

HODNOCENÍ EXTREMITY TEPLOTNÍCH CHARAKTERISTIK NA ZÁKLADĚ JEJICH MĚSÍČNÍCH PRŮMĚRŮ PRO ÚZEMÍ JIŽNÍ MORAVY V OBDOBÍ 1961-2003.

Petr Štěpánek

Úvod

V souvislosti s diskutovanou změnou klimatu a pozorovaným globálním oteplováním způsobeným člověkem je v poslední době věnována značná pozornost extrémům klimatu, mimo jiné teplotním extrémům. Kromě denní průměrné, maximální a minimální teploty vzduchu, denní teplotní amplitudy, atd., které se běžně používají pro analýzu teplotních extrémů, se doporučuje sledovat také teplotní extrémy na základě měsíčních průměrů (Folland et al., 1999, in Brázdil et. al., 2001). Při použití měsíčních průměrů se dají lépe sledovat např. dlouhodobé trendy v teplotních extrémech a dá se lépe porozumět variabilitě teploty vzduchu. Měsíční průměry teploty vzduchu z hlediska extremity pro území České republiky již analyzoval např. Brázdil et. al. (2001).

V této práci byly pro hodnocení teplotních extrémů použity měsíční průměry denní průměrné, maximální a minimální teploty vzduchu a denní teplotní amplitudy. Pro studii bylo použito 22 stanic z území bývalého Jihomoravského kraje měřících v období 1961-2003, měření těchto stanic bylo před samotnou analýzou podrobena kontrole kvality dat a homogenizaci.

Kontrola kvality dat a homogenizace použitých časových řad

Popis metody

Kontrola kvality dat a homogenizace řad byla provedena pomocí softwarového balíku vyvinutého autorem. Jedná se o

software AnClim pro testování homogeneity časových řad (Štěpánek, 2003) a databázový software ProClim DB (Štěpánek, 2004a) pro zpracování řad.

Před samotnou homogenizací byla v řadách denních hodnot zjišťována a ověřována odlehlá pozorování. Odlehlé hodnoty byly v řadách sledovány na základě diferencí dané testované řady s její referenční řadou, která se spočetla jako průměr několika stanic s nejvyššími korelačními koeficienty vzhledem k testované řadě (viz. dále). Odlehlé hodnoty byly hodnoceny a ověřovány na základě násobků mezikvartilové odchylky od horního, resp. dolního kvartilu. Pokud se i po ověřování odlehlé hodnoty jevíly jako podezřelé, byly nahrazeny chybějícími hodnotami a po homogenizaci řad byly tyto chybějící hodnoty v řadách doplněny.

Homogenizace řad byla provedena na základě měsíčních průměrů, sledovala se změna v úrovni. K testování byly použity testy relativní homogenity: Alexanderssonův test (Alexandersson, 1986, 1995), bivariační test Maronny a Yohaie (Potter, 1981) test Easterlinga a Petersona (Easterling a Peterson, 1995), a test Vincetové (Vincent, 1998). Pro každou řadu byly vytvořeny dva typy referenční řady: 1.) průměr 5 stanic s nejvyššími korelačními koeficienty vzhledem k dané testované stanici (limit výběru 0.9), 2.) průměr 5 nejbližších stanic k dané testované stanici (hranice 100 km). Kombinací výše uvedených testů, referenčních řad, testování měsíčních, sezónních a ročních průměrů bylo získáno velké množství výsledků. Na základě jejich statistického vyhodnocení mohly být řady homogeni-

Kontakt na autora:

Petr Štěpánek, petr.stepanek@chmi.cz

Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Kroftova 43, 616 67 Brno

zovány s vysokou spolehlivostí i v případech, kdy pro detekovanou nehomogenitu nebyla nalezena podpora v metadatech (tj. dokumentace o dané stanici). Při tomto vyhodnocování se přihlíželo především k tzv. pravděpodobnosti výskytu (tj. podílu počtu detekcí dané nehomogenity na teoreticky možném počtu výskytů nehomogenit pro danou stanici). Samotné testování homogenity řad bylo prováděno v několika krocích - iteracích.

Teprve po opravě nehomogenit byly v řadách doplněny chybějící hodnoty. Doplnění bylo provedeno přímo pro denní hodnoty, kdy pro denní řady byly použity opravy nehomogenit zjištěné z měsíčních průměrů. Doplnění chybějících hodnot bylo provedeno pomocí lineární regrese mezi doplňovanou a referenční řadou vytvořenou na základě korelačních koeficientů, k vypočtu regrese se použily denní hodnoty daného měsíce, a to 3 roky před a po dané doplňované hodnotě. Z doplněných denních hodnot byly následně spočteny měsíční průměry. Podrobný popis metodiky uvádí Štěpánek (2004b, 2004c).

