýzy

V kapitole 4 a 5 budu používat pole geopotenciálních výšek hladiny 500 hPa, která pocházejí z NCEP/NCAR reanalýz (Kalnay a kol., 1996). NCEP (National Centers for Environmental Prediction) a NCAR (National Center for Atmospheric Research) spolupracují na projektu reanalýz od roku 1991. Základním cílem projektu je získání dlouhých řad globálních atmosférických polí pro potřeby výzkumu klimatu a klimatického monitoringu pomocí nejnovějších systémů pro asimilaci dat a co nejširší databáze meteorologických dat. NCEP/NCAR systém reanalýz zahrnuje 3 hlavní moduly: data dekodér a preprocesor pro kontrolu kvality, modul asimilace dat s automatickým monitorujícím systémem a archivační modul. Hlavním modulem je modul asimilace dat (Climate Data Assimilation System, CDAS) s horizontálním rozlišením okolo 210 km (T62 model) a s 28 vertikálními hladinami, který používá spektrální statistickou interpolační analýzu.

Tab. 2.1 Seznam stanic použitých v kapitole 3, jejich geografická poloha, nadmořská výška a délka teplotní a srážkové řady.

Tab. 2.1. List of the stations used in Chapter 3, their geographical location, elevation and length of temperature and precipitation series.

	stanice	Zem. šířka [°s.š.]	Zem. délka	Nadm. v. [m.n.m.]	Teplota	Srážky
Fra	Perpignan	42.7	2.9°v.d.	43	1901-1999 ^{a)}	1901-1999 ^{b)}
Fra	Marseille	43.3	5.4°v.d.	75	1901-1999	1901-1999
Fra	Paříž - Montsouris	48.8	2.3°v.d.	75	1901-1999	1901-1999
Fra	Châteauroux	46.9	1.7°v.d.	160	1901-1999	1901-1999
Ger	Zugspitze	47.4	11.0°v.d.	2960	1901-1999 ^{c)}	1901-1999 ^{c)}
ger	Bamberg	49.9	10.9°v.d.	282	1901-1999	1901-1999
Swi	Curych - Sma	47.4	8.6°v.d.	556	1901-1999	1901-1999
Bel	Uccle	50.8	4.4°v.d.	100	1901-1999	1901-1999
Cze	Praha - Klementinum	50.1	14.4°v.d.	191	1901-1999	1901-1999
Bos	Sarajevo	43.8	18.4°v.d.	577	1901-1999	1901-1999
Ger	Brémy	53.1	8.8°v.d.	4	1901-1999 ^{d)}	1901-1999 ^{d)}
Ukr	Kyjev	50.4	30.5°v.d.	166	1901-1999	1901-1999
Por	Lisabon - Geofisica	38.7	9.2°z.d.	77	1901-1999	1941-1999
GB	CET (Central England Temperature)	52.4	1.8°z.d.	0	1901-1999	není
Aus	Kremsmünster	48.1	14.1°v.d.	383	1901-1998	1901-1999
Den	Vestervig	56.8	8.3°v.d.	18	1901-1998	1901-1998
Cro	Záhřeb - Gric	45.8	16.0°v.d.	157	1901-1997	1901-1997
Ukr	Lugansk	48.6	39.3°v.d.	59	1912-1999	1901-1999
Fin	Sodankylä	67.4	26.7°v.d.	179	1908-1999	1908-1999 ^{e)}
Rus	Petrohrad	60	30.3°v.d.	6	1908-1998	1908-1998
Rus	Kursk	51.8	36.2°v.d.	247	1917-1998 ^{f)}	1917-1998 ^{f)}
Swe	Växjö	56.9	14.8°v.d.	166	1918-1998	1918-1998
Swe	Karlstad	59.4	13.3°v.d.	46	1918-1998	1918-1997
Swe	Stensele	65.1	17.2°v.d.	325	1918-1998	1918-1998
Lit	Kaunas	54.9	23.8°v.d.	75	1923-1998	1923-1998
Spa	San Sebastian	43.3	2.0°z.d.	259	1929-1999	1929-1999
Rom	Tirgu - Jiu	45	23.3°v.d.	203	1935-1998	1918-1999
Ire	Valentia - Obs.	51.9	10.2°z.d.	9	1940-1999	1941-1999
Slk	Hurbanovo	47.9	18.2°v.d.	115	1948-1999	není

a) chybí hodnoty od prosince 1942 do února 1945

b) chybí hodnoty od prosince 1942 do října 1944

c) chybí květen až červenec 1945

d) chybí prosinec 1945

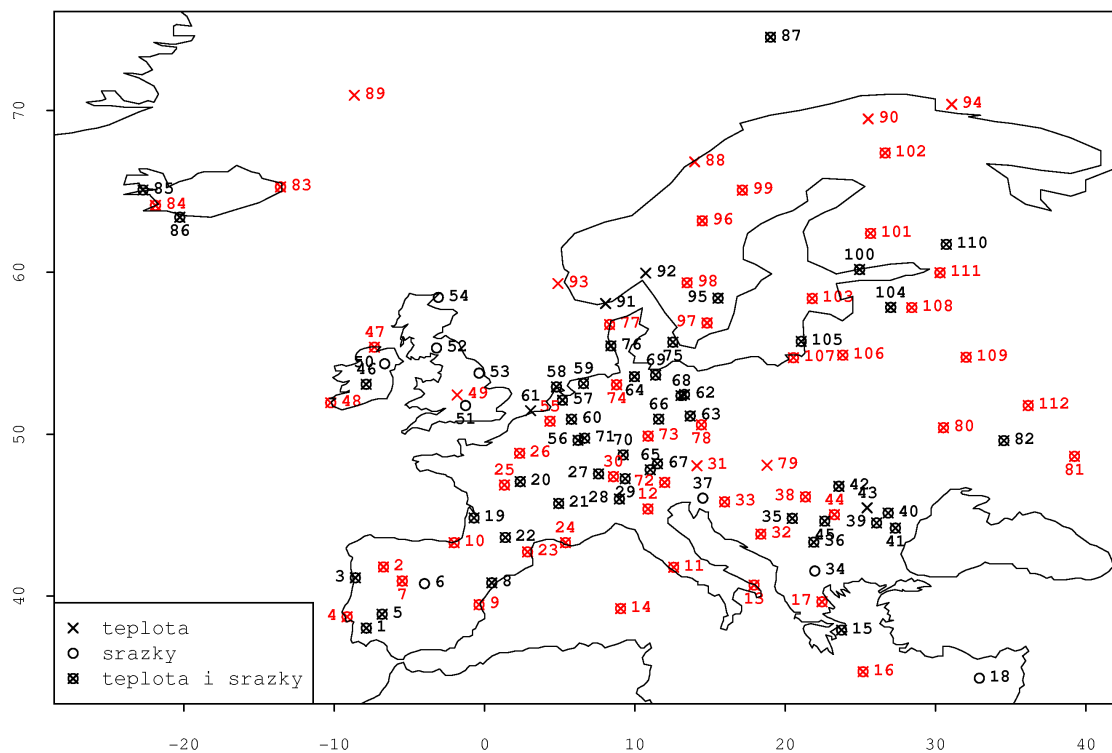
e) chybí hodnoty od prosince 1944 do června 1945

f) chybí hodnoty od prosince 1941 do února 1943

Tab. 2.2 Seznam stanic použitých v kapitole 4.

Tab. 2.2. List of the stations used in Chapter 4.

č. stanice	č. stanice	č. stanice	č. stanice
Portugalsko (Por):	Rakousko (Aus):	Nizozemí (Net):	Norsko (Nor):
1 Beja	31 Kremsmünster	57 De_Bilt	87 Bjørnøya
2 Braganca	Bosna (Bos):	58 De_Kooy	88 Glomfjord
3 Porto	32 Sarajevo	59 Eelde	89 Jan-Mayen
4 Lisabon	Chorvatsko (Cro):	60 Maastricht	90 Karasjok
Španělsko (Spa):	33 Záhřeb	61 Vlissingen	91 Oksoy_Fyr
5 Badajoz	Makedonie (Mac):	Německo (Ger):	92 Oslo
6 Navacerrada	34 Prilep	62 Berlín	93 Utsira_Fyr
7 Salamanca	Srbsko (Ser):	63 Drážďany	94 Vardo
8 Tortosa	35 Bělehrad	64 Hamburk	Švédsko (Swe):
9 Valencie	36 Nis	65 Hohenpeissenberg	95 Linköping
10 San-Sebastian	Slovinsko (Slo):	66 Jena	96 Östersund
Itálie (It):	37 Lublaň	67 Mnichov	97 Växjö
11 Řím	Rumunsko (Rom):	68 Potsdam	98 Karlstad
12 Verona	38 Arad	69 Schwerin	99 Stensele
13 Brindisi	39 Bukurešť	70 Stuttgart	Finsko (Fin):
14 Cagliari	40 Buzau	71 Trier	100 Helsinky
Řecko (Gre):	41 Calarasi	72 Zugspitze	101 Jyväskylä
15 Hellinikon	42 Cluj_Napoca	73 Bamberg	102 Sodankylä
16 Heraklion	43 Varfu-Omul	74 Brémy	Estonsko (Est):
17 Larisa	44 Tirgu-Jiu	Dánsko (Den):	103 Vilsandi
Kypr (Cyp):	45 Drobeta_Turnu_Severin	75 Kodaň	104 Voru
18 Amiandos	Irsko (Ire):	76 Nordby	Litva (Lit):
Francie (Fra):	46 Birr	77 Vestervig	105 Klaipeda
19 Bordeaux	47 Malin_Head	Česko (Cze):	106 Kaunas
20 Bourges	48 Valentia	78 Praha	Rusko (Rus):
21 Lyon	Velká Británie (GB):	Slovensko (Slk):	107 Kaliningrad
22 Toulouse	49 CET	79 Hurbanovo	108 Pskow
23 Perpignan	50 Armagh	Ukrajina (Ukr):	109 Smolensk
24 Marseille	51 Oxford	80 Kyjev	110 Sortavala
25 Châteauroux	52 Eskdalemuir	81 Lugansk	111 Petrohrad
26 Paříž	53 Hull	82 Polatava	112 Kursk
Švýcarsko (Swi):	54 Wick	Island (Ice):	
27 Basilej	Belgie (Bel):	83 Dalatangi	
28 Lugano	55 Uccle	84 Reykjavík	
29 Sántis	Lucembursko (Lux):	85 Stykkisholmur	
30 Curych	56 Luxembourg	86 Vestmannaeyjar	



Obr. 2.3 Poloha stanic. Teplotní a srážkové stanice jsou označeny křížky respektive kolečky. Stanice zobrazované na dalších obrázcích jsou označeny červeně. Jména stanic, jejich přesná poloha, nadmořská výška a délky časových řad jsou uvedeny v tab. 2.2.

Fig. 2.3. Location of stations. Crosses and circles indicate temperature and precipitation stations, respectively. The stations used for display in the other figures are shown in red. For station names, position, elevations and lengths of time series refer to Tab. 2.2.

Databáze asimilovaných dat je doplňována z mnoha zdrojů, zahrnuje různé doby měření a data pochází z různých států a organizací, zahrnuje jak přízemní, tak i výšková pozorování. V databázi jsou data například z radiosond, lodí, pevných i plovoucích bójí, letadel a družic. Během sledovaného období se databáze vstupních dat rozšiřovala. Bohužel, při změně systému pozorování (např. nový typ družic) nevyhnutelně také dochází ke změnám výstupních proměnných, proto se dělají paralelní reanalýzy (nejméně 1 rok dlouhé), které začínají ihned po vložení nových pozorování do systému.

Asi nejproblematičtější je vliv družicových dat na reanalýzy. V roce 1979 byl zaveden systém družicových pozorování (projekt FGGE). Studie, které porovnávají reanalýzy s družicovými daty a bez nich ukazují, že dlouhé reanalýzy mohou být na severní polokouli dobře použitelné i před rokem 1979, protože analýzy primárních veličin i toků nejsou v zásadě ovlivněny družicovými daty (Mo a kol., 1995). Větší vliv družicových dat byl

zjištěn v oblastech s nízkým datovým pokrytím, tj. zejména v tropických oblastech a na jižní polokouli.

Vystupující proměnné jsou klasifikovány do 4 tříd na základě stupně ovlivnění pozorovanými daty a modelem. Třída A znamená, že analyzovaná proměnná je silně ovlivněna pozorovanými daty, tyto proměnné nejspolehlivěji kopírují reálný stav atmosféry (např. výšková teplota a vítr). Označení B znamená, že ačkoli existují pozorovaná data, která přímo ovlivňují hodnotu proměnné, tak také model velmi silně ovlivňuje analyzovanou hodnotu, jinými slovy proměnné jsou ovlivněny klimatologií modelu (např. vlhkost nebo přízemní teplota). Označení C znamená, že neexistují žádná pozorovaná data, která by přímo ovlivnila proměnnou, proměnné jsou vypočteny jenom z modelových polí vzniklých asimilací dat blízkých proměnných (např. oblačnost, přízemní toky). Nicméně, porovnání těchto proměnných s pozorovanými ukazuje, že celkově obsahují množství užitečných informací. Třída D zahrnuje pole, která jsou předem vložena do modelu a jsou odvozena z klimatologických hodnot, a tedy nezávisí na modelu (např. albedo, rozložení pevnin a oceánů). Ačkoli je tato klasifikace do jisté míry subjektivní, měli bychom mít toto třídění na paměti při interpretaci výsledků reanalýz, zejména pokud používá proměnné zařazené do třídy B a C. Geopotenciální výšky jsou zařazené do třídy A.

2.7. Řady přízemních klimatických prvků v ČR

V kapitole 5 budu používat měsíční průměrné hodnoty 11 klimatických prvků z 21 stanic v ČR pro období 1961-98. Jedná se o maximální (T_x), minimální (T_n) a průměrnou denní teplotu (T), úhrn srážek (Pr), výskyt srážek (Pro) (podíl dní se srážkami ≥ 0.1 mm vzhledem k počtu dní v měsíci), délku slunečního svitu (Sun), a dále z termínu 14 hodin pokrytí oblačností (Cl), relativní vlhkost (Rh), rychlost větru (W), a konečně zonální (Zw) a meridionální složku větru (Mw). Posledně jmenované jsou vypočteny z rychlosti a směru naměřených v uvedeném termínu, přičemž kladná zonální složka odpovídá západním směrům větru a kladná meridionální složka jižním směrům.

Použité stanice jsou na území ČR rozloženy poměrně rovnoměrně, viz obr. 2.4. Jejich geografická poloha a nadmořská výška jsou uvedeny v tab. 2.3. Ze stanic Praha-Ruzyně, Havlíčkův Brod a České Budějovice nebyly k dispozici řady měření slunečního svitu a ze stanice Svratouch údaje o relativní vlhkosti.

Tab. 2.3 Seznam stanic použitých v kapitole 5, jejich poloha a nadmořská výška.

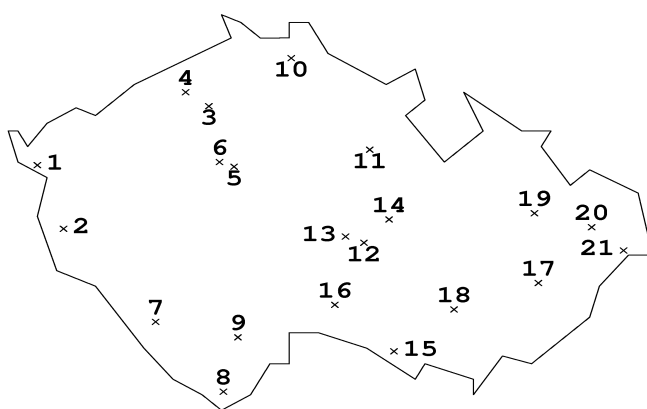
Tab. 2.3. List of stations used in Chapter 5, their location and elevation.

Číslo	Stanice	zem. délka [°v.d.]	zem. šířka [š.š.]	nadm. v. [m.n.m]
1	Cheb	12.4	50.08	474
2	Přimda	12.67	49.67	745
3	Doksany	14.17	50.46	158
4	Milešovka	13.93	50.55	833
5	Praha-Karlov	14.43	50.07	232
6	Praha-Ruzyně	14.28	50.1	364*
7	Churáňov	13.62	49.07	1118
8	Vyšší Brod	14.32	48.62	559
9	České Budějovice	14.47	48.97	388**
10	Liberec	15.02	50.77	398***
11	Hradec Králové	15.83	50.18	278
12	Přibyslav	15.77	49.58	530
13	Havlíčkův Brod	15.58	49.62	455
14	Svratouch	16.03	49.73	737
15	Kuchařovice	16.08	48.88	334
16	Kostelní Myslová	15.47	49.18	569
17	Holešov	17.57	49.32	224
18	Brno-Tuřany	16.7	49.15	241
19	Červená	17.53	49.77	750
20	Ostrava	18.12	49.68	251
21	Lysá Hora	18.45	49.53	1324

* do 31.12.1978 v 380 m.n.m.

** do 6.2.1976 v 387 m.n.m.

*** do 31.12.1989 v 400 m.n.m.



Obr. 2.4 Poloha stanic v ČR. Jména stanic, jejich přesná poloha a nadmořská výška jsou uvedeny v Tab. 2.3.

Fig. 2.4. Location of stations in the Czech Republic. For station names, position, and elevations, refer to Tab. 2.3.

Protože stanice Praha-Ruzyně, České Budějovice a Liberec změnily během sledovaného období svoji polohu, byly pro všechny stanice a prvky provedeny testy homogenity. Pro všechny prvky jsem testovala relativní homogenitu dat na jednotlivých stanicích pomocí testu SNHT – Alexanderssonova (Alexandersson, 1986) a bivariačního (Potter, 1981) aplikovaných na časové řady měsíčních průměrů jednotlivých prvků.

Alexandersson (1986) vyvinul SNHT (Standard Normal Homogeneity Test) pro zjišťování nehomogenit v podobě náhlých posunů v průměrné hodnotě pozorování. Pro potřeby testu je třeba mít blízkou homogenní stanici, kterou prohlásíme za referenční řadu. Pokud takovouto řadu nemáme, lze ji vytvořit jako průměr nejbližších stanic nebo jako průměr stanic s nejvyšší korelací s testovanou stanicí. Dalším krokem je vytvoření řady diferencí (pro teploty) jako rozdílu mezi referenční a testovanou řadou nebo řady poměrů (pro srážky) mezi referenční a testovanou řadou. Řada diferencí nebo poměrů se standardizuje, abychom získali řadu s nulovým průměrem a jednotkovou variancí. Testuje se hypotéza, že standardizovaná řada diferencí nebo poměrů má normální rozdělení $N(0,1)$.

Naproti tomu bivariační test předpokládá, že referenční stanice s testovanou stanicí tvoří dvourozměrný náhodný vektor, který má dvourozměrné normální rozdělení. Testuje se nulová hypotéza, že celá řada má dvourozměrné normální rozdělení proti alternativě, že část řady před rokem, který testuji, má rozdílné rozdělení, než část řady po tomto roce.

Jako referenční stanici jsem použila průměr ze čtyř stanic, které nejvíce korelovaly s testovanou stanicí. Pokud oba testy odhalily nehomogenitu na hladině významnosti 5% ve stejném roce (\pm dva roky) a tato nehomogenita se vyskytla alespoň ve 3 měsících roku, byla daná stanice pro daný prvek prohlášena za nehomogenní a z dalších analýz vyřazena. Pro testování jsem použila software AnClim (Štěpánek, 2003).

Nyní se zamysleme nad schopností těchto testů nalézt nehomogenity v časových řadách. Štěpánek (2004) simuloval řady teploty s různou velikostí posunu ve střední hodnotě a s různým umístěním tohoto posunu v řadě. Dospěl k závěru, že oba testy jsou schopny správně určit rok posunu ve více než 50% případů, pokud je posun větší než $0,5^{\circ}\text{C}$. Pokud se změna ve střední hodnotě objeví na začátku nebo ke konci sledovaného období, snižuje se schopnost testu ji detekovat.

Výsledky testů homogenity jsou shrnuty v tab. 2.4, rok v tabulce je rokem, kdy test detekoval změnu. Jako nejméně homogenní se projevilo měření minimální teploty, u níž jsme z dalších výpočtů museli vyřadit 7 stanic. Změna polohy stanice Praha-Ruzyně nastala podle matadat na přelomu roku 1978 a 1979, kdy se nadmořská výška stanice změnila o 16 metrů. Testy tuto změnu detekovaly v řadách měření teplot, vlhkosti,

oblačnosti a meridionální složky větru, tuto změnu ale přiřadily už k roku 1976. České Budějovice změnilly svou polohu v únoru roku 1976. Tato změna se projevila nehomogenitou v řadě rychlosti větru a v meridionální složce větru. Poslední stanicí, která dle záznamů metadat změnila svou polohu, je Liberec. Stanice změnila svou polohu na přelomu let 1989 a 1990. Tato změna způsobila nehomogenitu v řadě minimálních a průměrných teplot, testy ale tuto změnu zařadily až do roku 1994 resp. 1995.

Značně nehomogenní klimatické řady má Praha-Karlov. Nehomogenita byla nalezena jak v řadě teplot, tak v rychlosti a směru větru. Nějaká změna mající vliv na rychlost i směr větru se odehrála kolem roku 1965. Pro změny v teplotách nebyl nalezen společný bod zlomu. Bohužel, ke zjištěným změnám nehomogenit nebyl nalezen v metadatech žádný reálný důvod. Testy zjistily, že homogenní řady pro všechny zkoumané klimatické prvky mají pouze stanice Churáňov, Holešov a Ostrava.

Tab. 2.4 Výsledky testů homogenity. V tabulce jsou uvedeny roky, ve kterých byla změna detekována.

Tab. 2.4. Resolutions of the homogeneity tests. The years of detected change are given in the table.

	T	Tx	Tn	W	Zw	Mw	Rh	Cl	Sun	Pro	Pr
Cheb	-	-	-	-	-	-	1963	-	-	-	-
Přimda	-	-	-	-	1986	-	-	-	-	-	-
Doksany	-	-	-	-	-	-	-	-	1991	-	-
Milešovka	-	-	-	-	-	-	1992	-	-	-	-
Praha Karlov	1971	1992	1984	1966	1964	-	-	1970	-	-	-
				1984							
Praha Ruzyně	1977	1976	1976	-	-	1976	1976	1990	není	-	-
		1984									
Churáňov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vyšší Brod	-	-	-	-	-	-	-	-	1991	1968	-
České Budějovice	-	-	-	1975	-	1977	-	-	není	-	-
Liberec	1995	-	1994	-	-	-	-	-	-	-	-
Hradec Králové	-	1991	-	-	-	1987	1962	-	1965	-	-
Přibyslav	-	-	1973	1977	-	-	-	1969	-	-	-
Havlíčkův Brod	-	1975	1965	-	-	-	-	1991	není	-	-
			1984								
Svratouch	-	1973	-	-	-	-	není	-	-	1973	-
Kuchařovice	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1965
Kostelní Myslová	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1985	-
Holešov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Brno Tuřany	-	1979	-	-	-	-	1996	-	1996	-	-
Červená	-	-	1963	1976	-	-	-	-	-	-	-
Ostrava	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lysá Hora	-	-	-	1984	-	-	-	1990	-	-	-

Měli bychom mít na paměti, že výsledky testů závisí na výběru referenčních stanic, v tomto případě průměr 4 stanic s nejvyššími korelacemi k testované stanici. Korelace mezi testovanou stanicí a 4 nejvíce korelovanými stanicemi jsou pro teploty (maximální, minimální i průměrné) > 0.9 , pro oblačnost, srážky, výskyt srážek a zonální složku větru > 0.6 , pro meridionální složku větru, sluneční svit a relativní vlhkost > 0.5 , ale pro rychlost větru jsou pouze $> 0,35$. Domnívám se, že při takto nízkých korelacích nebyly testy homogenity schopny odhalit všechny možné změny v časové řadě. V praxi se běžně provádějí testy homogenity pouze pro řady teplot a srážek.

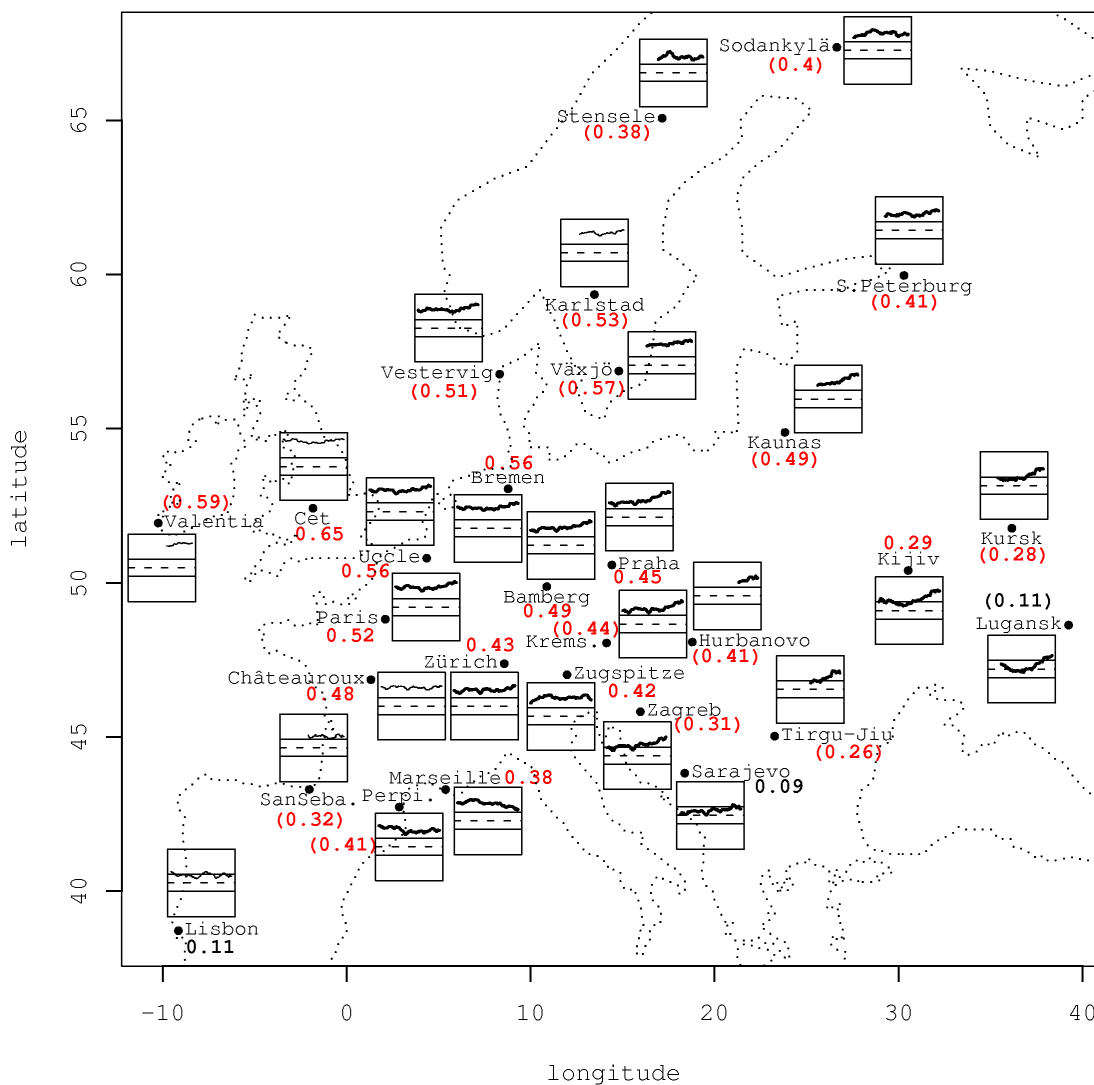
3. Časová proměnlivost vlivu Severoatlantické oscilace na teplotu a srážky v Evropě

3.1. Časová proměnlivost v zimě

3.1.1. Vztahy mezi NAOI a teplotou

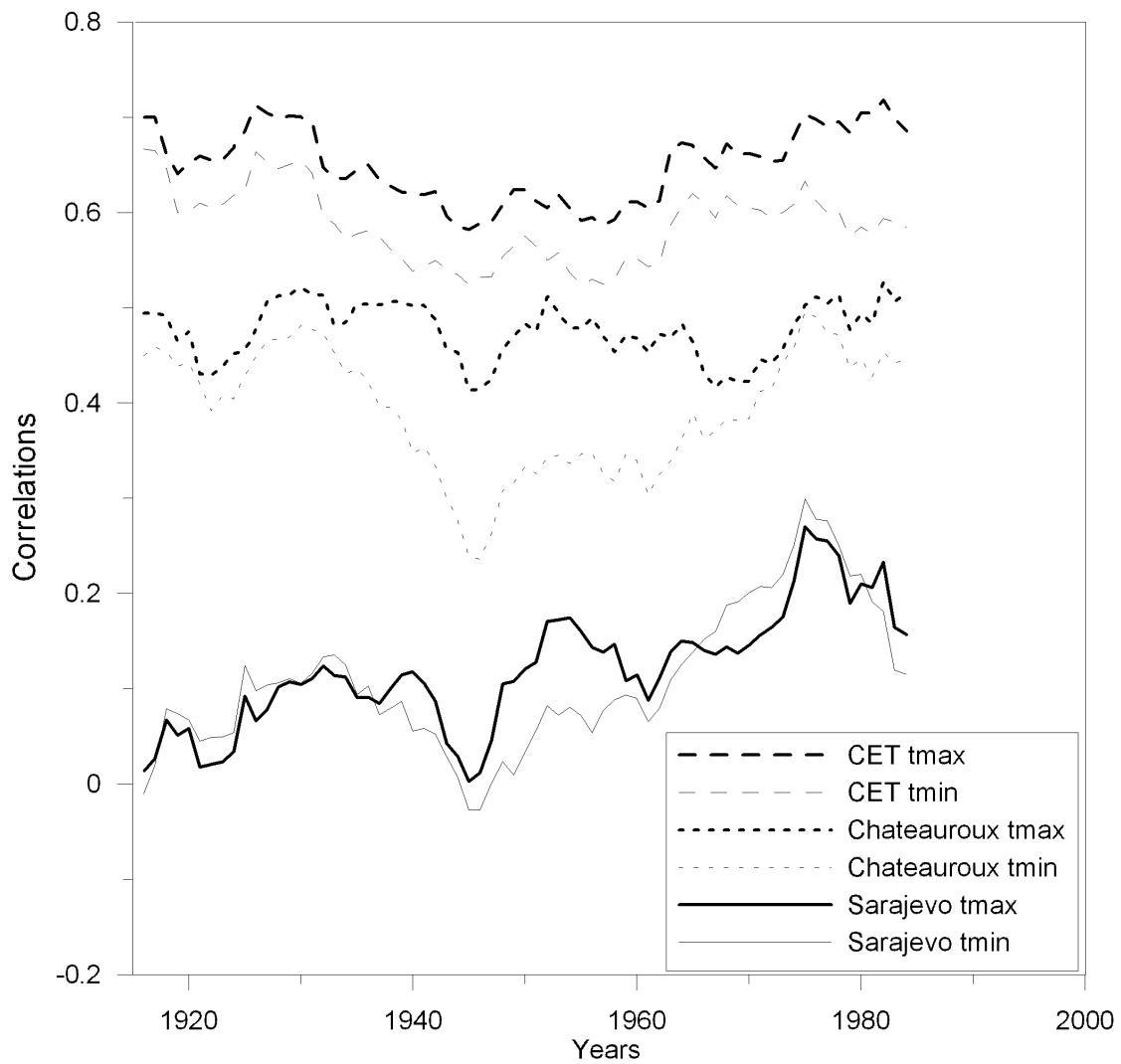
Korelační koeficienty mezi NAOI a maximální teplotou za období 1901-1999 jsou znázorněny na obr. 3.1 v blízkosti názvu stanice. Celkové korelační koeficienty mezi NAOI a maximální teplotou se pohybují v rozmezí od 0,09 v Sarajevu po 0,65 v časové řadě CET (Central England temperature). Celkové korelace v zimě jsou na všech stanicích kromě Lisabonu, Sarajeva a Lugansku statisticky významně odlišné od nuly na hladině významnosti 5%. Nejvyšší hodnoty korelačního koeficientu (přesahující hodnotu 0,5) jsou na Britských ostrovech, v západní Evropě a v jižní Skandinávii. Ostatní studie také potvrzují kladnou korelaci mezi NAO indexem a teplotou v Evropě. Prostorové rozložení celkových korelací v Evropě potvrzují studie časových řad v souřadnicové síti (Hurrell a van Loon, 1997; Trigo a kol., 2002): kladné korelace v téměř celé Evropě, s menšími hodnotami na severu a hodnotami blízko nuly nad Pyrenejským poloostrovem a jihozápadní Evropou. O poklesu korelací směrem k severu ve Skandinávii informoval Benestad (2001) a Chen a kol. (1999). Hodnoty korelací kolem 0,5 ve střední Evropě jsou v souladu s Bednorz (2002).

V databázi ECA jsou dostupné jak maximální, tak i minimální denní teploty. Na obr. 3.2 jsou znázorněny klouzavé korelace s 31 letým oknem mezi NAO indexem a maximální i minimální teplotou na stanicích Châteauroux a Sarajevo a v řadě CET. Můžeme vidět, že klouzavé korelace jsou během téměř celého sledovaného období vyšší pro maximální teplotu (tlustá čára), výjimku tvoří stanice na jihu Evropy (Sarajevo), kdy na začátku a na konci sledovaného období jsou korelace s minimální teplotou o něco větší než s maximální. Průběhy korelací jsou více méně navzájem souběžné, ale rozdíly mezi korelacemi s maximální a minimální teplotou nejsou konstantní v čase, což je nejlépe vidět na stanici Châteauroux. Rozdíly mezi klouzavými korelacemi pro maximální a minimální teplotu nejsou statisticky významné. Z výše uvedených důvodů se při dalších analýzách budu zabývat pouze maximální teplotou.



Obr. 3.1 31 leté klouzavé korelace mezi zimním NAOi a maximální teplotou na evropských stanicích. Silné čáry v malých grafech vyjadřují statisticky významné časové změny korelací. Horizontální osa v malých grafech se pohybuje v rozmezí od 1916 (odpovídá období 1901-1931) do 1984 (období 1969-1999), vertikální osa jde od $-0,8$ do $0,8$, nepřerušovaná horizontální čára odpovídá 5% hladině významnosti. Čárkovaná horizontální čára označuje nulovou hodnotu. Celkové korelace počítané přes celé období 1901-1999 jsou vtištěny blízko jména stanice, hodnoty počítané za kratší období jsou dány v závorkách, hodnoty významné na 5% hladině jsou vtištěny barevně (červeně kladné a modře záporné hodnoty).

Fig. 3.1. 31-year running correlations between the winter NAO index and maximum temperature at European stations. Thicker lines pick out the significant time changes of correlations. The horizontal axis in small graphs ranges from 1916 (corresponding to period 1901-1931) to 1984 (period 1969-1999), the vertical axis is from -0.8 to 0.8 , with a solid horizontal line corresponding to the 5% significance level. Dashed horizontal line indicates zero. The correlations over the whole 1901-1999 period are printed near the station names; those calculated for a shorter time period are given in parentheses, the values significant at 5% level are in colour (in red positive, in blue negative values).



Obr. 3.2 31 leté klouzavé korelační koeficienty mezi NAOI a maximální (tmax) a minimální teplotou (tmin) pro časové řady CET (Central England Temperature), Châteauroux a Sarajevo.

Fig. 3.2. 31-year running correlation coefficients between the NAO index and maximum (tmax) and minimum temperature (tmin) for dataset of CET (Central England Temperature), Châteauroux and Sarajevo.

Časová proměnlivost vztahu mezi NAOI a maximální teplotou a její prostorové rozložení je znázorněna na obr. 3.1 v malých grafech. Tlustou čarou jsou v grafech vyjádřeny průběhy, jejichž rozdíl mezi minimální a maximální klouzavou korelací pro daný prvek a cirkulační mod je statisticky významný (v dalším textu budu uvádět jako významnou změnu klouzavých korelací). Časový průběh klouzavých korelací se značně liší mezi stanicemi, ale zároveň některé stanice mají nápadně stejné chování. Téměř na všech místech je vyjádřena dlouhodobá proměnlivost korelací. Nápadnou výjimkou jsou stanice Lisabon a Châteauroux, kde převládá krátkodobá proměnlivost.

Pro zjištění statistické významnosti časové změny klouzavých korelací jsem použila Fisherovu transformaci a u-statistiku (viz. kapitola 2.1). Statisticky významné změny klouzavých korelací byly zjištěny na všech stanicích kromě jihozápadní Evropy, Britských ostrovů a stanice Karlstad.

Nejvýznamnějším pozorovaným znakem na většině stanic je malá změna korelací před rokem 1950, která je následována růstem až do konce století. Toto chování se objevuje s různou intenzitou na stanicích ve střední a východní Evropě, stejně jako v jižní Skandinávii. Na stanicích v jihovýchodní Evropě (Kursk, Kyjev, Lugansk) předchází tomuto růstu korelací jejich pokles.

Jiný časový průběh korelací je pozorován v severní Skandinávii (Stensele a Sodankylä), kde je růst korelací pozorován už před rokem 1950. Tento růst byl vystřídán krátkým poklesem a od roku 1955 (odpovídající období 1940-70) byly korelace téměř stacionární. Odlišné chování klouzavých korelací mají také stanice na jihu Evropy. Klouzavé korelace v jihozápadní Evropě (Lisabon, Châteauroux, San Sebastian) nepodléhaly téměř žádným dlouhodobým změnám. Korelace v Marseille téměř po celé období klesaly a v Perpignanu klesaly přibližně do roku 1950 a pak byly téměř konstantní. Komplikovanější průběh korelací je na stanici Zugspitze, kde korelace rostly do roku 1940, poté byly téměř konstantní a na konci 70. let klesaly.

Jacobeit a kol. (2001) ve své práci uvedli, že 21 leté klouzavé korelace mezi NAO indexem a časovou řadou složenou ze stanic severovýchodní (resp. jihozápadní) části střední Evropy se v 1. polovině 20. století málo mění (resp. klesají) a v druhé polovině nastává jejich celkový růst, což je v dobrém souladu s výsledky na stanicích Praha, Bamberg, Brémy, Kremsmünster, Uccle, Paříž a Curych.

3.1.2. Vztahy mezi NAOI a srážkami

Celkové korelace mezi NAOI a srážkami se pohybují v rozmezí od $-0,47$ v Lisabonu po $+0,32$ ve stanici Valentia (obě stanice mají neúplnou řadu). Hodnoty celkových korelací jsou vytištěny na obr. 3.3 blízko názvu stanic. Na obrázku můžeme dobře vidět závislost znaménka korelace na zeměpisné šířce. Celkové korelace jsou kladné na severu a severozápadě Evropy a záporné na jihu a jihovýchodě. Na stanicích ve střední Evropě a na dvou stanicích umístěných u Baltského moře (Kaunas a Petrohrad), nejsou korelace statisticky významné.

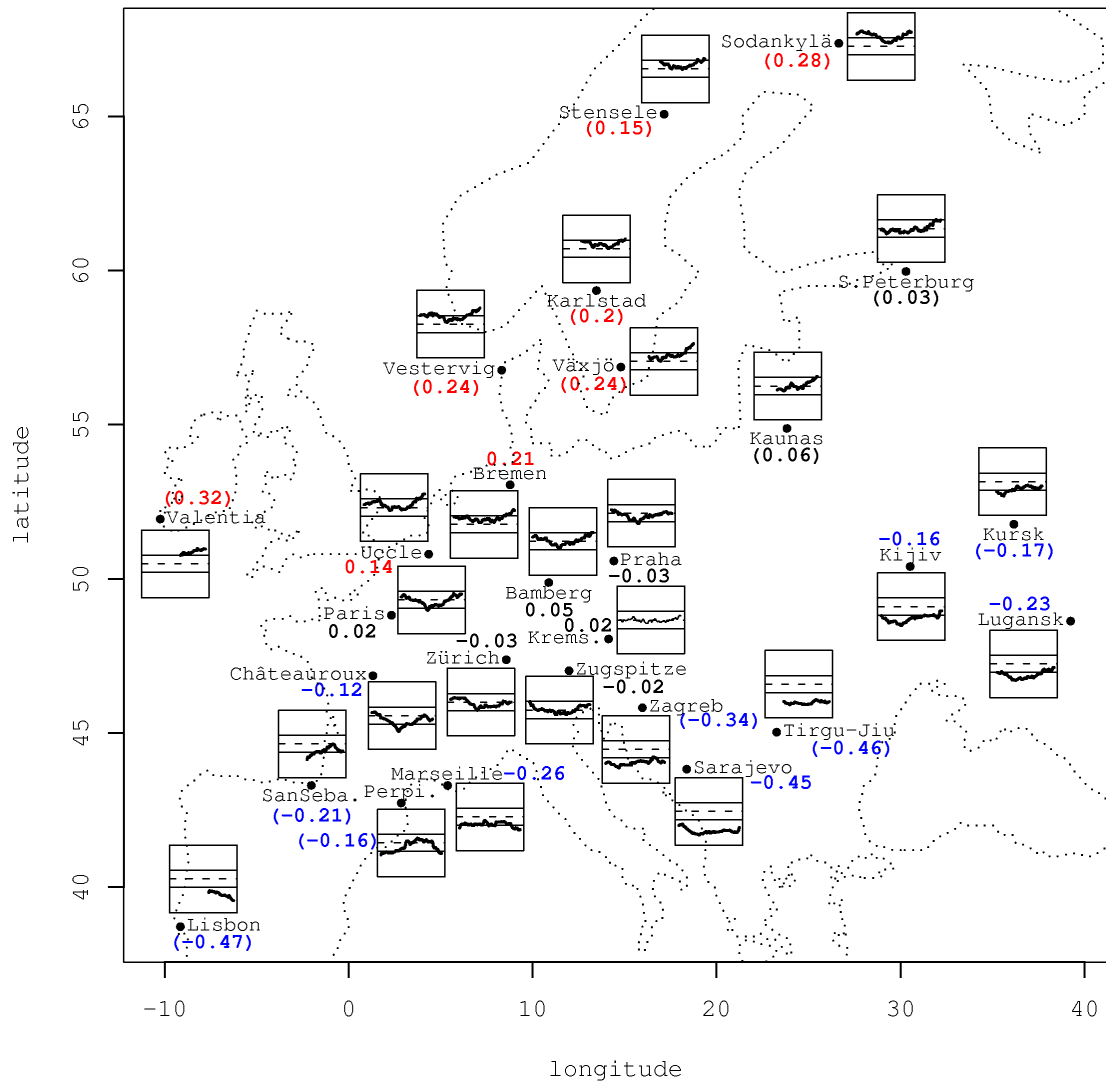
Tyto výsledky jsou ve shodě s pracemi, které využívaly jak data v souřadnicové síti, tak data ze stanic (Hurrell a van Loon, 1997; Trigo a kol., 2004), kde oblast nulové korelace začíná přibližně na 50° s. š. a rozšiřuje se východním a severovýchodním směrem. I regionální studie potvrzují rozložení celkových korelací se srážkami: záporné korelace na Pyrenejském poloostrově (Rodó a kol., 1997; Muñoz-Díaz a Rodrigo, 2003), slabě kladné korelace podél pobřeží Baltského moře (Bednorz, 2002) a kladné významné korelace na západě Britských ostrovů (Murphy a Washington, 2001) a ve Skandinávii (Uvo, 2003).

Časová proměnlivost korelací mezi NAOI a srážkami je zobrazena na obr. 3.3. Změny klouzavých korelací se srážkami jsou statisticky významné na všech zkoumaných stanicích kromě stanice Kremsmünster. Časové průběhy korelací jsou na mnoha stanicích podobné i navzdory odlišnému znaménku korelací mezi severní a jižní Evropou. Typickým znakem je pokles korelací až do poloviny 40. let a následný růst. Výjimku z typického chování tvoří stanice na jihu Perpignan, Marseille, Záhřeb, Tirgu-Jiu, a Sarajevo a stanice ve střední Evropě Kremsmünster.

Časový průběh korelací ve stanici Perpignan je téměř opačný než je typické, v první polovině století přechází záporná korelace do kladné s maximem v polovině 50. let, a pak nastává pokles korelací a přechod do záporných hodnot. Na začátku a na konci sledovaného období jsou korelace statisticky významně záporné. Korelace na stanici Marseille se chovají podobně, ale změny korelací nejsou tak výrazné, klouzavé korelace zůstávají po celé období v záporných hodnotách.

Stanice na Balkáně (Záhřeb, Sarajevo a Tirgu-Jiu, která má kratší časovou řadu) se chovají podobně. Záporná korelace do poloviny 30. let zesilovala a pak nastalo její postupné zeslabování. Bohužel, časové řady zbývajících dvou stanic na jihu Evropy, Lisabon a San Sebastian, jsou příliš krátké, abychom mohli udělat nějaké závěry.

Nejsou mi známy žádné jiné práce, které by se zabývaly proměnlivostí vztahů mezi NAO a srážkami.



Obr. 3.3 Jako obr. 3.1, ale pro zimní srážky.

Fig. 3.3. As in Fig. 3.1, except for winter precipitation.

3.1.3. Kladná a záporná fáze NAOI

V této kapitole se podíváme, jak evropské klima ovlivňuje fáze NAO. Kladná (záporná) fáze NAO je definována jako hodnota NAOI nad (pod) průměrným sezónním NAOI plus (minus) polovina standardní odchylky. Průměr a standardní odchylka jsou počítány pro celé období 1901-1999. Měsíce s kladnou a zápornou fází NAO byly určeny po sezónách. Rozložení kladných a záporných fází NAO během sledovaného období je popsáno v kapitole 2.4.

