

# Mezidenní změna teploty vzduchu v souvislosti s přechodem front

Vladimír Piskala

*Katedra fyzické geografie a geoekologie Univerzita Karlova v Praze*

## **Anotace**

Práce se zabývá popsáním statistických rozdělání mezidenních změn teplot vzduchu, interpretací těchto rozdělání a prokázání souvislosti mezi velkými změnami teplot ze dne na den s přechodem front. V textu je také diskutována použitá metoda spojování velkých změn s přechody front a vhodnost použitých dat.

## **Klíčová slova**

Mezidenní změna teploty, atmosférické fronty, maximální/minimální teplota, statistická rozdělání

## **Annotation**

The aim of this paper is description of statistical distribution of day-to-day temperature changes, interpretation of these distributions and find out the connection between great day-to-day temperature changes and passages of atmospheric fronts. The method of connecting day-to-day temperature changes with passages of fronts and suitability of used data are also discussed in this paper.

## **Key words**

Day-to-day temperature changes, atmospheric fronts, maximum/minimum temperature, statistical distribution

## **Úvod**

Předkládaná práce vychází z předpokladu, že největší změny teploty vzduchu se odehrávají na rozhraní dvou velmi odlišných vzduchových hmot. Zmíněná úvaha vedla k pokusu spojení velkých změn teplot s přechodem front. Zvláště byly zkoumány mezidenní změny teplot vzduchu ve dvou metrech pro zimní (prosinec – únor) a letní (červen – srpen) měsíce ve stanicích Praha Karlov a Praha Ruzyně.

Základní výzkumné hypotézy jsou podloženy článkem Huth a kol. (2001) a byly formulovány následovně: mezidenní změny teploty vzduchu nemají normální rozdělání, velká mezidenní oteplení v zimě lze vysvětlit přechodem teplých front a velká mezidenní ochlazení v létě souvisí s přechody studených front. Podle Huth a kol. (2001) jsou rozdělání změn teplot asymetrická v důsledku přechodu front a odlišného působení radiační bilance v zimě a v létě. V zimě byly zvoleny teplé fronty proto, že výskyt výrazných silných studených front v zimě není tak častý, jako výskyt výrazných teplých front. V létě byly ze stejného důvodu zvoleny studené fronty, které jsou silnější a razantnější než teplé fronty v létě.

## Použitá data a postup zpracování

Mezidenní změna teploty je popsána jako rozdíl teploty vzduchu (ve 2 m) dvou po sobě následujících dní tak, že kladná hodnota představuje oteplení a záporná ochlazení. Při výpočtu mezidenních změn teplot vzduchu v letních měsících byly použity maximální teploty a naopak, při zimních měsících teploty minimální. Údaje o teplotě pocházejí z meteorologických stanic Praha Karlov pro období 1968 – 1998 a Praha Ruzyně 1961 – 2010. Údaje o přechodech front přes Prahu jsou dostupné pouze ze stanice Praha Ruzyně.

Vzhledem k době odečtu minimálních a maximálních teplot na stanici Praha Karlov, který se provádí vždy ve 22:00, bylo nutné opravit data o přechodu front. Fronty, které přešly až po 22. hodině byly přiřazeny k následujícímu dni tak, aby datum přechodu fronty odpovídalo dni odečtu teploty. V případě dat ze stanice Praha Ruzyně tato oprava nutná nebyla, protože do výpočtů vstupovaly pouze teploty naměřené v 7, 14 a 21 hodin. Výpočet pro data ze stanice Praha Ruzyně byl proveden dvakrát, přičemž v jednom případě byla maximální naměřená teplota v létě nahrazena hodnotou naměřenou ve 14 hodin a minimální teplota v zimních měsících byla nahrazena hodnotou v 7 hodin. V druhém případě byla maximální teplota určena jako nejvyšší teplota ze všech tří provedených měření a minimální teplota jako nejnižší naměřená hodnota.

