

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA**  
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ  
KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ



PŘECHODY FRONT PŘES PRAHU  
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VEDOUCÍ PRÁCE: ING. MARTIN VOKOUN  
BAKALANT: ELIŠKA OBDRŽÁLKOVÁ

2016

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Eliška Obdržálková

Vodní hospodářství

Název práce

**Přechody front přes Prahu**

Název anglicky

**Atmospheric frontal passages over Prague**

---

### Cíle práce

Popis atmosferických front přecházejících přes území hlavního města Prahy a jejich základních statistických ukazatelů.

### Metodika

Studentka popíše a statisticky zhodnotí přechody frontálních systémů přes území hlavního města Prahy. Jako podklad použije data ČHMU, která jsou uveřejňována na webových stránkách ústavu.

**Doporučený rozsah práce**

30

**Klíčová slova**

teplá fronta, studená fronta, tlakové útvary, synoptika, počasí

---

**Doporučené zdroje informací**

Databáze ČHMÚ: Přechody front přes Prahu

Fyzika oblaků a srážek / Daniela Řezáčová ... [et al.]. – Praha : Academia, 2007. – 576 s., 48 s. barev. obr. příl. : il. + DVD. – (Gerstner) ISBN 978-80-200-1505-1 (váz.)

---

**Předběžný termín obhajoby**

2015/16 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

Ing. Martin Vokoun

**Garantující pracoviště**

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

**Konzultant**

Mgr. Stanislav Racko, ČHMÚ

---

Elektronicky schváleno dne 12. 2. 2016

**prof. Ing. Pavel Pech, CSc.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 17. 2. 2016

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 05. 04. 2016

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, pod vedením Ing. Martina Vokouna a že jsem uvedla všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

V Praze 12. 4. 2016

.....

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala především svým příbuzným za trpělivost a lásku, s kterou mne podporovali během celého studia i psaní bakalářské práce. Dále bych velice ráda poděkovala Ing. Martinu Vokounovi za vedení práce, pozitivní a motivující přístup a poskytování užitečných rad. V neposlední řadě patří mé poděkování také konzultantovi Mgr. Stanislavu Rackovi za představení pracoviště prognózy v ČHMÚ.

## Abstrakt

Předložená bakalářská práce se zabývá statistikou přechodu atmosférických front přes meteorologickou stanici Praha – Ruzyně. První část práce, je věnována vysvětlení mechanismu tohoto atmosférického jevu včetně rešerše dosavadních poznatků o severoatlantické oscilaci, která by na přechod atmosférické fronty mohla mít vliv.

Cílem práce je však především zpracování základních statistických charakteristiky časových řad atmosférických front přecházejících přes Prahu v letech 1950 až 2015 s využitím různých statistických metod. Tomuto zpracování je věnována druhá část bakalářské práce.

Pozornost se zde zaměřuje především na aktualizaci statistického zpracování přechodu atmosférických front přes Prahu. Pro tyto účely byly využity záznamy o přechodu front od roku 1950 do roku 2015.

Aktualizovaná statistika byla porovnána se statistikou uváděnou Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ), která zahrnuje pouze atmosférické fronty z období 1950 až 1999.

Dále se bakalářská práce zabývá statistickým zpracováním přechodu atmosférických front přes Prahu v závislosti na směru, ze kterého přicházejí a hodnotě indexu severoatlantické oscilace (NAO).

Uvedené statistiky by mohly být využity k nahrazení již uvedených statistik ČHMÚ, dále mohou být použity jako podklad pro další zkoumání řešené problematiky.

Ke zpracování tabulek, liniových a sloupcových grafů byl použit program Microsoft Office Excel 2007. Růžicové grafy znázorňující poměr front v závislosti na směru odkud přicházejí, byly vytvořeny pomocí statistického programu R.

**Klíčová slova:** teplá fronta, studená fronta, tlakové útvary, synoptika, počasí

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with migration statistics atmospheric fronts over the meteorological station Praha - Ruzyně. The first part explains the mechanism of this atmospheric phenomenon, including the primary research about the North Atlantic Oscillation that could have an impact on the atmospheric front.

The aim of the thesis is processing of basic statistical characteristics of time series of atmospheric fronts crossing the Prague Area in the years 1950-2015, using different statistical methods. The conclusions can be found in the second part of the thesis.

The main focus is on updating the statistical processing of the transition of atmospheric fronts across Prague. For this purpose records from 1950 to 2015 were used.

The actual statistics were compared with the statistics reported by the Czech Hydrometeorological Institute, which includes only the atmospheric fronts from the period 1950 to 1999.

Furthermore, the thesis deals with statistical data of atmospheric transition front via Prague depending on the direction from which they come and the index value of the North Atlantic Oscillation (NAO).

These statistics could be used to replace the already mentioned statistics of Czech Hydrometeorological Institute and can be used as a basis for further exploration of this issue.

The Microsoft Office Excel 2007 was used to draw line and bar graphs. The Rosette graphs showing the relationship front, depending on the direction of where they come from were created using statistical program R.

**Keywords:** warm front, cold front, pressure formations, Synoptics, weather

## Obsah

Prohlášení .....	4
Poděkování .....	5
Abstrakt .....	6
Abstract .....	7
1 Úvod.....	9
2 Cíle práce .....	10
3 Literární rešerše .....	11
3.1 Cirkulace .....	11
3.1.1 Tlak vzduchu a tlakové útvary.....	13
3.1.2 Typy proudění.....	15
3.1.3 Vzduchové hmoty.....	16
3.2 Atmosférické fronty .....	18
3.2.1 Vznik front.....	18
3.2.2 Klasifikace atmosférických front.....	19
3.2.3 Teplá fronta.....	21
3.2.4 Studená fronta .....	22
3.2.5 Okluzní fronta .....	24
3.3 Severoatlantická oscilace (NAO) .....	26
4 Metodika .....	29
5 Výsledky .....	31
6 Diskuse.....	42
7 Závěr .....	44
8 Citovaná literatura.....	46
9 Seznam obrázků .....	48
10 Přílohy.....	50



# 1 Úvod

Na planetě Zemi se v důsledku slunečního záření, tvaru Země, její rotace a dalších faktorů vytvořila cirkulace atmosféry. Ta je jednou z hlavních příčin vzniku různých vzduchových hmot. Vzduchové hmoty označují rozsáhlé oblasti s různými fyzikálními vlastnostmi. Někdy nastane mezi sousedními vzduchovými hmotami, v horizontálním smyslu prudká změna vlastností, které jsou pro tyto hmoty specifické. V těchto případech se přechodová zóna označuje jako frontální plocha a její průsečnice s povrchem Země se do synoptických map zakresluje jako čára fronty. Za vhodných podmínek může ovšem vzniknout i fronta uvnitř jedné vzduchové hmoty. (Thompson, 1966)

Podle vlastností vzduchu před a za atmosférickou frontou rozlišujeme frontu teplou a studenou. Při jejich spojení pak vzniká fronta okluzní. Přechody těchto typů front přes stanici Praha – Ruzyně sleduje Český hydrometeorologický ústav od roku 1950. Na internetových stránkách této organizace jsou informace o četnostech front a statistické zpracování ze sledovaného období 1950 až 1999.

Jedním z faktorů ovlivňujících vznik front nad Českou republikou by mohl být index severoatlantické oscilace (NAO). V zimě má tato oscilace vliv na teplotní rozptyl téměř třetinový. Jelikož rozlišná teplota oblastí vzduchu je jedním ze základních předpokladů vzniku fronty, dá se zde očekávat souvislost vytváření front na NAO indexu.

## 2 Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je statistické zpracování přechodů atmosférických front přes Prahu. Na internetových stránkách ČHMÚ se již nachází statistické zpracování přechodů front přes Prahu z období od 1. ledna 1950 do 31. prosince 1999. V této práci budou tyto statistiky aktualizovány a doplněny. Nové statistické zpracování tedy pokryje období od 1. ledna 1950 do 31. prosince 2015. Následně bude zpracováno porovnání obou sledovaných období.

Dalším cílem práce je statisticky zpracovat přechod atmosférických front přes Prahu v závislosti na směru a hodnotách indexu severoatlantické oscilace (NAO). Pro vytvoření statistiky bude použito období od roku 1950 do roku 2015. Jelikož tato oscilace má největší vliv na počasí v České republice v zimním období, budou statistiky zpracovány také pro zimní měsíce (prosinec – únor) ze sledovaného období.

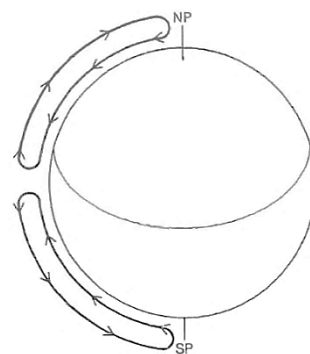
## 3 Literární rešerše

### 3.1 Cirkulace

Počasí naší planety vzniká na základě čtyř faktorů. První z nich, Slunce, nám dává světlo a udává stav atmosféry. Dále se na počasí podílí Země svojí geometrií. Třetím faktorem je samotné složení atmosféry, počasí v ní probíhá, ale zároveň závisí na tom, kolik světla bude atmosférou propuštěno k povrchu. Posledním faktorem je tvar zemského povrchu. Reliéf ovlivňuje, ale i šíří kolem Země změny atmosféry. Všechny tyto faktory spolu velice úzce souvisí a jejich projevy se prolínají. (Thompson, 1966)

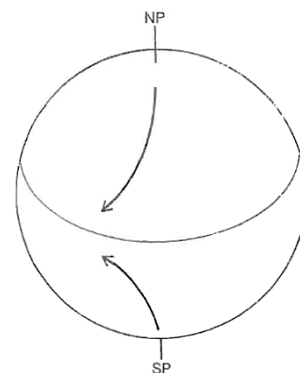
Cirkulace atmosféry souhrnně označuje systém proudění vzniklý na základě výše zmíněných faktorů. Podle měřítka v jakém systém proudění pozorujeme, můžeme cirkulaci atmosféry dělit. **Všeobecná** neboli planetární cirkulace se zabývá pohledem z největšího měřítka. Pohyb vzduchu v kontinentálním až v planetárním měřítku vyvolávají rozdílné podmínky na planetě, jako jsou rozdílné teploty, tlaky, různé typy povrchů (oceány, pevnina) a rotace Země. Příklady takového proudění jsou monzuny nebo pasáty. Zmenšením měřítka lze pozorovat cirkulaci v rozsahu **tlakových výší a níží**. Sem patří také frontální proudění. Při dalším zmenšení pozorovaných území lze hovořit o cirkulaci **místní**, která zahrnuje větry ovlivněné horami a údolími, brízy apod. (Kobzová, 1998).

Pro popis všeobecné cirkulace atmosféry je vhodné nejprve předpokládat zjednodušený model Země. Tedy planety, která nerotuje, je pokrytá souvislým stejným povrchem stejné nadmořské výšky. Na tomto modelu stále platí, že teplota směrem k pólům klesá a tlak stoupá. To způsobuje, že se studený vzduch z pólů, kde je vysoký tlak, začne pohybovat směrem k rovníku, do oblasti nízkého tlaku. Na rovníku se vzduch ohřeje a začne stoupat. Tímto vzniknou 2 hemisféry (viz. Obr. 1). Očekávané stáčení větru, pokud se model začne otáčet, znázorňuje Obr. 2. Je to způsobeno vznikem Coriolisovy síly, která odklání proudění na severní polokouli ve směru otáčení hodinových ručiček a na jižní polokouli proti směru jejich otáčení. Situace znázorněná na Obr. 2 nenastane, neboť Coriolisova síla se s přibývajícím



Obr. 1 Hemisféry nerotujícího zjednodušeného modelu Země (Moran, Morgan, 1989)

zeměpisnou šířkou zvětšuje a kinematická energie větru se v přízemní vrstvě v důsledku tření přeměňuje na teplo a rychlost proudění se snižuje. Tyto faktory mají za následek rozdělení proudění do tří zón na každé polokouli. Rovníková oblast, jak již bylo zmíněno, se nejvíce zahřívá a vzduch zde stoupá. Ve vyšších nadmořských výškách začíná vzduch přímočaře směřovat k pólu, jeho trajektorie je však Coriolisovou silou stáčena dokud není rovnoběžná s rovnoběžkami. Tato situace nastává již kolem 30° zeměpisné šířky. Nad touto oblastí



**Obr. 2** Stočení větru vlivem Coriolisovy síly (Moran, Morgan, 1989)

se zde vzduch začíná „hromadit“ a vzniká oblast vysokého tlaku. Tím jsou vyvolány sestupné proudy. Vzduch, který se takto dostal k zemskému povrchu, se rozděluje na dvě části. Jedna odtud putuje zpátky k rovníku a druhá směřuje k pólům. Avšak na pohybující se vzduch opět bude působit Coriolisova síla, která ho stáčí. Vzduch proudící od rovníku k 30. rovnoběžce se označuje jako antipasátový. Jakmile vzduch klesne k zemi a začne se vracet k rovníku, je nazýván pasátovým. Při pohledu na pasátové a antipasátové proudění, je zřejmá uzavřená tzv. pasátová cirkulace mezi nultou rovnoběžkou a třicátou rovnoběžkou. U 30. rovnoběžky se část vzduchu pohybuje směrem k pólu, kam ovšem ani tentokrát nedoputuje. Vlivem stáčení vzniká mezi 30° a 60° zeměpisné šířky další cirkulace tzv. oblast převládajícího západního proudění. Ta je však často narušována pohyby tlakových výší a níží. Na 60. rovnoběžce se tento vzduch setkává se vzduchem přicházejícím z oblasti vysokého tlaku na pólech, vzduch

je zde vynášen vzestupnými proudy a následně míří ve výšce zpět. V oblastech nad 60° zeměpisné šířky převládá východní proudění. Názvy převládajícího proudění a pohyb vzduchu znázorňuje Obr. 3. (Moran, Morgan, 1989; Kobzová, 1998)

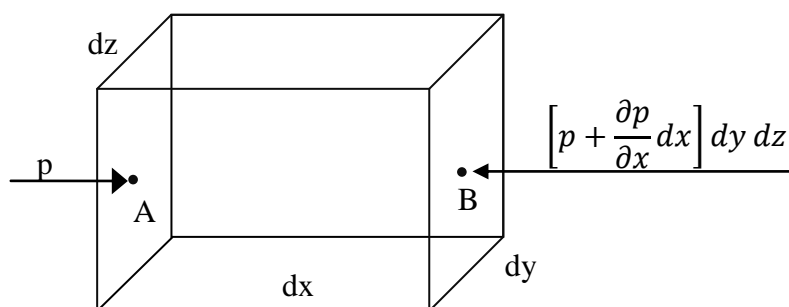


**Obr. 3** Všeobecná cirkulace atmosféry na otáčejícím se modelu Země (Kobzová, 1998)

### 3.1.1 Tlak vzduchu a tlakové útvary

Atmosférický tlak je definován jako hmotnost vzduchového sloupce působící na jednotkovou plochu. Oproti modelu používanému v předchozí kapitole panují na naší planetě rozličné geografické podmínky. Měřicí stanice jsou však v různých nadmořských výškách a porovnávání měřených hodnot by nebylo relevantní. Aby bylo snazší porovnávat tlak z různých míst pozorování, byl zaveden tzv. normální atmosférický tlak, který udává hodnotu 1013,25 hPa na mořské hladině. Dříve se používali pro tlak také jednotky bar (1 bar = 1 hPa) a torr (1 torr = 133,322 Pa).

Změnu tlaku mezi body A, B v rámci pomyslného kvádru jednotkové hmotnosti a hustoty  $\rho$  (A leží na levé boční straně a B leží na protější pravé straně) popisuje gradient  $b$ . Pokud je v bodě A tlak  $p$  a v bodě B  $\left[ p + \frac{\partial p}{\partial x} dx \right] dy dz$  (viz. Obr. 4), pak rovnice (1) udává hodnotu gradientu ve směru osy  $x$  (pro osy  $y, z$  lze rovnicí určit analogicky).



Obr. 4 Znárodnění změny tlaku

$$b_x = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (1)$$

Aby zůstala zachovaná hydrostatická (resp. aerostatická) rovnováha, musí být vertikální složka gradientu rovna síle zemské tíže, tedy  $b_z = g$ . Tím získáme základní rovnici statiky atmosféry (2).

