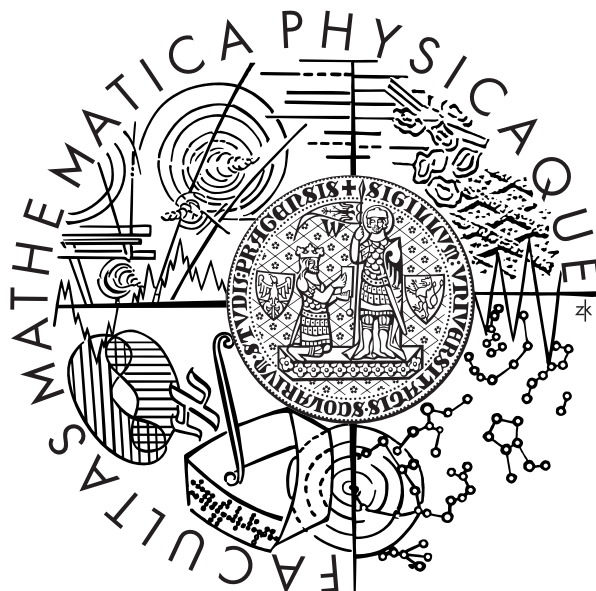


Univerzita Karlova v Praze  
Matematicko-fyzikální fakulta



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Eva Plavcová

### Vliv náhlých změn teploty a tlaku vzduchu na úmrtnost

Katedra meteorologie a ochrany prostředí  
Vedoucí diplomové práce: RNDr. Jan Kyselý, Ph.D.  
Studijní program: Fyzika, Meteorologie a klimatologie

2008

Dovoluji si poděkovat RNDr. Janu Kyselému, Ph.D. za obětavou pomoc, cenné rady a trpělivost. Děkuji také svým rodičům za podporu při studiu. Poděkování za poskytnutí dat náleží pracovníkům Českého hydrometeorologického ústavu, Ústavu fyziky atmosféry AV ČR (Mgr. J. Hošek, Mgr. L. Pokorná), Státního zdravotního ústavu ČR (Doc. B. Kříž, Dr. J. Kynčl) a Ústavu pro zdravotnické informace a statistiku ČR. Práce byla podpořena projektem „Vlivy krátkodobé a dlouhodobé proměnlivosti počasí na úmrtnost“ (GA ČR 205/07/1254).

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci napsala samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů. Souhlasím se zapůjčováním práce a jejím zveřejňováním.

V Praze dne 26. června 2008

Bc. Eva Plavcová

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Zpracovávaná data</b>	<b>7</b>
2.1	Údaje o úmrtnosti . . . . .	7
2.2	Data o atmosférickém tlaku . . . . .	9
2.3	Data o teplotě vzduchu . . . . .	13
2.4	Informace o přechodech atmosférických front nad Prahou . . . . .	13
2.5	Klimatická data ze sítě stanic v ČR . . . . .	14
<b>3</b>	<b>Úmrtnost v období výrazných změn atmosférického tlaku</b>	<b>16</b>
3.1	Výběr událostí s výraznou změnou tlaku . . . . .	16
3.2	Záporné změny tlaku v zimním období . . . . .	20
3.3	Záporné změny tlaku v letním období . . . . .	26
3.4	Kladné změny tlaku v zimním období . . . . .	29
3.5	Kladné změny tlaku v letním období . . . . .	29
3.6	Výrazné změny tlaku v dubnu a říjnu . . . . .	33
<b>4</b>	<b>Úmrtnost v období výrazných změn teploty vzduchu</b>	<b>35</b>
4.1	Výběr událostí s výraznou mezidenní změnou teploty . . . . .	35
4.2	Kladné mezidenní změny teploty v zimě . . . . .	37
4.3	Kladné mezidenní změny teploty v létě . . . . .	40
4.4	Záporné mezidenní změny teploty v zimě . . . . .	42
4.5	Záporné mezidenní změny teploty v létě . . . . .	42
<b>5</b>	<b>Úmrtnost v období přechodů atmosférických front nad Prahou</b>	<b>46</b>
5.1	Atmosférické fronty v zimním období . . . . .	46
5.2	Atmosférické fronty v letním období . . . . .	48
<b>6</b>	<b>Diskuze</b>	<b>50</b>
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>55</b>
	<b>Literatura</b>	<b>56</b>

Název práce: Vliv náhlých změn teploty a tlaku vzduchu na úmrtnost  
Autor: Bc. Eva Plavcová  
Katedra: Katedra meteorologie a ochrany prostředí  
Vedoucí diplomové práce: RNDr. Jan Kyselý, Ph.D.  
e-mail vedoucího: kysely@ufa.cas.cz

**ABSTRAKT:** Dosavadní studie ukazují, že počasí ovlivňuje lidské zdraví, ale zkoumání jeho náhlých změn dosud dostatečná pozornost věnována nebyla. V této práci byl navržen algoritmus pro identifikaci výrazných změn tlaku a teploty vzduchu na území České republiky. Vybrané události za období 1986–2005 byly porovnány s databází denní celkové úmrtnosti a úmrtnosti na kardiovaskulární nemoci, zvláště pro celkovou populaci a populaci starší 70 let. Zvýšení úmrtnosti bylo nalezeno po výrazném mezidenním oteplení nebo poklesu tlaku v zimě i v létě, pokles úmrtnosti po výrazném vzestupu tlaku nebo ochlazení v létě. Odezvy jsou obvykle výraznější pro populaci starší 70 let a v případě náhlých změn teploty pro úmrtnost na kardiovaskulární nemoci. Odchytky úmrtnosti byly nalezeny i v období přechodů studených front v létě.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** Biometeorologie, tlak vzduchu, teplota vzduchu, náhlá změna, úmrtnost, Česká republika

Title: Effects of sudden air temperature and pressure changes on mortality  
Author: Bc. Eva Plavcová  
Department: Department of Meteorology and Environment Protection  
Supervisor: RNDr. Jan Kyselý, Ph.D.  
Supervisor's e-mail address: kysely@ufa.cas.cz

**ABSTRACT:** It has been shown that weather influences human health; however, little attention has been paid to the role of sudden changes of weather characteristics. In this work we developed an algorithm for identification of sudden changes of air pressure and temperature over the Czech Republic. Events were selected from the data covering 1986–2005 and were compared with the database of daily all-cause (total) mortality and mortality due to cardiovascular diseases, both for the whole population and for people aged 70 years or more. Increase of mortality was found after significant temperature increase or pressure drop both in summer and winter months. Decrease of mortality occurred after significant pressure increase or temperature drop in summer. Mortality variations are usually more pronounced for population aged 70 years or more, and sudden temperature changes affect mortality on cardiovascular diseases more strongly. Changes in mortality were found after passages of cold fronts in summer, too.

**KEYWORDS:** Biometeorology, air pressure, air temperature, sudden change, mortality, Czech Republic

# Kapitola 1

## Úvod

Lidská společnost je silně ovlivňována klimatem a počasím nejen z hospodářského hlediska, ale i nutností adaptace lidského organismu na vnější klimatické podmínky. Míra adaptace člověka na typický průběh počasí se může lišit v závislosti na zeměpisné poloze, kde jedinec žije, na jeho věku a pohlaví a citlivost na meteorologické podmínky může být zvýšená pro chronicky nemocné či jinak oslabené jedince. Proto je nejen pro lékařskou vědu důležité všechny vlivy počasí na zdraví člověka studovat a mít možnost před jejich případnými dopady varovat ohroženou část populace, popřípadě se snažit ovlivňovat životní styl a chování těchto lidí.

Komplexnímu popisu vlivu počasí na zdraví člověka bylo věnováno mnoho vědeckých studií. Pro mnohé oblasti na Zemi, ve kterých je k dispozici dostatek potřebných dat, byl pro celkovou populaci nebo jen nemocné jedince (například nemoci oběhové soustavy, srdce či dýchacího ústrojí) zkoumán dopad podmínek počasí na zdraví či úmrtnost. Velký zájem byl věnován vlivu základních meteorologických prvků a z nich odvozených biometeorologických indexů (např. heat indexu, Smoyer a kol., 2000), vlivu epizod významně vysokých nebo nízkých teplot, v menší míře byl studován vliv vzduchových hmot, komplexních klimatických jevů spojených s módy proměnlivosti, jako je Jižní a Severoatlantská oscilace (ENSO, NAO), a koncentrací znečišťujících příměsí ve vzduchu. Detekovaná odezva na zdraví lidí byla podle individuálních podmínek prokázána s různou mírou významnosti.

V mnoha pracích je například popsán fenomén významně zvýšené úmrtnosti související se stresem z horka v období takzvaných horkých vln a následný efekt posunu úmrtnosti, kdy ve dnech po odeznění vysokých teplot je zaznamenán pokles úmrtnosti vysvětlovaný tím, že část obětí horkých vln tvoří lidé, kteří by zemřeli v krátké době bez ohledu na počasí. Nárůst počtu úmrtí je největší ve velkoměstech subtropických a mírných oblastí. Popsán je například 149% nárůst úmrtnosti během červencové horké vlny roku 1995 v Chicagu (Whitman a kol., 1997), v červnu 1981 činil v Lisabonu relativní nárůst úmrtnosti v horké vlně 107 % (Dessai, 2002) a v červenci 1987 v Aténách 97 % (Katsouyanni a kol., 2000). Velká pozornost byla v literatuře věnována horkým vlnám v Evropě v létě 2003, napří-

klad práce Heudorfa a Meyera (2005), Garssena a kol. (2005) a Pirarda a kol. (2005). Na území České republiky zkoumal Kyselý (2004) 17 horkých vln z období 1982–2000, během nichž průměrný relativní nárůst celkové úmrtnosti činil 13 % a ve vrcholech horkých vln přesahovaly odchylky od normálu v populaci ČR 100 úmrtí denně (přes 30 %). Velikost efektu posunu úmrtnosti byla odhadnuta na 90 %, u extrémních vln z roku 1994 kolem 50 %.

Vědeckých článků, které by se věnovaly konkrétně náhlým změnám počasí v průběhu roku, je však poskrovnu. Kyobutungi a kol. (2005) zkoumali v oblasti německého Heidelbergu vliv teploty vzduchu na výskyt pacientů s mozkovou příhodou a našli souvislost mezi zvýšeným rizikem ischemických cévních mozkových příhod a změnou teploty za 24 hodin o více než 5 °C, přičemž nezáleželo na tom, zda se jednalo o její vzestup nebo pokles. Pro území České republiky není známa žádná studie zabývající se náhlými změnami teploty a tlaku vzduchu. Na malém datovém souboru se vlivem přechodů atmosférických front na výskyt akutního infarktu myokardu zabýval Květoň (1991).

Dopady na nemocnost a úmrtnost v populaci jsou obecně hledány na základě dat statistických a zdravotnických úřadů, popřípadě ze statistik jednotlivých nemocnic. Absolutní čísla počtu denních úmrtí však nejsou vypovídající, neboť se do nich promítá roční a týdenní chod úmrtnosti, dlouhodobý trend zachycující změny populace (počet obyvatel, vyšší průměrný věk) a v neposlední řadě může být významně ovlivněn epidemiemi, popřípadě pandemiemi či významnými událostmi (živelné pohromy, havárie). Úmrtnost je proto vhodné standardizovat, porovnávat s referenční skupinou nebo vyjadřovat pomocí odchylky od takzvané očekávané úmrtnosti pro konkrétní den, vypočítané po zohlednění známých ovlivňujících faktorů.

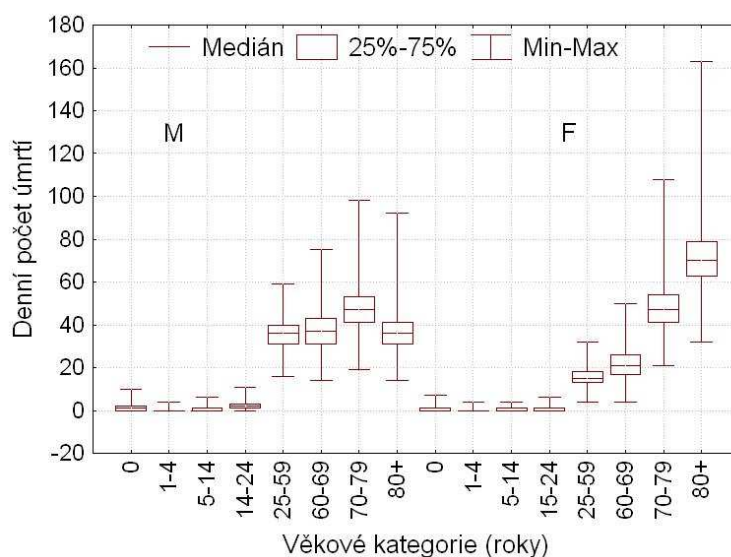
Cílem této diplomové práce je identifikovat v jednotlivých ročních obdobích meteorologické situace, kdy došlo na území České republiky k mimořádně velkým změnám atmosférického tlaku nebo teploty vzduchu, a srovnáním s databází denní úmrtnosti zjistit, zda byly tyto případy provázeny zvýšením úmrtnosti. Události byly vybírány a posuzovány na několika časových škálách. Zkoumána byla celková úmrtnost a úmrtnost na kardiovaskulární nemoci, v rámci těchto skupin ještě zvlášť pro osoby starší 70 let. Kapitola 2 popisuje všechna použitá data, výběrem událostí a průběhem úmrtností v období výrazných změn tlaku, respektive teploty se zabývají Kapitoly 3 a 4. Doplněním je Kapitola 5 zabývající se úmrtností v období přechodů atmosférických front. Výsledky jsou diskutovány v Kapitole 6 a shrnuty v Závěru.

# Kapitola 2

## Zpracovávaná data

### 2.1 Údaje o úmrtnosti

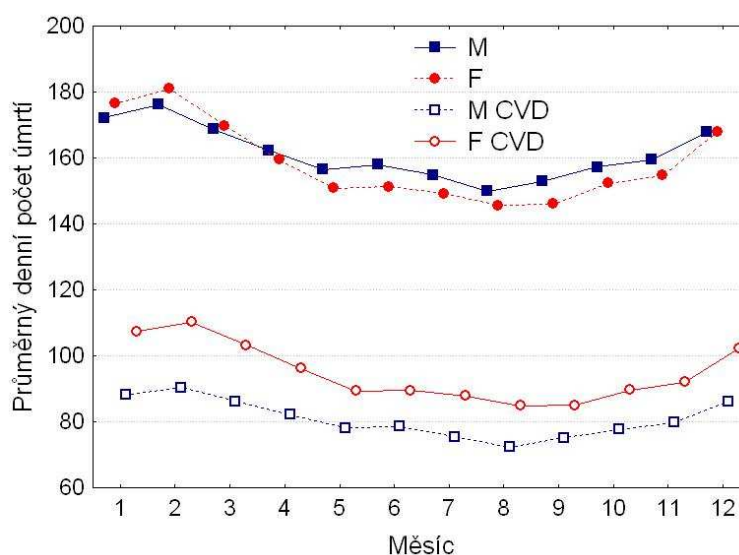
Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR v Praze poskytl údaje o denním počtu úmrtí v České republice. Za období od 1. 1. 1986 do 31. 12. 2005 byla k dispozici data o celkové úmrtnosti a úmrtnosti na nemoci oběhové soustavy (označované CVD – cardiovascular diseases) zvláště pro obě pohlaví rozdělená do 8 věkových kategorií (mladší jednoho roku, 1–4, 5–14, 15–24, 25–59, 60–69, 70–79 let a starší 80 roků). Kardiovaskulární nemoci zahrnují všechny nemoci týkající se srdce a oběhové soustavy, které představují nejčastější příčinu úmrtí v ČR i ve většině civilizovaných zemí. Rozložení denní úmrtnosti pro jednotlivé věkové kategorie je na obrázku 1.



Obrázek 1: Rozdělení denní úmrtnosti pro jednotlivé věkové kategorie, M – muži, F – ženy.

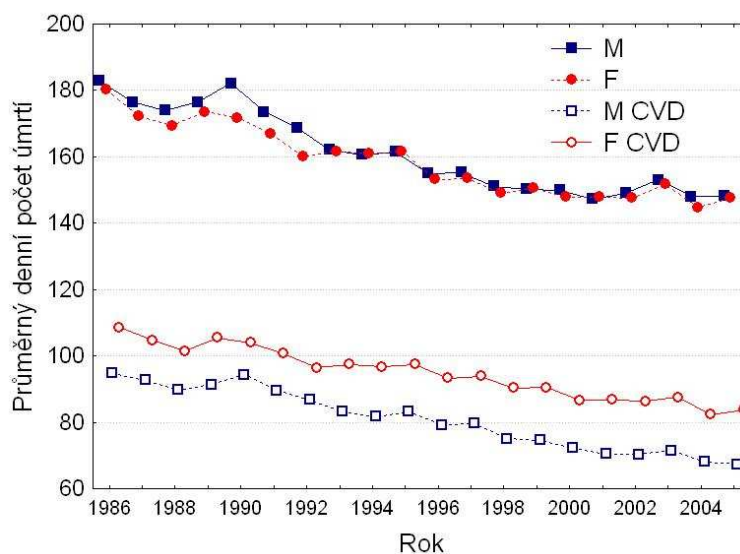
Protože práce byla zaměřena na vyhodnocení toho, zda jsou vybrané meteorologické události doprovázeny statisticky významným zvýšením úmrtnosti oproti normálové (očekávané) úmrtnosti v daném dni, nemohlo být počítáno s absolutními hodnotami denní úmrtnosti, neboť ty vykazují charakteristické cykly a dlouhodobé trendy. V ročním chodu nastává maximum celkové úmrtnosti i úmrtnosti na nemoci oběhové soustavy v polovině února, minimum ke konci léta (obrázek 2), týdenní cyklus se projevuje mírně vyšší úmrtností v pracovní dny oproti úmrtnosti o víkendu (Kyselý a Kříž, 2003). Dále se uplatňoval dlouhodobý trend poklesu úmrtnosti po roce 1989 způsobený zejména změnou životního stylu, pokrokem lékařské péče a demografickými změnami, který je zachycen na obrázku 3. V práci je proto počítáno s odchylkami úmrtnosti od normálového počtu úmrtí, který byl určen po odstranění dlouhodobého trendu a sezónních změn pro jednotlivá pohlaví a věkové skupiny modifikovaným postupem popsaným v Kyselý a Kříž (2003). Hodnoty normálového počtu úmrtí byly k dispozici v rámci projektu GA ČR 205/07/1254 „Vliv krátkodobé a dlouhodobé proměnlivosti počasí na úmrtnost“.

V zimním období úmrtnost výrazně ovlivňují epidemie akutních respiračních infekcí (takzvané chřipkové epidemie). K odstranění jejich vlivu byla využita databáze nemocnosti na akutní respirační infekce v ČR s uvažováním zpoždění zvýšení úmrtnosti za zvýšením nemocnosti 7 dní (Pokorná a Kyselý, 2007). Konkrétně ve zkoumaných letech 1986 až 2005 bylo chřipkových epidemií detekováno 13, všechny v období od prosince do března. Ve dnech, ve kterých je úmrtnost ovlivněna epidemiemi (s posunem 7 dní za epidemiemi), není úmrtnost v dalších analýzách v diplomové práci započítána.



Obrázek 2: Roční chod celkové úmrtnosti a úmrtnosti na kardiovaskulární nemoci v ČR, M – muži, F – ženy.





Obrázek 3: Dlouhodobý vývoj celkové úmrtnosti a úmrtnosti na kardiovaskulární nemoci v ČR, M – muži, F – ženy.