Při ověřování hypotézy zda mezidenní změny teploty mají asymetrické rozdělení, byla empirická rozdělení podrobena testu normality Shapiro-Wilk na hladině statistické významnosti  $\alpha = 5\%$ . Nulová hypotéza testu předpokládá, že data mají normální rozdělení. Alternativní hypotéza říká, že empirické rozdělení nemá charakter normálního rozdělení. Výpočty byly provedeny v programu R.

Cílem práce bylo zjistit, zda lze významná mezidenní ochlazení v létě spojit se studenou frontou a významná mezidenní oteplení v zimě s frontou teplou. Významnou změnou teploty se rozumí změna o více než  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respektive  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ke spojení jednotlivých změn teplot s přechodem fronty došlo ve chvíli, kdy ochlazení nebo oteplení nastalo v den přechodu fronty nebo den následující. Tato úprava zohledňuje čas přechodu fronty tak, že pokud fronta přešla ve večerních hodinách, změna teploty se projeví až na měřeních z následujícího dne. S jedním přechodem fronty tak lze spojit i dvě oteplení či ochlazení. V případě přechodů více front v jeden den, byl počet zanedbán a den byl označen jen jako den s frontou. Následně byl vypočten podíl změn teplot, který lze spojit s přechodem front.

Získané výsledky byly testovány pomocí metody Monte Carlo na hladině statistické významnosti  $\alpha = 5\%$  s počtem opakování 1000. Nulová hypotéza byla určena tak, že velké mezidenní změny teplot nesouvisí s přechodem front. Výpočty byly provedeny v programu Excel s využitím Visual Basic.

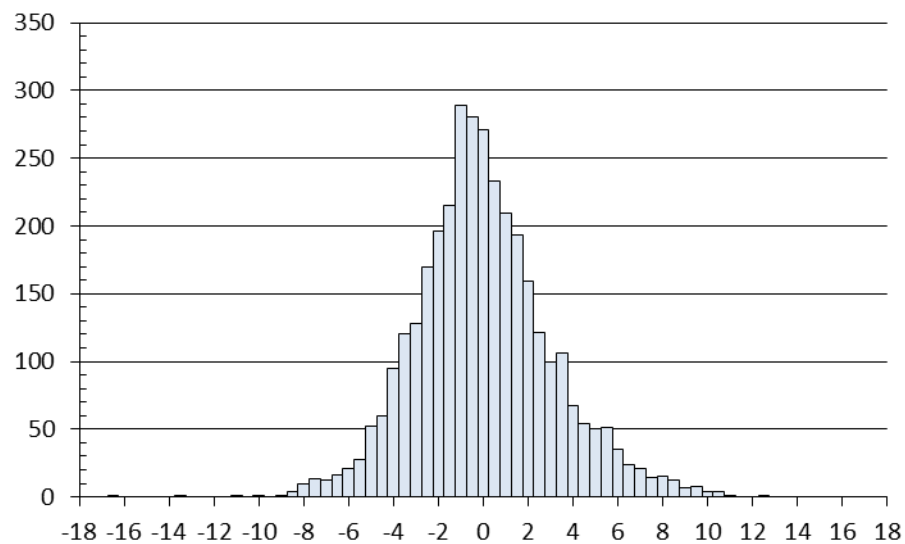
## Rozdělení mezidenních změn teplot

Změny minimálních teplot ze dne na den v zimních měsících jsou znázorněny v grafu 1. Medián změn činí  $-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  a šikmost rozdělení má hodnotu 0,29. Kladná šikmost se neshoduje s parametry normálního rozdělení, což potvrzuje i test normality Shapiro-Wilk. Nulová hypotéza byla na hladině  $\alpha = 5\%$  zamítnuta a byla přijata alternativní hypotéza.

Z grafu je patrné, že malá ochlazení do 3 °C jsou v zimě četnější než drobná oteplení. Naopak, velká ochlazení v zimě jsou méně častá než velká oteplení.