V tab. 3.1 jsou vytištěny korelace mezi NAOI a maximální teplotou a srážkami pro různé fáze NAO. Můžeme vidět, že největší vliv má NAOI na teploty během kladné fáze, korelace jsou vždy kladné a statisticky významné až na jednu výjimku, kterou je stanice Lugansk. Na druhou stranu jsou korelace významné na 5 nejsevernějších stanicích (Karlstad, Stensele, Sodankylä, Vestervig a Petrohrad) i během neutrální fáze a na 3 severozápadních stanicích (Paříž, Uccle, Valentia) a v řadě CET během záporné fáze NAO.

Během kladné fáze NAO se v zimě rozvíjí západní proudění, a tím i stupeň vlivu na teploty závisí na velikosti NAO indexu. Důsledkem záporné fáze NAO jsou blokuující situace nad východním Atlantikem, které vyvolávají studené východní proudění nad většinou Evropy kromě jejich nejseverozápadnějších částí, přičemž síla tohoto proudění na NAO indexu nezávisí.

Vliv fáze NAO na srážky je obecně slabší, složitější a nemůže být vysvětlen takovýmto jednoduchým způsobem. Zajímavá situace je na Balkáně, kde jsou korelace se srážkami na stanicích Sarajevo a Tirgu-Jiu statisticky významné záporné jak při kladné, tak při záporné fázi NAO, kdežto na stanici Záhřeb jsou významné pouze při záporné fázi. Další statisticky významné korelace se objevily na stanici Lisabon při neutrální fázi NAO a v Petrohradě při kladné fázi.

3.1.4 Změny v poloze akčních center NAO

Jung a kol. (2003) ukazují, že časová proměnlivost korelací mezi NAO indexem a přízemními klimatickými prvky může být, alespoň částečně, vysvětlena změnou polohy akčních center NAO. Pro ověření této hypotézy jsem vypočetla korelační koeficient mezi NAOI a tlakem přepočteným na hladinu moře (SLP) pro různá 31 letá období, která odpovídají extrémním hodnotám klouzavých korelací NAOI s teplotou a srážkami. Data pro SLP pocházejí z datového souboru popsaného Trenberthem a Paolinoem (1980).

Tab. 3.1 Korelační koeficient mezi NAOI a maximální teplotou, a srážkami během kladné (+), neutrální (0) a záporné (-) fáze NAO v zimě. Hodnoty významné na 5% hladině jsou vtištěny tučně.

Tab. 3.1. Correlation coefficient between the NAO index and maximum temperature, and precipitation, for positive (+), neutral (0) and negative (-) phase of the NAO in winter. Values significant at the 5% level are in bold.

	teplota			srážky		
	+	0	-	+	0	-
Perpignan	0.38	0	0.1	-0.08	0.05	-0.11
Marseille	0.43	-0.01	0.07	-0.15	-0.14	-0.16
Paříž	0.38	0.02	0.24	0	-0.17	0.09
Châteauroux	0.43	-0.01	0.18	-0.1	-0.09	-0.03
Zugspitze	0.46	-0.04	0.09	-0.07	-0.02	0.03
Bamberg	0.37	0.06	0.18	0.01	-0.06	0.1
Curych	0.33	-0.06	0.15	-0.05	-0.06	0.04
Uccle	0.42	0.06	0.26	0.04	-0.02	-0.01
Praha	0.27	0.02	0.1	0.01	-0.1	0.03
Sarajevo	0.25	-0.12	0.01	-0.26	0.04	-0.39
Brémy	0.38	0.15	0.19	0.04	-0.07	0.11
Kyjev	0.37	0.09	-0.01	-0.11	-0.1	0.04
Lisabon	0.31	-0.08	0.01	-0.18	-0.38	-0.1
CET	0.46	0.17	0.31	-	-	-
Kremsmünster	0.25	0	0.08	-0.07	-0.03	0.14
Vestervig	0.31	0.2	0.12	0.12	-0.01	0
Záhřeb	0.26	-0.02	0.08	-0.05	-0.08	-0.25
Lugansk	0.15	0.04	-0.07	-0.11	-0.09	-0.04
Sodankylä	0.23	0.34	0.12	0.18	0.09	0.01
Petrohrad	0.34	0.28	-0.06	0.24	-0.11	0.07
Kursk	0.26	0.2	0.03	-0.16	-0.05	0.07
Växjö	0.32	0.18	0.18	0.13	0	-0.05
Karlstad	0.3	0.24	0.12	0.02	-0.02	0.16
Stensele	0.23	0.21	0.07	0.04	0.01	0.07
Kaunas	0.41	0.2	0.08	0.09	0.02	0.06
San Sebastian	0.45	-0.17	0.16	-0.22	0.02	-0.09
Tirgu-Jiu	0.37	-0.05	0.06	-0.33	-0.05	-0.23
Valentia	0.32	-0.04	0.29	0.09	0.1	0.15
Hurbanovo	0.33	0.04	0.07	-	-	-

Pro zimu jsem vybrala 3 časová období, která na většině stanic odpovídají maximálním a minimálním hodnotám korelací mezi NAOI a srážkami: období 1901-1931 (maximální hodnoty), 1932-1962 (minimální hodnoty) a 1969-1999 (maximální hodnoty). V posledním období jsou vysoké také korelace s maximální teplotou. Období se silným vlivem NAO na srážky (1901-1931 a 1969-1999) je charakterizováno vysokou hodnotou NAOI a převládající kladnou fází NAO (obr. 2.2d, kapitola 2.4.). Vysoké klouzavé korelace se srážkami na většině evropských stanic na začátku a na konci sledovaného období mohou být vysvětleny zvýšenou cyklonalitou v této oblasti díky posunu islandské níže na východ oproti období 1932-1962 (viz obr. 3.4). Zesílení záporné korelace na jihoevropských stanicích Marseille a Perpignan může být obdobně vysvětleno zvýšenou anticyklonalitou způsobenou posunem jižního (anticyklonálního) centra NAO východním směrem. Některé stanice ve střední a západní Evropě dosahují záporné významné korelace se srážkami během období 1932-1962. Během tohoto období probíhá izolinie mezi akčními centry severněji, čímž je rozšířen vliv anticyklony severním směrem.

Zkusme se zamyslet nad tím, proč se liší vliv NAO na teploty mezi obdobími 1901-1931 a 1969-1999. Na obr. 3.4d je vidět, že nejvýznamnějším rozdílem je posun jižního akčního centra směrem na východ během let 1969-1999 (statisticky významné rozdíly jsou zvýrazněny šedě). Vysoký NAOI spolu s posunutím akčních center na východ vede k zesílení západního proudění, a tím i k silnějšímu dopadu na přízemní klima v téměř celé Evropě. To je v souladu se zjištěným zesilováním klouzavých korelací s teplotou během druhé poloviny století všude kromě nejsevernějších stanic (Stensele a Sodankylä) a v jihozápadní Evropě (Lisabon, Châteauroux, Marseille, Perpignan).

Tyto výsledky potvrzují, že nestacionarita vztahů mezi NAO indexem a klimatickými proměnnými může být částečně vysvětlena posunem center NAO na východ společně se zesilováním NAO indexu.

3.2. Časová proměnlivost v létě

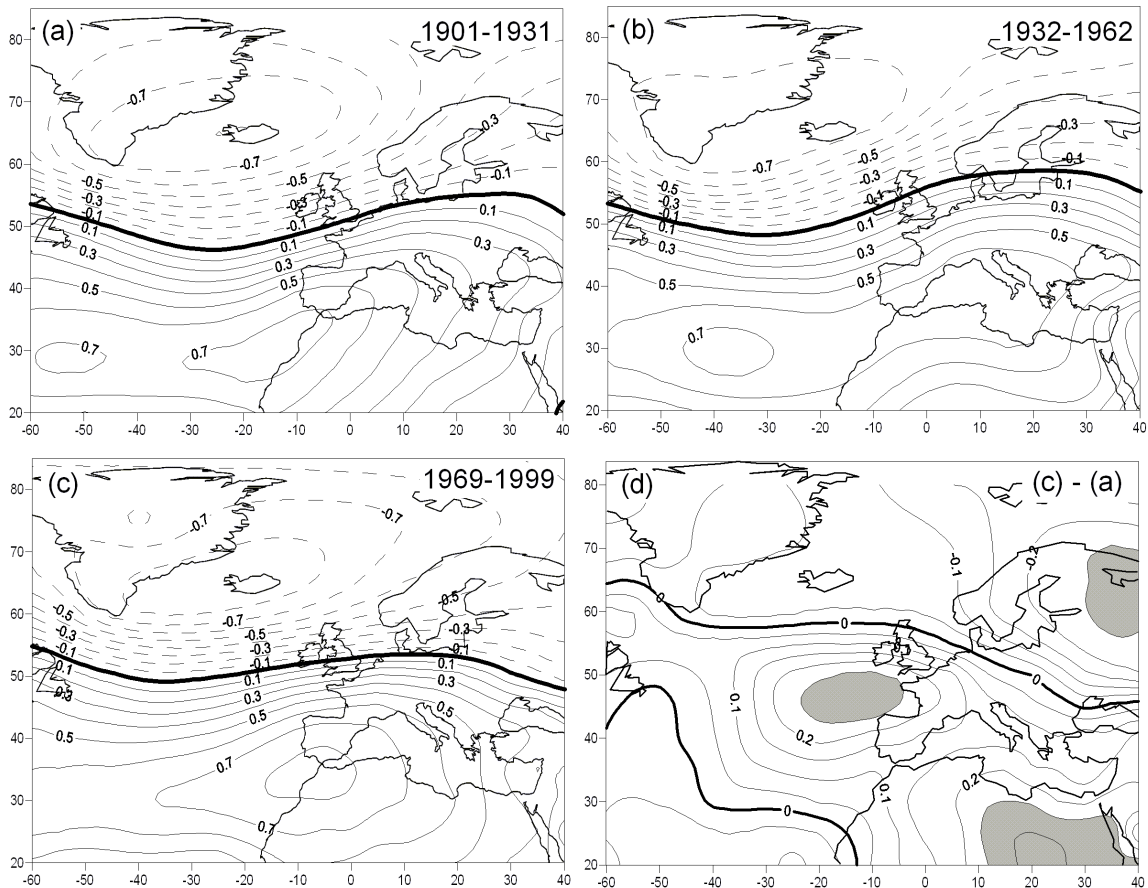
3.2.1. Vztahy mezi NAOI a teplotou

Vliv NAO na teploty v létě není tak silný jako v zimě. Korelační koeficienty za celé sledované období jsou znázorněny na obr. 3.5 v blízkosti názvu stanice. Na většině stanic Evropy se korelace pohybují kolem nulové hodnoty, pouze na severovýchodě Evropy (stanice Sodankylä a Petrohrad) jsou statisticky významně kladné.

Vztah s maximální teplotou není ani v létě stacionární (obr. 3.5, malé grafy). Významné změny korelací byly nalezeny v západní, střední, východní Evropě a ve

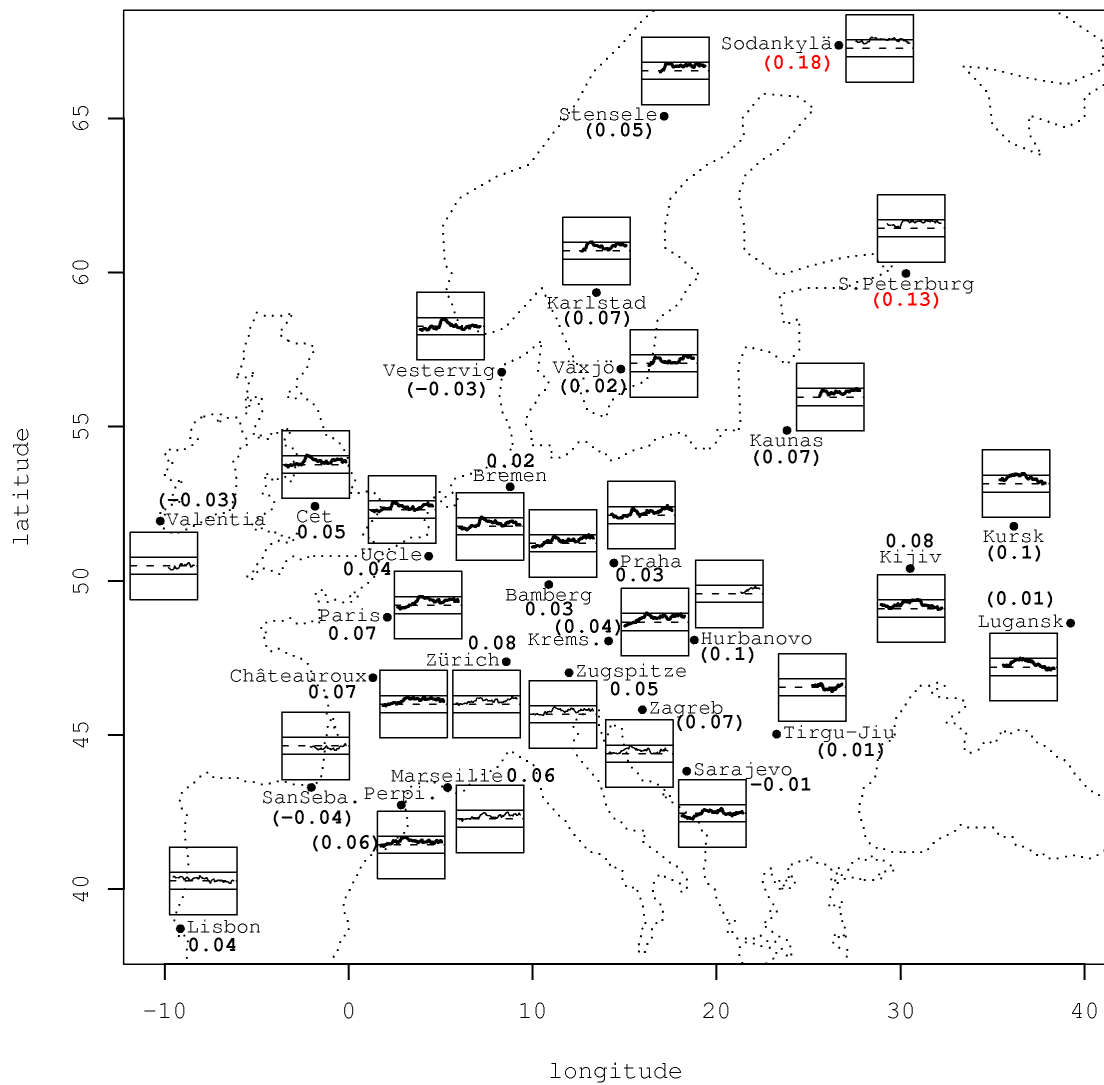
Skandinávii. Klouzavé korelace na většině stanic rostly do počátku 40. let, kdy byly na hranici statistické významnosti, pak do poloviny 60. let klesaly, načež následoval opětový růst.

Jiný průběh korelací byl zaznamenán na stanicích ve východní Evropě (Kyjev, Lugansk, Kursk). Klouzavé korelace na těchto stanicích rostly až do poloviny 50. let, kdy byly statisticky významně kladné, pak začaly klesat.



Obr. 3.4 Korelační koeficient mezi NAOI a SLP v zimě pro období: (a) 1901-1931, (b) 1932-1962 a (c) 1969-1999. (d) rozdíl mezi (c) a (a). Na obrázku (d) jsou šedivě znázorněny statisticky významné rozdíly (na 5% hladině).

Fig. 3.4. Correlation coefficients between the NAO index and SLP in winter for periods: (a) 1901-1931, (b) 1932-1962 and (c) 1969-1999. (d) Difference between (c) and (a). In (d) statistically significant differences (at the 5% level) are shaded.



Obr. 3.5 Jako obr. 3.1, ale pro letní teploty.

Fig. 3.5. As in Fig. 3.1, except for summer temperature.

Většina autorů se zabývá vztahy NAO a klimatických prvků pouze v zimním období. Výjimku tvoří jen Jacobeit a kol. (2001), kteří potvrdili, že vztahy NAO s teplotami v Evropě jsou slabé a často statisticky nevýznamné. Při analýze klouzavých korelací s 21 letým oknem mezi NAO indexem a časovou řadou složenou ze stanic střední Evropy našli maximum korelací na konci 30. let, následné minimum na konci 60. letech 20. století a poté následoval růst. I přes použití jiných metod a časových řad se období maximálního a minimálního vlivu NAO na teploty shodují.

3.2.2. Vztahy mezi NAOI a srážkami

Celkové korelace mezi NAOI a srážkami v létě nejsou na většině území Evropy statisticky významné (obr. 3.6). Výjimku tvoří západní část kontinentu, konkrétně stanice Uccle (-0,13), Paříž (-0,18) a Châteauroux (-0,14).

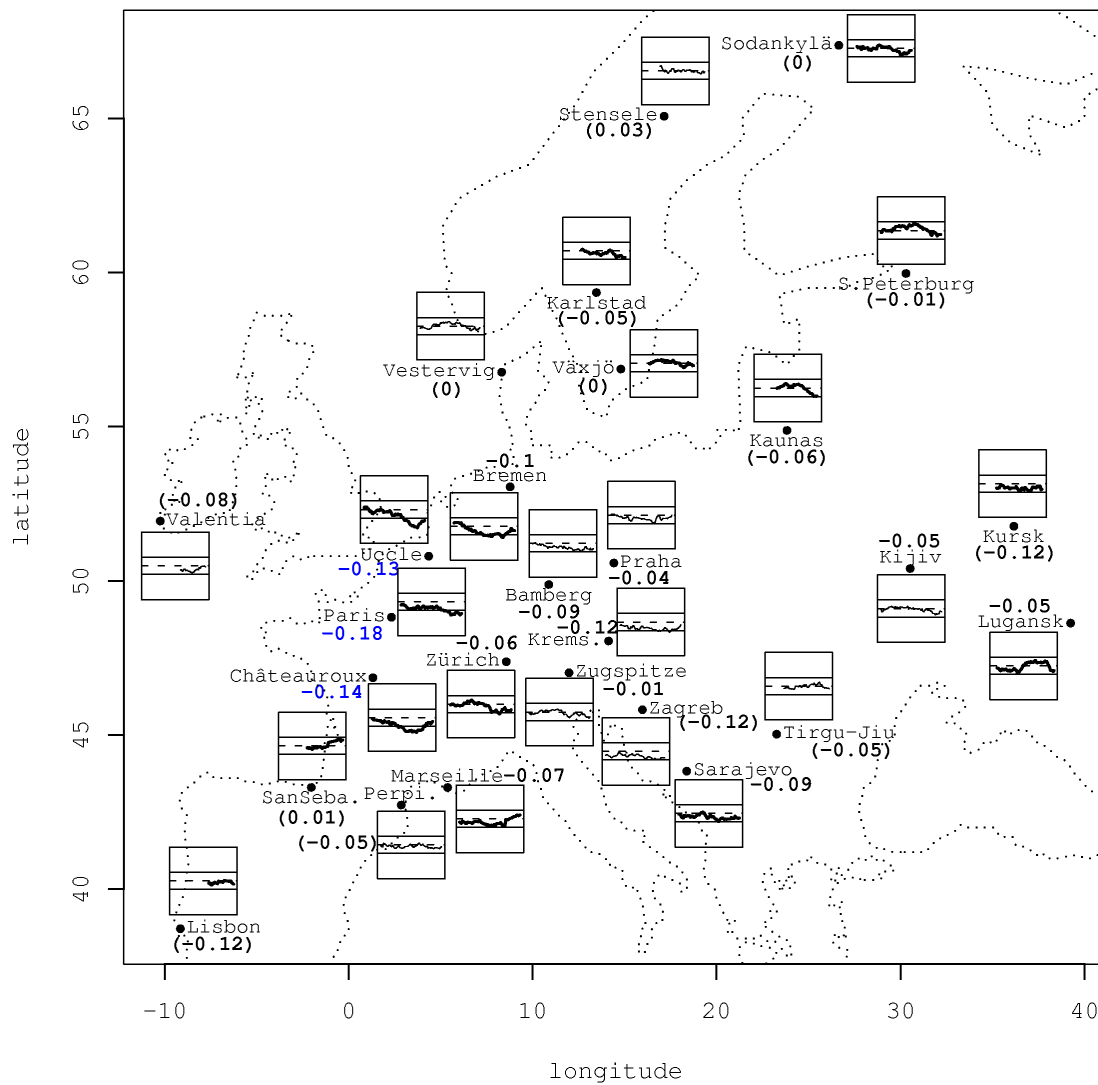
Na stanicích západní Evropy, kolem Baltského moře, ve východní Evropě a na stanici Sarajevo byly zjištěny významné změny klouzavých korelací (obr. 3.6). Průběh klouzavých korelací není tak prostorově homogenní jako pro teplotu. Klouzavé korelace na stanicích kolem Baltu rostly do poloviny 50. let a pak klesaly, korelace na stanici Karlstad téměř po celé období klesaly.

Hlavním znakem v průběhu korelací v západní Evropě je jejich pokles, který je koncem sledovaného období vystřídán růstem. Klouzavé korelace na stanicích na jihozápadě (Châteauroux a Marseille) začaly růst už v polovině 60. let. Korelace na stanici Paříž klesaly po celé období.

Korelace na stanicích Kursk a Sarajevo mají méně výrazný průběh. Naopak korelace na stanici Lugansk prodělaly výrazné změny: na začátku klesaly, od poloviny 40. let výrazně rostly a od poloviny 70. let opět klesaly.

3.2.3. Kladná a záporná fáze NAOI

Počet měsíců s kladnou a zápornou fází NAO je v létě shodný, a to 86. Měsíce s kladnou fází se nejvíce objevují v období 1971-1990 a se zápornou v letech 1941-1960 a v 90. letech. V tab. 3.2 jsou znázorněny korelace s maximální teplotou během různých fází NAO, korelace se srážkami nejsou statisticky významné.



Obr. 3.6 Jako obr. 3.1, ale pro letní srážky.

Fig. 3.6. As in Fig. 3.1, except for summer precipitation.

Tab. 3.2 Korelační koeficient mezi NAOI a maximální teplotou během kladné (+), neutrální (0) a záporné (-) fáze NAO v létě. Hodnoty významné na 5% hladině jsou vyznačeny tučně.

Tab. 3.2. Correlation coefficient between the NAO index and maximum temperature for for positive (+), neutral (0) and negative (-) phase of the NAO in summer. Values significant at the 5% level are in bold.

maximální teplota							
	+	0	-		+	0	-
Perpignan	-0.23	0	0.02	Vestervig	-0.29	0.06	0.09
Marseille	-0.21	0.03	0.04	Záhřeb	-0.11	-0.11	0.1
Paříž	-0.18	-0.02	-0.02	Lugansk	-0.35	-0.09	0.06
Châteauroux	-0.19	0.02	0.06	Sodankylä	-0.11	0.25	0.09
Zugspitze	-0.17	-0.07	-0.01	Petrohrad	-0.17	0.16	0.07
Bamberg	-0.15	-0.09	-0.02	Kursk	-0.11	0.04	0.09
Curych	-0.07	-0.04	0.02	Växjö	-0.19	0.07	0.05
Uccle	-0.16	-0.02	-0.06	Karlstad	-0.19	0.11	0.1
Praha	-0.22	-0.11	0.06	Stensele	-0.24	0.12	-0.02
Sarajevo	-0.2	-0.08	0.1	Kaunas	-0.13	0.1	0.04
Brémy	-0.21	-0.03	0.08	San-Sebastian	-0.14	-0.02	-0.09
Kyjev	-0.07	-0.01	0.13	Tirgu-Jiu	-0.13	-0.11	0.02
Lisabon	-0.11	0.08	0.01	Valentia	-0.1	0.16	-0.08
CET	-0.22	-0.01	0.01	Hurbanovo	0.06	-0.08	-0.01
Kremsmünster	-0.19	-0.07	0.04				

Korelace mezi NAOI a maximální teplotou v létě při kladné fázi NAO jsou na většině stanic záporné, na 6 stanicích, rozprostřených po celé Evropě (CET, Perpignan, Praha, Vestervig, Stensele a Lugansk), jsou dokonce statisticky významné. Při neutrální fázi NAO byla zjištěna statisticky významně kladná korelace na stanici Sodankylä, kladné vyšší hodnoty jsou i na ostatních stanicích na severovýchodě Evropy. Při záporné fázi NAO jsou korelace blízké nule. Při kladné fázi NAO se prohlubují akční centra, tím zesiluje západní proudění, které přináší nad teplou pevninu chladnější vzduch, proto jsou korelace s teplotou při kladné fázi NAO záporné.

3.2.4. Změny v poloze akčních center NAO

V létě nelze jednoznačně určit časová období s maximálním a minimálním vlivem NAO na teploty a srážky. Lze určit období 1901-1931, kdy jsou korelace s teplotou i se srážkami zejména ve střední a západní Evropě blízké nule a období 1963-1993, kdy jsou významné kladné korelace s teplotou, přičemž korelace se srážkami se mezi stanicemi liší.

Okolo roku 1940 dochází k náhlým změnám korelací s teplotou, např. na stanici Praha dojde během pouhých 20 let k nárůstu a opětnému poklesu klouzavé korelace o 0,2. Z tohoto důvodu se období odpovídající maximální (1926-1956) a minimální hodnotě (1949-1979) klouzavé korelace překrývají. Pouze v období 1949-1979 se dá říci, že převládá záporná fáze NAO, v ostatních obdobích je kladná a záporná fáze zastoupena stejně.

Na obr. 3.7 jsou zobrazeny korelace mezi NAOI a SLP během výše určených období. Rozdíly těchto korelací mezi obdobími nejsou významné. Významně se liší pouze období 1901-1931 s malým vlivem na teploty i srážky, a období 1963-1993 s velkým vlivem na teploty. Během prvního období 1901-1931 je jižní akční centrum posunuto východním směrem (obr. 3.7e) oproti období 1963-1993. Bohužel na mapách korelací mezi NAOI a SLP nelze najít vysvětlení pro změny klouzavých korelací v jiných obdobích.

3.3. Časová proměnlivost na jaře a na podzim

3.3.1. Vztahy mezi NAOI a teplotou

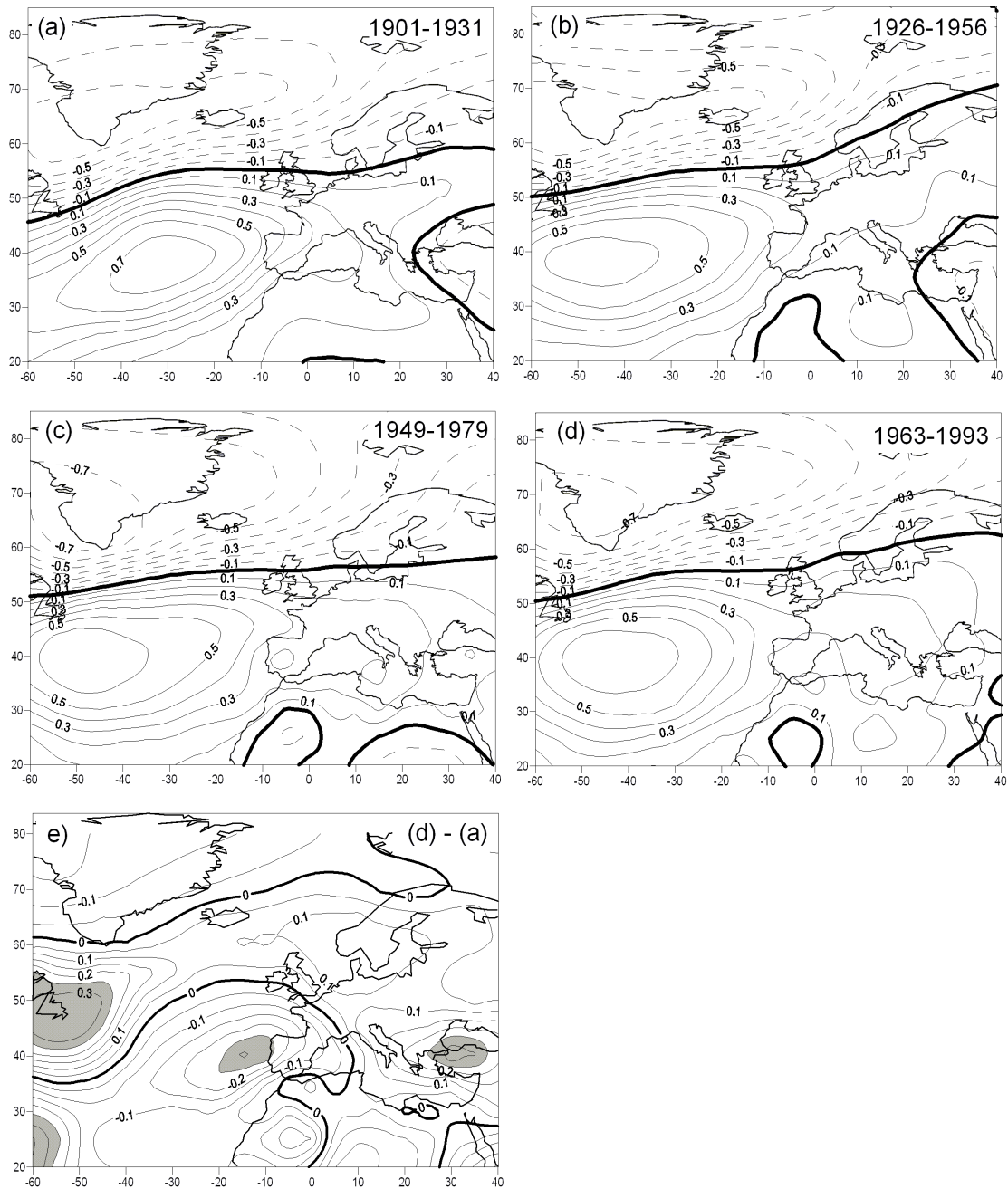
Korelační koeficient pro celé zkoumané období není ani na jaře ani na podzim na žádné ze stanic statisticky významný. V obou obdobích byly ale zjištěny významné statistické změny klouzavých korelací téměř na všech zkoumaných stanicích (obr. 3.8). Bez významných změn korelací jsou na jaře pouze stanice Lisabon a Kursk. Průběhy klouzavých korelací jsou výrazně prostorově homogenní.

Na jaře mají všechny stanice stejný průběh korelací. Klouzavé korelace rostly do poloviny 30. let, pak byly téměř beze změn až do počátku 70. let, kdy začaly rychle klesat. Na mnoha stanicích dosáhly klouzavé korelace mezi roky 1935 a 1970 hranice statistické významnosti.

Na podzim se klouzavé korelace také chovají na všech zkoumaných stanicích podobně. Klouzavé korelace do poloviny 50. let rostly, ve svém maximu byly statisticky významné a pak následoval jejich pokles. Nejsou mi známy žádné vědecké práce, které by se zabývaly vztahy mezi NAO a klimatickými prvky na jaře a na podzim.

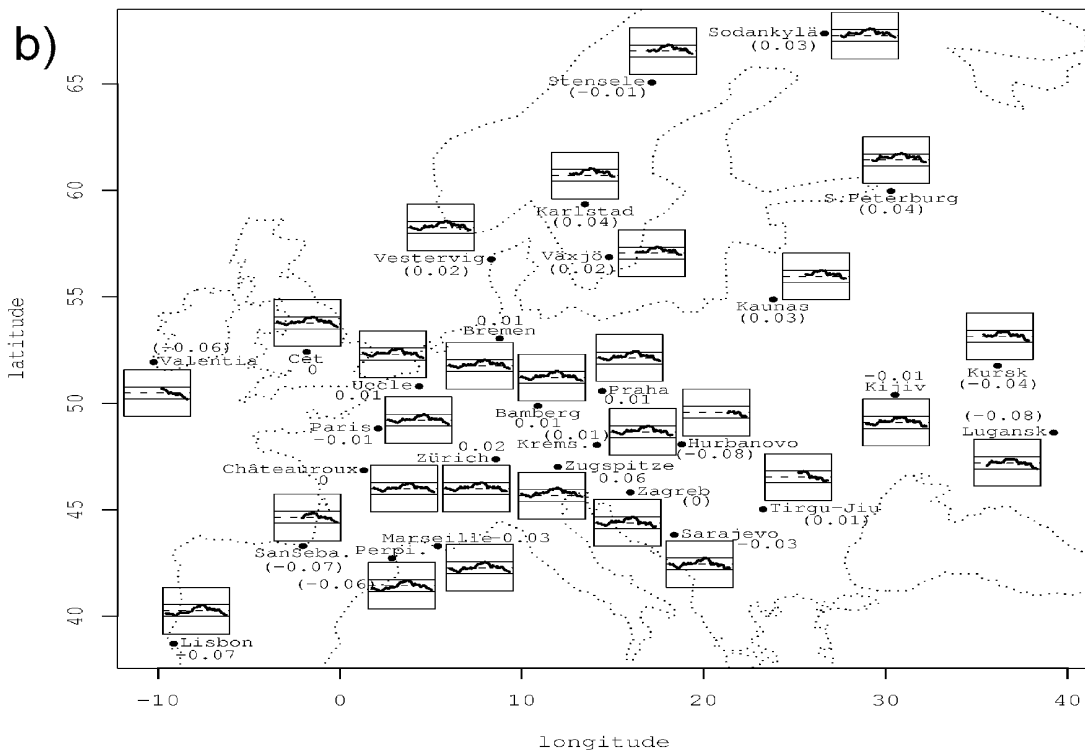
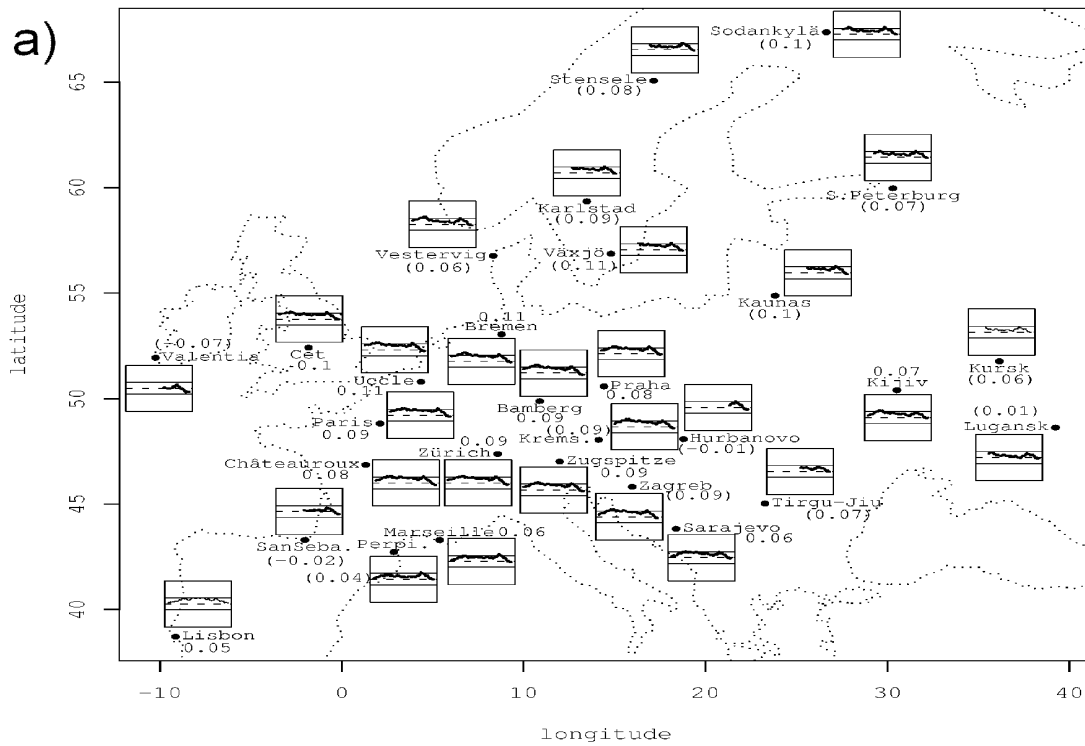
3.3.2 Vztahy mezi NAOI a srážkami

Celkové korelace na jaře nejsou na většině stanic Evropy statisticky významné. Kladná významná korelace je na irské stanici Valentia (0,19), korelace však byla počítána z kratší časové řady (59 let). Významně záporná korelace byla zjištěna na stanici Lisabon (-0,26), opět počítána z kratší časové řady, a na východoevropské stanici Kyjev (-0,14).



Obr. 3.7 Korelační koeficient mezi NAOI a SLP v létě pro období: (a) 1901-1931, (b) 1926-1956, (c) 1949-1979 a (d) 1963-1993. (e) rozdíl mezi (d) a (a). Na obrázku (e) jsou šedivě znázorněny statisticky významné rozdíly (na 5% hladině).

Fig. 3.7. Correlation coefficients between the NAO index and SLP in summer for periods: (a) 1901-1931, (b) 1926-1956, (c) 1949-1979 and (d) 1963-1993. (e) Difference between (d) and (a). In (e) statistically significant differences (at the 5% level) are shaded.



Obr. 3.8 Jako obr. 3.1, ale pro a) jarní a b) podzimní tepoty.

Fig. 3.8. As in Fig. 3.1, except for a) spring, b) autumn temperature.

Na většině stanic byly zjištěny významné změny korelací (obr. 3.9a). Výjimku tvoří stanice na jihu Evropy: Lisabon, Perpignan, Marseille a Lugansk a stanice Stensele ze severu Skandinávie. Průběh korelací je na většině stanic stejný: korelace do konce 40. let klesaly, nebo byly bez větších změn, v mnoha případech byly záporné na hranici statistické významnosti, a pak nastal jejich růst, ke konci období se dostaly do kladných hodnot na hranici statistické významnosti. Jiný průběh korelací mají stanice na severovýchodě (Sodankylä a Petrohrad), kde korelace do počátku 50. let rostly, následoval pokles korelací a od poloviny 60. let opětový růst.

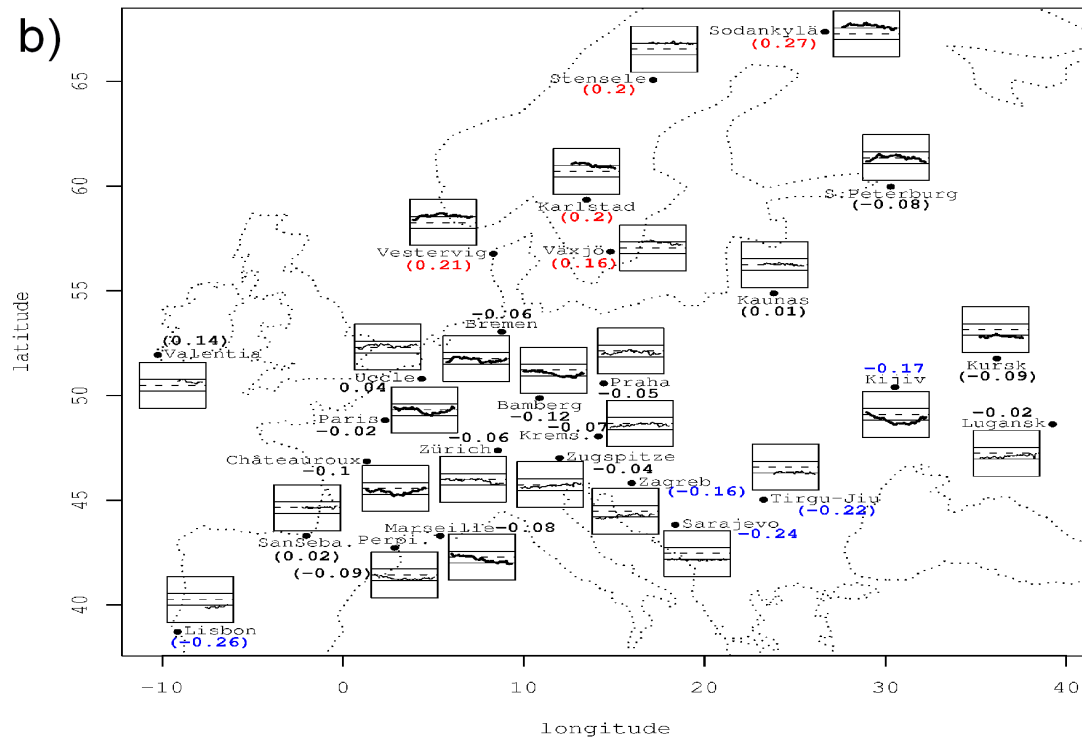
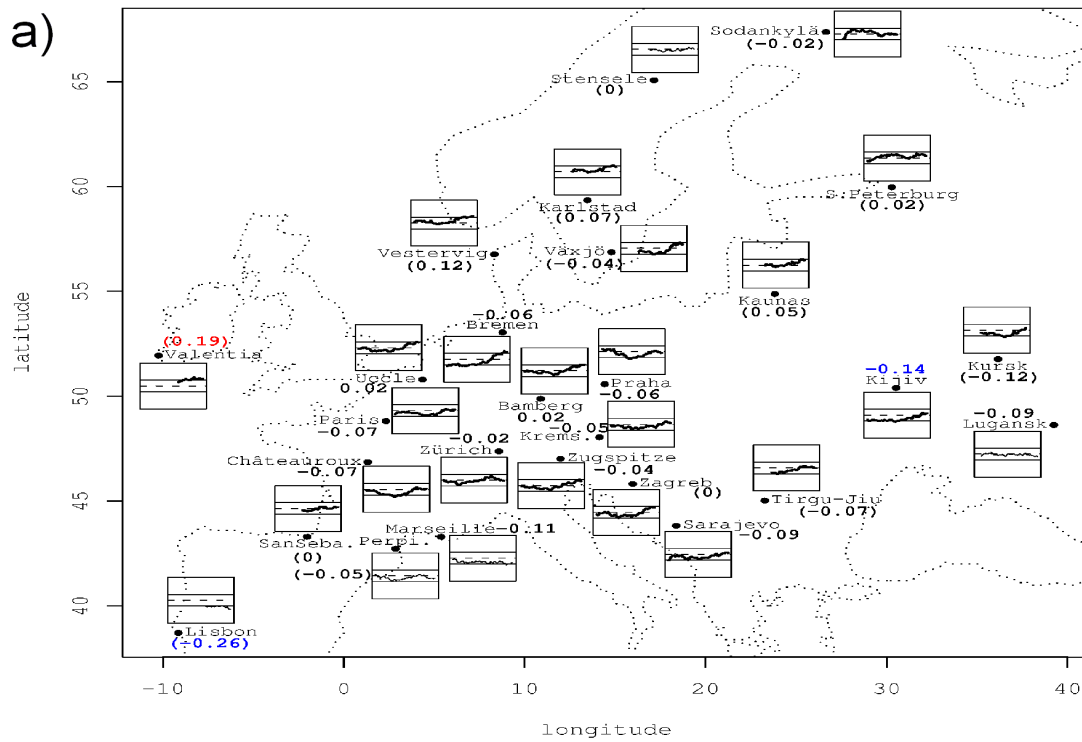
Na podzim má rozložení celkových korelací se srážkami podobný charakter jako v zimě. Korelace jsou statisticky významně kladné ve Skandinávii a významně záporné na Balkáně a na stanici Lisabon a Kyjev (obr. 3.9b).

Významné změny klouzavých korelací na podzim byly zjištěny v jižní Skandinávii, v severovýchodní Evropě a na několika stanicích ve střední a západní Evropě. Podobný průběh klouzavých korelací mají stanice na severu Evropy. Korelace do začátku 50. let rostly a pak klesaly. Jinak se chovají klouzavé korelace ve střední a západní Evropě: počáteční růst klouzavých korelací byl vystřídán poklesem a zhruba od počátku 60. let opětovým růstem. Výjimkou je stanice Marseille, kde korelace po celou dobu klesaly.

3.3.3 Kladná a záporná fáze NAOI

Na jaře bylo 80 měsíců klasifikováno jako kladná fáze NAO a 102 jako záporná. Na podzim je 98 měsíců v kladné fázi a 96 v záporné. Korelace mezi NAOI a teplotami při různých fázích NAO nejsou na jaře ani na podzim statisticky významné. Proto se více zaměřím na vztahy se srážkami, které jsou pro obě sezóny vytištěny v tab. 3.3.

Na jaře lze podle převládající NAO fáze vymezit kladné období roky 1901 až 1930 a záporné 1951-1980 a 90. léty. Při kladné fázi NAO jsou korelace se srážkami na jaře na většině stanic záporné, na stanicích v Alpském regionu, na Balkáně a ve východní Evropě jsou dokonce statisticky významné. Při kladné fázi je anticyklona hlubší a může zasahovat až do východní Evropy, což tam přináší méně srážek. Během neutrální fáze je korelace záporně významná pouze v Marseille. Při záporné fázi nejsou korelace významné.



Obr. 3.9 Jako obr. 3.1, ale pro a) jarní a b) podzimní srážky.

Fig. 3.9. As in Fig. 3.1, except for a) spring, b) autumn precipitation.

Tab. 3.3 Korelační koeficient mezi NAOI a srážkami během kladné (+), neutrální (0) a záporné (-) fáze NAO na jaře a na podzim. Hodnoty významné na 5% hladině jsou vtištěny tučně.