Problém homogenity posledního období měření

Homogenita řad meteorologických prvků v České republice je v poslední době narušena vlivem postupného přechodu stanic na automatizovaná měření (zaváděno v síti ČHMÚ postupně od roku 1997). Komplexní posouzení homogenity řad po přechodu na automatizovaná měření bude možné provést spolu s případnou opravou teprve tehdy, až budou k dispozici dostatečně dlouhé řady měření po tomto přechodu. V budoucnu ale může nastat ten problém, že pokud (až) budou automatizovaná měření zavedena na všech stanicích, nebude už možné spolehlivě vyhodnotit narušení homogenity řad (s ohledem na tato automatizovaná měření), neboť nebudou k dispozici žádné homogenní referenční

řady, s nimiž by se dané testované řady daly porovnávat. Z tohoto hlediska by bylo vhodné mít srovnávací měření manuálního i automatického měření na dostatečném počtu stanic (když ne na všech) po dostatečně dlouhé období.

Homogenitu měření lze použitým postupem zaručit pouze do roku 2000 (včetně). Vzhledem k aktuálnosti jsou výsledky uvedeny i pro následující období. K výsledkům pro období 2001-2003 je potřeba přistupovat opatrně, s vědomím, že mohou být ovlivněny uvedeným přechodem stanic na automatická měření.

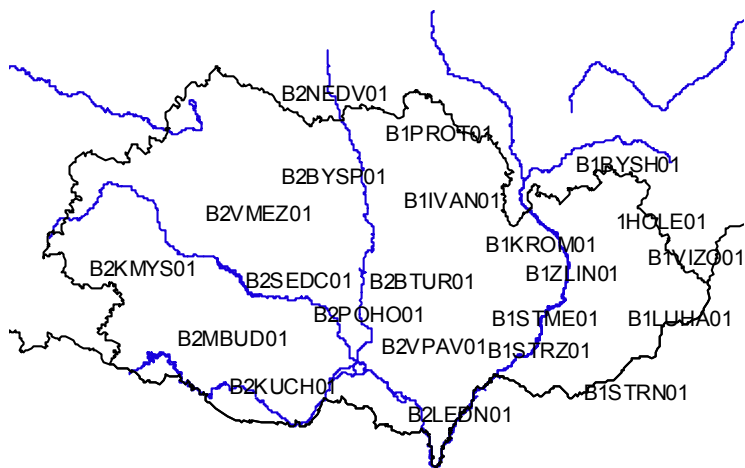
Charakteristika použitých řad

Seznam stanic s uvedením jejich nadmořské výšky je uveden v tab. 1, prostorové rozložení použitých stanic je potom znázorněno na obr. 1. Rozložení stanic je víceméně rovnoměrné. Nejníže položena stanice je Štrážnice (176 m n. m.), nejvýše položená je stanice Nedvězí (722 m n. m.). Průměrná nadmořská výška analyzovaných stanic je 348 m n.m., medián potom 306 m n.m.