## 2.2 Data o atmosférickém tlaku

Pro práci byly k dispozici údaje o tlaku vzduchu z celkem 11 stanic Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Ze stanic Brno-Tuřany, Cheb, Kuchařovice, Liberec, Ostrava-Mošnov a Praha-Ruzyně byl k dispozici tlak redukováný na hladinu moře od začátku roku 1982 v tříhodinových synoptických termínech (to jest 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 a 21 UTC), od podzimu roku 1993 měření v hodinových intervalech. Pro výše ležící stanice – Churáňov, Karlovy Vary a Lysou horu – byly pro tyto termíny v kódování SYNOPu k dispozici údaje o výškách význačných geopotenciálních hladin, pro zpracování však byla použita data naměřeného staničního tlaku, která byla k dispozici od začátku roku 1988 v tříhodinových intervalech. Ze stanic Pardubice a Červená byly poskytnuty tříhodinové údaje o naměřeném staničním tlaku, a to pro Červenou od 1. 11. 1993 a pro Pardubice od 1. 1. 1997. Geografické rozložení stanic je znázorněno na obrázku 4.

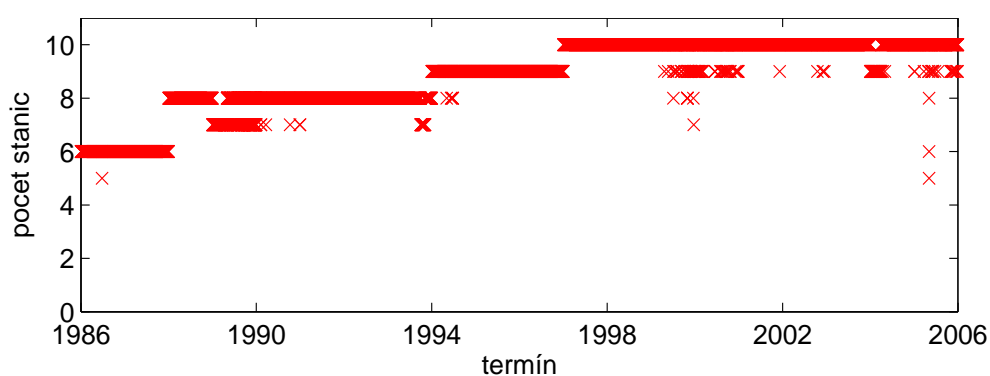
Všechny hodnoty byly zkontrolovány a hrubé chyby opraveny. Chyby byly detekovány jako podezřele velké mezitermínové skoky pramenící z chyby znaménka nebo přepsání jedné číslice, například změna v řádu stovek či desítek hPa, na které by byla analýza ze své podstaty citlivá. Při kontrole se ukázaly hodnoty ze stanice na Lysé hoře z důvodu velkého množství těchto změn (zejména v počátečním období) jako relativně méně spolehlivé, a jelikož pokrytí této části území zajistily další stanice, nebyla data o tlaku z Lysé hory dále v práci zahrnuta.

Finálně byla zpracovávána data o atmosférickém tlaku z 10 stanic v období, ve kterém byly k dispozici podrobné údaje o úmrtnosti (od začátku roku 1986



Obrázek 4: Geografická poloha meteorologických stanic. Červeně jsou vyznačeny stanice, ze kterých jsou použity podrobné údaje o atmosférickém tlaku.

do konce roku 2005), a to v synoptických termínech. Z žádné stanice nebyla tato řada měření zcela kompletní, od ojedinělých chybějících údajů, které byly v případě znalosti údajů z předešlé a následující hodiny interpolovány, až po přerušení v řádu měsíců. Proto byl ke každému časovému termínu uveden počet stanic, ze kterých je údaj o tlaku započítáván (vyneseno v obrázku 5). Pro velkou většinu termínů jsou k dispozici údaje z 8–10 stanic, minimální počet stanic s dostupnými daty v jednotlivém termínu je 5.



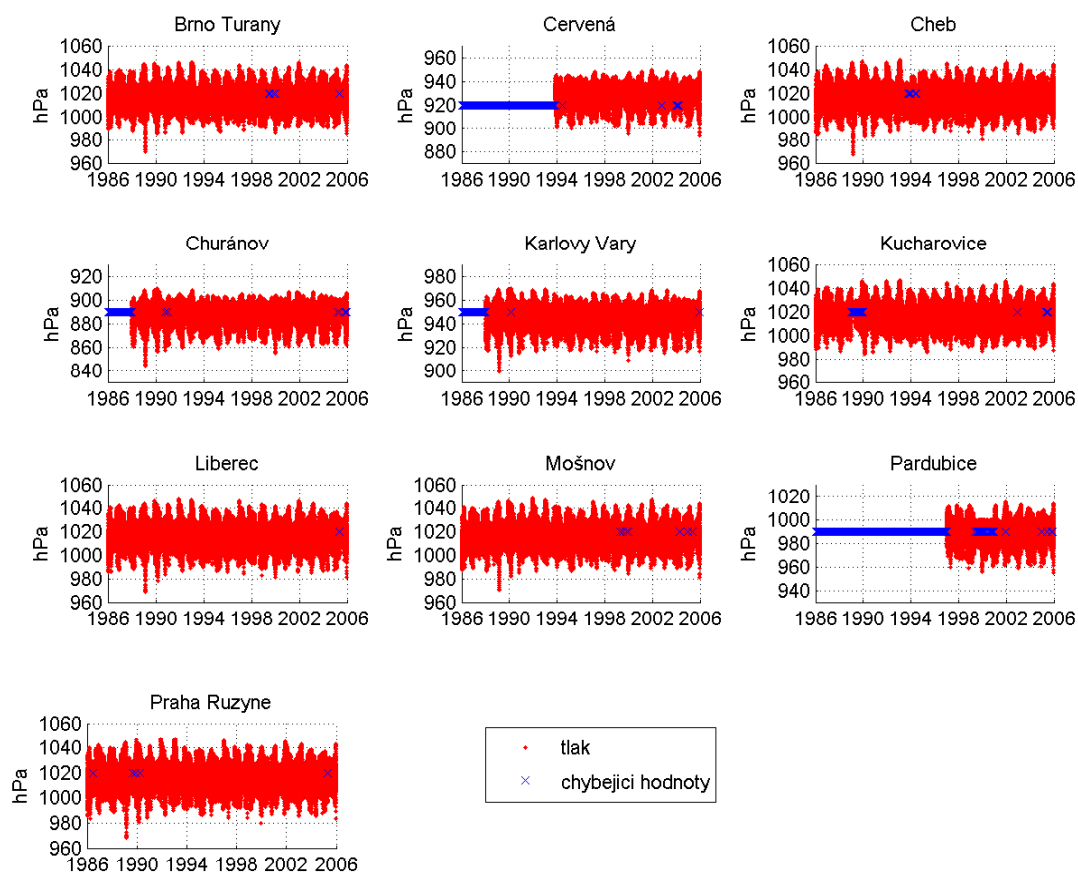
Obrázek 5: Počet stanic, na kterých jsou v jednotlivých termínech údaje o atmosférickém tlaku k dispozici.

Shrnutí použitých údajů o atmosférickém tlaku je zaneseno v tabulce 1 a řady hodnot jsou vyneseny v obrázku 6 i s vyznačenými termíny, kdy jednotlivé údaje chybí (modré křížky).

Tabulka 1: Shrnutí informací o použitých údajích atmosférického tlaku.

stanice	od kdy	počet jednotlivých chybějících termínů	významné přerušení
Brno-Tuřany	1. 1. 1986	19	
Červená	1. 11. 1993	38	1. 1. 2004–31. 3. 2004
Cheb	1. 1. 1986	18	1. 10. 1993–31. 12. 1993
Churáňov	1. 1. 1988	21	
Karlovy Vary	1. 1. 1988	4	
Kuchařovice	1. 1. 1986	363	1. 1. 1989–2. 5. 1989
Liberec	1. 1. 1986	3	
Ostrava-Mošnov	1. 1. 1986	44	
Pardubice	1. 1. 1997	365	
Praha-Ruzyně	1. 1. 1986	7	

Obrázek 6: Atmosférický tlak na jednotlivých stanicích, modrými křížky jsou vyznačeny chybějící údaje. U stanic Brno-Tuřany, Cheb, Kuchařovice, Liberec, Mošnov a Praha-Ruzyně se jedná o tlak redukovaný.



## 2.3 Data o teplotě vzduchu

Hodinové údaje o teplotě vzduchu byly k dispozici celkem z 9 stanic na území ČR: Brno-Tuřany, Churáňov, Kostelní Myslová, Karlovy Vary, Liberec, Lysá hora, Ostrava-Mošnov, Praha-Ruzyně a Svatouch. Prostorové rozložení těchto stanic je na obrázku 7.



Obrázek 7: Geografická poloha meteorologických stanic. Červeně jsou vyznačeny stanice, ze kterých jsou údaje o teplotě použity.

V práci byla použita měření teploty vzduchu v období od 1.1.1986 do 31.12.2005 v každou celou hodinu UTC. Chybějící hodnoty byly pouze na stanici Kostelní Myslová, a to 6 osmihodinových přerušení v červnu 2005. Data byla zkontrolována a opravena od hrubých chyb. V případě velké mezitermínové změny teploty byl její průběh porovnáván s průběhem teploty rosného bodu, výrazná odlišnost byla ukazatelem pravděpodobné chyby.

## 2.4 Informace o přechodech atmosférických front nad Prahou

V práci byly dále použity údaje o přechodech atmosférických front přes stanici Praha-Ruzyně. V této databázi ČHMÚ byl subjektivní metodou určován čas přechodu (s přesností 1 hodina), typ fronty (teplá, studená, okluzní), směr, odkud fronta postupuje (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW), a intenzita fronty (slabá, střední, silná). Četnosti jednotlivých případů front pro zpracovávané období 1986 až 2005, ve kterém bylo popsáno celkem 3 482 přechodů front nad Prahou, jsou shrnuty

Tabulka 2: Četnosti intenzity, typu a směru atmosférických front nad Prahou během let 1986 až 2005.

intenzita	četnost	směr	četnost
slabá	802	N	238
střední	2572	NE	70
silná	308	E	36
		SE	63
typ	četnost	S	140
studená	1622	SW	747
teplá	931	W	1509
okluzní	929	NW	679

v tabulce 2. Převážnou část databáze poskytl J. Hošek (ÚFA AV ČR), aktualizovaná do roku 2005 byla z internetových stránek ČHMÚ.

## 2.5 Klimatická data ze sítě stanic v ČR

Pro analýzu průběhů meteorologických prvků v období bezprostředně předcházejícím a následujícím po situacích s náhlou změnou tlaku nebo teploty vzduchu byla v práci použita další klimatická data. Z celkem 18 stanic na území ČR, jejichž geografické polohy jsou vyznačeny v obrázku 8, byly pro zkoumané období k dispozici hodnoty v 7, 14 a 21 hodin místního času a případně denní průměry, a to teploty a tlaku vzduchu, rychlosti a směru větru, pokrytí oblohy oblačností, relativní vlhkosti a tlaku vodní páry. K dispozici byla databáze opravená od hrubých chyb a se zdokumentovanými chybějícími údaji.

Ke zpracování meteorologických charakteristik vybraných případů náhlých změn tlaku a teploty byly použity průměrné denní hodnoty zprůměrované přes celé území (kromě tlaku a směru větru), to znamená přes všechny stanice, na kterých byl údaj k dispozici. Z průměrné denní teploty na území ČR byl dále za zkoumané dvacetileté období vypočítán průměrný roční chod, který byl shlazen 21denními klouzavými průměry. Poté byla pro každý den vypočítána odchylka od tohoto ročního chodu. Tlak nebyl průměrován přes stanice, ale pro každý den byly vypočítány odchylky od průměrného tlaku za celé období na dané stanici a teprve tyto odchylky průměrovány, aby byly výsledky lépe interpretovatelné. Protože pro směr větru nemají průměrné charakteristiky smysl, byl směr větru uvažován na vybraných stanicích v konkrétním termínu a vyjadřován v četnostech směrů.



Obrázek 8: Geografické polohy stanic, ze kterých byly použity denní průměry vybraných meteorologických prvků.

# Kapitola 3

## Úmrtnost v období výrazných změn atmosférického tlaku

### 3.1 Výběr událostí s výraznou změnou tlaku

Vzhledem k tomu, že data o úmrtnosti jsou k dispozici pro celkovou populaci ČR, bylo nutné zvolit vhodný algoritmus, který vybere situace, kdy došlo k výrazné změně atmosférického tlaku během relativně krátkého časového intervalu na větším počtu stanic, to znamená kdy je změna charakteristická pro rozsáhlejší území. Konkrétní data významných situací byla určena jako termíny, ve kterých došlo k dostatečně velké změně na více než 50 % stanic (ve kterých je údaj o tlaku v daný termín k dispozici) během klouzavě uvažovaného intervalu 24 hodin. Tím by měly být potlačeny případné lokální výkyvy tlaku a časový interval by měl zahrnout typickou dobu trvání přechodu výrazné fronty přes velkou část území ČR. Významné mezitermínové změny kladným i záporným směrem byly hledány zvláště na škále 3 hodin, 6 hodin a 12 hodin.

Hodnota kritické velikosti změny byla na každé stanici stanovena zvláště pomocí kvantilů rozdělení mezitermínových změn tlaku. Vypočtené kvantily rozdělení velikostí změn v zimních měsících jsou obecně větší než v letních. Proto se ukázalo nevhodné používat při následných výpočtech standardní dělení na 4 klimatické sezóny, neboť pak byly v rámci přechodových sezón potlačeny události v měsících přiléhajících k létu (září, květen). Rok byl proto rozdělen podle podobných hodnot kvantilů rozdělení změn do tří částí: 5 zimních měsíců – listopad, prosinec, leden, únor, březen – dále nazýváno zimní období; 5 letních měsíců – květen, červen, červenec, srpen, září – dále nazýváno letní období a zbylé dva měsíce – duben, říjen – jako přechodové období.

Aby bylo vybráno dostatečné množství případů pro následné statistické zpracování, byl určen jako vhodný kvantil 99,5 % (kladné mezitermínové změny) a 0,5 % (záporné mezitermínové změny). Konkrétní hodnoty pro jednotlivé stanice a období jsou uvedeny v tabulce 3.



Pro termíny vybrané pomocí výše popsaného postupu byly určeny průměrné velikosti změn tlaku ze všech stanic jako míra velikosti změny a pokud byly detekovány významné události ve stejném směru změny v intervalu 24 hodin, uvažoval se

Tabulka 3: Hodnoty použitých percentilů rozdělení mezitermínových změn tlaku (v hPa) pro jednotlivé stanice a období.

časová škála	3 hod		6 hod		12 hod	
percentil	0,5	99,5	0,5	99,5	0,5	99,5
	Zimní období					
Brno-Tuřany	-4,1	4,1	-7,4	7,3	-13,0	12,6
Červená	-3,2	3,1	-5,9	5,7	-10,3	10,3
Cheb	-4,6	4,4	-8,3	8,0	-14,3	13,7
Churáňov	-3,6	3,3	-6,3	5,9	-10,8	10,3
Karlovy Vary	-3,9	3,8	-7,2	6,9	-12,4	11,8
Kuchařovice	-4,2	4,1	-7,7	7,4	-13,1	12,7
Liberec	-4,5	4,3	-8,1	7,8	-14,0	13,7
Ostrava-Mošnov	-4,3	4,2	-7,9	7,4	-13,5	12,9
Pardubice	-3,5	3,4	-6,4	6,2	-11,3	11,0
Praha-Ruzyně	-4,7	4,4	-8,4	7,9	-14,3	13,8
	Letní období					
Brno-Tuřany	-2,6	3,2	-4,7	5,3	-7,5	8,6
Červená	-1,9	2,0	-3,2	3,6	-5,6	6,1
Cheb	-3,2	3,2	-5,6	5,4	-8,8	8,9
Churáňov	-2,0	2,1	-3,4	3,7	-5,7	6,3
Karlovy Vary	-2,2	2,4	-3,9	4,2	-6,6	7,1
Kuchařovice	-2,8	3,3	-4,8	5,6	-7,8	8,8
Liberec	-2,8	3,2	-4,9	5,4	-8,2	8,9
Ostrava-Mošnov	-2,6	3,2	-4,6	5,2	-7,7	8,6
Pardubice	-2,1	2,4	-3,7	4,0	-5,9	6,9
Praha-Ruzyně	-2,8	3,4	-5,0	5,5	-8,3	9,2
	Přechodové období					
Brno-Tuřany	-3,3	3,6	-6,3	6,5	-10,2	10,8
Červená	-2,5	2,5	-4,8	4,6	-8,2	7,8
Cheb	-3,9	3,8	-7,0	6,8	-11,5	11,2
Churáňov	-2,7	2,7	-5,0	4,7	-8,3	8,0
Karlovy Vary	-3,0	3,0	-5,6	5,3	-9,4	9,3
Kuchařovice	-3,5	3,8	-6,5	6,8	-10,4	11,1
Liberec	-3,6	3,8	-6,4	6,7	-10,9	11,2
Ostrava-Mošnov	-3,4	3,6	-6,2	6,4	-10,4	10,4
Pardubice	-2,8	2,8	-5,2	5,2	-9,2	8,5
Praha-Ruzyně	-3,7	3,8	-6,7	6,9	-11,1	11,3

Tabulka 4: Počet detekovaných případů výrazných změn atmosférického tlaku za období 1986–2005 pro použité percentily.

časová škála percentil	3 hod		6 hod		12 hod	
	0,5	99,5	0,5	99,5	0,5	99,5
zimní období	84	81	80	75	63	59
letní období	64	74	61	59	60	49
přechodové období	26	32	26	29	21	25

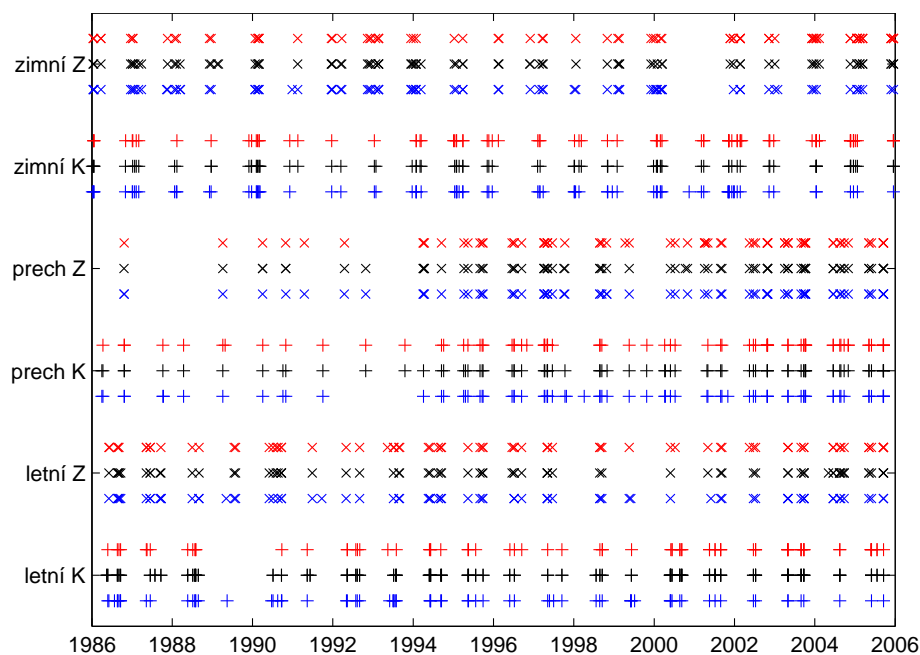
Tabulka 5: Průměrná velikost změny tlaku pro detekované události (v hPa).

