

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta
Katedra fyzické geografie a geoekologie

Studijní program: Geografie
Studijní obor: Fyzická geografie a geoekologie



Bc. Tomáš Krauskopf

TRENDY TEPLoty V EVROPĚ URČENÉ Z RŮZNÝCH DATOVÝCH ZDROJŮ

TEMPERATURE TRENDS IN EUROPE ESTIMATED FROM
DIFFERENT DATA SOURCES

Diplomová práce

Praha, 2017

Vedoucí práce: RNDr. Radan Huth, DrSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne

.....

podpis

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé práce RNDr. Radanu Huthovi, DrSc. za jeho cenné rady a připomínky, vstřícnost a věnovaný čas.

.....

podpis

Zadání diplomové práce

Název práce:

Trendy teploty v Evropě určené z různých datových zdrojů

Cíle práce:

1. Zpracovat rešerši literatury na téma pozorovaných změn klimatu v oblasti Evropy, s důrazem na různé datové základny.
2. Zvolit vhodné databáze (staniční data, data interpolovaná do uzlových bodů, atmosférické reanalýzy) pro vlastní analýzu.
3. Pro vybrané databáze určit dlouhodobé změny (trendy) teploty v Evropě.
4. Srovnat výsledky pro jednotlivé databáze.

Použité pracovní metody, datové zdroje, zájmové území:

Výpočet trendů pomocí lineární regrese

Datové zdroje: databáze staničních dat ECA&D, databáze klimatických dat v uzlových bodech E-OBS, atmosférická reanalýza ERA-40

Zájmové území: Evropa

Analyzované období: 1957 až 2002

Datum zadání: 17. 12. 2014

Jméno studenta: Tomáš Krauskopf

Podpis studenta:

Jméno vedoucího práce: RNDr. Radan Huth, DrSc.

Podpis vedoucího práce:

Abstrakt

Tato práce se zabývá analýzou dlouhodobých teplotních změn v Evropě v období 1957-2002 s důrazem na zhodnocení rozdílů v hodnotách trendů teploty mezi vybranými datovými zdroji. Jedním z cílů práce je analyzovat prostorové rozložení oteplování v Evropě v jednotlivých ročních obdobích a pokusit se diskutovat příčiny různého tempa oteplování v různých oblastech. Dalším motivem práce je poté zobrazit, popsat a zdůvodnit rozdíly v hodnotách teplotních trendů mezi třemi různými datovými zdroji: staniční databází ECA&D, datovým souborem v interpolované síti uzlových bodů E-OBS a reanalýzou ERA-40. I přes mírné rozdíly v dlouhodobém vývoji maximální a minimální teploty je vzhledem k lepší přehlednosti popisována převážně změna průměrné přízemní teploty vzduchu. V první části práce je shrnuta odborná literatura zabývající se nejen oteplováním v Evropě, ale i vhodností jednotlivých druhů datových zdrojů pro určování teplotních trendů. Většina odborných článků na evropské úrovni popisuje dlouhodobou změnu teploty pouze na základě jednoho datového zdroje, a neanalyzuje tak rozdíly v teplotních trendech mezi jednotlivými databázemi. Tato diplomová práce by tedy měla přinést nové či podrobnější poznatky o těchto rozdílech společně s jejich zdůvodněním. Pro analýzu jsem využil data z 92 klimatických stanic databáze ECA&D, z 325 uzlových bodů souboru E-OBS a z 323 uzlových bodů reanalýzy ERA-40. K výpočtu teplotních trendů na jednotlivých stanicích i uzlových bodech jsem použil metodu lineární regrese. Výsledky jsou prezentovány formou map, ve kterých jsou teplotní trendy znázorněny pomocí kartogramu (E-OBS), izolinií (ERA-40) a tečkové metody (ECA&D), a jejichž součástí je i znázornění statistické významnosti těchto trendů. Mapy jsou poté doplněny grafy odchylek průměrných ročních teplot od normálu, které slouží k odhalení příčin rozdílů mezi trendy určenými z dat jednotlivých zdrojů.

Klíčová slova: teplota, dlouhodobé změny, změna klimatu, klimatické databáze, reanalýza

Abstract

This paper deals with the analysis of long-term temperature changes in Europe in the period 1957-2002 with an emphasis on the evaluation of the differences in values of temperature trends among selected data sources. One of the objectives of this paper is to analyze the spatial distribution of warming in Europe in individual seasons and to attempt to discuss the causes of different warming rates in different areas. Another aim of this thesis is to show, describe and justify differences in temperature trends between three different data sources: the ECA&D station database, the E-OBS interpolation network data set and the ERA-40 reanalysis. Despite the slight differences in the minimum and maximum temperature trends, the long-term mean surface air temperature change is mainly described. In the first part of the thesis we summarize the scientific literature dealing not only with warming in Europe but also the suitability of individual types of data sources for estimating the temperature trends. Most scientific articles at European level describe a long-term temperature change based on only one data source and do not analyze differences in temperature trends between databases. This diploma thesis should bring new or more detailed knowledge of these differences together with their justification. For analysis, I used data from 92 ECA&D climate stations, 325 grid points of E-OBS and 323 grid points of ERA-40 reanalysis. I used the linear regression method to calculate the temperature trends at individual stations and each grid point. The results are presented in the form of maps in which the temperature trends are represented by cartogram (E-OBS), isolines (ERA-40) and dot method (ECA&D). A mapping of statistical significance of these trends is also included in the maps. Maps are then supplemented with graphs of mean year average temperature deviations that serve to reveal the causes of differences between trends estimated from data from individual data sources.

Keywords: temperature, long-term changes, climate change, climate database, reanalysis

Obsah

1. ÚVOD	8
2. Datové zdroje klimatických proměnných	10
2.1. Staniční data	10
2.2. Data interpolovaná do pravidelné sítě uzlových bodů	12
2.3. Data z reanalýz	13
3. Trendy globální přízemní teploty vzduchu určené z různých datových zdrojů	16
4. Oteplování v Evropě	20
4.1. Datové zdroje	20
4.2. Teplotní trendy v Evropě určené z různých datových zdrojů	23
4.2.1. Vývoj evropských průměrných teplot určený dle gridového datového souboru E-OBS23	
4.2.2. Porovnání s teplotními trendy většího prostorového měřítka	27
4.2.3. Porovnání s jinými datovými soubory v pravidelné síti uzlových bodů	28
4.2.4. Porovnání s datovým souborem ECA&D a dalšími staničními soubory	29
4.2.5. Porovnání s reanalýzami	34
4.2.6. Porovnání s trendy v jednotlivých národních studiích	38
5. Data	41
5.1. Výběr a popis dat	41
5.2. Kontrola kvality dat	44
6. Metodika	46
7. Výsledky	50
7.1. Celkové teplotní změny	50
7.2. Sezonní teplotní trendy v Evropě mezi lety 1957 a 2002 určené ze tří různých datových zdrojů (ECA&D, E-OBS, ERA-40)	51
7.2.1. Zimní teplotní trendy	51
7.2.2. Jarní teplotní trendy	56
7.2.3. Letní teplotní trendy	59
7.2.4. Podzimní teplotní trendy	63
8. Diskuze	66
9. Závěr	70

1. ÚVOD

Současný proces globálního oteplování je jedním z nejvýznamnějších faktorů ovlivňujících rozvoj životního prostředí v lokálním, regionálním i globálním měřítku s výraznými dopady na lidskou společnost a její aktivity (Brázdil a kol., 2009). Vzrůstající teplota, masivní tání ledovců i zvyšující se četnost extrémních výkyvů počasí jsou jevy, které jsou v dnešní době dokumentované v mnoha vědeckých studiích. Hartmann a kol. (2013) například uvádějí, že poslední tři desetiletí byla z hlediska globální přízemní teploty vzduchu nejteplejšími desetiletími od dob začátku klimatických záznamů. Většina studií dospívá k závěru, že nárůst průměrné teploty je způsoben zejména zvyšujícími se koncentracemi skleníkových plynů. Atribucí klimatické změny se však tato práce nezabývá. Pozornost je zde upřena především na posuzování hodnot teplotních trendů.

Při hodnocení dlouhodobých teplotních trendů na určitém území, ať už v globálním, kontinentálním či regionálním měřítku, se využívá klimatických dat z několika základních datových zdrojů. Jedná se o data naměřená na klimatických stanicích, o data interpolovaná do pravidelné sítě uzlových bodů a o data z reanalýz. Vhodnost jednotlivých datových souborů pro určování teplotních trendů je nicméně předmětem mnohých debat a k vypočteným trendům je třeba vždy přistupovat kriticky. Zatímco u staničních dat je nevýhodou jejich nehomogenita či nerovnoměrné a nereprezentativní pokrytí daného území, u dat v uzlových bodech lze hledat chyby v nepřesné interpolaci. U reanalýz poté při zkreslení trendů hraje roli změna v druhu a množství asimilovaných dat v průběhu chodu reanalýzy.

Tato práce se zabývá teplotními trendy v Evropě určenými různými datovými zdroji. Tempo oteplování starého kontinentu je dle van der Schriera a kol. (2013) v období 1980 - 2010 až 1,6x rychlejší než tempo oteplování nad pevninou celého světa. Vzhledem k takto nerovnoměrnému rozložení oteplování došlo v nedávných letech k výraznému posunu ve výzkumu klimatických změn z globálního na kontinentální a regionální měřítko. Ve studiích zabývajících se evropskými teplotními trendy je hojně využíváno jak staničních dat (Klein Tank a kol., 2002; Brázdil a kol., 2009; Degirmendzić a kol., 2004) či interpolovaných souborů (van der Schrier a kol., 2013; Tietäväinen a kol., 2007), tak reanalýz (Scherrer a kol., 2006). Existují i studie, které porovnávají hodnoty trendů mezi jednotlivými datovými zdroji (Simmons a kol., 2004; van der Schrier a kol., 2013). Takových studií však není na evropské úrovni mnoho, a proto se tato práce snaží porovnávat i výsledky jednotlivých studií založených právě na rozdílných datových souborech. To je však výrazně komplikováno rozdílnou metodou interpretace teplotních trendů, kdy některé studie popisují vývoj průměrné teploty, zatímco některé zkoumají vývoj maximálních teplot nebo například trendy v počtu

letních dnů. Dalším problémem při porovnání trendů mezi jednotlivými analýzami je poté odlišné zkoumané období.

V aplikační části práce posuzuji tempo oteplování v Evropě v závislosti na volbě datového souboru. Nejprve pomocí metody lineární regrese počítám dlouhodobé trendy průměrné teploty na devadesáti třech stanicích souboru ECA&D, v uzlových bodech interpolovaného souboru E-OBS a v uzlových bodech reanalýzy ERA-40. Pomocí map poté hodnotím prostorové rozložení oteplování v Evropě a vyjadřuji rozdíl mezi hodnotami trendů určenými těmito třemi datovými soubory. Vzhledem k velkým odlišnostem v hodnotách a prostorovém rozložení trendů v jednotlivých ročních obdobích byly vytvořeny celkem čtyři základní mapy: pro jaro, léto, podzim a zimu. V práci jsou popsány pravděpodobné příčiny pozorovaných rozdílů a zkrácení při určování trendů jednotlivými datovými zdroji. Závěry jsou dále porovnávány s výsledky uvedených studií. Je zvoleno období od září roku 1957 do srpna roku 2002, což je období pokryté reanalýzou ERA-40, aby došlo k časovému překrytí všech tří datových zdrojů.

2. DATOVÉ ZDROJE KLIMATICKÝCH PROMĚNNÝCH

Zdrojová data všech klimatických proměnných, a tedy i přízemní teploty vzduchu, se dají rozčlenit do tří základních skupin. Jedná se o data získaná pozorováním na klimatických stanicích, o data interpolovaná do pravidelné sítě uzlových bodů a neméně podstatnou a v posledních letech výrazně se rozšiřující skupinu tvoří data z reanalýz. Každá z těchto skupin má své zástupce jak na globální, tak na kontinentální a mnohdy i na regionální úrovni.

Tato kapitola se zabývá charakteristikou těchto tří skupin hlavních datových zdrojů a popisu jejich výhod, nevýhod a potenciálních zkreslení při vyjádření dlouhodobých trendů společně s představením jednotlivých zástupců.

2.1. Staniční data

Nejtradičnějšími datovými základnami jsou bezesporu klimatické stanice. Měření na těchto stanicích sahají nejdále do historie a jsou tak využitelná pro určování trendů klimatických proměnných mnohdy i od počátku 18. století. Za jednu z nejstarších klimatických stanic na světě je považována stanice De Bilt v Nizozemsku, na níž se pravidelně měří již od roku 1706 (van der Schrier a kol., 2011). Stanicí s nejdelším obdobím pravidelného měření v Česku je pak Pražské Klementinum. Ačkoli zde měření probíhala již od roku 1752, za začátek ucelené teplotní klementinské řady je vzhledem k předchozím neúplnostem považován až rok 1775 (Kyselý a kol., 2002). Počet stanic začal růst nejvíce ve druhé polovině 19. století a o dostatečně husté síti ve vyspělé části světa se dá hovořit až od počátku 20. století. Kromě mnoha výhod staničních měření, jakými jsou například dlouhodobá stabilita či vysoká přesnost naměřených veličin, existuje i řada nevýhod. Jednou z nich je nerovnoměrné rozmístění stanic. Většina stanic je umístěna do vyspělých a obydlených oblastí, zatímco v neobydlených či zaostalých oblastech měření chybí. S tím souvisí i nereprezentativnost, kdy například meteorologická situace na stanici umístěné v údolí nemusí odpovídat situacím na okolních hřebenech. Neméně významnou komplikací staničních dat jsou nehomogenity v dlouhodobých řadách, ke kterým dochází v důsledku přemístění stanice, změny v okolním prostředí či výměny přístrojů na stanici (Klein Tank a kol., 2002). Časová teplotní řada poté odráží i jiné vlivy než čistě klimatické, což může výrazně zkreslit dlouhodobé trendy. Problém je také to, že archivace, udržování a šíření časových řad klimatických proměnných je individuální zodpovědností národních meteorologických služeb s vlastním rozdílným úložným systémem či odlišnou datovou politikou (Klein Tank a kol., 2002). Jednotlivé stanice se proto uspořádávají do konkrétních datových souborů ať už z důvodů geografického či metodologického sjednocení nebo pro přehlednější a důvěryhodnější vytváření studií a analýz. Jedním z příkladů takového sjednoceného datového souboru je European

Climate Assessment & Dataset (ECA&D), který vznikl v roce 2002 za iniciace ECSN (European Climate Support Network), (Klein Tank a kol., 2002). Jeho původním cílem byl monitoring a analýza klimatu a klimatických změn se zaměřením na klimatické extrémny. Jedná se o databázi meteorologických pozorování s denním rozlišením napříč celou Evropou s rozšířením o některé státy Severní Afriky a Středního Východu (Klein Tank a kol., 2002). Z původních 175 zúčastněných stanic (obr 1.), v době vzniku databáze, vzrostl jejich počet mnohanásobně (van Engelen a kol., 2008).



Obr. 1: Hustota staniční sítě ECA&D v roce 2004

Zdroj: van Engelen a kol., 2008

V roce 2008 se již jednalo o síť 2000 stanic (obr. 2) se 7000 časovými řadami klimatických proměnných (van Engelen a kol., 2008) a tento počet neustále stoupá.



Obr. 2: Hustota staniční sítě ECA&D v roce 2008

Zdroj: van Engelen a kol., 2008

Příkladem staničního datového souboru v rámci celého světa je GHCN (Global Historical Climate Network), která je tvořena zhruba 7 000 stanicemi (Peterson a Vose, 1997). Stanice s více než stoletým záznamem se nacházejí pouze v USA, v Evropě či Japonsku, což poukazuje na nevyrovnané rozmístění. Soubor GHCN vznikl v polovině 90. let za iniciace klimatologů ze severoamerického národního klimatického datového centra (NCDC). Cílem bylo vytvoření databáze, která bude vhodná pro studie klimatických změn jak v globálním, tak v regionálním měřítku (Peterson a Vose, 1997).

Za staniční datový soubor na národní úrovni by se dal považovat soubor Odboru profesionální staniční sítě v Česku, který je tvořen 22 profesionálními meteorologickými stanicemi.

2.2. Data interpolovaná do pravidelné sítě uzlových bodů

Druhou skupinou datových zdrojů jsou data v pravidelné síti uzlových bodů. Tato síť vzniká převážně matematickou interpolací z přízemních dat naměřených na klimatických stanicích. Dle Haylocka a kol. (2008) jsou tyto datové soubory důležité z několika důvodů: 1) Interpolované soubory dat umožňují odhady hodnot klimatických proměnných i v místech mimo klimatické stanice, a tím umožňují analyzovat lokální klima v oblastech s nedostatkem dat. 2) Dále jsou tyto soubory vhodné pro studie prostorové klimatické proměnlivosti, které využívají postupů jako je analýza hlavních složek či klastrová nebo korelační analýza. Takovéto postupy vyžadují pravidelné rozložení pozorování, aby nedošlo k vychýlení hodnot v místech s větším počtem pozorování. 3) Pravidelná síť uzlových bodů je nejvhodnějším datovým souborem pro validaci modelů.

Při interpolaci klimatických dat z nepravidelné sítě stanic do pravidelné sítě uzlových bodů, k níž se používá mnohých metod včetně krigování, dochází mnohdy k některým nepřesnostem (Hofstra a kol., 2009). Jednak se mohou nehomogenity ze staničních řad promítnout i do gridového souboru a dalším problémem pak může být nepřesný odhad hodnoty klimatické proměnné v uzlovém bodě, zejména v oblastech nedostatečně pokrytých stanicemi či v oblastech s komplexní topografií (Hofstra a kol., 2009). To dále může vést ke zkreslení trendů v těchto místech. Hofstra a kol. (2010) pak uvádějí, že ke zkreslení dlouhodobého vývoje klimatických proměnných může dojít také z důvodu vyhlazení odlehlých hodnot z některých stanic při interpolaci, a to zejména při určování trendů ve výskytu extrémů. Při zprůměrování hodnot teploty z několika stanic do jednoho uzlového bodu totiž dochází ke změně statistického rozdělení teplot v tomto bodě, které je poté blíže normálnímu rozdělení (Director a Bornn, 2015). Dalším zdrojem nejistot při určování teplotních trendů z dat v uzlových bodech může být časově proměnlivý počet stanic, ze kterých jsou data do souboru interpolována (Kyselý a Plavcová, 2010).

Jedním ze světově nejrozšířenějších záznamů klimatického systému je celosvětový datový soubor CRUTEM (Osborn a Jones, 2014), který je produktem Climate Research Unit (CRU). Tento soubor vznikl v roce 1994 interpolací z více než 2000 stanic a pokrývá celou zemskou pevninu v prostorovém rozlišení $5^\circ \times 5^\circ$ (Jones a kol., 2012). Časové rozlišení souboru je měsíční. CRUTEM je hojně využíván jako zdroj dat v hodnotících zprávách Mezivládního panelu pro klimatickou změnu.

Další světově známou databází je GISS, která je produktem stejnojmenného institutu GISS (Goddard Institute for Space Studies). Hlavním cílem tohoto datového souboru, který byl vytvořen v roce 1981, je odhad globální změny teploty, která by mohla být porovnána s očekávanou globální klimatickou změnou v reakci na známé či očekávané klimatické působící mechanismy jako jsou změny v koncentracích CO_2 či vulkanických aerosolů nebo změny v solárním záření (Hansen a kol., 2010).

Interpolací z dat staniční sítě ECA&D je tvořena databáze E-OBS. Tato pravidelná síť uzlových bodů pokrývá pevninu od 25° do 75° severní šířky a od 40° západní délky do 75° východní délky ve dvou prostorových rozlišeních $0,25^\circ$ a $0,5^\circ$. Časové rozlišení souboru je denní a data jsou dostupná od roku 1950 do současnosti. E-OBS byl vyvinut za účelem využití při validaci regionálních klimatických modelů a pro studie klimatických změn (Kyselý a Plavcová, 2010).

V současnosti je kladen důraz na projekty vytvářející databáze v uzlových bodech na národní či nadregionální úrovni. Jedním z příkladů takového datového souboru je databáze HISTALP, která poskytuje data jak z jednotlivých klimatických stanic v oblasti Alp, tak v pravidelné síti uzlových bodů v rozlišení $1^\circ \times 1^\circ$ na území od 4° do 17° východní délky a od 43° do 47° severní šířky (Auer a kol., 2007). Pro Alpský region však existuje i mnohem podrobnější síť uzlových bodů v prostorovém rozlišení $0,0083^\circ \times 0,0083^\circ$, což odpovídá zhruba rozlišení 1×1 km (Hiebl a kol., 2009).

2.3. Data z reanalýz

Nejmodernějšími klimatickými datovými zdroji jsou reanalýzy. Jedná se o fixní systémy numerické „předpovědi“ počasí, do kterých vstupují všechny dostupné historické údaje o atmosféře, a které aproximují klima spíše do minulosti než do budoucnosti (Thorne, 2011). Systém, do kterého jsou asimilována data o celé atmosféře (z pozemních pozorování, radiosond, družic, atd.), a který běží krátký časový úsek (většinou do 6 hodin předpovědi), poté vytvoří jakýsi odhad skutečného stavu atmosféry v daném čase (Simmons a kol., 2004). Pro monitoring a výzkum v oblasti klimatu mají reanalýzy mnohé potenciální výhody oproti tradičnějším datovým souborům. Jde zejména o to, že takto vytvořené datové soubory poskytují kompletní časové i prostorové pokrytí, a to spíše za pomoci fyzikální než statistické interpolace (Thorne, 2011). K dispozici jsou pak tedy údaje i v místech, kde se neměří, a to jak v horizontálním tak vertikálním rozlišení. Reanalýzy pak také poskytují informace o

veličinách, které se nedají jednoduše pozorovat. Takovými veličinami jsou například obsah vody ve sloupci atmosféry či potenciální vorticity (Thorne, 2011). Datové soubory vytvořené z reanalýz nalezly díky těmto výhodám široké uplatnění v mnoha odvětvích klimatologického a meteorologického výzkumu (Simmons a kol., 2004). To dokazuje například i to, že práce popisující první dlouhodobější reanalýzový systém NCEP/NCAR (Kalnay a kol., 1996), byla nejvíce citovanou prací v oboru klimatologie v prvním desetiletí 21. století (Thorne a Vose, 2010). Schopnost reanalýz zdokumentovat dlouhodobé trendy nebo nízko-frekvenční variabilitu je nicméně předmětem mnohých debat (Simmons a kol., 2004). Největším problémem je změna v počtu a druhu dat vstupujících do reanalýzy v průběhu času, která může mít za následek výrazné zkreslení dlouhodobých trendů. Nejvýraznější nehomogenitou v chodu reanalýz je bezpochyby zavedení satelitních dat v roce 1979 (Bengtsson a kol., 2004). Jednotlivé produkty se stále zdokonalují a některé nejistoty jsou dnes lépe chápány. Nicméně, v reanalýzách jsou stále přítomné některé nehomogenity. V důsledku toho závisí spolehlivost trendu na volbě zkoumané proměnné, časového období či řešeného území (Hartmann a kol., 2013).

Reanalýzy obvykle produkují atmosferická data z celého zemského povrchu v pravidelné síti uzlových bodů jak horizontálně, tak vertikálně. Pro účely této práce však postačuje horizontální složka. Příkladem historicky první dlouhodobější reanalýzy je reanalýza NCEP/NCAR, která byla vydána v roce 1996. Tato reanalýza je projektem stejnojmenných organizací NCEP (Národní centrum pro environmentální předpověď) a NCAR (Národní centrum pro atmosferický výzkum) a poskytuje globální data od roku 1948 do současnosti (Kistler a kol., 2001).

Další globální reanalýzou je ERA-40. Jedná se o reanalýzu meteorologických pozorování od září 1957 do srpna 2002 vytvořenou Evropským centrem pro střednědobé předpovědi počasí (ECMWF), (Uppala a kol., 2005). Jedná se tak o první reanalýzu, která sloužila pro porovnání s NCEP/NCAR pro období před rokem 1979 (Simmons a kol., 2004). Hlavním cílem při tvorbě ERA-40 však bylo vytvořit co nejefektivnější soubor analýz, vzhledem k měnícím se podmínkám pozorování a počtu dostupných zdrojů v průběhu výše zmíněného časového období (Uppala a kol., 2005).

Projekt Reanalýzy dvacátého století (20CR) je mezinárodní snahou vytvořit komplexní datový soubor pokrývající celé dvacáté století. Jedná se o systém reanalýz, do kterého je asimilován pouze tlak přepočtený na hladinu moře, a to jak nad pevninou, tak nad oceánem (Hartmann a kol., 2013). Cílem projektu je zejména vytvoření datového souboru s kvantifikovanými nejistotami pro validaci modelových simulací klimatu ve 20. století (Compo a kol., 2011).

Existuje celá řada reanalýz, které rekonstruují stav atmosféry od roku 1979, tedy od doby, kdy začala do modelu vstupovat data ze satelitních měření. Příklady takových analýz jsou například

ERA-Interim, JRA-25 či CSFR. Shrnutí jednotlivých reanalýz společně s pokrytým časovým obdobím a rozlišením lze pozorovat v tab. 1.

reanalýza	instituce	časové období	prost.rozlišení (km)
ERA-40	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)	1957 - 2002	125
NCEP/NCAR	National Centers for Environmental Prediction (NCEP) and National Center for Atmospheric Research (NCAR)	1948 - současnost	320
20th Century Reanalysis	Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences (CIRES)	1871 - 2010	320
JRA-25	Japan Meteorological Agency (JMA)	1979 - současnost	190
ERA-Interim	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)	1979 - současnost	80
CSFR	National Centers for Environmental Prediction (NCEP)	1979 - současnost	50

Tab. 1: výčet nejznámějších reanalýz společně se zakládající institucí, časově pokrytým obdobím a prostorovým rozlišením

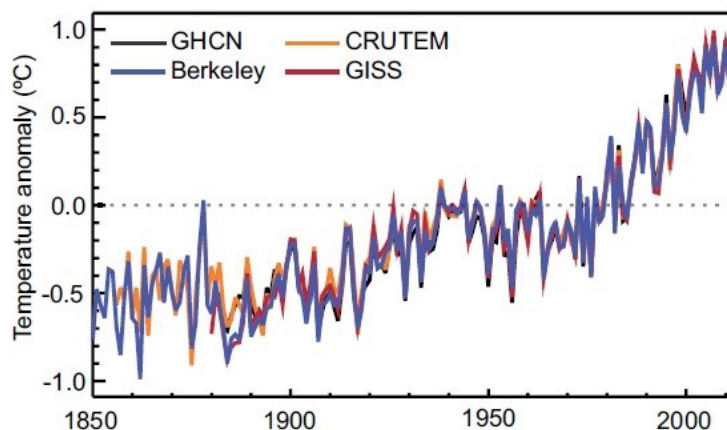
Zdroj: Hartmann a kol., 2013

3. TRENDY GLOBÁLNÍ PŘÍZEMNÍ TEPLoty VZDUCHU URČENÉ Z RŮZNÝCH DATOVÝCH ZDROJŮ

Doklady o globálním oteplování vycházejí z mnoha klimatických indikátorů ve většině vrstev zemské sféry. Jedná se jak o změny v teplotě vzduchu, oceánu či zemského povrchu, tak také o úbytek ledovců, vzestup hladiny světového oceánu nebo o změnu v objemu vodní páry v atmosféře. Vědci z celého světa potvrzují tyto doklady nezávisle na sobě (Hartman a kol., 2013). Nelze tedy pochybovat o tom, že se naše planeta otepluje, a je velmi pravděpodobné, že toto oteplování je z velké části způsobené antropogenním působením v podobě zvyšujících se koncentrací skleníkových plynů (Stocker a kol., 2013; Klein Tank a kol., 2005).

Jedním z nejvýraznějších a nejsledovanějších indikátorů klimatické změny je dlouhodobé zvyšování globální průměrné přízemní teploty vzduchu. Všechna tři poslední desetiletí byla podle tohoto ukazatele postupně nejteplejšími desetiletími od dob začátků měření, a ačkoliv ne každý rok je teplejší než ten předchozí, globální přízemní teplota roste v podstatě od roku 1900 s menším ochlazením mezi lety 1940 a 1970 (Hartmann a kol., 2013).

Dle celosvětové databáze HadCRUT, což je pravidelná síť uzlových bodů složená jak ze sítě nad pevninou (CRUTEM) tak ze sítě nad oceánem (HadSST), vzrostla globální přízemní teplota vzduchu mezi lety 1901 a 2012 zhruba o 0,89°C (0,08°C za desetiletí), (Hartman a kol. 2013). V období 1951 – 2012 to je dokonce 0,72°C (0,116°C za desetiletí). Z toho lze soudit, že tempo oteplování se mezi těmito dvěma obdobími výrazně zvýšilo. Samotný datový soubor CRUTEM vykazuje v období od roku 1951 do roku 2012 oteplování 0,175°C za desetiletí (Hartman a kol., 2013), z čehož lze vyvodit, že oteplování nad pevninou je výraznější než oteplování nad oceánem. Teplotní trend, vypočtený ze staniční databáze GHCN, je ještě o více než dvě desetiny °C vyšší (0,197°C za desetiletí v období 1951-2012), (Hartman a kol., 2013). Obr. 3 ukazuje anomálie průměrné teploty vzduchu nad zemskou pevninou vztažené k období 1961-1990 určené ze čtyř nezávisle zpracovaných datových zdrojů. Jsou zde zastoupeny datové zdroje v pravidelné síti uzlových bodů (CRUTEM, GISS) i zdroje ze staničních dat (GHCN). Lze pozorovat poměrně dobrou shodu jak v podobě mírného ochlazení mezi lety 1940 a 1970, tak ve výrazných kladných odchylkách na konci 20. a na začátku 21. století.



