

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Fyzická geografie a geoekologie



Bc. Kryštof MARYŠKO

**ZRYCHLUJE NEBO ZPOMULUJE SE ZMĚNA KLIMATU
VE STŘEDNÍ EVROPĚ?**

**HAS THE CLIMATE CHANGE IN CENTRAL EUROPE BEEN
ACCELERATING OR DECELERATING?**

Diplomová práce

Vedoucí závěrečné práce/Školitel: RNDr. Radan Huth DrSc.

Praha, 2015

Zadání diplomové práce

Název práce

Zrychluje nebo zpomaluje se změna klimatu ve střední Evropě?

Cíle práce

1. Seznámit se s projevy regionální změny klimatu ve střední Evropě a s relevantní odbornou literaturou.
2. Zpracovat rešerši literatury na toto téma.
3. Vlastním cílem práce je zjistit, zda se projevy změny klimatu ve střední Evropě v uplynulých 50 letech urychlují či nikoliv. Práce se soustředí na změny teploty, ale analyzovány budou i další klimatické prvky. Výsledky budou zasazeny do kontextu pozorovaných změn klimatu v Evropě a na celém světě.

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje

Základní pracovní metoda: výpočet klouzavých trendů, tj. trendů stanovených pro překrývající se kratší (15 až 25-letá) období.

Zájmové území: střední Evropa

Datové zdroje: databáze staničních údajů ECA&D, případně i databáze klimatických dat v uzlových bodech (E-OBS)

Klimatické prvky: teplota, srážky, případně i další klimatické prvky, jež jsou v databázi ECA&D zahrnuty na dostatečném množství stanic

Základní literatura:

Brázdil R. et al., 2009: Climate fluctuations in the Czech Republic during the period 1961-2005. *Int. J. Climatol.*, 29, 223-242

Klein Tank, A.M.G. et al., 2002: Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *Int. J. Climatol.*, 22, 1441-1453

Solomon S. et al., Eds., 2007: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press

van Oldenborgh G.J. et al., 2009: Western Europe is warming much faster than expected. *Clim. Past* 5, 1-12.

Datum zadání: 20.10.2011

Jméno studenta: Bc. Kryštof Maryško

Podpis studenta:

Jméno vedoucího práce: RNDr. Radan Huth, DrSc.

Podpis vedoucího práce:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou 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, 20. dubna 2015

.....

Kryštof Maryško

Poděkování

Rád bych poděkoval mému školiteli RNDr. Radanu Huthovi DrSc. za věnovaný čas, trpělivost, poskytnutí informací a odborné vedení diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Mgr. Tomáši Pošepnému za konzultace a školení ohledně zpracování dat v databázi.

Abstrakt

Tato práce se zabývá podrobnou analýzou rychlosti klimatické změny na celém evropském kontinentu s důrazem na střední Evropu v období 1951–2005. Hlavním cílem bylo zjistit, zda v tomto období dochází ke zrychlování nebo zpomalování změny klimatu a kdy k těmto změnám rychlosti docházelo. Popisovány jsou změny tří klimatických prvků, minimální teploty, maximální teploty a srážkových úhrnů, a to pro klimatická roční období. Dostupné jsou i další klimatické prvky, ale pro takto podrobnou analýzu trendů za celou 2. polovinu 20. století není dostatečné množství dat. První část této práce shrnuje dosavadní poznatky o změnách rychlosti klimatické změny, kterých ale dosud není mnoho. Většina odborných článků se zabývá pouze tím, zda došlo za určité období k oteplování či ochlazení, resp. nárůstu či úbytku srážek, nicméně přesněji nezkoumá, kdy k těmto nárůstům či poklesům daného klimatického prvku došlo. Pro mou analýzu, která by měla nabídnout podrobnější vhled do změn evropského klimatu, jsou využity denní záznamy z databáze European Climate Assessment and Dataset (ECA&D) pro 122 stanic co nejrovnoměrněji rozmístěných po celé Evropě. Pro zkoumání proměnlivosti trendů (tj. rychlosti změn klimatu) jsem klouzavé 20leté trendy (testovány byly i 15 a 25leté trendy) s posouváním o jeden rok. Výsledky jsou prezentovány formou obsáhlých tabulek a grafů časového vývoje klouzavých trendů vynesných do map. Ve střední Evropě ani v jiných částech Evropy nebylo zjištěno, že by během 2. poloviny 20. století docházelo ke kontinuálnímu nárůstu či poklesu minimálních a maximálních teplot. V každém ročním období existují v Evropě oblasti, kde v některých dvacetiletých obdobích došlo k poklesu teplot. Kromě podzimu převažují spíše kladné trendy, které jsou ale přerušovány obdobími s poklesem teplot. Trendy úhrnů srážek jsou velmi proměnlivé jak v čase, tak i prostorově, a proto popsání nějakého obecného vývoje není dost dobře možné.

Klíčová slova: změna klimatu, trendy, klimatické prvky, střední Evropa

Abstract

The thesis deals with detailed analysis of the climate change rate throughout the European continent with an emphasis on Central Europe in the period 1951–2005. The main aim was to find out whether the rate of climate change is getting lower or higher during the monitored period and identify when the changes in the rate occurred. Changes of three climatic elements – minimum air temperature, maximum air temperature, and precipitation, were described for climatic seasons of the year. Other climatic elements were also available, however, amount of data is insufficient for such a detailed trend analysis for the entire second half of the 20th century. First part of the thesis summarizes current knowledge of changes in climate change rate, which is so far rather scarce. Most scientific articles are limited to detecting warming or cooling, decrease or increase in precipitation during a certain period. They, however, do not research when these changes of climatic elements occurred. For my analysis, which tries to offer a detailed insight into changes in European climate, daily records from European Climate Assessment and Dataset (ECA&D) database of 122 stations (spaced as evenly as possible) were used. For examining variability trends (i.e. the rate of climate change) I tested moving 20-year trend (15- and 25-year trends were tested as well) with one-year shifting. The results are presented in form of comprehensive tables and graphs of sliding trends temporal evolution plotted to maps. Neither Central Europe nor other parts of Europe showed continual decline or rise of minimum and maximum air temperature during the second half of the 20th century. In each season there are parts of Europe, where temperature decline was recorded in some of the 20-year periods. Except for autumn, positive trends prevail; however, they are interrupted by periods with temperature decline. Trends in precipitation amounts are very variable both temporally and spatially, which makes the description of general development rather impossible.

Keywords: climate change, trends, climate elements, Central Europe

Obsah:

Seznam obrázků	8
Seznam tabulek	9
1. Úvod	10
2. Trendy teplotních ukazatelů.....	12
3. Trendy srážkových ukazatelů.....	19
4. Data	24
4.1. Výběr a popis dat	24
4.2. Kontrola kvality dat	30
5. Metody zpracování	33
6. Výsledky: vývoj trendů v Evropě za období 1951–2005	36
6.1. Teplota	37
6.2. Srážky	40
7. Diskuze výsledků.....	43
8. Závěr	46
9. Literatura a internetové zdroje	48
10. Seznam příloh	52

Seznam obrázků

Obr. 1, Trendy globální průměrné povrchové teploty ve °C/rok zobrazené jako závislost délky období a posledního roku pro vypočtený trendů (a) respektive středu období pro vypočtený trend (b).....	12
Obr. 2, Trendy průměrných ročních teplot za období 1946–75 a 1976–99.....	14
Obr. 3, Sezónní a roční teplotní trendy ve Švýcarsku za období 1959–2008 (°C/10 let).	16
Obr. 4, Odchylky průměrné roční teploty na stanici Jungfrauoch za období 1937–2005.	17
Obr. 5, Odchylky průměrné roční teploty v Polsku v období 1951–2000.....	18
Obr. 6, Trendy zimních (říjen–březen) úhrnů srážek (a), počet deštivých dnů ≥ 1 mm (b) a průměrné množství srážek za deštivý den (c) za období 1946–1999.....	20
Obr. 7, Prostorové rozložení 60letých trendů četnosti srážkových dnů v Evropě v létě (vlevo) a v zimě (vpravo).....	21
Obr. 8, Průměrné roční úhrny srážek v České republice za období 1961–2005.....	23
Obr. 9, Spolupracující státy přispívající denními klimatickými řadami do projektu ECA.	26
Obr. 10, Počet stanic databáze ECA&D od začátku 20. století pro srážky (a), maximální teplotu (b) a minimální teplotu (c).....	27
Obr. 11, Graf četnosti vybraných stanic v intervalech nadmořských výšek.....	28
Obr. 12, Podmínky nastavené při kontrole kvality dat v projektu ECA&D pro maximální teplotu, minimální teplotu a srážkové úhrny.....	31

Seznam tabulek

Tabulka 1, Nejnižší a nejvyšší 20leté sezónní trendy minimální teploty ($^{\circ}\text{C}/10$ let) za období 1951–2005.	38
Tabulka 2, Nejnižší a nejvyšší 20leté sezónní trendy maximální teploty ($^{\circ}\text{C}/10$ let) za období 1951–2005.	39
Tabulka 3, Nejnižší a nejvyšší 20leté sezónní trendy srážkových úhrnů (mm/10 let) za období 1951–2005.	40

1. Úvod

Na téma teplotních trendů minulého století již byla napsána celá řada studií, z nichž některé shrnuje má bakalářská práce (Maryško, 2011). O tom, že se průměrná roční teplota ve 20. století zvýšila, a to jak v Evropě, tak i celosvětově, nemůže být pochyb. V průběhu psaní mé bakalářské práce jsem ale narazil na mnoho studií, ve kterých byly zjištěny velké rozdíly mezi jednotlivými sezónami. Zejména na sezónní průměry se proto zaměřím i nyní. Nezůstávám ale pouze u teploty, která je pro zkoumání změny klimatu nejvýznamnějším faktorem, ale popisuji zde i srážkové trendy.

U studií zaměřených na změnu klimatu je důležité používat pokud možno velké množství dlouhých, kompletních a kvalitních klimatických řad. Pielke et al. (2002) upozorňuje, že se často objevují studie, které se zaměřují pouze na jednu nebo několik málo stanic, jejichž výsledky nemusí reprezentovat širší regionální klima, i když je tak někdy jejich autoři nebo případně čtenáři interpretují.

I když jde v této práci především o střední Evropu, rozhodl jsem se analýzu teplotních i srážkových trendů rozšířit a zahrnul jsem do výpočtů Evropu celou. Je totiž vhodné mít povědomí o vývoji klimatu i v ostatních částech Evropy a mít možnost porovnat případné odlišnosti. Pro analýzu teplotních a srážkových trendů jsem zvolil období 1951–2005, protože až po roce 1950 je k dispozici dostatek teplotních a srážkových řad pro analýzu klimatických trendů v takovémto rozsahu. Při prodloužení zájmového období do minulosti by totiž kvůli nedostatečně dlouhým teplotním a srážkovým řadám v některých oblastech Evropy došlo ke ztrátě rovnoměrného rozložení stanic, jakého bylo dosaženo nyní.

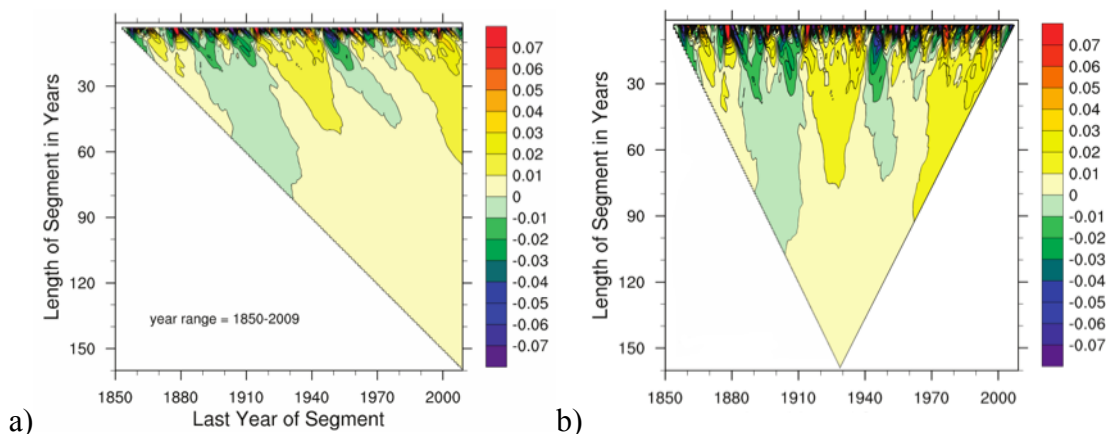
Mnoho studií je zaměřeno na jeden či několik málo států a porovnání v širším měřítku je proto ztížené. Pro jednotlivé studie jsou totiž často využívány různé zdroje dat a metody zpracování. Tato diplomová práce je z tohoto hlediska velice komplexní, protože v ní bylo zpracováno velké množství podrobných staničních dat (denní hodnoty 3 klimatických prvků) rovnoměrně rozmístěných po celé Evropě.

Hlavním cílem mé diplomové práce je zjistit, zda se rychlost změny klimatu v období 1951–2005 měnila a kdy se tyto změny tempa růstu odehrávaly. Použití několika desítek klouzavých trendů pro období padesáti let jako v případě této práce je poměrně ojedinělé. Ve studiích o změně klimatu se totiž většinou používá jeden trend pro celé období 2. poloviny 20. století, případně se porovnávají dva trendy o poloviční délce. Ani

jeden z těchto běžných přístupů není pro popis zrychlování nebo zpomalování změny klimatu dostatečný. Z jednoho trendu za celé padesáti nebo i víceleté období se sice dozvíme, zda došlo k nárůstu nebo poklesu dané veličiny a také jaká byla průměrná velikost tohoto růstu či poklesu, ale nezjistíme tím výkyvy během celého období. Lze proto očekávat, že využitím kratších klouzavých 20letých trendů získáme o vývoji klimatu lepší přehled.

2. Trendy teplotních ukazatelů

Na téma změn klimatu ve 2. pol. 20. století ve střední Evropě nebo případně celé Evropě již bylo napsáno velké množství studií. Často se ale zaměřují na toto období jako celek, případně jej rozdělují na dvě části (např. Klein Tank et al., 2002a). Při analýze trendů činíme podle Liebmann et al. (2010) na počátku zásadní rozhodnutí v tom smyslu, že volíme období, pro které budeme trendy počítat. Trendy jsou totiž náchylné na okrajové hodnoty, zejména pokud počítáme trend pro relativně krátké období. Liebmann et al. (2010) ve své studii popisovali vliv zvoleného počátku a konce období na výsledné hodnoty trendů a snažili se zhodnotit, pro jaké časové měřítko je trend globální průměrné teploty robustní. Zvoleným přístupem k výpočtu různých délek trendů se zjistí nejen hodnota jednoho trendu za celé pozorované období, ale dají se také velmi dobře zjistit kratší období s rozdílnými trendy. Ukázka jednoho z výstupů těchto výpočtů trendů pro různě dlouhá období je na obrázku 1a. Zatímco u trendů pro období o délce několika let či několika málo dekád můžeme vidět jak oteplování, tak ochlazování, pro delší časové úseky jsou již trendy ve většině případů pouze kladné.



