

Mrazové indexy v chladném půlroce na území České republiky

Frost Indexes for the Cold Half-year in the Czech Republic

Pavel Zahradníček^{1,2}, Jaroslav Rožnovský^{1,3}, Jáchym Brzezina¹, Petr Štěpánek^{1,2},

Aleš Farda², Filip Chuchma^{1,4}, Vera Potopova⁵

Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Kroftova 43, Brno 616 00¹,

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,

Kamýcka 129, 165 21 Praha 6-Suchbát⁵

Abstrakt

Dynamika teplot vzduchu v chladném půlroce významně ovlivňuje veškeré naše činnosti. Největší škody vyvolávají poklesy minimální teploty vzduchu na mimořádně nízké hodnoty. V současné změně klimatu se projevuje růst teplot vzduchu i v zimě, ale tento fakt se nemusí zcela odrážet v poklesu výskytu velice nízkých teplot vzduchu. Vyjádřit jednoduchou charakteristikou průběh teplot vzduchu v chladném období v celé jejich šíři není jednoduché. Meteorology a klimatology jsou využívány různé charakteristiky, které můžeme označit jako mrazové indexy. Cílem tohoto zpracování je analyzovat časoprostorovou změnu standardních mrazových indexů, jako je počet mrazových, ledových a arktických dnů. Jelikož tyto indexy nemusí vždy zcela vyjadřovat reakci přírody na teplotní limit, byly dále zkoumány počty dnů s minimální teplotou vzduchu pod -3, -5, -7, -10, -15, -20 a -25°C. V posledních 15 letech (2001-2015) byl zaznamenán pokles těchto mrazových indexů oproti normálu 1961-1990, ale ne vždy jde o statisticky významný trend. Ten byl nalezen hlavně u počtu dnů s vyšší teplotní hranicí (mrazový, ledový den a minimální teplota vzduchu nad -3 až -10°C). Naopak dnů s extrémně nízkými teplotami je za rok pouze velmi málo (nebo se objevují jednou za několik let), takže zde hraje dominantní roli spíše variabilita. Součástí článku je i analýza možného vývoje do budoucnosti na základě nejnovější klimatických modelů.

Klíčová slova: mráz, typické dny, trend, EURO-CORDEX, změna klimatu

Abstract

The dynamics of air temperatures during cold half-year to a large extent affect all human activities. Most significant damages are caused by minimum air temperatures dropping to very low values. Due to the current ongoing climate change, air temperatures in winter in general are increasing, however, this does not necessarily mean the frequency of these very low temperatures decreases. It is not easy to express the course of air temperatures during cold periods using some simple characteristic. Meteorologists and climatologists use various characteristics, which can be referred to as frost indexes. These include the number of frost, ice or arctic days. Since these indexes not always perfectly reflect reaction of the nature to a particular temperature threshold, the analysis also included number of days with minimum air temperature below -3, -5, -7, -10, -15, -20 and -25°C. In the last 15 years (2001-2015), there has been a decrease in the frost indexes in comparison to the normal period 1961-1990, this trend however, is not always statistically significant. Significant changes were found in particular in case of the number of days with a higher temperature threshold (frost, ice days and minimum air temperature above -3 to -10°C). In contrast, days with extremely low temperatures are relatively rare (sometimes only observed once in several years), so the dominant factor here is rather variability. The paper also includes an analysis of possible future development based on the most recent climatological models.

Key words: frost, typical days, trend, EURO-CORDEX, climate change

Úvod

V našich bioklimatologických podmínkách je chladné období pro převážnou většinu organismů obdobím vegetačního klidu. Ovšem výskyt nízkých až mimořádně nízkých teplot vzduchu v průběhu chladného půlroku negativně ovlivňují podmínky přezimování organismů, ale také může dojít k jejich poškození hlavně na počátku vegetace. Pokud jde o přezimující zemědělské plodiny, mohou být mimořádně nízkými teplotami vzduchu poškozeny v průběhu zimy, kdy jde nejčastěji o vymrznutí pupenů, při silnějších i letorostů (Prášil, 2002). Mimořádně silné mrazy mohou poškodit i kmeny stromů. V tomto pohledu jsou často uváděny mimořádně silné mrazy v únoru 1929, kdy bylo naměřeno i absolutní minimum teploty vzduchu mínus 42,2 °C (Podnebí – Tabulky, 1961).

výskyt mrazových dnů důležitý hlavně na podzim a na jaře. Nenadálý vpád 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. 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 nepřírozené druhy zvířat pro naše zeměpisné šířky.

Teploty vzduchu pod bodem mrazu se hlavně pozitivně projevují pro setrvání sněhové pokrývky a i na to, že pokud nasněží, tak nebude sníh rychle odtávat. Naopak při velmi nízkých teplotách vzduchu se může 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.

Vzhledem k narůstající proměnlivosti teplot v průběhu chladných období se projevují velmi škodlivé vpády arktického vzduchu po předcházejícím oteplení, které vyvolává zahájení fyziologické aktivity rostlin. V probíhající změně klimatu statisticky průkazně rostou průměrné teploty vzduchu, ale zároveň se nám mění jejich extremita. 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.

Počet dnů s nízkou teplotou vzduchu ovlivňuje náklady v energetice 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 změna teplot vzduchu v chladném půlroce a hlavně výskyt dnů s nízkou teplotou vzduchu je při dlouhodobém plánování strategie v energetickém odvětví zcela klíčová.

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 představit změnu v počtu dnů s teplotou pod určitou hranici, tzv. mrazových indexů, jelikož celkový trend oteplování nemusí se v těchto indexech natolik projevit, jelikož tyto indexy jsou spíše

ovlivněny extremitou počasí (vpád arktického vzduchu atd.) než dlouhodobým klimatickým trendem.

