

# VZRŮST PRŮMĚRNÝCH TEPLŮT VZDUCHU PODLE POZOROVÁNÍ NA SÍTI STANIC V NĚMECKU ZA POSLEDNÍCH 17 LET

Jaroslav Střeščík

*Geofyzikální ústav AV ČR, v.v.i., Boční II 1401, 14131 Praha 4, jstr@ig.cas.cz*

## Abstract:

Air temperatures have increased systematically since the middle of the 19th century and this increase becomes more rapid in the last decades. The increase is different in different seasons and on different stations. In this paper data from 17 stations regularly distributed on the German territory have been used. The annual averages of air temperature increase slowly during the investigated period. This increase is supplemented by considerable fluctuations. Summer and spring temperatures increase more slowly, whereas winter and autumn temperatures increase more rapidly. The difference between summer and winter temperatures in the same year decreases and in this respect the climate becomes less continental. Springs become relatively colder and autumns warmer which also agrees with the decrease of continentality of the climate. The increase of annual and all seasonal average temperatures depends on the geographic latitude. The temperatures usually increase more rapidly in higher latitudes. This difference is the biggest for winter and autumn temperatures, for spring increases is the dependence on the latitude opposite. The increase depends slightly also on the geographic longitude. On stations located more to the East is the increase of average temperatures less rapid than on stations located more to the West. It seems that the distance from the coast is more important than the geographic longitude itself. The increase of air temperatures at stations on the coast is considerably higher than at stations located 500 km from the ocean. This dependence is for autumn and winter temperatures stronger than for summer and spring temperatures.

**Keywords:** air temperatures, seasonal differences, latitudinal dependence

## 1. Úvod

V poslední době se opět stala velmi aktuální otázka klimatické změny, jmenovitě globálního oteplení. Globální teplota, tj. teplota spočtená jako průměrná teplota na Zemi, stále roste a tento růst se posledních desetiletích dále zrychluje. Číselné hodnoty globální teploty podle nejnovějších a aktualizovaných výpočtů jsou k dispozici od roku 1850 a lze je najít na internetové adrese <http://hadobs.metoffice.com/hadcrut3/diagnostics/monthly> pro jednotlivé měsíce od r. 1850 až do dneška (více viz Brohan et al., 2006). Tato řada vykazuje stálý růst pouze s malými fluktuacemi, který dosahuje 0,8 °C za posledních 150 let. Toto je ovšem průměr. Průměrné teploty spočtené např. pro jednotlivé polokoule (k dispozici na téže internetové adrese)

ukazují, že na severní polokouli je pozorován o něco větší růst teploty než na jižní (číselně 0,9 °C na severní a 0,7 °C na jižní). Také data z jednotlivých stanic vykazují někdy značně odlišný průběh změn teploty vzduchu. Obecně je v Evropě a v severní Americe pozorován větší vzrůst teploty než je celosvětový průměr a např. v Austrálii je pozorovaný růst teplot podstatně menší. V pražském Klementinu vzrostla průměrná teplota vzduchu za stejné období o celých 1,8°C (Střeščík, 2000) a obdobné vysoké přírůstky byly pozorovány všude ve střední Evropě. Ve všech případech hlavní podíl tohoto růstu připadá na několik málo posledních desetiletí.

Je tedy na místě otázka, jaké je rozložení velikosti růstu průměrné teploty vzduchu na zemském povrchu, kde roste

teplota více a kde méně a na čem vlastně závisí velikost tohoto růstu. Provedení pro celou Zemi je ovšem úkol velmi rozsáhlý. Zde se omezíme jen na malý náhled do této problematiky. Porovnáme růst průměrných teplot vzduchu na síti stanic rozložených na poměrně malém území velikosti několika stupňů v šířce a v délce, a to jen za necelá dvě poslední desetiletí. V tomto období teploty s malými výkyvy stále rostly bez větších dlouhodobých zvlnění, proto tento růst lze aproximovat přímkou a není třeba použít polynom vyššího stupně.

## 2. Data a jejich zpracování

Pro tuto práci byla použita data volně dostupná na internetové adrese <http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop/>. Jsou tam uvedeny průměrné denní a měsíční teploty vzduchu na 44 stanicích v Německu od roku 1991 do dneška a mnoho dalších dat, jako např. teploty maximální a minimální, srážkové úhrny, délka slunečního svitu atd., mnohá data i pro více stanic a delší období. V této malé ukázce ovšem nepoužijeme všechna data. Vyloučeny byly především stanice, kde byly malé výpadky, a pak stanice v nadmořské výšce nad 300 m. To proto, že stanice ve vyšší nadmořské výšce se nacházejí především v jižní části Bavorska a jen sporadicky jinde. Pokud bychom našli, že hodnota některé veličiny závisí na zeměpisné šířce, nedokázali bychom tuto závislost oddělit od možné závislosti na nadmořské výšce. Nakonec byly vyloučeny také stanice, které leží blízko sebe (např. Potsdam v blízkosti Berlína), aby rozložení stanic na území Německa bylo pokud možno rovnoměrné. Takto zbylo pouze 17 stanic, jejichž seznam s číselnými hodnotami zeměpisné šířky a délky je uveden v Tabulce 1. Kromě zeměpisných souřadnic a nadmořské výšky je zde ještě uvedena přibližná vzdálenost od moře vzdušnou čarou.