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -g\rho \quad (2)$$

Hustota se z rovnice odstraní dosazením stavové rovnice plynu (3), kde  $R$  je měrná plynová konstanta a  $T$  je teplota v kelvinech. Tím se získá tzv. barometrická formule (4).

$$\frac{p}{\rho} = RT \quad (3)$$

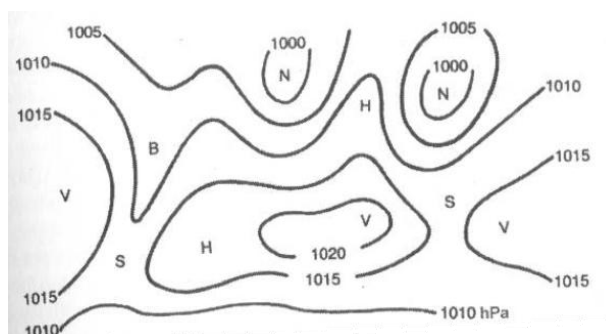
$$\frac{dp}{p} = -\frac{g}{RT} dz \quad (4)$$

Integrací rovnice (4) pro okrajové podmínky  $p_1, z_1$  a  $p_2, z_2$  (tlak vzduchu a nadmořská výška ve které byl měřen) získáme přepočtení pro tlak v různých místech. V barometrické formuli je teplota, která závisí na výšce, proto je v rovnici pro přepočtení tlaku použita teplota odpovídající průměru z obou míst. Tento tvar je uveden v rovnici (5).

$$p_2 = p_1 \cdot \exp\left[-\frac{g}{RT}(z_2 - z_1)\right] \quad (5)$$

Měrná plynová konstanta je závislá na vlhkosti, proto se ve výpočtu tlaku nahrazuje teplota tzv. virtuální teplotou  $T_v = T(1 + 0,606 \cdot s)$ , kde  $s$  značí měrnou vlhkost. (Bednář, 2003)

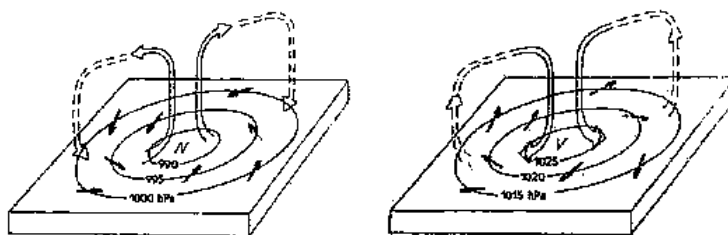
Pokud spojíme místa se stejným tlakem pomyslnou křivkou, vzniknou tzv. izobary. Jsou-li izobary uzavřené, říkáme, že se jedná o tlakovou níž (N) nebo výš (V). Pokud izobary uzavřené nejsou, mluvíme o hřebenech vysokého tlaku (H) nebo brázdě nízkého tlaku (B).



Obr. 5 Tlakové útvary (Kobzová, 1998)

nebo brázdě nízkého tlaku (B). Obr. 5 znázorňuje náčrtek izobar zmíněných tlakových útvarů a tlakového sedla (S). **Tlaková níže** neboli cyklóna se vyznačuje vznikem velké oblačnosti, ze které vypadávají srážky. Je to důsledkem vzestupných proudů. Rychlost postupu tlakové níže bývá většinou kolem  $40\text{-}50 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$ ,

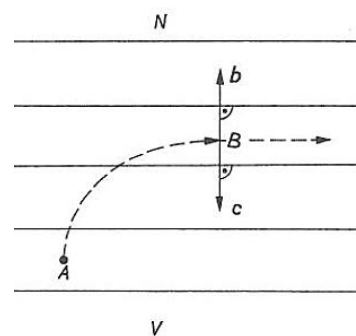
což odpovídá přibližně 1.000 km za den. **Tlakové výše** (anticyklóna) se naopak vyznačují protrháváním oblačnosti v důsledku sestupných pohybů vzduchu. Obloha je zde jasná, případně s malou oblačností. To může mít za následek vznik mlh, ze kterých se může vyvinout nízká oblačnost s případným mrholením (zejména na podzim). Tlakové výše oproti nížím se příliš nepohybují. Většinou bývají 2-3 dny nad jedním územím, které bývá větší než území pokryté tlakovou níží. Obr. 6 Znárodnuje proudění v rámci tlakové níže a výše v mezní vrstvě atmosféry. (Kobzová, 1998; Bednář, 2003)



Obr. 6 Proudění v tlakové níži a výši (Kobzová, 1998)

### 3.1.2 Typy proudění

Proudění vzduchu se snaží vyrovnávat tlakové rozdíly, a proto vzduchové částice proudí z oblastí s vysokým tlakem do oblastí s tlakem nižším. Pokud by na částice nepůsobily žádné další síly, byla by jejich trajektorie kolmá na izobary. Na částice však působí ještě Coriolisova síla, která částici stáčí. Velikost této síly je závislá na zeměpisné šířce i na rychlosti pohybu částice a vůči směru pohybu je kolmá. Začne-li se z bodu A pohybovat vzduchová částice, pak její počáteční směr bude kolmý na izobary. Hned po začátku se začne uplatňovat Coriolisova síla, která se postupně zvětšuje, dokud nedojde do rovnováhy se silou tlakového gradientu. To znamená, dokud tyto dvě síly nemají stejnou velikost a nejsou opačného směru (bod B na Obr. 7). Takto popsané proudění se označuje jako geostrofické. Vzorec Coriolisovy síly znázorňuje rovnice (6), kde  $m$  značí hmotnost,  $v$  relativní rychlost,  $\Omega$  úhlovou rychlost a  $\theta$  je úhel svíraný okamžitou rychlostí a zemskou osou. (Pechala, Bednář, 1991; Obdržálek, 2011)



Obr. 7 Vznik geostrofického proudění (Pechala, Bednář, 1991)

$$F_{Cor} = 2mv\Omega\sin\theta \quad (6)$$

Proudění větru se snaží uvedenou rovnost zachovávat, a proto jeho směr kopíruje izobary. Toto popisuje Buys-Ballotovo pravidlo, které říká, že pokud se pozorovatel postaví tak, aby se mu vítr „opíral“ do zad, bude mít po pravé ruce tlakovou výši a po levé tlakovou níži. Z toho plyne, že v tlakových výších bude proudění mít směr ve smyslu otáčení hodinových ručiček (tzv. zápornou cyklonální křivost) a v tlakových nížích proti smyslu otáčení hodinových ručiček (tzv. kladnou cyklonální křivost). (Bednář, Zikmunda, 1985)

Geostrofický vítr je jen aproximací reálného proudění. Je zde totiž zanedbáno několik faktorů. Prvním z nich je časová změna v poli atmosférického tlaku. Dále se toto proudění zabývá pouze horizontálním pohybem a vertikální pohyby neuvažuje. Posledním předpokladem atmosférického tlakového pole jsou vzájemně rovnoběžné, přímkové izobary. Tedy tečné a normálové složky zrychlení pohybu jsou zanedbány. To vše způsobuje odlišnost geostrofického a skutečného proudění. Jejich vektorový rozdíl se označuje jako tzv. ageostrofické proudění. (Kopáček, Bednář, 2005)

Skutečnému proudění se více přibližuje gradientové proudění. To, na rozdíl od geostrofického proudění, předpokládá nenulové normálové zrychlení. Tečná složka zrychlení zůstává i zde nulová. Nemění se ani to, že síla gradientu a Coriolisova jsou v jedné přímce a mají opačný směr. Uvedené síly nejsou však již v rovnováze, té je dosaženo až po doplnění odstředivé síly. (Kopáček, Bednář, 2005)

### **3.1.3 Vzduchové hmoty**

Podíváme-li se na vlastnosti vzduchu ve velkém prostorovém měřítku, zjistíme, že se pod vlivem radiačních, cirkulačních a geografických podmínek zformovalo a stále formuje několik vzduchových hmot velkého objemu, jejichž vertikální rozměr je alespoň několik kilometrů a horizontálně mají lineární rozměr v řádech tisíců až desetitisíců kilometrů. Tyto vzduchové hmoty mají rozličné vlastnosti co do teploty a vlhkosti, tak i průzračnosti či zakalení a dalších parametrů.

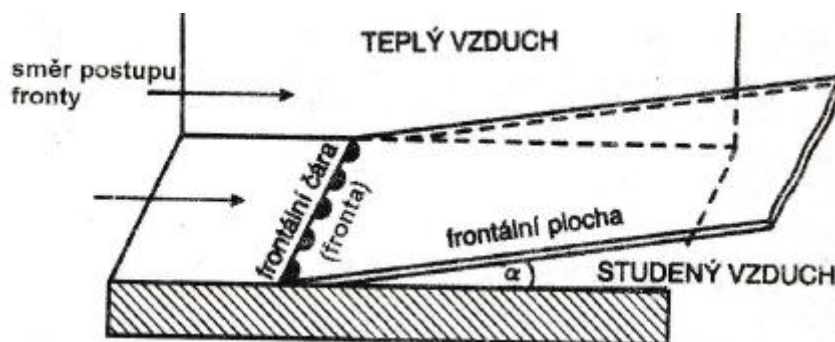
Z geografického hlediska rozlišujeme vzduchovou hmotu arktickou, polární, tropickou a rovníkovou. Mimo rovníkové vzduchové hmoty se dají všechny ještě rozdělit na mořské (oceánské, maritimní) a pevninské (kontinentální). V mořských vzduchových hmotách má vzduch vyšší relativní vlhkost a denní i roční amplituda teploty je zde menší. Je to způsobeno tím, že vodní hladina je teplotně stabilnější, proto se vzduch nad ní v zimě méně ochladí a v létě naopak méně zahřeje.



U rovníkové vzduchové hmoty toto rozdělení není, jelikož se většina tepla spotřebuje na odpar vody a zůstává tak ve skryté (latentní) podobě, ze které se je při kondenzaci schopné uvolnit. **Arktická** vzduchová hmota je chladná s vysokou průzračností a malou vlhkostí vzduchu. Jelikož názvy vzduchových hmot jsou odvozeny od místa jejich vzniku, používá se název „arktická“ pouze pro severní polokouli. Jejím ekvivalentem na jižní polokouli je antarktická vzduchová hmota. Označení **polární** vzduchové hmoty bývá nahrazováno přesnějším názvem – Vzduchová hmota mírných šířek. Název polární má historický důvod, dříve byly arktická a antarktická vzduchová hmota její součástí. Kontinentální vzduchová hmota mírných šířek může v letních měsících dosáhnout vyšších teplot přízemní vrstvy než v tropické a v zimě zase nižších než arktická vzduchová hmota. Pevninská varianta **tropické** vzduchové hmoty vzniká v místech tropických pouští a stepí. Její vzduch je velice teplý s nízkou vlhkostí. To má za následek vysoký obsah písečných a prachových částic. Naproti tomu je mořský tropický vzduch vysoce nasycen vodní párou a vlastnostmi se blíží rovníkové vzduchové hmotě. **Rovníková** neboli ekvatoriální vzduchová hmota vzniká v rovníkovém pásu. Je zde vysoká vlhkost a drobné vodní kapičky ve vzduchu způsobují nízkou dohlednost. (Bednář, 2003; Kopáček, Bednář, 2005)

## 3.2 Atmosférické fronty

Podmínkou vzniku atmosférické fronty je přesun různých vzduchových hmot. Vzduchové hmoty mají rozličné fyzikální vlastnosti, zejména teplotu, tlak a vlhkost. Vlastnosti vzduchových hmot jsou dány vlastnostmi zemského povrchu v místě, nad kterým vzduchová hmota vzniká. Různé vzduchové hmoty mohou přecházet pozvolně na vzdálenosti stovek kilometrů, ale někdy je přechodová oblast mezi nimi velice úzká a v horizontálním směru je patrná prudká změna různých prvků. Úzká přechodová zóna se označuje jako atmosférická fronta a vyskytuje se převážně v troposféře. Šířka úzké přechodové zóny v horizontálním směru bývá několik desítek km, tloušťka ve vertikálním směru několik set metrů, avšak alespoň o jeden řád je užší než samotná vzduchová hmota. Pro zjednodušení se dá úzká přechodová zóna nahradit tzv. frontální plochou. Frontální plocha je ve vertikálním směru nakloněná pod úhlem přibližně  $0,5^\circ$  a její průsečnice se zemským povrchem se pak označuje jako čára fronty (viz. Obr. 8). Délka čáry fronty bývá ve stovkách až tisících kilometrů. Na synoptických mapách se podél typických příznaků zaznamenává jednoduchá čára znázorňující polohu čáry fronty. (ČMeS, 1993; Kopáček, Bednář, 2005)



Obr. 8 Model atmosférické fronty (Kobzová, 1998)

### 3.2.1 Vznik front

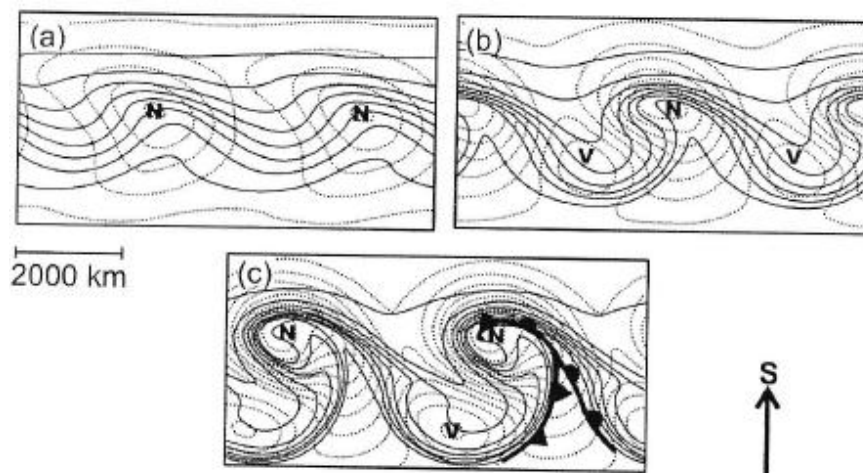
Fronty vznikají na základě řady procesů. Tyto procesy i procesy vedoucí k zostření fronty se označují jako frontogeneze. Tento pojem zahrnuje všechny změny gradientů meteorologických prvků, které vedou ke změně gradientu teploty. Opakem toho je frontolýza, tedy zeslabování a rozpad front. (ČMeS, 1993)

Frontogeneze je pro vývoj počasí stejně důležitá jako hydrodynamická nestabilita. Přestože oboje popisuje změnu vlastností mezi atmosférickými poli,

je mezi nimi rozdíl. Zatím co hydrodynamická nestabilita v oblastech velkých rozdílů teplot a větrů vytváří vlny víry, frontogeneze stojí za vznikem tlakových zón a vertikální cirkulací obepínající vzduchové vrstvy. (Shakina a kol., 2014)

Frontogeneze je definována na základě teplotního gradientu. Vzhledem k nehomogenitě vlhkosti v atmosféře však nelze uvažovat pouze suchý nebo nasycený vzduch. Proto se při popisu frontogeneze používá tzv. potenciální teplota. Tato teplota spojuje jak teplotu měřenou, tak i vlhkost v místě měření. (YANG a kol., 2014)

Na modelu vzniku okluzní fronty ve středním zeměpisném pásmu severní polokoule znázorněném na Obr. 9 jsou tečkovaně znázorněny izobary a plná čára značí izotermy potenciální teploty. V tomto modelu je na severu nižší teplota oproti jižní straně izoterem. Na modelu a), b) je patrné, jak se zvyšuje hustota izoterem v důsledku růstu teplotního gradientu zejména v jižní a severovýchodní části cyklony. V těchto oblastech, označovaných jako zóny aktivní frontogeneze, se začíná vyvíjet teplá a studená fronta. Dalším stáčením izoterem kolem severovýchodní části cyklony se vytváří okluzní fronta znázorněná na modelu c). (Řezáčová a kol., 2007)



Obr. 9 Modelový vývoj cyklóny na severní polokouli ve středních zeměpisných šířkách (Řezáčová a kol., 2007)

### 3.2.2 Klasifikace atmosférických front

Podle délky fronty a jejího významu pro cirkulaci atmosféry lze fronty rozdělit na hlavní (základní) a podružné. Někdy jsou v této skupině také uváděny čáry instability neboli čáry hůlav. **Základní** fronty bývají v rozsahu tisíců kilometrů

a tvoří hranici mezi vzduchovými hmotami z různých oblastí. Na synoptických mapách je lze sledovat po dobu několika dní a pojí se s nimi vznik cyklon a anticyklon. **Podružné** fronty bývají menšího rozsahu. Tvoří rozhraní oblastí s různými vlastnostmi v rámci jedné vzduchové hmoty a jejich trvání bývá obvykle jen v rámci jednoho dne. Jako **čáry instability** se označují pásy konvekční oblačnosti, která je často spojena s příchodem studené fronty vzdálené cca 100-500 km před studenou frontou. Lze je pozorovat pomocí družicových snímků nebo radiolokace a jejich životnost bývá v řádu hodin. (Kobzová, 1998; Kopáček, Bednář, 2005)

Dalším hlediskem pro třídění front je povaha vzduchových hmot, na jejichž rozhraní fronta vznikla. Jako **teplá fronta** se označuje případ, kdy se teplejší vzduchová hmota pohybuje rychleji než studená a teplý vzduch se začne nasouvat nad studený. **Studená fronta** vzniká, pokud je naopak studená vzduchová hmota aktivnější než teplá a studený vzduch se začne podsouvat pod teplejší. Pokud se tyto dva typy spojí, vzniká tzv. okluzní fronta. Tedy teplá vzduchová hmota z teplé fronty je vytlačována vzhůru rychlejší studenou frontou a při zemi se setkávají studené vzduchové hmoty z obou front. K těmto typům front se řadí také **málo pohyblivé fronty**, které bývají nazývány též jako stacionární. Ty vznikají, pokud chybí složky větru kolmé na čáru fronty. (Zverev, 1986; Bednář, 2003)

Fronty mívají různý vertikální rozsah. **Přízemní** fronty dosahují většinou do výšky cca 2-3 km nad povrchem. Často se v tomto případě jedná o podružnou frontu. Naproti tomu **troposférické** fronty (většinou základní fronty) lze najít často i v tropopauze. Jsou ale i fronty, které nelze identifikovat při zemském povrchu, protože vznikají až nad hranicí mezní vrstvy. Tyto fronty se označují jako **výškové**. (Kopáček, Bednář, 2005)

Fronty lze také rozdělit na anafronty a katafronty podle směru pohybů v teplém vzduchu. Jsou-li proudy vzestupné, jedná se o **anafrontu**, v opačném případě se mluví o **katafrontě**. (Kobzová, 1998)

