

Stanovení a změna tuhosti jednotlivých zim za období 1961-2015

Determination and Changes in Winter Severity in the Period between 1961 and
2015

*Pavel Zahradníček^{1,2}, Jaroslav Rožnovský^{1,3}, Jáchym Brzezina¹, Petr Štěpánek^{1,2},
Aleš Farda², Filip Chuchma^{1,4}, Vera Potopová⁵*

*Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Kroftova 43, Brno 616 67,¹
CzechGlobe – Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i, Bělidla 4a, Brno 603 00²*

*Mendelova univerzita v Brně, Ústav šlechtění a množení zahradnických rostlin,
Valtická 337, 691 44 Lednice³*

*Mendelova univerzita v Brně, Ústav krajinné a aplikované ekologie, Zemědělská 1,
613 00 Brno⁴*

*Česká zemědělská univerzita v Praze, Katedra agroekologie a biometeorologie,
Kamýcká 129, 165 21 Praha 6-Suchbát⁵*

Abstrakt

Hodnoty minimálních teplot vzduchu v chladném období, ale zvláště v zimě mají často velmi negativní dopady na celý soubor našich aktivit. Je mnoho dokladů z předcházejících let, kdy prudké ochlazení způsobilo škody na technice, zastavilo dopravu apod. Každou zimní sezónu či chladný půlrok lze ohodnotit podle několika parametrů. Pro tento článek byly vybrány tři klimatické charakteristiky. První je základní, a to průměrná teplota vzduchu. Dále byla použita suma efektivních teplot vzduchu pod 0°C a -5°C. Poslední charakteristikou, která určuje extremitu daného roku, je absolutní minimální teplota vzduchu. U všech parametrů byla provedena časoprostorová analýza. K největší statisticky významné změně dochází u průměrné teploty vzduchu, kdy od roku 1961 dochází k postupnému oteplování. Velký vliv na teploty vzduchu v zimních měsících má kontinentalita podnebí, kdy v Čechách se otepluje rychleji než na Moravě a zároveň na západním okraji republiky jsou nejnižší absolutní minimální teploty vzduchu. Při víceparametrické analýze klimatických charakteristik vyšel jako rok s nejchladnější zimou a chladným půlrokem rok 1963. Naopak nejméně drsná zima byla v roce 2007. Podle klimatologických modelů lze očekávat zimy do roku 2100 v průměru teplejší o 2,4 °C až 4,9 °C, což by znamenalo výraznou změnu dosavadních zimních podmínek.

Klíčová slova: tuhost zimy, EURO-CORDEX, absolutní minimum, efektivní teplota, změna klimatu

Abstract

Values of the minimum air temperatures during cold periods, especially winter, have often negative impacts on a wide range of human activities. In the past there have been many cases when rapid decrease in air temperature caused damages to machines, halted traffic etc. Every winter or cold half-year can be assessed using several parameters. In this article, three climatological characteristics were used. First was the average air temperature. Second was the sum of effective air temperatures below 0°C and -5°C. Last characteristic, which determines the extremity of that particular period, is the absolute minimum air temperature. Space-time analysis was performed for all the three characteristics. Statistically, the most significant change was found in case of the average air temperature – there is a gradual warming since 1961. Air temperatures during winter are to a large extent affected by the continentality of the climate. In Bohemia, the warming is faster than in Moravia and the western part of the country has the lowest absolute minimum air temperatures. Using multiparametric analysis of climatological characteristics it was found that the coldest winter and coldest half-year from the analyzed years was in 1963. In contrast, mildest winter was in 2007. Current climatological models predict that winter temperatures by the end of 21st century will be higher by 2.4°C to 4.9°C, which would mean a significant change in the current winter conditions.

Keywords: winter severity, EURO-CORDEX, absolute minimum, effective temperature, winter climate

Úvod

V probíhající změně klimatu nám prokazatelně rostou průměrné teploty vzduchu, ale zároveň se zvyšuje extremita počasí. To se může projevat v chladném půlroce při změnách výskytu dnů s nízkými teplotami vzduchu, kdy sice průměrné teploty vzduchu v zimě porostou, ale výskyt dnů s extrémně nízkou teplotou vzduchu se měnit nemusí. Zimní teploty vzduchu jsou důležitým faktorem pro široké spektrum lidské činnosti. Absolutní teplotní minimum bylo naměřeno v Litvínovicích (nyní součást Českých Budějovic) 11.2.1929, a to -42,2 °C (Podnebí – Tabulky, 1961).

Zimy s převažujícími nízkými teplotami vzduchu se hlavně pozitivně odrážejí v horské turistice, kdy je větší šance na sněhovou pokrývku a i na to, že pokud nasněží, tak nebude sníh rychle odtávat. Naopak když klesají absolutní minima velmi nízko, může se stát, že se lyžařská turistika stává nepohodlnou. Výskyt dnů pod bodem mrazu již na podzim, či

začátkem zimy, nebo naopak ještě v prvních jarních měsících má zásadní vliv na délku lyžařské sezóny a ovlivňují i ekonomickou rentabilitu daného podnikání.

Tuhé a extrémní zimy ovlivňují i energetiku a teplárenství v tzv. otopové sezóně. V letech 2014 až 2016 jsme byli svědky velmi teplých zim a zisky energetických a teplárenských firem byly nízké. To se negativně může projevit do koncové ceny zákazníků, jelikož při delším období s teplejšími zimami může dojít k navýšení paušální ceny za teplo, elektrickou energii či plyn. Naopak zima 2017 díky svému chladnému průběhu znamenala vyšší spotřebu energií a tím pádem větší výdaje domácností za celkovou spotřebu energií. Paradoxně v kombinaci studeného, ale málo větrného ledna 2017 došlo k prudkému nárůstu ceny energií na obchodní burze, jelikož se projevil nedostatek energie (výpadek z VTE v Německu a Severním moři). Z toho vyplývá, že podle toho jak bude tuhá zima je důležitým faktorem při dlouhodobém plánování strategie v energetickém odvětví zcela klíčová.

V zemědělství je klíčový výskyt teplot pod bodem mrazu hlavně v jarních měsících. Nenadálý pád studeného vzduchu po teplejším období může znamenat výrazné poškození zemědělských plodin a ovlivnit zásadně celoroční sklizeň. V zimních měsících je zase nepříjemný výskyt tzv. holomrazů, kdy jsou velmi nízké teploty vzduchu, ale bez sněhové pokrývky. Tím pádem může dojít k poškození kořenového systému rostlin a je ohroženo celkově jejich přezimování (Rožnovský 2003). Stejně dopady mohou mít i na faunu, kdy za delších období s nízkými teplotami vzduchu může dojít k horšímu přístupu k potravě. Naopak pokud by docházelo k celkovému zmírňování klimatických podmínek během chladného půlroku, zejména v zimních měsících, tak k nám mohou začít migrovat nepřírodní druhy zvířat pro naše zeměpisné šířky.

Autoři tohoto článku změnou klimatu v zimních měsících zabývali již v minulém roce a to konkrétně změnou sněhových poměrů (Zahradníček a kol. 2016). Zde se snažíme vybrat klimatické charakteristiky, které by dobře určovaly tuhost jednotlivých zim. Cílem je zjistit nejextrémnější zimy či chladné půlroky a analyzovat celkový klimatický vývoj v zimě.