Data a metody

Pro zkoumání změny klimatických podmínek v chladném půlroce byly použity vybrané klimatické charakteristiky. První skupinu dat tvořily standartní klimatické indexy jako je počet mrazových, ledových a arktických dnů. Mrazový den je takový kdy minimální teplota vzduchu klesne pod 0°C. Ledové dny jsou dny s celodenním mrazem, kdy denní maximum teploty naměřené v meteorologické budce je nižší než 0°C. V arktických dnech maximální teplota vzduchu nevystoupí nad -10°C (Tolasz a kol. 2007).

V agroklimatologii se hodnotí výskyt minimální teplot vzduchu s ohledem na jejich působení na různé zemědělské plodiny (Kurpelová et. al., 1975 a další). Proto druhou skupinu dat tvoří souhrnný soubor agroklimatických charakteristik jako je počet dnů s minimální teplotou pod -3, -5, -7, -10, -15, -20 a -25°C. Minimální teploty pod -3 až -7°C jsou nebezpečné pro zemědělství hlavně v jarních měsících, naopak minima pod -10 až -25°C se vyskytují v zimních měsících a mohou trvale poškodit některé méně odolné plodiny.

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 metadaty. 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 fungující 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, Štěpánek et al 2013.

Z těchto technických dat byly pro tuto studii vytvořeny tzv. průměrné řady. Nejdříve se pro každou stanicí 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.

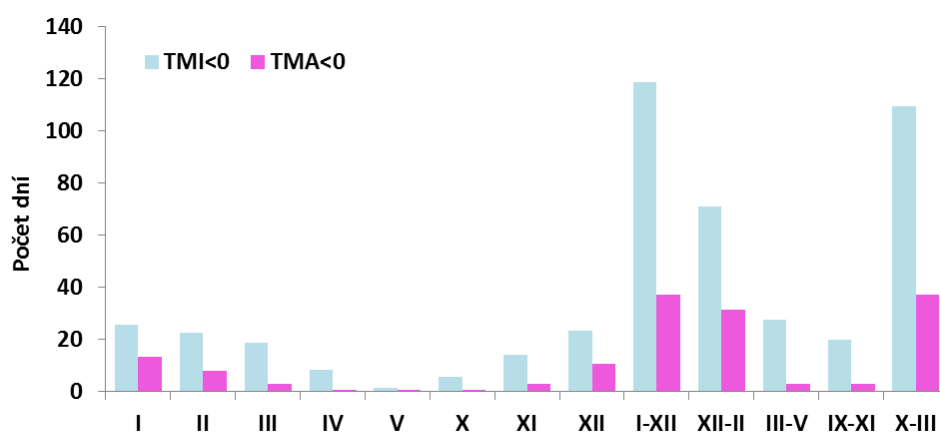
V diskuzi je pak analyzován možný vývoj mrazových indexů v budoucím klimatu. Pro analýzu budoucího klimatu byly použity výstupy nejnovějších RCM z rodiny EURO-CORDEX a také pět vybraných GCM modelů. Byly použity dva emisní scénáře RCP 4.5 (zakonzervování skleníkových plynů) a 8.5 (stálý hospodářský růst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

Výsledky

Standartní klimatické indexy

V této podkapitole se zabýváme standartními klimatickými indexy, které se používají v běžné praxi pro hodnocení zimního období. Jedná se o mrazové, ledové a arktické dny (obr. 1).

Mrazových dnů je nejvíce a objevují se v průměru ve 109 dnech v chladného půlroku (60 % všech dní) a v 71 dnech v zimní sezóně (79 % všech dní). Mrazové dny se relativně často objevují ještě na jaře, kde mohou způsobit vážné škody na zemědělských plodinách. Těchto dnů je v průměru na jaře 30 % a na podzim 22 %. Samozřejmě s nadmořskou výškou počet těchto dnů roste. V horských oblastech nad 900 m je těchto dnů skoro o 60 % více než v nížinách do 300 m. Přes 90 % dní je mrazových na horách v zimní sezóně oproti 70 % dnů v nížinách. Velké procento mrazových dnů na horách je pozitivní hlavně pro lyžařskou rekreaci.