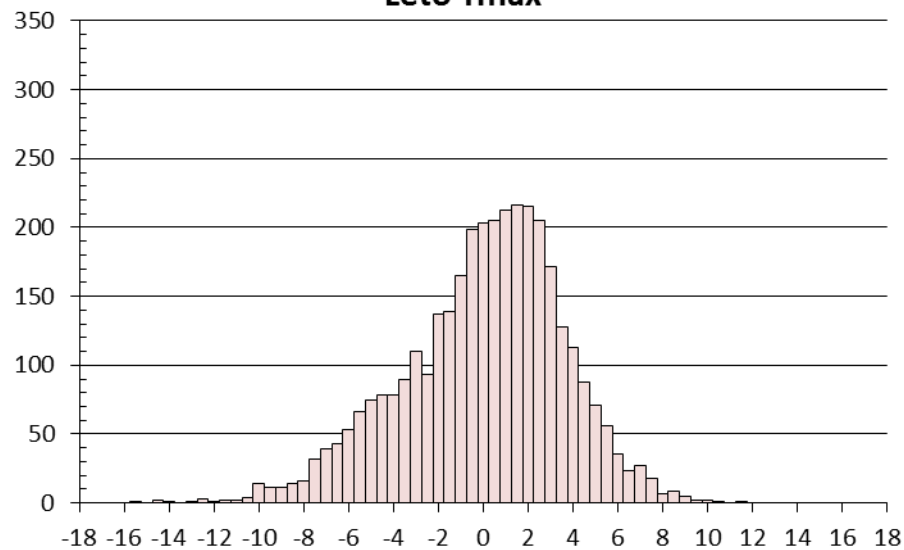
Mezidenní změny maximálních teplot v létě, které jsou znázorněny v grafu 2, mají zřetelně asymetrické rozdělení. Medián změn teplot je 0,4 °C a šikmost činí -0,47. Test normality Shapiro-Wilk na hladině  $\alpha = 5 \%$  zamítá nulovou hypotézu a přijímá hypotézu alternativní. Tvar rozdělení ukazuje, že malá oteplení v létě jsou častější, než malá ochlazení. Při velkých změnách teploty platí, že velká ochlazení jsou v létě četnější než velká oteplení.

### Zima Tmin



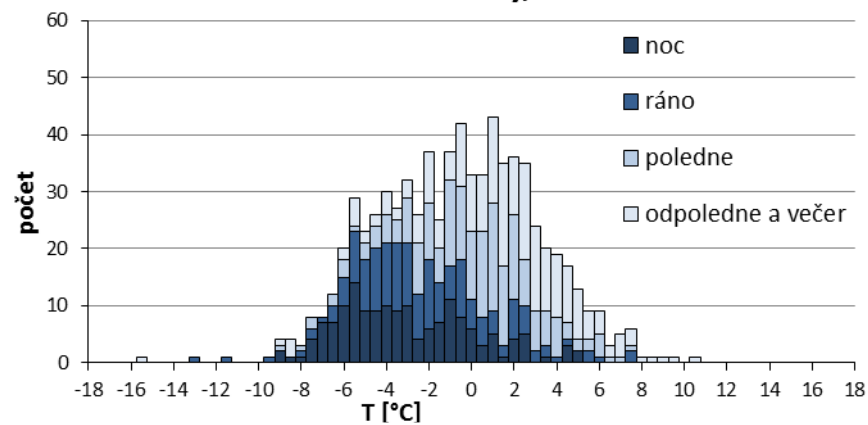
**Graf 1:** Histogram mezidenních změn zimních minimálních teplot pro období 1961 – 1998 v Praze Karlov