Z měsíčních průměrů byly spočítány průměry za celý rok a za jednotlivá roční období: jaro = březen+duben+květen, léto = červen+červenec+srpen, podzim = září+říjen+ listopad, zima = leden+únor+prosinec předcházejícího roku. Dlouhodobé změny těchto průměrů jsou pak zpracovány dále.

## 3. Průběh teplot vzduchu v jednotlivých ročních obdobích

Na obr. 1 je ukázán průběh průměrných ročních teplot vzduchu ve sledovaném období na všech 17 stanicích v Německu. Grafy pro jednotlivé stanice jsou barevně odlišeny (to je dáno automaticky počítačem). Barevné rozlišení je stejné ve všech následujících podobných obrázcích. Regresní přímkou na obrázku se vztahuje k průměru ze všech 17 stanic (ten není samostatně zakreslen). Podle očekávání je průběh na všech stanicích podobný, ne však úplně stejný (to bude popsáno dále). Křivky posazené výše platí pro stanice položené jižněji, kde jsou obecně teploty vyšší, a naopak v dolní části obrázku jsou grafy pro stanice položené severněji. Nepravidelné kolísání z roku na rok je značné a může činit až 3 stupně na každé stanici. Přesto je však systematický růst teplot zřejmý. Pravý konec regresní přímkou (odpovídá roku 2007) je o 0,9°C výše než levý (ten odpovídá roku 1991). Pro srovnání: přírůstek průměrů mezi dekádami 1961-1990 a 1971-2000 v pražském Klementinu je +0,4 °C.

Na obr. 2 je ukázán průběh průměrných letních teplot vzduchu ve sledovaném období na všech 17 stanicích v Německu. Graf je zpracován stejně jako graf na obr. 1. I zde je průběh na všech stanicích podobný, ne však úplně stejný. V porovnání s průběhem celoročních průměrů jsou zde však některé rozdíly. Nepravidelné kolísání z roku na rok je větší než pro teploty celoroční, což platí obecně pro všechny průměry z kratších

období než jeden rok, a dosahuje zde až 4 stupně na každé stanici. Proto je také jiná škála na vertikální ose. Jiné je také rozmístění grafů pro jednotlivé stanice. Uplatňuje se zde vzdálenost od oceánu, takže na stanicích blíže k oceánu jsou letní teploty nižší. Výše jsou tedy umístěny grafy pro stanice položené jižněji a východněji, níže pak pro stanice ležící severněji a západněji. Růst teplot za celé období je podstatně menší než pro teploty celoroční. Pravý konec regresní přímky je jen o 0,3°C výše než levý. Na obrázku je nápadné mimořádně horké léto v roce 2003, méně významné na stanicích severních, ale ani tento výjimečný rok neposunul pravý konec regresní přímky výše.

Na obr. 3 je ukázán průběh průměrných zimních teplot vzduchu ve sledovaném období na všech 17 stanicích v Německu. I zde jsou určité rozdíly oproti grafům na obr. 1 a 2. Nepravidelné kolísání z roku na rok je ještě větší než pro teploty letní a dosahuje zde až 7 stupňů na každé stanici. Tomu také odpovídá škála na vertikální ose. Jiná je opět poloha grafů pro jednotlivé stanice daná vzdáleností od oceánu. Na stanicích blíže k oceánu jsou zimní teploty vyšší, takže rozložení grafů pro jednotlivé stanice je jiné než pro letní teploty. Výše jsou tedy posazeny grafy pro stanice položené jižněji a západněji, níže pak pro stanice severnější a východnější. Růst teplot za celé období je podstatně větší než pro teploty celoroční či letní. Pravý konec regresní přímky je o plných 1,5 °C výše než levý. Mimořádně teplá zima 2006/2007 sice posune tento konec poněkud výše, ale jen velmi málo, takže i bez tohoto posledního roku by byl růst průměrných zimních teplot podstatně větší než pro celoroční průměry.

Rozdílná dlouhodobá změna letních a zimních teplot znamená, že se pomalu mění také rozdíl mezi letními a zimními teplotami. Ten se postupně snižuje, pře-

devším vlivem rychlejšího zimního oteplování, což znamená, že v tomto ohledu se podnebí velmi slabě přibližuje podnebí oceánskému, čili že klesá kontinentalita. Ta se ovšem posuzuje komplexně ještě podle jiných faktorů, jak uvidíme dále. Za sledovaných 17 let se rozdíl mezi průměrnou letní a zimní teplotou snížil o 1,2 °C.