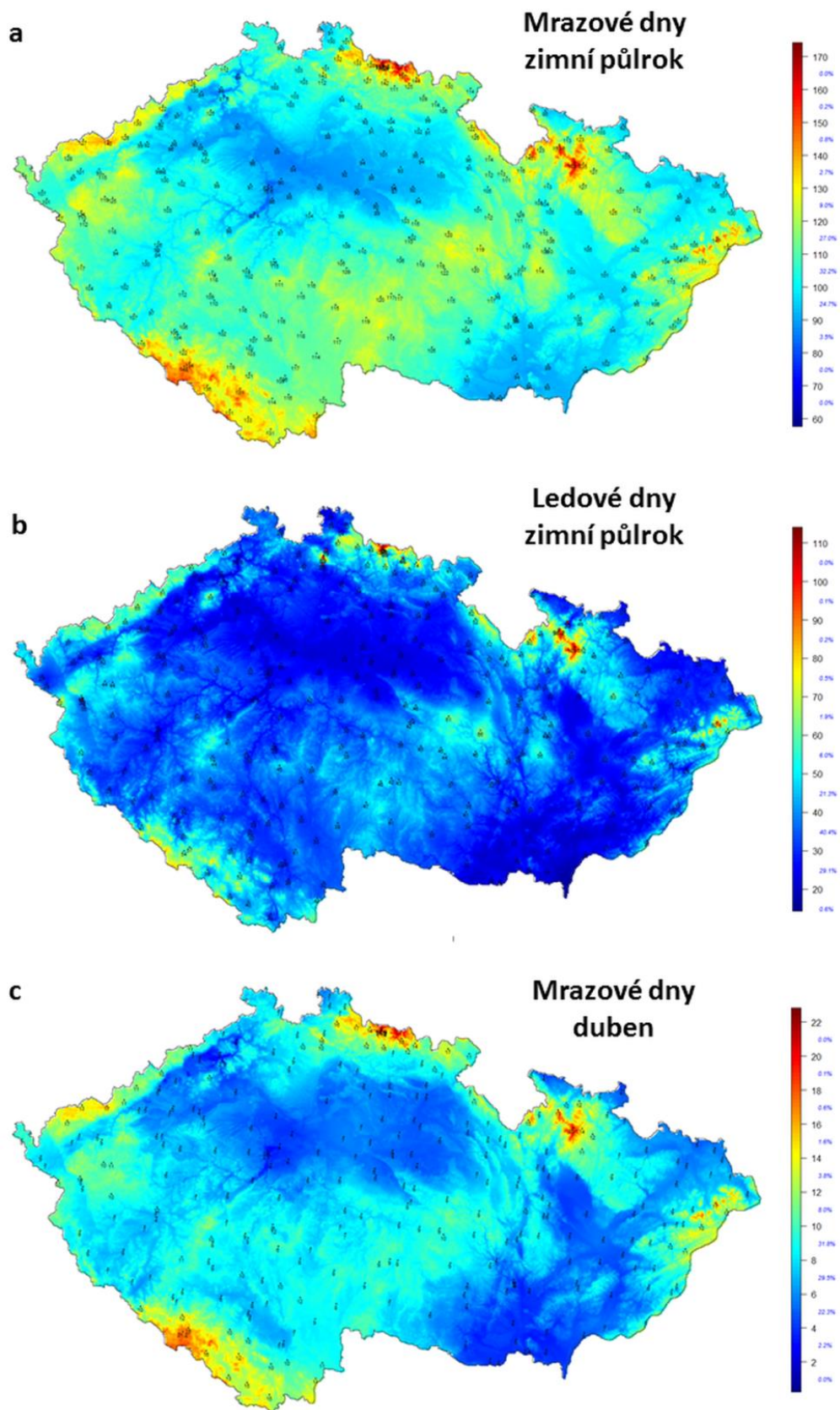


Obr. 1. Počet mrazových (TMI<0) a ledových dnů (TMA<0) v České republice za období 1961-2015.

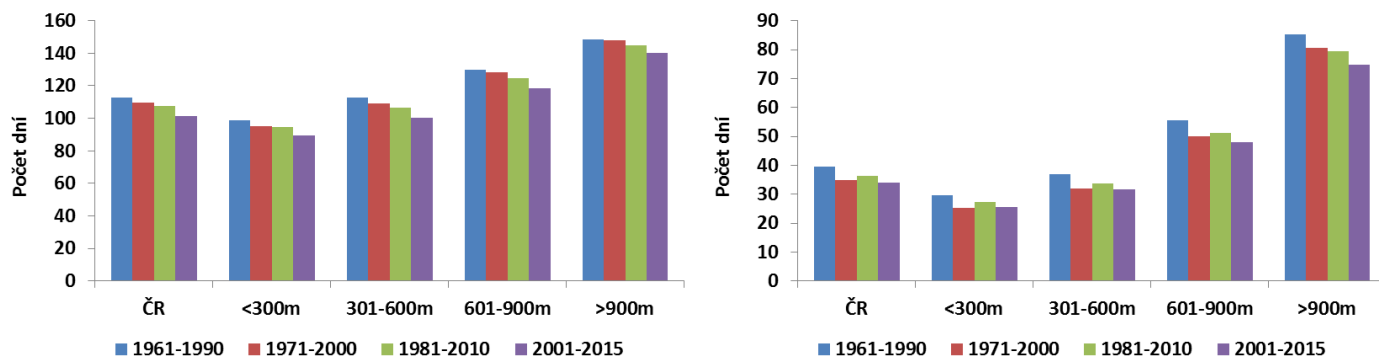
Jak lze vidět na obrázku 2, tak ledových dnů je už podstatně méně než mrazových. V chladném půlroce je těchto dnů 37, což představuje jen 20 % všech dní. V zimní sezóně je samozřejmě tento poměr větší. Dnů, kdy teplota vzduchu neklesne nad bod mrazu, je asi třetina. Na jaře se těchto dnů vyskytne jen kolem tří. V dubnu se ledový den vyskytne asi jednou za pět let. V nížinách pod 300 m těchto dnů v zimní sezóně je kolem 26 %, naopak na horách je to 62 % dní.

Mezi extrémní projevy počasí už patří dny, kdy maximální teplota vzduchu je nižší než -10°C . Takový den je charakterizován jako arktický. V průměru takový den nastane jednou za zimu a nebo zimní půlrok. V nížinách je pozorován tento den jednou za dva roky, na horách v průměru 4krát za sezonu (obr. 3).