Obr. 3: Odchylky roční průměrné přízemní teploty vzduchu (1850 – 2011) vztahené k období 1961 – 1990 pro čtyři různé teplotní řady. (GHCN – Teplotní řada Global Historical Climatology Network (Lawrimore a kol., 2011), Berkeley – Teplotní řada Berkeley Earth Surface Temperature (Rohde a kol., 2013), CRUTEM – Teplotní řada Climate Research Unit - Temperature (Jones a kol., 2012), GISS – Teplotní řada Goddard Institute of Space Studies (Hansen a kol., 2010))
Zdroj: Hartmann a kol., 2013

Pokud se jedná o globální teplotní trendy posledních několika desítek let, většinou počítaných pro období 1979-2012, lze pozorovat další zrychlení tempa oteplování. Staniční síť GHCN dle Hartmanna a kol. (2013) v tomto období vykazuje trend $0,273^{\circ}\text{C}$ za desetiletí a databáze CRUTEM pak $0,254^{\circ}\text{C}$ za desetiletí. Reanalýza 20CR vykazuje o poznání nižší tempo oteplování, konkrétně $0,21^{\circ}\text{C}$ za desetiletí (Parker, 2011). Je tomu tak pravděpodobně z toho důvodu, že reanalýza 20CR nezahrnuje do svých výpočtů změny v krajinném pokryvu či nárůst nebo pokles v koncentracích aerosolů (Parker, 2011). Reanalýza ERA-Interim vykazuje naopak velmi podobný trend ($0,25^{\circ}\text{C}$ za desetiletí) jako databáze CRUTEM (Jones, 2012). Na pevnině severní polokoule je intenzita oteplování podle reanalýzy ERA-Interim dokonce větší ($0,38^{\circ}\text{C}$ za desetiletí) než podle datového souboru CRUTEM ($0,35^{\circ}\text{C}$ za desetiletí). Jones a kol. (2012) to zdůvodňují tím, že v reanalýze ERA-Interim je zahrnuta i oblast nadprůměrně se oteplujícími arktických pevnin, které v uzlové databázi CRUTEM chybí.

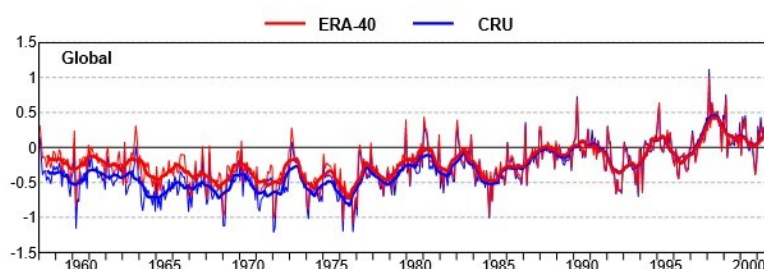
Shrnutí trendů globální průměrné přízemní teploty vzduchu nad pevninou z několika různých datových zdrojů pro jednotlivá období lze pozorovat v tab. 2.

datový soubor	typ	trend ($^{\circ}\text{C}$ za desetiletí)		
		1901-2012	1951-2012	1979-2010
CRUTEM	pravidelná síť uzl. bodů	0,095	0,175	0,254
GHCN	staniční síť	0,107	0,197	0,273
GISS	pravidelná síť uzl. bodů	0,099	0,188	0,267
20CR Reanalysis	reanalýza	0,09 (1901-2010)	0,13 (1951-2010)	0,21
ERA-Interim	reanalýza	x	x	0,25

Tab. 2: Trendy přízemní průměrné teploty nad pevninou celého světa určené z několika různých datových zdrojů ve třech různých obdobích

Zdroj: Hartman a kol., 2013; Jones a kol., 2012; Parker, 2011, Compo a kol., 2013

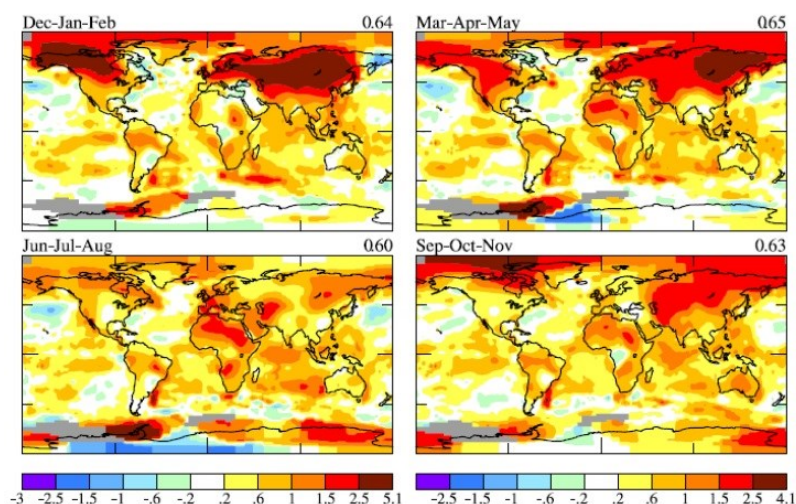
Obecně lze říci, že mezi trendy určenými z reanalýz a trendy určenými z uzlových bodů interpolovaných ze stanic dochází mnohdy k výrazným rozdílům. Simmons a kol. (2004) porovnávají trendy globální teploty mezi databází CRU a reanalýzou ERA-40 v obdobích 1958 – 2001 a 1979 – 2001. Z této práce je patrné, že trendy jsou výrazně menší pro ERA-40, a to o 38% v delším období a o 18% v kratším (novějším) období. Rozdíl v teplotních křivkách CRU a ERA-40 lze pozorovat na obr. 4. Nesoulad mezi těmito dvěma křivkami je patrný zejména před rokem 1967, což je pravděpodobně způsobeno omezeným množstvím pozorování přízemní teploty vzduchu, kdy předpovědní model má tendenci nadhodnocovat teploty u zemského povrchu (Simmons a kol., 2004). Ještě více se od datového souboru CRUTEM liší reanalýza NCEP/NCAR, která vůbec nevyužívá pozorování přízemní teploty vzduchu (Simmons a kol., 2004).



Obr. 4: Časové řady měsíčních teplotních anomálií a ročních průměrů globální přízemní teploty z datového souboru ERA-40 (červená) a CRU (modrá), průměrované nad gridovými body databáze CRU pokrývajícími celý svět. Hodnoty jsou upraveny tak, aby měly nulový průměr v období 1987-2001.

Zdroj: Simmons a kol., 2004

Jak již bylo uvedeno výše, existují značné rozdíly v intenzitě oteplování vzduchu nad pevninou a nad oceánem nebo nad pevninou severní a jižní polokoule. Podobně nerovnoměrné je i tempo oteplování na jednotlivých kontinentech, a to také zejména v závislosti na jednotlivých ročních obdobích. Geografické rozložení teplotních trendů v jednotlivých ročních obdobích shrnuje obr. 5.



Obr. 5: Celosvětové mapy teplotních trendů (°C) ve čtyřech ročních obdobích v období 1950-2009 určených interpolovaným datovým souborem GISS

Zdroj: Hansen a kol., 2010

Z obr. 5 je patrné, že nejvyššího tempa oteplování je v období 1951-2010 dosaženo ve vyšších zeměpisných šířkách severní polokoule, a to ve všech ročních obdobích kromě léta (JJA). V létě je dle databáze GISS nejvyšší intenzita oteplování v oblasti jižní a jihozápadní Evropy, v oblasti Sahary a v okolí Antarktického poloostrova. V těchto oblastech dosahují trendy hodnot 0,3 až 0,8°C za desetiletí (celosvětový průměr oteplování vzduchu nad pevninou je dle GISS 0,188°C za desetiletí). V zimě (DJF) jsou nejvyšší hodnoty oteplování naměřeny v severní a severovýchodní Evropě, v centrální Sibiři a v oblasti Aljašky a severozápadní Kanady. Hodnoty trendů se opět pohybují výrazně nad 0,5°C za desetiletí. Podobně vypadá situace na jaře (MMA), pouze s posunem ohniska oteplování více severovýchodně na Sibiř a podobně jako v létě do oblasti Antarktického poloostrova. Na podzim (SON) jsou hodnoty oteplování odlišné zejména v Evropě, kde, na rozdíl od léta, zimy či jara, nedochází téměř k žádnému oteplování. Právě hodnotami oteplování v Evropě určenými z různých datových zdrojů se zabývá téměř celá další část této práce.

4. OTEPLOVÁNÍ V EVROPĚ

Na převážné části území Evropy došlo během 20. století ke zvýšení teplot, a stejně jako v celosvětovém měřítku, byl největší nárůst teplot i v Evropě pozorován v poslední čtvrtině tohoto století (Klein Tank a Können, 2003). V Evropě teploty nerostou pouze rychleji, než je celosvětový průměr, ale rostou i rychleji, než se očekávalo v klimatických projekcích (van Oldenborgh a kol., 2009). V nedávné minulosti se v souvislosti se zrychleným tempem oteplování v Evropě objevily vlny veder. Jedná se především o léto 2003, které mělo výrazné dopady v západní Evropě, a o léto 2010, které nejvíce postihlo východní Evropu (van der Schrier a kol., 2013). Simulace klimatu ukazují, že tento trend zvyšujícího se počtu letních extrémů a oteplování silnějšího, než je průměrné oteplování ve světě či na severní polokouli bude pravděpodobně přetrvávat (van der Schrier a kol., 2013).

4.1. Datové zdroje

Při studiu teplotních trendů v Evropě se využívá jak celoevropské staniční databáze ECA&D (Klein Tank a kol., 2002; Moberg a kol., 2006), tak jednotlivých národních staničních datových souborů (Brázdil a kol., 2009; Degirmendžić a kol., 2004; Rebetez a Reinhard, 2007) či celosvětových reanalýz (Scherrer a kol., 2006). V některých analýzách je pak využito interpolace staničních dat do pravidelné sítě uzlových bodů (Tietäväinen a kol., 2010, Brunetti a kol., 2006) nebo již takto interpolovaných dat, převážně v gridovém souboru E-OBS (van der Schrier a kol., 2013). V některých případech se trendy z jednotlivých datových zdrojů více či méně shodují, avšak existuje velké množství případů, kdy se vypočtené trendy značně liší.

Výhodou staničního souboru ECA&D je jeho denní rozlišení, které umožňuje například analyzovat dlouhodobé změny ve výskytu extrémů teploty v Evropě ve vztahu k teplotě průměrné (Klein Tank a kol., 2002). Do doby vzniku databáze ECA&D (rok 2002) měly studie klimatických extrémů výrazný národní podtext (Brunetti a kol., 2001), nebo musely využívat denních hodnot z velmi řídké sítě klimatických stanic (8 stanic ve studii Moberga a kol., 2000), (Klein Tank a kol., 2002). Od doby vzniku databáze naopak výrazně stoupá hustota stanic do ní vstupujících (van Engelen a kol., 2008), a to i v oblasti východní Evropy, což výrazně zvyšuje reprezentativnost vypočítaných průměrných teplotních trendů jak pro celé území Evropy, tak pro jednotlivé oblasti. Nicméně v této práci jsou uváděny studie z období, kdy ještě hustota stanic v ECA&D nebyla tak vysoká (41 stanic ve studii Klein Tank a kol., 2002, 185 stanic ve studii Klein Tank a kol., 2005 či 81 stanic v práci Moberga a Jonese, 2005), a průměrné trendy proto nemusí být spolehlivé. Klimatické časové řady na jednotlivých stanicích ECA&D často vykazují „neklimatické“ skoky (nehomogenity) kvůli změnám v měřících přístrojích, změnám okolního prostředí nebo kvůli samotnému přemístění

stanice (Klok a Klein Tank, 2008), což může vést k výpočtu trendů neodrážejících skutečnost. V klimatických řadách mnohdy chybí i údaje za některé dny (Klein Tank a kol., 2002). Využívání datových souborů, jako je ECA&D, tedy vyžaduje souvislé hodnocení kvality dat s velmi dobře definovanou metodologií k podpoře důvěryhodnosti výsledků z těchto databází získaných (Wijngaard a kol., 2003). Provádí se tzv. kontrola kvality dat, což je proces, kdy je v každé časové řadě pozorován výskyt nekorektností jako: neexistující datum, minimální teplota vyšší než maximální teplota, záporné srážky či nemožné extrémy (Klein Tank a kol., 2002). Údaje o klimatických proměnných v takovýchto dnech jsou poté označeny jako „chybějící hodnoty“. Dále je využito statistického testování homogenity. V případě teplotních řad ze stanic datového souboru ECA&D dochází k testování charakteristik spojených s denní amplitudou teploty (DTR), a to z toho důvodu, že DTR je citlivější ke statistickým testům než samotná průměrná minimální či maximální teplota (Wijngaard a kol., 2003). V této studii je pak pro období 1946 – 1999 klasifikováno 39% stanic jako použitelných (statisticky homogenních), 7% jako podezřelých a 54% jako velmi pochybných. Pro období 1961 – 2006 je již jako použitelných klasifikováno 54% stanic (Klok a Klein Tank, 2008). Použitelná stanice je dle Wijngaarda a kol. (2003) taková stanice, která nevykazuje žádné nebo pouze malé nehomogenity s ohledem na meziroční standardní odchylku časové teplotní řady, a pro kterou žádný nebo pouze jeden ze čtyř použitých statistických testů zamítá nulovou hypotézu o homogenní teplotní řadě na hladině spolehlivosti 1%. U podezřelých a velmi pochybných stanic tuto nulovou hypotézu zamítají dva, respektive tři nebo čtyři ze čtyř statistických testů.

Vzhledem k výraznému posunu ve výzkumu klimatických změn z globálního na regionální měřítko bylo potřeba vytvořit gridový soubor s vysokým prostorovým i časovým rozlišením (Hofstra a kol., 2009). Tyto podmínky splňuje datový soubor E-OBS, který pokrývá celé území Evropy od roku 1950 do současnosti v denním časovém rozlišení a v prostorovém rozlišení až 0,22°. Předešlé podobně vytvořené produkty překonává zejména v prostorovém rozlišení a rozsahu, v délce pozorovaného období či v počtu stanic interpolovaných do databáze (Haylock a kol., 2008). Při konstrukci datového souboru E-OBS byla dále upřena značná pozornost k volbě co nejvhodnější metody prostorové interpolace z denních pozorování (Haylock a kol., 2008). Největší výhodou E-OBS oproti ECA&D je možnost výpočtu teplotních trendů i v místech, kde se neměří (Haylock a kol., 2008). Nicméně datové soubory v interpolované síti uzlových bodů obsahují mnohé nepřesnosti a chyby (Hofstra a kol., 2009). Vzhledem k tomu že hustota stanic má výrazný vliv na přesnost interpolace, a to hlavně v oblastech se složitou topografií (Hofstra a kol., 2010), byly při konstrukci E-OBS využity i stanice s nehomogenitami. Jejich vyloučení by totiž výrazně snížilo hustotu stanic a tím i přesnost interpolace (Hofstra a kol., 2009). Peterson a kol. (1998) vysvětlují tento typ postupu tím, že nehomogenity jsou během interpolace poměrně dobře vyrovnávány. Schopnost interpolační metody

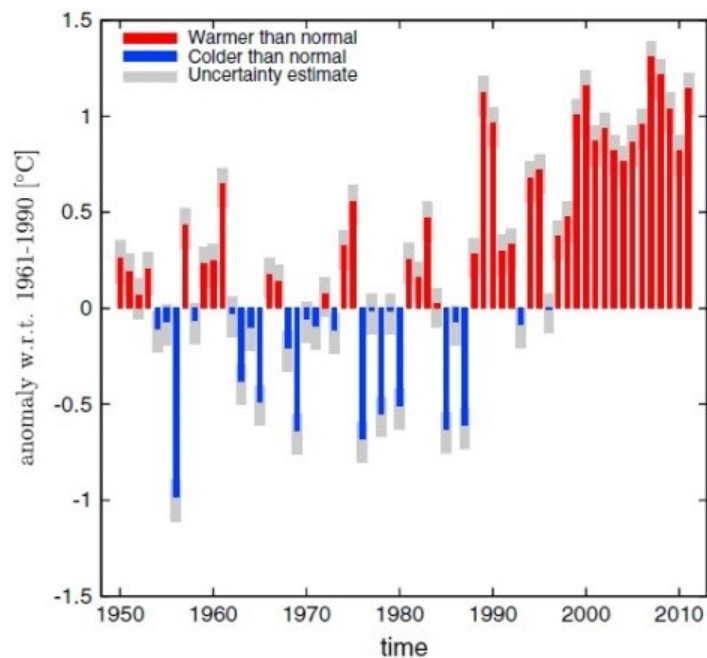
odhadnout přesnou hodnotu klimatické proměnné v uzlovém bodě z hodnot naměřených na okolních stanicích je však stále zdrojem dalších nepřesností (Hofstra a kol., 2009). Kyselý a Plavcová (2010) dále dodávají, že gridový soubor E-OBS je konstruován pro nejlepší odhad průměru klimatické proměnné v celém čtverci a nikoliv pro odhad hodnoty této proměnné v daném uzlovém bodě. Při interpolaci dochází k deformaci statistického rozdělení a k nepřesně vypočteným trendům zejména ve výskytu teplotních extrémů (Hofstra a kol., 2010).

Pro studie klimatu v Evropě jsou hojně využívány reanalýzy ERA-40, ERA-Interim či Reanalýzy 20. století (dále jen 20CR). Oproti staničnímu souboru ECA&D mají reanalýzy tu výhodu, že poskytují celkové časové i prostorové pokrytí hodnotami klimatických proměnných (Thorne a Vose, 2010), a to za využití spíše fyzikální než statistické interpolace využitě např. v gridovém souboru E-OBS (Thorne a Vose, 2010). Thorne a Vose (2010) nicméně uvádějí, že reanalýzy nikdy nebyly vytvořeny pro analýzu dlouhodobých změn a trendů, ale spíše aby poskytovaly přesné informace o stavu atmosféry v daném časovém okamžiku. Reanalýzy jsou fixní systémové běhy, které z asimilovaných klimatických dat aproximují skutečný stav atmosféry v minulosti (Simmons a kol., 2004), a právě změna množství a druhu asimilovaných dat v souvislém a neměnném běhu reanalýzy je problémem při určování dlouhodobých teplotních trendů. Reanalýza ERA-40 výrazně zkresluje dlouhodobé trendy sahající před rok 1967 (Simmons a kol., 2004). To je způsobeno výraznou změnou v počtu přízemních pozorování vstupujících do reanalýzy v roce 1966. Reanalýza 20CR naopak využívá pouze dat o přízemním tlaku, a nereflkuje tak například změny v pokrytí krajiny vedoucí k oteplování, jako je například urbanizace (Parker, 2011) či zpětná vazba sníh-albedo. Parker (2011) díky této vlastnosti využívá reanalýzy 20CR k atribuci klimatické změny. Reanalýza ERA-Interim, která je konstruována pro období od roku 1979 do současnosti, by měla být, co se určování teplotních trendů týče, nejpresnější reanalýzou, a to vzhledem k pokrytému období, které nesáhá před problémový rok 1979. Nicméně, jak podotýkají Liebmann a kol. (2010), hodnota trendů je velmi závislá na volbě začátku a konce období, zejména pokud je trend počítán pro období relativně krátké. Proto teplotní trend určený pro období kolem třiceti let nemusí přesně vypovídat o dlouhodobějším trendu.

4.2. Teplotní trendy v Evropě určené z různých datových zdrojů

4.2.1. Vývoj evropských průměrných teplot určený dle gridového datového souboru E-OBS

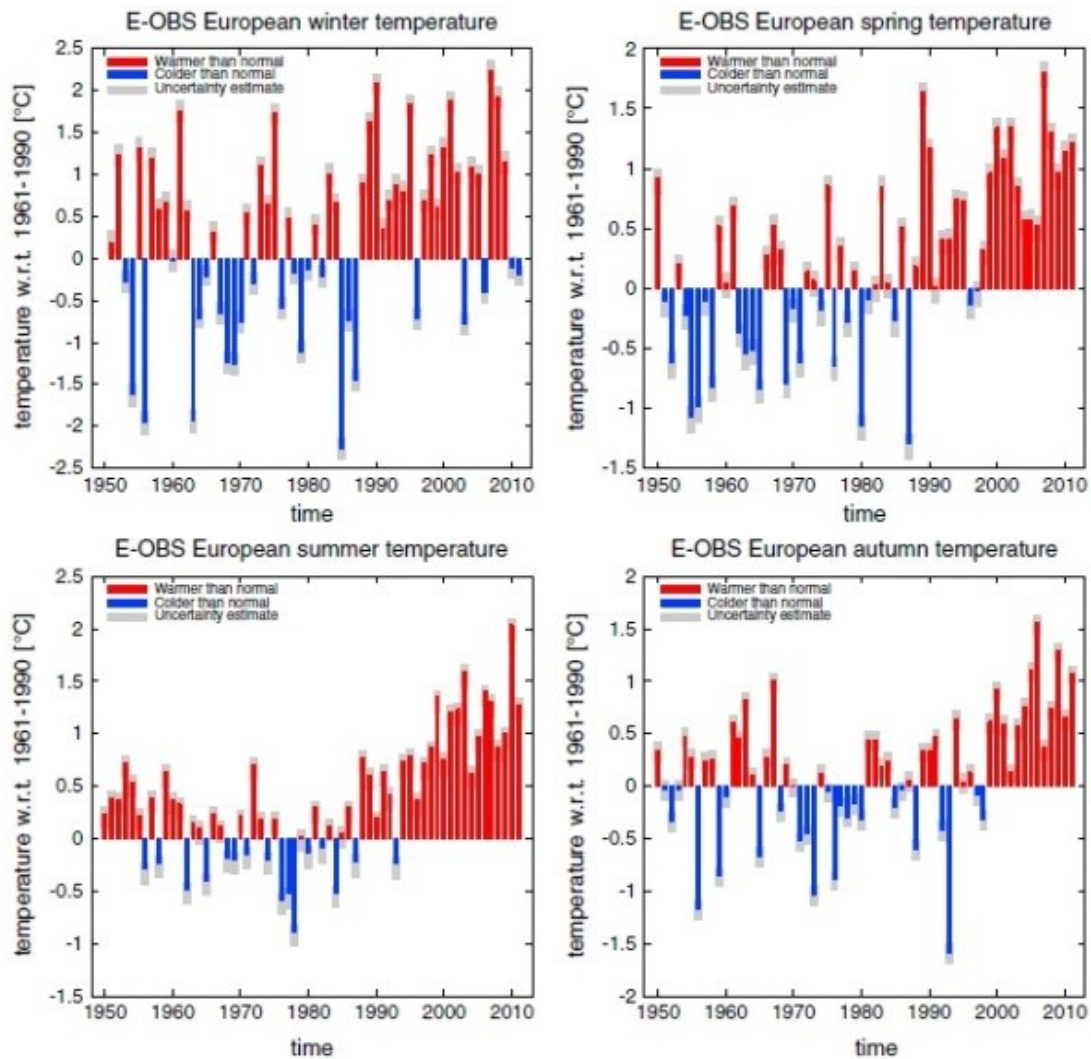
Hodnoty průměrné evropské teploty ukazují, že 7 z 10 nejteplejších let v období pokrytém databází E-OBS (1950 - současnost) se vyskytlo po roce 2000, a že v posledních desetiletích se tempo oteplování zřetelně zrychlilo (van der Schrier a kol., 2013). Tato tvrzení potvrzuje obr. 6, který znázorňuje odchylky průměrné evropské teploty vzhledem k období 1961-1990. Lze si všimnout, že od roku 1999 se teplotní anomálie pohybují okolo $+1^{\circ}\text{C}$. Nejteplejším rokem záznamu je rok 2007 s průměrnou teplotou $11,04^{\circ}\text{C}$, zatímco nejchladnějším rokem je rok 1956 s průměrnou teplotou $8,75^{\circ}\text{C}$.



Obr. 6: Odchylky ročních průměrů evropských průměrných teplot od období 1961-1990 vypočtené v datovém souboru E-OBS. Hranice nejistot jsou značené šedou barvou.

Zdroj: van der Schrier a kol., 2013

Na obr. 7 lze pozorovat evropské průměrné teploty v jednotlivých ročních obdobích.



Obr. 7: Odchylky ročních průměrů evropských průměrných teplot v jednotlivých ročních obdobích od období 1961-1990 vypočtené v datovém souboru E-OBS. Hranice nejistot jsou značené šedou barvou.

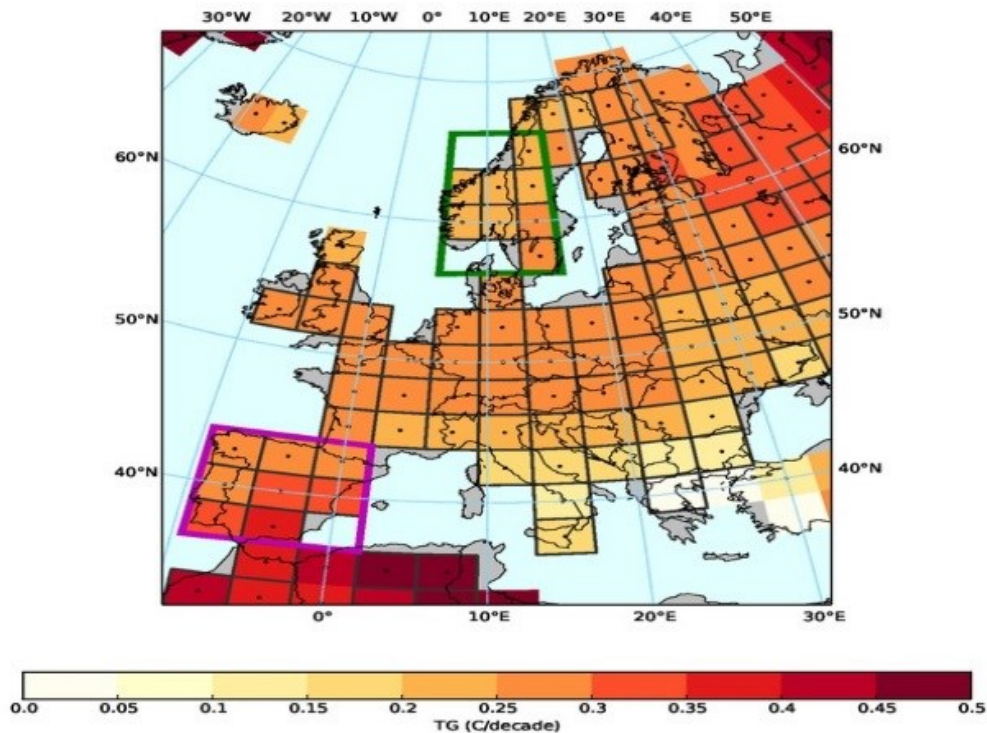
Zdroj: van der Schrier a kol., 2013

V zimě je poměrně zřejmý trend v nárůstu teploty, ale meziroční variabilita je velmi vysoká. Několik z 10 nejteplejších zim se například objevuje již v 50. letech. Van der Schrier a kol. (2013) uvádějí, že v dalších 3 ročních obdobích lze nad evropskou pevninou pozorovat výraznější trendy průměrné teploty vzduchu. V létě je výrazně nejteplejším rokem rok 2010, který překonává rok 2003 o 0,45°C a klimatické normálové období (1961-1990) o více než 2°C.

Meziroční trend evropské průměrné teploty dle databáze E-OBS se dá poté vyčíslit na 0,178°C za desetiletí v období 1950-2010 a na 0,414°C za desetiletí v období 1980-2010 (Van der Schrier a kol., 2013). Cattiaux a kol. (2011) počítají sezonní trendy v databázi E-OBS pro oblast střední a západní Evropy v období 1978-2007. Hodnoty trendů oteplování jsou 0,66°C za desetiletí pro jaro, 0,67°C pro léto, 0,30°C pro podzim a 0,59°C pro zimu. Celoroční trend má poté hodnotu 0,55°C za

desetiletí. O něco vyšší tempo oteplování ve srovnání s van der Schrierem a kol. (2013), (0,414°C za desetiletí) je pravděpodobně způsobeno odlišnou pozorovanou oblastí spíše než období, pro které byl trend počítán.

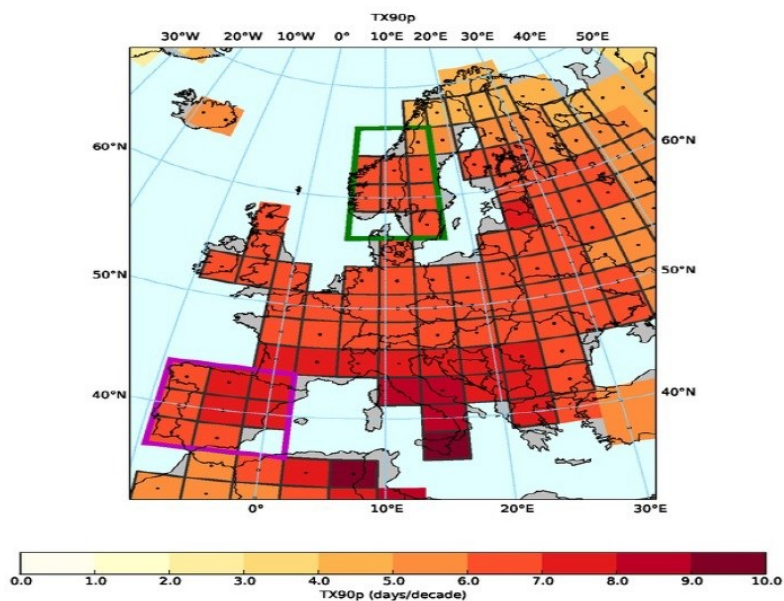
V rámci Evropy, stejně jako v rámci celého světa, existuje prostorová nerovnoměrnost v intenzitě oteplování. Na obr. 8 lze pozorovat právě prostorovou variabilitu meziročních teplotních trendů na evropském kontinentu v období 1960-2014 určených z datového souboru E-OBS.