Data a metody

Pro stanovení tuhosti jednotlivých zim a také pro zkoumání její variability v čase byly použity tři klimatické charakteristiky. Jako základní informace byla použita průměrná teplota vzduchu během zimy. Ta celkově stanovuje, jestli daná sezóna byla teplotně nadprůměrná či podprůměrná a jaký je dlouhodobý trend. Jako druhá charakteristika slouží efektivní teplota vzduchu pod 0°C a -5°C. Výsledkem je záporná suma hodnot teplot vzduchu pod stanovenou hranici. Čím je větší záporná suma hlavně u efektivní teploty pod -5°C, tak lze usuzovat, že

v dané sezóně bylo výrazné množství epizod s velice chladným vzduchem. Posledním ukazatelem je absolutní dosažená minimální teplota vzduchu v zimě. Ta sice nepoukazuje na celkový charakter zimy, ale dává nám informaci o velikosti teplotního extrému během sezóny (může jít jen o krátkou studenou epizodu).

Tyto teplotní charakteristiky byly podrobeny časoprostorové analýze. K tomu bylo použito 268 technických stanic ČHMU, které jsou k dispozici pro období 1961-2015. Každá časová řada obsahuje své chyby měření, nehomogenity a také chybějící hodnoty. To by mohlo zkreslit výsledky dané analýzy. Proto vybrané časové řady prošly kontrolou kvality dat, byla testována jejich nehomogenita a případné detekované zlomy v časových řadách opraveny. Na závěr byly interpolačními metodami doplněny všechny chybějící údaje a to v denním kroku. Kontrola kvality dat kombinuje více přístupů, které zaručují lepší výsledek, jak v detekci pravých chyb, tak snížení počtu falešných detekcí. Kromě výpočtu mezikvartilových odchylek je testovaná stanice podrobena porovnání s okolními stanicemi a také s vypočtenou tzv. „očekávanou“ hodnotou z těchto okolních stanic. Takto detekované chyby jsou v datovém souboru nahrazeny chybějící hodnotou. Po kontrole kvality dat dochází k detekci nehomogenit v časové řadě. To je prováděno na měsíčních datech pomocí Alexandersonova SNHT testu (Alexandersson 1986) a Maronna a Yohai bivariate testu (Maronna, Yohai 1978). Detekované nehomogenity jsou poté porovnány s metadatami. Oprava nehomogenit probíhá v denním kroku pomocí metody DAP (Distribution Adjusting by Percentiles), která je založena na opravě pomocí jednotlivých percentilů a vychází z metody pro korekci regionálních klimatických modelů (Deque 2007). Po kontrole kvality dat a homogenizaci je teprve přikročeno k doplnění chybějících hodnot. Jelikož pro prostorové analýzy je nutnost používat co největší množství rovnoměrně rozmístěných stanic fungujících ve stejném období, byly vybrány stanice, které mají aspoň 20 letou řadu a pro ně dopočteno vždy z okolních stanic interpolačními metodami celé období 1961-2015 (kontinuálně prodlužováno). Tímto postupem se získalo 268 řad klimatologických stanic pro průměrnou, maximální a minimální teplotu vzduchu, srážky, tlak vodních par, rychlost větru a slunečního svitu se stejnou délkou měření. Tyto řady se nazývají technické řady, aby se oddělily od surových naměřených, ale neopravených dat. Vše bylo provedeno díky software Petra Štěpánka ProClimDB a Anclim (www.climahom.eu). Více o použitých metodách a výsledcích lze najít například zde Štěpánek et al (2011a,b).

Z těchto technických dat byly pro tuto studii vytvořeny tzv. průměrné řady. Nejdříve se pro každou stanici spočítaly počty dnů s určitou charakteristikou. Poté byly stanice rozděleny podle kategorií nadmořské výšky (do 300, 301-600, 601-900 a nad 900 m n.m.) a vypočtena

průměrná řada. Dále ze všech 268 stanic byla vypočtena průměrná řada pro celou Českou republiku. Analyzována byla změna po jednotlivých třicetiletích (1961-1990, 1971-2000, 1981-2010) a také posledních 15 let (2001-2015). Zjišťována byla významnost lineárních trendů.

Pro absolutní minima byla vypočtena doba opakování daného jevu pomocí GEV rozdělení (Generalized Extreme Value distribution). To se běžně používá pro stanovení extremity daného jevu a to hlavně případě teplotních charakteristik.

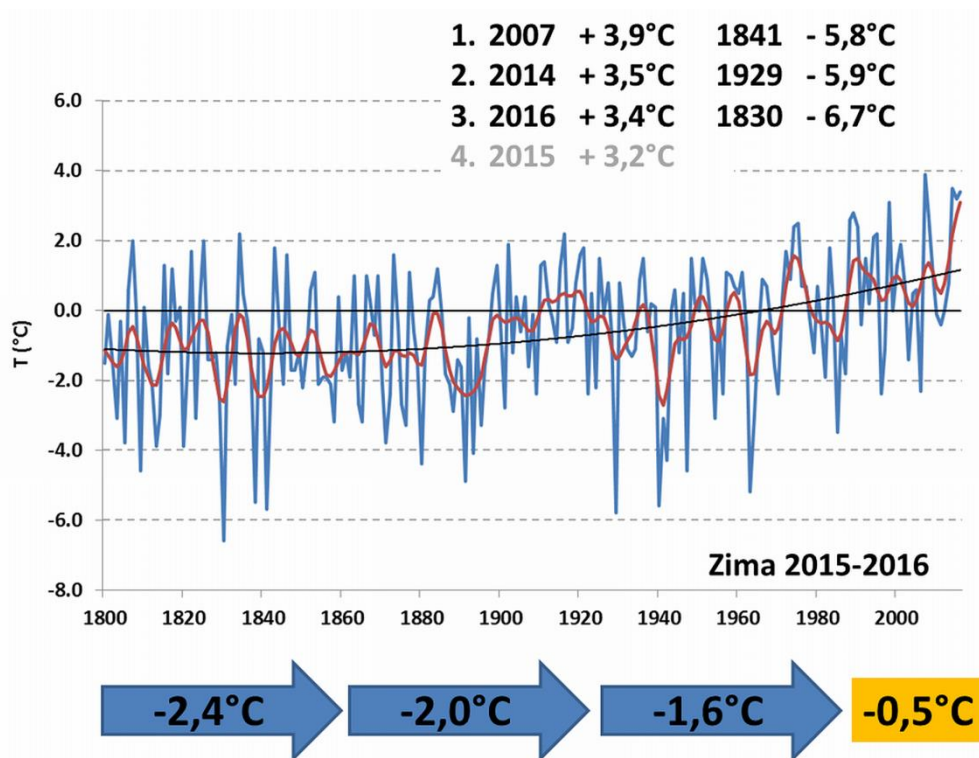
V diskuzi je také analyzován možný vývoj zimních teplot vzduchu v budoucím klimatu. Pro analýzu budoucího klimatu byly použity výstupy nejnovějších RCM z rodiny EURO-CORDEX a také pět vybraných GCM modelů. Byly použity dva emisní scénáře RCP 4.5 (zakonzervování skleníkových plynů) a 8.5 (stálý hospodářský růst bez omezení množství skleníkových plynů) a výstupy jsou pro celé období až do roku 2100.