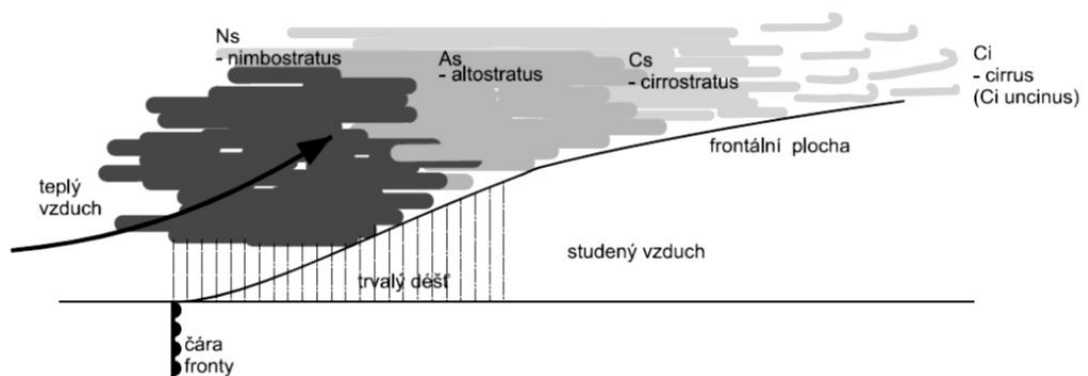
Jelikož základní fronty vznikají na rozhraní vzduchových hmot, lze je podle nich taky rozdělit. **Arktická fronta** rozděluje arktický vzduch a vzduchovou hmotu mírných šířek. **Polární fronta** zase leží mezi vzduchem mírných šířek (polárním) a tropickým. Jako třetí se uvádí **tropická fronta**. Tento pojem je však nepřesný,

jelikož se ve skutečnosti jedná o intertropickou zónu konvergence a ne o frontu. Označení fronta je v tomto případě pouze pojem z norské meteorologické školy z období vzniku tohoto pojmu. Tropická fronta se vyznačuje nepříznivým počasím v důsledku sbíhavosti vzdušných proudů. Nesplňuje však podmínku front oddělovat vzduch se značně rozdílnými vlastnostmi. (Zverev, 1986)

### 3.2.3 Teplá fronta

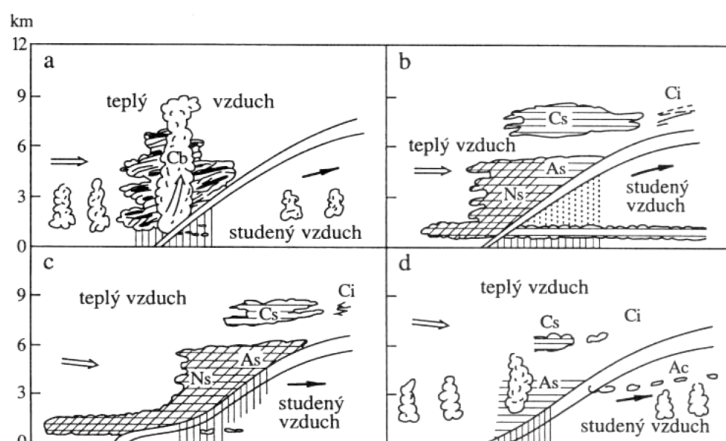
Teplé fronty mívají mírný sklon frontální plochy, podél ní se nasouvá teplý vzduch nad studený. Teplejší vzduch se však adiabaticky ochlazuje a vzniká oblačnost nejprve nízkého patra, při dalším stoupání vzduchu vzniká stále vyšší oblačnost. Tento proces probíhá ve směru posunu fronty, od její čáry dopředu. Pozorovatel tak může frontu poznat podle oblačnosti, kterou nejprve tvoří cirry, postupně však oblačnosti přibývá a stává se hustější. Lze pak pozorovat v tomto pořadí cirrostraty, altostraty a nimbostraty, ze kterých vypadávají srážky. Frontální oblačnost teplé fronty je znázorněna na Obr. 10. (Aguado, Burt, 2015)

Pozorování této soustavy může být komplikované z důvodu tzv. maskování teplé fronty. Tento pojem označuje situaci, kdy vlivem zvlhčení podoblačné vrstvy často vznikne pod frontální plochou oblačnost typu stratus nebo stratokumulus. Následkem této oblačnosti dochází k zakrytí typické soustavy pro teplou frontu. Je-li teplá fronta maskovaná, lze ji pozorovat pouze z družicových snímků. Někdy v tomto případě může také dojít k většímu zvýšení teploty ještě před přechodem fronty. (Kopáček, Bednář, 2005)



Obr. 10 Teplá fronta (Soukupová, 2010)

Modelová teplá fronta (Obr. 10) se často objevuje v některé z modifikací znázorněných na Obr. 11. **Modifikace a** znázorňuje případ úzké oblačné soustavy, kde není vyvinutá oblačnost druhu cirus a cirrostratus, ale nimbostratus se vyvíjí a přechází v cumulonimbus. **Modifikace b** je častější v zimě. Oblačnost zde odpovídá modelové situaci, ale je zde navíc nízká oblačnost druhu stratus a stratokumulus. Dochází-li vlivem tření k brždění spodní části fronty, bude v mezní vrstvě sklon frontální plochy velmi malý. Tento případ znázorňuje **modifikace c**. Jejím následkem může být ustávání srážek ještě před přechodem fronty. Poslední **modifikace d** znázorňuje případ fronty většího stáří. Oblačnost se zde postupně rozpadá od nejnižších pater a může dojít ke vzniku oblačnosti druhu altocumulus a cirrocumulus. V létě se podoba teplé fronty od modelové situace také velmi liší. Oblaka typu altostratus a nimbostratus bývají slabě vyvinuté a při nízké vlhkosti chybí úplně. V důsledku toho se nemusí u teplé fronty objevit ani srážky. (Kopáček, Bednář, 2005)

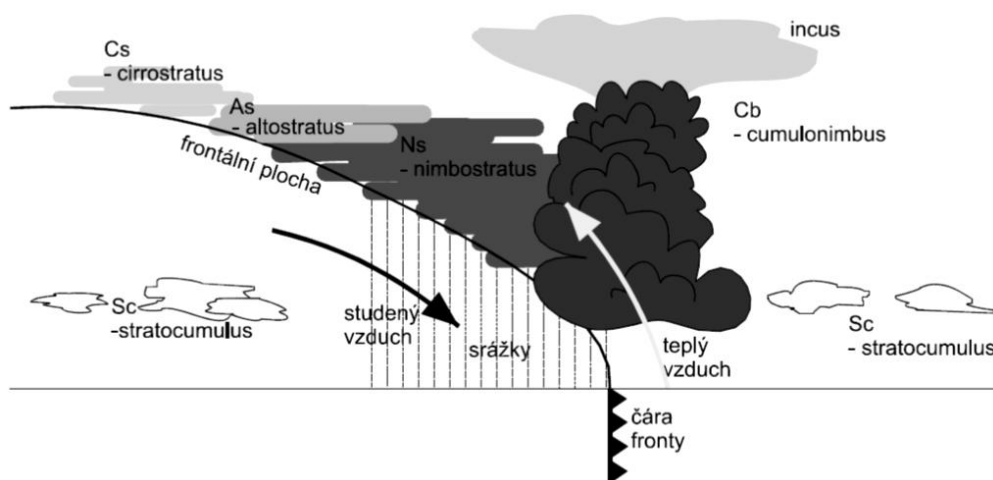


Obr. 11 Modifikace teplé fronty (Kopáček, Bednář, 2005)

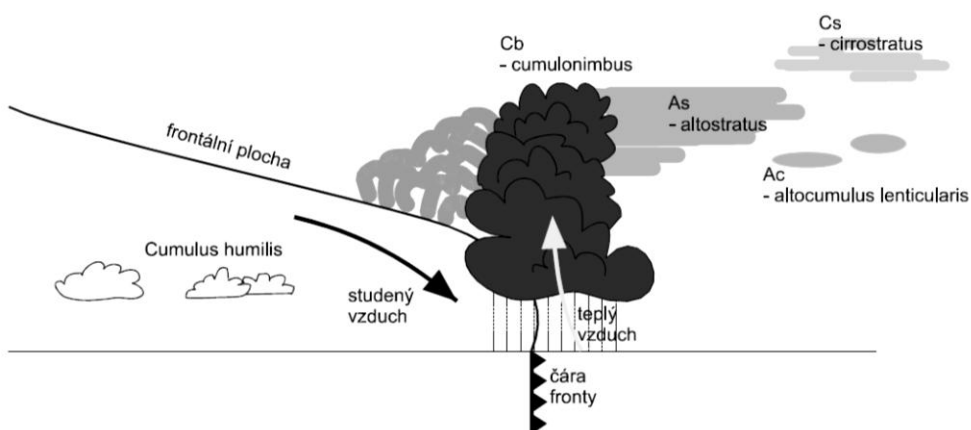
### 3.2.4 Studená fronta

Je-li rychlejší studená vzduchová hmota než teplá, pak při jejich střetnutí se začne studený vzduch tlačit pod teplý, který pak stoupá vzhůru. Takto vzniklá frontální plocha má velký sklon oproti zemskému povrchu. To přispívá ke vzniku kumulovité oblačnosti. Vzhledem k malé horizontální rozloze frontální plochy je tato oblačnost ve vertikálním směru sice mohutná, ale v horizontálním dosahuje malých rozměrů a tím i srážky z ní vypadávající mají jen krátké trvání. (Aguado, Burt, 2015)

Podle vlastností se rozlišují studené fronty 1. a 2. druhu. U 1. druhu lze pozorovat po přechodu čáry fronty oblačnost typu altostratus, nimbostratus (Obr. 12). V důsledku vzestupných pohybů vzduchu vzniká u mladých cyklon u jejich středu nebo v místech, kde jsou rovnoběžné s izobarami. Zafrontální oblačnost zmíněná u 1. druhu studené fronty se v případě 2. druhu nevytváří. Celá oblačná soustava je užší a vytváří se u čáry fronty a před ní (Obr. 13). Zde najdeme kumulonimby doprovázené vydatnými přeháňkami, v létě dokonce bouřkami či krupobitím a silnými nárazy větru. Šířka fronty bývá v desítkách kilometrů, ale její oblačná soustava nemusí podél ní tvořit souvislou zónu. Oblačnost je přes den většinou mohutná, ale v noci se může rozpadat. Přesto bývají studené fronty spojovány s extrémními projevy počasí. (Kopáček, Bednář, 2005)



Obr. 12 Studená fronta 1. druhu (Soukupová, 2010)

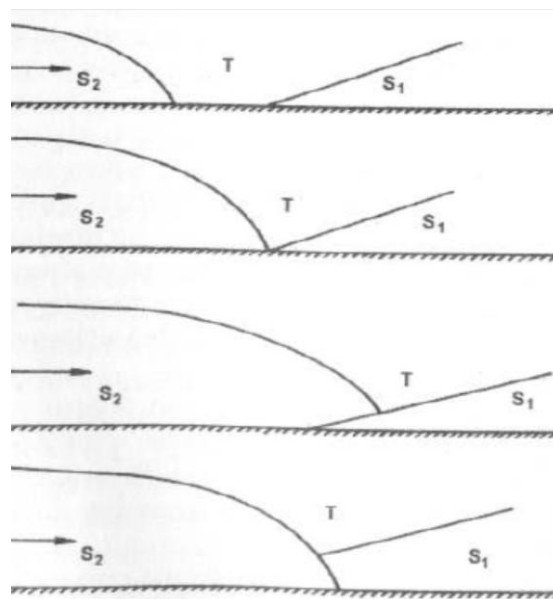


Obr. 13 Studená fronta 2. druhu (Soukupová, 2010)

Podobně jako u teplé fronty i studená fronta může být masovaná vrstvou oblaků typu stratus a stratokumulus. Děje se tak zejména v zimě, kdy je celá oblačná soustava menší a bouřky bývají pouze výjimečně. Může však dojít k tvorbě ledových krystalků a následnému vypadávání srážek z vrstevnaté oblačnosti. Oproti tomu v létě bývají kumulonimby značně mohutné, před frontou lze pozorovat altokumuly a často i cirry a cirrokumuly. V předfrontální zóně se v letním období vyskytuje čára instability či pásmo húlav. (Kopáček, Bednář, 2005)

### 3.2.5 Okluzní fronta

Dalším, v předpovědích často používaným, pojmem je okluzní fronta. Jak již bylo zmíněno, vzniká při spojení teplé a studené fronty. Studená fronta se pohybuje rychleji než teplá. Podle toho zda je studená vzduchová hmota z původní teplé fronty chladnější než ta od studené fronty nebo naopak rozlišujeme okluzní teplou frontu nebo okluzní studenou frontu. Tyto fronty bývají méně výrazné než teplá či studená fronta. Vznik okluzní fronty je znázorněn na Obr. 14. Na prvním náčrtku jsou ještě teplá a studená fronta odděleny, pod tím je zachycen okamžik spojení front. Třetí a čtvrtý náčrt představují již vzniklou okluzní frontu. U třetího je vzduchová hmota  $s_1$  chladnější než  $s_2$  a tudíž se jedná o okluzní frontu charakteru teplé fronty. U posledního náčrtu je  $s_1$  méně chladná vzduchová hmota než  $s_2$  a představuje okluzní frontu charakteru studené fronty. (Kobzová, 1998)

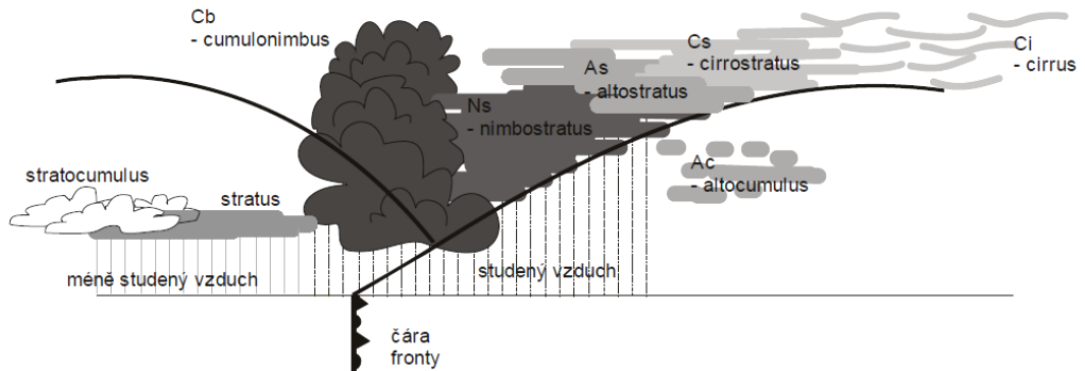


Obr. 14 Vznik okluzní fronty (Kobzová, 1998)

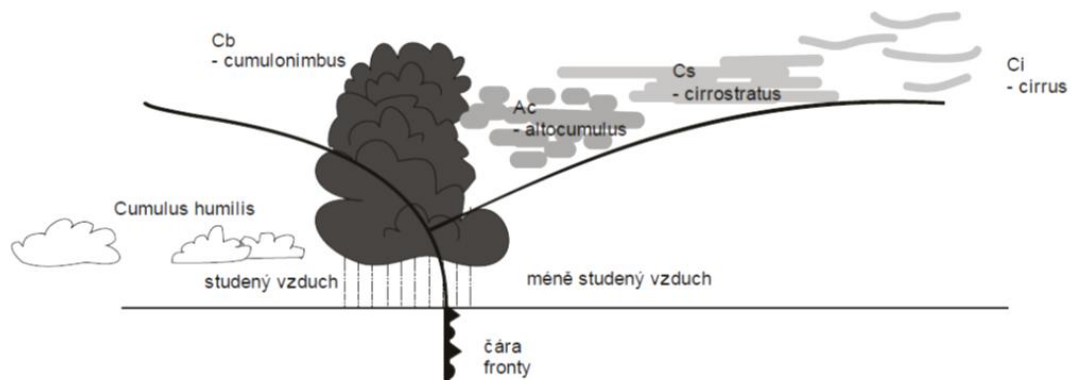
Vzhledem k relativně stabilní teplotě hladiny moří a oceánů je mořský vzduch v zimě teplejší než pevninský. Díky tomu má v zimě studený vzduch zaokluzní frontou většinou vyšší teplotu než studený vzduch před touto okluzní frontou. Z toho vyplývá, že v zimě je častější teplá okluze. V létě je tomu naopak, a proto se spíše bude vyskytovat okluze studená. Typickou oblačností teplé okluze jsou cirrus a cirrostratus, postupně se vytváří altostratusy a nimbostratusy. Z nich vypadávají srážky, které však mohou přejít v mrholení a mohou se tvořit mlhy.