časová škála percentil	3 hod		6 hod		12 hod	
	0,5	99,5	0,5	99,5	0,5	99,5
zimní období	-5,0	5,1	-9,0	8,6	-15,0	14,6
letní období	-3,0	3,5	-5,4	6,0	-8,7	9,6
přechodové období	-4,1	4,1	-7,3	7,2	-12,1	11,5

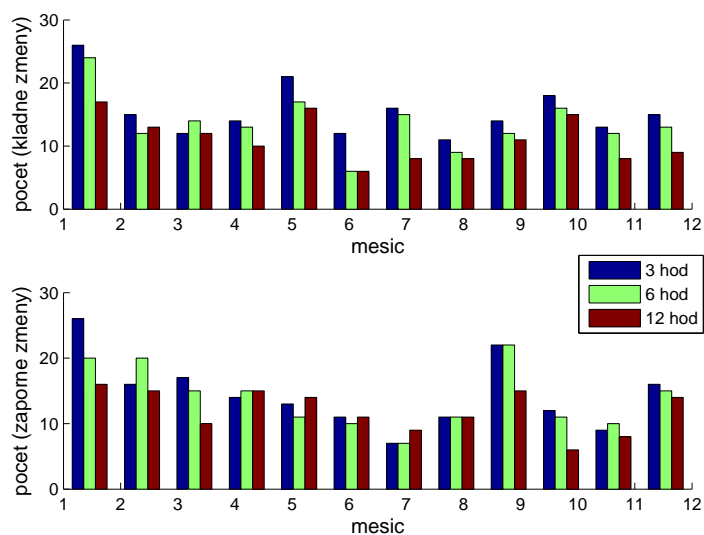
pouze termín s větší průměrnou velikostí změny. Počty takto nalezených případů jsou v tabulce 4 a odpovídající průměrné velikosti změn tlaku v tabulce 5.

Rozložení výskytu těchto událostí v čase jsou vynesena na obrázku 9 a 10. Z obrázku 9 je patrné, že výběry jsou v rámci zkoumaných let 1986 až 2005 časově téměř rovnoměrně rozložené, výjimku tvoří jen nízký počet detekovaných výrazných záporných změn tlaku v přechodovém období v prvních 8 letech, kde se zřejmě projevuje statistický šum. Dále je vidět, že pro všechny tři časové škály je rozložení událostí v čase velmi podobné, což odráží skutečnost, že velká změna tlaku se obvykle projeví na všech časových škálách. Počty detekovaných událostí v jednotlivých měsících jsou vyneseny v obrázku 10. V zimním období připadá na všech časových škálách nejvíce událostí na měsíc leden. Rozdělení v rámci zbylých zimních měsíců je relativně vyrovnané, nejméně událostí je nalezeno v listopadu. V letním období se liší rozložení případů pro kladné a záporné změny tlaku. Výrazných kladných změn je detekováno nejvíce v květnu, zatímco v měsících červnu a srpnu jsou četnosti přibližně poloviční. Největší četnost výrazných záporných změn je v měsíci září, na 3- a 6hodinových škálách je počet dvakrát větší než pro většinu zbylých letních měsíců a trojnásobně větší než v nejméně zastoupeném červenci.

Události, při nichž došlo k výrazné změně atmosférického tlaku, byly analyzovány zvláště pro jednotlivá období roku, 3 časové škály a kladné a záporné změny. Zkoumána byla úmrtnost ve dnech bezprostředně předcházejících dnu změny tlaku a v několika následujících, a to celková úmrtnost i úmrtnost na kardiovaskulární nemoci. Relativní odchylka úmrtnosti je vyjadřována v procentech a spočítána jako rozdíl skutečného počtu úmrtí a očekávaného dělený normálovou úmrtností. Pro dny D−2 (dva dny před dnem změny) až D+7 (sedmý den po změně) byly



Obrázek 9: Rozdělení výskytu vybraných událostí v čase pro jednotlivá období, kladné (+) a záporné (x) změny tlaku a 3 časové škály (modrá – 3 hodin, černá – 6 hodin, červená – 12 hodin).



Obrázek 10: Rozdělení výskytu vybraných událostí v jednotlivých měsících pro kladné a záporné změny tlaku a 3 časové škály.

spočítány průměry relativních odchylek úmrtnosti v jednotlivých nalezených termínech. Ve dnech, ve kterých byla zaznamenána chřipková epidemie (s posunem 7 dnů za nemocností, viz část 2.1), nebyla úmrtnost posuzována a průměr se tak počítal z menšího počtu případů. Epidemie se vyskytovaly pouze v zimních měsících, proto výsledky v letním období na jejich vymezení nezávisí.

Pro jednotlivé skupiny případů byl počítán vliv na úmrtnost pro obě pohlaví dohromady i zvlášť a pro všechny věkové kategorie. Jelikož však pro mladší věkové kategorie je úmrtnost v absolutních číslech velmi malá (v jednotkách úmrtí), nejsou výsledky vhodné pro statistické zpracování. Skupina 70+ obsahuje součet úmrtí mužů a žen starších 70let, což představuje průměrně 64 % celkové úmrtnosti a 75 % CVD úmrtnosti. V ČR je poměr mezi ženami a muži v této věkové kategorii 1,74 (Kyselý a Kříž, 2008).

Do každého grafu průměrných relativních odchylek úmrtnosti byly vyneseny jejich statistické významnosti. Ty byly určovány pomocí metody Monte Carlo, kdy celkem 10 000krát byly náhodně vygenerovány stejné počty 10denních posloupností jako počet skutečných případů, a to pro stejná časová období (zimní, letní, přechodové), úmrtnost ve dnech s epidemiemi také nebyla započítána. Z jejich průměrných odchylek úmrtnosti pak byly vypočítány 5% (resp. 95%) a 2,5% (resp. 97,5%) kvantily rozdělení a pro 10 dní, D-2 až D+7, zprůměrovány.

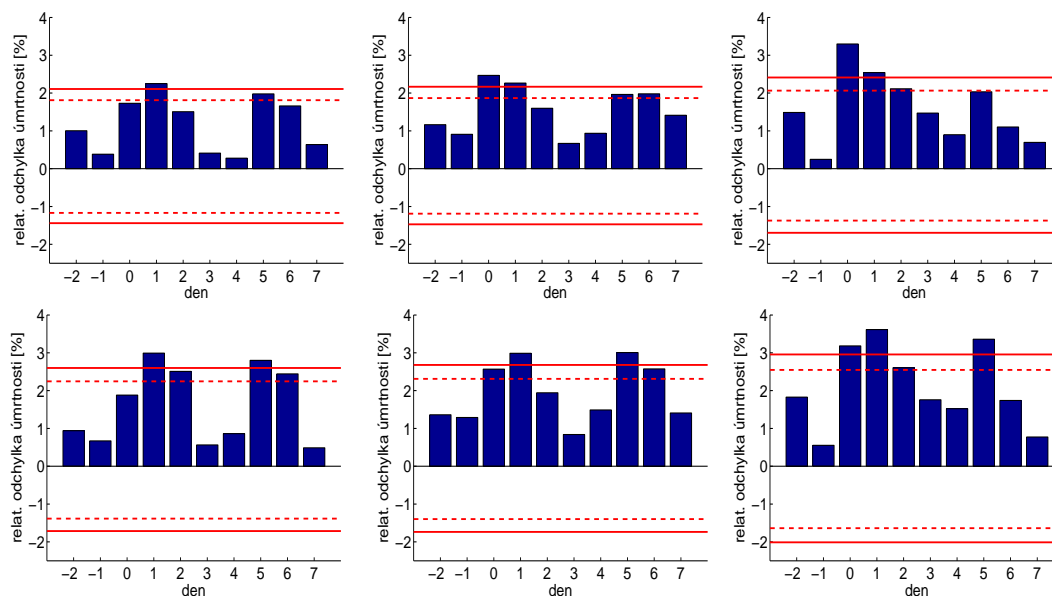
## 3.2 Záporné změny tlaku v zimním období

V období kolem výrazných poklesů tlaku v měsících od listopadu do března vykazuje průměrná relativní odchylka úmrtnosti čistě zvýšenou posloupnost, a to jak pro celkovou tak CVD úmrtnost, pro celkovou populaci i 70+, jak dokazují obrázky 11 a 12. V nich jsou pro porovnání vyneseny průměrné relativní odchylky úmrtnosti pro 3-, 6- i 12hodinové trvání změn. Je zřejmé, že všechny grafy vykazují podobný průběh odchylek.

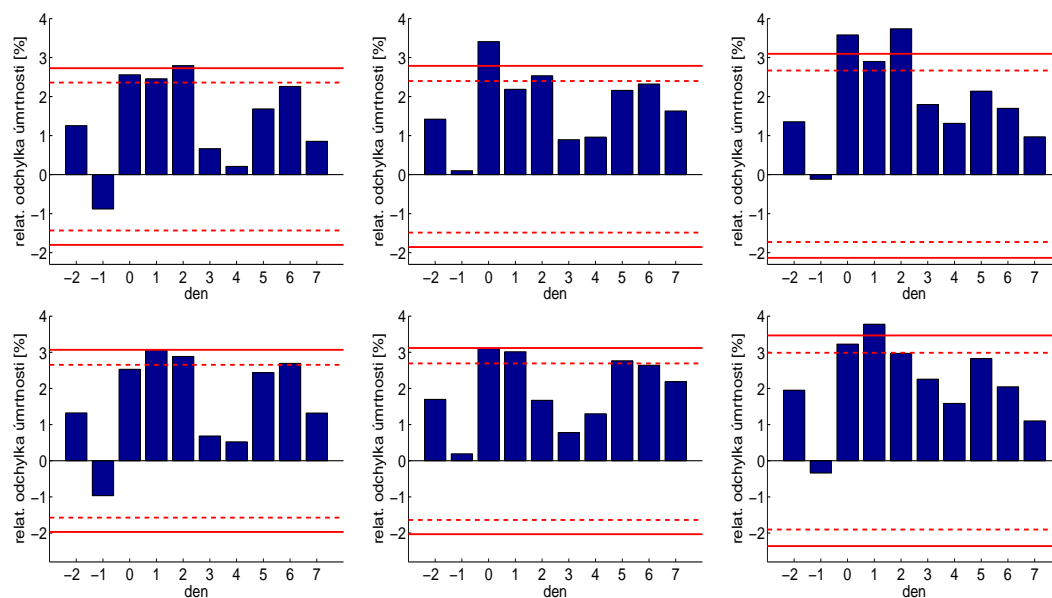
Nejvýznamnější zvýšení celkové úmrtnosti ve dni D+0 oproti úmrtnosti v předcházejícím dni změně tlaku je nalezeno na 12hodinové škále. Kvantitativně se jedná o relativní zvýšení  $\sim 3\%$ , to znamená, že v den D+0 je oproti normálu celkový denní počet úmrtí o 11 větší. Pro celkovou populaci i 70+ je pro den změny i D+1 a D+2 úmrtnost nad hranicí 95% kvantilu, z toho první dva dny i nad hranicí 97,5% kvantilu. Nultý a první den po události je úmrtnost významně kladná i na škále 6 hodin, zatímco na škále 3 hodin je významně zvýšená úmrtnost až první den po události. Na všech časových škálách je patrná zejména pro starší populaci výrazná kladná odchylka ve dni D+5, případně D+6.

Úmrtnost na nemoci oběhové soustavy má největší odchylky také pro změny tlaku během 12 hodin v den D+0 a dva následné dny, odchylky jsou významnější pro celkovou populaci než pro 70+. Ve dnech D+3 a D+4 je patrný pokles úmrtnosti, nejvýrazněji na škále 3 hodin.

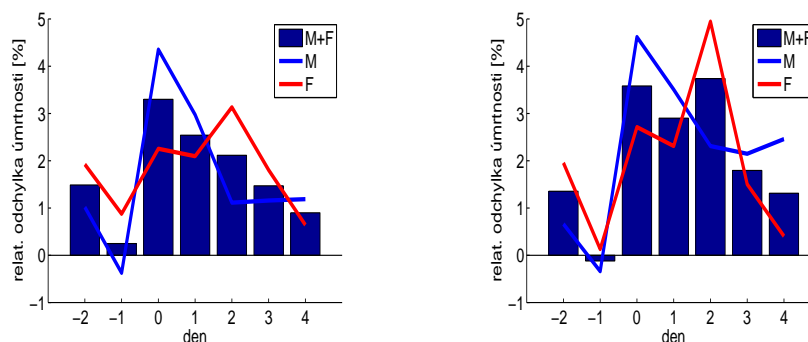
Průběh nárůstu úmrtnosti během a po změně tlaku se projevuje odlišně pro obě



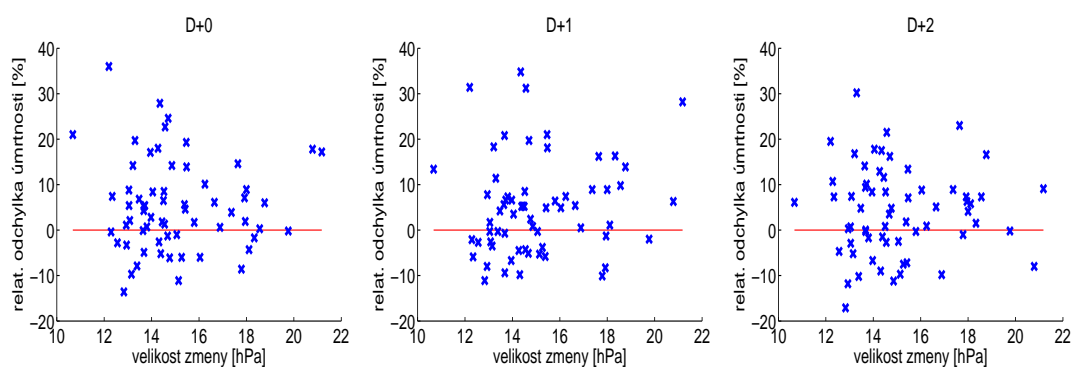
Obrázek 11: Průměrná relativní odchylka celkové úmrtnosti v období kolem výrazných záporných změn atm. tlaku v zimním období pro celkovou populaci (nahore) a pro 70+ (dole), pro změny na škále 3 hodin (vlevo), 6 hodin (uprostřed) a 12 hodin (vpravo). Plná čára vyznačuje 2,5% (resp. 97,5%) a čárkovaná 5% (resp. 95%) kvantil odchylek.



Obrázek 12: Analogie obrázku 11 pro CVD úmrtnost.



Obrázek 13: Průběh průměrných relativních odchylek úmrtnosti zvlášť pro mužskou (M), ženskou (F) a celkovou populaci před a po 12hodinové výrazné záporné změně tlaku v zimním období. Vlevo pro celkovou úmrtnost, vpravo pro CVD úmrtnost.



Obrázek 14: Závislost relativní odchylky úmrtnosti na velikosti změny tlaku pro dny D+0, D+1 a D+2 na 12hodinové škále v zimě.

pohlaví, jak ukazuje obrázek 13, kde jsou vykresleny průběhy zvlášť pro celkovou a CVD úmrtnost. V mužské populaci dochází k významnému nárůstu už v den změny, zatímco pro ženskou část není nárůst tak prudký a celkového maxima úmrtnosti se dosahuje až ve dni D+2.

Na obrázku 14 je vykreslena relativní odchylka úmrtnosti ve vztahu k hodnotě průměrované velikosti změny tlaku pro jednotlivé události detekované na 12hodinové škále (celkem 63 případů) pro dny D+0, D+1 a D+2. Je zřejmé, že rozptýlení jednotlivých relativních odchylek úmrtnosti je velký a není patrná žádná výrazná závislost na velikosti poklesu tlaku.

Aby se zjistilo, jakými synoptickými situacemi jsou tyto výrazné zimní poklesy tlaku typické, byly pro všechny 3 časové škály analyzovány průběhy a odchylky denních průměrů dalších meteorologických prvků v okolních dnech změny, hodnoty byly zprůměrovány přes všechny vybrané události. Na obrázku 15 je vy-

Tabulka 6: Výskyt atmosférických front nad Prahou v intervalu 24 hodin před vybranými termíny výrazných záporných změn tlaku na 12hodinové škále v zimním období, v tabulce je vypsán počet jednotlivých případů.

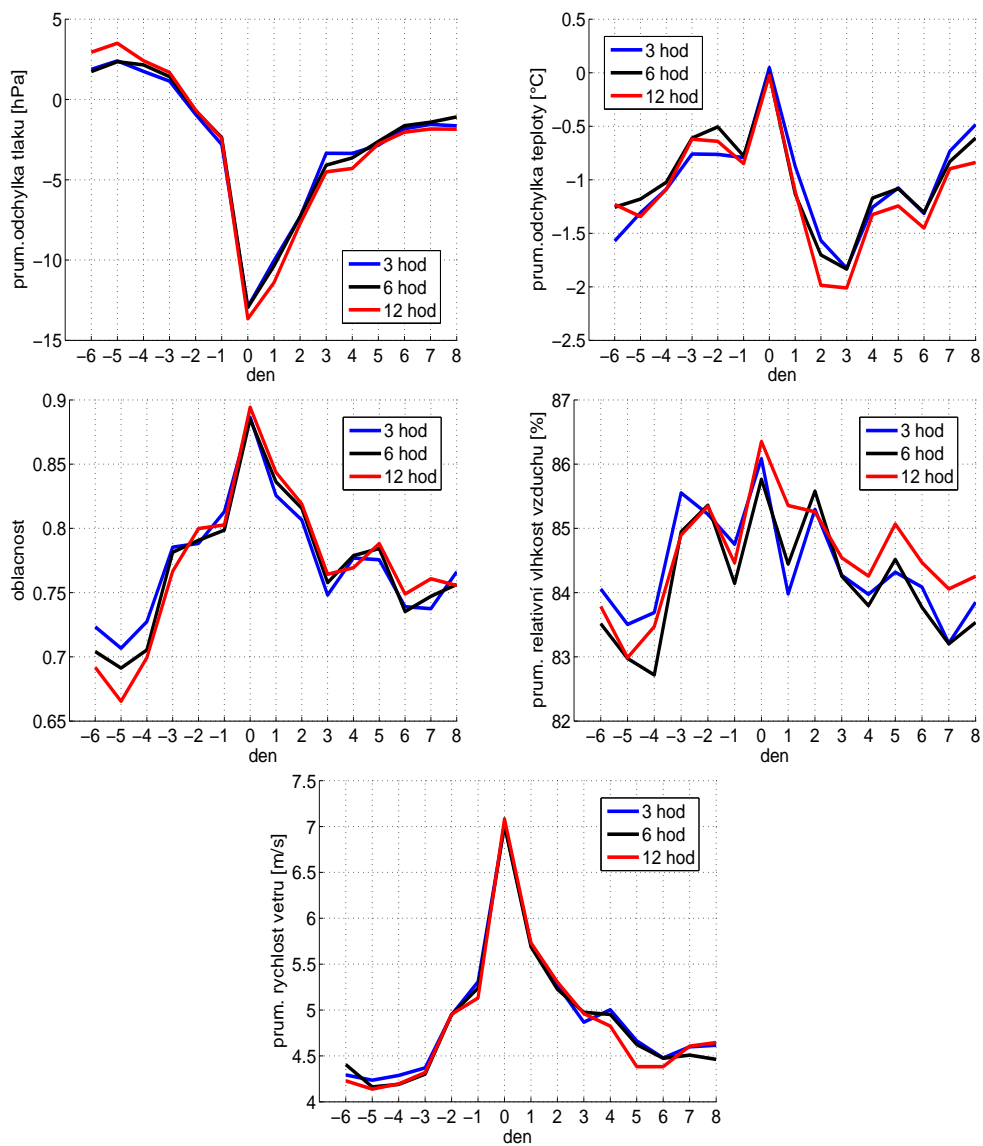
celkem případů	63
detekována alespoň 1 atmosférická fronta	56
teplá následovaná studenou	26
okluzní	18
okluzní následovaná studenou	4
teplá	5
studená	4

nesen průměrný průběh (i) odchylek atmosférického tlaku od ročních průměrů na jednotlivých stanicích, (ii) odchylek teploty od shlazeného ročního chodu, (iii) oblačnosti, (iv) relativní vlhkosti a (v) rychlosti větru. Směr větru byl z důvodu minimalizace lokálních vlivů analyzován jen pro výše ležící stanice Churáňov, Lysá hora, Milešovka a Svratouch na 12hodinové škále v 7 hodin ráno<sup>1</sup>. Na obrázku 16 jsou vlevo nahoře pro porovnání vyneseny relativní četnosti směrů pro jednotlivé stanice (v abecedním pořadí názvů stanic) za celé zimní období. V dalších částech jsou vykresleny četnosti zvláště pro dny D−1, D+0 a D+1.