Výsledky

Průměrná teplota vzduchu v zimě

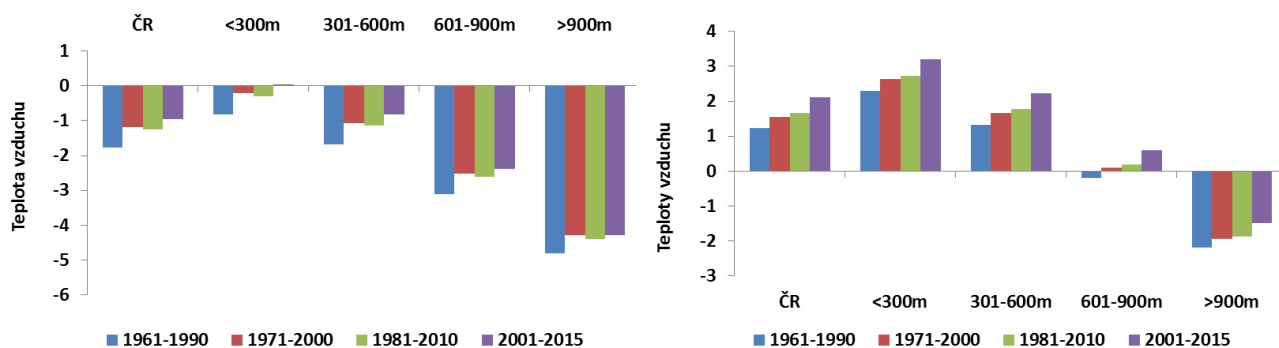
Jak lze vidět na obrázku 1, tak průměrná teplota vzduchu v zimě má rostoucí trend. K rychlejšímu růstu teplot vzduchu dochází hlavně od 80. let 20. století. V posledních 15 letech jsme zažily 4 nejteplejší zimy. Největší kladná odchylka od normálu 1961-1990 byla v roce 2007. Zajímavostí je, že v dalším pořadí jsou tři zimy po sobě a to 2014-2016. Naopak nechladnější zimy byly v roce 1830, 1941 a 1929, což je již časově hodně vzdálené od současnosti.

Z našeho zkoumaného období byl nechladnější normál 1961-1990. Naopak období 2001-2015 bylo výrazně teplejší a to v průměru o 0,9°C (obr 2 vlevo). Jak lze vidět na obrázku 3, tak k většímu oteplení došlo v Čechách než na Moravě. Tedy s rostoucí kontinentalitou je nárůst zimních teplot menší. Období 2001-2015 oproti 1961-1990 bylo teplejší v nadmořských výškách do 600 m n.m, na horách bylo oteplení menší. K největší změně teplot vzduchu z horských oblastí došlo v Krkonoších a Krušných horách, naopak na Šumavě, Jeseníkách a Beskydech se oteplovalo pomaleji. V chladném půlroce zůstávají průměrné teploty vzduchu pod bodem mrazu jen ve výškách nad 900 m n.m (obr. 2 vpravo). Období 2001-2015 je většinou oproti normálu zde teplejší o 0,9 až 1°C, na horách pouze o 0,7°C.



Obr. 1. Průměrná zimní teplota vzduchu v Brně v letech 1800-2016

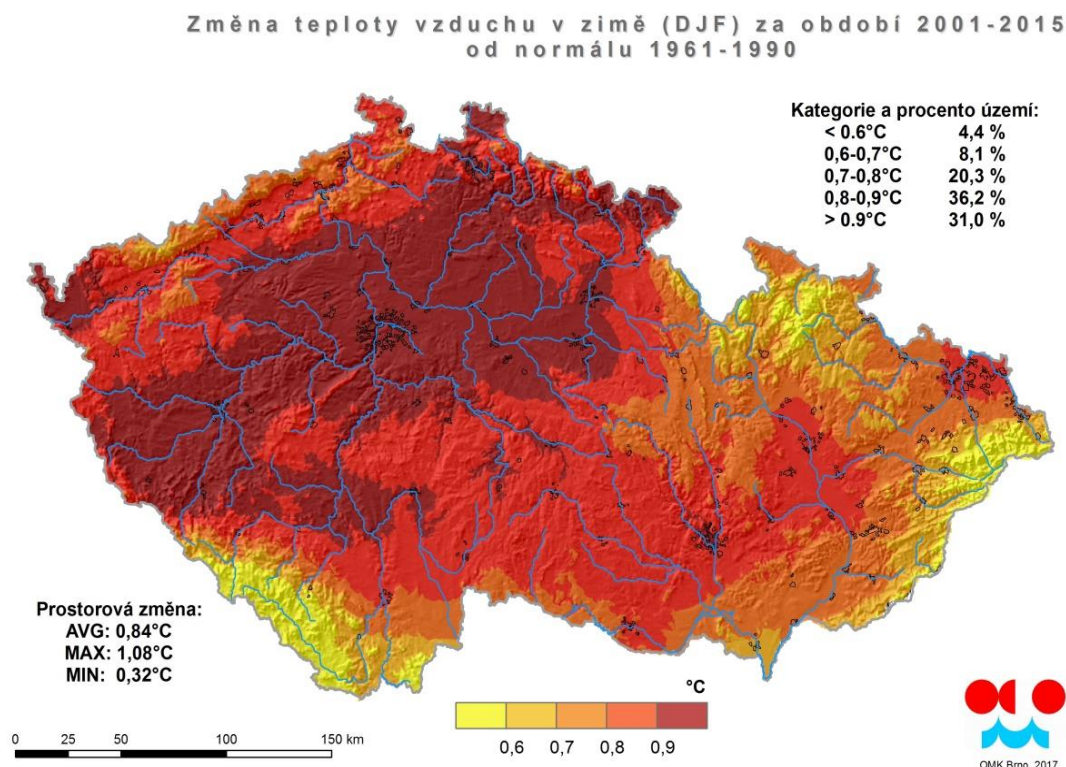
Průměrná teplota vzduchu v zimě či v chladném půlroce roste podobným tempem jako ostatní sezóny s výjimkou podzimu, kde je trend nejnižší a ještě není statisticky významný. V zimě se tedy otepluje o 0,36°C za 10 let. V chladném půlroce je trend lehce nižší (0,30°C/10 let). Trend je silnější v nižších nadmořských výškách než na horách. Z jednotlivých měsíců je nejsilnější trend v prosinci a lednu. V prosinci se shodně otepluje ve všech nadmořských výškách, v lednu překvapivě není statisticky významný trend nad 900 m n. m. V říjnu, únoru a březnu nebyl prokázán statisticky významný trend (tab. 1).



Obr. 2. Průměrná teplota vzduchu v zimě (vlevo) a v chladném půlroce (vpravo) v České republice a v jednotlivých kategoriích nadmořské výšky v letech 1961-2015

Tab. 1. Lineární trend průměrné teploty vzduchu (°C/1 rok) v období 1961-2015 (tučně statisticky významné).