Tab. 3.3. Correlation coefficient between the NAO index and precipitation for positive (+), neutral (0) and negative (-) phase of the NAO in spring and autumn. Values significant at the 5% level are in bold.

	jaro			podzim		
	+	0	-	+	0	-
Perpignan	-0.08	-0.07	-0.02	-0.06	-0.12	0.08
Marseille	-0.05	-0.19	0.02	-0.04	-0.04	-0.02
Paříž	-0.2	-0.2	0.14	0.02	0.17	-0.16
Châteauroux	-0.18	0.04	0.06	0	0.17	-0.3
Zugspitze	-0.3	0.02	0.06	-0.04	0.17	-0.11
Bamberg	-0.23	-0.01	0.1	-0.03	0.05	-0.04
Curych	-0.23	0.08	0.07	0.06	0.03	-0.06
Uccle	-0.05	-0.02	0.08	-0.01	0.17	-0.27
Praha	-0.18	0.13	0.02	-0.04	0.01	-0.14
Sarajevo	-0.25	-0.04	0.05	-0.2	0.03	-0.3
Brémy	-0.15	0.05	0.07	0	0.09	-0.01
Kyjev	-0.27	-0.05	0.15	0.03	-0.06	-0.1
Lisabon	-0.14	0.01	0.01	-0.04	-0.06	-0.05
CET	-	-	-	-	-	-
Kremsmünster	-0.2	0.06	-0.02	-0.06	0.09	-0.05
Vestervig	0.01	0.07	0.12	0.1	0.03	0.08
Záhřeb	-0.31	-0.02	0.09	-0.03	-0.08	-0.21
Lugansk	-0.33	-0.02	0.13	-0.11	-0.07	-0.09
Sodankylä	0.16	0.13	0.03	-0.05	0.07	0.23
Petrohrad	-0.04	-0.02	0.15	-0.07	-0.01	0.04
Kursk	-0.12	-0.15	-0.01	-0.11	-0.09	-0.11
Växjö	-0.04	0.1	0.04	0.08	0.02	0.1
Karlstad	-0.11	0.09	0.03	-0.07	0.01	0.13
Stensele	-0.02	0.11	0.18	0.09	-0.03	0.1
Kaunas	-0.15	0.1	0.13	-0.08	0.11	0.25
San-Sebastian	-0.28	-0.13	0.13	-0.12	0.17	-0.21
Tirgu-Jiu	-0.32	0.01	0.1	-0.33	-0.02	-0.2
Valentia	-0.22	-0.12	0.07	0.08	0.06	0.13
Hurbanovo	-	-	-	-	-	-

Na podzim lze podle převládající fáze vymezit kladné období léty 1911-1940 a záporné 1941-1970 a 90. léty. Na podzim jsou korelace při kladné fázi statisticky významně záporné na balkánských stanicích Sarajevo a Tirgu-Jiu. Při záporné fázi NAO je situace složitější: významně kladné hodnoty jsou na stanicích umístěných severovýchodně, Sodankylä a Kaunas a významně záporné korelace jsou na Balkáně (Záhřeb a Sarajevo) a na stanici v západní Evropě Uccle. Situace na Balkáně během kladné a záporné fáze je podobná situaci v zimní sezóně.

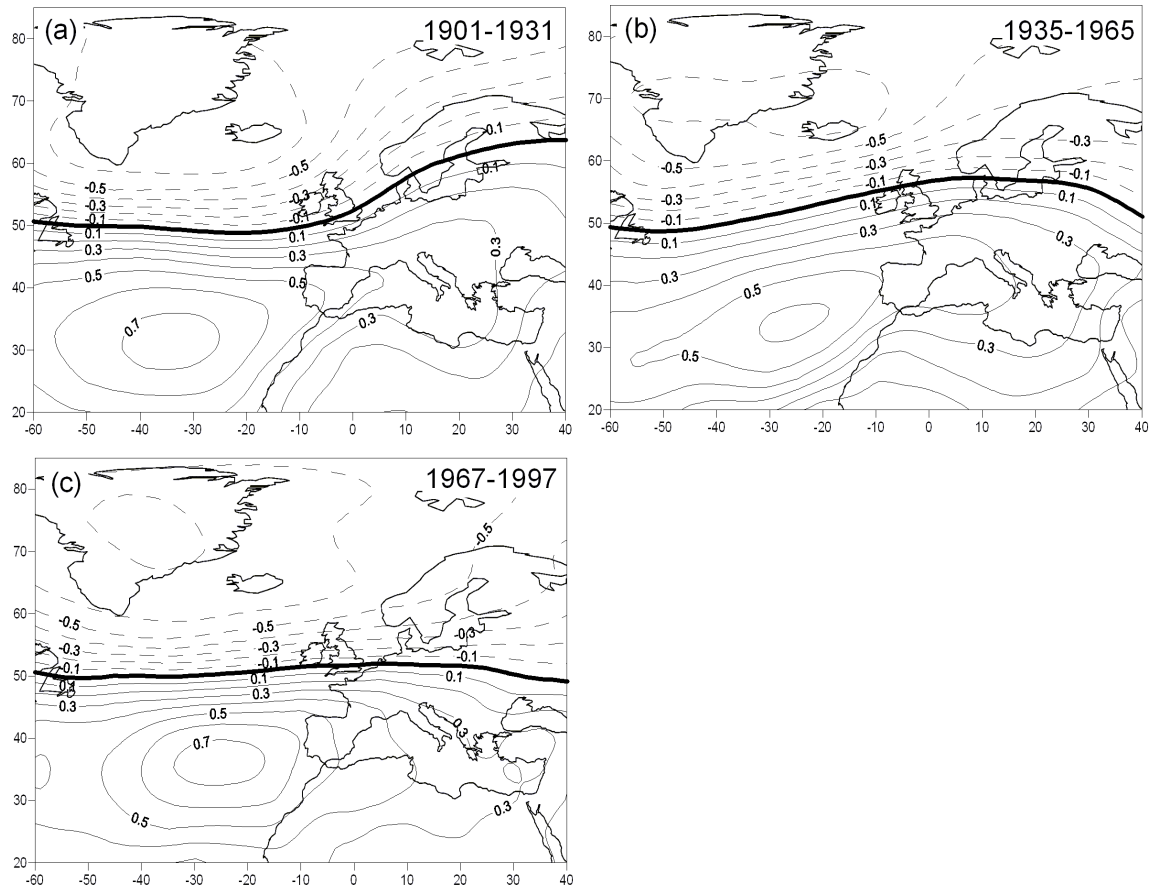
3.3.4 Změny v poloze akčních center NAO

Na jaře můžeme opět na základě klouzavých korelací s teplotou a srážkami vymezit 3 období. 1901-1931, kdy jsou korelace s teplotou na severu kladné a na jihu blízké nule a korelace se srážkami jsou nulové. Druhé období 1935-1965, kdy jsou korelace s teplotou významně kladné a korelace se srážkami na většině stanic významně záporné a na severu blízké nule nebo kladné. Posledním obdobím je 1967-1997, kdy jsou korelace s teplotou blízké nule a korelace se srážkami na většině stanic kladné, zatímco na jihozápadě nulové až záporné.

Na obr. 3.10 jsou zobrazeny korelace mezi NAOI a SLP pro tato období. Různé chování korelací se srážkami mezi severní a jižní Evropou lze vysvětlit umístěním nulové izočáry mezi akčními centry. V období 1935-65 je tato linie umístěna severněji oproti ostatním obdobím (obr. 3.10b), to znamená, že severněji zasahuje i oblast vysokého tlaku, čímž se zesiluje záporná korelace se srážkami (čím vyšší NAOI, tím silnější anticyklona a tím méně srážek).

Posunem azorské výše na sever se dá částečně vysvětlit i zesílení kladné korelace s teplotou na většině území Evropy v období 1935-1965. Azorská výše v tomto období ovlivňuje kromě jižní poloviny Evropy i Evropu střední, Britské ostrovy a jižní Skandinávii. Na jaře nedochází k významnému pohybu akčních center východním směrem.

Na podzim můžeme vybrat období 1938-1968 s velkým vlivem jak na srážky, tak na teploty. Během tohoto období jsou korelace s teplotou významně kladné a korelace se srážkami na jihu Evropy významně záporné, zatímco na severu významně kladné. Během období 1901-1931 a 1969-1999 nemá NAO na teploty významný vliv a vliv na srážky se opět liší v závislosti na zeměpisné šířce.



Obr. 3.10 Korelační koeficient mezi NAOI a SLP na jaře pro různá období: (a) 1901-1931, (b) 1935-1965 a (c) 1967-1997.

Fig. 3.10. Correlation coefficients between the NAO index and SLP in spring for different periods: (a) 1901-1931, (b) 1935-1965 and (c) 1967-1997.

Je těžké určit, proč na podzim má na klimatické prvky v Evropě vliv NAO právě v období 1938-1968, kdy je NAOI spíše v záporné fázi a akční centra (zejména jižní) jsou méně vyvinuta (obr. 3.11). V porovnání s obdobím 1901-1931 je azorská níže posunuta severněji, ale v porovnání s léty 1969-1999 je umístění akčních center podobné (obr. 3.11d). Změny polohy akčních center a změny polarity NAO na podzim tedy nevysvětlují změny korelací zejména s teplotou.

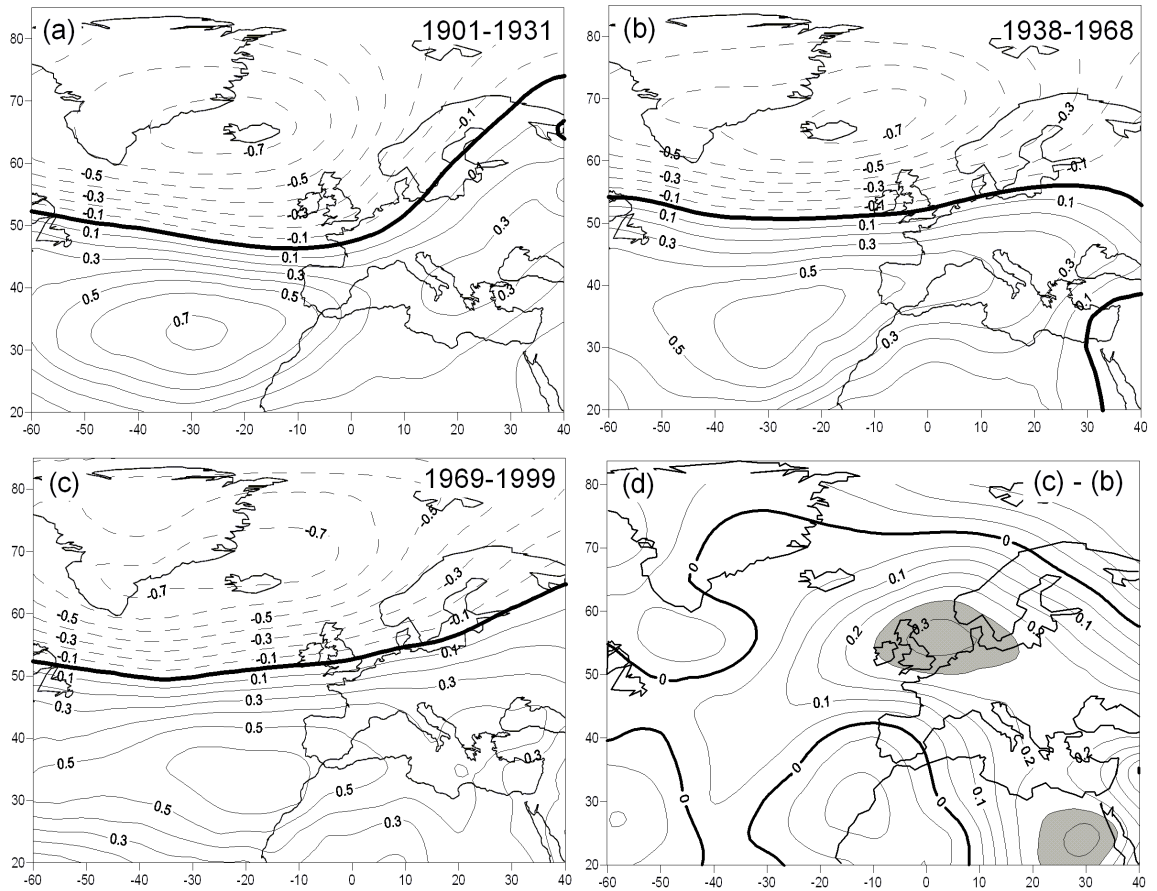
3.4. Shrnutí kapitoly 3

Pomocí 31 letých klouzavých korelací byla zkoumána časová proměnlivost vlivu Severoatlantické oscilace na teploty a srážky Evropy. Zkoumané období zahrnuje téměř celé 20. století. Maximální a minimální teploty vykazují podobné průběhy klouzavých korelací. Korelace s maximálními teplotami jsou trvale vyšší, proto pro další analýzy byla použita maximální teplota. Na většině stanic se korelace s teplotou i se srážkami mění významně v čase.

Výsledky pro zimní období jsou také prezentovány v článku Beranová a Huth (2007a). Nejběžnějším znakem klouzavých korelací s teplotou v zimním období je slabá změna vlivu NAO před rokem 1950 následovaná růstem, nejjasněji je vyjádřena ve střední Evropě a jižní Skandinávii. Korelace s teplotou na stanicích v jihozápadní Evropě a severní Skandinávii se chovají odlišným způsobem. Vliv NAO na teploty je ve většině evropských stanic největší během kladné fáze NAO. Nejdůležitějším znakem ve vztahu se srážkami je pokles korelací v 1. polovině století, po kterém následuje růst. Výjimky tvoří stanice na jihu a východě Evropy.

Období se silným vlivem NAO v zimním období je charakterizováno posunem islandské níže a azorské výše na východ. Mechanismus může být dvojitý: za prvé, posun center východním směrem je spojen s vysokou hodnotou NAO indexu, což vyvolává silnější západní proudění nad větší částí Evropy a za druhé, posun východním směrem sám o sobě vede k zesílení západního proudění v konkrétním bodě umístěným východně od akčních center.

V letním období klouzavé korelace s teplotou na většině stanic rostly do počátku 40. let, pak klesaly a od poloviny 60. let opět rostly. Jiné chování mají stanice ve východní Evropě. Korelace s teplotou jsou během kladné fáze NAO záporné, na několika stanicích statisticky významné. Průběh korelací se srážkami se velmi liší mezi stanicemi.



Obr. 3.11 Korelační koeficient mezi NAOI a SLP na podzim pro různá období: (a) 1901-1931, (b) 1938-1968 a (c) 1969-1999. (d) rozdíl mezi (c) a (b). Na obrázku (d) jsou šedivě znázorněny statisticky významné rozdíly (na 5% hladině).

Fig. 3.11. Correlation coefficients between the NAO index and SLP in autumn for different periods: (a) 1901-1931, (b) 1938-1968 and (c) 1969-1999. (d) Difference between (c) and (b). In (d) statistically significant differences (at the 5% level) are shaded.

Na jaře i na podzim je průběh korelací s teplotou prostorově velmi homogenní. Na jaře byly klouzavé korelace od poloviny 30. let do počátku let 70. téměř stacionární, kladné na hranici statistické významnosti. Na začátku a na konci zkoumaného období prodělaly rychlé změny. Na podzim klouzavé korelace s teplotou do poloviny 50. let rostly a pak postupně klesaly.

Klouzavé korelace se srážkami na jaře na většině stanic klesaly do konce 40. let a pak rostly. Klouzavé korelace prodělaly opravdu velkou změnu, protože se dostaly ze statisticky významně záporných hodnot do významně kladných hodnot, změna klouzavých korelací byla např. na stanici Brémy o 0,56. Při kladné fázi NAO jsou korelace se srážkami záporné, na stanicích v Alpách, na Balkáně a ve východní Evropě jsou statisticky významné. Změny klouzavých korelací mohou být částečně vysvětleny posunem Azorské anticyklony severním směrem během období 1935-1965.

Průběh klouzavých korelací se srážkami se na podzim značně liší mezi stanicemi. Podobné chování mají stanice na severu Evropy, jinak se chovají stanice ve střední a západní Evropě.

4. Časová proměnlivost vlivů cirkulačních modů na teplotu a srážky v Evropě

4.1. Použité postupy

Mody cirkulační variability byly vypočteny z geopotencialních výšek hladiny 500 hPa pomocí rotované analýzy hlavních složek (PCA, viz kapitola 2.2.). Pro určení modů používám měsíční data pro jednotlivé sezóny (zima = prosinec, leden, únor; jaro = březen, duben, květen atd.) za období 1958-1998. Do analýzy tedy vstupuje 123 měsíců v každé sezóně. Analyzovala jsem celou severní polokouli severně od 20°s.š. Pro vyrovnání nestejně vzdálenosti bodů sítě 5° krát 5°, které vstupují do analýzy hlavních složek, jsem použila stejnou metodu jako Barnston a Livezey (1987, dále jako BL): přibližně rovnoměrná hustota sítě byla docílena postupným vypouštěním bodů směrem k severu, od 20° do 55° bylo necháno 36 bodů, 24 bodů na 60° a 65°, 18 na 70°, 12 na 75°, 9 na 80° a 4 na 85°. Výsledný počet bodů sítě je 379.

Rotovaná PCA byla aplikována na korelační matici. V zimě bylo rotováno 10 složek a v ostatních obdobích 12 složek. Nejlepší počet rotovaných složek byl určen pomocí indexového grafu úpatí vlastních čísel. V zimním období vysvětlují rotované složky celkem 74,9% vysvětleného rozptylu, na jaře 69,1%, v létě 64,6% a na podzim 69,6%. Pro analýzu byl použit S-mod (vlastní vektory prezentují prostorové uspořádání a hlavní složky časovou řadu). Pro rotaci jsem použila ortogonální proceduru Varimax.

Z důvodu lepší interpretace jsem vlastní vektory normovala druhou odmocninou z vlastního čísla. Při zobrazení složek vlastních vektorů (komponentních zátěží) do bodů sítě pak udává tato hodnota korelaci mezi příslušnou hlavní složkou a výškou hladiny 500 hPa v období 1958-98. Pro zobrazení složky vlastního vektoru budu používat termín mod cirkulační proměnlivosti nebo zkráceně cirkulační mod. Hlavní složka je časová řada příslušného modu proměnlivosti a zjednodušeně řečeno vyjadřuje intenzitu modu. Tyto časové řady jsou normovány na nulový průměr a rozptyl roven jedné. V dalším textu budu pro hlavní složku používat termín index nebo intenzita cirkulačního modu.

Názvy jednotlivých cirkulačních modů vychází z názvosloví BL, kde autoři pomocí rotované PCA analyzovali měsíční průměry geopotencialních výšek hladiny 700 hPa. Mezi mody, které jsem našla, a mody podle BL panuje značná shoda. Souhlas není dokonalý, protože jsem použila jinou metodologii (atmosférickou hladinu, prostorovou oblast, časové období, atd.). Všechny nalezené cirkulační mody v jednotlivých sezónách a procento jimi vysvětleného rozptylu jsou zobrazeny v přílohách 1-4 na konci práce. Pro další práci jsem

vybrala ty cirkulační mody, které zasahují svými akčními centry do oblasti severního Atlantiku a nad Evropu a zároveň ovlivňují teploty a srážky v Evropě: Severoatlantická oscilace (NAO), Východní Atlantický mod (EA), Euroasijský mod typu 1 (EU1), Euroasijský mod typu 2 (EU2) a v zimním období i Severoasijský mod. Všechny vybrané cirkulační mody byly už dříve popsány i jinými autory (např. Wallace a Gutzler, 1981; Horel, 1981).

Každému cirkulačnímu modu je věnována vlastní kapitola. Nejprve ze všeho je popsána prostorová podoba cirkulačního modu spolu s časovou řadou její intenzity (cirkulační index). Metoda PCA určuje znaménko v akčním centru náhodně, což znamená, že polarita center může být i opačná, než je na obrázku ukázáno. Poloha a polarita akčních center na obrázku definuje kladnou fázi příslušného cirkulačního modu.

Výsledky jsou prezentovány po sezónách, zimní a letní sezóna mají vlastní podkapitulu, jaro a podzim jsou ve společné podkapitole. V této kapitole pracuji pouze s maximálními teplotami a srážkami, a to z důvodů uvedených v kapitole 3.1.1. Nejprve jsem určila celkové korelace mezi cirkulačním modem a teplotou za období 1958-98. Na obrázcích jsou tyto hodnoty vytištěny blízko názvu stanice. Barevně jsou vytištěny hodnoty statisticky významně odlišné od nuly na 5% hladině významnosti, modrá barva znázorňuje záporné a červená kladné korelace. Pro určení časové proměnlivosti byly použity klouzavé korelace s časovým oknem 15 let. Průběhy klouzavých korelací na vybraných stanicích jsou znázorněny na obrázcích v malých grafech. Výběr zobrazených stanic byl učiněn pouze z důvodu lepšího znázornění na obrázcích, protože všechny stanice by se do nich nevešly. Silnou čarou v grafu jsou označeny ty průběhy korelací, které prodělaly významné změny (více k metodologii v kapitole 2.1). Časový průběh korelací se většinou mezi stanicemi značně liší, ale mezi některými stanicemi je nápadně podobný.

Pro určení regionů s podobným chováním klouzavých korelací jsem použila analýzu shluků PAM (popis metody v kapitole 2.3). Tato metoda byla aplikována na řady anomálií klouzavých korelací od jejich průměru. Její výsledky jsou zobrazeny na obrázcích, kde je znázorněna příslušnost stanic k jednotlivým shlukům a průměrná časová řada anomálií klouzavých korelací pro jednotlivé shluky. Shlukovou analýzou bylo nalezeno 2 až 5 shluků pro každou sezónu a cirkulační mod. První shluk je označen černými křížky, druhý červenými plnými trojúhelníčky, třetí zelenými kolečky, čtvrtý modrými hvězdičkami a popřípadě pátý fialovými prázdnými trojúhelníčky. Pro určení optimálního počtu shluků byla použita metoda minimalizace průměrné siluety. Výsledky shlukové analýzy jsou podrobně popsány v textu.

Dále jsem se věnovala možným příčinám nestacionarit v časovém průběhu korelací. Příčinu nestacionarit můžeme hledat ve změně polohy akčních center cirkulačních modů (Jung a kol., 2003) a ve změně jejich intenzity. Abychom zjistili, jak se mění poloha akčních center, počítali jsme korelační koeficienty mezi časovou řadou modů a geopotenciálními výškami hladiny 500 hPa odděleně pro tři nepřekrývající se 13 letá období (1958-1970, 1972-1984, a 1986-1998). Pro každou sezónu jsem obdobně analyzovala i vztahy mezi cirkulačními mody a srážkami.

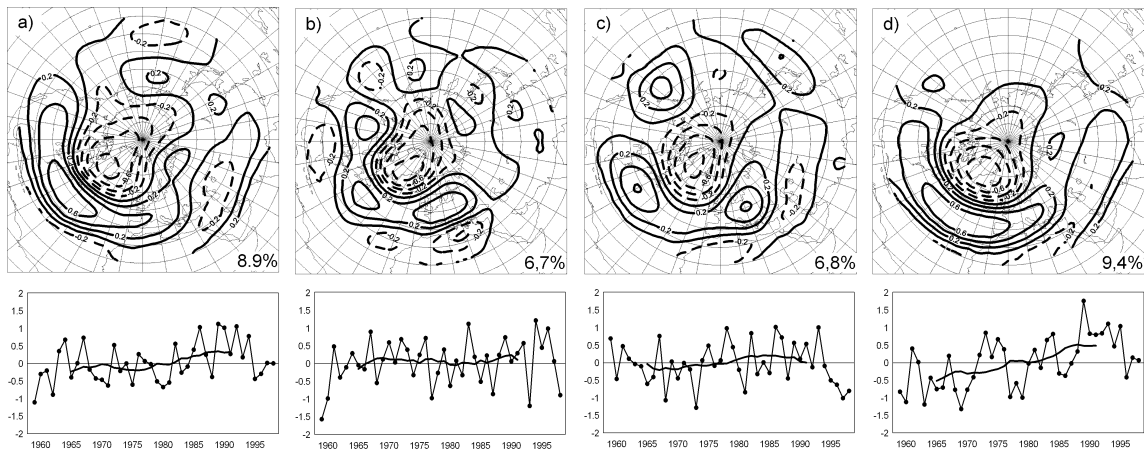
4.2. Severoatlantická oscilace

4.2.1. Popis modu

NAO v zimním období vysvětluje 9,4% celkového rozptylu a je třetím nejsilnějším modem na severní polokouli hned za Severoasijským a Pacificko/Severoamerickým modem. NAO (obr. 4.1d) obsahuje silné centrum mezi Grónskem a Islandem se silným severojižním gradientem. Centrum s opačným znaménkem je umístěno nad Atlantikem západně od Pyrenejského poloostrova. Grónské centrum je v zimě umístěno blízko 65°s.š., 30°z.d. a nulová izočára probíhá blízko 50°s.š.. Atlantické centrum leží na 35°s.š., 30°z.d. Časová řada indexu vykazuje významný růst během celého sledovaného období. Dá se říci, že se NAO do počátku 70. let nacházela spíše v záporné fázi a od poloviny 80. let spíše v kladné fázi.

V ostatních ročních obdobích má NAO trochu jiný tvar. Nejvýznamnějším rozdílem je v létě a na podzim rozpad jižního akčního centra na tři resp. dvě oddělená centra (obr. 4.1b, c), podobný tvar našel i BL v měsíční analýze. V létě a na podzim se nad subtropickým severním Atlantikem objevuje centrum záporných anomálií a kladné akční centrum je posunuto více na sever. Na jaře vysvětluje NAO 8,9% celkového rozptylu a je 2. nejsilnějším modem proměnlivosti. V létě vysvětluje 6,7% , což je 3. největší vysvětlený rozptyl stejně jako na podzim, kdy vysvětluje 6,8% celkového rozptylu.

Cirkulační indexy v ostatních ročních obdobích nevykazují významné trendy jako v zimě. Mírný růst NAO indexu je patrný na jaře a na podzim.



Obr. 4.1 Severoatlantická oscilace (NAO) v hladině 500 hPa v sezónách: a) jaro, b) léto, c) podzim a d) zima. Izočáry zobrazují korelace mezi indexem NAO a polem geopotenciálních výšek hladiny 500 hPa a jsou vykresleny v intervalu 0,2. Kladné (záporné) korelace jsou znázorněny plně (čárkovaně). V druhém řádku jsou příslušné časové řady indexu NAO.

Fig. 4.1. The North Atlantic oscillation (NAO) at the 500 hPa level in a) spring, b) summer, c) autumn and d) winter, in terms of correlations of its index with the 500 hPa heights. The contour interval is 0.2. Positive (negative) values are indicated by solid (dashed) lines. In the second row are relevant time series of NAO index.

4.2.2. Proměnlivost vlivu NAO na klimatické prvky v zimě

Celkové korelace mezi NAO indexem a maximální teplotou se pohybují v rozmezí od $-0,27$ v Heraklionu (Gre) po $0,74$ v Kodani (Den). Korelace jsou na většině stanic kladné, výjimku tvoří stanice v Řecku a na západním pobřeží Islandu, korelace v Heraklionu jsou dokonce statisticky významné. Nejvyšší hodnoty korelací jsou v jižní Skandinávii, v Dánsku, Pobaltí a na Britských ostrovech. Zimní celkové korelace jsou statisticky významné na 5 % hladině významnosti na všech zkoumaných stanicích kromě několika stanic na Pyrenejském poloostrově, v jižní a jihozápadní Evropě a na Islandu (obr. 4.2a).

Porovnáním těchto výsledků s celkovými korelacemi za období 1901-1999 v kapitole 3.1.1., zjistíme, že se celkový obraz rozložení korelací nezměnil. Celkové korelace za kratší období jsou zejména ve východní Evropě a Skandinávii větší. Korelace se naopak zmenšily v jihozápadní Evropě (San-Sebastian, Perpignan, Marseille).

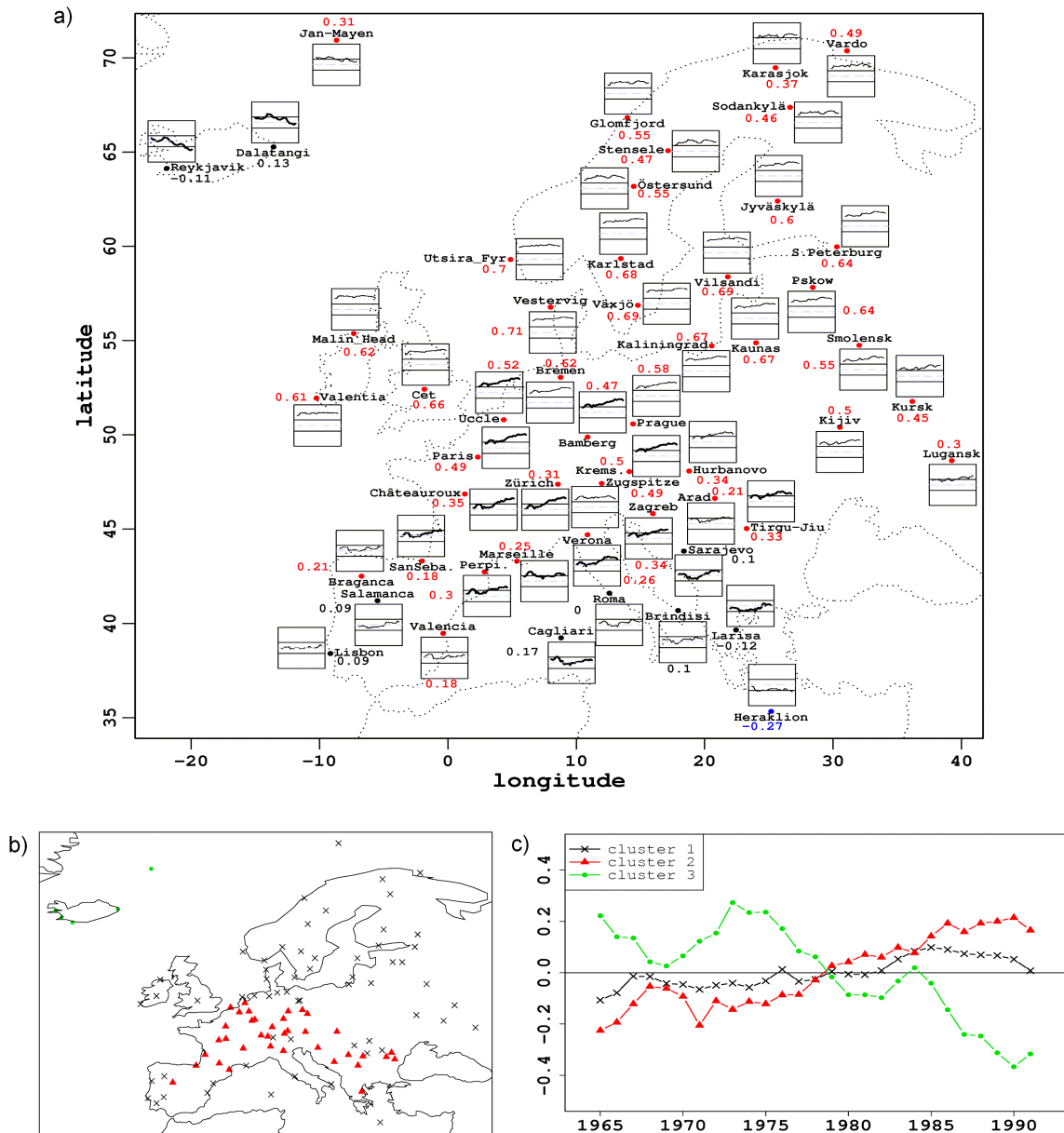
Klouzavé korelace NAO indexu s teplotou jsou zobrazeny na obr. 4.2a v malých grafech, statisticky významné změny korelací, což je významný rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou korelací během období, jsou vyneseny silnou čarou. Významné změny korelací jsou zejména ve střední a v západní Evropě, kde je hlavním znakem slabá změna

před rokem 1970, po které následuje růst klouzavých korelací. Významné změny korelací mají i stanice na Islandu, kde ale korelace téměř po celé sledované období klesaly.

Tyto znaky byly potvrzeny a zobecněny pomocí shlukové analýzy, jejichž výsledky jsou na obr. 4.2b, c. Pomocí analýzy shluků byly identifikovány 3 typy průběhů korelací. První shluk dává dohromady stanice s malými změnami korelací, tyto stanice se nalézají na severu a východě Evropy, na Britských ostrovech a na jihu Evropy. Klouzavé korelace na stanicích střední a západní Evropy a na několika stanicích Balkánského poloostrova spadají do shluku 2, na těchto stanicích korelace od počátku 70. let do konce století významně rostly. Do shluku 3 patří stanice na Islandu a Jan-Mayenu, jejichž klouzavé korelace od poloviny 70. let dramaticky klesaly. Za pozornost stojí horské stanice Zugspitze (Ger) a Säntis (Swi), které se nacházejí sice ve střední Evropě, ale dle průběhu korelací patří do shluku 1.

Hlavním znakem 31 letých klouzavých korelací s NAO indexem v kapitole 3.1.1 byl růst po roce 1950. Při podrobnějším náhledu na klouzavé korelace s použitím 15 letého okna s NAO indexem definovaným z hladiny 500 hPa pomocí PCA, zjistíme, že tento růst korelací nastává až na začátku 70. let. Na obr. 3.1 jsou na stanicích na východě a severovýchodě Evropy vidět významné změny korelací a růst po roce 1950, ale při pohledu s 15 letým oknem jsou korelace v období 1958-1998 bez významných změn. Rozdíl bude způsoben, vedle nestejné šířky okna, zejména jinak definovaným NAO indexem. Korelace mezi NAO indexem používaným v kapitole 3 a indexem vzešlým z PCA je 0,81. Klouzavé korelace v Lisabonu jsou v obou případech bez dlouhodobých změn.

Na obr. 4.3 jsou zobrazeny korelace mezi NAO indexem a geopotenciální výškou hladiny 500 hPa pro tři různá časová období a jednotlivé sezóny. Akční centra NAO v zimě (poslední řádek) jsou umístěna více na východ během období s vysokým NAO indexem (1986-1998), v porovnání s obdobím s nízkým NAO indexem (1958-1970) (srovnej s Jung a kol. 2003 a Peterson a kol. 2003). Vysoký NAO index spolu s východním posunem akčních center implikuje silnější západní proudění, a tím i silnější vliv NAO na přízemní klimatické prvky (zejména teploty) v téměř celé Evropě. To je ve shodě se zesilováním klouzavých korelací s teplotou všude kromě Skandinávie a Britských ostrovů (ve shlucích 2 a částečně i 1). Pokles klouzavých korelací na Islandu souvisí nejspíše se změnami intenzity a polohy islandské cyklóny.



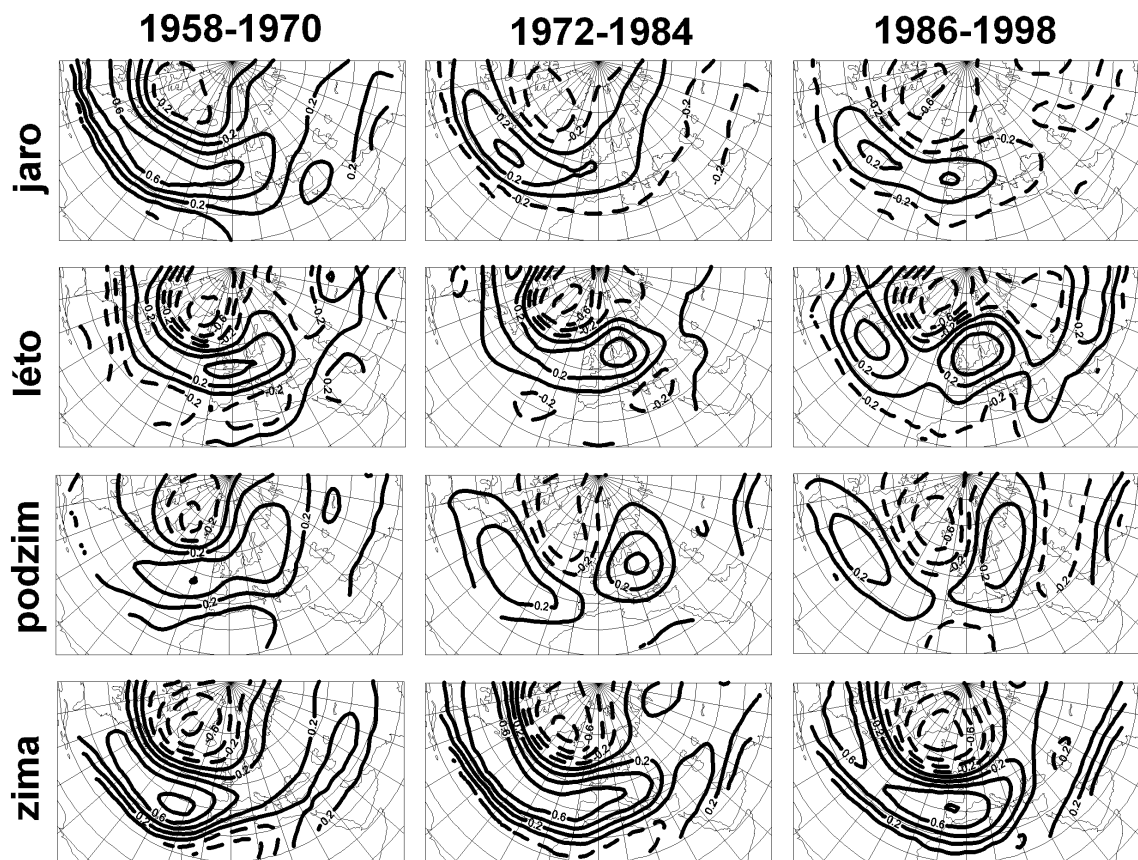
Obr. 4.2 Časová proměnlivost vlivu NAO na teploty v zimě. a) Klouzavý korelační koeficient (s 15 letým oknem) s maximální teplotou na vybraných evropských stanicích. Horizontální osa v malých grafech je v rozmezí od 1965 (čemuž odpovídá období 1958-1972) po 1991 (~1984-1998), vertikální osa je od -1 do $+1$, nepřerušované horizontální čáry vyznačují 5% hladinu významnosti a přerušovaná čára značí nulu. Korelace za celé sledované období 1958-1998 jsou vtištěny blízko názvu stanice; červeně (modře) jsou vyjádřeny statisticky významně kladné (záporné) hodnoty, nevýznamné hodnoty jsou černě. b) Rozdělení stanic do shluků podle časové proměnlivosti korelací. c) Průměrná časová řada korelačních anomálií pro jednotlivé shluky. Na b) a c) je každý shluk označen barvou a symbolem.

Fig. 4.2. Time variations of the effect of NAO on temperature in winter. a) Running correlation coefficients (with 15-year window) with maximum temperature at selected European stations. The horizontal axis in small graphs ranges from 1965 (corresponding to period 1958-1972) to 1991 (~1984-1998), the vertical axis is from -1 to +1, with the solid horizontal lines corresponding to the 5% significance level and the dashed horizontal line indicating zero. The correlations over the whole period 1958-1998 are printed near the station names; red (blue) digits and station symbols mean positive (negative) statistically significant correlations; insignificant correlations are in black. b) Classification of stations according to the time variations of correlations with maximum temperature. c) Average time series of correlation anomalies for individual clusters. In b) and c), each cluster is denoted by a different symbol and colour.

Celkové korelace NAO indexu se srážkami (obr. 4.4) se pohybují v rozmezí od -0,57 na stanicích Lisabon (Por) a Badajoz (Spa) po 0,65 v Eskdalemuir (GB). NAO je kladně korelováno se srážkami na severu a záporně na jihu Evropy. Korelace nejsou statisticky významné ve východní a ve střední Evropě a na několika stanicích na jihu Evropy. Severojižní gradient korelací mezi maximálními hodnotami na Britských ostrovech a v jižní Skandinávii a nejvíce zápornými hodnotami na Pyrenejském poloostrově a na Balkáně je v souladu s dřívějšími výsledky (Hurrell a van Loon, 1997; Rodó a kol., 1997; Wibig, 1999).

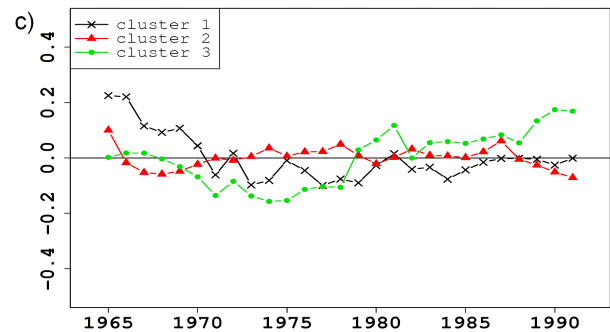
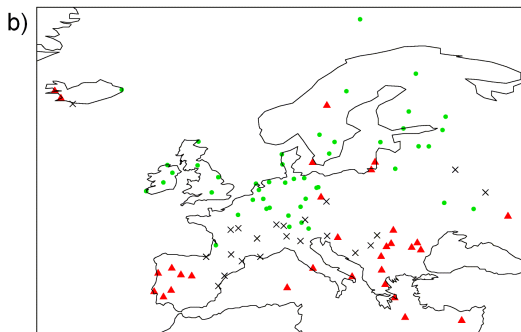
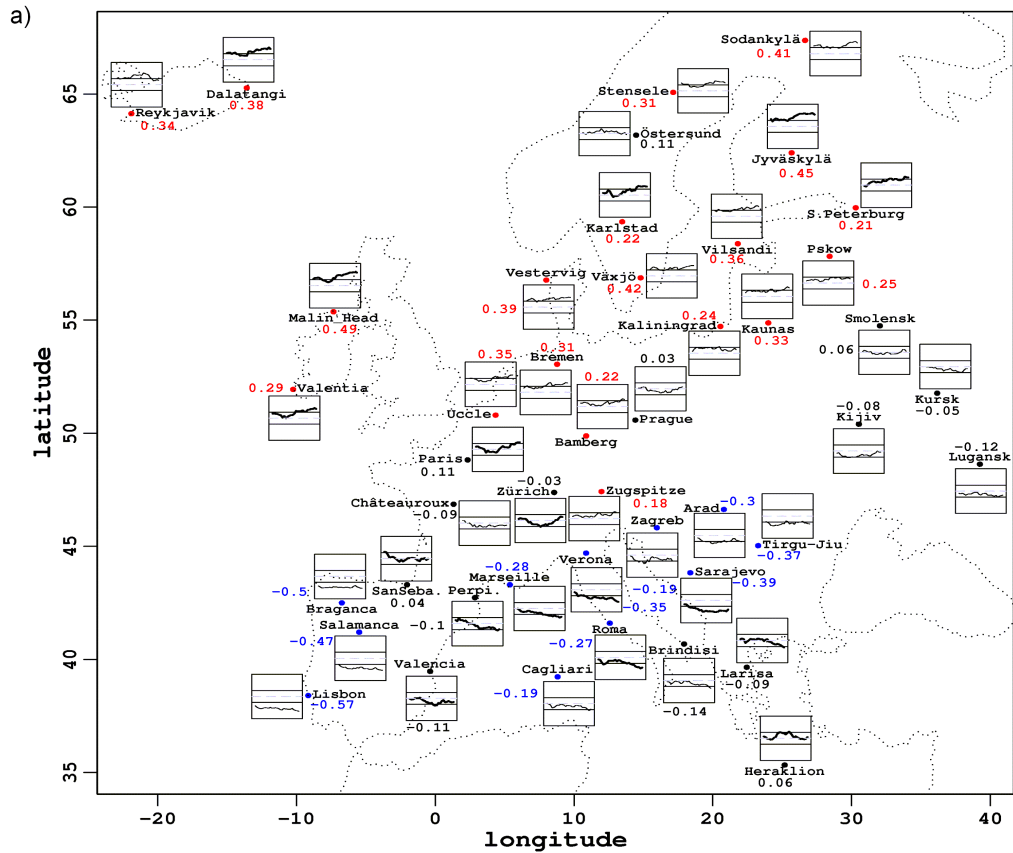
Celkový charakter rozložení korelací se oproti analýze pro NAO index za dlouhé období 1901-99 nezměnil. Celkové korelace na severu Evropy jsou o něco vyšší. Na Pyrenejském poloostrově záporné korelace také zesílily, naopak na Balkáně a ve východní Evropě došlo k zeslabení záporných korelací. Ve východní Evropě nejsou korelace za období 1958-98 statisticky významné.

Statisticky významné změny korelací se nacházejí zejména ve střední a jižní Evropě a na Britských ostrovech. Časová proměnlivost klouzavých korelací se značně liší mezi stanicemi. Jako nejlepší počet shluků se ukázaly 3, z důvodu značné proměnlivosti nejsou zdaleka tak prostorově koherentní jako v případě teplot (obr. 4.4b). První shluk je charakterizován poklesem korelací před rokem 1970 a pak korelace zůstaly téměř konstantní. Patří sem stanice severního Španělska, Francie, severní Itálie, severovýchodního Balkánu a dvě stanice ve východní Evropě. Druhý shluk je charakterizován malou změnou korelací, přičemž největší část stanic je v jižní Evropě, zejména na Pyrenejském poloostrově a na Balkáně. Stanice na Britských ostrovech, v západní a střední Evropě, v okolí Baltského moře a ve Skandinávii patří do třetího shluku, v němž klouzavé korelace před rokem 1975 klesaly a poté rostly.



Obr. 4.3 Korelace mezi NAO indexem a geopotenciálními výškami hladiny 500hPa pro všechny sezóny a tři různá 13 letá období, zleva doprava: 1958-1970, 1972-1984 a 1986-1998; interval mezi izočarami je 0,2. Záporné izočáry jsou čárkovaně.

Fig. 4.3. Correlations between NAO index and 500hPa heights for every season and for three different 13-yr periods, from left to right: 1958-1970, 1972-1984 a 1986-1998; contour interval is 0.2. Negative contours are dashed.



Obr. 4.4 Jako obr. 4.2, ale pro NAO a srážky v zimě.

Fig. 4.4. As Fig. 4.2, except for NAO and precipitation in winter.