Obr. 8: Trendy průměrné teploty na území Evropy v datovém souboru E-OBS

Zdroj: European Environment Agency

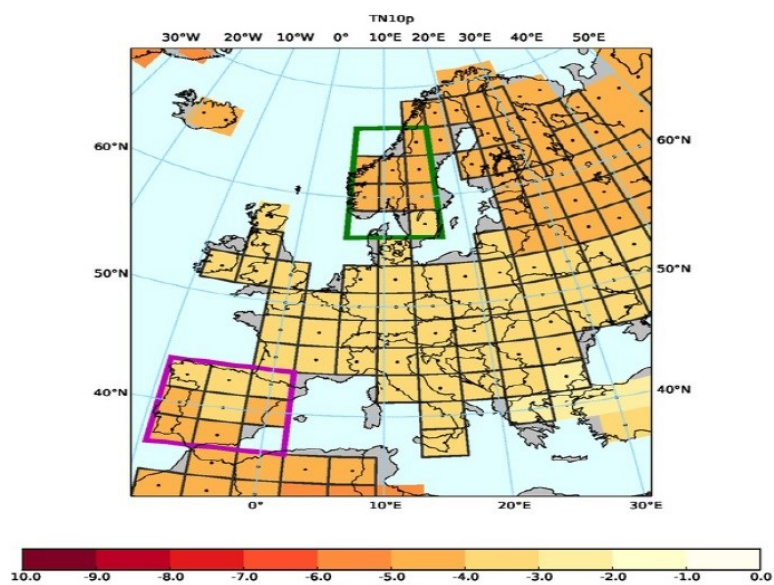
Lze si všimnout, že nejrychlejší tempo oteplování vykazuje severovýchodní a jihozápadní Evropa (přes 0,4°C za desetiletí), zatímco nízké tempo oteplování je pozorované v oblasti jihovýchodní Evropy (méně než 0,1°C za desetiletí). Existují však výrazné rozdíly mezi ročními obdobími. Obr. 9 a 10 znázorňují trendy v počtu horkých dní a chladných nocí, čímž je poměrně dobře vyjádřeno oteplování v létě a v zimě.



Obr. 9: Trendy v počtu horkých dnů na území Evropy v datovém souboru E-OBS

Zdroj: European Environment Agency

Z obr. 9 lze pozorovat, že horkých dnů (definovaných jako dny s maximální teplotou nad devadesátým percentilem denních maximálních teplot z období 1960-2014) přibývá, a to zejména v oblasti Středomoří, kde takových dnů přibývá 7 až 10 během desetiletí. Obr. 10 naopak znázorňuje úbytek chladných nocí (dnů s minimální teplotou pod desátým percentilem denních minimálních teplot z období 1960-2014).



Obr. 10: Trendy v počtu chladných nocí na území Evropy určené z datového souborem E-OBS

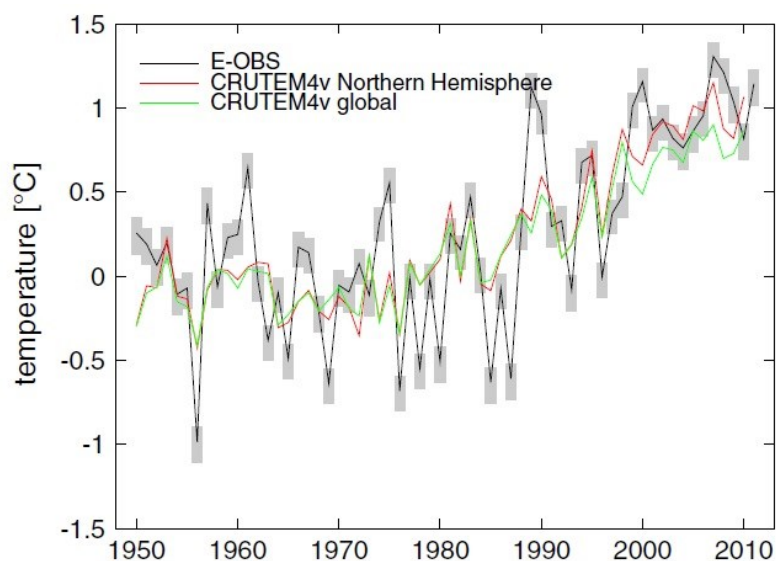
Zdroj: European Environment Agency

Lze si všimnout, že o něco více ubývá chladných nocí ve Skandinávii a severovýchodní Evropě, což může znamenat rychlejší tempo zimního oteplování v těchto oblastech. Podobnou metodiku

v podobě úbytku chladných nocí či příbytku teplých dnů, avšak za pomoci staničních dat, využívají Klein Tank a Können (2003) či Moberg a Jones (2005). Jejich studiím se věnuje kapitola 4.2.4.

4.2.2. Porovnání s teplotními trendy většího prostorového měřítka

Obr. 11 znázorňuje trendy roční průměrné přízemní teploty vzduchu nad pevninou pro evropský kontinent v databázi E-OBS v porovnání s trendy severní polokoule a celého světa v datovém souboru CRUTEM.



Obr. 11: Odchytky roční průměrné teploty od období 1961-1990 vypočtené z datového souboru E-OBS (šedá), průměrnou teplotou nad pevninou severní polokoule (červená) a průměrnou teplotou nad pevninou celého světa (zelená) z databáze CRUTEM

Zdroj: van der Schrier a kol., 2013

Lze pozorovat výrazně větší nerovnoměrnost průměrné teploty určené z databáze E-OBS oproti zbylým dvěma řadám, což může být vysvětleno menší rozlohou definované oblasti (van der Schrier a kol., 2013). Van der Schrier a kol. (2013) dále uvádějí, že desetileté průměry trendů jsou v prvních 30 letech velmi podobné, ale že se začínají výrazně lišit po roce 1980 s největším trendem oteplování v Evropě a nejnižším v rámci pevniny celého světa. Toto tvrzení potvrzuje i tabulka 3, která porovnává teplotní trendy v Evropě s trendy severní polokoule a celého světa v obdobích 1950-2010 a 1980-2010.

dat. soubor	území	teplotní trend (°C za desetiletí)	
		1950-2010	1980-2010
E-OBS	Evropa (pevnina)	0,179	0,414
CRUTEM	severní polokoule (pevnina)	0,199	0,337
CRUTEM	svět (pevnina)	0,172	0,267
GHCN	svět (pevnina)	0,197 (1951-2012)	0,273 (1979-2010)
GISS	svět (pevnina)	0,188 (1951-2012)	0,267 (1979-2010)

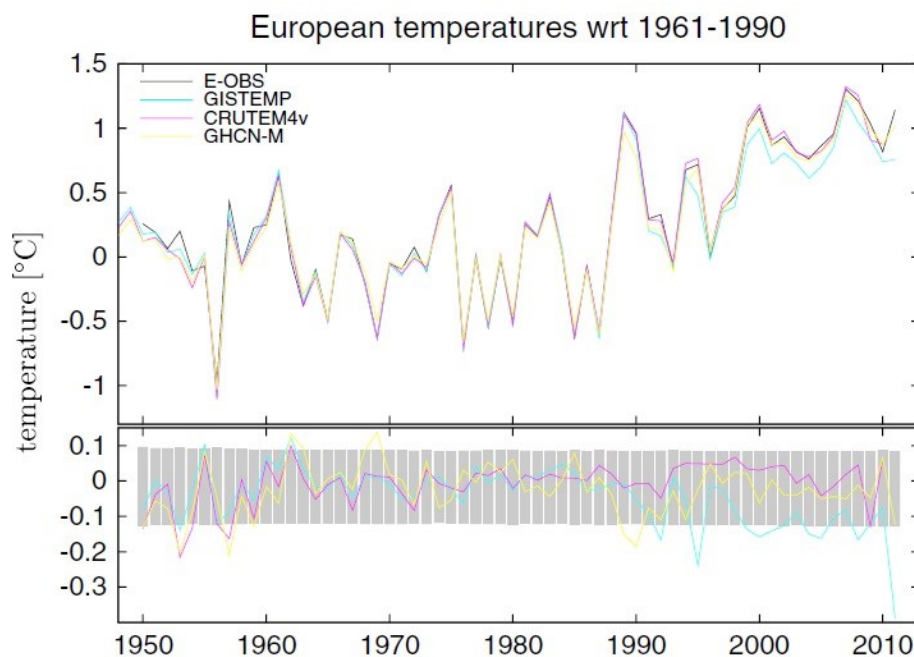
Tab. 3: Trendy přízemní průměrné teploty nad pevninou Evropy a celého světa určené z několika různých datových zdrojů ve dvou různých obdobích

Zdroj: van der Schrier a kol., 2013; Hartmann a kol., 2013

Z tabulky je patrné výraznější zvýšení hodnoty teplotního trendu v Evropě mezi dvěma pozorovanými obdobími oproti teplotním trendům celého světa či severní polokoule. Toto zrychlení tempa oteplování v Evropě je způsobeno zejména nízkými hodnotami průměrných evropských teplot v polovině osmdesátých let, které jsou patrné i z obr. 11. Teplotní trendy v Evropě jsou v období 1980-2010 zhruba 1,2x větší než trendy v teplotě vzduchu nad pevninou severní polokoule a průměrně 1,6x větší než teplotní trendy nad pevninou celého světa (van der Schrier a kol., 2013).

4.2.3. Porovnání s jinými datovými soubory v pravidelné síti uzlových bodů

V této části je porovnáván vývoj evropské průměrné teploty založený na datovém souboru E-OBS s dalšími datovými soubory v pravidelné síti uzlových bodů, které jsou využívány pro konstrukci globálních průměrných teplot, ale mohou být využity i pro konstrukci teplotních řad v Evropě (van der Schrier a kol., 2013). Takovými datovými zdroji jsou například CRUTEM, GHCN-M či GISTEMP. Na obr. 12 lze pozorovat vývoj průměrné evropské teploty určený právě čtyřmi výše zmíněnými datovými zdroji (horní část) společně s odchylkami jednotlivých databází od databáze E-OBS (spodní část).

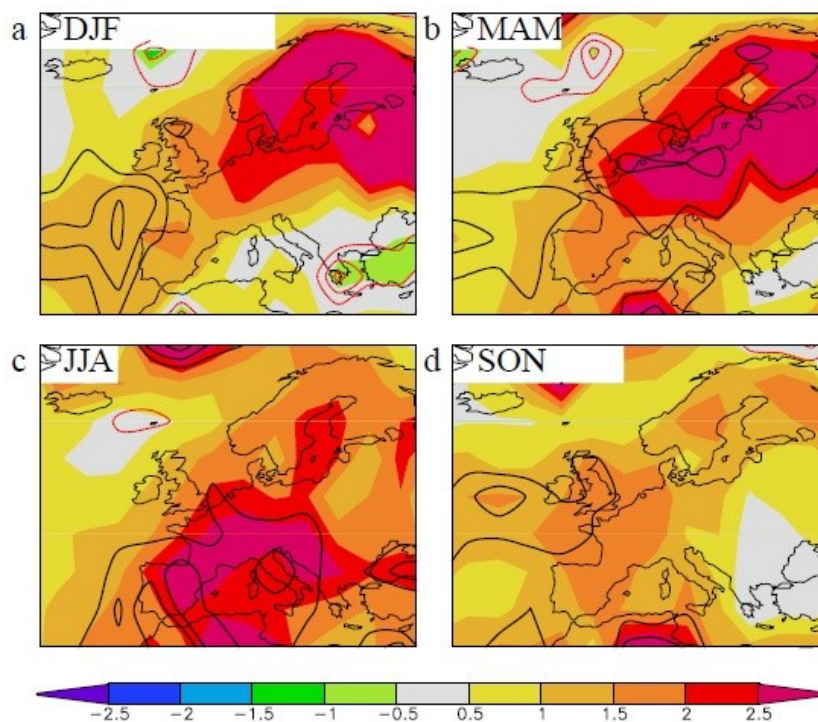


Obr. 12: Odchytky evropské průměrné teploty od období 1961-1990 vypočtené datovými soubory E-OBS, GISTEMP (modrá), CRUTEM (fialová) a GHCN (žlutá). Graf ve spodní části znázorňuje rozsah nejistoty v databázi E-OBS a rozdíl mezi globálními datovými soubory a souborem E-OBS

Zdroj: van der Schrier a kol., 2013

Lze si všimnout, že „globální“ datové soubory se více či méně shodují s datovým souborem E-OBS a odchylky jsou v rámci hranic nejistot (van der Schrier a kol., 2013). Dále je možné pozorovat, že od začátku 90. let vykazuje vyšší teploty datový soubor CRUTEM a naopak nejnižší teplotní anomálie

datový soubor GISTEMP. To může vyústit například v nižší hodnoty teplotních trendů právě v rámci datového souboru GISTEMP v porovnání s dalšími datovými zdroji. Van Oldenborgh a kol. (2009) ve své studii porovnávají prostorové rozložení teplotních trendů v Evropě vypočtených z databáze CRUTEM (nad pevninou) a z databáze HadSST (nad oceánem) v jednotlivých ročních obdobích za období 1950-2008 (obr. 13).



Obr. 13: Pozorované trendy průměrné přízemní teploty nad územím Evropy v období 1950–2008 ve čtyřech různých ročních obdobích (DJF – zima, MAM – jaro, JJA – léto, SON – podzim), vypočtené jak ze souboru CRUTEM (pevnina) tak ze souboru HadSST (moře), (barevná škála). Izolinie nejsou pro tuto práci relevantní.

Zdroj: van Oldenborgh a kol., 2009

Ačkoli se jedná o odlišnou metodu znázornění oteplování, lze zde nalézt podobné rysy jako v prostorovém rozložení oteplování určeného datovým souborem E-OBS (kapitola 4.2.1). Jedná se především o výrazně intenzivnější oteplování ve Středomoří v období léta a neméně výrazné hodnoty oteplování v severovýchodní Evropě v zimě. Z obr. 13 je dále zřetelná podobnost rozložení teplotních trendů mezi zimou a jarem s výjimkou oblasti Turecka, kde v zimě dochází k mírnému ochlazování, které potvrzují např. i Klein Tank a kol. (2005), (kapitola 4.2.4) či Scherrer a kol. (2006), (kapitola 4.2.5). Podzim v Evropě vykazuje v pozorovaném období méně výrazné trendy zejména ve východní Evropě.

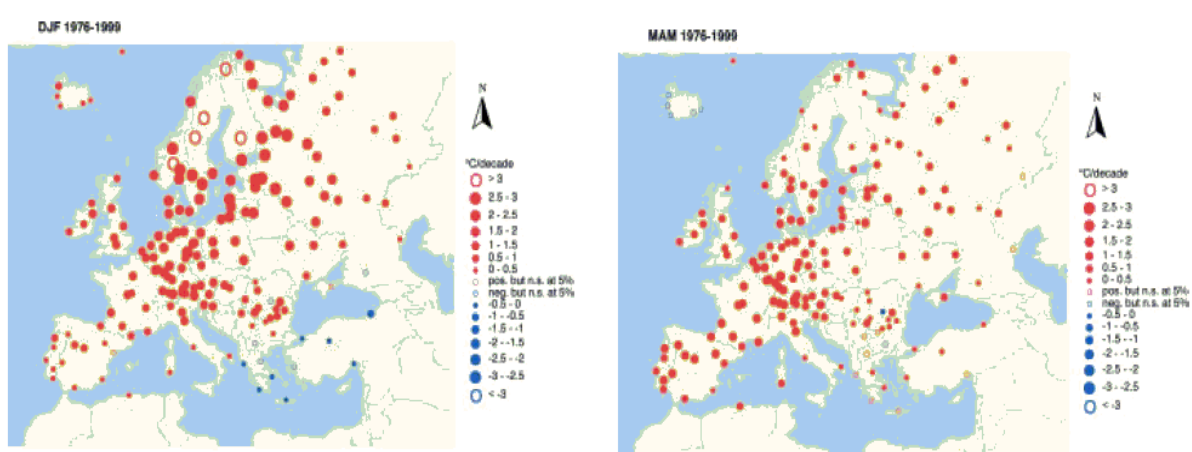
4.2.4. Porovnání s datovým souborem ECA&D a dalšími staničními soubory

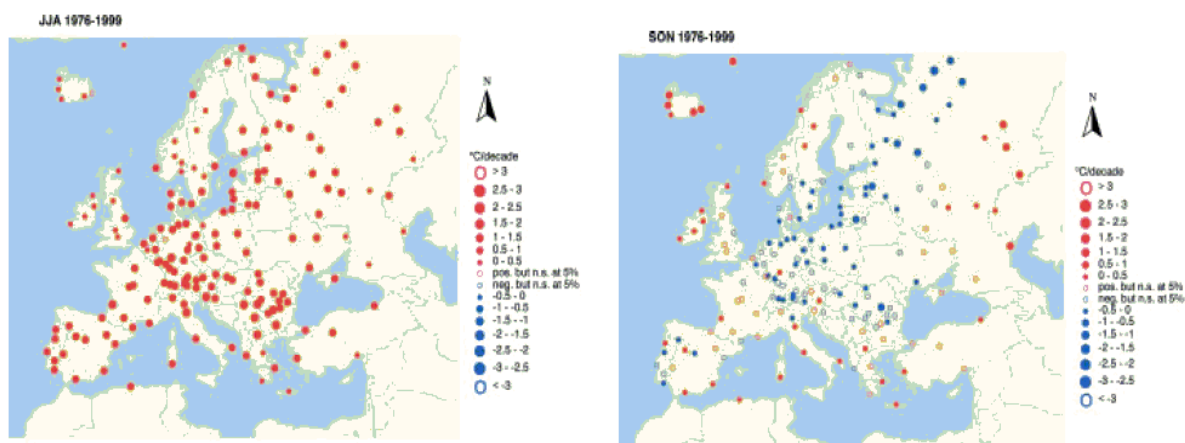
Datový soubor E-OBS je sice interpolovaným gridovým souborem převážně ze staniční databáze ECA&D, nicméně výsledky teplotních trendů určené těmito dvěma datovými zdroji se

mohou lišit. Datový soubor E-OBS je konstruován tak, aby co nejlépe vystihl průměrné teploty daných čtverců a nikoliv hodnoty konkrétních uzlů (Kyselý a Plavcová, 2010), což může vyústit v podhodnocení teplotních trendů oproti staničním databázím. Jedná se o to, že při interpolaci dochází k vyhlazení vysokých hodnot naměřených na některých stanicích (Hofstra a kol., 2010). Haylock a kol. (2008) dále uvádí, že do databáze E-OBS vstupují z důvodu zvýšení počtu stanic i stanice z jiných výzkumných projektů. To může také výrazně zvýšit rozdíl mezi trendy určenými staničním souborem ECA&D a gridovým souborem E-OBS. Hofstra a kol. (2009) dodávají, že některé z těchto přidaných stanic nemusí být před interpolací plně homogenizované, což zvyšuje i nehomogenitu celého datového souboru E-OBS. Nicméně při interpolaci se tyto nehomogenity téměř ztrácejí (Hofstra a kol., 2009).

Klein Tank a kol. (2005) uvádí, že průměrné tempo oteplování v Evropě je $0,7^{\circ}\text{C}$ za desetiletí v období 1976-1999. Ke svému výpočtu využívá 185 stanic, které jsou součástí datového souboru ECA&D. Ve srovnání s trendem určeným z databáze E-OBS v období 1980-2010 ($0,414^{\circ}\text{C}$, van der Schrier a kol., 2013) je trend určený ze staničního datového souboru ECA&D výrazně vyšší. To může být způsobeno tím, že do výpočtu trendu v E-OBS vstupuje i první dekáda 21. Století, ve které se výrazněji neoteplovalo (Hartmann a kol., 2013). Nicméně, i kdyby se v tomto desetiletí vůbec neoteplovalo a trend by byl vypočítán pouze pro období 1976-2000, stále by měl hodnotu nejvýše $0,6^{\circ}\text{C}$ za desetiletí. Důvody nadhodnocení trendu staniční databáze nebo naopak podhodnocení trendu gridovým datovým souborem mohou být způsobeny vyhlazením odlehlých staničních teplot při interpolaci či nízký a nereprezentativní počet stanic pro výpočet trendu. Podobně Klein Tank a kol. (2002) analyzují výraznější hodnoty trendů pro 41 stanic datového souboru ECA&D než pro databázi uzlových bodů Jonese a kol. (2001).

Na obr. 14 lze pozorovat teplotní trendy na 185 stanicích souboru ECA&D pro jednotlivá roční období.



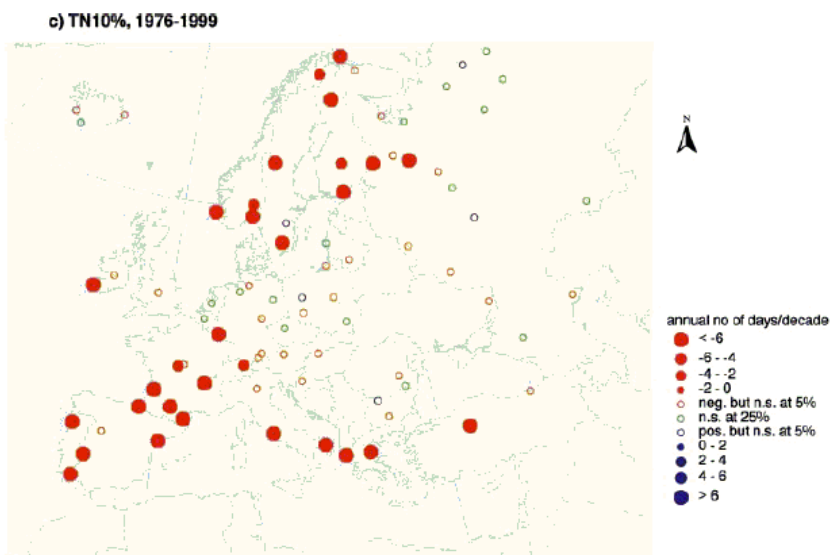


Obr. 14: Trendy průměrné přízemní teploty vzduchu určené na stanicích staniční databáze ECA&D ve čtyřech různých ročních obdobích (DJF – zima, MAM – jaro, JJA – léto, SON – podzim). Velikost teček znázorňuje hodnotu trendu.

Zdroj: Klein Tank a kol., 2005

Lze si všimnout, že převažují trendy oteplování s nejvýraznějšími trendy v zimě, kdy na některých stanicích ve Skandinávii a v Pobaltí hodnoty oteplování přesahují 3°C za desetiletí (Klein Tank a kol., 2005). Stanice v Turecku a Řecku vykazují v zimě naopak mírné ochlazování, což je v souladu se studií van Oldenborgha a kol. (2009), který určuje trendy v Evropě na základě datového souboru CRUTEM. Méně výrazné a rovnoměrněji rozložené hodnoty trendů jsou pozorované na jaře a v létě. To není příliš v souladu s Hansenem a kol. (2010), (GISS) či van Oldenborghem a kol. (2009), (CRUTEM), kde jarní trendy jsou nejvýraznější v severovýchodní Evropě a letní trendy v oblasti Středomoří. Cattiaux a kol. (2011) na základě databáze E-OBS uvádějí, že průměrné trendy jsou silnější na jaře a v létě než v zimě, což neplatí pro 185 stanic ve studii Klein Tank a kol. (2005). Období podzimu, kdy stanice na velké části evropského kontinentu vykazují významné ochlazování přes 1°C za desetiletí, je výjimkou v celkovém teplotním růstu (Klein Tank a kol., 2005). K podobnému závěru dospěli i Houghton a kol. (2001).

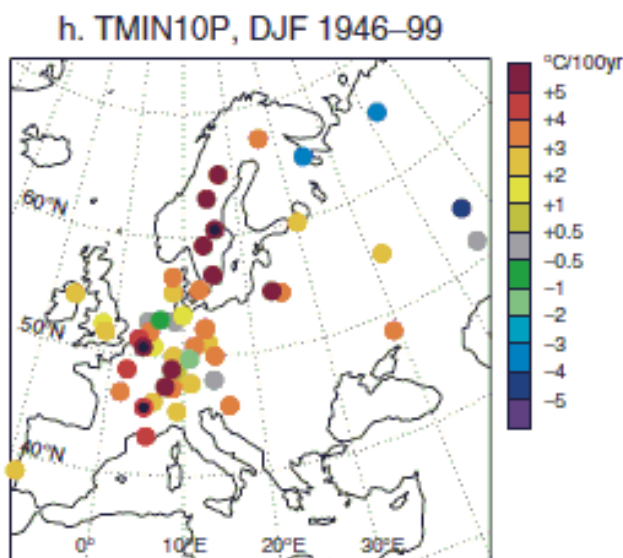
Jak již bylo uvedeno výše, denní rozlišení datového souboru ECA&D umožňuje analyzovat trendy v indexech extrémů, jako jsou například trendy v počtu mrazových a letních dnů či chladných a teplých nocí nebo chladných a teplých dnů. Klein Tank a Können (2003) rozebírají trendy v počtu chladných a teplých nocí, což jsou dny, kdy teploty jsou pod desátým percentilem minimálních denních teplot nebo nad devadesátým percentilem minimálních denních teplot z období 1961-1990. V období 1976–1999 došlo dle Klein Tank a Könnena (2003) k úbytku v průměru o 4,2 chladných nocí za desetiletí s největším poklesem (až přes 6 chladných nocí) v oblasti Skandinávie a Středomoří (obr. 15).



Obr. 15: Trend v počtu chladných nocí v období 1976-1999 určený na několika stanicích databáze ECA&D. Velikost teček znázorňuje hodnotu trendu.

Zdroj: Klein Tank a kol., 2003

To je v dobrém souladu se studií EEA z roku 2014 (obr. 10, kapitola 4.2.1), kde je využito datového souboru E-OBS. Při využití E-OBS se však úbytek pohybuje v oblasti Skandinávie a Středomoří mezi 4 a 5 chladnými nocemi, což může opět poukazovat na podceňování trendů datovým souborem E-OBS, ale také na rozdílné období pozorování. Podobného způsobu určení teplotních trendů využili Moberg a Jones (2005), kteří analyzují mimo jiné změnu minimální teploty v zimě v období 1946 – 1999 ve dnech, kdy jsou minimální teploty pod desátým percentilem zimních minim (chladné zimní noci).

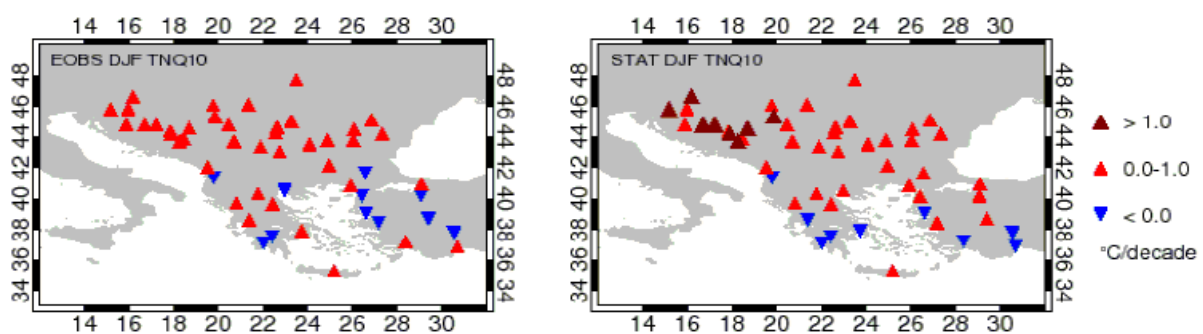


Obr. 16: Trendy teploty chladných zimních nocí na území Evropy v období 1946-1999.

Zdroj: Moberg a Jones, 2005

I přes výrazně nerovnoměrné rozmístění stanic lze z obr. 16 pozorovat výrazné oteplení chladných zimních nocí zejména v oblasti Švédska (až 0,6°C za desetiletí), což je v dobrém souladu se stejně zvýrazněným skandinávským zvýšením minimálních teplot ve studii EEA (2014) či ve studii Klein Tanka a Könnena (2003).

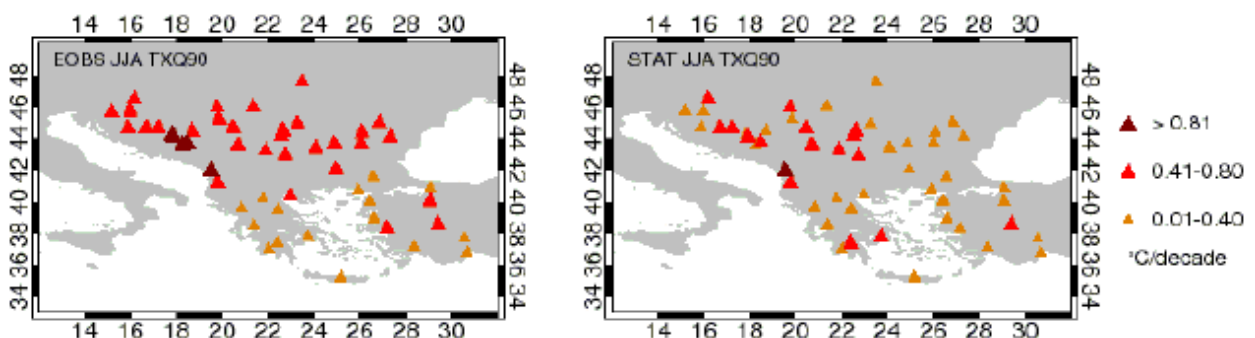
Kostopoulou a kol. (2009) porovnávají hodnoty teplotních trendů v období 1961-2000 mezi datovým souborem E-OBS a meteorologickými stanicemi v jihovýchodní Evropě. Na obr. 17 lze pozorovat trendy teploty v zimních chladných nocích určených z databáze E-OBS (vlevo), kdy každé stanici je přiřazeno tempo oteplování nejbližšího interpolovaného bodu, a stejné trendy určené příslušnými meteorologickými stanicemi (vpravo).



Obr. 17: Trendy teploty chladných zimních nocí určené z datového souboru E-OBS (vlevo) a staničním datovým souborem (vpravo) na území Balkánského poloostrova a Turecka v období 1961-2000.

Zdroj: Kostopoulou a kol., 2009

Lze si všimnout, že datový soubor E-OBS podhodnocuje trendy zejména na západě území, kde hodnoty oteplování v chladných zimních nocích nepřesahují 1°C za desetiletí jako v případě staničních dat. Zimní ochlazování na některých řeckých a tureckých stanicích je pak v souladu s Klein Tankem a kol. (2005) i van Oldenborgem a kol. (2009). Na obr. 18 si lze naopak všimnout, že E-OBS nadhodnocuje trendy v teplotách horkých letních dnů (dnů s maximálními teplotami nad devadesátým percentilem maximálních letních teplot), zejména v oblastech severně od 42. rovnoběžky (Kostopoulou a kol., 2009).