Z obrázku 15 je patrné, že změny meteorologických prvků doprovázející vybrané situace jsou nejvýraznější pro 12hodinovou škálu. Tendence mírného poklesu tlaku je patrná už před inkriminovaným dnem výrazné změny, kdy po prudkém poklesu vzrůstá průměrný tlak v následujících dnech k hodnotám před změnou, nejvýrazněji mezi dny D+0 a D+3. Po změně tlaku dochází k ochlazení, průměrná denní teplota klesne průměrně o 2 °C. Dny výrazného poklesu tlaku jsou provázeny silným větrem a velkou oblačností. Z četností směru větru vyplývá, že pro den prudké změny tlaku zcela mizí proudění ze severovýchodního kvadrantu a vzrůstá četnost proudění s jižní a západní složkou.

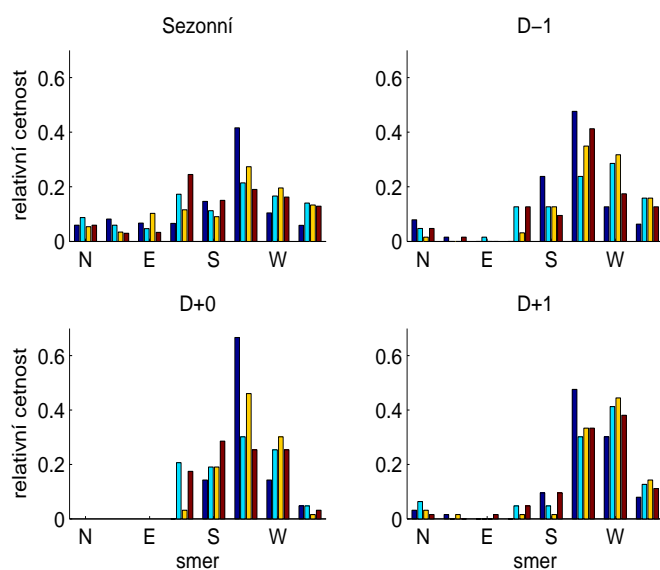
Z porovnání vybraných termínů velkých záporných změn tlaku na 12hodinové škále s databází přechodů front vyplývá, že v 89 % případů byla v předchozích 24 hodinách zaznamenána nad Prahou alespoň jedna atmosférická fronta. Jednalo se o fronty středně silné nebo silné intenzity z jihozápadního až severozápadního směru. Z těchto případů detekovaných přechodů front šlo v 46 % o přechod teplé fronty následovaný přechodem studené fronty a v 32 % o přechod okluzní fronty. Ve zbylých procentech jsou stejnoměrně zastoupeny případy přechodu pouze teplé a pouze studené fronty a přechodu studené fronty následované okluzní frontou. Konkrétní čísla uvádí tabulka 6.

<sup>1</sup>Četnosti směrů větru v 7 a 21 hodin byly velmi podobné, rozdílné hodnoty ve 14 hodin se v letním období mohou vysvětlit rozvojem konvekce.



Obrázek 15: Průběhy průměrů meteorologických prvků v období kolem významných záporných změn tlaku v zimním období.



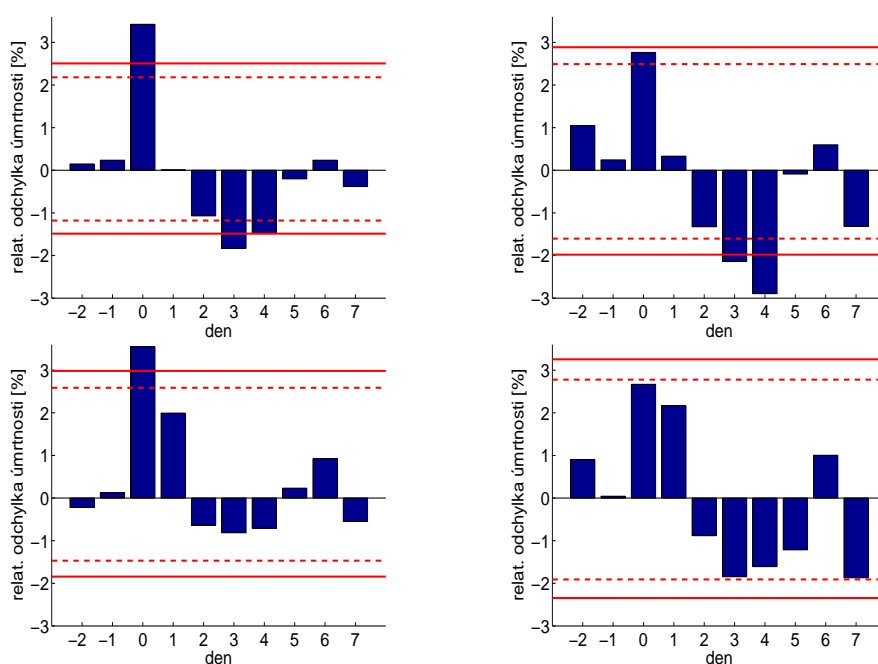


Obrázek 16: Četnosti směru větru na stanicích Churáňov, Lysá hora, Milešovka a Svratouch (pořadí barevných sloupců) ve dnech okolo výrazné záporné změny tlaku. Pro porovnání je vlevo nahoře vykreslen histogram směru větru pro celé zimní období.

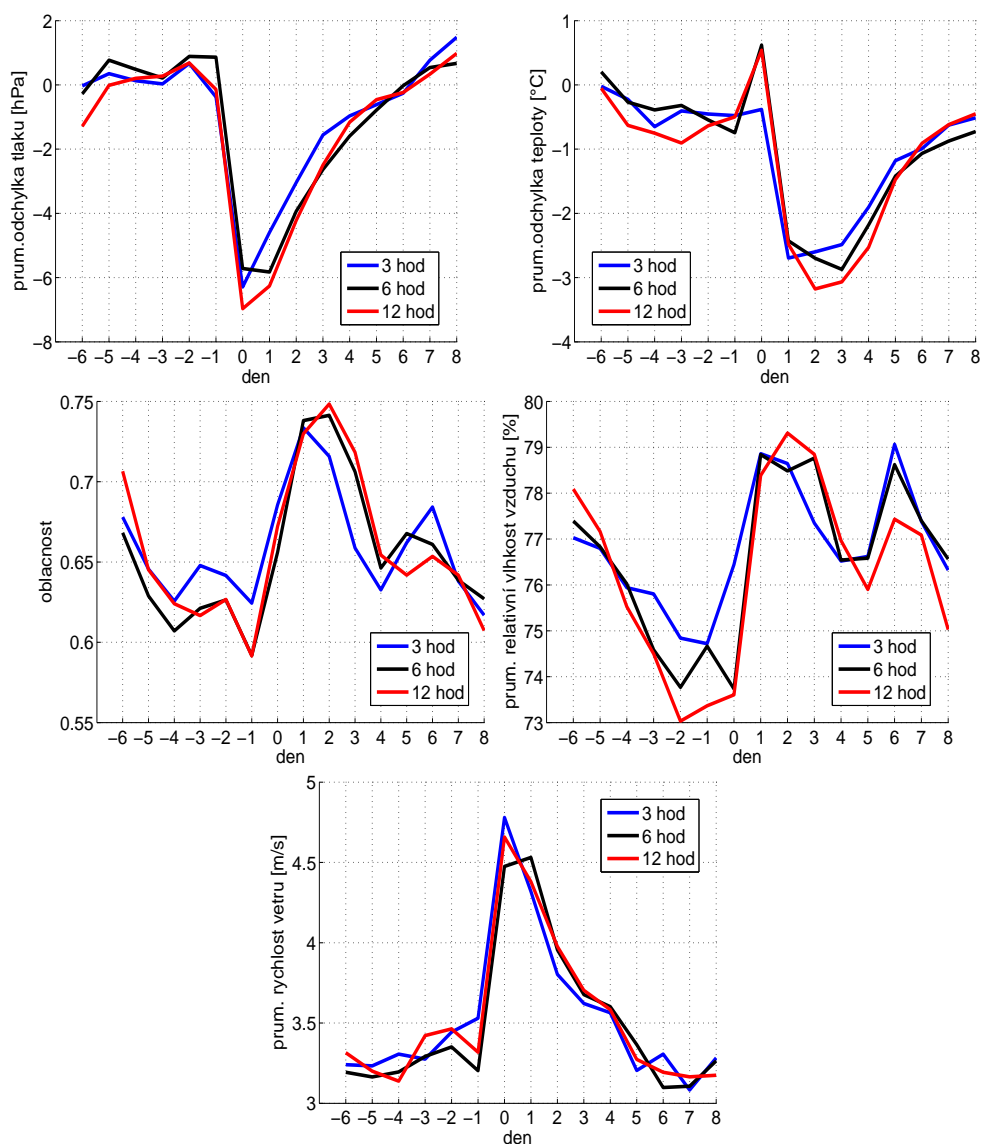
### 3.3 Záporné změny tlaku v letním období

V období výrazných záporných změn tlaku v letním období (což znamená od května do září) dochází k podobnému průběhu průměrných relativních odchylek celkové úmrtnosti pro všechny tři časové škály. Průběhy pro 6hodinovou škálu jsou vykresleny v obrázku 17. Úmrtnost je významně zvýšená ve dni D+0 a nárůst je výraznější pro celkovou populaci než pro 70+. Pro celkovou populaci činí tento průměrný relativní nárůst úmrtnosti (celkové i CVD) oproti dni D-1 3,2%. Během dnů D+3 a D+4 je celková úmrtnost pro celkovou populaci i 70+ významně snížena, v CVD úmrtnosti se snížení projevuje méně. Rozdíl průměrné celkové úmrtnosti ve dnech D+0 a D+3, respektive D+4 činí 16 úmrtí v celkové populaci, respektive 11 úmrtí ve skupině 70+.

Z typického průběhu meteorologických prvků na obrázku 18 vyplývá, že období výrazných záporných změn tlaku je charakteristické nástupem několika dnů s nižší teplotou (ochlazení mezi dnem D+0 a D+1 je průměrně o 3 °C), větší oblačností, vyšší relativní vlhkostí a silnějším prouděním, během kterých tlak narůstá do původních hodnot. Ve dnech předcházejících změně tlaku není odchylka teploty výrazně kladná, takže ve dni D+0 se patrně nejedná o doznění úmrtnosti v důsledku stresu z horka.

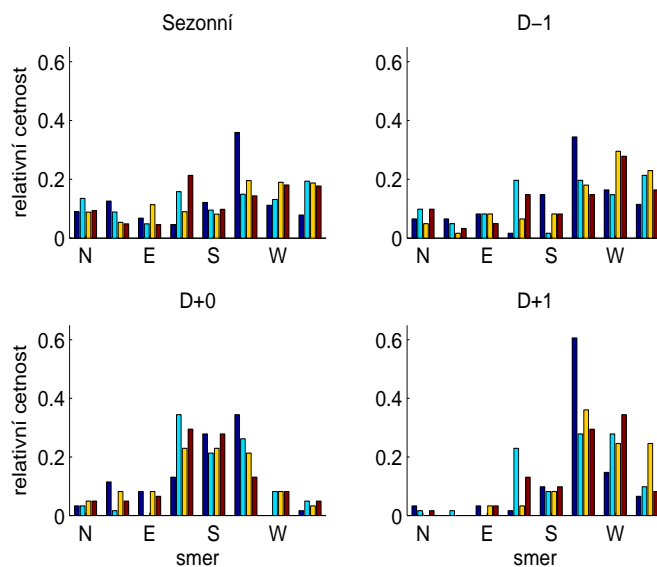


Obrázek 17: Průměrná relativní odchylka celkové úmrtnosti (nahore) a CVD úmrtnosti (dole) v období kolem výrazných letních záporných změn atmosférického tlaku pro celkovou populaci (vlevo) a pro 70+ (vpravo) na škále 6 hodin. Plná čára vyznačuje 2,5% (resp. 97,5%) a čárkovaná 5% (resp. 95%) kvantil odchylek.



Obrázek 18: Průběhy průměrů meteorologických prvků v období kolem významných záporných změn tlaku v letním období.

Z četností směru větru (události vybrané na 6hodinové škále, v 7 hodin místního času) na obrázku 19 vychází pro den změny tlaku převaha proudění s jižní složkou, zatímco v následující den se složkou západní. To by mohlo naznačovat přechod brázd nízkého tlaku vzduchu od západu.



Obrázek 19: Četnosti směru větru na stanicích Churáňov, Lysá hora, Milešovka a Svratouch (pořadí barevných sloupců) ve dnech okolo výrazné záporné změny tlaku. Pro porovnání je vlevo nahoře vykreslen histogram směru větru pro celé letní období.

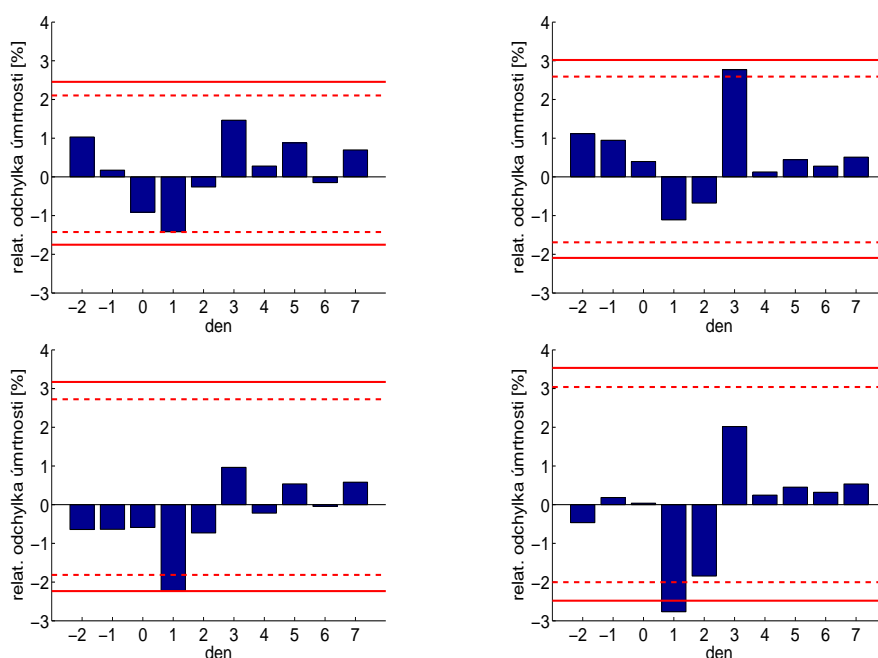
Tabulka 7: Výskyt atmosférických front nad Prahou v intervalu 24 hodin před vybranými termíny výrazných záporných změn tlaku na 6hodinové škále v letním období, v tabulce je vypsán počet jednotlivých případů.

celkem případů	61
detekována alespoň 1 atmosférická fronta	47
teplá	16
teplá následovaná studenou	13
okluzní	12
studená	4
okluzní následovaná studenou	2

V 77 % vybraných termínů na 6hodinové škále byl v předchozích 24 hodinách nad Prahou popsán přechod atmosférické fronty. Z těchto detekovaných přechodů se v 34 % případů jednalo o přechod teplé fronty, ve 28 % o přechod studené fronty po předcházející teplé frontě a ve 26 % o přechod okluzní fronty. Konkrétní čísla uvádí tabulka 7.

### 3.4 Kladné změny tlaku v zimním období

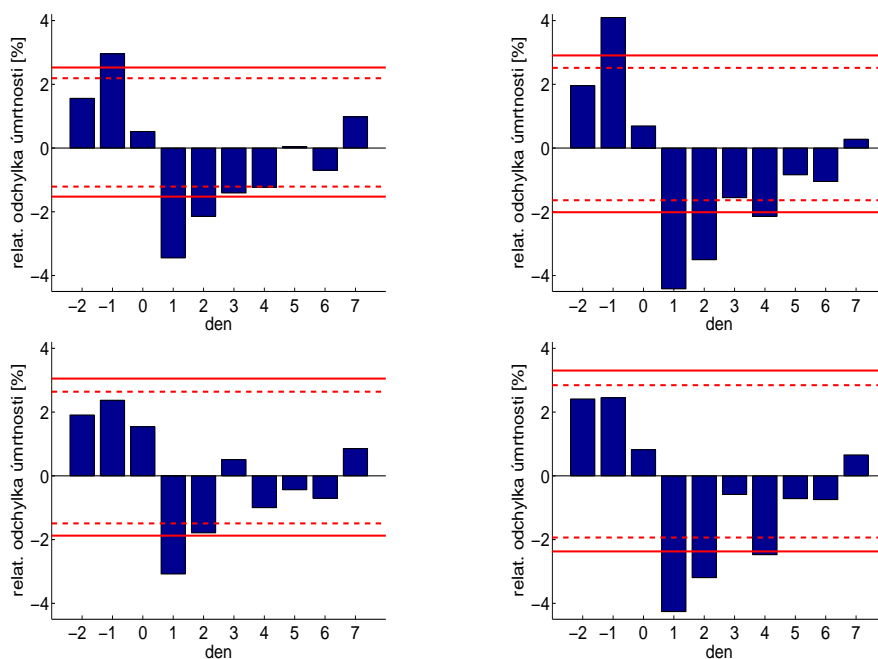
Pro dny v zimním období, ve kterých byly nalezeny velké kladné mezitermínové změny tlaku, nebyla nalezena výrazná odezva v celkové úmrtnosti. Snížení CVD úmrtnosti na 12hodinové škále v den D+1 (průměrně o 4 úmrtí od normálu) spadající do skupiny 70+ dokumentuje obrázek 20. Relativní odchylka je pro tento případ výraznější pro ženy než pro muže.



Obrázek 20: Průměrná relativní odchylka celkové úmrtnosti (nahore) a CVD úmrtnosti (dole) v období kolem výrazných kladných změn atm. tlaku v zimním období pro celkovou populaci (vlevo) a pro 70+ (vpravo) na škále 12 hodin. Plná čára vyznačuje 2,5% (resp. 97,5%) a čárkovaná 5% (resp. 95%) kvantil odchylek.