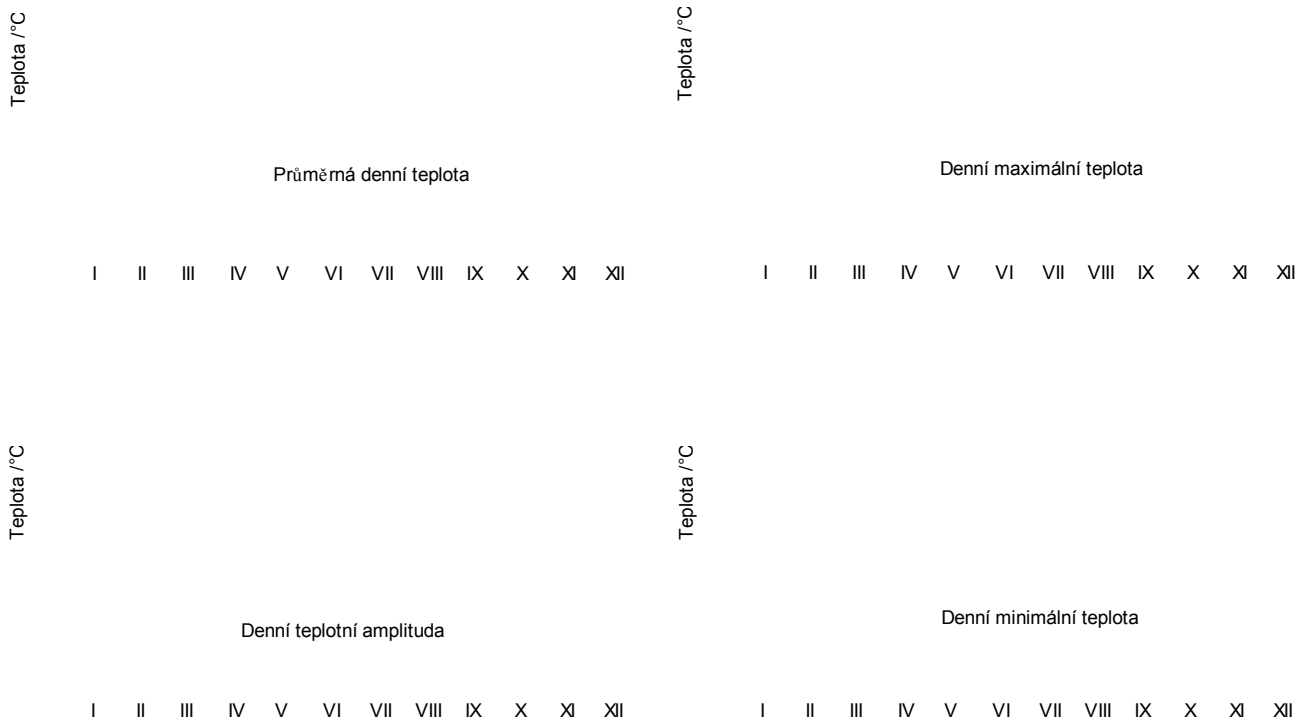
Obr. 2 znázorňuje pro průměrovanou řadu jižní Moravy (spočítanou jako aritmetický průměr ze všech dostupných stanic, viz. tab. 1) pomocí tzv. krabíkových grafů variabilitu zkoumaných teplotních charakteristik v průběhu roku. Z obrázku je např. vidět, že průměrná teplota vzduchu se vyznačuje velkým rozpětím hodnot v lednu, únoru, březnu, malým rozpětím v létě. Denní teplotní amplituda zachovává přes letní měsíce přibližně stejnou úroveň, velkým rozpětím hodnot se vyznačuje měsíc září. U denní maximální teploty vzduchu stojí za pozornost strmý pokles měsíčních průměrů na podzim, větší rozpětí hodnot má měsíc únor a březen, dále také červenec, srpen, září. Denní minimální teplota vzduchu se vyznačuje relativně velkým rozpětím v zimních a podzimních měsících.

Tab. 1. Seznam stanic a jejich geografické souřadnice (Ind.- indikativ ČHMÚ, z.š. – zeměpisná šířka, z.d. – zeměpisná délka, n.v. – nadmořská výška)

Stanice	Ind	z.š. /°	z.d. /°	n.v. /m
Bystřice p. H.	B1BYSH01	49.4	17.7	317
Holešov	B1HOLE01	49.3	17.6	224
Ivanovice na Hané	B1IVAN01	49.3	17.1	232
Kroměříž	B1KROM01	49.3	17.4	204
Luhačovice	B1LUHA01	49.1	17.8	297
Protivanov	B1PROT01	49.5	16.8	670
Uh.Hradiště, Staré Město	B1STME01	49.1	17.4	188
Strání	B1STRN01	48.9	17.7	421
Strážnice	B1STRZ01	48.9	17.3	176
Vizovice	B1VIZO01	49.2	17.8	315
Zlín	B1ZLIN01	49.2	17.7	225
Brno, Tuřany	B2BTUR01	49.2	16.7	241
Bystřice n. P.	B2BYSP01	49.5	16.3	573
Kostelní Myslová	B2KMYS01	49.2	15.4	569
Kuchařovice	B2KUCH01	48.9	16.1	334
Lednice	B2LEDN01	48.8	16.8	176
Moravské Budějovice	B2MBUD01	49.0	15.8	457
Nedvězí	B2NEDV01	49.6	16.3	722
Pohořelice	B2POHO01	49.0	16.5	183
Sedlec	B2SEDC01	49.2	16.1	473
Velké Meziříčí	B2VMEZ01	49.4	16.0	452
Velké Pavlovice	B2VPAV01	48.9	16.8	196



Obr. 1. Geografické rozložení použitých stanic označených jejich indikativy (viz tab. 1).



Obr. 2. Krabicový diagram (znázornění mediánů, kvartilů a hranic odlehlých hodnot) pro měsíční průměry denní průměrné, maximální a minimální teploty vzduchu a denní teplotní amplitudy, pro průměrovanou řadu stanic bývalého Jihomoravského kraje (viz. tab. 1) a období 1961-2003. Hodnoty statistických charakteristik jsou spočteny pro referenční období 1961-1990. Křížkem jsou vyjádřena odlehlá pozorování, popisek označuje rok jejich výskytu.

