

**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE**

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzické geografie a geoekologie

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Geografie a kartografie



Veronika Macháčková

**ZRYCHLUJÍ NEBO ZPOMALUJÍ SE ZMĚNY TEPLoty  
V ČR?**

*Does temperature change in the Czech Republic speed up or slow  
down?*

Bakalářská práce

Praha 2012

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Radan Huth, DrSc.

**Prohlášení:**

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

V Praze dne 24. 8. 2012

.....

podpis

**Poděkování:**

Ráda bych poděkovala především svému vedoucímu práce RNDr. Radanu Huthovi, DrSc. za cenné rady a připomínky v průběhu psaní bakalářské práce.

## **Zadání bakalářské práce**

Práce má za cíl stanovit změny (trendy) teploty na stanicích v ČR v uplynulých cca 50 letech, a to pro překrývající se kratší (15 až 25-letá) období, což umožní stanovit, jak se změna teploty v ČR mění v čase – zda se zrychluje, zpomaluje, či nemění. Součástí práce bude i rešerše problematiky klimatické změny v ČR a blízkém okolí.

### **Cíle práce**

1. Seznámit se s problematikou změny klimatu v regionálním měřítku a s literaturou týkající se pozorovaných změn klimatu v oblasti střední Evropy, s důrazem na teplotu a na území ČR.
2. Zpracovat rešerši literatury na toto téma.
3. Stanovit pomocí klouzavých trendů, zda se růst teploty v ČR v průběhu 2. poloviny 20. století urychluje či nikoliv.

### **Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje**

Metody: Výpočet klouzavých trendů teploty (parametrickým postupem) pro překrývající se 15 až 25letá období.

Zájmové území: ČR

Datové zdroje: měření teploty na stanicích v ČR pro období 1961–2005

### **Základní literatura**

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

Huth R., Pokorná L., 2005: Simultaneous analysis of climatic trends in multiple variables: an example of application of multivariate statistical methods. *Int. J. Climatol.*, 25, 469-484

Moliba J.C., Huth R., Beranová R., 2006: Roční chod trendů klimatických prvků v ČR. *Meteorol. zpr.*, 59, 129-134

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

Datum zadání: 19. 10. 2011

Podpis studenta

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá změnami teploty a jejím hlavním cílem je zjištění, zda se změny teploty v ČR zrychlují nebo zpomalují. V rešeršní části je popsán vývoj vybraných teplotních ukazatelů ve světě, v Evropě a ve střední Evropě. V druhé části jsem analyzovala denní průměrné teploty ze 17 klimatických stanic v ČR v období 1961–2010. Z dat jsem spočítala trendy průměrné roční teploty a průměrných sezónních teplot zvolených stanic (průměr ze všech 17 stanic) pro období 1961–2010 a dvě dílčí období 1961–1985 a 1986–2010. Dále jsem zjišťovala sezónní trendy pro jednotlivé stanice (trendy jsou počítány pro klouzavá 25letá období, navzájem posunutá o jeden rok). V práci jsou také ukázány klouzavé průměry průměrné teploty pro jednotlivá roční období na jednotlivých stanicích. Mnou získané výsledky jsou porovnány se studiiemi v rešeršní části. Ukazuje se, že s výjimkou zimy trendy teploty v ČR rostou, tj. buď se oteplování zrychluje (na jaře a v létě) nebo se mírné ochlazování mění v oteplování (na podzim).

Klíčová slova: *průměrná teplota, sezónní teplota, maximální teplota, minimální teplota, trend, ČR*

## **Abstract**

This thesis deals with changes in temperature and its main objective is to determine whether the temperature changes in the Czech Republic speed up or slow down. The review section describes the development of selected indicators of temperature in the world, in Europe and Central Europe. In the second part I analyzed the mean daily temperature from 17 weather stations in the Czech Republic in the period 1961–2010. I calculated from the data the mean annual temperature trends and mean seasonal temperatures trends of selected stations (average of all 17 stations) for the period 1961–2010 and two sub-periods 1961–1985 and 1986–2010. Furthermore I examined seasonal trends for each station (I calculate trends for the moving 25 year periods, mutually shifted by one year). The work also shows moving average mean temperature for each season at each station. The results acquired are compared with studies in the review part of my work. Result indicate that, except for winter, temperature trends in the Czech Republic have been increasing, i.e., either the warming accelerates (in spring and summer) or a slight cooling turns into warming (in autumn).

Keywords: *average temperature, seasonal temperature, maximum temperature, minimum temperature, trend, The Czech Republic*

# OBSAH

<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>7</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>8</b>
<b>1. Úvod .....</b>	<b>10</b>
<b>2. Změny teplotních ukazatelů ve světě .....</b>	<b>11</b>
2.1 Změny průměrné teploty .....	11
2.2 Změny maximální teploty, minimální teploty a denní teplotní amplitudy .....	13
<b>3. Změny teplotních ukazatelů v Evropě .....</b>	<b>16</b>
3.1 Změny průměrné teploty .....	16
3.2 Změny maximální teploty, minimální teploty a denní teplotní amplitudy .....	19
3.3 Změny teplotních extrémů .....	20
<b>4. Změny teplotních ukazatelů ve střední Evropě .....</b>	<b>24</b>
4.1 Polsko .....	27
4.2 Německo .....	29
4.3 Švýcarsko .....	33
4.4 Česká republika .....	35
4.5 Slovensko .....	39
4.6 Maďarsko .....	40
4.7 Shrnutí .....	41
<b>5. Analýza vývoje teploty v ČR, 1961–2010 .....</b>	<b>43</b>
5.1 Data a metody .....	43
5.2 Výsledky .....	47
5.3 Diskuze .....	51
5.4 Závěr .....	52
<b>6. Závěr .....</b>	<b>53</b>
<b>Seznam použité literatury a zdrojů .....</b>	<b>55</b>
<b>Přílohy .....</b>	<b>58</b>

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1	Průměrné změny denních extrémních teplotních ukazatelů v jihozápadním Německu za období 1958–2001 .....	33
Tab. 2	Sezónní lineární teplotní trendy v Neuchatelu (průměrná, minimální a maximální teplota) za období 1901–2000 a 1975–2004.....	35
Tab. 3	Lineární trendy vybraných teplotních charakteristik v České republice v období 1961–1992 .....	35
Tab. 4	Trendy denní maximální, minimální teploty a DTR za období 1949-1980 a 1961-1998 v zimě a létě na Milešovce a na dvou pražských stanicích .....	38
Tab. 5	Lineární trendy vybraných teplotních charakteristik na Slovensku v období 1961–1992 .....	39
Tab. 6	Seznam stanic s jejich nadmořskými výškami .....	43
Tab. 7	Trendy průměrných sezónních teplot ČR pro období 1961–1985, 1986–2010 a 1961–2010.....	48

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1	Vývoj globální průměrné teploty za období 1850–2005 .....	12
Obr. 2	Lineární trend ročních teplot ve světě za období 1901–2005 a 1979–2005 ....	13
Obr. 3	Lineární trend sezónní teploty ve světě za období 1979–2005 .....	13
Obr. 4	Trendy roční maximální a minimální teploty a DTR za období 1950–1993...	14
Obr. 5	Odchytky maximální, minimální teploty a DTR za období 1950–2004 pro 71 % pevniny .....	15
Obr. 6	Trendy roční průměrné teploty v Evropě za období 1946–1999 .....	16
Obr. 7	Roční průměrná teplota na 15 vybraných stanicích v Evropě .....	17
Obr. 8	Trendy roční průměrné teploty v Evropě za období 1946–1975 a 1976–1999 .....	18
Obr. 9	Trendy průměrné teploty v Evropě v období 1976–1999 pro jednotlivá roční období .....	19
Obr. 10	Trendy DTR v Evropě v období 1946–1999 .....	20
Obr. 11	Trendy ročního počtu mrazových a letních dnů v Evropě za období 1946–1999 .....	21
Obr. 12	Trendy ročního počtu chladných a teplých nocí v Evropě za období 1946–1999 a 1976–1999 .....	23
Obr. 13	Teplotní extrémní ukazatele 6 stanic ve střední Evropě za období 1901–1999 .....	26
Obr. 14	Průměrné roční teploty v Polsku během období 1951–2000 .....	27
Obr. 15	Průměrná denní minimální teplota na stanicích v Polsku a její lineární trend za období 1951–1998 .....	28
Obr. 16	Průměrná DTR na stanicích v Polsku a její lineární trend za období 1951–1998 .....	29
Obr. 17	Trendy průměrné teploty na podzim a v zimě v Sasku za období 1951–2000 .....	30
Obr. 18	Sezónní změny 90. percentilu maximální teploty na německé straně povodí Rýna za období 1958–2001 .....	31
Obr. 19	Časový průběh 90. percentilu denní maximální teploty v zimě a v létě a jeho lineární trend v jihozápadním Německu za období 1958–2001 .....	32



Obr. 20	Časový průběh 10. percentilu denní minimální teploty v zimě a v létě a jeho lineární trend v jihozápadním Německu za období 1958–2001.....	32
Obr. 21	Roční a sezónní trendy průměrné teploty ve Švýcarsku v období 1959–2008 .....	34
Obr. 22	Průměrné a extrémní hodnoty lineárních trendů průměrné teploty, průměrné minimální teploty a průměrné maximální teploty v ČR v období 1961–2005 .....	36
Obr. 23	Výkyvy ročních průměrů průměrné denní, maximální a minimální teploty v ČR v období 1961–2005 .....	37
Obr. 24	Změny průměrné maximální a minimální teploty a DTR na Slovensku v období 1961–1992 .....	40
Obr. 25	Průběh průměrné teploty v létě a v zimě ve třech oblastech Maďarska v období 1901–1998 .....	41
Obr. 26	Poloha jednotlivých stanic.....	44
Obr. 27	Trendy průměrné teploty na jaře pro klouzavá 15, 20 a 25letá období na stanici Holešov.....	46
Obr. 28	Vývoj průměrné roční teploty ČR v období 1961–2010.....	48
Obr. 29	Vývoj průměrných sezónních teplot ČR v období 1961–2010 .....	49
Obr. 30	Klouzavé průměry průměrné teploty na jaře v období 1961–2010 na vybraných stanicích v ČR.....	58
Obr. 31	Klouzavé průměry průměrné teploty v létě v období 1961–2010 na vybraných stanicích v ČR.....	60
Obr. 32	Klouzavé průměry průměrné teploty na podzim v období 1961–2010 na vybraných stanicích v ČR.....	62
Obr. 33	Klouzavé průměry průměrné teploty v zimě v období 1961–2010 na vybraných stanicích v ČR.....	64
Obr. 34	Klouzavé trendy průměrné teploty na jaře v období 1961–2010 na vybraných stanicích v ČR.....	66
Obr. 35	Klouzavé trendy průměrné teploty v létě v období 1961–2010 na vybraných stanicích v ČR.....	68
Obr. 36	Klouzavé trendy průměrné teploty na podzim v období 1961–2010 na vybraných stanicích v ČR.....	70
Obr. 37	Klouzavé trendy průměrné teploty v zimě v období 1961–2010 na vybraných stanicích v ČR.....	72

# 1. Úvod

Změna klimatu se stává, zejména v poslední době, diskutovaným a populárním tématem. Diskuze o tom, zda se růst teploty zrychluje či nikoliv, a zejména o kolik, nás obklopují ze všech stran. Bezpochyby změna klimatu je závažný problém a je velmi důležité vědět, zda se změny teploty zrychlují, zpomalují nebo nemění, a proto jsem se rozhodla zpracovat bakalářskou práci na toto téma.

Bylo publikováno velké množství prací, zabývajících se změnami teploty od druhé poloviny 20. století v různých měřítkách – od globálního přes kontinentální a regionální a ž k lokálnímu – pro nejrůznější oblasti. Prakticky žádná z prací se však nesoustředila na dynamiku změn teploty, tj. na to, zda se změny teploty zrychlují či zpomalují. Cílem předložené bakalářské práce je tuto mezeru aspoň z malé části zaplnit.

Kapitoly 2 až 4 této práce shrnují dosavadní poznatky o pozorovaných změnách teploty v různých prostorových měřítkách – od globálního (kap. 2) přes celou Evropu (kap. 3) po střední Evropu (kap. 4). Kap. 5 obsahuje vlastní analýzu: zkoumám trendy denní průměrné teploty na 17 klimatických stanicích v ČR v období 1961–2010. Zaměřuji se na toto období, protože v něm došlo k výraznému růstu teploty a stejně tak i mnoho studií na změny teploty se zabývá 2. polovinou 20 století, popřípadě začátkem 21. století. Studuji klouzavé průměry průměrné teploty na jednotlivých stanicích v jednotlivých ročních obdobích, trendy průměrné roční teploty zvolených stanic (průměr ze všech 17 stanic), trendy průměrných sezónních teplot zvolených stanic (také průměr ze všech 17 stanic) a trendy průměrných sezónních teplot na jednotlivých stanicích (tyto trendy jsem počítala pro překrývající se kratší období). Závěr (kap. 6) dokumentuje, že získané výsledky umožňují stanovit, zda se změny teploty v ČR zrychlují či nikoliv.

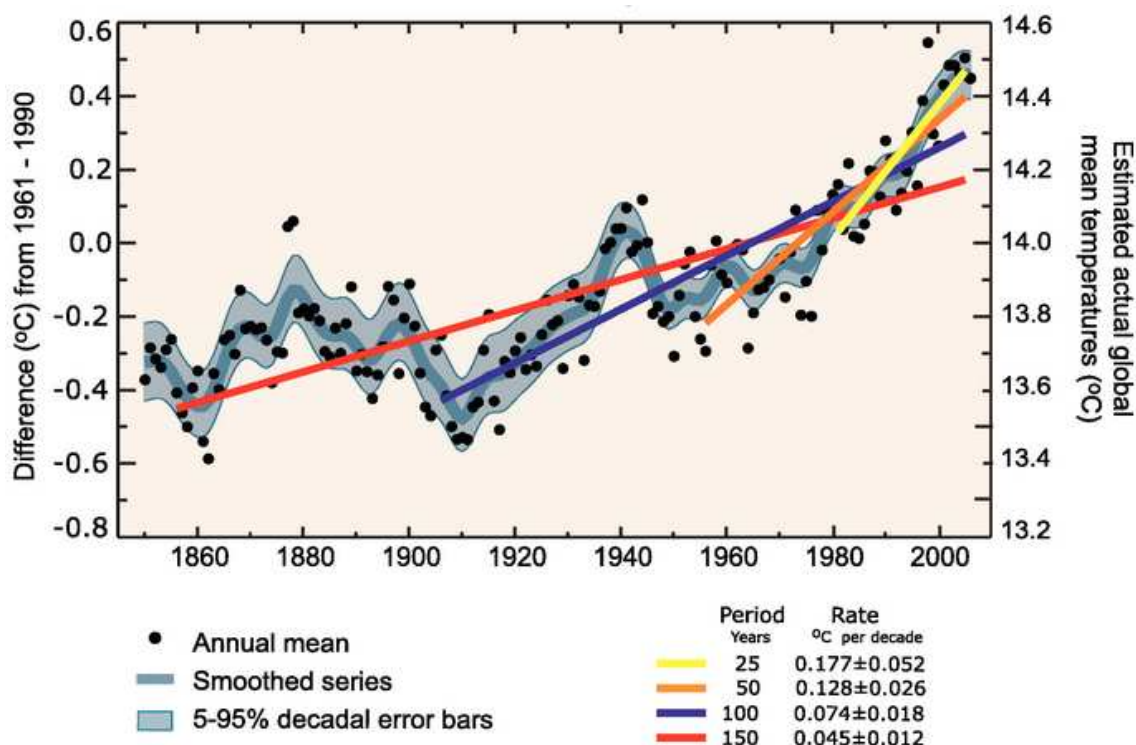
## 2. Změny teplotních ukazatelů ve světě

V této kapitole je uvedeno základní shrnutí vývoje teplotních ukazatelů v globálním měřítku (průměrné teploty, minimální teploty, maximální teploty, denní teplotní amplitudy). To umožní srovnání s vývojem teploty v Evropě a zejména ve střední Evropě.

### 2.1 Změny průměrné teploty

Podle 4. zprávy Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC) (Trenberth et al., 2007) za posledních 100 let (1906–2005) stoupla průměrná globální teplota o 0,74 °C. Růst teploty je zaznamenán od roku 1850, v posledních desetiletích se však zrychluje (obr. 1). Otepluje se povrch pevniny i oceánu. Růst teploty dokládá to, že 11 z 12 nejteplejších let za období 1850–2006 se vyskytlo v posledních 12 letech. Výjimku tvoří rok 1996. Se zvýšením teploty souvisí pozorované změny v kryosféře a v oceánu, jako je úbytek ledovcové hmoty téměř po celém světě, zmenšení rozsahu ledovců (vyjma Antarktidy a Grónska), úbytek sněhové pokrývky v mnoha oblastech severní polokoule a zmenšení rozsahu mořského ledu. S oteplováním také souvisí snížení počtu mrazových dnů ve středních zeměpisných šířkách, zvýšení počtu teplých extrémů a snížení počtu denních studených extrémů.

**Obr. 1: Vývoj globální průměrné teploty za období 1850–2005**

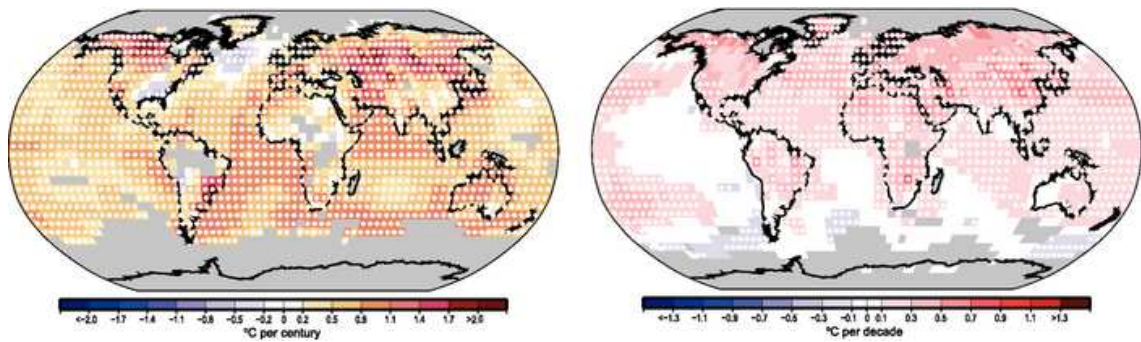


**Poznámka:** Černé tečky značí roční průměrnou teplotu. Levá osa ukazuje odchylky od průměrné teploty v období 1961–1990. Pravá osa ukazuje skutečnou globální průměrnou teplotu. Lineární trendy značí období 1981–2005 (žlutá), období 1956–2005 (oranžová), období 1906–2005 (fialová) a období 1856–2005 (červená). Tlustá modrá čára označuje hlazenou řadu klouzavým průměrem a stínovaná oblast 90% interval spolehlivosti okolo hlazené řady.

**Zdroj:** Trenberth et al., 2007

Rozdíly v trendech ročních průměrných teplot v různých oblastech světa mohou být značné. Na obrázku 2 můžeme vidět lineární trend ročních teplot v období 1901–2005 a 1979–2005. V prvním období nastalo největší oteplování v kontinentální Asii, severozápadní Severní Americe a jihovýchodní Brazílii. Naopak k ochlazení dochází např. v jihozápadní Číně od poloviny 20. století. I trendy sezónních průměrných teplot jsou prostorově různé. V období 1979–2005 nastalo v zimě největší oteplení na západě Severní Ameriky, na severu Evropy a Číny, na jaře v Evropě a severní a východní Asii, v létě v Evropě a severní Africe a na podzim na severu Severní Ameriky, v Grónsku a ve východní Asii (obr. 3) (Trenberth et al., 2007)

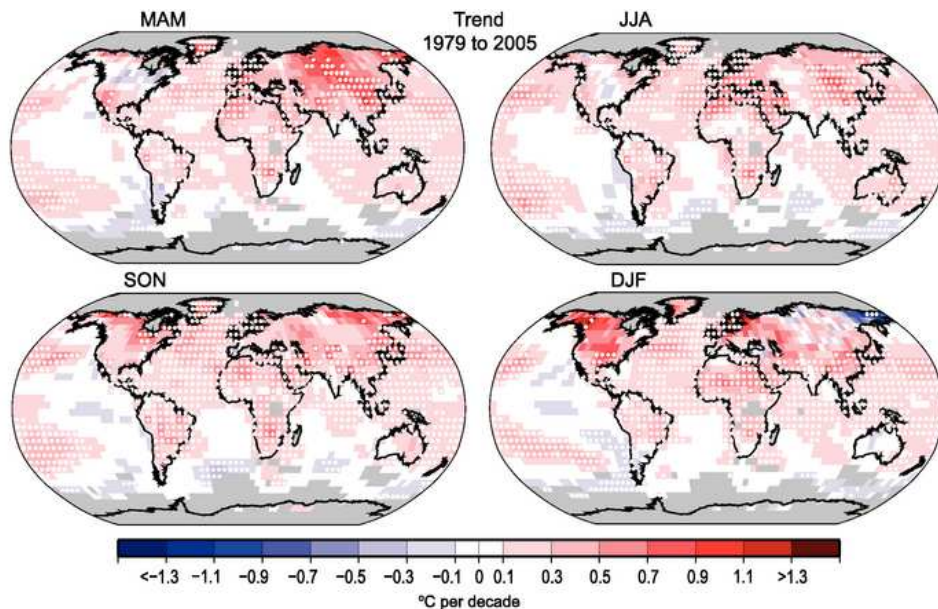
**Obr. 2: Lineární trend ročních teplot ve světě za období 1901–2005 a 1979–2005**



**Poznámka:** Vlevo období 1901–2005 (°C/100 let), vpravo období 1979–2005 (°C/10 let). Šedé oblasti nemají dostatečná data k získání spolehlivých trendů.

**Zdroj:** Trenberth et al., 2007

**Obr. 3: Lineární trend sezónní teploty ve světě za období 1979–2005**



**Poznámka:** MAM = jaro, JJA = léto, SON = podzim, DJF = zima. Trendy jsou ve °C/10let. Šedé oblasti nemají dostatečná data k získání spolehlivých trendů.

**Zdroj:** Trenberth et al., 2007

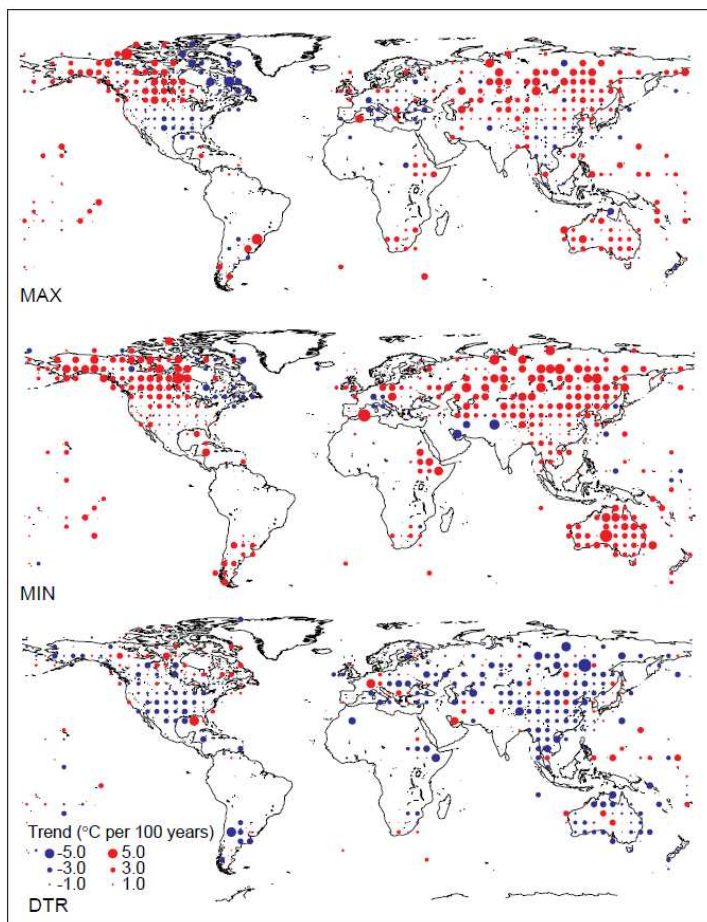
## 2.2 Změny maximální teploty, minimální teploty a denní teplotní amplitudy

Easterling et. al. (1997) uvádí, že růst globální průměrná teploty je doprovázen rozdílnými změnami denní maximální a minimální teploty. Dochází k zmenšení denní teplotní amplitudy (DTR) v důsledku toho, že denní minimální teplota roste rychlejším

tempem (nebo klesá pomaleji) než denní maximální teplota. Jako možné příčiny se uvádějí rostoucí oblačnost nebo růst koncentrací troposférických aerosolů.

Easterling et. al. (1997) analyzovali měsíční průměrné maximální a minimální teploty a DTR na 5 400 stanicích po celém světě za období 1950–1993. Do analýzy zahrnuli 54 % zemského povrchu. Globální trend pro maximální teplotu je 0,88 °C/100 let, pro minimální teplotu 1,86 °C/100 let a pro DTR –0,84 °C/100 let. Maximální teplota se zvýšila ve většině oblastí světa (výjimku tvoří východní Kanada, jih USA, části východní Evropy, jižní Číny a jižní Jižní Ameriky). Minimální teplota se zvýšila také téměř po celém světě (výjimkou je východní Kanada a malé oblasti východní Evropy a Středního Východu), většinou však rostla rychleji než maximální teplota, a proto se DTR snížila ve většině oblastí (vyjma střední Kanady a částí jižní Afriky, jihozápadní Asie, Evropy, Austrálie a západních tropických tichomořských ostrovů) (obr. 4). K největším změnám DTR došlo v zimě a k nejmenším v létě.

**Obr. 4: Trendy roční maximální a minimální teploty a DTR za období 1950–1993**

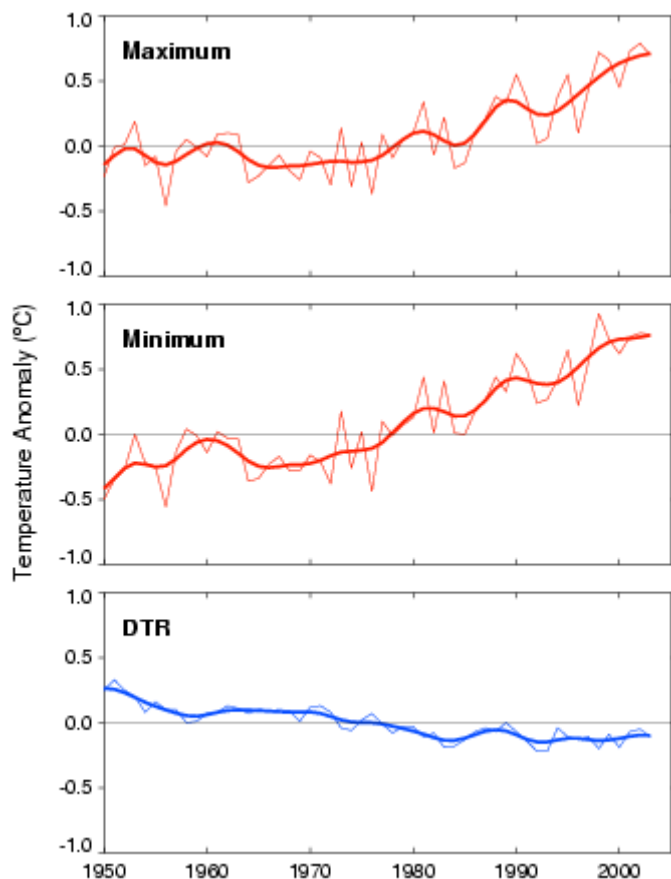


**Poznámka:** Modré tečky značí záporné trendy, červené tečky značí kladné trendy (°C/100 let).

**Zdroj:** Easterling et. al., 1997

Vose et. al. (2005) aktualizovali trendy maximální, minimální teploty a DTR za období 1950–2004. Rozšířili pokrytí na 71 % zemského povrchu. Na obrázku 5 jsou vidět teplotní odchylky všech tří proměnných od průměru 1961–1990 za období 1950–2004. Maximální a minimální teplota stoupá od poloviny 70. let 20. století do současnosti, přičemž minimální teplota rostla i během 50. let. DTR během zkoumaného období obecně klesá. Lineární trend roční maximální teploty je  $0,141\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ let}$ , minimální teploty je  $0,204\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ let}$  a DTR je  $-0,066\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ let}$ . To znamená, že trend maximální teploty se po zahrnutí období 1994–2004 a části pevniny zvětšil o  $0,050\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ let}$ , minimální teploty o  $0,018\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ let}$  a trend DTR se snížil o  $0,018\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ let}$ .