### 3.5 Kladné změny tlaku v letním období

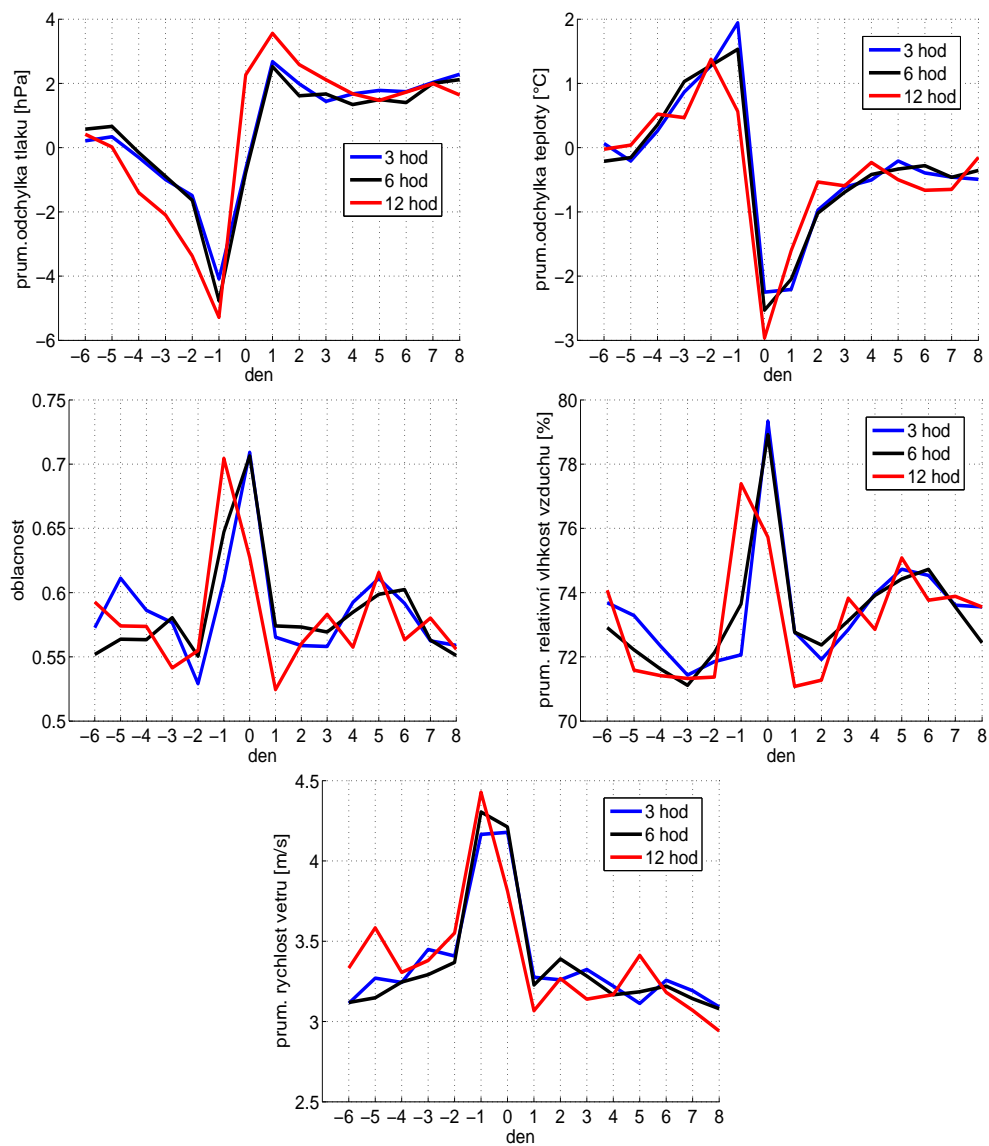
Pro 3- a 6hodinovou časovou škálu dochází po výrazných kladných změnách tlaku v letním období k podobnému průběhu odchylek úmrtnosti, a to stejně pro celkovou populaci i jen 70+. Ve dni D-1 je detekovaná průměrná celková úmrtnost významně zvýšená, v CVD úmrtnosti významné zvýšení patrné není. Po výrazné změně tlaku dochází v následujících 4 dnech k významnému snížení úmrtnosti celkové i CVD, nejvýznamnější snížení je ve dni D+1. Rozdíl průměrných relativních odchylek úmrtnosti ve dnech D-1 a D+1 je 6,4% pro celkovou populaci, respektive 8,5% pro 70+, čemuž odpovídá průměrně rozdíl 19,5, respektive 16 úmrtí.



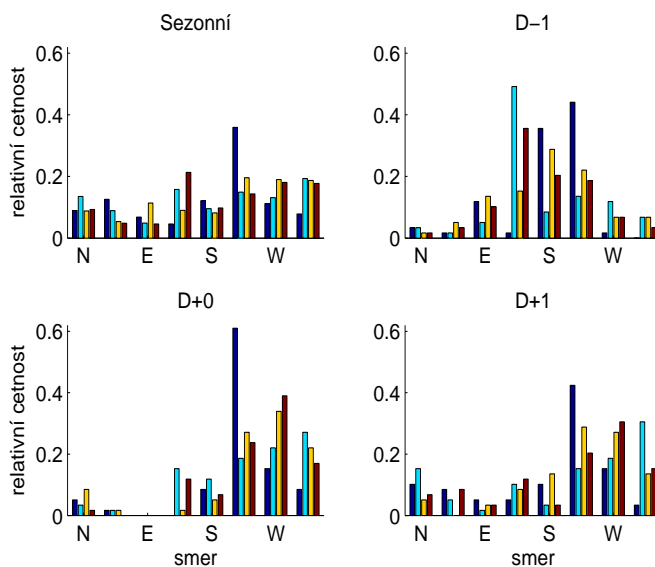
Obrázek 21: Průměrná relativní odchylka celkové úmrtnosti (nahore) a CVD úmrtnosti (dole) v období kolem výrazných letních kladných změn atmosférického tlaku pro celkovou populaci (vlevo) a pro 70+ (vpravo) na škále 6 hodin. Plná čára vyznačuje 2,5% (resp. 97,5%) a čárkovaná 5% (resp. 95%) kvantil odchylek.

Tyto průběhy odchylek úmrtnosti jsou vyneseny v obrázku 21. Pro změny tlaku v průběhu 12 hodin už není souvislost s úmrtností tak výrazná – pouze ve dni D+1 je úmrtnost nižší než vyznačený 2,5% kvantil. V CVD úmrtnosti se tento nalezený průběh odchylek také objevuje, avšak kratší dobu – významně snížená úmrtnost je jen první 2 dny po události. U žen dochází k poklesu rychleji, minimální úmrtnost je už ve dni D+1 a je výraznější než u mužů, u kterých k největší odchylka záporným směrem nastává až další dny.

Průběhy průměrných meteorologických prvků ve dnech kolem významného vzestupu atmosférického tlaku v letním období na obrázku 22 napovídají, že tento vzestup souvisí s počasím ve dni D−1, kdy tlak dosahuje výrazného minima. Po jeho následujícím prudkém vzestupu nastává několikadenní období vyššího tlaku. Průměrná teplota dosahuje svého maxima také v den D−1 a v den změny dochází k prudkému ochlazení (v průměru o 5 °C pro 12hodinovou škálu). Oblačnost je v těchto dvou dnech oproti sousedním dnům stejně jako rychlost větru zvýšená. Z histogramů směru větru na výše ležících stanicích na obrázku 23 je patrné, že v den D−1 převažuje proudění s jižní složkou, zatímco v den změny tlaku se složkou západní a zcela chybí proudění z východu.



Obrázek 22: Průběhy průměrů meteorologických prvků v období kolem významných kladných změn tlaku v letním období.



Obrázek 23: Četnosti směru větru na stanicích Churáňov, Lysá hora, Milešovka a Svratouch (pořadí barevných sloupců) ve dnech okolo významné kladné změny tlaku. Pro porovnání je vlevo nahoře vykreslen histogram směru větru pro celé letní období.

Tabulka 8: Výskyt atmosférických front nad Prahou v intervalu 24 hodin před vybranými termíny výrazných kladných změn tlaku na 6hodinové škále v letním období, v tabulce je vypsán počet jednotlivých případů.

celkem případů	59
detekována alespoň 1 atmosférická fronta	58
teplá následovaná studenou	26
studená	5
okluzní následovaná studenou	4
okluzní	18
teplá	5

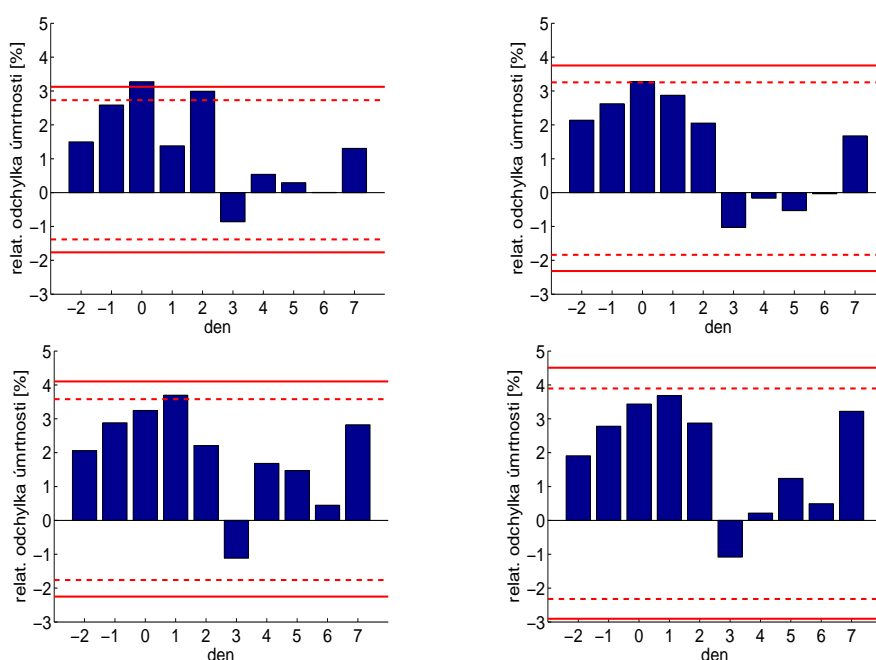
Pro 58 z 59 termínů vybraných na škále 6 hodin byl zaznamenán v předchozích 24 hodinách přechod alespoň jedné atmosférické fronty nad Prahou, vždy se jednalo o frontu střední nebo silné intenzity ze západního směru. V 60 % případů se jednalo o přechod studené fronty, z toho téměř ve třech čtvrtinách mu předcházel přechod teplé fronty, a v 31 % případů se jednalo o přechod okluzní fronty. Konkrétní čísla uvádí tabulka 8.



### 3.6 Výrazné změny tlaku v dubnu a říjnu

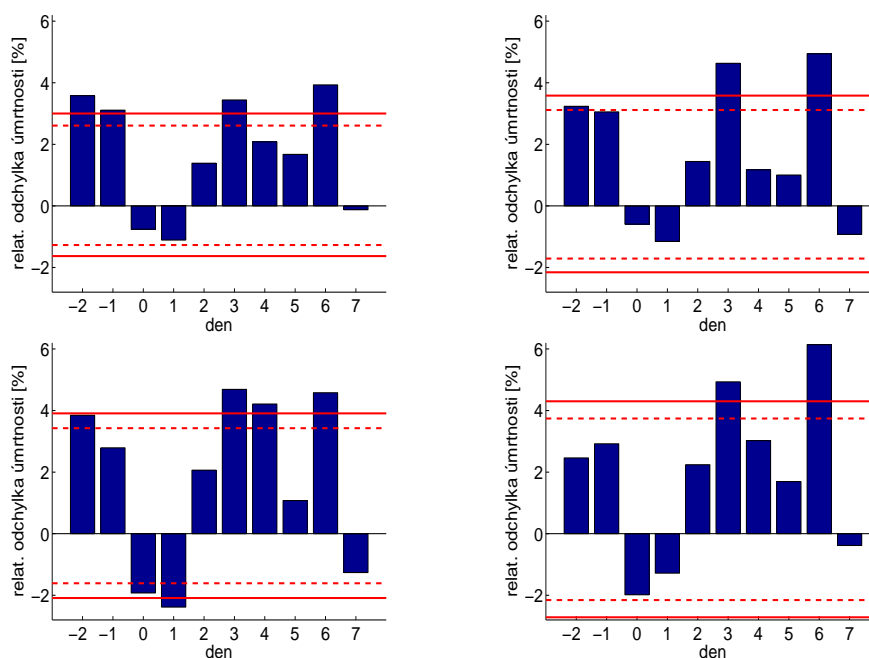
V dubnu a říjnu je jiné rozdělení velikostí změn tlaku než v zimních a letních měsících (viz část 3.1). Pro úplnost však byl v těchto dvou měsících vliv na úmrtnost také zkoumán, a to pro oba měsíce dohromady. Závislosti ale vzhledem k menšímu počtu vybraných případů (pro kladné, respektive záporné změny 29, respektive 26 případů) mají statisticky menší prokazatelnost.

Na obrázku 24 jsou vyneseny průběhy průměrných relativních odchylek úmrtnosti po výrazných záporných změnách tlaku. Celková úmrtnost je nejvyšší v den změny, úmrtnost na CVD ve dni D+1. Stejně jako ve zbylých částech roku vykazuje celková úmrtnost po významném poklesu tlaku v den D+0 zvýšení, nárůst oproti dnu před změnou tlaku však není výrazný, nemusí se tedy jednat o přímý důsledek změny tlaku.



Obrázek 24: Průměrná relativní odchylka celkové úmrtnosti (nahore) a CVD úmrtnosti (dole) v období kolem výrazných záporných změn atmosférického tlaku v dubnu a říjnu pro celkovou populaci (vlevo) a pro 70+ (vpravo) na škále 6 hodin. Plná čára vyznačuje 2,5% (resp. 97,5%) a čárkovaná 5% (resp. 95%) kvantil odchylek.

Po výrazných kladných změnách tlaku vykazuje úmrtnost pokles ve dni změny a v den D+1 oproti vysokým hodnotám v předcházejících dnech, v den D+3 je úmrtnost opět zvýšená. Je pravděpodobné, že se v těchto případech projevuje statistický šum, který například vede k výrazné nadnormálové úmrtnosti ve dni D+6.



Obrázek 25: Průměrná relativní odchylka celkové úmrtnosti (nahore) a CVD úmrtnosti (dole) v období kolem výrazných kladných změn atmosférického tlaku v dubnu a říjnu pro celkovou populaci (vlevo) a pro 70+ (vpravo) na škále 6 hodin. Plná čára vyznačuje 2,5% (resp. 97,5%) a čárkovaná 5% (resp. 95%) kvantil odchylek.

## Kapitola 4

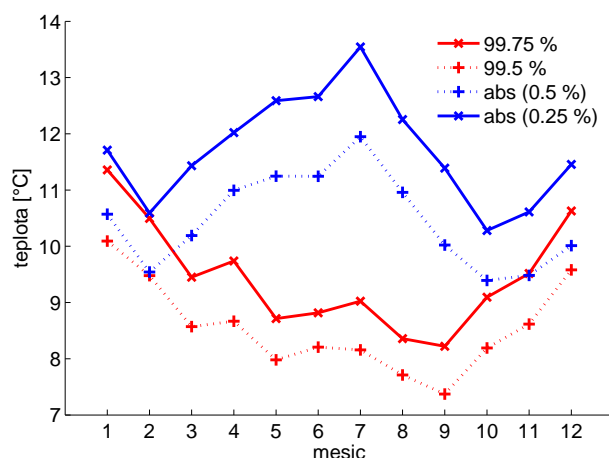
# Úmrtnost v období výrazných změn teploty vzduchu

Teplota vzduchu v dolní troposféře vykazuje vedle ročního chodu i výrazný denní chod. Zejména v letním období může díky silné sluneční radiaci teplota rychle vzrůst o mnoho stupňů, zejména v dopoledních hodinách. Dá se však předpokládat, že na denní chod teploty je lidský organismus adaptován. Odlišení výrazné změny teploty vzduchu od jejího denního chodu je v této práci vyřešeno omezením časových škál a ročních období, v rámci kterých se změny posuzují.

### 4.1 Výběr událostí s výraznou mezidenní změnou teploty

Mezidenní změny teploty, to znamená změny na škále 24 hodin, jsou považovány za očištěné od denního chodu teploty. Vzhledem k tomu, že teplota vykazuje výraznější roční chod než tlak, byla zkoumaná roční období seskupena odlišně než v předešlé části. Použito bylo klasické klimatologické dělení na 4 sezóny po třech měsících, které si jsou meteorologickými situacemi nejpodobnější. I v rámci těchto skupin mají jednotlivé měsíce na zkoumané škále 24 hodin jiné rozdělení velikostí teplotních změn, jak ukazuje obrázek 26, v kterém jsou vyneseny hodnoty vybraných kvantilů (zprůměrovaných přes 9 stanic) pro jednotlivé měsíce. Z obrázku 26 je patrné, že extrémní kladné a záporné změny mají rozdílný roční chod – mezidenní oteplení jsou výraznější v zimě (v lednu), zatímco ochlazení v létě (v srpnu). V srpnu je 0,25% kvantil záporné změny teploty v absolutní hodnotě o více než 3 °C větší než v únoru a říjnu. Tyto skutečnosti mají za následek, že vybrané události nemají rovnoměrné zastoupení v jednotlivých měsících.

Události s výraznými změnami teploty vzduchu byly vybírány podobným způsobem jako u změn tlaku, zvláště pro kladné a záporné změny a zvláště pro zimu (prosinec, leden, únor) a léto (červen, červenec, srpen). Konkrétní data vybraných situací byla určena jako termíny, kdy během klouzavě uvažovaného intervalu 24



Obrázek 26: Velikosti kvantilů rozdělení změn teploty vzduchu na škále 24 hodin pro jednotlivé měsíce.

hodin došlo alespoň na 50% stanic (to znamená alespoň 5 stanicích) ke kriticky velké změně. V případě, kdy dvě takto vybrané události byly v rozmezí menším než 24 hodin, byl vybrán pouze termín s větší průměrnou velikostí změny teploty.

Kriticky velká změna teploty byla stanovena zvlášť pro každou stanicí pomocí kvantilu rozdělení mezitermínových změn. Hodnota konkrétního kvantilu byla přizpůsobena tomu, aby výběry pro jednotlivé sezóny a kladné i záporné změny byly srovnatelně početné a dostatečně velké pro statistické zpracování. Konkrétní hodnoty použitých kvantilů jsou v tabulce 9, počty detekovaných případů a průměrné velikosti změn teploty pro vybrané události uvádí tabulka 10 a zastoupení jednotlivých měsíců v rámci použitých výběrů tabulka 11.

Tabulka 9: Hodnoty použitých percentilů rozdělení 24hodinových změn teploty (ve °C) pro jednotlivé stanice a sezóny.

percentil	zima		léto	
	0,6	99,2	0,5	99,7
Brno-Tuřany	-9,2	8,4	-11,3	7,8
Churáňov	-10,0	9,4	-12,4	8,6
Kostelní Myslová	-9,5	9,8	-11,8	8,2
Karlovy Vary	-9,7	8,8	-11,8	8,6
Liberec	-9,9	8,9	-11,8	9,3
Lysá hora	-10,1	8,7	-12,0	8,8
Ostrava-Mošnov	-10,6	9,8	-12,0	9,1
Praha-Ruzyně	-9,5	9,2	-11,5	8,3
Svratouch	-8,9	8,0	-12,1	8,4

Tabulka 10: Počet detekovaných událostí výrazných mezidenních změn teploty a průměrná velikost změny pro detekované události v období 1986–2005 (v °C).

percentil	zima		léto	
	0,6	99,2	0,5	99,7
počet případů	39	39	44	42
průměrná změna	-10,9	9,9	-13,2	8,5

Tabulka 11: Zastoupení jednotlivých měsíců ve výběrech událostí výrazných mezidenních změn teploty.

percentil	0,6	99,2		0,5	99,7
leden	15	12	červen	12	21
únor	13	12	červenec	20	13
prosinec	11	15	srpen	12	8

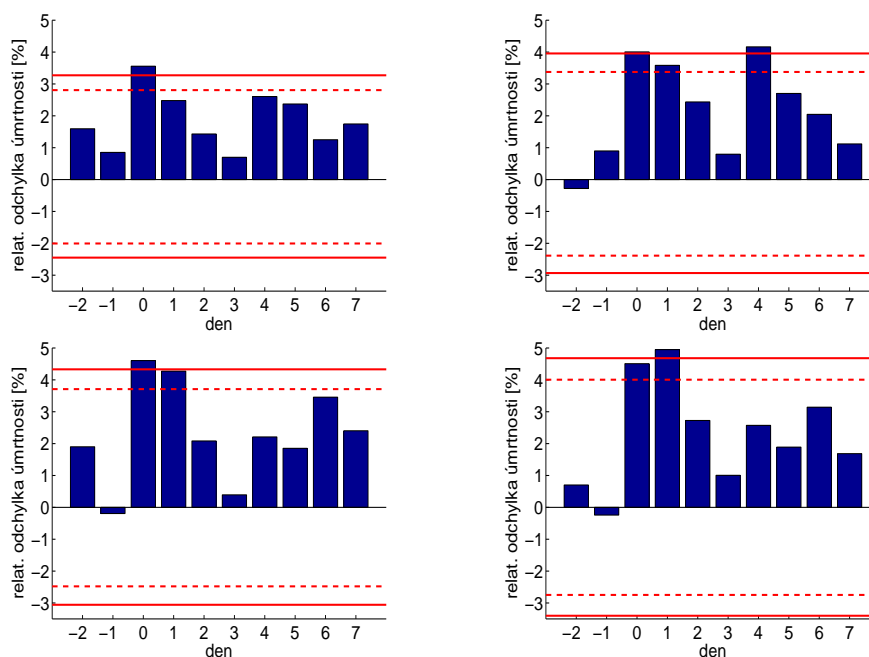
Analogicky jako v předcházející části byly takto vybrané události významných změn teploty porovnávány s úmrtností (celkovou, CVD, 70+, zvláště pro obě pohlaví) ve dnech D–2 až D+7 a vyneseny v grafech spolu s vybranými kvantily rozdělení průměrné relativní odchylky úmrtnosti.