Obr. 1, Trendy globální průměrné povrchové teploty ve °C/rok zobrazené jako závislost délky období a posledního roku pro vypočtený trendů (a) respektive středu období pro vypočtený trend (b).

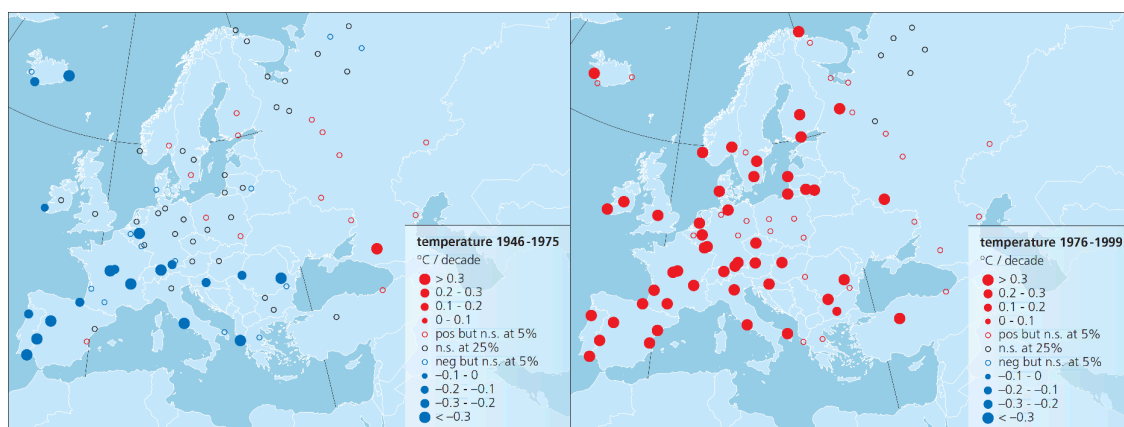
Graf na obrázku 1b byl autorem diplomové práce upraven. Znáznorněny jsou trendy pro všechna období delší než 2 roky. (Liebmann et al., 2010)

Prezentování trendů touto formou mi přijde velmi zajímavé a názorné, nepřijde mi ale vhodné trendy v grafech zobrazovat podle koncového roku období trendu (obrázek

1a), ale volil bych raději střed období, pro které je trend spočítaný. Vyzkoušel jsem proto upravit předešlý graf od Liebmann et al. (2010) a změnit zobrazení výsledných hodnot trendů ke středu období (obrázek 1b). Touto změnou zobrazení můžeme lépe porovnávat kratší a delší období pro výpočet trendů mezi sebou, což je na obrázku 1a poměrně obtížné.

Na obrázku 2 můžeme vidět porovnání trendů ve dvou obdobích 2. poloviny 20. století. V první polovině tohoto období docházelo zejména v jižní a západní Evropě k ochlazování a na zbytku území Evropy většinou nebyly nalezeny významné trendy. Ve střední a severní Evropě byly zaznamenány zejména trendy statisticky nevýznamné, a to v mnoha případech ani na 25% hladině významnosti. Chtěl bych hned na začátku práce upozornit, že pokud se zde píše o statistické významnosti, je tím vždy míněna statistická významnost na 5% hladině (pokud není uvedeno jinak). V období 1976–1999 dochází k výrazné změně trendů oproti předešlému období. Většina trendů přesahuje $+0,3$ °C za 10 let a v Evropě se v tomto období nevyskytuje žádný statisticky významný klesající trend. Oteplování ke konci 20. století bylo větší než ochlazování v letech 1946–1975, z čehož vyplývá, že výsledné trendy průměrné teploty pro 2. polovinu 20. století jsou většinou kladné. Ve střední Evropě a ve Skandinávii se většina trendů oproti prvnímu období mění na kladné a statisticky významné. Ke zvyšování průměrné teploty dochází kvůli nárůstu minimální i maximální teploty, přičemž růst minimální teploty byl vyšší (Klein Tank et al., 2002a).

Průměrná teplota ve státech střední Evropy a Bulharska za období 1951–1990 stoupla podle Brázdila et al. (1996) o hodnotu $0,40$ °C. Na zvýšení průměrné teploty měl větší podíl růst minimální teploty, která v tomto období stoupla o $0,60$ °C, nežli maximální teploty, jejíž nárůst byl pomalejší (o $0,52$ °C). Pro všechna roční období byly trendy minimální i maximální teploty kladné. Nejvyšší, ale přesto statisticky nevýznamné trendy nastaly u obou měřených teplotních veličin v zimním období ($0,29$ °C/10 let pro minimální a $0,32$ °C/10 let pro maximální teplotu). Nejnižší trendy byly v obou případech s hodnotou $0,02$ °C/10 let, přičemž pro minimální teplotu tento trend nastal v létě a pro maximální teplotu na podzim.



Obr. 2, Trendy průměrných ročních teplot za období 1946–75 a 1976–99.

Velikost teček odpovídá velikosti trendů za 10 let a barevné označení je červené pro oteplení a modré pro ochlazení. Malé modré a červené tečky bez výplně značí trendy bez statistické významnosti na úrovni 5 % a černé tečky na úrovni 25 %. (Klein Tank et al., 2002a)

Musíme brát v úvahu, že Brázdil et al. (1996) již nebrali a vzhledem k datu práci ani nemohli brát v úvahu poslední dekádu 20. století, která se později ukázala jako nejteplejší. To potvrzují například Scherrer et al. (2005), kteří uvádějí, že za období 1851–2004 bylo ve střední Evropě naměřeno 8 z 10 nejteplejších let mezi roky 1989 a 2003. Růst teploty v zimním období je často spojováno se zvýšením indexu NAO, který vede ke zvýšené intenzitě západního proudění na naše území. Korelační koeficienty pro průměrnou teplotu a NAO vyšel ve studii Brázdil et al. (2005) nejvyšší právě pro zimu (0,65). Cahynová (2005) zjistila významnou pozitivní závislost teploty vzduchu na typu atmosférické cirkulace ve střední Evropě zejména od prosince do března, kdy korelační koeficienty převyšují hodnotu 0,80. Brázdil et al. (2009) ve své pozdější studii o klimatu České republiky v období 1961–2005 píše, že doba výrazně vyšších teplot započala zejména koncem 80. let a byla přerušena pouze velmi chladným rokem 1996, který se přiblížil nejnižším hodnotám za celé zkoumané období 1961–2005. V této práci také uvádějí hodnotu trendu $0,27\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ let}$ se statistickou významností na 5 % hladině, kdežto Brázdil et al. (1995) pro kratší období (1961–1992) zjistili pro Českou republiku nižší trend $0,24\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ let}$ se statistickou významností na hladině 10 %.

V Maďarsku během 20. století stoupla průměrná teplota, ale bez prokázání statistické významnosti (Domonkos a Tar, 2003). Při porovnání dlouhodobých výkyvů průměrné teploty v Maďarsku a Bulharsku (Alexandrov, 2000) byla zjištěna velká podobnost, což by mohlo naznačovat, že bychom mohli Maďarsko z pohledu teploty řadit

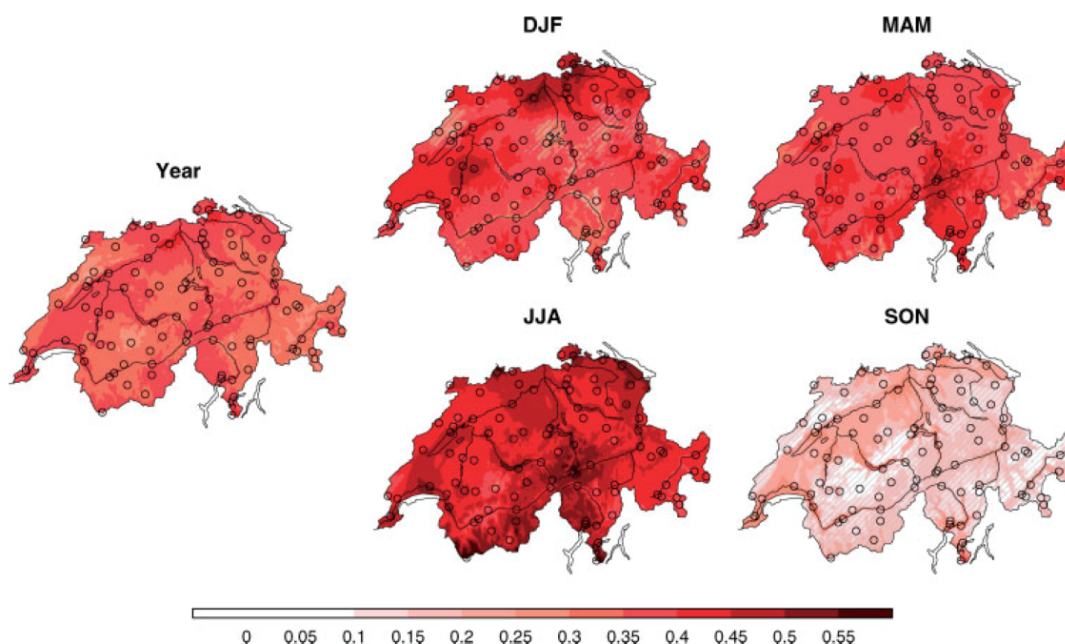
spíše do jihovýchodní Evropy než do Evropy střední. Zajímavé je, že se v Maďarsku během 2. poloviny 20. století na začátku zimy (listopad až prosinec) ochlazovalo a v měsících leden až březen se podstatně oteplevalo, takže doba zimního minima přichází v průměru dříve, než tomu bylo dříve.

Ceppi et al. (2012) porovnávali roční a sezónní teplotní trendy ve Švýcarsku za období 1959–2008 a to jak prostorově, tak i výškově. Dále se snažili kvantifikovat příspěvek atmosférické cirkulace na vypočtené teploty. Švýcarsko je vhodné pro porovnávání trendů klimatických veličin v různých nadmořských výškách. Jsou zde totiž na poměrně malém území velké výškové rozdíly, ale hlavně velká hustota klimatických stanic s dostatečně dlouhými řadami. Dalším z důvodů, proč se tímto regionem zabývá tolik studií, je, že horské oblasti pravděpodobně budou spolu s přímořskými oblastmi a oblastmi vyšších zeměpisných šířek ovlivněny klimatickou změnou nejvíce (IPCC, 2007).

Jak můžeme vidět na obrázku 3, roční trendy nejsou prostorově příliš proměnlivé a teplota na celém území Švýcarska stoupá poměrně rovnoměrně. Všechny roční trendy průměrné teploty byly kladné a většina byla statisticky významných. Jejich průměrná hodnota dosahuje $0,35\text{ °C}/10\text{ let}$. Není zde znatelný ani rozdíl mezi severní a jižní částí, i když jsou výškově velmi odlišné a mají jiný režim podnebí. Appenzeller et al. (2008) zjistili velké mezisezónní rozdíly na území Švýcarska. Podzimní trendy se výrazně liší od trendů v dalších ročních obdobích. Ve všech ročních obdobích byly sice trendy kladné, ale podzimní trendy byly výrazně nižší a statisticky významné pouze na níže položených stanicích. Toto potvrzuje i Ceppi et al. (2012) a na obrázku 3 můžeme odlišnosti mezi sezónami jasně vidět. Podzimní trendy jsou výrazně menší než v jiných sezónách a v průměru dosahují $0,17\text{ °C}/10\text{ let}$. V ostatních sezónách jsou trendy většinou statisticky významné na 5% hladině významnosti. I v zimní sezóně se objevují menší oblasti se statisticky nevýznamnými trendy, což je přičítáno velké meziroční variabilitě teploty v tomto období. Nejvyšších hodnot dosahují trendy v létě, a to $0,46\text{ °C}/10\text{ let}$.

Velkou odlišnost podzimu od ostatních sezón ve 2. polovině 20. století najdeme v mnoha studiích zabývajících se střední Evropou. Tímto tématem se zabývala i moje bakalářská práce (Maryško, 2011), ve které jsem došel k závěru, že teplotní trendy ve střední Evropě jsou na podzim většinou záporné (např. Franke et al., 2004 pro průměrnou teplotu; Brázdil et al., 2009 a Wibig a Glowiczki, 2002 pro maximální teplotu) a pokud jsou kladné, pak jsou statisticky nevýznamné (např. Brázdil et al., 1996 pro průměrnou,

minimální i maximální teplotu). V ostatních sezónách jsou teplotní trendy v naprosté většině kladné a často statisticky významné.

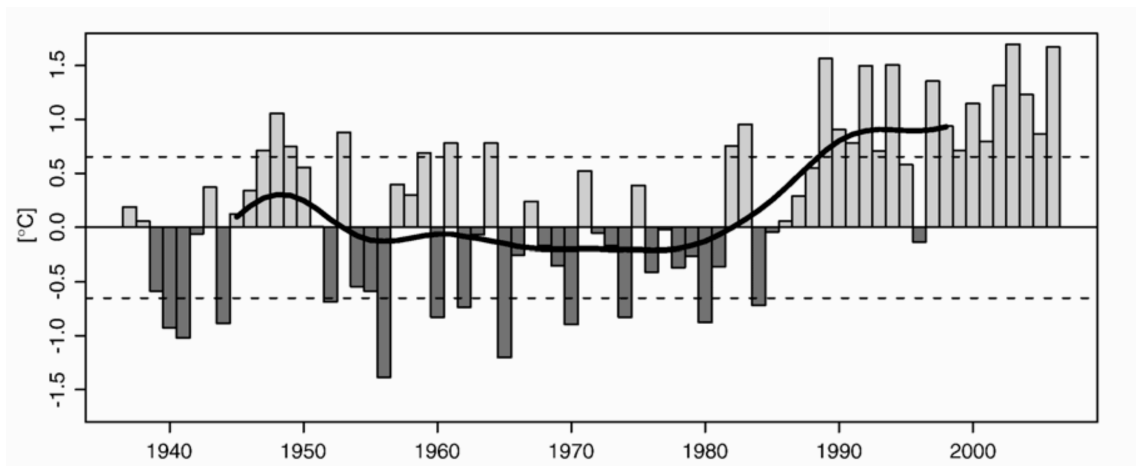


Obr. 3, Sezónní a roční teplotní trendy ve Švýcarsku za období 1959–2008 (°C/10 let). Šrafované oblasti reprezentují statisticky nevýznamné trendy na hladině 5 %. Černá prázdná kolečka označují stanice použité pro vytvoření gridu. (Ceppi et al., 2012)

Ceppi et al. (2012) také porovnávali oblasti v nízkých (do 800 m n. m.), středních (800 - 1500 m n. m.) a vyšších (nad 1500 m n. m.) nadmořských výškách. Z porovnání zjistili, že na podzim a na začátku zimy jsou trendy průměrné teploty silnější v nižších polohách pod 800 m n. m. Na podzim byl zároveň prokázán snížený výskyt mlhy, která zabraňuje průniku slunečních paprsků do nižších poloh, čímž dochází k jejich ochlazení. Snížení výskytu mlh by proto mohlo silnější trendy v nižších polohách alespoň částečně vysvětlit (Vautard et al., 2009). Vyšší a statisticky významné podzimní trendy pouze v oblastech s nižší nadmořskou výškou jsou zřejmé i z obrázku 3. Na jaře jsou trendy výraznější v polohách, kde je rozhraní mezi územím se souvislou sněhovou pokrývkou a územím bez souvislé sněhové pokrývky. V těchto polohách hraje roli zejména výrazná změna albeda.