**Obr. 5: Odchylky maximální, minimální teploty a DTR za období 1950–2004 pro 71 % pevniny**



**Poznámka:** Odchylky jsou od průměru za období 1961–1990.

**Zdroj:** Vose et al., 2005

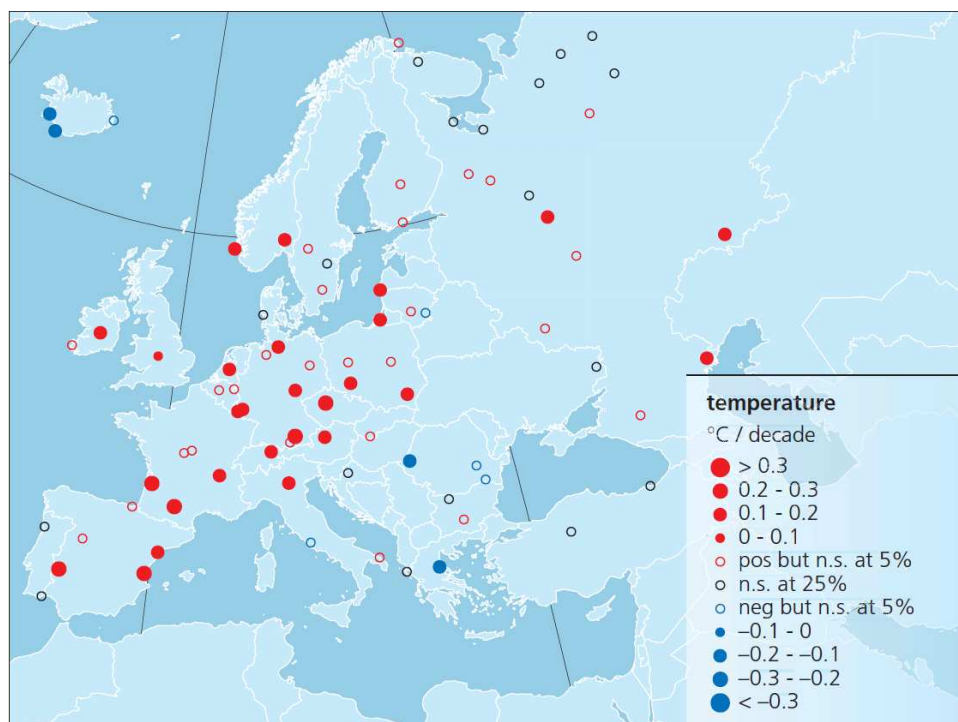
### 3. Změny teplotních ukazatelů v Evropě

V této kapitole se budu zabývat vývojem a změnami teplotních ukazatelů na evropském kontinentu, abych zjistila, zda tyto změny odpovídají změnám ve střední Evropě a také globálním změnám.

#### 3.1 Změny průměrné teploty

Obrázek 6 ukazuje trendy průměrné roční teploty v Evropě za období 1946–1999. 31 % stanic vykazuje statisticky významné oteplení a pouze u 5 % stanic došlo ke statisticky významnému ochlazení (Klein Tank et al., 2002). Celoevropský trend průměrné roční teploty pro toto období je 0,11 °C/10 let (Klein Tank a Können, 2003).

**Obr. 6: Trendy roční průměrné teploty v Evropě za období 1946–1999**



**Poznámka:** Velikost teček odpovídá velikosti trendu za 10 let. Červená značí oteplení, modrá ochlazení. Tečky bez výplně označují, že trendy nejsou významné na 5% hladině (ale na 25% hladině) – červená a modrá a trendy nejsou významné na 25% hladině – černá.

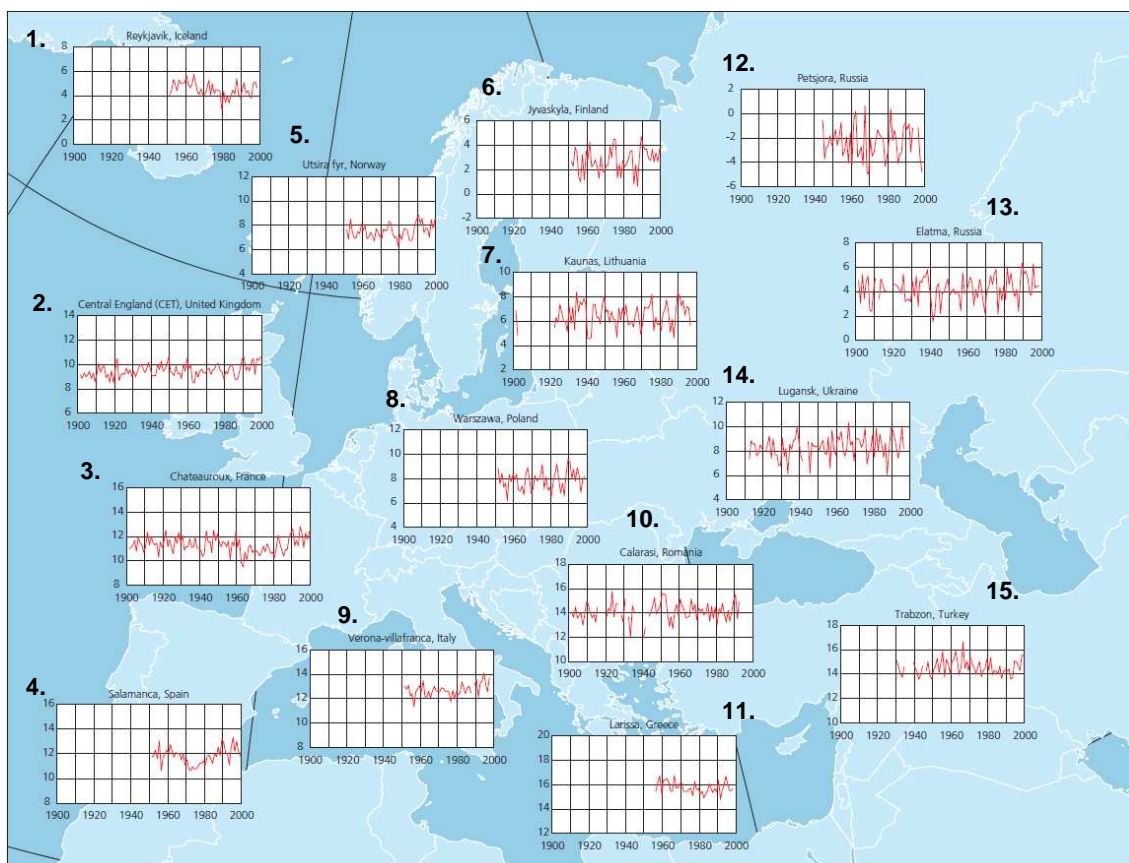
**Zdroj:** Klein Tank et al., 2002

Obrázek 7 znázorňuje časové řady roční průměrné teploty na 15 vybraných stanicích. Je patrné, že v 50., 60. a na začátku 70. let došlo k nepatrnému ochlazení,



zatímco na konci 20. století na mnoha stanicích ke zvýšení teploty. Na základě toho je období 1946–1999 rozděleno na dvě dílčí období: 1946–1975 a 1976–1999 (obr. 8). V prvním období je trend roční průměrné teploty záporný (dochází k ochlazení) v jižní a západní Evropě. K ochlazení nejvíce dochází v létě (Klein Tank et al., 2002). Trend průměrné teploty pro celou Evropu je  $-0,03\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ let}$  (Klein Tank a Können, 2003). Naopak během druhého období dochází k oteplení na většině stanic, přičemž na žádné stanici se nevyskytuje statisticky významný klesající trend. K oteplení dochází jak v létě, tak v zimě (Klein Tank et al., 2002). Trend průměrné teploty pro celou Evropu se zvýšil na  $0,43\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ let}$  (Klein Tank a Können, 2003). Oteplení v období 1976–1999 bylo větší než ochlazení v období 1946–1975, z čehož vyplývá, že v celém období 1946–1999 roční průměrné teploty rostou (Klein Tank et al., 2002).

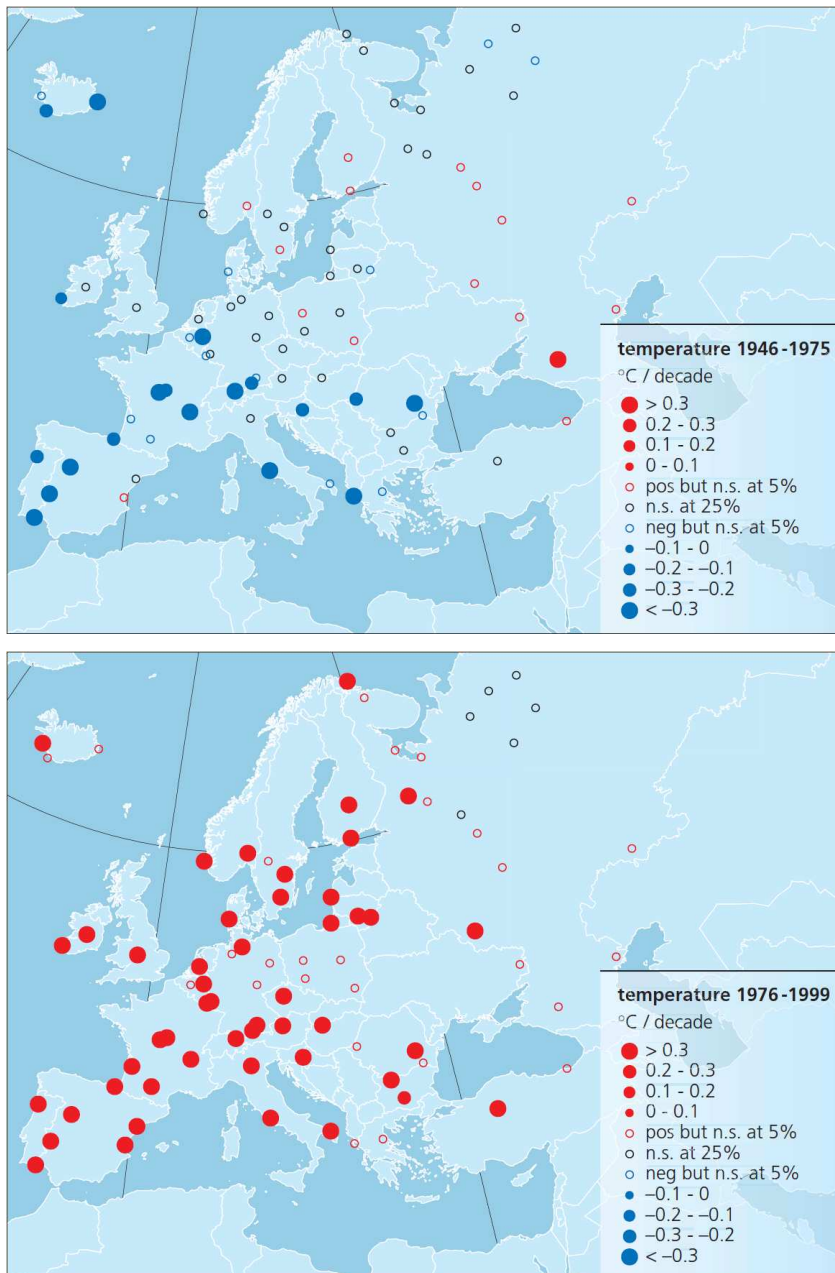
**Obr. 7: Roční průměrná teplota na 15 vybraných stanicích v Evropě**



**Poznámka:** 1. Reykjavík, Island, 2. střední Anglie, Spojené království, 3. Chateauroux, Francie, 4. Salamanca, Španělsko, 5. Utsira fyr, Norsko, 6. Jyväskylä, Finsko, 7. Kaunas, Litva, 8. Varšava, Polsko, 9. Verona, Itálie, 10. Calarasi, Rumunsko, 11. Larissa, Řecko, 12. Pečora, Rusko, 13. Elatma, Rusko, 14. Lugansk, Ukrajina, 15. Trabzon, Turecko.

**Zdroj:** Klein Tank et al., 2002

**Obr. 8: Trendy roční průměrné teploty v Evropě za období 1946–1975 a 1976–1999**

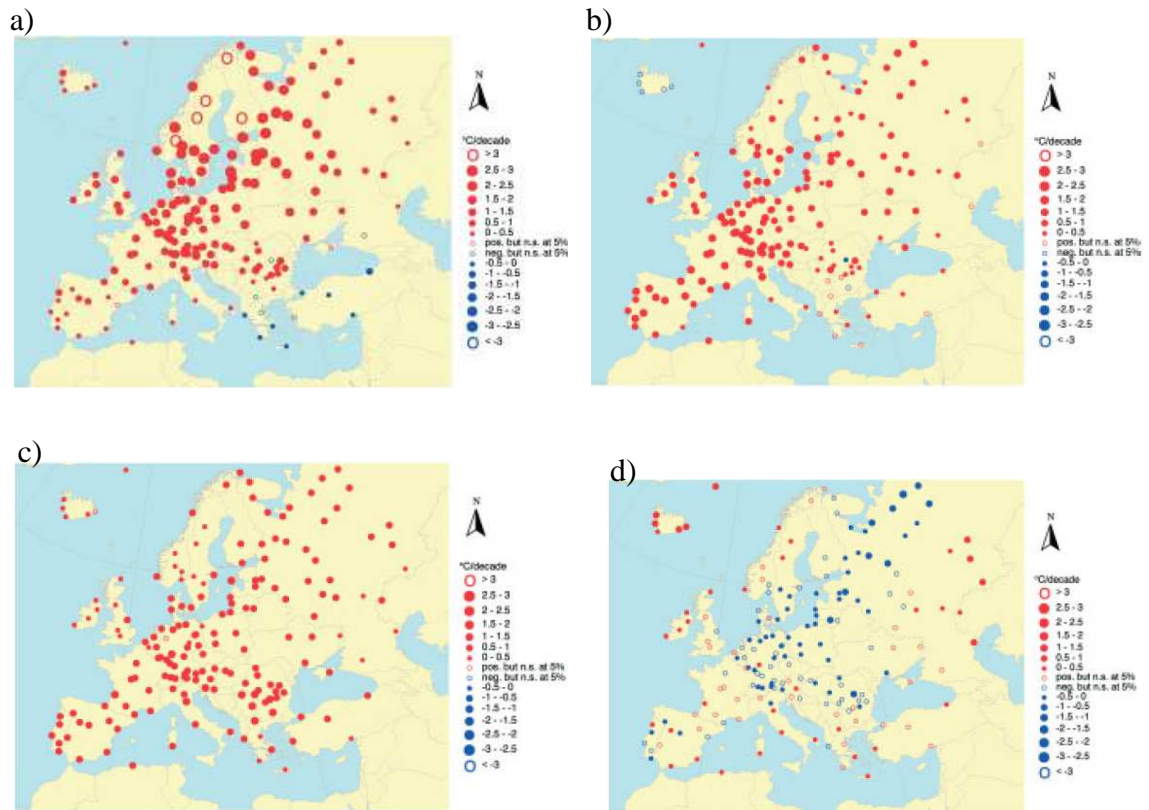


**Poznámka:** Nahoře období 1946–1975, dole období 1976–1999. Ostatní jako u obr. 6.

**Zdroj:** Klein Tank et al., 2002

Klain Tank et al. (2005) se zabývali změnami sezónní průměrné teploty za období 1976–1999 (obr. 9). Největší oteplování bylo pozorováno v zimě v severní Evropě (až o 0,3 °C/10 let). V jižní Evropě došlo jen k mírnému oteplení nebo dokonce k ochlazení (např. v Řecku a Turecku). Na jaře a v létě došlo také k oteplení, i když není tak výrazné jako v zimě, zatímco na podzim nastalo na velké části kontinentu významné ochlazení a to až o 0,1 °C/10 let.

**Obr. 9: Trendy průměrné teploty v Evropě v období 1976–1999 pro jednotlivá roční období**



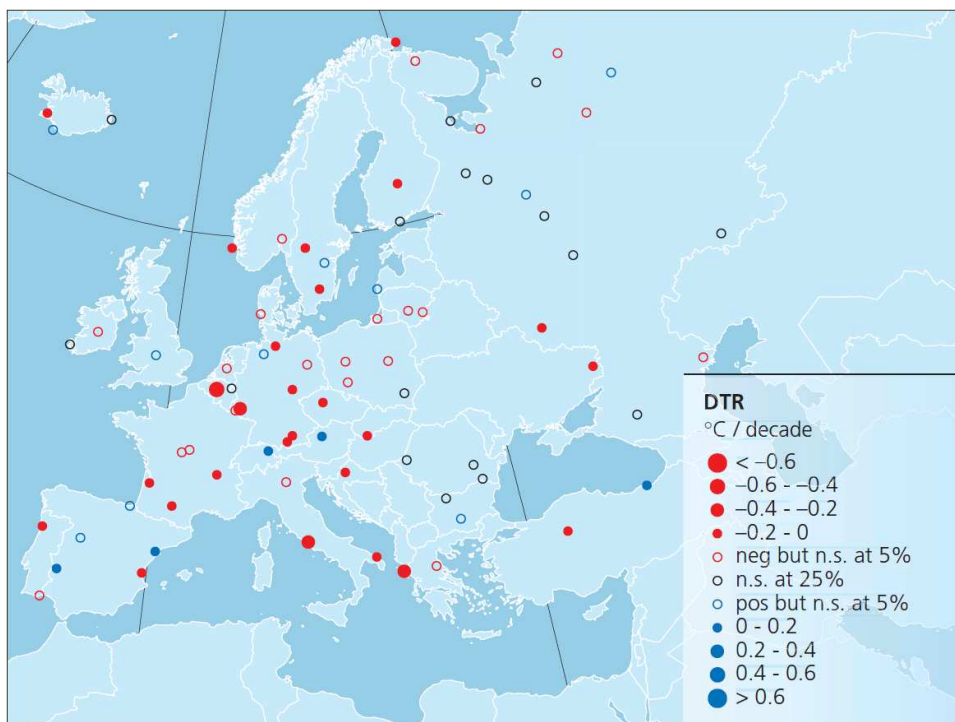
**Poznámka:** a) zima, b) jaro, c) léto, d) podzim. Velikost teček odpovídá velikosti trendu za 10 let. Upozornění: trendy na obrázku jsou 10x větší než ve skutečnosti. Červená značí oteplení, modrá ochlazení. Tečky bez výplně označují trendy, které nejsou statisticky významné na 5% hladině.

**Zdroj:** Klein Tank et al., 2005

### 3.2 Změny maximální teploty, minimální teploty a denní teplotní amplitudy

Stoupající průměrná teplota souvisí se stoupající maximální a minimální teplotou. Nárůst minimální teploty je rychlejší než nárůst maximální teploty, a proto dochází v období 1946–1999 k poklesu DTR na většině stanic (obr. 10). Trendy DTR jsou však na naprosté většině evropských stanic statisticky nevýznamné. (Klein Tank et al., 2002). Celoevropský trend DTR v tomto období je  $-0,04 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ let}$ , ale v období 1976–1999 DTR roste o  $0,03 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ let}$  (Klein Tank a Können, 2003).

**Obr. 10: Trendy DTR v Evropě v období 1946–1999**



**Poznámka:** Velikost teček odpovídá velikosti trendu za 10 let. Červená značí snižování DTR, modrá zvyšování DTR. Ostatní jako u obr. 6.

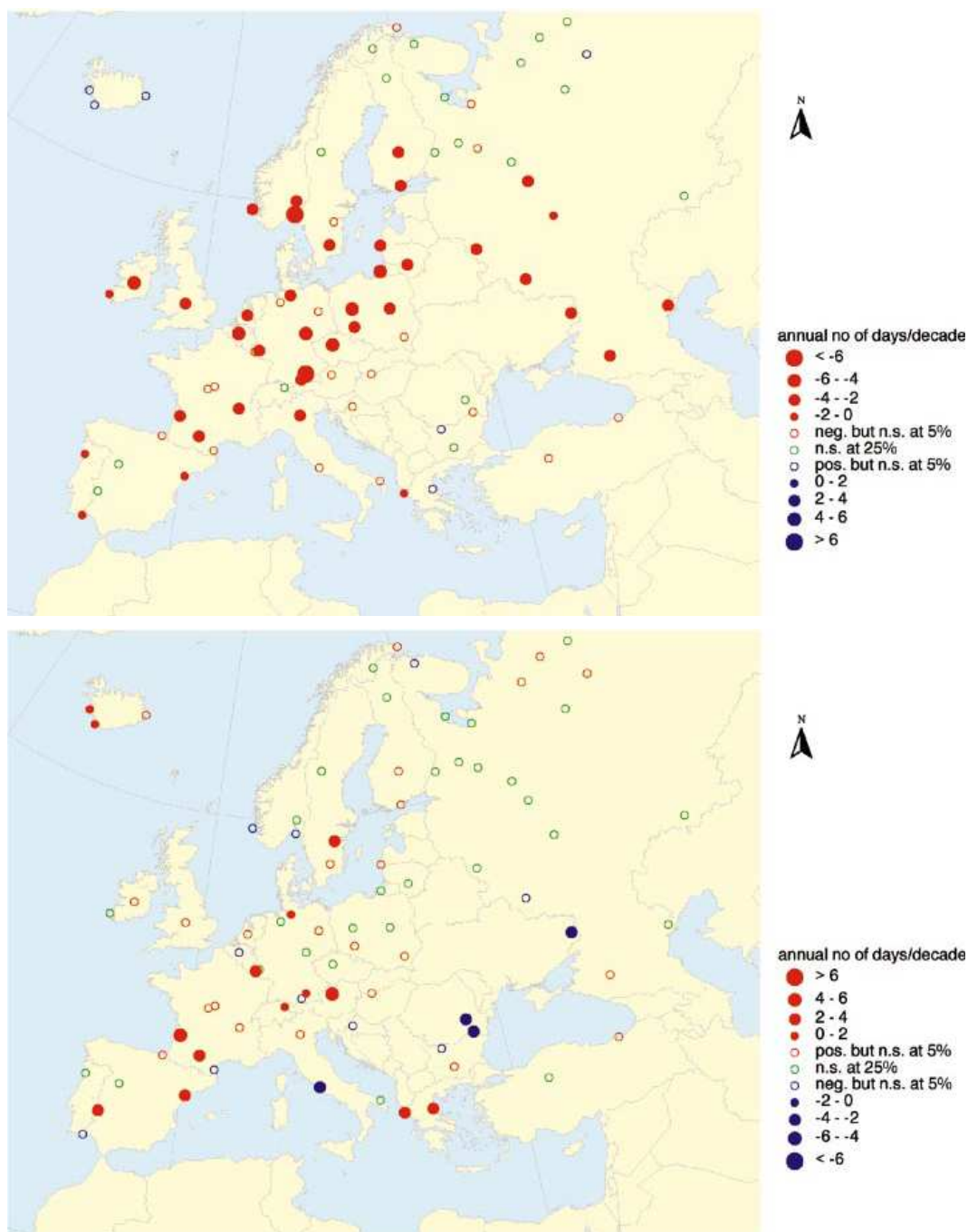
**Zdroj:** Klein Tank et al., 2002

### 3.3 Změny teplotních extrémů

Nyní se budu zabývat teplotními extrémami a jejich změnami. Mezi ukazatele teplotních extrémů patří mimo jiné mrazové dny (dny s minimální teplotou pod  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) a letní dny (dny s maximální teplotou vyšší než  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Tyto ukazatele jsou založeny na absolutních prahových hodnotách, které mají často fyzikální, hydrologický nebo biologický význam (Klein Tank et al., 2002).

Na obrázku 11 můžeme vidět trendy ročního počtu mrazových a letních dnů v období 1946–1999. Mrazové i letní dny naznačují oteplení. Pro mrazové dny je oteplení statisticky významné na 5% (25%) hladině na 39 (59) stanicích z 86 stanic a ochlazení není patrné na žádné stanici pro 5% hladinu významnosti. Pro letní dny nastává významné oteplení na 5% (25%) hladině na 16 (42) stanicích a ochlazení na 4 (14) stanicích z 86 stanic. Stanice, kde došlo k ochlazení, se nacházejí v jihovýchodní Evropě. Průměrně je v Evropě v roce 1999 o 9,2 mrazových dnů méně a o 4,3 letních dnů více než v roce 1946 (Klein Tank a Können, 2003). Chladné extrémů ubývají rychleji než přibývají teplé extrémů.

**Obr. 11: Trendy ročního počtu mrazových a letních dnů v Evropě za období 1946–1999**



**Poznámka:** nahoře: mrazové dny, dole: letní dny. Velikost teček odpovídá velikosti trendu za 10 let. Červená značí oteplení (méně mrazových dnů, více letních dnů), modrá ochlazení (více mrazových dnů, méně letních dnů). Tečky bez výplně označují trendy, které nejsou významné na 5% hladině (ale na 25% hladině) – červená a modrá a trendy, které nejsou významné na 25% hladině – zelená.

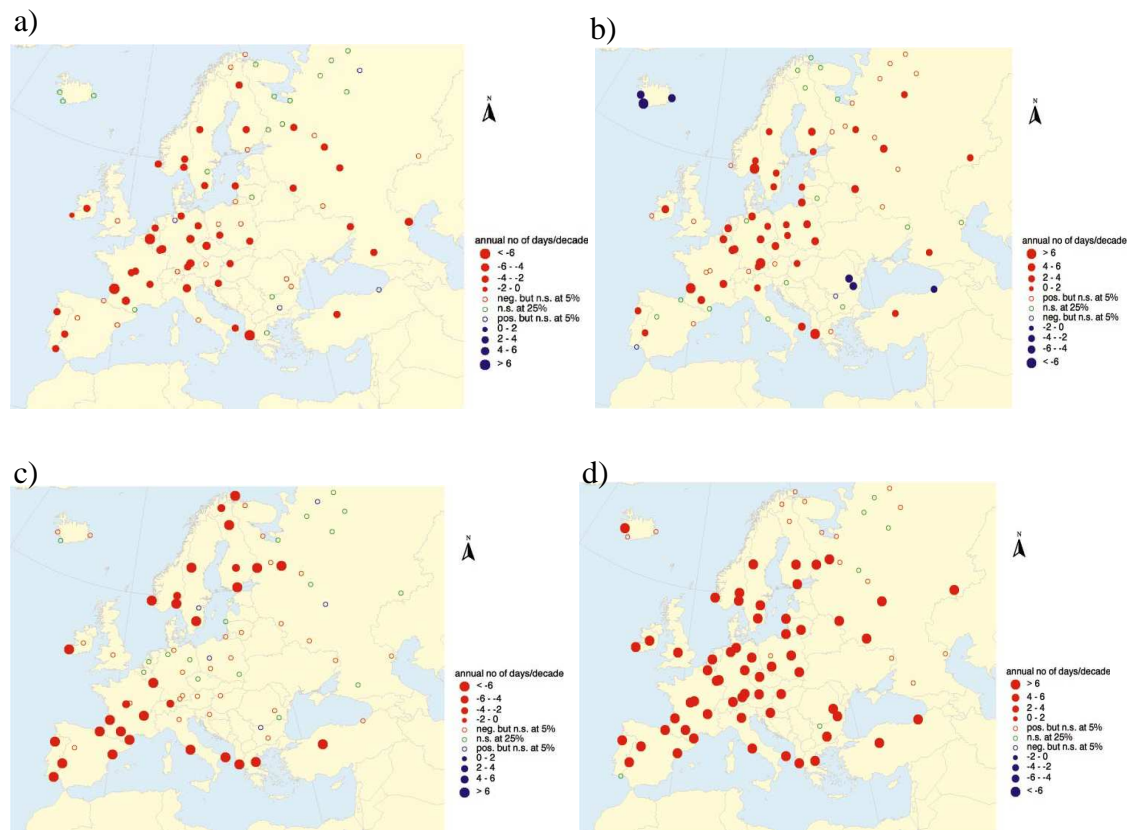
**Zdroj:** Klein Tank a Können, 2003

Na druhou stranu absolutní prahové hodnoty (jako je 0 °C pro definici mrazových dní) jsou méně vhodné pro tak velké území jako je Evropa. Mohou být definovány prahové hodnoty pro každou stanici, aby lépe odpovídaly místním podmínkám, např. formou percentilu rozdělení teploty. Ukazatele počtu dnů a nocí založených na takovéto prahové hodnotě se lépe hodí k porovnání klimatu mezi oblastmi s různými klimatickými podmínkami (Klein Tank et al., 2002).