Shluková analýza nedokázala zcela zachytit rozmanitost průběhů korelací. Tak například klouzavé korelace na Heraklionu (Gre) nejprve rostly a od počátku 80. let klesaly, přitom tato stanice byla zařazena do shluku 2, kde jsou stanice téměř beze změn, podobně se chovají i korelace na Reykjavíku (Ice), který byl taktéž zařazen do shluku 2. Dalším příkladem sporného zařazení mohou být stanice na jihu Evropy Larisa (Gre) a Řím (It), jejichž korelace významně klesají a byly zařazeny do shluku 2, zatímco stanice Perpignan a Marseille (Fra), jejichž korelace klesají obdobným způsobem, patří do shluku 1. Na zařazení stanic Larisa a Řím do shluku 2 (korelace s nejmenšími změnami) má nejspíše vliv chování klouzavých korelací na počátku sledovaného období, kdy korelace krátce klesaly a pak rostly (vznikl jakýsi zub).

Ukázalo se, že je velice složité porovnat tyto výsledky s předchozími studii, které se zabývají časovou proměnlivostí vlivů NAO na přízemní teploty a srážky, protože zde používáme odlišnou metodologii. Rodó a kol. (1997) a Trigo a kol. (2004) nepoužívají klouzavé korelace, ale porovnávají korelace mezi několika relativně dlouhými obdobími (několik desetiletí); Huth (1997) používá příliš krátké časové okno (5 let) a období jenom částečně překrývá období použité v této práci a ještě ke všemu používá výrazně menší prostorovou doménu pro určení cirkulačních modů. Chen a Hellström (1999) zobrazují pouze hodnoty ročních, nikoli sezónních, klouzavých korelací s 31 letým oknem. Jones a kol. (2003) korelují pouze sezónní průměry, které mohou vést k výrazně odlišné časové proměnlivosti korelací, než kdyby byly korelovány měsíční hodnoty (Jacobeit, 2001). Výsledky z této podkapitoly můžeme rámcově porovnat s výsledky z kapitoly 3.1.2. (obr. 3.3.): i přes použití jiného časového okna lze vysledovat růst korelací na severu a pokles na jihu Evropy ke konci sledovaného období.

Růst klouzavých korelací se srážkami na stanicích v severní Evropě (shluk 3) po roce 1980 může být vysvětlen zvýšenou cyklonalitou v této oblasti, která je způsobena posunem centra Islandské níže východním směrem v této době. Pokles korelací na stanicích na jihu Evropy (shluk 1 a částečně 2) může být podobně vysvětlen zvýšenou anticyklonalitou díky východnímu posunu jižního (anticyklonálního) centra NAO, které činí korelace více zápornými. Tyto výsledky potvrzují, že nestacionarita vztahů mezi NAO indexem a klimatickými proměnnými může být skutečně částečně vysvětlena posunem akčních center NAO východním směrem a růstem NAO indexu.

4.2.3. Proměnlivost vlivu NAO na klimatickými prvky v létě

Celkové korelace mezi teplotou a NAO indexem v létě se pohybují v rozmezí od $-0,37$ na stanici Reykjavik do $0,4$ v Kodani (obr. 4.5.a). V porovnání se zimním obdobím jsou významně kladné celkové korelace rozprostřeny na menším území: na Britských ostrovech, v západní a střední Evropě a v jižní Skandinávii, významně záporné hodnoty jsou na západním pobřeží Islandu a na Larise a Heraklionu (Gre).

Jak můžeme vidět na obr. 4.5a, stanice můžeme rozdělit mezi ty, kde korelace po celé období rostly, a ty, kde byly korelace téměř konstantní. Tento stav potvrdila i shluková analýza (není ukázáno). Stanice s růstem po celé sledované období se nalézají v jižní Skandinávii, západní Evropě, na Pyrenejském poloostrově, Britských ostrovech a na stanicích v nejsevernějších oblastech Evropy. Tyto stanice prodělaly statisticky významné změny korelací.

V létě leží v místě kladných korelací (Britské ostrovy, Dánsko, jižní Skandinávie) kladná anomálie NAO (anticyklona), která se v období 1986-98 prohlubuje a rozšiřuje až na Pyrenejský poloostrov (obr. 4.3, druhý řádek), díky čemuž rostou v této oblasti korelace s teplotami.

Celkové korelace se srážkami se pohybují od $-0,45$ v Brémách (Ger) po $0,48$ na Vestmannaeyjaru (Ice). Významně záporné celkové korelace jsou v severní, západní a střední Evropě a na Britských ostrovech, kladné významné hodnoty na západní straně Islandu, v Římě (It) a v Tortose (Spa) (obr. 4.5b). Oproti zimní sezóně se oblast záporných korelací posunula k severu, což je v souladu se skutečností, že kladné akční centrum NAO se v létě posouvá na sever (obr. 4.1b,d). V porovnání s celkovými korelacemi za dlouhé období (obr. 3.6) se oblast se zápornými významnými hodnotami rozšířila do střední a severní Evropy, kde klouzavé korelace během období 1901-1999 klesaly a na mnohých stanicích dosahovaly ke konci století statistické významnosti.

Významné změny korelací se srážkami jsou rozprostřeny rovnoměrně po celé Evropě, na severu korelace spíše klesají (zesiluje se záporná korelace), na jihu naopak rostou (zesiluje se kladná korelace). V porovnání se zimní sezónou to je opačný stav, v zimě na severu korelace rostly, zatímco na jihu klesaly. Tento stav je opět způsoben posunem akčních center k severu v letním období. Pomocí analýzy shluků byly nalezeny 3 typy průběhů korelací (neukázáno). Ve shluku 1 jsou zařazeny stanice, kde jsou korelace téměř beze změn. Nejvíce takovýchto stanic je na Pyrenejském poloostrově a severním Balkánu. Ve shluku 2 jsou stanice na Britských ostrovech, v západní Evropě, v okolí Baltského moře a několik stanic ve východní Evropě. Korelace na těchto stanicích po celé sledované

období klesaly. Ve shluku 3 jsou naopak stanice, kde korelace téměř po celé období rostly, patří sem stanice na západě Islandu, v jižní Francii, některé stanice ve střední Evropě a na jihu Balkánu.

Na průběh korelací NAO se srážkami působí dva jevy: prohlubování a rozšiřování kladné anomálie v oblasti Baltského moře a postupný zánik záporné anomálie na jihu Evropy (obr. 4.3, druhý řádek). Tím, jak se anticyklona nad Baltským mořem prohlubuje, tak se korelace se srážkami stávají zápornějšími.

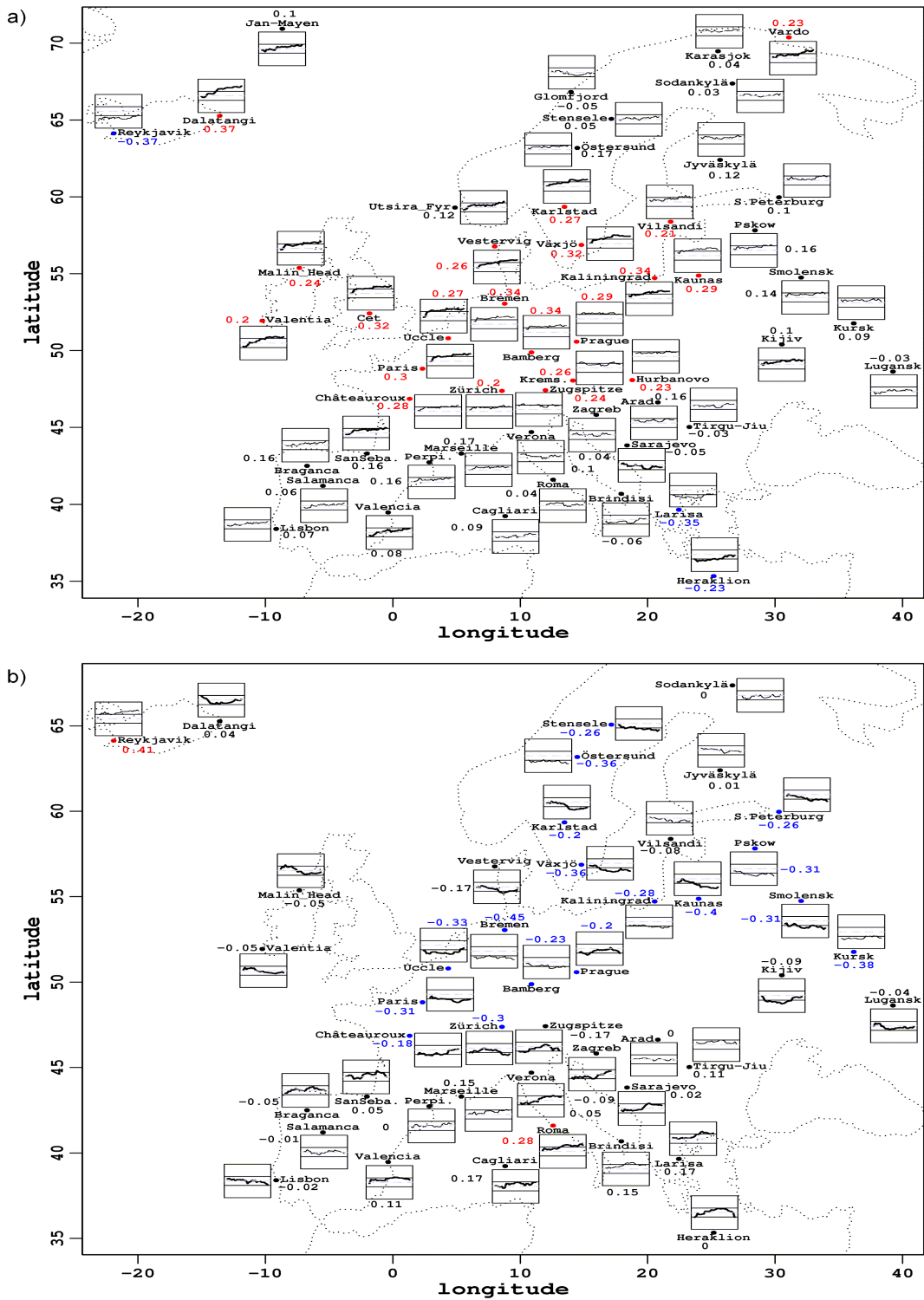
4.2.4. Proměnlivost vlivu NAO na klimatickými prvky na jaře a na podzim

Korelace s teplotou nejsou ukázány, dále se omezují jen na slovní popis. Celkové korelace s teplotou se na jaře pohybují od $-0,11$ na Heraklionu (Gre) po $0,28$ na Bjørnøya (Nor). Významně kladné celkové korelace jsou na severu Skandinávie, na západě Pyrenejského poloostrova a na stanicích Dalatangi (Ice) a Malin Head (Ire). Na podzim je rozsah celkových korelací od $-0,17$ opět na Heraklionu do $0,27$ na norských stanicích Bjørnøya a Glomfjord. Významně kladné celkové korelace jsou ve Skandinávii a v alpských stanicích Säntis (Swi) a Zugspitze (Ger).

Průběh korelací se na jaře ani na podzim mezi stanicemi výrazně nemění. Na jaře korelace prudce klesají téměř po celé sledované období a změny korelací jsou významné na všech stanicích. Klouzavé korelace se průměrně změny z hodnoty $0,42$ na začátku sledovaného období (1958-1972) na $-0,19$ na konci sledovaného období (1984-1998).

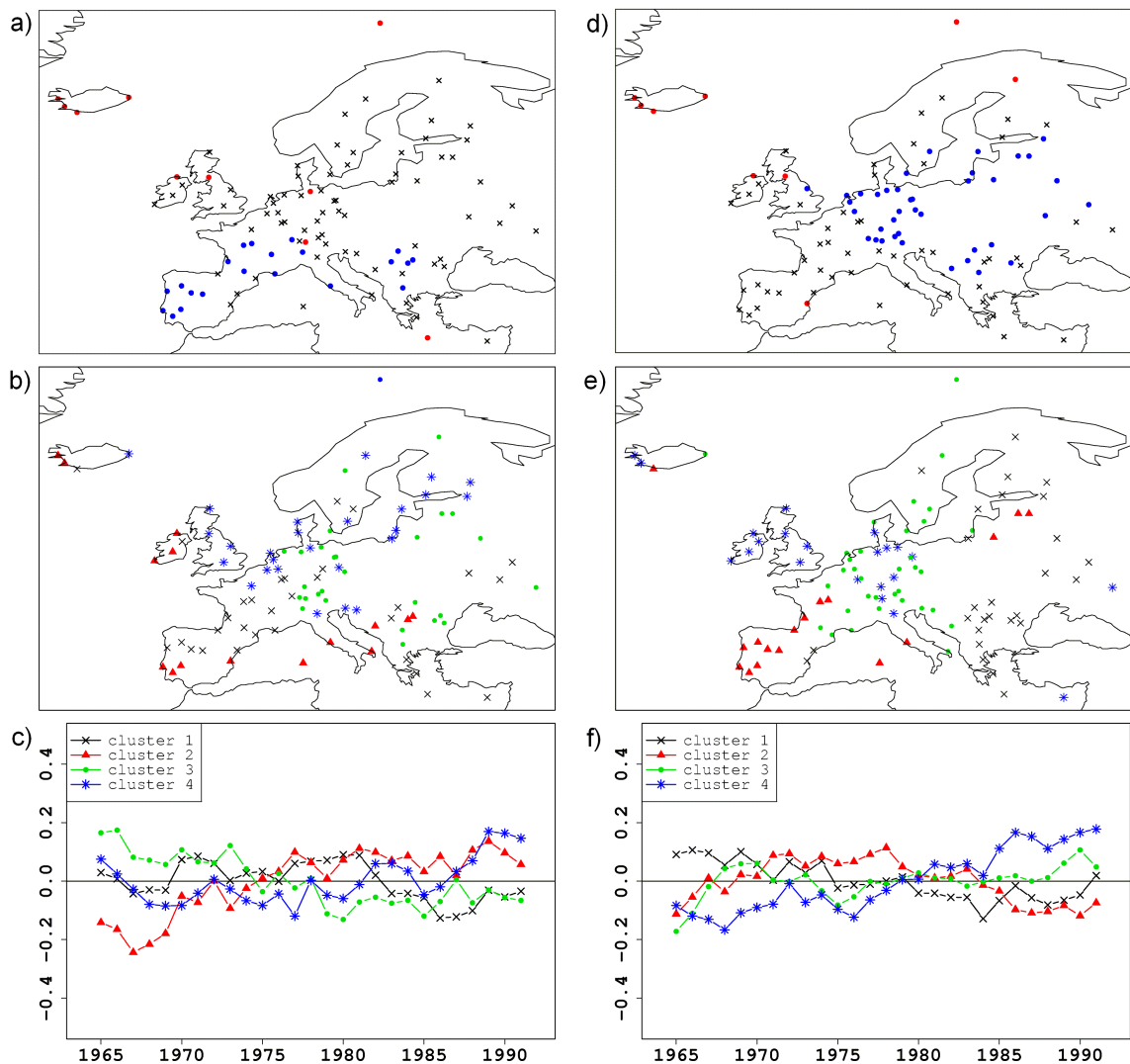
Na podzim korelace klesají do poloviny 70. let a pak už se mění je málo. Na většině stanic jsou hodnoty od poloviny 70. let blízké nule, na jihu jsou záporné na hranici statistické významnosti (např. Heraklion, Gre). Maximální hodnota klouzavých korelací spadá do roku 1967, což odpovídá období 1960-1974. Významné změny korelací byly zjištěny na všech stanicích kromě stanic ve střední a západní Evropě a několika stanic u Středozemního moře.

Celkové korelace mezi srážkami a NAO indexem na jaře se pohybují od $-0,46$ v Braganca (Por) po $0,32$ na islandských stanicích Reykjavik a Vestmannaeyjar a v Eskdalemuiru (GB). Významně záporné korelace jsou na Pyrenejském poloostrově, ve Francii a na Balkáně. Významně kladné hodnoty jsou na Islandu, na několika stanicích Britských ostrovů a na stanicích Hamburk (Ger), Säntis (Swi) a Heraklion (Gre) (obr. 4.6 a). Rozložení celkových korelací se oproti celkovým korelacím z let 1901-1999 značně liší. Hlavní příčinou bude zřejmě jiná definice NAO indexu. Korelace mezi NAOI používaným v kapitole 3 a NAO indexem určeným z PCA je totiž na jaře pouze $0,58$.



Obr. 4.5 Jako obr. 4.2a, ale pro NAO a a) teploty, b) srážky v létě.

Fig. 4.5. As Fig. 4.2a, except for NAO and a) temperature, b) precipitation in summer.



Obr. 4.6 Časová proměnlivost vlivu NAO na srážky na jaře a) - c) a na podzim d) - f). a) Rozložení celkových korelací mezi NAO indexem a srážkami na jaře. Červeně (modře) jsou vyjádřeny statisticky významné hodnoty kladné (záporné), nevýznamné hodnoty jsou černými křížky. b) Rozdělení stanic do shluků podle časové proměnlivosti klouzavých korelací. c) Průměrné časové řady korelačních anomálií pro jednotlivé shluky. d) - f) stejně jako a) - c), ale pro podzim.

Fig. 4.6. Time variations of the effect of NAO on precipitation in spring a) - c) and in autumn d) - f). a) Overall correlations between NAO index and precipitation in spring. Red (blue) symbols mean positive (negative) statistically significant correlations; insignificant correlations are in black crosses. b) Classification of stations according to the time variations of correlations with maximum temperature. c) Average time series of running correlation anomalies for individual clusters. d) - f) as a) - c) except for autumn.

Významné změny korelací byly nalezeny na několika stanicích v jižní a střední Evropě a ve Skandinávii. Průběh korelací se srážkami na jaře se mezi stanicemi liší. Pomocí shlukové analýzy byly nalezeny 4 shluky, které nejsou dobře prostorově ohraničeny (obr. 4.6 b, c). Ve shluku 1 jsou zařazeny stanice s nejmenšími změnami korelací, největší část takovýchto stanic leží na Pyrenejském poloostrově a ve Francii. Ve shluku 2 jsou stanice, jejichž korelace rostly do poloviny 70. let a pak zůstaly téměř beze změn, jsou to dvě stanice na Islandu, několik v Irsku, na jihu Pyrenejského poloostrova, v Itálii a na Balkáně. Ve shluku 3 jsou stanice, jejichž korelace téměř po celou dobu klesaly, patří sem některé stanice ve střední Evropě, na Balkáně a několik stanic v Pobaltí. V posledním shluku jsou stanice, jejichž korelace před rokem 1970 klesaly a po roce 1985 rostly. Patří sem zejména stanice v Británii, v okolí Baltského a Severního moře.

Odlišná situace je na podzim, kdy se celkové korelace se srážkami pohybují od $-0,39$ v Aradu (Rom) po $0,44$ opět na Islandu (Reykjavik, Stykkisholmur). Oproti hodnotám na jaře se významně záporné korelace rozkládají na severním Balkánu, ve střední a východní Evropě a v Pobaltí. Významně kladné hodnoty najdeme opět na Islandu, Britských ostrovech a na severu Skandinávie a kupodivu i ve Valencii (Spa) (obr. 4.6 d).

Významné změny korelací byly nalezeny jen na několika stanicích, např. Reykjavik (Ice), Bamberg (Ger) a Lugansk (Ukr), kde korelace po celé období rostly, nebo Salamanca (Spa) a Braganca (Spa), kde korelace do poloviny 70. rostly a pak klesaly. Pomocí shlukové analýzy jsem našla 4 shluky, které jsou o něco lépe geograficky ohraničeny než na jaře (obr. 4.6e, f). První shluk zahrnuje stanice na Balkáně, ve východní Evropě a ve Finsku, jejich korelace mírně klesaly, zejména v první polovině sledovaného období. Ve druhém shluku jsou stanice, jejichž korelace do poloviny 70. let rostly a pak klesaly. Tyto stanice leží zejména na Pyrenejském poloostrově a v Pobaltí. Ve třetím shluku jsou stanice, jejichž korelace se po rychlém růstu před rokem 1970 po zbytek období spíše neměnily, a patří sem část střední a západní Evropy a jižní Skandinávie. V posledním shluku jsou stanice střední Evropy a Britských ostrovů, jejichž korelace po celé sledované období rostly.

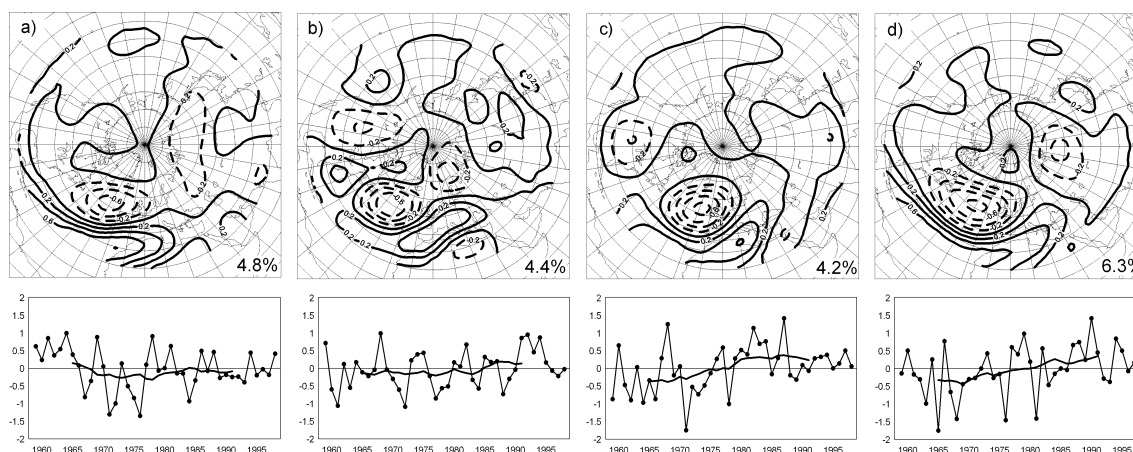
4.3. Východoatlantický mod

4.3.1. Popis modu

Jak vypadá EA mod ve všech obdobích, je ukázáno na obr. 4.7. Tento mod je v zimním období definován silným centrem nad severním Atlantikem (50° s.š., 30° z.d.) se silným severozápadně-jihovýchodně orientovaným gradientem nad západní Evropou a

pásem s opačným znaménkem nad subtropickým Atlantikem, severní Afrikou a středním Středozemím. Index EA modu v zimě slabě roste, což způsobuje slabé zesílení západního proudění západně od Pyrenejského poloostrova. EA je v zimě 4. nejsilnějším modem a vysvětluje 6,3 % celkového rozptylu.

Na jaře má EA mod podobný tvar jako v zimě, je 8. nejsilnějším modem a vysvětluje 4,8% rozptylu. V létě je EA mod 5. nejsilnějším a vysvětluje 4,4% rozptylu. Severní i jižní centrum jsou rozpadlé na více částí, celá jeho struktura je více chaotická. Cirkulační indexy na jaře a v létě nemají žádný výrazný trend. Na podzim je EA až 12. modem s 4,2% vysvětleného rozptylu. Index EA modu na podzim má rostoucí tendenci, dá se říci, že před rokem 1975 převládá záporná fáze EA modu a po roce 1980 kladná. V práci BL našli EA mod pouze v měsících chladné poloviny roku.



Obr. 4.7 Jako obr. 4.1, ale pro Východoatlantický mod (EA).

Fig. 4.7. As Fig. 4.1, except for the East Atlantic pattern (EA).

4.3.2. Proměnlivost vlivu EA modu na klimatické prvky v zimě

Celkové korelace mezi časovou řadou EA modu a teplotou jsou kladné v téměř celé Evropě, významné jsou v její jihozápadní polovině, která zahrnuje západní, střední a jižní Evropu a Balkán (obr. 4.8a). Nejnížší korelace jsou na severu Evropy, na stanicích Dalatangi (Ice), Östersund (Swe) a Stensele (Swe) mají korelace hodnotu $-0,03$. Naopak nejvyšší korelace jsou v San-Sebastianu (Spa) s hodnotou $0,7$. Vysoké korelace teploty s EA modem v jihozápadní Evropě potvrdili Sáenz a kol. (2001).

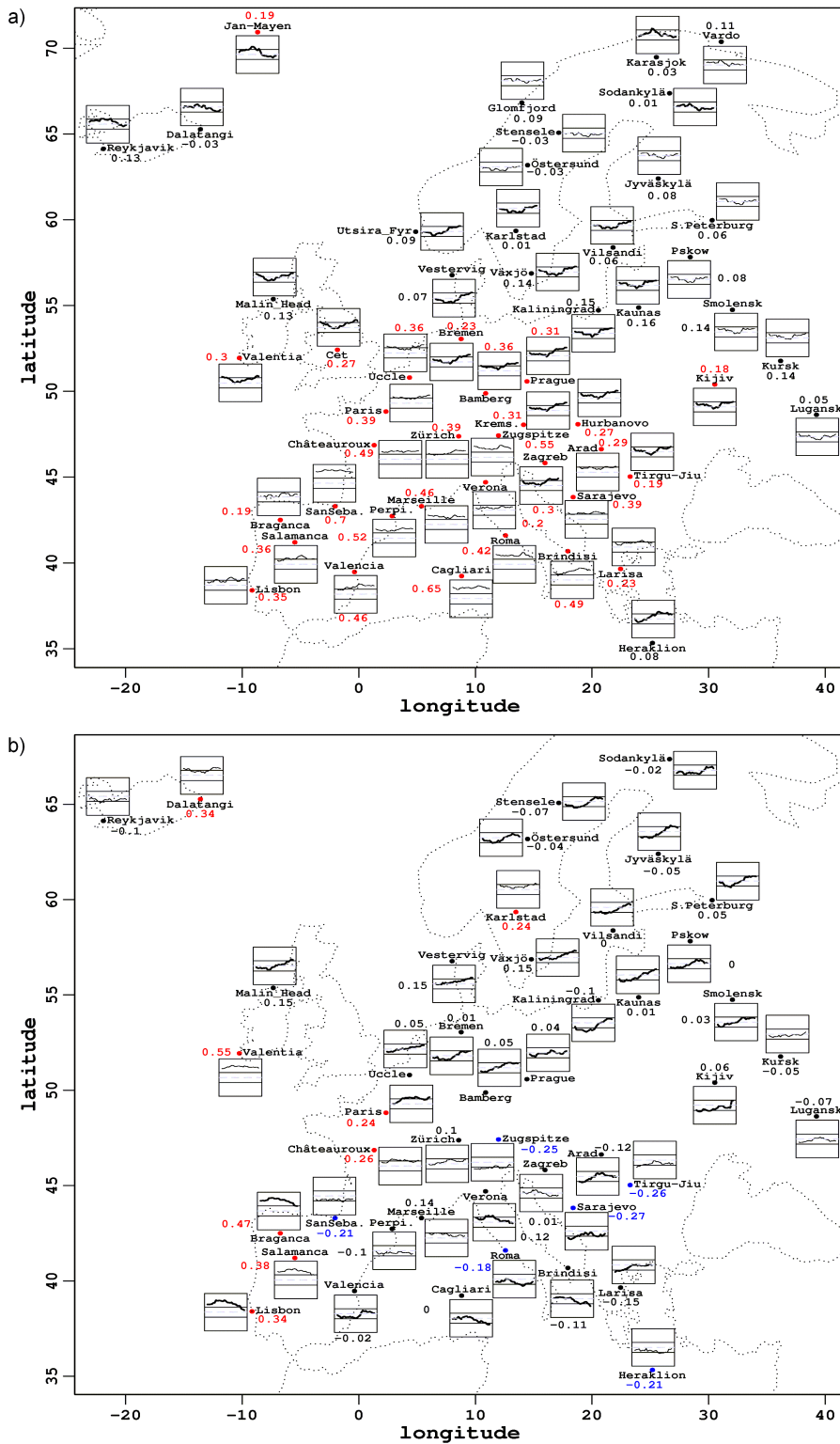
Významné změny korelací byly nalezeny na Islandu, Britských ostrovech, ve střední Evropě a v okolí Baltského moře. Nejčastějším znakem časové proměnlivosti vlivu EA modu na teploty přibližně mezi 50° a 60° s.š. je pokles do konce 70. let (obr. 4.8), který je

více vyjádřen na východě Evropy, a pak následující růst. Stanice s takovýmto průběhem korelací patří do shluku 1 a 2 (Beranová a Huth, 2007b). Shluk 1 a 2 se liší v intenzitě poklesu před rokem 1980 a následným růstem. Shluk 1 má mírnější pokles, a výraznější růst než shluk 2. Shluk 1 sdružuje stanice v jižní Skandinávii, v Dánsku, Německu v Pobaltí a střední Evropě, ve 2. shluku jsou stanice ve střední Skandinávii, v okolí Baltu a ve východní Evropě. Celkově našla shluková analýza 5 shluků.

Ve shluku 3 jsou stanice, jejichž korelace zůstaly téměř beze změn. Patří sem stanice na severu Pyrenejského poloostrova, ve Francii, v Itálii a na Balkáně. Ve čtvrtém shluku jsou stanice, jejichž korelace se před rokem 1980 téměř neměnily a pak začaly růst, spadá sem západní pobřeží Pyrenejského poloostrova, střední Evropa a část Balkánu. V posledním shluku jsou stanice na Islandu a v nejsevernějších částech Evropy, jejichž korelace do počátku 80. let rostou, a pak klesají.

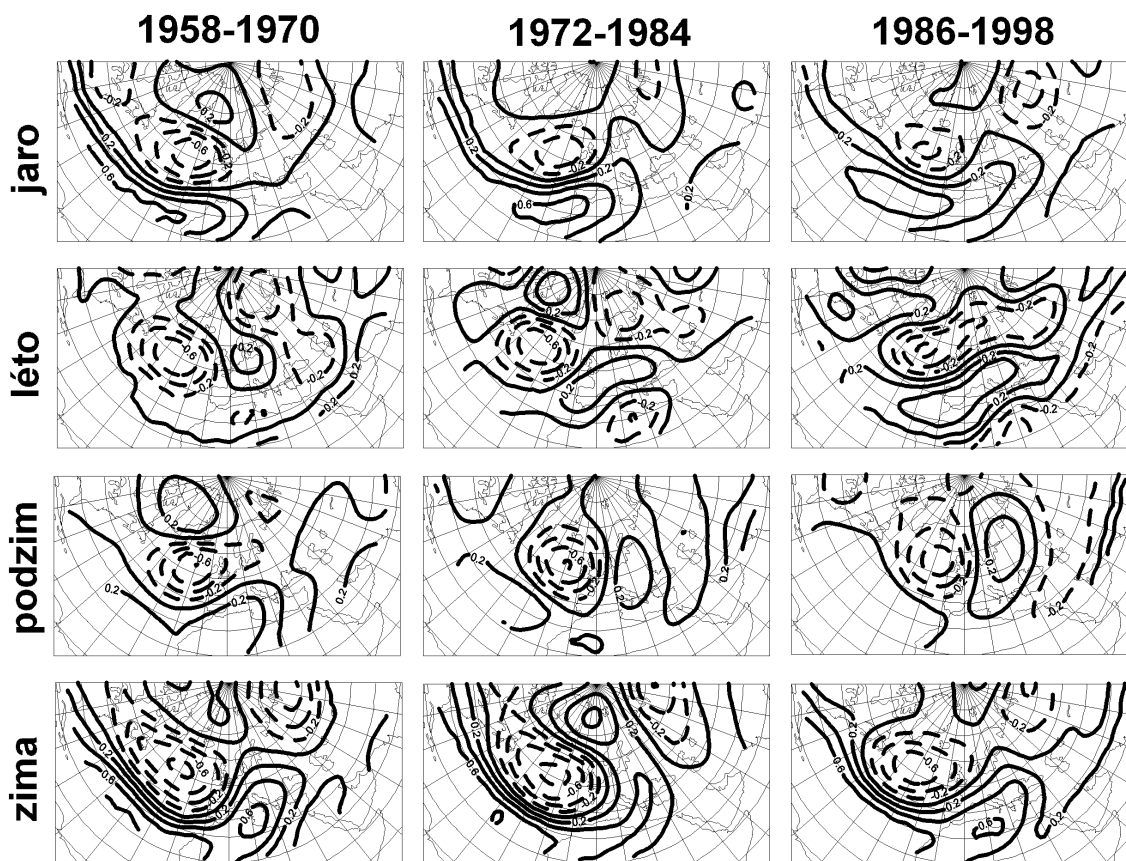
Největší změny v EA modu v zimě jsou vidět během období 1972-84, kdy se objevilo centrum kladných anomálií východně od Grónska (obr. 4.9 dolní řada). Toto období lze přiřadit ke klouzavé korelaci vztažené k roku 1978, což odpovídá minimálním hodnotám korelací ve shluku 3, 4 a částečně 2. Po tomto roce korelace začaly růst. Naopak ve shluku 5 se po roce 1978 objevuje pokles korelací. V posledním období 1986-1998 (střed období v roce 1992) centrum kladných anomálií na severu zaniká a oblast Skandinávie je pod vlivem záporného akčního centra a jihozápadního proudění od moře, které přináší vyšší teploty do této oblasti.

Celkové korelace se srážkami se mění od $-0,31$ v Prilepu (Mak) po $0,55$ ve Valentii (Ire) (obr. 4.8b). Statisticky významně kladné celkové korelace se objevují na západě Pyrenejského poloostrova, ve Francii a na Britských ostrovech, v Karlstadu (Swe) a Dalatangi (Ice). Významně záporné korelace leží v jihovýchodní Evropě a v San-Sebastianu (Spa). Za zmínku stojí značný kontrast mezi stanicemi na Pyrenejském poloostrově: srážky na stanicích západního pobřeží korelují s EA modem silně kladně, zatímco na severovýchodě korelují záporně. Podobný vliv EA modu na roční srážky popsali Rodriguez-Puebla a kol. (1998). Hlavní znaky rozložení celkových korelací jsou ve shodě s prosincovými korelacemi od Wibig (1999); větší rozdíl oproti mým výsledkům může být nalezen nad Pyrenejským poloostrovem, tento rozdíl je pravděpodobně způsoben posunutím akčního centra EA modu severním směrem u práce Wibig.



Obr. 4.8 Jako obr. 4.2a, ale pro EA mod a) teploty, b) srážky v zimě.

Fig. 4.8. As Fig. 4.2a, except for EA mode and a) temperature, b) precipitation in winter.



Obr. 4.9 Jako obr. 4.3, ale pro EA mod.

Fig. 4.9. As Fig.4.3, except for EA mode.

Časová proměnlivost korelací mezi EA modem a srážkami je zobrazena na obr. 4.8b v malých grafech. Na severu dochází k růstu korelací, zatímco na jihu spíše k poklesu. Významné změny korelací můžeme nalézt jak na jihu, tak na severu Evropy. Rozdílnost průběhů korelací mezi severem a jihem potvrdila i shluková analýza, která našla 3 zonálně členěné shluky (neukázáno). V prvním shluku jsou stanice ve Skandinávii a na východním pobřeží Pyrenejského poloostrova. Korelace na těchto stanicích téměř po celé období významně rostly. Ve druhém shluku jsou stanice ze střední a východní Evropy a Balkánu, jejichž korelace do počátku 80. let rostly a pak klesaly. Jižní část Evropy spolu s Islandem a stanicí Bjørnøya (Nor) patří do shluku 3. Korelace v tomto shluku prodělaly jen malé změny: před rokem 1975 mírně rostly, pak klesaly a od 1985 opět mírně rostly. Do tohoto shluku byly ale také zařazeny stanice na jihu Evropy, jejichž korelace téměř po celé sledované období významně klesaly (např. Cagliari a Brindisi, It).

Zesílení EA modu spolu se zánikem kladného centra u Grónska, a tedy rozšíření severního centra směrem ke Skandinávii v období 1986-1998, vede k růstu cyklonality nad západní a severní Evropou. Toto chování vede k růstu korelací se srážkami v severní Evropě a korelace zde dosahují ke konci sledovaného období statisticky významných hodnot.

4.3.3 Proměnlivost vlivu EA modu na klimatické prvky v létě

Celkové korelace s teplotou se oproti zimnímu období neomezují jen na kladné hodnoty. Pohybují se od $-0,47$ v Karasjoku (Nor) po $0,35$ na Zugspitze (Ger). Významně záporné korelace se objevují ve Skandinávii a v Pobaltí, významně kladné korelace jsou na Pyrenejském poloostrově, v západní a střední Evropě a na severním Balkánu (obr. 4.10a). Oproti zimnímu období se v létě nad severní Skandinávií objevuje samostatné akční centrum záporných anomálií, které způsobuje záporné korelace s teplotou v této oblasti.

Průběh korelací se liší mezi severozápadem Evropy, kde korelace převážně klesají, a jihovýchodem Evropy, kde rostou. Tuto strukturu potvrdila i shluková analýza se 3 shluky, které jsou velice dobře geograficky vymezeny (obr. 4.10b, c). Do prvního shluku patří stanice v Itálii, na Balkáně a ve východní Evropě, ale i stanice na Islandu a nejsevernější stanice Evropy, korelace zde téměř po celé období rostou. Ve shluku 2 jsou stanice ležící v pásu táhnoucím se od Pyrenejského poloostrova přes střední Evropu k Pobaltí, korelace zde mají vlnový charakter s maximy okolo poloviny 70. let a na konci sledovaného období a minimy ke konci 60. let a na počátku 70. let. Ve třetím shluku jsou stanice na Britských

ostrovech, v západní Evropě a ve Skandinávii, jejich korelace téměř po celé sledované období klesají. Klouzavé korelace na stanicích ve shluku 1 a 3 prodělaly významné změny.

Celkové korelace se srážkami se v létě pohybují v rozmezí od $-0,25$ na stanicích Salamanca (Spa) a Poltava (Ukr) po $0,35$ v Eskdalemuiru (GB). Významně záporné hodnoty jsou v západní části Pyrenejského poloostrova a ve východní Evropě, ale i na stanicích Verona (It) a Bamberg (Ger). Naopak významně kladné hodnoty nalezneme jenom na Britských ostrovech a na stanicích Dalatangi (Ice) a Vestervig (Den) (obr. 4.10d).

Průběh korelací se zejména na severu shoduje s průběhem v zimní sezóně, v obou sezónách zde korelace rostou. Shlukovou analýzou byly nalezeny 3 shluky, které mají spíše zonální charakter (obr. 4.10 e, f). V prvním shluku jsou stanice na jihu Evropy, jejichž korelace téměř po celé období klesají. Ve druhém jsou stanice ve Francii, střední Evropě, severním Balkánu a východní Evropě, tyto stanice jsou téměř beze změn v korelacích. Severozápad Evropy je ve shluku 3, kde korelace po celé období rostou. Stanice na Islandu jsou opět rozděleny do shluku 1 a 2. Významné změny korelací byly nalezeny na stanicích zařazených ve shluku 1 a 3.

Prostorové rozložení shluků v létě je pro srážky a teploty podobné: ve shluku 1 (jih Evropy) korelace s teplotami rostou a se srážkami klesají, naopak ve shluku 3 (severozápad Evropy) korelace s teplotou klesají a se srážkami rostou. Pokud se podíváme na rozložení akčních center v létě (obr. 4.9, 2. řádek) a zaměříme se na severozápadní Evropu, zjistíme, že v období 1958-70 je v kladné fázi EA pod vlivem anticyklóny a naopak v období 1986-98 zde převládá cyklonální charakter. Anticyklóna v létě znamená kladné korelace s teplotou a záporné korelace se srážkami, cyklóna naopak. Tím lze vysvětlit pokles korelací s teplotou a růst korelací se srážkami v tomto období v severozápadní Evropě. Naopak nad jihovýchodní Evropou při kladné fázi EA nejprve převládá cyklonální charakter a na konci období anticyklonální, z čehož lze odvodit růst korelací s teplotou a pokles korelací se srážkami.

4.3.4. Proměnlivost vlivu EA modu na klimatické prvky na jaře a na podzim

Na jaře i na podzim je EA mod slabý (8. resp. 12. podle vysvětleného rozptylu). V obou sezónách je vliv tohoto modu na teploty velmi malý. Celkové korelace s teplotami na jaře jsou statisticky významně kladné pouze na 3 stanicích ve Španělsku (San-Sebastian, Valencia a Tortosa). Na podzim je významně záporná korelace v Dalatangi (Ice) a významně kladné hodnoty jsou na 3 horských stanicích v Alpách (Hohenpeissenberg, Zugspitze a Säntis).

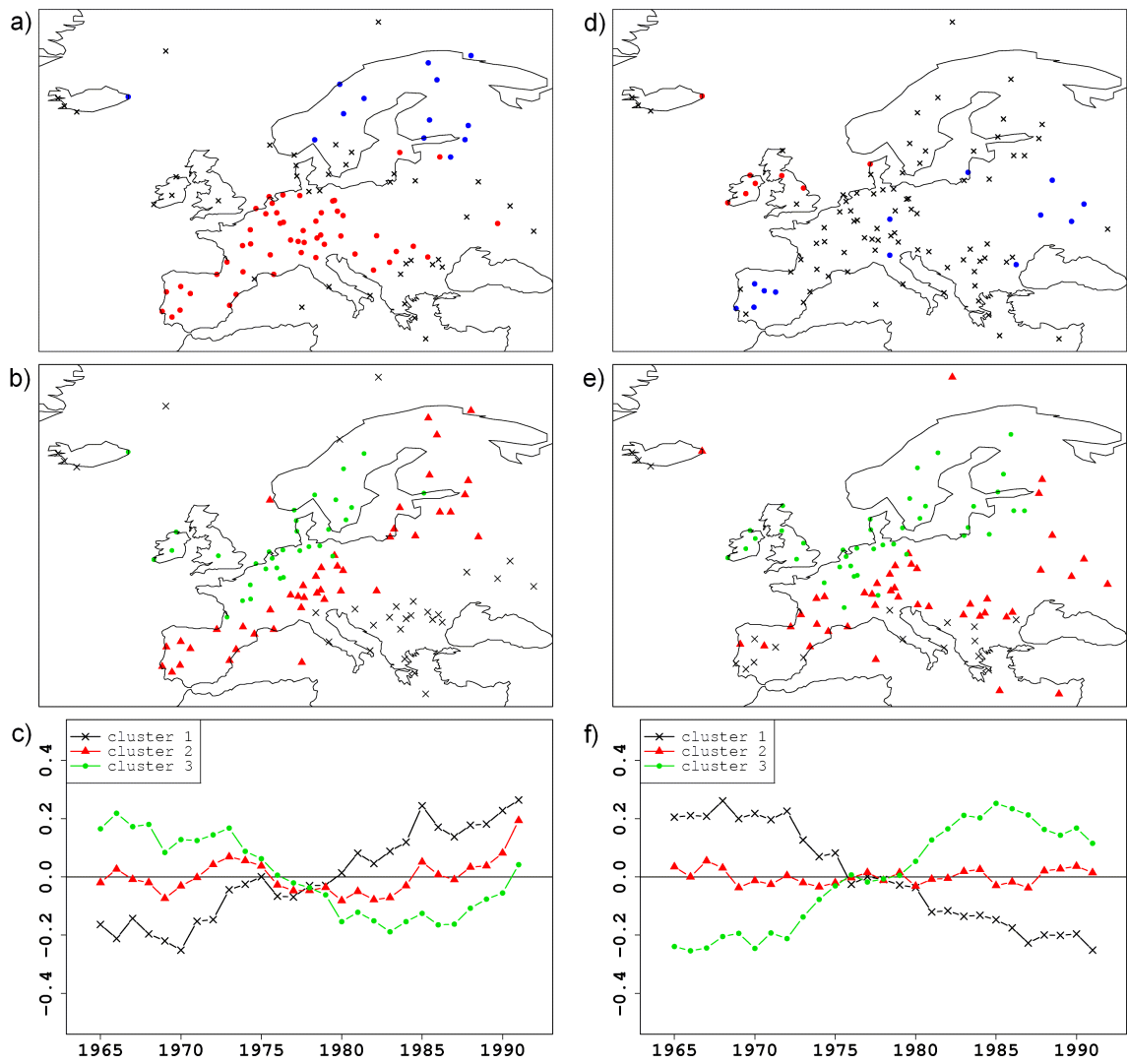
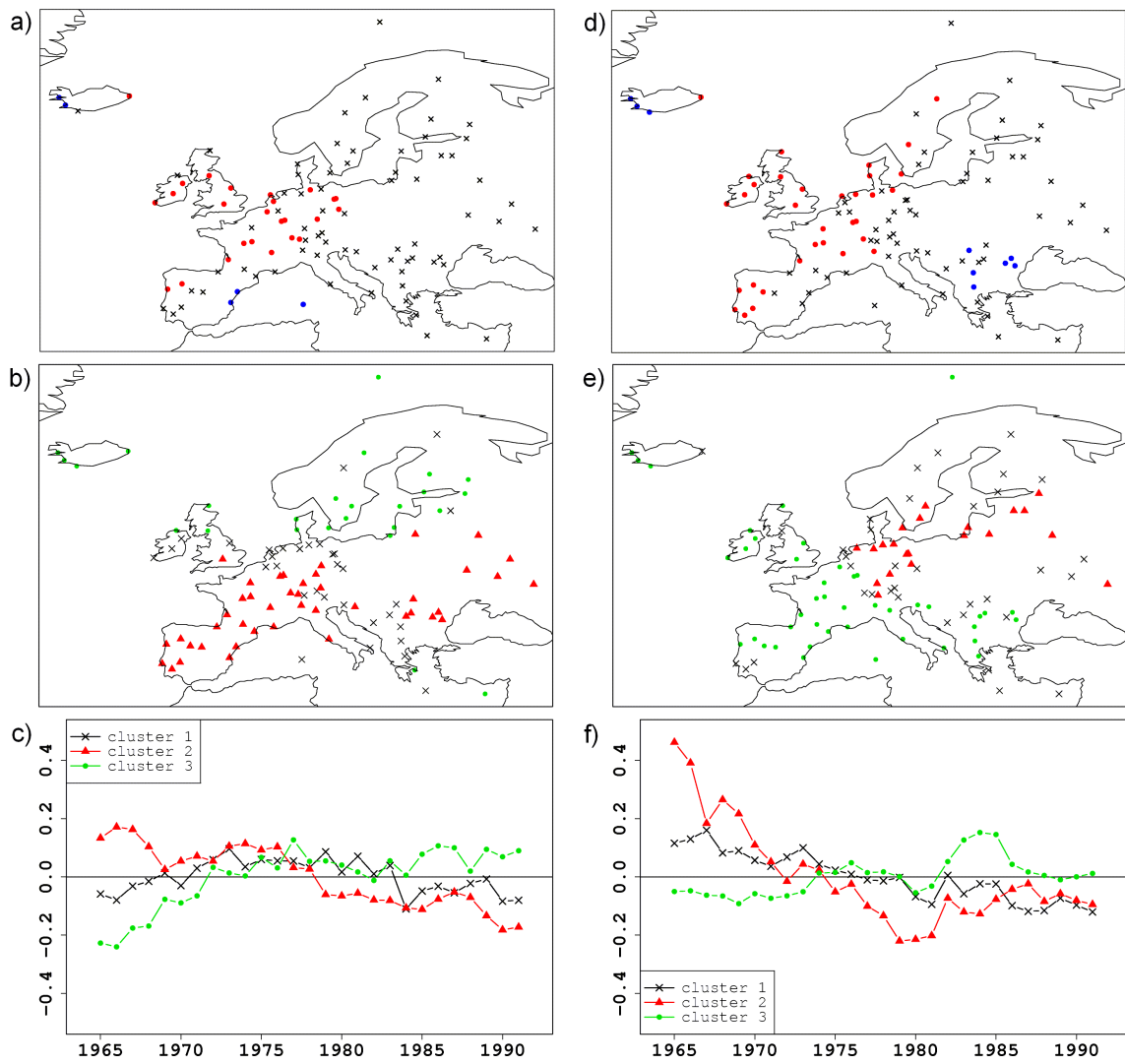


Fig. 4.10 Jako obr. 4.6, ale pro EA mod a a) – c) teploty v létě, d) – f) srážky v létě.