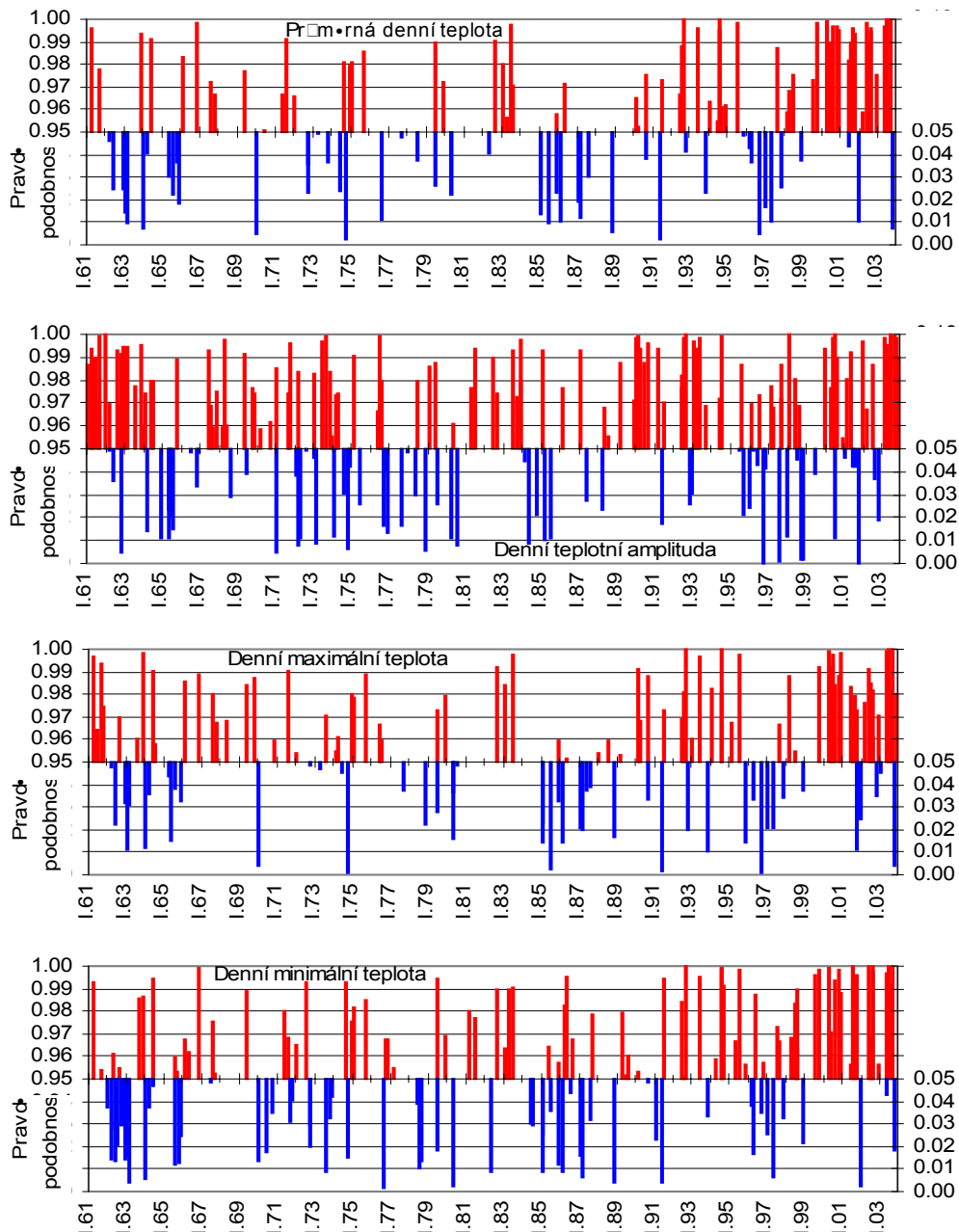
Pokud jde o odlehlé hodnoty (hranice byly stanoveny na základě referenčního období průměrované řady v období 1961-1990), za zmínku stojí dva případy. Ve všech čtyřech případech se opakuje jako extrémně vysoká hodnota června 2003, dále je ve všech případech kromě denní teplotní amplitudy extrémně vysoká hodnota srpna 1992.

Vzhledem k následujícím výpočtům bylo potřeba testovat řady měsíčních průměrů použitých charakteristik na normální rozložení. K testování byl použit Kolmogorov – Smirnovův test, každý měsíc byl testován zvlášť. P-hodnoty Kolmogorov – Smirnovova testu byly ve všech měsících a teplotních charakteristikách vyšší než 0.05. Průměrně se pohybovaly mezi 0,50 až 0,90. Aproximace normálním

rozložením je tedy ve všech případech vyhovující.