Jen krátce bez uvedení obrázků se zmíníme o změně teplot jarních a podzimních. Graf pro jarní teploty připomíná graf pro letní teploty, kolísání dosahuje 3 °C a vzrůst činí 0,5 °C za 17 let, měřeno podle konců regresní přímky. Graf pro podzimní teploty vykazuje stejné kolísání, avšak vzrůst teplot je plných 1,9°C. U podzimních teplot je dále zajímavé, že zde jsou nejmenší rozdíly mezi jednotlivými stanicemi, tj. jednotlivé křivky jsou od sebe nejméně vzdálené ve směru svislém. Svědčí to obecně ustáleném a vyrovnaném počasí, jaké obvykle na podzim bývá. Významný je také rozdíl mezi podzimními a jarními teplotami. Graficky je průběh těchto rozdílů (definujeme podzim minus jaro) uveden na obr. 4. Tyto rozdíly v průběhu sledovaného období významně rostou, vzrůst dosáhl 1,4°C. A to i přesto, že rok 2007 byl mimořádný – teplé jaro a studený podzim posunuly rozdíl hluboko pod nulu, takže bez tohoto posledního roku by byl vzrůst ještě vyšší. Rychlejší růst podzimních teplot v porovnání s jarními je také příznak snižující se kontinentality. V blízkosti oceánu jsou jarní teploty nízké a podzimní vysoké, protože oceán se ochlazuje a otepluje mnohem pomaleji než pevnina.

#### **4. Závislost růstu teplot vzduchu na poloze stanice**

Dosud jsme uváděli číselně změnu průměrné teploty platnou pro průměr ze všech stanic, tj. jako polohu začátku a konce regresních přímek pro průběh tohoto průměru na obr. 1, 2, 3 a 4. Pokud

bychom na tyto obrázky zakreslili regresní přímky pro všechny stanice, ukázalo by se, že jejich sklon a tím i vzrůst teploty je na různých stanicích různý. Takový obrázek by byl ovšem velmi nepřehledný. Místo toho uvedeme číselně v tabulce (Tabulka 2) tyto přírůstky teplot na jednotlivých stanicích, a to i pro období či rozdíly mezi obdobími na obrázcích neuvedené.

Stanice jsou v Tab. 2 seřazeny podle abecedy, což nedává žádnou představu o tom, jak vzrůst teploty závisí na poloze stanice. Seřadíme-li je však podle zeměpisné šířky, ukáže se nepřehlédnutelná závislost. Teploty rostou zpravidla rychleji ve vyšších zeměpisných šířkách. Na obr. 5 je tato závislost předvedena pro celoroční průměrné teploty. Pro stanice na 49 stupni šířky se vzrůst teploty vzduchu pohybuje kolem 0,7 °C, zatímco na 55 stupni šířky činí 1,1°C, rozdíl je tedy 0,4 °C. Korelační koeficient mezi zeměpisnou šířkou a přírůstkem teploty je 0,61, což je statisticky významné. Obdobná závislost platí také pro teploty v jednotlivých ročních dobách s výjimkou jara. Rozdíl v růstu teplot je pro letní teploty 0,5 °C, pro podzimní a zimní 0,8°C. Pro jarní teploty je závislost obrácená, teploty rostou rychleji v nižších zeměpisných šířkách, rozdíl je -0,4 °C. Korelační koeficienty mezi přírůstkem teploty a zeměpisnou šířkou jsou pro letní období 0,63, pro zimní 0,61, pro podzimní 0,78, ale pro jarní -0,58. Pro rozdíl mezi přírůstkem teploty v létě a v zimě je závislost na zeměpisné šířce nevýznamná, pro rozdíl mezi přírůstkem teploty na podzim a na jaře je korelace nejvyšší a dosahuje 0,86.

Vzrůst teploty vzduchu závisí také na zeměpisné délce. Na stanicích položených východněji je pozorovaný růst teplot menší, rozdíl je však jen 0,1°C pro celoroční průměry a pro všechna období, pouze v zimě dosahuje 0,4°C. Korelace je proto slabší než v případě závislosti na

zeměpisné šířce. Pro teploty roční ani pro žádnou sezonu nebo výše uváděné rozdíly není korelační koeficient významný. Zdá se však, že významnější faktor než zeměpisná délka je vzdálenost stanice od oceánu. O tom svědčí skupina stanic na severu u moře (Hamburg, Schlegwig, Rostock), kde je pozorován přírůstek teploty největší, ačkoliv tyto stanice leží v zeměpisné délce 9-10 stupňů, což je někde uprostřed. Na grafu by se tedy zobrazily nahoře uprostřed, i když by se očekávaly nahoře vlevo. Na obr. 6 je uvedena závislost přírůstku celoroční teploty vzduchu na vzdálenosti stanice vzdušnou čarou od moře. Pro stanice přibližně na území bývalé NDR byla použita vzdálenost od moře Baltského, což je blíže než od Atlantického oceánu, a ukázalo se, že takto definované vzdálenosti vyhovují lépe. Je zřejmé, že mnohem větší růst teploty vzduchu je pozorován na stanicích v blízkosti moře, dále do vnitrozemí je postupně růst teplot menší. Přímo na pobřeží činí 1,1°C, ve vzdálenosti 500 km od moře jen 0,7°C, což je rozdíl 0,4 °C. Stejný rozdíl platí pro teploty letní, pro podzimní a zimní je 0,7°C, pro jarní teploty je závislost obrácená s rozdílem -0,3°C. Korelační koeficienty mezi přírůstkem teploty a vzdáleností od moře jsou pro celoroční průměr -0,67, pro léto -0,58, pro zimu -0,71, pro podzim -0,84, pro jaro 0,66, pro rozdíl L-Z je 0,41 a rozdíl P-J je -0,87. Kromě koeficientu pro rozdíl L-Z jsou všechny koeficienty statisticky významné. Opět je největší korelace pro rozdíl mezi růstem teplot podzimních a jarních. Na stanicích velmi blízko pobřeží jsou jara chladnější a podzimy teplejší než ve vnitrozemí a tento rozdíl se dále zvyšuje, což přispívá k poklesu kontinentality podnebí, jak bylo řečeno výše (obr. 4). Tento proces probíhá rychleji na pobřeží než ve vnitrozemí.