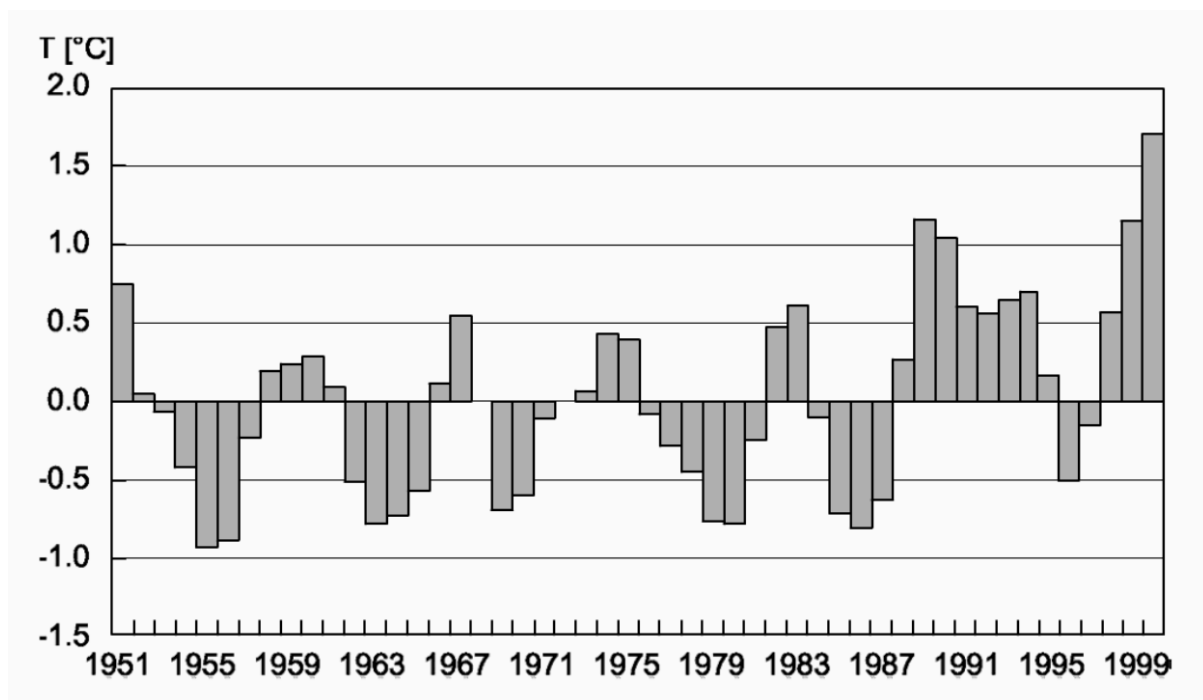
Ceppi et al. (2012) zjišťovali také vliv atmosférické cirkulace na teplotní trendy a zjistili, že tento příspěvek atmosférické cirkulace se mezi jednotlivými sezónami velmi liší. Vzhledem k tomu, že příspěvek atmosférické cirkulace je podle Ceppi et al. (2012) v

zimě největší (53 %) a na podzim nejmenší (pouze 12 %), po odstranění vlivu cirkulace by byly trendy v těchto dvou sezónách velmi podobné (0,19 °C/10 let v zimě a 0,15 °C/10 let na podzim).



Obr. 4, Odchylky průměrné roční teploty na stanici Jungfraujoch za období 1937–2005. Černá křivka značí shlazení 20letým Gaussovým filtrem a přerušované čáry značí směrodatnou odchylku. Odchylky jsou vztaženy k normálu 1961–1990. (Appenzeller et al., 2008)

Appenzeller et al. (2008) se ve své studii zabývali zejména nejvýše položenou stanicí v Evropě (Jungfraujoch, 3580 m n. m.) s trvalou přítomností meteorologů. Na obrázku 4 můžeme vidět teplou periodu ve 40. letech 20. století a potom výraznou změnu k teplejším rokům ve druhé polovině 80. let. K tomuto zvýšení průměrné roční teploty došlo v poměrně krátkém časovém intervalu a od té doby se růst teplot zpomalil a spíše se drží na podobných hodnotách.



Obr. 5, Odchylky průměrné roční teploty v Polsku v období 1951–2000.

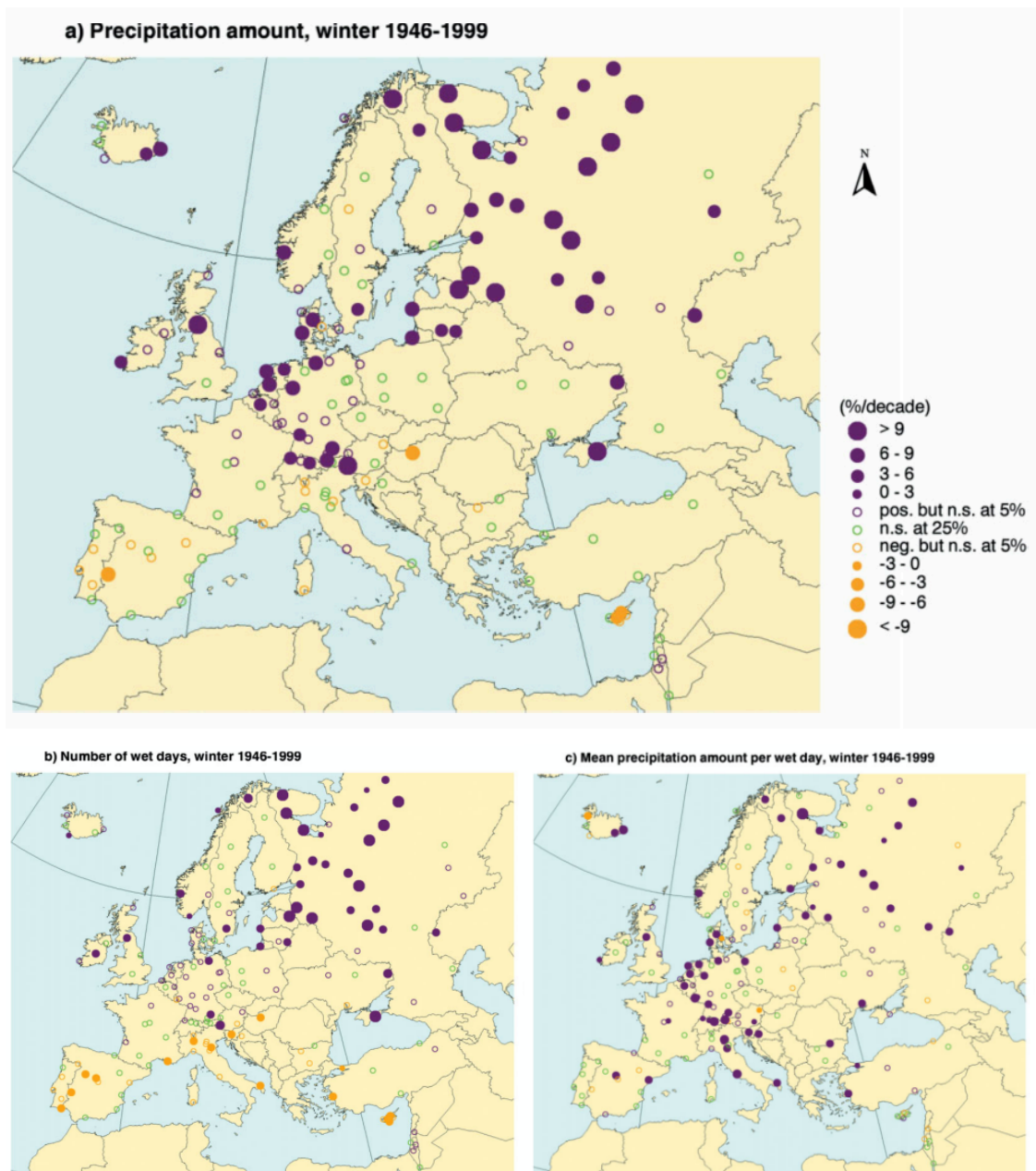
Hodnoty jsou vyhlazeny třibodovým binomickým filtrem. (Kozuchowski a Zmudzka, 2001 in Degirmendžić et al., 2004)

Na obrázku 5 jsou vyneseny průměrné roční teploty v Polsku za období 1951–2000, kde je zřejmé zvýšení tempa růstu tohoto prvku v druhé polovině tohoto období. Od roku 1988 je dlouhé období nadprůměrných hodnot přerušeno pouze dvěma roky 1996 a 1997. Za posledních 25 let 20. století dosáhl trend hodnoty $0,6 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ let}$ a statistické významnosti na 5% hladině. V Polsku se také ke konci minulého století zvýšil počet extrémních klimatických událostí, jako jsou velmi teplá a suchá období (např. v roce 1994) nebo naopak přívalové deště (např. v červnu 1997). Jelikož se tyto události neustále opakují, charakterizují již současné klima Polska (Degirmendžić et al., 2004).

3. Trendy srážkových ukazatelů

Protože jsou srážky více prostorově proměnlivé než teplota vzduchu, schopnost stanic reprezentovat širší region je tím velmi omezená. Kromě toho srážky velmi ovlivňuje také nadmořská výška a orografie, neboli umístění stanice na návětrné nebo závětrné straně. Zjištění možnosti stanic reprezentovat širší region můžeme provést výpočtem korelačních koeficientů mezi stanicemi, což například pro 23 klimatologických stanic v České republice provedl Brázdil et al., (2009). Schopností stanic reprezentovat určitý region se také zabýval Huth (2006), který použil analýzu hlavních komponent.

Když Klein Tank et al. (2002b) uváděli jako jeden z prvních příkladů využití evropské databáze denních klimatických hodnot porovnání trendů tří různých srážkových charakteristik v chladné polovině roku (říjen-březen) v období 1946–99 (Obr. 6), zjistili, že trendy celkových úhrnů srážek u většiny stanic nemohou být přisuzované pouze zvýšení počtu dnů se srážkami, protože hodnoty, o které se změnil celkové úhrny, se příliš neshodují se změnou počtu deštivých dnů. Za změnou celkových srážkových úhrnů v tomto období totiž stojí také průměrné úhrny srážek za deštivý den, neboli průměrná intenzita srážek, která v Evropě také převážně rostla.

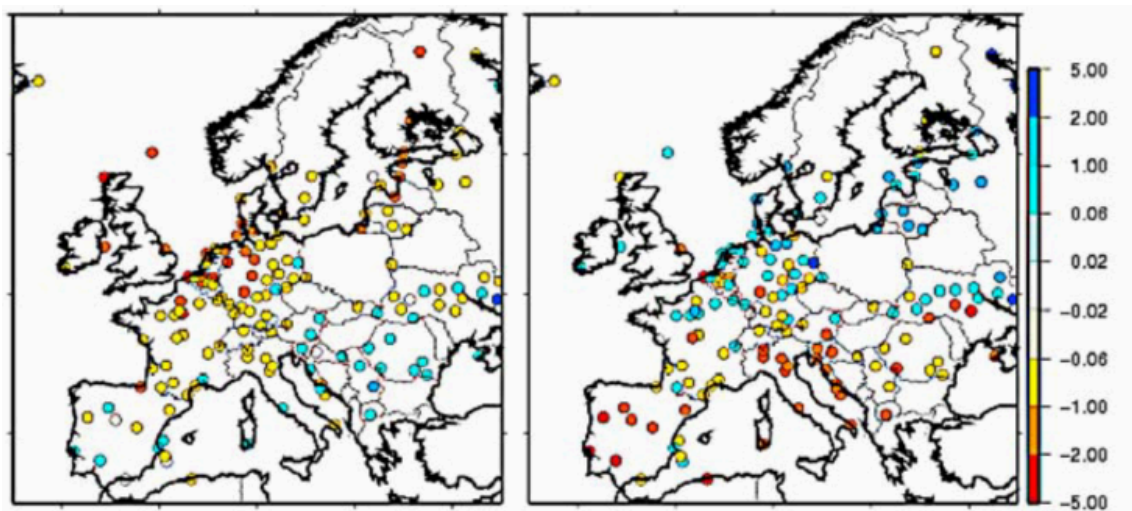


Obr. 6, Trendy zimních (říjen–březen) úhrnů srážek (a), počet deštivých dnů $\geq 1\text{mm}$ (b) a průměrné množství srážek za deštivý den (c) za období 1946–1999.

Úhrny srážek a počet deštivých dnů jsou počítány jako procentuální odchylky od normálu 1961–1990. Velikost teček odpovídá velikosti trendů. Modré tečky značí zvyšování úhrnů srážek (%/10 let), oranžové tečky snižování úhrnu srážek (%/10 let). Malé tečky bez výplně značí trendy bez statistické významnosti na úrovni 5 % (respektive 25 %). (Klein Tank et al., 2002b)

Vautard a Yiou (2009), kteří zkoumali souvislost změn klimatu z pozemních pozorování (z databáze ECA&D) se změnami atmosférického proudění v Evropě pro léto

a zimu za období 1948–2007, zjistili, že v tomto období byla atmosférická cirkulace hlavním faktorem ovlivňujícím trendy úhrnů srážek pozorované na pozemních stanicích v zimě (konkrétně pro měsíce leden, únor, březen), ale nebylo tomu tak v létě (červenec, srpen, září). V tomto ročním období se sice zvyšoval počet anticyklonálních situací a došlo ke snížení počtu srážkových dnů, ale nevedlo to ke snížení celkových srážkových úhrnů. To znamená, že v létě během deštivých dnů dnes v průměru spadne více srážek, než tomu bylo před několika desetiletími, což pravděpodobně naznačuje změnu ke konvektivním srážkám. V rámci trendů četnosti srážkových dnů byly zjištěny velké rozdíly mezi severní a jižní Evropou. V létě dochází v Evropě spíše k poklesu četnosti srážkových dnů s výjimkou Středomoří, kde je trend spíše opačný. Pro měsíce leden, únor a březen se situace mění a v severní polovině Evropy srážkových dnů na většině stanic přibývá, kdežto v jižní Evropě můžeme pozorovat zjevný pokles těchto dnů (Obr. 7). Určité rozdíly z pohledu trendů četnosti srážkových dnů můžeme pozorovat i mezi severní a jižní částí střední Evropy.