Hodnocení extremity měsíčních průměrů

Extremita měsíčních průměrů použitých teplotních charakteristik (denní průměrná, maximální a minimální teplota, denní teplotní amplituda) byla hodnocena pro každý měsíc zvlášť, na základě překročení, resp. nedosažení, zvolené hranice. V této práci byly jako hraniční hodnoty použity 5, resp. 1% (pro hodnocení nízkých extrémních hodnot) a 95, resp. 99% (pro hodnocení vysokých extrémních hodnot) kvantily Gaussova (normálního) rozložení. Parametry normálního rozložení byly vždy spočteny pro referenční období 1961-1990.



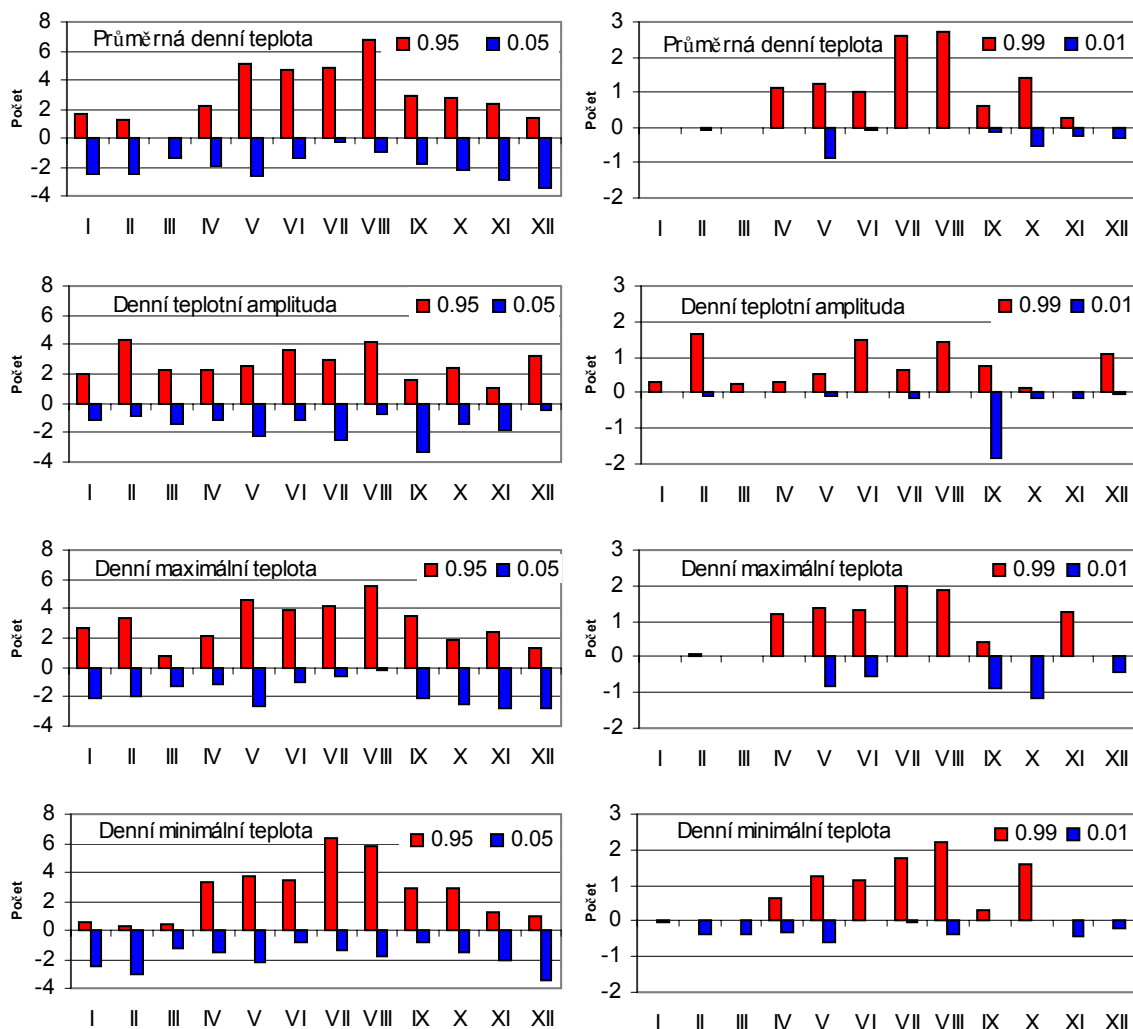
Obr. 3. Minimální a maximální, hodnoty kvantilů Gaussova (normálního) rozložení pro daný měsíc a rok, pro stanice bývalého Jihomoravského kraje (viz. tab. 1) a období 1961-2003. Znázorněny jsou měsíční průměry překračujících 95% (horní část grafu) nebo nedosahujících 5 (spodní část grafu) kvantil uvedeného rozložení. Zpracování z měsíčních průměrů (každý měsíc hodnocen zvlášť), referenční období 1961-1990.