Po přechodu čáry fronty lze pozorovat stratovitou oblačnost (viz. Obr. 16). U studené okluze dochází k rozpadání oblačnosti teplé fronty, vznikají zde kumulonimby, které bývají doprovázené přeháňkami kratšího trvání než u teplé okluze (Obr. 15). (Kopáček, Bednář, 2005; Soukupová, 2010)



Obr. 16 Teplá okluze (Soukupová, 2010)

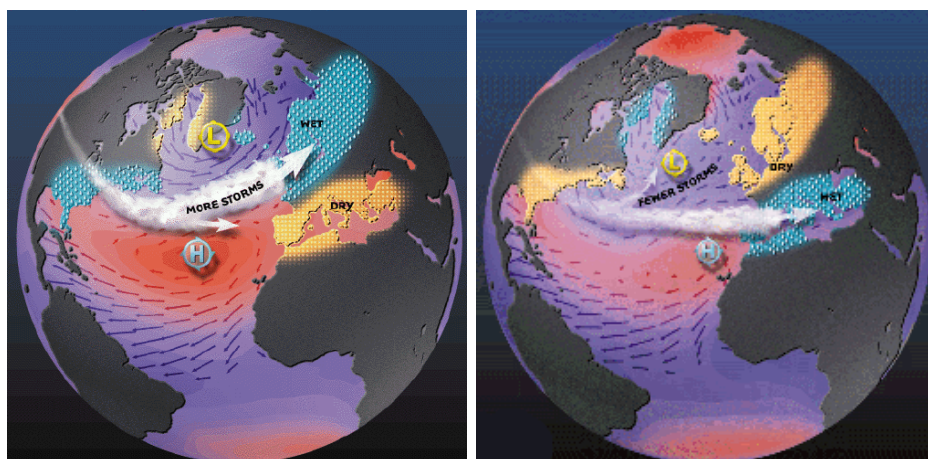


Obr. 15 Studená okluze (Soukupová, 2010)

### 3.3 Severoatlantická oscilace (NAO)

Oscilace neboli mód proměnlivosti označuje nepravidelné změny v pohybu i intenzitě velkých tlakových výší a níží. Tyto změny mají vliv nejen v regionálním, ale také v celosvětovém měřítku. Hlavními oscilacemi jsou ENSO (El Niño a jižní oscilace), NAO (severoatlantická oscilace) a PDO (pacifická dekádní oscilace). Pro Českou republiku je nejvýznamnější severoatlantická oscilace. V praxi se ale používá spíše její index, který vypovídá o změně v intenzitě islandské cyklony a azorské anticyklony. Pokud se tlakový gradient těchto tlakových útvarů zmenšuje, hovoří se o záporném NAO indexu. Je-li tomu naopak a gradient se zvyšuje, jedná se o kladný NAO index. Pokud je záporný, bývá nad severozápadní Evropou a východem Severní Ameriky chladné počasí a ve středomoří je zataženo a deštivo. Kladná varianta přináší oblačnost nad Arktidu a zapříčiňuje sucho ve středomoří a zvýšené množství srážek a teploty nad severozápadní částí Evropy. (ČMeS, 1993; Fry a kol., 2012)

NAO se projevuje zejména v zimě, kdy se z 30% podílí na teplotním rozptylu. Pokud se k němu přidá i vliv ENSO bude tato složka tvořit 45% teplotních rozdílů. Z toho je zřejmý velký význam těchto oscilací. Jako hlavní místa pro zjišťování NAO indexu se používají stanice Lisabon (Portugalsko) a Stykkisholmur (Island). Zde zjištěné hodnoty se porovnávají s dlouhodobým průměrem a na základě toho se stanoví hodnota NAO indexu. Pokud je NAO index kladný, pak jsou oba tlakové útvary výraznější. To má za následek i silnější západní vítr a cyklony se stáčí spíše k severu. Při záporném NAO indexu je tlakový gradient slabší a tudíž i západní vítr, který způsobují je mírnější. Cyklony se, ale pohybují jižněji a v Evropě se může projevit i vliv sibiřské výše. Proudění větru pak má směr spíše ze severu na jih a může přinášet velmi studený vzduch až Arktidy. Což může způsobovat extrémní projevy počasí právě při záporném NAO indexu. Pohyb cyklon při kladné a záporné fázi NAO je znázorněn na Obr. 17, kde žlutá barva označuje místa se suchým vzduchem a modrá vlhké oblasti. Islandská níže je zde značena jako L a azorská výše jako H. (Cílek, 2015; Visbeck, 2015)



Obr. 17 Kladná fáze (vlevo) a záporná fáze (vpravo) NAO (Visbeck, 2015)

Za součást NAO bývá považována arktická oscilace (AO) definována jako protichůdný rozdíl atmosférické ho tlaku mezi polární oblastí a středními šířkami. Má dvě fáze – kladnou a zápornou. V první zmíněné je tlak nižší než normálně nad Arktidou a vyšší než normálně nad středními šířkami. U záporné fáze mají zmíněné tlaky vůči normálu opačný charakter. Kladná fáze AO se projevuje chladnějším počasím na Arktidě, do střední Evropy však přináší teplejší a vlhčí klima. Vzduch nad Středomořím se vysušuje v důsledku proudění v mediteránní oblasti směrem od Sahary k Atlantiku. Při kladné fázi se dá očekávat nárůst počtu bouří směřujících přes Británii do Skandinávie. Při záporné fázi AO je Arktida méně chladná a průniky studeného vzduchu do střední Evropy jsou častější. Do Evropy při této fázi proniká silněji teplý vlhký vzduch z Atlantiku přes Saharu. AO se většinou proměňuje v průběhu několik týdnů až měsíců a nejvíce patrné je v zimě. (Cílek, 2010)

Pro počasí České republiky mají NAO i AO značný význam. Při vysokých hodnotách obou oscilací bývá zonální proudění ze západu velmi prudké. Důsledkem pak mohou být silné silné větrné bouře nad Anglií a Skandinávií v roce 2005 nebo bouře Dagmar v Norsku a Švédsku o Vánocích roku 2011. Kladná fáze NAO i AO přispěla také k vytvoření silných cyklon Kyrill (leden 2007) a Emma (březen 2008). Naproti tomu při záporné fázi oscilací v České republice panuje charakteristické zimní počasí s teplotami pod bodem mrazu jako tomu bylo během zim 2009/10, 2010/11 a 2011/12. Zejména silné sněžení a rekordní mrazy v zimě 2009/10 bývají spojovány s těmito oscilacemi zvláště kvůli silně záporné arktické oscilaci. Do souvislosti s AO se také dávají přívalové deště léta 2009 a intenzivní přínos

saharského prachu na území České republiky na jaře 2009. (Cílek, 2010; Soukupová, 2013)

Jak již bylo zmíněno, NAO a AO ovlivňují průběh počasí. Fungování těchto oscilací však může být ovlivněno změnami teplot v arktické oblasti. V důsledku růstu teploty dochází k tání ledu a zeslabování jeho pokryvu. Přestože se během kladné fáze část Arktidy oteplovala, mohl (alespoň regionálně) led růst, díky slábnutí větrů odnášejících led do nižších zeměpisných šířek, kde by došlo k jeho tání. Negativní fáze by měla oteplování dále prohloubit. To může znamenat, že průniky chladného suchého vzduchu ze Sibíře budou častější. Zkoumání izotopového složení vody z grónských ledovců ukazuje na přibližně desetileté oscilace a krátkodobé cykly trvající něco mezi 10–30 lety. Během jednoho století tedy dochází na severní polokouli k vystřídání dvou či tří delší klimatické oscilace a mnoho kratších, ale jejich dopady jsou ovlivňovány lokálními faktory. Průzkumem spraší se povedlo prokázat, že severoatlantická oscilace představovala hlavní klimatický mechanismus i v poslední době ledové, přestože se projevovala s proměnlivou silou a četností větrných epizod. (Cílek, 1998; 1999; 2010)

## 4 Metodika

Sledování přechodů atmosférických front provádí ČHMÚ na meteorologické stanici Praha – Ruzyně. Data o přechodu atmosférických front jsou uváděna na jejich internetových stránkách, kde se nachází i jejich statistické zpracování. Tyto statistiky ovšem vychází z dat od roku 1950 do roku 1999. V této bakalářské práci budou již zmíněné statistiky aktualizovány a doplněny o data do roku 2015. (ČHMÚ, 2016)

Pro aktualizaci těchto statistik byl využit program Microsoft Office Excel 2007. Stanovení počtu front splňujících určitou podmínku, např. přechod fronty v určitém roce, lze provést funkcí COUNTIF. Pokud je potřeba provést výběr na základě více podmínek, např. roku a typu fronty, je vhodným ekvivalentem funkce COUNTIFS. Ta vrátí počet buněk, u nichž jsou splněny současně všechny podmínky. Při vytváření řad ročních četností atmosférických front byly použity pětileté klouzavé průměry. U řad vytvořených z klouzavých průměrů je rozkolísanost dat mírnější a méně se projevuje vliv náhodné složky časové řady. Vzorec (7) popisuje výpočet klouzavého průměru v čase  $t$ . Výpočet se provádí z lichého počtu po sobě jdoucích hodnot, s tím že se průměr přiřadí prostřední z hodnot. Délka klouzavého průměru je zde označena jako  $m$ , přičemž platí  $m = 2p + 1$ . V případě pětiletých klouzavých průměrů je  $m = 5$ . Výpočet se provádí pro každý časový úsek, čímž se získá řada klouzavých průměrů. Tato data se dají znázornit pomocí grafu, do kterého je v Excelu možné přidat spojnicí trendu a zobrazit její hodnotu spolehlivosti  $R^2$ . Tato hodnota se pohybuje v rozpětí 0 až 1. Platí zde, že čím vyšší je hodnota spolehlivosti, tím přesněji spojnice trendu kopíruje datovou řadu. (Dodge, Stinson, 2008; Jonášová, 2009; Řezanková, Löster, 2013)

$$\bar{y}_t = \frac{y_{t-p} + y_{t-p+1} + \dots + y_t + \dots + y_{t+p-1} + y_{t+p}}{m} = \frac{\sum_{i=-p}^p y_{t+i}}{m} \quad (7)$$

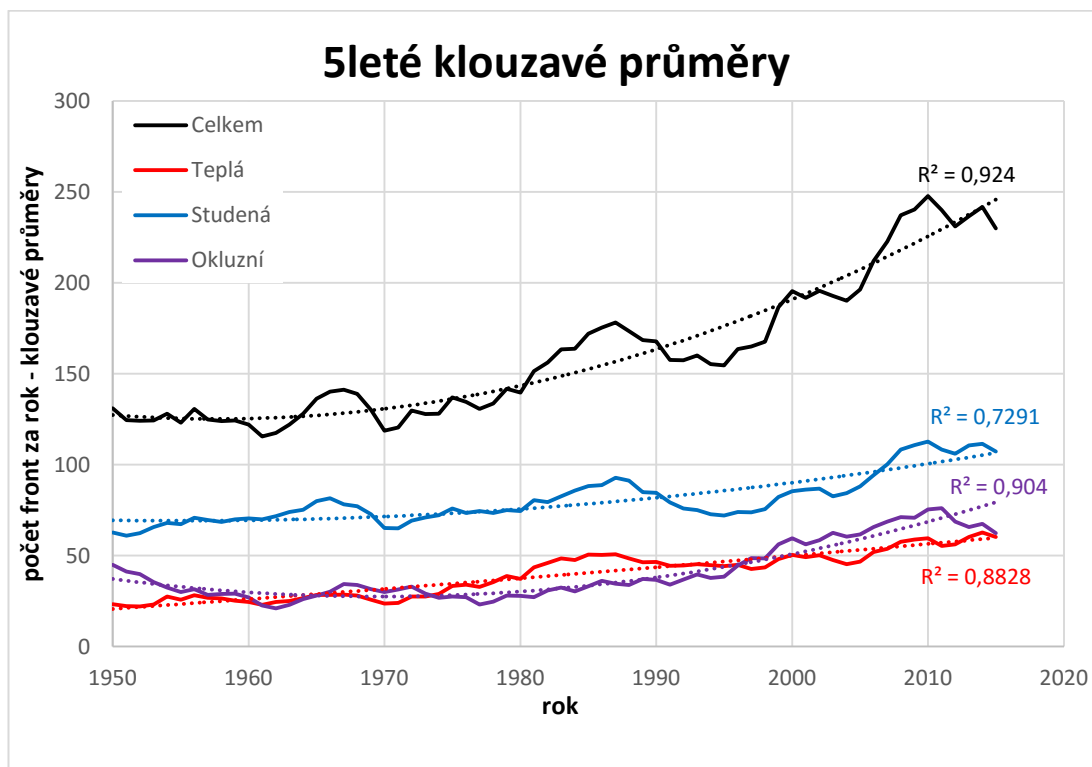
Pro znázornění závislosti počtu front na směru odkud přichází, se jako nejvhodnější jevil růžicový graf. K vytvoření takovýchto grafů byl použit statistický program R. Informace o frontách do něj byly nahrány do proměnných v závislosti na typu fronty. V rámci této práce byl pro vytvoření růžicového grafu využit balíček

circular a funkce rose.diag, skripty použité pro vytvoření grafů uvádí Příloha č. 1 a Příloha č. 2.

Součástí této bakalářské práce je také statistické zpracování přechodu front v závislosti na hodnotě NAO indexu. Jelikož je NAO index stanovován pro oblast nad severním Atlantikem, který je od Prahy vzdálen přibližně 2 000 km, neprojeví se vliv oscilace na přechod front nad Prahou okamžitě. Nedá se ani očekávat, že by frontu vytvořila náhlá krátkodobá změna hodnoty jejího indexu. Za účelem zmírnění prudkých výkyvů oscilace i vzdálenosti byl pro zpracování dat použit aritmetický průměr z posledních tří dní. Pro přehlednost byl vytvořen pro každou světovou stranu samostatný histogram, kde na ose x jsou hodnoty NAO indexu v intervalech 0,4, osa y znázorňuje četnost přechodu front při dané hodnotě NAO indexu ( $\pm 0,2$ ).

## 5 Výsledky

Graf znázorněný na Obr. 18 navazuje na již existující graf publikovaný ČHMÚ (Příloha č. 3 - Příloha č. 5). Oba grafy znázorňují roční četnosti atmosférických front agregovaných pomocí klouzavého průměru, liší se pouze délkou sledovaného období. Tedy jde pouze o prodloužení grafu zhotoveného ČHMÚ, který zahrnuje období od roku 1950 do roku 1999. Nově vytvořený graf zobrazuje časovou řadu do roku 2015, přičemž začátek je taktéž roku 1950. Do grafu byly přidány spojnice trendů polynomického typu 2. řádu a uvedeny jejich hodnoty spolehlivosti. Ve všech případech je hodnota spolehlivosti vyšší než 70%. Jak v případě teplé a okluzní fronty, stejně tak u celkového počtu front se klouzavé průměry a spojnice trendů shodují přibližně z 90%.



Obr. 18 Roční četnost výskytů atmosférických front - 5leté klouzavé průměry (zdroj dat: ČHMÚ, 2016)

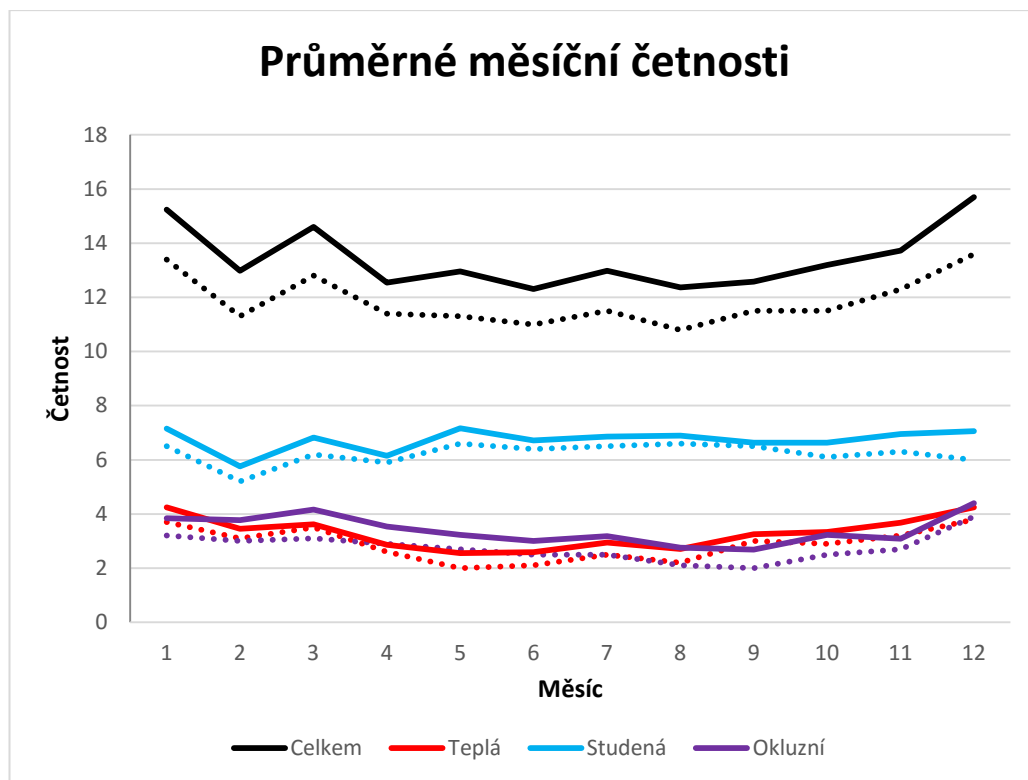
Tabulka četností atmosférických front v závislosti na kalendářním měsíci (Tab. 1) přebírá strukturu uvedenou na internetových stránkách ČHMÚ, ale byla doplněna o údaje do roku 2015. Jsou zde zaznamenány celkové četnosti jednotlivých typů front v rámci daných měsíců a ročních období. Dále tabulka obsahuje průměrný počet front určitého typu v jednotlivých měsících. Původní tabulku uvedenou na internetových stránkách ČHMÚ uvádí Příloha č. 6.