## 5. Závěr

Výsledky jasně ukazují významný vzrůst průměrné teploty vzduchu za zkoumanou dobu pozorování. Pokud by měl stejný růst teploty pokračovat i v dalších desetiletích, činil by rozdíl za celé 21. století asi 5-6 stupňů, což vcelku souhlasí s katastrofickými scénáři uváděnými ve sdělovacích prostředcích. Vzrůst ovšem může být nižší nebo i vyšší, podle toho, jak se bude vyvíjet obsah skleníkovatelných plynů v atmosféře a jak budou působit dosud málo známé přírodní faktory způsobující dlouhodobé kolísání teploty. Scénáře klimatické změny uvádějí např. Kalvová, Nemešová (1994), mnoho informací lze najít na internetových stránkách <http://www.ipcc.ch> (v angličtině). V každém případě je však třeba počítat s rychlejším růstem teploty vzduchu v zimě a na podzim a s mírnějším růstem v létě a na jaře. Spolu s tím bude mírně klesat kontinentalita podnebí, na což ukazují i jiné faktory popisující kontinentalitu (Střešík, 2005).

Vzrůst teploty vzduchu je v zimním období v přírodě významnější než v létě. V létě změna o jeden stupeň celkem nic neznamená, v zimě však taková změna

způsobí, že bude přibývat dní, kdy denní teplota vystoupí nad nulu. V takovém případě spadnou srážky častěji ve skupenství kapalném. Případná sněhová pokrývka bude častěji roztávat ještě během zimy a voda, která tak odeče do moře, bude v průběhu roku bude chybět.

V souvislosti s rozdílnou rychlostí růstu teplot na různých stanicích stojí za zmínku práce Karl & Annexe (1998). Autoři mimo jiné uvádějí průměrné teploty na síti stanic na západní Sibíři v letech 1987 a 1988. Rok 1988 byl mnohem teplejší než 1987, jde zřejmě o krátkodobé kolísání. Vzrůst byl vždy podstatně větší v oblastech položených více na sever a menší v oblastech ležících východněji, což se shoduje s výsledky uváděnými výše. Zdá se tedy, že závislost růstu či změny teploty vzduchu na zeměpisné šířce a délce (resp. na vzdálenosti od oceánu) platí obecněji a platí i pro krátkodobé kolísání.

Závěrem lze konstatovat, že zkoumání růstu průměrných teplot vzduchu v závislosti na poloze stanice je nadějně a může přinést mnohé podněty pro odhad růstu teplot v budoucnosti. Je ovšem třeba rozšířit výzkum na větší území a delší časové období.

## 6. Literatura

- Brohan P., Kennedy J.J., Harris I., Tett S.F.B., Jones P.D., 2006. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature change: A new data set from 1850. *J. Geophys Res.* 111, D12106, doi: 10.1029/2005JD006548 .
- Kalvová J., Nemešová I., 1994. A temperature scenario for the Czech Republic. *Contemporary Climatology, proceedings of the meeting of the Commission on climatology of the IGU, Brno, Czech Republic, 15–20 August 1994* (ed. by R. Brázdil and M. Kolář), 293–299.
- Karl T.R., Anexe A, 1998. Regional trends and variations of temperature and precipitation. In: *The regional impacts of climate change*, ed. R.T.Watson, M.V.Zinyowera, R.H.Moos, Cambridge Univ. Press.
- Střešík J., 2000. Long-term climatic changes observed in Prague-Klementinum. *Contributions to geophysics and geodesy* 30, 169-196.
- Střešík J., 2005. Změna kontinentality podnebí v souvislosti s globální klimatickou změnou. *Bulletin (XXVI. seminář) „Člověk ve svém pozemském a kosmickém prostředí“*, Úpice, 122-128.