Obr. 3. ukazuje průběh maximálních a minimálních hodnot kvantilů normálního rozložení pro analyzované stanice ve sledovaném období 1961-2003, pro jednotlivé měsíce a rok. Hodnoty byly získány jako maximální (minimální) hodnota daného měsíce a roku ze všech dostupných stanic bývalého Jihomoravského kraje (seznam stanic viz. tab. 1).

Pokud jde o denní průměrnou teplotu vzduchu, vysoké extrémní hodnoty měsíčních průměrů se vyskytují v celém období 1961-2003, od 90. let 20. století se ale více blíží hodnotě 100%, navíc se zvyšuje frekvence jejich výskytu. Podobné výsledky jsou patrné také u denní maximální a minimální teploty. V porovnání s vysokými extrémní hodnotami jsou nízké hodnoty celkově méně

extrémní, za zmínku stojí relativně vyšší frekvence jejich výskytu okolo roku 1986 a 1997. V případě vysokých extrémních hodnot u denní teplotní amplitudy zůstává vysoká extremita zachována po celé sledované období, stejně jako u ostatních

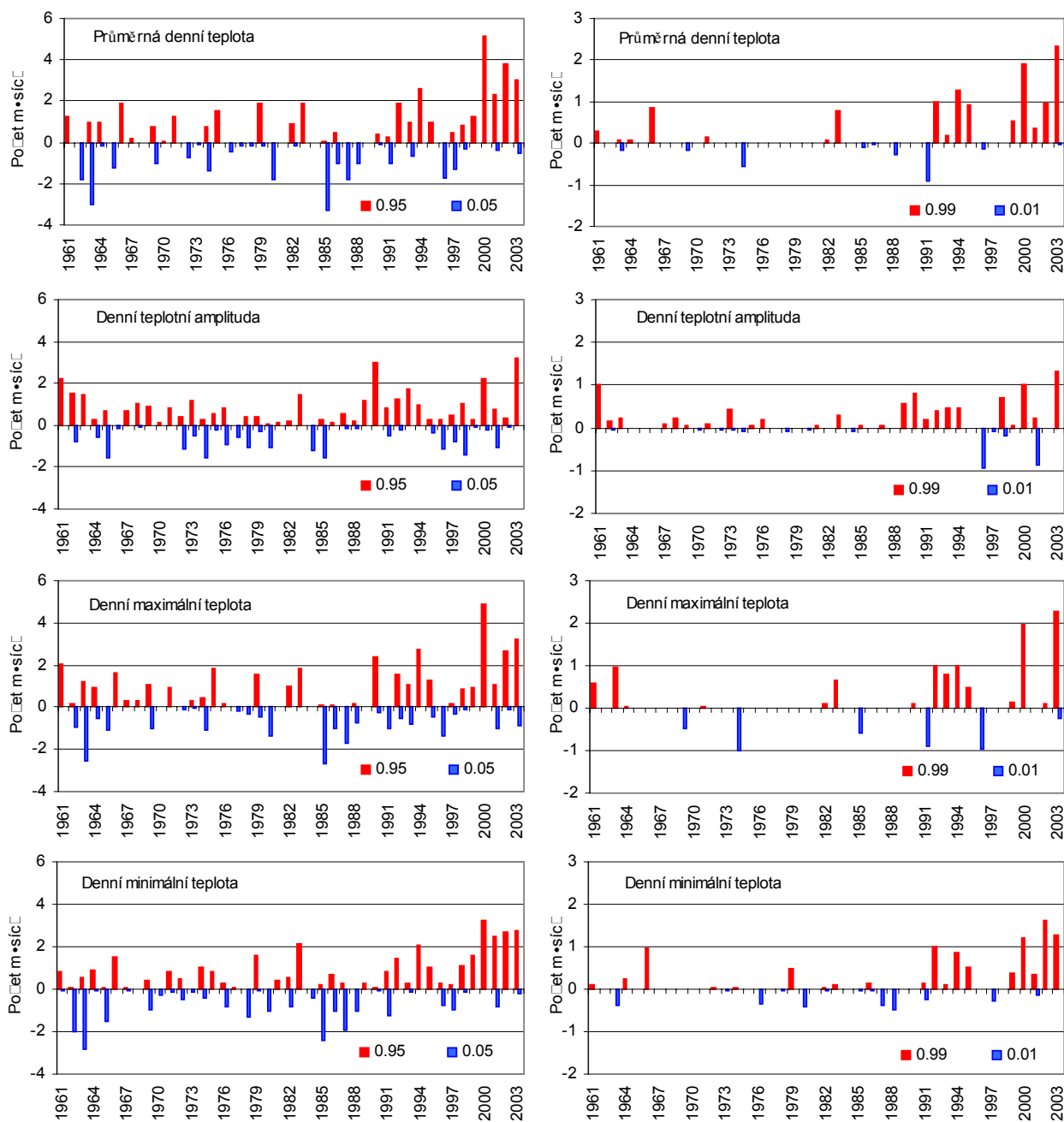
teplotních charakteristik ale dochází k vyšší frekvenci výskytu od 90. let minulého století. Z obr. 3 lze dále vidět, že v posledních 10 letech se občas vyskytují nižší hodnoty denní teplotní amplitudy než v předchozích obdobích.