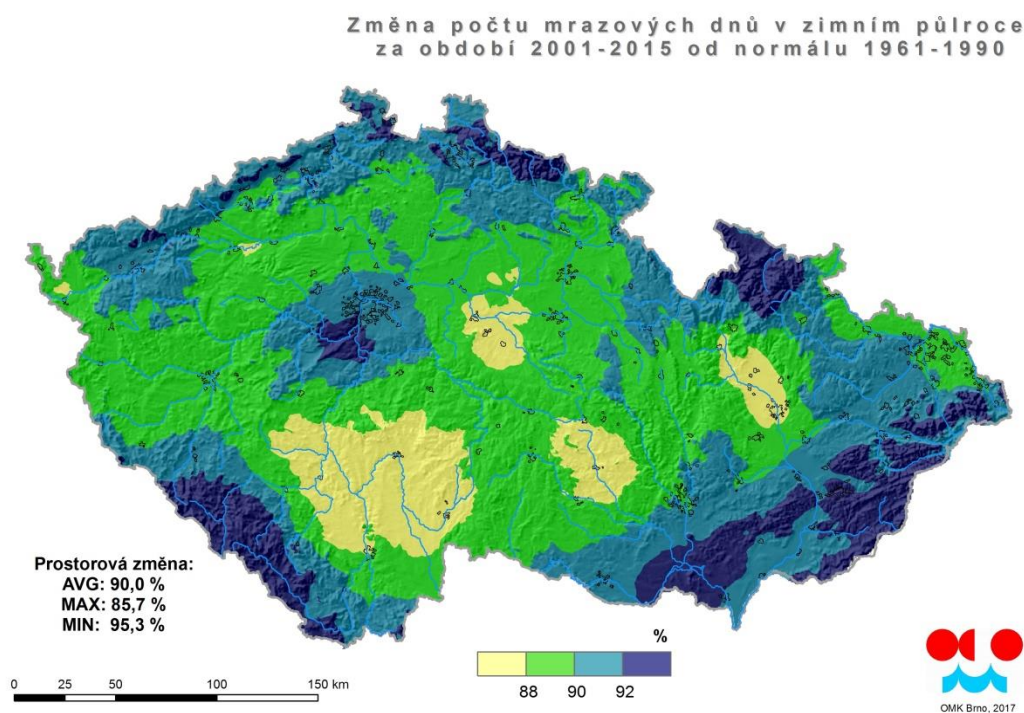
Počet mrazových dnů za poslední období 2001-2015 oproti normálu 1961-1990 klesl v průměru o 10 % (cca 10 dní za zimní půlrok). Nejvíce těchto dní bylo právě v období normálu a v dalších sledovaných 30letích postupně klesal (obr. 3 vlevo). K většímu poklesu těchto dní dochází v nadmořských výškách do 600 m n. m. než v horských oblastech. Jak lze vidět na mapě rozdílů mezi období 2001-2015 a normálem 1961-1990 (obr. 4.), tak v horských oblastech je většinou pokles od 8 % s výjimkou Krušných hor, kde počet mrazových dnů klesá rychleji. Dále je menší pokles zaznamenán na východě Moravy a ve středních Čechách. Na zbytku republiky je to o více než 10 %. Menší pokles mrazových dnů na východě republiky může být dáno vysokou kontinentalitou, která je pro východní oblasti Moravy typická.



Obr. 2. Počet mrazových a ledových dnů za zimní půlrok (a,b) a průměrný výskyt mrazových dnů v dubnu (c) za období 1981-2010



Obr. 3. Počet mrazových (vlevo) a ledových (vpravo) dní za zvolená období podle nadmořské výšky



Obr. 4. Změna počtu mrazových dnů v zimním půlroce za období 2001-2015 od normálu 1961-1990

Důležitým faktorem je, jestli tyto změny jsou statisticky významné. Pokud vezmeme průměrnou řadu pro celou Českou republiku, tak statisticky významný trend byl zjištěn pro měsíce prosinec, leden a dále pro celý rok a zimní půlrok. Největší pokles je v prosinci a to o 4,5 % za 10 let (1 den/10 let). V ročních hodnotách a zimním půlroku klesá počet těchto dnů o 3,2 až 3,6 %/10 let (3,5 až 4,3 dne/10 let). S rostoucí nadmořskou výškou je procentuální poklesový trend nižší, ale za to ve více měsících statisticky významný. V polohách od 600 do

900 m n.m. je staticky významný pokles i v listopadu a dubnu a v horských oblastech nad 900 m se přidává i březen. Na horách je statisticky významný trend 4 dny/10 let za celý rok a 2,2 dnů/10 let v zimním půlroce. Celkově je tedy pokles v horských oblastech menší, než je celorepublikový průměr, naopak ve výškách do 600 m n. m. je vyšší (tab. 1).

Tab. 1. Lineární trend počtu mrazových dnů (dnů/1 rok) v období 1961-2015 (tučně statisticky významné).

	X	XI	XII	I	II	III	IV	XII-II	X-III	I-XII
ČR	-0.021	-0.069	-0.107	-0.098	-0.020	-0.045	-0.044	-0.155	-0.357	-0.429
<300m	-0.018	-0.032	-0.112	-0.108	-0.012	-0.031	-0.019	-0.167	-0.319	-0.343
301-600m	-0.029	-0.076	-0.115	-0.106	-0.022	-0.048	-0.046	-0.172	-0.394	-0.467
601-900m	-0.002	-0.107	-0.084	-0.071	-0.028	-0.057	-0.075	-0.106	-0.332	-0.457
>900m	0.001	-0.091	-0.043	-0.028	-0.023	-0.057	-0.087	-0.018	-0.216	-0.395

Počet ledových dnů od roku 1961 klesá, ale je zde větší variabilita. V letech 2001-2015 bylo skoro 14 % těchto dnů za rok méně než v období 1961-1990. Další období, kdy bylo ledových dnů méně, je 1971-2000 a to více než v letech 1981-2010 (obr 3 vpravo). Výjimku tvořily horské oblasti, kde je pozorován kontinuální pokles ledových dnů. Statistická významnost zjištěných trendů je zde ale podstatně nižší než je tomu u mrazových dnů. O 2,5 dne za 10 let (což je 6,5 % za 10 let) je pozorován u průměrné řady České republiky v zimním půlroce a nebo za celý rok. V jednotlivých měsících je pokles ještě v prosinci (0,9 dne/10 let; 9%/10 let). V nižších nadmořských výškách jediný statisticky významný trend je vypočten pro roční hodnoty v kategorii 301-600 m n. m. (tab. 2). Ve vyšších nadmořských výškách nad 600 m n.m. jsou statisticky významné poklesové trendy častější. V zimě a zimním půlroce je pokles o 3-4 dny/10 let a v prosinci o 1-2 dny/10 let. Vzhledem k minimálnímu výskytu v dubnu a říjnu nejsou zde trendy zaznamenány.

Tab. 2. Lineární trend počtu ledových dnů (dnů/1 rok) v období 1961-2015 (tučně statisticky významné).