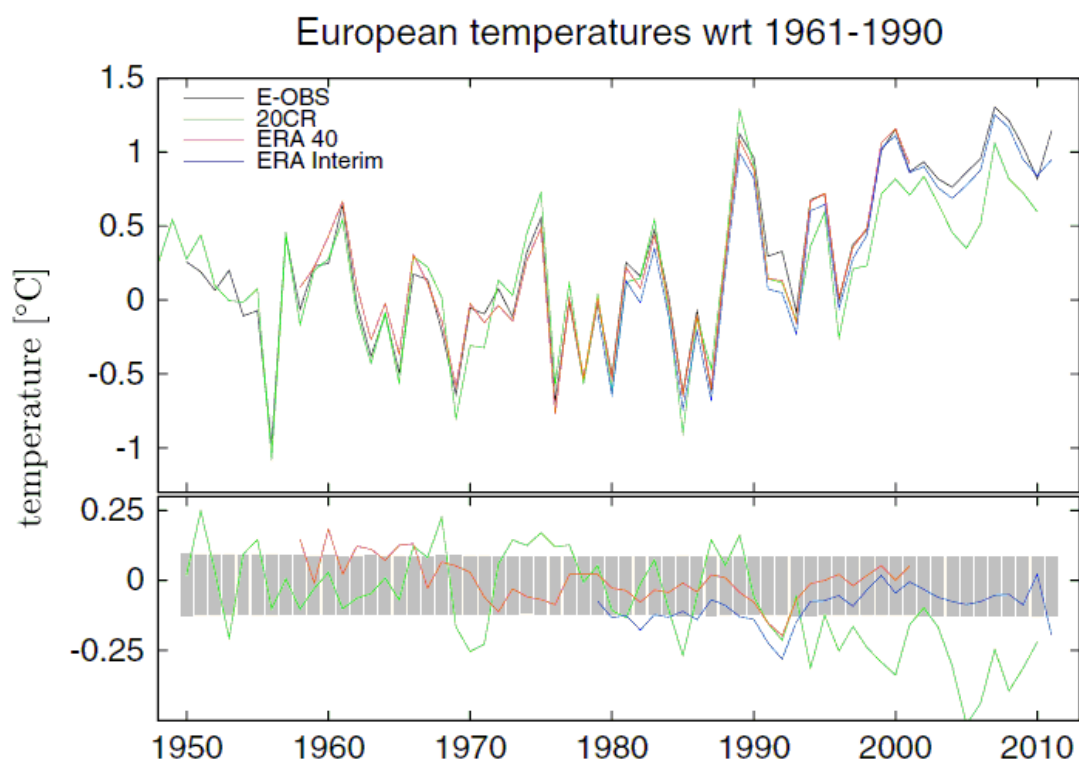
Obr. 18: Trendy teploty teplých letních dní určené z datového souboru E-OBS (vlevo) a staničním datovým souborem (vpravo) na území Balkánského poloostrova a Turecka v období 1961-2000.

Zdroj: Kostopoulou a kol., 2009

Toto zkreslení trendů může být způsobeno malým počtem stanic vstupujících do datového souboru E-OBS na tomto území.

4.2.5. Porovnání s reanalýzami

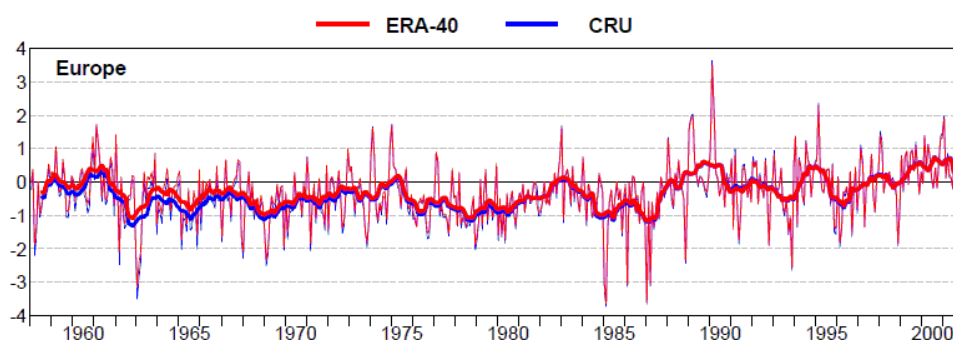
Tato část práce je zaměřena na to jaký je vztah mezi evropskými teplotními trendy určenými pomocí reanalýz a trendy vypočtenými z datového souboru E-OBS či z jiných datových souborů v interpolované síti uzlových bodů. Vzhledem k typu dat vstupujících do reanalýzy a jejich postupným změnám během pozorovaných období se mohou trendy z reanalýz značně lišit od trendů určených interpolovanými či staničními datovými soubory. Do některých reanalýz nevstupují data z pozorování na zemském povrchu, což znamená, že tyto reanalýzy nereflktují například změny ve využití půdy vedoucí k oteplení (Parker, 2011; Wang a kol., 2013). Další reanalýzy sahající dále do minulosti trpí změnami v počtu asimilovaných dat, a to zejména v roce 1967 nebo v roce 1979, kdy do reanalýz začla vstupovat družicová měření (Mooney a kol., 2011; Simmons a kol., 2004). Van der Schrier a kol. (2013) pozorují vývoj průměrných teplot určených třemi reanalýzami (ERA-40, 20CR a ERA-Interim) ve vztahu ke gridovému souboru E-OBS (obr. 19).



Obr. 19: Odchylky evropských průměrných teplot od období 1961-1990 vypočtené z datových souborů E-OBS, 20CR (zelená), ERA-40 (červená) a ERA-Interim (modrá). Graf ve spodní části znázorňuje rozsah nejistoty v databázi E-OBS a rozdíl mezi jednotlivými reanalýzami a souborem E-OBS
Zdroj: van der Schrier a kol., 2013

Obr. 19 znázorňuje podobnou meziroční variabilitu ve všech čtyřech datových souborech s výraznými odchylkami v některých letech. Příkladem může být rok 1992, kdy průměrné evropské

teploty určené všemi reanalýzami jsou výrazně nižší a mimo hranice odhadu nejistot souboru E-OBS. Vzhledem k tomu, že tento rozdíl není znatelný při vztahu E-OBS k jiným globálním gridovým souborům (obr. 13, kapitola 4.2.3), lze toto zkreslení přičíst reanalýzám, konkrétně nedostatku dat do nich vstupujících v některých oblastech Evropy, jak uvádějí van der Schrier a kol. (2013). Na obr. 20 lze dále pozorovat, že reanalýza ERA-40 výrazně nadhodnocuje teploty před rokem 1967, čehož si všimli i Simmons a kol. (2004) při porovnání s teplotami určenými interpolovaným datovým souborem CRUTEM. Simmons a kol. (2004) vysvětlují tento rozpor (obr. 20) nedostatkem přízemních pozorování vstupujících do reanalýzy v kombinaci s nadhodnocováním teplot při povrchu země předpovědním modelem. Některé státy jako je Velká Británie, Švédsko, Francie a mnoho dalších totiž nebyly před rokem 1967 pokryté přízemními synoptickými měřeními veličin vstupujících do reanalýzy ERA-40 (obr. 21).



Obr. 20: Časové řady měsíčních teplotních anomálií a ročních průměrů z datového souboru ERA-40 (červená) a CRU (modrá), průměrované nad gridovými body databáze CRU pokrývajícími Evropu. Hodnoty jsou upraveny tak, aby měly nulový průměr v období 1987-2001.

Zdroj: Simmons a kol., 2004



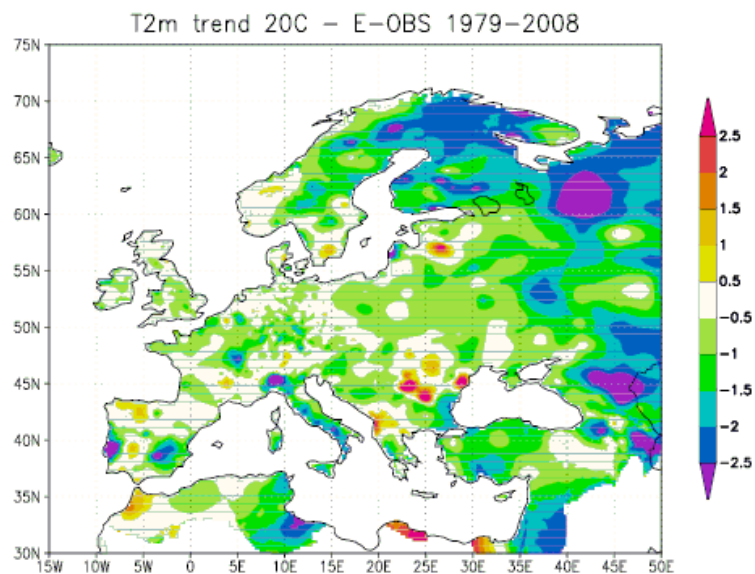
Obr. 21: Pokrytí synoptickými přízemními měřeními ze stanic (černé tečky) a z lodí (šedé tečky) asimilovanými do reanalýzy ERA-40 1. července 1966 (vlevo) a 1. července 1967 (vpravo).

Zdroj: Simmons a kol., 2004

ERA-40 tedy výrazně podhodnocuje teplotní trendy počítané v obdobích začínajících před rokem 1967. Konkrétně se jedná o trend $0,11^{\circ}\text{C}$ za desetiletí v období 1958 – 2001 oproti trendu $0,17^{\circ}\text{C}$ za desetiletí určeným z datového souboru CRUTEM (Simmons a kol., 2004). V období od roku 1979 do 2001 se trendy určené těmito dvěma soubory příliš neliší, což podotýkají i Cornes a Jones

(2013). Hodnoty jsou 0,46°C za desetiletí pro CRUTEM a 0,42°C za desetiletí pro ERA-40, což je také v poměrně dobrém souladu s trendem 0,414°C za desetiletí určeným z datového souboru E-OBS pro období 1980 – 2010 (van der Schrier a kol., 2013) a trendem 0,42°C ze 41 stanic souboru ECA&D pro období 1976 – 1999 (Klein Tank a kol., 2002).

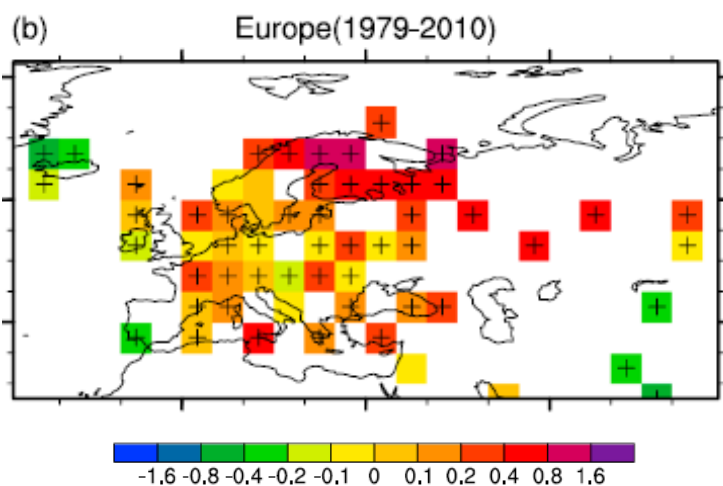
Při porovnání vývoje průměrných teplot určených reanalýzami a průměrných teplot z E-OBS lze dále zaregistrovat výrazné odchylení reanalýzy 20CR od roku 1994 jak od databáze E-OBS tak od ostatních reanalýz. Van der Schrier a kol. (2013) vysvětlují tento rozpor tím, že v reanalýze 20CR je při asimilaci dat využito pouze pozorování tlaku, kvůli čemuž dochází ke zkreslení trendů například v přímořských oblastech. To potvrzuje i Parker (2011), který zdůvodňuje podhodnocování trendů reanalýzou 20CR tím, že reanalýza neregistruje změny ve využití zemského povrchu vedoucí k oteplování nebo změny v koncentraci aerosolů či některých menšinových skleníkových plynů. Rozdíl mezi teplotními trendy určenými reanalýzou 20CR a gridovým souborem E-OBS je znázorněn na obr. 22.



Obr. 22: Rozdíl mezi teplotními trendy určenými datovými soubory 20CR a E-OBS (20CR – E-OBS), (roční hodnoty), ve °C za 100 let v období 1979-2008.

Zdroj: van der Schrier a kol., 2013

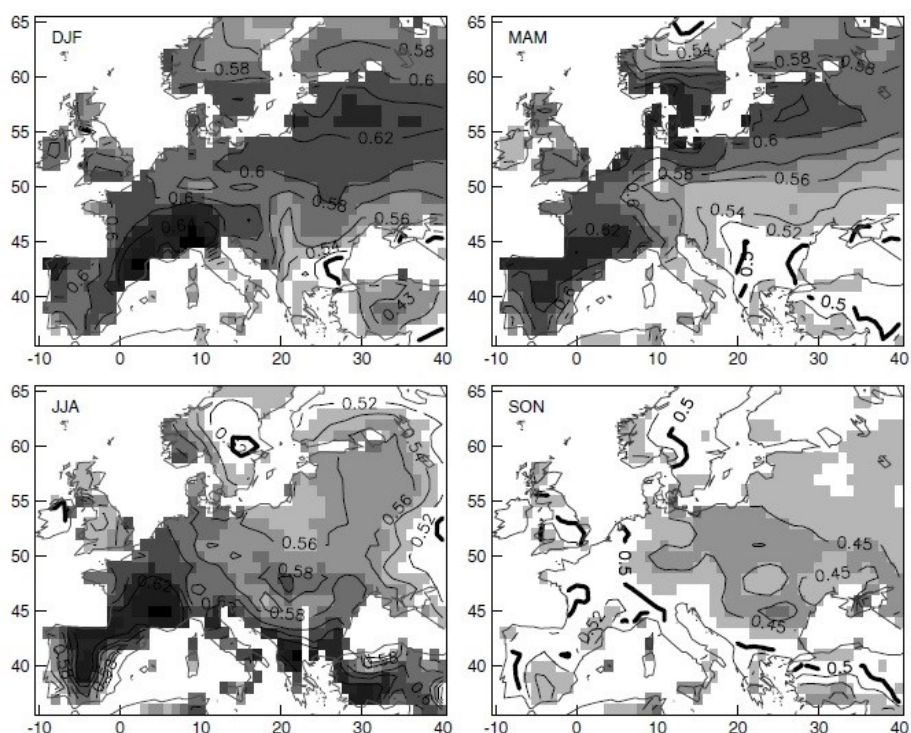
Z obr. 22 lze vyčíst převážně výrazné podhodnocení trendů reanalýzou 20CR, a to zejména v oblastech severovýchodní Evropy a Zakavkazska. Existují však i izolovaná místa v Rumunsku a v Pobaltí, kde reanalýza 20CR vykazuje až o 2°C za 100 let větší tempo oteplování v období 1979-2008. Tato záležitost je řešena v novějších vydáních databáze E-OBS, což poukazuje spíše na podhodnocení trendů tímto datovým souborem v těchto oblastech (Van der Schrier a kol., 2013). Tyto výsledky jsou v dobrém souladu se studií Wanga a kol. (2013), který také pozoruje výrazné podceňování trendů reanalýzou 20CR, tentokrát však vzhledem k datovému souboru CRUTEM (obr. 23).



Obr. 23: Rozdíl mezi teplotními trendy určenými z datových souborů 20CR a CRUTEM (CRUTEM – 20CR), (roční hodnoty) v období 1979-2010. Statisticky významné trendy jsou značeny symbolem +. Jednotky jsou °C za 100 let.

Zdroj: Wang a kol., 2013

Scherrer a kol. (2006) využívají pro identifikaci oteplení metodu pravděpodobnosti pozitivní anomálie (PPA) v období 1973-2002 vůči standardní výpočetní periodě 1961-1990 za využití dat z ERA-40. Ačkoli porovnání s hodnotami trendů výše uvedených studií je vzhledem k odlišné interpretaci nemožné, lze poměrně dobře porovnávat prostorové rozložení oteplení, které je znázorněné na obr. 24.

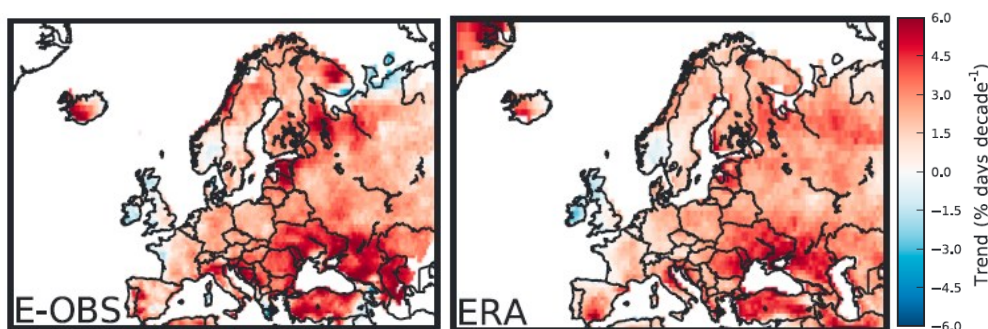


Obr. 24: Pravděpodobnost pozitivní anomálie v období 1973-2002 vzhledem k období 1961-1990 ve čtyřech různých ročních obdobích (DJF – zima, MAM – jaro, JJA – léto, SON – podzim), (izolinie i odstíny rastru). Interval izolinie je 0,02%, v případě podzimu 0,05% s přidáním nepravidelným intervalem v oblasti Pyrenejí.

Zdroj: Scherrer a kol., 2006

V zimě (DJF) lze pozorovat nejvyšší hodnoty PPA (největší oteplení) v Pyrenejích, Alpách a v oblasti Pobaltí. To není příliš v souladu Hansenem a kol. (2010), van Oldenborghem a kol. (2009) ani Klein Tankem a kol. (2005), kteří nepozorují téměř žádné anomálie v oteplení v oblasti Pyrenejí a Alp. Naopak, stejně jako van Oldenborgh a kol. (2009) či Klein Tank a kol. (2005), pozoruje také Scherrer a kol. (2006) zimní ochlazování v Turecku. V létě (JJA) jsou pozorovány nejvyšší hodnoty oteplení v oblasti středomoří, stejně jako u Hansena a kol. (2010) či u van Oldenborgha a kol. (2009). Na jaře (MAM) dochází opět k nesouladu s předchozími studiemi. Zatímco studie Scherrera a kol. (2006) znázorňuje maxima v oteplení v oblasti jižní Skandinávie a jihozápadní Evropy, van Oldenborgh a kol. (2009) i Hansen a kol. (2010) posouvají centra oteplování do severovýchodní Evropy. Podzim (SON) vykazuje naprosto odlišné trendy oproti ostatním ročním obdobím, s mírným ochlazováním ve střední a východní Evropě (Scherrer a kol., 2006).

Co se týče porovnání reanalýzy ERA-Interim s gridovým souborem E-OBS v období 1979-2010, lze konstatovat, že zde nedochází k výraznému podhodnocení trendů reanalýzou. Překážky, které snižovaly spolehlivost při výpočtu dlouhodobých trendů průměrných teplot v ERA-40 (změna v počtu asimilovaných dat v roce 1966 či v roce 1979) se již v časovém období pokrytém reanalýzou ERA-Interim nevyskytují (Cornes a Jones, 2013). Toto tvrzení potvrzuje i obr. 25, kde jsou znázorněny trendy v počtu horkých dní v létě (dní, kdy maximální denní teplota přesahuje devadesátý percentil denních maximálních teplot).



Obr. 25: Trend v počtu teplých letních dnů (TX90p) za rok v období 1980-2011 určený datovým souborem E-OBS (vlevo) a reanalýzou ERA-Interim (vpravo).

Zdroj: Cornes a Jones, 2013

Z obr. 26 je patrné pouze mírné podhodnocení trendů reanalýzou ERA-Interim v oblastech jihovýchodní Evropy a Pobaltí a naopak nadhodnocení trendů na severu evropské části Ruska.

4.2.6. Porovnání s trendy v jednotlivých národních studiích

Vzhledem k nerovnoměrnému rozložení teplotních trendů v Evropě a neustále se zvětšující podrobnosti datových souborů existuje značné množství studií zabývajících se teplotními trendy na národní úrovni. Tato kapitola se snaží analyzovat, jak dobře jednotlivé datové soubory na evropské

úrovni charakterizují teplotní trendy menšího prostorového měřítka, a zda národní studie potvrzují či naopak vyvracejí závěry platné pro evropské analýzy.

Brázdil a kol. (2009) zkoumají kolísání teploty v období 1961 – 2005 na 23 klimatických stanicích na území Česka. Největší oteplování u nás vykazuje zima (přes 0,4°C za desetiletí), ovšem s největší variabilitou mezi jednotlivými stanicemi (Brázdil a kol., 2009). O něco méně výrazné oteplování, avšak statisticky významnější, je pozorováno na jaře a v létě (mírně pod 0,4°C za desetiletí). Mírné ochlazování je naopak analyzováno na podzim (Brázdil a kol., 2009). Tyto výsledky jsou v poměrně dobrém souladu s výrazným středoevropským zimním oteplováním a mírným podzimním ochlazováním pozorovaných na staničních datech Klein Tankem a kol. (2005), (obr. 14) či v reanalýzách Scherrerem a kol. (2006), (obr. 24). Brázdil a kol. (2009) nicméně dále uvádějí, že od poloviny 80. let nedošlo pouze k intenzifikaci procesu oteplování, ale také k výrazné změně sezonní struktury. V období 1986-2005 je například pozorován nejslabší trend v zimě (0,34°C za desetiletí) a největší na podzim (0,47°C za desetiletí), (Brázdil a kol., 2009). Z toho lze soudit, že od konce 20. století již nemusí na některých územích Evropy docházet k podzimnímu ochlazování, ale naopak k výraznému oteplování, které je patrné i ve vývoji průměrných evropských teplot určených gridovým souborem E-OBS ve studii van der Schriera a kol. (2013), (obr. 8). Degirmendzić a kol. (2004) za využití 51 klimatických stanic dospívají k podobným hodnotám trendů v oblasti Polska v období 1951 – 2000 s výjimkou téměř nulových trendů v létě. To může potvrzovat jasný letní evropský severojižní gradient oteplování pozorovaný již Hansenem a kol. (2010), Scherrerem a kol. (2006) či van Oldenborghem a kol. (2009). Naopak výrazně vyšší oteplování v severovýchodní Evropě a v oblasti Skandinávie v zimě, pozorované v gridových souborech CRUTEM (van Oldenborg a kol., 2009) i E-OBS (EEA) i ve staniční databázi ECA&D (Klein Tank a kol., 2005, Moberg a Jones, 2005), potvrzují Tietäväinen a kol. (2010) ve své studii teplotních trendů ve Finsku. Dle jeho analýzy klimatických stanic Finska a některých příhraničních stanic Ruska, Švédska a Norska, se trend oteplování v období zimy pohybuje okolo 0,7°C za desetiletí v období 1958 – 2007 a okolo 1,4°C za desetiletí v období 1979 – 2008. Dalším výrazným rysem teplotních trendů v zimě je ochlazování v oblasti Turecka (Klein Tank a kol., 2005). To částečně potvrzuje i Türkes a kol. (2002), avšak pouze pro některé turecké klimatické stanice zejména na pobřeží Černého moře. Na jihozápadě Turecka naopak pozoruje poměrně výrazné oteplování. Türkes a kol. (2002) dále podporují tvrzení o zesíleném tempu oteplování ve Středomoří oproti jiným částem Evropy v létě, stejně jako del Río a kol. (2011) při analýze teplotních trendů v oblasti Španělska.

Rebetez a Reinhard (2007) potvrdili výrazné zrychlení tempa oteplování v 80. letech v Evropě oproti průměru severní polokoule (van der Schrier a kol., 2013) při analýze teplot na 12 klimatických stanicích v oblasti Švýcarska. V jejich studii je uveden pozitivní trend 0,57°C za desetiletí v období

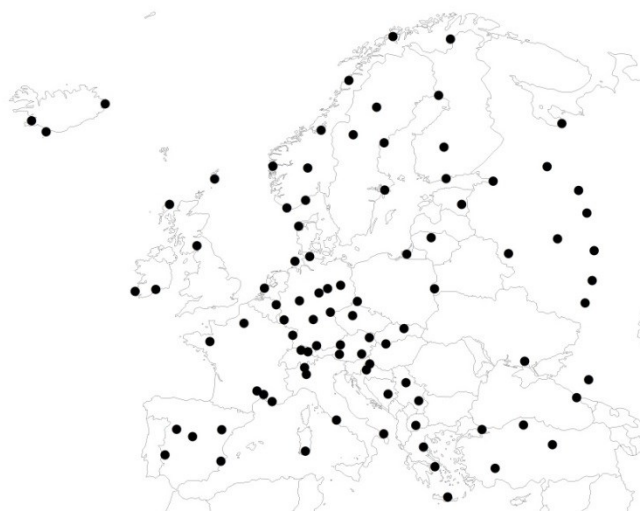
1975 – 2004. Ve srovnání s celoevropskými studii Klein Tank a Könnena (2003), (0,42°C za desetiletí ze 41 stanic ECA&D pro období 1979 - 2001), Simmonse a kol. (2004), (0,42°C za desetiletí z reanalýzy ERA-40 či 0,46°C z gridového souboru CRUTEM) a van der Schriera a kol. (2013), (0,414°C za desetiletí v období 1980 – 2010 z gridového souboru E-OBS) se jedná o výrazně nadprůměrný trend. To je pravděpodobně způsobeno nadprůměrným oteplováním ve Švýcarsku, které je patrné i v celoevropské studii Scherrera a kol. (2006), (obr. 24), spíše než volbou staničního datového souboru. Nejvýraznější trendy jsou ve Švýcarsku pozorovány na jaře a v létě (0,84°C za desetiletí a 0,86°C za desetiletí), menší pak v zimě (0,38°C za desetiletí) a na podzim (0,21°C za desetiletí), (Rebetez a Reinhard, 2007). Tato čísla nejsou příliš v souladu s předchozími evropskými studii. Klein Tank a kol. (2005) s využitím stanic ECA&D indikují pro období 1979 – 2000 ve Švýcarsku spíše podzimní ochlazování a výraznější oteplování v zimě. Tento nesoulad může být vysvětlen rozdílným souborem stanic, ale také mírně odlišným obdobím pozorování.

5. DATA

Tato kapitola se zabývá popisem vybraných datových souborů, které v této práci slouží k výpočtu teplotních trendů v Evropě. Jedná se o data získaná pozorováním na klimatických stanicích, o data interpolovaná do pravidelné sítě uzlových bodů a neméně podstatnou skupinu tvoří data z reanalýz. Nejprve jsou zde podrobně popsány základní informace o použitých datových souborech a následně také informace o kontrole kvality dat, jíž data z jednotlivých databází podléhala.

5.1. Výběr a popis dat

Pro účely výpočtu teplotních trendů na staničních datech bylo využito vybraných stanic z datového souboru ECA&D (European Climate Assessment and Dataset), (Klein Tank a kol., 2002; van Engelen a kol., 2008). Důvodem pro výběr této databáze byl její velký plošný rozsah a hustota stanic v rámci Evropy, automatická kontrola kvality dat a dobrá dostupnost. Většina dat z této staniční databáze je pro nekomerční využití volně dostupná na <http://www.ecad.eu>. Databáze ECA&D poskytuje více či méně kompletní data o dvanácti klimatických prvcích až ze sedmi tisíc stanic. Kritériem pro výběr stanice do této práce byla úplná časová řada průměrných denních teplot od 1. září roku 1957 do 31. srpna roku 2002. Dle tohoto kritéria bylo nakonec zvoleno 92 meteorologických stanic. I přesto, že větší hustotu stanic zvolených do této práce vykazuje střední Evropa, lze hovořit o poměrně rovnoměrném prostorovém pokrytí (obr. 26), které je podstatné pro porovnání hodnot teplotních trendů s daty interpolovanými do pravidelné sítě uzlových bodů a reanalýzami. Porovnání s těmito datovými soubory však může být komplikováno v zemích východní Evropy jako je Ukrajina, Rumunsko, Bulharsko či Bělorusko, kde je k dispozici pouze minimum stanic s úplnými datovými řadami.



Obr. 26: 92 vybraných klimatických stanic souboru ECA&D

Možným problémem se může jevit také to, že ne všechny stanice využívají k výpočtu průměrné denní teploty stejnou metodu. Ve 33 případech je průměrná denní teplota počítána jako průměr denní minimální a denní maximální teploty. V dalších 27 případech je průměrná teplota počítána z neznámého časového intervalu a v 16 případech poté z intervalu od 0 do 0 hodin světového času. Na 8 norských stanicích je průměrná denní teplota počítána z intervalu od 18 do 18 hodin světového času a na 5 švédských stanicích pak jako průměr denní minimální a denní maximální teploty a pozorování v 6, 12 a 18 hodin světového času. Dvě srbské stanice poté k výpočtu průměrné denní teploty využívají výpočtu průměru teplot v 6, 13 a 20 (dvakrát) hodin světového času. Rozdílná metodika výpočtu průměrné teploty by však neměla mít zásadní vliv na porovnání hodnot výsledných teplotních trendů mezi jednotlivými stanicemi ani při porovnání s jinými datovými zdroji. Výraznějším problémem při výpočtu teplotních trendů ze staničních dat mohou být nehomogenity v dlouhodobých řadách, ke kterým dochází v důsledku přemístění stanice, změny v okolním prostředí či výměny přístrojů na stanici (Klein Tank a kol., 2002).

Datovým zdrojem, který poskytuje denní teplotní data v pravidelné síti uzlových bodů, je v této práci datový soubor E-OBS (Haylock a kol., 2008). Data z tohoto zdroje jsou také volně dostupná na <http://www.ecad.eu>. Ačkoli tato databáze pokrývá území od 25° do 75° severní šířky a od 40° západní délky do 75° východní délky v rozlišení 0,25°, pro účely této práce byl zvolen čtverec od 35° do 70° severní šířky a od 22° západní délky do 47° východní délky v rozlišení 2° x 2°, tak aby bylo pokryto území od Islandu až ke Kaspickému Moři a od Kréty až k severním břehům Norska. Využito bylo verze 13.1, která má časové rozpětí od 1. 1. 1950 do 31. 12. 2015. Klimatické veličiny v této databázi nejsou interpolovány nad oceány. Teplotní trendy jsou tak počítány ve 325 uzlových bodech, které znázorňuje obr. 27.