Fig. 4.10. As Fig. 4.6, except for EA mode and a) – c) temperature in summer, d) – f) precipitation in summer.



Obr. 4.11 Jako obr. 4.6, ale pro EA mod a a) – c) srážky na jaře, d) – f) srážky na podzim.

Fig. 4.11. As Fig. 4.6, except for the EA mode and a) – c) precipitation in spring, d) – f) precipitation in autumn.

Změny klouzavých korelací nejsou na jaře ani na podzim na většině stanic statisticky významné. Významné změny korelací můžeme v obou sezónách nalézt na nejjihnějších stanicích Evropy: na jaře pouze na Heraklionu (Gre) a na podzim na několika stanicích Pyrenejského poloostrova a v Záhřebu (Cro). Klouzavé korelace v obou těchto případech po celé sledované období klesají.

Celkové korelace mezi EA modelem a srážkami se na jaře pohybují od $-0,28$ ve Valencii (Spa) po $0,52$ ve Valentii (Ire). Celkové korelace jsou statisticky významně záporné kromě Valencie i v Tortose (Spa) a Cagliari (It), a na islandských stanicích Reykjavik a Stykkisholmur. Statisticky významně kladné korelace jsou na britských stanicích, v západní a ve střední Evropě a také na západě Pyrenejského poloostrova (obr. 4.11a).

Na většině stanic jsem zjistila významné změny klouzavých korelací. Stanice byly podle průběhu korelací rozděleny do 3 shluků (obr. 4.11b, c). Ve shluku 1 jsou stanice, jejichž korelace nejprve mírně rostly a po 1980 mírně klesaly, tyto stanice se nacházejí na Britských ostrovech, v Německu, východní části alpské oblasti a na Balkáně. Ve druhém shluku jsou stanice ze západní a východní Evropy a z Pyrenejského poloostrova, jejich korelace po celé období mírně klesají. Ve 3. shluku jsou stanice ze Skandinávie, Islandu, Pobaltí a ze severu Britských ostrovů, jejich korelace rostly do poloviny 70. let, pak byly téměř beze změn. Významné změny byly zjištěny ve 2. a 3. shluku.

Na podzim je minimální hodnota korelací se srážkami $-0,33$ v Reykjaviku (Ice), maximum $0,61$ je stejně jako na jaře ve Valentii (Ire). Island je rozdělen, na západní straně jsou celkové korelace významně záporné, zatímco ve východní části (stanice Dalatangi) významně kladné. Významně kladné hodnoty jsou i na Britských ostrovech, v západní Evropě, jižní Skandinávii a na západě Pyrenejského ostrova. Významně záporné korelace se objevují na Balkáně (obr. 4.11d).

Podobně jako na jaře prodělávají korelace na podzim významné změny na více než polovině zkoumaných stanic. Shluková analýza odhalila opět 3 typy průběhů korelací (obr. 4.11e, f). Do prvního shluku patří korelace s nejmenšími změnami, kdy korelace mírně klesaly po celé sledované období. Patří sem stanice ze Skandinávie, střední Evropy, severního Balkánu a východní Evropy. Ve druhé skupině jsou stanice s prudkým poklesem korelací před rokem 1980, následovaným jen mírnými změnami. Sem patří stanice ve střední Evropě a okolo jižní části Baltského moře. Ve třetím shluku jsou Britské ostrovy, západní Evropa a Balkán, tam korelace mírně rostly do poloviny 80. let a pak klesaly.

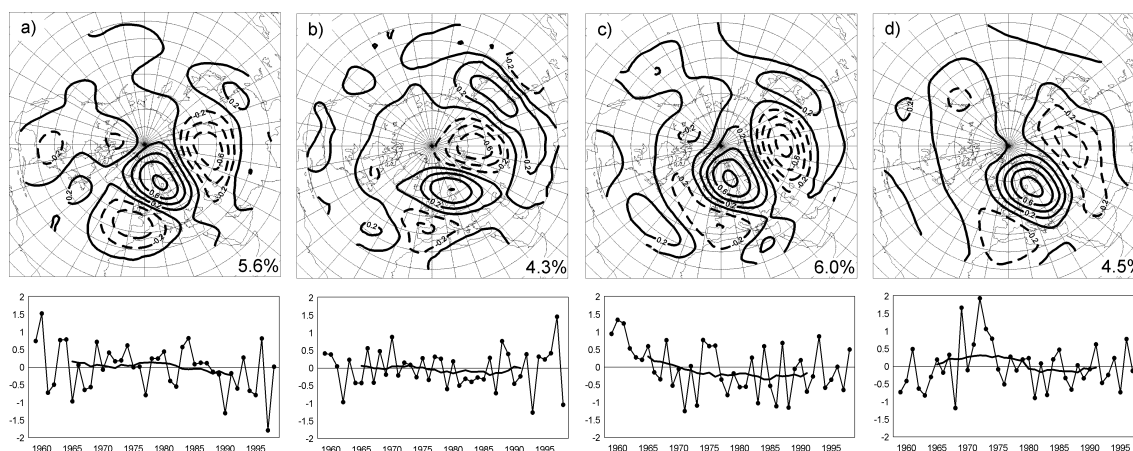
Významné změny korelací jsou pouze ve 2. druhém shluku, v němž se v průměru změnilo o 0,68.

Dramatické změny v oblasti Baltského moře lze vysvětlit změnou vlivu akčních center. Z přímého vlivu záporných anomálií (tj. cyklóny) v kladné fázi EA v období 1958-1970 se tato oblast dostala pod vliv kladných anomálií (tj. anticyklóny), které postupně sílili (obr. 4.9, 3. řádek).

4.4. Euroasijský mod typu 1

4.4.1. Popis modu

EU1 mod je také znám také jako „Skandinávský mod“. V zimě má výrazné centrum nad severozápadním Ruskem a severním Finskem (60°s.š., 30°-40°v.d.) a centrum s opačným znaménkem nad Španělskem a přilehlým Středomořím (40°s.š., 0°), další centrum se stejným znaménkem jako španělské leží nad střední Asií (55°s.š., 90°z.d.) (obr. 4.12). V zimním období vysvětluje EU1 pouze 4,5% celkového rozptylu a je posledním, 10. modem proměnlivosti. EU1 mod vykazuje v tomto období nejslabší trend ze všech modů.



Obr. 4.12 Jako obr. 4.1, ale pro Euroasijský mod typu 1 (EU1).

Fig. 4.12. As Fig. 4.1, except for the Eurasian pattern type1 (EU1).

Na jaře vysvětluje EU1 mod 5,6% rozptylu a je 4. nejsilnější. Všechny základní akční centra jsou silněji vyjádřena než v zimě. Časová řada modu vykazuje mírný pokles, od poloviny 80. let zůstává mod spíše v záporné fázi. V létě a na podzim se nad jihovýchodní Asií objevuje ještě 4. centrum, a to se stejným znaménkem jako skandinávské centrum. V

létě vysvětluje EU1 mod 4,3% celkového rozptylu a je 6. modem a na podzim 6,0% rozptylu a je 5. nejsilnějším modem proměnlivosti. Časová řada v létě nevykazuje žádný trend, na podzim se EU1 mod nachází do počátku 70. let v kladné fázi a pak je téměř beze změn. BL identifikovali EU1 mod pouze v chladné části roku.

4.4.2. Proměnlivost vlivu EU1 modu na klimatické prvky v zimě

Celkové korelace s maximální teplotou jsou významně záporné ve východní Evropě, na severním Balkánu a na několika dalších stanicích jižní Evropy, zatímco významně kladné hodnoty jsou na nejsevernějších stanicích Skandinávie, Jan-Mayenu a Islandu (obr. 4.13a). Hodnoty se pohybují v rozmezí od -0,39 v Lugansku (Ukr) po 0,52 v Bjørnøya (Nor).

Převládajícím znakem proměnlivosti vlivu EU1 modu na teplotu je na většině stanic pokles korelací (shluk 1 a 3). Poklesu předchází období beze změn nebo jen s malými změnami. Rozdíly mezi stanicemi lze podchytit analýzou shluků (obr. 4.13b, c). V prvním shluku jsou stanice, jejichž korelace prodělaly nejmenší změny a od počátku 80. let mírně klesaly. Patří sem stanice v západní a ve střední Evropě a na severu Skandinávie. Do shluku 2 patří stanice na Pyrenejském poloostrově a v Řecku, jejichž korelace rostly do počátku 80. let a pak klesaly. Ve 3. shluku jsou korelace, které téměř po celé období klesaly, a patří sem stanice na Britských ostrovech, v jižní Skandinávii, Pobaltí, na Balkánu a ve východní Evropě. Do posledního shluku se dostaly pouze stanice z Islandu, jejichž korelace do konce 70. let silně rostly, pak prudce klesly a ke konci období se neměnily. Průběh korelací je podobný shluku 2, ale maximum korelací je posunuto do poloviny 70. let. Významné změny korelací byly zjištěny zejména na stanicích ve shluku 2 a 4.

Největší změny tvaru i polohy v zimním období prodělalo centrum záporných anomálií nad Španělskem: v období 1958-1970 se nad Španělskem vůbec nevyskytuje, naopak v 1986-1998 je velice silné (obr. 4.14, spodní řada). Vývoj tohoto centra ovlivňuje proudění v celé Evropě. Proudění v západní a jižní Evropě v kladné fázi EU1 se z jižního změnilo na východní, a korelace s teplotami se tak stávají zápornými. Dalším významným znakem je prohlubování akčního centra nad Skandinávií. Tím lze vysvětlit postupný pokles korelací s teplotami ve východní polovině Evropy: anticyklona se prohlubuje a rozšiřuje, a tím, díky zvýšenému vyzařování zemského povrchu, dochází k ochlazení (tj. korelace jsou zápornější). Také vztah EU1 modu s teplotou na Islandu je silně ovlivněn změnami akčních center nad touto oblastí. V období 1958-1970, ale ještě silněji v období 1972-1984,

byl Island v kladné fázi EU1 pod vlivem záporných anomálií a korelace s teplotou byly kladné. V období 1986-1998 se nad Island rozšířila oblast kladných anomálií, která podobně jako nad Skandinávií a ve východní Evropě způsobuje záporné korelace s teplotou.

Celkové korelace se srážkami se pohybují od $-0,52$ v Kaliningradu (Rus) po $0,41$ v Cagliari (It). Významně záporné korelace jsou ve střední a východní Evropě a v okolí Baltského moře (obr. 4.13a). Statisticky významně kladné korelace se objevují zejména v Itálii, v západní části Pyrenejského poloostrova a na Islandu. Takovéto rozložení je zhruba v souladu s rozložením lednových korelací ukázanými ve Wibig (1999): záporné korelace v okolí Baltského moře a ve východní Evropě, kladné v Itálii a částečně na Islandu.

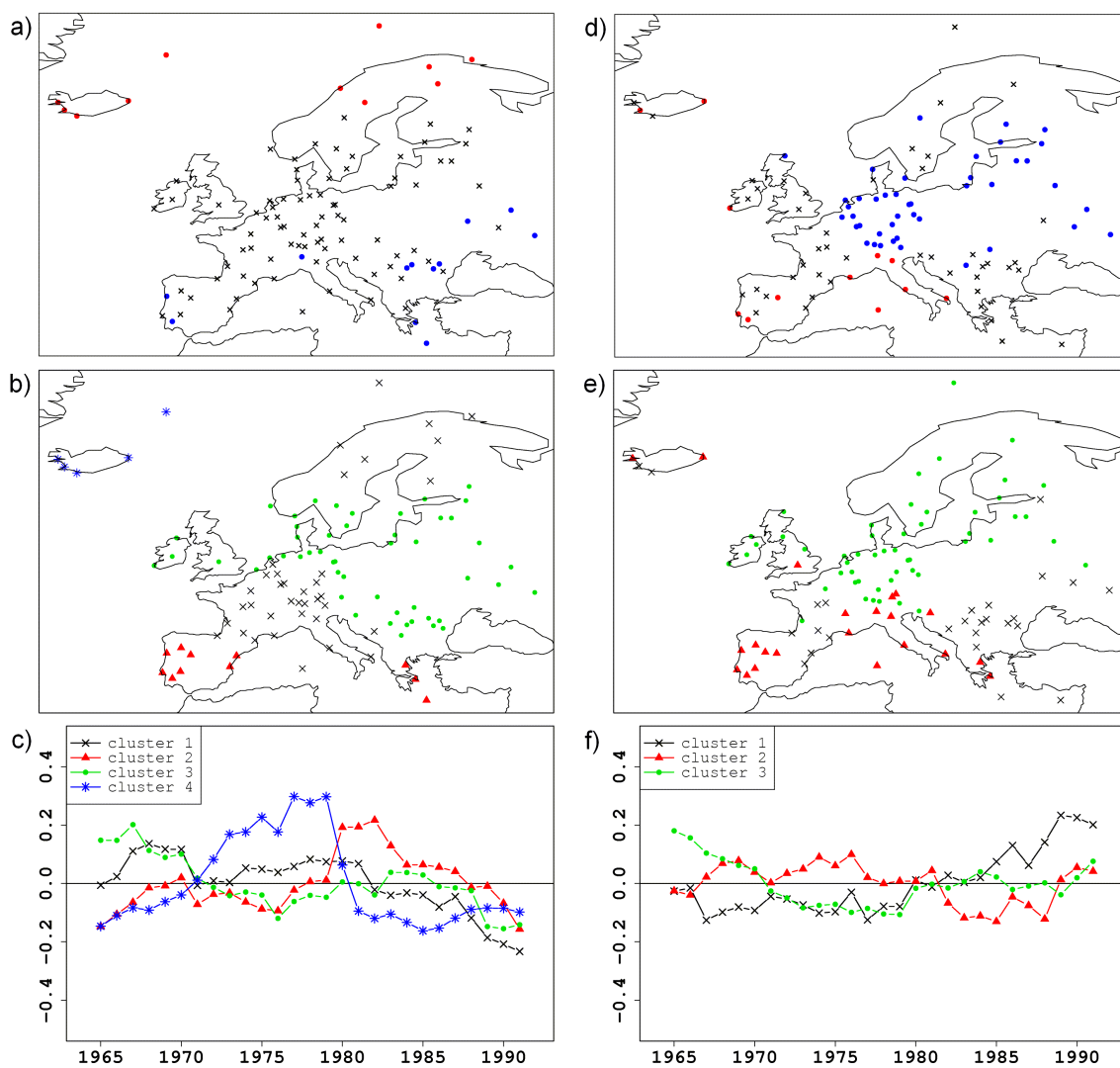
Významné změny korelací byly zjištěny jen na několika málo stanicích, zejména na Balkáně. Shluková analýza odhalila 3 typy průběhů korelací (obr. 4.13b, c). Ve shluku 1 jsou stanice, jejichž korelace začaly růst v polovině 70. let, přičemž před tím byly téměř beze změn. Patří sem stanice na Balkáně, ve východní Evropě, v části Španělska a Francie. Ve shluku 2 jsou stanice na Pyrenejském poloostrově, v Itálii a Řecku, jejichž korelace se měnily jen málo, ale od poloviny 70. let do poloviny let 80. klesaly a ke konci rostly. Ve třetím shluku jsou zbývající stanice v severní a střední Evropě, jejich korelace klesaly do poloviny 70. let a pak spíše rostly.

Časové změny korelací EU1 modu se srážkami není možno jednoduše vysvětlit. Snad jen Balkánský poloostrov se v období 1986-98 v kladné fázi EU1 dostával pod vliv cyklóny, která přináší do této oblasti srážky a korelace se tak stávají kladnými.

4.4.3. Proměnlivost vlivu EU1 modu na klimatické prvky v létě

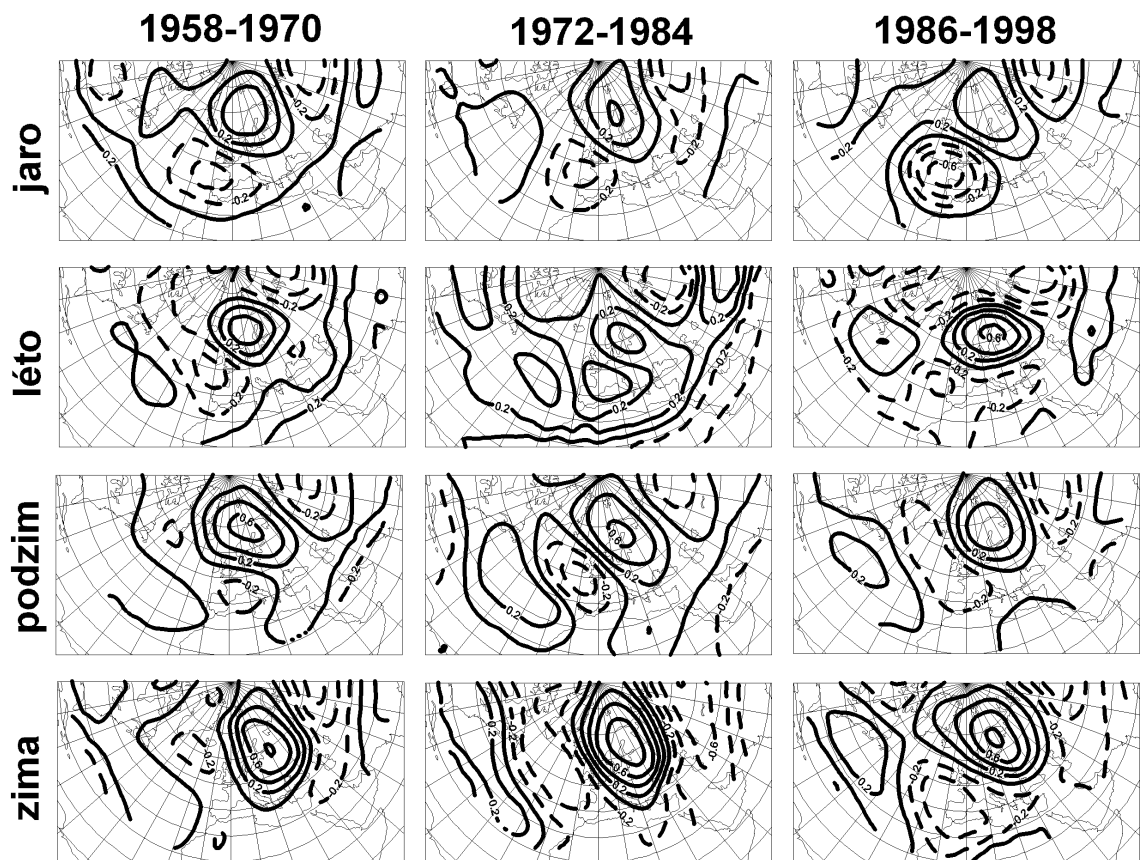
Celkové korelace s teplotou se v létě pohybují od $-0,21$ v Salamance (Spa) po $0,54$ ve Vestervigu (Den). Statisticky významně záporné korelace jsou pouze na 3 stanicích na západě Pyrenejského poloostrova, naproti tomu významně kladné korelace jsou v celé Skandinávii a v okolí Baltského moře a v Dánsku.

Změny klouzavých korelací jsou vyneseny na obr. 4.15a. K významným změnám korelací dochází ve východní a severovýchodní Evropě, kde korelace po celé sledované období rostou, a na stanicích Jan-Mayen (Nor) a Lisabon (Por), kde korelace nejprve rostly a pak klesaly. Na většině zbývajících stanic převládá růst korelací, výjimku tvoří oblast Britských ostrovů, Dánska a jižní Skandinávie, kde jsou korelace bez větších změn nebo klesají.



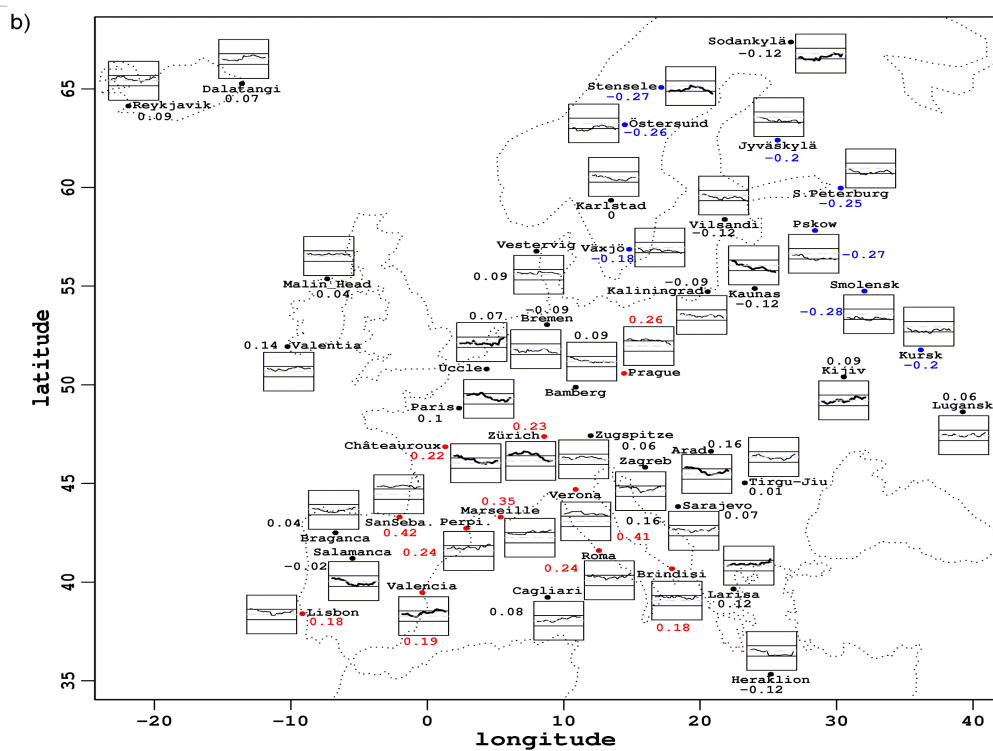
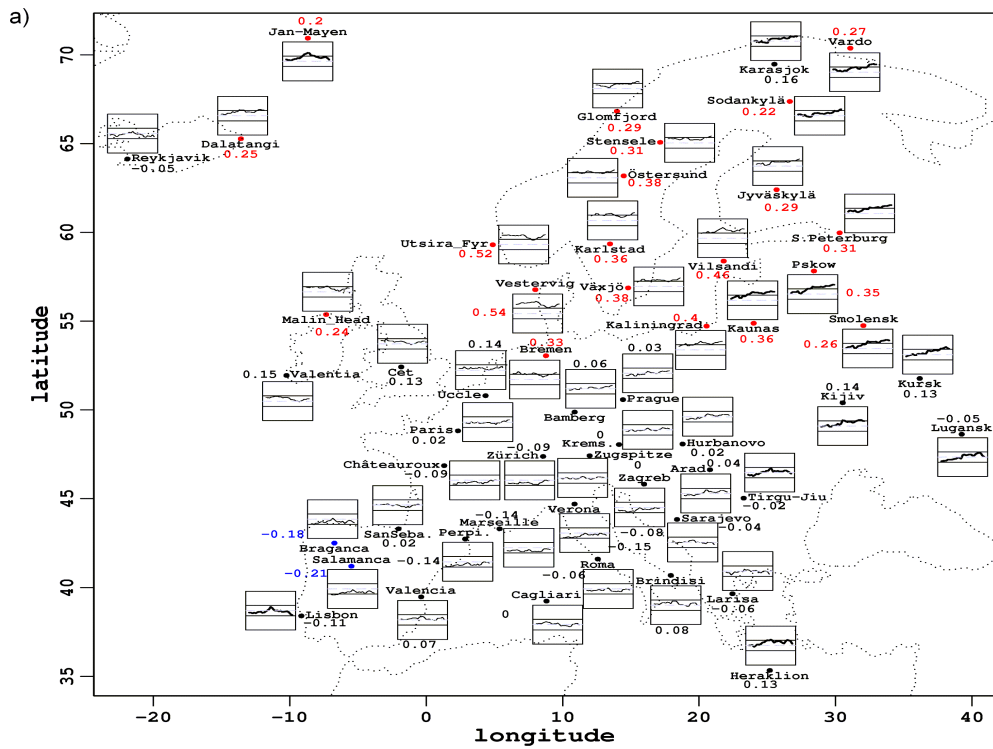
Obr. 4.13 Jako obr. 4.6, ale pro EU1 mod a a) – c) teploty, d) – f) srážky v zimě.

Fig. 4.13. As Fig. 4.6, except for the EU1 mode and a) – c) temperature, d) – f) precipitation in winter.



Obr. 4.14 Jako obr. 4.3, ale pro EU1 mod.

Fig. 4.14. As Fig. 4.3, except for EU1 mode.



Obr. 4.15 Jako obr. 4.2a, ale pro EU1 mod a a) teploty v létě, b) srážky v létě.

Fig. 4.15. As Fig. 4.2a, except for EU1 mode and a) temperature in summer, b) precipitation of in summer.

Celkové korelace se srážkami se v létě pohybují od -0,28 ve Smolensku (Rus) po 0,42 v San-Sebastianu (Spa). Rozložení celkových korelací je podobné jako v zimě: významně záporné celkové korelace jsou na severovýchodě Evropy, zejména ve Skandinávii, v Pobaltí a ve východní Evropě. Významně kladné korelace jsou v jihozápadní polovině Evropy: západní a střední Evropa, Pyrenejský poloostrov (obr. 4.15 b).

Na více než polovině stanic jsou klouzavé korelace téměř beze změn nebo jen s mírnými změnami. I přesto byly analýzou shluků nalezeny 3 skupiny (neukázáno). V prvním shluku jsou stanice s korelacemi, které téměř po celé sledované období klesají. Patří sem stanice ve střední a západní Evropě. Ve druhém shluku jsou korelace, které se do poloviny 70. let téměř neměnily a pak rostly, nebo rostly po celé sledované období. Tento shluk není pevně geograficky ohraničen. Patří sem stanice ze severní Skandinávie a islandská Dalatangi, dále několik stanic na Britských ostrovech, na východním pobřeží Pyrenejského poloostrova a ve východní Evropě. Třetí shluk je nejpočetnější a zahrnuje právě stanice, jejichž korelace se téměř neměnily.

Pokud se podíváme na pohyb akčních center během různých období (obr. 4.14, 2. řádek), vidíme, že postavení akčních center dle definice EU1 modu je zachováno pouze v období 1958-1970 a 1986-1998. Naproti tomu v období 1972-1984 je Skandinávské akční centrum slabé a rozpadlé a kladné anomálie ovlivňují celou Evropu. Růst korelací s teplotou ve východní Evropě lze vysvětlit prohlubováním anticyklóny v této oblasti v kladné fázi EU1. Změnu korelací se srážkami z kladných hodnot do záporných ve střední Evropě má na svědomí výměna cyklóny za anticyklónu.

4.4.4. Proměnlivost vlivu EU1 modu na klimatické prvky na jaře a na podzim

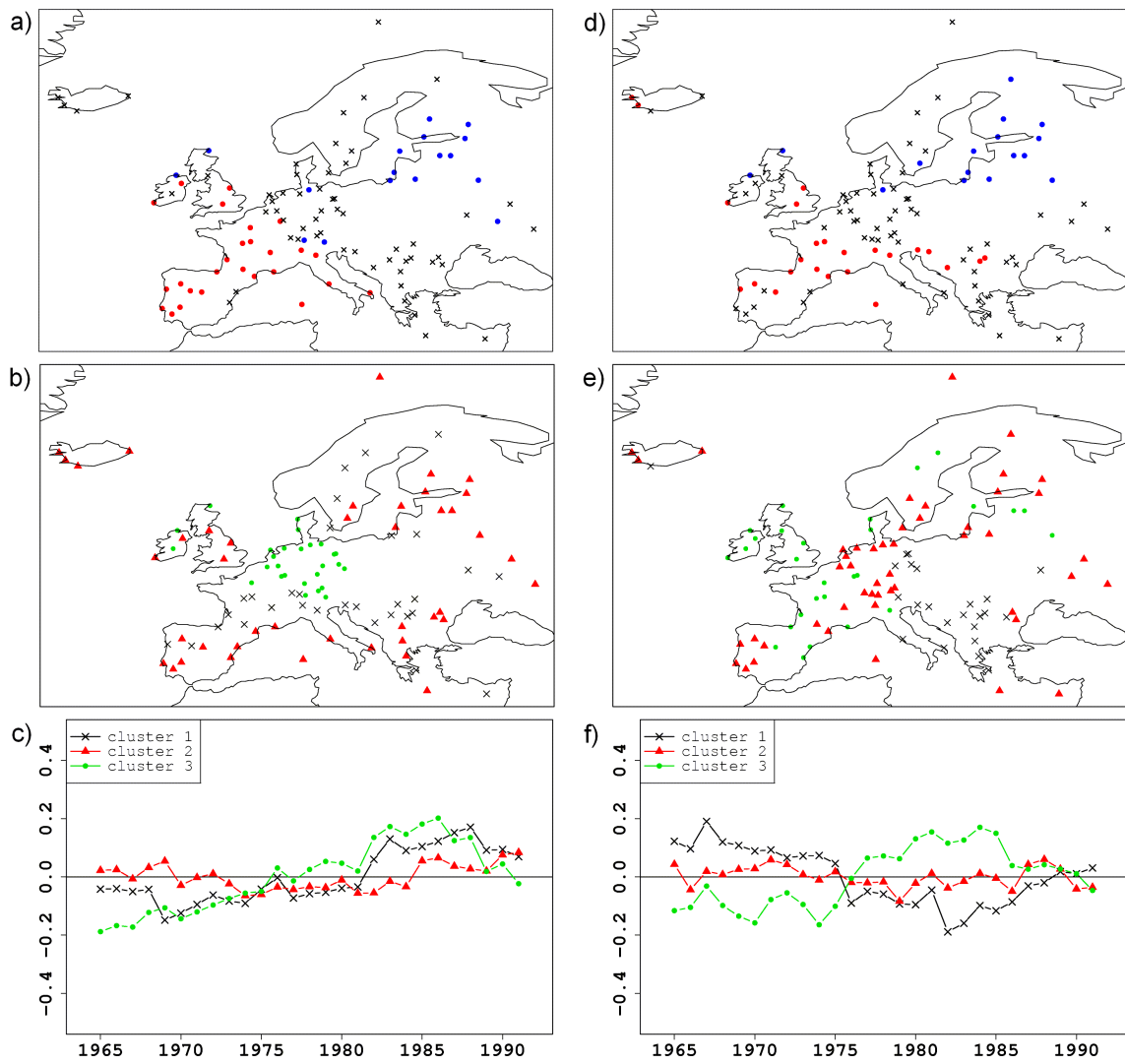
Celkové korelace s teplotami se na jaře pohybují od -0,43 v Portu (Por) po 0,36 na Jan-Mayenu (Nor). Statisticky významně záporné hodnoty se omezují pouze na západní část Pyrenejského poloostrova a kladné hodnoty na nejsevernější stanice Evropy včetně Islandu. Na podzim je situace trochu jiná, statisticky významně záporné hodnoty se vůbec nevyskytují a kladné hodnoty zaujímají stejnou oblast jako na jaře. Minimální hodnota se vyskytuje opět v Portu (-0,16) a maximální na Jan-Mayenu (0,43).

Pokud se zaměříme na změny klouzavých korelací s teplotami, situace na jaře a na podzim se značně liší. Korelace na jaře nemají na žádné ze stanic významné změny, většinou prodělávají jenom krátkodobé fluktuační změny. Na podzim naopak byly nalezeny významné změny korelací na více než dvou třetinách stanic. Průběh korelací je na všech stanicích stejný, korelace rostly do poloviny 70. let a pak postupně klesaly.

Rozložení celkových korelací se srážkami na jaře i na podzim je do značné míry podobné: významně záporné hodnoty jsou v obou sezónách jen v okolí Baltského moře a na severu Britských ostrovů, a na jaře navíc v Alpách. Významně kladné hodnoty jsou v jihozápadní Evropě a na Britských ostrovech, na podzim ještě k tomu na západní části Islandu a severním Balkánu (obr. 4.16a, d). Celkové korelace se na jaře pohybují od -0,46 v Sortavale (Rus) po 0,44 na portugalských stanicích Braganca a Porto a na podzim od -0,44 v Klaipedė (Lit) po 0,38 v Luganu (Swi).

Průběh korelací se srážkami se mezi sezónami liší. Na jaře převládá spíše růst korelací. Shluková analýza dokázala zachytit 3 typy průběhů korelací (obr. 4.16b, c). Do shluku 1 patří korelace, které na počátku sledovaného období klesaly, od počátku 70. let rostly a ke konci období opět klesaly. Patří sem stanice ve Skandinávii, západní a střední Evropě a na severu Balkánu. Do shluku 2 patří stanice s nejmenšími změnami korelací, které se nalézají zejména na Islandu, Britských ostrovech, v jižní části Evropy a v Pobaltí. Shluk 3 se průběhem korelací blíží shluku 1, ale korelace zde nepřetržitě rostly až do poloviny 80. let a pak klesaly. Jsou to zejména stanice ve střední Evropě a v Dánsku. Převládající růst korelací se dá vysvětlit prohlubováním cyklóny a vyplňováním anticyklóny v oblasti střední a západní Evropy v kladné fázi EU1 (obr. 4.14).

Na podzim shluková analýza našla opět 3 třídy, z nichž druhá zastupuje korelace s nejmenšími změnami (obr. 4.16e, f). Takové stanice se nalézají na Islandu, Pyrenejském poloostrově, střední Evropě, v okolí Baltského moře a na východě Evropy. Do prvního shluku náleží stanice, jejichž korelace do počátku 80. let klesaly a pak rostly. Tyto stanice se nacházejí částečně ve střední Evropě a na celém Balkánském poloostrově. Ve třetím shluku jsou korelace s opačným chováním: do počátku 80. let rostly a pak klesaly. Takové stanice se nacházejí zejména Britských ostrovech a v západní Evropě, několik jich je v Pobaltí a ve Skandinávii.



Obr. 4.16 Jako obr. 4.6, ale pro EU1 mod a a) – c) srážky na jaře, d) – f) srážky na podzim.

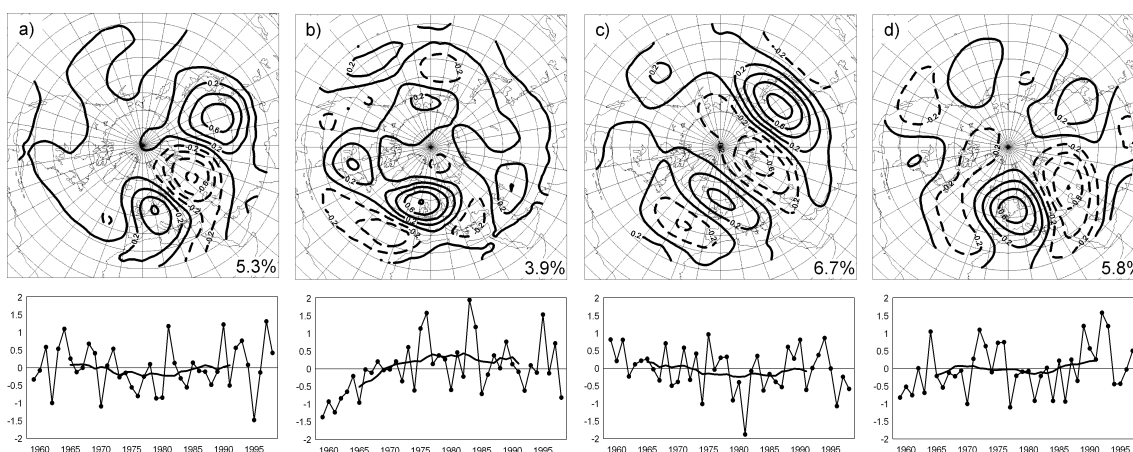
Fig. 4.16. As Fig. 4.6, except for the EU1 mode and a) – c) precipitation in spring, d) – f) precipitation in autumn.

4.5. Euroasijský mod typu 2

4.5.1. Popis modu

EU2 je někdy označován jako Východoatlanticko/západoruský mod (EA/WR) nebo Severomořsko/Kaspický mod (NCP), viz např. Kutiel a Benaroch (2002). V zimě je definován jako mod s východo-západním gradientem s hlavním akčním centrem mezi Dánskem a Britskými ostrovy (55° s.š., 5° v.d.) a s centrem opačného znaménka severovýchodně od Kaspického moře (55° s.š., 60° v.d.) (obr. 4.17). Další slabé centrum stejného znaménka, jako je Kaspické centrum, se nachází nad Atlantikem a slabé centrum stejného znaménka jako dánské je nad severovýchodní Čínou. Intenzita EU2 modu v zimě ke konci období rostla (posledních 10 let se mod nacházel převážně v kladné fázi), z čehož vyplývají silnější a/nebo častější blokuující situace v oblasti Severního moře. Výrazné zesílení EU2 modu bylo demonstrováno Krichakem a Alpertem (2005). V zimním období vysvětluje EU2 mod 5,8% celkového rozptylu a je 5. nejsilnějším modem.

Na jaře a na podzim sílí akční centrum nad východní Asií. Na jaře téměř mizí centrum nad Atlantikem, naopak na podzim se toto centrum zesiluje. Na jaře vysvětluje EU2 mod 5,3% celkového rozptylu a je 7. v pořadí, na podzim vysvětluje 6,7% rozptylu a prezentuje 4. nejsilnější mod v tomto období. V žádné z obou sezón nejsou v časové řadě modu pozorovány trendy.



Obr. 4.17 Jako obr. 4.1, ale pro Euroasijský mod typu 2 (EU2).

Fig. 4.17. As Fig. 4.1, except for the Eurasian pattern type 1 (EU2).

V létě je EU2 mod slabě vyjádřen. Vysvětluje pouze 3,9% procenta rozptylu a je to 8. mod v pořadí. V práci BL nebyl v letních měsících identifikován. EU2 mod se v létě redukuje pouze na dánské centrum a centrum v subtropickém Atlantiku. Centrum v severním Rusku mizí. Na časové řadě je vidět podivný růst intenzity modu před rokem 1970, což může znamenat, že se před tímto rokem mod v létě nevyskytoval, nebo mohlo dojít k jeho míšení s jinými mody (např. část NAO nebo EA).

4.5.2. Proměnlivost vlivu EU2 modu na klimatické prvky v zimě

Celkové korelace mezi EU2 modem a zimními teplotami se pohybují v rozmezí od -0,66 na Heraklionu (Gre) po 0,52 v Dalatangi (Ice). Rozložení celkových korelací má meridionální charakter. Významně kladné hodnoty se objevují v pásu vedoucím ze Skandinávie přes Britské ostrovy a západní Evropu na Pyrenejský poloostrov, zahrnujícím i Island. Významně záporné korelace jsou na jihovýchodě Evropy. Takovéto zjištění částečně potvrzuje regionální studie od Kutuela a kol. (2002), kteří našli záporné korelace mezi EU2 modem a zimními teplotami v Řecku.

Změny v klouzavých korelacích nejsou na většině stanic statisticky významné (Beranová a Huth, 2007b). Významné změny jsou pouze ve východní Evropě a východním Balkáně, kde korelace od počátku 80. let rostou. Korelace se v této oblasti v průměru změnilo o 0,46. Významné změny byly nalezeny i na stanici Bjørnøya (Nor), kde korelace do počátku 80. let rostly a pak klesaly a na stanici Tortosa (Spa), korelace do počátku 80. let byly beze změn a pak klesaly.

Celkové korelace se srážkami jsou záporné skoro na všech stanicích (a významné na většině stanic) s minimální hodnotou -0,62 na stanici Arad (Rom). Výjimku tvoří pouze západní pobřeží Islandu a stanice Bjørnøya (Nor), kde jsou významně kladné korelace, maximum dosahuje hodnoty 0,46 na stanici Stykkisholmur (Ice). Ve středomořské oblasti jsou hlavním znakem vysoké záporné hodnoty na severu Pyrenejského poloostrova, podél Alp a na severu Balkánu. Jejich znaménko se mění v kladné na jihovýchodě a ve Valencii (Spa), což je ve shodě s Krichakem a kol. (2002) a Krichakem a Alpertem (2005). Záporné korelace na severu Řecka a jen malý vliv na jihu popsali Kutiel a kol. (2002).

Klouzavé korelace jsou na většině stanic bez významných změn. Významné změny korelací byly zjištěny na několika stanicích u Baltského moře, v alpské oblasti a v Kyjevu (Ukr), kde korelace klesaly a od počátku 80. let rostly, a na několika stanicích v Řecku a v Itálii, kde korelace naopak rostly a od poloviny 70. let klesaly. Podobné změny korelací jsou i na stanici Dalatangi (Ice), Stensele (Swe) a na severu Anglie.

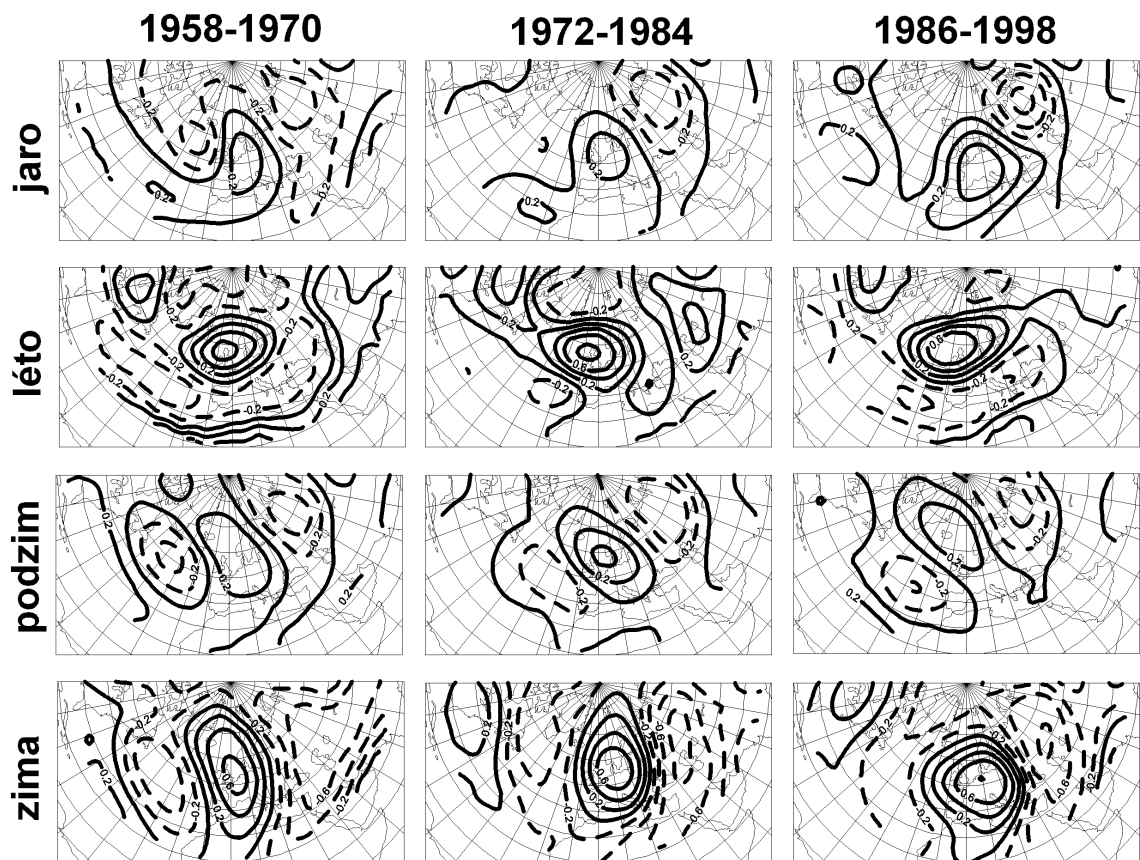
Mod EU2 se v zimě nad Evropu mění pouze málo, jedinou významnější změnou je postupné zeslabování západního centra záporných anomálií nad Atlantikem a posun Dánského centra jihovýchodním směrem v letech 1986-1998 (obr. 4.18, spodní řádek). Významnější vliv na změnu korelací se srážkami a teplotou může mít růst jeho intenzity.