Obr. 4. Průměrný počet roků pro daný měsíc překračujících 95, resp. 99% (kladné hodnoty) a nedosahujících 5, resp. 1% (záporné hodnoty) kvantilů normálního rozložení. Zpracování z měsíčních průměrů (každý měsíc hodnocen zvlášť), referenční období 1961-1990. Pro stanice bývalého Jihomoravského kraje (viz. tab. 1) a období 1961-2003.

Výskyt extrémních měsíčních hodnot v průběhu roku znázorňuje obr. 4. Co se týče denní průměrné, maximální a minimální teploty, vysoké extrémní hodnoty se vyskytují více v letních měsících, především v červenci a srpnu. Např. extrémně vysoký srpnový průměr denních průměrných teplot vzduchu, překračující 95% kvantil normálního rozložení, se za

sledované období 1961-2003 vyskytl na stanicích bývalého Jihomoravského kraje průměrně 7krát. Nízké extrémní hodnoty uvedených teplotních charakteristik se vyskytují spíše v zimních měsících. V případě denní teplotní amplitudy se vysoké extrémní hodnoty vyskytují v průběhu celého roku.



Obr. 5. Průměrný počet měsíců v daném roce překračujících 95, resp. 99% (kladné hodnoty) a nedosahujících 5, resp. 1% (záporné hodnoty) kvantil Gaussova (normálního) rozložení. Zpracování z měsíčních průměrů, referenční období 1961-1990. Pro stanice bývalého Jihomoravského kraje (viz. tab. 1) a období 1961-2003.

Průměrný výskyt extrémních měsíčních hodnot v daném roce ukazuje obr. 5. U denní průměrné, maximální a minimální teploty je z grafu vidět, že v posledních letech s v jednom roce vyskytuje více extrémních měsíců než v předchozích obdobích (průměrně zhruba 2 měsíce v roce pro 95% kvantil, zhruba 1 měsíc pro 99% kvantil), rovněž se v posledním období dosti zvýšila četnost takovýchto

roků. Poslední výraznější období s nízkými extrémními hodnotami se vyskytlo okolo roku 1985. Z provedené analýzy extrémních měsíčních průměrů je patrné, že v posledním období se vyskytují vyšší vysoké extrémní hodnoty u všech zde sledovaných teplotních charakteristik kromě denní teplotní amplitudy. Vysoké extrémní hodnoty se navíc vyskytující s vyšší čet-

ností. To může být způsobeno např. diskutovaným globálním oteplováním. Tento fakt podporují lineární trendy zmíněných teplotních charakteristik. V rámci této práce byly lineární trendy spočteny pro průměrovanou řadu stanic na území bývalého Jihomoravského kraje, pro sledované období 1961-2003. Všechny řady sezónních a ročních průměrů sledovaných teplotních charakteristik (denní průměrné, maximální a minimální teploty, denní teplotní amplitudy) vykazují kromě podzimu kladné trendy, vysoké hodnoty trendů jsou patrné hlavně v létě a v zimě. Podzimní trendy jsou ve všech případech kromě denní minimální teploty naopak záporné. Denní maximální teploty ve sledovaném období rostly rychleji než denní minimální teploty. Analýza těchto trendů bude předmětem dalších analýz.

Vyšší frekvence výskytu (vysokých) extrémních hodnot je tedy způsobena spíše rostoucími trendy v řadách než tím, že by se podnebí stávalo extrémnější. K spolehlivému zodpovězení této otázky bude potřeba dalších analýz.