Obr. 27: 325 uzlových bodů interpolované sítě E-OBS

Výhoda dat v interpolované síti uzlových bodů spočívá dle Haylocka a kol. (2008) v tom, že tyto soubory umožňují odhady hodnot klimatických proměnných i v místech mimo klimatické stanice, a tím umožňují analyzovat lokální klima v oblastech s nedostatkem dat. Je tedy možné počítat teplotní trendy například i v oblasti východní Evropy, kde bylo nalezeno pouze malé množství klimatických stanic s kompletním záznamem hodnot průměrné teploty. Nicméně i přesto, že je E-OBS interpolován pečlivě zvolenými metodami z nejobsáhlejšího evropského staničního souboru ECA&D, je i zde přítomno množství chyb a nejistot (Hofstra a kol., 2009). Hofstra a kol. (2009) dodávají, že při interpolaci souboru E-OBS je využíváno i stanic s nehomogenitami, jelikož jejich vyloučení by výrazně snížilo hustotu staniční sítě a tím i přesnost interpolace. Dalším výrazným nedostatkem při výpočtu trendů z dat interpolovaného souboru může být nestálý počet klimatických stanic vstupujících do interpolace v průběhu času (Kyselý a Plavcová, 2010).

Jako nejvhodnější reanalýzový datový soubor se vzhledem k časovému i prostorovému rozlišení jevila reanalýza ERA-40 (Uppala a kol., 2005), a proto je využita v této práci jako třetí a poslední datový zdroj. Ačkoli tato reanalýza pokrývá denními a měsíčními hodnotami teplot od roku 1957 do roku 2002 celý svět, do této práce byla vytvořena podobně umístěná i podobně velká síť jako v případě uzlových dat souboru E-OBS. Konkrétně se jedná o oblast od 36° do 70° severní šířky a od 22° západní délky do 46° východní délky. Přesto, že reanalýzy poskytují teplotní údaje i z území nad oceánem (na rozdíl od staničních či interpolovaných dat), jsou kvůli snazšímu porovnání s dalšími datovými zdroji vybrány pouze uzlové body nacházející se nad pevninou. Trendy teploty jsou tak v tomto případě počítány pro 323 uzlových bodů v rozlišení 2° x 2° (obr. 28). Klimatické údaje z reanalýzy ERA-40 jsou volně dostupné na webových stránkách mezivládní organizace ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecast).



Obr. 28: 323 uzlových bodů reanalýzy ERA-40

Výhodou atmosférických reanalýz je dle Thorneho (2011) kompletní časové i prostorové pokrytí území danou veličinou, a to spíše za využití fyzikální než statistické interpolace. Nicméně jak uvádějí Simmons a kol. (2004), reanalýzy nemusí být vhodné pro dokumentaci dlouhodobých trendů kvůli změně v počtu a druhu dat vstupujících do reanalýzy v průběhu času. ERA-40 pokrývá časové období od roku 1957 do roku 2002, což znamená, že se do této reanalýzy promítá jak změna v počtu vstupujících dat na přelomu let 1966 a 1967, tak také zavedení družicových dat v roce 1979 (Bengtsson a kol., 2004).

5.2. Kontrola kvality dat

Každá naměřená hodnota je ve staničním datovém souboru ECA&D podrobena automatické kontrole kvality. Na základě podmínek popsanych na obr. 29, byly hodnoty průměrných teplot označeny indexem kvality jako: a) 0 – platné, pokud pro hodnotu byly splněny všechny podmínky; b) 1 – podezřelé, pokud pro hodnotu nebyla splněna jedna podmínka; c) 9 – chybějící.

Daily mean temperature TG:

- ... must exceed $-90.0\text{ }^{\circ}\text{C}$
- ... must be less than $60.0\text{ }^{\circ}\text{C}$
- ... must exceed or equal daily minimum temperature (if exists)
- ... must be less or equal to daily maximum temperature (if exists)
- ... must not be repetitive (i.e. exactly the same) for 5 days in a row
- ... must be less than the long term average daily mean temperature for that calendar day + 5 times standard deviation (calculated for a 5 day window centered on each calendar day over the whole period)
- ... must exceed the long term average daily mean temperature for that calendar day - 5 times standard deviation (calculated for a 5 day window centered on each calendar day over the whole period)

Obr. 29: Podmínky nastavené při kontrole kvality dat ve staničním datovém souboru ECA&D pro průměrnou teplotu
Zdroj: ECA&D Project Team, 2013

Naprostá většina hodnot průměrné teploty vstupujících v této práci do výpočtu teplotních trendů je hodnocena indexem 0. Na některých stanicích se poté pouze výjimečně objevují hodnoty s indexem 1, což je většinou způsobeno za sebou se opakujícími průměrnými teplotami. Klimatické stanice s jednou a více chybějícími hodnotami v pozorovaném období nebyly v této práci využity.

Kvalita dat interpolovaného souboru E-OBS vychází z již kontrolovaných klimatických stanic souboru ECA&D, tedy z podmínek popsanych na obr. 29. Haylock a kol. (2008) při konstrukci E-OBS dále zjistili, že prostorová korelace mezi daty na stanicích je vyšší, když dojde k jejich posunu v čase. Je tomu tak z toho důvodu, že jednotlivé Národní meteorologické společnosti mají odlišné doby pozorování veličin. Některé stanice vstupující do souboru E-OBS tak byly posunuty o den vpřed či o den vzad na základě korelace s nejbližším bodem reanalýzy ERA-40.

Kontrola kvality dat vstupujících do reanalýzy ERA-40 probíhala v rámci asimilačního systému mezivládní organizace ECMWF a skládala se z několika kroků. Nejprve byla odstraněna data s hrubými chybami, jako je nereálná cesta lodí nebo hydrostaticky nesprávný vertikální profil klimatické veličiny z radiosondy (Tavolato a Isaksen, 2011). Dalším krokem bylo vytvoření „černé listiny“ dat, kam se ukládala data, která se lišila od běžných pozadových hodnot v nepřijatelné míře. Jednalo se většinou o celé datové zdroje vstupující do reanalýzy. Tyto zdroje mohly být později opět uvedeny do analýzy během jejího chodu, došlo-li k jejich zpřesnění. Následně byly jednotlivé hodnoty pozorování porovnávány s modelovými hodnotami v odpovídajícím čase a místě, a pokud se lišily více než o 5 až 6 směrodatných odchylek od těchto hodnot, bylo pozorování považováno za chybné a je vymazáno.

6. METODIKA

Cílem této práce je porovnání teplotních trendů v Evropě od 1. září 1957 do 31. srpna 2002 mezi třemi výše uvedenými datovými zdroji. Prvním krokem této analýzy bylo stažení potřebných dat z webových stránek ECA&D (www.ecad.eu) pro datové soubory ECA&D a E-OBS a z webových stránek mezivládní organizace ECMWF (www.apps.ecmwf.int) pro reanalýzu ERA-40.

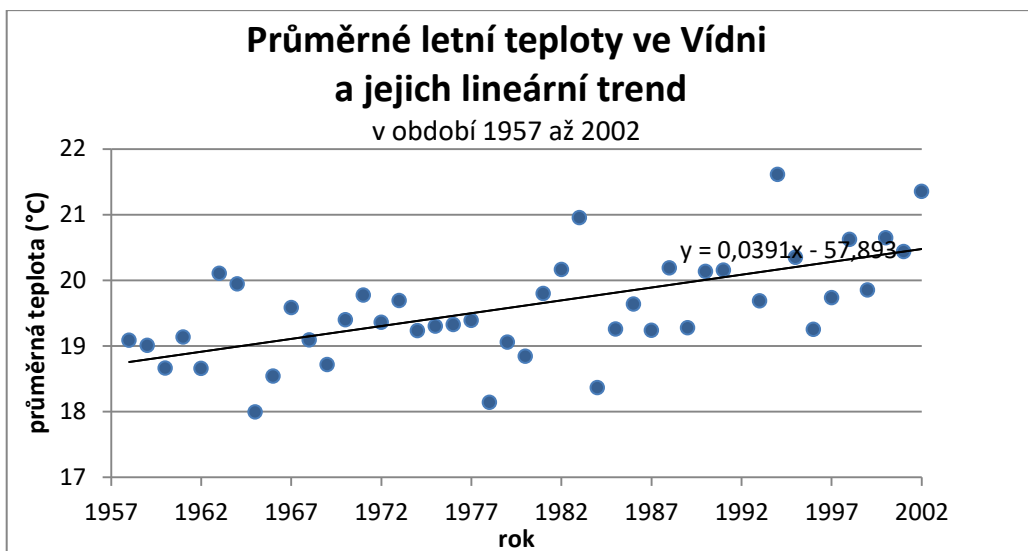
Vzhledem k tomu, že staniční databáze ECA&D je v současnosti tvořena více než šesti tisíci stanicemi, kdy pouze některé z nich poskytují kompletní a homogenní údaje o průměrné denní teplotě v pozorovaném období, bylo nutné vybrat z tohoto množství zhruba 100 stanic s co možná nejrovnoměrnějším rozmístěním v oblasti Evropy. Nejprve byl učiněn výběr několika stovek tradičních stanic s dlouhým obdobím pozorování, kdy jsem se snažil volit počet stanic v dané zemi úměrně k její velikosti. To bylo komplikováno již značnou nerovnoměrností databáze, kdy například státy jako Německo či Švédsko jsou zastoupeny tisícem stanic a naopak země jako Bělorusko či Rumunsko jsou zastoupeny jen padesáti respektive dvaceti osmi stanicemi. Nešlo však jen o rozdíl ve vyspělosti dané země. Například Francie je v datovém souboru ECA&D zastoupena také pouze osmapadesáti stanicemi. Každá vybraná stanice byla poté kontrolována, zda obsahuje kompletní údaje o denních průměrných teplotách v analyzovaném období. Ať už byly průměrné teploty počítány jako průměr denní minimální a maximální teploty či jinými metodami, tuto podmínku splňovalo zhruba 80 stanic. Následně jsem zkontroloval prostorové rozložení klimatických stanic po Evropě a do prázdných míst jsem se pokusil vyhledat ještě další stanice s odpovídající a kompletní řadou průměrných teplot. Finální výběr čítá 92 klimatických stanic, z nichž přes 20 se nachází ve střední Evropě. Na Ukrajině, v Rumunsku a v několika balkánských státech nebyla nalezena žádná stanice s úplnou teplotní řadou, což znesnadňuje porovnávání teplotních trendů v těchto místech s interpolovanými daty a reanalýzou ERA-40.

Na základě těchto stažených dat byla v programu Microsoft Excel vytvořena tabulka, která je tvořena devadesáti dvěma sloupci, kdy každé stanici je přiřazen jeden sloupec, a více než šestnácti tisíci řádky, kdy každý řádek představuje průměrnou teplotu v daný den pozorovaného období. Vzhledem k výrazným rozdílům mezi teplotními trendy v jednotlivých ročních obdobích a podrobnému časovému rozlišení teplotních dat jsou ve většině studií počítány trendy pro jaro, léto, podzim a zimu zvlášť a nejinak je tomu i v této práci. Z průměrných denních teplot byla tedy vypočítána průměrná měsíční teplota a posléze průměrná teplota jednotlivých ročních období v jednotlivých letech. Konkrétně průměrná teplota měsíců září, října a listopadu jako průměrná teplota podzimu, měsíců prosince, ledna a února jako průměrná teplota zimy, atp. Pro každou stanici tak vznikly celkem čtyři 45 let dlouhé řady průměrných sezonních teplot.

Z těchto řad průměrných teplot byl poté vypočítán lineární teplotní trend mezi lety 1957 a 2002. K výpočtu bylo využito metody lineární regrese, což je metoda, kdy je časová závislost teploty aproximována přímkou a směrnice této přímky je poté hodnotou teplotního trendu. Obr. 30 znázorňuje průběh letních průměrných teplot na klimatologické stanici ve Vídni a slouží jako ukázka metody lineární regrese.

Při stažení interpolovaných dat bylo nutné zmenšit původní čtvercovou síť datového souboru E-OBS stejně tak jako i její rozlišení. Při určení čtverce od 35° do 70° severní šířky a od 22° západní délky do 47° východní délky bylo v rozlišení 2° x 2° možné stáhnout teplotní data od 35,25° do 69,25° severní šířky a od 21,75° západní délky do 46,25° východní délky. Jelikož datový zdroj E-OBS je v případě verze 13.1 tvořen teplotními daty od 1. 1. 1950 do 31. 12. 2015, bylo nutné vybrat pouze časový interval shodný se staničními daty a reanalýzami, tedy od 1. 9. 1957 do 31. 8. 2002. Pro každý z 325 uzlových bodů nacházejících se na pevnině této interpolované sítě byl poté vypočítán teplotní trend stejným způsobem jako v případě staničních dat, tedy metodou lineární regrese.

Reanalýza ERA-40 má ze všech tří analyzovaných datových zdrojů nejkratší období pokrytí. Při porovnávání dlouhodobých teplotních trendů nejen mezi různými datovými zdroji, ale například mezi různými oblastmi světa je podstatné, aby pozorované období bylo u všech datových zdrojů i oblastí stejné. Období od 1. září 1957 do 31. srpna 2002, pokryté reanalýzou ERA-40, je tak v této práci základním pozorovacím obdobím jak pro staniční databázi ECA&D, tak pro interpolovanou síť uzlových bodů E-OBS. Reanalýza ERA-40 poskytuje kromě denních teplotních údajů ve standardních časových termínech 0, 6, 12 a 18 hodin UTC také měsíční průměrné teploty, které jsou pro tuto práci dostačující. Při stažení průměrných měsíčních teplot ve výšce 2 m nad zemí byla zvolena velmi podobná síť jako v případě datového souboru E-OBS, konkrétně od 36° do 70° severní šířky a od 22° západní délky do 46° východní délky v rozlišení 2° x 2°. Z průměrných měsíčních teplot všech 323 bodů byla nejprve pro každý bod vypočítána průměrná teplota ročních období v každém roce a z těchto průměrných teplot byl vypočten teplotní trend analyzovaného období, stejným způsobem jako v případě souboru ECA&D a souboru E-OBS.



Obr. 30: Lineární trend průměrných letních teplot na klimatické stanici ve Vídni

Po zjištění velikosti trendů na jednotlivých stanicích souboru ECA&D a v jednotlivých uzlových bodech datových zdrojů E-OBS a ERA-40 bylo nutné otestovat statistickou významnost těchto trendů. Pro účely této práce bylo využito Studentova testu pro koeficient korelace mezi časovou řadou a průměrnou teplotou, kde veličina

$$t = \frac{r}{\sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}}$$

kde r je Pearsonův korelační koeficient a n je počet let pozorovaného období, má t -rozdělení s $n-2$ stupni volnosti. Kritická hodnota pro oboustranný test a hladinu statistické významnosti činí pro daný rozsah souboru 2,016. Překročí-li tedy hodnota veličiny t tuto kritickou hodnotu, můžeme velikost trendu považovat za statisticky významnou na hladině významnosti 5%.

V další fázi práce byly v prostředí ArcMap vytvořeny mapy, ve kterých jsem znázornil hodnoty teplotních trendů ve třech odlišných datových zdrojích s cílem tyto zdroje vzájemně porovnat, a to v každém ročním období zvlášť. Hodnoty teplotních trendů na staničních datech jsou znázorněny tečkovou metodou, kdy velikost a zbarvení tečky odpovídá velikosti trendu. Pro vyjádření dlouhodobých teplotních změn v datovém souboru E-OBS bylo využito barevného rastru, který byl z hodnot trendů uzlových bodů vytvořen metodou univerzálního krigování. Hodnoty dlouhodobých teplotních změn byly rozděleny do několika intervalů, kdy každý interval se odlišuje od ostatních svou barvou. Stejného postupu bylo využito i při znázornění teplotních trendů z reanalýzy ERA-40 s tím rozdílem, že hranice mezi jednotlivými intervaly oteplování jsou v tomto případě vyznačeny různě barevnými izoliniemi. Barevná stupnice je shodná u všech typů datových zdrojů i v jednotlivých ročních obdobích, což slouží k snadnému porovnání velikosti trendů teploty.

Statisticky významné trendy byly poté znázorněny vodorovnou šrafuou v okolí uzlových bodů databáze E-OBS a svislou šrafuou u reanalýzy ERA-40. U staničních dat jsou statisticky významné stanice vyznačeny černou tečkou.

7. VÝSLEDKY

V této části práce jsou hodnoceny dlouhodobé změny průměrné teploty na území Evropy v období 1957 – 2002. Důraz je kladen nejen na celkové hodnoty teplotních trendů v Evropě v jednotlivých ročních obdobích, ale především na jejich prostorové rozložení a statistickou významnost na základě dat z jednotlivých datových zdrojů využitých v této práci.

7.1. Celkové teplotní změny

Na úvod je třeba říci, že většina teplotních trendů je kladných ve všech ročních obdobích i ve všech datových zdrojích. V celé Evropě se dle průměru z 92 zvolených stanic souboru ECA&D otepluje v pozorovaném období více než o 0,22°C za deset let, přičemž největší hodnoty oteplování jsou pozorovány v zimě (0,34°C za 10 let). Na jaře (0,27°C za 10 let) a v létě (0,24°C za 10 let) je pozorován o něco menší trend teploty. V období podzimu je pak na většině stanic pozorováno velmi mírné oteplování a na mnoha stanicích i mírné ochlazování (průměrně 0,03°C za 10 let). Při využití dat z interpolovaného datového souboru E-OBS bylo v Evropě v pozorovaném období vypočteno oteplování 0,21°C za 10 let, přičemž největší trendy jsou opět pozorovány v zimě (0,35°C za 10 let). Menší hodnotu pak vykazují trendy na jaře a v létě (0,28°C respektive 0,19°C za 10 let). Podzimní teplotní trend je dle hodnot z uzlových bodů databáze E-OBS nulový. Analýzou dat z atmosferické reanalýzy ERA-40 bylo zjištěno, že se Evropa v pozorovaném období otepluje o 0,16°C za 10 let, což je podstatně méně, než v předchozích dvou databázích. Na podzim je souborem ERA-40 indikováno ochlazování 0,04° za 10 let. Hodnoty oteplování v zimě, na jaře a v létě jsou poté 0,28°C, 0,23°C respektive 0,16°C za 10 let.

Hodnoty průměrných teplotních trendů v jednotlivých ročních obdobích zjištěné analýzou dat ze tří datových zdrojů jsou shrnuty v tabulce 4.

d. soubor	teplotní trend (°C/10 let)				
	jaro	léto	podzim	zima	celý rok
ECA&D	0,27	0,24	0,03	0,34	0,22
E-OBS	0,28	0,19	0,00	0,35	0,21
ERA-40	0,23	0,16	-0,04	0,28	0,16

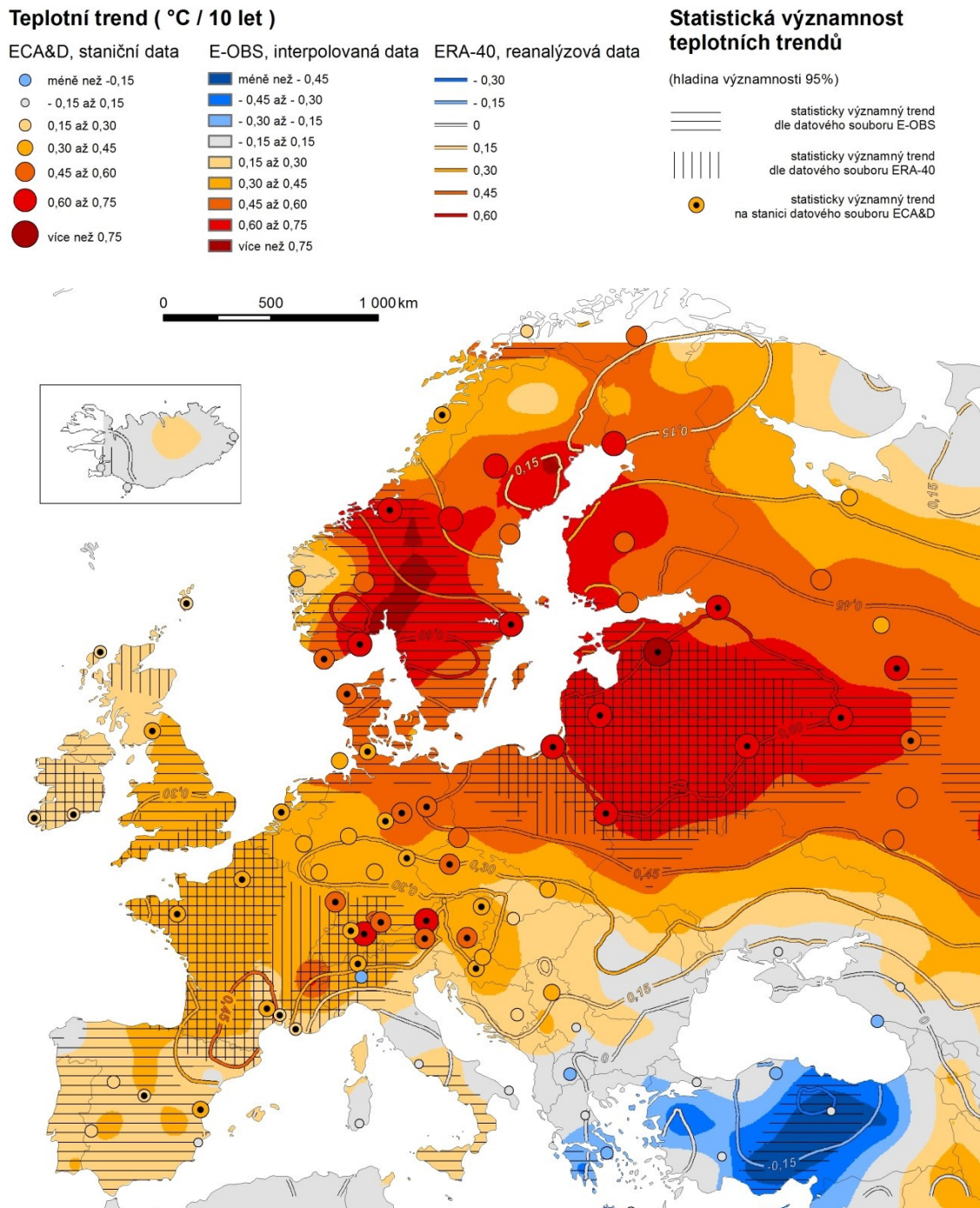
Tab. 4: Hodnoty teplotních trendů vypočtené z jednotlivých datových zdrojů v jednotlivých ročních obdobích

Na dalších několika stranách následují mapy znázorňující prostorové rozložení teplotních trendů pozorovaného období napříč územím Evropy od Islandu až ke Kaspickému moři a od Kréty až k severním břehům Norska. V mapách jsou zobrazeny trendy vypočítané z dat ze tří pozorovaných zdrojů ve čtyřech ročních obdobích. Mapy jsou poté doplňovány grafy, které znázorňují rozdíl ve

vývoji průměrných teplot v jednotlivých datových zdrojích, který je vztažen ke standardnímu výpočetnímu období 1961 - 1990. Legenda je stejná pro všechny 4 základní mapy.

7.2. Sezonní teplotní trendy v Evropě mezi lety 1957 a 2002 určené ze tří různých datových zdrojů (ECA&D, E-OBS, ERA-40)

7.2.1. Zimní teplotní trendy



Obr. 31: Zimní teplotní trendy v Evropě mezi lety 1957 a 2002 určené ze tří různých datových zdrojů (ECA&D, E-OBS, ERA-40)

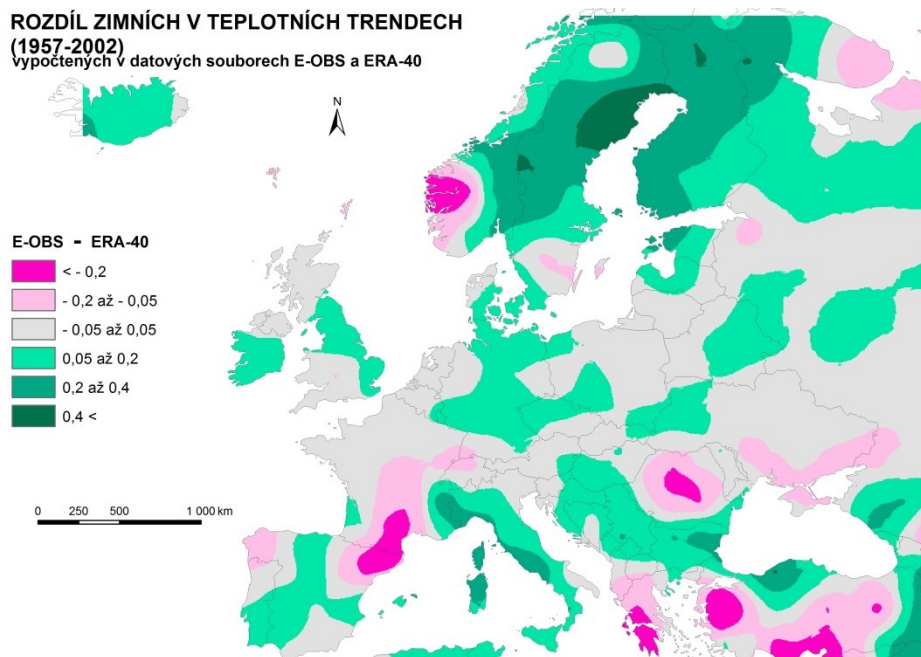
Jak lze pozorovat na obr. 31, rozložení hodnot teplotních trendů je v období zimy velmi nerovnoměrné. Rozdíl mezi největším a nejmenším oteplením pozorovaného období na území Evropy je až 1,2°C za 10 let. Můžeme si všimnout, že ohnisko nejrychlejšího oteplování se nachází v oblasti kolem Baltského moře a Baltského zálivu, konkrétně v jižní Skandinávii, v pobaltských státech a v Bělorusku. Teplotní trendy se zde pohybují v hodnotách přes 0,60°C za 10 let a v několika případech přesahují i 0,80°C za 10 let. Tempo oteplování poté klesá jak směrem k Severnímu Ledovému oceánu, tak směrem k jihu. Zvýšené hodnoty oteplování v oblasti Pobaltí a v jižní Skandinávii mohou být způsobeny například zpětnou vazbou sníh (led)-albedo. Jedná se o to, že vlivem rostoucích teplot v zimě dochází během dne k tání sněhu a mořského ledu, k čemuž v takovémto měřítku v jiných místech Evropy nedochází. To poté způsobuje další zvýšení tempa oteplování v těchto místech vlivem zvýšené absorpce slunečního záření. Vzhledem k posunu denní izotermy 0°C, což je hodnota průměrné teploty v době, kdy je slunce nad obzorem, tak lze očekávat, že i ohnisko zvýšeného oteplování se bude v budoucnu pohybovat směrem k severu. Pokud budeme od ohniska postupovat směrem k jihu, lze zaznamenat výrazný pokles tempa oteplování, a to o poznání vyšší ve východní části Evropy. Jihovýchodní Evropa, a zejména Turecko, tvoří výraznou odchylku v hodnotách zimních teplotních trendů. V těchto oblastech totiž dochází v pozorovaném období k poměrně výraznému ochlazování, a to mnohdy i přes -0,20°C za 10 let. V oblasti střední a západní Evropy je v zimě nejčastěji pozorováno oteplování v intervalu od 0,30°C za 10 let až 0,45°C za 10 let.

Ohnisko oteplování je zřetelné při pozorování výsledků analýzy všech tří datových zdrojů. Klimatická stanice Tartu v Estonsku a uzlové body interpolovaného souboru E-OBS na jihozápadě Švédska dokonce vykazují trend teploty přes 0,80°C za 10 let. Uzlové body reanalýzy ERA-40 v těchto oblastech dosahují o něco pomalejšího oteplování. Výrazný rozdíl mezi interpolovaným souborem a reanalýzou je však pozorován v severní části Skandinávie, kde reanalýza ERA-40 vykazuje teplotní trendy pod 0,30°C za 10 let a v některých místech dokonce pod 0,15°C. Analýzou dat z klimatických stanic souboru ECA&D a interpolovaného souboru E-OBS bylo v podobných místech zjištěno oteplování přes 0,45°C za 10 let. Tento nesoulad je dobře vidět na obr. 32, který znázorňuje rozdíl v hodnotách teplotních trendů mezi souborem E-OBS a reanalýzou ERA-40. Další výrazný nesoulad v hodnotách trendů mezi datovými zdroji lze pozorovat ve středním Turecku, kde soubor E-OBS vykazuje hodnoty přes -0,45°C za 10 let, zatímco reanalýza ERA-40 pouze -0,15°C za 10 let.