4.5.3. Proměnlivost vlivu EU2 modu na klimatické prvky v létě

Celkové korelace s teplotami mají podobné rozložení jako v zimě. Statisticky významně kladné korelace jsou v jižní Skandinávii, západní Evropě, na Britských ostrovech a na východě Islandu. Významně záporné korelace se nacházejí na Balkáně a na rozdíl od zimy i na západním pobřeží Islandu (obr. 4.19a). Celkové korelace se pohybují v rozmezí od -0,4 v Larise (Gre) po 0,58 v Birru (Ire).

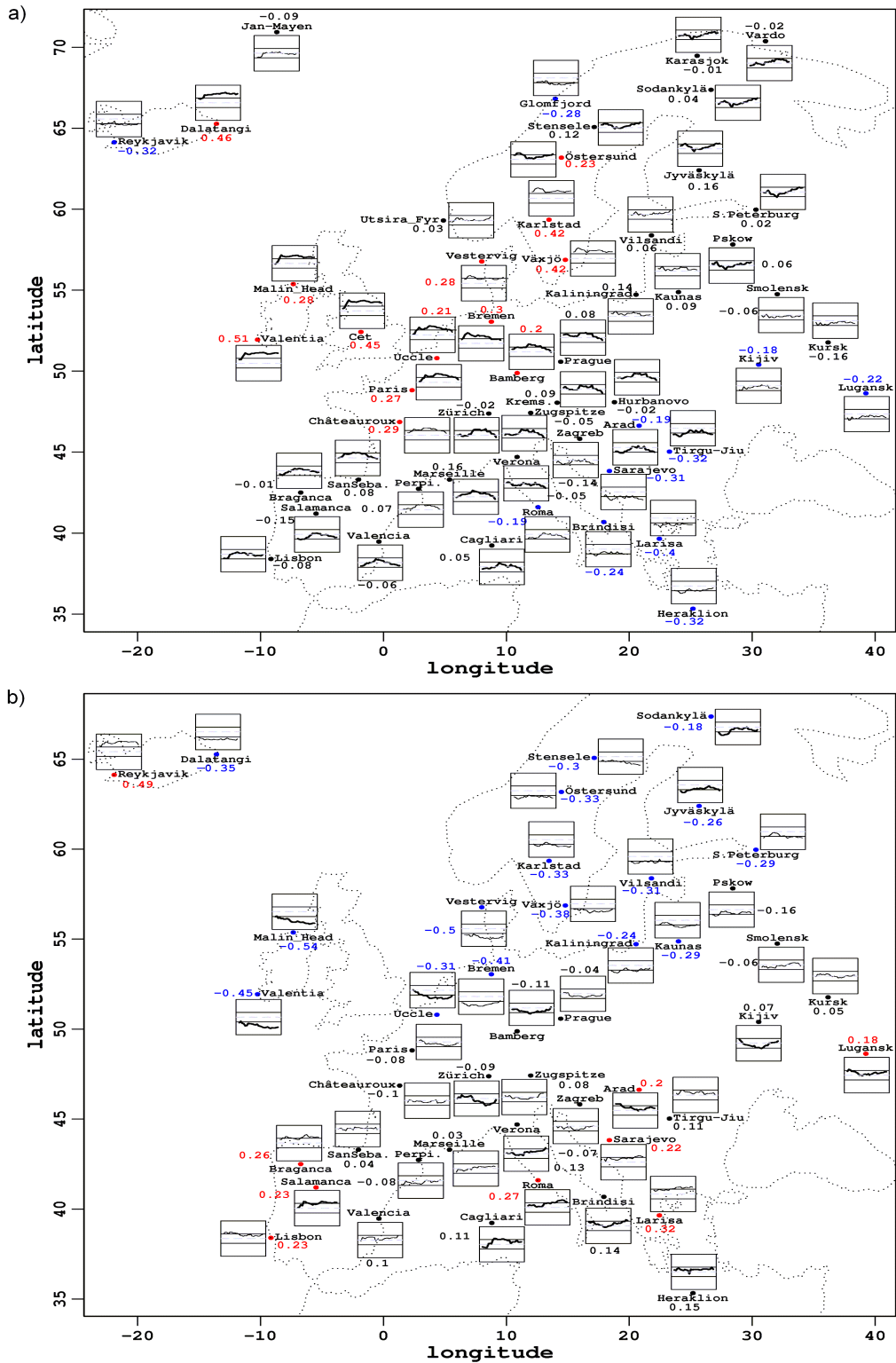
Pokud se podíváme na změny klouzavých korelací, se situace oproti zimě liší. Změny korelací jsou významné na více než polovině stanic. Shlukovou analýzou jsem našla 3 typy průběhu korelací. Průběhy korelací ve shluku 1 a 2 jsou do značné míry podobné, korelace rostly zhruba do počátku 80. let a pak klesaly. Oba shluky se liší hlavně na začátku sledovaného období. Ve shluku 1 se na začátku období korelace nemění, ve shluku 2 výrazně rostou. Ve shluku 1 jsou stanice na Balkáně, ve východní Evropě a nejsevernější stanice Evropy. Do shluku 2 patří Britské ostrovy, Pyrenejský poloostrov, západní a střední Evropa. Ve třetím shluku jsou stanice ve Skandinávii a v okolí Baltského moře. Jejich korelace na začátku rostou, na přelomu 60. a 70. let klesají a pak opět mírně a vytrvale rostou.

V letním období se nejspíše nejedná o EU2 mod v pravém smyslu slova, ale spíše o odnož NAO s posunutím severního akčního centra nad Britské ostrovy (obr. 4.18, druhý řádek). Struktura NAO je patrná zejména v období 1958-1970 a 1986-1998, kdy je dobře vyvinuto jižní akční centrum. Centrum nad Britskými ostrovy je nejlépe vyjádřeno v období 1972-1984, kdy jižní centrum chybí. Průběh korelací ve shluku 2 a částečně 1 ve vztahu s teplotami lze do značné míry vysvětlit právě dominancí anticyklony v oblasti Britských ostrovů a západní Evropy v kladné fázi EU2 v období 1972-1984. Klouzavé korelace odpovídající roku 1978 jsou kladné, na hranici statistické významnosti.



Obr. 4.18 Jako obr. 4.3, ale pro EU2 mod.

Fig. 4.18. As Fig. 4.3, except for EU2 mode.



Obr. 4.19 Jako obr. 4.2a, ale pro EU2 mod a) teploty v létě, b) srážky v létě.

Fig. 4.19. As Fig. 4.2a, except for EU2 mode and a) temperature in summer, b) precipitation of in summer.

Celkové korelace se srážkami se pohybují od $-0,58$ v Nordby (Den) po $0,49$ v Reykjavíku (Ice). Oproti zimě se významně záporné korelace omezují na Skandinávii, Pobaltí, Dánsko a Britské ostrovy. Celkové významně kladné korelace jsou na Balkáně, v západní části Pyrenejského poloostrova a západní části Islandu (obr. 4.19b). Za zmínku stojí velký rozdíl mezi západní a východní částí Islandu.

Průběh korelací se mezi stanicemi značně liší. Shlukovou analýzou byly nalezeny 4 shluky, které ale nejsou dobře prostorově ohraničeny. Ve shluku 1 jsou stanice, jejichž korelace klesaly do poloviny 70. let a pak se téměř neměnily. Patří sem několik stanic ve střední a západní Evropě (např. Curych, Uccle), na Balkáně (např. Arad) a na Britských ostrovech (např. Malin Head). Ve shluku 2 jsou korelace, které do poloviny 70. let mírně klesaly a pak rostly. Do této skupiny patří stanice ze západní, střední i východní Evropy a z Balkánu (např. Bamberg, Kyjev). Do shluku 3 patří stanice ve Skandinávii, Dánsku a na Britských ostrovech (např. Valentia, Stensele), kde korelace mírně klesaly po celé období. Ve 4. shluku jsou stanice v jižní části Evropy a v Pobaltí (např. Marseille, Jyväskylä), jejichž korelace rostly do počátku 80. let a pak se téměř neměnily nebo klesaly.

4.5.4. Proměnlivost vlivu EU2 s klimatickými prvky na jaře a na podzim

Celkové korelace s teplotami jsou na jaře statisticky významně kladné na Britských ostrovech, v západní a střední Evropě. Významně záporné hodnoty se nevyskytují. Maximální hodnota $0,36$ byla zjištěna v San-Sebastianu (Spa) a minimální $-0,07$ v Lugansku (Ukr). Korelace na jaře na všech stanicích rostou nebo jsou téměř beze změn (neukázáno). Významné změny korelací jsou na Pyrenejském poloostrově, v Řecku, v Irsku v Luganu (Swi).

Na podzim jsou celkové korelace s teplotami významně kladné pouze na Islandu, na irských stanicích Malin Head a Valentia a na alpských horských stanicích Zugspitze (Ger) a Säntis (Swi), s maximální hodnotou $0,28$ na Dalatangi (Ice). Jediná významně záporná korelace je na norském Bjørnøya ($-0,19$). Klouzavé korelace na podzim na všech stanicích postupně klesají. Na většině stanic byly klouzavé korelace do poloviny 70. let statisticky významně kladné. Statisticky významný pokles korelací proběhl na stanicích v západní části Pyrenejského poloostrova, na Britských ostrovech a na stanicích Bourges (Fra), Hohenpeissenberg (Ger), Zugspitze (Ger), Zagreb (Cro) a Hurbanovo (Slk).

Celkové korelace se srážkami na jaře jsou téměř na všech stanicích záporné, přičemž statisticky významné jsou v jižní Skandinávii, v západní Evropě, v Itálii a na Balkáně (obr.

20a). Minimální hodnota je v Östersundu (Swe) $-0,3$ a maximální v Vestmannaeyjaru (Ice) $0,15$.

Shluková analýza odhalila 3 typy průběhu klouzavých korelací (obr. 20b, c). Ve shluku 1 jsou stanice v okolí Baltského moře a na Balkáně, jejichž korelace do počátku 80. let rostly a pak mírně klesaly. Ve shluku 2 jsou stanice, jejichž korelace se měnily jen málo, většinou do poloviny 70. let mírně rostly a pak mírně klesaly, patří sem stanice na Islandu, ve Skandinávii, ve východní Evropě, několik stanic na Pyrenejském poloostrově a Balkáně a stanice v Dánsku. Ve třetím shluku jsou korelace, které téměř po celé sledované období klesaly a nejsilnější pokles proběhl počátkem 80. let. Tyto stanice leží zejména na Britských ostrovech, v západní a střední Evropě a na Pyrenejském poloostrově.

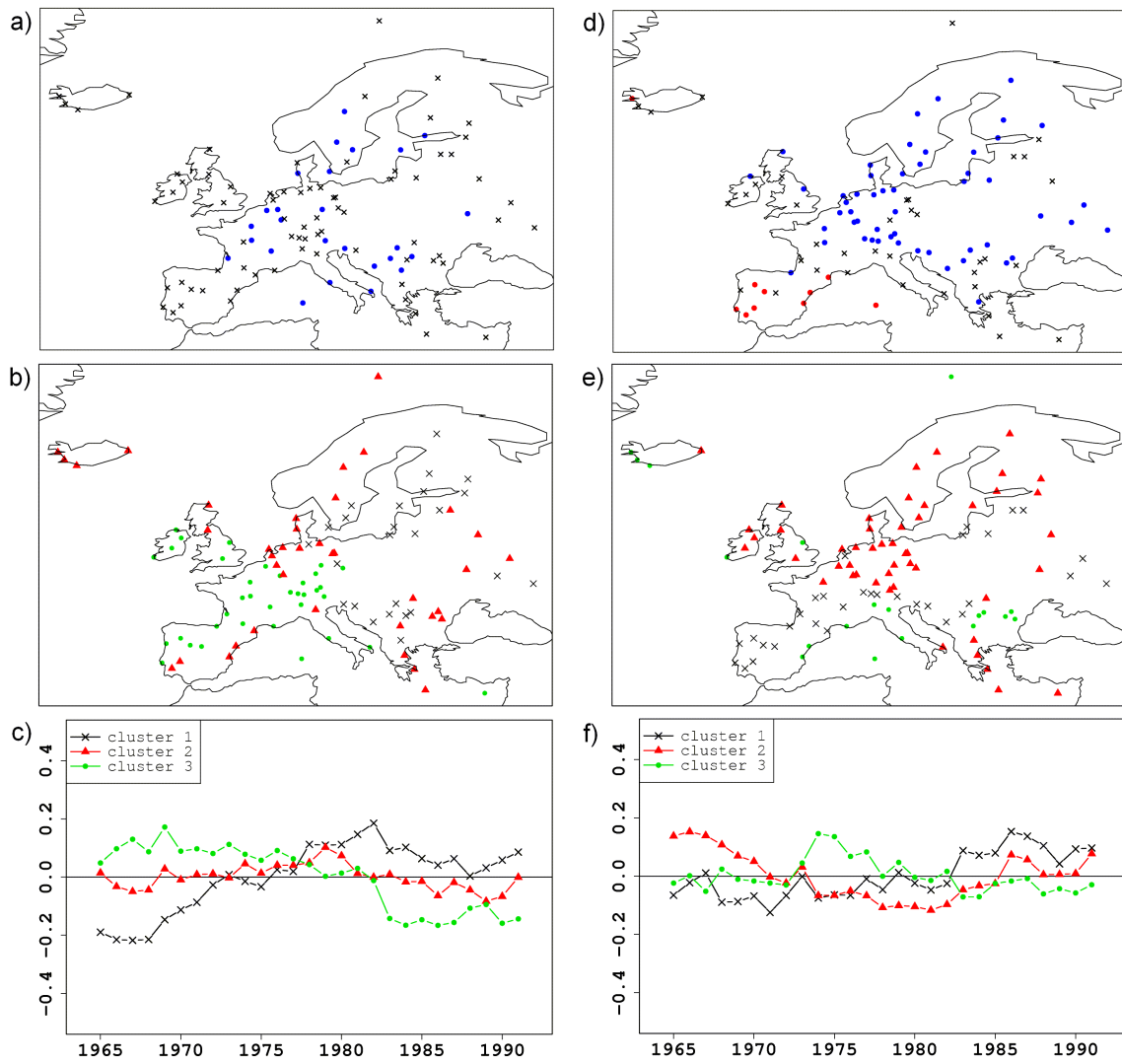
Na podzim se celkové korelace se srážkami pohybují od $-0,42$ v Helsinkách (Fin) po $0,31$ ve Valencii (Spa). Významně záporné korelace zabírají velkou část Evropy přes Skandinávii, Britské ostrovy, západní a střední Evropu, sever Balkánu, až po východní Evropu. Významně kladné hodnoty jsou omezeny na Pyrenejský poloostrov (obr. 20d).

Významné změny korelací se objevují na Islandu, Pyrenejském poloostrově, severu Balkánu a v okolí Baltského moře. Shluková analýza našla 3 typy průběhů korelací (obr. 4.20e, f). V prvním shluku jsou korelace téměř beze změn nebo mírně rostou po celé období. Patří sem stanice na Pyrenejském poloostrově, ve Francii, v oblasti Alp, severozápadním Balkánu, ve východní Evropě a v Pobaltí. Ve shluku 2 jsou korelace, které do počátku 80. let klesaly a pak rostly. Patří sem stanice ve Skandinávii, na Britských ostrovech, v Dánsku, ve střední Evropě a Řecku. Ve 3. shluku je několik zbývajících stanic na Islandu, v severním Balkánu a v jižní Evropě. Korelace na těchto stanicích do poloviny 70. let rostly a pak pozvolna klesaly.

4.6. Severoasijský mod v zimě

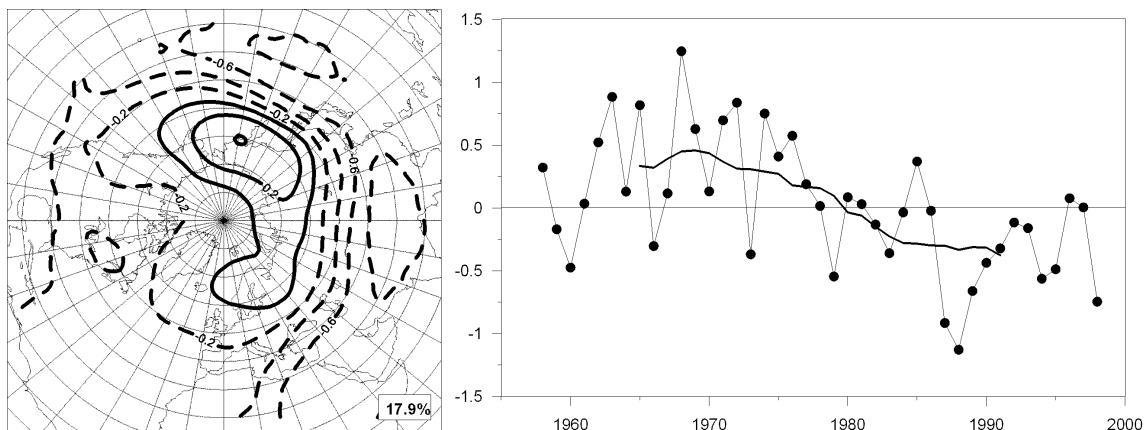
Severoasijský mod (NA) mod ovlivňuje klimatické prvky v Evropě pouze v zimním období. Jeho nejsilnější akční centrum leží nad severovýchodní Asií (60° s.š., 160° v.d.) a v zimním období zasahuje až nad Evropu (obr. 4.21). Centrum opačného znaménka se nachází nad subtropickým Pacifikem (25° s.š., 160° v.d.) a nad Himalájemi (30° s.š., 90° v.d.).

Pokud se podíváme na příslušnou časovou řadu, zjistíme, že do poloviny 70. let se NA mod nacházel spíše v kladné fázi a od počátku 80. let spíše v záporné. NA vysvětluje 17,9% celkového rozptylu a v zimním období je nejsilnějším modem.



Obr. 4.20 Jako obr. 4.6, ale pro EU2 mod a a) – c) srážky na jaře, d) – f) srážky na podzim.

Fig. 4.20. As Fig. 4.6, except for EU2 mode and a) – c) precipitation in spring, d) – f) precipitation in autumn.



Obr. 4.21 Severoasijský mod (NA) v hladině 500 hPa v zimě. Izočáry zobrazují korelace mezi indexem NA modu a polem geopotenciální výšky hladiny 500 hPa a jsou vykresleny v intervalu 0,2. Kladné (záporné) korelace jsou znázorněny plně (čárkovaně). Vpravo je příslušná časová řada indexu NA modu.

Fig. 4.21. The Northern Asian pattern (NA) at the 500 hPa level in winter, in terms of correlations of its index with the 500 hPa heights. The contour interval is 0.2. Positive (negative) values are indicated by solid (dashed) lines. In the right are relevant time series of NA index.

Celkové korelace s teplotou se pohybují od $-0,43$ v Brindisi (It) po $0,07$ v Badajozu (Spa). Statisticky významně záporné korelace jsou na stanicích ležících mezi 50 a 60° s.š., na nejnižnějších stanicích, ve východní části Balkánského poloostrova a na stanici Vardo (Nor). Na obr. 4.22a můžeme vidět dva základní průběhy korelací. Korelace na stanicích ve východní části Evropy byly do počátku 80. let téměř beze změn a pak začaly růst. Korelace na ostatních stanicích tvoří jakousi vlnu: rostly do poloviny 70. let, pak klesaly o od poloviny let 80. opět rostly. Toto potvrdila i shluková analýza (neukázáno).

Celkové korelace se srážkami se pohybují od $-0,43$ v Kaunasu (Lit) po $0,12$ na Heraklionu (Gre). Rozložení celkových korelací je podobné jako v případě teplot, korelace jsou významně záporné na evropských stanicích severně od 45° s.š. a na několika stanicích na Pyrenejském poloostrově a na Balkáně (obr. 4.22b).

Významné změny korelací se nalézají zejména na Pyrenejském poloostrově, ve Skandinávii a ve východní Evropě. Analýza shluků našla 4 typy průběhů korelací (neukázáno). V prvním shluku jsou stanice na Balkáně a na severovýchodě Pyrenejského poloostrova, jejichž korelace mírně rostly do poloviny 80. let a pak klesaly. Ve druhém shluku jsou naopak korelace, které do poloviny 80. let klesaly a pak rostly. Patří sem stanice ve střední Evropě a na západě Pyrenejského poloostrova. Ve třetím shluku jsou korelace, které po celé období mírně klesaly, tyto stanice se nacházejí na Britských

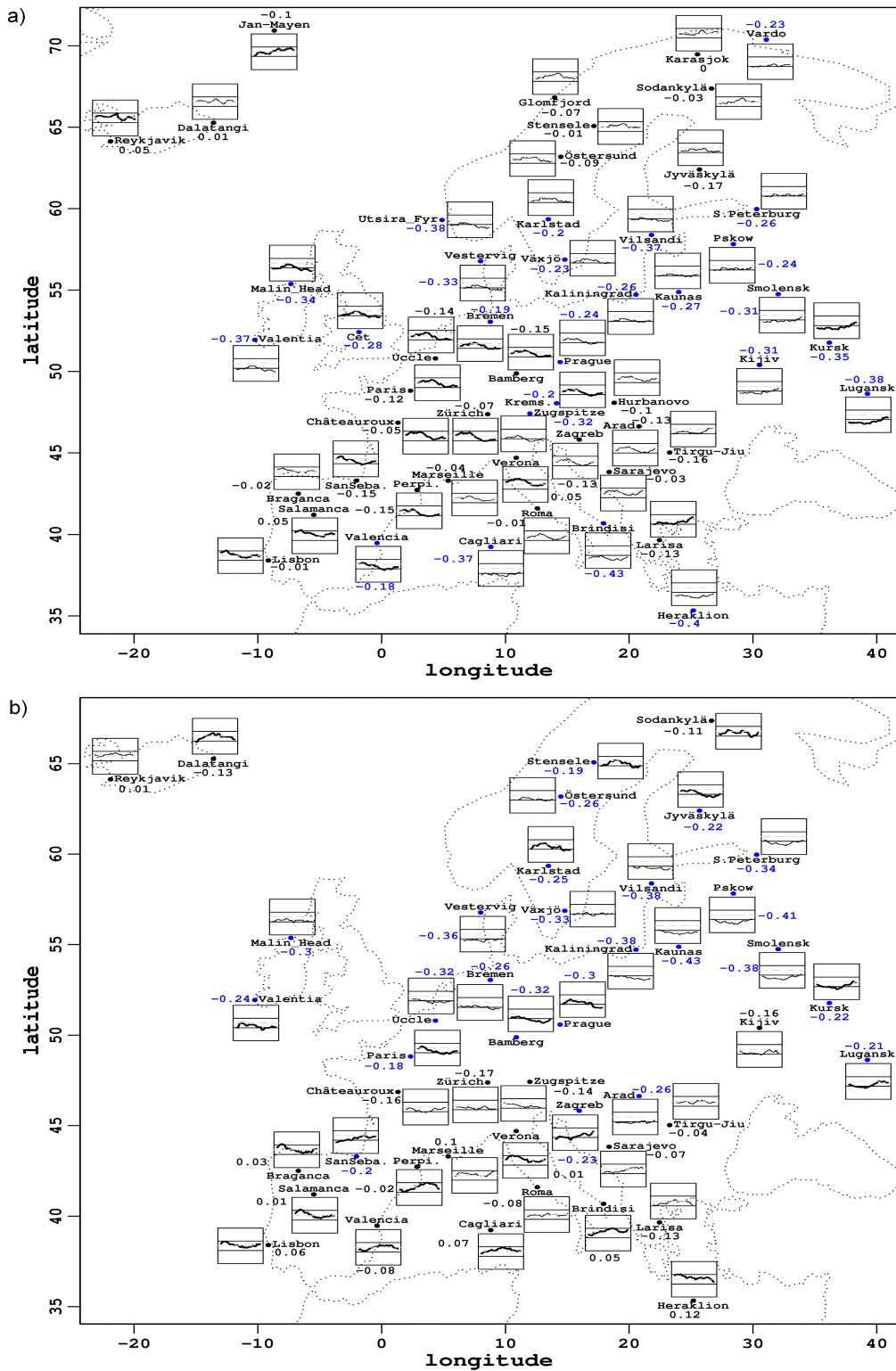
ostrovech, ve Skandinávii, v okolí Baltského moře a v západní Evropě. V posledním shluku jsou stanice ve východní Evropě, jejichž korelace byly do poloviny 70. let téměř beze změn a pak rostly.

Na obrázku 4.23 je vidět vývoj NA modu během tří nepřekrývajících se období. V období 1958-70 se nad Islandem rozprostírá kladná anomálie, která zasahuje až k Pyrenejskému poloostrovu a nad severovýchodní Skandinávií je přerušena slabou zápornou anomálií, a tudíž přímo nenavazuje na kladné centrum nad severní Asií. V období 1972-1984 asijské kladné centrum zasahuje bez přerušení nad velkou část Evropy. A v posledním období 1986-1998 se kladná anomálie nad Evropou značně zeslabila a až k Britským ostrovům zasahovaly záporné anomálie. Tyto změny v tlakovém poli ovlivňují klouzavé korelace jak s teplotou, tak se srážkami.

4.7 Diskuse

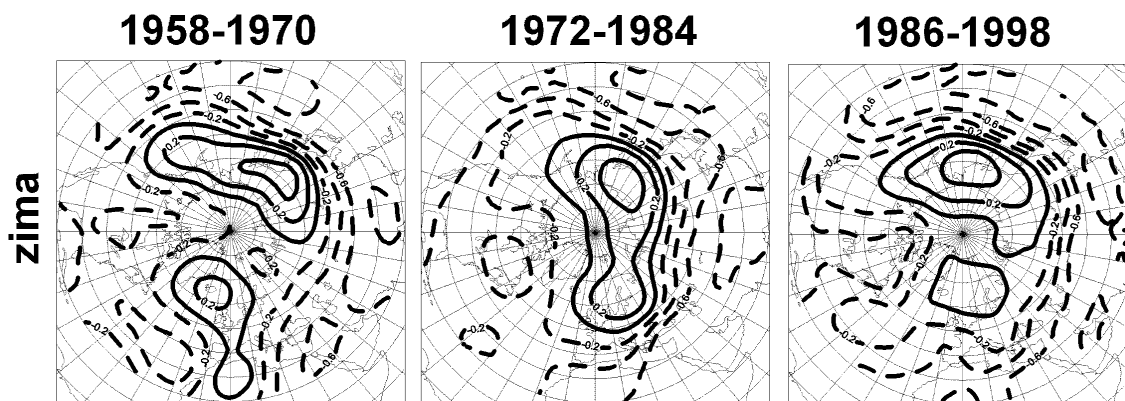
4.7.1 Vliv nehomogenit na průběh klouzavých korelací

Polovina teplotních řad byla v projektu ECA (podrobné informace v kapitole 2.5) klasifikována jako „podezřelá“ („suspect“, dále budu značit jako S), což znamená, že v sobě mohou řady obsahovat nějaké nehomogenity. Proto se podívejme na rozdíl v chování klouzavých korelací mezi blízkými stanicemi, z nichž jedna byla klasifikována jako „užitečná“ („useful“, dále jako U), čili jako homogenní a druhá jako S. Pro ilustraci se zaměříme na vztah teplot s NAO v zimním období (obr. 4.2). Takovými blízkými stanicemi jsou Châteauroux (U), Curych (S) a Paříž (S). Při podrobnějším pohledu zjistíme, že průběh korelací na těchto stanicích je stejný, tedy, že vliv případných nehomogenit není patrný. Dále můžeme porovnat stanice Brémy (U), Kremsmünster (U), Praha (S) a Bamberg (S), i tyto stanice mají stejný průběh klouzavých korelací. Na Balkáně si všimněme stanic Arad (U), Záhřeb (S) a Tirgu-Jiu (S), i tyto stanice mají do značné míry podobný průběh klouzavých korelací, i když korelace v Aradu neprodělaly tak velké změny jako na zbývajících dvou stanicích. Zůstává otázkou, zda rozdíly v průbězích korelací mezi těmito stanicemi jsou způsobeny nehomogenitou v teplotních řadách nebo spíše orografií této oblasti (např. přítomností hor).



Obr. 4.22 Jako obr. 4.2a, ale pro NA mod a) teploty, b) srážky v zimě.

Fig. 4.22. As Fig. 4.2a, except for NA mode and a) temperature, b) precipitation in winter.



Obr. 4.23 Korelace mezi indexem NA modu a geopotenciálními výškami hladiny 500hPa v zimě pro tři různá 13 letá období, zleva doprava: 1958-1970, 1972-1984 a 1986-1998; interval mezi izočárami je 0,2. Záporné izočáry jsou čárkovaně.

Fig. 4.23. Correlations between index of the NA mode and 500hPa height level in winter for three different 13-yr periods, from left to right: 1958-1970, 1972-1984 a 1986-1998; contour interval is 0.2. Negative contours are dashed.

Na stránkách ECA lze nalézt body nehomogenit zjištěné statistickými testy. U stanice Arad, i když je označena U, jeden test ze čtyř testů zjistil nehomogenitu v letech 1972 a 1976. Na stanici Tirgu-Jiu byla jedním testem zjištěna nehomogenita v roce 1960 a dvěma testy v roce 1972 a 1981. Na stanici Záhřeb je jedním testem zjištěna nehomogenita v roce 1986 a všemi čtyřmi testy v roce 1961. Je možné, že v datech Záhřeb a Tirgu-Jiu jsou v teplotní řadě skutečné nehomogenity a nehomogenita v roce 1961 je společná pro obě řady, proto se dané stanice mohou chovat stejně.

Jelikož jsou průběhy korelací většinou dobře rozložené do geografických oblastí, domnívám se, že případné nehomogenity v teplotních řadách nemají na průběh korelací velký vliv.

4.7.2 Výběr oblastí se stabilním vztahem

Jednou z možných aplikací této studie je statistický downscaling, který pro určení lokálního klimatu používá statistické metody aplikované na prvky velkého (kontinentálního) měřítko. Pro downscaling je důležitá stacionarita vztahů mezi prediktorem a prediktandem. Jedním z prediktorů bývají módy cirkulační proměnlivosti. Díky této studii můžeme nalézt oblasti, na které má nějaký cirkulační mod silný vliv (vysoká celková korelace) a zároveň se vliv tohoto modu nemění v čase (nemá statisticky významné změny korelací). Dále budu tyto oblasti označovat jako oblasti se stabilním vztahem.

V zimní sezóně pro teploty i srážky se dá nalézt takovýchto oblastí poměrně dost. Teploty ve Skandinávii stabilně ovlivňují NAO, EU2 mod a v severní části i EU1 mod, teploty s těmito mody korelují kladně. Srážky ve Skandinávii ovlivňuje EU1 mod, korelace jsou záporné. Na Islandu jsou teploty pod vlivem EU2 modu a srážky pod vlivem EU1 modu. Teploty v Pobaltí ovlivňuje NAO a NA mod, srážky mody EU1 a NA. Teploty na Britských ostrovech ovlivňuje NAO a EU2 mod, srážky pouze EU2 mod. V západní Evropě jsou teploty pod vlivem EA modu a srážky pod vlivem EU2 modu. Teploty ve střední Evropě nemají stabilní vztah s žádným z modů, srážky ovlivňují EU1 a EU2 mody. Teploty na Balkánském poloostrově jsou pod vlivem EA modu, pro srážky jsem nenalezla žádný stabilní vztah. Žádný stabilní vztah pro srážky nebyl nalezen ani ve východní Evropě, ale teploty v této oblasti ovlivňuje NAO. Poslední oblast, na kterou jsem se zaměřila je Pyrenejský poloostrov. Teploty zde a v Itálii ovlivňuje EA mod, EU2 mod má stabilní vliv pouze v západní části Pyrenejského poloostrova. Srážky na západě Pyrenejského poloostrova ovlivňuje NAO, na celý poloostrov má stabilní vliv EU2 mod.

V letním období je vliv cirkulačních modů na klimatické prvky obecně menší oproti zimě a zároveň jsou vztahy méně stabilní v čase. Přesto se podařilo nalézt některé oblasti, na které mají stabilní a silný vliv cirkulační mody. Teploty ve Skandinávii stabilně ovlivňuje EU1 mod a srážky mod EU2. Srážky na Islandu jsou pod vlivem EU2 modu. Teploty v Pobaltí ovlivňuje EA mod a srážky EU2 modu. Teploty ve střední Evropě ovlivňují NAO a EA mod, pro srážky nebyl nalezen žádný stabilní vztah. Srážky ve východní Evropě jsou pod vlivem EA modu. Teploty na Pyrenejském poloostrově ovlivňují NAO a EA mod. Pro oblast Britských ostrovů, západní Evropy a Balkánu nebyl pro teplotu ani pro srážky nalezen žádný stabilní a zároveň významný vztah.

Situace na jaře i na podzim je problémová. Na jaře jsou teploty stabilně a významně ovlivňovány v západní a střední Evropě modem EU2. Pro srážky nebyla nalezena žádná ucelená oblast, kde by byl vliv některého z modů dostatečně velký a zároveň stacionární. Na podzim se dá stabilní vliv na teploty nalézt pouze na Islandu, jeho teploty jsou pod vlivem EU2 modu. Srážky na severu Skandinávie jsou pod vlivem EA modu.

4.8. Shrnutí kapitoly 4

V kapitole 4 jsem analyzovala vztahy mezi pěti cirkulačními mody a teplotami a srážkami v Evropě během období 1958-98. V každé sezóně je třeba pohlížet na cirkulační mod jako na samostatný a nezávislý vůči předchozí nebo následné sezóně. Většinou se

chování v jednotlivých sezónách pro stejný mod liší. Liší se i prostorové rozložení průběhu korelací do tříd.

Časový průběh klouzavých korelací s teplotou se v zimě a v létě mezi různými oblastmi Evropy liší, vždy existuje oblast, kde je vliv daného modu statisticky významný. Pomocí shlukové analýzy se podařilo najít prostorově souvislé třídy. V zimním období se jako mod s nejstabilnějším vlivem na teploty jeví EU2 mod a v létě mod EU1, v obou případech byly zjištěny významné změny klouzavých korelací na méně než třetině stanic. Naopak nejméně stabilní vliv na teploty má v létě mod EU2, významné změny klouzavých korelací byly zjištěny na více než dvou třetinách stanic. V zimním období je vliv cirkulačních modů na teploty obecně stabilnější, protože pro žádný zkoumaný mod nebyly nalezeny významné změny korelací na více než dvou třetinách stanic.

Teploty v Evropě na jaře vůbec neovlivňují mody EA a EU1 a na podzim EA a EU2 (v žádné oblasti Evropy nebyly nalezeny významné celkové korelace s teplotou). Nejstabilnější vliv na teploty mají na jaře mody EA, EU1 a EU2 a na podzim mody EA a EU2. Naopak nejméně stabilní vliv má na jaře NAO (významné změny byly zjištěny na všech stanicích) a na podzim NAO a mod EU1. Chování klouzavých korelací s teplotami se na jaře a na podzim mezi stanicemi tolik nemění.

Každý ze zkoumaných modů ovlivňuje srážky v Evropě. Chování klouzavých korelací se srážkami je pro všechny mody a ve všech ročních obdobích méně prostorově souvislé, průběh korelací mezi blízkými stanicemi se dost často liší a třídy vzniklé shlukovou analýzou nejsou většinou dobře geograficky vymezeny. Významné změny klouzavých korelací se srážkami na méně než 1/3 stanic byly zjištěny pro EU2 mod v zimě a NAO na podzim. Naopak významné změny na více než 2/3 stanic byly zjištěny pro mod EA v létě.

Pokud se podíváme na rozložení shluků tvořených podle průběhů korelací, můžeme rozlišit zonálně a meridionálně tvořené třídy. Mezi zonálně uspořádané třídy lze zařadit průběh klouzavých korelací mezi modem EA a srážkami v zimě a v létě a vliv NAO na teplotu v zimě. Naopak mezi meridionálně tvořené třídy patří vliv EA modu na teploty v létě a vliv modů EU1 a EU2 na teploty v zimě.

Změny klouzavých korelací jsou do značné míry ovlivněny intenzitou vlastního modu a změnou polohy a tvaru akčních center. Pro zjištění dalších možných příčin změn vztahů mezi cirkulačními mody a přízemními prvky by byla potřeba řada dalších analýz, které jsou nad rámec této práce.

5. Časová proměnlivost vlivů cirkulačních modů na klimatické prvky v České republice

5.1. Použité postupy

V této kapitole byly použity stejné cirkulační módy (NAO, EA, EU1, EU2 a NA) jako v kapitole 4. Měsíční průměrné hodnoty 11 klimatických prvků z 21 stanic v ČR jsou z období 1961-98. Popis těchto klimatických řad je v kapitole 2.7.

Pro kvantifikaci vztahů mezi cirkulačními módy a klimatickými prvky jsem opět použila Pearsonův korelační koeficient (r). Časovou proměnlivost vztahů jsem analyzovala pomocí klouzavých korelací s 15 letým oknem. Časové okno bylo posouváno s krokem 1 rok a výsledná korelace byla přiřazena do středu okna.

Počty statisticky významných celkových korelací a statisticky významných změn klouzavých korelací mezi cirkulačními módy a přízemními klimatickými shrnuje tab. 5.1. Zvýrazněny jsou hodnoty odpovídající nadpolovičnímu počtu použitých stanic.

Výsledky pro každý mod diskutuji odděleně po sezónách a vybírám jen ty klimatické prvky, které mají významné celkové korelace nebo významné změny klouzavých korelací na více než polovině stanic. Na obrázcích jsou pro jednotlivé cirkulační módy znázorněny průběhy klouzavých korelací s vybraným klimatickým prvkem a vybranou stanicí pro všechny sezóny (jaro je znázorněno zeleně, léto červeně, podzim černě a zima modře). Vybraná stanice vždy reprezentuje typický průběh klouzavých korelací na většině zkoumaných stanic.

5.2. Severoatlantická oscilace

5.2.1. Vliv NAO na klimatické prvky v zimě

V zimních měsících se NAO při kladné fázi projevuje silným západním prouděním, které přináší do střední Evropy teplý vlhký vzduch z Atlantiku, což se projevuje statisticky významnými korelacemi s maximální, minimální a průměrnou teplotou, se zonální i meridionální složkou větru a úhrnem srážek. Významné změny v průběhu klouzavých korelací jsou ve vztahu s teplotami, zonální a meridionální složkou větru (tab. 5.1).

Celkové korelace s maximální, minimální i průměrnou teplotou dosahují téměř stejných hodnot. Pohybují se v rozmezí od 0,48 na stanici Holešov do 0,63 na stanici Milešovka. Vyšší hodnoty se vyskytují na stanicích v Čechách, nižší na Moravě. Korelace s teplotami nejsou stabilní v čase. Jak je vidět na obr. 5.1a,b, korelace s maximální i minimální teplotou od začátku 70. let rostou, a to výrazněji pro maximální teplotu (v průměru o 0,34) v porovnání s minimální (v průměru o 0,28). Stejný průběh korelací byl

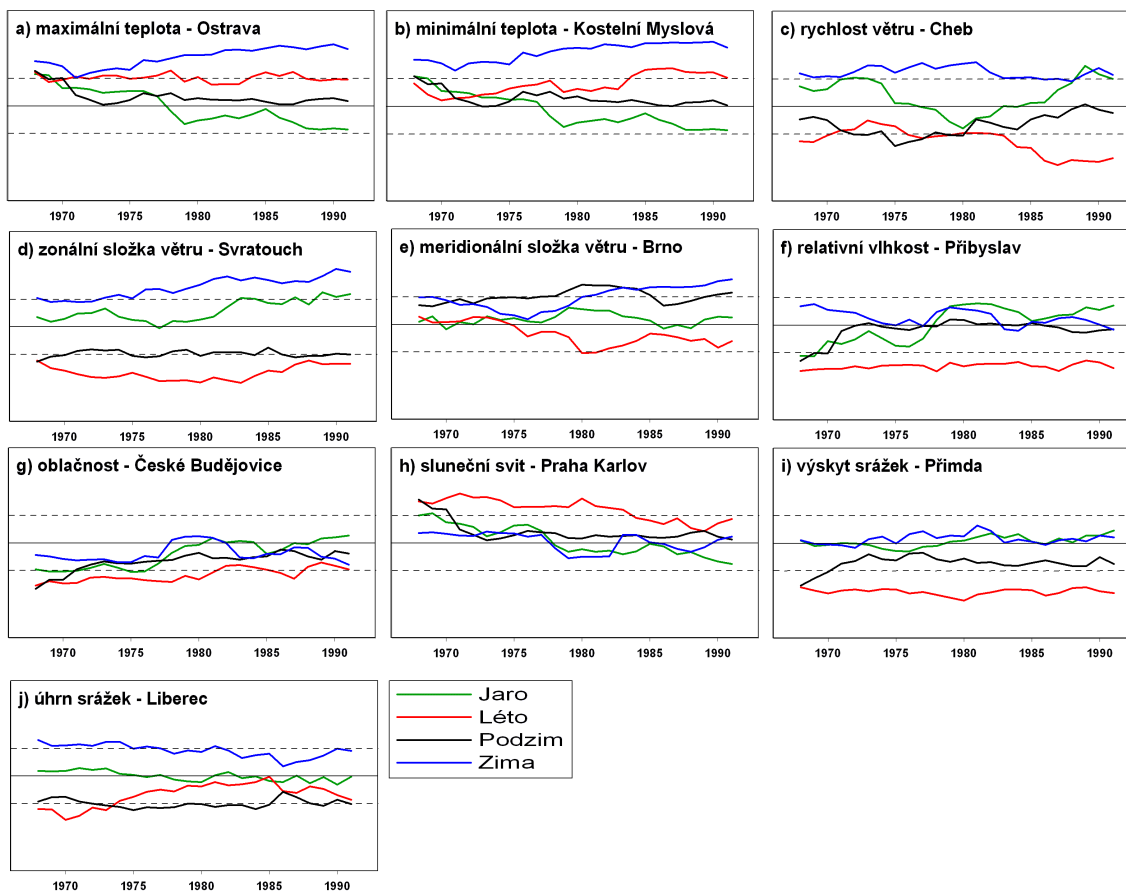
zaznamenán i pro průměrnou teplotu. Průběh korelací se mezi stanicemi téměř neliší. Toto zjištění odpovídá zjištění v kapitole 4.2.2, kde jsme zjišťovali průběh korelací pro celou Evropu.

Celkové korelace jsou statisticky významné i pro zonální a meridionální složku větru. Korelace se zonální složkou větru se pohybují od 0,21 ve Vyšším Brodě po 0,5 v Ostravě. Celkové korelace s meridionální složkou větru mají minimální hodnotu ve Svatouchu (0,03) a maximální v Ostravě (0,55). Při kladné fázi NAO, která je definována na obr. 4.1, proudí do střední Evropy vzduch od západu až jihozápadu, což způsobuje kladné celkové korelace jak se zonální, tak s meridionální složkou větru (zonální složka větru je definována jako kladná při západním proudění, meridionální složka při jižním). V obou případech byly na většině stanic zjištěny i významné změny klouzavých korelací (obr. 5.1d, e). Průběh korelací se mezi stanicemi na většině stanic výrazně neliší, a tedy lze nalézt převládající průběh korelací, což je ilustrováno na obr. 5.2. Korelace se zonální složkou větru rostly po celé sledované období. Naproti tomu korelace s meridionální složkou větru nejprve klesaly a začaly růst až od poloviny 70. let. Toto chování lze vysvětlit posunem jižního akčního centra na východ (obr. 4.3, dolní řada), což způsobilo zesilování vztahu se zonální složkou větru a změny v korelacích s meridionální složkou. V období 1958-1970 při kladné fázi NAO proudil do střední Evropy vzduch spíše od severozápadu, zatímco v ostatních bylo proudění spíše jihozápadní.

Tab. 5.1 Počty stanic se statisticky významnými celkovými korelacemi / změnami klouzavých korelací. Tučně jsou vyznačeny nadpoloviční počty stanic.