Obr. 7, Prostorové rozložení 60letých trendů četnosti srážkových dnů v Evropě v létě (vlevo) a v zimě (vpravo).

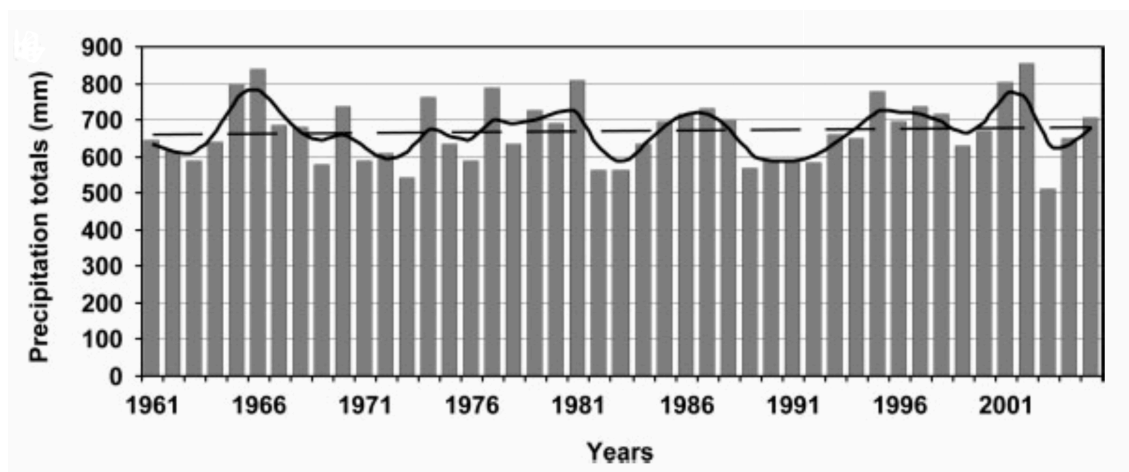
Trendy jsou uváděny v %/10 let. Pozitivní trendy jsou modré a negativní červené. (Vautard a Yiou, 2009)

V jihovýchodní části střední Evropy se během 20. století začala objevovat sucha častěji, než tomu bylo v minulosti. Stejně jako v celé Evropě, tak i v této oblasti došlo ke zvýšení průměrné teploty, které ale zde nebylo statisticky významné. Hlavní příčinou zvýšeného výskytu sucha byl pokles srážkových úhrnů. Ve studii Domonkos a Tar (2003)

byl pro Maďarsko za celé 20. století (1901–1998) nalezen záporný průměrný roční trend úhrnů srážek dosahující 9,3 mm za 10 let, který byl statisticky významný. K poklesu úhrnů srážek ve druhé polovině 20. století došlo zejména v zimě. I když je Maďarsko poměrně vzdáleno od Středomoří a má spíše kontinentální klima s průměrnou teplotou v zimě pod 0 °C, velká část zimních srážek pochází ze středomořských cyklón. Frontální srážky přicházející od severu nemají v Maďarsku hlavně kvůli orografickým podmínkám takový význam. Na konci 20. století ale došlo ke zvýšení indexu severoatlantické oscilace (NAO; Hurrell et al., 2004), spojenému s posunem drah cyklón na sever, a tedy se snížením úhrnů srážek jak v jižní Evropě, tak i v Maďarsku. Solomon et al. (2007) píšou o zvýšeném výskytu anticyklonálních situací nad střední a jižní Evropou v návaznosti na vyšší index NAO (NAOI) v 90. letech. To zároveň vedlo ke zintenzivnění jihozápadního proudění způsobujícímu mírnější klima na severu Evropy, kde naopak oproti Maďarsku a Středomoří srážek přibylo. Přes léto spadne v Maďarsku nejvíce srážek, které ale mají vysokou meziroční variabilitu. Jarní a letní úhrny jsou často výrazně nižší, s čímž souvisí častější výskyt suchých období. To způsobuje vážné problémy zejména v některých oblastech zemědělství. Srážky, které spadnou v zimě, jsou proto velmi důležité pro zajištění dostatečných zásob vody v půdě pro následující sezóny. Na podzim došlo v 2. polovině 20. století naopak k mírnému zvýšení srážkových úhrnů oproti polovině první a to zejména kvůli rostoucím srážkám v září.

Při podrobnější analýze jednotlivých měsíců za celé období 1901–1998 Domonkos a Tar (2003) zjistili, že statisticky významné trendy nastávají pouze v březnu a dubnu. Největší úbytek srážek byl sice zaznamenán v říjnu (-1,5 mm/10 let), ale kvůli vysoké variabilitě nebyl trend v tomto měsíci statisticky významný. Během 2. poloviny 20. století (1949–1998) se průměrné roční trendy v jednotlivých oblastech Maďarska pohybovaly mezi -9 až -15 mm/10 let a všechny byly statisticky významné.

V Polsku v druhé polovině minulého století srážek přibývalo, ale velice mírně. Během 50letého období 1951–2000 se zde roční úhrn srážek zvýšil o 14 mm, což je méně než 2 % dlouhodobého ročního průměru, který má hodnotu 590 mm. Na zvýšení úhrnu srážek se nejvíce podílely březnové úhrny, které jako jediné významně rostly (o 2,7 mm/10 let). Naopak letních srážek během tohoto období ubylo. (Degirmendžić et al. (2004)



Obr. 8, Průměrné roční úhrny srážek v České republice za období 1961–2005. *Shlazení 5letým Gaussovým filtrem (černá křivka) a lineární trend (přerušovaná čára).* (Brázdil et al., 2009)

V České republice nedošlo během období 1961–2005 k žádnému výraznému trendu srážkových úhrnů, což dokumentuje i obrázek 8. Naprostá většina měsíčních a sezónních trendů a ve výsledku i roční trend se pohybovaly v rozmezí ± 5 mm/10 let. Na podzim a v zimě byly trendy rostoucí, nicméně statisticky nevýznamné. Naopak na jaře byl trend úhrnů srážek záporný, na čemž měl největší podíl květen, ve kterém docházelo k poklesu, který byl na 25 % stanic statisticky významný. Na grafu průměrných ročních úhrnů srážek v České republice je také zřejmý rozdíl mezi rokem s nejvyššími úhrny srážek (2002) a nejsušším rokem (2003) za celé pozorované období, které následovaly hned po sobě (Brázdil et al., 2009).

4. Data

Tato kapitola se zabývá popisem výběru databáze pro výpočty trendů klimatických prvků. Nejprve jsou zde podrobně popsány další informace o datech a druhá podkapitola obsahuje informace o kontrole kvality, které data ve vybrané databázi podléhala.

4.1. Výběr a popis dat

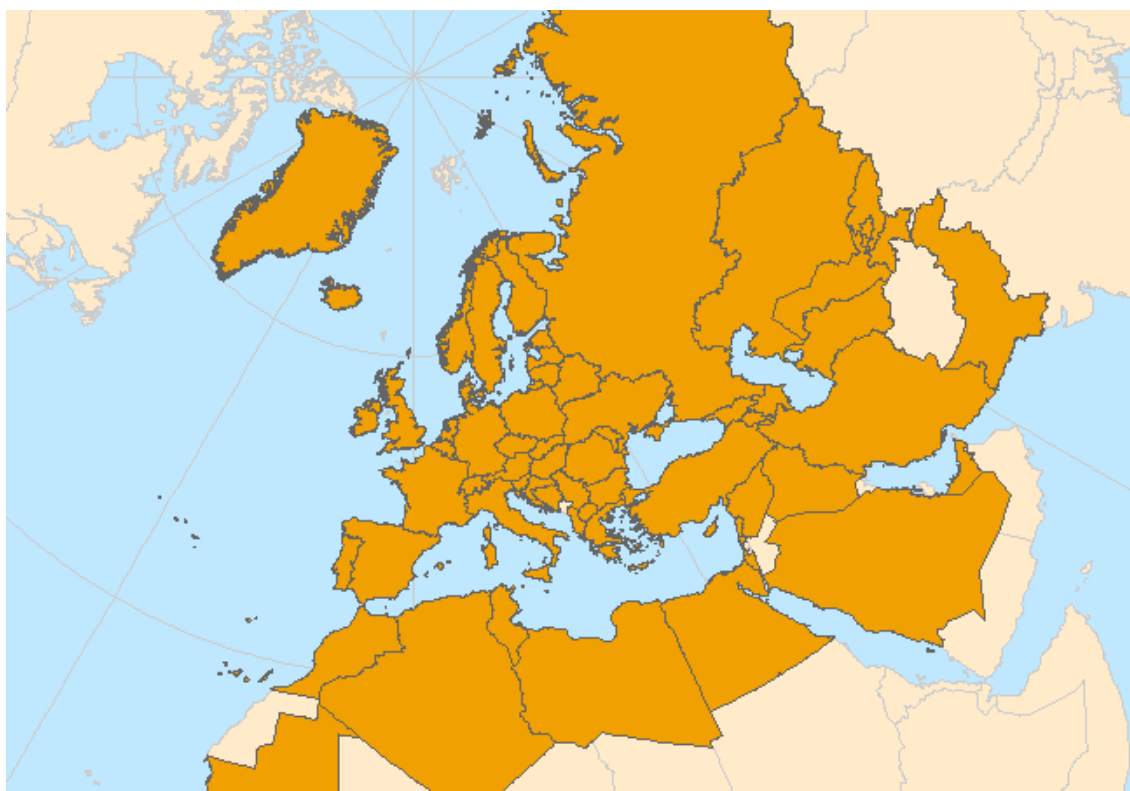
Pro analýzu zrychlování nebo zpomalování změny klimatu byly vybrány dva nejdiskutovanější klimatické prvky – teplota a srážky. Zejména těmito prvky jsem se zabýval i ve své bakalářské práci (Maryško, 2011), která kromě toho obsahuje i další prvky jako je oblačnost, sluneční svit, tlak vzduchu a popisuje některé souvislosti mezi nimi. I když se téma diplomové práce týká pouze střední Evropy, rozhodl jsem se teplotní a srážkové trendy analyzovat na území celého evropského kontinentu. Důvodem zvětšení plošného rozsahu zpracovaných dat byla možnost analyzování trendů střední Evropy v širším kontextu. Vhodným zdrojem dat se pro tento účel stala databáze ECA&D, která toto srovnání umožňuje. Bylo očekávané, že se mohou v rámci střední Evropy objevit oblasti, které se budou svým vývojem trendů, ať už teplotních nebo srážkových, podobat jiným částem Evropy.

Pro zkoumání zrychlování nebo zpomalování klimatické změny za 2. polovinu 20. století na evropském kontinentu bylo zapotřebí velké množství dostatečně dlouhých a nepřerušovaných klimatických řad. Data z projektu European climate assessment and dataset ECA&D, jenž byl zahájen v roce 1998, tyto požadavky splňovala. Dnes je do něj zapojeno 62 států nejen z Evropy, ale i Asie a severní Afriky (Obr. 9) a obsahuje data z více než deseti tisíc stanic. Většina dat z tohoto projektu je pro nekomerční účely volně dostupná online (<http://www.ecad.eu>). V databázi jsou záznamy denních hodnot pro 12 klimatických prvků. Vedle zvolené minimální a maximální teploty a úhrnů srážek zde dále najdeme data pro pokrytí oblačností; rychlost, směr a nárazy větru; vlhkost; tlak vzduchu; maximální hodinové úhrny; výšku sněhu; délku trvání slunečního svitu a průměrnou teplotu. Před vytvořením ECA&D žádná podobná databáze na evropském kontinentu s takovýmto časovým rozlišením nebyla (Klok a Klein Tank, 2009). Vytvoření

této databáze obsahující denní hodnoty všech 12 prvků bylo významné zejména pro zkoumání extrémů (například povodně a sucha), jejichž dopady na společnost a životní prostředí jsou vnímány více než změny v průměrných hodnotách teploty nebo srážek.

Na výběr z databáze jsou dva druhy staničních řad, z nichž jedna je anglicky označována jako "blended", což znamená, že několik kratších řad může být spojeno v jednu delší. Tato situace nastává například, když měření probíhalo na jedné stanici již v 19. století, později začalo měření na stanici v její blízkosti a následně původní stanice zanikla. Dále se v těchto řadách využívá doplnění chybějících hodnot z okolních stanic. I když je na internetových stránkách eca.knmi.nl uváděno, že pro zkoumání změny klimatu jsou tato data bez problémů použitelná, raději jsem využil řady "non-blended", u kterých takovéto spojování více řad do jedné použito nebylo. Nevýhodou tohoto výběru může být to, že například kvůli přerušení měření se některé stanice musí vyřadit. I přesto, že některé stanice mohly být takto vyřazeny, hustota měření napříč celou Evropou je pro tuto práci zcela dostačující.

Jedním z důvodů, proč byla pro analýzu vybrána minimální a maximální teplota namísto průměrné teploty je ten, že hodnoty průměrné teploty byly dostupné na méně stanicích než pro teplotu minimální a maximální. Další nevýhodou jsou rozdílné časy měření teploty pro výpočet průměrné teploty a rozdílné metody ve výpočtu tohoto prvku v rámci států Evropy, o čemž se zmiňuje například Brázdil et al. (1996).