## 7. Tabulková a grafická příloha

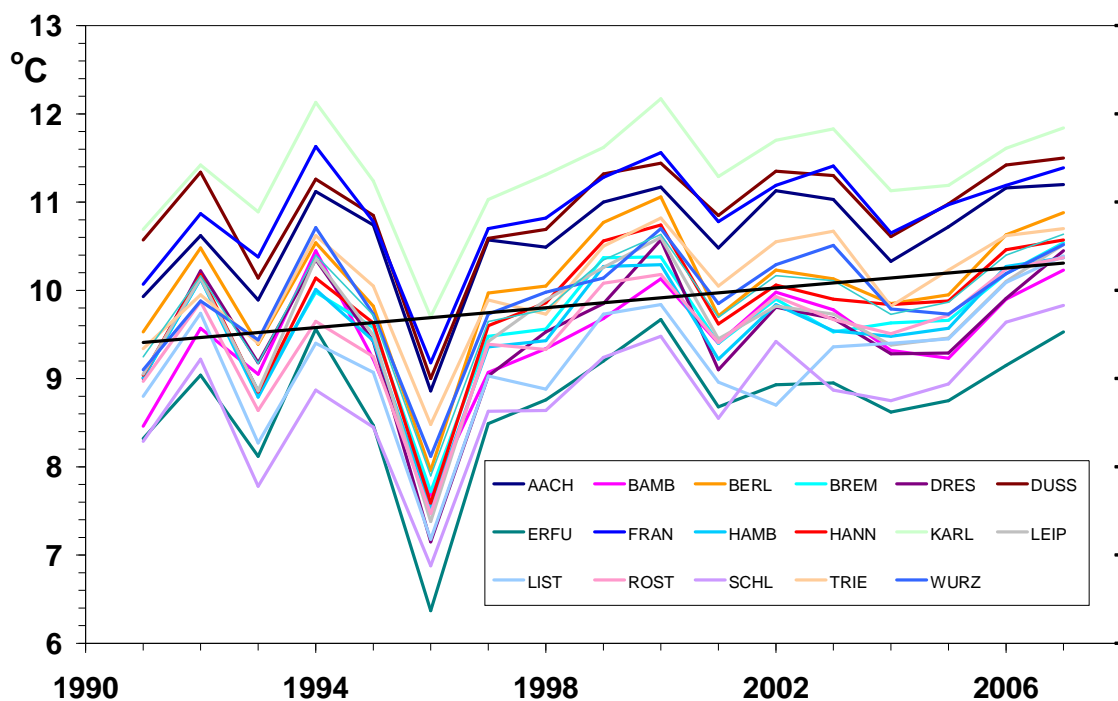
**Tabulka 1. Parametry stanic, jejichž data byla použita v této práci.**

Kód	Stanice	Šířka	Délka	Výška	Od moře
AACH	Aachen	50° 47'	06° 05'	202 m	300 km
BAMB	Bamberg	49° 52'	10° 54'	239 m	490 km
BERL	Berlin Tempelhof	52° 28'	13° 24'	49 m	190 km
BREM	Bremen	53° 02'	08° 47'	5 m	70 km
DRES	Dresden Klotzsche	51° 07'	13° 45'	227 m	450 km
DUSS	Düsseldorf	51° 17'	06° 46'	37 m	240 km
ERFU	Erfurt Bindersleben	50° 59'	10° 57'	316 m	340 km
FRAN	Frankfurt Main Flughafen	50° 02'	08° 35'	112 m	510 km
HAMB	Hamburg Fuhlsbüttel	53° 38'	09° 59'	11 m	80 km
HANN	Hannover	52° 27'	09° 40'	59 m	160 km
KARL	Karlsruhe	49° 02'	08° 21'	112 m	520 km
LEIP	Leipzig Schkeuditz	51° 26'	12° 14'	131 m	380 km
LIST	List auf Sylt	55° 00'	08° 24'	26 m	0 km
ROST	Rostock Warnemünde	54° 01'	12° 04'	4 m	10 km
SCHL	Schleswig	54° 31'	09° 32'	47 m	40 km
TRIE	Trier Petrisberg	49° 45'	06° 34'	265 m	380 km
WURZ	Würzburg	49° 46'	09° 57'	268 m	490 km

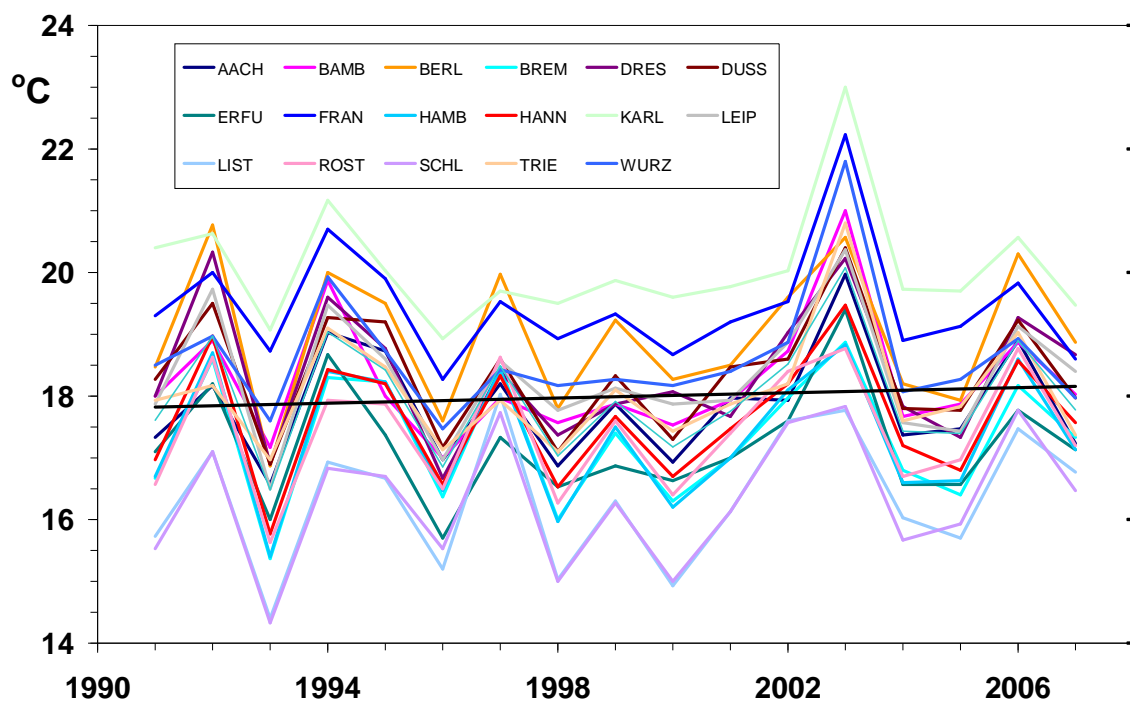
**Tabulka 2. Pozorované změny teploty v jednotlivých ročních obdobích mezi roky 1991-2007 na jednotlivých stanicích.**