Takové ukazatele se nazývají chladné a teplé noci a chladné a teplé dny. Prahová hodnota pro chladné noci je stanovena jako 10. percentil minimálních teplot, zatímco pro teplé noci je stanovena jako 90. percentil minimálních teplot za období 1961–1990. Obdobně se určuje prahová hodnota i pro chladné dny a teplé dny – jen s tím rozdílem, že percentily jsou stanoveny z maximálních teplot. (Klein Tank a Können, 2003)

Trendy ročního počtu chladných a teplých nocí (obr. 12) a ročního počtu chladných a teplých dní rovněž ukazují oteplení. Pokles počtu chladných a nárůst počtu teplých nocí je rychlejší než pokles počtu chladných a nárůst počtu teplých dní. Toto je v souladu s rychlejším růstem minimální teploty než maximální teploty a poklesem DTR. I přes převládající oteplení, dochází na některých místech v období 1946–1999 k ochlazení: na Islandu a v jihovýchodní Evropě ubývají teplé noci. Toto ochlazení pozorujeme zejména v letních měsících – duben až září. V období 1976–1999 dochází k většímu oteplení a úbytek teplých nocí není zaznamenán na žádné stanici. Celoevropský trend počtu teplých nocí je 11,3 za 10 let, což znamená téměř zdvojnásobení ročního počtu teplých nocí z 36 v roce 1976 na 63 v roce 1999 (Klein Tank a Können, 2003).

**Obr. 12: Trendy ročního počtu chladných a teplých nocí v Evropě za období 1946–1999 a 1976–1999**



**Poznámka:** a) chladné noci za období 1946–1999, b) teplé noci za období 1946–1999, c) chladné noci za období 1976–1999, d) teplé noci za období 1976–1999. Velikost teček odpovídá velikosti trendu za 10 let. Červená značí oteplení (méně chladných nocí, více teplých nocí), modrá ochlazení (více chladných nocí, méně teplých nocí). Ostatní jako u obr. 11.

**Zdroj:** Klein Tank a Können, 2003

## 4. Změny teplotních ukazatelů ve střední Evropě

V této kapitole nejprve popíši změny teplotních ukazatelů v rámci celé střední Evropy a poté se zaměřím na vybrané jednotlivé státy.

Brázdil et al. (1996) ve své studii zjistili, že za období 1951–1990 průměrná teplota ve střední Evropě stoupla o 0,40 °C. Do studie zahrnuli stanice v Německu, Švýcarsku (stanice v Alpách nebyly brány v úvahu), Polsku, České republice, Slovenské republice, Rakousku, Maďarsku, Slovinsku, Chorvatsku a Bulharsku. Při porovnávání průměrné teploty mezi jednotlivými státy může vzniknout problém. Některé státy počítají denní průměrnou teplotu jako rozdíl maximální a minimální teploty a některé jako aritmetický průměr z několika měření, jejichž termíny navíc mohou být v různých zemích odlišné.

Brázdil et al. (1996) zkoumali změny maximálních a minimálních denních teplot v devíti vybraných regionech střední Evropy (viz. výše) a v Bulharsku v období 1951–1990. Denní maximální teplota v tomto období v této oblasti roste pomaleji než denní minimální teplota (0,52 °C a 0,60 °C). To má za následek malé snížení DTR o 0,08 °C.

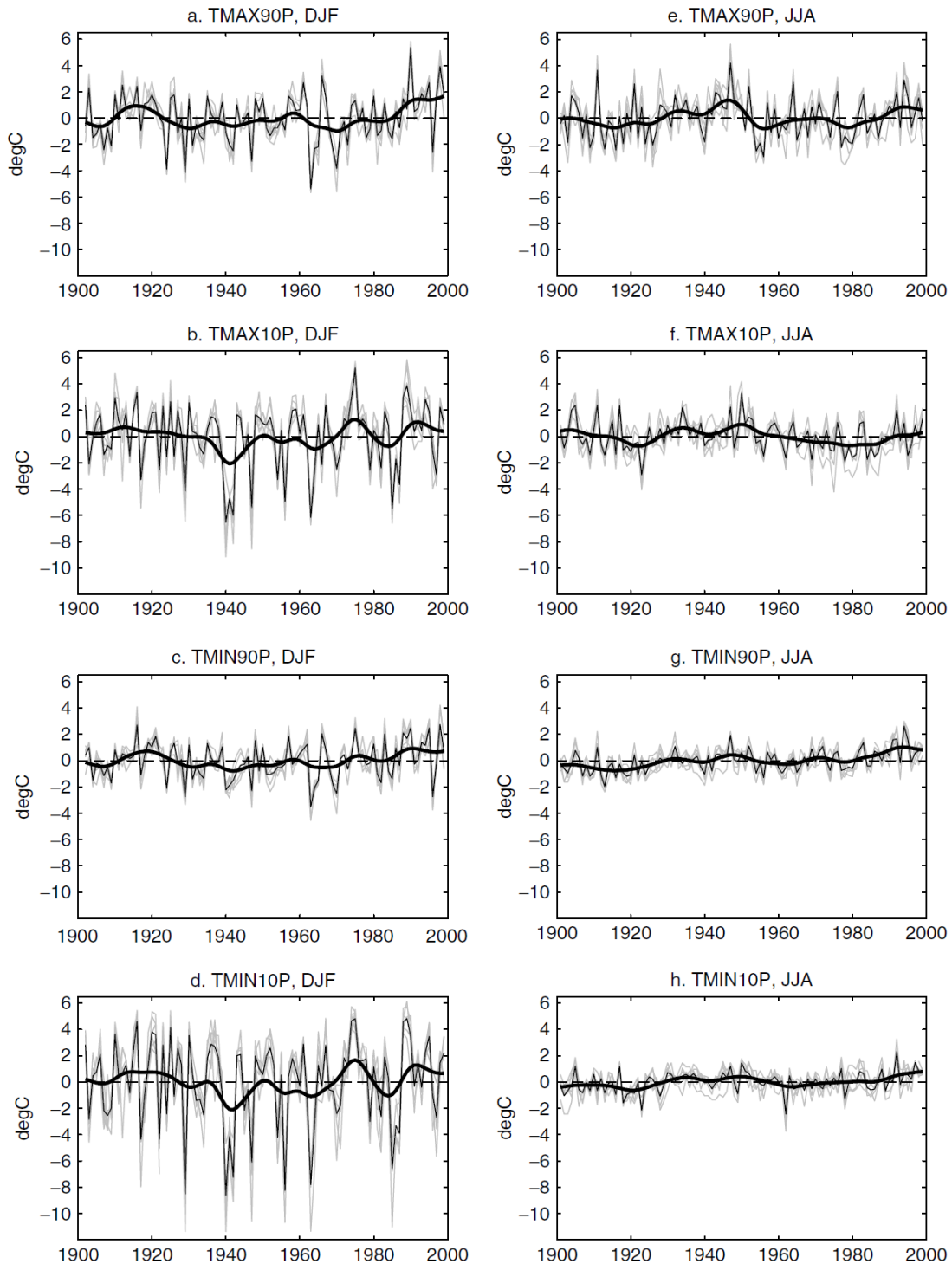
Weber et al. (1997) se zabývali horskými i nízko položenými stanicemi ve střední Evropě (ve Francii, Německu, Švýcarsku, Rakousku, České republice, Slovenské republice a Chorvatsku). Horské stanice ukazují jen malou změnu DTR za období 1901–1990, zatímco nízko položené stanice v západní části Alp značí významné snížení DTR, které je způsobeno silným růstem minimální teploty. Pro kratší období 1951–1990 DTR klesá na západních nízko položených stanicích (hlavně na jaře), zatímco na horských stanicích zůstává DTR téměř stejná.

Trend průměrné roční maximální denní teploty pro období 1951–1990 pro střední Evropu kladný, ale není významný (0,13 °C/10 let). Sezónní trendy jsou pro všechna roční období také kladné a nevýznamné (nejvyšší je trend v zimě: 0,32 °C/10 let a nejnižší na podzim: 0,02 °C/10 let). Trend průměrné roční minimální denní teploty je 0,15 °C za 10 let a je statisticky významný na 10% hladině. Ve všech ročních obdobích nabývají trendy kladných hodnot, přičemž významný je trend pouze na jaře (10% hladina významnosti). Nejvyšší trend nastává opět v zimě (0,29 °C/10 let) a nejnižší v létě (0,02 °C/10 let). Trend roční DTR je záporný (–0,02 °C za 10 let) a nevýznamný. V zimě nastává kladný trend DTR, zatímco na jaře a na podzim je trend DTR záporný a v létě se DTR nemění (Brázdil et al., 1996).



Moberg a Jones (2005) analyzovali data ze 6 stanic ve střední Evropě (Frankfurt, Stuttgart, Potsdam, Bamberg, Jena, Zürich) za období 1901–1999. Zvolili čtyři teplotní extrémní ukazatele: chladné a teplé noci a chladné a teplé dny. Všechny čtyři ukazatele pro zimu a léto jsou znázorněny na obrázku 13. V zimě se nachází vyhlazená křivka všech ukazatelů po roce 1990 nad průměrem za období 1901–1999. Je vidět, že v zimě je meziroční proměnlivost teplotních extrémních ukazatelů větší než v létě. Na počátku 40. let dochází v zimě u chladných dní a chladných nocí k poklesu teploty. Chladné a teplé noci v létě ukazují na oteplení během 20. století.

**Obr. 13: Teplotní extrémní ukazatele 6 stanic ve střední Evropě za období 1901–1999**



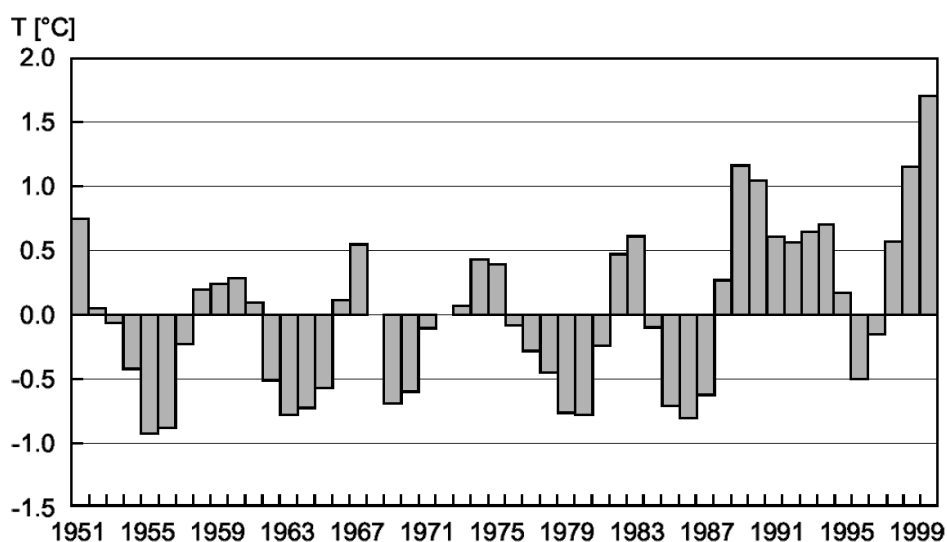
**Poznámka:** DJF = zima, JJA = léto. TMAX90P = teplé dny, TMAX10P = chladné dny, TMIN90P = teplé noci, TMIN10P = chladné noci. Šedé křivky ukazují data za jednotlivé stanice. Tenké černé křivky označují aritmetický průměr všech stanic. Silná černá křivka ukazuje variabilitu za období delší než dekáda. Vodorovná přerušovaná čára značí průměr za období 1901–1999. Data jsou vykreslena jako odchylky od a)–d) zimního a e)–h) letního průměru 1901–1999.

**Zdroj:** Moberg a Jones, 2005

## 4.1 Polsko

Degirmendžič et al. (2004) provedli analýzu trendů průměrné měsíční teploty v Polsku za období 1951–2000. Vývoj teploty během 2. poloviny 20. století ukazuje obrázek 14, ze kterého je patrné zvyšující se tempo oteplování.

**Obr. 14: Průměrné roční teploty v Polsku během období 1951–2000**



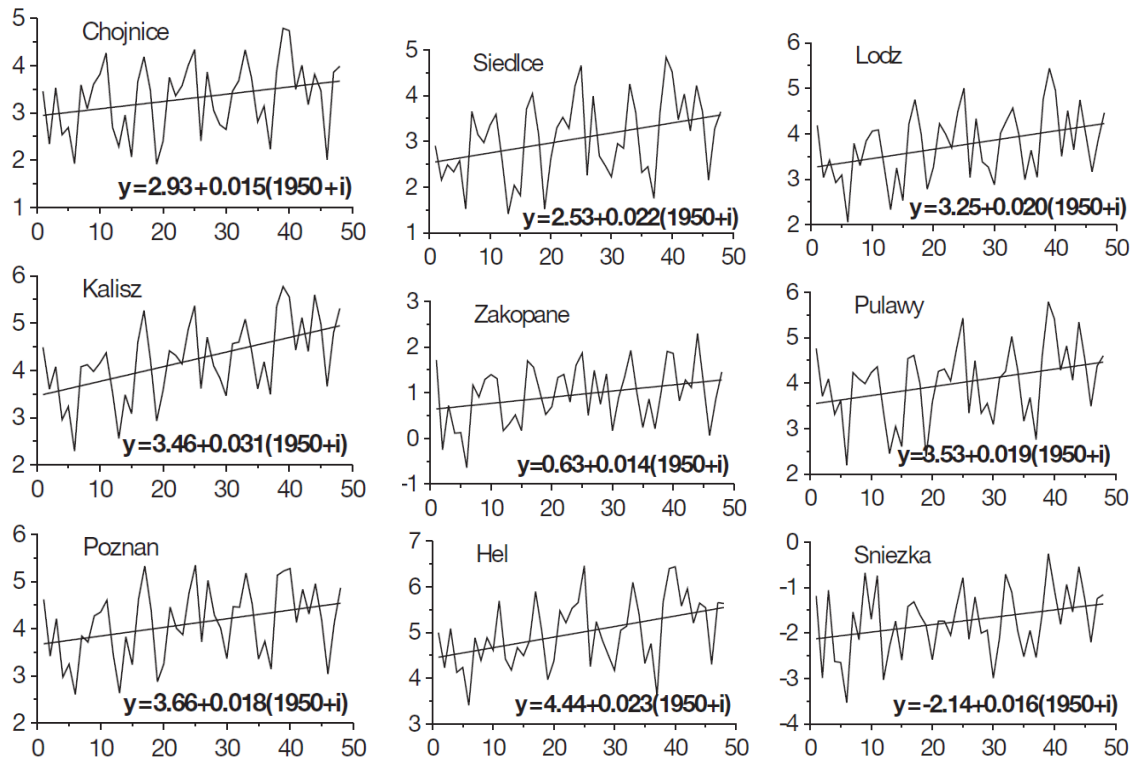
**Poznámka:** Hodnoty jsou odchylky od průměrné teploty za období 1951–1980.

**Zdroj:** Degirmendžič et al., 2004

Průměrné teploty v březnu a květnu vzrostly v letech 1951 až 2000 o 3 °C, respektive o 1,5 °C. Nevýznamný klesající trend průměrné teploty byl zaznamenán v červnu, září, listopadu a prosinci (Degirmendžič et al., 2004).

Wibig a Głowicki (2002) provedli analýzu minimální a maximální teploty a DTR na základě dat z 9 stanic za období 1951–1998. Průměrná denní maximální teplota vykazuje mírný nárůst na všech stanicích, ale statisticky významné je zvýšení jen na stanici Zakopane (10% hladina významnosti). Průměrná denní minimální teplota roste rychleji a nárůst je významný na 5% hladině na všech stanicích. Tempo růstu minimální teploty se pohybuje od 0,14 °C/10 let do 0,31 °C/10 let (obr. 15).

**Obr. 15: Průměrná denní minimální teplota na stanicích v Polsku a její lineární trend za období 1951–1998**

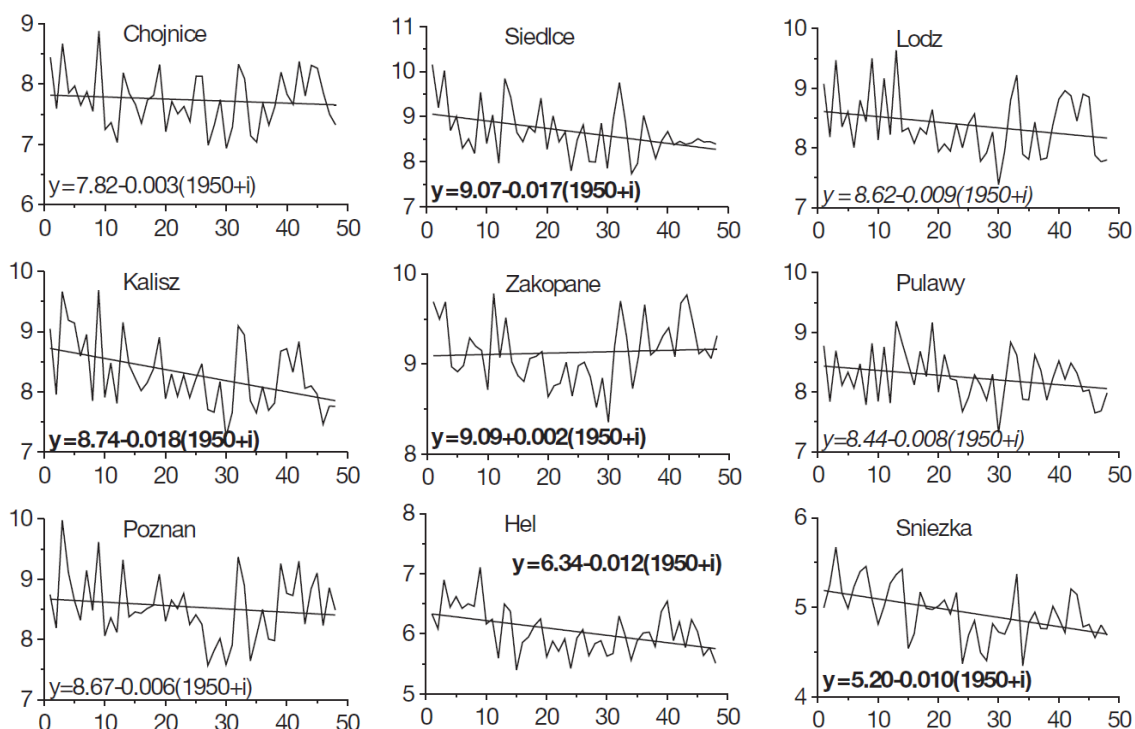


**Poznámka:** Trendy jsou statisticky významné na 5% hladině. Svislá osa udává °C a vodorovná roky (po roce 1950).

**Zdroj:** Wibig a Głowicki, 2002

Rozdíly v lineárních trendech minimálních a maximálních teplot vedou ke snížení DTR. Obrázek 16 znázorňuje průměrnou DTR a její lineární trend na všech stanicích. Pouze na stanici v Zakopane DTR roste, u ostatních stanic se pokles pohybuje od 0,03 °C/10 let do 0,18 °C/10 let. Dochází k poklesu ročního počtu dnů s minimální teplotou pod 0 °C: od 0,4 dnu do 6 dnů za 10 let (Wibig a Głowicki, 2002).

**Obr. 16: Průměrná DTR na stanicích v Polsku a její lineární trend za období 1951–1998**



**Poznámka:** Trendy statisticky významné na 5% hladině (tučně) a na 10% hladině (kurzívou). Svislá osa udává °C a vodorovná roky (po roce 1950)

**Zdroj:** Wibig a Głowicki, 2002

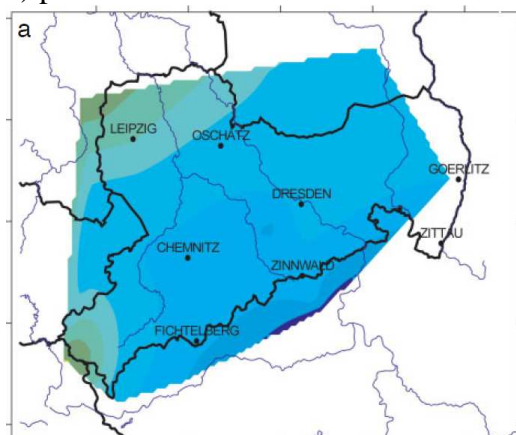
Průměrná maximální teplota na 9 polských stanicích roste v zimě a na jaře, zatímco klesá na podzim. Trend počtu dní s minimální teplotou pod 0 °C je klesající v zimě (od 1,6 dnů/10 let do 4,5 dnů/10 let) a na jaře (od 0,6 dnů/10 let do 3,4 dnů/10 let). Naopak k rostoucímu trend dochází na podzim (Wibig a Głowicki, 2002).

## 4.2 Německo

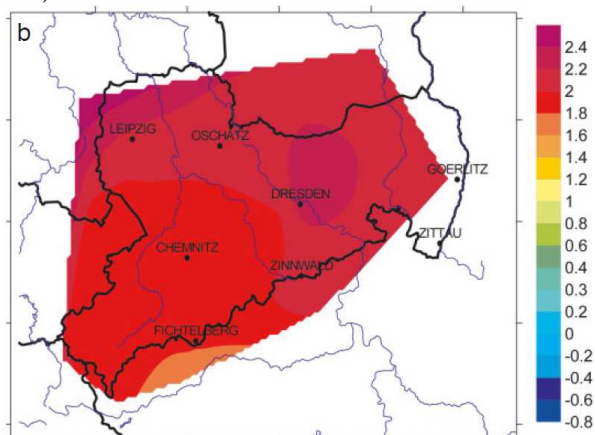
Franke et al. (2004) provedli analýzu klimatických trendů v Sasku za období 1951–2000. Zjistili, že trend průměrné teploty je kladný ve všech sezónách kromě podzimu. Na podzim teplota poklesla až o 0,4 °C, a to v Erzgebirge (Krušné hory). K oteplení došlo na jaře a hlavně v zimních měsících (o 1,4 až 2,4 °C na hladině významnosti 5%), a to nejvíce v severním a východním Sasku (obr. 17).

**Obr. 17: Trendy průměrné teploty na podzim a v zimě v Sasku za období 1951–2000**

a) podzim



b) zima



**Poznámka:** Trendy jsou ve °C/50 let.

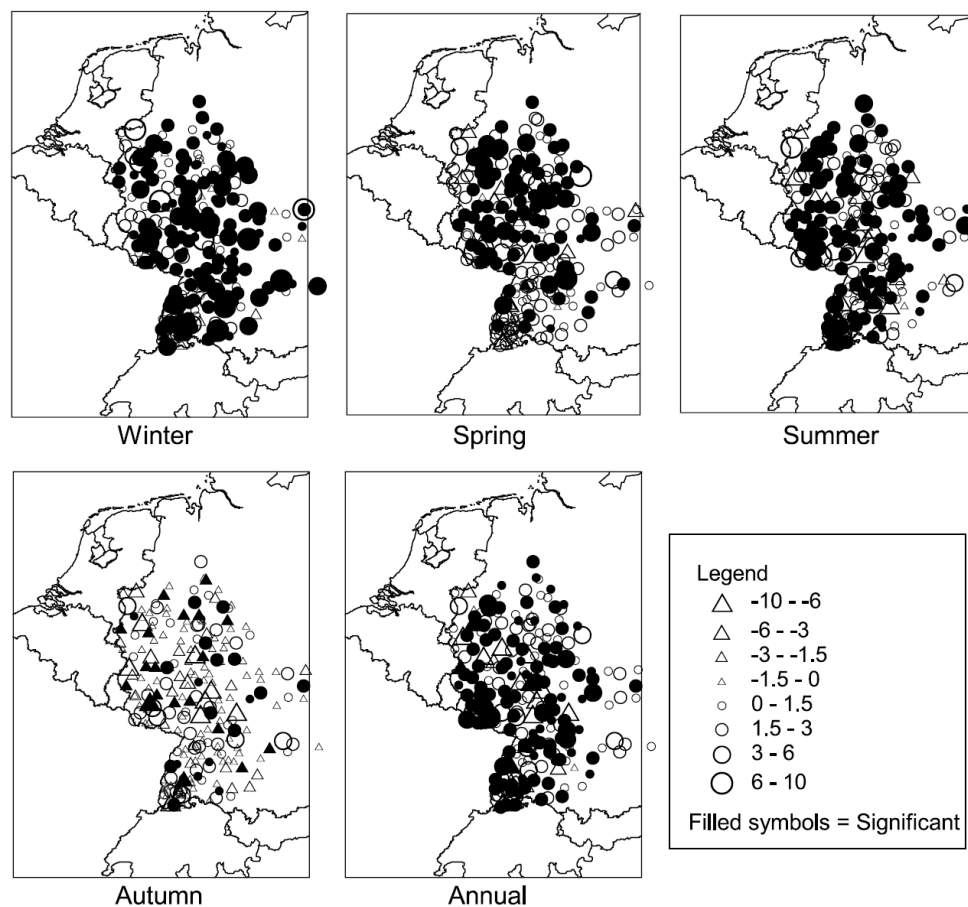
**Zdroj:** Franke et al., 2004

Hundecha a Bárdossy (2005) zkoumali vývoj denních extrémních teplot na německé straně povodí Rýna v období 1958–2001. Výsledky ukázaly, že se denní minimální i maximální teploty zvýšily, přičemž změna denní minimální teploty byla větší než změna denní maximální teploty.

Pro studii byly použity následující extrémní teplotní ukazatele: 90. percentil maximálních teplot, 10. percentil minimálních teplot, počet mrazových dní (minimální teplota pod 0 °C) a trvání horké vlny (tento ukazatel je definován jako počet po sobě jdoucích dnů v daném ročním období, pro který denní maximální teplota překračuje dlouhodobý 90. percentil denní maximální teploty kalendářního dne). Roční trend ukázal větší nárůst 10. percentilu minimální teploty (1 °C za období) než 90. percentilu maximální teploty (0,6 °C za období) (Hundecha a Bárdossy, 2005).

Obrázek 18 ukazuje sezónní změny 90. percentilu maximální teploty. Kromě podzimu se 90. percentil maximální teploty i 10. percentil minimální teploty zvýšil u většiny stanic. Největší průměrný nárůst 90. percentilu maximální teploty nastává v zimě (2,7 °C za 44 let). V létě byl nárůst 1,4 °C za 44 let. V zimě dochází též k největšímu nárůstu 10. percentilu minimální teploty (2,1 °C za 44 let), zatímco v létě byl tento ukazatel 1,1 °C za 44 let (Hundecha a Bárdossy, 2005).