### Léto Tmax



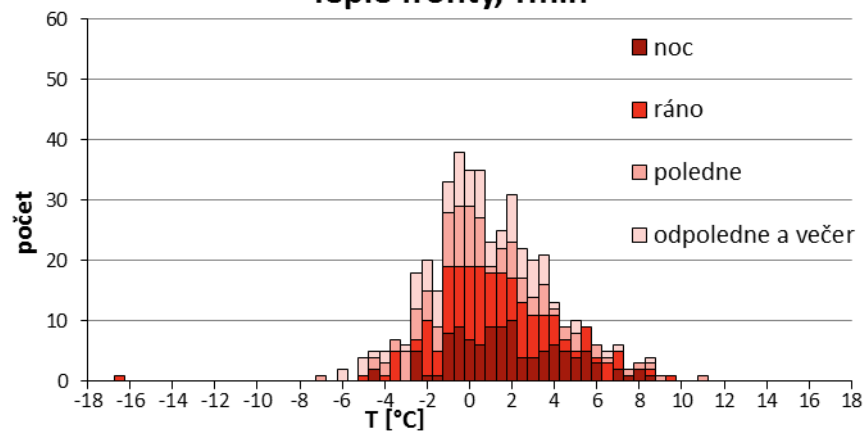
**Graf 2:** Histogram mezidenních změn letních maximálních teplot pro období 1961 – 1998 v Praze Karlov

### Studené fronty, Tmax



**Graf 3:** Rozdělení mezidenních změn teplot v den přechodu studené fronty v létě. Graf je rozdělen podle času přechodu jednotlivých front.

### Teplé fronty, Tmin



**Graf 4:** Rozdělení mezidenních změn teplot v den přechodu teplé fronty v zimě. Graf je rozdělen podle času přechodu jednotlivých front.

Při předpokladu, že velká oteplení v zimě jsou vázána především na teplé fronty a velká ochlazení v zimě na fronty studené, lze očekávat, že rozdělení změn teplot při přechodu front budou mít charakteristicky posunutý medián. Konkrétně, při přechodu teplé fronty v zimě se očekává větší počet oteplení než ochlazení, a tedy i kladný medián, naopak při přechodu studené fronty v létě se předpokládá, že ochlazení po frontě budou četnější než oteplení a medián bude záporný. Tyto předpoklady se částečně potvrdily, medián změn teplot v den přechodu teplé fronty v zimě je 0,6 °C a medián změn teplot v den přechodu studené fronty v létě je -0,6 °C. Zároveň však z grafu 4 vyplývá, že se v dny přechodu teplé fronty v zimě výrazně ochladí. Tento jev lze vysvětlit maskováním teplých front, kdy je přecházející teplá fronta příliš slabá a nevytláčí studený vzduch při zemi. Vznikají tak silné inverze a teplota dále klesá (BEDNÁŘ, KOPÁČEK 2009). V grafu 3 je naopak nápadná velká četnost případů, kdy se v den přechodu studené fronty v létě výrazně oteplí. Nabízí se vysvětlení maskování studené fronty, ovšem přechod studené fronty je výrazně razantnější a k takovým případům dochází v létě jen výjimečně (BEDNÁŘ, KOPÁČEK 2009).

	léto -3 °C	léto -5 °C	zima +3 °C	zima +5 °C
Karlov	0,64	0,78	0,37	0,43
Ruzyně (7, 14)	0,38	0,45	0,39	0,44
Ruzyně (min, max)	0,37	0,46	0,38	0,41

*Tabulka 1: Procentuální zastoupení mezidenních změn teplot vzduchu spojených s přechodem front v Praze.*

Přechody front byly dále rozděleny podle času přechodu do 4 kategorií po 6 hodinách. V grafu 3 je tak zřejmý posun mediánu změn teplot během dne. V noci od 22 do 4 hodin ráno je medián změn teplot -3,4 °C, což velmi dobře odpovídá předpokladům o poloze mediánu při přechodu studených front v létě. Ráno od 4 do 10 má medián změn teplot hodnotu -2,6 °C, v poledne od 10 do 16 je medián -0,4 °C a večer od 16 do 22 hodin je medián 1,7 °C. Tento vývoj ukazuje, že pokud přejde studená fronta ráno, je větší pravděpodobnost, že se ochladí, než když přejde večer. Vzhledem k tvaru studené fronty, která je ukloněná směrem do studeného vzduchu, je patrné, že vzduch studenější vzduchové hmoty začne teplotu vzduchu ovlivňovat až po přechodu frontálního rozhraní. Při použití maximálních teplot v létě je také nutné zohlednit fakt, že nejvyšší teploty lze naměřit právě v odpoledních hodinách, těsně před přechodem fronty (BABIKOV 1953). Následné ochlazení se tedy projeví až den po přechodu fronty. Toto zjištění umožňuje lepší spojení konkrétních změn teplot s konkrétní frontou.