Kód	Stanice	Změna teploty podle regresní přímky ve °C						
		Roční	Jaro	Léto	Podzim	Zima	L – Z	P – J
AACH	Aachen	0,92	0,74	0,35	1,94	1,40	-1,18	1,20
BAMB	Bamberg	0,88	0,83	0,40	1,43	1,42	-1,02	0,60
BERL	Berlin	0,80	0,55	0,20	1,84	1,22	-1,03	1,29
BREM	Bremen	0,89	0,34	0,22	1,93	1,75	-1,53	1,59
DRES	Dresden	0,59	0,61	0,15	1,47	0,51	-0,36	0,86
DUSS	Düsseldorf	0,78	0,47	0,10	1,73	1,60	-1,06	1,26
ERFU	Erfurt	0,80	0,33	0,13	1,96	1,27	-1,14	1,63
FRAN	Frankfurt.	0,82	0,74	0,05	1,77	1,57	-1,62	1,03
HAMB	Hamburg	0,86	0,27	0,23	1,98	1,69	-1,47	1,72
HANN	Hannover	1,11	0,48	0,43	2,29	2,12	-1,71	1,81
KARL	Karlsruhe	0,67	0,58	0,16	1,49	1,20	-1,03	0,91
LEIP	Leipzig	0,75	0,34	0,29	1,78	1,07	-0,77	1,44
LIST	List auf Sylt	1,13	0,15	0,86	2,33	2,21	-1,36	2,18
ROST	Rostock	1,16	0,63	0,58	2,33	2,04	-1,45	1,71
SCHL	Schleswig	1,24	0,66	0,92	2,34	1,83	-0,91	1,68
TRIE	Trier	1,05	0,92	0,47	2,01	1,51	-1,04	1,08
WURZ	Würzburg	0,83	0,72	0,26	1,60	1,34	-1,08	0,89
	Průměr	0,90	0,55	0,34	1,89	1,51	-1,16	1,35