Tab. 1 Četnost a měsíční průměr přechodů atmosférický front (zdroj dat: ČHMÚ, 2016)

Četnost front - období 1950 až 2015								
jaro								
měsíc	březen		duben		květen		celkem	
typ	suma	průměr	suma	průměr	suma	průměr	suma	průměr
teplá fronta	239	3,6	189	2,9	169	2,6	597	9,0
studená fronta	450	6,8	406	6,2	473	7,2	1329	20,1
okluzní fronta	275	4,2	233	3,5	213	3,2	721	10,9
celkem	964	14,6	828	12,5	855	13,0	2647	40,1
léto								
měsíc	červen		červenec		srpen		celkem	
typ	suma	průměr	suma	průměr	suma	průměr	suma	průměr
teplá fronta	171	2,6	194	2,9	179	2,7	544	8,2
studená fronta	443	6,7	453	6,9	455	6,9	1351	20,5
okluzní fronta	198	3,0	210	3,2	182	2,8	590	8,9
celkem	812	12,3	857	13,0	816	12,4	2485	37,7
podzim								
měsíc	září		říjen		listopad		celkem	
typ	suma	průměr	suma	průměr	suma	průměr	suma	průměr
teplá fronta	215	3,3	220	3,3	243	3,7	678	10,3
studená fronta	438	6,6	438	6,6	459	7,0	1335	20,2
okluzní fronta	177	2,7	213	3,2	204	3,1	594	9,0
celkem	830	12,6	871	13,2	906	13,7	2607	39,5
zima								
měsíc	prosinec		leden		únor		celkem	
typ	suma	průměr	suma	průměr	suma	průměr	suma	průměr
teplá fronta	280	4,2	280	4,2	228	3,5	788	11,9
studená fronta	466	7,1	472	7,2	380	5,8	1318	20,0
okluzní fronta	290	4,4	254	3,8	249	3,8	793	12,0
celkem	1036	15,7	1006	15,2	857	13,0	2899	43,9

Průměrné měsíční četnosti z období 1950 – 2015 jsou znázorněny v Obr. 19 plnou čarou. Hodnoty zpracovaného na základě údajů z období od roku 1950 do roku 1999, jsou pro porovnání v tom samém grafu pro porovnání vyznačeny tečkovanou čarou.





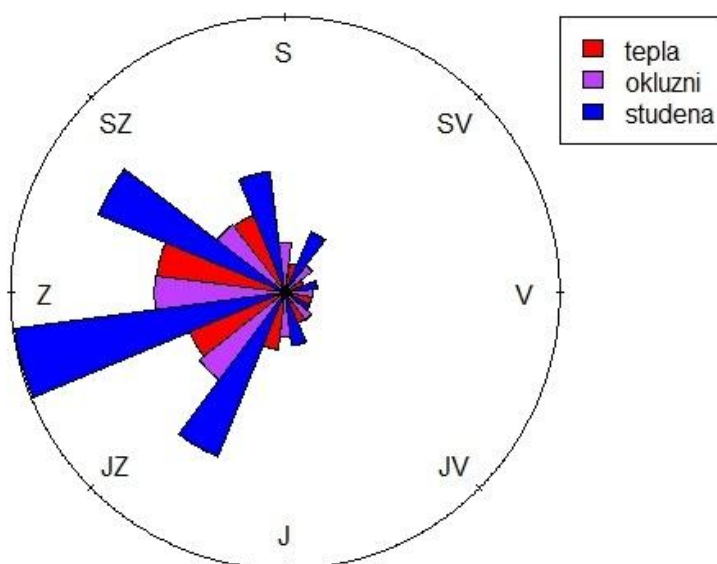
**Obr. 19** Průměrné měsíční četnosti atmosférických front. Plné čáry značí průměr z období 1950 – 2015, tečkované odpovídají období 1950 – 1999 (zdroj dat: ČHMÚ, 2016)

Atmosférické fronty nepřichází vždy ze stejného směru. Četnost front postupujících z dané světové strany je uveden v Tab. 2. V tabulce je také zahrnut relativní počet front v procentech zaokrouhlený na dvě desetinná místa. Jako základ pro tento výpočet byla použita suma všech typů front ze všech směrů. Pro přehlednost je toto relativní zastoupení znázorněno pomocí růžicového diagramu (Obr. 20) Z něj je patrné největší zastoupení studených front ze západu, ale také u front přicházejících z jihu největší zastoupení front teplých. Pro zpracování bylo použito období 1950 – 2015 a je zde uvažováno 8 základních světových stran. Jejich značení bylo provedeno použitím českých zkratk, tedy S – sever, SV – severovýchod, V – východ, JV – jihovýchod, J – jih, JZ – jihozápad, Z – západ a SZ – severozápad. Barevné znázornění zachovává zvyklosti značení typů front (červená – teplá, fialová – okluzní a modrá – studená).

Tab. 2 Četnost atmosférických front v závislosti na směru, ze kterého přichází (zdroj dat: ČHMÚ, 2016)

typ směr	Teplá		Okluzní		studená		celkem	
	počet	%	počet	%	počet	%	počet	%
S	56	2,1	151	5,6	464	8,7	671	6,3
SV	26	1,0	75	2,8	136	2,6	237	2,2
V	46	1,8	47	1,7	33	0,6	126	1,2
JV	68	2,6	69	2,6	23	0,4	160	1,5
J	206	7,9	119	4,4	88	1,7	413	3,9
JZ	679	26,0	729	27,0	972	18,2	2380	22,4
Z	1077	41,3	1054	39,1	2333	43,7	4464	42,0
SZ	449	17,2	454	16,8	1284	24,1	2187	20,6
celkem	2607	24,5	2698	25,4	5333	50,1	10638	100

Poměr počtu front v letech 1950-2015



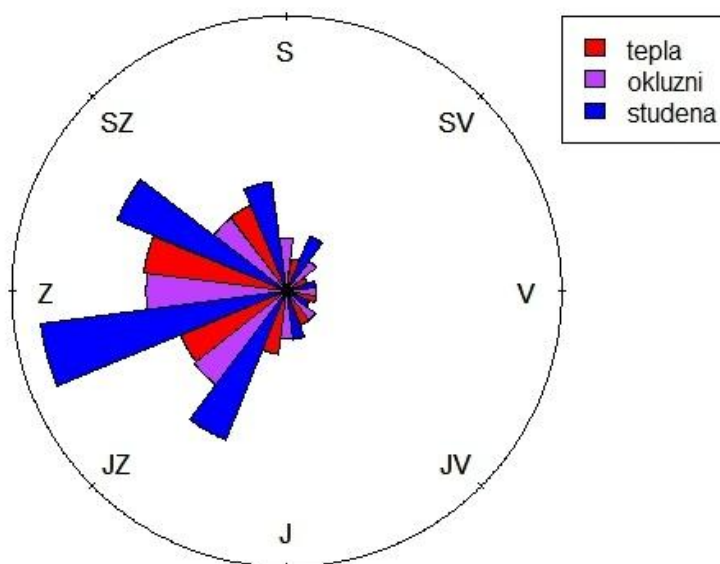
Obr. 20 Schematické rozložení atmosférických front (zdroj dat: ČHMÚ, 2016)

Součástí předkládané bakalářské práce je také zpracování závislosti přechodů front na hodnotě NAO indexu. Jak již bylo zmíněno, tento vliv je největší v zimním období. Pro lepší představu o přechodu front právě v tomto období bylo zpracování uvedené v předchozím odstavci provedeno ještě jednou, ale tentokrát se ze sledovaného období uvažovala pouze zimní část roku, tedy prosinec až únor. Zimní četnosti přechodu front jsou pak uvedeny v Tab. 3 a grafické znázornění relativních četností je v Obr. 21.

Tab. 3 Četnost atmosférických front z období prosinec - únor v závislosti na směru, ze kterého přichází (zdroj dat: ČHMÚ, 2016)

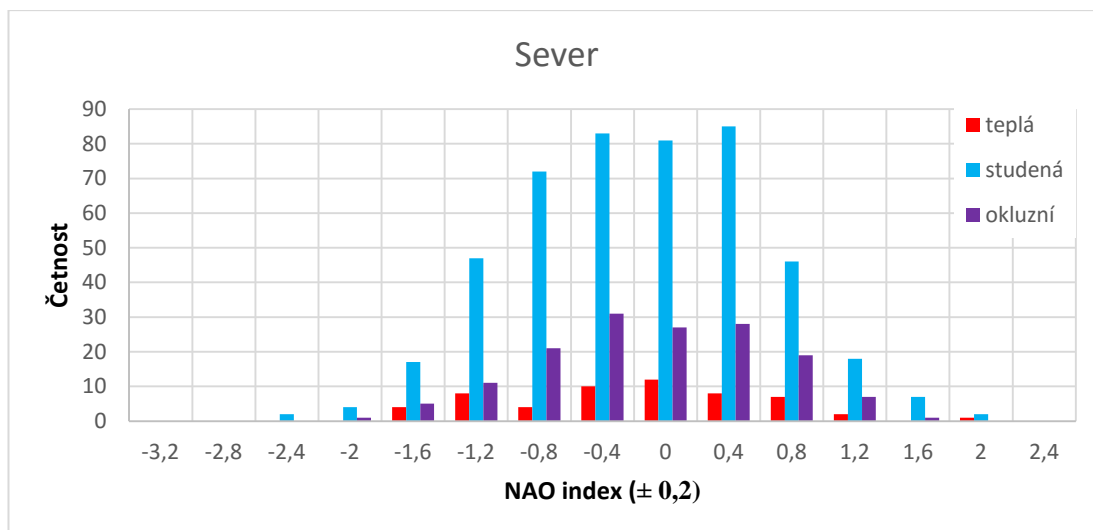
typ	Teplá		Okluzní		studená		celkem	
	počet	%	počet	%	počet	%	počet	%
<b>S</b>	32	1,104	49	1,7	157	5,4	238	8,2
<b>SV</b>	3	0,103	11	0,4	47	1,6	61	2,1
<b>V</b>	7	0,241	14	0,5	11	0,4	32	1,1
<b>JV</b>	9	0,310	26	0,9	4	0,1	39	1,3
<b>J</b>	19	0,655	28	1,0	8	0,3	55	1,9
<b>JZ</b>	153	5,278	214	7,4	168	5,8	535	18,5
<b>Z</b>	399	13,763	314	10,8	590	20,4	1303	44,9
<b>SZ</b>	166	5,726	137	4,7	333	11,5	636	21,9
<b>celkem</b>	788	27,2	793	27,4	1318	45,5	2899	100

Poměr počtu front v letech 1950-2015 (zimní období)

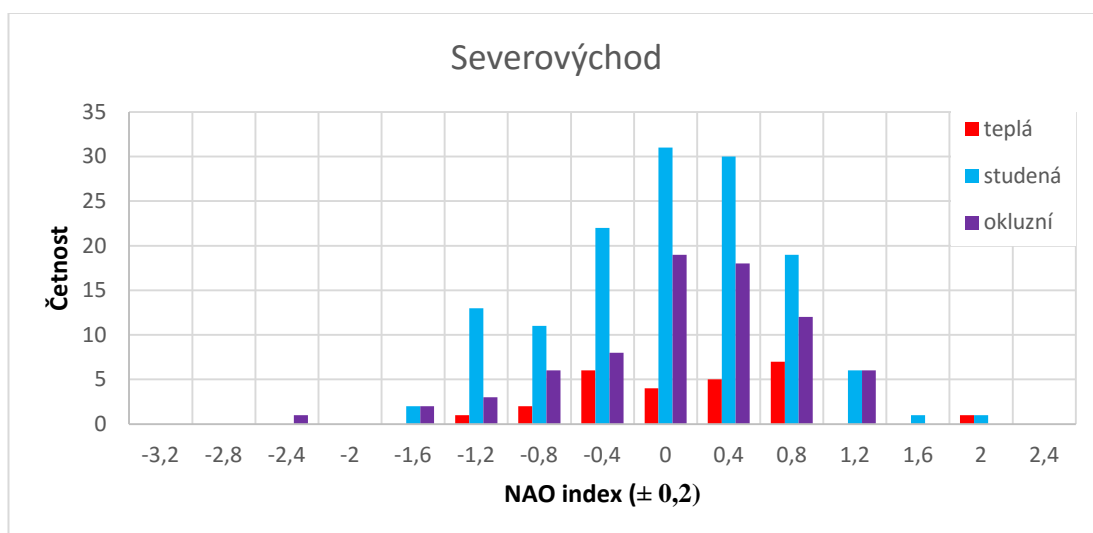


Obr. 21 Schematické rozložení atmosférických front z období prosinec - únor (zdroj dat: ČHMÚ, 2016)

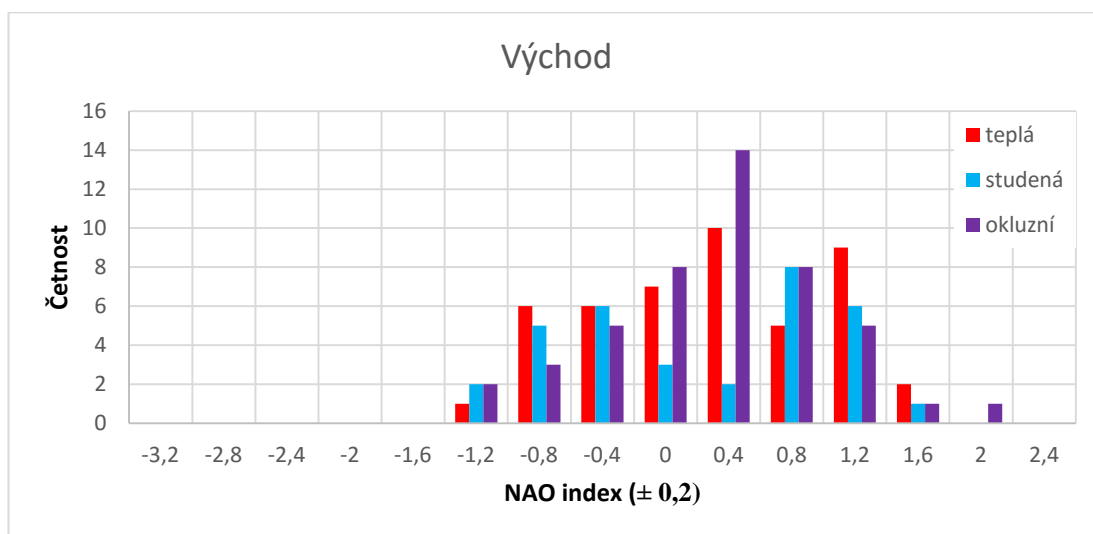
Pro vyjádření závislosti přechodu atmosférických front na hodnotě NAO indexu a směru odkud přichází, bylo zvoleno zpracování pomocí histogramů. Na ose x jsou uvedeny hodnoty NAO indexu ( $\pm 0,2$ ) v intervalu 0,4. Osa y vyjadřuje četnost výskytu atmosférické fronty nad Prahou při dané hodnotě indexu. Hodnoty NAO indexu jsou uvažovány jako průměr za poslední tři dny před příchodem fronty. Pro přehlednost je pro každou světovou stranu vytvořen samostatný histogram (Obr. 22 – Obr. 29).



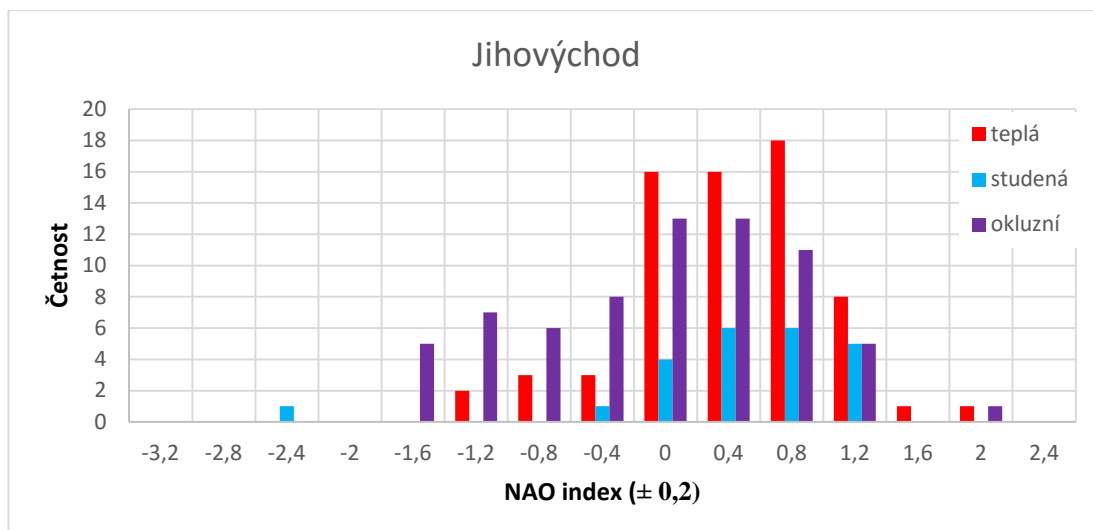
Obr. 22 Hodnoty NAO indexu při přechodu front ze severu (zdroj dat: ČHMÚ, 2016; NOAA, 2016)