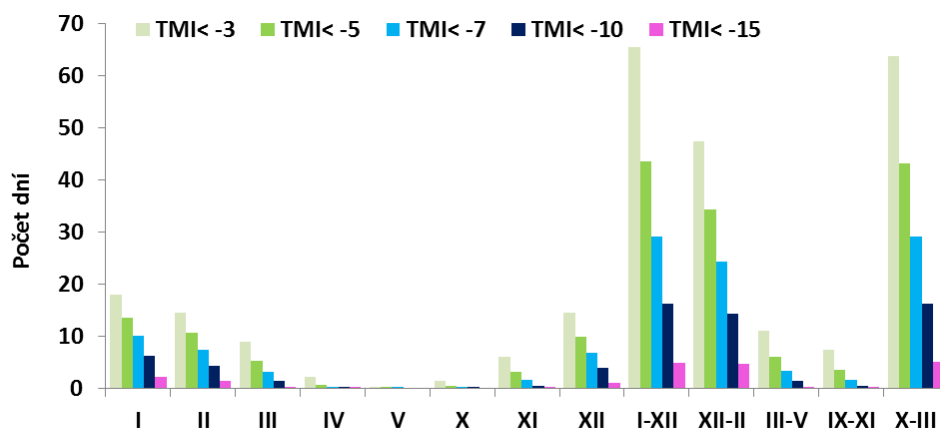
	XI	XII	I	II	III	XII-II	X-III	I-XII
ČR	-0.021	-0.092	-0.071	-0.024	-0.029	-0.148	-0.243	-0.237
<300m	-0.016	-0.067	-0.068	-0.016	-0.020	-0.121	-0.192	-0.187
301-600m	-0.020	-0.093	-0.071	-0.022	-0.027	-0.148	-0.239	-0.232
601-900m	-0.024	-0.129	-0.085	-0.039	-0.043	-0.199	-0.320	-0.309
>900m	-0.071	-0.108	-0.057	-0.052	-0.074	-0.152	-0.357	-0.389

Jak už bylo zmíněno výše, tak arktický den nastává zhruba jednou za rok, ale v období 2001-2015 to bylo v průměru pouze jednou za dva roky (průměrná řada ČR). V nižších nadmořských výškách (do 600 m) je pokles dokonce o 2/3 oproti období 1961-1990. Na horách nad 900 m se vyskytovalo v průměru 5 dní za rok v období 1961-1990 a nyní

v posledních 15 letech to byly pouze 3 dny za rok. Statisticky významné trendy jsou vzhledem k nízkým číslům zaznamenány sporadicky, ale na horách je tento pokles statisticky významný a to o 0,7 dne/10 let v zimním půlroce.

Agroklimatické indexy

Jako agroklimatické indexy slouží počty dnů s minimální teplotou nad stanovenou hranicí. Pro zimní období jsou hlavně důležité hodnoty pod -10, -15, -20 a -25°C. Naopak pro jarní období má nejhorší dopady na zemědělskou produkci minimální teploty pod -3, -5, -7 a výjimečně vyskytující se -10°C.



Obr. 5. Průměrný počet dní s minimální teplotou pod -3, -5, -7, -10 a -15°C za období 1961-2015

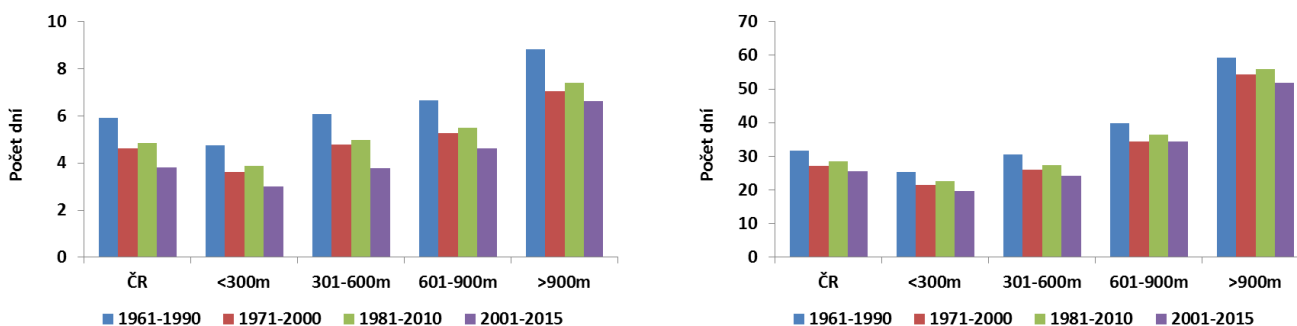
Průměrně počet dní, kdy teplota klesne pod -10°C je v ČR okolo 16 dní za rok. Pod hodnotu -15°C je to už jen 5 dní za rok (obr 5). Pouze jednou za rok v průměru klesne teplota pod -20°C a pod -25°C pouze jednou za 10 let.

U všech indexů shodně platí, že nejvíce těchto dnů nastalo v normálovém období 1961-1990 a od té doby jejich množství kolísavě klesá. V posledních 15 letech (2001-2015) bylo těchto dnů výrazně méně než v 60. letech 20. století. Například u počtu dnů s minimální teplotou pod -15°C je těchto dnů v průměru v ČR o 35 % méně. Větší pokles je zaznamenán v nižších nadmořských výškách a to o 38 %. Na horách poklesl počet těchto dnů v zimním půlroce o 25 % (obr. 6 vlevo). I když je zde pozorován výrazný úbytek těchto dnů za poslední období, tak díky nízkým číslům a větší variabilitě dat není zde pozorován statisticky významný trend.

Výjimkou pouze tvoří počet dní s minimální teplotou pod -10°C, kde je pokles o 1,8 dne/10 let.