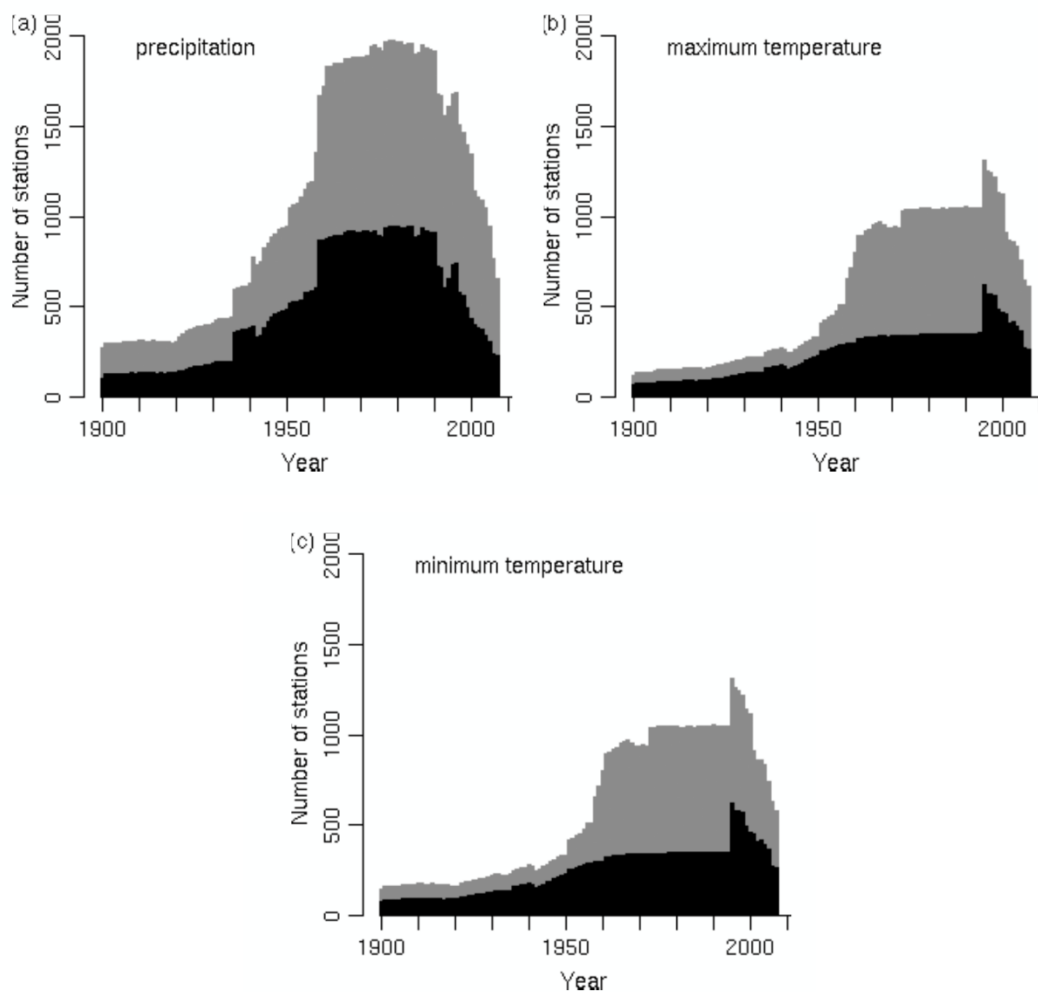


Obr. 9, Spolupracující státy přispívající denními klimatickými řadami do projektu ECA. (ECA&D)

Zejména pro nízký počet stanic s měřením dalších klimatických prvků (tlak vzduchu, oblačnost, délka slunečního svitu, výška sněhové pokrývky a relativní vlhkost), které byly podle Klok a Klein Tank (2009) v databázi ECA&D evidovány pouze u méně než 15 % stanic, jsem do diplomové práce nezahrnul více klimatických prvků. I když se procento zastoupení těchto prvků na stanicích v databázi postupně zvyšuje, jejich řady jsou pro analýzu zrychlování a zpomalování změny klimatu většinou příliš krátké. Na obrázku 10 jsou grafy s počtem teplotních a srážkových řad v databázi ECA&D za jednotlivé roky, kde je zřejmá značná převaha srážkových řad nad řadami minimální a maximální teploty. Je zde také znázorněn rozdíl mezi celkovým počtem stanic v databázi ECA&D a počtem stanic, jejichž data jsou veřejně dostupná. Někteří poskytovatelé totiž určitá data nepovolují veřejně sdílet. Prudký pokles dostupných dat v posledních letech je způsoben prodlevou v archivaci a kontrole kvality dat na meteorologických institucích, které poskytují data pro ECA&D (Klein Tank et al., 2002b). Na poklesu počtu stanic začínajícím v posledním desetiletí 20. století je mají také velký podíl končící řady ze stanic bývalého Sovětského svazu na začátku 90. let 20. století. Počet teplotních řad se

naopak v roce 1995 náhle zvýšil zejména kvůli nárůstu řad z Ruska a Ukrajiny (Klok a Klein Tank, 2009).

Hustota pokrytí stanicemi není v rámci Evropy všude stejná a použitím všech dostupných řad by došlo k velkým rozdílům v zastoupení stanic jednotlivých regionů. Z toho důvodu jsem nepoužil všechny dostupné stanice, ale snažil jsem se o výběr stanic reprezentujících jednotlivé regiony, s čímž souvisí i snaha o co nejrovnoměrnější pokrytí Evropy bez přehušnění nebo naopak nepokrytí některých regionů.



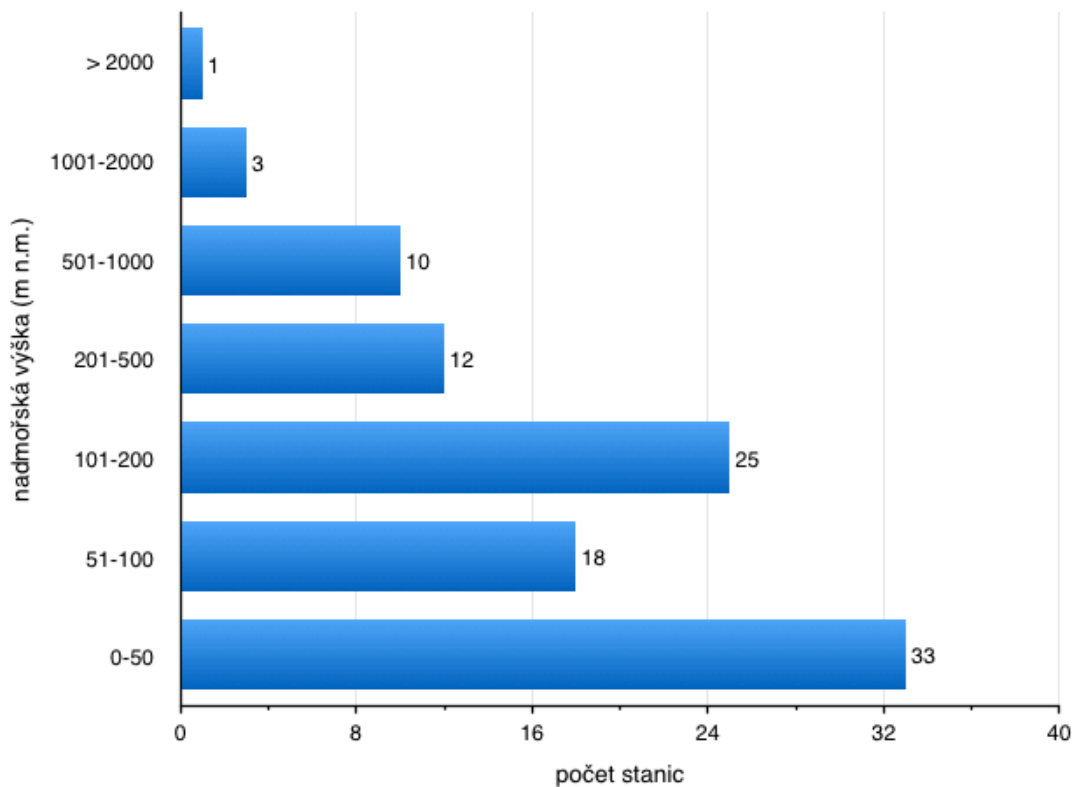
Obr. 10, Počet stanic databáze ECA&D od začátku 20. století pro srážky (a), maximální teplotu (b) a minimální teplotu (c).

Šedou barvou je znázorněn celkový počet stanic v databázi a černou barvou je vyznačen počet stanic, jejichž data jsou veřejně dostupná. (Klok a Klein Tank, 2009)

Pro zjištění zrychlování nebo zpomalování změny klimatu pomocí teplotních a srážkových ukazatelů bylo vybráno celkem 122 stanic z 32 států Evropy, pro jejichž výběr

byl důležitý kompromis mezi hustotou a rovnoměrností rozmístění stanic v rámci celé Evropy. Data jsem z databáze získával na konci roku 2012. Podrobný výčet stanic se souřadnicemi, nadmořskými výškami a označením, zda jsou pro stanici spočítány trendy daného prvku je v příloze 1a a 1b. Jejich prostorové rozložení najdeme v příloze 14, která je vhodná i pro orientaci v dalších mapách s grafy trendů klimatických prvků.

Stanice se nachází v nadmořských výškách od úrovně moře, tedy 0 m n. m. (Valkenburg v Nizozemsku) až do 2502 m n. m. (Saentis ve Švýcarsku). Výběr stanic reprezentuje velké výškové rozpětí, i když stanic v nízkých nadmořských výškách je mnohem více. Nad 1000 m n. m. byly vybrány pouze 4 stanice. Pro větší přehlednost zastoupení stanic v rámci nadmořských výšek byl vytvořen graf četnosti stanic ve zvolených intervalech nadmořských výšek (Obr. 11). Pro Českou republiku jsou v databázi ECA&D kromě řad pro stanici Praha-Klementinum ještě řady pro meteorologickou stanici na Milešovce (837 m n. m.). Jedná se o stanici s nejdelší souvislou řadou meteorologických pozorování mezi horskými stanicemi v Česku (Štěpánek, 2005).



Obr. 11, Graf četnosti vybraných stanic v intervalech nadmořských výšek.

Kvůli různým termínům pozorování klimatických prvků mezi státy Evropy a někdy i v rámci jednoho státu jsou řady v databázi ECA&D označeny kódem, podle kterého lze zjistit denní dobu záznamu hodnot na dané stanici. U několika stanic, které jsem zvolil pro analýzu trendů, jsem měl na výběr ze dvou teplotních či srážkových řad. U jedné z nich bylo vždy uvedeno, že termín pozorování je pro tuto řadu neznámý, a proto jsem volil vždy řadu, kde termín pozorování uvedený byl. Bohužel není možné při zpracování dat za celou Evropu volit pouze jeden termín pozorování u všech řad, a to již z výše zmíněného důvodu, že jednotlivé státy měří klimatické prvky v různých pozorovacích časech. (Klok a Klein Tank, 2009)

Přestože s projektem ECA&D spolupracuje naprostá většina států Evropy, pro některé státy údaje v databázi nejsou k dispozici nebo jich je velmi málo. Tato skutečnost se projevila zejména v jihovýchodní Evropě, kde chybí stanice z Bulharska a Makedonie. Pro Polsko pak byly dostupné pouze dvě stanice, a tak i tam vznikl stanicemi nepokrytý prostor.

4.2. Kontrola kvality dat

U všech dat je přímo v databázi ECA&D provedena automatická kontrola kvality a data jsou podle toho označena indexem kvality buďto jako platná (0 – pokud test splní), podezřelá (1 – pokud testem neprojdou), nebo chybějící (9). I přes automatickou kontrolu kvality dat přímo v databázi ECA&D není zaručena 100% správnost dat. Proto data podléhala velmi pečlivé kontrole i z mé strany, kdy jsem se zaměřil zejména na výjimečně vysoké nebo i nízké trendy. V naprosté většině případů byly trendy nebo data shledány jako správné. Na stanici Milešovka jsem přesto narazil na podezřele nízké hodnoty denních srážkových úhrnů a z toho vyplývající i nízké hodnoty trendů. Za celé období 1951–2005 v datech nebyl zaznamenán úhrn větší než 10 mm, což mě vedlo k vyřazení této stanice z výpočtu srážkových úhrnů.

Podmínky pro splnění kontroly kvality, na nichž je založeno označení každé hodnoty indexem kvality, můžeme vidět na obrázku 12. Při testování kvality dat byly hodnotou 1 (podezřelá) označeny všechny dny se srážkovými úhrny nad 300 mm. Vzhledem k tomu, že se jedná o data z několika desítek států a u některých stanic jsou velmi dlouhé doby pozorování, jako například u stanice Praha-Klementinum, přišlo mi toto označení všech denních srážkových úhrnů nad 300mm indexem kvality 1 (podezřelá hodnota) poměrně striktní. V mém výběru stanic byly tímto způsobem vyřazeny: 2 srážkové úhrny na stanici Shkodra (Albánie), 4 srážkové úhrny na stanici Mont-Aigoual (Francie) a 1 srážkový úhrn na stanici Malaga Aeropuerto (Španělsko). Project team of ECA&D (2013) nicméně uvádí, že testované podmínky jsou sice testovány automaticky, ale například srážkové extrémy, které jsou označeny jako podezřelé, se ještě zpětně manuálně kontrolují a případně označují jako platné v případě, že se například z radarových snímků zjistí, že byl daný srážkový úhrn možný. Při analýze trendů jsem bral v úvahu pouze hodnoty označené jako platné (0) a všechny chybějící (9) a podezřelé (1) hodnoty jsem vyřadil, protože nastavená kritéria při kontrole kvality dat se mi zdála dostatečně vypovídající o tom, že hodnoty označené jako podezřelé jsou pravděpodobně chybné.

daily maximum temperature TX:

- ...must exceed -90.0 °C
- ...must be less than 60.0 °C
- ...must exceed or equal daily minimum temperature (if exists)
- ...must exceed or equal daily mean 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 maximum 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 maximum temperature for that calendar day - 5 times standard deviation (calculated for a 5 day window centered on each calendar day over the whole period)

Daily minimum temperature TN:

- ...must exceed -90.0 °C
- ...must be less than 60.0 °C
- ...must be less or equal to daily maximum temperature (if exists)
- ...must be less or equal to daily mean 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 minimum 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 minimum temperature for that calendar day - 5 times standard deviation (calculated for a 5 day window centered on each calendar day over the whole period)

daily precipitation amount RR:

- ...must be equal or exceed 0 mm
- ...must be less than 300.0 mm
- ...must not be repetitive (i.e. exactly the same amount) for 10 days in a row if amount larger than 1.0 mm
- ...must not be repetitive (i.e. exactly the same amount) for 5 days in a row if amount larger than 5.0 mm
- ...dry periods receive flag = 1 (suspect), if the amount of dry days lies outside a 14-bivariate standard deviation

Obr. 12, Podmínky nastavené při kontrole kvality dat v projektu ECA&D pro maximální teplotu, minimální teplotu a srážkové úhrny.