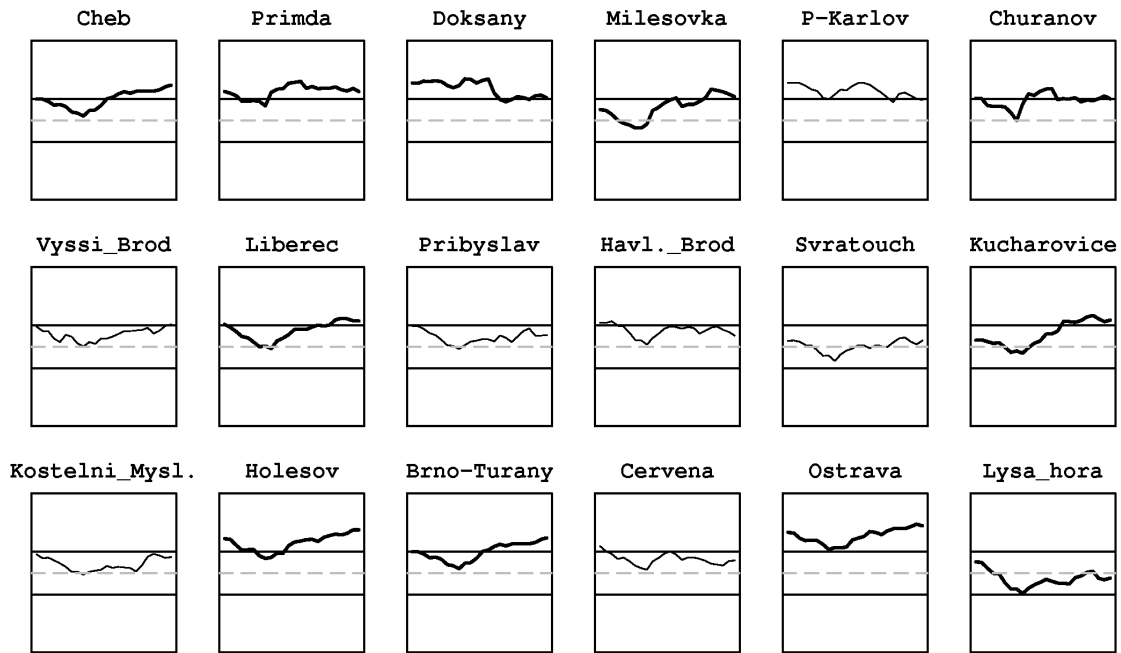
Tab. 5.1. Numbers of stations with statistically significant correlation coefficients / changes of running correlation coefficients. Numbers for more stations than a half are in bold.

mod období	NAO				EA				EU1				EU2				NA zima
	jaro	léto	podz.	zima	jaro	léto	podz.	zima	jaro	léto	podz.	zima	jaro	léto	podz.	zima	
prům. teplota	0/18	17/0	1/14	18/18	0/0	18/11	0/4	18/16	0/0	0/0	0/18	0/18	4/0	1/18	0/10	4/0	18/18
max. teplota	0/15	15/0	2/15	15/15	0/0	15/11	0/2	15/11	0/0	0/0	0/15	0/14	8/0	1/14	0/9	8/0	5/15
min. teplota	0/15	9/7	1/2	15/14	0/0	11/6	0/6	15/13	0/0	8/0	0/15	1/15	3/0	0/1	0/11	3/0	15/14
rychlost větru	5/11	9/8	5/12	7/8	6/9	1/8	1/11	8/9	8/10	7/6	8/12	11/6	0/7	5/7	7/9	5/9	4/2
zonální vítr	16/12	18/7	18/2	18/14	2/3	1/18	13/18	11/18	18/12	18/12	19/7	19/15	0/10	17/5	13/7	0/14	11/2
merid. vítr	0/11	8/12	12/3	14/11	16/9	1/15	16/11	17/9	10/5	1/3	9/16	12/14	1/7	17/6	5/8	4/11	4/8
vlhkost	0/14	14/3	3/13	1/6	2/0	13/12	1/5	2/8	1/14	5/1	3/11	6/12	11/4	2/14	1/3	8/5	10/14
oblačnost	1/8	16/3	15/10	1/3	2/3	16/4	0/7	2/15	0/14	0/0	1/7	3/15	16/14	0/16	12/3	14/9	4/16
sluneční svit	0/14	14/10	6/14	1/3	0/0	14/4	0/4	3/10	1/6	3/0	0/13	3/13	14/1	1/14	2/2	11/2	12/13
výskyt srážek	0/2	18/4	18/9	0/0	3/10	9/5	2/11	12/16	10/14	0/10	1/9	18/10	12/12	7/18	13/13	18/3	9/4
úhrn srážek	0/4	14/11	16/1	9/3	1/3	1/6	1/6	2/20	2/15	15/5	5/15	17/2	2/10	2/13	17/16	15/4	20/17



Obr. 5.1 Průběhy 15 letých klouzavých korelací pro NAO a a) maximální teplotu, b) minimální teplotu, c) rychlost větru, d) zonální složku větru, e) meridionální složku větru, f) relativní vlhkost, g) oblačnost, h) sluneční svit, i) výskyt srážek a j) úhrn srážek. Plná vodorovná čára uprostřed grafu značí nulovou hodnotu, přerušované čáry označují 5% hladinu statistické významnosti. Osa x jde od -1 do 1.

Fig. 5.1. 15-year running correlations between the NAO and a) maximum temperature, b) minimum temperature, c) wind speed, d) zonal wind, e) meridional wind, f) relative humidity, g) cloudiness, h) sunshine duration, i) occurrence of precipitation and j) precipitation amount. Solid horizontal line in the middle of graphs indicates zero value and dashed horizontal lines correspond to the 5% significance level. The vertical axis is from -1 to +1.



Obr. 5.2 Průběhy 15 letých klouzavých korelací pro NAO a meridiální složku větru na všech stanicích. Silnou čarou jsou zobrazeny průběhy se statisticky významnou změnou korelací. Přerušovaná vodorovná čára uprostřed grafu značí nulovou hodnotu, plné čáry označují 5% hladinu statistické významnosti. Horizontální osa je v rozmezí od 1965 (čemuž odpovídá období 1958-1972) po 1991 (~1984-1998), osa y jde od -1 do 1 .

Fig. 5.2. 15-year running correlations between the NAO and meridional wind at all stations. Thicker lines pick out the significant time changes of correlations. The dashed horizontal line indicating zero, the solid horizontal lines corresponding to the 5% significance level. The horizontal axis in graphs ranges from 1965 (corresponding to period 1958-1972) to 1991 (~1984-1998), the vertical axis is from -1 to $+1$.

Podívejme se ještě na situaci s rychlostí větru. Celkové korelace jsou významné pouze na 7 stanicích a změny klouzavých korelací na 8 stanicích, což je polovina použitých stanic. Průběh korelací s rychlostí větru se však mezi stanicemi značně liší. Na obr. 5.1c je znázorněna stanice Cheb, na které nebyly sice zjištěny významné změny korelací, ale průběh korelací se shoduje pouze s nízkou položenými stanicemi v Čechách. Na korelace s rychlostí větru má velký vliv místní orografie, a proto můžeme najít stanice, kde korelace po celé období spíše klesaly (Kostelní Myslová), a naopak, kde po celé období spíše rostly (Ostrava).

V zimním období byly zjištěny významné celkové korelace na polovině stanic i u úhrnu srážek (obr.5.1j). Korelace se pohybují od $-0,09$ v Ostravě po $0,3$ v Liberci. Významné celkové korelace se objevují na stanicích v Čechách, kromě Prahy a středních Čech, a na několika stanicích na Vysočině.

5.2.2. Vliv NAO na klimatické prvky v létě

V letním období při kladné fázi NAO se oblast střední Evropy nachází v centru kladných anomálií, což má významný vliv na všechny zkoumané klimatické prvky. Významné změny klouzavých korelací byly nalezeny u rychlosti větru a meridionální složky větru, slunečního svitu a úhrnu srážek.

Celkové korelace s maximální, minimální i průměrnou teplotou jsou na většině stanic statisticky významně kladné. Celkové korelace s maximální teplotou se pohybují v rozmezí od $0,27$ v Kuchařovicích po $0,38$ v Liberci. Stejně jako v zimě jsou vyšší korelace v Čechách a nižší na Moravě. U minimálních teplot se celkové korelace pohybují od $0,02$ ve Vyšším Brodě po $0,34$ na Milešovce a na 7 stanicích byly zjištěny významné změny klouzavých korelací (obr. 5.1b). Klouzavé korelace téměř po celé sledované období rostly, růst korelací je patrný na všech zkoumaných stanicích, liší se pouze intenzitou.

Celkové korelace s rychlostí větru jsou záporné a na 9 stanicích statisticky významné. Významné změny korelací byly zjištěny na 8 stanicích. Průběh korelací se opět mezi stanicemi velmi liší. Celkové korelace se zonální složkou větru se pohybují od $-0,24$ v Příbyslavi po $-0,45$ v Přimdě. Klouzavé korelace byly na většině stanic bez významných změn. Celkové korelace s meridionální složkou větru dosahovaly hodnot od $-0,04$ v Kostelní Myslové po $-0,37$ v Ostravě. V případě meridionálního větru byly zjištěny na více než polovině stanic významné změny korelací. Na většině stanic se až do počátku 80.

let zesilovala záporná korelace (obr. 5.1e), pak se zeslabovala. Na některých stanicích se ale zesilovala po celé sledované období (Cheb, Ostrava).

Celkové korelace s relativní vlhkostí a s oblačností jsou na většině stanic významně záporné. Naproti tomu korelace se slunečním svitem jsou významně kladné, a klouzavé korelace po celé období klesaly.

Z důvodu kladných anomálií NAO nad střední Evropou jsou také významně záporné korelace s výskytem a úhrnem srážek. Celkové korelace s výskytem srážek se pohybují od $-0,33$ v Kuchařovicích do $-0,56$ v Hradci Králové a významné změny klouzavých korelací byly zjištěny pouze na 4 stanicích. Celkové korelace s úhrnem srážek jsou v rozmezí od $-0,1$ v Chebu po $-0,36$ v Hradci Králové a významné změny korelací byly zjištěny na více než polovině stanic. Klouzavé korelace téměř po celé sledované období slábly.

5.2.3. Vliv NAO na klimatické prvky na jaře a na podzim

Na jaře se centra NAO oproti zimnímu období posouvají více na západ ke břehům Severní Ameriky. Střední Evropu ovlivňuje výběžek jižního kladného akčního centra. Celkové korelace se zkoumanými prvky jsou až na zonální vítr velmi slabé. Významné změny klouzavých korelací byly zjištěny ve vztahu se všemi zkoumanými prvky s výjimkou výskytu a úhrnu srážek. Na podzim má NAO podobný charakter jako v létě, nad střední Evropou se rozprostírá střed kladných anomálií. Celkové korelace jsou významné se složkami větru, oblačností, výskytem i úhrnem srážek. Významné změny korelací byly nalezeny ve vztahu s průměrnou a maximální teplotou, rychlostí větru, vlhkostí, oblačností, slunečním svitem a výskytem srážek.

Změny klouzavých korelací s maximální, minimální i průměrnou teplotou jsou na jaře na většině stanic statisticky významné. Na všech stanicích je průběh korelací téměř shodný, liší se nepatrně jen v intenzitě změny. Klouzavé korelace po celé období klesají, pohybují se od statisticky významně kladných hodnot k hodnotám záporným, které jsou na hranici statistické významnosti (obr. 5.1a, b). Na podzim se klouzavé korelace také chovají na všech stanicích stejně: do poloviny 70. let klesaly, pak rostly a od počátku 80. let zůstaly bez větších změn. Pouze u minimální teploty jsou změny klouzavých korelací menší, a proto nejsou na většině stanic statisticky významné.

Významné změny klouzavých korelací s rychlostí a složkami větru na jaře byly zjištěny na 11 až 12 stanicích. Průběh korelací s rychlostí větru se mezi stanicemi liší a průběh korelací nelze nijak zobecnit. Korelace se zonální složkou byly do poloviny 70. let bez větších změn a pak až do konce sledovaného období rostly. Naproti tomu klouzavé

korelace s meridionální složkou mírně rostly do počátku 80. let, pak klesaly a na konci období opět rostly. Průběhy korelací se složkami větru se mezi stanicemi výrazně neliší. Celkové korelace jsou statisticky významné pouze pro zonální složku větru a pohybují se od 0,11 v Kuchařovicích po 0,27 v Holešově.

Na podzim jsou celkové korelace se složkami větru významné a bez významných změn. Celkové korelace se zonální složkou větru jsou nejslabší v Ostravě (-0,1) a nejsilnější v Havlíčkově Brodě (-0,38), naproti tomu nejslabší korelace s meridionální složkou nacházíme na Churáňově (-0,04) a nejsilnější opět v Havlíčkově Brodě (0,37). Záporná korelace se zonální a kladná s meridionální složkou větru znamená jihovýchodní proudění během kladné fáze NAO, což odpovídá proudění nad střední Evropou na obr. 4.1c. Korelace s rychlostí větru nejsou významné, ale prodělaly významné změny, které se opět mezi stanicemi značně liší. Nejčastěji záporná korelace do počátku 80. let sílila a pak začala slábnout.

Klouzavé korelace s relativní vlhkostí a oblačností mají na jaře do značné míry podobný průběh. V obou případech převládá dlouhodobý růst korelací. V případě korelací se slunečním svitem můžeme sledovat opačné chování korelací s převládajícím poklesem. Změny v těchto prvcích lze vysvětlit postupným posunem kladných anomálií na západ: v období 1986-98, které odpovídá roku 1992, se nad střední Evropou vyskytovaly anomálie záporné (obr. 4.3).

Na podzim byly klouzavé korelace s relativní vlhkostí na začátku sledovaného období významně záporné, pak se zeslabilly k nule a od poloviny 70. let se téměř neměnily, na některých stanicích se mírně zeslabovaly po celé období. Podobné chování měl průběh klouzavých korelací s oblačností s tím rozdílem, že se nezeslabilly až na nulu. Proto byly na většině stanic zjištěny významné celkové korelace v rozmezí od -0,15 v Kuchařovicích po -0,45 na Lysé hoře. Klouzavé korelace se slunečním svitem klesaly z významně kladných hodnot k nule a od poloviny 70. let byly téměř beze změn.

Na podzim se celkové korelace s výskytem srážek pohybovaly od -0,2 v Doksanech do -0,43 v Liberci a s výskytem srážek od -0,15 v Českých Budějovicích po -0,36 na Churáňově. Ve vztahu s výskytem srážek byly zjištěny na 9 stanicích významné změny korelací. Průběh korelací je podobný jako ve vztahu s relativní vlhkostí a oblačností: na začátku sledovaného období byly korelace významně záporné, pak slábly a od poloviny 70. let se téměř neměnily, na některých stanicích mírně slábly po celé období.

5.3. Východoatlantický mód

5.3.1. Vliv EA modu na klimatické prvky v zimě

Východoatlantický mód se zimě nad střední Evropou projevuje výrazným prouděním od jihozápadu (obr. 4.7d), které přináší vlhký a teplý vzduch. Proto EA mód ovlivňuje na většině území ČR teploty, rychlost a složky větru a výskyt srážek. Statisticky významné změny korelací byly zjištěny ve vztahu se všemi zkoumanými prvky.

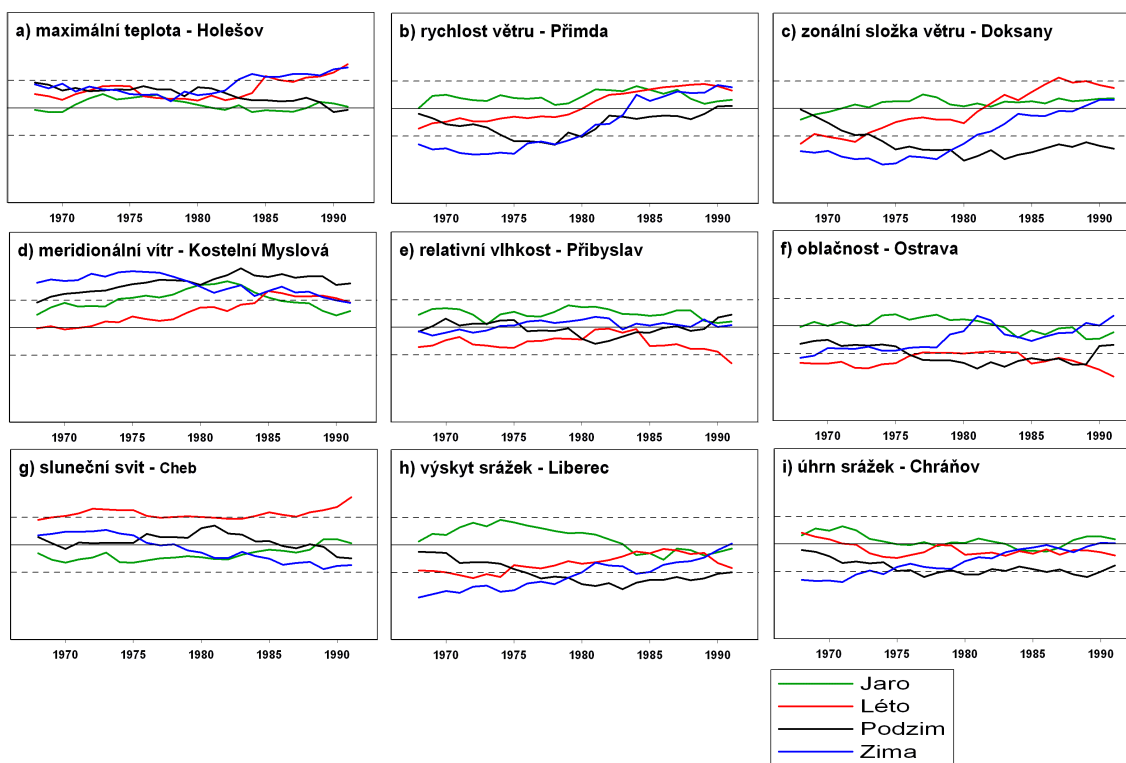
Celkové korelace s maximální, minimální i průměrnou teplotou jsou významné na všech zkoumaných stanicích. Korelace s maximální teplotou se pohybují v rozmezí od 0,23 v Doksanech po 0,51 na Churáňově. Korelace s maximální teplotou jsou nepatrně vyšší než s minimální a průměrnou teplotou. Průběh korelací je pro průměrné, maximální i minimální teploty na všech stanicích stejný, korelace až do počátku 80. let mírně klesaly a pak rostly. V období 1972-84 (odpovídá klouzavé korelaci v roce 1978) se centrum záporných anomálií posunulo východním směrem až ke střední Evropě (obr. 4.9, spodní řada), tím se změnilo i proudění v kladné fázi EA z jihozápadního na jihovýchodní, které přináší chladnější kontinentální vzduch.

Celkové korelace s rychlostí větru jsou v rozsahu od 0,07 v Liberci po $-0,37$ ve Vyšším Brodě. Průběh korelací s rychlostí větru je na stanicích v Čechách podobný, asi do 2. poloviny 70 let zůstávaly korelace významně záporné a pak se začaly zeslabovat, až přešli do kladných hodnot (obr.5.3b). Průběh korelací na moravských stanicích se liší a nedá se zobecnit. Celkové korelace se zonální složkou větru mají velké rozpětí. Maximální hodnotu jsem zjistila v Ostravě (0,16) a minimální v Liberci ($-0,35$). Statisticky nevýznamné hodnoty se nalézají spíše na Moravě. Na všech zkoumaných stanicích byly zjištěny významné změny klouzavých korelací, korelace mezi stanicemi se neliší a průběh korelací je shodný s průběhem korelací s rychlostí větru v Čechách, tedy do 2. poloviny 70 let zůstávaly korelace významně záporné a pak se začaly zeslabovat (obr.5.3c). Celkové korelace s meridionální složkou větru se pohybují od 0,19 na Churáňově po 0,55 v Havlíčkově Brodě. Na většině stanic byly zjištěny významné změny korelací. Korelace se mezi některými stanicemi značně liší, ale na většině stanic po celé období mírně klesaly.

Na 8 stanicích (polovina zkoumaných stanic) byly zjištěny významné změny klouzavých korelací s relativní vlhkostí. Průběh korelací se mezi stanicemi sice liší, ale nejčastěji se korelace měnily ze záporných hodnot do kladných. Na rozdíl od relativní vlhkosti se klouzavé korelace s oblačností chovají na všech stanicích stejně: korelace po téměř celé sledované období rostou a dostávají se z významně záporných hodnot do kladných hodnot. Klouzavé korelace se slunečním svitem naopak po celé sledované období

klesají z kladných hodnot do záporných. Takovýto průběh klouzavých korelací lze vysvětlit rozšiřováním vlivu cyklony nad střední Evropou.

Celkové korelace s výskytem srážek jsou významné na 12 stanicích a pohybují se od 0,02 v Praze Karlově do $-0,37$ v Ostravě. Celkové korelace s úhrnem srážek jsou významné pouze na 2 stanicích, ale jsou také záporné. Průběh korelací je v obou případech stejný, záporná korelace se po celou dobu zeslabuje (obr. 5.3h, i).



Obr. 5.3 Průběhy 15 letých klouzavých korelací pro EA mod a) maximální teplotu, b) rychlost větru, c) zonální složku větru, d) meridionální složku větru, e) relativní vlhkost, f) oblačnost, g) sluneční svit, h) výskyt srážek a i) úhrn srážek. Plná vodorovná čára uprostřed grafu značí nulovou hodnotu, přerušované čáry označují 5% hladinu statistické významnosti. Osa x jde od -1 do 1.

Fig. 5.3. 15-year running correlations between the EA mode and a) maximum temperature, b) wind speed, c) zonal wind, d) meridional wind, e) relative humidity, f) cloudiness, g) sunshine duration, h) occurrence of precipitation and i) precipitation amount. Solid horizontal line in the middle of graphs indicates zero value and dashed horizontal lines correspond to the 5% significance level. The vertical axis is from -1 to $+1$.

5.3.2. Vliv EA modu na klimatické prvky v létě

Při kladné fázi EA modu v létě je nad střední Evropou oblast kladných anomálií (obr. 4.7b), která silně ovlivňuje teploty, vlhkost, oblačnost, sluneční svit a výskyt srážek. Významné změny klouzavých korelací na více než polovině stanic byly zjištěny pro průměrnou a maximální teplotu, rychlost větru, zonální i meridionální složku větru a vlhkost.

Celkové korelace s maximální, minimální i průměrnou teplotou jsou statisticky významné. Korelace s maximální teplotou se pohybují od 0,25 v Kuchařovicích po 0,33 v Chebu. Průběh klouzavých korelací s maximální teplotou se mezi stanicemi neliší a je do značné míry stejný i pro teplotu minimální a průměrnou, liší se pouze ve velikosti změny. Na většině stanic do poloviny 80. let korelace mírně klesaly nebo byly beze změn a pak nastal jejich prudký růst. Na obr. 4.9 (2. řádek) jsou vidět příčiny těchto změn: oblast kladných anomálií se nad střední Evropou postupně prohlubuje a rozšiřuje.

Průběh korelací pro rychlost i složky větru je na všech stanicích podobný, korelace po celé období rostou, jen intenzita změny se liší. Korelace s rychlostí větru se mění z významně záporných hodnot do hodnot mírně kladných. Korelace se složkami větru se mění z významně záporných hodnot do kladných hodnot, které jsou na většině stanic ke konci sledovaného období na hranici významnosti. Korelace s meridionální složkou větru se během sledovaného období v průměru změnilo o 0,48 a se zonální složkou o 0,5.

Vztahy mezi EA modem a relativní vlhkostí jsou silné, nejslabší vztah mají v Kuchařovicích (-0,15) a nejsilnější v Havlíčkově Brodě a na Lysé hoře (-0,3). Na většině stanic byly zjištěny i významné změny korelací, záporné korelace do poloviny 80. let zeslabovaly nebo byly bez větších změn a pak začaly sílit. Mezi stanicemi se průběh korelací liší jen málo. Celkové korelace s oblačností se pohybují od -0,28 v Českých Budějovicích po -0,4 v Brně, naopak korelace se slunečním svitem se pohybují od 0,23 v Holešově po 0,37 v Chebu, v obou případech jsou klouzavé korelace téměř beze změn.

Významné celkové korelace byly zjištěny i ve vztahu s výskytem srážek, korelace jsou v rozsahu od -0,08 na Přimdě po -0,28 v Brně.

5.3.3. Vliv EA modu na klimatické prvky na jaře a na podzim

Na jaře i na podzim je v kladné fázi EA modu zachováno proudění od jihozápadu podobně jako v zimě, ale v obou obdobích je EA mod poměrně slabý (na jaře je 8. a na podzim až 12. modem podle vysvětleného rozptylu). Na jaře má EA mod významný vliv pouze na meridionální složku větru. Významné změny korelací jsem zjistila ve vztahu

k rychlosti větru, meridionální složce větru a výskytu srážek. Na podzim jsou celkové korelace významné pouze pro zonální a meridionální složky větru, významné změny byly nalezeny pro rychlost větru a jeho složky a podobně jako na jaře také pro výskyt srážek.

Celkové korelace s meridionální složkou větru se na jaře pohybují od 0,15 ve Vyšším Brodě po 0,38 v Chebu. Významné změny korelací byly zjištěny na 9 stanicích, korelace na většině stanic do počátku 80. let rostly a pak klesaly. Vztah s rychlostí větru není stabilní, ale opět, nejspíše vlivem orografie, se průběh korelací mezi stanicemi značně liší.

Na podzim byla nalezena maximální hodnota celkové korelace se zonální složkou větru v Ostravě (0,04) a minimální v Liberci (-0,41). Meridionální složka větru má minimální korelaci na Churáňově (0,09) a maximální v Přibyslavi (0,52). Korelace se zonální složkou větru prodělaly na všech stanicích významné změny: z nulových hodnot na začátku období se dostaly do významně záporných hodnot. Průběh korelací se mezi stanicemi neliší. Klouzavé korelace s meridionální složkou větru se také mezi stanicemi neliší: po celé sledované období rostly. Na podzim došlo ke změnám v poloze akčních center (obr. 4.9, 3. řádek), po většinu času převažovalo nad střední Evropou nevýrazné pole s prouděním od jihozápadu, v období 1986-1998 ale nad střední Evropu výrazněji zasahuje kladné akční centrum, které s sebou v kladné fázi EA přináší proudění s výraznou východní složkou.

Průběh korelací s výskytem srážek se mezi stanicemi na jaře mírně liší, ale nejčastěji klouzavé korelace rostly do poloviny 70. let, kdy byly na hranici statistické významnosti a pak klesaly. Na podzim se průběh korelací mezi stanicemi také liší, ale nejčastěji korelace do počátku 80. let klesaly do záporných hodnot, v mnoha případech dosáhly statistické významnosti a pak mírně rostly (obr. 5.3 h).

5.4. Euroasijský mod typu 1

5.4.1. Vliv EU1 modu na klimatické prvky v zimě

V zimních měsících zasahuje nad střední Evropu při kladné fázi EU1 modu oblast kladných anomálií (obr. 4.12d). EU1 mod ovlivňuje v ČR rychlost a složky větru, výskyt srážek a úhrn srážek. Vztahy s EU1 modem nejsou stabilní, významné změny klouzavých korelací byly nalezeny ve vztahu se všemi zkoumanými prvky s výjimkou rychlosti větru a úhrnu srážek.

Celkové korelace s teplotami nejsou významné, ale průběh klouzavých korelací je pro maximální, průměrnou a minimální teplotu téměř stejný, neliší se ani mezi jednotlivými stanicemi: korelace téměř po celé období klesají (obr. 5.4a). Na některých stanicích je

pokles v období od poloviny 70. let do počátku let 80. vystřídán mírným růstem nebo obdobím bez větších změn.

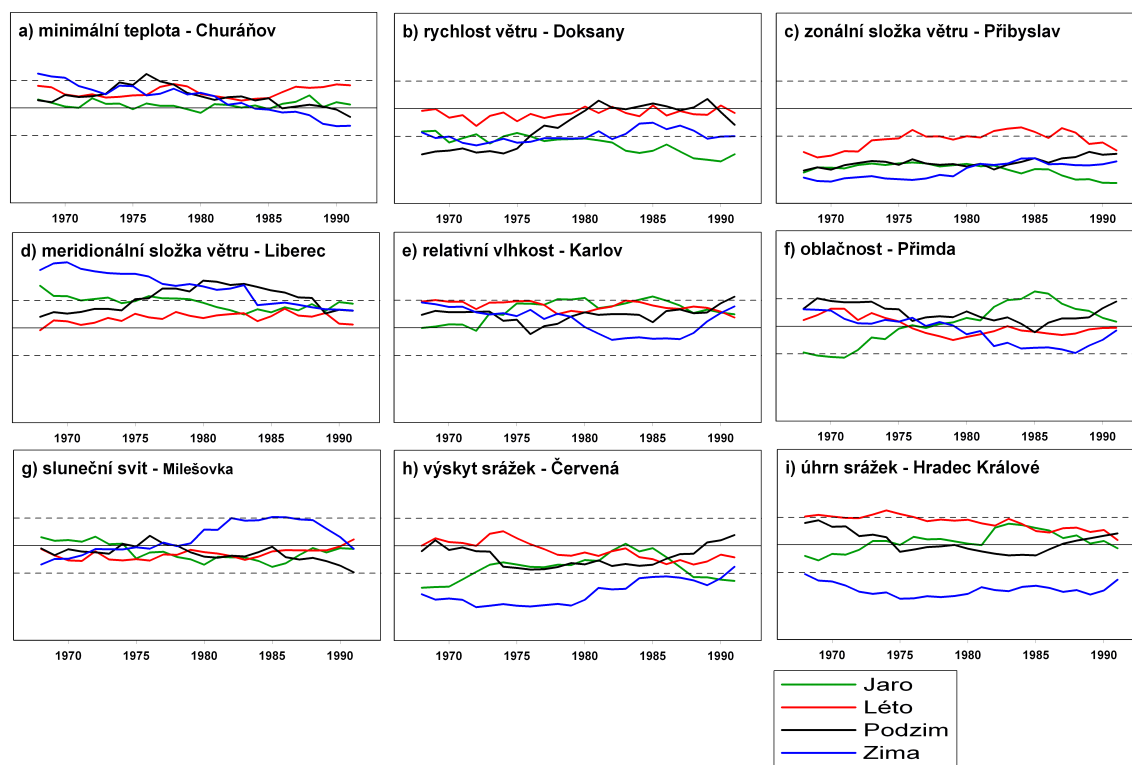
Celkové korelace s rychlostí větru jsou nejslabší ve Svratouchu (0.0) a nejsilnější na Churáňově (-0,49). Celkové korelace se zonální složkou větru jsou na většině stanic také záporné a pohybují se od -0,32 v Ostravě po -0,68 v Kuchařovicích. Korelace se zonální složkou větru byly až do počátku 80. let beze změn a pak se začaly zeslabovat, ale po celé období zůstaly statisticky významné (obr. 5.4c). Korelace s meridionální složkou větru jsou v zimě převážně kladné a pohybují se od -0,08 na Přimdě po 0,53 ve Svratouchu. Klouzavé korelace klesaly po celé sledované období.

Průběh korelací s relativní vlhkostí se mezi stanicemi značně liší, nejčastěji korelace klesají až do poloviny 80. let, kdy začaly růst, ale na několika stanicích, zejména na Moravě (Holešov, Ostrava), korelace po celé sledované období rostou. Průběh korelací s oblačností si je mezi stanicemi podobnější než u vlhkosti, korelace po většinu sledovaného období klesaly a od poloviny 80. let rostly. Na některých moravských stanicích byly korelace téměř beze změn a růst nastal až na počátku 80. let. Průběh korelací se slunečním svitem je opačný, korelace nejprve rostly a od poloviny 80. let klesaly (obr.5.4e-g).

EU1 mod silně ovlivňuje i výskyt a úhrn srážek (obr. 5.4h,i). Celkové korelace s výskytem srážek se pohybují od -0,2 v Kuchařovicích po -0,54 v Liberci. Korelace s výskytem srážek nejsou na většině stanic stacionární. Nejčastěji byly klouzavé korelace až do počátku 80. let beze změn a pak se začaly zeslabovat, což lze vysvětlit posunem centra kladných anomálií v období 1986-98 na sever a rozšířením centra záporných anomálií do střední Evropy (obr. 4.14, spodní řádek). Naproti tomu korelace s úhrnem srážek na většině stanic stacionární jsou a celkové korelace se pohybují od -0,09 v Brně po -0,45 v Kostelní Myslové.

5.4.2. Vliv EU1 modu na klimatické prvky v létě

V letním období je při kladné fázi EU1 modu nad střední Evropou nevýrazné pole, nad Baltským mořem se nachází oblast kladných anomálií a nad Pyrenejským poloostrovem oblast záporných anomálií (obr. 4.12b). Nad střední Evropu proudí vzduch od východu. Mod EU1 ovlivňuje na většině stanic pouze minimální teplotu, zonální složku větru a úhrn srážek. Významné změny korelací byly zjištěny ve vztahu se zonální složkou větru a výskytem srážek.



Obr. 5.4 Průběhy 15 letých klouzavých korelací pro EU1 mod a) minimální teplotu, b) rychlost větru, c) zonální složku větru, d) meridionální složku větru, e) relativní vlhkost, f) oblačnost, g) sluneční svit, h) výskyt srážek a i) úhrn srážek. Plná vodorovná čára uprostřed grafu značí nulovou hodnotu, přerušované čáry označují 5% hladinu statistické významnosti. Osa x jde od -1 do 1.

Fig. 5.4. 15-year running correlations between the EU1 mode and a) maximum temperature, b) wind speed, c) zonal wind, d) meridional wind, e) relative humidity, f) cloudiness, g) sunshine duration, h) occurrence of precipitation and i) precipitation amount. Solid horizontal line in the middle of graphs indicates zero value and dashed horizontal lines correspond to the 5% significance level. The vertical axis is from -1 to +1.

Celkové korelace jsou významné na 8 stanicích pouze pro minimální teplotu, pro maximální ani pro průměrnou teplotu významné nejsou. Nejnižší hodnota korelací s minimální teplotou byla zjištěna v Českých Budějovicích (0,11) a nejvyšší na Lysé hoře (0,27).

Celkové korelace se zonální složkou větru jsou významné na všech zkoumaných stanicích a pohybují se od -0,3 v Holešově po -0,47 na Milešovce, korelace na většině stanic nejsou stacionární. Klouzavé korelace se do poloviny 70. let zeslabovaly, pak byly beze změn a na konci sledovaného období od poloviny 80. let opět zesilovaly. Stanice na Moravě (Ostrava, Lysá hora) byly beze změn až do poloviny 80. let a pak zesilovaly.

Korelace s výskytem srážek nemají významné korelace na žádné ze stanic, ale klouzavé korelace od poloviny 70. let do konce sledovaného období klesaly až do záporných hodnot. Průběh korelací se liší mezi stanicemi pouze v intenzitě změny. Naproti tomu korelace s úhrnem srážek jsou na většině stanic bez významných změn a celkové korelace se pohybují od 0,13 v Kostelní Myslové po 0,29 v Praze-Karlově.

5.4.3. Vliv EU1 modu na klimatické prvky na jaře a na podzim

Na jaře i na podzim je situace obdobná jako v létě, nad střední Evropou je nevýrazné geopotenciální pole. Na jaře EU1 mod ovlivňuje rychlost a složky větru a výskyt srážek. Významné změny korelací byly zjištěny ve vztahu s rychlostí větru, zonální složkou větru, vlhkostí, oblačností, výskytem a úhrnem srážek. Na podzim je EU1 mod méně stacionární, významné změny korelací byly zjištěny u všech klimatických prvků kromě zonální složky větru a oblačnosti. Významné celkové korelace jsou pouze s rychlostí a složkami větru.

Na podzim klouzavé korelace s maximální, minimální i průměrnou teplotou mají podobný průběh. Průběh korelací se mezi stanicemi neliší, korelace do poloviny 70. let rostly a pak klesaly.

Celkové korelace s rychlostí větru se na jaře pohybují od 0,05 v Holešově po -0,41 na Churáňově, na stanicích v Čechách jsou vztahy silnější. Na podzim mají celkové korelace větší rozptyl, pohybují se od 0,22 v Brně po -0,47 v Praze-Ruzyni. Ač byly v obou obdobích zjištěny významné změny korelací, nelze popsat nějaký typický průběh, korelace se mezi stanicemi značně liší.

Vztah se zonální složkou větru je na jaře opravdu silný, korelace se pohybují od -0,44 v Červené po -0,68 v Brně. Klouzavé korelace se zonální složkou větru byly do poloviny 70. let bez větších změn nebo zeslabovaly a pak zesilovaly. Celkové korelace s meridionální složkou větru mají značný rozptyl, lze najít i stanici se statisticky významně zápornou korelací (Ostrava, -0,19), ale většina stanic má kladné korelace. Maximální hodnota byla zjištěna na Lysé hoře (0,42).

Na podzim se celkové korelace se zonální složkou pohybují od -0,39 v Holešově po -0,6 na Milešově. Vztahy jsou na většině stanic bez významných změn. Celkové korelace s meridionální složkou větru mají opět značný rozptyl, minimální hodnota byla nalezena stejně jako na jaře v Ostravě (-0,2), ale opět na většině stanic jsou korelace kladné. Maximální hodnota byla zjištěna ve Svatouchu (0,4). Vztah není stacionární a na většině stanic korelace do počátku 80. let rostou a pak klesají.

Klouzavé korelace s relativní vlhkostí a oblačností si jsou na jaře dost podobné: rostly do poloviny 80. let a pak klesaly, jen velikost změny byla větší ve vztahu s oblačností. Klouzavé korelace s oblačností se dostávají z významně záporných hodnot do významně kladných a průměrně se korelací změnily o 0,54. Na podzim jsou si klouzavé korelace s vlhkostí a oblačností také podobné: korelace do poloviny 70. let klesaly a pak rostly. Průběh korelací se slunečním svitem má inverzní charakter: korelace do poloviny 70. let rostly a pak klesaly.

Celkové korelace s výskytem srážek se na jaře pohybují od $-0,11$ v Praze-Karlově po $-0,31$ v Havlíčkově Brodě a Příbyslavi. Korelace nejsou stacionární, záporná korelace se zeslabovala až k nulovým hodnotám a od poloviny 80. let se zesilovala. Průběh korelací se mezi stanicemi neliší. Podobný průběh korelací je i s úhrnem srážek, ale s tím rozdílem, že je křivka posazena více do kladných hodnot, zejména v Čechách. Na podzim jsou si průběhy korelací s výskytem i úhrnem srážek také dosti podobné: korelace klesají do poloviny 70. let a pak rostou, intenzita růstu se mezi stanicemi liší (obr.5.4h,i).

5.5. Euroasijský mod typu 2

5.5.1. Vliv EU2 modu na klimatické prvky v zimě

Kladná fáze EU2 modu je v zimních měsících charakterizována oblastí kladných anomálií s centrem nad Dánskem, která zasahuje oblast celé Evropy (obr. 4.17d). Mod EU2 v ČR ovlivňuje maximální teplotu a všechny veličiny související s vodní parou (relativní vlhkost, oblačnost, sluneční svit, výskyt a úhrn srážek). Vliv EU2 modu je poměrně stabilní, významné změny byly nalezeny jen ve vztazích s oblačností, rychlostí větru a jeho složkami (tab. 5.1).

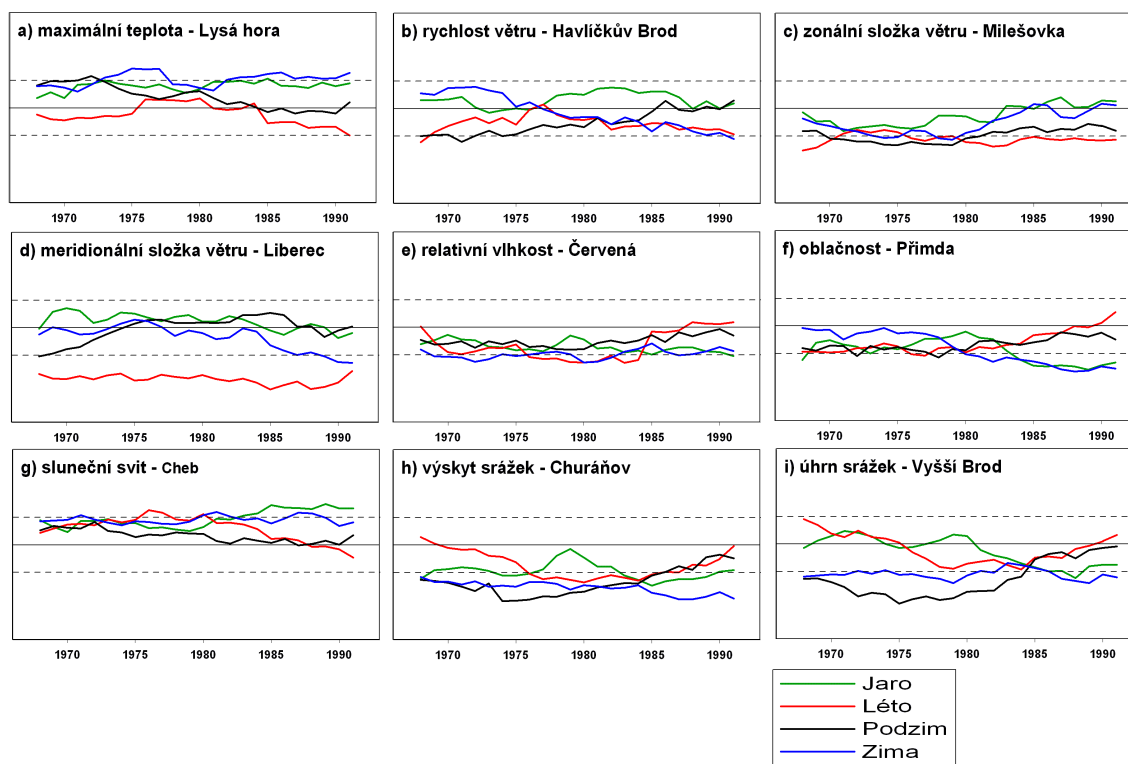
Celkové korelace s maximální teplotou jsou statisticky významné na 8 stanicích. Minimální hodnota byla nalezena v Holešově (0,06) a maximální na Churáňově (0,3).

Klouzavé korelace s rychlostí větru se opět mezi stanicemi značně liší, ale v Čechách a na Vysočině převládá pokles korelací (obr. 5.5b). Klouzavé korelace se zonální složkou větru byly na většině stanic záporné a do počátku 80. let se zesilovaly a pak došlo k jejich zeslabení až k nulovým hodnotám. Průběh mezi stanicemi se neliší. Korelace s meridionální složkou větru do poloviny 70. let rostly nebo byly beze změn a pak klesaly, na konci období byly významně záporné.

Celkové korelace s vlhkostí se pohybují od $-0,12$ v Doksanech po $-0,45$ na Churáňově. Celkové korelace s oblačností dosahují podobných hodnot, nejslabší korelace byly zjištěny v Kostelní Myslové ($-0,17$) a nejsilnější opět na Churáňově ($-0,48$). Na 9

stanicích byly zjištěny významné změny klouzavých korelací. Společným znakem pro všechny stanice je zesilování záporné korelace od poloviny 70. let. Před tím se průběh mezi stanicemi liší, korelace se zeslabovaly, zesilovaly nebo byly bez větších změn. Celkové korelace se slunečním svitem se pohybují od 0,14 v Kuchařovicích po 0,5 na Lysé hoře.

Vztah s výskytem srážek je poměrně silný, korelace se pohybují od $-0,23$ v Praze-Ruzyni do $-0,45$ v Brně a Přimdě. Podobné hodnoty jsou i ve vztahu s úhrnem srážek, nejslabší vztah byl analyzován na Lysé hoře ($-0,07$) a nejsilnější v Brně a Holešově ($-0,43$). Pro oba prvky jsou korelace stabilní v čase.



Obr. 5.5 Průběhy 15 letých klouzavých korelací pro EU2 mod a) maximální teplotu, b) rychlost větru, c) zonální složku větru, d) meridionální složku větru, e) relativní vlhkost, f) oblačnost, g) sluneční svit, h) výskyt srážek a i) úhrn srážek. Plná vodorovná čára uprostřed grafu značí nulovou hodnotu, přerušované čáry označují 5% hladinu statistické významnosti. Osa x jde od -1 do 1 .

Fig. 5.5. 15-year running correlations between the EU2 mode and a) maximum temperature, b) wind speed, c) zonal wind, d) meridional wind, e) relative humidity, f) cloudiness, g) sunshine duration, h) occurrence of precipitation and i) precipitation amount. Solid horizontal line in the middle of graphs indicates zero value and dashed horizontal lines correspond to the 5% significance level. The vertical axis is from -1 to $+1$.

5.5.2. Vliv EU2 modu na klimatické prvky v létě

EU2 mod je v letních měsících vyjádřen slabě. Dánské centrum je oproti zimní sezoně posunuto na severozápad a oblast střední Evropy zasahuje jen okrajově. Statisticky významné celkové korelace byly nalezeny pouze ve vztahu se zonální a meridionální složkou větru. Významné změny klouzavých korelací byly zjištěny ve vztahu s maximální a průměrnou teplotou, relativní vlhkostí, oblačností, slunečním svitem, výskytem a úhrnem srážek.

Klouzavé korelace s maximální a průměrnou teplotou mají do značné podobný průběh, korelace se neliší ani mezi stanicemi. Korelace do poloviny 70. let mírně rostly ze záporných do kladných hodnot, pak klesaly a na konci sledovaného období byly na hranici statistické významnosti. Korelace s minimální teplotou také mají podobný průběh, ale změny nejsou významné.

Vztahy se složkami větru jsou na většině stanic stabilní. Celkové korelace se zonální složkou větru jsou v rozmezí od $-0,06$ v Liberci po $-0,57$ na Přimdě. Vztahy s meridionální složkou větru jsou ještě silnější, korelace se pohybují od $-0,27$ ve Vyšším Brodě po $-0,65$ na Milešově. Takovéto hodnoty korelací se složkami větru znamenají, že za kladné fáze EU2 převládá proudění od severovýchodu.

Vztah s vlhkostí, oblačností a se slunečním svitem není stabilní v čase. Průběhy korelací s vlhkostí a s oblačností si jsou opět do značné míry podobné a mezi stanicemi se výrazně neliší. Do počátku 80. let mírně zesilovala záporná korelace, nebo byly korelace beze změn a pak nastalo výrazné zeslabení korelací. Inverzně se chovaly korelace se slunečním svitem: do počátku 80. let zesilovala kladná korelace nebo byly korelace bez výrazných změn a pak nastal jejich silný pokles. Takovéto výrazné změny lze vysvětlit pomocí obr. 4.18 (2. řádek): během období 1958-1970 a 1972-1984 byla nad střední Evropou oblast kladných anomálií, které znamenají záporné korelace s oblačností a vlhkostí a kladné se slunečním svitem. Během období 1986-1998 se oblast kladných anomálií přesunula na severozápad a na jihu a jihovýchodě se objevila oblast záporných anomálií, přičemž nad střední Evropou procházel předěl mezi těmito centry.