Pokud se zaměříme na oblast střední Evropy, lze zde pozorovat výrazně vyšší velikosti trendů na klimatických stanicích než v souborech v pravidelné síti uzlových bodů, a to především v oblasti Alp. Klimatické stanice Saentis ve Švýcarsku, Sonnblick v Rakousku či Kempten v Německu vykazují teplotní trendy přesahující 0,50°C za 10 let, zatímco teplotní trendy vypočítané z dat souborů E-OBS a

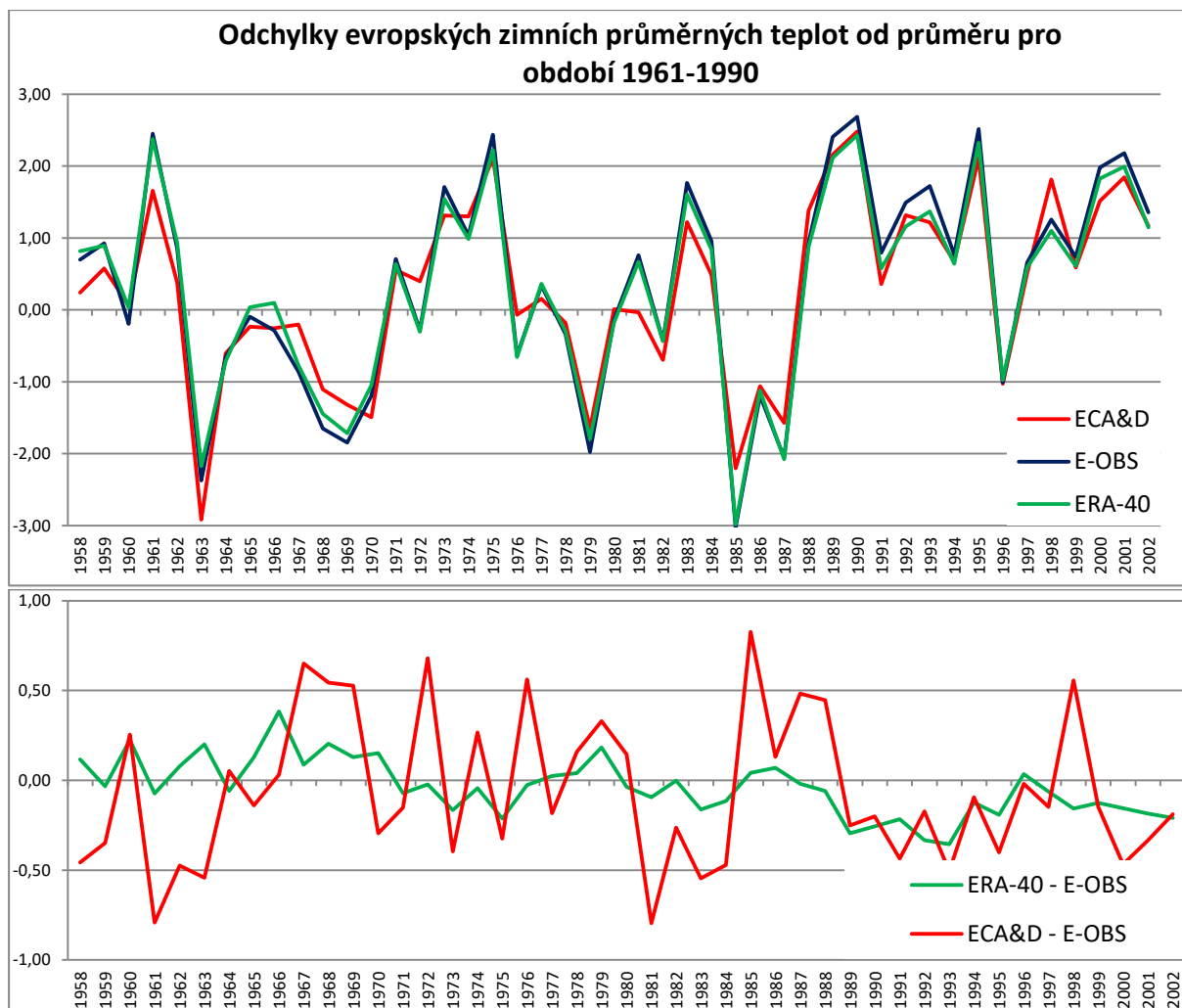
ERA-40 v podobných místech dosahují hodnot mírně přes 0,40°C za 10 let. To může být způsobeno tím, že při interpolaci hodnot ze staničních dat do uzlových bodů jsou výrazně omezeny hodnoty oteplování ve vyšších nadmořských výškách, ve kterých se právě výše zmíněné stanice nachází. Naproti tomu, na hranici Švýcarska, Francie a Itálie můžeme vidět uzlový bod datového souboru E-OBS s vyšší hodnotou teplotního trendu. Tento bod pravděpodobně vyšší nadmořskou výšku zachycuje. Vyšší hodnoty oteplování ve vyšších nadmořských výškách opět mohou souviset s denní izotermou 0°C, a tedy se zpětnou vazbou sněh-albedo. Vyšší hodnoty teplotních trendů ve střední Evropě lze pozorovat také na stanicích nacházejících se ve městech, kde zvyšující se zástavba zesiluje efekt tepelného ostrova města, což vede k výraznějšímu oteplování. Příkladem takových stanic je klimatická stanice v pražském Klementinu či ve městech Graz nebo Salzburg.

Ve zbývajících částech Evropy lze pozorovat poměrně dobrou shodu mezi hodnotami trendů určených jednotlivými databázemi, často pouze s mírnějším podhodnocením teplotních trendů reanalýzou ERA-40. Ojedinelými místy, kde ERA-40 vykazuje vyšší hodnoty trendů než další datové zdroje, jsou oblast Pyrenejí, Rumunska a jihozápadního Norska (obr. 32).



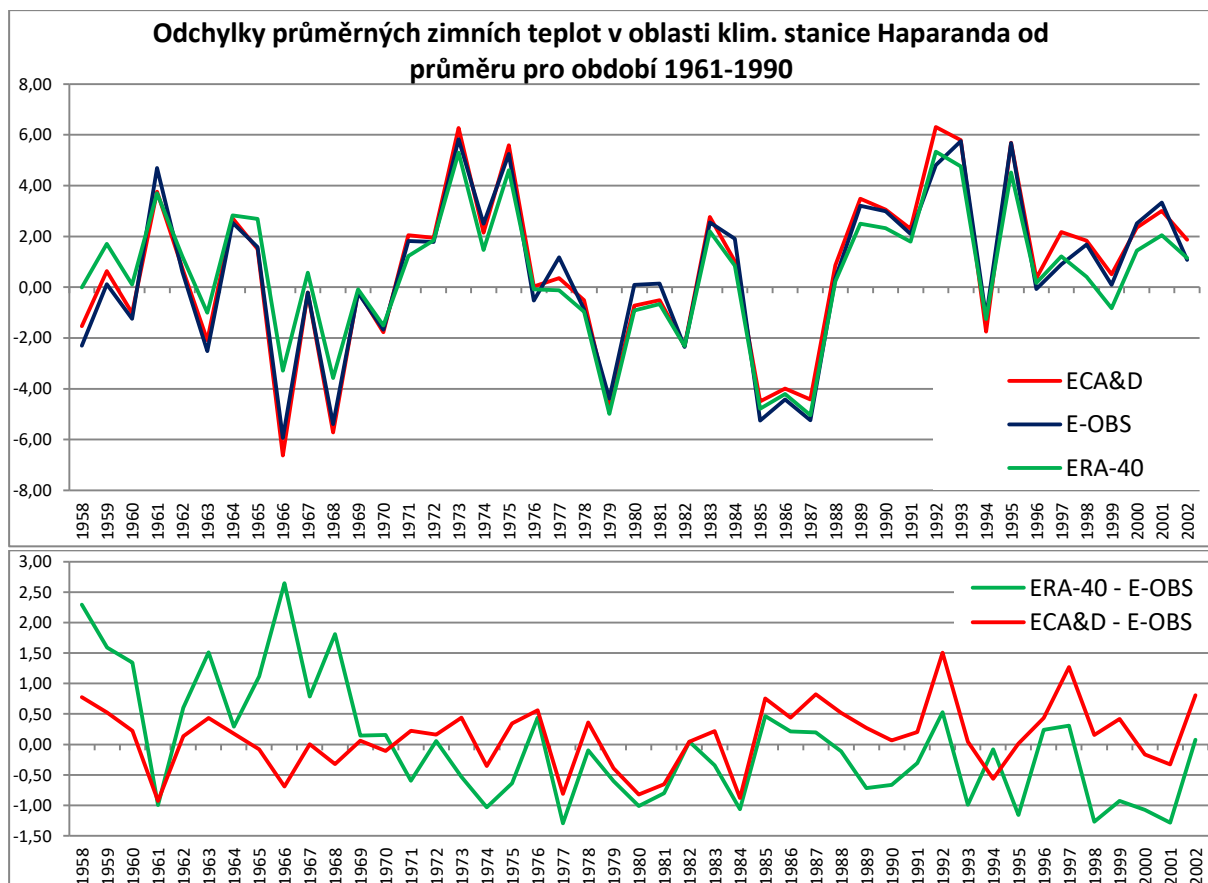
Obr. 32: Rozdíl v zimních teplotních trendech vypočtených z dat v datových souborech E-OBS a ERA-40 v období 1957 až 2002

Nižší hodnoty teplotních trendů vypočtené z reanalýzových datových souborů mohou být přičítány nadhodnocování teplot před rokem 1967, kdy do reanalýz nevstupovala důležitá přízemní data z několika evropských států. Toto tvrzení může dokumentovat obr. 33, na kterém lze pozorovat rozdíl ve vývoji relativních průměrných zimních teplot Evropy mezi jednotlivými datovými zdroji.



Obr. 33: Odchylky evropských zimních průměrných teplot od průměru pro období 1961 – 1990 dle datových zdrojů ECA&D, E-OBS a ERA-40 (nahore) a rozdíly v těchto odchylkách mezi jednotlivými datovými zdroji (dole)

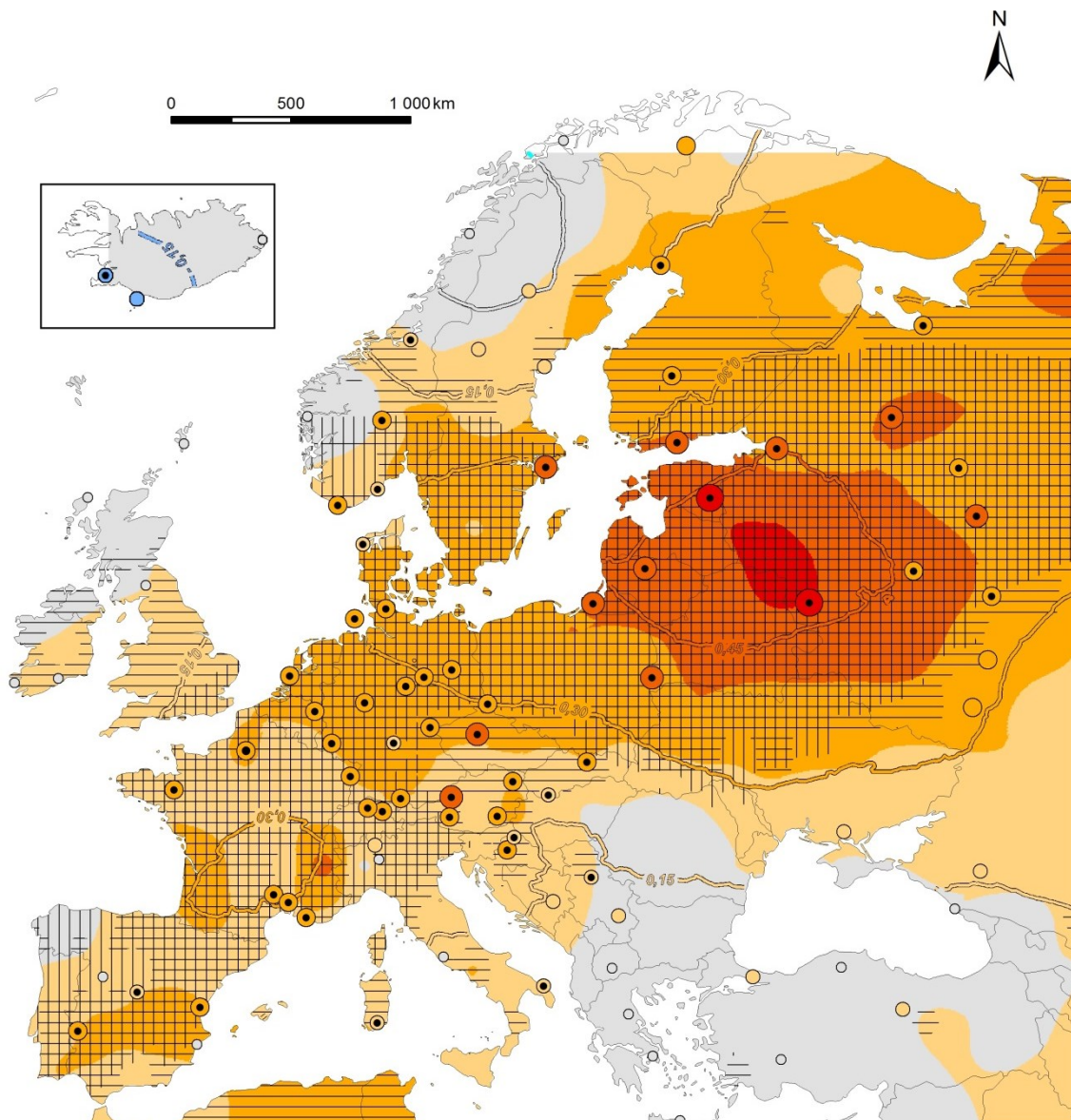
Na obr. 33 je však spíše než nadhodnocování teplot souborem ERA-40 na začátku pozorovaného období vidět podhodnocování teplot ke konci pozorovaného období tímto reanalýzovým souborem oproti interpolovaným i staničním datům. Obr. 34 poté zobrazuje totéž, avšak tentokrát ne pro celou Evropu, ale pouze pro oblast kolem klimatické stanice Haparanda, kde jsou v zimě rozdíly mezi datovým souborem E-OBS a reanalýzou ERA-40 největší. Analyzována je již zmíněná klimatická stanice, uzlový bod 65,25° s. š. x 26,25° v. d. souboru E-OBS a uzlový bod 66° s. š. x 24° v. d. souboru ERA-40.



Obr. 34: Odchyly průměrných zimních teplot na klimatické stanici Haparanda (ECA&D), v uzlovém bodu 65,25° x 26,25° (E-OBS) a v bodu 66° x 24° (ERA-40) od průměru pro období 1961 – 1990 (nahore) a rozdíly v těchto odchylnkách mezi jednotlivými body (dole)

Z obr. 34 je patrné výrazné nadhodnocování teplot reanalýzou ERA-40 zpočátku pozorovacího období. Teploty u severního výběžku Botnického zálivu dosahují v 60. letech dle této reanalýzy až o 2°C vyšších hodnot než dle datového souboru E-OBS. Tento rozdíl je způsoben pravděpodobně velkým nedostatkem přízemních dat vstupujících do ERA-40 před rokem 1967. Na konci pozorovaného období lze ve zmíněné oblasti pozorovat naopak podhodnocování teplot reanalýzou ERA-40. To je pravděpodobně způsobeno nedostatečným zachycením působení zpětných vazeb právě hodnocenou reanalýzou. Co se týče rozdílu mezi stanicí Haparanda a uzlovým bodem databáze E-OBS, lze pozorovat poměrně dobrou shodu po větší část pozorovaného období. Pouze ke konci období jsou znatelné vyšší teploty na klimatické stanici. To může být vysvětleno vyhlazením extrémnějších hodnot v uzlovém bodě.

7.2.2. Jarní teplotní trendy

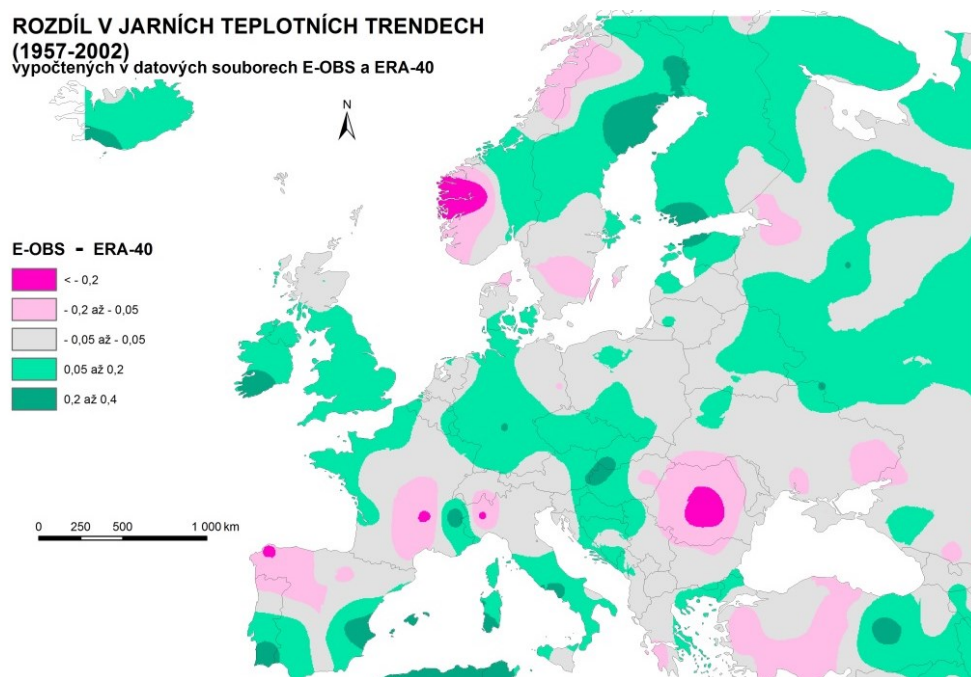


Obr. 35: Jarní teplotní trendy v Evropě mezi lety 1957 a 2002 určené ze tří různých datových zdrojů (ECA&D, E-OBS, ERA-40)

Obr. 35 ukazuje teplotní trendy v období jara. Lze si všimnout velmi podobného prostorového rozložení oteplování jako v zimě, avšak s nižšími hodnotami nejvyšších kladných teplotních trendů v oblasti Pobaltí (přes $0,45^{\circ}\text{C}$ za 10 let) a s teplotními trendy blízkými nule v oblasti jihovýchodní Evropy. Oteplování značné části Evropy se poté pohybuje v intervalu mezi $0,15^{\circ}\text{C}$ až $0,45^{\circ}\text{C}$ za 10 let s výrazným gradientem snižování hodnot od ohniska oteplování na všechny světové strany. Jelikož jaro navazuje bezprostředně na zimu, lze se domnívat, že příčina výraznějšího oteplování v oblasti Pobaltí je stejná jako v případě zimního období. Jedná se pravděpodobně opět o umístění denní izotermy 0°C a s ní související zpětnou vazbu sníh (led) – albedo, kdy tající mořský led a sníh v těchto oblastech má za následek zesílení absorpce slunečního záření, která vede k dalšímu zrychlení oteplování.

Prostorové rozložení oteplování je potvrzeno jak daty ze staniční databáze ECA&D, tak daty z interpolovaného souboru E-OBS a reanalýzy ERA-40. Nejvyšších hodnot oteplování na území Evropy v období od roku 1957 do roku 2002 je na jaře dosaženo na stanicích Tartu v Estonsku a Smolensk v Rusku, kde teplotní trendy přesahují 0,60°C za 10 let. Podobné hodnoty potvrzuje v těchto místech i interpolovaný datový soubor E-OBS. Reanalýza ERA-40 zde vykazuje také nejvýraznější hodnoty trendů, avšak pouze okolo 0,50°C za 10 let. V oblasti severní Skandinávie není podobně výrazný rozdíl v hodnotách oteplování mezi interpolovaným souborem a reanalýzou jako v období zimy. Přesto se například oblast Finska otepluje až o 0,15°C za 10 let více dle interpolovaného souboru E-OBS než dle reanalýzy ERA-40. To je potvrzeno i statistickou významností těchto trendů, která dosahuje pro E-OBS podstatně dále k severu.

Rozdíl v hodnotách teplotních trendů určených z databází E-OBS a ERA-40 je znázorněn na obr. 36.

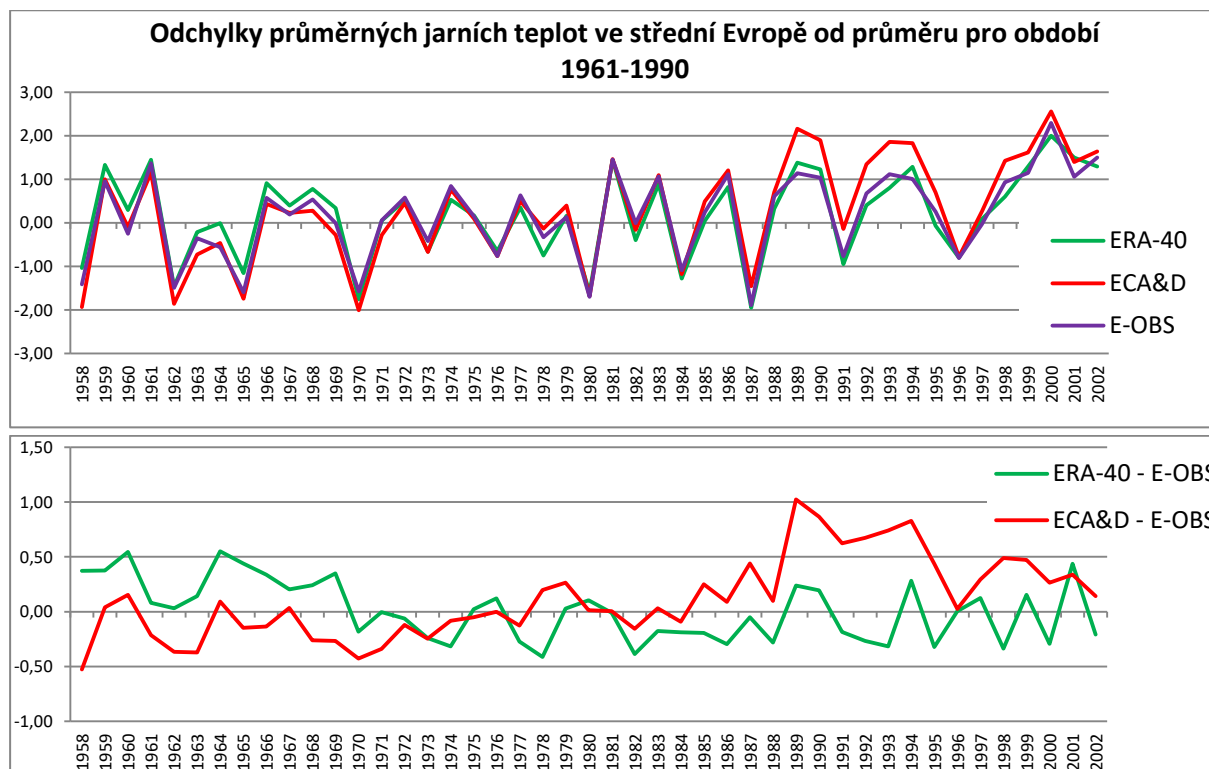


Obr. 36: Rozdíl v jarních teplotních trendech vypočtených z dat v datových souborech E-OBS a ERA-40 v období 1957 až 2002

Lze si všimnout, že větší teplotní trendy jsou na většině míst Evropy vypočteny z dat souboru E-OBS (odstíny zelené). Některá místa, jako je Rumunsko či jihozápadní Norsko, pak vykazují vyšší teplotní trendy dle reanalýzy ERA-40.

V oblasti střední Evropy dochází, podobně jako v zimě, k výraznému rozdílu v hodnotách teplotních trendů na staniční databázi ECA&D oproti interpolovanému souboru a reanalýze. Stanice v pražském Klementinu a v Salzburgu zde dosahují až o 0,15°C za 10 let většího oteplování než soubory v pravidelné síti uzlových bodů v podobných místech, k čemuž pravděpodobně přispívá zesílení tepelného ostrova města v pozorovaném období.

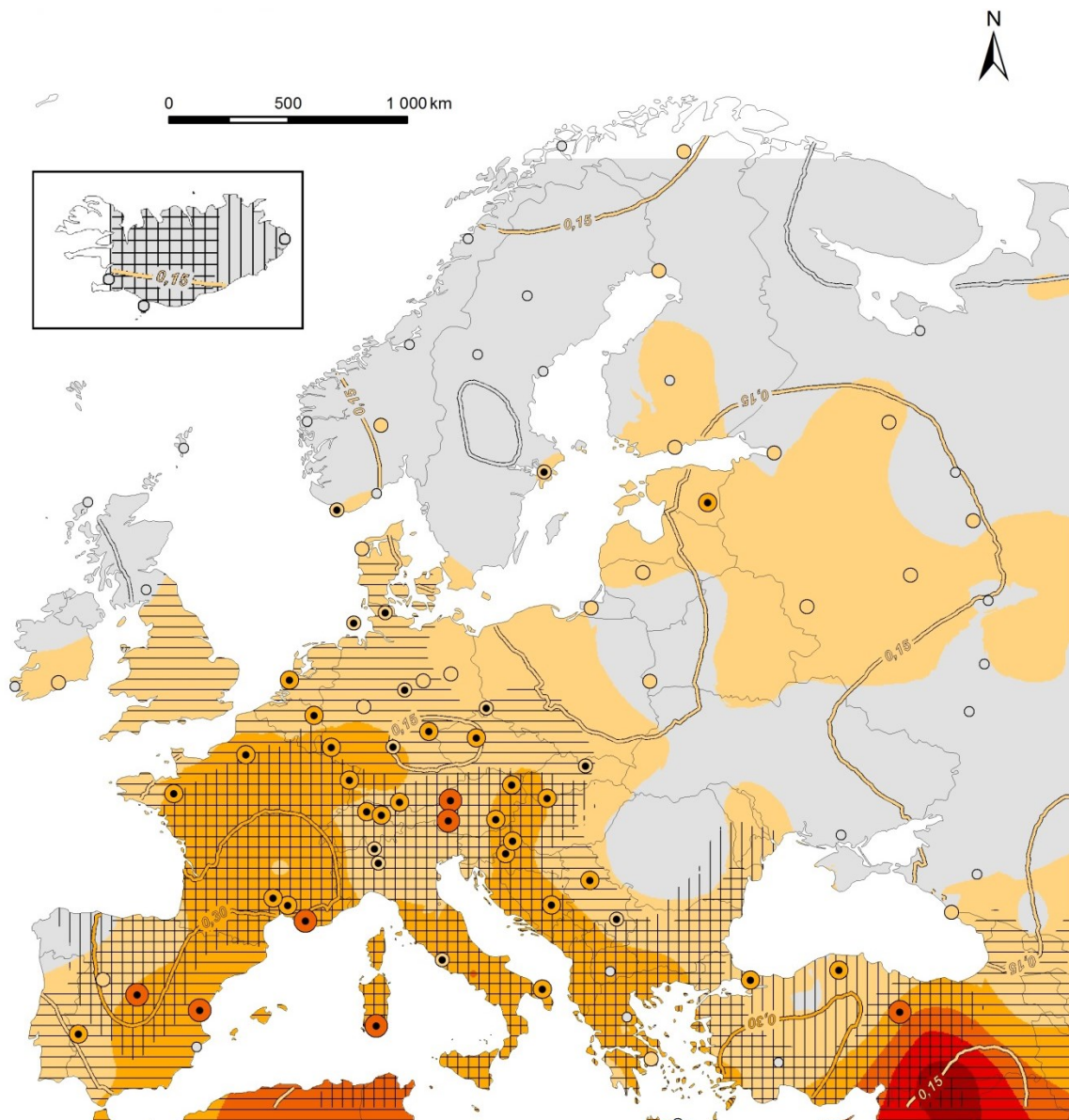
Na obr. 37 lze pozorovat odchylky průměrných teplot v uzlovém bodu 49,25° s. š. x 14,25° v. d. pravidelné sítě E-OBS, v uzlovém bodu 48° s. š. x 14° v. d. reanalýzy ERA-40 a na klimatických stanicích Klementinum a Salzburg ovlivněných zesíleným tepelným ostrovem města, jejichž teplotní vývoj je zprůměrován.



Obr. 37: Odchylky průměrných jarních teplot na 2 klimatických stanicích ve střední Evropě; Klementinum a Salzburg (ECA&D), v uzlovém bodu 49,25° x 14,25° (E-OBS) a v bodu 48° x 14° (ERA-40) od průměru pro období 1961 – 1990 (nahore) a rozdíly v těchto odchylkách mezi jednotlivými body (dole)

Můžeme si všimnout, že zatímco rozdíl mezi uzlovým bodem interpolovaného souboru E-OBS a uzlovým bodem reanalýzy ERA-40 není ve střední Evropě příliš znatelný, kromě mírného nadhodnocení teplot reanalýzou na začátku pozorovaného období, rozdíl mezi teplotami naměřenými na stanicích a teplotami v uzlových bodech je přímo markantní. Největší změna nastává po roce 1988, kdy průměrná teplota na dvou pozorovaných stanicích je téměř každý rok o 0,5°C vyšší než průměrná teplota pozorovaných uzlových bodů. Důvodem je pravděpodobně efekt zesilujícího tepelného ostrovu města.

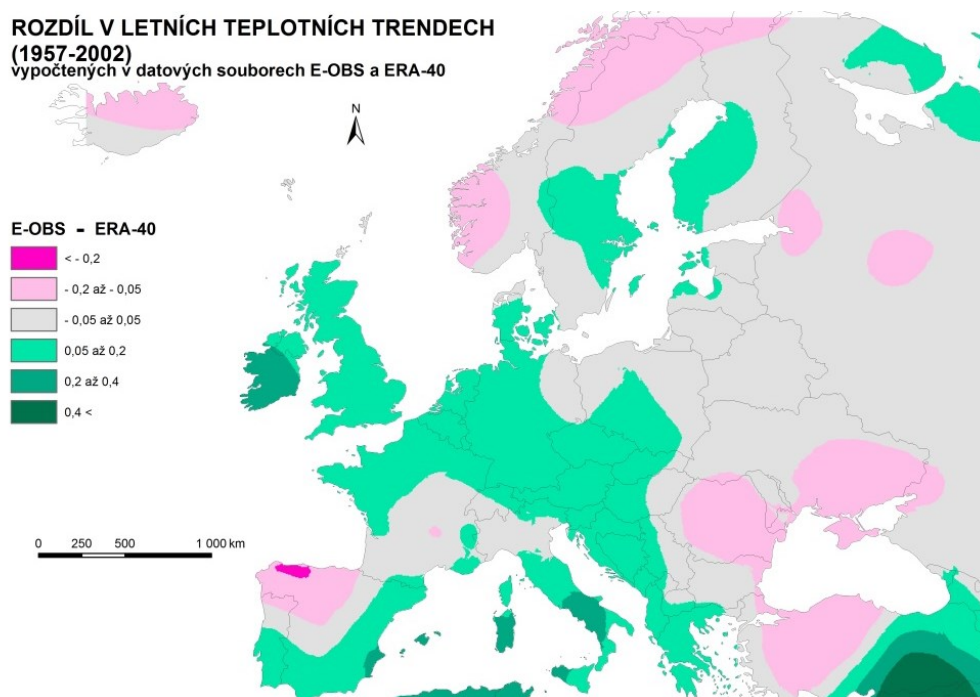
7.2.3. Letní teplotní trendy



Obr. 38: letní teplotní trendy v Evropě mezi lety 1957 a 2002 určené ze tří různých datových zdrojů (ECA&D, E-OBS, ERA-40)

V létě lze sledovat zcela odlišnou situaci než v období zimy a jara. Na obr. 38 si můžeme všimnout výrazného severojižního gradientu v hodnotách dlouhodobých teplotních trendů. Zatímco v jižní Evropě trendy dosahují hodnot vysoko přes $0,30^{\circ}\text{C}$, v severní a z velké části i ve východní Evropě lze pozorovat trendy blízké nule. Výjimku tvoří oblast východně od Baltského moře, kde lze pozorovat zesílené oteplování (přes $0,15^{\circ}\text{C}$ za 10 let) podobně jako v zimě a na jaře. Nejrychlejšího oteplování v létě však dosahují státy na okraji Středozemního moře. To je pravděpodobně způsobeno zpětnou vazbou zvětšujícího se sucha v této oblasti. Se zvětšujícím se suchem, které je způsobené zvyšující se teplotou a množstvím srážek (Seneviratne a kol., 2010), se totiž snižuje výpar, který atmosféru ochlazuje (Koster a kol., 2009).