	X	XI	XII	I	II	III	IV	XII-II	X-III	I-XII
ČR	0.008	0.029	0.040	0.050	0.018	0.031	0.035	0.036	0.030	0.031
<300m	0.010	0.028	0.038	0.052	0.020	0.031	0.036	0.037	0.031	0.033
301-600m	0.010	0.029	0.042	0.051	0.017	0.032	0.035	0.037	0.031	0.032
601-900m	0.002	0.029	0.040	0.044	0.016	0.030	0.036	0.033	0.027	0.029
>900m	-0.001	0.032	0.036	0.032	0.012	0.031	0.035	0.026	0.024	0.025



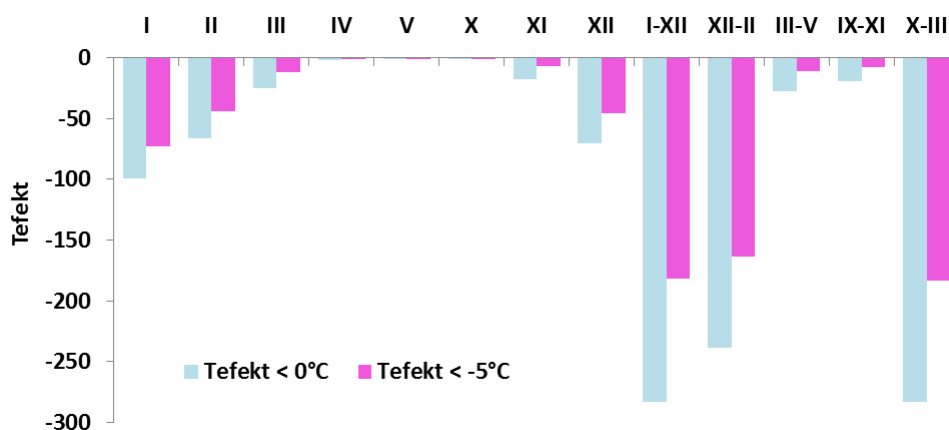
Obr. 3. Změna teploty vzduchu v zimě za období 2001-2015 od normálu 1961-1990

Efektivní teplota vzduchu

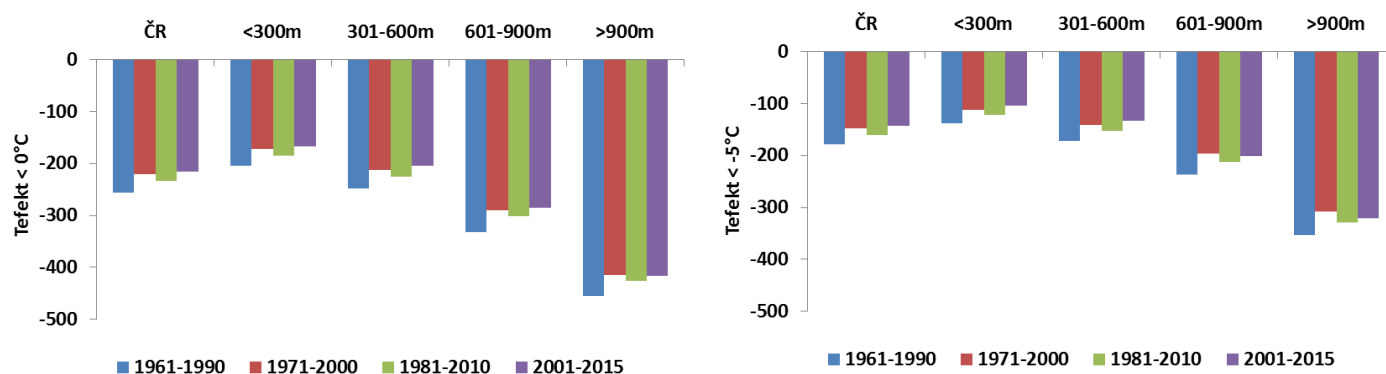
Efektivní teplota vzduchu byla vypočtena jako suma průměrných teplot vzduchu pod 0°C respektive -5°C. Větší záporná suma efektivních teplot vzduchu je logicky u hranice 0°C, jelikož těchto dnů je více. Není zde výrazný rozdíl mezi zimní sezónou a chladným půlrokem, jelikož 35-40 % celkové sumy za chladný půlrok je způsoben měsícem lednem. V prosinci a lednu je suma efektivní teplot podobná a zhruba o třetinu nižší než v lednu (obr. 4).

Nejchladnějším z pohledu efektivních teplot vzduchu bylo normálové období 1961-1990 na poté období 1981-2010. Naopak nejsou velké rozdíly mezi obdobími 1971-2000 a 2001-2015. V nižších nadmořských výškách byla nejnižší záporná suma efektivních teplot v posledních

15 letech, ale v horských oblastech tomu bylo v období 1971-2000 (obr. 5). Průměrný pokles efektivní sumy v letech 2001-2015 od normálu 1961-1990 je okolo 20 %.



Obr. 4. Roční chod efektivních teplot vzduchu pod 0°C a -5°C v České republice za období 1961-2015



Obr. 5. Suma efektivních teplot vzduchu pod 0°C (vlevo) a pod -5°C (vpravo) na území České republiky podle nadmořských výšek v zimní sezóně.

Statisticky významný trend je častěji pozorován u efektivní teploty vzduchu pod 0°C. Ve všech nadmořských výškách je významně menší suma záporných efektivních teplot vzduchu v chladném půlroce a v ročních sumách. V zimě je statistický významný trend v nadmořských výškách od 301-900 m n.m (tab. 2). Záporná suma v průměru pro Českou republiku zmenší o 8,5 % za 10 let. Z jednotlivých měsíců jsou významné trendy v prosinci. U efektivní teploty vzduchu pod -5°C není žádný významný trend u nejnižších nadmořských výšek. Na zbytku území České republiky jsou významné trendy pro chladný půlrok a celoroční sumy (tab. 3). V průměru se zmenší efektivní suma teplot pod -5°C o 10 % za 10 let.

Tab. 2 Lineární trend sumy efektivních teplot vzduchu pod 0°C (°C/1 rok) v období 1961-2015 (tučně statisticky významné).

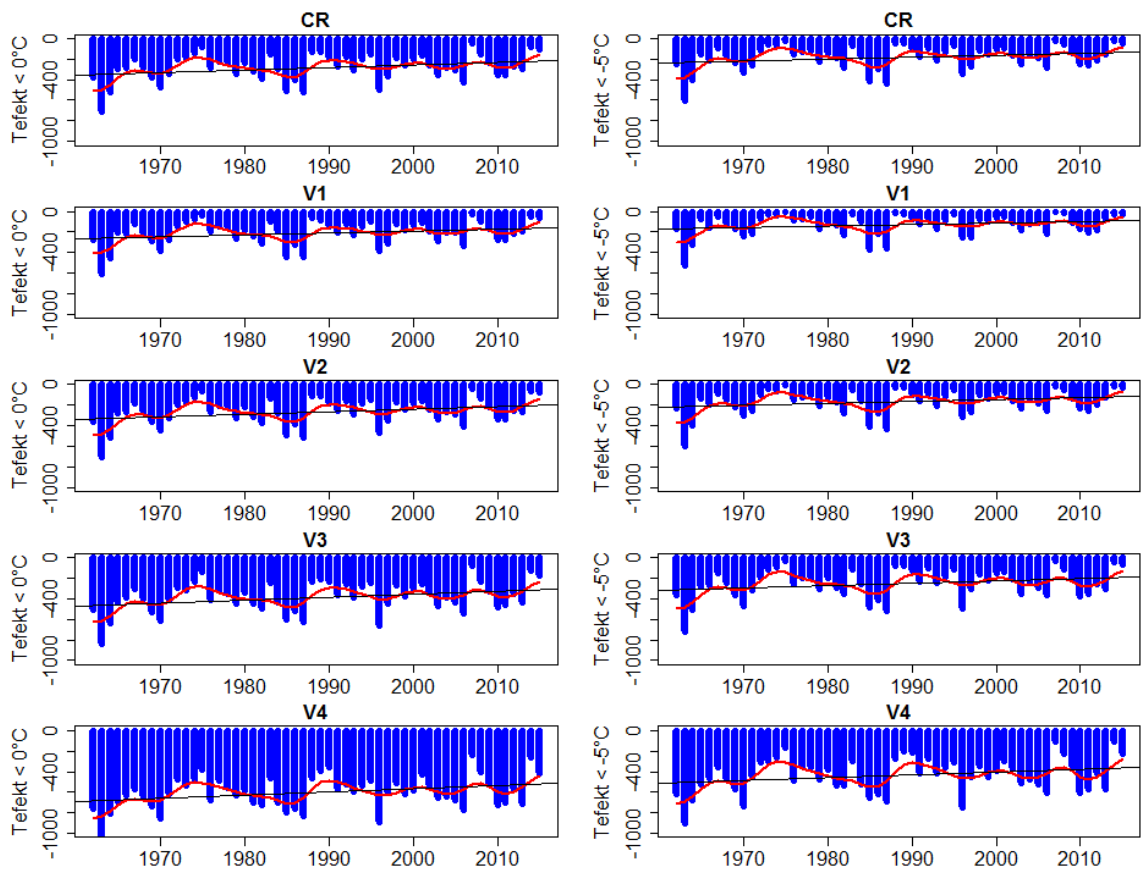
	X	XI	XII	I	II	III	IV	XII-II	X-III	I-XII
ČR	-0.011	0.138	0.740	0.938	0.170	0.334	-0.002	1.900	2.406	2.309
<300m	-0.004	0.086	0.563	0.889	0.158	0.237	-0.005	1.660	2.006	1.925
301-600m	-0.007	0.123	0.768	0.958	0.155	0.321	-0.014	1.936	2.415	2.304
601-900m	-0.027	0.213	0.910	0.993	0.229	0.464	0.000	2.190	2.916	2.785
>900m	-0.065	0.418	0.958	0.808	0.236	0.680	0.176	2.019	3.174	3.261