**Obr. 18: Sezónní změny 90. percentilu maximální teploty na německé straně povodí Rýna za období 1958–2001**

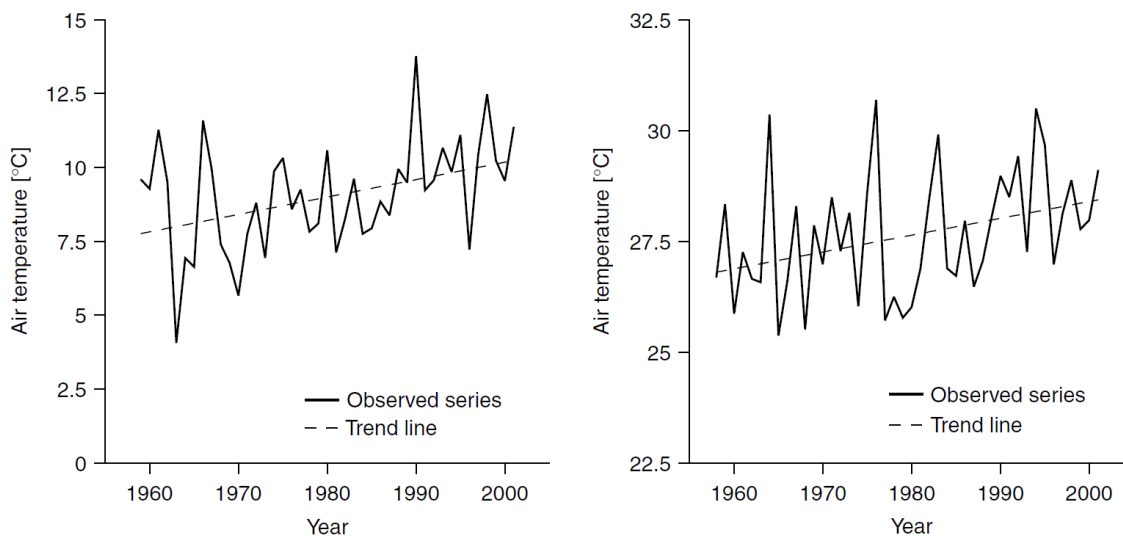


**Poznámka:** Změny jsou ve °C za 44 let. Nahore: zima, jaro, léto, dole: podzim, rok. Plné tvary značí, že trendy jsou významné.

**Zdroj:** Hundeche a Bárdossy, 2005

Obrázky 19 a 20 ukazují zimní a letní průměrné trendy 90. percentilu denní maximální teploty a 10. percentilu denní minimální teploty v oblasti jihozápadního Německa. Na podzim oba ukazatele vykazovaly klesající trend na mnoha stanicích (jen několik stanic mělo významný trend). Na podzim je průměrný pokles 90. percentilu maximální teploty 1,2 °C za období a průměrný pokles 10. percentilu minimální teploty 0,1 °C za období (Hundeche a Bárdossy, 2005).

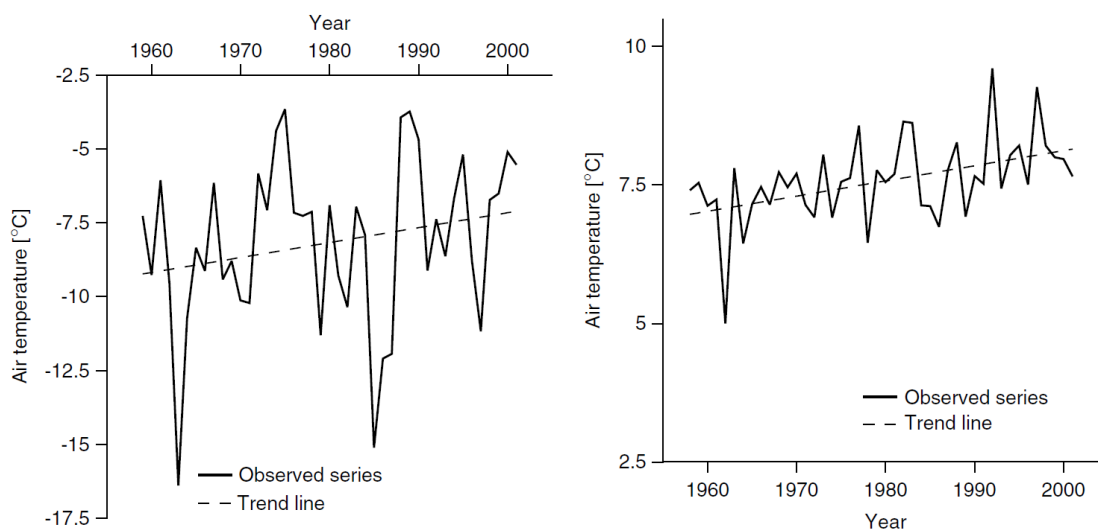
**Obr. 19: Časový průběh 90. percentilu denní maximální teploty v zimě a v létě a jeho lineární trend v jihozápadním Německu za období 1958–2001**



**Poznámka:** Vlevo: zima, vpravo: léto. Čárkovaná čára značí lineární trend.

**Zdroj:** Hundecha a Bárdossy, 2005

**Obr. 20: Časový průběh 10. percentilu denní minimální teploty v zimě a v létě a jeho lineární trend v jihozápadním Německu za období 1958–2001**



**Poznámka:** Jako u obr. 19.

**Zdroj:** Hundecha a Bárdossy, 2005

Průměrné změny extrémních teplotních ukazatelů udává tabulka 1. Počet mrazových dnů klesá v zimě i na jaře a prodlužuje se doba trvání horkých vln (Hundecha a Bárdossy, 2005).



**Tab. 1: Průměrné změny denních extrémních teplotních ukazatelů v jihozápadním Německu za období 1958–2001**

Ukazatel	Zima	Jaro	Léto	Podzim
Tmax90p (°C)	2,71	1,72	1,40	-1,21
Tmin10p (°C)	2,10	1,42	1,12	-0,13
mrazové dny	-7,70	-5,90	-	-
trvání horkých vln (dny)	4,39	4,13	4,69	3,05

**Poznámka:** Tmax90p = 90. percentil maximální teploty, Tmin10p = 10. percentil minimální teploty.

**Zdroj:** Hundeche a Bárdossy, 2005

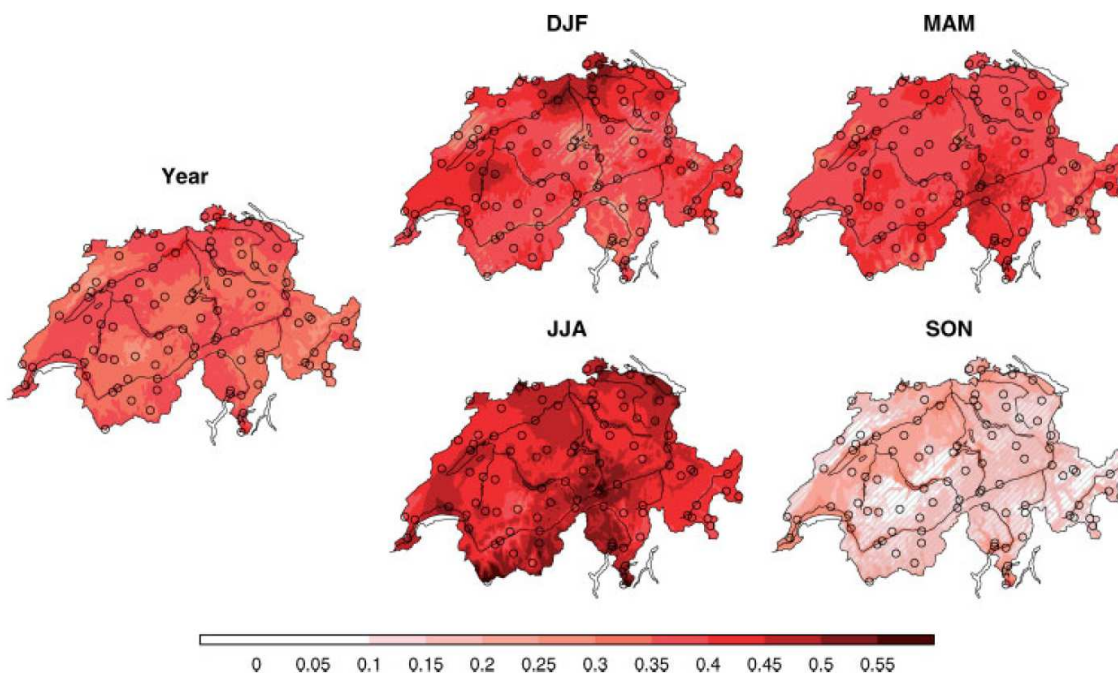
### 4.3 Švýcarsko

Rebetez a Reinhard (2008) analyzovali trendy měsíční průměrné teploty ve Švýcarsku v obdobích 1901–2000 a 1975–2004. Pro první období (1901–2000) byl trend průměrné roční teploty pro Švýcarsko 0,135 °C/10 let. Pro druhé období (1975–2004) byl trend 0,57 °C/10 let.

Ceppi et al. (2012) studovali roční a sezónní teplotní trendy ve Švýcarsku v období 1959–2008. Sezónní trendy se vyskytují kladné ve všech ročních obdobích na celém území Švýcarska a většinou významné s průměrným oteplením 0,35 °C/10 let (od 0,17 °C/10 let na podzim do 0,46 °C/10 let v létě).

Na obrázku 21 je znázorněno prostorové rozložení ročních a sezónních trendů v období 1959–2008. V posledních desetiletích rostou teploty v celém Švýcarsku poměrně stejně rychle a prostorová proměnlivost trendů je poměrně malá. Sezónní trendy se ale liší: nejnižší jsou na podzim (0,02 až 0,38 °C/10 let) a nejvyšší v létě (0,34 až 0,62 °C/10 let). Průměrná hodnota trendu na podzim je 0,17 °C za 10 let a v létě 0,46 °C za 10 let. Odstraněním mimořádně teplého léta v roce 2003 se letní průměrná hodnota sníží na 0,39 °C za 10 let. Trendy jsou obecně významné (na 5% hladině) s výjimkou podzimu, kde nastávají statisticky významné trendy jen v nížinných oblastech (pod 800 m. n. m.) (Ceppi et al., 2012).

**Obr. 21: Roční a sezónní trendy průměrné teploty ve Švýcarsku v období 1959–2008**



**Poznámka:** Hodnoty jsou ve °C/10 let. DJF = zima, MAM = jaro, JJA = léto, SON = podzim. Šrafované oblasti představují trendy, které nejsou významné na 5% hladině. Nevyplněné černé kruhy značí umístění stanic.

**Zdroj:** Ceppi et al., 2012

V období 1975–2004 se vyskytl největší nárůst průměrné teploty na jaře a v létě (0,84 °C/10 let, resp. 0,86 °C/10 let), zatímco v období 1901–2000 došlo na jaře jen na slabý nárůst teploty (0,10 °C/10 let). Nedávné zvýšení teploty souvisí jak se zvýšením maximální, tak minimální teploty. Silný nárůst teploty v létě pomáhá vysvětlit zrychlený ústup ledovců v Alpách od roku 1980 (Rebetez a Reinhard, 2008).

V tabulce 2 jsou sezónní teplotní trendy průměrné, minimální a maximální teploty v Neuchatelu za období 1901–2000 a 1975–2004. Trendy minimální a maximální teploty ukazují, že nárůst teploty v období 1901–2000 způsobilo zejména zvýšení minimální teploty (podílela se více než 80 % na celkovém rostoucím trendu). V období 1975–2004 byly trendy maximální a minimální teploty více vyrovnané (Rebetez a Reinhard, 2008).

**Tab. 2: Sezónní lineární teplotní trendy v Neuchatelu (průměrná, minimální a maximální teplota) za období 1901–2000 a 1975–2004**

	1901–2000			1975–2004		
	prům. teplota	min. teplota	max. teplota	prům. teplota	min. teplota	max. teplota
<b>zima</b>	0,19**	0,26**	0,12*	0,35	0,32	0,38
<b>jaro</b>	0,13**	0,23**	0,04	0,69**	0,63**	0,75**
<b>léto</b>	0,15**	0,28**	0,02	0,65**	0,73**	0,58*
<b>podzim</b>	0,16*	0,26**	0,07	0,03	0,16	–0,09
<b>rok</b>	0,16**	0,26**	0,60	0,43**	0,46**	0,40**

**Poznámka:** Hodnoty jsou ve °C/10 let. \* významné na 5% hladině významnosti, \*\* významné na 1% hladině významnosti. Hodnota trendu maximální teploty pro rok v období 1901–2000 se jeví jako podezřelá, zřejmě se jedná o tiskovou chybu v článku.

**Zdroj:** Rebetez a Reinhard, 2008

#### 4.4 Česká republika

Brázdil et al. (1995) zkoumali trendy průměrné teploty, průměrné maximální a minimální teploty a DTR v České republice za jednotlivá roční období a celý rok pro období 1961–1992. Hodnoty těchto ukazatelů jsou ukázány v tabulce 3.

**Tab. 3: Lineární trendy vybraných teplotních charakteristik v České republice v období 1961–1992**

	Zima	Jaro	Léto	Podzim	Rok
<b>Průměrná teplota</b>	0,73*	0,24	0,23	–0,16	0,24**
<b>Průměrná maximální teplota</b>	0,83*	0,28	0,25	–0,25	0,24
<b>Průměrná minimální teplota</b>	0,68**	0,16	0,17	–0,10	0,21**
<b>Denní teplotní amplituda</b>	0,15	0,12	0,09	–0,16	0,03

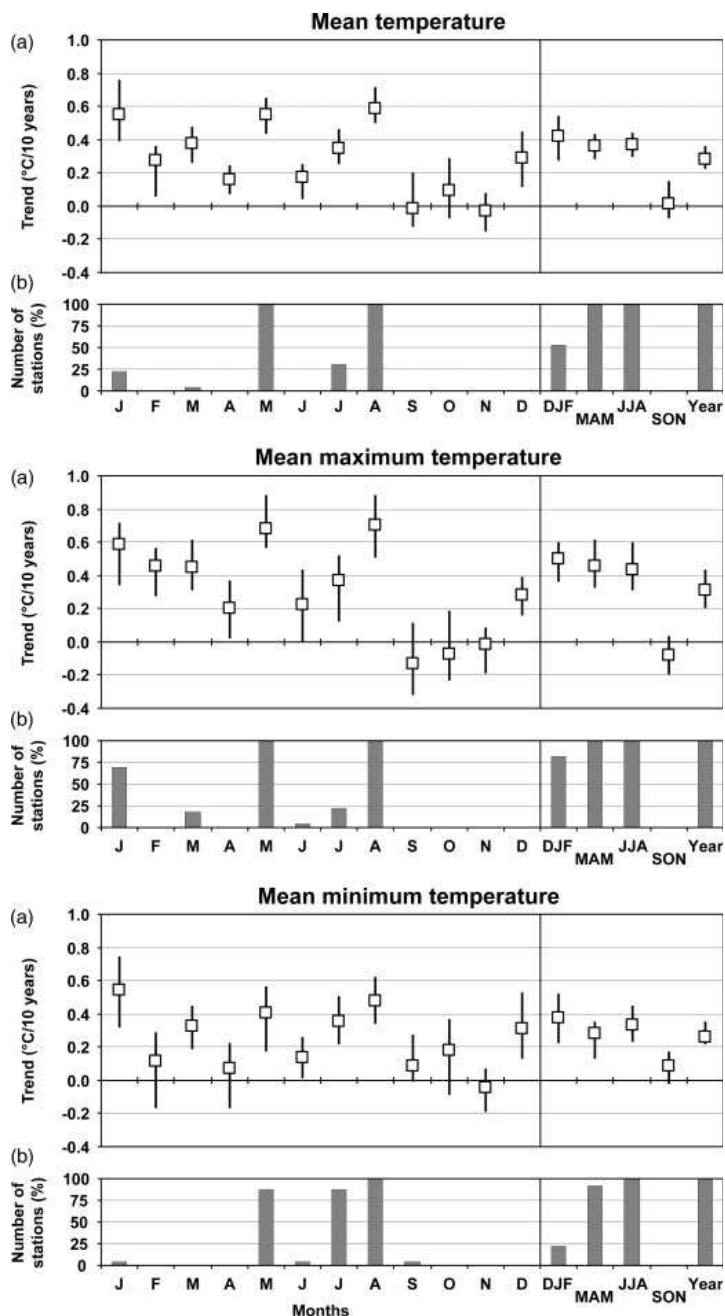
**Poznámka:** Hodnoty jsou uvedeny ve °C/10 let. \* znamená 5% hladinu významnosti, \*\* znamenají 10% hladinu významnosti.

**Zdroj:** Brázdil et al., 1995

Brázdil et al. (2009) také zkoumali průměrnou teplotu a průměrnou maximální a minimální teplotu na 23 klimatických stanicích v ČR v období 1961–2005. Lineární trendy těchto tří ukazatelů pro jednotlivé měsíce, roční období i celý rok můžeme vidět na obrázku 22. Trend roční průměrné teploty je v tomto období 0,27 °C/10 let. Kladné a statisticky významné trendy nastávají na jaře a v létě a pro rok pro všechny ukazatele. Kladný je trend i v zimě. Záporné lineární trendy se vyskytují jen v některých podzimních měsících a záporný trend na podzim má jen ukazatel průměrné maximální

teploty. Trend průměrné teploty v ČR (průměr ze všech stanic) je na jaře 0,34 °C/10 let, v létě 0,36 °C/10 let, na podzim 0,01 °C/10 let. Trend v zimě není statisticky významný.

**Obr. 22: Průměrné a extrémní hodnoty lineárních trendů průměrné teploty, průměrné minimální teploty a průměrné maximální teploty v ČR v období 1961–2005**

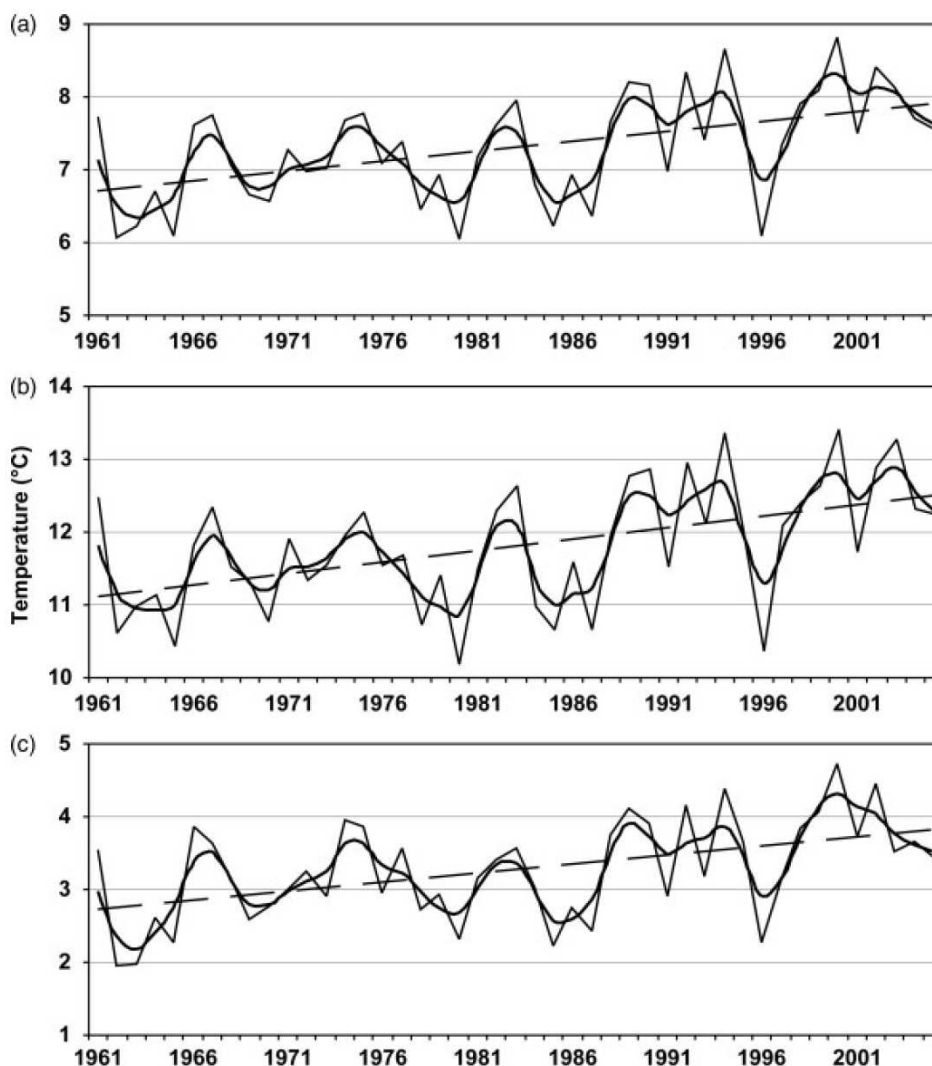


**Poznámka:** a) průměrná teplota, průměrná maximální teplota a průměrná minimální teplota na 23 klimatických stanicích v ČR pro měsíce, roční období a rok, b) procentuální podíl počtu stanic, kde byly kladné trendy statisticky významné na 5% hladině. „Čtverečky“ značí průměrné teploty, konce svislých čárek extrémní hodnoty. Ve °C za 10 let.

**Zdroj:** Brázdil et al., 2009

Značná meziroční proměnlivost je znázorněna na obrázku 23. Po roce 1980 můžeme vidět výrazný nárůst teploty vyjma chladného roku 1996. Tento rok měl jednu z nejnižších hodnot za celé období (Brázdil et al., 2009).

**Obr. 23: Výkyvy ročních průměrů průměrné denní, maximální a minimální teploty v ČR v období 1961–2005**



**Poznámka:** Výkyvy ročních průměrů a) průměrné denní, b) maximální, c) minimální teploty v ČR. Tučná čára označuje 5letý klouzavý průměr. Čárkovaná čára ukazuje lineární trend.

**Zdroj:** Brázdil et al., 2009

Studie Hutha a Pokorné (2004) porovnává mimo jiné trendy denní maximální, minimální teploty a DTR za dvě období: 1949–1980 a 1961–1998 na dvou místech ČR (na Milešovce a v Praze) v zimě a létě (tab. 4). Hodnoty trendů pro období 1949–1980 použili ze studie Hutha (2001). Jeho studie se zabývá trendy těchto ukazatelů na Milešovce a v Praze-Klementinu v zimě a v létě. Huth a Pokorná (2004) použili stanici

Praha-Karlov, tudíž přímé srovnání je možné pouze pro Milešovku, trendy pro Prahu-Klementinum mohou být porovnány se stanicí Praha-Karlov jen s určitou mírou nejistoty. Výsledné srovnání je možné vidět v tabulce 4. Trendy všech tří ukazatelů pro obě roční období na obou stanicích jsou v pozdějším období větší. V zimě se zrychlilo oteplování a v létě se ochlazování změnilo v oteplování. Z tohoto je patrné, že se oteplování zrychluje. Pokles DTR se změnil na nárůst, výjimku tvoří v létě Praha, kde DTR klesá i v období 1961–1998 (pokles je menší než v období 1949–1980) (Huth a Pokorná, 2004).

**Tab. 4: Trendy denní maximální, minimální teploty a DTR za období 1949-1980 a 1961-1998 v zimě a létě na Milešovce a na dvou pražských stanicích**

	Zima				Léto			
	Milešovka		Praha		Milešovka		Praha	
	1.	2.	1.	2.	1.	2.	1.	2.
<b>maximální teplota</b>	1,2	5,8	3,8	6,6	-3,8	1,9	-5,6	2,5
<b>minimální teplota</b>	3,1	4,9	5,1	5,6	-0,8	1,6	-0,4	3,5
<b>denní teplotní amplituda</b>	-1,9	1,1	-1,4	1,0	-3,0	0,3	-5,2	-1,0

**Poznámka:** Trendy jsou ve °C/100 let. 1. období 1949–1980, 2. období 1961–1998. Pražské stanice: Praha-Klementinum pro 1946–1980, Praha-Karlov pro 1961–1998. Všechny trendy jsou počítány regresní metodou.

**Zdroj:** Huth a Pokorná, 2004

Chládková a Kalvová (2005) provedly analýzu 10. a 90. percentilů denní maximální a minimální teploty na 29 vybraných stanicích v České republice v období 1961–2000. Ke zvýšení 90. percentilu maximální teploty došlo na jaře (0,60 °C/10 let, statisticky významné na polovině stanic), v létě a v zimě (0,96 °C/10 let, statisticky významné na 26 stanicích z 29). Na podzim nastává záporný trend na většině stanic (není statisticky významný). 10. percentil maximální teploty se také zvyšoval na jaře, v létě a v zimě a na podzim klesal. Totéž platí i pro 10. percentil denních minimálních teplot (kromě léta byly trendy statisticky nevýznamné). Trendy 90. percentilu denní minimální teploty převážně rostly ve všech ročních obdobích (v létě 0,30 °C/10 let, v zimě 0,6 °C/10 let).

## 4.5 Slovensko

Brázdil et al. (1995) se zabývali výkyvy maximálních a minimálních teplot ve Slovenské a České republice. V tabulce 5 jsou uvedeny trendy průměrné teploty, průměrné maximální a minimální teploty a DTR za jednotlivé roční období a celý rok ve Slovenské republice. Průměrná teplota stoupá ve všech ročních obdobích kromě podzimu a trend je statisticky významný v zimě a na podzim. Průměrná maximální a minimální teplota vykazují podobné trendy (záporný trend jen na podzim). DTR nejvíce stoupá v zimě, ale nárůst není statisticky významný. Záporný trend DTR se objevuje na jaře a na podzim (také není významný). Roční pokles DTR je 0,04 °C/10 let.

**Tab. 5: Lineární trendy vybraných teplotních charakteristik na Slovensku v období 1961–1992**

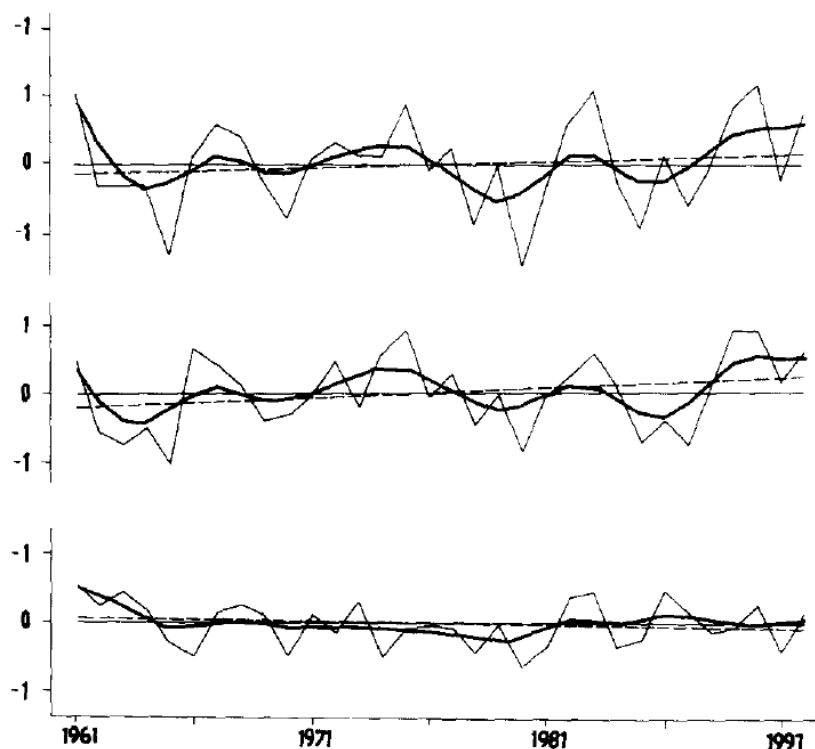
	Zima	Jaro	Léto	Podzim	Rok
<b>Průměrná teplota</b>	0,63**	0,16	0,15	-0,39**	0,14
<b>Průměrná maximální teplota</b>	0,73**	0,10	0,10	-0,44*	0,10
<b>Průměrná minimální teplota</b>	0,60	0,12	0,08	-0,37*	0,14
<b>Denní teplotní amplituda</b>	0,13	-0,02	0,03	-0,07	-0,04

**Poznámka:** Stejně jako u tab. 3.

**Zdroj:** Brázdil et al., 1995

Výkyvy ročních hodnot průměrných maximálních a minimálních teplot a DTR jsou ukázány na obrázku 24. U všech ukazatelů můžeme zaznamenat nárůst na začátku 80. let a potom ke konci 80 let a v 90. letech. Naopak k poklesu všech ukazatelů došlo v druhé polovině 70. let (Brázdil et al., 1995).