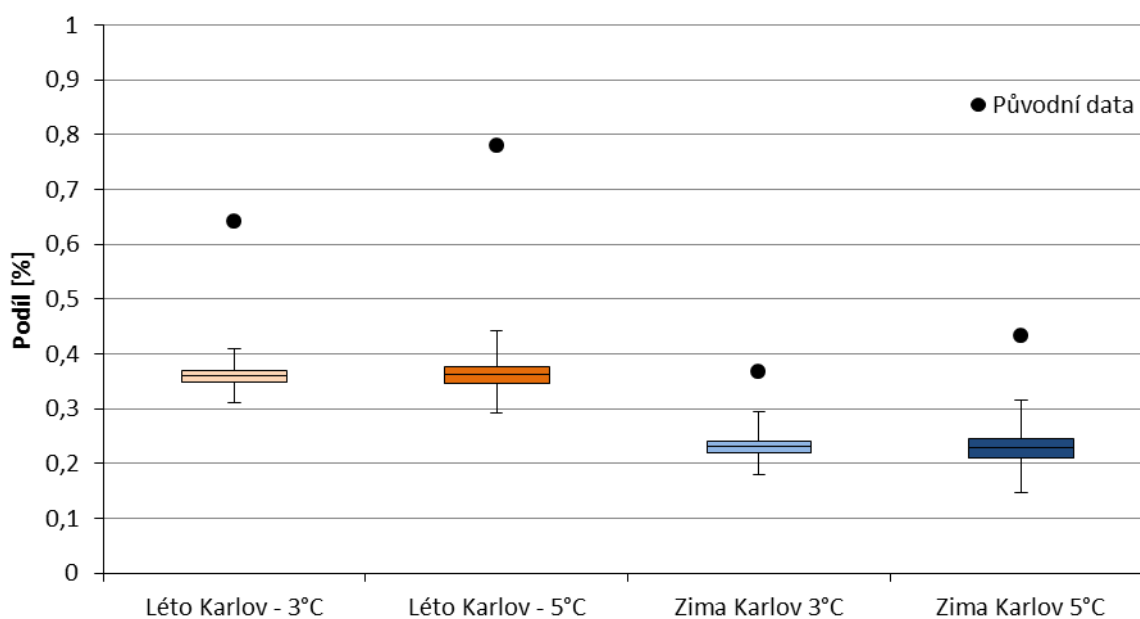
### **Spojení přechodů front se změnami teplot**

Výsledky spojování jednotlivých front se změnami teplot jsou znázorněny v tabulce 1. Je zde vyjádřen podíl všech dní s výraznou změnou teploty (o 3 a 5 °C) a dní s výraznou změnou teploty, které lze spojit s přechodem fronty. V případě změny teploty o více než 5 °C v létě bylo 78 % ochlazení právě v dny, kdy přešla fronta nebo dny následující. Poměry z tabulky 1 jsou vyjádřeny také v grafech 5, 6 a 7 jako původní data.

Výsledky testu Monte Carlo pro stanici Praha Karlov jsou zobrazeny v grafu 5. Krabicové diagramy znázorňují rozptyl počítaných podílů pro náhodně seřazené dny s velkou změnou teploty a náhodně rozházených dnů s přechodem front. Všechny testované hodnoty ze stanice Praha Karlov byly vyšší než výsledky testu Monte Carlo. Na hladině statistické významnosti  $\alpha = 5\%$  byla zamítnuta nulová hypotéza a platí, že výrazná oteplení o více než  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respektive  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  v zimě souvisí s přechody teplých front a výrazná ochlazení o více než  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respektive  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  v létě souvisí s přechodem studených front.