(Project team of ECA&D, 2013)

Indexem kvality 1 (podezřelá hodnota) je po kontrole kvality označeno zhruba 0,5 % všech hodnot v databázi ECA&D. Takto nízké procento podezřelých hodnot je způsobeno tím, že většina dat prochází různými kontrolami kvality již na úrovni jednotlivých institucí, které data pro databázi poskytují. Na teplotních a srážkových řadách je prováděn také test homogenity podle metody Wijngaard et al. (2003), podle

které jsou řady rozřazeny do 3 tříd homogenity. Je samozřejmě žádoucí, aby byly výkyvy v klimatických řadách způsobovány pouze kolísáním klimatu a nebyl zde vliv ostatních faktorů. Bohužel pouze u malého množství řad z databáze ECA&D jsou pečlivě zaznamenána metadata o stanicích, která by pomáhala nehomogenity odhalovat (Klok a Klein Tank, 2009).

5. Metody zpracování

Prvním krokem ke zpracování dat bylo jejich stažení ze stránek projektu ECA&D (eca.knmi.nl). Data jsou k dispozici pouze ve formě textových souborů. Kvůli dennímu záznamu hodnot za vcelku dlouhý časový úsek se jedná o obrovské množství dat. U každého ze tří zkoumaných klimatických prvků, tj. denní maximální teploty, denní minimální teploty a denního úhrnu srážek, jejich záznamy ze všech řad přesahují čtyři miliony řádků. Zpracování takto velkého objemu dat v programu Microsoft Excel by nebylo vhodné už z toho důvodu, že maximální počet řádků tohoto programu je omezen na zhruba jeden milion. Zvolil jsem proto převedení dat do databáze PostgreSQL, kde byla prováděna většina dalších úprav na datech.

Na počátku bylo mým cílem analyzovat data od roku 1950 až co nejbližší přítomnosti. Spodní hranice byla nakonec o rok posunuta, protože velké množství staničních řad v databázi ECA&D začíná až od roku 1951. Jak také vyplývá z obrázku 10, není možné analyzovat data v požadovaném rozsahu za poslední roky, protože v databázi za posledních několik let počet stanic poměrně strmě klesá. Z tohoto důvodu byl za konec analyzovaného období zvolen rok 2005. Pokud bych například požadoval řady až do roku 2010, vypadla by z výběru více než polovina stanic. Zvoleno tedy bylo 55leté období 1951–2005.

Nejprve jsem musel každou stanicí spočítat sezónní průměry z denních hodnot minimální teploty a maximální teploty za jednotlivé roky, a dále srážkový úhrn za sezónu. Sezóny jsem stanovil takto – zima (od 1. prosince do 28., resp. 29. února), jaro (od 1. března do 31. května), léto (od 1. června do 31. srpna), podzim (od 1. září do 30. listopadu). Zima se vztahuje vždy k roku, ke kterému náleží měsíce leden a únor. První zima roku 1951 začíná v prosinci 1950, pro který ale většina stanic neměla data, a proto musela být u všech klimatických prvků vyřazena. Období, se kterým jsem dále pracoval, tedy začíná 1. 3. 1951 a končí 30. 11. 2005 (prosinec roku 2005 již patří do zimy 2006).

Pro data jsem nastavil několik podmínek/kritérií, které musela splňovat. Z databáze ECA&D bylo vybráno 122 stanic z celé Evropy, jejichž řady ale ne vždy požadovaný časový rozsah od roku 1951 do roku 2005 splňovaly. Protože jsem nechtěl vyškrtnout zhruba polovinu stanic kvůli nesplnění tohoto období a zároveň aby nebyly staniční řady klimatických prvků pro výpočet trendů příliš krátké, zvolil jsem mírnější

podmínku, při které staniční řady musely začínat nejpozději v roce 1955 a končit nejdříve v roce 2000. Při nesplnění tohoto kritéria byla stanice z dalších výpočtů vyřazena.

Dalším podmínkou bylo vynechání sezón s více než devíti chybějícími nebo podezřelými hodnotami, což při 90–92 dnech znamená, že sezóna je vyřazena v případě, když pro výpočet průměrné hodnoty chybí více než 10 % dat. V návaznosti na předchozí podmínku jsem stanovil, že pokud u stanice chybí více než dva sezónní úhrny srážek, průměrné sezónní minimální nebo maximální teploty z jedné sezóny, také je vyřazena z dalších výpočtů. V případě dvou chybějících sezón nesměly tyto sezóny následovat hned po sobě.

Vedle toho, že databáze ECA&D neobsahuje pro několik států žádná data vybraných klimatických prvků (popsáno již v kapitole data), vyřadil jsem 20 stanic (Příloha 1b) kvůli nesplnění výše popsaných podmínek. Toto vyřazení dvou desítek stanic se negativně projevilo na rovnoměrnosti respektive částečné nerovnoměrnosti pokrytí Evropy vybranými stanicemi. V Polsku byly takto vyřazeny jediné dvě stanice, které se v databázi nacházely. Další nepokrytá oblast se nachází v jihovýchodní Evropě, kde požadovaná kritéria nesplňovala žádná z vybraných stanic Rumunska a Moldavska. V této oblasti chybí ještě stanice v Bulharsku a Makedonii, které nemají v databázi na výběr pro požadované klimatické prvky ani jednu stanic. Nesplnění požadovaných kritérií pro teplotní i srážkové trendy na celém území států se týká dále ještě Slovinska, viz příloha 14.

Před samotným výpočtem trendů pro všechny klimatické prvky na všech vybraných stanicích Evropy bylo ještě zapotřebí provést analýzu nejvhodnější délky období pro výpočet klouzavých trendů na menším vzorku dat. Vybíral jsem mezi 15, 20 a 25 let dlouhými klouzavými trendy, které jsem testoval na sezónních průměrech minimální teploty na deseti stanicích z různých částí Evropy s kompletními daty za celé období 1951–2005. Po porovnání různě dlouhých trendů ze všech deseti stanic jsem se rozhodl pro 20leté období, které bylo vhodným kompromisem mezi velkou rozkolísaností trendů u 15letých trendů a naopak velkým shlazením u trendů 25letých.

Pro určení trendů pro klouzavá 20letá období, navzájem posunutá o jeden rok, jsem použil metodu lineární regrese pomocí nejmenších čtverců. Rovnice přímky je vyjádřena takto: $y = kx + q$, a bylo tedy nutné zjistit hodnotu směrnice přímky k pro všechna období a všechny klimatické prvky. Při zvolení této délky období bylo v případě, že nechyběla žádná hodnota sezónního průměru teplot nebo úhrnu srážek, vypočítáno 36 trendů pro jaro, léto a podzim, přičemž zima měla trendů kvůli vynechání prvního období

pouze 35. Na některých stanicích mohlo být trendů spočítáno méně, minimálně však 27 pro jaro, léto, podzim a 26 pro zimu. První trend je určený pro období 1951–1970, druhý pro období 1952–1971 apod. Poslední vypočítaný trend je pro roky 1986–2005. Po vypočtení trendů jsem vše převedl do programu Microsoft Excel, kde bylo zapotřebí určit statistickou významnost a vytvořit tabulky, které jsou jednou ze stěžejních částí prezentace mé práce (Přílohy 2 až 13). Statistická významnost byla testována na hladině 5 % a vyhodnocoval jsem ji na základě výpočtu Pearsonova korelačního koeficientu. Trendy mohly být podle výše nastavených podmínek spočítány z 18 až 20 hodnot průměrných sezónních teplot nebo sezónních úhrnů srážek, což odpovídá 16 až 18 stupňům volnosti. Kritické hodnoty korelačního koeficientu pro určení statistické významnosti byly proto následující: 0,444 pro 18 stupňů volnosti (20 hodnot); 0,456 pro 17 stupňů volnosti (19 hodnot) a 0,468 v případě 16 stupňů volnosti (18 hodnot). Pokud tedy hodnota korelačního koeficientu počítaná pro 20 hodnot přesáhla $\pm 0,444$, trend byl označen za statisticky významný. Stanice v tabulkách (Příloha 2 až 13) jsem nakonec seskupil podle regionů a až v rámci těchto skupin jsem je seřadil abecedně podle států a stanic. Domnívám se, že toto seskupení výrazně pomohlo k lepší prezentaci výsledků a orientaci v nich.

Mapy (Příloha 14 až 26) jsem zpracovával v programu ArcGIS od ESRI. Pro vytvoření grafů jsem ale nejprve musel použít ještě program Grapher od Golden Software. Před tvorbou map jsem potřeboval vytvořit zhruba 1200 grafů pro jednotlivé stanice, na což bylo zapotřebí pokročilejšího softwaru, jako je právě Grapher. Hodnoty trendů byly vyneseny do grafů s jednotnou osou y pro všechny sezóny, aby byly časové vývoje trendů mezi sebou dobře porovnatelné. Pro minimální a maximální teploty byl zvolen rozsah -2 až 2 °C/10 let, pro srážky pak -150 až 150 mm/10 let. U všech tří veličin se vyskytly stanice, na nichž trendy zvolený rozsah os poněkud přesahují, ale jelikož jsou přesné hodnoty trendů uvedené v tabulkách, nepovažuji to za problém. Při zvětšení rozsahu osy y by totiž některé nižší trendy na mapách zanikaly. Import a umístění grafů do map v ArcGISu už poté musel probíhat manuálně po jednotlivých grafech, protože ty nenesly žádnou polohovou informaci. Názvy stanic jsou uvedeny pouze u první mapy v příloze 14. Aby vložené grafy pro jednotlivé stanice mohly být větší, u dalších map v přílohách jsem popisky stanic vynechal, což ale nepovažuji za nedostatek.

6. Výsledky: vývoj trendů v Evropě za období 1951–2005

Kvůli velkým rozměrům byly veškeré mapy a tabulky, které patří mezi hlavní výsledky diplomové práce, zařazeny do příloh na konci této práce. Jelikož jsem musel přistoupit k tisku na formát papíru A3, nebylo je možné jiným způsobem do práce vložit. Pevně doufám, že oddělené listy tabulek a map přispějí k přehlednosti, a tedy možnému rychlému přecházení mezi textem diplomové práce a přílohami. U všech tabulek a map jsou trendy vyjádřeny v jednotkách °C/10 let, resp. mm/10 let. Modře (respektive hnědě) jsou označeny záporné teplotní (srážkové) trendy. Červeně (respektive zeleně) jsou označeny kladné teplotní (srážkové) trendy. Tmavšími odstíny těchto barev jsou v tabulkách sezónních trendů (Přílohy 2 až 13) znázorněny trendy statisticky významné na 5% hladině. Tyto tabulky slouží zejména k přehlednému znázornění obrovského množství hodnot trendů za 20letá období. Díky zvoleným barvám jsou v nich také jednoduše viditelné změny trendů z kladných na záporné a naopak, které se často dějí v rámci celého regionu, v některých případech i celé Evropy. Mapy (Přílohy 14 až 26) slouží více k znázornění regionálních vztahů mezi stanicemi. Přechody mezi kladnými a zápornými trendy jsou zde také velmi dobře zobrazeny, ale navíc jsou mapy vhodnější pro analýzu změn velikosti trendů. Na mapách již ke znázorňování statistické významnosti nebyl prostor, a je na nich tedy názorné označení pouze trendů kladných a záporných.

Na výsledky této práce můžeme nahlížet z několika pohledů: porovnávat trendy mezi jednotlivými částmi Evropy, dále porovnávat rozdíly vývoje minimální a maximální teploty nebo také srovnávat vývoj klimatických prvků mezi sezónami. Všechny tyto aspekty jsem se ve výsledcích snažil zahrnout.

Nejprve budou popsány trendy sezónní minimální a maximální teploty, u kterých je předpoklad, že jejich vývoj trendů v čase si bude do jisté míry podobný. V kapitole 6.2 jsou obsaženy výsledky trendů sezónních srážkových úhrnů. Před popisem klimatických prvků v rámci ročních dob bych chtěl uvést, že trendy na Islandu jsou často výrazně odlišné od trendů v kontinentální části Evropy. Do popisu trendů v jednotlivých ročních obdobích jsem tento ostrov příliš nezahrnoval, a to zejména kvůli jeho geografické odlehlosti a s tím souvisejícími odlišnými klimatickými podmínkami, které tamní podnebí ovlivňují. Porovnání trendů na Islandu s kontinentální částí Evropy nemá dle mého názoru pro tuto práci příliš význam.

6.1. Teplota

Počátek pozorovaného období z pohledu jarních minimálních a maximálních teplot je napříč Evropou prostorově značené rozdílný (Přílohy 2, 6, 15 a 19). Střední Evropa je v tomto ohledu na rozhraní dvou odlišně se vyvíjejících oblastí, což platí i pro některé další roční doby. Východní Evropu charakterizují z počátku vysoké trendy minimální i maximální teploty. Naproti tomu na Pyrenejském poloostrově, v jihozápadní části Francie, na Britských ostrovech a Islandu v celé první polovině zkoumaného období 1951–2005 jasně dominují záporné trendy, které začínají po období 1956–1975 slábnout a těsně po období 1961–1980 se často mění na trendy kladné. Tendence k růstu teplotních trendů (hlavně u minimální teploty) platí i pro střední Evropu. Na jihovýchodě jsou trendy oproti ostatním částem Evropy celkově méně výrazné, což platí opět více pro minimální teplotu. Od období 1969–1988 nastává pro střední a západní Evropu a Pyrenejský poloostrov série kladných velmi často statisticky významných trendů.

V letním období je zřejmý rozdíl mezi vývojem minimální a maximální teploty (Přílohy 3, 7, 16 a 20). V případě teploty maximální jsou trendy výraznější, a to jak kladné, tak i záporné. U minimální teploty bylo zaznamenáno celkově méně záporných trendů, které byly navíc slabší. Výjimkou je jižní Evropa, která v první polovině pozorovaného období zaznamenala na několika stanicích statisticky významný pokles minimálních teplot. Tempo růstu minimální teploty se na některých stanicích střední a západní Evropy během celého období 1951–2005 zvyšuje. Ve východní a severní Evropě jsou zajímavé rozdíly, kde trendy minimální teploty kolísají kolem nuly a až na ojedinělé případy se drží v intervalu ± 1 °C/10 let, kdežto trendy maximální teploty překračují tento interval oběma směry na mnoha stanicích. Na třech švýcarských stanicích došlo až k podezřele výraznému rozdílu mezi trendy minimální a maximální teploty. V obdobích, kdy minimální teplota rostla, maximální teplota klesala, a to v případě stanice Lugano byly oba protichůdné trendy dokonce statisticky významné. V celé Evropě se až po období 1972–1991 zejména u maximální teploty střídají kladné a záporné trendy. Obdobím 1973–1992 začíná napříč celou Evropou výrazné oteplování a ve zbývajících 13 obdobích jsou v naprosté převaze trendy kladné, které jsou často i statisticky významné.

Podzim je obdobím s nejvyšším počtem záporných trendů (Přílohy 4, 8, 17 a 21). Trendy minimální a maximální teploty spolu na rozdíl od léta poměrně dobře souhlasí.