**Obr. 24: Změny průměrné maximální a minimální teploty a DTR na Slovensku v období 1961–1992**



**Poznámka:** nahoře: průměrná maximální teplota, uprostřed: průměrná minimální teplota, dole: DTR. Hodnoty jsou uvedeny jako odchylky od průměru za období 1961–1990. Čárkovaná čára značí lineární trend a tučná čára je vyhlazená metodou robustní lokálně vážené regrese.

**Zdroj:** Brázdil et al., 1995

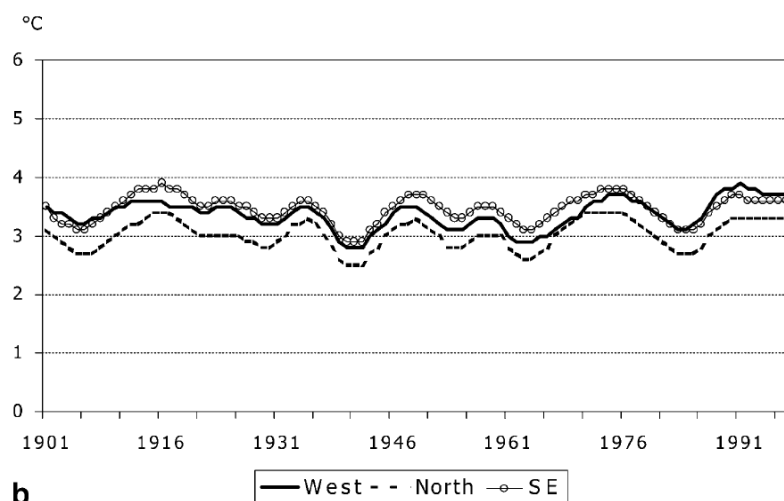
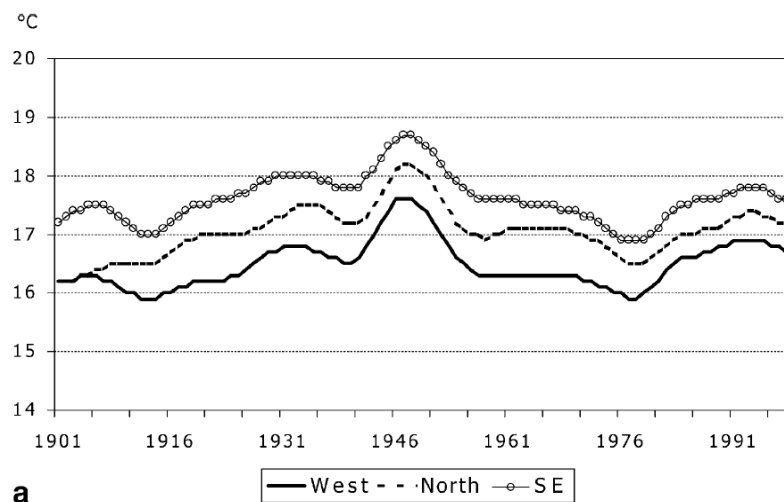
## 4.6 Maďarsko

Domonkos a Tar (2003) zpracovali studii dlouhodobých změn teploty (1901–1998). Maďarsko rozdělili do tří částí: západní část (kopcovitá a relativně vlhká), severní až severovýchodní část (různorodá krajina, relativně chladná) a jihovýchodní část (rovná, suchá a teplá). Všechny stanice se nacházejí v nížinách. Trend průměrné roční teploty je  $0,34\text{ °C}/100\text{ let}$ .

Obrázek 25 ukazuje dlouhodobé teplotní změny v letní polovině roku (duben až září) a zimní polovině roku (říjen až březen) pro období 1901–1998. V letní polovině roku bylo ve 30., 40. letech a na konci sledovaného období tepleji a na začátku století a v 70. letech se ochladilo. Průběh křivek jednotlivých oblastí je podobný (to naznačuje, že dlouhodobé teplotní výkyvy v Maďarsku jsou koherentní) (Domonkos a Tar, 2003).



**Obr. 25: Průběh průměrné teploty v létě a v zimě ve třech oblastech Maďarska v období 1901–1998**



**Poznámka:** a) letní polovina roku, b) zimní polovina roku. West = západní část, North = severní až severovýchodní část, SE = jihovýchodní část.

**Zdroj:** Domonkos a Tar, 2003

## 4.7 Shrnutí

Některé zde zmíněné studie pro stejné oblasti, ale pro různá časová období, dovolují spekulovat o zrychlujících se změnách teploty. Klein Tank et al. (2003) zjišťovali trendy průměrné teploty pro Evropu. V období 1946–1975 dosáhl trend  $-0,03$  °C/10 let a v období 1976–1999 se zvýšil na  $0,43$  °C/10 let. Studie Rebeteze a Reinharda (2008) uvádí trend průměrné roční teploty pro Švýcarsko  $0,135$  °C/10 let pro období 1901–2000. Ceppi et al. (2012) zjistili, že průměrné oteplení ve Švýcarsku v období 1959–2008 je  $0,35$  °C/10 let. Pro období 1975–2004 je trend průměrné roční teploty ve

Švýcarsku 0,57 °C/10 let (Rebetez a Reinhard, 2008). Z těchto studií je tedy patrné, že pravděpodobně dochází k urychlování oteplování. Trend průměrné roční teploty v ČR pro 1961–1992 je 0,24 °C/10 let (Brázdil et al. 1995), zatímco v období 1961–2005 je to 0,27 °C/10 let (Brázdil et al., 2009). I trendy průměrné maximální a minimální teploty pro rok jsou v ČR pro období 1961–2005 (obr. 22) větší než pro období 1961–1992. I to nasvědčuje zrychlujícímu se oteplování.

## 5. Analýza vývoje teploty v ČR, 1961–2010

V této části práce jsem zkoumala trendy sezónní průměrné teploty a roční průměrné teploty na vybraných stanicích v České republice. Níže jsou popsána data, která byla v této části práce použita, metody jejich zpracování, výsledky a porovnání s výsledky studií, které jsou uvedeny v první části této práce.

### 5.1 Data a metody

K analýze změn teploty byly použity průměrné denní teploty ze 17 klimatických stanic v České republice za období 1961–2010. Stanice a jejich nadmořské výšky jsou v tabulce 6 a jejich umístění můžeme vidět na obrázku 26.

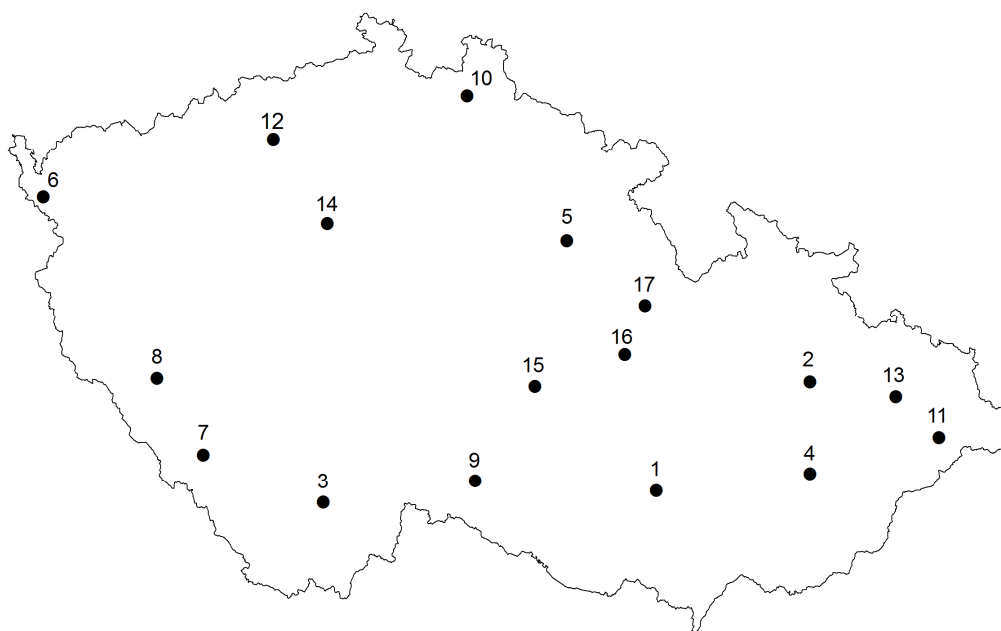
**Tab. 6: Seznam stanic s jejich nadmořskými výškami**

Číslo	Název stanice	Nadmořská výška [m. n. m.]
1	Brno-Tuřany	241
2	Červená	750
3	České Budějovice	388
4	Holešov	224
5	Hradec Králové	278
6	Cheb	474
7	Churáňov	1118
8	Klatovy	425
9	Kostelní Myslová	569
10	Liberec	398
11	Lysá hora	1324
12	Milešovka	833
13	Ostrava-Mošnov	251
14	Praha-Ruzyně	364
15	Přibyslav	530
16	Svratouch	737
17	Ústí nad Orlicí	402

**Poznámka:** Čísla odkazují na obr. 26.

**Zdroj:** [www.meteo.amut.net](http://www.meteo.amut.net)

**Obr. 26: Poloha jednotlivých stanic**



**Poznámka:** Seznam stanic viz. tab. 6.

Ke zpracování dat jsem použila program Microsoft Office Excel 2003. Nejdříve jsem zjišťovala průběh průměrné teploty na jednotlivých stanicích v jednotlivých ročních obdobích pro období 1961–2010 (obr. 30 až 33 v části „Přílohy“). Jako první jsem vypočítala pro každou stanicí průměrné sezónní teploty pro jednotlivé roky období 1961–2010. Průměrná teplota pro jaro je spočítána z měsíců březen, duben, květen, pro léto z června, července, srpna, pro podzim ze září, října, listopadu a pro zimu z prosince, ledna a února. Jelikož je např. průměrná teplota v zimě 2000 počítána z období prosinec 1999 až únor 2000, není možné zjistit průměrnou teplotu v zimě 1961 (nejsou k dispozici data za prosinec 1960). Průměrné teploty jsou tedy v zimě pouze pro období 1962–2010. K vyhlazení jsem použila metodu klouzavých průměrů. Délku klouzavých průměrů jsem zvolila 25 let (stejně jako u výpočtu trendů, viz. dále v textu).

Dále jsem zjišťovala trendy průměrné roční teploty a průměrné sezónní teploty na zvolených stanicích (průměr ze všech 17 stanic) pro období 1961–2010 a dvě dílčí období 1961–1985 a 1986–2010. Pro tyto ukazatele jsem zavedla termín průměrná roční teplota ČR a průměrné sezónní teploty ČR. Je to zjednodušující označení, protože průměr z malého počtu stanic, které nejsou reprezentativní pro celé území, nemusí souhlasit se skutečným prostorovým průměrem teploty v ČR

Pro určení trendů průměrné roční teploty ČR jsem nejprve spočítala průměrnou teplotu pro každý rok, kterou jsem vypočítala jako průměr průměrných denních teplot

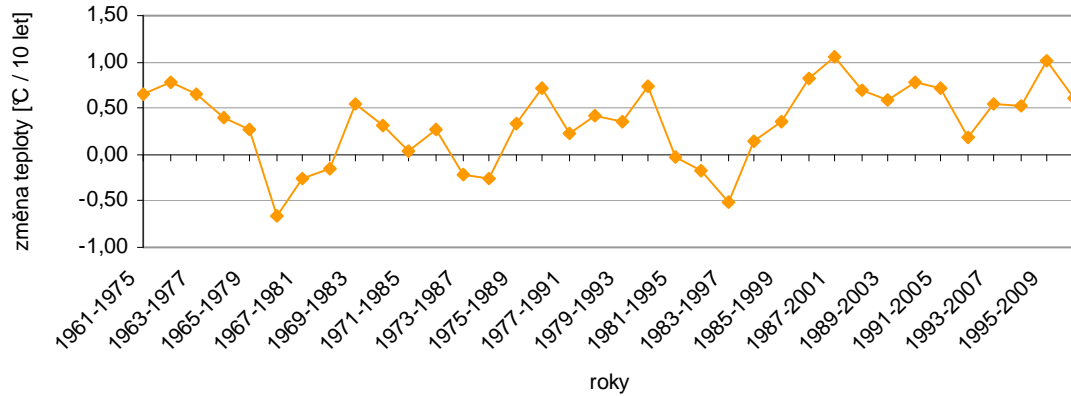
daného roku ze všech 17 stanic. Lineární trend jsem určovala pro období 1961–2010 a dvě dílčí období 1961–1985 a 1986–2010 metodou lineární regrese (obr. 28). Při této metodě obecně analyzujeme vztah mezi závislou proměnnou  $Y$  (průměrná teplota) a nezávislou proměnnou  $X$  (roky). Uspořádané dvojice číselných údajů  $(x_1; y_1), (x_2; y_2), \dots, (x_n; y_n)$  pro proměnné  $X$  a  $Y$  vyneseme do grafu. Těmito body potom proložíme přímkou. Žádná přímka neprotne všechny body, hledáme tedy přímkou, která je bodům nejbližší (Hendl, 2004). Parametrickou rovnici přímky vyjádříme:  $y = kx + q$  a pro určení trendů je nutné vypočítat hodnoty směrnic přímek  $k$ . Stejně jsem postupovala při zjišťování trendů průměrných sezónních teplot ČR (obr. 29), jen jsem nejprve vypočítala průměrné sezónní teploty pro každý rok (průměr ze všech 17 stanic).

Dále jsem zkoumala trendy průměrných sezónních teplot pro jednotlivé stanice. Tyto trendy měly být zjištěny pro překrývající se 15, 20 a 25letá období. Vzhledem k tomu, že spočítáním trendů průměrných sezónních teplot pro jednotlivé stanice pro klouzavá 15, 20 a 25letá období bych získala velké množství dat (grafů), rozhodla jsem se udělat analýzu pouze pro klouzavá 25letá období, kdy je křivka nejvíce vyhlazená (vynikají jen větší změny teploty). Srovnání trendů průměrné teploty na jaře pro klouzavá 15, 20 a 25letá období na stanici Holešov můžeme vidět na obrázku 27.

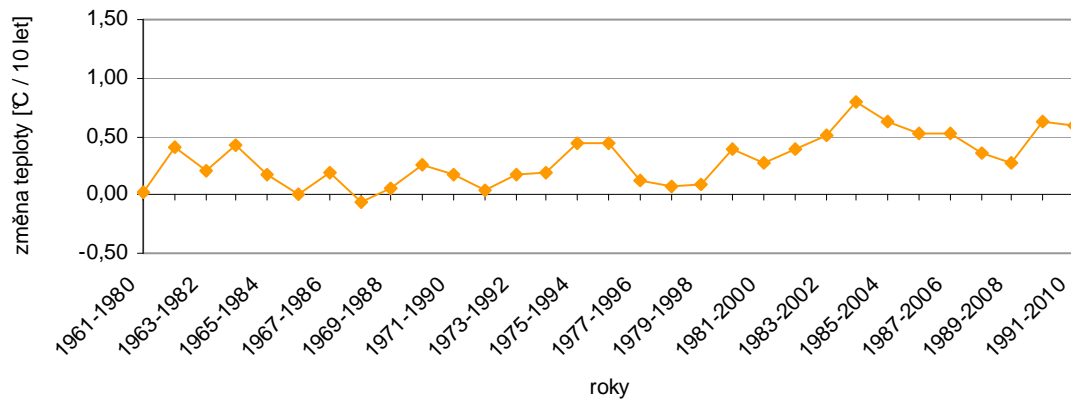
Trendy tedy počítám pro klouzavá 25letá období, navzájem posunutá o jeden rok. První období je tedy 1961–1985, druhé 1962–1986 atd., poslední období trvá od roku 1986 do roku 2010. Ve výsledku takto získám 26 dílčích období. Trendy jsem určila pro tato 25letá období z průměrných sezónních teplot opět metodou lineární regrese. Nakonec jsem hodnoty směrnic přímek  $k$  pro jednotlivá období vynásobila deseti (změna teploty je tedy ve  $^{\circ}\text{C}/10$  let) a vynesla do grafů (obr. 34 až 37 v části „Přílohy“), a tím zjistila zda se ve sledovaném období oteplování (ochlazování) zrychluje, zpomaluje nebo je konstantní. Do každého grafu jsem zaznamenala tři případně dvě stanice s podobnou nadmořskou výškou.

**Obr. 27: Trendy průměrné teploty na jaře pro klouzavá 15, 20 a 25letá období na stanici Holešov**

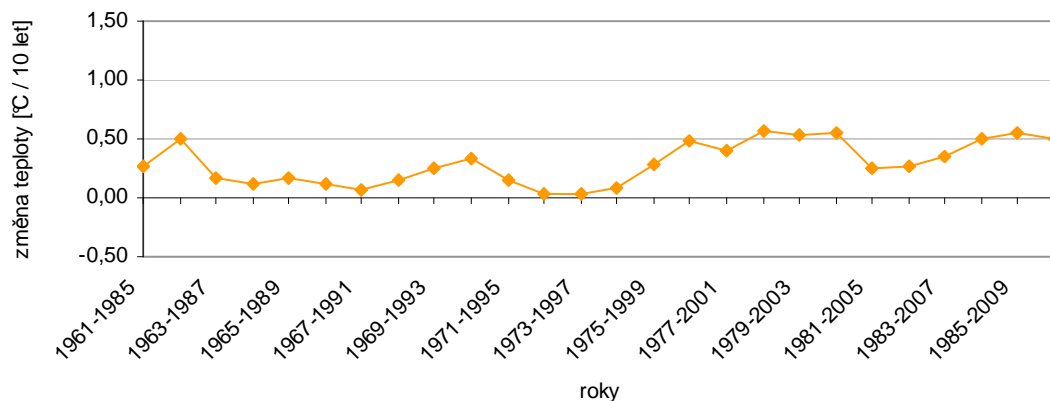
a) 15letá období



b) 20letá období



c) 25letá období



Nakonec bylo nutné určit, zda jsou trendy statisticky významně odlišné od nuly („statisticky významné“ v dalším textu). Zvolila jsem hladinu významnosti 5 %. Nejprve jsem vypočítala kritickou hodnotu korelačního koeficientu  $R$  podle vztahu:

$$R = \frac{t}{\sqrt{t^2 + N - 2}},$$

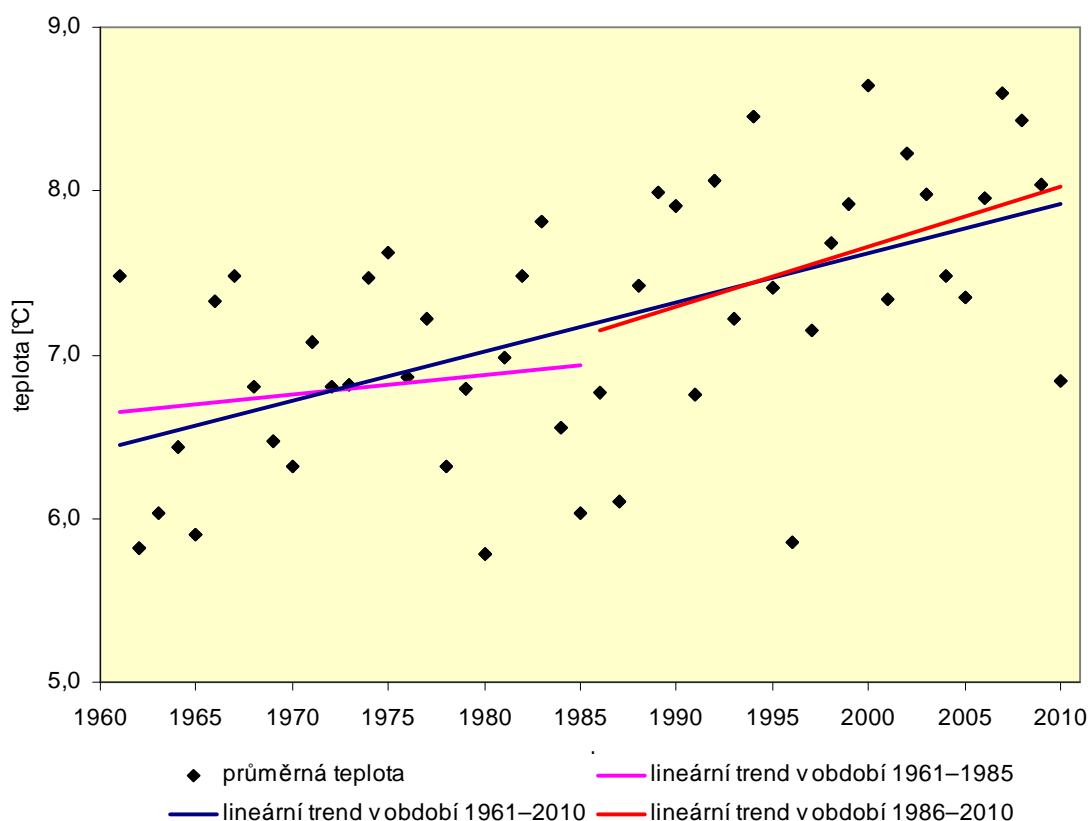
kde  $N$  je počet roků v období a  $t$  je kritická hodnota Studentova rozdělení s  $N-2$  stupni volnosti (pro 5% hladinu významnosti je veličina  $t$  rovna 2,069 pro  $N = 25$  a 2,011 pro  $N = 50$ ). Dále jsem pro každou stanicí vypočítala Pearsonův korelační koeficient  $r$  pro klouzavá 25letá období pro každé roční období. Tentýž koeficient korelace jsem určila pro 50leté období a dvě dílčí 25letá období u průměrných sezónních teplot ČR a průměrné roční teploty ČR. Pearsonovy korelační koeficienty  $r$  porovnám s kritickými hodnotami korelačního koeficientu  $R$ . Pokud mnou spočítané korelační koeficienty  $r$  leží mezi  $-R$  až  $+R$ , nelze tyto trendy považovat za statisticky významné. Naopak pokud korelační koeficienty  $r$  leží vně tohoto intervalu (jsou menší než  $-R$  nebo větší než  $+R$ ), můžeme tyto trendy označit za významné.

## 5.2 Výsledky

V přílohách jsou ukázány klouzavé průměry průměrné teploty v jednotlivých ročních obdobích na jednotlivých stanicích (obr. 30 až 33 v části „Přílohy“). Na jaře a v létě můžeme vidět postupný nárůst průměrné teploty. Na podzim dochází nejprve k poklesu a následnému zvyšování průměrné teploty. V zimě nastává na většině stanic prudší zvýšení průměrné teploty okolo období 1964–1988, dále okolo období 1970–1994, poté dochází k poklesu a opětovnému nárůstu v obdobích 1983–2007 a 1986–2010. Zde uvedená mezní období jsou orientační a na jednotlivých stanicích se průběh průměrné teploty může lišit.

Dále se budu zabývat vývojem průměrné roční teploty ČR a průměrných sezónních teplot ČR. Nejteplejších pět let období 1961–2010 tvoří roky 1994, 2000, 2002, 2007 a 2008 (úplně nejteplejší je rok 2000: 8,65 °C), naopak mezi nejchladnější roky patří: 1962, 1963, 1965, 1980 a 1996 (nejchladnější je rok 1980: 5,79 °C). Je tedy vidět, že nejteplejší roky mají tendenci se vyskytovat ke konci zkoumaného období, zatímco nejchladnější roky se vyskytují spíše na jeho začátku. Na obrázku 28 můžeme vidět vývoj průměrné roční teploty ČR v období 1961–2010. Lineární trend průměrné roční teploty ČR pro toto období je 0,30 °C/10 let a je statisticky významný na 5% hladině významnosti. Celé období je ještě rozděleno na dvě dílčí období: 1961–1985 a 1986–2010. Trend průměrné roční teploty pro první období dosahuje 0,12 °C/10 let a pro druhé 0,37 °C/10 let, přičemž ani jeden trend není významný.

**Obr. 28: Vývoj průměrné roční teploty ČR v období 1961–2010**



V tabulce 7 jsou uvedeny hodnoty trendů průměrných sezónních teplot ČR pro období 1961–1985, 1986–2010 a 1961–2010 a vývoj průměrných sezónních teplot ČR je znázorněn na obrázku 29. Z výsledků je patrné, že vyjma zimy se trend průměrné teploty ve druhém období zvýšil. V zimě se oteplování v prvním období změnilo na ochlazování v druhém období. K největšímu nárůstu trendů teploty mezi obdobími 1961–1985 a 1986–2010 došlo v létě (o 0,65 °C/10 let). Podobnou hodnotu vykazuje podzim (rozdíl činí 0,64 °C/10 let).

**Tab. 7: Trendy průměrných sezónních teplot ČR pro období 1961–1985, 1986–2010 a 1961–2010**

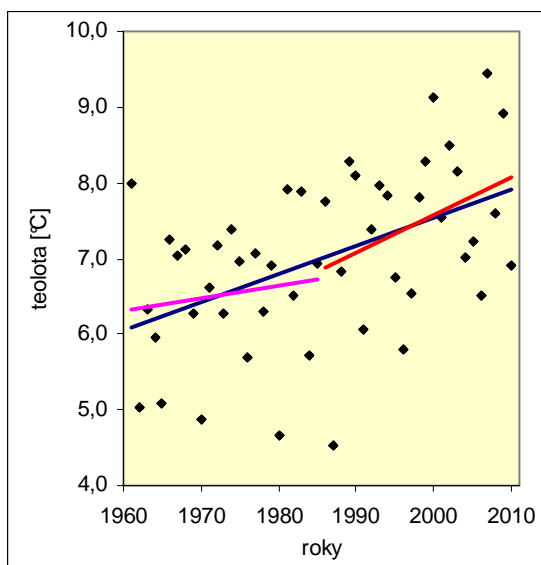
	1961–1985	1986–2010	1961–2010
<b>jaro</b>	0,17	0,49	0,37*
<b>léto</b>	0,00	0,65*	0,41*
<b>podzim</b>	–0,25	0,39	0,08
<b>zima</b>	0,61	–0,04	0,40*

**Poznámka:** Hodnoty jsou uvedeny ve °C/10 let. \* znamená statistickou významnost na hladině 5%.

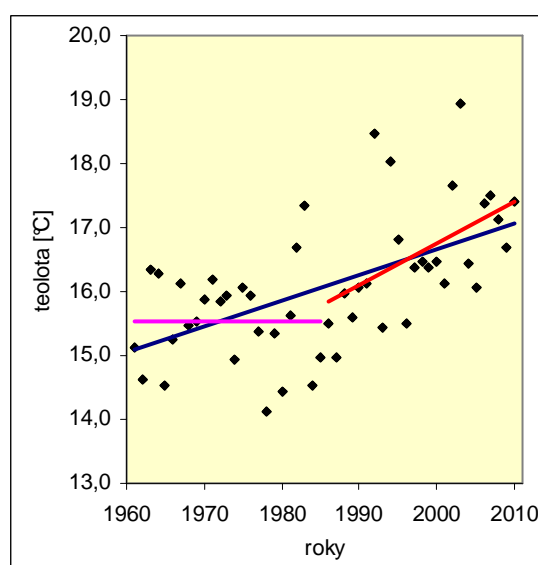


**Obr. 29: Vývoj průměrných sezónních teplot ČR v období 1961–2010**

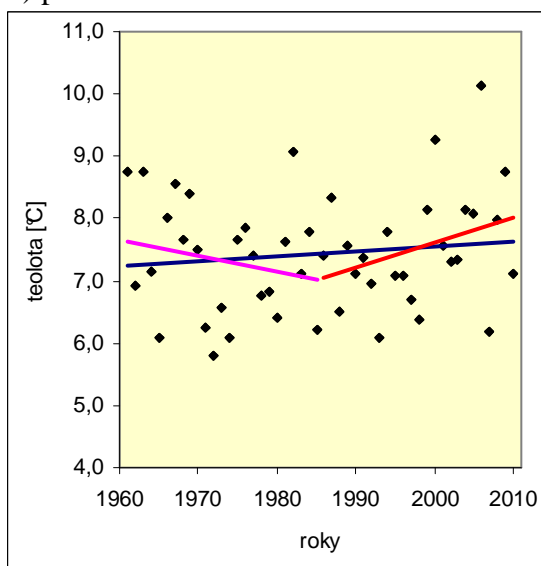
a) jaro



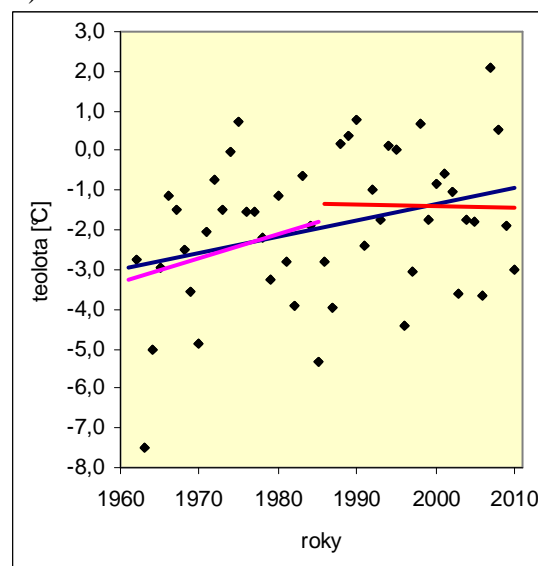
b) léto



c) podzim



d) zima



**Poznámka:** Legenda jako u obr. 28.

Dále budou popsány trendy průměrné teploty v jednotlivých ročních obdobích na jednotlivých stanicích v ČR (obr. 34 až 37 v části „Přílohy“). Jak již bylo zmíněno výše, trendy jsou počítány pro 25letá překrývající se období (1961–1985, 1962–1986, 1963–1987,...), tudíž do každého grafu je vyneseno 26 hodnot (26 období). Pro všechna roční období můžeme na všech stanicích pozorovat podobný vývoj trendů (křivky jsou si podobné). Přes tuto podobnost se vývoj trendů průměrných sezónních teplot mezi jednotlivými stanicemi samozřejmě poněkud liší, proto uváděná mezní období jsou jen orientační.