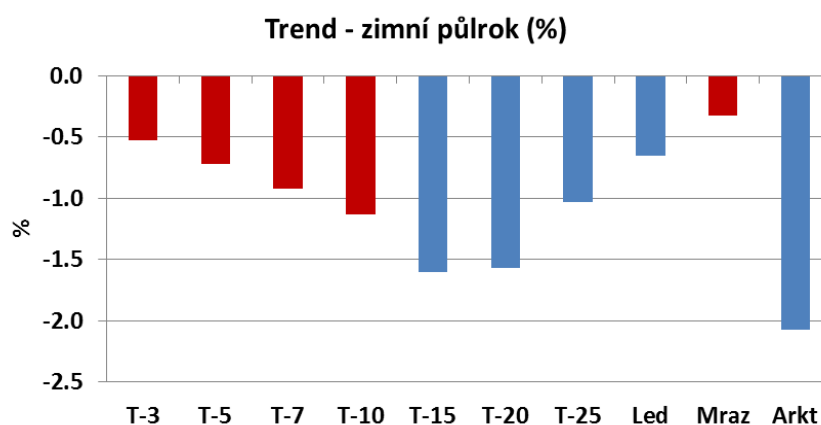
V jarních měsících se logicky nejčastěji vyskytují z těchto agroklimatických indexů minimální teploty pod -3, -5 a -7°C. Ty jsou také velmi nebezpečné pro zemědělskou

produkcí a to zejména pro ovocnářství. Počet dnů, kdy klesne teplota vzduchu pod -3°C je na jaře okolo 11 a z toho v březnu přes osm dní a v dubnu okolo dvou dnů (obr. 8). V květnu se tento den vyskytuje jednou za 10 let.



Obr. 6. Počet dní s minimální teplotou pod -15°C (vlevo) a -7°C v zimním půlroce pro různé nadmořské výšky a období

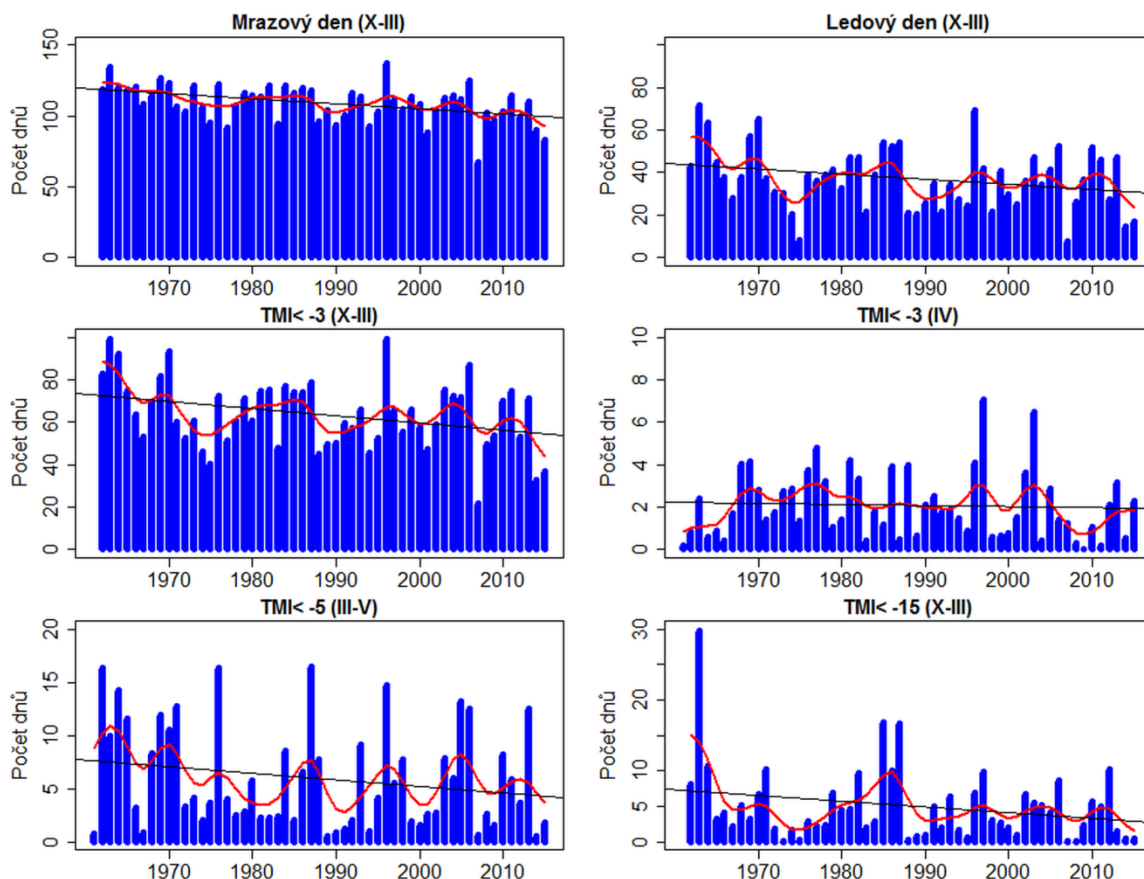
Na podzim naopak může poškodit plodiny tzv. brzký podzimní mrazy a těchto dnů nastává v průměru kolem sedmi za rok. Naprosto výjimečně nastává tento den v září. V říjnu se objevuje takto 1-2 dny a v listopadu okolo 6 dnů. Na jaře bylo v období 2001-2015 těchto dnů o 11 % méně než v letech 1961-1990. Na podzim je tento pokles ještě markantnější a to o 30 %. Bohužel tyto změny nejsou statisticky významné na jaře a podzim. Naopak pokud vezmeme celý zimní půlrok, tak je zde statisticky významný pokles o 3,3 dne za 10 let.



Obr. 7. Lineární trend v letech 1961-2015 pro jednotlivé klimatické indexy v České republice přepočítaný na procento z celkové sumy (T-3 = počet dnů s minimální teplotou pod -3°C atd...; Led = počet ledových dnů; Mráz = počet mrazových dnů; Arkt = počet arktických dnů; červeně statisticky významné, modře statisticky nevýznamné)

Dnů kdy minimální teplota klesne pod -5 nebo -7°C logicky nastává nejvíce v zimní sezóně, ale není vyloučen jejich výskyt ani v jarních měsících. Dnů s teplotou pod -5°C je na jaře zhruba kolem šesti za rok a jejich počet byl v posledních 15 letech nižší o 15 % než tomu bylo

v normálovém období 1961-1990. Statisticky významný trend je ale jen u celkové sumy za zimní půlrok (obr. 7.). Dny kdy teplota klesne pod -7°C na jaře je pouze okolo tří a to výhradně v březnu. V dubnu takový den nastane v průměru jednou za pět let. Nejméně těchto dnů nastalo v období 1971-2000. Nejvíce jich je právě v normálovém období 1961-1990 (obr. 6 vpravo). Statisticky významný trend je opět jen u zimního půlroku.