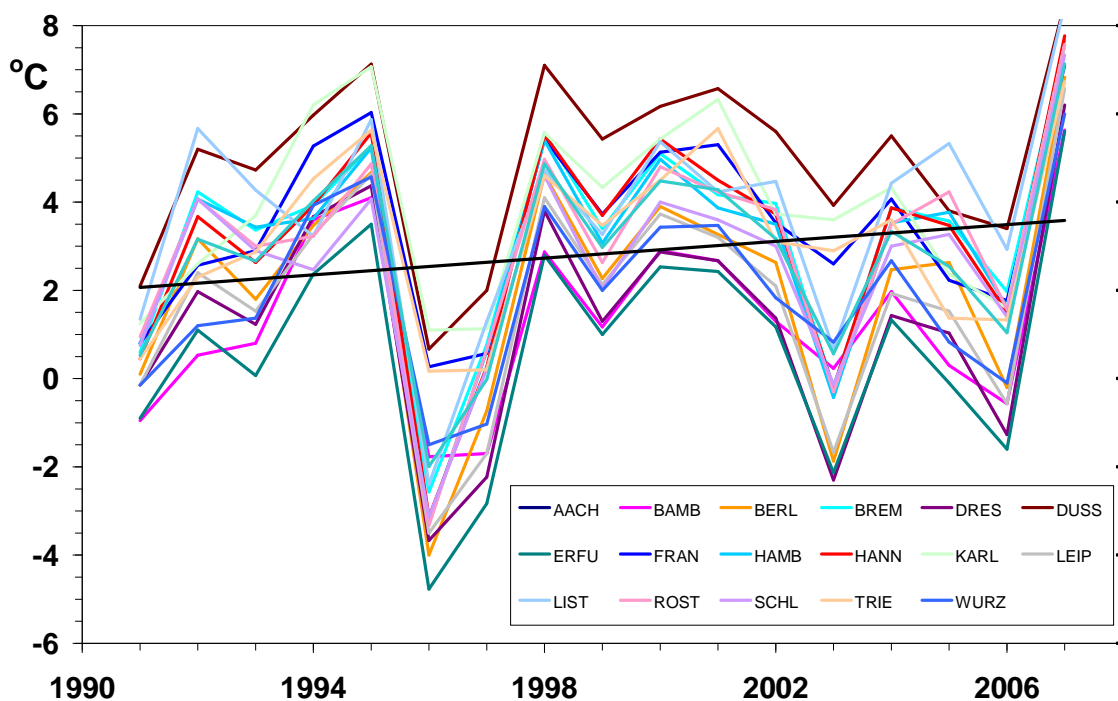


Obr. 1. Průběh průměrných ročních teplot vzduchu v letech 1991-2007 na 17 stanicích v Německu. Regresní přímka se vztahuje k průměru ze všech stanic.

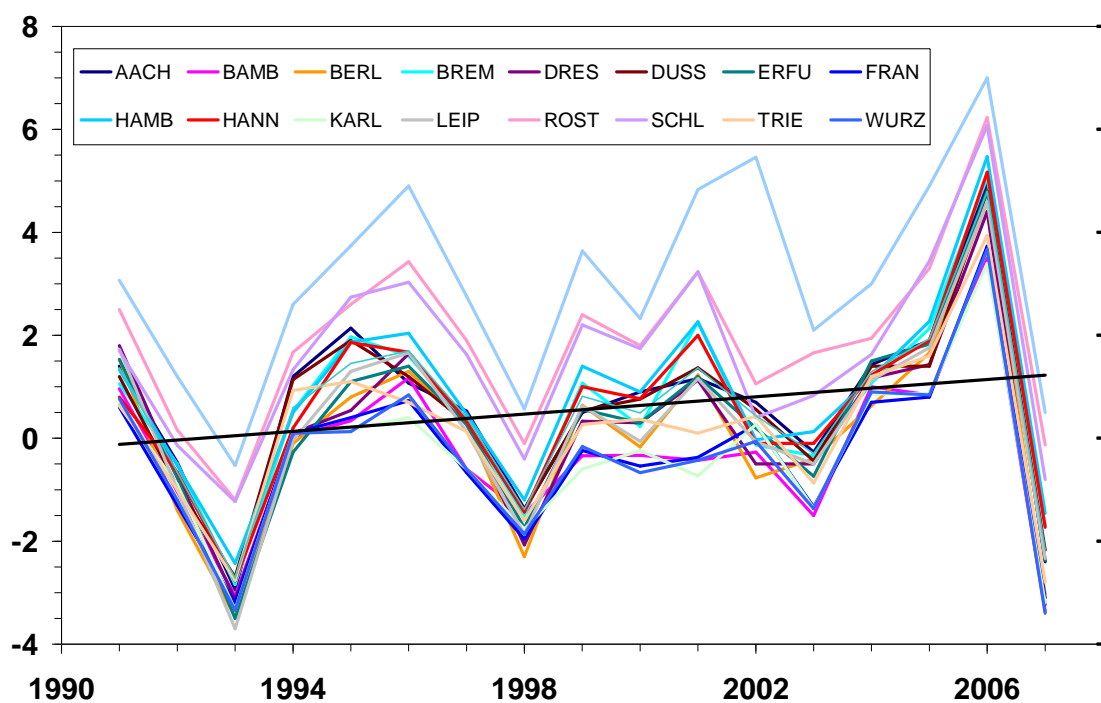


Obr. 2. Průběh průměrných letních teplot vzduchu v letech 1991-2007 na 17 stanicích v Německu. Regresní přímka se vztahuje k průměru ze všech stanic.