Ještě výraznější průběh korelací byl ve vztahu s výskytem a úhrnem srážek. Korelace klesaly z kladných hodnot do záporných, až dosáhly statistické významnosti a od poloviny 80. let začala záporná korelace slábnout.

5.5.3. Vliv EU2 modu na klimatické prvky na jaře a na podzim

Na jaře bylo při kladné fázi EU2 modu nad západní a střední Evropou centrum kladných anomálií, které postupně zesilovalo (obr. 4.18, 1. řádek). Byly zjištěny významné celkové korelace s maximální teplotou, vlhkostí, oblačností, slunečním svitem a výskytem srážek. Vztahy jsou poměrně stabilní v čase, významné změny byly zjištěny pouze ve vztahu se zonální složkou větru, oblačností, výskytem a úhrnem srážek.

Na podzim byla střední Evropa pod vlivem centra kladných anomálií, ale v období 1986-1998 se toto centrum posunulo na severozápad a nad střední Evropou zůstalo nevýrazné pole (obr. 4.18, 3. řádek). Celkové korelace jsou významné ve vztahu se zonální složkou větru, oblačností a výskytem i úhrnem srážek. Významné změny korelací byly zjištěny u maximální, minimální i průměrné teploty, rychlosti větru a výskytu i úhrnu srážek.

Celkové korelace s maximální teplotou se na jaře pohybují od 0,15 v Ostravě po 0,23 v Chebu, vyšší hodnoty jsou na stanicích v Čechách. Na podzim nejsou celkové korelace významné, ale byly nalezeny významné změny korelací jak pro maximální, tak i pro minimální a průměrnou teplotu. Průběh korelací je pro všechny teploty shodný, korelace po celé období klesaly, přičemž na začátku dosahovaly statisticky významných hodnot.

Na jaře se statisticky významně mění vztah se zonální složkou větru. Klouzavé korelace na začátku sledovaného období mírně klesaly a pak po většinu sledovaného období rostly ze záporných do kladných hodnot (obr.5.5c). Na podzim byly zjištěny významné změny s rychlostí větru. Na velkém počtu stanic se během celého období postupně zeslabovala záporná korelace. Korelace se zonální složkou větru jsou na podzim na většině stanic stabilní a celkové korelace se pohybují od 0 v Ostravě po -0,33 na Přimdě.

Na jaře se celkové korelace s relativní vlhkostí pohybují od -0,09 ve Vyšším Brodě po -0,29 v Havlíčkově Brodě. Korelace s oblačností jdou od -0,25 v Červené po -0,35 na Milešovce. Na 14 stanicích byly zjištěny významné změny: záporná korelace se do počátku 80. let zeslabovala a pak nastalo její zesilování. Celkové korelace se slunečním svitem jsou kladné s minimální hodnotou v Ostravě (0,2) a maximální v Liberci (0,29). Vztah se v čase nemění. Na podzim jsou celkové korelace významné pouze ve vztahu s oblačností a pohybují se od -0,09 v Českých Budějovicích po -0,33 v Liberci.

Nejslabší celková korelace s výskytem srážek na jaře byla zjištěna v Doksanech (-0,07), zatímco nejsilnější vztah byl na Lysé hoře (-0,28). Korelace nejsou stabilní v čase:

záporná korelace zeslabovala až do počátku 80. let, kdy začala zesilovat, na začátku i na konci období byly korelace statisticky významné. Klouzavé korelace s úhrnem srážek mají poněkud jiný průběh. Na většině stanic převažovalo postupné zesilování záporné korelace. Na několika stanicích je však průběh korelací stejný jako pro výskyt srážek, změny se ale odehrávaly okolo nulové hodnoty.

Na podzim byl nejslabší vztah s výskytem srážek nalezen v Doksanech (-0,13) a nejsilnější na Lysé hoře (-0,37). Korelace nejsou stabilní v čase: záporná korelace se do poloviny 70. let zesilovala a po zbytek sledovaného období zeslabovala. Celkové korelace s úhrnem srážek jsou na podzim v rozmezí od -0,12 v Praze na Karlově po -0,28 ve Vyšším Brodě. Průběh korelací je podobný jako u výskytu srážek.

5.6. Severoasijský mod v zimě

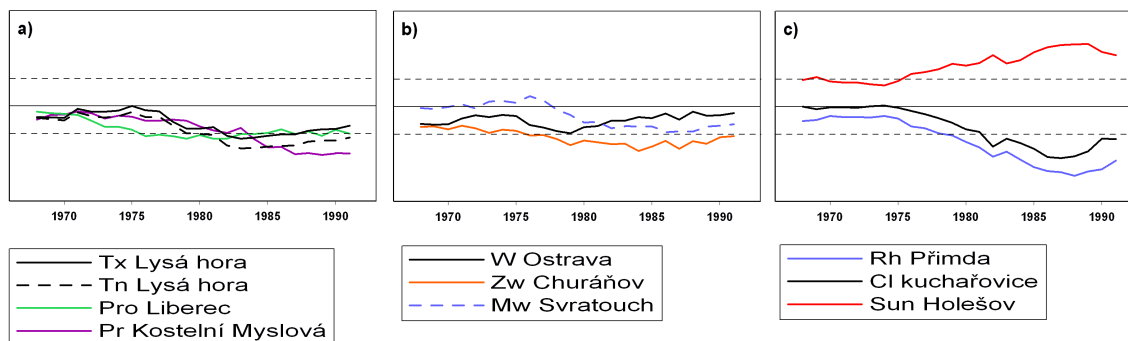
Střední Evropa je při kladné fázi NA modu pod vlivem kladného centra anomálií zasahujícího ze severní Evropy (obr. 4.21). Výrazné proudění od východu přináší chladný kontinentální vzduch. NA mod má významný vliv na průměrnou a minimální teplotu, zonální složku větru, vlhkost, sluneční svit, výskyt a úhrn srážek. Významné změny klouzavých korelací byly zjištěny pro teploty, vlhkost, oblačnost, sluneční svit a úhrn srážek.

Celkové korelace s průměrnou teplotou jsou v rozmezí od -0,2 v Holešově po -0,28 na Lysé hoře. Korelace s minimální teplotou jsou nejslabší opět v Holešově (-0,23) a nejsilnější na Lysé hoře (-0,29). Průběh korelací je pro maximální, minimální i průměrnou teplotu stejný (obr. 5.6a, černé čáry), až do poloviny 80. let sílila záporná korelace a pak následuje její mírné zeslabení.

Celkové korelace se zonální složkou větru jsou v rozmezí od -0,06 ve Vyšším Brodě po -0,28 na Churáňově (tzn. že při kladné fázi NA převládá východní proudění).

Celkové korelace s relativní vlhkostí mají poměrně velké rozpětí, nejslabší vztah byl zjištěn v Českých Budějovicích (0,05) a nejsilnější v Holešově (-0,44). Klouzavé korelace do poloviny 70. let se výrazně neměnily nebo slábly a pak až téměř do konce sledovaného období zesilovaly. Podobný průběh korelací byl zaznamenán i ve vztahu s oblačností, kde jsou ale korelace obecně slabší (obr. 5.6c). Celkové korelace se slunečním svitem mají minimální hodnotu v Praze-Karlově (0,15) a maxima nabývají v Holešově (0,33). Vztahy se slunečním svitem také nejsou stabilní. Klouzavé korelace byly do poloviny 70. let bez větších změn, pak nastal jejich růst a ke konci období mírný pokles.

Celkové korelace s výskytem srážek se pohybují od $-0,06$ v Praze-Ruzyni po $-0,31$ v Přimdě. Vztahy s úhrnem srážek jsou silnější než s výskytem: pohybují se od $-0,19$ v Brně po $-0,41$ v Přimdě. Záporná korelace s úhrnem srážek se po celé sledované období zesilovala. Podobné zesilování je i ve vztahu s výskytem srážek, ale mírnější (obr.5.6a).



Obr. 5.6 Průběhy 15 letých klouzavých korelací pro NA mod a) maximální a minimální teplotu, výskyt a úhrn srážek, b) rychlost větru, zonální a meridionální složku větru, c) relativní vlhkost, oblačnost a sluneční svit. Plná vodorovná čára uprostřed grafu značí nulovou hodnotu, přerušované čáry označují 5% hladinu statistické významnosti. Osa x jde od -1 do 1 .

Fig. 5.6. 15-year running correlations between the NA mode and a) maximum and minimum temperature, occurrence of precipitation, precipitation amount b) wind speed, zonal wind, meridional wind, c) relative humidity, cloudiness, sunshine duration. Solid horizontal line in the middle of graphs indicates zero value and dashed horizontal lines correspond to the 5% significance level. The vertical axis is from -1 to $+1$.

5.7. Diskuse

5.7.1 Mody se stabilním vlivem na klimatické prvky v ČR

Pokusme se najít vhodné mody cirkulační proměnlivosti, které bychom mohli použít při statistickém downscalingu pro jednotlivé klimatické prvky (mody, které mají s daným prvkem vysoké celkové korelace a zároveň jsou jejich klouzavé korelace stabilní v čase).

Pro průměrnou teplotu je vhodná NAO, ale pouze v letních měsících, v ostatních sezónách není žádný vztah dostatečně silný a stabilní. Pro maximální teplotu je vhodným modem v zimě a na jaře EU2 a v létě opět NAO. Na podzim nejsou zkoumané mody vhodným prediktorem. Minimální teplota má v létě silný a stabilní vztah hned se 3 mody: NAO, EA a EU1, v ostatních sezónách jsem nenalezla žádný vhodný mod.

Také downscaling rychlosti větru může být problematický. Jediným vhodným cirkulačním modem je pouze v zimě EU1. Zonální složka větru má silný a stabilní vztah

v zimě s NA modem, v létě s NAO a EU2 stejně jako na podzim. Pro meridionální složky větru je na jaře vhodným modem EU1, v létě EU2 a na podzim NAO.

Relativní vlhkost má silný a stabilní vztah na jaře a v zimě s EU2 modem a v létě s NAO. Vhodnými mody pro downscaling oblačnosti mohou být v létě NAO a EA a na podzim EU2. Sluneční svit je silně a stabilně ovlivňován na jaře a v zimě EU2 modem a v létě EA.

Pro výskyt srážek v zimě jsou vhodnými mody EU2 a NA a v létě NAO a EA. Úhrny srážek mají stabilní a silný vztah v zimě s NAO, EU1 a EU2, v létě s EU1 a na podzim s NAO.

5.8. Shrnutí kapitoly 5

V této kapitole jsem zkoumala vliv cirkulačních modů na klimatické prvky České republiky. Vybrané výsledky byly prezentovány v článku Pokorná a kol. (2007). Všechny zkoumané cirkulační mody ovlivňují klimatické prvky v ČR. Většina zkoumaných vztahů však není stabilní v čase. Oblast ČR je poměrně malá, a proto se celkové korelace ani průběhy klouzavých korelací po vyloučení stanic s nehomogenními měřeními mezi stanicemi výrazně neliší. Zejména vztahy s teplotami jsou velice prostorově homogenní. Výjimkou je jen vztah s rychlostí větru, který má naopak velkou prostorovou variabilitu, způsobenou nejspíše členitou orografií ČR.

Průběhy klouzavých korelací v rámci jednotlivých modů si jsou pro průměrnou, minimální i maximální teplotu velice podobné. Podobné průběhy klouzavých korelací mívají i vztahy s vlhkostí, oblačností a výskytem srážek. K nim opačné chování mají vztahy se slunečním svitem.

NAO silně ovlivňuje klimatické prvky v ČR hlavně v létě a v zimě. V zimě nemá s většinou klimatických prvků stabilní vztah. Na jaře má NAO velice časově nestabilní vztahy s téměř všemi klimatickými prvky. Na podzim jsou vztahy také nestabilní, výjimkou jsou vztahy se složkami větru a úhrnem srážek, které mají i statisticky významné celkové korelace.

EA mod má také velice silné, ale nestabilní vztahy s klimatickými prvky v zimě. V létě silně ovlivňuje většinu klimatických prvků, ale vztahy nejsou moc stabilní. Na jaře ani na podzim nejsou vztahy tak silné, výjimkou je pouze vztah s meridionální složkou větru.

EU1 mod v ČR ovlivňuje ve všech sezónách zejména rychlost a složky větru a ve všech sezónách kromě podzimu i výskyt a úhrn srážek. Jeho vliv ale není stabilní. Stabilní vztahy lze nalézt pouze v letní sezóně, ale tyto vztahy ve většině případů nejsou silné.

Mod EU2 v ČR výrazně ovlivňuje na podzim, v zimě a na jaře zejména vlhkostní veličiny (relativní vlhkost, oblačnost a sluneční svit) a výskyt a úhrn srážek. Tyto vztahy jsou stabilní pouze v zimních měsících. Posledním zkoumaným cirkulačním modem je NA mod. Tento mod ovlivňuje klimatické prvky pouze v zimě. Vztahy ale ve většině případů nejsou stabilní.

Velikost a znaménko korelací lze ve většině případů vysvětlit synoptickým charakterem jednotlivých modů. Značnou část nestacionarit vztahů mezi cirkulačními mody a klimatickými prvky lze vysvětlit změnami poloh a intenzity akčních center cirkulačních modů. V některých případech by ale bylo třeba pro vysvětlení změn korelací použít většího prostorového či časového rozlišení. Obecně lze říci, že mody se zonálním charakterem (NAO, EA) korelují více s teplotami a mody s meridionálním charakterem (EU1 a EU2) korelují více s vlhkostními a srážkovými prvky.

6. Závěr

Hlavním cílem této práce bylo prozkoumat časovou proměnlivost vztahů mezi atmosférickou cirkulací a klimatickými prvky v Evropě a České republice ve všech ročních obdobích. Vlastní výsledky jsou prezentovány v kapitolách 3, 4 a 5. Analýza byla provedena na měsíčních průměrech, a to odděleně pro jednotlivá roční období.

V kapitole 3 se zabývám dlouhodobou proměnlivostí vztahu Severoatlantické oscilace (NAO) s teplotami a se srážkami během téměř celého dvacátého století (1901-1999). NAO je v této kapitole reprezentována indexem NAO počítaným z tlaku v azorské výši a islandské níži. Teplotní a srážková data pocházejí z ECA databáze, ze které jsem vybrala 29 teplotních a 27 srážkových stanic. Časová proměnlivost byla zkoumána pomocí 31 letých klouzavých korelací. Na většině stanic se korelace s teplotou i se srážkami mění významně v čase. Průběh klouzavých korelací se v různých oblastech Evropy a v jednotlivých ročních obdobích liší.

Pro účely kapitoly 4 a 5 jsem pomocí rotované analýzy hlavních složek vypočetla z geopotenciálních výšek hladiny 500hPa na severní polokouli (severně od 20° s.š.) mody cirkulační variability. Ze získaných modů jsem vybrala ty, které svými akčními centry zasahují do Evropy a zároveň ovlivňují klimatické prvky v Evropě. Jsou to NAO, EA, EU1, EU2 a zimě i NA mod.

V kapitole 4 analyzuji proměnlivost vztahů mezi cirkulačními mody a teplotami resp. srážkami pro období 1958-1998. V tomto období jsem pracovala se 103 teplotními a 100 srážkovými stanicemi rozloženými po celé Evropě. Proměnlivost vztahů byla vyjádřena 15 letými klouzavými korelacemi. Pro zjištění regionů se stejným průběhem klouzavých korelací jsem použila metodu PAM ze skupiny nehierarchických metod shlukové analýzy. Počet shluků a jejich prostorové rozložení se mezi cirkulačními mody a ročními obdobími liší. I přes značnou proměnlivost vztahů se podařilo nalézt oblasti, kde byl vliv na daný klimatický prvek velký a zároveň se neměnil v čase.

V kapitole 5 se zabývám vlivem cirkulačních modů na 11 klimatických prvků na 21 stanicích v České republice. Průběhy 15 letých klouzavých korelací se mezi jednotlivými stanicemi pro daný prvek příliš neliší. Vždy lze nalézt převládající průběh korelací, výjimkou jsou pouze vztahy s rychlostí větru, kde se průběhy na jednotlivých stanicích, nejspíše vlivem orografie, značně liší.

Pro jednotlivé mody jsem se snažila odhalit možné příčiny nestacionarit ve vztazích. Nejčastější příčinou je prohlubování a vyplňování akčních center a změna jejich polohy.

Pro hlubší pochopení příčin těchto nestacionarit by bylo třeba provést další analýzy se zaměřením na dynamiku procesů v atmosféře a oceánu.

Základní zjištění disertace lze shrnout do následujících bodů:

1. Vztahy mezi atmosférickou cirkulací, vyjádřenou indexem NAO nebo módy proměnlivosti, a přízemními klimatickými prvky v Evropě se s časem významně mění. Z tohoto faktu vyplývá např. omezená využitelnost atmosférické cirkulace jako jediného či hlavního prediktoru při statistickém downscalingu, který požaduje stacionaritu vztahů mezi prediktory a prediktandy.

2. Časové průběhy vztahů mezi atmosférickou cirkulací a přízemními klimatickými prvky, vyjádřené klouzavými korelacemi, jsou geograficky proměnlivé; nicméně lze nalézt skupiny stanic, na nichž je časová proměnlivost těchto vztahů obdobná. Takto určené skupiny stanic vytvářejí geograficky koherentní oblasti více pro teplotu než pro srážky.

3. Časové průběhy vztahů se značně liší mezi ročními obdobími.

4. Jednou z příčin, které vyvolávají časovou proměnlivost vztahů mezi atmosférickou cirkulací a přízemními klimatickými prvky, jsou změny polohy a intenzity akčních center módů proměnlivosti v čase.

Literatura

- Alexandersson A. (1986): A homogeneity test applied to precipitation data. *J. Climate* **6**, 661-675.
- Barnston A.G., Livezey R.E. (1987): Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Mon. Wea. Rev.* **115**, 1083-1126.
- Bednorz E. (2002): Snow cover in western Poland and macro-scale circulation conditions. *Int. J. Climatol.* **22**, 533-541.
- Benestad, R.E. (2001): The cause of warming over Norway in the ECHAM4/OPYC3 GHG integration. *Int. J. Climatol.* **21**, 371-387.
- Beranová R., Huth R (2007a): Time variations of the relationships between the North Atlantic Oscillation and European winter temperature and precipitation. *Studia geophysica et geodaetica*. (in press)
- Beranová R., Huth R. (2007b): Time variations of the effects of circulation variability modes on European temperature and precipitation in winter. *Int. J. Climatol.* DOI: 10.1002/joc.1516
- Bonsal B.R., Shabbar A., Higuruchi K. (2001): Impacts of low frequency variability modes on Canadian winter temperature. *Int. J. Climatol.* **21**, 95-108.
- Bretherton C.S., Widmann M., Dymnikov V.P., Wallace J.M., Bladé I. (1999): The effective number of spatial degrees of freedom of a time-varying field. *J. Climate* **12**, 1990-2009.
- Bukantis A., Bartkeviciene G. (2005): Thermal effects of the North Atlantic Oscillation on the cold period of the year in Lithuania. *Clim. Res.* **28**, 221-228.
- Busuioc A., Chen D., Hellström C. (2001): Temporal and spatial variability of precipitation in Sweden and its link with the large-scale atmospheric circulation. *Tellus* **53A**, 348-367.
- Cattell R.B. (1966): The scree test for the number of factors. *Multivariate Behavioral Research* **1**, 245-276.
- Chen D., Hellström C. (1999): The influence of the North Atlantic Oscillation on the regional temperature variability in Sweden: spatial and temporal variations. *Tellus A* **51**, 505-516.
- Clinet S., Martin S. (1992): 700-hPa geopotential height anomalies from a statistical analysis of the French Hemis data set. *Int. J. Climatol.* **12**, 229-256.
- Craddock J.M., Flood C.R. (1969): Eigenvectors for representing the 500 mb geopotential surface over the North Hemisphere. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* **95** 576-593.
- Esbensen S. K. (1984): A comparison of intermonthly and interannual teleconnections in the 700mb geopotential height field during the northern hemisphere winter. *Mon. Wea. Rev.* **112**, 2016-2032.
- Gillett N.P., Graf H.F., Osborn J.T. (2003): Climate change and the North Atlantic Oscillation. *Hurrell J.W., Kushnir Y., Ottosen G., Visbeck M.(eds): The North Atlantic Oscillation: Climatic significance and environmental impact*. AGU:193-209.

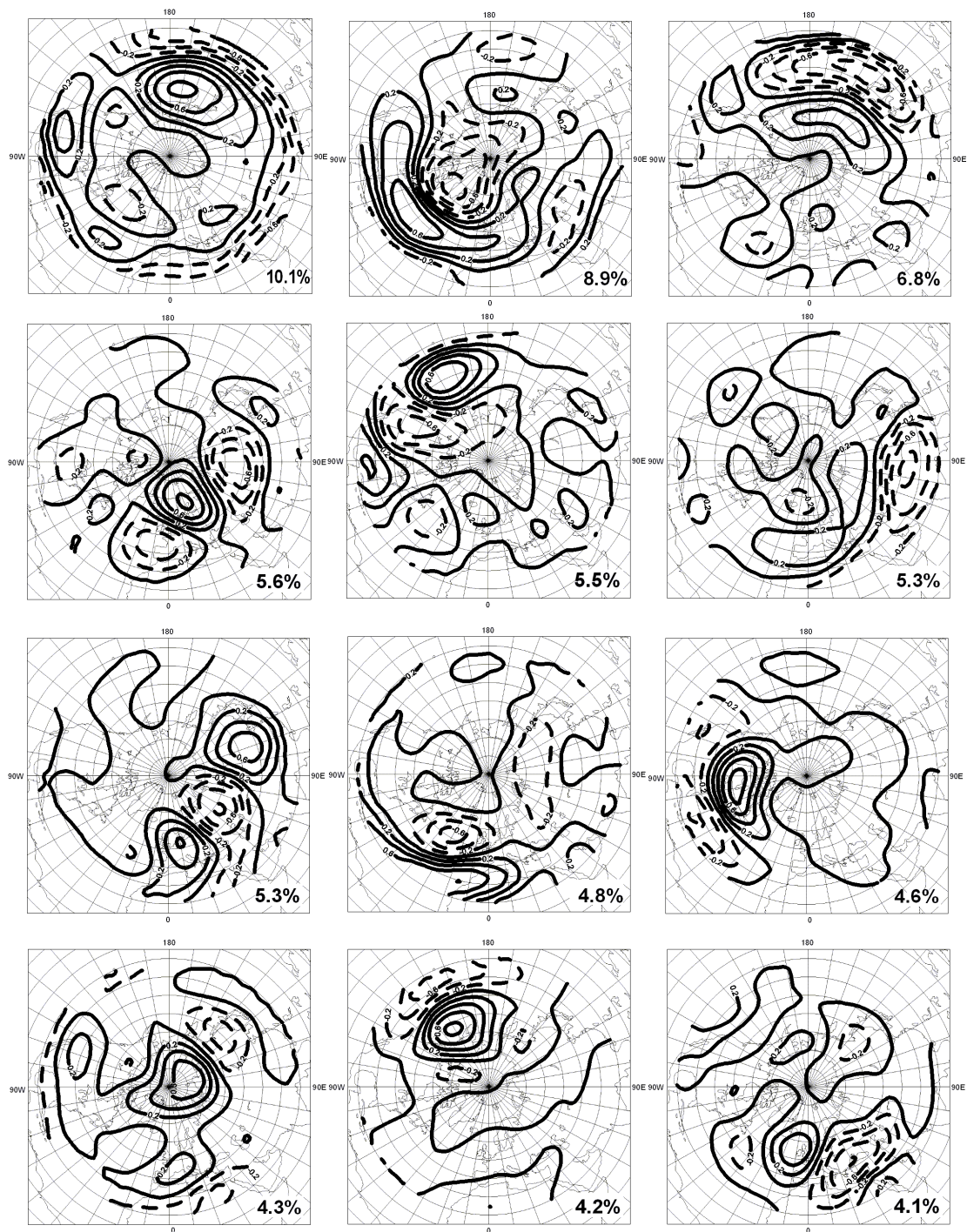
- Guttman L. (1954): Some necessary conditions for common-factor analysis. *Psychometrika* **19**, 149-161.
- Hameed S., Shi W., Boyle J., Santer B. (1995): Investigation of the centers of action in the northern Atlantic and north Pacific in the ECHAM AMIP simulation. *Proceedings of the First International AMIP Scientific Conference*, WCRP-92, WMP/TD-No. 732, 221-226.
- Harman H.H.: *Modern Factor Analysis*. University of Chicago press, 1967.
- Horel J.D. (1981): A rotated principal component analysis of the interannual variability of the Northern Hemisphere 500 mb height field. *Mon. Wea. Rev.* **109**, 2080-2092.
- Hurrell J.W. (1995): Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation, *Science* **269**, 676-679.
- Hurrell J.W., van Loon H. (1997): Decadal variations in climate associated with the North Atlantic Oscillation. *Clim. Change* **36**, 301-326.
- Huth R. (1997): Potential of continental-scale circulation for the determination of local daily surface variables. *Theor. Appl. Climatol.* **56**, 165-186.
- Jacobeit J., Jönsson P., Bärring I., Beck C., Ekström M. (2001): Zonal indices for Europe 1750-1995 and running correlations with temperature. *Clim. Change* **48**, 219-241.
- Jones P.D., Jonsson T., Wheeler D. (1997): Extension of the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and south-west Iceland. *Int. J. Climatol.* **17**, 1433-1450.
- Jones P.D., Osborn T.J., Briffa K.R. (2003): Pressure-based measures of the North Atlantic Oscillation (NAO): A comparison and an assessment of changes in the strength of the NAO and in its influence on surface climate parameters. *Hurrell J.W., Kushnir Y., Ottersen G., Visbeck M.(eds): The North Atlantic Oscillation: Climatic significance and environmental impact.*, AGU:51-62.
- Joyce T.M. (2002): One hundred plus years of wintertime climate variability in the Eastern United States. *J. Climate* **15**, 1076-1086.
- Jung T., Hilmer M., Ruprecht E., Kleppek S., Gulev S.K., Zolina O. (2003): Characteristics of the recent eastward shift of interannual NAO variability. *J. Climate* **16**, 3371-3382.
- Kalnay E., and Coauthors (1996): The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* **77**, 437-471.
- Kaufman L., Rousseeuw P.J.: *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*. John Wiley, New York, 1990.
- Klein Tank A.M.G., and Coauthors (2002): Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *Int. J. Climatol.* **22**, 1441-1453.
- Knippertz, P., Ulbrich U., Marques F., Corte-Real J. (2003): Decadal changes in the link between El Niño and springtime North Atlantic oscillation and European-North Africa rainfall. *Int. J. Climatol.* **23**, 1293-1311.
- Krichak S.O., Kishcha P., Alpert P. (2002): Decadal trends of main Eurasian oscillations and the Eastern Mediterranean precipitation. *Theor. App. Climatol.* **72**, 209-220.

- Krichak S.O., Alpert P. (2005): Decadal trends in the East Atlantic-West Russian pattern and Mediterranean precipitation. *Int. J. Climatol.* **25**, 183–192.
- Kutiel H., Benaroch Y. (2002): North Sea-Caspian Pattern (NCP)- an upper level atmospheric teleconnection affecting the Eastern Mediterranean: Identification and definition. *Theor. Appl. Climatol.* **71**, 17-28.
- Kutzbach J.E. (1970): Large-scale features of monthly mean northern hemisphere anomaly maps of sea-level pressure. *Mon. Wea. Rev.* **98**, 708-716.
- Mächel H., Kapala A., Flohn H. (1998): Behaviour of the centres of action above the Atlantic since 1881. part I: Characteristics of seasonal and interannual variability. *Int. J. Climatol.* **18**, 1-22.
- Martín M. L., Luna M. Y, Morata A., Valero F. (2004): North Atlantic teleconnection patterns of low-frequency variability and their links with springtime precipitation in the western Mediterranean. *Int. J. Climatol.*, **24**, 213–230
- Meloun M., Militký J.: *Statistická analýza experimentálních dat*. Academia, Praha, 2004.
- Mo K.C., Wang X.L., Kistler R., Kanamitsu M., Kalnay E. (1995): Impact of satellite data on the CDAS-reanalysis system. *Mon. Wea. Rev.* **123**, 124-139.
- Muñoz-Díaz D., Rodrigo F.S. (2003): Effects of the North Atlantic Oscillation on the probability for climatic categories of local monthly rainfall in southern Spain. *Int. J. Climatol.* **23**, 381-397.
- Muñoz-Díaz D., Rodrigo F.S. (2004): Impacts of the North Atlantic Oscillation on the probability of dry and wet winters in Spain. *Climate Res.* **27**, 33-43.
- Murphy S.J., Washington R. (2001): United Kingdom and Ireland precipitation variability and the North Atlantic sea-level pressure field. *Int. J. Climatol.* **21**, 939-959.
- Namias J. (1981): Teleconnections of 700 mb height anomalies for the Northern Hemisphere. *Calcofi Atlas*, No. **29**.
- O'Connor J.F. (1969): Hemispheric teleconnections of mean circulation anomalies at 700 millibars. *Environmental Science Services Administration Technical Report WB 10*, 103.
- Opoku-Ankomah Y., Cordery I. (1993): Temporal variation of relations between New South Wales rainfall and the Southern Oscillation. *Int. J. Climatol.* **13**, 51-64.
- Osborn T.J. (2004): Simulating the winter North Atlantic Oscillation: the roles of internal variability and greenhouse gas forcing. *Climate Dynamics* **22**, 605–623.
- Peterson K.A., Lu J., Greatbatch R.J. (2003): Evidence of nonlinear dynamics in the eastward shift of the NAO. *Geophysical Research Letters* **30**, 1030.
- Pokorná L., Beranová R., Huth R. (2007): Vztahy mezi cirkulačními mody a klimatickými prvky v České republice a jejich časová proměnlivost. *Meteorol. Zpr.* **60**, 65-76.
- Potter K.W. (1981): Illustration of a new test for detecting a shift in mean in precipitation series. *Mon. Wea. Rev.* **109**, 2040-2045.
- Reyment R., Jöreskog K.G.: *Applied factor analysis in the natural sciences*. Cambridge University press, 1996.
- Richman M.B. (1986): Rotation of principal components. *J.Climatol.* **6**, 293-335.

- Rodriguez-Puebla C., Encinas A.H., Nieto S., Garmendia J. (1998): Spatial and temporal patterns of annual precipitation variability over the Iberian Peninsula. *Int. J. Climatol.* **18**, 299-316.
- Rodó X., Baert E., Comin F.A. (1997): Variations in seasonal rainfall in Southern Europe during the present century: relationship with the North Atlantic Oscillation and the El Niño-Southern Oscillation. *Clim. Dyn.* **13**, 275-284.
- Rogers J.C., van Loon H. (1979): The seesaw in winter temperatures between Greenland and Northern Europe. Part II: Some oceanic and Atmospheric effects in middle and high latitudes. *Mon. Wea. Rev.* **107**, 509-519.
- Rogers J.C. (1984): The association between the North Atlantic Oscillation and the Southern Oscillation in the Northern Hemisphere. *Mon. Wea. Rev.* **112**, 1999-2015.
- Sáenz J., Zubillaga J., Rodríguez-Puebla C. (2001): Interannual variability of winter precipitation in northern Iberian Peninsula. *Int. J. Climatol.* **21**, 1503-1513.
- Serrano A., Garcia J.A., Mateos V.L., Cancillo M.L., Garrido J. (1999): Monthly modes of variation of precipitation over the Iberian peninsula. *J. Climate* **12**, 2894-2919.
- Slonosky V.C., Jones P.D., Davies T.D. (2001): Atmospheric circulation and surface temperature in Europe from the 18th century to 1995. *Int. J. Climatol.* **21**, 63-75.
- Štěpánek P. (2003): AnClim - Software for time series analysis (for Windows). Geografický ústav PřF MU, Brno, 1.47 MB.
<http://www.sci.muni.cz/~pest/AnClim.html>
- Štěpánek, P. (2004): Homogenization of air temperature series in the Czech Republic during a period of instrumental measurements. In: Fourth seminar for homogenization and quality control in climatological databases (Budapest, Hungary, 6-10 October 2003), WCDMP-No. 56. WMO, Genova. 117-133.
<http://www.wmo.ch/web/wcp/wcdmp/reports/WCDMP-56.pdf>
- Tomozeiu R., Stefan S., Busuioc A. (2005): Winter precipitation variability and large-scale circulation patterns in Romania. *Theor. Appl. Climatol.* **81**, 193-201.
- Trenberth K.E., Paolino D.A. (1980): The Northern Hemisphere sea-level pressure data set: trends, errors and discontinuities. *Mon. Wea. Rev.* **108**, 855-872.
- Trigo R.M., Osborn T.J., Corte-Real J.M. (2002): The North Atlantic Oscillation influence on Europe: climate impacts and associated physical mechanisms. *Climate Res.* **20**, 9-17.
- Trigo R.M., Pozo-Vázquez D., Osborn T.J., Castro-Díez Y., Gámiz-Fortis S., Esteban-Parra M.J. (2004): North Atlantic Oscillation influence on precipitation, river flow and water resources in the Iberian Peninsula. *Int. J. Climatol.* **24**, 925-944.
- Ulbrich U., Christoph M., Pinto J.G., Corte-Real J. (1999): Dependence of winter precipitation over Portugal on NAO and baroclinic wave activity. *Int. J. Climatol.* **19**, 379-390.
- Uvo C.B. (2003): Analysis and regionalization of Northern European winter precipitation based on its relationship with the North Atlantic Oscillation. *Int. J. Climatol.* **23**, 1185-1194.
- Walker G.T., Bliss E. W. (1932): World Weather V. *Mem. Roy. Meteor. Soc.* **4**, **36**, 53-84.

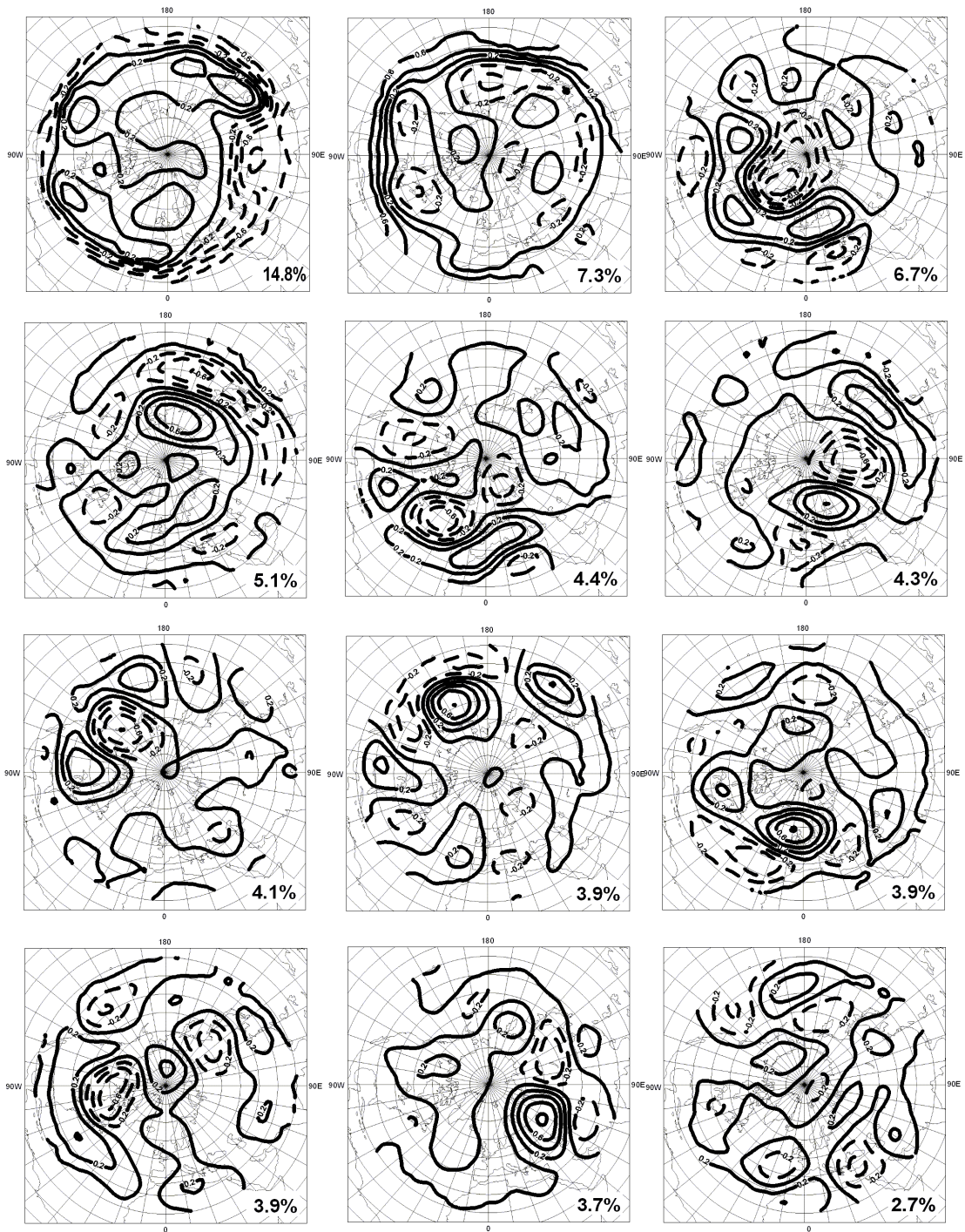
- Wallace J.M., Gutzler D.S. (1981): Teleconnections in the geopotential height field during the northern Hemisphere winter. *Mon. Wea. Rev.* **109**, 784-812.
- Wibig J. (1999): Precipitation in Europe in relation to circulation patterns at the 500 hPa level. *Int. J. Climatol.* **19**, 253-269.
- Wilks D.S.: *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Academic Press: San Diego, 1995.

Přílohy



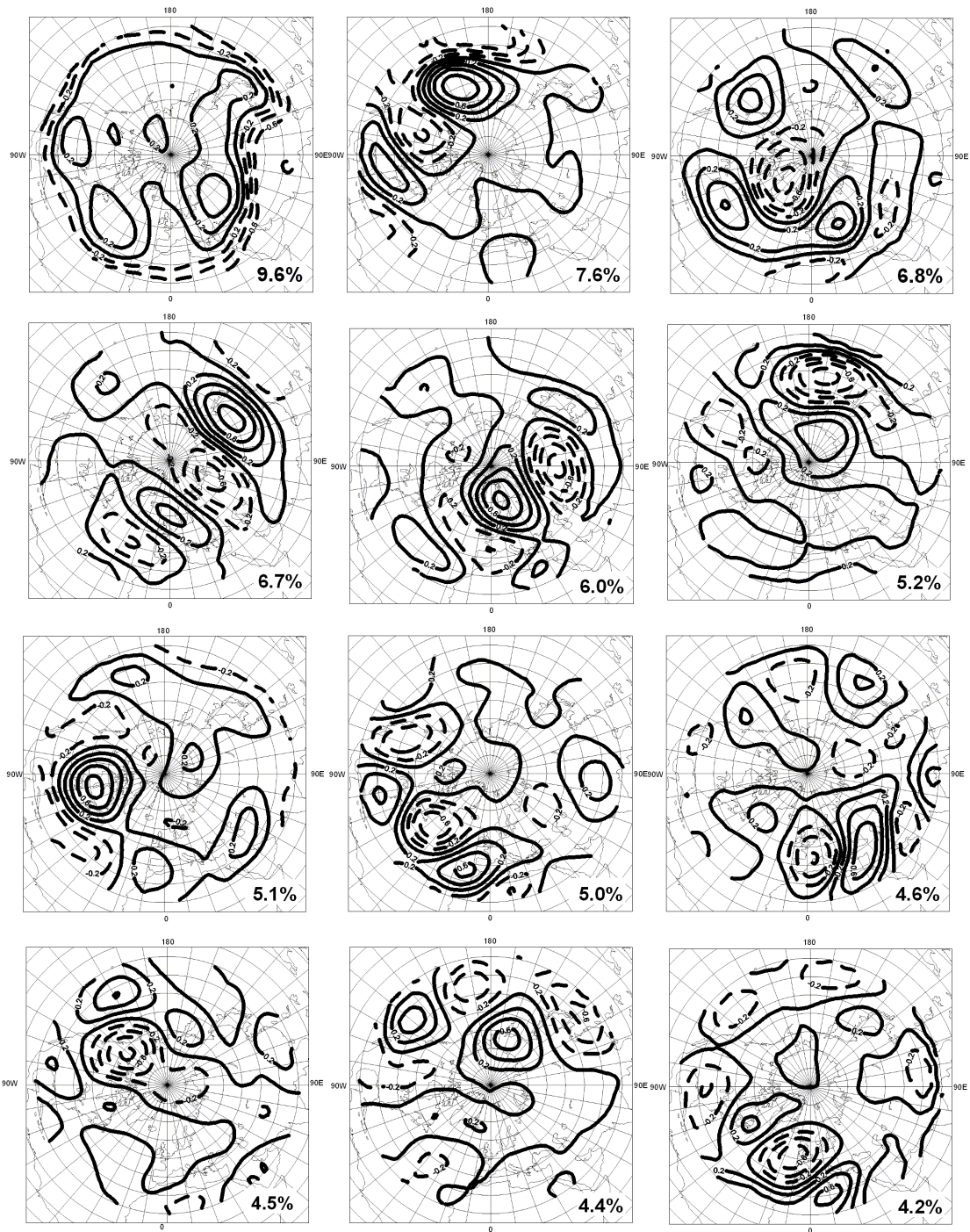
Příloha 1: Cirkulační módy v hladině 500hPa na jaře.

Appendix 1.: Circulation modes at the 500 hPa level in spring.



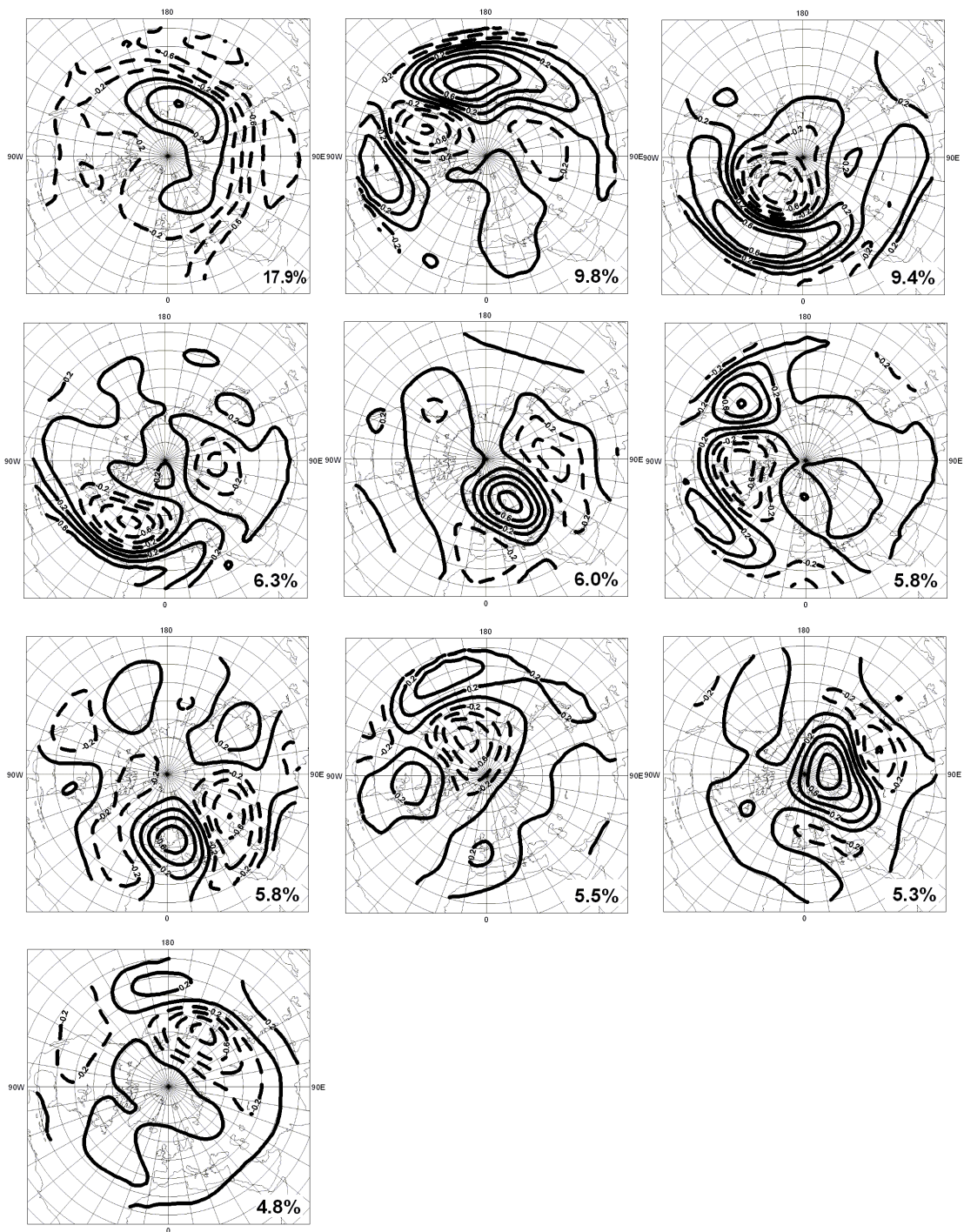
Příloha 2: Cirkulační módy v hladině 500hPa v létě.

Appendix 2.: Circulation modes at the 500 hPa level in summer.



Příloha 3: Cirkulační módy v hladině 500hPa na podzim.

Appendix 3.: Circulation modes at the 500 hPa level in autumn.



Příloha 4: Cirkulační módy v hladině 500hPa v zimě.

Appendix 4.: Circulation modes at the 500 hPa level in winter.