## 4.2 Kladné mezidenní změny teploty v zimě

Dny s výraznou kladnou změnou teploty v zimě jsou, jak ukazuje obrázek 27, doprovázeny významně zvýšenou úmrtností oproti dnům předcházejícím vzestupu teploty, ve kterých je úmrtnost blízká očekávané. Nárůst úmrtnosti je výraznější pro 70+ a pro CVD. Rozdíl průměrných relativních odchylek CVD úmrtnosti mezi dny D–1 a D+0 je 4,8 %, čemuž odpovídá průměrný nárůst o 9 úmrtí, v rámci skupiny 70+ je rozdíl mezi dny D–1 a D+1 5,1 % (7 úmrtí).

Na obrázku 28 je zaznamenán průměrný pokles tlaku doprovázející výrazná zimní oteplení. Ačkoliv dopad na úmrtnost je podobný pro případy výrazných kladných změn teploty v zimě a záporných změn tlaku v zimním období, nejedná se o reakce na totožné povětrnostní podmínky, což vyplývá z porovnání obrázku 28 s obrázkem 15. Průměrný pokles tlaku ve vybraných událostech v části 3.2 je totiž přibližně dvojnásobný a je následován vzestupem teploty.

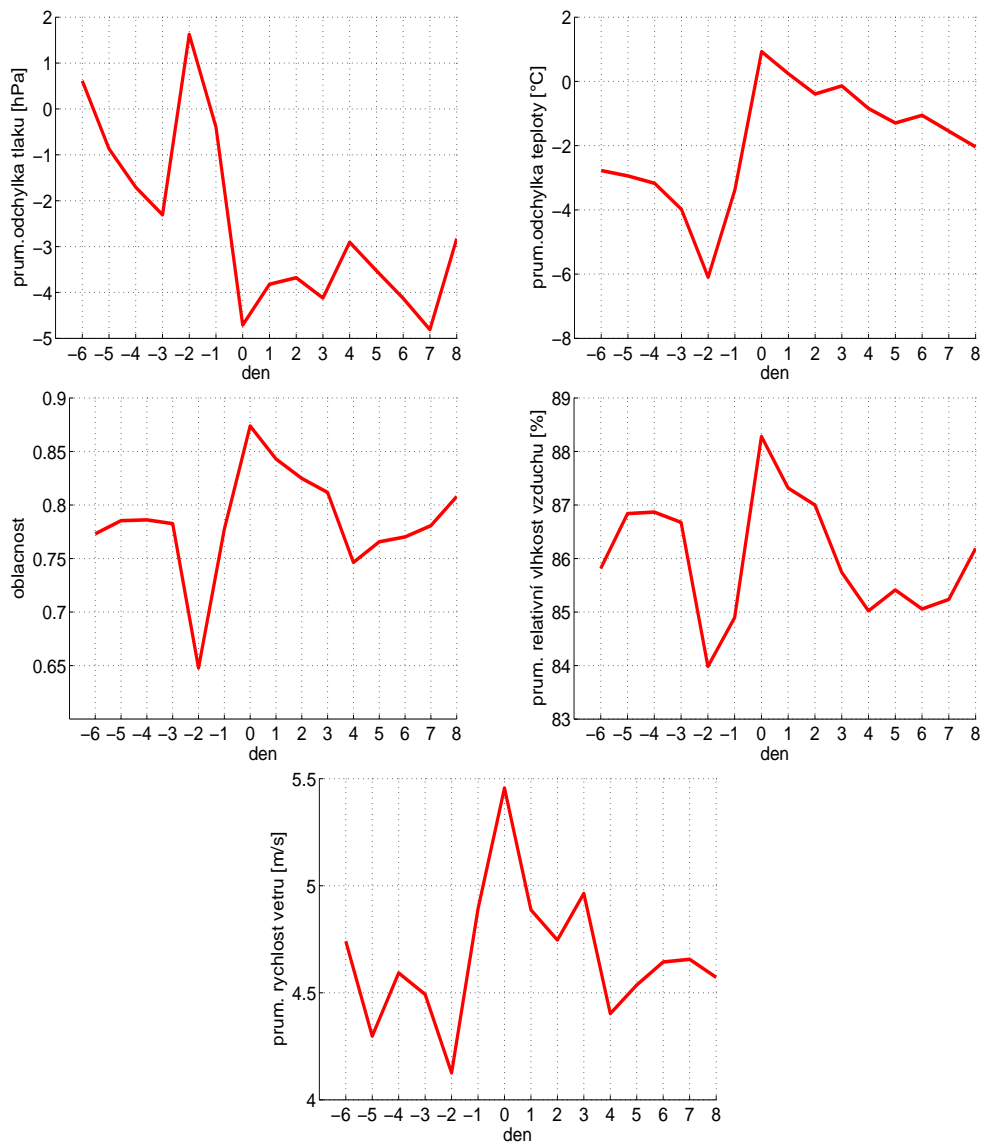
Z porovnání vybraných termínů s databází přechodů atmosférických front nad Prahou nevychází jejich typické uspořádání. Ve čtvrtině případů nebyl v předešlých 24 hodinách před změnou teploty popsán žádný přechod fronty. Přechody teplé fronty, teplé fronty následované studenou a okluzní fronty mají podobné početní zastoupení (četnosti uvádí tabulka 12).



Obrázek 27: Průměrná relativní odchylka celkové úmrtnosti (nahore) a CVD úmrtnosti (dole) v období kolem výrazných kladných změn teploty vzduchu v zimě pro celkovou populaci (vlevo) a pro 70+ (vpravo) na škále 24 hodin. Plná čára vyznačuje 2,5% (resp. 97,5%) a čárkovaná 5% (resp. 95%) kvantil odchylek.

Tabulka 12: Výskyt atmosférických front nad Prahou v intervalu 24 hodin před vybranými termíny výrazných kladných změn tlaku na 6hodinové škále v zimním období, v tabulce je vypsán počet jednotlivých případů.

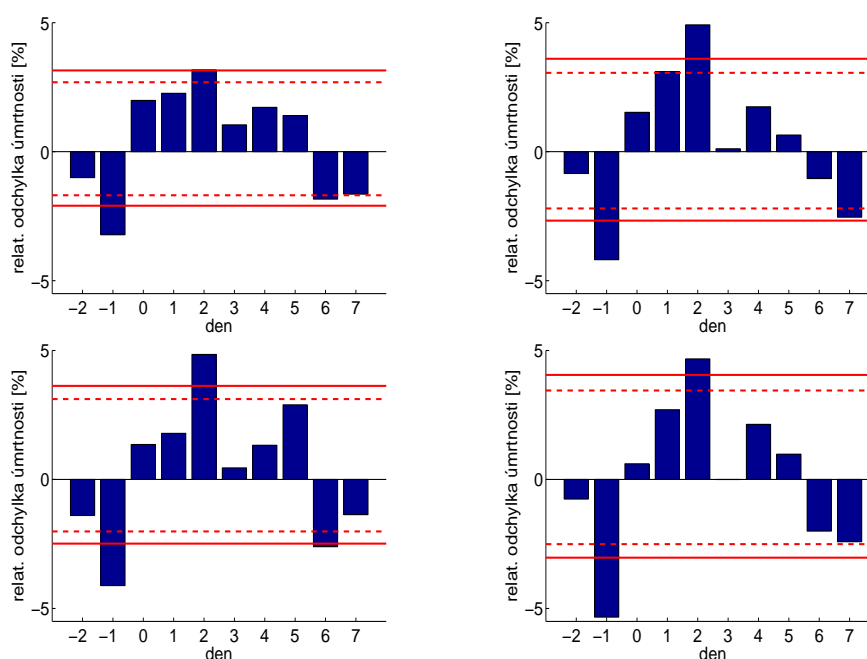
celkem případů	39
detekována alespoň 1 atmosférická fronta	30
okluzní	8
teplá	8
teplá následovaná studenou	7
studená	6
okluzní následovaná studenou	1



Obrázek 28: Průběhy průměrů meteorologických prvků v období kolem významných kladných změn teploty v zimě.

### 4.3 Kladné mezidenní změny teploty v létě

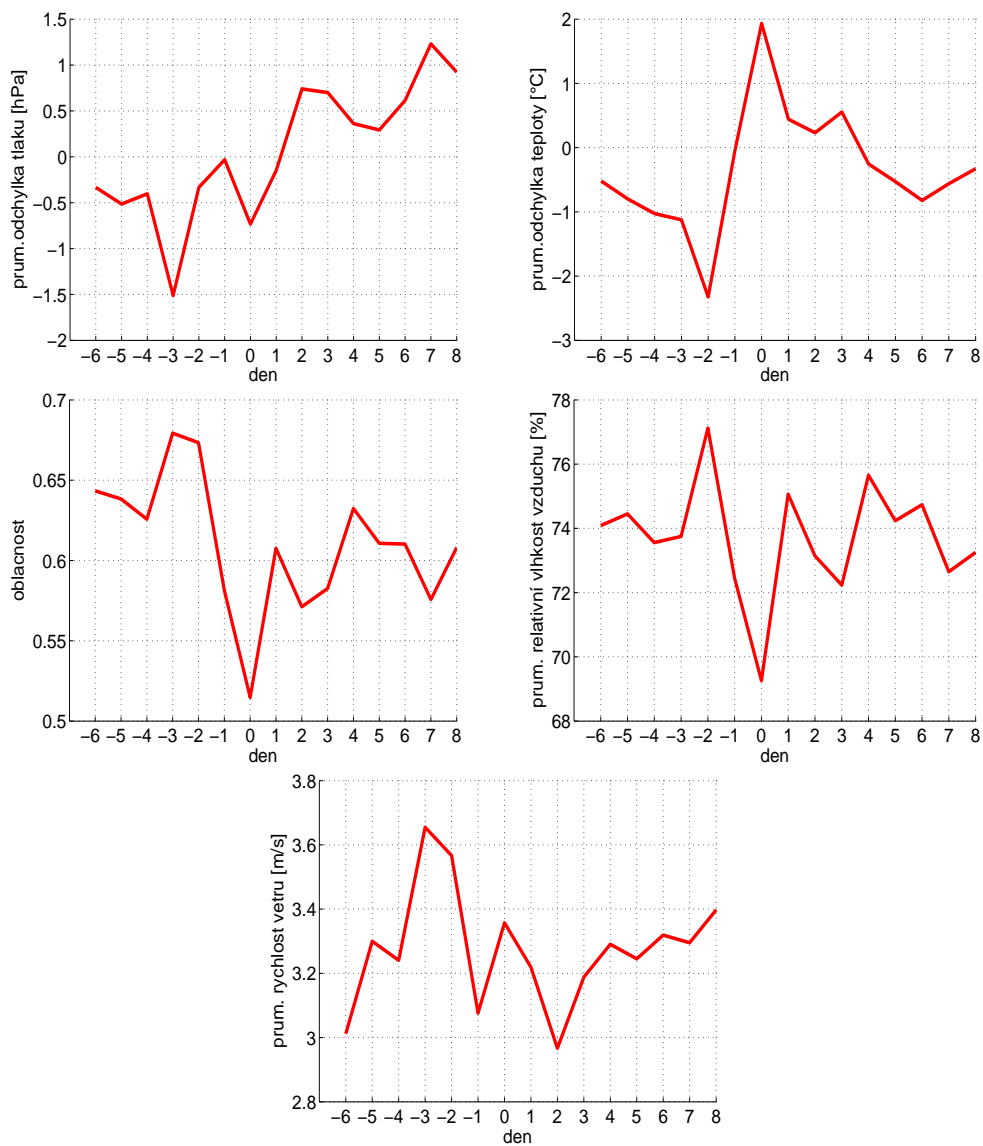
Z obrázku 29 vyplývá, že den D−1 předcházející výraznému oteplení v létě je typicky provázen významně nízkou úmrtností oproti očekávané. Ode dne změny teploty úmrtnost narůstá a průměrná relativní odchylka dosahuje maxima ve dni D+2. Pro celkovou úmrtnost odpovídá rozdíl mezi dnem D−1 a dnem D+2 relativní nárůst 6,3 %, po přepočtu na normálovou úmrtnost to znamená průměrný nárůst o 19 úmrtí. Citlivější částí populace je 70+, pro kterou relativní nárůst úmrtnosti mezi dnem D−1 a dnem D+2 činí 9,1 %, pro nemoci CVD dokonce 10 %, čemuž odpovídá zvýšení úmrtnosti o 17, respektive 12 úmrtí v rámci skupiny.



Obrázek 29: Průměrná relativní odchylka celkové úmrtnosti (nahore) a CVD úmrtnosti (dole) v období kolem výrazných kladných změn teploty vzduchu v létě pro celkovou populaci (vlevo) a pro 70+ (vpravo) na škále 24 hodin. Plná čára vyznačuje 2,5% (resp. 97,5%) a čárkovaná 5% (resp. 95%) kvantil odchylek.

Na obrázku 30 jsou vyneseny průměrné průběhy meteorologických prvků v období kolem vybraných vzestupů teploty. Mezi dny D−2 a D+0 dochází nejen k prudkému zvýšení teploty, ale i k poklesu oblačnosti a poklesu relativní vlhkosti, zatímco v průběhu průměrného tlaku není patrná významná tendence. Přechod atmosférické fronty byl v předchozích 24 hodinách detekován v 64 % termínů. Všechny tři typy front, popřípadě jejich kombinace, měly podobné zastoupení.

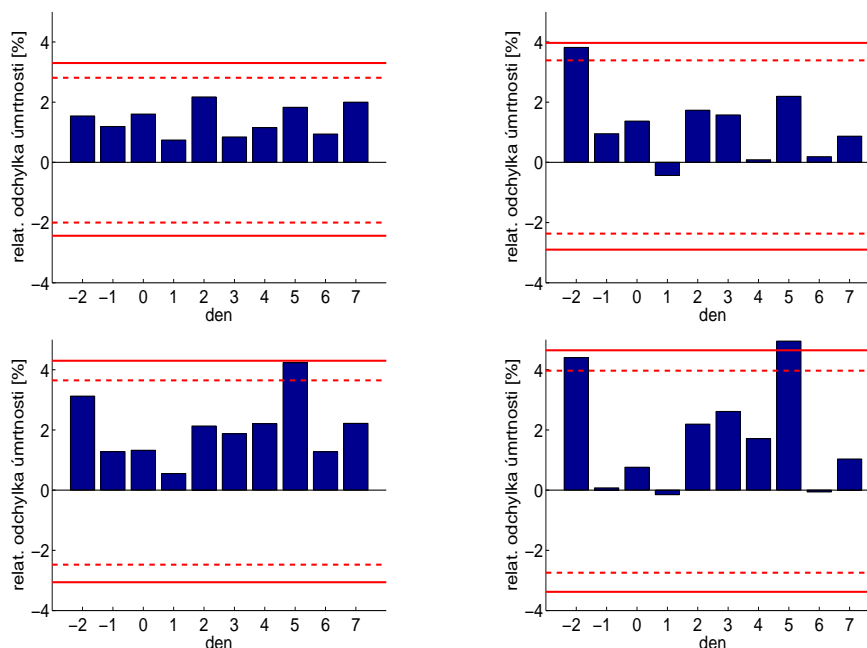




Obrázek 30: Průběhy průměrů meteorologických prvků v období kolem významných kladných změn teploty v létě.

## 4.4 Záporné mezidenní změny teploty v zimě

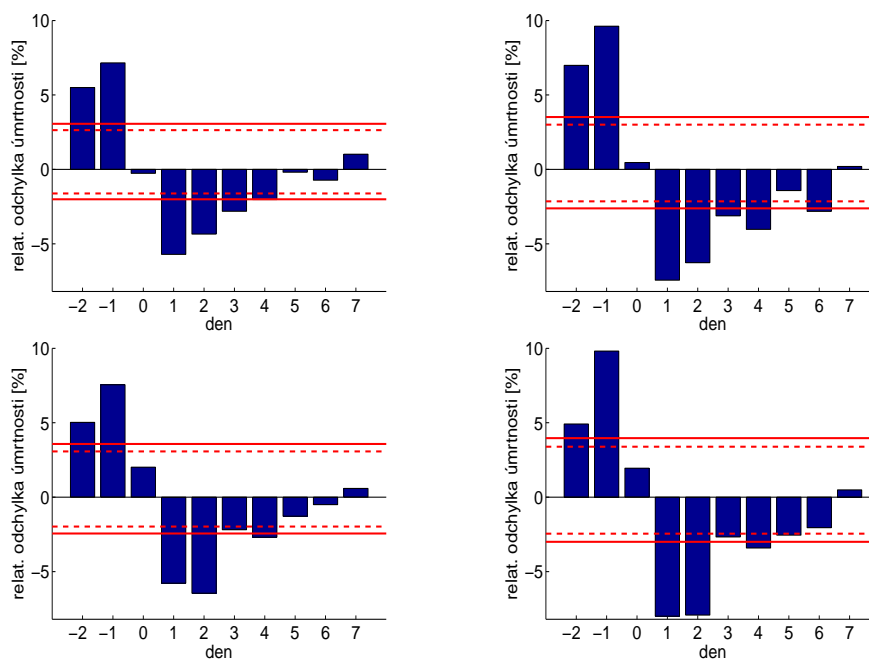
Výrazné poklesy teploty v zimě na škále 24 hodin se v celkové úmrtnosti významně neprojevují, jak je vidět na obrázku 31. Zvýšené úmrtnosti pro 70+ ve dni D-2 a pro CVD ve dni D+5 se nejspíše dají přičíst statistickému šumu. Detekované změny teploty pravděpodobně nejsou spojené s přechody front, protože ty byly popsány v předchozích 24 hodinách pouze v 7 termínech (v 18 % případů).



Obrázek 31: Průměrná relativní odchylka celkové úmrtnosti (nahore) a CVD úmrtnosti (dole) v období kolem výrazných záporných změn teploty vzduchu v zimě pro celkovou populaci (vlevo) a pro 70+ (vpravo) na škále 24 hodin. Plná čára vyznačuje 2,5% (resp. 97,5%) a čárkovaná 5% (resp. 95%) kvantil odchylek.

## 4.5 Záporné mezidenní změny teploty v létě

Ve dni D-1 před výrazným poklesem teploty v létě je detekovaná největší průměrná relativní odchylka úmrtnosti pro všechny zkoumané náhlé změny teploty i tlaku v této práci. Ve dnech před změnou teploty je úmrtnost významně vysoká, ve dni změny klesá na obvyklou úroveň (pro CVD zůstává mírně zvýšená) a v několika následujících dnech je úmrtnost významně snižena, jak je patrné z obrázku 32. Pro celkovou populaci je relativní pokles úmrtnosti mezi dny D-1 a D+1 12,9 %, což značí, že se po významném poklesu teploty sníží denní úmrtnost průměrně o 39 úmrtí oproti dni před změnou. Na pokles teploty jsou citlivější starší jedinci



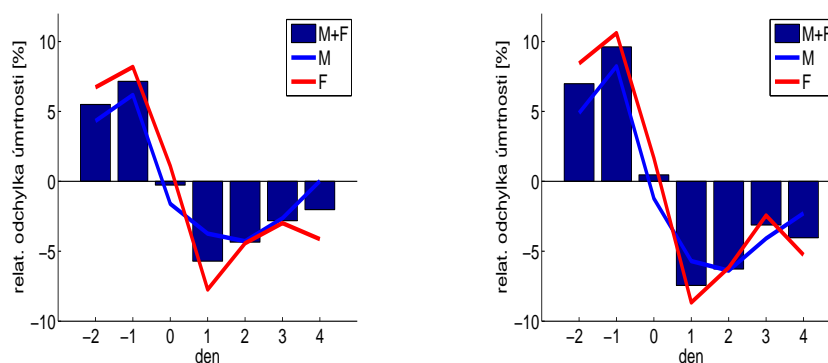
Obrázek 32: Průměrná relativní odchylka celkové úmrtnosti (nahore) a CVD úmrtnosti (dole) v období kolem výrazných záporných změn teploty vzduchu v létě pro celkovou populaci (vlevo) a pro 70+ (vpravo) na škále 24 hodin. Plná čára vyznačuje 2,5% (resp. 97,5%) a čárkovaná 5% (resp. 95%) kvantil odchylek.