Zejména v oblasti střední a východní Evropy velikost trendů hodně kolísá a trendy mění znaménko. Ve východní Evropě je navíc oproti jiným částem Evropy výrazně méně statisticky významných trendů. Od prvního období až po období 1963–1982 najedeme zejména v severní a jižní Evropě velké množství statisticky významných záporných trendů, které se později vyskytují jen velmi ojediněle. Mezi obdobími 1967–1986 a 1973–1992 jsou trendy vyjma východní Evropy a několika dalších stanic kladné a poměrně často statisticky významné. V těchto obdobích dosahují podzimní trendy za 2. polovinu 20. století celkově nejvyšších hodnot pro minimální (Tabulka 1) i maximální teplotu (Tabulka 2) přesahující 1,5 °C/10 let. Již v období 1974–1993 dochází k poklesu velikosti trendů (vyjma jihovýchodní Evropy a Islandu), při kterém se mnoho trendů mění z kladných na záporné, případně ze statisticky významných kladných trendů na nevýznamné. Posledních 5 podzimních období je pro Evropu charakteristických spíše kladnými trendy, zejména minimální teploty.

	minimum	maximum
jaro	-1,50*	1,88*
léto	-1,13*	1,51*
podzim	-1,71	1,53*
zima	-2,72*	4,06*

Tabulka 1, Nejnižší a nejvyšší 20leté sezónní trendy minimální teploty (°C/10 let) za období 1951–2005.

*Trendy označené * jsou statisticky významné na hladině 5 %.*

Vývoj minimální a maximální teploty je na několika stanicích výrazně odlišný. Jedná se zejména o švýcarské stanice Basel Binningen, Zürich Fluntern, Lugano, řeckou stanicí Heraklion a italskou stanicí Cagliari na Sardinii, kde v první polovině období trendy minimální teploty kolísají mezi $\pm 0,5$ °C/10 let a jsou spíše kladné, zatímco u maximální teploty klesají hodnoty trendů pod -1 °C/10 let, někdy dokonce pod $-1,5$ °C/10 let.

	minimum	maximum
jaro	-2,09*	2,10*
léto	-2,13*	2,05*
podzim	-2,30*	1,57*
zima	-2,23*	3,27*

Tabulka 2, Nejnížší a nejvyšší 20leté sezónní trendy maximální teploty (°C/10 let) za období 1951–2005.

*Trendy označené * jsou statisticky významné na hladině 5 %*

Nejvyšší trendy minimální a maximální teploty se vyskytují v zimě (Tabulky 1 a 2) a měly hodnoty 4,06 (Stensele–Švédsko) pro minimální a 3,27 °C/10 let (Karasjok–Norsko) pro maximální teplotu. Přestože v zimě jsou hodnoty trendů nejvyšší, četnost výskytu významných trendů je v tomto období nejnižší (Přílohy 4, 9, 18 a 22). V tomto ročním období byl zároveň vypočítán i nejnižší 20letý trend minimální teploty za období 1951–2005 s hodnotou -2,72 °C/10 let (Karasjok–Norsko). Po několika záporných trendech na počátku pozorovaného období se téměř všechny trendy ve střední, západní a severní Evropě (s výjimkou Islandu) mění z poklesů na růst, který na většině stanic trvá až do období 1965–1984, a poté následují klesající trendy. Další významná změna se pak odehrává v období 1976–1995, ve kterém se desítky trendů stávají statisticky významnými a hodnoty trendů dosahují až 4 °C/10 let. Od tohoto dvacetiletí již zůstávají až na pár výjimek trendy kladné. Trochu odlišný vývoj teplotních trendů můžeme vidět ve východní Evropě u prvních deseti období. Trendy v jižní Evropě se od střední, západní a severní Evropy až do období 1975–1994 chovají také odlišně.

6.2. Srážky

Trendy srážkových úhrnů se dají prezentovat několika způsoby. Jedním z nich je spočítat relativní hodnoty, jako to je například uváděno ve studii Klein Tank et al. (2002b). Pro prezentaci svých výsledků jsem zvolil absolutní hodnoty trendů srážkových úhrnů, což má své výhody i nevýhody. Toto můžeme říct i o variantě zobrazení výsledků pomocí relativních hodnot. V oblastech s nízkými srážkovými úhrny stačí i poměrně malá změna, která se významněji projeví na relativních hodnotách výsledných trendů, než tomu je v oblastech s vyššími srážkovými úhrny. U zvolené varianty prezentace trendů v absolutních hodnotách se její negativa projevují v oblastech naopak s vysokými srážkovými úhrny, kde dochází obecně k mnohem větším změnám srážkových úhrnů. Z výše popsaných dvou způsobů prezentace výsledků vyplývá, že porovnání srážkových trendů mezi stanicemi i mezi sezónami je do jisté míry ztížené a měli bychom v tomto případě přihlížet také k průměrným srážkovým úhrnům porovnávaných stanic. Porovnání srážkových trendů mezi stanicemi také ztěžuje obecně velká prostorová a časová proměnlivost úhrnů srážek.

	minimum	maximum
jaro	-186*	236*
léto	-277*	163*
podzim	-366*	335*
zima	-349*	288*

Tabulka 3, Nejnižší a nejvyšší 20leté sezónní trendy srážkových úhrnů (mm/10 let) za období 1951–2005.

*Trendy označené * jsou statisticky významné na hladině 5 %.*

Právě kvůli časové a prostorové proměnlivosti úhrnů srážek nenajdeme při pohledu do tabulek (Přílohy 10 až 13) a map (Přílohy 23 až 26) tak jasné časové a prostorově konzistentní trendy jako u minimální a maximální teploty. Na mapách jsou na první pohled patrné velmi výrazné trendy, ke kterým docházelo hlavně na horských stanicích a obecně stanicích s vysokými průměrnými úhrny srážek. Velmi zvláštní jsou srážkové trendy na nejvýše položené stanici Saentis ve Švýcarsku (2502 m n. m.), kde se

objevují nejen velice vysoké kladné i záporné trendy, ale jejich průběh příliš nekorresponduje s trendy poměrně blízkých stanic směrem na jih a je například pro jaro (Příloha 10 a 23) naprosto protichůdný. Souhrnně pro celou Evropu můžeme říci, že úhrny srážek nemají jasný trend, který by byl zachován po celou dobu pozorování, často se mění a kolísají spíše bez prokázané statistické významnosti.

Ve východní Evropě má na jaře většina stanic podobný vývoj trendů srážkových úhrnů (Přílohy 10 a 23). I přesto, že trendy nejsou příliš velké, můžeme říci, že do období 1960–1979 převažují kladné trendy (na některých stanicích ještě o pár dvacetiletí déle), ale poté nastávají období záporných trendů, jejichž minimum se často nachází mezi obdobími 1966–1985 a 1970–1989. Poté trendy na většině stanic postupně stoupají a dostávají se do kladných hodnot. V jižní Evropě, Francii a Nizozemku převažují v druhé polovině zkoumaného období záporné hodnoty. Střední Evropu charakterizují na jaře spíše záporné trendy srážkových úhrnů, ale do období 1954–1973 jsou zde přítomny záporné a někdy i statisticky významné trendy. Mezi obdobími 1968–1987 a 1976–1995 dochází na některých stanicích střední Evropy také k poklesu srážkových úhrnů.

V létě je ve střední Evropě až do období končícího rokem 1985 většina trendů záporných a na několika stanicích statisticky významných (Přílohy 11 a 24). Statisticky významné záporné trendy se v této době vyskytují také v západní, severní a východní Evropě. Naopak v jižní Evropě dochází do období 1965–1984 spíše k růstu srážkových úhrnů, který se poté mění na pokles. Letní trendy na švýcarské stanici Saentis značně převyšovaly trendy na ostatních stanicích Evropy. Jejich přesné hodnoty jsou uvedené v tabulce 3, přičemž minimální i maximální hodnota trendů patří právě této stanici.

Na podzim byl nejnižší (–366 mm/10 let) i nejvyšší (335 mm/10 let) trend zaznamenán na stanici Takhle v Norsku (viz také tabulka 3). Ve střední Evropě jsou v tomto ročním období trendy nevýrazné a statisticky nevýznamné (Přílohy 12 a 25). Pouze na okrajích celého pozorovaného období se ojediněle vyskytují významné klesající trendy. Za zmínku také stojí trendy ve východní Evropě do období 1964–1983, kdy výrazně převažuje růst srážkových úhrnů.

Z vysoce variabilních srážkových úhrnů v zimě se vydělují stanice jižní Evropy, kde byly většinou zaznamenány dlouhodobé poklesy srážkových úhrnů (Přílohy 13 a 26). Tyto poklesy ale po období 1977–1996 slábnou a postupně se na některých stanicích mění na nárůsty. Ve střední Evropě bylo v polovině pozorovaného období zaznamenáno několik statisticky významných kladných trendů, ale od období 1974–1993 je střední Evropa charakterizována spíše nevýrazným úbytkem srážkových úhrnů. Švýcarská

stanice Saentis se tomuto trendu opět vymyká a zaznamenává i po období 1974–1993 kladné trendy srážkových úhrnů.

7. Diskuze výsledků

Z výsledků mé diplomové práce vyplývá, že během období 1951–2005 nedocházelo v žádné části Evropy a žádném ročním období pouze ke kontinuálnímu nárůstu nebo poklesu tempa klimatické změny. V odborných studiích jsou uváděny trendy pro různé klimatické prvky, nejčastěji však teplotu (průměrnou, minimální, maximální) a srážky (srážkové úhrny, intenzitu srážek, četnost srážkových dnů), jež jsou analyzovány pro celý rok, sezóny nebo někdy i měsíce. Většinou ale úplně chybí podrobnější analýza vývoje těchto trendů v průběhu 2. poloviny 20. století. Z tohoto důvodu může být porovnání mých výsledků s jinými studii jen značně omezené. Pro lepší porovnání s ostatními studii by bylo třeba vypočítat průměrné sezónní trendy za celé pozorované období, což ale nebylo mým cílem. V tabulkách a mapách jsem dokázal zobrazit velké množství trendů za celou Evropu, které jsou vhodné pro sledování vývoje klimatických prvků během pozorovaného období a také pro porovnávání vývoje v různých částech zvoleného území.

Na jaře, v létě a v zimě jsou delší období kladných trendů střídána kratšími obdobími, kdy teploty klesají. Na podzim je klesajících trendů o poznání více. I v tomto období ale najdeme kladné trendy, které se objevují na většině stanic Evropy (výjimku tvoří hlavně stanice východní Evropy) zejména mezi obdobími 1968–1987 a 1973–1992, a dále pak znovu ke konci pozorovaného období. Má bakalářská práce (Maryško, 2011) byla rešerší článků zaměřující se na vývoj klimatu právě na podzim ve 2. polovině 20. století ve střední Evropě. Statisticky nevýznamné trendy nebo někdy i klesající trendy ve 2. polovině 20. století ve střední Evropě v tomto ročním období zjistili například Brázdil et al. (1995). Zajímavé je, že mezi obdobími 1968–1987 a 1973–1992 dochází na podzim a také na jaře k růstu teplot, zatímco v létě a v zimě je toto období charakterizováno převážně klesajícími trendy.

V zimě nastávají v Evropě nejvyšší hodnoty trendů u minimální i maximální teploty. Přesto je v zimním období nejméně statisticky významných trendů, což je pravděpodobně způsobeno vysokou meziroční variabilitou. Když jsem v bakalářské práci popisoval výsledky zimních trendů průměrné teploty pro období 1976–1999 (Klein Tank et al., 2005), kde jsou uváděny trendy přes 3 °C/10 let, domníval jsem se, že došlo k chybě v desetinné čárce. Nyní ale výsledky této studie, která použila také data z ECA&D, mohu potvrdit.

Na jaře dochází dle mých výsledků od období 1970–1989 k růstu teplotních trendů ve střední, západní a jihozápadní Evropě. Výrazný růst trendů minimální a maximální teploty po tomto dvacetiletí zaznamenaly tyto oblasti i v létě, přičemž nejvýraznější byl v celé jižní Evropě, kde dominovaly statisticky významné trendy. V zimě kladné trendy nastávají oproti jaru a létu s mírným zpožděním. Ve střední Evropě toto zvýšení hodnot teplotních trendů můžeme vysvětlit velmi teplými roky v 90. letech 20. století a na začátku 21. století, které do výpočtu trendů po období 1970–1989 začínají vstupovat. Tendenci k vyšším průměrným hodnotám teplotních ukazatelů pro různé části střední Evropy v 90. letech dokumentují Appenzeller et al. (2008), Degirmendžić et al. (2004) nebo Brázdil et al. (2009). Přítomnost vysokých průměrných ročních teplot na přelomu 20. a 21. století potvrzuje také Scherrer et al. (2005)

Vývoj trendů minimální a maximální teploty je ve střední Evropě ve všech ročních obdobích velice podobný. Výjimkou jsou švýcarské stanice, které mají hodnoty dvacetiletých trendů minimální a maximální teploty v první polovině značně rozdílné a většinou dokonce protichůdné. Druhá polovina trendů na těchto stanicích již odpovídá celkovému středoevropskému vývoji klimatu a trendy minimální a maximální teploty jsou si navzájem také velmi podobné, jako je tomu v ostatních státech této části Evropy. Mé výsledky trendů minimální a maximální teploty pro zimu se poměrně dobře shodují s Brázdilem et al. (1996), kteří pozorovali ve střední Evropě za období 1951–1990 nejvyšší, ale zároveň statisticky nevýznamné trendy těchto teplotních ukazatelů. Toto platí i pro zbytek Evropy s výjimkou Středozeří. Nejnižší trendy pro minimální teplotu podle Brázdila et al. (1996) nastávají v létě, přičemž tento výsledek opět vyplývá z kratšího pozorovaného období. Trendy pro období končící po roce 1990 jsou totiž až na výjimky kladné a velice často statisticky významné. Zatímco v létě, na podzim a v zimě jsou trendy pro střední Evropu prostorově poměrně jednotné, na jaře se vývoj trendů postupně mění od jihozápadu po severovýchod Evropy, což můžeme pozorovat i na středoevropských stanicích. Teplotní trendy na německých a švýcarských stanicích mají podobný vývoj, jako se odehrává v západní Evropě a na Pyrenejském poloostrově, kdežto východní část střední Evropy se svým vývojem teplotních trendů podobá spíše východní polovině Evropy.