Tab. 3 Lineární trend sumy efektivních teplot vzduchu pod 0°C (°C/1 rok) v období 1961-2015 (tučně statisticky významné).

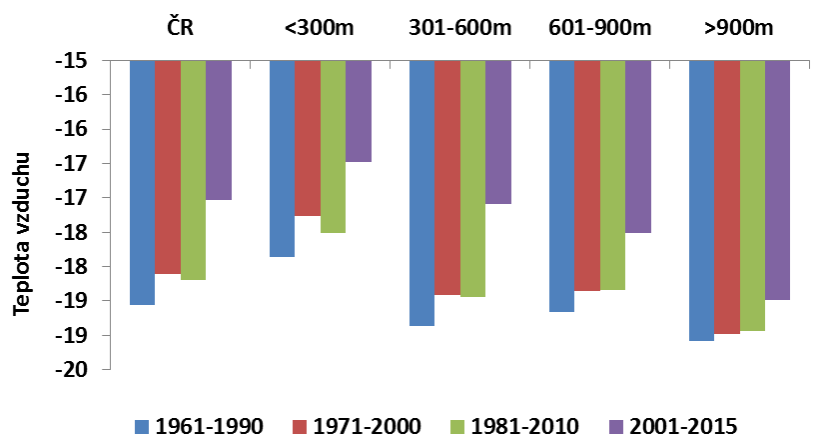
	X	XI	XII	I	II	III	IV	XII-II	X-III	I-XII
ČR	-0.002	0.078	0.589	0.880	0.100	0.200	-0.003	1.623	1.927	1.843
<300m	0.000	0.031	0.435	0.882	0.034	0.112	0.000	1.391	1.545	1.494
301-600m	0.000	0.074	0.609	0.906	0.095	0.167	0.000	1.666	1.928	1.851
601-900m	-0.004	0.141	0.719	0.833	0.212	0.372	-0.015	1.838	2.401	2.259
>900m	-0.029	0.225	0.899	0.684	0.218	0.614	-0.017	1.871	2.795	2.600

Absolutní minimální teplota vzduchu

Tato charakteristika je většinou spíše ovlivněna aktuální meteorologickou situací než dlouhodobou změnu klimatu. Velice chladné dny lze považovat za extrémní projev počasí, který může výrazně již ovlivnit přírodu či široké spektrum lidské činnosti. Průměrné absolutní minimum za chladný půlrok v České republice je -18°C. Vyšší hodnota byla v letech 1961-1990 a to -18,6°C. Naopak v posledních 15 letech to bylo jen -17°C. Rozdíl mezi nejnižšími nadmořskými výškami a horskými oblastmi je jen 1,5°C (obr. 7).



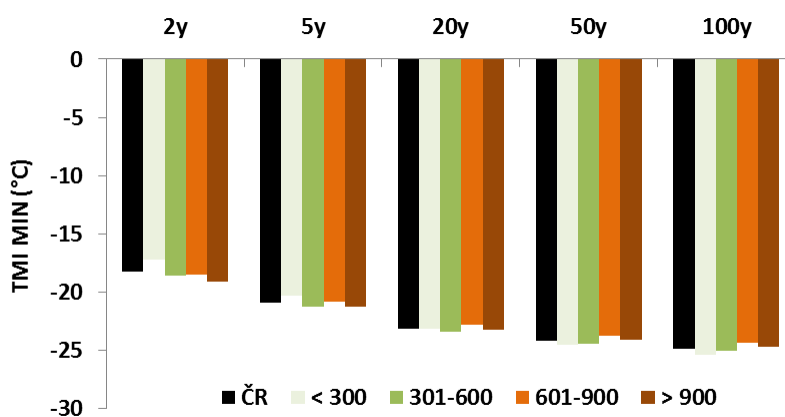
Obr. 6. Suma efektivních teplot vzduchu pod 0°C a -5°C pro různé kategorie nadmořské výšky (CR – celá Česká republika, V1 – pod 300 m, V2 – 301-600 m, V3 – 601-900 m, V4 – nad 900 m; červená čára: 10 letý Gaussův nízkofrekvenční filtr)



Obr. 7. Absolutní minimální teplota vzduchu podle kategorií nadmořské výšky v České republice v chladném půlroce

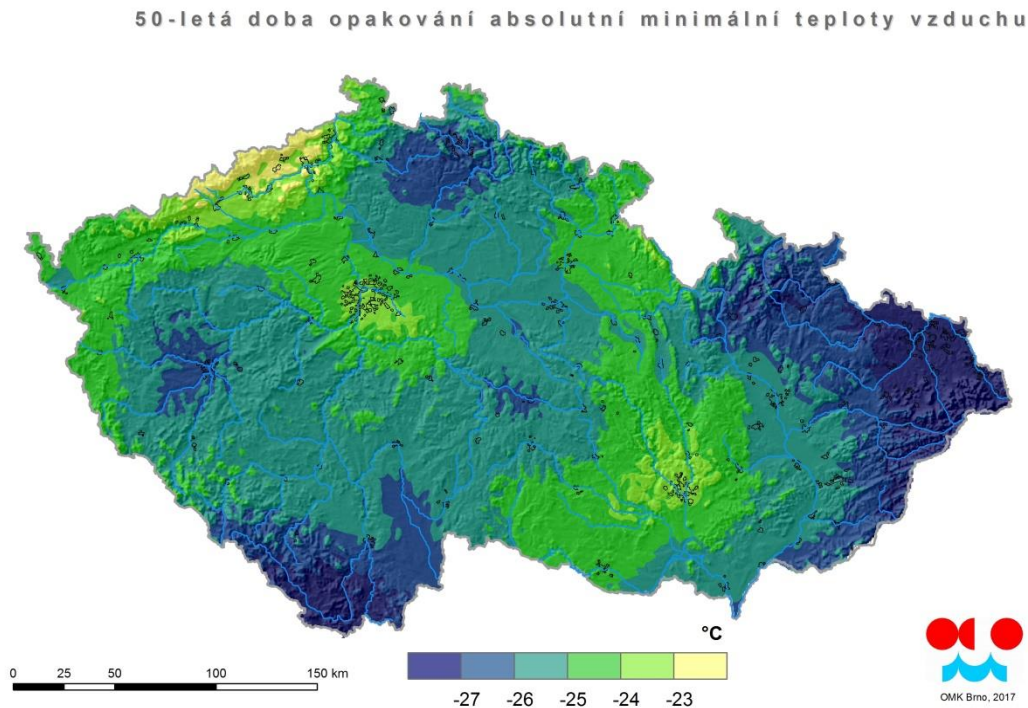
I přesto, že v posledních 15 letech neklesala absolutní minima tak nízko jako v minulosti, tak statisticky významný trend je pouze u nadmořských výšek 301-600 m.n. m a to 0,6°C/10 let.