(skupina 70+), pro které tento rozdíl činí 17%, čímž na ně připadá pokles o 32 úmrtí. Rozdíl průměrných relativních odchylek úmrtnosti na CVD není výrazně větší (konkrétně o 1%) než pro celkovou populaci a průměrné relativní odchylky úmrtnosti jsou obecně větší pro ženy než pro muže (obrázek 33).

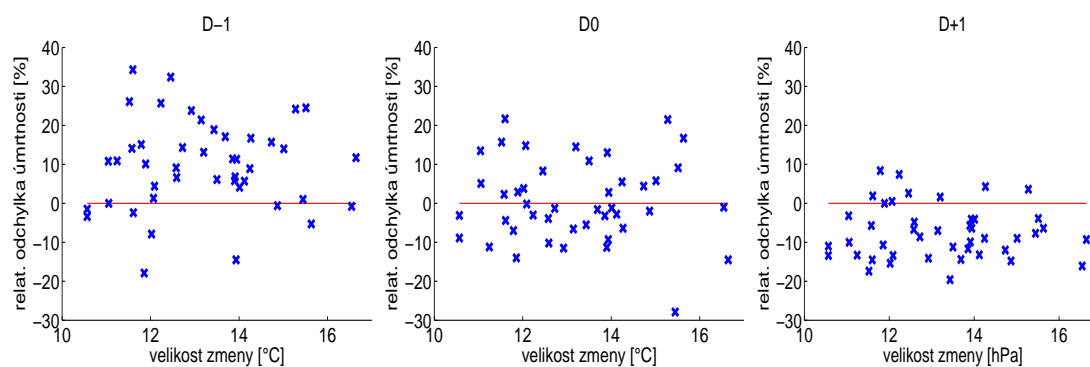
Na obrázku 34, na kterém je vykreslena relativní odchylka úmrtnosti v jednotlivých situacích (celkem 44) ve vztahu k průměrované velikosti změny teploty, není patrná jejich výrazná závislost.

Výrazné poklesy teploty v létě jsou provázeny vzestupem tlaku po jeho předchozím poklesu, nárůstem oblačnosti a relativní vlhkosti a zvýšenou rychlostí větru, jak je patrné z obrázku 35. V předcházejících 24 hodinách byl zaznamenán přechod fronty pouze ve 34% případů a téměř vždy se jednalo o přechod studené fronty.

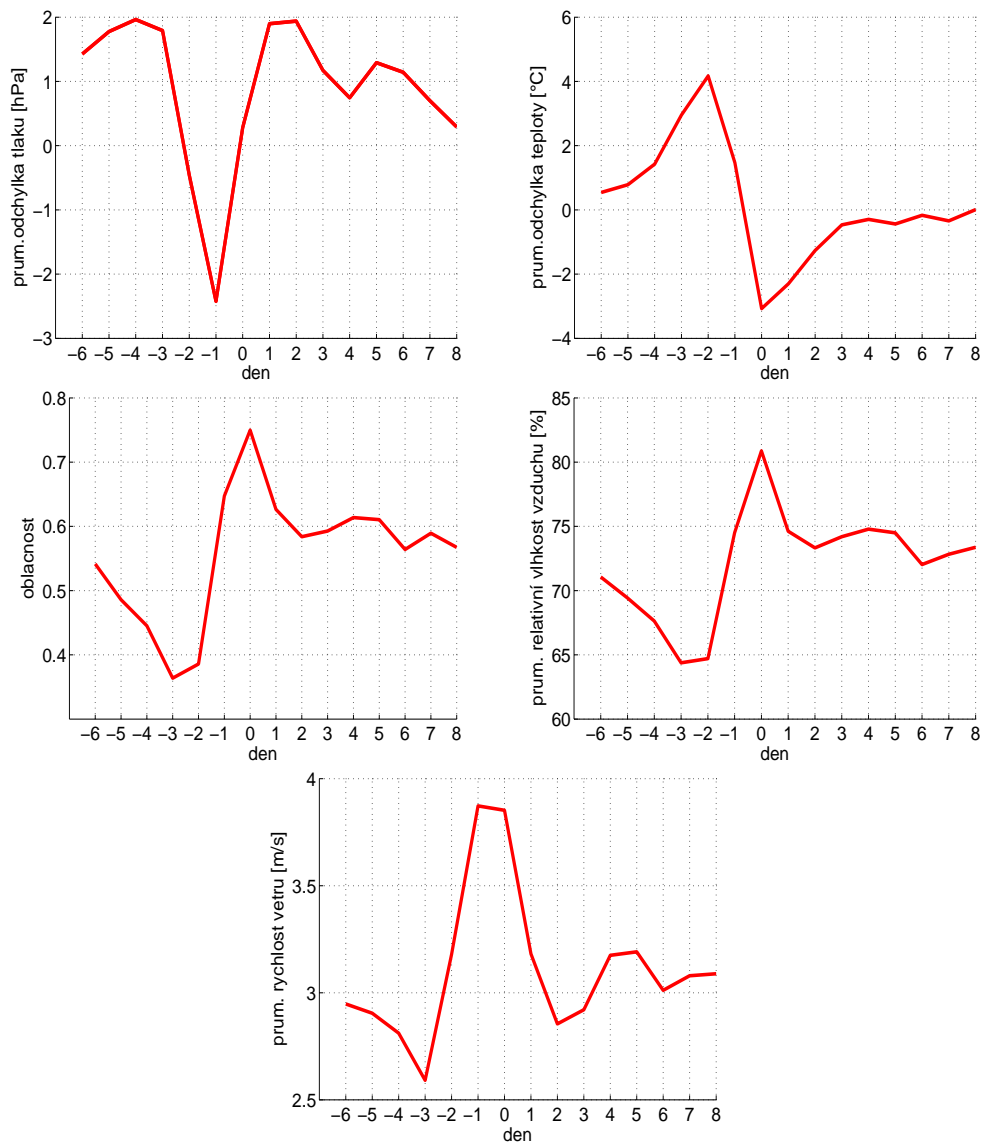
Nalezený průběh úmrtnosti se dá přičítat zvýšené úmrtnosti související se stresem z horka a jejímu následnému snížení v důsledku posunu úmrtnosti. Průměrná odchylka teploty od ročního chodu ve dni D-1 činí 4,2°C, zatímco ve dni D+0 -3,1°C.



Obrázek 33: Průběh průměrných relativních odchylek úmrtnosti zvlášť pro mužskou (M), ženskou (F) a celkovou populaci před a po velkém mezidenním poklesu teploty v létě. Vlevo pro celou populaci, vpravo pro 70+.



Obrázek 34: Závislost relativní odchylky úmrtnosti na velikosti poklesu teploty pro dny D-1, D+0 a D+1 v létě.



Obrázek 35: Průběhy průměrů meteorologických prvků v období kolem významných záporných změn teploty v létě.

# Kapitola 5

## Úmrtnost v období přechodů atmosférických front nad Prahou

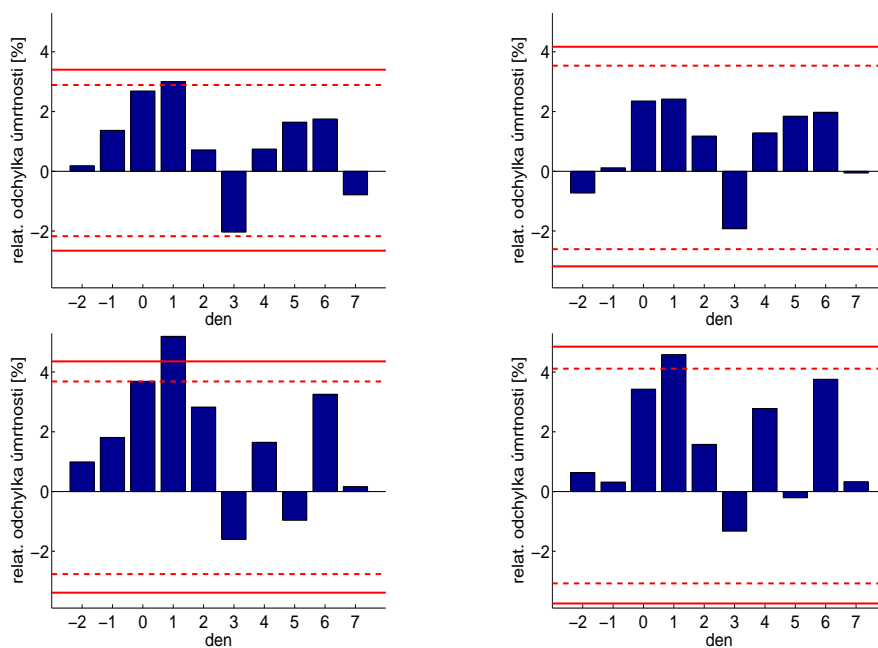
Jako významné události, pro které byla zpracovávána souvislost s lidskou úmrtností, byly vybrány pouze silné fronty (podle klasifikace ČHMÚ). V 86 % případů se jednalo o fronty ze směrů W, NW a SW. Průměrná relativní odchylka úmrtnosti v přilehlých dnech přechodu byla počítána zvlášť pro jednotlivá roční období (i klimatické sezóny) a typy front. V grafech je porovnána s kvantily rozdělení průměrných relativních odchylek úmrtnosti v dané roční době, vypočítanými postupem popsaným v části 3.1.

### 5.1 Atmosférické fronty v zimním období

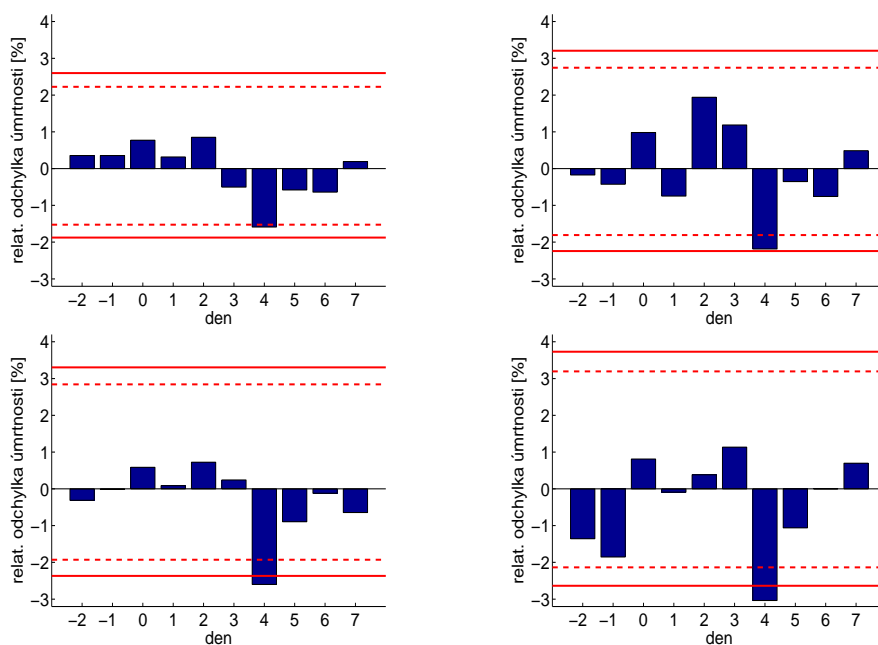
V zimním období (listopad až březen), respektive v zimní sezóně (prosinec až únor) se neprojevila žádná významná relativní odchylka v průměrné úmrtnosti po přechodech silných studených front (ve zkoumaném období 1986–2005 jich bylo popsáno 78, respektive 42).

Pro přechody 29 silných okluzních front v zimním období je celková úmrtnost a úmrtnost na CVD pro celkovou populaci i 70+ v den D+1 významně zvýšená (obrázek 36). Maximální odchylka úmrtnosti na kardiovaskulární nemoci je 5,2 %, čemuž odpovídá průměrné zvýšení o 6 úmrtí oproti normálu. Nárůst úmrtnosti je výraznější pro ženy než pro muže. Při omezení se jen na zimní sezónu (prosinec, leden a únor), ve které se vyskytlo celkem 24 silných okluzních front, dochází k významnému zvýšení relativní odchylky celkové úmrtnosti v celé populaci a CVD úmrtnosti celkové i 70+ už ve dni D+0.

Průběhy průměrných relativních odchylek úmrtnosti po přechodech silných teplých front v zimním období (popsáno 53 případů) jsou na obrázku 37. Za zmínku stojí pouze významný pokles úmrtnosti v den D+4, zejména pro CVD úmrtnost. Je pravděpodobné, že už se nejedná o důsledek přechodu teplé fronty, ale o statistický šum, popřípadě o reakci na typický následný průběh počasí.



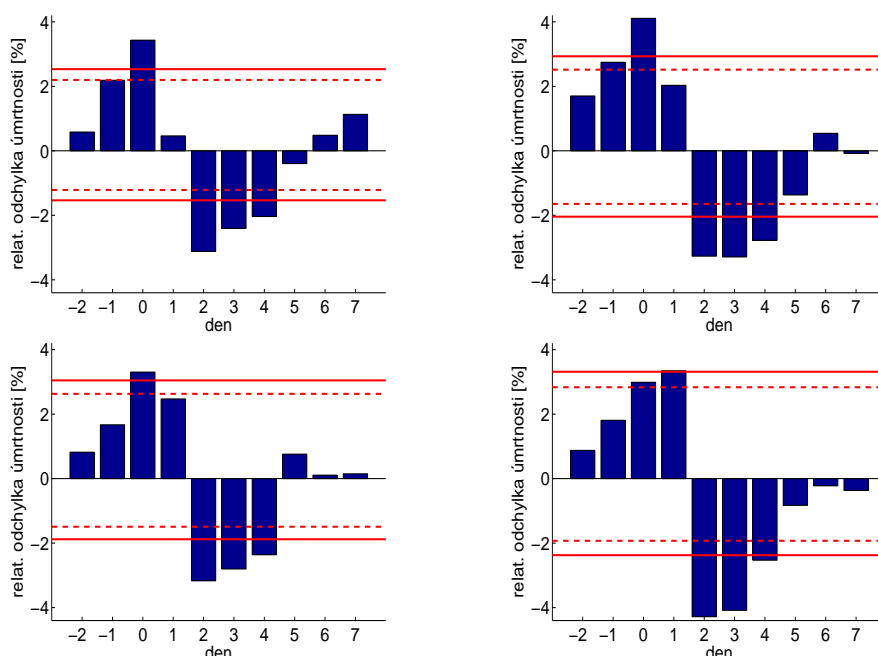
Obrázek 36: Průměrná relativní odchylka celkové úmrtnosti (nahore) a CVD úmrtnosti (dole) v období kolem přechodů silných okluzních front v zimním období pro celkovou populaci (vlevo) a pro 70+ (vpravo). Plná čára vyznačuje 2,5% (resp. 97,5%) a čárkovaná 5% (resp. 95%) kvantile odchylek.



Obrázek 37: Analogie obrázku 36 pro přechody silných teplých front.

## 5.2 Atmosférické fronty v letním období

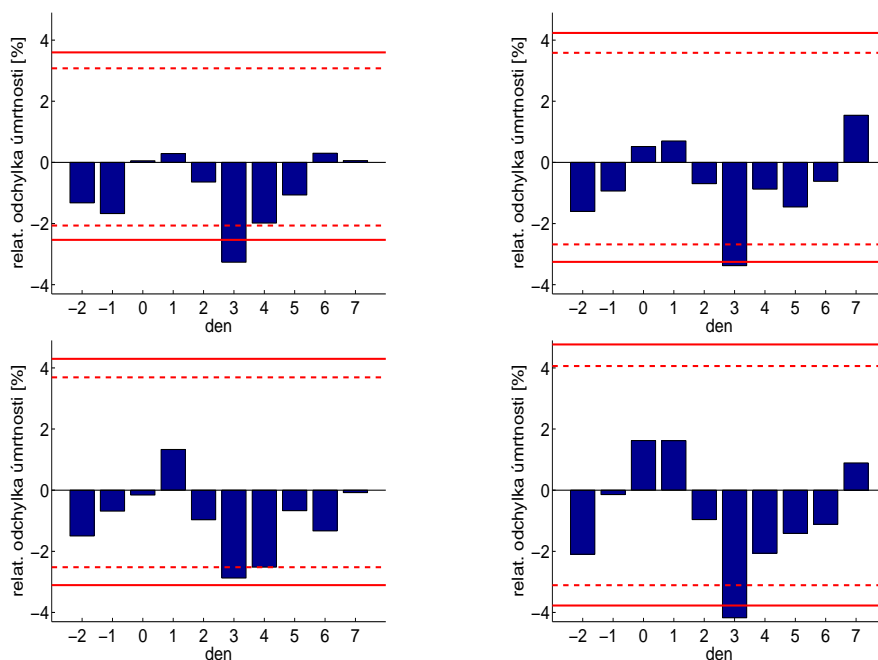
V letním období (květen až září) se v dopadu na úmrtnost nejvíce projevují přechody silných studených front, kterých bylo zaznamenáno celkem 59. Průměrná relativní odchylka celkové úmrtnosti i 70+ a úmrtnosti na CVD je v den přechodu studené fronty (pro 70+ i v den D-1) významně kladná, v následující den klesá a ve dnech D+2, D+3 a D+4 je významně záporná. Na obrázku 38 je zachycen velký rozdíl průměrných relativních odchylek úmrtnosti ve dnech D+1 a D+2 pro CVD úmrtnost ve skupině 70+, který dosahuje velikosti 7,6 %, čemuž odpovídá průměrný pokles o 9 případů úmrtí v této skupině. Pro celkovou populaci činí rozdíl ve dnech D+0 a D+2 6,5 %, čemuž odpovídá průměrný celkový pokles o 20 úmrtí. Silné studené fronty v létě často ukončují období s vysokými teplotami, tudíž se dá usuzovat, že nalezená snížení úmrtnosti představují posun úmrtnosti po zvýšeném počtu úmrtí v důsledku stresu z horka.



Obrázek 38: Průměrná relativní odchylka celkové úmrtnosti (nahore) a CVD úmrtnosti (dole) v období kolem přechodu silných studených front v letním období pro celkovou populaci (vlevo) a pro 70+ (vpravo). Plná čára vyznačuje 2,5% (resp. 97,5%) a čárkovaná 5% (resp. 95%) kvantil odchylek.



Pro přechody silných teplých front v letním období ani v letní sezóně nebyla nalezena žádná souvislost s úmrtností. Průběhy průměrných relativních odchylek úmrtnosti po přechodech silných okluzních front v letním období jsou vyneseny na obrázku 39, na kterém je v rámci všech zkoumaných skupin vidět významný pokles úmrtnosti ve dni D+3.



Obrázek 39: Průměrná relativní odchylka celkové úmrtnosti (nahore) a CVD úmrtnosti (dole) v období kolem silných přechodů okluzních front v letním období pro celkovou populaci (vlevo) a pro 70+ (vpravo). Plná čára vyznačuje 2,5% (resp. 97,5%) a čárkovaná 5% (resp. 95%) kvantil odchylek.

# Kapitola 6

## Diskuze

Shrnutí nalezených významných charakteristik úmrtnosti v období kolem náhlých změn teploty a tlaku vzduchu a přechodů atmosférických front je v tabulce 13.