Trendy srážkových úhrnů často nemají stejný nebo alespoň podobný vývoj ani v rámci jednotlivých regionů, do kterých byly stanice rozděleny v tabulkách. Vysoké trendy srážkových úhrnů, které jsou udávány v mm/10 let, nastávají zpravidla na stanicích s vysokými průměrnými srážkovými úhrny. Klein Tank et al. (2002b) zvolil prezentaci

trendů srážek v relativních hodnotách (%/10 let). Dá se předpokládat, že tento způsob prezentace trendů srážek by v mých grafech vedl k jednoduššímu zobrazení, protože by pravděpodobně nevznikly tak výrazné rozdíly ve velikosti trendů mezi stanicemi jako u absolutních hodnot (mm/10 let). Rozsah hodnot na ose y musel být v mém případě kompromisem, aby nižší trendy na grafech úplně nezanikaly a zároveň se vysoké trendy srážkových úhrnů do grafů vůbec vešly, což se ne vždy podařilo.

Ve střední Evropě jsou trendy srážkových úhrnů ve všech ročních obdobích pro většinu stanic nevýrazné, statisticky nevýznamné a poměrně značně proměnlivé. Vysoké trendy se vyskytují zejména na alpských stanicích a také na německé stanici Brocken (1142 m n. m.). Z Maďarska byla vybrána pouze jedna klimatická stanice (Pecs Pogany), která navíc nemá v databázi ECA&D řadu srážkových úhrnů. Z tohoto důvodu výsledky studie Domonkos a Tar (2004), kde byl zjištěn pro střední Evropu výjimečný, statisticky významný klesající trend průměrných roční úhrnů srážek za celé 20. století, nemohu vyvrátit ani potvrdit.

Ve Středomoří jsou letní průměrné srážkové úhrny nízké, což se projevuje i na nízkých absolutních hodnotách trendů v tomto období. V zimě jsou trendy o poznání výraznější a převažuje pokles srážkových úhrnů. Ten nastává i pro trendy zahrnující období od konce 80. let, ve kterém podle Hurrell et al. (2004) probíhala kladná fáze NAOI, a mohla by tedy souviset s poklesem srážek. Ke konci pozorovaného období 1951–2005 se ale tyto poklesy na některých stanicích začínají měnit na rostoucí trendy.

8. Závěr

V odborných studiích jsou běžně počítány trendy pro celé období 2. poloviny 20. století, kterými však nemůžeme odhalit časový vývoj trendů, a z tohoto důvodu ani nedokážeme zjistit, zda se rychlost změny klimatu během pozorovaného období nějakým způsobem mění. Cílem mé práce bylo podrobně analyzovat vývoj sezónních změn klimatu v čase během 2. poloviny 20. století. Použil jsem k tomu 122 stanic z evropské databáze ECA&D, pro které jsem spočítal klouzavé 20leté trendy minimální teploty, maximální teploty a srážkových úhrnů, posouvané o jeden rok. Jednalo se o velké množství dat, které nebylo jednoduché přehledně zobrazit. Přesto se domnívám, že se to nakonec podařilo a prezentace výsledků pomocí tabulek a map zvláště pro jednotlivé klimatické prvky a sezóny je dostatečně názorná.

Interpretace výsledků byla vcelku obtížná, protože trendy jsou v čase a prostoru poměrně značně proměnlivé. Nemůžeme proto obecně říci, že by v nějaké části Evropy docházelo ke kontinuálnímu zrychlování nebo zpomalování změny klimatu. Z pohledu teplotních trendů dochází na většině stanic ke konzistentnímu vývoji maximální a minimální teploty. Potvrdilo se, že nejméně se oteplujícím obdobím je podzim, kdy k poklesům teploty docházelo v první polovině pozorovaného období 1951–2005 na většině stanic Evropy. Naopak nejvyšší 20leté teplotní trendy se vyskytují v zimním období, přesto se kvůli velké meziroční variabilitě v této sezóně nachází nejmenší počet statisticky významných trendů. Variabilita trendů srážkových úhrnů během 2. poloviny 20. století je ve všech ročních obdobích také vysoká a vývoj trendů je často odlišný i mezi stanicemi v jednotlivých částech Evropy. U trendů srážek proto nelze příliš mluvit o nějakém obecném vývoji. Trendy srážkových úhrnů jsou uváděny v absolutních hodnotách (mm/10 let). Nejvyšší i nejnižší hodnoty proto nastaly zejména na stanicích, kde jsou průměrné srážkové úhrny v dané sezóně nejvyšší.

Pro další zkoumání změny klimatu by se daly využít i další klimatické prvky z databáze ECA&D, u kterých ale bude obtížnější najít dostatečné množství stanic rovnoměrně rozmístěných po celé Evropě, a to zejména kvůli vyššímu výskytu chyb a chybějících údajů v řadách těchto klimatických prvků a nižšímu počtu stanic zaznamenávajících tyto prvky. Z těchto důvodů by také pravděpodobně nebylo možné uplatnit přísná kritéria výběru stanic, uplatněná v této práci, podle kterých se při kratší době pozorování stanice úplně vyřadí. Interpretace výsledků z klouzavých trendů dalších

klimatických prvků by byla velmi zajímavá, ale kvůli nedostatku dat také značně omezená.

Věřím, že výsledky mé práce díky detailnímu rozboru vývoje teplotních a srážkových trendů ve 2. polovině 20. století mají potenciál celkově přispět k lepšímu pochopení vývoje klimatu a to nejen ve střední Evropě, ale vzhledem k rozsahu zpracovaných dat i v dalších částech Evropy.

9. Literatura a internetové zdroje

- ALEXANDROV, V. (2000): Climate variability in Bulgaria during the 20th century. *Prace Geograficzne*, 107, Cracow s. 151–156
- APPENZELLER, CH., BEGERT, M., ZENKLUSEN, E., SCHERRER, S. (2008): Monitoring climate at Jungfrauoch in the high Swiss Alpine region. *Science of the Total Environment*, s. 262–268
- BRÁZDIL, R., CHROMÁ, K., DOBROVOLNÝ, P., TOLASZ, R. (2009): Climate fluctuations in the Czech Republic during the period 1961–2005. *International Journal of Climatology*, Vol. 29, s. 223–242
- BRÁZDIL, R., DOBROVOLNÝ, P., ELLEDER, L., KAKOS, V., KOTYZA, O., KVĚTOŇ, V., MACKOVÁ, J., MÜLLER, M., ŠTEKL, J., TOLASZ, R., VALÁŠEK H. (2005): Historické a současné povodně v České republice. Masarykova Univerzita/Český hydrometeorologický ústav, Brno/Praha, 369 s.
- BRÁZDIL, R., BUDÍKOVÁ, M., AUER, I., BÖHM, R., CEGNAR, T., FAŠKO, P., LAPIN, M., GAJIC–ČAPKA, M., ZANINOVIĆ, K., KOLEVA, E., NIEDZWIEDZ, T., USTRNUL, Z., SZALAI, S., WEBER, R. O. (1996): Trends of maximum and minimum daily temperatures in central and southeastern Europe. *International Journal of Climatology*, Vol. 16, s. 765–782
- BRÁZDIL, R., BUDÍKOVÁ, M., FAŠKO, P., LAPIN, M. (1995): Fluctuation of maximum and minimum air temperatures in the Czech and the Slovak Republics. *Atmospheric Research*, 37, s. 53–65
- CEPPI, P., SCHERRER, S. C., FISCHER, A. M., APPENZELLER, CH. (2012): Revisiting Swiss temperature trends 1959–2008. *International Journal of Climatology*, 32, s. 203–213
- DEGIRMENDŽIČ, 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, s. 291–310

- DOMONKOS, P., TAR, K. (2003): Long-term changes in observed temperature and precipitation series 1901–1998 from Hungary and their relations to larger scale changes. *Theoretical and Applied Climatology*, 75, s. 131–147
- ECA&D (EUROPEAN CLIMATE ASSESSMENT & DATASET) [online]. Dostupné z WWW: <<http://eca.knmi.nl>>
- EUROSTAT – EUROPEAN COMMISSION [online]. Dostupné z WWW: <<http://epp.eurostat.ec.europa.eu>>
- FRANKE, J., GOLDBERG, V., EICHELMANN, U., FREYDANK, E., BERNHOFER, CH. (2004): Statistical analysis of regional climate trends in Saxony, Germany, *Climate Research*, 27, s. 145–150
- HURRELL, J. W., HOERLING, M. P., PHILLIPS A. S., XU, T. (2004): Twentieth century North Atlantic climate change. Part 1: Assessing determinism, *Climate Dynamics*, 23(3–4), s. 371–389, DOI:10.1007/s00382-004-0432-y
- HUTH, R. (2006): A method for finding the station where climatic trends are most representative for a region. *International Journal of Climatology*, 26, s. 523–530
- IPCC (2007): *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press: Cambridge, UK.
- KLEIN TANK, A. M. G., KÖNNEN, G., P., SELTEN, F. M. (2005): Signals of anthropogenic influence on European warming as seen in the trend patterns of daily temperature variance. *International Journal of Climatology*, 25, s. 1–16
- KLEIN TANK, A. M. G., WIJNGAARD, J., VAN ENGELN, A. (2002a): Climate of Europe: Assessment of observed daily temperature and precipitation extremes. KNMI, 36 s. Dostupné z: <http://eca.knmi.nl/documents/ECAreportHighRes.pdf>

KLEIN TANK, A. M. G., WIJNGAARD J. B., KÖNNEN G. P., BÖHM R., DEMARÉE, G., GOCHEVA, A., MILETA M., PASHIARDIS, S., HEJKRLIK, L., KERNHANSEN, 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., MIETUS, 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. (2002b). Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *International Journal of Climatology*, 22, s. 1441–1453. Data dostupná z: <http://www.ecad.eu/>.

KLOK, E. J., KLEIN TANK, A. M. G. (2009): Updated and extended European dataset of daily climate observations. *International Journal of Climatology*, 29, s. 1182–1191.

KOZUCHOWSKI, K., ZMUDZKA, E. (2001): The warming in Poland: the range and seasonality of the changes in air temperature in second half of the 20th century. *Przegląd Geofizyczny*, 1–2, 81–90

LIEBMANN, B., DOLE, M. R., JONES, CH., BLADÉ, I., ALLURED D. (2010): Influence of choice of time period on global surface temperature trends estimates. *Bulletin of the American Meteorological Society*, s. 1485–1491, DOI:10.1175/2010BAMS3030.1

MARYŠKO, K. (2011): Změny klimatických prvků ve střední Evropě a ČR od poloviny 20.století s důrazem na podzim. *Bakalářská práce*, Univerzita Karlova v Praze, Praha, 68 s.

PROJECT TEAM OF ECA&D (2013): Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD). Číslo projektu: EPJ029135. Dostupné z: <http://eca.knmi.nl/documents/atbd.pdf>.

- PIELKE R. A., STOHLGREN, T., SCHELL, L., PARTON, W., DOESKEN, N., REDMOND, K., MOENY, J., MCKEE, T., KITTEL, T. G. F. (2002): Problems in evaluating regional and local trends in temperature: an example from eastern Colorado, USA. *International Journal of Climatology*, 22, s. 421–434
- SCHERRER, S. C., APPENZELLER, CH., LINIGER, M. A., SCHÄR, CH. (2005): European temperature distribution changes in observations and climate change scenarios. *Geophysical Research Letters*, 32, L19705. DOI: 10.1029/2005GLO24108
- SOLOMON, S., QIN D., MANNING, M., CHEN, Z., MARQUIS, M., AVERYT, K. B., TIGNOR, M., MILLER, H. L. (eds.) (2007): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 996 s., Cambridge University Press, Cambridge, U. K.
- ŠTĚPÁNEK, P. (2005): Variabilita teploty vzduchu na území České republiky v období přístrojových měření. *Disertační práce*, 137 s., Masarykova univerzita v Brně, Přírodovědecká fakulta, Brno
- VAUTARD, R., YIOU, P. (2009): Control of recent European surface climate change by atmospheric flow, *Geophysical Research Letters*, Vol. 36, L22702, doi:10.1029/2009GL040480
- VAUTARD, R., YIOU P., VAN OLDENBORGH G. J. (2009): Decline of fog, mist and haze in Europe over the past 30 years. *Nature Geoscience*, 2, s. 115–119, DOI:10.1038/ngeo414
- WIBIG, J., GLOWICZKI B. (2002): Trends of minimum and maximum temperature in Poland. *Climate Research*, 20, s. 123–133
- WIJNGAARD, 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, s. 679–692

10. Seznam příloh

TABULKY

Příloha 1a, Seznam evropských stanic se zeměpisnými souřadnicemi, nadmořskou výškou a dostupností klimatických prvků

Příloha 1b, Seznam evropských stanic se zeměpisnými souřadnicemi a nadmořskou výškou, které byly vyřazeny kvůli nesplnění požadovaných kritérií pro teplotní ani srážkové trendy

Příloha 2., Trendy průměrné minimální teploty v období 1951–2005 – jaro

Příloha 3., Trendy průměrné minimální teploty v období 1951–2005 – léto

Příloha 4., Trendy průměrné minimální teploty v období 1951–2005 – podzim

Příloha 5., Trendy průměrné minimální teploty v období 1951–2005 – zima

Příloha 6., Trendy průměrné maximální teploty v období 1951–2005 – jaro

Příloha 7., Trendy průměrné maximální teploty v období 1951–2005 – léto

Příloha 8., Trendy průměrné maximální teploty v období 1951–2005 – podzim

Příloha 9., Trendy průměrné maximální teploty v období 1951–2005 – zima

Příloha 10., Trendy srážkových úhrnů v období 1951–2005 – jaro

Příloha 11., Trendy srážkových úhrnů v období 1951–2005 – léto

Příloha 12., Trendy srážkových úhrnů v období 1951–2005 – podzim

Příloha 13., Trendy srážkových úhrnů v období 1951–2005 – zima

MAPY

Příloha 14., Vybrané stanice z databáze ECA&D pro výpočet teplotních a srážkových trendů

Příloha 15., Trendy průměrné minimální teploty v období 1951–2005 – jaro

Příloha 16., Trendy průměrné minimální teploty v období 1951–2005 – léto

Příloha 17., Trendy průměrné minimální teploty v období 1951–2005 – podzim

Příloha 18., Trendy průměrné minimální teploty v období 1951–2005 – zima

Příloha 19., Trendy průměrné maximální teploty v období 1951–2005 – jaro

Příloha 20., Trendy průměrné maximální teploty v období 1951–2005 – léto

Příloha 21., Trendy průměrné maximální teploty v období 1951–2005 – podzim

Příloha 22., Trendy průměrné maximální teploty v období 1951–2005 – zima

Příloha 23., Trendy srážkových úhrnů v období 1951–2005 – jaro

Příloha 24., Trendy srážkových úhrnů v období 1951–2005 – léto

Příloha 25., Trendy srážkových úhrnů v období 1951–2005 – podzim

Příloha 26., Trendy srážkových úhrnů v období 1951–2005 – zima