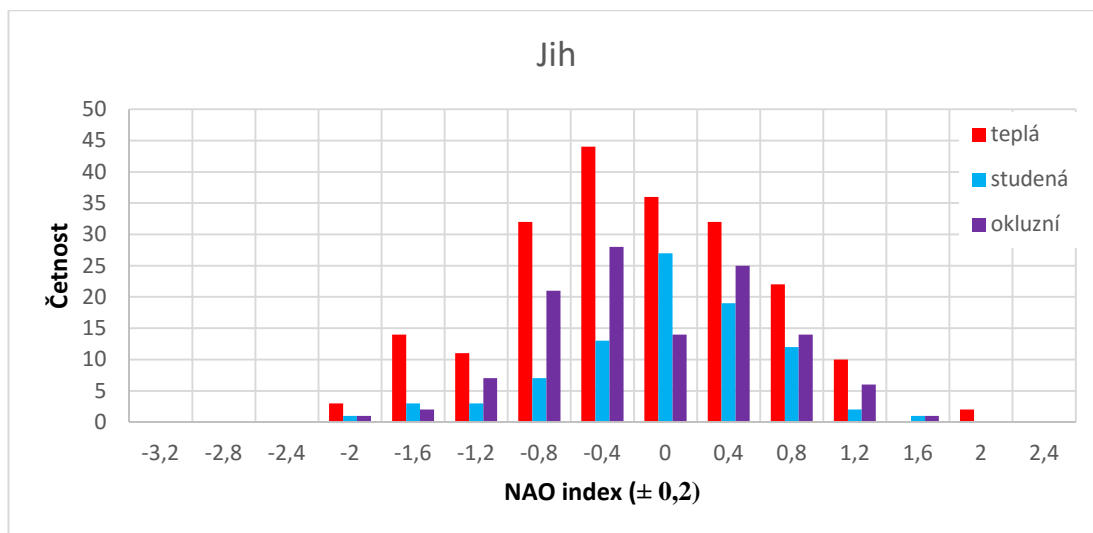
Obr. 23 Hodnoty NAO indexu při přechodu front ze severovýchodu (zdroj dat: ČHMÚ, 2016; NOAA, 2016)



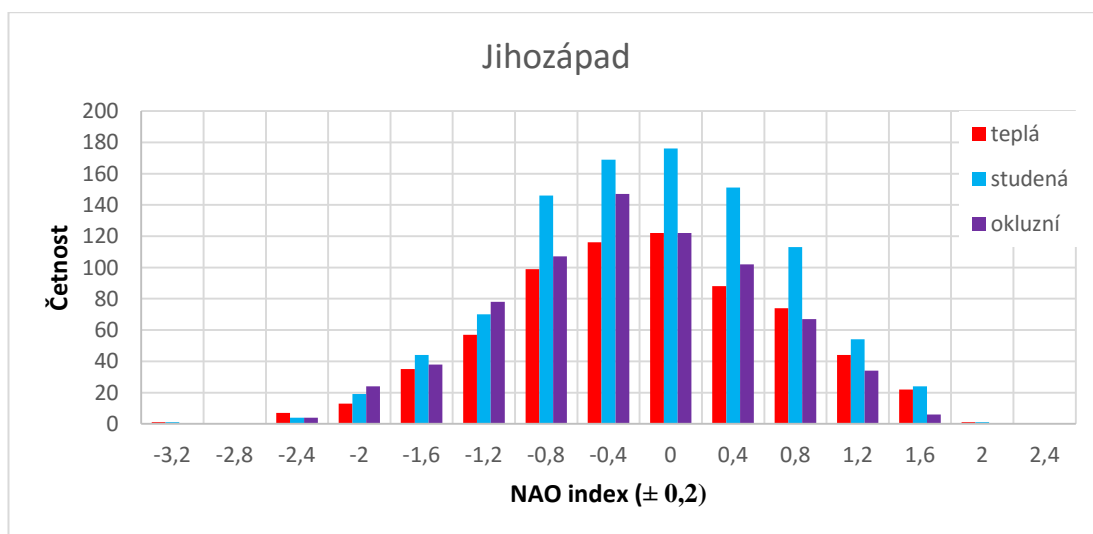
Obr. 24 Hodnoty NAO indexu při přechodu front z východu (zdroj dat: ČHMÚ, 2016; NOAA, 2016)



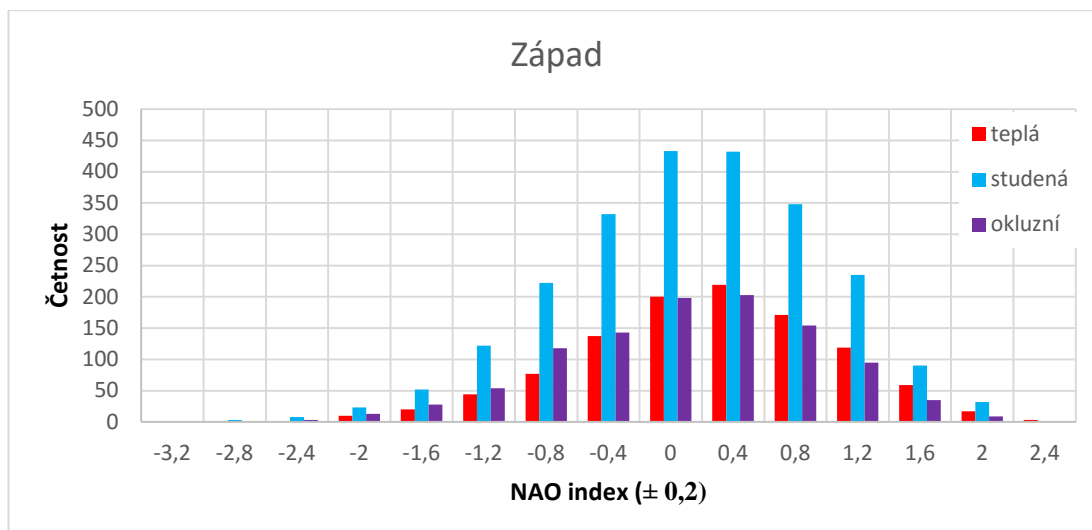
Obr. 25 Hodnoty NAO indexu při přechodu front z jihovýchodu (zdroj dat: ČHMÚ, 2016; NOAA, 2016)



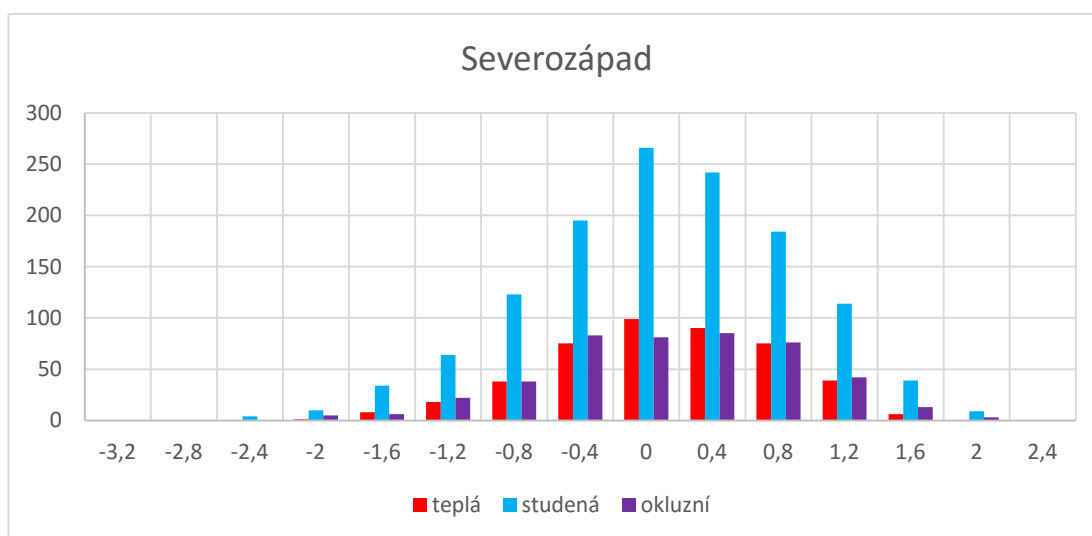
Obr. 26 Hodnoty NAO indexu při přechodu front z jihu (zdroj dat: ČHMÚ, 2016; NOAA, 2016)



Obr. 27 Hodnoty NAO indexu při přechodu front z jihozápadu (zdroj dat: ČHMÚ, 2016; NOAA, 2016)

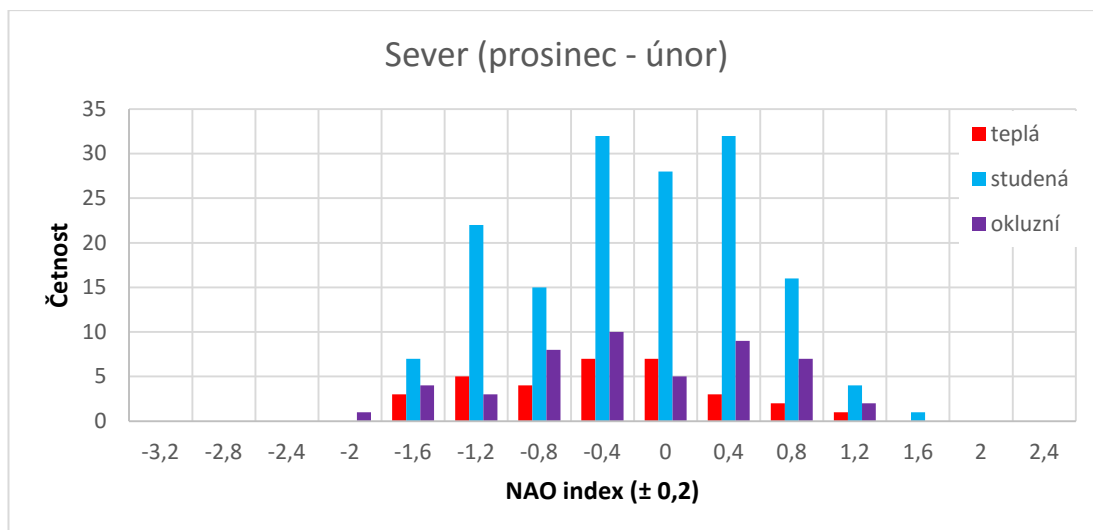


Obr. 28 Hodnoty NAO indexu při přechodu front ze západu (zdroj dat: ČHMÚ, 2016; NOAA, 2016)

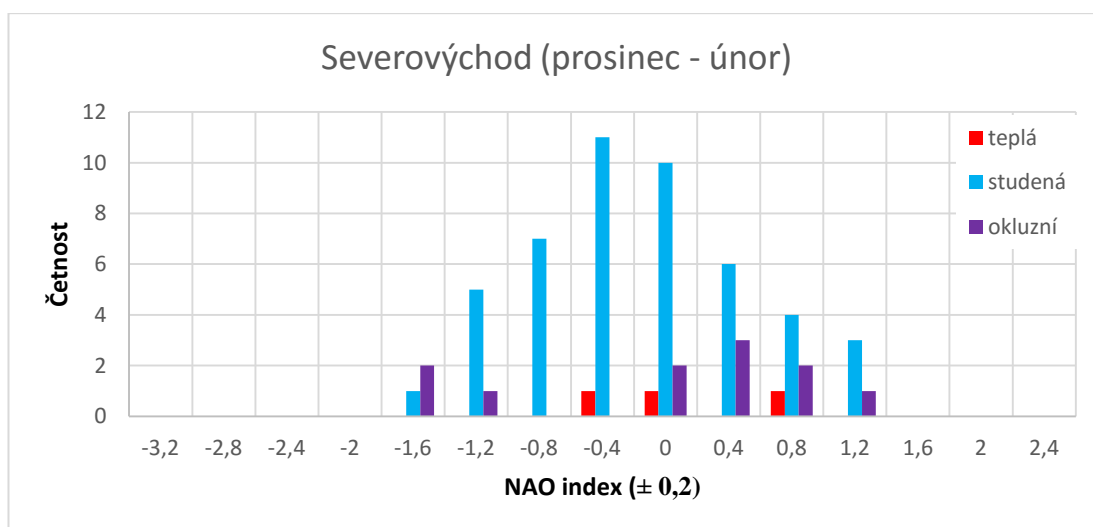


Obr. 29 Hodnoty NAO indexu při přechodu front ze severozápadu (zdroj dat: ČHMÚ, 2016; NOAA, 2016)

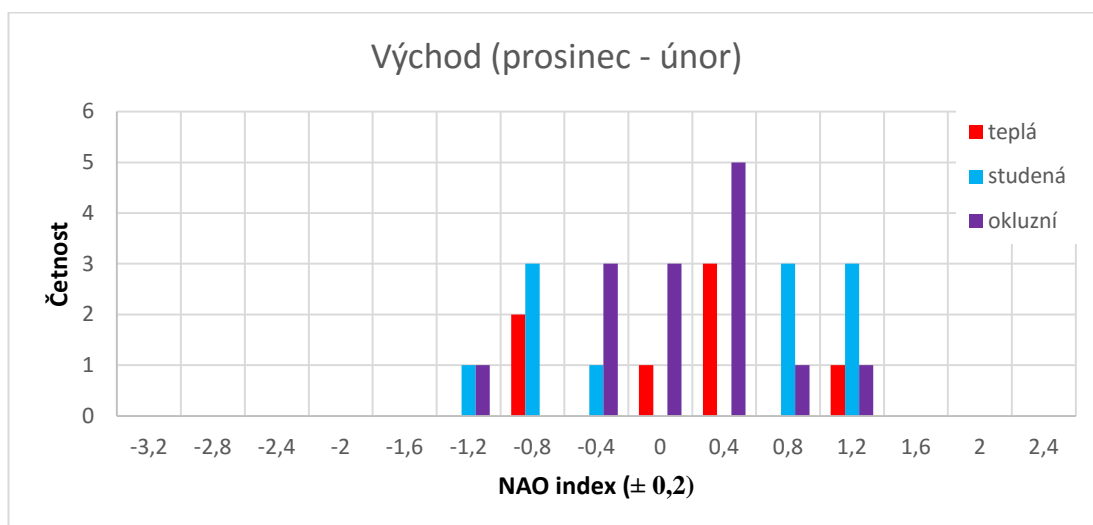
Předcházející grafy znázorňovaly celoroční záznamy z období 1950 – 2015. Jelikož NAO v zimním období tvoří přibližně třetinu teplotního rozptylu, je velmi pravděpodobné, že by zde mohla být i souvislost s atmosférickými frontami. Proto jsou grafy znázorněné na obrázcích Obr. 30 – Obr. 37 vytvořeny pro zimní období (prosinec – únor) z let 1950 – 2015.



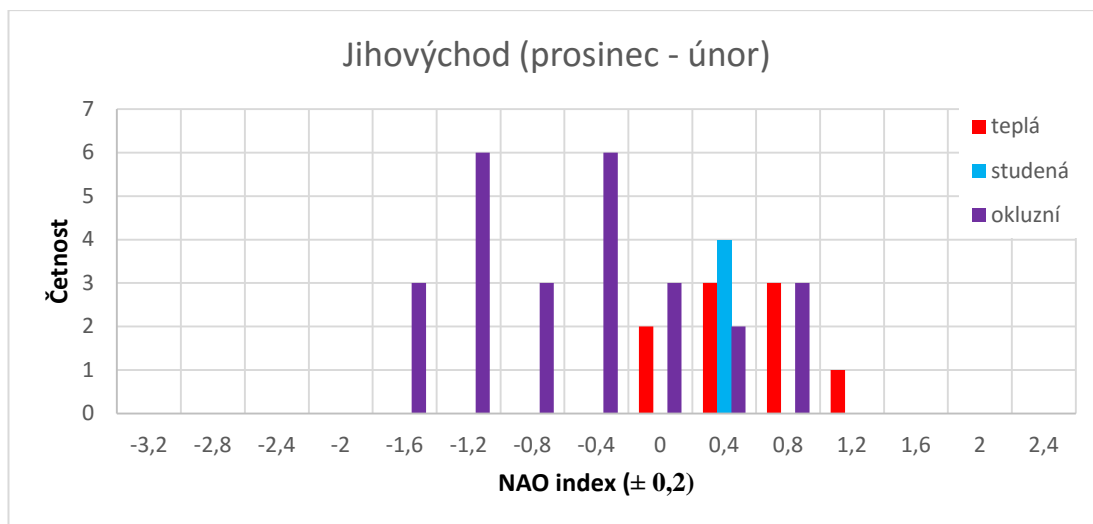
Obr. 30 Hodnoty NAO indexu při přechodu front ze severu v zimě (zdroj dat: ČHMÚ, 2016; NOAA, 2016)



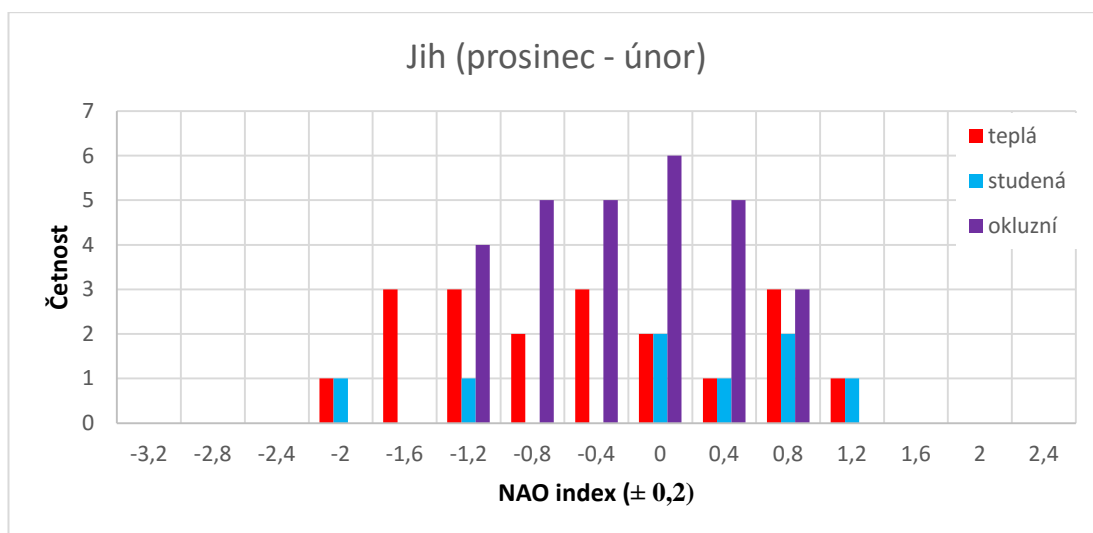
Obr. 31 Hodnoty NAO indexu při přechodu front ze severovýchodu v zimě (zdroj dat: ČHMÚ, 2016; NOAA, 2016)