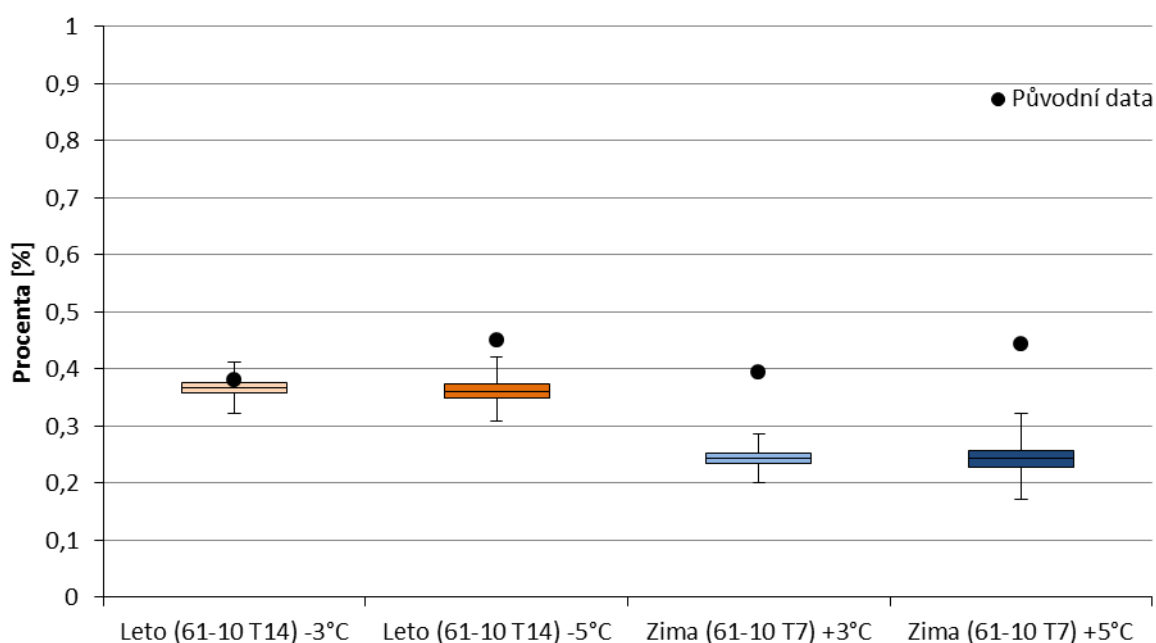
Výsledky testování hodnot ze stanice Praha Ruzyně jsou zobrazeny v grafech 6 a 7 s tím, že maximální teploty byly nahrazeny termínovým měřením ve 14 hodin a minimální teploty měřením v 7 hodin. V grafu 7 jsou maximální a minimální teploty nahrazeny nejvyšší a nejnižší teplotou naměřenou v 7, 14 a 21 hodin. Na hladině statistické významnosti  $\alpha = 5\%$  se nulová hypotéza přijímá jen v případě změny teploty o více než  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  v létě s maximální teplotou nahrazenou termínovým měřením ve 14 hodin a změny teploty o více než  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  v létě s maximální teplotou nahrazenou nejvyšší teplotou v 7, 14 a 21 hodin. V těchto případech není spojitost změn teplot s přechody front signifikantní.