Na jaře je trend průměrné teploty nejprve konstantní, kolem období 1968–1992 nastává nárůst, potom pokles a opětovný nárůst okolo období 1974–1998. Přibližně mezi obdobími 1976–2000 a obdobími 1980–2004 je trend konstantní, načež dochází opět k mírnému poklesu a poté vzestupu trendu. S malými výjimkami (Ostrava-Mošnov okolo období 1973–1997 a Praha-Ruzyně a Lysá hora na počátku zkoumaného období) jsou všechny trendy teploty na jaře kladné, byť jen zřídka statisticky významné.

V létě jsou v prvních 25letých obdobích trendy průměrné teploty blízké nule, přičemž zhruba od období 1967–1991 dochází k jejich nárůstu, který trvá přibližně až do období 1979–2003. Stejně jako na jaře, v posledních obdobích dochází k mírnému poklesu trendu a poté opět k jeho nárůstu. Trendy průměrné teploty v létě jsou zhruba do období 1967–1991 záporné (výjimku tvoří Holešov, Brno-Tuřany a Churáňov, kde jsou trendy záporné jen v období 1963–1987, Cheb má záporné trendy pro období 1963–1987 a 1964–1988 a Ústí nad Orlicí a Klatovy má jen kladné trendy) a poté kladné.

Přibližně do období 1981–2005 dochází na podzim střídavě k mírným nárůstům a poklesům trendů a v dalších obdobích nastává na většině stanic větší nárůst trendů. Přibližně do již zmiňovaného období 1981–2005 se střídají mírně kladné a záporné trendy a poté nastávají výraznější kladné trendy.

V zimě v prvních 25letých obdobích trend průměrné teploty klesá, načež zhruba v období 1966–1990 nastává nárůst. Poté je trend bez výrazné změny až do období 1972–1996, kdy nastává snížení trendu. Další výrazný nárůst trendu průměrné teploty v zimě nastává okolo období 1974–1998, který trvá zhruba do období 1978–2002. Poté dochází k poklesu a opětovnému nárůstu. Trend v posledním 25letém období 1986–2010 se pohybuje okolo nuly. Většina trendů průměrné teploty v zimě je kladná, záporné trendy nastávají u některých stanic v období 1964–1988 a 1965–1989 (např. Praha-Ruzyně, Cheb) a poté v období 1972–1996 a 1973–1997 (např. Hradec Králové, Praha-Ruzyně, Červená,...), přičemž trendy jsou nevýznamné (až na výjimky).

Trend průměrné teploty se na stanicích na jaře pohybuje mezi  $-0,12$  až  $+0,89$  °C/10 let, v létě mezi  $-0,48$  až  $+1,06$  °C/10 let, na podzim mezi  $-0,49$  až  $+0,72$  °C/10 let a v zimě mezi  $-0,41$  až  $+1,01$  °C/10 let.

Nejvíce významných trendů nastává v létě, přičemž většina těchto trendů se nalézá v druhé polovině 26 dílčích období. Na druhou stranu, stanice Klatovy má v létě jen jeden významný trend, a to v období 1984–2008. Jaro se řadí na druhé místo v počtu významných trendů, ale stanice Holešov a Ostrava nemají v tomto ročním období žádný

významný trend. Podzim zaujímá třetí místo a počet významných trendů se na jednotlivých stanicích pohybuje od žádného do čtyř. V zimě nastávají nevýznamné trendy, výjimku tvoří stanice Cheb, Churáňov a Lysá hora, kde je zaznamenán jediný významný trend, a to pro období 1978–2002.

### 5.3 Diskuze

Zde porovnávám své výsledky s výsledky studií, které jsou uvedeny v rešeršní části práce. Trend globální průměrné teploty je pro období 1956–2005  $0,128 (\pm 0,026) \text{ }^\circ\text{C}/10$  let a pro období 1981–2005 se zvýšil na  $0,177 (\pm 0,052) \text{ }^\circ\text{C}/10$  let (Trenberth et al. 2007). Pro srovnání se svými výsledky použiji dvě období: 1961–2010 a 1986–2010. V 50letém období dosáhl trend průměrné teploty ČR  $0,30 \text{ }^\circ\text{C}/10$  let a v 25letém období se zvýšil na  $0,37 \text{ }^\circ\text{C}/10$  let. I když tato dvě období jsou vůči zprávě IPCC (Trenberth et al., 2007) posunuta o 5 let, je patrné, že oteplení v ČR je rychlejší než průměrné globální oteplování. V Evropě v období 1976–1999 dosahuje trend průměrné teploty  $0,43 \text{ }^\circ\text{C}/10$  let (Klein Tank a Können, 2003), zatímco již zmiňovaný trend průměrné teploty ČR je  $0,37 \text{ }^\circ\text{C}/10$  let pro období 1986–2010.

Velmi dobře můžeme srovnat výsledky vývoje teploty se Švýcarskem, kde Ceppi et al. (2012) analyzovali roční a sezónní teplotní trendy v období 1959–2008. Sezónní trendy se ve Švýcarsku vyskytují kladné ve všech ročních obdobích a průměrné oteplení je  $0,35 \text{ }^\circ\text{C}/10$  let. Trendy průměrné sezónní teploty ČR v období 1961–2010 vykazují také kladné hodnoty a trend průměrné roční teploty ČR je  $0,30 \text{ }^\circ\text{C}/10$  let. Ve Švýcarsku je nejnižší trend průměrné teploty na podzim  $0,17 \text{ }^\circ\text{C}/10$  let a nejvyšší v létě  $0,46 \text{ }^\circ\text{C}/10$  let (Ceppi et al., 2012). Trend průměrné teploty ČR v období 1961–2010 je také nejnižší na podzim, a to  $0,08 \text{ }^\circ\text{C}/10$  let a nejvyšší v létě ( $0,41 \text{ }^\circ\text{C}/10$  let).

Trend roční průměrné teploty na 23 klimatických stanicích v ČR v období 1961–2005 je podle Brázdila et al. (2009)  $0,27 \text{ }^\circ\text{C}/10$  let. Tato hodnota dobře souhlasí s hodnotou  $0,30 \text{ }^\circ\text{C}/10$  let, již jsem získala v této práci pro období o pět let delší. Sezónní trendy v mé práci jsou oproti práci Brázdila et al. (2009) vyšší na jaře, v létě a na podzim, což je pravděpodobně způsobeno volbou období (v mém sledovaném období jsou navíc zahrnuty roky 2006 až 2010). Mnou vypočítaný trend v zimě je naopak v porovnání s obrázkem 22 menší (na obrázku 22 trend v zimě přesahuje hodnotu  $0,40 \text{ }^\circ\text{C}/10$  let, číselnou hodnotu Brázdil et al. (2009) neuvádí).

## 5.4 Závěr

Po analyzování poskytnutých dat ze 17 klimatických stanic v ČR bylo zjištěno, že trend roční průměrné teploty ČR v posledních desetiletích roste, tj. oteplování se zrychluje. U trendů průměrných sezónních teplot ČR pozorujeme také tendenci k zrychlujícímu se oteplování, přičemž výjimku tvoří zima, kdy v období 1986–2010 došlo k mírnému ochlazení ( $-0,04$  °C/10 let) oproti kladnému trendu ( $0,61$  °C /10 let) v období 1961–1985. Klouzavé trendy průměrných teplot na jednotlivých stanicích na jaře, v létě a na podzim podporují teorii zrychlujícího se oteplování, v zimě je vývoj klouzavých trendů proměnlivý. Při interpretaci výsledků je však třeba mít na paměti, že trendy získané lineární regresí jsou značně citlivé na data z počátku a konce zkoumaného období; tato skutečnost je pravděpodobně do určité míry zodpovědná za to, že teplotní trendy v zimě se v posledním 25letém období blíží nule: tento trend již není ovlivněn velmi studenými zimami počátku 80. let (1982/3 a zejména 1984/5), zato je ovlivněn poměrně chladnými zimami konce sledovaného období.

## 6. Závěr

Nakonec shrnu výsledky ze studií a své výsledky. Zaměřím se na to, zda dochází k zrychlujícím se změnám teploty ve světě, v Evropě a v některých státech střední Evropy a zejména v ČR.

Cílem práce bylo zjistit, zda se změny teploty v ČR zrychlují nebo zpomalují. Nejprve byl v rešeršní části popsán vývoj a změny teploty ve světě, v Evropě a zejména ve střední Evropě. Podle zprávy IPCC (Trenberth et al. 2007) dochází ve světě ke zrychlujícímu se oteplování (trend průměrné teploty pro období 1906–2005 je  $0,074\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ let}$ , pro období 1956–2005 se zvýšil na  $0,128\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ let}$  a v období 1981–2005 dosáhl hodnoty  $0,177\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ let}$ ). Zrychlující se globální oteplování dokládá i změna maximální a minimální teploty. Podle Easterlinga et al. (1997) dosáhl globální trend maximální teploty  $0,88\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ let}$  a minimální teploty  $1,86\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ let}$  v období 1950–1993. Vose et. al. (2005) aktualizovali trendy maximální, minimální teploty za období 1950–2004. Lineární trend roční maximální teploty se zvýšil na  $0,141\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ let}$ , minimální teploty se zvýšil na  $0,204\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ let}$ . Na evropském kontinentu se mírné ochlazování ( $-0,03\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ let}$ ) v období 1946–1975 změnilo na oteplování ( $0,43\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ let}$ ) v období 1976–1999 (Klein Tank a Können, 2003). Zrychlující se oteplování v Evropě dokládá i zvýšení počtu teplých nocí na tomto kontinentu z 36 v roce 1976 na 63 v roce 1999 (Klein Tank a Können, 2003). I jednotlivé státy střední Evropy vykazují zrychlující se oteplování, např. Švýcarsko, kde je trend v období 1959–2008  $0,35\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ let}$  (Ceppi et al., 2012) a v období 1975–2004  $0,57\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ let}$  (Rebetez a Reinhard, 2008). Také v ČR dochází podle studií k zrychlujícímu se tempu růstu teploty. Ve studii Brázdil et al. (1995) je trend průměrné roční teploty pro období 1961–1992  $0,24\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ let}$ , zatímco v období 1961–2005 se trend zvýšil na  $0,27\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ let}$  (Brázdil et al. 2009).

V druhé části jsem analyzovala denní průměrné teploty na 17 stanicích v ČR. Nejprve jsem zjišťovala klouzavé průměry průměrné teploty na jednotlivých stanicích v jednotlivých ročních obdobích pro období 1961–2010. Dále jsem počítala trendy průměrné teploty ČR pro období 1961–2010 a pro dvě dílčí období 1961–1985 a 1986–2010. Pro tato období jsem počítala i trendy průměrných sezónních teplot ČR. Dále jsem analyzovala data jednotlivých stanic a pro každou stanicí určovala trendy průměrných teplot pro jednotlivá roční období. Trendy jsem počítala pro klouzavá 25letá období, navzájem posunutá o jeden rok. Jako metodu pro výpočet trendů jsem

zvolila lineární regresi. Mé výsledky prokázaly, že oteplování se v uplynulých padesáti letech převážně urychlovalo. Trend průměrné roční teploty ČR dosahuje v období 1961–1985 hodnoty  $0,12\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ let}$ , zatímco v období 1986–2010 se trend zvýšil na  $0,37\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ let}$ . Na jaře a v létě se trend průměrné teploty ČR v druhém období (1986–2010) zvýšil, na podzim se ochlazování v prvním období (1961–1985) změnilo v oteplování v období 1986–2010. Výjimku tvoří zima, kdy se oteplování v prvním období ( $0,61\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ let}$ ) změnilo na mírné ochlazení v druhém období ( $-0,04\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ let}$ ). I jednotlivé stanice ukazují zrychlující se nárůst teploty na jaře, v létě a na podzim, v zimě můžeme vidět proměnlivost v trendech průměrné teploty.

Ze zde uvedených studií zabývajících se globálním vývojem teploty, vývojem teploty v Evropě a ve vybraných státech střední Evropě vyplývá zrychlující se tempo oteplování. Studie pro ČR a mnou získané výsledky potvrzují zrychlující se oteplování i v České republice.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ

BRÁZDIL, R. et al. (1995): Fluctuation of maximum and minimum air temperatures in the Czech and the Slovak Republic. *Atmospheric Research*, Vol 37, s. 53–65.

BRÁZDIL, R. et al. (1996): Trends of maximum and minimum daily temperatures in Central and Southeastern Europe. *International Journal of Climatology*, Vol. 16, s. 765–782.

BRÁZDIL, R. et al. (2009): Climate fluctuation in the Czech Republic during the period 1961–2005. *International Journal of Climatology*, Vol. 29, s. 223–242.

CEPPI, P. et al. (2012): Revisiting Swiss temperature trends 1959–2008. *International Journal of Climatology*, Vol. 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*, Vol. 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*, Vol. 75, s. 131–147.

EASTERLING, D. R., et. al. (1997): Maximum and Minimum Temperature Trends for the Globe. *Science*, Vol. 277, s. 364–367.

FRANKE, J. et al. (2004): Statistical analysis of regional climate trends in Saxony, Germany. *Climate Research*, Vol. 27, s. 145–150.

HENDL, J. (2004): *Přehled statistických metod zpracování dat*. 1. vyd. Praha: Portál. 584 s. ISBN 80-7178-820-1.

HUNDECHA Y., BÁRDOSSY, A. (2005): Trends in daily precipitation and temperature extremes across Western Germany in the second half of the 20th century. *International Journal of Climatology*, Vol. 25, s. 1189–1202.

HUTH, R. (2001): Disaggregating climatic trends by classification of circulation patterns. *International Journal of Climatology*, Vol. 21, s. 135–153

HUTH, R., POKORNÁ, L. (2004): Trendy jedenácti klimatických prvků v období 1961–1998 v České republice. *Meteorologické zprávy*, Vol. 57, s. 168–178.

CHLÁDOVÁ, Z., KALVOVÁ, J. (2005): Změny vybraných teplotních kvantilů v období 1961–2000. *Meteorologické zprávy*, Vol. 58, s. 111–118.

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*, Vol. 16, s. 3665–3680.

KLEIN TANK, A.M.G., WIJNGAARD, J., ENGELEN, A. (2002): Climate of Europe: Assessment of observed daily temperature and precipitation extremes. Royal Netherlands Meteorological Institute, 36 s. Dostupné z: <http://eca.knmi.nl/documents/ECAreportHighRes.pdf>

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*, Vol. 25, s. 1–16.

*Meteo.amut.net* [online]. c2006, [cit. 2012-07-30]. Dostupné z: [http://meteo.amut.net/odkazy\\_google.php](http://meteo.amut.net/odkazy_google.php)

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*, Vol. 25, s. 1149–1171.



REBETEZ, M., REINHARD, M. (2008): Monthly air temperature trends in Switzerland 1901–2000 a 1975–2004. *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 91, s. 27–34.

TRENBERTH, K. E. et al. (2007): Observation: Surface and Atmospheric Climate Change. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S. et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

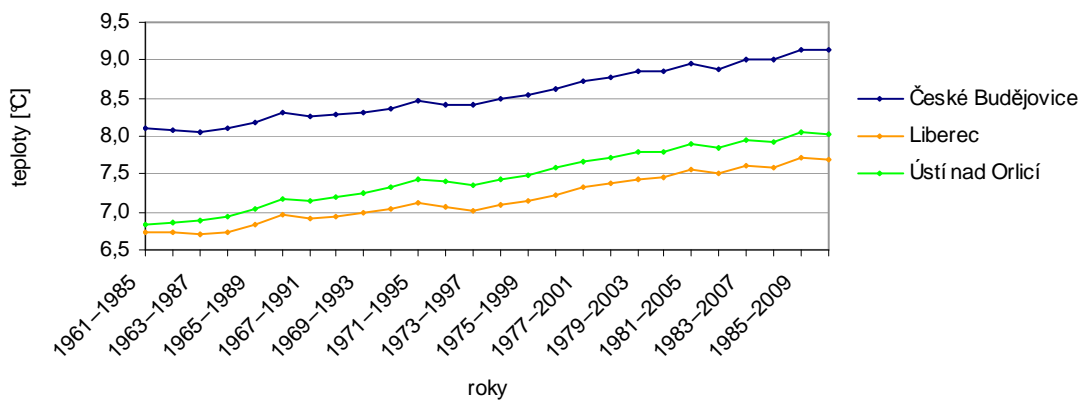
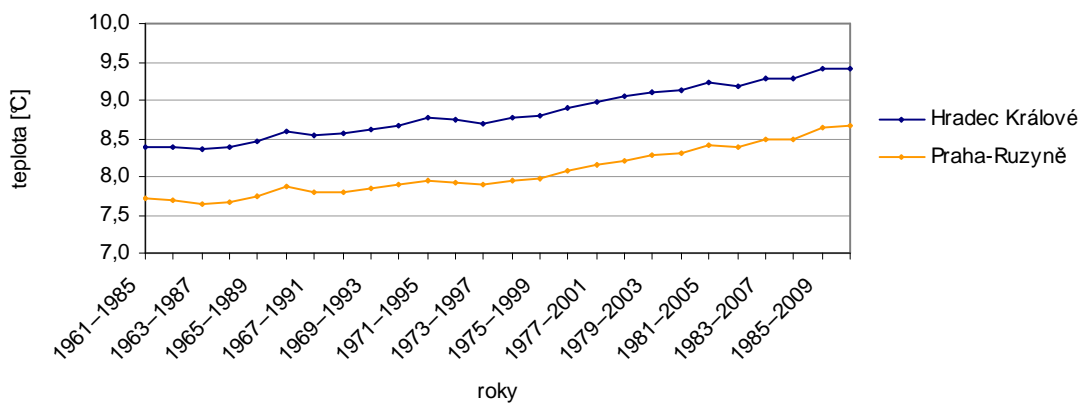
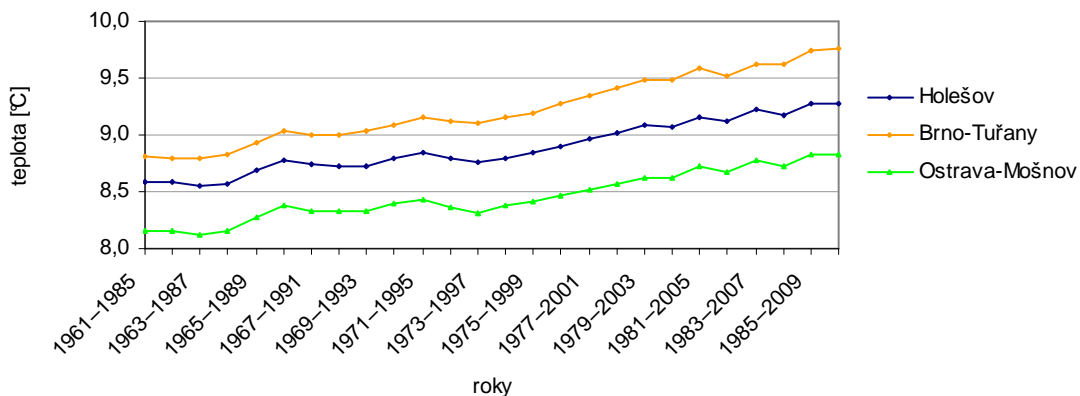
VOSE, R. S., EASTERLING, D. R., GLEASON, B. (2005): Maximum and minimum temperature trends for the globe: An update through 2004. *Geophysical Research Letters*, Vol. 32, L23822.

WEBER, R. O. et al. (1997): 20th-century changes of temperature in the mountain regions of Central Europe. *Climatic Change*, Vol. 36, s. 327–344.

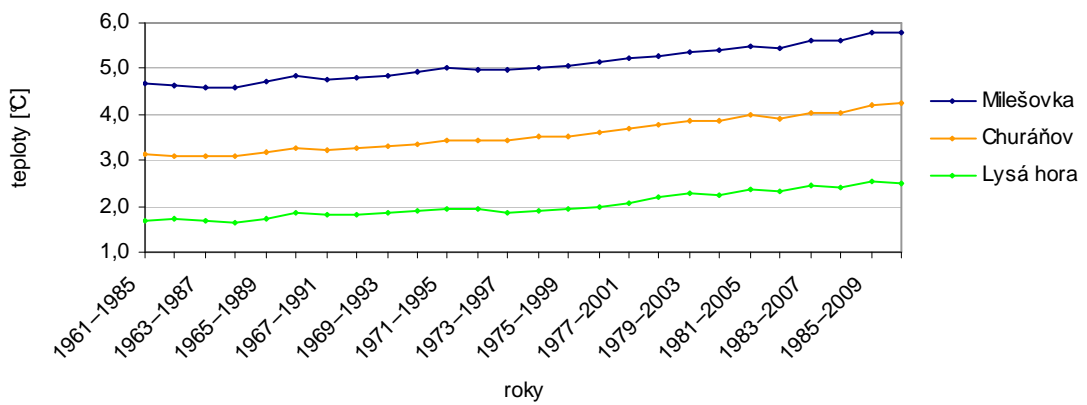
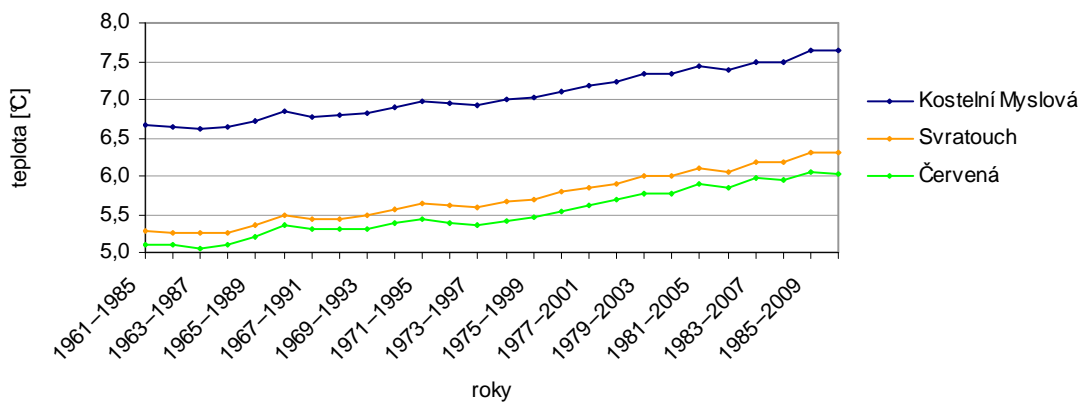
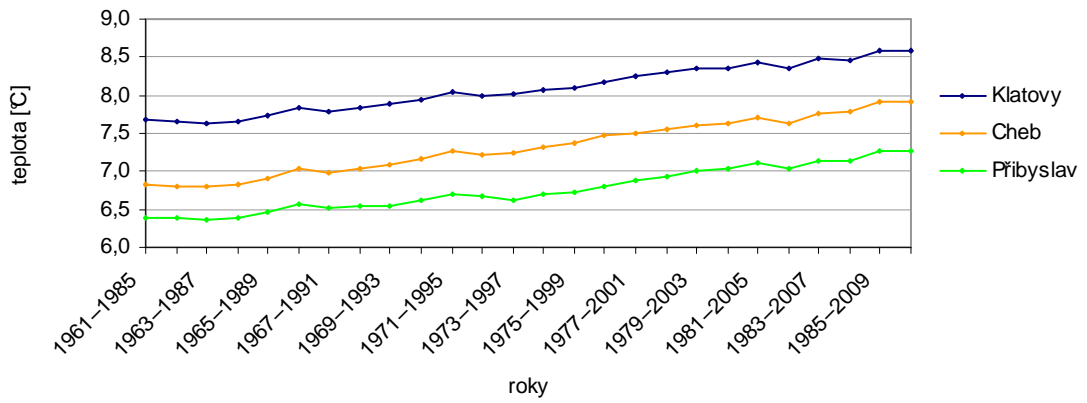
WIBIG, J., GŁOWICKI, B. (2002): Trends of minimum and maximum temperature in Poland. *Climate Research*, Vol. 20, s. 123–133.