Obr. 8. Vybrané klimatické indexy v České republice pro různé časové období v letech 1961-2015 (červená křivka je 10letý Gaussův nízkofrekvenční filtr)

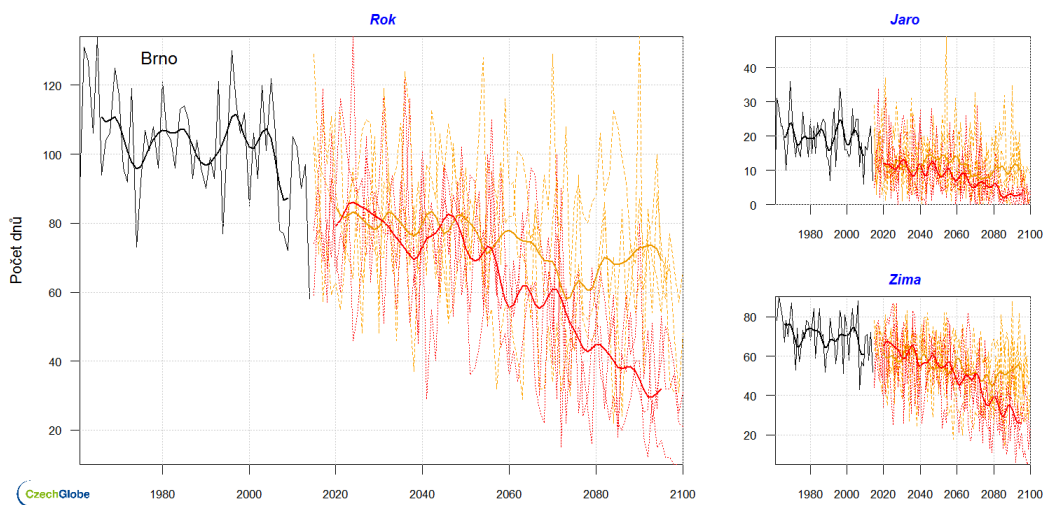
Diskuze

Jelikož se klima neustále mění a je předpoklad, že bude pokračovat současný trend zvyšování teplot, což může mít samozřejmě vliv i na výskyt počtu dnů s teplotou vzduchu pod určitou hranici. To jsou informace, které samozřejmě jsou důležité pro plánování adaptačních opatření v širokém spektru lidské činnosti, jako je například zemědělství či turistika.

Jako hlavním problémem bude zvyšování teplot vzduchu, na kterém se klimatické modely shodují. Pro Českou republiku nejnovější 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

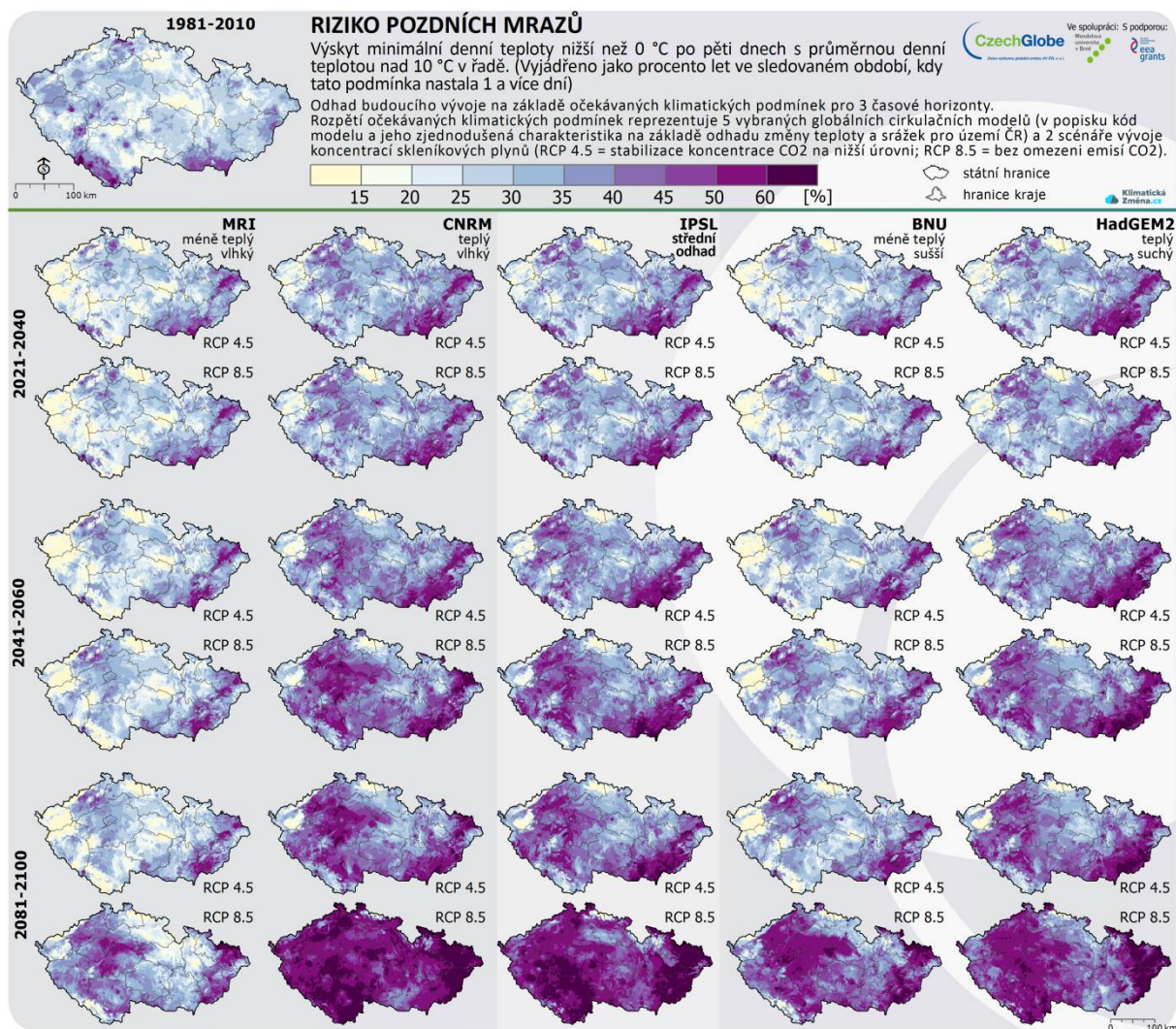
k rozevření nůžek v predikci podle emisních scénářů. Nové klimatické modely mají ale nejvyšší nárůst teplot predikovanou právě pro zimní sezonu (tabulka 5). Podle emisního scénáře 4.5 dojde v průměru k oteplení o 2,4°C, ale RCP 8.5 počítá s nárůstem zimních teplot o 4,9°C (Štěpánek et al., 2016).