Velikost dopadu na úmrtnost je závislá zejména na roční době a směru změny tlaku a teploty, popřípadě typu atmosférické fronty; závislost na rychlosti výrazné změny (zkoumána pouze pro tlak) je méně určující. Pro události změn tlaku vybrané na 3- a 6hodinové časové škále jsou odezvy úmrtnosti velmi podobné. Zřejmým důvodem je fakt, že na těchto škálách byly v naprosté většině případů vybírány totožné situace. Některé tyto změny už mohou být na časové škále 12 hodin hlazeny nemonotónností poklesu či vzestupu tlaku, neboť na této škále bylo vybráno obecně méně událostí. Vyjma záporných změn tlaku v zimním období byla pro vybrané události na 12hodinové škále odezva v úmrtnosti méně výrazná než pro časové škály 3 a 6 hodin. Výrazné změny tlaku jsou tedy detekované na všech časových škálách, některé další se silným dopadem na úmrtnost však ve výběru 12hodinových změn chybí.

*Výrazné záporné změny tlaku* jsou ve všech studovaných obdobích roku provázány nárůstem úmrtnosti. Zatímco v zimním období následuje po prudkém nárůstu několik dnů se zvýšenou úmrtností, v letním období je výrazné zvýšení v den změny následováno poklesem úmrtnosti v následujících dnech. K negativnímu dopadu na zdraví (konkrétně pro dětské astma) po rychlém poklesu tlaku dospěli i Hashimoto a kol. (2004).

Výrazné poklesy tlaku jsou v obou obdobích provázány ochlazením, v letním období je ochlazení výraznější a rychlejší. Z četností směru větru vyplývá, že den poklesu tlaku je typický silným prouděním zejména s jižní a jihozápadní složkou, zatímco v následující den převažuje proudění ze západního směru. Většina náhlých poklesů tlaku je tak nejspíše důsledkem přesunu tlakové níže nebo brázdy ze západu doprovázené velkou oblačností a nárůstem vlhkosti vzduchu.

*Výrazné kladné změny tlaku* mají rozdílné následky v průměrné odchylce úmrtnosti v závislosti na roční době – v zimním období není žádná výrazná souvislost nalezena, v letním období je vzestup tlaku významným mezníkem mezi zvýšenou úmrtností před změnou a sníženou úmrtností po změně tlaku.

Tabulka 13: Shrnutí nalezených významných charakteristik úmrtnosti v období kolem náhlých změn (poklesy  $-$ , vzestupy  $+$ ) teploty a tlaku vzduchu a přechodů atmosférických front (S – studená, O – okluzní). Největší dopad na úmrtnost je kvantifikován v posledním sloupci velikostí průměrné relativní odchylky úmrtnosti v daný den pro vyznačenou skupinu. Z – zimní a L – letní období, resp. u teploty zima a léto.

		průměrná relat. odchylka úmrtnosti v daný den [%]
<b>tlak</b>		
Z	$-$ vzestup úmrtnosti mezi dny $D-1$ a $D+0$	D-1: 0, 2; D+0: 3, 3 (TOT)
L	$-$ vzestup úmrtnosti ve dni $D+0$ následovaný poklesem v dalších dnech, pokles větší pro 70+	D-1: 0, 2; D+0: 3, 4; D+3: -1, 8 (TOT)
L	$+$ pokles ze zvýšené úmrtnosti ve dni $D-1$ na sníženou ve dni $D+1$ , zejména 70+	D-1: 4, 1; D+1: -4, 4 (70+)
<b>teplota</b>		
Z	$+$ vzestup úmrtnosti mezi dny $D-1$ a $D+0$ , nárůst větší pro CVD a 70+	D-1: -0, 2; D+0: 4, 6 (CVD)
L	$+$ vzestup ze snížené úmrtnosti ve dni $D-1$ na zvýšenou ve dni $D+2$ , relativní nárůst větší pro CVD a 70+	D-1: -4, 2; D+2: 4, 7 (CVD 70+)
L	$-$ výrazný pokles ze zvýšené úmrtnosti ve dni $D-1$ na sníženou ve dni $D+1$ , pokles větší pro 70+	D-1: 9, 6; D+1: -7, 4 (70+)
<b>atmosférické fronty</b>		
Z	O zvýšená úmrtnost ve dni $D+1$ , větší pro CVD	D+1: 5, 2 (CVD)
L	S pokles ze zvýšené úmrtnosti ve dni $D+0$ na sníženou ve dni $D+2$ , pokles větší pro 70+	D+0: 4, 1; D+2: -3, 3 (70+)

Výrazný vzestup tlaku v letním období zpravidla nastává následující den po poklesu tlaku, ochlazení a maximu rychlosti proudění. Více než čtvrtině případů výrazného zvýšení tlaku předchází jeho nezávisle detekovaný výrazný pokles. Kombinacím následných obousměrných změn tlaku napovídají nejen podobné průběhy meteorologických prvků ve dni záporné změny a v předešlý den kladné změny, ale i podobná souvislost s odchylkou úmrtnosti. K významnému zvýšení úmrtnosti dochází den před výrazným vzestupem tlaku, který je následován jeho významným poklesem. Tento průběh je analogický průběhu nalezenému po výrazných poklesech tlaku, pouze je časově posunutý a výraznější. Obecně lze usuzovat, že při poklesu tlaku v letním období je úmrtnost nadnormálová a během jeho vzestupu je úmrtnost oproti normálové snížena. Tento chod tlaku je nejčastěji způsoben přechodem tlakové níže nebo brázdy nízkého tlaku vzduchu.

V zimním období zřejmá korelace mezi výrazným poklesem a vzestupem tlaku nalezena nebyla, neboť ve zkoumaných dnech D-2 až D+7 kolem poklesu tlaku je průměrná odchylka úmrtnosti kladná, zatímco po vzestupu tlaku je mírně záporná. V pětině popsanych situací však předcházel vzestupu tlaku jeho dříve nalezený výrazný pokles. Je možné, že s následným vzestupem tlaku a s ním spojeným snížením úmrtnosti souvisí zmenšení relativní odchylky úmrtnosti ve dnech D+3 a D+4 po výrazných záporných změnách tlaku.

*Změna teploty vzduchu* nemohla být z důvodu problému s jejím výrazným denním chodem posuzována na stejných časových škálách jako tlak. Za náhlou změnu se proto v práci považuje velký mezidenní rozdíl, to znamená pokles nebo vzestup teploty za 24 hodin, u kterého se denní chod nemusí brát v úvahu. Pro případné další studie zabývající se změnami teploty na kratší časové škále bude nutné filtr na odstranění denního chodu teploty vyvinout.

V rámci práce byly zkoumány i výrazné změny teploty vzduchu za 1 hodinu v zimních měsících, u kterých se předpokládal denní chod zanedbatelný. Tato kapitola nakonec nebyla do práce zahrnuta, neboť po ochlazení žádný vliv na úmrtnost nalezen nebyl a po oteplení sice nárůst úmrtnosti detekovaný byl, ale většina nalezených případů nastala v poledních hodinách a výrazně byl preferován jejich výskyt v únoru ve srovnání s prosincem a lednem, což odporuje předpokladu neovlivnění denním chodem. Průměrné chody meteorologických prvků v těchto případech nasvědčovaly výraznému vlivu radiálního prohřívání povrchu, neboť se jednalo o období vysokého atmosférického tlaku charakteristická nízkou relativní vlhkostí, slabým prouděním a malým pokrytím oblohy oblačností.

*Výrazná mezidenní oteplení* v zimě i v létě jsou provázána zvýšením úmrtnosti. Zatímco v zimě je nárůst úmrtnosti rychlý – z hodnot blízkých očekávané úmrtnosti v den před změnou do maximální kladné odchylky v den změny teploty –, v létě probíhá nárůst mezi dnem před změnou, kdy je úmrtnost významně nízká, a druhým dnem po změně, kdy kladná odchylka úmrtnosti dosahuje maxima.

V zimě jsou tato oteplení spojena s poklesem tlaku – pětině detekovaných případů dokonce předcházela dříve nalezená výrazná záporná změna tlaku. V těchto situacích mohou odchylky úmrtnosti souviset s kombinací vlivů těchto změn. V několika případech bylo rozmezí mezi detekovaným výrazným poklesem tlaku a vzestupem teploty 3–5 dnů. Tento vzájemný posun výrazných změn by mohl vysvětlovat sekundární nárůst úmrtnosti ve dne D+5 po zimních poklesech tlaku. Obecně však situace výrazných vzestupů teploty a poklesů tlaku v zimě stejné nejsou, neboť během období výrazných kladných změn teploty nedochází v průměru k tak velké změně tlaku, a podobně situace výrazných poklesů tlaku jsou obecně provázány spíše poklesem teploty.

Velká letní mezidenní oteplení nejsou spojena s výraznou změnou tlaku. V den změny teploty nastává vůči okolním dnům maximum teploty a minimum oblačnosti a relativní vlhkosti. Dominantní roli tak pravděpodobně hrají radiální efekty a odchylky úmrtnosti souvisí pouze se změnou teploty, popřípadě její absolutní velikostí v okolních dnech změny. Je možné, že výrazná kladná změna teploty v létě

znamená její nárůst do extrémně vysokých hodnot, popřípadě počátek horkých vln, kdy se uplatňuje efekt zvýšení úmrtnosti v důsledku stresu z horka.

Zatímco *výrazný pokles teploty* v zimě se na průběhu úmrtnosti neprojevuje, v souvislosti s výraznými ochlazeními v létě je detekován vůbec největší dopad na lidskou úmrtnost nalezený v této práci. Mezi dny před změnou a po změně teploty klesá úmrtnost průměrně o 12,9 % z celkové normálové úmrtnosti, čemuž odpovídá průměrný pokles o 39 úmrtí na den. V těchto případech průměrně klesá průměrná denní teplota o 13,2 °C a tento pokles ukončuje období vysokých teplot s významně zvýšenou úmrtností. V následujících dnech po ochlazení se zřetelně projevuje pokles úmrtnosti, způsobený pravděpodobně efektem posunu úmrtnosti (například Huynen a kol., 2001; Le Tertre a kol., 2006; Kyselý, 2004). Lidský organismus v těchto případech nejspíše nereaguje na změnu teploty jako takovou, ale na ukončení období s vyššími teplotami.

Kyobutungi a kol. (2005) zjistili i pro mezidenní poklesy teploty nepatrně zvýšené riziko mozkových příhod. V jejich případě však byly zkoumány všechny mezidenní změny teploty větší než 5 °C bez ohledu na roční období, zatímco ve výběru této práce byly hodnoceny pouze změny extrémní.

*Zkoumání vlivu přechodů atmosférických front* na úmrtnost naráží na mnohé nedostatky. Intenzita fronty a čas přechodu jsou určeny subjektivní metodou a databáze přechodů je k dispozici pouze pro Prahu, zatímco úmrtnost se vztahuje na celé území ČR. Spolu s možným vývojem fronty a rychlostí jejího přesunu proto tyto údaje nemusí být reprezentativní pro většinu území.

Zjištěné souvislosti úmrtnosti a přechodů silných atmosférických front jsou obecně menší než po vybraných výrazných změnách teploty nebo tlaku, v některých případech jsou zcela zanedbatelné. Atmosférická fronta kombinuje změnu tlaku i teploty vzduchu, na úmrtnost má ale zřejmě větší vliv výrazná změna některého prvku jako taková. Nápadná je analogie v průběhu odchylek úmrtnosti v období kolem přechodu studené fronty v letním období a průběhu nalezenému po výrazných letních ochlazeních. Velikostně jsou však průměrné relativní odchylky v případě přechodu fronty menší a nastávají s časovým posunem, k poklesu úmrtnosti dochází až druhý den po přechodu fronty.

Z porovnání vybraných termínů změn teploty a tlaku vzduchu s přechody front nad Prahou nevychází pro žádnou vybranou skupinu událostí nějaký typický průběh detekovaných frontálních systémů. V mnoha případech změny tlaku a teploty nebyly doprovázeny žádným popsáním přechodem fronty, zejména výrazné změny teploty. Změny tlaku většinou přechody front doprovázeny byly, ale zastoupeny byly všechny typy front. Období výrazných poklesů teploty v létě má podobný průběh průměrných relativních odchylek úmrtnosti jako období přechodů studených front, přesto pouze v 30 % termínů poklesu tlaku byla studená fronta detekována. Obecně lze říci, že souvislost s úmrtností je lépe vystihnuta z náhlých změn tlaku a teploty než z popsání přechodů atmosférických front.

Citlivost na změny počasí se mění i s věkem. Výraznější průběh odchylek úmrtnosti v obdobích teplotních změn ve skupině 70+ souvisí s horší schopností

termoregulace a je v souladu s výsledky většiny prací týkajících se úmrtnosti v důsledku stresu z horka (například Smoyer a kol., 2000; Huynen a kol., 2001) nebo chladu (Hong a kol., 2003; Ballester a kol., 1997).

Jisté omezení práce lze spatřovat ve skutečnosti, že všechny případy náhlých změn v intervalu 0–24 hodin jsou uvažovány jako výchozí den D+0 (termín je ukončení výrazné změny, popřípadě největší změny) bez ohledu na to, zda ke změně došlo na počátku nebo ke konci dne. Zjemnění analýzy by proto bylo v budoucnu žádoucí, na druhou stranu data o úmrtnosti nejsou k dispozici v rozlišení vyšším než denním. Analýzu by šlo modifikovat například tak, že náhlé změny zjištěné ke konci daného dne by byly hodnoceny ve vazbě na úmrtnost během následujícího dne uvažovaného jako D+0.

Je zřejmé, že tato práce některé otázky otevírá. Ty se týkají jak dalšího studia vysvětlujících proměnných – u některých situací je rozhodující například teplota vzduchu samotná a rychlost změny hraje podružnou úlohu –, tak vlastní úmrtnosti, případně nemocnosti: jaké jsou projevy v dalších hlavních skupinách úmrtnosti, jaké fyziologické procesy hrají roli. Předmětem dalšího studia by mohly být odlišné reakce v mužské a ženské části populace, které souvisí s fyziologickými faktory nebo typickým chováním, a detailnější pohled na věkové skupiny.

# Kapitola 7

## Závěr

Tato práce je prvním ucelenějším pokusem o kvantifikaci souvislostí mezi náhlými změnami teploty a tlaku vzduchu s úmrtností na území České republiky. Použité dvacetileté řady jsou delší než u většiny biometeorologických prací zabývajících se vztahy mezi meteorologickými faktory a úmrtností, což umožnilo zkoumat relativně velké výběry událostí s náhlými změnami teploty a tlaku, respektive velké množiny přechodů výrazných atmosférických front. Z tohoto pohledu lze pokládat zjištěné výsledky za poměrně průkazné.

Významná souvislost mezi úmrtností v populaci České republiky a náhlými změnami atmosférického tlaku byla nalezena pro pokles tlaku v zimním období a pokles a vzestup tlaku v letním období. Na výrazné poklesy tlaku reagují citlivěji muži než ženy bez velkého vlivu věku. Významné snížení úmrtnosti nastává po výrazném vzestupu tlaku v letním období.

Vliv na lidskou úmrtnost má také náhlá změna teploty vzduchu. Ke zvýšení úmrtnosti dochází po výrazných mezidenních otepleních (v zimě i v létě) a k velkému snížení úmrtnosti dochází po výrazných letních ochlazeních. Na změny teploty je citlivá zejména starší část populace. Většina úmrtí po výrazných otepleních připadá na úmrtí na kardiovaskulární nemoci.

Po přechodech atmosférických front nedochází ve většině zkoumaných případů k výraznému dopadu na průběh úmrtnosti, pouze přechody studených front v létě jsou provázeny vysokou úmrtností a jejím následným snížením v dalších dnech.

Vytvořenou databázi situací s výraznými změnami tlaku a teploty vzduchu bude možné dále využít pro účely podrobnějšího rozboru souvislostí mezi meteorologickými faktory a úmrtností. Například se nabízí možnost zahrnutí indikátorových proměnných popisujících případy, kdy v daném dni došlo k velké změně vybraného prvku, do regresních nebo jiných modelových vztahů mezi meteorologickými prvky a úmrtností. Tyto modely by pak měly najít využití i v biometeorologické předpovědi.

# Literatura

- [1] Ballester F., Corella D., Perez-Hoyos S., Saez M., Hervas A. (1997), *Mortality as a function of temperature. A study in Valencia, Spain, 1991-1993*, Int. J. of Epidemiology, 26, s. 551–561
- [2] Dessai S. (2002), *Heat stress and mortality in Lisbon. Part I. model construction and validation*, Int. J. of Biometeorology, 47, s. 6–12
- [3] Garssen J., Harmsen C., de Beer J. (2005), *The effect of the summer 2003 heat wave on mortality in the Neederlands*, Euro Surveil, 10, s. 165–168
- [4] Hashimoto M., Fukuda T., Shimizu T., Watanabe S., Watanuki S., Eto Y., Urashima M. (2004), *Influence of climate factors on emrergency visits for childhood asthma attack*, Pediatr Int., 46, s. 48–52
- [5] Heudorf U., Meyer C. (2005), *Heat waves and health - Analysis of the mortality in Frankfurt, Germany, during the heat wave in august 2003*, Gesundheitswesen, 67, s. 369–374
- [6] Hong Y. C., Rha J. H., Lee J. T., Ha E. H., Kwon H. J. (2003), *Ischemic stroke associated with decrease in temperature*, Epidemiology, 14, s. 473–478
- [7] Huynen M. M. T. E., Martens P., Schram D., Weijenberg M. P., Kunst A. E. (2001), *The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population*, Environ. Healt Perspect, 119, s. 463–470
- [8] Katsouyanni K., Pantazopoulou A., Touloumi G., Tselepidaki I., Moustiris K., Asimakopoulos D., Pouloupoulou G., Trichopoulos D. (1993), *Evidence for interaction between air pollution and high temperature in the causation of excess mortality*, Arch. Environ. Health, 48, s. 235–242
- [9] Květoň V. (1991), *Weather fronts and acute myocardial infarction*, Int. J. of Biometeorology, 35, s. 10–17
- [10] Kyobutungi C., Grau A., Stieglbauer G., Becher H. (2005), *Absolute temperature changes and stroke risk: A case-crossover study*, European J. of Epidemiology, 20, s. 693–698



- 
- [11] Kyselý J. (2004), *Mortality and displaced mortality during heat waves in the Czech Republic*, Int. J. of Biometeorology, 49, s. 91–97
- [12] Kyselý J., Kříž B. (2003), *Vysoké letní teploty a úmrtnost v ČR v letech 1982–2000*, Epidemiol. Microbiol. Imunol., 52, s. 105–116
- [13] Kyselý J., Kříž B. (2008), *Decreased impacts of the 2003 heat waves on mortality in the Czech republic: an improved response?*, Int. J. of Biometeorology (přijato)
- [14] Le Tertre A., Lefranc A., Eilstein D a kol. (2006), *Impacts of the 2003 heatwave on all-cause mortality in 9 French cities*, Epidemiology, 17, s. 75–79
- [15] Pirard P., Vandentorren S., Pascal M., Laadi K., Le Tertre A., Cassadou S., Ledrans M. (2005), *Summary of the mortality impact assessment of the 2003 heat wave in France*, Euro Surveil, 10, s. 153–156
- [16] Pokorná L., Kyselý J. (2007), *Winter-time mortality in the Czech Republic in relation to weather*, In: 7th EMS Annual Meeting / 8th European Conference on Applications of Meteorology [CD-ROM], El Escorial, Španělsko
- [17] Smoyer K. E., Rainham D. G. C., Hewko J.N. (2000), *Heat-stress-related mortality in five cities in Southern Ontario: 1980–1996*, Int. J. of Biometeorology, 44, s. 190–197
- [18] Whitman S., Good G., Donoghue E. R., Benbow N., Shou W. Y., Mou S. X. (1997), *Mortality in Chicago attributed to the July 1995 heat wave*, Amer. J. Pub. Health, 87, s. 1515–1518