## PŘÍLOHY

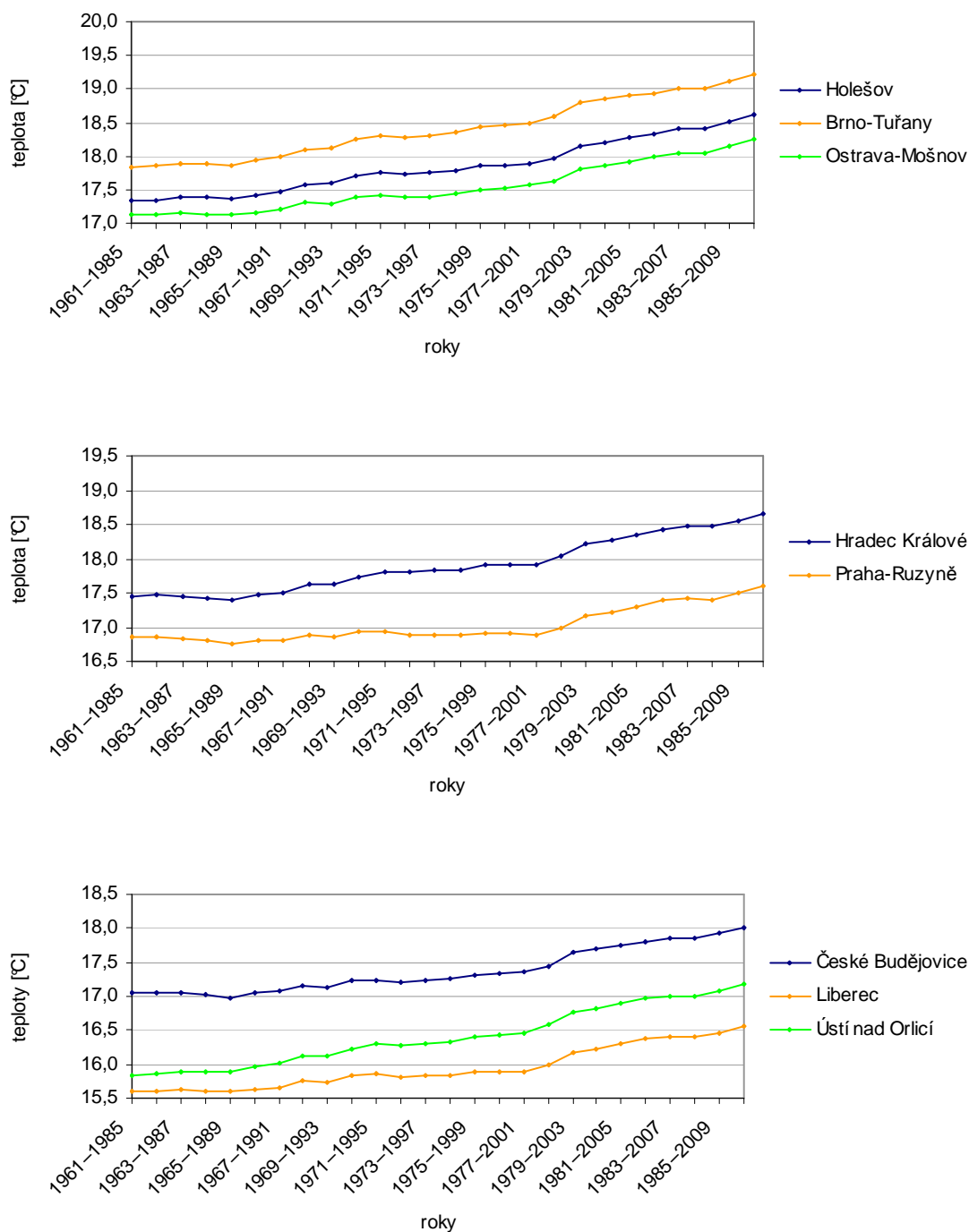
Obr. 30: Klouzavé průměry průměrné teploty na jaře v období 1961–2010 na vybraných stanicích v ČR



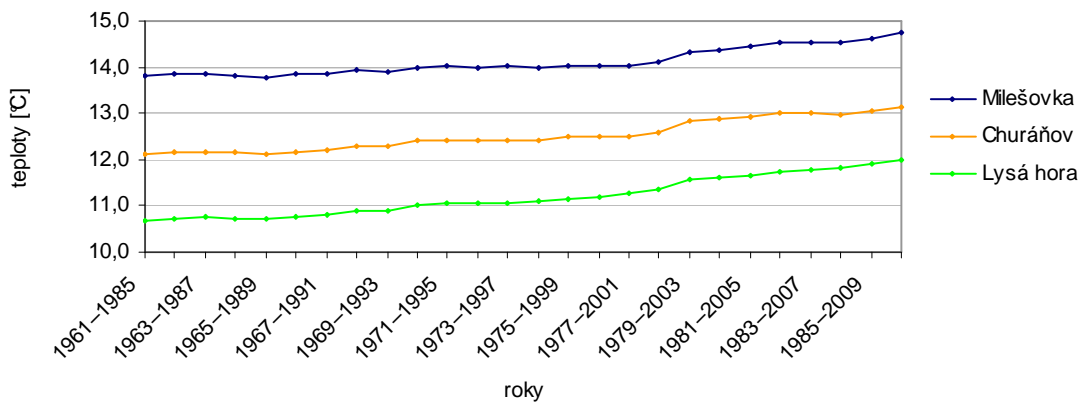
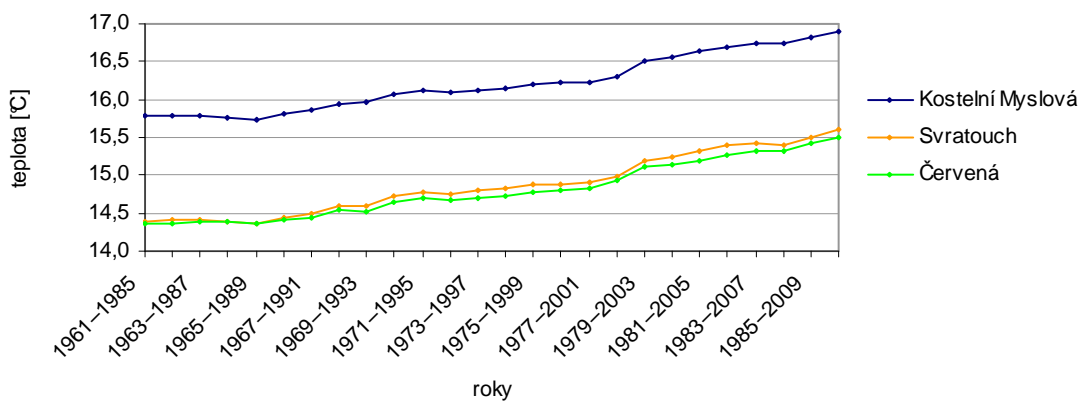
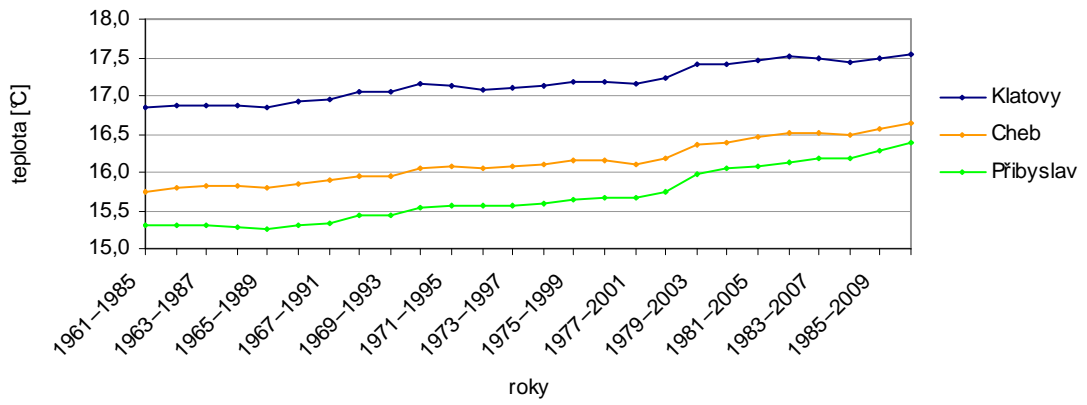
Pokračování na další straně.



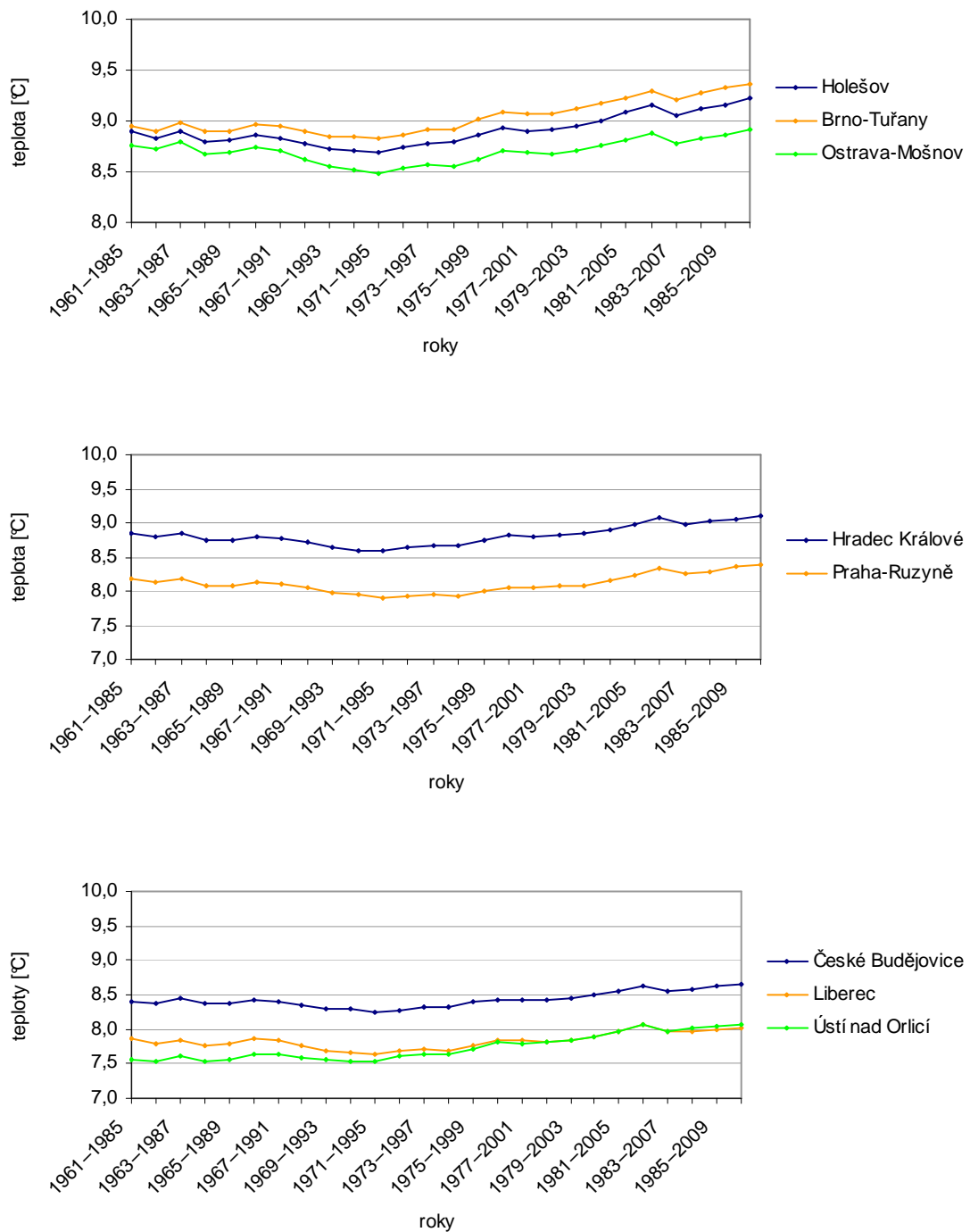
**Obr. 31: Klouzavé průměry průměrné teploty v létě v období 1961–2010 na vybraných stanicích v ČR**



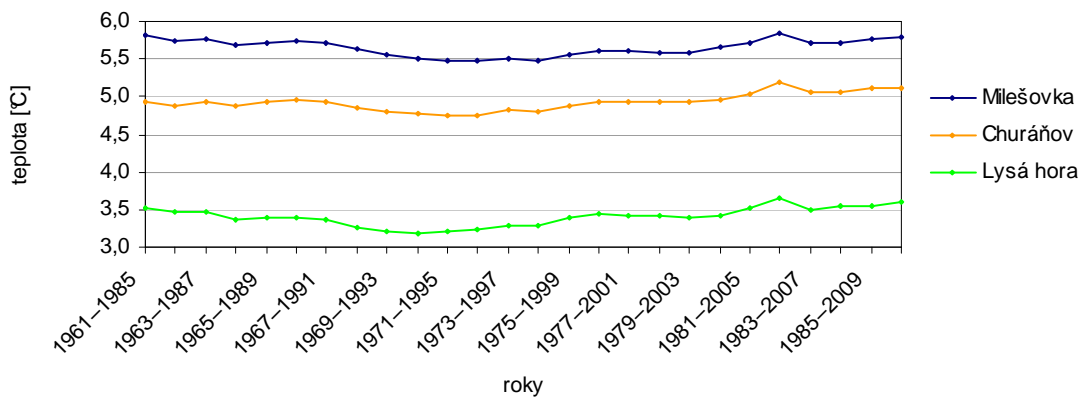
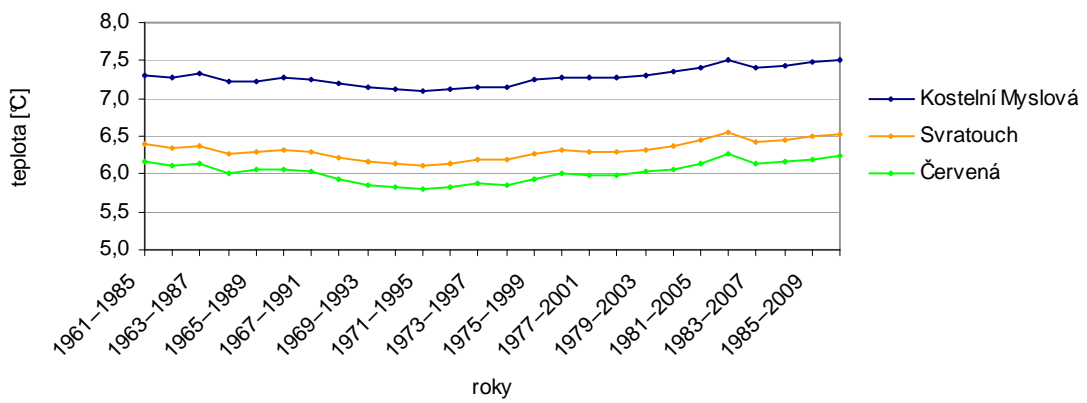
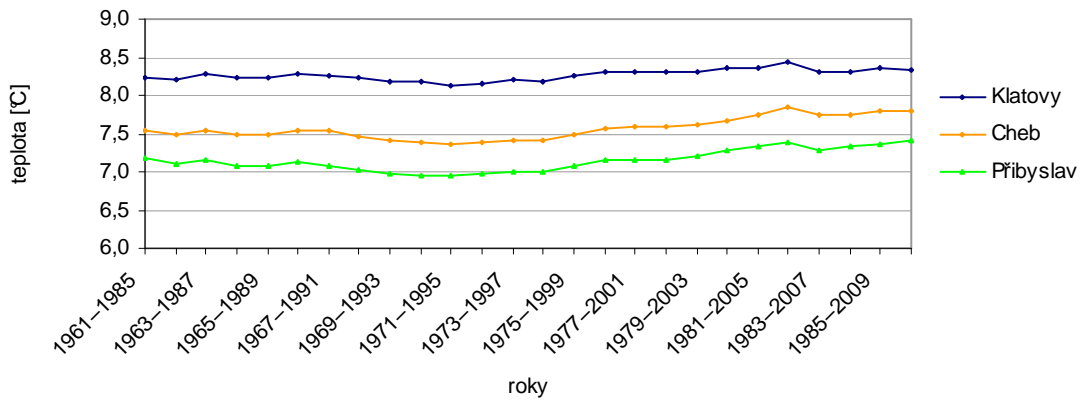
Pokračování na další straně.



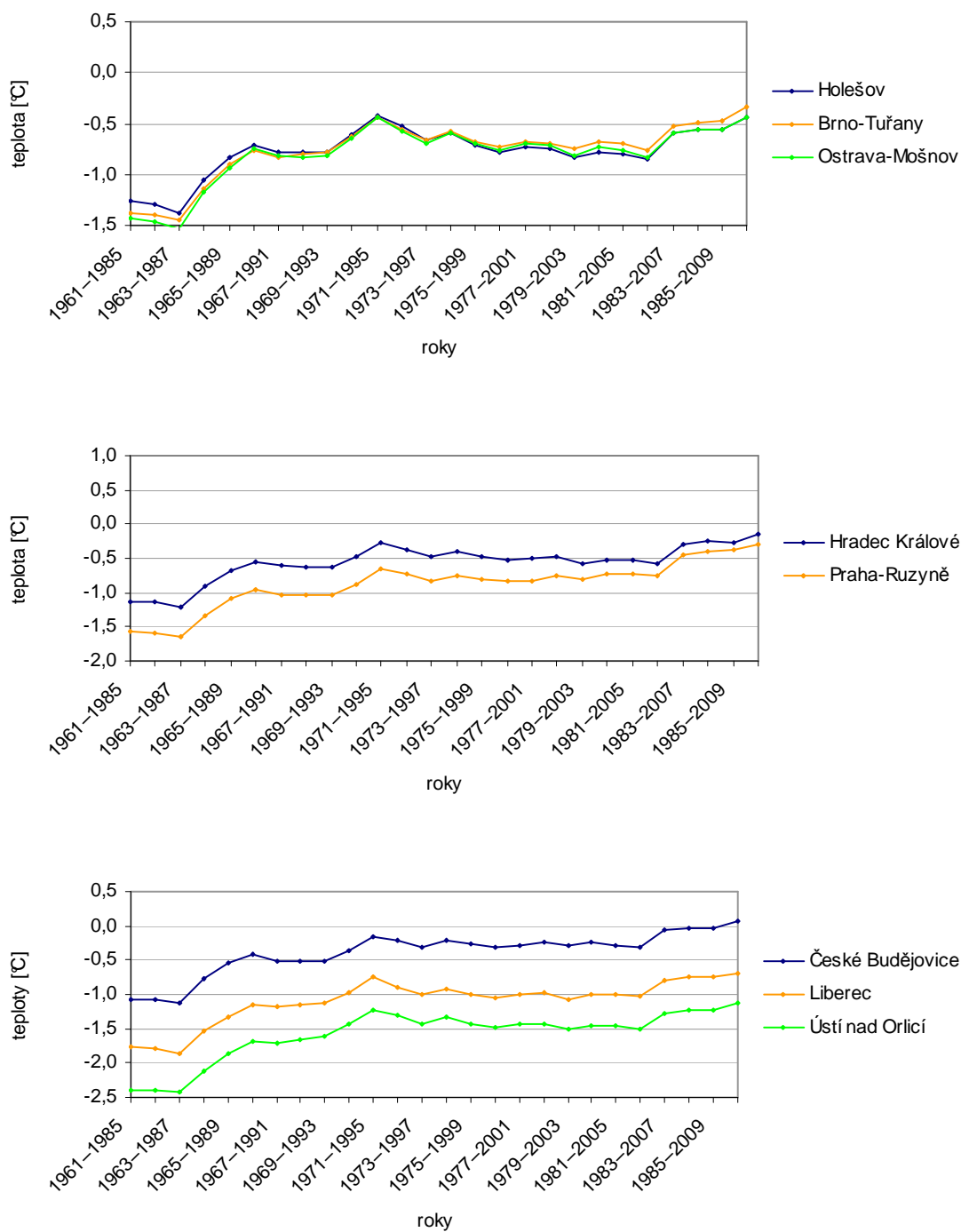
**Obr. 32: Klouzavé průměry průměrné teploty na podzim v období 1961–2010 na vybraných stanicích v ČR**



Pokračování na další straně.

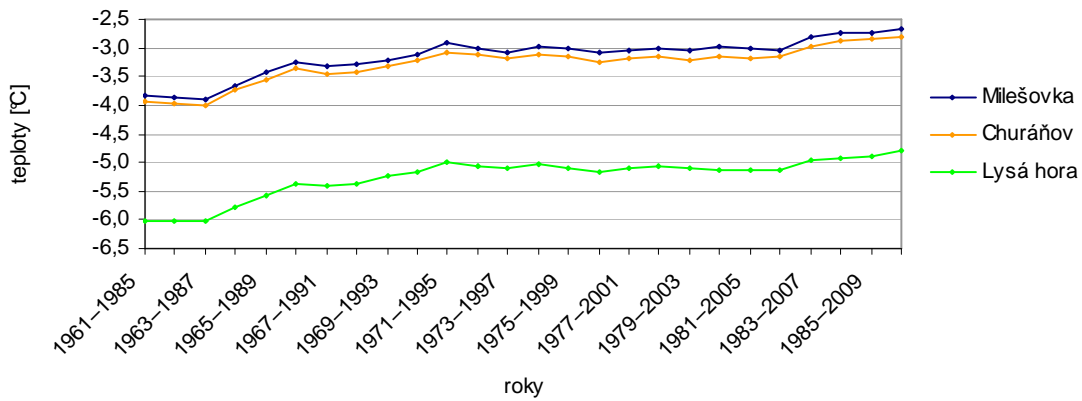
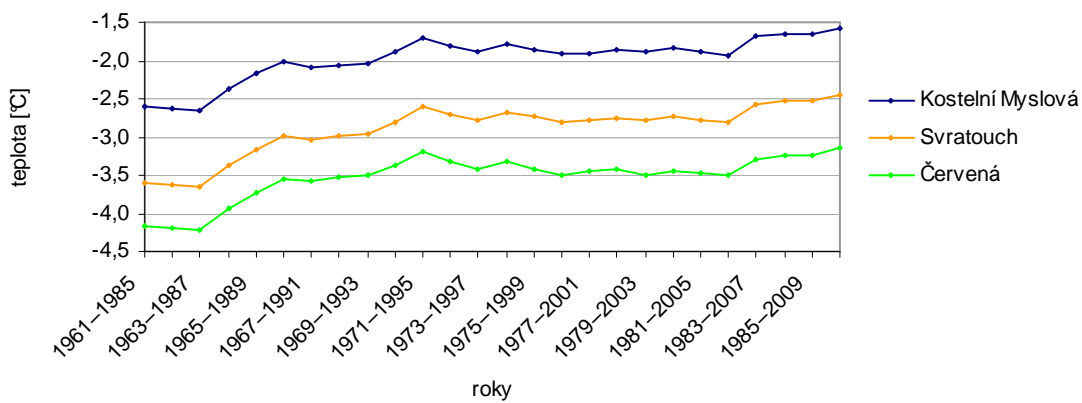
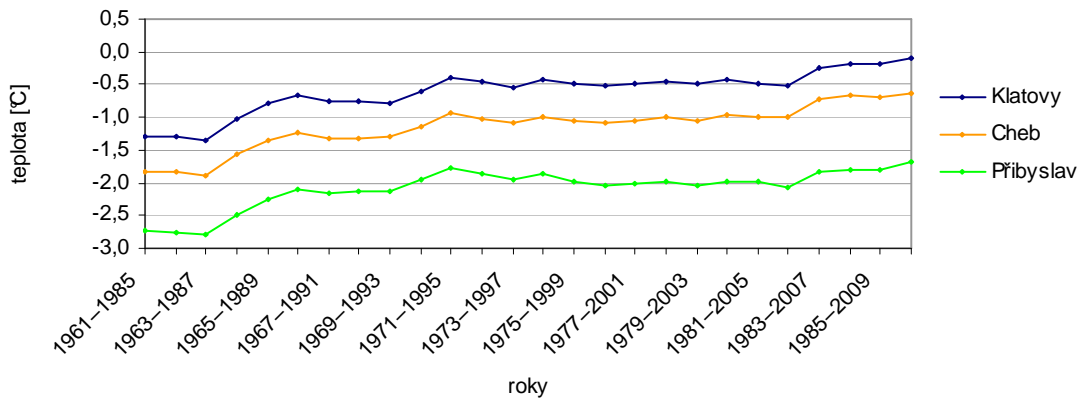


**Obr. 33: Klouzavé průměry průměrné teploty v zimě v období 1961–2010 na vybraných stanicích v ČR**

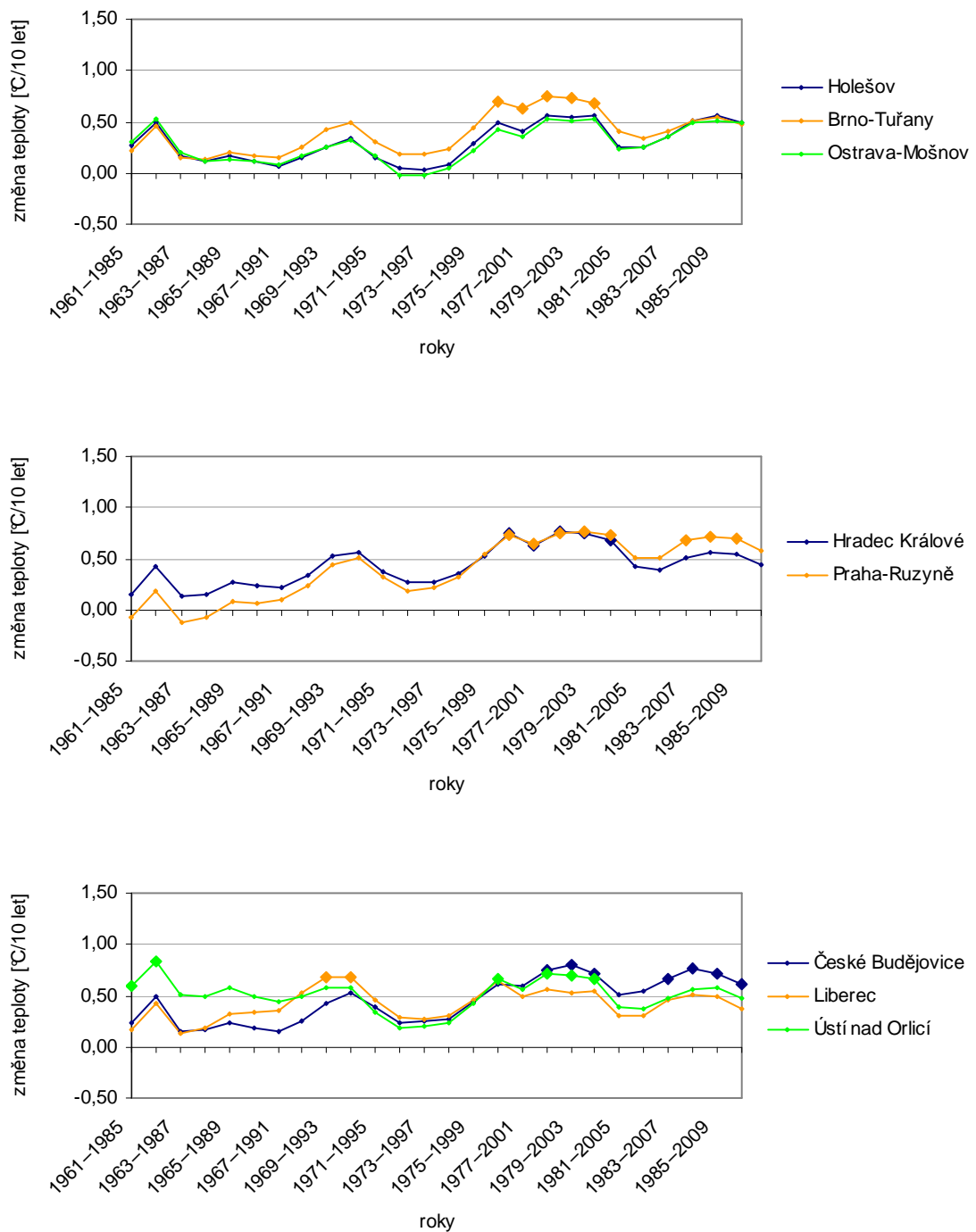


Pokračování na další straně.