### Změny mezidenní teploty v souvislosti s přechodem fronty na stanici Praha Karlov



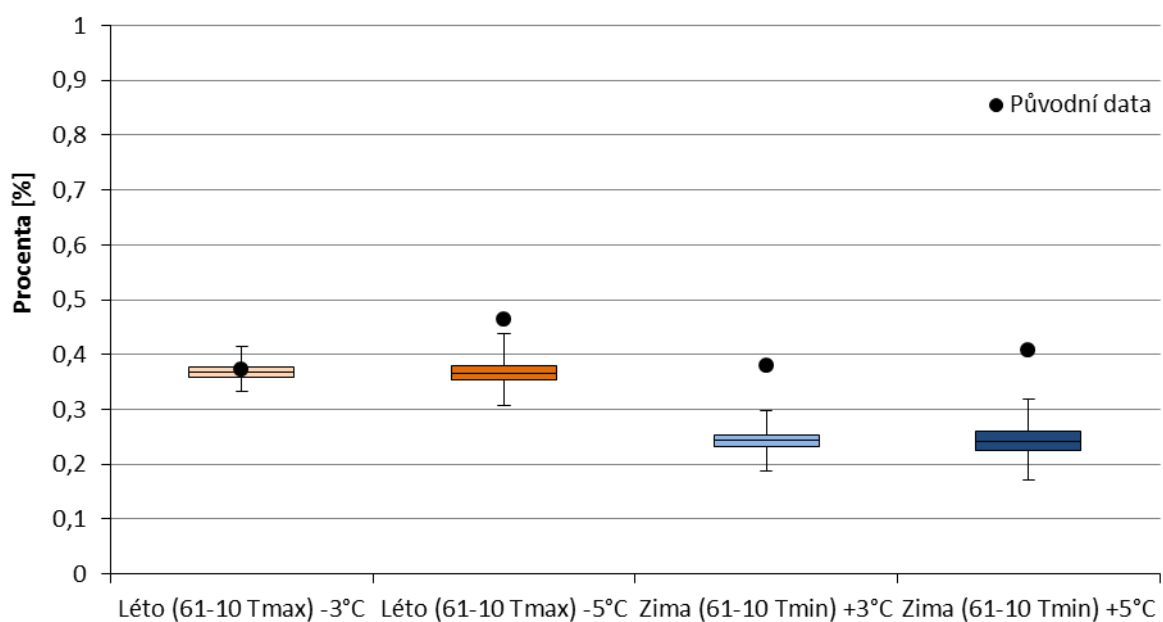
**Graf 5:** Procentuální zastoupení původních mezidenních změn teplot vzduchu spojených s přechodem front v porovnání s náhodně generovaným spojením změn teplot s přechody front (box plot) pro letní a zimní období na stanici Praha Karlov.

## Změny mezidenní teploty v souvislosti s přechodem fronty na stanici Praha Ruzyně



**Graf 6:** Procentuální zastoupení původních změn mezidenních teplot vzduchu spojených s přechodem front v porovnání s náhodně generovaným spojením změn teplot s přechody front (box plot) pro letní a zimní období na stanici Praha Ruzyně s minimem a maximem v 7 a 14 hodin.

## Změny mezidenní teploty v souvislosti s přechodem fronty na stanici Praha Ruzyně



**Graf 7:** Procentuální zastoupení původních změn mezidenních teplot vzduchu spojených s přechodem front v porovnání s náhodně generovaným spojením změn teplot s přechody front (box plot) pro letní a zimní období na stanici Praha Ruzyně.

## Diskuze

Rozdělení mezidenních změn teplot nejsou symetrická v zimě ani v létě, přičemž šikmost obou rozdělení je ve shodě s prací Huth a kolektiv (2001). Větší četnost malých ochlazení v zimě je ve zmiňované práci připisována záporné radiační bilanci a naopak, větší počet malých oteplení v létě je vysvětlován kladnou radiační bilancí při anticyklonálních synoptických situacích. Velká skoková ochlazení v létě jsou spojována s přechodem studené fronty, což se potvrdilo i v této práci, kdy je s přechodem studené fronty spojeno 78 % ochlazení o více než 5 °C. V zimě se podařilo spojit s přechodem fronty 43 % mezidenních oteplení o více než 5 °C.

V předkládané práci byl demonstrován vliv času přechodu a tvaru fronty na mezidenní změny teploty. Byl prokázán posun mediánu změn mezidenních teplot v den přechodu studené fronty směrem do kladných hodnot. Získaný poznatek slouží jako argument obhajující metodiku zohledňující i den po přechodu fronty, která je nastíněná v práci Piskaly (2013).