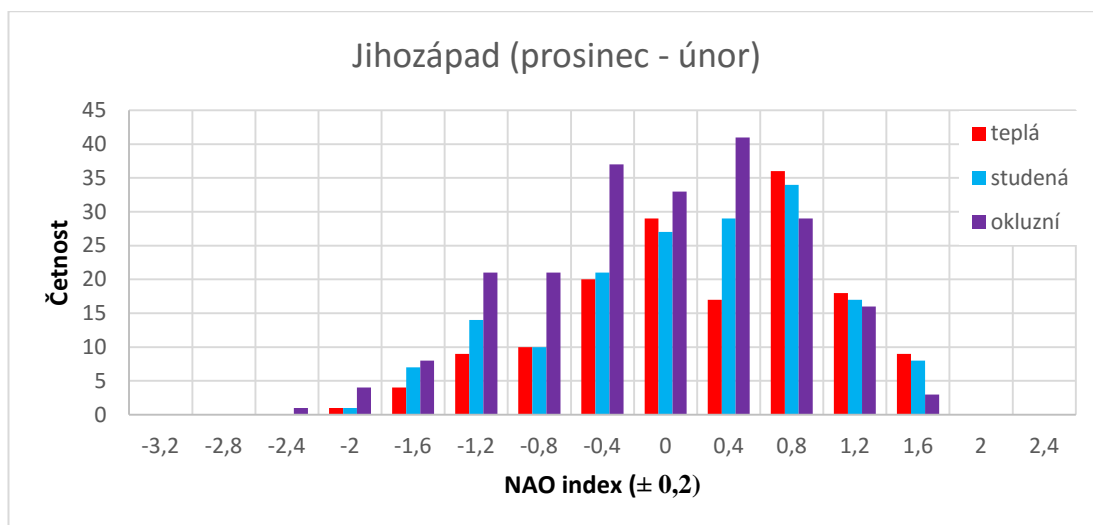
Obr. 32 Hodnoty NAO indexu při přechodu front z východu v zimě (zdroj dat: ČHMÚ, 2016; NOAA, 2016)



Obr. 33 Hodnoty NAO indexu při přechodu front z jihovýchodu v zimě (zdroj dat: ČHMÚ, 2016; NOAA, 2016)

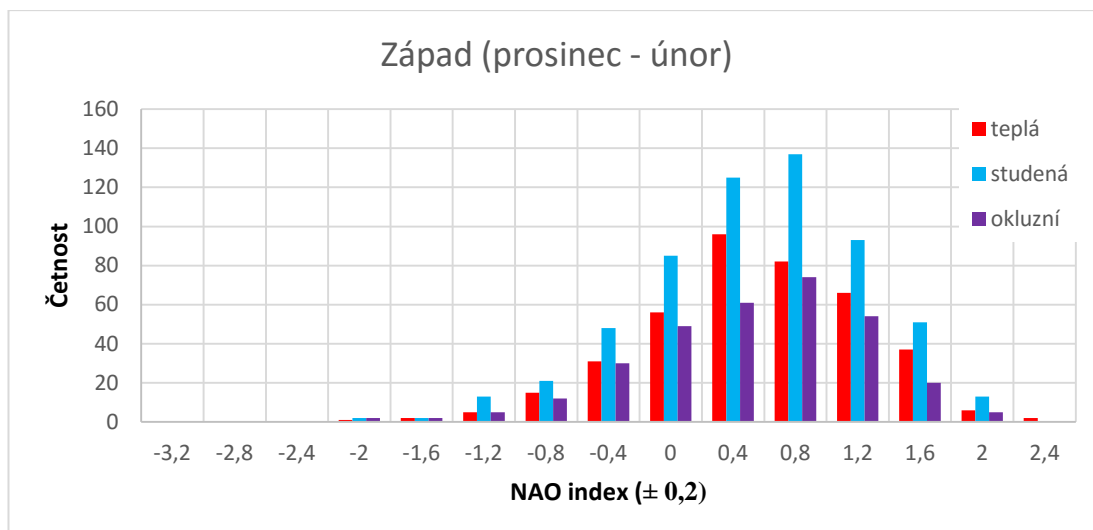


Obr. 34 Hodnoty NAO indexu při přechodu front z jihu v zimě (zdroj dat (ČHMÚ) (NOAA))

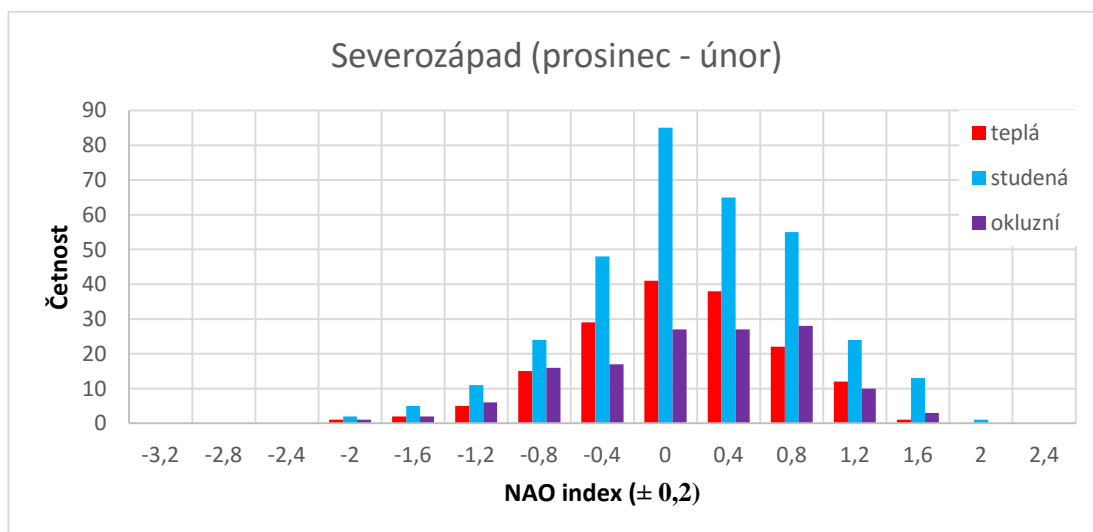


Obr. 35 Hodnoty NAO indexu při přechodu front z jihozápadu v zimě (zdroj dat: ČHMÚ, 2016; NOAA, 2016)





Obr. 36 Hodnoty NAO indexu při přechodu front ze západu v zimě (zdroj dat: ČHMÚ, 2016; NOAA, 2016)



Obr. 37 Hodnoty NAO indexu při přechodu front ze severozápadu v zimě (zdroj dat: ČHMÚ, 2016; NOAA, 2016)

## 6 Diskuse

Vyhodnocení synoptických situací není vždy snadné. Procesy probíhající v atmosféře jsou značně složité. Technologické vybavení ani teoretické znalosti neumožňují zcela přesné a bezchybné stanovování následujícího vývoje počasí. Přestože se vědomosti v této problematice neustále zdokonalují, práci zkušeného meteorologa nemohou nahradit. Stejně je tomu i u stanovování atmosférických front. Numerologické modely jsou schopné stanovit předpokládané vlastnosti vzduchu, jako jsou teplota, tlak nebo vlhkost, čáru fronty však vykreslit stále nedovedou. Frontální čáry do synoptických map zanášejí meteorologové ČHMÚ na základě již zmíněných výstupů numerologických modelů a svých zkušeností získaných praxí. Odtud může pocházet jistá nejistota vstupních dat, protože vyhodnocení neprovádí pokaždé stejná osoba. V důsledku toho mohou záznamy o přechodu atmosférických front být mírně subjektivně ovlivněny, protože názor na to co již za frontu označit a co ještě frontou není, se může lišit.

Výraznější vliv na data vstupující do zpracovávané statistiky však může mít získávání novějších poznatků z oblasti dynamiky atmosféry a neustálé překonávání metod pro určování atmosférických front. Díky tomu může docházet ke zpřesnění a snadnějšímu stanovení jejich výskytu a tím může být částečně ovlivněna jejich četnost.

Jako další možná příčina může být změna klimatu. Názory na teorie změn vlastností a procesů probíhajících v atmosféře vlivem antropogenní činnosti jsou různé. Někteří autoři odmítají jakoukoliv souvislost a celou teorii považují ji za nesmyslnou. Jiní zase hledají lidské zavinění za veškerými změnami. Skutečnost pravděpodobně bude někde mezi nimi.

Do grafu četností výskytu atmosférických front (Obr. 18) byly vloženy polynomické spojnice trendu 2. řádu s vysokou hodnotou spolehlivosti. To napovídá možné závislosti zvyšování četnosti front v závislosti na čase. Podle této závislosti by se dal očekávat nárůst atmosférických front i v budoucnu. Proložení spojnicí trendu o vyšším řádu je přesnější pouze minimálně (hodnota spolehlivosti se mění v řádu setin). Je potřeba si uvědomit nutnost volit jen sudé řády polynomu, u lichých by předpokládaná četnost přechodu atmosférických front (v minulosti nebo v budoucnu) mohla nabývat záporných hodnot. Povaha atmosférických front ovšem

zápornou četnost neumožňuje. Polynomická spojnice se také jeví jako vhodná z důvodu, že nezamítá možný nárůst a následný pokles četností v minulosti a vůči pozorovaným datům má vyšší hodnotu spolehlivosti než například exponenciální, logaritmická nebo lineární.

Porovnání průměrů četností atmosférických front v jednotlivých měsících v období 1950 – 1999 a 1950 – 2015 je znázorněno v Obr. 19. Z grafu je patrné, že prodloužením časové řady došlo k nárůstu průměrných měsíčních četností přibližně o 0,5. Zmíněné zvýšení hodnot je téměř ve všech měsících přibližně stejné a z ročního pohledu zůstává rozložení velmi podobné. Jedná se tedy spíše o pouhé posunutí řady průměrných četností. Důvodem by mohlo být zpřesnění metodiky stanovování atmosférických front a zlepšení technologií. Numerické modely dovedou vypočítat vlastnosti vzduchu i v místech, kde nedochází k měření a tím je síť hodnot hustší.

Pro grafické zpracování závislosti přechodu atmosférických front na směru a hodnotě NAO indexu byly zvoleny histogramy. Chybí v nich názorné vynesení závislosti vůči směrům, tak jak tomu bylo u Obr. 20, vytvořeného pomocí funkce `rose.diag`. Obdobný graf s vnesením četností jednotlivých intervalů NAO indexu by bylo možné vytvořit ve statistickém programu R s využitím balíku `openair` a funkce `windRose`. Bohužel takovéto zpracování nemělo velkou vypovídající hodnotu. Jednotlivé směry se zde musí rozdělit do jemných intervalů, což při použití funkce `windRose`, rozdělí jednotlivé směry na velké množství malých dílků. Rozdíl ve velikosti těchto dílků je nepatrný jak v rámci jednoho směru, tak i vůči směrům ostatním. Ukázkou grafu vytvořeného funkcí `windRose` uvádí Příloha č. 7.

## 7 Závěr

V rámci této bakalářské práce byla využita data o přechodu front přes Prahu zveřejněné na internetových stránkách ČHMÚ. Na jejich stránkách je také uvedeno statistické zpracování front z let 1950 – 1999. Tato statistika byla doplněna o data z let 2000 – 2015. U grafu znázorňujícího roční počet přechodů front byla nalezena vysoká spolehlivost polygonového trendu 3. řádu popisující nárůst front. Dále byla doplněna tabulka četností front pro jednotlivé měsíce. Četnost je zde vyjádřena jak sumou front, tak i jejich průměrným počtem v daném měsíci. Tyto průměrné četnosti byly porovnány s průměry v původní tabulce ČHMÚ, u které bylo pozorované období od roku 1950 do roku 1999. Při porovnání je zřejmé, že chod front má stále přibližně stejný charakter, ale četnost se zvýšila.

Dále byly statisticky zpracované fronty přecházející přes Prahu v závislosti na směru, odkud fronta přichází a hodnotě NAO indexu. Statistiky byly provedeny jak pro celé sledované období 1950 – 2015, tak i pouze pro zimní období z těchto let. V tomto období má totiž NAO index na počasí v České republice největší význam. V zimním období se nejvíce snížil poměr počtu front přicházejících z jihozápadu a jihu, oproti tomu narůstá poměr front ze západu až severu. Ukázalo se, že během zimy pravděpodobnost příchodu teplé fronty ze severovýchodu nebo studené z jihovýchodu je pouhá desetina procenta. V případě těchto teplých front byly hodnoty indexu NAO rozlišné, ale u jihovýchodních studených front byl vždy NAO index  $0,4 \pm 0,2$ . Výskyt jihovýchodních front v zimním období není příliš častý, zajímavé ovšem je, že za posledních 66 let tyto fronty při záporném NAO indexu byly téměř výhradně okluzní. Při zimních frontách ze severozápadu se ve většině případů jedná o studené fronty, zejména při NAO indexu -1 až 0.

Výsledky této bakalářské práce by mohly být využity k aktualizaci statistického zpracování přechodů front přes Prahu uváděného na internetových stránkách ČHMÚ. Na základě zjištěné spojnice trendu v nárůstu ročního počtu front by bylo vhodné zabývat se příčinou této souvislosti. Na našem území dlouhodobě převládá západní proudění. Příchod front ze severu nebo severovýchodu může přinášet zejména v zimě velmi chladné počasí. Je proto přínosné zaměřit se právě na tyto atmosférické fronty, zjišťovat jaké počasí při nich lze pozorovat a zjistit podmínky, za jakých se vytvoří. Dalo by se při tom zaměřit například na teploty

Arktidy v souvislosti s hodnotami indexů severoatlantické (NAO) a arktické (AO) oscilace. Další výzkum by se mohl zaměřit také na specifické podmínky příchodu front z jihovýchodu nebo jihu a možnost jejich souvislosti s oscilací ENSO.

## 8 Citovaná literatura

- Aguado E., Burt J. E., 2015: *Understanding weather and climate*. Pearson, Boston.
- Bednář J., 2003: *Meteorologie. Úvod do studia dějů v zemské atmosféře*. Portál, Praha.
- Bednář J., Zikmunda O. (1985). *Fyzika mezní vrstvy atmosféry*. Academia, Praha.
- Cílek V., 1998: Dialog mezi mořem a větrem. *Vesmír* 1998/7: str. 367 - 371.
- Cílek V., 1999: Severoatlantická oscilace (NAO) v poslední ledové době. *Vesmír* 1999/4: str. 196.
- Cílek V., 2010: Odložené globální oteplování?. *Vesmír* 2010/6: str. 372 - 375.
- Cílek V., 2015: *Klimatické změny, jejich cyklicita, příčiny a rizika*. Lesoochránárske zoskupenie VLK, online: <http://www.wolf.sk/sk/pocasio-podrobna-predpoved/klimaticke-zmeny/klimaticke-zmeny-jejich-cyklicita-priciny-a-rizika>, cit. 19. 9. 2015
- ČMeS, 1993: *Meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS)*. Česká meteorologická společnost, online: <http://slovník.cmes.cz>, cit: 28. srpen 2015
- ČHMÚ, 2016: *Přechody front přes Prahu*. Český hydrometeorologický ústav, online: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/prechody-front-pres-prahu>, cit: únor 2016
- Dodge M., Stinson C., 2008: *Mistrovství v Microsoft Office Excel 2007*. Computer Press, a.s., Brno.
- Fry J. L., Graf H. F., Grotjahn R., Raphael M. N., Saunders C., Whitaker R., 2012: *Počasi a změna klimatu*. Svojtka & Co, Praha
- Jonášová H., 2009: *Zpracování dat v Excelu (verze 2007)*. Univerzita Pardubice, Pardubice.
- Kobzová E., 1998: *Počasi: Knižka pro každého*. Rubico. Olomouc:
- Kopáček J., Bednář J., 2005: *Jak vzniká počasí*. Karolinum, Praha.
- Moran J. M., Morgan M. D., 1989. *Meteorology: the atmosphere and the science of weather*. Macmillan Publ. Co., New York.

- NOAA, 2016: *norm.daily.nao.index*. National Oceanic and Atmospheric Administration, online: <ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/cwlinks/norm.daily.nao.index.b500101.current.ascii>, cit: únor 2016
- Obdržálek J., 2011: *Fyzika na kolotoči aneb Coriolisova síla graficky*. Ústav teoretické fyziky MFF UK, Praha
- Pechala F., Bednář J., 1991: *Příručka dynamické meteorologie*. Academia, Praha.
- Řezáčová D., Novák P., Kašpar M., Setvák M., 2007. *Fyzika oblaků a srážek*. Academia, Praha.
- Řezanková H., Löster T., 2013: *Základy statistiky*. Oeconomica, Praha.
- Shakina N. P., Ivanova A. R., Komar'ko N. I., 2014: Present-day concepts of atmospheric frontogenesis. *Russian Meteorology and Hydrology* 2014/10: str. 639 - 649.
- Soukupová J., 2010: *Atmosférické procesy (základy meteorologie a klimatologie)*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Soukupová J., 2013: NAO - Severoatlantická oscilace a její vliv na počasí Evropy. *Biologie, chemie, zeměpis : Časopis pro výuku přírodovědných předmětů na základních a středních školách* 2013/4: str. 201 - 204.
- Thompson P. D., 1966: *Weather*. Time-Life, Nizozemí.
- Visbeck M., 2015: *North Atlantic Oscillation*. Lamont-Doherty Earth Observatory, online: <http://www.ldeo.columbia.edu/res/pi/NAO/>, cit: 19. 9. 2015.
- YANG S., GAO S., LU C. 2014: A Generalized Frontogenesis Function and Its Application. *ADVANCES IN ATMOSPHERIC SCIENCES* 2014/5: str. 1065–1078.
- Zverev A. S., 1986: *Synoptická meteorológia*. Alfa, Bratislava.