Počet mrazových dnů má statisticky významný trend v současném klimatu a modely předpokládají, že počet dnů, kdy minimální teplota vzduchu klesne pod bod mrazu, bude i nadále ubývat. Jak lze vidět na obrázku 9, tak podle emisního scénáře RCP 8,5 může ke konci století poklesnout počet mrazových dnů až o 70 %. Podle umírněného scénáře (RCP 4,5) by byl tento pokles jen o 40 %.



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

Pozitivní informací je, že počet dnů s minimální teplotou pod bod mrazu na jaře bude ubývat i v budoucnosti, ale překvapivě riziko pozdních mrazů paradoxně stoupne (obr. 10). Příčinou je to, že díky postupnému oteplování a zkracování zimní sezóny a prodlužování vegetační sezóny se nastartuje vegetace dříve, než tomu bylo v minulosti. Dříve nastanou teplé jarní dny a vegetace v dubnu bude již v pokročilejším vývojovém stádiu. Do toho ale může přijít vpád velmi studeného až arktického vzduchu od severu, který přinese sebou na přechodně krátkou dobu velmi nízké teploty vzduchu, které v noci mohou klesat i hlouběji pod bod mrazu. Díky tomu dojde k nezvratnému poškození vegetace. Jak ukazuje mapa „rizika pozdních mrazů“, tak tato pravděpodobnost bude stoupat. Nyní je riziko na většině území České republiky mezi 30-40 %. Z agrárních oblastí je největší riziko na Znojemsku, Břeclavsku a Hodonínsku, kde je pravděpodobnost dokonce vyšší než 50 %. V budoucnu stoupne toto riziko nad 50 až 60 % na většině území České republiky.



Obr. 10. Riziko pozdních mrazů na území České republiky predikováno na základě pěti GCM modelů a dvou emisních scénářů RCP 4,5 a 8,5 (mapa je konstruována jako pravděpodobnost výskytu minimální teploty vzduchu pod 0°C po pěti dnech s průměrnou denní teplotou nad 10°C v řadě; www.klimatickazmena.cz).

Závěr

V tomto článku jsme se hlavně soustředili na analýzu vybraných klimatických indexů související s chladným půlrokem. Kromě standardních klimatických indexů jako jsou mrazové, ledové a arktické dny, byly vybrány i takové, které mají vliv na zemědělství.

Díky probíhající klimatické změně se nám významně zvedají teploty vzduchu a je otázka jak to má vliv na počty dnů těchto indexů, které nemusí být vždy ovlivněny jen celkovou změnou teplot vzduchu, ale jsou více závislé na synoptické situaci. U indexů jako je počet arktických dnů nebo dny s minimální teplotou pod -15, -20 či -25°C jsou jednotlivé roky ovlivněny hlavně tím, jestli nastala synoptická situace, kdy k nám došlo k vpádu studeného

vzduchu od severu. To ovlivňuje i nalezené trendy v jednotlivých řadách. U dnů, kterých je za rok podstatně více, tak jsou statisticky významné trendy průkaznější. U mrazových dnů je pokles zhruba o 4 dny/10 let a v posledních 15 letech (2001-2015) bylo těchto dnů o 10 % méně než je normál (1961-1990). U ledových dnů (maximální teplota není vyšší než 0°C) je sice pokles těchto dnů v posledním období také viditelný, ale statisticky významný je hlavně na horách. To je hlavně negativní pro lyžařskou turistiku, jelikož stoupá počet dnů, kdy během dne sníh pomalu odtává a tím se zhoršují podmínky pro lyžování a jsou nutné větší náklady pro zasněžování nebo úpravu a také snížená ekonomická výtěžnost ze skipasů v odpoledních hodinách.

U agroklimatických indexů je asi nejdůležitější výskyt minimálních teplot pod -3 nebo -5°C v jarních měsících. Těchto dnů statisticky významně klesá během celého chladného půlroku, ale během jara tento trend není statisticky významný, i když je tam úbytek oproti letům 1961-1990.

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.

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.

KURPELOVÁ M., COUFAL L., ČULÍK, J. (1975): *Agroklimatické podmienky ČSSR*. Bratislava, *Príroda*, 270 s.

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

PRÁŠIL, I. Mrazuvzdornost a přezimování řepky. *Úroda*, 2002, vol. 50, no. 1, s. 34-35. ISSN 0139-6013.

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., 2013. Experiences with homogenization of daily records of various meteorological elements in the Czech Republic. *Idojaros*. 117: 123-141

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.

ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P., FARDA, A., SKALÁK, P., TRNAK, M., MEITNER, J., RAJDL, K. (2016): Projection of drought-inducig 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.

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

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

E-mail: zahradnicek@chmi.cz

tel. 541421030