Nahrazení maximálních a minimálních teplot hodnotami z termínových měření se podle grafů 5, 6 a 7 projevilo především v létě. Velké mezidenní změny teplot naměřených ve 14 hodin v létě se podařilo spojit s přechodem fronty jen ve 38 % respektive 45 %. V porovnání s výsledky, při použití maximálních teplot, došlo k výraznému snížení počtu velkých ochlazení spojených s přechodem fronty. Tento rozdíl je patrný i při nahrazení maximální teploty nejvyšší hodnotou z měření v 7, 14 a 21 hodin. V zimě jsou rozdíly mezi použitím minimálních teplot a teplot z termínového měření minimální.

## Závěr

Výsledkem této práce je ověření hypotézy, že mezidenní změny teplot v létě i v zimě mají asymetrická rozdělení. Byla potvrzena hypotéza, že velká oteplení v zimě souvisí s přechodem teplých front a velká ochlazení v létě souvisí s přechodem front studených. Potvrzením hypotéz lze doložit, že příčinou asymetrického rozdělení mezidenních změn teplot při velkých otepleních v zimě jsou teplé fronty a při velkých ochlazeních v zimě studené fronty. Ověření příspěvku záporné radiační bilance v zimě a kladné radiační bilance v létě k asymetrii rozdělení mezidenních změn teplot jsou předmětem dalšího studia.

V této práci je dále nastíněna možnost nahrazení maximálních a minimálních teplot měřeními v 7 a 14 hodin. Rozdíl při použití teplot naměřených v 7 hodin ráno, místo minimálních teplot, se z výsledků zdá být zanedbatelný. Naopak, při použití teplot ze 14. hodiny, místo teplot maximálních, přináší výrazné rozdíly ve spojení velkých ochlazení s přechody studených front. V tomto případě se jeví použití maximálních teplot jako vhodnější.



## Zdroje

- BABIKOV, M. 1953. *Letecká meteorologie*. Praha: Naše vojsko 1953. 70 - 107 s.
- BEDNÁŘ, J. KOPÁČEK, J. 2009. *Jak vzniká počasí*. Praha: Karolinum 2009. 136 – 176 s. ISBN 978-80-246-1002-3.
- HUTH, R. [et al.] 2001. *Time structure of observed, GCM-Simulated, Downscaled, and Stochastically Generated Daily Temperature Series*. *Journal of climate* 2001, vol. 14, no. 20: 4047-4061
- PISKALA, V. 2013. *Asymetrie rozdělení mezidenních teplot vzduchu a jejich souvislosti s meteorologickými podmínkami*. Praha: 50 s. Bakalářská práce na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy na katedře fyzické geografie a geoekologie. Vedoucí bakalářské práce RNDr. Radan Huth, DrSc.

## Abstrakt

Cílem této práce je popsat statistické rozdělení mezidenních změn teplot v Praze a následné spojení asymetrických rysů rozdělení s přechodem front s důrazem na velké změny teplot o 3 °C a 5 °C. Změny teplot byly zvláště počítány pro zimní a letní měsíce, přičemž v zimních měsících byly použity minimální teploty a v letních měsících teploty maximální. Při řešení problému byly stanoveny následující hypotézy: Mezidenní změny teplot nemají normální rozdělení, velká mezidenní oteplení v zimě lze vysvětlit přechodem teplých front a velká mezidenní ochlazení v létě souvisí s přechody studených front.

Výsledky práce potvrzují zmíněné hypotézy a dokládají, že asymetrie rozdělení mezidenních změn teplot jsou ovlivněny přechodem front. V textu je také uvažována záměna maximálních a minimálních teplot za hodnoty naměřené v 7 a 14 hodin. Při použití teplot naměřených v 7 hodin, místo minimálních teplot v zimě, je dosahováno přibližně shodných výsledků, naopak, při záměně maximálních hodnot za teploty ve 14 hodin v létě se výpočty výrazně rozcházejí.