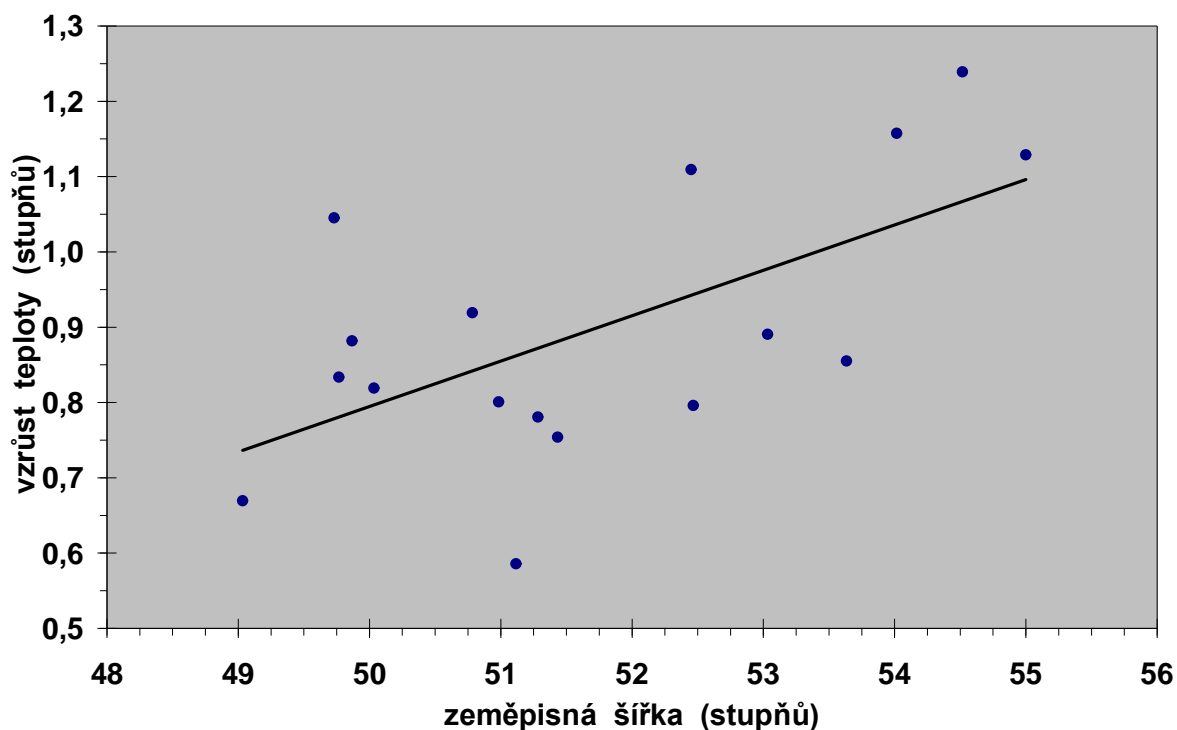




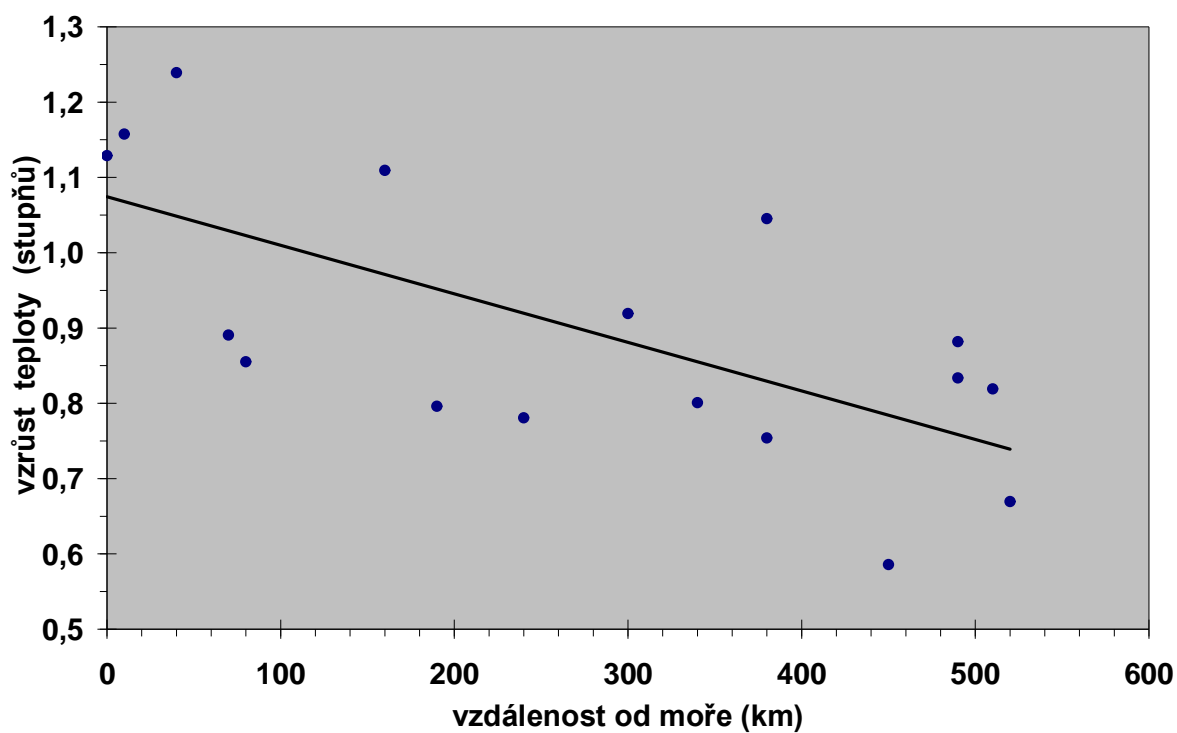
Obr. 3. Průběh průměrných zimních teplot vzduchu v letech 1991-2007 na 17 stanicích v Německu. Regresní přímka se vztahuje k průměru ze všech stanic.



Obr. 4. Průběh rozdílů mezi podzimní a jarní teplotou vzduchu v letech 1991-2007 na 17 stanicích v Německu. Regresní přímka se vztahuje k průměru ze všech stanic.



Obr. 5. Závislost vzrůstu průměrných ročních teplot vzduchu na zeměpisné šířce stanice.



Obr. 6. Závislost vzrůstu průměrných ročních teplot vzduchu na vzdálenosti stanice od moře vzdušnou čarou.