Závěr

Pro území jižní Moravy a období 1961-2000 byly analyzovány z hlediska extremity měsíční průměry vybraných teplotních charakteristik. Jednalo se o denní průměrnou, maximální a minimální tep-

lotu vzduchu a denní teplotní amplitudu. Zkoumané řady byly před vlastní analýzou podrobeny kontrole kvality dat a homogenizaci. Problematické z hlediska homogenity zůstává období 2001-2003, kdy vzhledem ke krátkému období měření nemohla být provedena oprava nehomogenit způsobených zaváděním automatizovaných měření do sítě ČHMÚ. Na výsledky analýzy pro toto období je tedy nutno nahlížet s opatrností.

Pro hodnocení extremity byly použity percentily teoretického rozložení (Gaussova normálního rozložení), hodnocení bylo provedeno vzhledem k referenčnímu období 1961-1990. Z uvedených výsledků je patrné, že u denní průměrné, maximální a minimální teploty vzduchu se v poslední době vyskytují vyšší, a také s vyšší četností se opakující, vysoké extrémní hodnoty. Otázka, zda se podnebí stává oproti předešlému období extrémnější, však nemůže být z uvedené analýzy spolehlivě zodpovězena, neboť vyšší vysoké extrémní hodnoty u denních průměrných, maximálních a minimálních teplot vzduchu jsou důsledkem rostoucí teploty vzduchu za sledované období (kladný lineární trend uvedených teplotních charakteristik ve všech sezónách a roce kromě podzimu). Denní teplotní amplituda nevykazuje za sledované období 1961-2003 na území bývalého Jihomoravského kraje žádný výrazný trend, ať už kladný či záporný.

Literatura:

- Alexandersson, A. (1986): A homogeneity test applied to precipitation data. *J. Climatol.*, 6, 661-675.
- Alexandersson, A. (1995): Homogeneity Testing, Multiple Breaks and Trends. In: Proc. 6th Int. Meeting on Stat. Climatology, Galway, Ireland, 439-441.
- Brázdil, R., Písek, J., Luterbacher, J., Tolasz, R., Květoň, V. (2001): Fluctuations of extremely cold and warm months in the Czech Republic during the period of instrumental records and their relation to the atmospheric circulation. *Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik*, Nr. 27, Wien (CD-ROM).
- Brázdil, R., Štěpánek, P. (2000): Hodnocení extremity řad měsíčních úhrnů srážek v České republice v období 1961-2000. Výzkumná zpráva projektu VaV/740/1/00: Výzkum dopadu klimatické změny vyvolané zesílením skleníkového efektu na Českou republiku, Brno, 14 s.
- Easterling, D., R., Peterson, T., C. (1995): A new method for detecting undocumented discontinuities in climatological time series. *Int. Journal of Climatology*, vol. 15, 369-377.

- Folland, C. K., Miller, C., Bader, D., Crowe, M., Jones, P., Plummer, N., Richman, M., Parker, D.E., Rogers, J., Scholefield, P. (1999): Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes, Asheville, NC, USA, 3-6 June 1997. Breakout group C. Temperature indices for climate extremes. *Climatic Change*, 42, 31-43.
- Potter, K.W. (1981): Illustration of a New Test for Detecting a Shift in Mean in Precipitation Series. *Mon. Wea. Rev.*, 109, 2040-2045.
- Štěpánek, P. (2003): AnClim - Software for time series analysis (for Windows). Geografický ústav PřF MU, Brno, 1.47 MB. <http://www.sci.muni.cz/~pest/AnClim.html>
- Štěpánek, P. (2004a): ProClimDB - software for processing climatological datasets. ČHMÚ, pobočka Brno. <http://www.sci.muni.cz/~pest/ProcData.html>
- Štěpánek, P. (2004b): Homogenizace teploty vzduchu na území České republiky v období přístrojových pozorování. Práce a studie, ČHMÚ, v tisku.
- Štěpánek, P. (2004c): Kolísání teploty vzduchu v České republice v období přístrojových pozorování. Dizertační práce, Geografický ústav PřF MU, Brno. V rozpracování.
- Vincent, L. A. (1998): A technique for the identification of inhomogeneities in Canadian temperature series. *J. Climate*, 11, No. 5, 1094-1104.

Abstrakt

Pro území jižní Moravy a období 1961-2003 byly analyzovány z hlediska extremity měsíční průměry vybraných teplotních charakteristik. Jednalo se o denní průměrné, maximální a minimální teploty vzduchu a denní teplotní amplitudu. Pro hodnocení extremity bylo použito percentilů teoretického rozdělení (Gaussova normálního rozdělení). Zkoumané časové řady byly před vlastní analýzou podrobeny kontrole kvality dat, jednak z hlediska vychýlených hodnot, dále z hlediska nehomogenit ve formě změn v průměru.