Důležitějším faktorem u této charakteristiky než je trend, může být doba opakování. Tedy po jaké době může nastat určitá extrémní hodnota minimální teploty vzduchu. Absolutní minima, které se statisticky objevují každý druhý rok jsou velmi podobné dlouhodobým průměrným hodnotám a je i podobné rozložení podle nadmořské výšky. Pod hodnotu -20°C se dostáváme při 5 leté době opakování. Jednou za 20 let klesne absolutní minimum průměrně v České republice pod -23°C . S rostoucí délkou doby opakování už není výrazný rozdíl mezi absolutními minimálními teplotami. Doba opakování 100 let je jen o $0,6^{\circ}\text{C}$ vyšší než 50 letá doba opakování. Překvapivě se stírá i rozdíl mezi nadmořskými výškami a dokonce v nižších nadmořských výškách je absolutní minimum extrémnější než na horách (obr. 8). Jak lze vidět na obrázku 9, tak nejnižší absolutní minima s dobou opakování 50 let jsou na východě a severovýchodě republiky. Naopak méně extrémní klima panuje na západě republiky v Krušných horách. Rozdíl činí i více než 4°C . To je dáno kontinentalitou počasí. Dále extrémní zimní klima je pozorováno na jihu Čech, kde je velké množství mrazových kotlin. Zajímavým faktem je, že relativně mírnější zimy z pohledu absolutních minim jsou v Praze a Brně. To by mohlo být dáno tepelným ostrovem města.



Obr. 8. Doba opakování 2 až 100 let absolutních minimálních teplot vzduchu podle různých Podle doby opakování daného minima lze posuzovat i jednotlivé roky a to jak z hlediska minim, tak i opačného faktu, kdy naopak se v zimě neobjeví příliš extrémně nízká teplota vzduchu. Nejextrémnějším rokem byl 1985 s dobou opakování vyšší než 100 let. Průměrné absolutní minimum v České republice bylo $-25,8^{\circ}\text{C}$. V tomto roce klesaly teploty hodně nízko jak v lednu (125 letá doba opakování), tak i únoru (66 letá doba opakování). O dva roky později opět klesaly minimální teploty dost nízko. Průměrné absolutní minimum v České republice bylo $-25,2^{\circ}\text{C}$. To odpovídalo opět více než 100 leté době opakování. Extrémní byl hlavně leden a překvapivě i březen, kdy průměrné absolutní minimum kleslo k -18°C . Třetí nejextrémnější rok podle absolutních minim byl 1996, kdy v prosinci průměrné absolutní

minimum v České republice bylo $-23,6^{\circ}\text{C}$. To bylo v prosinci opět více než 100 letá doba opakování, ale celkově v ročním kontextu to znamenalo dobu opakování s délkou 29 let. kategorií nadmořských výšek



Obr. 9. 50-letá doba opakování absolutní minimální teploty vzduchu na území České republiky

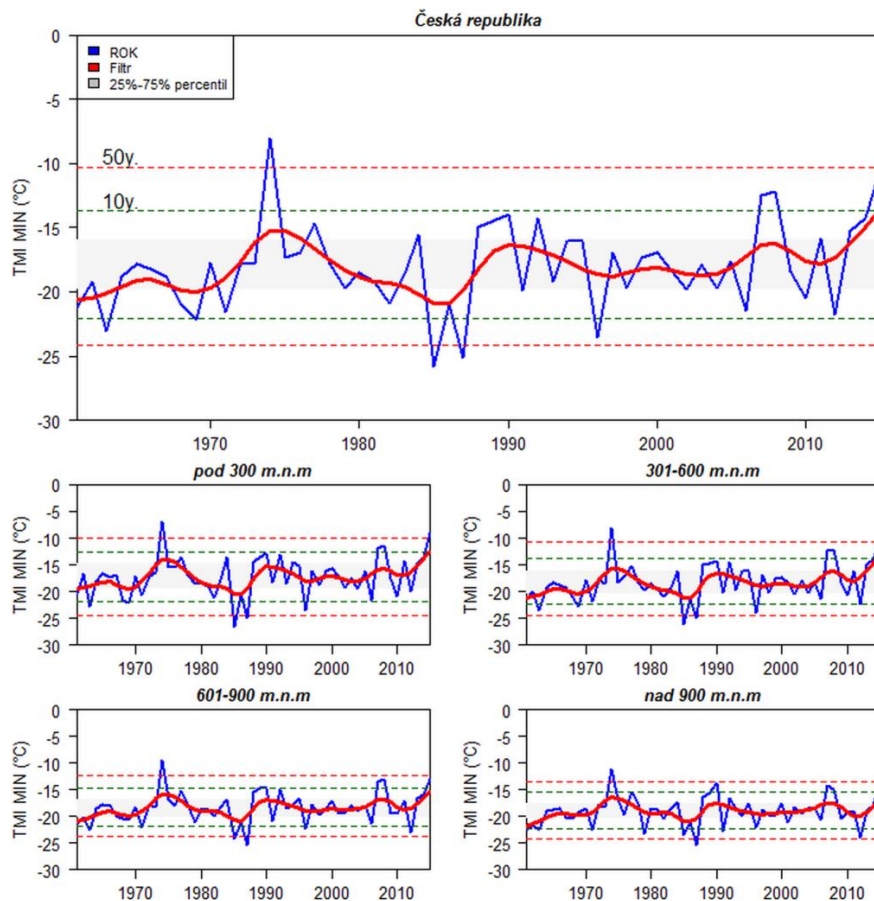
Zcela opačným extrémem byl rok 1974, kdy průměrné absolutní minimum bylo jen -8°C . Takto teplá minimální teplota vzduchu se objevuje více než jednou za 100 let. Velmi teplá zima z pohledu zkoumané charakteristiky byla také 2015 s průměrným minimem $-10,6^{\circ}\text{C}$. Taková zima se opakuje jednou za 60 let. K dalším málo extrémním zimám patřily roky 2007 a 2008 (obr. 10).