## 9 Seznam obrázků

Obr. 1 Hemisféry nerotujícího zjednodušeného modelu Země (Moran, Morgan, 1989).....	11
Obr. 2 Stočení větru vlivem Coriolisovy síly (Moran, Morgan, 1989) .....	12
Obr. 3 Všeobecná cirkulace atmosféry na otáčejícím se modelu Země (Kobzová, 1998).....	12
Obr. 4 Znázornění změny tlaku.....	13
Obr. 5 Tlakové útvary (Kobzová, 1998) .....	14
Obr. 6 Proudění v tlakové níži a výši (Kobzová, 1998).....	15
Obr. 7 Vznik geostrofického proudění (Pechala, Bednář, 1991) .....	15
Obr. 8 Model atmosférické fronty (Kobzová, 1998).....	18
Obr. 9 Modelový vývoj cyklóny na severní polokouli ve středních zeměpisných šířkách (Řezáčová a kol., 2007) .....	19
Obr. 10 Teplá fronta (Soukupová, 2010) .....	21
Obr. 11 Modifikace teplé fronty (Kopáček, Bednář, 2005).....	22
Obr. 12 Studená fronta 1. druhu (Soukupová, 2010).....	23
Obr. 13 Studená fronta 2. druhu (Soukupová, 2010).....	23
Obr. 14 Vznik okluzní fronty (Kobzová, 1998).....	24
Obr. 15 Studená okluze (Soukupová, 2010) .....	25
Obr. 16 Teplá okluze (Soukupová, 2010) .....	25
Obr. 17 Kladná fáze (vlevo) a záporná fáze (vpravo) NAO (Visbeck, 2015) .....	27
Obr. 18 Roční četnost výskytů atmosférických front - 5leté klouzavé průměry (zdroj dat: ČHMÚ, 2016).....	31
Obr. 19 Průměrné měsíční četnosti atmosférických front. Plné čáry značí průměr z období 1950 – 2015, tečkované odpovídají období 1950 – 1999 (zdroj dat: ČHMÚ, 2016).....	33
Obr. 20 Schematické rozložení atmosférických front (zdroj dat: ČHMÚ, 2016).....	34
Obr. 21 Schematické rozložení atmosférických front z období prosinec - únor (zdroj dat: ČHMÚ, 2016).....	35



Obr. 22	Hodnoty NAO indexu při přechodu front ze severu (zdroj dat: ČHMÚ, 2016; NOAA, 2016) .....	36
Obr. 23	Hodnoty NAO indexu při přechodu front ze severovýchodu (zdroj dat: ČHMÚ, 2016; NOAA, 2016) .....	36
Obr. 24	Hodnoty NAO indexu při přechodu front z východu (zdroj dat: ČHMÚ, 2016; NOAA, 2016) .....	36
Obr. 25	Hodnoty NAO indexu při přechodu front z jihovýchodu (zdroj dat: ČHMÚ, 2016; NOAA, 2016) .....	37
Obr. 26	Hodnoty NAO indexu při přechodu front z jihu (zdroj dat: ČHMÚ, 2016; NOAA, 2016) .....	37
Obr. 27	Hodnoty NAO indexu při přechodu front z jihozápadu (zdroj dat: ČHMÚ, 2016; NOAA, 2016) .....	37
Obr. 28	Hodnoty NAO indexu při přechodu front ze západu (zdroj dat: ČHMÚ, 2016; NOAA, 2016) .....	38
Obr. 29	Hodnoty NAO indexu při přechodu front ze severozápadu (zdroj dat: ČHMÚ, 2016; NOAA, 2016) .....	38
Obr. 30	Hodnoty NAO indexu při přechodu front ze severu v zimě (zdroj dat: ČHMÚ, 2016; NOAA, 2016) .....	39
Obr. 31	Hodnoty NAO indexu při přechodu front ze severovýchodu v zimě (zdroj dat: ČHMÚ, 2016; NOAA, 2016) .....	39
Obr. 32	Hodnoty NAO indexu při přechodu front z východu v zimě (zdroj dat: ČHMÚ, 2016; NOAA, 2016) .....	39
Obr. 33	Hodnoty NAO indexu při přechodu front z jihovýchodu v zimě (zdroj dat: ČHMÚ, 2016; NOAA, 2016) .....	40
Obr. 34	Hodnoty NAO indexu při přechodu front z jihu v zimě (zdroj dat (ČHMÚ) (NOAA)) .....	40
Obr. 35	Hodnoty NAO indexu při přechodu front z jihozápadu v zimě (zdroj dat: ČHMÚ, 2016; NOAA, 2016) .....	40
Obr. 36	Hodnoty NAO indexu při přechodu front ze západu v zimě (zdroj dat: ČHMÚ, 2016; NOAA, 2016) .....	41
Obr. 37	Hodnoty NAO indexu při přechodu front ze severozápadu v zimě (zdroj dat: ČHMÚ, 2016; NOAA, 2016) .....	41

## 10 Přílohy

Příloha č. 1 Skript k vytvoření růžicového grafu pro celý rok (Obr. 20)

```
library(circular)
#načtení front - celý rok
okluzni=read.csv2("okluze.csv")
okluzni_fronta=circular(okluzni$směr, units = 'degrees')

tepla=read.csv2("tepla.csv")
tepla_fronta=circular(tepla$směr, units = 'degrees')

studena=read.csv2("studena.csv")
studena_fronta=circular(studena$směr, units = 'degrees')

# graf - celý rok
## argument prop udává poměr jednotlivých typů front
rose.diag(okluzni_fronta, bins=8*3, units='degrees',
          rotation = "clock", zero = pi/2-pi/24, add = F,
          col='darkorchid1', axes = F, ticks = F, prop = 0.254*3)
rose.diag(tepla_fronta, bins=8*3, units='degrees',
          rotation = "clock", zero=pi/2-pi/24-pi/12, add = T,
          col='red', axes =F, ticks = F, prop=0.245*3)
rose.diag(studena_fronta, bins=8*3, units='degrees',
          rotation = "clock", zero=pi/2-pi/24+pi/12, add = T,
          col='blue', axes=F, ticks = F, prop=0.501*3)

osa = circular(c(90, 45, 0, 315, 270, 225, 180, 135),
              units = 'degrees')
axis.circular(at = osa, labels = c("S", "SV", "V", "JV", "J", "JZ",
                                "Z", "SZ"), units="degrees")
legend(1, 1, legend = c("tepla", "okluzni", "studena"),
      fill = c("red", "darkorchid1", "blue"))
title("Poměr počtu front v letech 1950-2015")
```

Příloha č. 2 Skript k vytvoření růžicového grafu pro zimní období (prosinec – únor) (Obr. 21)

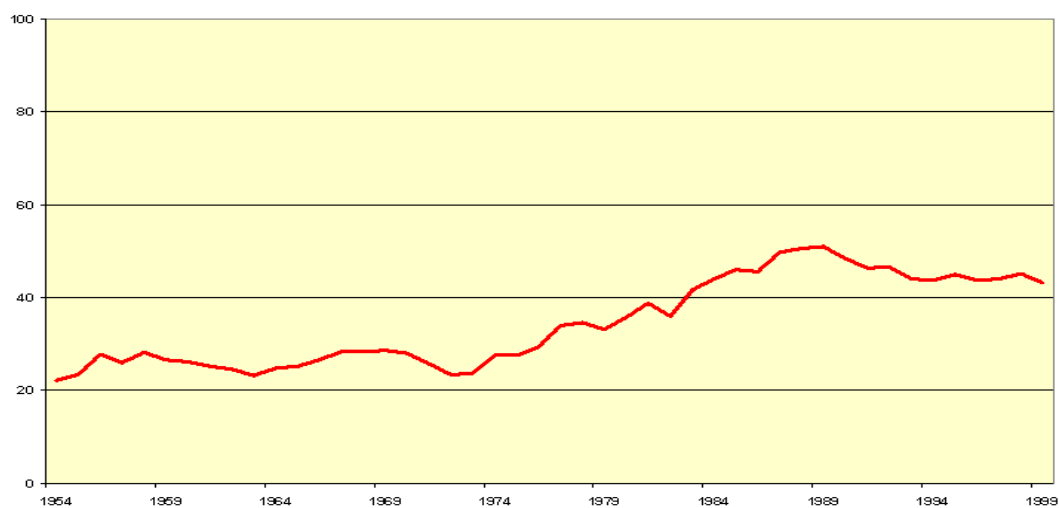
```
#načtení front - zima
okluzni1=read.csv2("zima/okluze.csv")
okluzni_zima=circular(okluzni1$směr, units = 'degrees')

tepla1=read.csv2("zima/tepla.csv")
tepla_zima=circular(tepla1$směr, units = 'degrees')

studena1=read.csv2("zima/studena.csv")
studena_zima=circular(studena1$směr, units = 'degrees')

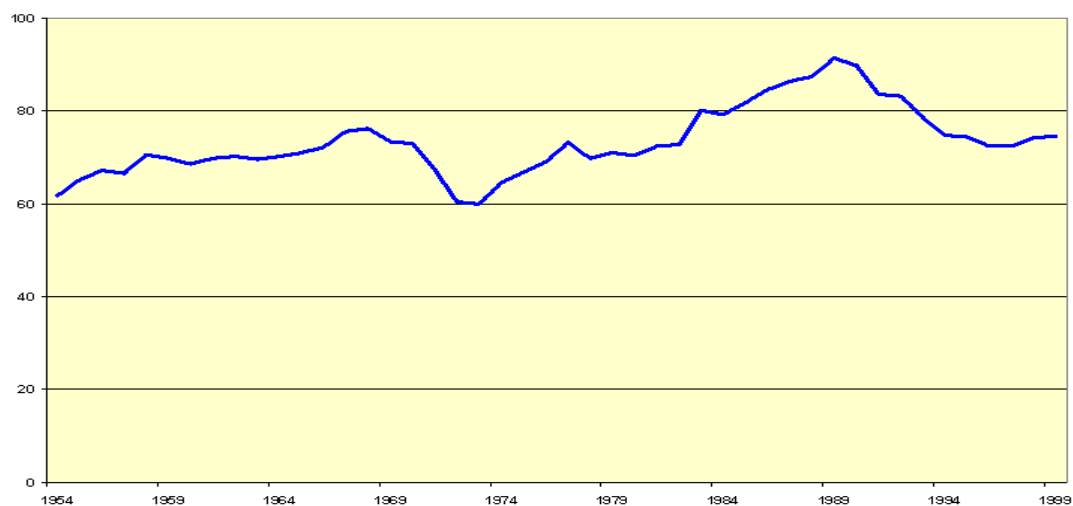
# graf - zima
## argument prop udává poměr jednotlivých typů front
rose.diag(okluzni_zima, bins=8*3, units='degrees',
          rotation = "clock", zero = pi/2-pi/24, add = F,
          col='darkorchid1', axes = F, ticks = F, prop = 0.273*3)
rose.diag(tepla_zima, bins=8*3, units='degrees',
          rotation = "clock", zero=pi/2-pi/24-pi/12, add = T,
          col='red', axes =F, ticks = F, prop=0.272*3)
rose.diag(studena_zima, bins=8*3, units='degrees',
          rotation = "clock", zero=pi/2-pi/24+pi/12, add = T,
          col='blue', axes=F, ticks = F, prop=0.455*3)
osa = circular(c(90, 45, 0, 315, 270, 225, 180, 135),
              units = 'degrees')
axis.circular(at = osa, labels = c("S", "SV", "V", "JV", "J", "JZ",
                                "Z", "SZ"), units="degrees", )
legend(1, 1, legend = c("tepla", "okluzni", "studena"),
       fill = c("red", "darkorchid1", "blue"))
title("Poměr počtu front v letech 1950-2015 (zimní období)")
```

**Příloha č. 3** Roční četnost výskytů teplých front - 5ti leté klouzavé průměry z období 1950 - 1999



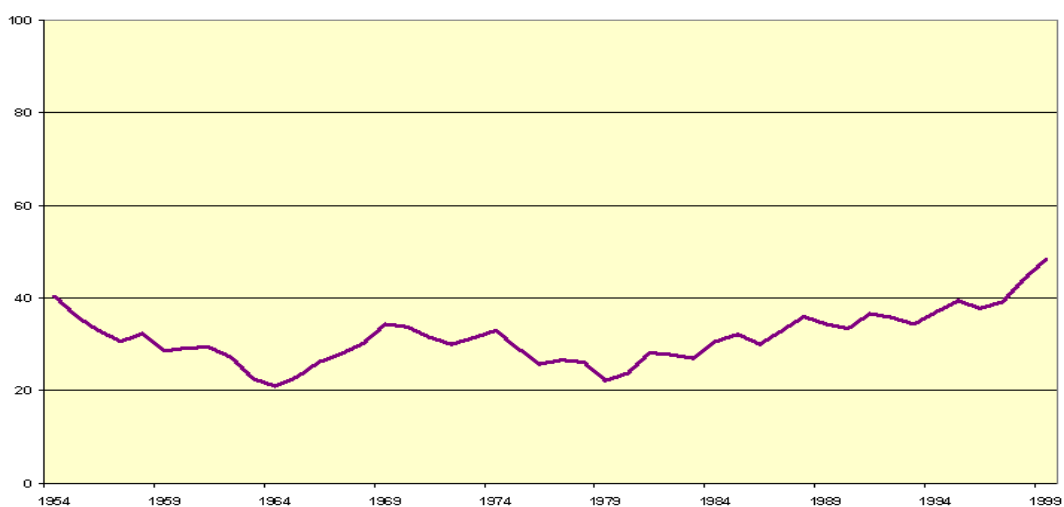
Zdroj: ÚFA AV ČR

**Příloha č. 4** Roční četnost výskytů studených front - 5ti leté klouzavé průměry z období 1950 - 1999



Zdroj: ÚFA AV ČR

**Příloha č. 5** Roční četnost výskytů okluzních front - 5ti leté klouzavé průměry z období 1950 - 1999



Zdroj: ÚFA AV ČR

Příloha č. 6 Četnost a měsíční průměr přechodů atmosférický front v období 1950 - 1999 (zdroj (ČHMÚ))

jaro								
měsíc	březen		duben		květen		celkem	
typ	suma	průměr	suma	průměr	suma	průměr	suma	průměr
teplá fronta	174	3,5	128	2,6	101	2	403	8,1
studená fronta	312	6,2	294	5,9	328	6,6	934	18,7
okluzní fronta	156	3,1	147	2,9	134	2,7	437	8,7
<b>celkem</b>	<b>642</b>	<b>12,8</b>	<b>569</b>	<b>11,4</b>	<b>563</b>	<b>11,3</b>	<b>1774</b>	<b>35,5</b>
léto								
měsíc	červen		červenec		srpen		celkem	
typ	suma	průměr	suma	průměr	suma	průměr	suma	průměr
teplá fronta	106	2,1	123	2,5	109	2,2	338	6,8
studená fronta	322	6,4	325	6,5	329	6,6	976	19,5
okluzní fronta	123	2,5	127	2,5	103	2,1	353	7,1
<b>celkem</b>	<b>551</b>	<b>11</b>	<b>575</b>	<b>11,5</b>	<b>541</b>	<b>10,8</b>	<b>1667</b>	<b>33,3</b>
podzim								
měsíc	září		říjen		listopad		celkem	
typ	suma	průměr	suma	průměr	suma	průměr	suma	průměr
teplá fronta	152	3	144	2,9	160	3,2	456	9,1
studená fronta	326	6,5	305	6,1	316	6,3	947	18,9
okluzní fronta	99	2	125	2,5	137	2,7	361	7,2
<b>celkem</b>	<b>577</b>	<b>11,5</b>	<b>574</b>	<b>11,5</b>	<b>613</b>	<b>12,3</b>	<b>1764</b>	<b>35,3</b>
zima								
měsíc	prosinec		leden		únor		celkem	
typ	suma	průměr	suma	průměr	suma	průměr	suma	průměr
teplá fronta	188	3,8	186	3,7	155	3,1	529	10,6
studená fronta	299	6	324	6,5	258	5,2	881	17,6
okluzní fronta	193	3,9	158	3,2	150	3	501	10
<b>celkem</b>	<b>680</b>	<b>13,6</b>	<b>668</b>	<b>13,4</b>	<b>563</b>	<b>11,3</b>	<b>1911</b>	<b>38,2</b>

Příloha č. 7 Ukázka grafu vytvořeného funkcí windRose pro závislost NAO indexu a směru přechodu atmosférické fronty

```
library(data.table)
library(openair)
studena=read.csv2("studena.csv")
windRose(studena, ws = "NAO_3dny", wd = "směr",
         breaks = seq(from = -3.2,to = 2.4,by = 0.4), cols="jet")
```