Severojižní gradient oteplování potvrzují klimatické stanice souboru ECA&D, pravidelná síť uzlových bodů E-OBS (barevný rastr) i reanalýza ERA-40 (izolinie). Lze si však všimnout výrazného rozdílu ve velikosti trendů mezi jednotlivými datovými zdroji. Velká část stanic v jižní Evropě vykazuje trendy až přes $0,45^{\circ}$ za 10 let, zatímco trendy interpolované sítě E-OBS většinou dosahují hodnot pouze přes $0,30^{\circ}\text{C}$ a teplotní trendy určené reanalýzou hodnotu $0,30^{\circ}\text{C}$ za desetiletí přesahují zřídka. Výraznou odchylku lze poté pozorovat ve východní části Turecka, kde teplotní trend dle datového souboru E-OBS přesahuje $0,75^{\circ}\text{C}$ za desetiletí, zatímco reanalýza ERA-40 tam vykazuje teplotní trend pod $0,15^{\circ}\text{C}$ za desetiletí. Rozdíly mezi trendy vypočtenými z dat reanalýzy ERA-40 a interpolovaného souboru E-OBS lze pozorovat na obr. 39.

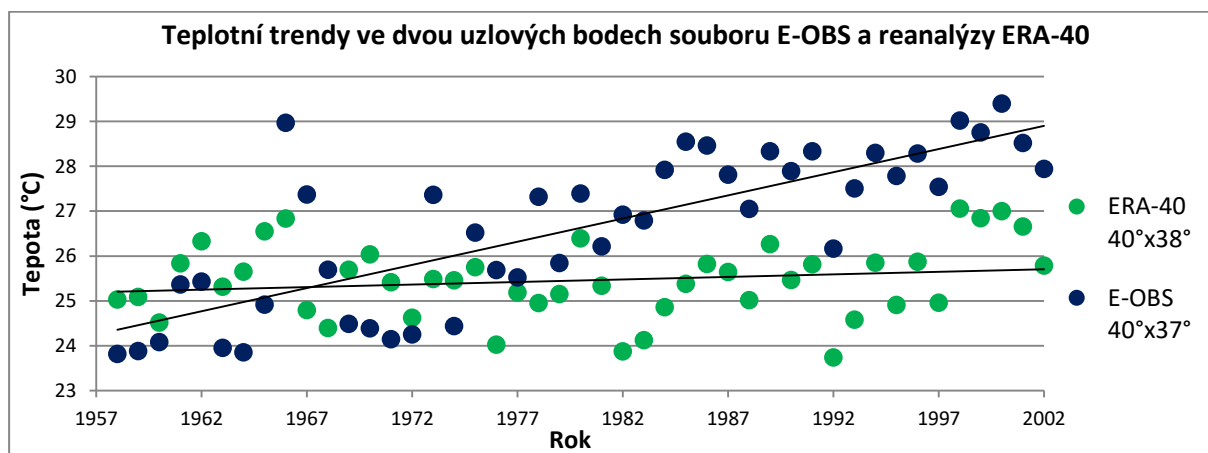


Obr. 39: Rozdíl v letních teplotních trendech vypočtených z dat v datových souborech E-OBS a ERA-40 v období 1957 až 2002

Větší teplotní trendy dle interpolovaného souboru lze kromě východního Turecka sledovat i ve větší části střední a západní Evropy. Reanalýza ERA-40 vykazuje v porovnání se souborem E-OBS vyšší hodnoty oteplování v severozápadní části Iberského poloostrova, v některých místech východní Evropy a severní části Skandinávie.

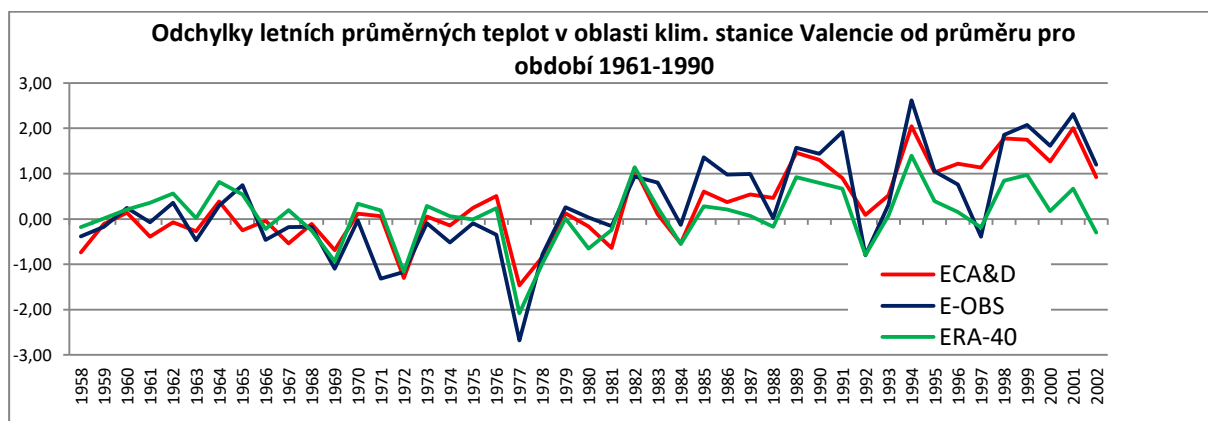
Ve východním Turecku se nenachází žádná klimatická stanice souboru ECA&D splňující podmínky pro využití v této práci, se kterou by bylo možné trendy porovnat. Nicméně Türkes a kol. (2002) při analýze teplotních trendů klimatických stanic Turecké státní meteorologické služby dospívají k závěru, že stanice v těchto místech dosahují ve druhé polovině 20. století teplotních trendů blízkých nule, podobně jako reanalýza ERA-40 a to i přesto, že stanice se nacházejí v hustě osídlené oblasti, a roli by tak mohl hrát efekt zesilujícího se tepelného ostrova města. Je však třeba brát v potaz, že Türkes a kol. (2002) analyzují období od roku 1930, což výrazně ovlivňuje relevantnost tohoto porovnání. Obr. 40 znázorňuje teplotní trendy uzlového bodu $40,25^{\circ}$ s. š. x

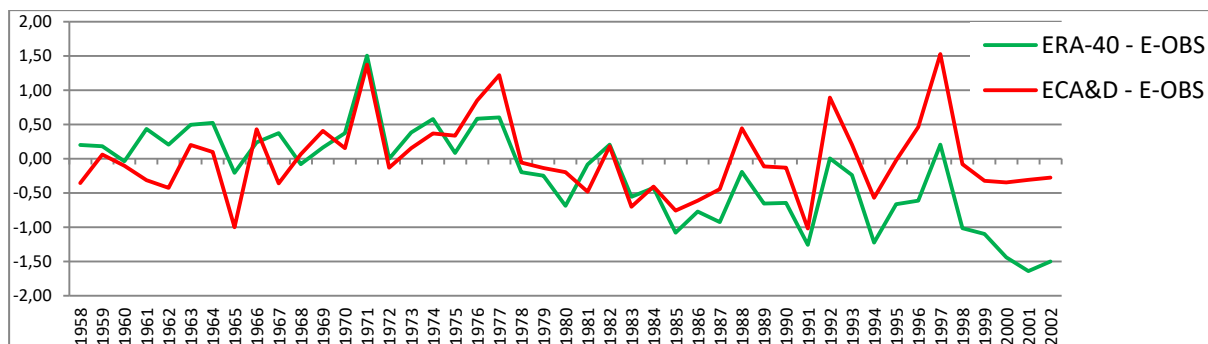
37,25° v. d. datového souboru E-OBS a uzlového bodu 40° s. š. x 38° v. d. reanalýzy ERA-40. Zatímco trend uzlového bodu souboru E-OBS dosahuje hodnot až 1°C za 10 let, tak uzlový bod reanalýzy ERA-40 nacházející se v podobné oblasti vykazuje pouze mírný a statisticky nevýznamný trend. Lze si všimnout, že významný rozpor mezi oběma soubory nastává až v roce 1982, kdy teploty uzlového bodu E-OBS dosahují více než o 2°C vyšších hodnot než teploty bodu z reanalýzového souboru ERA-40. To může být vysvětleno tím, že do výpočtů souboru E-OBS vstoupila v roce 1982 jedna či více teplotně nadprůměrných klimatických stanic v okolí. Byla by tak potvrzena jedna z nevýhod interpolovaného datového souboru, a to změna v počtu klimatických stanic vstupujících do interpolace v průběhu času.



Obr. 40: Letní teplotní trend v uzlovém bodě 40,25° x 37,25° interpolovaného souboru E-OBS a v uzlovém bodě 40° x 38° reanalýzového souboru ERA-40 mezi lety 1958 a 2002.

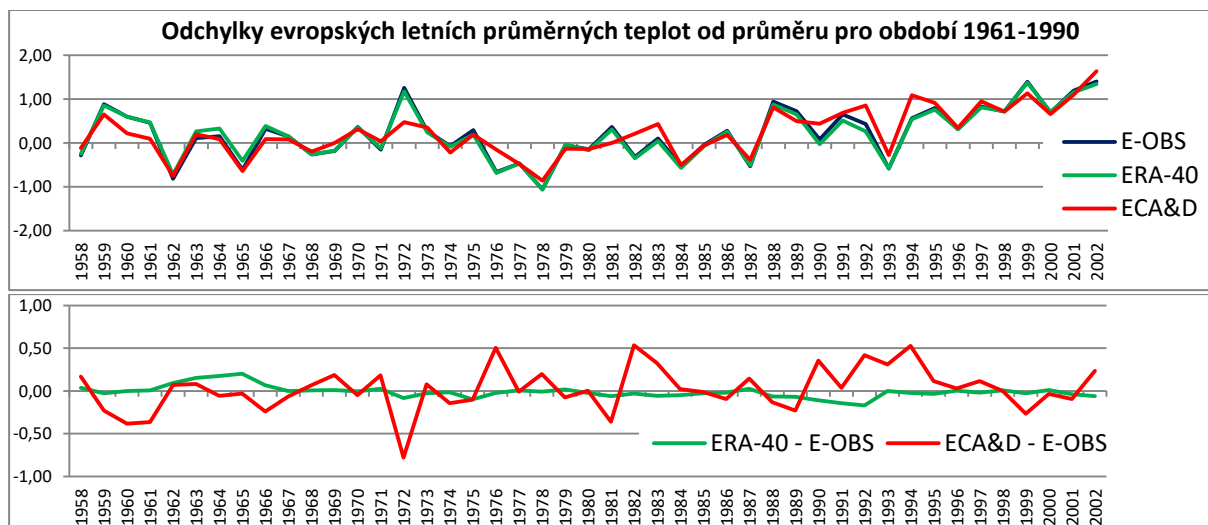
Ukázkovým příkladem situace v jižní Evropě v období léta je oblast kolem klimatické stanice Valencia. Reanalýza ERA-40 zde v pozorovaném období vykazuje teplotní trend mírně přes 0,15°C za 10 let, zatímco analýzou interpolované sítě E-OBS zde byla zjištěna hodnota oteplování přes 0,30°C. Teplotní trend samotné stanice ve Valencii poté dosahuje hodnoty přes 0,45°C. Vývoj průměrných teplot relativně k období 1961-1990 lze pozorovat na obr. 41, kde jsou kromě klimatické stanice ve Valencii opět analyzovány dva nejbližší uzlové body, jeden z interpolované sítě E-OBS a druhý z reanalýzy ERA-40.





Obr. 41: Odchytky letních průměrných teplot na klimatické stanici ve Valencii (ECA&D), v uzlovém bodu 39,25° x -1,75° (E-OBS) a v bodu 40° x 0° (ERA-40) od průměru pro období 1961 – 1990 (nahore) a rozdíly v těchto odchytkách mezi jednotlivými body (dole)

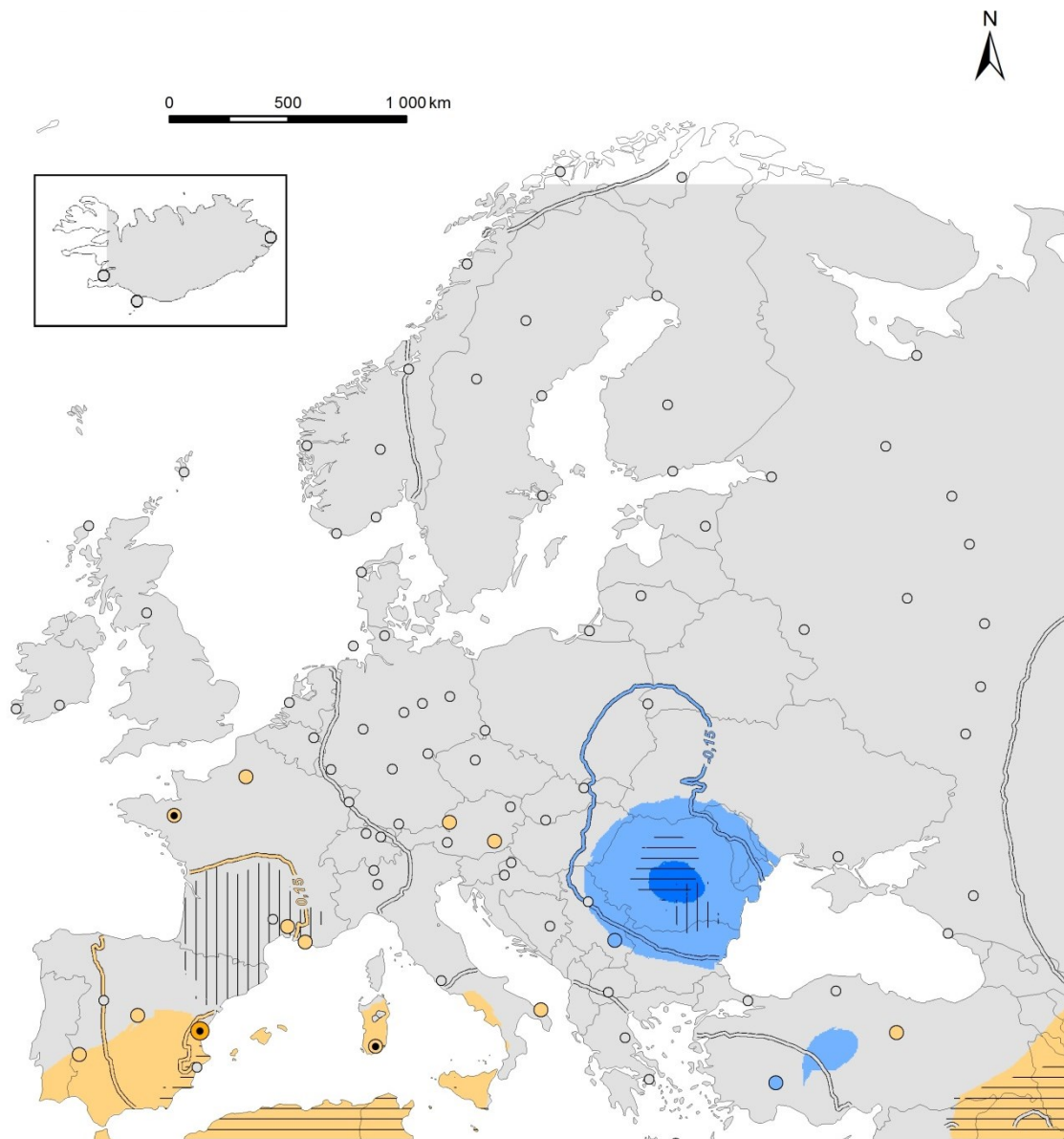
Opět můžeme pozorovat již několikrát zmiňované podhodnocování průměrných teplot na konci pozorovaného období reanalýzou ERA-40, které vyúsťuje k menším hodnotám trendů určených právě touto databází. Vývoj teplot v uzlových bodech souboru E-OBS a na stanici ve Valencii je velmi podobný, nicméně díky chladným rokům 1992 a 1997 v uzlovém bodě interpolované sítě E-OBS se trend na klimatické stanici jeví jako výrazně vyšší. Vývoj průměrných teplot se chová pro jednotlivé datové soubory podobně jako v oblasti Valencie i v případě analýzy celé Evropy (obr. 42), tedy na 93 klimatických stanicích a 323 respektive 325 uzlových bodech, avšak s méně výraznými rozdíly.



Obr. 42: Odchytky evropských letních průměrných teplot od průměru pro období 1961 – 1990 dle datových zdrojů ECA&D, E-OBS a ERA-40 (nahore) a rozdíly v těchto odchytkách mezi jednotlivými datovými zdroji (dole)

Rozdíl mezi odchytkami průměrných teplot reanalýzy ERA-40 a interpolované sítě E-OBS zde však není tak výrazný ani jako v analýze oblasti kolem klimatické stanice ve Valencii, ani jako v předchozích ročních obdobích.

7.2.4. Podzimní teplotní trendy



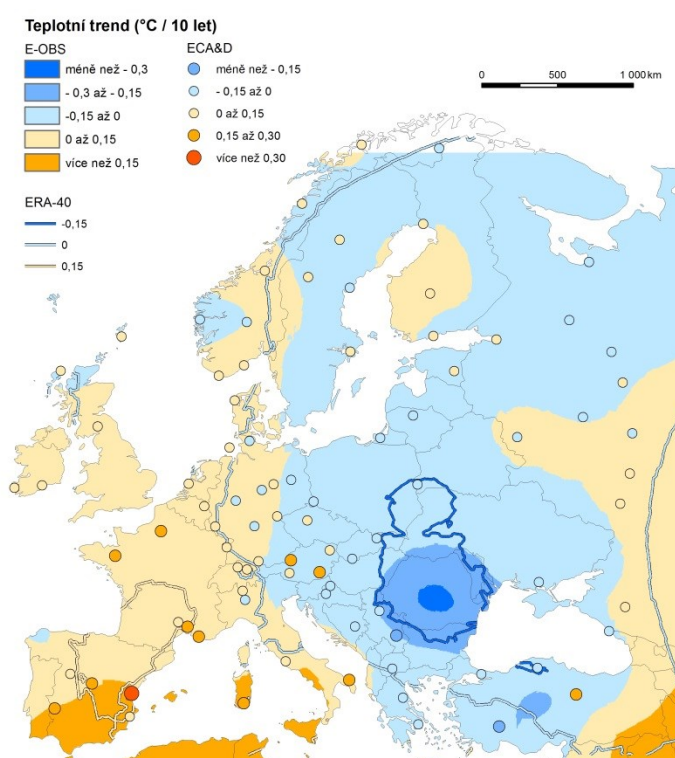
Obr. 43: Podzimní teplotní trendy v Evropě mezi lety 1957 a 2002 určené ze tří různých datových zdrojů (ECA&D, E-OBS, ERA-40)

Co se týče období podzimu, můžeme na obr. 43 pozorovat výrazně nižší hodnoty trendů než v ostatních třech ročních obdobích. Téměř celé území Evropy se nachází v intervalu od $-0,15^{\circ}\text{C}$ do $0,15^{\circ}\text{C}$ za 10 let, tedy ve velmi mírných teplotních trendech. Lze si všimnout pouze dvou výrazných odchylek. Jedná se o statisticky významné ochlazování v hodnotách nad $0,15^{\circ}\text{C}$ za 10 let v oblasti Rumunska a o výraznější oteplování v oblasti Iberského poloostrova, Pyrenejí a na ostrovech Sardinie a Sicílie.

Ochlazování v Rumunsku se ukazuje po analýze dat souboru E-OBS i reanalýzy ERA-40, která tuto oblast rozšiřuje i na východní Polsko a západní Ukrajinu. Zde však teplotní trendy nejsou statisticky významné. Reanalýza ERA-40 vykazuje trendy oteplování přes $0,15^{\circ}$ za 10 let ve větší

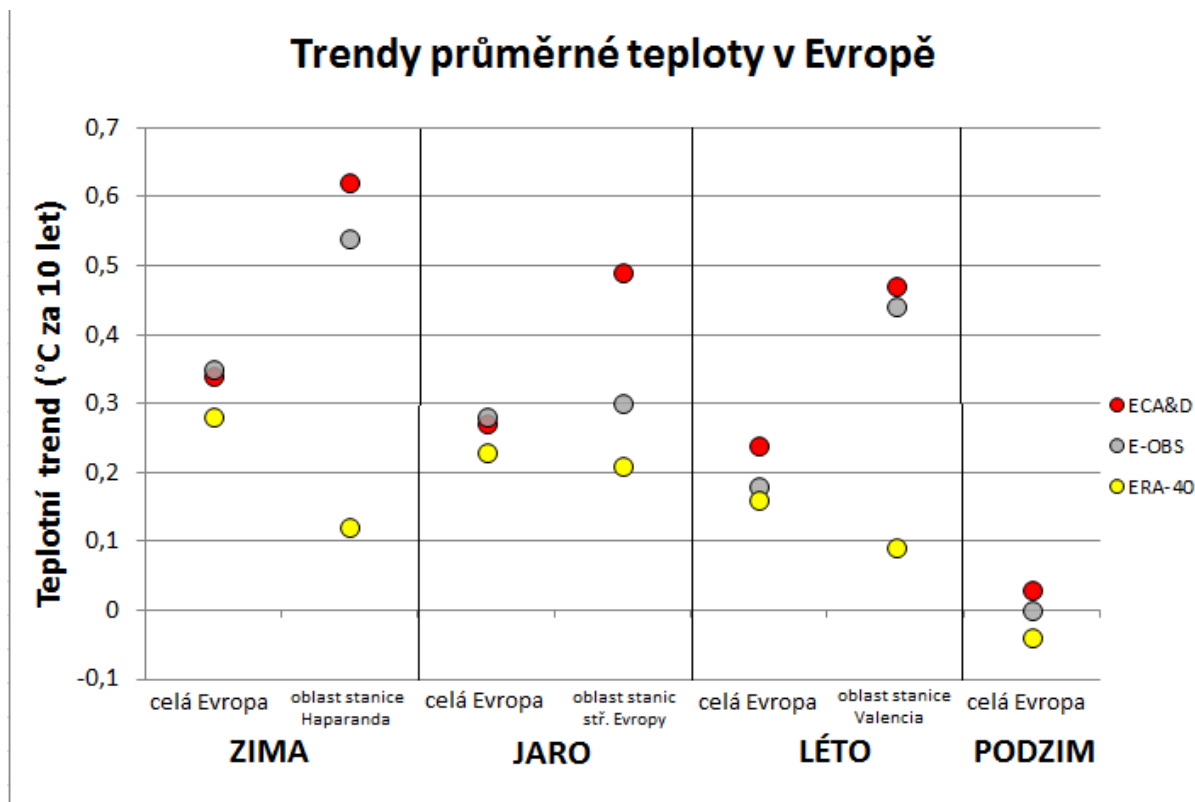
oblasti než soubor E-OBS i v oblasti Pyrenejského poloostrova, což není příliš v souladu s předešlými závěry o rozdílech mezi těmito dvěma databázemi. V oblasti Evropy si lze dále všimnout několika klimatických stanic, na kterých jsou vypočítané statisticky významné a výraznější teplotní trendy než v datových souborech s pravidelnou sítí uzlových bodů. Těmito stanicemi jsou například Graz, Salzburg, Rennes nebo Marseille.

Po odlišení malých záporných teplotních trendů (od 0°C do -0,15°C za 10 let) od malých kladných trendů (od 0°C do 0,15°C za 10 let) je na obr. 44 vidět, že k mírnému ochlazení dochází převážně na východě a severovýchodě Evropy, zatímco k mírnému oteplení pak na západě a jihozápadě Evropy.



Obr. 44: Podzimní teplotní trendy v Evropě mezi lety 1957 a 2002 určené ze tří různých datových zdrojů (ECA&D, E-OBS, ERA-40) po odlišení malých kladných od malých záporných trendů

Na obr. 45 vidíme souhrn hodnot teplotních trendů v celé Evropě i v jednotlivých uzlových bodech či klimatických stanicích ve všech ročních obdobích.



Obr. 45: Teplotní trendy v Evropě určené ze tří datových zdrojů (ECA&D, E-OBS, ERA-40) v období zimy (pro celou Evropu, stanici Haparanda, uzlový bod 65,25° x 26,25° souboru E-OBS a uzlový bod 66° x 24° souboru ERA-40), v období jara (pro celou Evropu, uzlový bod 49,25° x 14,25° souboru a uzlový bod 48° x 14° reanalýzy ERA-40 a 2 stanice nacházející se ve střední Evropě; Klementinum a Salzburg) a v období léta (pro celou Evropu, uzlový bod 39,25° x -1,75° souboru E-OBS a uzlový bod 40° x 0° reanalýzy ERA-40)

Je jasně vidět, že atmosférická reanalýza ERA-40 podhodnocuje teplotní trendy ve všech ročních obdobích, a to v rámci celé Evropy až o 0,05°C za 10 let. V některých konkrétních místech, ve kterých dochází dle zbylých dvou datových souborů k výraznému oteplování, reanalýza zaznamenává trendy blízké nule. Důvodem nižších zaznamenaných trendů jsou výrazně vyšší teploty před rokem 1967. Do reanalýzy ERA-40 před tímto rokem vstupuje velmi malé množství dat z přízemních pozorování a povrchové teploty jsou tak výrazně zkreslovány předpovědním modelem, který má dle Simmonse a kol. (2004) tendenci tyto teploty nadhodnocovat. Co se týče rozdílu mezi staničním souborem ECA&D a interpolovanou sítí E-OBS, tak ten není tak výrazný, zejména pokud bereme v potaz území celé Evropy. Na některých místech však stanice vykazují výrazně vyšší hodnoty trendů. Je tomu tak zejména ve vyšších nadmořských výškách, kde hraje roli zpětná vazba sníh-albedo, či v zastavěných oblastech, kde hraje roli zesilující efekt tepelného ostrova města. Mírně vyšší průměrné evropské teplotní trendy v zimě a na jaře zjištěné z dat datového souboru E-OBS než z dat naměřených na klimatických stanicích jsou pravděpodobně způsobené nerovnoměrným rozmístěním stanic, kdy v oblastech nejvýraznějšího oteplování se stanic nachází méně.

8. DISKUZE

Tato diplomová práce se zabývá teplotními trendy v Evropě v období od roku 1957 do roku 2002. Kromě celkových dlouhodobých teplotních změn v jednotlivých ročních obdobích je hlavním motivem práce také odpověď na otázku, jaké jsou rozdíly v hodnotách trendů v závislosti na volbě datového zdroje.

Z výsledků této práce vyplývá, že v Evropě se v druhé polovině dvacátého století výrazně otepluje, což je v dobrém souladu s jinými evropskými studii zabývajícími se teplotními trendy (Van der Schrier a kol., 2013; Klein Tank a kol., 2005; van Oldenborgh a kol., 2009; Scherrer a kol., 2006). Vzhledem k rozdílnému období pozorování je však obtížné porovnávat výsledné hodnoty teplotních trendů vypočítaných v této práci s hodnotami ve zmíněných studiích. Hodnota teplotního trendu je totiž velmi závislá na volbě začátku a konce pozorovaného období, jak popisují Liebmann a kol. (2010). Van der Schrier a kol. (2013) indikovali v Evropě v období 1950 až 2010 celoroční teplotní trend $0,18^{\circ}\text{C}$ za desetiletí, zatímco v této práci je z dat interpolovaného souboru E-OBS, který je využíván i ve výše zmíněné studii, vypočítán teplotní trend $0,21^{\circ}\text{C}$ za desetiletí v období 1957 až 2002. Není tak zcela jisté, zda se na rozdílné hodnotě trendu podepisuje spíše odlišná doba pozorování nebo rozdílně vymezená síť uzlových bodů. Klein Tank a kol. (2005) dále při využití stanic souboru ECA&D dospěli k závěru, že se v Evropě otepluje o $0,7^{\circ}\text{C}$ za desetiletí v období 1976 až 1999. V této práci je z dat vybraných klimatických stanic souboru ECA&D zjištěn teplotní trend $0,22^{\circ}\text{C}$ za desetiletí. V tomto případě je zřejmé, že ve výsledku hraje roli odlišné analyzované období. Evropské teplotní trendy dosahují ve sledovaném období nejvyšších hodnot v zimě ($0,28^{\circ}\text{C}$ až $0,34^{\circ}\text{C}$ za desetiletí v závislosti na volbě datového zdroje). Na jaře a v létě jsou indikovány o něco menší hodnoty trendů ($0,23^{\circ}\text{C}$ až $0,27^{\circ}\text{C}$ respektive $0,16^{\circ}\text{C}$ až $0,24^{\circ}\text{C}$ za desetiletí) a na podzim se teplotní trendy blíží nule. K podobnému závěru v sezonních rozdílech oteplování v Evropě dospívají jak studie využívající celosvětových datových souborů (Hansen a kol., 2010; Scherrer a kol., 2006), tak studie využívající evropských datových zdrojů (Klein Tank a kol., 2002; Klein Tank a kol., 2005; van Oldenborgh a kol., 2009). Poměrně odlišné výsledky poté vycházejí ze studie Cattiaux a kol. (2011), kde je v období 1978 až 2007 vypočten poměrně vysoký podzimní teplotní trend $0,30^{\circ}\text{C}$ za desetiletí. Jarní a letní trendy ($0,66^{\circ}\text{C}$ respektive $0,67^{\circ}\text{C}$ za desetiletí) mají poté v této studii vyšší hodnotu než zimní teplotní trend ($0,59^{\circ}\text{C}$ za desetiletí). Pravděpodobným důvodem vyššího podzimního trendu je posunutí období pozorování až do roku 2007, jelikož začátkem 21. století došlo k výraznému zvýšení průměrných podzimních teplot, což potvrzují i van der Schrier a kol. (2013). Příčinou nižšího zimního teplotního trendu poté bude pravděpodobně to, že Cattiaux a kol. (2011) nezapočítávají do výsledku

oblast Skandinávie a Východní Evropy, což jsou oblasti vykazující v zimě nejrychlejší tempo oteplování.