Diskuze

Víceparametrické určení tuhosti zim

Pro určení tuhosti zimy nemusí sloužit pouze jen jedna charakteristika, ale je lepší udělat kombinaci více parametrů. Pro naše potřeby jsme vybraly průměrnou teplotu vzduchu (osa x), efektivní teplotu vzduchu pod 0°C v případě chladného půlroku a pod -5°C v případě zimní sezony (osa y). A velikost jevu (velikost a barva bodu) bylo určeno absolutní minimální teplota vzduchu. Jak lze vidět na obrázku 11, tak jak v chladném půlroce, tak i v zimní sezóně

výrazně vyčnívá jako nejextrémnější rok 1963. Průměrná teplota v tomto roce byla o více než 5°C nižší než je normál 1961-1990. V tomto roce byla i rekordně velká záporná suma efektivních teplot pod -5°C.

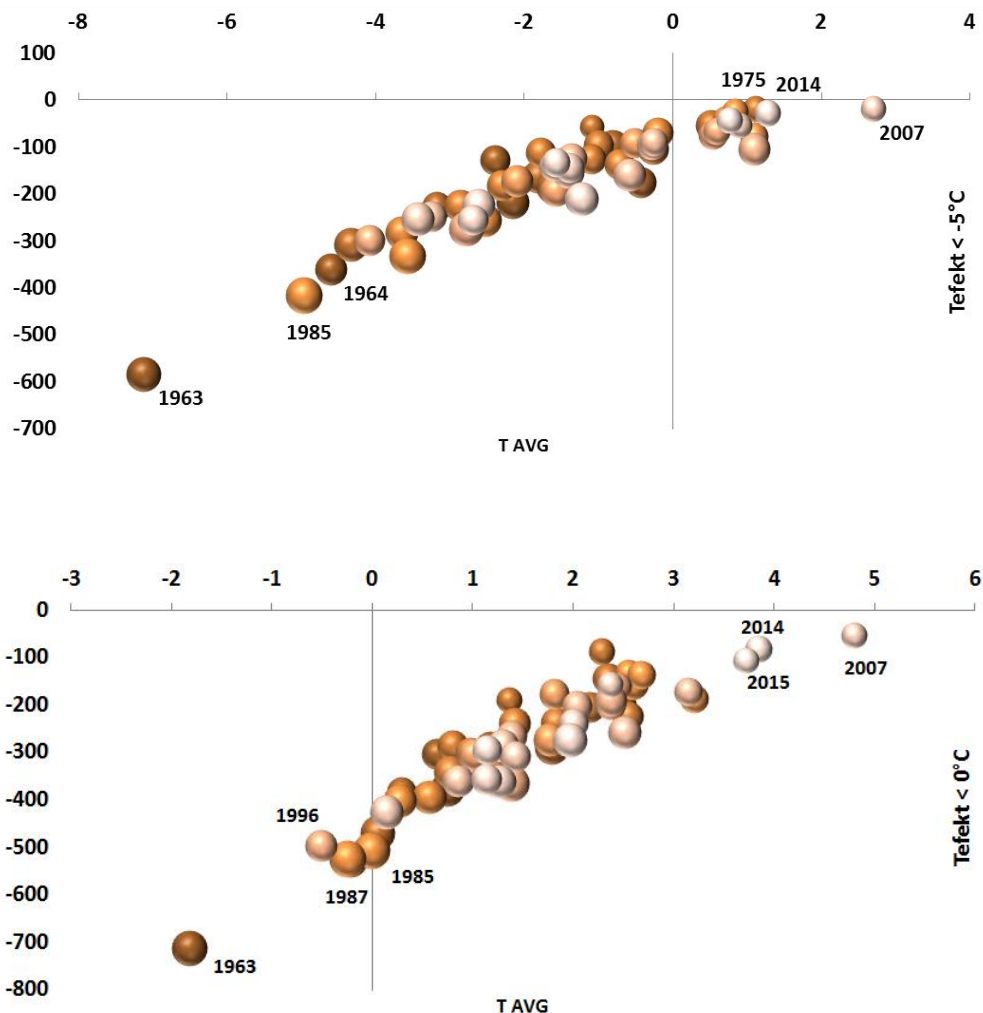


Obr. 10. Absolutní minimální teploty vzduchu pro různé kategorie nadmořských výšek s vyznačenou 10 a 50 letou dobou opakování (červená plná čára je 10 letý Gaussův nízkofrekvenční filtr)

Absolutní minimum sice nebylo rekordní, ale v průměru v České republice kleslo pod -23°C. Dalším společným extrémním rokem jak v zimní sezóně, tak chladném půlroce byl rok 1985. Průměrná zimní teplota vzduchu byla nižší o 3°C než je normál a o 1,2°C nižší v chladném půlroce. Třetím extrémním rokem v zimní sezóně byl 1964, kdy teplota byla o 2,5°C nižší normál. Absolutní minimum v tomto roce bylo ale jen kolem -19°C. Mezi extrémní chladné půlroky se ještě zařadil rok 1996, kdy byla hlavně vysoká suma záporných efektivních teplot pod 0°C. Absolutní minimum bylo v průměru kolem -18,5°C.

Na opačném pólu vyčnívá hlavně rok 2007. Ten byl v průměru v zimě teplejší o 4,5°C a o 3,5°C v chladném půlroce. Efektivní teploty pod -5°C resp. 0°C byly malé, což znamená, že

teplota vzduchu jen málokdy spadla pod bod mrazu nebo v zimě pod -5°C . Absolutní minimum v průměru v České republice padalo k -12°C . Další teplé zimy tvoří shluk 11 let s teplotou nad bodem mrazu. Z nich lze vybrat rok 2014 a 1975. Zima 2014 byla o 3°C teplejší než normál. V chladném půlroce se vyprofilovaly jako extrémně teplé roky ještě 2014 a 2015, což spadá do epizody velmi teplých zim v posledních letech.



Obr. 11. Bubble graf určení tuhosti jednotlivých zim (nahore) a v chladném půlroce (dole) v České republice

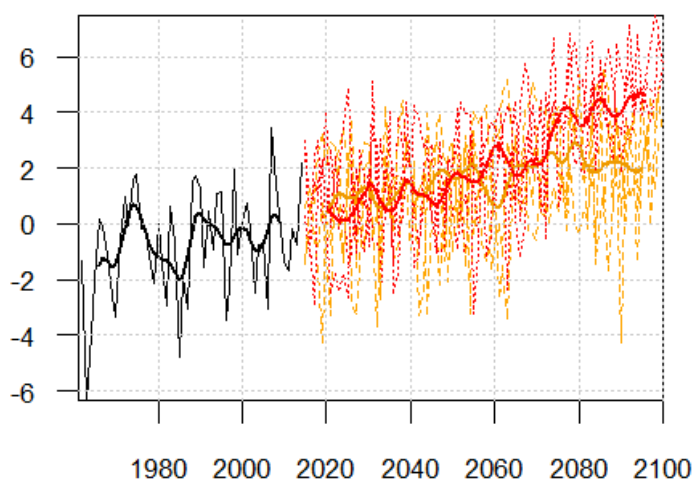
Predikce zimních teplot vzduchu do budoucnosti

Jako hlavním problémem bude zvyšování teplot vzduchu, na kterém se klimatické modely shodují. Pro Českou republiku nejnovejší modely EURO-CORDEX počítají s nárůstem teplot vzduchu o 2°C ke konci století podle RCP 4.5 a nebo až 4.1°C podle RCP 8.5. Do roku 2050 budou teploty růst bez ohledu na vliv množství skleníkových plynů shodně, poté dojde

k rozevření nůžek v predikci podle emisních scénářů. Nové klimatické modely mají ale nejvyšší nárůst teplot predikovanou právě pro zimní sezonu (tabulka 4). Podle emisního scénáře 4.5 dojde v průměru k oteplení o 2,4°C, ale RCP 8.5 počítá s nárůstem zimních teplot o 4,9°C (Štěpánek et al., 2016).