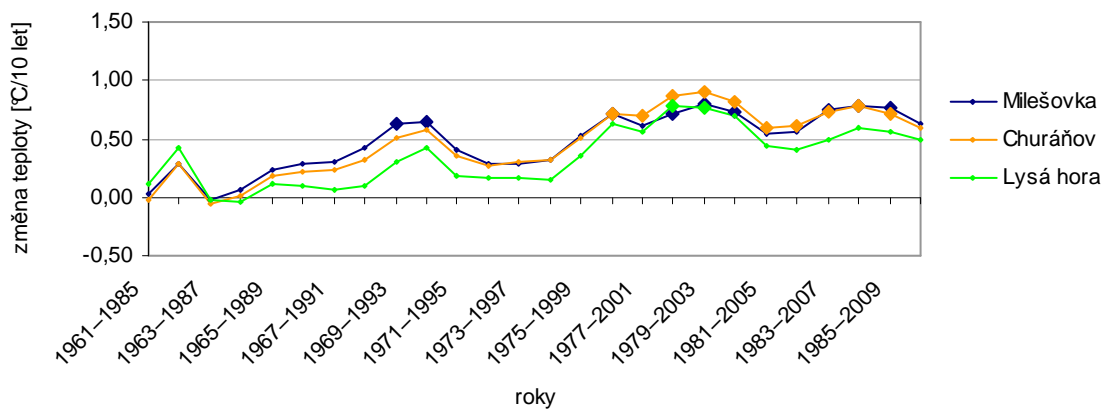
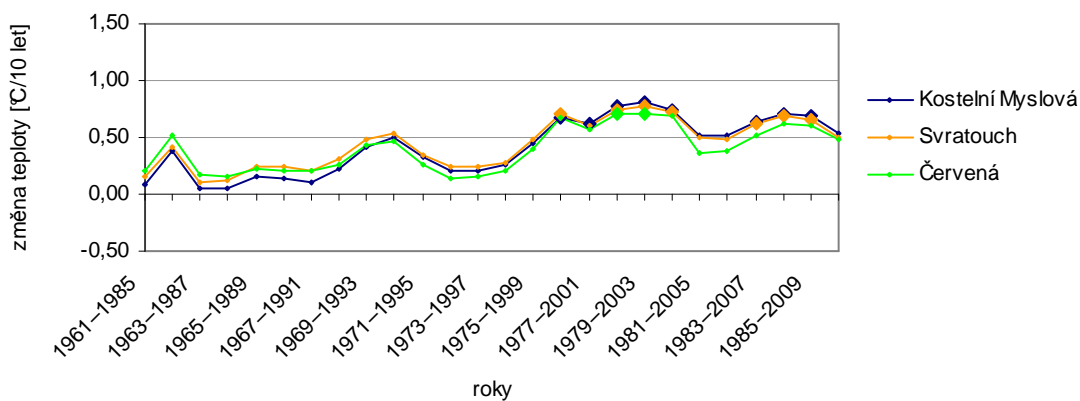
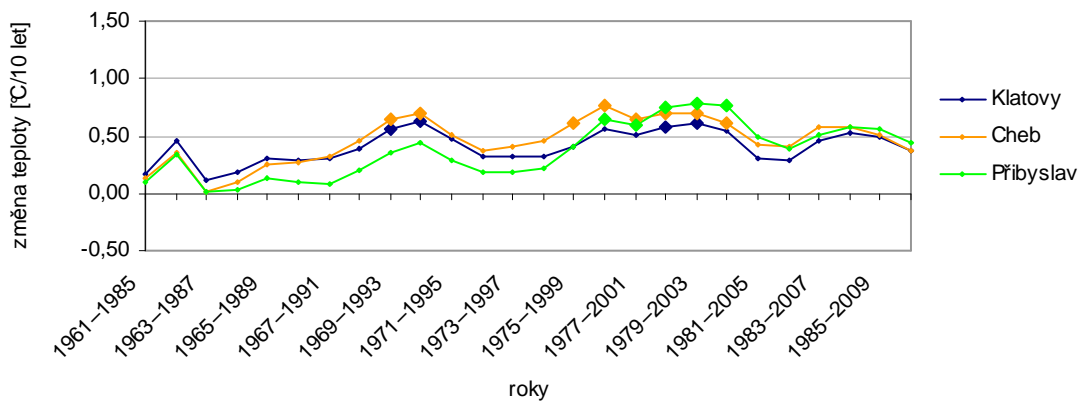




**Obr. 34: Klouzavé trendy průměrné teploty na jaře v období 1961–2010 na vybraných stanicích v ČR**

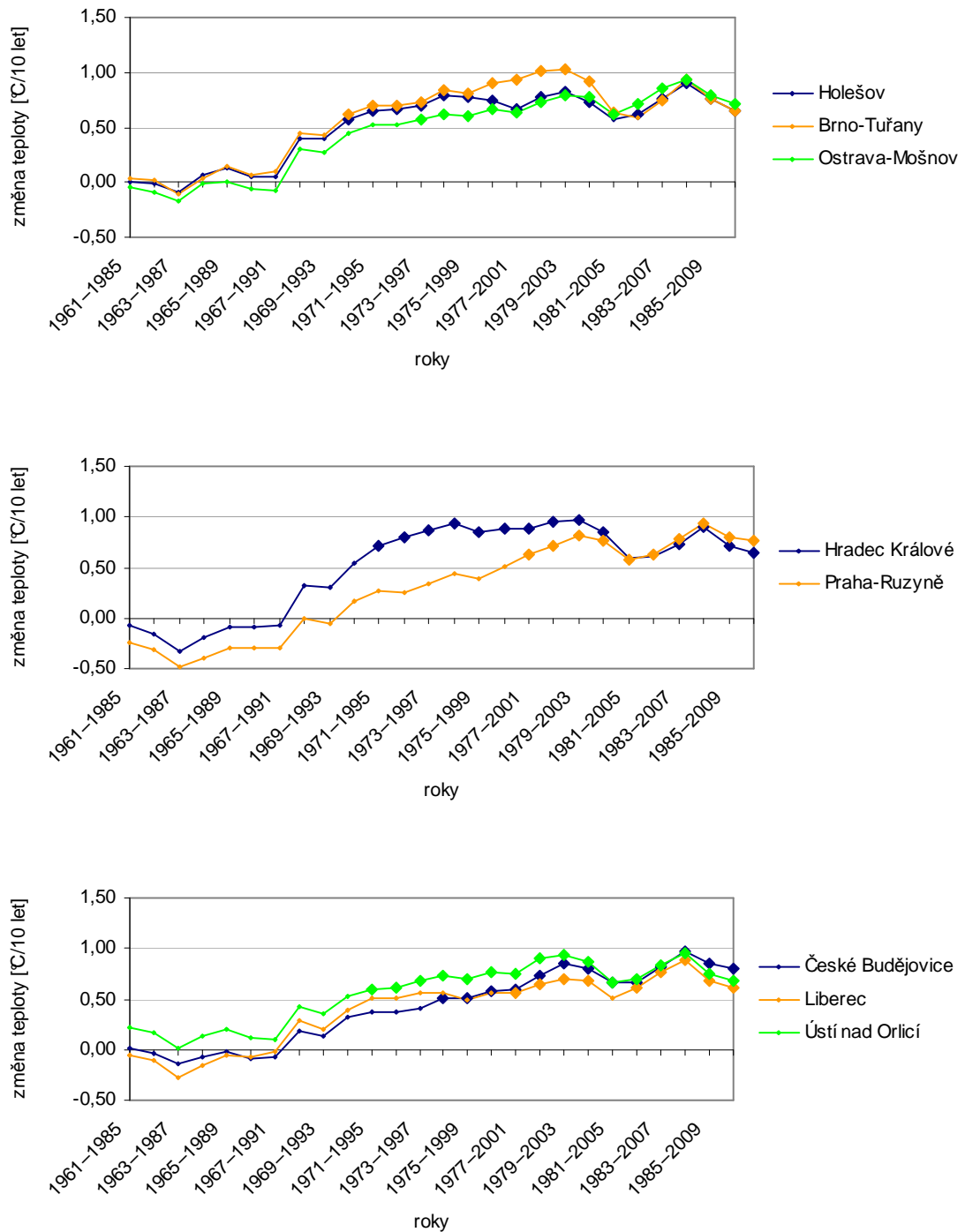


Pokračování na další straně.

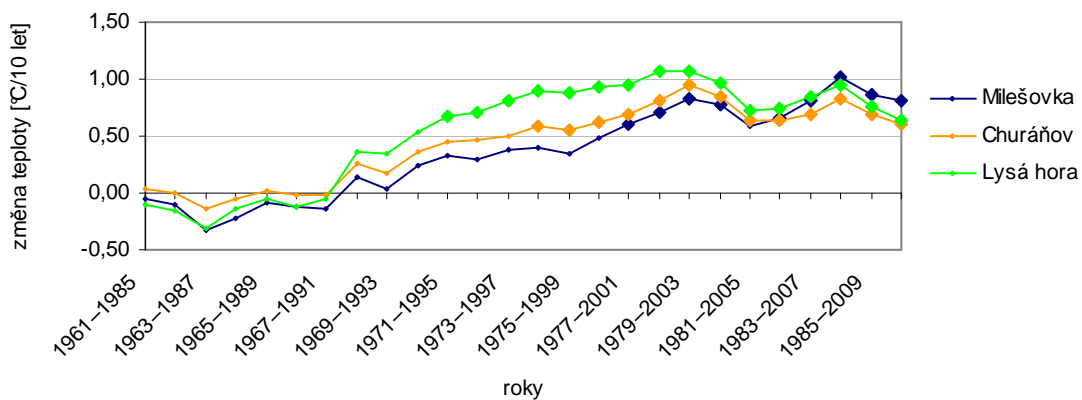
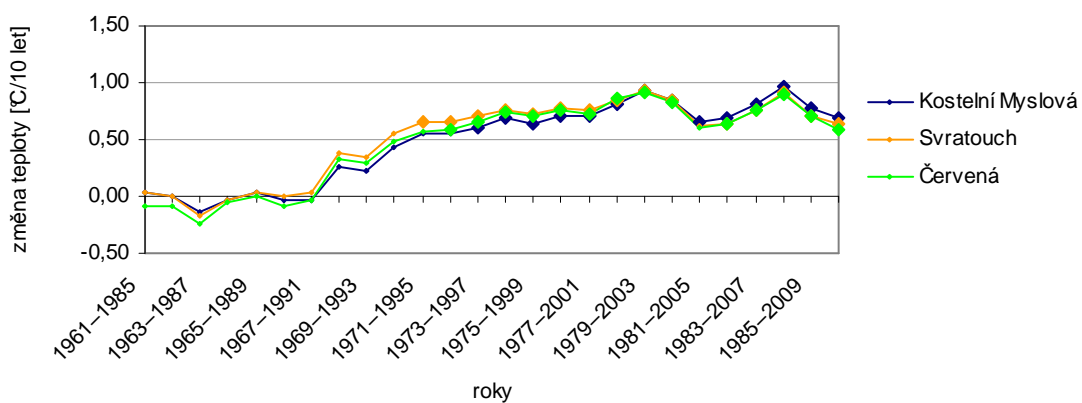
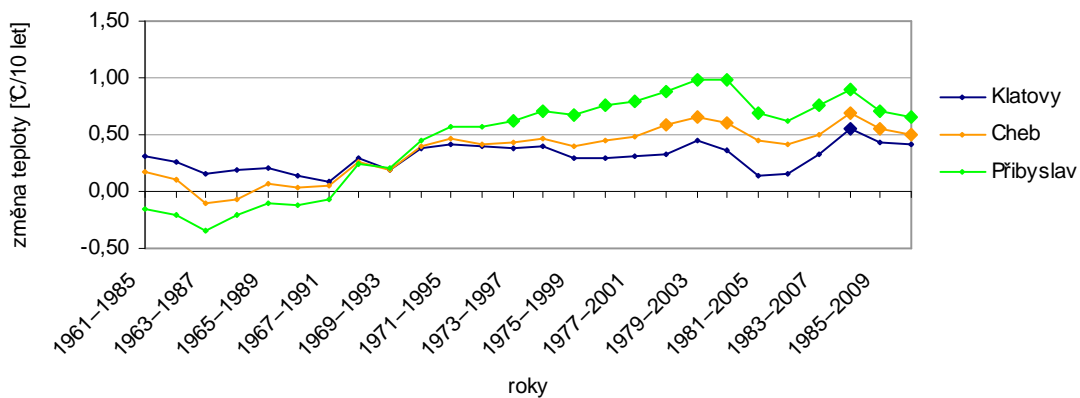


**Poznámka:** Větší body označují trendy statisticky významné na 5% hladině významnosti.

**Obr. 35: Klouzavé trendy průměrné teploty v létě v období 1961–2010 na vybraných stanicích v ČR**

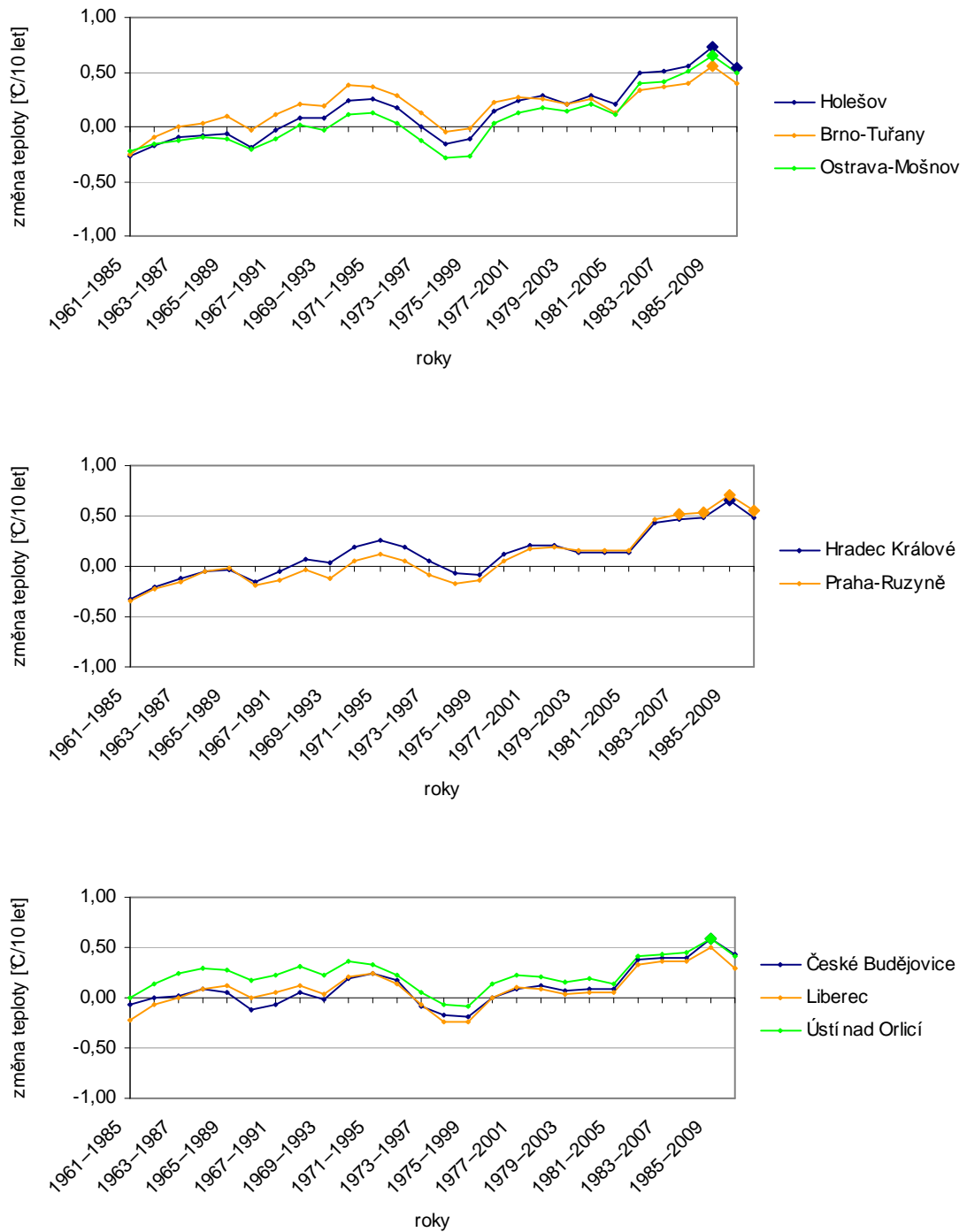


Pokračování na další straně.

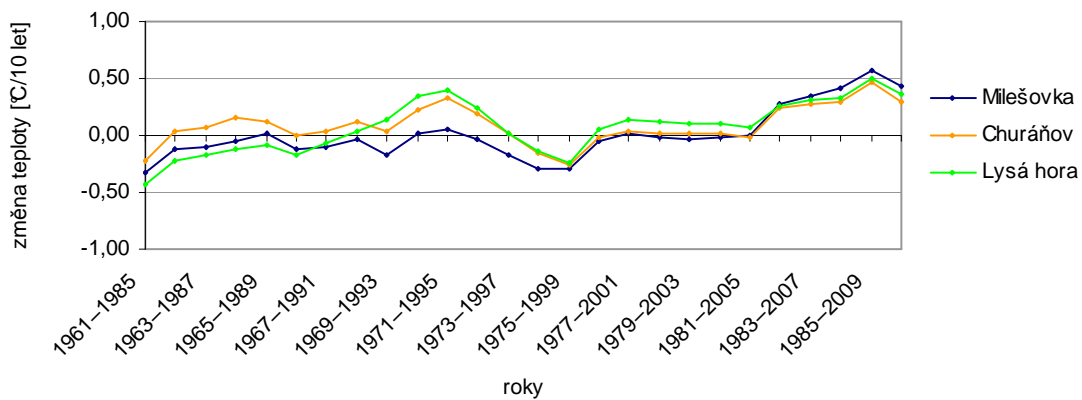
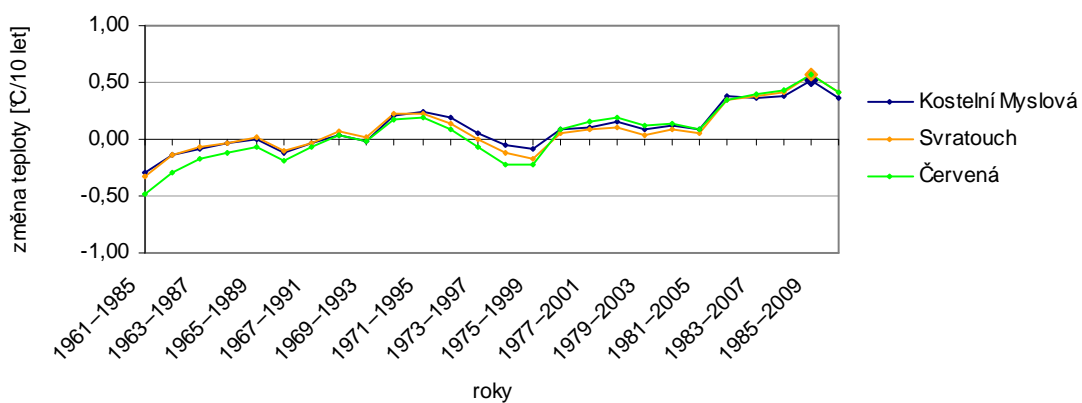
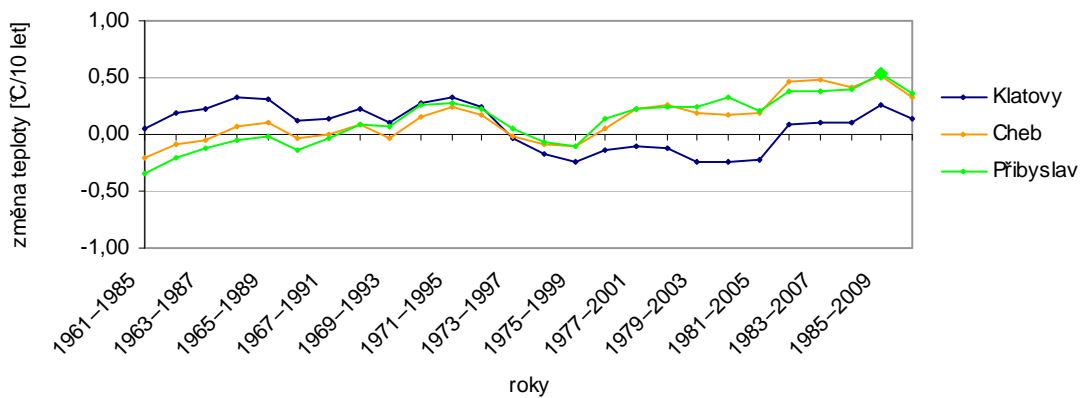


**Poznámka:** Viz obr. 34.

**Obr. 36: Klouzavé trendy průměrné teploty na podzim v období 1961–2010 na vybraných stanicích v ČR**

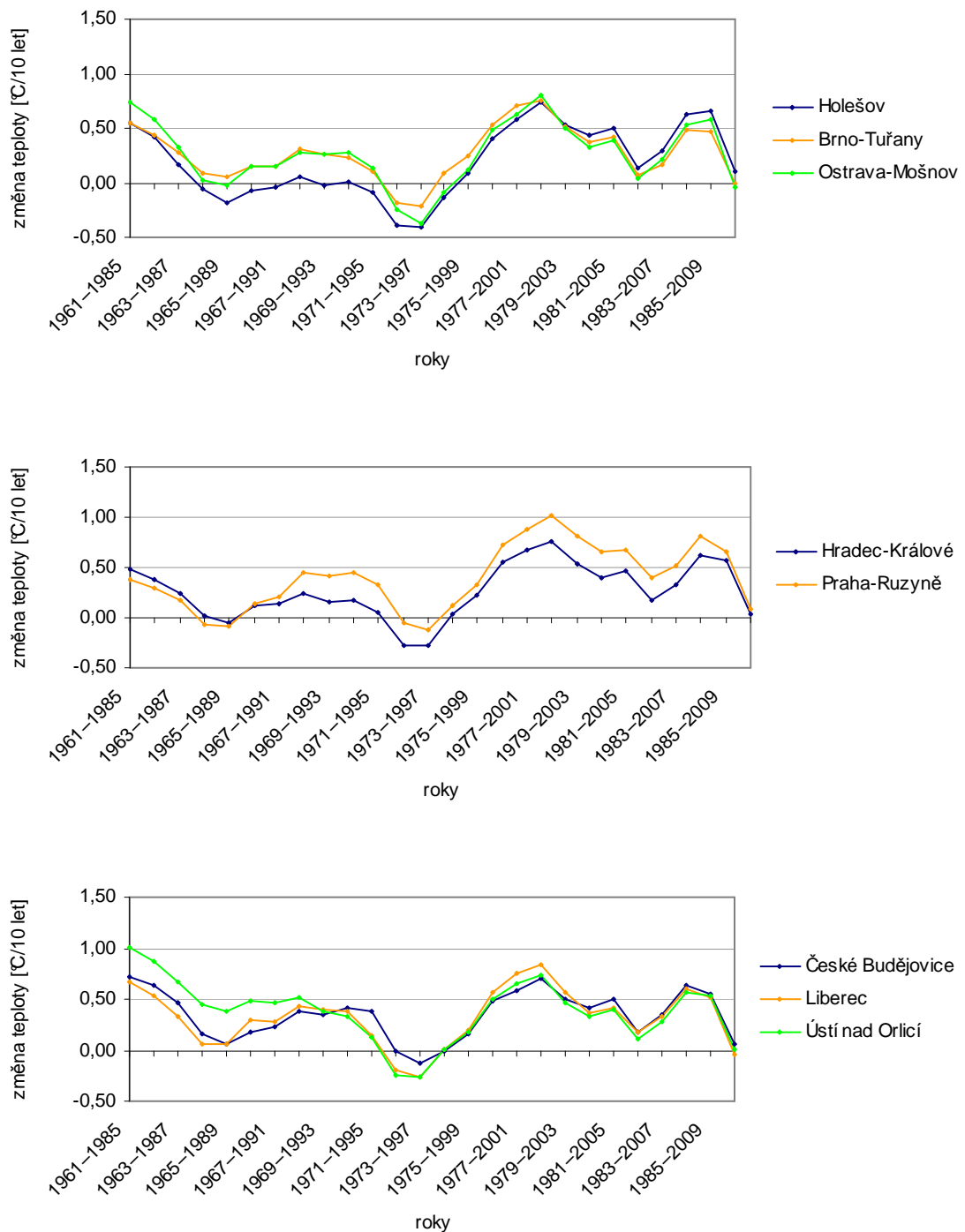


Pokračování na další straně.



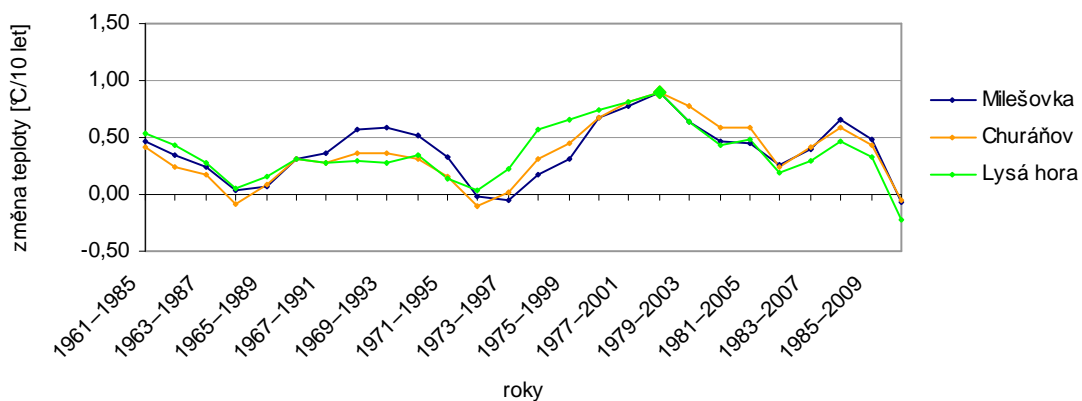
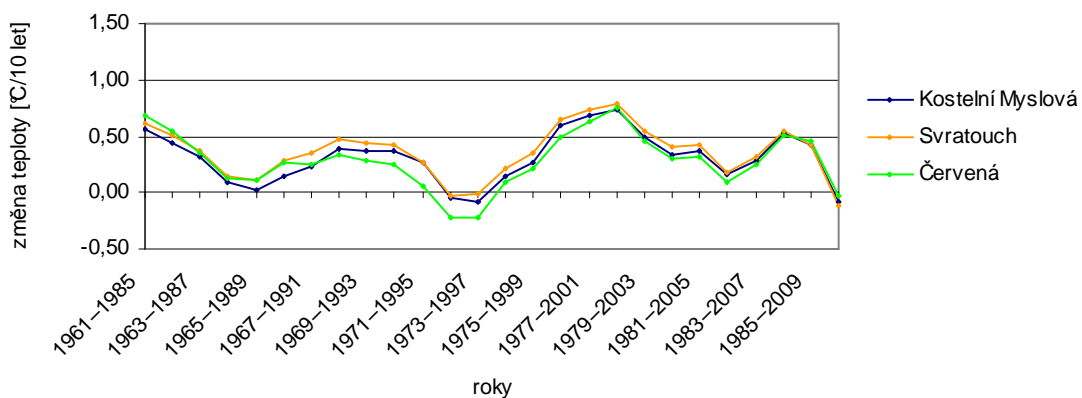
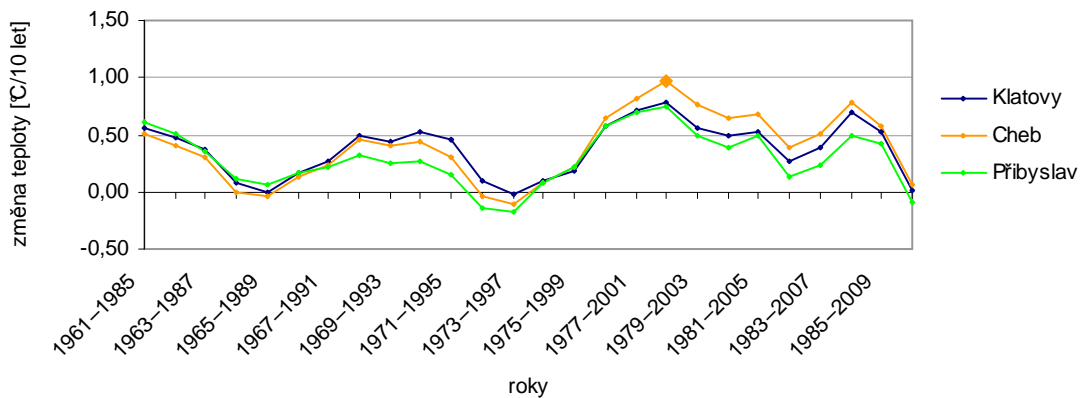
**Poznámka:** Viz obr. 34.

**Obr. 37: Klouzavé trendy průměrné teploty v zimě v období 1961–2010 na vybraných stanicích v ČR**



Pokračování na další straně.





**Poznámka:** Viz obr. 34.