Z mapy zimních teplotních trendů bylo jasně vidět, že ohnisko oteplování se v tomto ročním období nachází v okolí Baltského moře. Některé stanice zde v pozorovaném období dosahují trendů přes 0,8°C za desetiletí. Klein Tank a kol. (2005) zaznamenali podobné prostorové rozložení teplotních trendů a na většině stanic v severní a severovýchodní Evropě určili zimní trendy v hodnotách přes 2,5°C za 10 let, ovšem pro období 1978-1999. Směrem k jihu poté hodnoty teplotních trendů klesají a to rychleji ve východní části Evropy, kde v oblasti Řecka a Turecka přecházejí v trendy záporné, které potvrzují jak Klein Tank a kol. (2005), tak Scherrer a kol. (2006) či van Oldenborgh a kol. (2009). Vysoké teplotní trendy v jižní Skandinávii a severovýchodní Evropě jsou způsobeny pravděpodobně pozitivní zpětnou vazbou sněh-albedo. Jedná se o to, že vlivem rostoucích teplot v zimě dochází v těchto místech ke zmenšování rozsahu sněhové pokrývky a mořského ledu, k čemuž v takovémto měřítku v jiných místech Evropy nedochází. To poté způsobuje další zvýšení tempa oteplování v těchto místech vlivem zvýšené absorpce slunečního záření. Přesto, že je vliv pozitivní zpětné vazby sněh-albedo obtížné kvantifikovat (Qu a Hall, 2005), Groisman a kol. (1994) uvádějí, že značná část oteplování severní polokoule v posledních dvou desetiletích 20. století může být přičítána právě této pozitivní zpětné vazbě.

Prostorové rozložení jarního oteplování vyšlo velmi podobně, avšak s celkově nižšími hodnotami teplotních trendů. Oblasti nejvýraznějšího oteplování na východ od Baltského moře mírně přesahují hodnoty 0,6°C za desetiletí. To není příliš v souladu se studií van Oldenborgha a kol. (2009), ve které ohnisko oteplování na jaře má větší rozsah než v zimě a hodnoty teplotních trendů jsou v těchto dvou ročních obdobích velmi podobné. Klein Tank a kol. (2005) a Scherrer a kol. (2006) ve svých studiích posouvají ohnisko oteplování spíše do oblasti středozápadní Evropy a jižní Skandinávie. Na jaře jsem dále v porovnání se zimou nezaznamenal ochlazování v jihovýchodní Evropě, což je v souladu se všemi výše zmíněnými studii. Dále si lze všimnout, že období jara se vyznačuje větším množstvím statisticky významných trendů než období zimy, což je dáno větší meziroční proměnlivostí průměrných teplot v zimě, podobně jako zmiňuje van der Schrier a kol. (2013).

Prostorové rozložení oteplování v létě se vyznačuje severojižním gradientem, kdy nejvyšších teplotních trendů je dosaženo v oblasti Středozemního moře. K podobnému závěru dospěli i Hansen a kol. (2010), van Oldenborgh a kol. (2009) a Scherrer a kol. (2006). Pravděpodobnou příčinou výrazného letního oteplování ve Středomoří je zpětná vazba zvětšujícího se sucha. Výraznější sucho, které je způsobené hlavně dlouhodobým růstem teplot a snižováním srážek (Seneviratne a kol., 2010), vede ke zmenšování výparu, který má tendenci atmosféru ochlazovat (Koster a kol., 2009). Zmenšování výparu pak má v těchto oblastech za následek zesílené tempo oteplování.

Při analýze podzimního oteplování byly zjištěny téměř na celém území Evropy teplotní trendy pohybující se okolo nuly. Výjimku tvoří oblast mírného oteplování v západní části Středozevního moře, které je poměrně v dobrém souladu se studii van Oldenborgha a kol. (2009) a Klein Tank a kol. (2005) a oblast mírného ochlazování v oblasti Rumunska, ke kterému dospěli i Scherrer a kol. (2006). Scherrer a kol. (2006) rozšiřují tuto oblast podzimního ochlazování téměř na celou východní Evropu, k čemuž jsem dospěl i ve svých výsledcích po odlišení nízkých záporných trendů.

Pokud se zaměříme na rozdíly v hodnotách teplotních trendů určených ze tří sledovaných datových zdrojů, lze říct, že největší hodnoty jsou na většině míst Evropy ve všech ročních obdobích vypočítány z dat naměřených na klimatických stanicích souboru ECA&D. Mírně nižších hodnot poté teplotní trendy dosahují při využití dat z interpolovaného souboru E-OBS a značně nižších hodnot při využití dat z atmosférických reanalýz. Zprůměrováním hodnot jsem dospěl k celoročním evropským teplotním trendům $0,22^{\circ}\text{C}$ za 10 let z dat naměřených na klimatických stanicích a $0,21^{\circ}\text{C}$ za 10 let z dat interpolovaných v datovém souboru E-OBS, přičemž v místech výrazného oteplování se nachází menší množství stanic než v místech nižšího tempa oteplování. Průměrný evropský trend teploty pro data reanalýzy ERA-40 je $0,16^{\circ}\text{C}$ za 10 let. Tento závěr pravděpodobně neplatí pouze pro oblast Evropy, která je zkoumána v této práci, ale i pro oblast celého světa. Ve studii Hartmanna a kol. (2013) jsou celosvětové teplotní trendy nad pevninou pro období 1950-2012 vyčísleny na $0,197^{\circ}\text{C}$ za desetiletí z dat staničního souboru GHCN a na $0,175^{\circ}\text{C}$ za desetiletí z dat interpolovaného souboru CRUTEM. Compo a kol. (2013) poté vypočítali z dat průměrných teplot Reanalýz 20. století trend teploty nad zemskou pevninou $0,13^{\circ}\text{C}$ za 10 let v období 1950-2010.

Z map evropských teplotních trendů je patrný rozdíl zejména mezi interpolovaným souborem E-OBS a reanalýzou ERA-40. Na značném území Evropy E-OBS vykazuje v zimě a na jaře o více než $0,05^{\circ}\text{C}$ za desetiletí vyšší trendy teploty než reanalýza ERA-40. Na území Skandinávie je to více než o $0,2^{\circ}\text{C}$ za desetiletí. To je v souladu se studií van der Schriera a kol. (2013) i Wanga a kol. (2013), kteří zaznamenali největší rozpor mezi interpolovaným souborem E-OBS respektive interpolovaným souborem CRUTEM a Reanalýzami 20. Století rovněž v oblasti Skandinávie a severovýchodní Evropy s podhodnocením trendů reanalýzou přes $0,1^{\circ}\text{C}$ za desetiletí, ovšem pro celoroční hodnoty a pro období 1979 až 2008. Důvodem nižších trendů vypočítaných z dat reanalýzy ERA-40 je nadhodnocení průměrných teplot touto reanalýzou před rokem 1967, které lze pozorovat na mnou vytvořených grafech odchylek průměrných evropských teplot i ve studii Simmonse a kol. (2004). Simmons a kol. (2004) vysvětlují toto nadhodnocení teplot reanalýzou ERA-40 nedostatkem dat z přizemních pozorování z několika evropských států před rokem 1967 a s tím souvisejícím zkreslením teplot předpovědním modelem. Potvrzuje se tak tvrzení Bengtssona a kol. (2004), kteří uvádějí, že reanalýzy nemusí být vhodné pro určování dlouhodobých teplotních trendů vzhledem ke změně v počtu a

druhu asimilovaných dat v jejich průběhu. Dále, vzhledem k tomu, že reanalýzová data vznikají asimilací všech dostupných dat o atmosféře (Thorne, 2011), mnohdy dokonce bez využití dat z přízemních pozorování, nemusí tak dobře zachycovat výrazné změny ve využití a pokrytí půdy posledních let (Fall a kol., 2009) vedoucí k dalším změnám teploty. To lze opět dobře pozorovat na grafech odchylek průměrných teplot od průměru období 1961 až 1990, kde po roce 1990 dochází většinou k podhodnocení průměrných teplot reanalýzou ERA-40. Výraznější podhodnocení trendů teploty reanalýzou dokládá van der Schrier a kol. (2013), avšak pro soubor Reanalýz 20. století, který využívá pouze dat o přízemním tlaku (Compo a kol., 2013).

Teplotní trendy vypočítané z dat na vybraných klimatických stanicích souboru ECA&D jsou většinou podobné či mírně vyšší než trendy v uzlových bodech souboru E-OBS. Výjimku tvoří ve všech ročních obdobích několik stanic ve střední Evropě vykazujících výrazně vyšší teplotní trendy než interpolovaný soubor. Jedná se o stanice ve vysoce zastavěných oblastech, kde hraje roli zesilující efekt tepelného ostrova města, jako je Klementinum či Salzburg, či o stanice ve vysokých nadmořských výškách, kde hraje roli pravděpodobně zpětná vazba sníh-albedo. Takovými stanicemi jsou Saentis ve Švýcarsku nebo Sonnblick v Rakousku. Důvodem vyšších hodnot trendů na těchto stanicích než v uzlových bodech je to, že při interpolaci dochází ke zprůměrování hodnot z několika stanic z okolí, a tím i ke změně statistického rozdělení, které je blíže normálnímu (Director a Bornn, 2015). Tím dojde k eliminaci odlehlých hodnot na některých stanicích a vzhledem k tomu, že dochází k oteplování, výsledný trend v uzlovém bodě je menší.

9. ZÁVĚR

Klimatická změna a zejména růst průměrné teploty je v poslední době stále více sledovaným fenoménem. Globální přízemní průměrná teplota vzduchu nad pevninou se dle Hartmanna a kol. (2013) měnila v období 1951 až 2012 tempem od 0,13°C do 0,2°C za desetiletí v závislosti na volbě datového zdroje. Existují však výrazné rozdíly v hodnotách teplotních trendů mezi jednotlivými kontinenty i v prostorovém rozložení oteplování na daném kontinentu. K tomu je třeba přičíst rozdíly v trendech mezi ročními obdobími a v neposlední řadě i odlišné hodnoty trendů vypočítaných z dat odlišných datových souborů.

Cílem mé práce bylo zhodnotit teplotní změny v Evropě v období 1957 až 2002 a analyzovat rozdíly mezi vypočítanými teplotními trendy z dat naměřených na vybraných klimatických stanicích souboru ECA&D, z dat interpolovaného souboru uzlových bodů E-OBS a z dat reanalýzy ERA-40. Pro každé roční období jsem vytvořil mapu znázorňující teplotní trendy vypočítané z dat sledovaných datových zdrojů, kterou jsem vždy doplnil grafem odchylek průměrných teplot od průměru období 1961 až 1990. Zatímco mapy znázorňují rozdíly v celkových trendech teploty mezi těmito datovými zdroji, z grafů lze vyčíst, co je důvodem těchto rozdílů.

Zatímco na celosvětové úrovni existuje několik studií zabývajících se problematikou rozdílů v teplotních trendech mezi jednotlivými datovými zdroji (Simmons a kol., 2004; Jones a kol., 2012; Hansen a kol., 2010), na evropské úrovni je takový typ analýzy spíše vzácnost. Z toho důvodu bylo nutné porovnat mezi sebou jednotlivé evropské studie zabývajících se teplotními trendy a využívající odlišné datové zdroje, což bylo ztíženo například rozdílným obdobím pozorování. Stejně tak bylo obtížné porovnat výsledky mé práce s výsledky již existujících studií.

Lze říct, že hodnoty celoročních teplotních trendů i jejich sezonní variabilita s nejrychlejším tempem oteplování v zimě a neutrálními teplotními trendy na podzim většinou odpovídají výsledkům již existujících studií. Zajímavé je pozorovat změnu prostorového rozložení oteplování v závislosti na ročním období, kdy v zimě a na jaře rostou teploty nejrychleji v severní a severovýchodní Evropě, zatímco v létě se ohnisko oteplování nachází u Středozemního moře. V mé práci se potvrdilo také poměrně nižší tempo oteplování při využití dat z reanalýz oproti datům z interpolovaných souborů a klimatických stanic. I přes mnohé výhody reanalýz, jako je například celkové pokrytí daného území určitou veličinou jak horizontálně tak vertikálně, a to za využití spíše fyzikální než statistické interpolace (Thorne, 2011), je třeba vždy zvážit, zda jsou vhodné pro určování teplotních trendů.

Pro další zkoumání této problematiky by jistě bylo zajímavé porovnat rozdíly mezi datovým souborem E-OBS či staniční databází ECA&D s reanalýzou ERA-Interim, jejíž průběh začíná v roce

1979 a trvá dodnes. Věřím, že díky eliminaci výrazných skoků v počtu a druhu dat vstupujících do reanalýz v roce 1967 a 1979, by již rozdíly nebyly příliš vysoké.

Během analýzy rozdílů v teplotních trendech jsem však narazil na méně výrazné problémy i v případě využití dalších dvou databází. U staničních dat je to nereprezentativnost pro okolí stanice, kdy stanice v hustě zalidněné oblasti odráží vliv zesilujícího efektu tepelného ostrova města. V případě datového souboru E-OBS je to pak nestálý počet stanic vstupujících do interpolace v průběhu času, což může v případě přidání stanic s nadprůměrnou teplotou vyvolat umělé pozitivní trendy. Vhodnost jednotlivých datových souborů by tak měla být předmětem dalších zkoumání a k vypočítaným trendům by se mělo vždy přistupovat kriticky.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Auer, I., Böhm, R., Jurkovic, A., Lipa, W., Orlik, A., Potzmann, R., Schöner, W., Ungersböck, M., Matulla, Ch., Briffa, K., Jones, P. D., Efthymiadis, D., Brunetti, M., Nanni, T., Maugeri, M., Mercalli, L., Mestre, O., Moisselin, J., Begert, M., Müller-Westermeier, G., Kveton, V., Bohnicek, O., Stastny, P., Lapin, M., Szalai, S., Szentimrey, T., Cegnar, T., Dolinar, M., Gajic-Capka, M., Zaminovic, K., Majstorovic, Z., Nieplova, E. (2007): HISTALP – historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region. *International Journal of Climatology* 27, 17-46.
- Bengtsson, L., Hageman, S., Hodges, K. I. (2004): Can climate trends be calculated from reanalysis data? *Journal of Geophysical Research* 109, D11111.
- Brázdil, R., Chromá, K, Dobrovolný, P., Tolazs, R. (2009): Climate fluctuations in the Czech Republic during the period 1961–2005. *International Journal of Climatology* 29, 223-242.
- Brunetti, M., Colacino, M., Maugeri, M. (2001): Trends in the daily intensity of precipitation in Italy from 1951 to 1996. *International Journal of Climatology* 21, 299–316.
- Brunetti, M., Maugeri, M., Monti, F., Nanni, T. (2006): Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series. *International Journal of Climatology* 26, 345-381.
- Cattiaux, J., Vautard, R., Yiou, P. (2011): North-Atlantic SST amplified recent wintertime European land temperature extremes and trends. *Climate Dynamics* 36, 2113-2128.
- Compo, G. P., Whitaker, J. S., Sardeshmukh, P. D., Matsui, N., Allan, R. J., Yin, X., Gleason, B. E., Vose, R. S., Rutledge, G., Bassemoulin, P., Brönnimann, S., Brunet, M., Crouthamel, R. I., Grant, A. N., Groisman, P. Y., Jones, P. D., Kruk, M. C., Kruger, A. C., Marshall, G. J., Maugeri, M., Mok, H. Y., Nordli, O., Ross, T. F., Trigo, R. M., Wang, X. L., Woodruff, S. D., Worley, S. J. (2011): Review Article The Twentieth Century Reanalysis Project. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 137, 1-28.
- Cornes, R. C., Jones, P. D. (2013): How well does the ERA-Interim reanalysis replicate trends in extremes of surface temperature across Europe? *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 118, 262-276.
- Compo, G. P, Sardeshmukh, P. D., Whitaker, J. S., Brohan, P., Jones, P. D., McColl, Ch. (2013): Independent confirmation of global land warming without the use of station temperatures. *Geophysical Research Letters* 40, 3170-3174.
- Degirmendžić, J., Kozuchowski, K., Zmudzka, E. (2004): Changes of air temperature and precipitation in Poland in the period 1951 – 2000 and their relationship to atmospheric circulation. *International Journal of Climatology* 24, 291-310.
- Del Río, S., Herrero, L., Pinto-Gomes, C., Penas, A. (2011): Spatial analysis of mean temperature trends in Spain over the period 1961-2006. *Global and Planetary Change* 78. 65-75.

- Director, H., Bornn, L. (2015): Connecting Point-Level and Gridded Moments in the Analysis of Climate Data. *Journal of Climate* 28, 3496 – 3510.
- ECA&D Project Team (2013): Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD). Version 10.7, 46 s.
- Fall, S., Niyogi, D., Gluhovsky, A., Pielke, R. A., Kalnay, E., Rochon, G. (2009): Impacts of land use land cover on temperature trends over the continental United States: assessment using the North American Regional Reanalysis. *International Journal of Climatology* 30, 1980-1993.
- European Environment Agency (2014): Global and European temperature. Kongens Nytorv 6, 1050 Copenhagen K, Denmark. Dostupné z WWW: <<http://www.eea.europa.eu>>
- Groisman, P. Y., Karl, T. R., Knight, R. W. (1994): Observed impact of snow cover on the heat balance and the rise of continental spring temperatures. *Science* 263, 198–200.
- Hansen, J., Ruedy, R., Sato, M., Lo, K. (2010): Global surface temperature change. *Reviews of Geophysics* 48, 1-29.
- Hartmann, D. L., Klein Tank, A. M. G., Rusticucci, M., Alexander, L. V., Brönnimann, S., Charabi, Y., Dentener, F. J., Dlugokencky, E. J., Easterling, D. R., Kaplan, A., Soden, B. J., Thorne, P. W., Wild, M., Zhai, P. M. (2013): Observations: Atmosphere and Surface. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 160-254.
- Haylock, M. R., Hofstra, N., Klein Tank, A. M. G., Klok, E. J., Jones, P. D., New, M. (2008): A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950-2006. *Journal of Geophysical Research* 113, D20119.
- Hiebl, J., Auer, I., Böhm, R., Schöner, W., Maugeri, M., Lentini, G., Spinoni, J., Brunetti, M., Nanni, T., Tadić, M. P., Bihari, Z., Dolinar, M., Müller-Westermeier, G. (2009): A high-resolution 1961-1990 monthly temperature climatology for the Greater Alpine region. *Meteorologische Zeitschrift* 18, 507-530.
- Hofstra, N., Haylock, M., New, M., Jones, P. D. (2009): Testing E-OBS European high-resolution gridded data set of daily precipitation and surface temperature. *Journal of Geophysical Research* 114, D21101.
- Hofstra, N., New, M., McSweeney, C. (2010). The influence of interpolation and station network density on the distributions and trends of climate variables in gridded daily data. *Climate Dynamics* 35, 841-858.
- Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., van der Linden, P. J., Xiaosu, D., (eds). (2001): *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press: UK.

- Jones, P. D., Osborn, T. J., Briffa, K. R., Folland, C. K., Horton, E. B., Alexander, L. V., Parker, D. E., Rayner, N. A. (2001): Adjusting for sampling density in grid box land and ocean surface temperature time series. *Journal of Geophysical Research* 106: 3371–3380.
- Jones, P. D., Lister, D. H., Osborn, T. J., Harpham, C., Salmon, M., Morice, C. P. (2012): Hemispheric and large-scale land-surface air temperature variations: An extension revision and update to 2010. *Journal of Geophysical Research* 117, D05127.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woolen, J., Zhu, Y., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K. C., Ropelewski, C., Wang, J., Leetma, A., Reynolds, R., Jenne, R., Joseph, D. (1996): The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society* 77, 437-471.
- Klein Tank, A. M. G, Wijngaard, J. B, Können, G. P., Böhm, R., Demarée, G., Gocheva, A., Mileta, M., Pashiardis, S., Hejkrlik, L., Kern-Hansen, C., Heino, R., Bessemoulin, P., Müller-Westermeier, G., Tzanakou, M., Szalai, S., Pálsdóttir, T., Fitzgerald, D., Rubin, S., Capaldo, M., Maugeri, M., Leitass, A., Bukantis, A., Aberfeld, R., van Engelen, A. F. V., Forland, E., Mielus, M., Coelho, F., Mares, C., Razuvaev, V., Nieplova, E., Cegnar, T., Antonio López, J., Dahlström, B., Moberg, A., Kirchhofer, W., Ceylan, A., Pachaliuk, O., Alexander, L. V., Petrovic, P. (2002): Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *International Journal of Climatology* 22, 1441–1453.
- Klein Tank, A. M. G., Können, G. P. (2003): Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946-99. *Journal of Climate* 16, 3665-3680.
- Klein Tank, A. M. G., Können, G. P., Selten, F. M. (2005): Signals of anthropogenic influence on European warming seen in the trend patterns of daily temperature variance. *International Journal of Climatology* 25, 1-16.
- Klok, E. J., Klein Tank, A. M. G. (2008): Short Communication, Updated and extended European dataset of daily climate observations. *International Journal of Climatology* 29, 1182-1191.
- Kistler, R., Kalnay, E., Collins, W., Saha, S., White, G., Woollen, J., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Kanamitsu, M., Kousky, V., van den Dool, H., Jenne, R., Fiorino, M. (2001): The NCEP-NCAR 50-Year Reanalysis: Monthly Means CD-ROM and Documentation. *Bulletin of the American Meteorological Society* 82, 247-267.
- Koster, R. D., Schubert, S. D., Suarez, M. J. (2009): Analyzing the concurrence of meteorological droughts and warm periods, with implications for the determination of evaporative régime. *Journal of Climate* 22, 3331-3341.
- Kostopoulou, E., Giannakopoulos, Ch., Hatzaki, M. (2009): Assessing the ability of the ENSEMBLES gridded observational and regional climate model data to represent extremes in the Eastern Mediterranean. (?)

- Kyselý, J. (2002): Temporal fluctuations in heat waves at Prague-Klementinum, The Czech Republic, from 1901 – 1997, and their relationship to atmospheric circulation. *International Journal of Climatology* 22, 33-50.
- Kyselý, J., Plavcová, E. (2010): A critical remark of the applicability of E-OBS European gridded temperature data set for validating control climate simulations. *Journal of Geophysical Research* 115, D23118.
- Liebmann, B., Dole, R. M., Jones, Ch., Bladé, I., Allured, D. (2010): Influence of choice of time period on global surface temperature trend estimates. *Bulletin of the American Meteorological Society* 91, 1485-1491.
- Moberg, A., Jones, P.D., Barriendos, M., Bergström, H., Camuffo, D., Cocheo, C., Davies, T.D., Demarée, G., Martin-Vide, J., Maugeri, M., Rodriguez, R., Verhoeve, T. (2000): Day-to-day temperature variability trends in 160- to 275-year-long European instrumental records. *Journal of Geophysical Research* 105: 22 849–22 868.
- Moberg, A., Jones, P. D. (2005): Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation in central and western Europe, 1901-99. *International Journal of Climatology* 25, 1149-1171.
- Moberg, A., Jones, P. D., Lister, D., Walther, A., Brunet, M., Jacobeit, J., Alexander, L. V., Della-Marta, P. M., Luterbacher, J., Yiou, P., Chen, D., Klein Tank, A. M. G, Saladié, O., Sigró, J., Aguilar, E., Alexandersson, H., Almarza, C., Auer, I., Barriendos, M., Begert, M., Bergström, H., Böhm, R., Butler, C. J., Caesar, J., Drebs, A., Founda, D., Gerstengarbe, F., Micela, G., Maugeri, M., Österle, H., Pandzic, K., Petrakis, M., Srnec, L., Tolasz, R., Tuomenvirta, H., Werner, P. C., Linderholm, H., Philipp, A., Wanner, H., Xoplaki, E. (2006): Indices for daily temperature and precipitation extremes in Europe analyzed for the period 1901-2000. *Journal of Geophysical Research* 111, D22106.
- Mooney, P. A., Mulligan, F. J., Fealy, R. (2011): Comparison of ERA-40, ERA-Interim and NCEP/NCAR reanalysis data with observed surface air temperatures over Ireland. *International Journal of Climatology* 31, 545-557.
- Osborn, T. J., Jones, P. D., (2014): The CRUTEM4 land surface air temperature data set: construction, previous versions and dissemination via Google Earth. *Earth Science System Data* 6, 61-68.
- Parker, D. E. (2011): Recent land surface air temperature trends assessed using the 20th Century Reanalysis. *Journal of Geophysical Research* 116, D20125.
- Peterson, T. C., Vose, R. S. (1997): An Overview of the Global Historical Climatology Network. *Bulletin of the American Meteorological Society* 78, 2837-2849.
- Peterson, T. C., Easterling, D. R., Karl, T. R., Groisman, P., Nicholls, N., Plummer, N., Torok, S., Auer, I., Boehm, R., Gulleti, D., Vincent, L, Heino, R., Tuomenvirta, H., Mestre, O., Szentimrey, T., Salinger, J., Forland, E. J., Hanssen-Bauer, I., Alexandersson, H., Jones, P. D., Parker, D. (1998): Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: A review. *International Journal of Climatology* 18, 1493-1517.

- Qu, X., Hall, A. (2006): Assessing Snow Albedo Feedback in Simulated Climate Change. *Journal of Climate* 19, 2617-2630.
- Rebetez, M., Reinhard, M. (2007): Monthly air temperature trends in Switzerland 1901-200 and 1975-2004. *Theoretical and Applied Climatology* 91, 27-34.
- Seneviratne, S. I., Corti, T., Davin, E. L., Hirschi, M., Jaeger, E. B., Lehner, I., Teuling, A. (2010): Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review. *Earth-Science Reviews* 99, 125-165.
- Scherrer, S. C., Appenzeller, Ch., Liniger, M. A. (2006): Temperature trends in Switzerland and Europe: Implications for climate normals. *International Journal of Climatology* 26: 565-580.
- Simmons, A. J., Jones, P. D., da Costa Bechtold, V., Beljaars, A. C. M., Kälberg, P. W., Saarinen, S., Uppala, S. M., Viterbo, P., Wedi, N. (2004): Comparison of trends and low-frequency variability in CRU, ERA-40 and NCEP/NCAR analyses of surface air temperature. *Journal of Geophysical Research* 109, D24115.
- Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, L.V. Alexander, S.K. Allen, N.L. Bindoff, F.-M. Bréon, J.A. Church, U. Cubasch, S. Emori, P. Forster, P. Friedlingstein, N. Gillett, J.M. Gregory, D.L. Hartmann, E. Jansen, B. Kirtman, R. Knutti, K. Krishna Kumar, P. Lemke, J. Marotzke, V. Masson-Delmotte, G.A. Meehl, I.I. Mokhov, S. Piao, V. Ramaswamy, D. Randall, M. Rhein, M. Rojas, C. Sabine, D. Shindell, L.D. Talley, D.G. Vaughan, and S.-P. Xie, (2013): Technical summary. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 33-115.
- Tavolato, C., Isaksen, L. (2011): Data usage and quality control for ERA-40, ERA-Interim and the operational ECMWF data assimilation system. ECMWF Publications, ERA report series 7.
- Thorne, P. W., Vose, R. S. (2010): Reanalysis suitable for characterising long-term trends. Are they really achievable? *Bulletin of American Meteorological Society* 91, 353-361.
- Tietäväinen, H., Tuomenvirta, H., Venäläinen, A. (2010): Annual and seasonal mean temperatures in Finland during the last 160 years based on gridded temperature data. *International Journal of Climatology* 30, 2247-2256.
- Türkes, M., Sümer, U. M., Demir, I. (2002): Re-evaluation of trends and changes in mean, maximum and minimum temperatures of Turkey for the period 1929-1999. *International Journal of Climatology* 22, 947-977.
- Uppala, S. M., Kallberg, P. W., Simmons, A. J., Andrae, U., da Costa Bechtold, V., Fiorino, M., Gibson, J. K., Haseler, J., Hernandez, A., Kelly, G. A., Li, X. Onogi, K., Saarinen, S., Sokka, N., Allan, R. P., Andersson, E., Arpe, K., Balmaseda, M. A, Beljaars, A. C. M., van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Caires, S., Chevallier, F., Dethof, A., Dragosavac, M., Fisher, M., Fuentes, M., Hagemann, S., Hólm, E., Hoskins, B. J., Isaksen, L., Janssen, P. A. E. M., Jenne, R., McNally, A. P., Mahfouf, J., Morcrette, J., Rayner, N. A., Saunders, R. W., Simon, P., Sterl, A.,

Trebneth, K. E., Untch, A., Vasiljevic, D., Vitterbo, P., Woolen, J. (2005). The Era-40 re-analysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 131, 2961-3012.

- Van der Schrier, G., van Ulden, A., van Oldenborgh, G. J. (2011): The construction of a Central Netherlands temperature. *Climate of the Past* 7, 527-542.
- Van der Schrier, G., van den Besselaar, E. J. M, Klein Tank, A. M. G, Verver, G. (2013): Monitoring European average temperature based on E-OBS gridded data set. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 118, 5120-5135.
- Van Engelen, A., Klein Tank, A., van der Schrier, G., Klok, L. (2008): European Climate Assessment & dataset. Report 2008. European Climate Support Network, De Billt, The Netherlands.
- Van Oldenborgh, G. J., Drijfhout, S., van Ulden, A., Haarsma, R., Sterl, A., Severins, C., Hazeleger, W., Dijkstra, H. (2009): Western Europe is warming much faster than expected. *Climate of the Past* 5, 1-12.
- Wang, J., Yan, Z., Jones, P. D., Xia, J. (2013): On „observation minus reanalysis“ method: A view from multidecadal variability. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 118, 7450-7458.
- Winjgaard, J. B., Klein Tank, A. M. G., Können, G. P. (2003): Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. *International Journal of Climatology* 23, 679-692.