Tab. 4. Odchylka teploty vzduchu (°C) počítána z 11 EURO-CORDEX experimentů (DJF – winter, MAM – spring, JJA – summer, SON – autumn) od dlouhodobého průměru 1981-2010 (Štěpánek et al. 2016)

Scénář	Období	Rok	Zima	Jaro	Léto	Podzim
rcp45	2021-2040	0.9	1.1	0.8	0.7	0.8
rcp45	2041-2060	1.3	1.4	1.3	1.3	1.1
rcp45	2061-2080	1.8	2.2	1.8	1.7	1.5
rcp45	2081-2100	2.0	2.4	1.9	1.7	1.7
rcp85	2021-2040	1.0	1.1	1.1	0.9	0.9
rcp85	2041-2060	1.8	2.1	1.8	1.6	1.8
rcp85	2061-2080	2.8	3.3	2.8	2.6	2.6
rcp85	2081-2100	4.1	4.9	3.8	3.8	3.9



Obr. 9 Průměrná teplota vzduchu pro Brno v zimě v letech 1961-2100 podle RCM EURO-CORDEX (žlutá čára je RCP 4,5 a červená RCP 8,5; www.klimatickazmena.cz)

Závěr

V tomto článku jsme se snažily analyzovat klimatické charakteristiky, které by mohly určit tuhost jednotlivých zim a také jestli dochází k dlouhodobým změnám. Jako základní charakteristiku jsme si vybrali průměrnou teplotu v zimě či chladném půlroce. Dále jsme vypočítali negativní sumu efektivních teplot vzduchu pod 0 a -5°C. Pro analýzu extremity

dané zimy bylo vybráno absolutní minimum teploty vzduchu. Všechny tyto charakteristiky byly také studovány dohromady jako víceparametrické parametry.

Průměrná teplota vzduchu v zimě či v chladném půlroce roste podobným tempem jako ostatní sezóny s výjimkou podzimu, kde je trend nejnižší a ještě není statisticky významný. V zimě se tedy otepluje o $0,36^{\circ}\text{C}$ za 10 let. V chladném půlroce je trend lehce nižší ($0,30^{\circ}\text{C}/10$ let). Trend je silnější v nižších nadmořských výškách než na horách. Z jednotlivých měsíců je nejsilnější trend v prosinci a lednu. K většímu oteplování dochází v Čechách než na Moravě. Statisticky významný trend je častěji pozorován u efektivní teploty vzduchu pod 0°C . V zimě je statistický významný trend v nadmořských výškách od 301-900 m n.m. Záporná suma v průměru pro Českou republiku zmenší o 8,5 % za 10 let.

Průměrné absolutní minimum za chladný půlrok v České republice je -18°C . Vyšší hodnota byla v letech 1961-1990 a to $-18,6^{\circ}\text{C}$. Naopak v posledních 15 letech to bylo jen -17°C . Rozdíl mezi nejnižšími nadmořskými výškami a horskými oblastmi je jen $1,5^{\circ}\text{C}$. Nejextrémnějším rokem z pohledu absolutních minim byl 1985 s dobou opakování vyšší než 100 let. Průměrné absolutní minimum v České republice bylo $-25,8^{\circ}\text{C}$.

V chladném půlroce, tak i v zimní sezóně výrazně vyčnívá jako nejextrémnější rok 1963. Průměrná teplota v tomto roce byla o více než 5°C nižší než je normál 1961-1990. V tomto roce byla i rekordně velká záporná suma efektivních teplot pod -5°C . Na opačném pólu vyčnívá hlavně rok 2007. Ten byl v průměru v zimě teplejší o $4,5^{\circ}\text{C}$ a o $3,5^{\circ}\text{C}$ v chladném půlroce. Efektivní teploty pod -5°C resp. 0°C byly malé, což znamená, že teplota vzduchu jen málokdy spadla pod bod mrazu nebo v zimě pod -5°C . Absolutní minimum v průměru v České republice padalo k -12°C . Podle klimatologických modelů bych měli očekávat zimy v průměru teplejší o $2,4^{\circ}\text{C}$ až $4,9^{\circ}\text{C}$, což by znamenalo naprostou změnu dosavadních zimních podmínek.

Literatura:

ALEXANDERSSON, A. (1986): A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology*, 6, 661–675.

DÉQUÉ, M. (2007): Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: model results and statistical correction according to observed values. *Global and Planetary Change*, 57, 16–26.

KOLEKTIV: Podnebí ČSSR - Tabulky. HMÚ Praha 1961, 379 s.

MARONNA, T., YOHAI, V. J. (1978): A bivariate test for the detection of a systematic change in mean. *Journal of the American Statistical Association*, 73, 640–645.

ROŽNOVSKÝ, J. Extrémy počasí - vliv na produkci řepky. In: Sborník příspěvků 20. vyhodnocovací seminář „*Systém výroby řepky, systém výroby slunečnice*“, 18.–20. 11. 2003 Hluk. Praha: SPZO s.r.o. Svaz pěstitelů a zpracovatelů olejnin, 2003, s. 89–97. ISBN 80-239-1889-3.

ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P., FARDA, A., SKALÁK, P., TRNAK, M., MEITNER, J., RAJDL, K. (2016): Projection of drought-inducing climate conditions in the Czech Republic according to Euro-CORDEX models. *Clim Res*, CR 70:179-193

ZAHRADNÍČEK, P., ROŽNOVSKÝ J., ŠTĚPÁNEK P., FARDA A., BRZEZINA J. (2016): The effects of changes in snow depth on winter recreation. *Journal of Landscape Management*, vol:7/No. 1), Mendel University in Brno, p. 44-54.

ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P., BRÁZDIL, R., TOLASZ, R., 2011a. Metodologie kontroly a homogenizace časových řad v klimatologii. Praha. 118 s. ISBN 978-80-86690-97-1.

ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P., FARDA, A., SKALÁK, P., TRNAK, M., MEITNER, J., RAJDL, K. (2016): Projection of drought-inducing climate conditions in the Czech Republic according to Euro-CORDEX models. *Clim Res*, CR 70:179-193

ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P., HUTH, R., 2011b. Interpolation techniques used for data quality control and calculation of technical series. An example of Central European daily time series.

www.climahom.eu

Poděkování:

Tento článek byl vytvořen za finanční podpory MŠMT v rámci programu NPU I, číslo projektu LO1415. Jaroslav Rožnovský byl podpořen projektem Národní agentury zemědělského výzkumu „Vývoj automatizovaného nástroje pro optimalizaci monitoringu eroze zemědělské půdy pomocí distančních metod“, registrační číslo QK1720289. Petr Štěpánek byl podpořen projektem Národní agentury zemědělského výzkumu „Systém pro monitoring a předpověď dopadů zemědělského sucha“, registrační číslo QJ1610072.

Kontakt:

Mgr. Pavel Zahradníček, Ph.D.

Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Kroftova 43, Brno 616 00

CzechGlobe – Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i, Bělidla 4a, Brno 603 00

E-mail: zahradnicek@chmi.cz

tel. 541421030