

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Geografie a kartografie



Martin HYNČICA

DLOUHODOBÁ ZMĚNA SKUPENSTVÍ SRÁŽEK V ČR

**LONG-TERM CHANGES IN THE PRECIPITATION PHASE IN THE
CZECH REPUBLIC**

Bakalářská práce

Vedoucí závěrečné práce/Školitel: RNDr. Radan Huth, DrSc.

Praha, 2012

Zadání bakalářské/diplomové práce

Název práce

Dlouhodobá změna skupenství srážek v ČR

Long-term changes in the precipitation phase in the Czech Republic

Cíle práce

Práce si klade za cíl určit podíl sněhových srážek na celkovém úhrnu srážek a na počtu dnů se srážkami na stanicích v ČR a zjistit, zda se tento podíl dlouhodobě mění. Těžiště práce bude ve vlastních výpočtech, nikoliv v rešerši, protože prací publikovaných na toto téma je málo.

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje

Zdroje dat: měření teploty a srážek na stanicích v ČR pro období 1982 – 2007; údaje o skupenství srážek na některých stanicích ze zpráv SYNOP (1982 – 2010).

Datum zadání: 2. 11. 2011

Jméno studenta: Martin Hynčica

Podpis studenta:.....

Jméno vedoucího práce: RNDr. Radan Huth, DrSc.

Podpis vedoucího práce:.....

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 24. května 2012.

.....
Martin HYNČICA

Poděkování

Děkuji panu RNDr. Radanu Huthovi, DrSc. za cenné připomínky, rady a také za poskytnutí dat, bez kterých by tuto práci nebylo možné vyhotovit.

Abstrakt

Hlavním cílem práce je posouzení dlouhodobých změn skupenství srážek na území České republiky. V rešeršní části se zaměřuji na srážky, jejich prostorové rozložení a dlouhodobou změnu v prostoru i v úhrnech zejména pro svět a Evropu. Částí první kapitoly je i rešerše literatury o proměnlivosti sněhové pokrývky na severní polokouli a o vlivu severoatlantické oscilace na srážky i na sněhovou pokrývku. Druhá část analyzuje změny skupenství srážek na území České republiky s využitím klimatických měření denních úhrnů srážek a informací o stavu počasí v databázi SYNOP. Z dat jsem analyzoval dlouhodobý trend podílu tuhých srážek na celkovém ročním úhrnu pro celou Českou republiku i pro různé intervaly nadmořské výšky pro období 1982 – 2007. Také jsem zjišťoval, zdali se mění podíl dní se sněžením na celkových dnech se srážkami v období 1982 – 2010. Výsledky ukazují, že podíl sněhových srážek i podíl dní se sněžením klesají málo a nevýznamně.

Klíčová slova: srážky, skupenství srážek, sněhové srážky

Abstract

The main goal of the thesis is the evaluation of long-term changes in precipitation type in the Czech Republic. The first part concentrates on the literature review on precipitation, its spatial distribution, and long-term changes in space and amount, mainly for the world and Europe. A part of this chapter is also devoted to variability of snow cover in the Northern Hemisphere and impacts of the North Atlantic oscillation on precipitation and snow cover. The second part analyzes changes in the precipitation type using climatic measurements of daily precipitation amounts and the information of the state of weather in the SYNOP database. In this data, I have analyzed long-term trends of the portion of solid precipitation in total annual precipitation for the whole Czech Republic and for different intervals of altitudes in 1982 – 2007. I have also investigated if there is a change in the portion of days with snow on the total precipitation days in 1982 – 2010. The results show, that the portion of snow precipitation and the portion of days with snow is descending slowly and insignificantly.

Keywords: precipitation, state of precipitation, snow precipitation

OBSAH

1. Úvod	8
1.1. Cíle práce	8
2. Srážky v globálním a evropském měřítku	10
2.1. Změny v globálním měřítku	10
2.2. Trendy ve srážkách v Evropě	12
2.2.1. <i>Severní Evropa a Baltské země</i>	13
2.2.2. <i>Západní, střední, východní Evropa</i>	13
2.2.3. <i>Jižní Evropa</i>	14
3. Sněhová pokrývka	15
3.1. Citlivost sněhové pokrývky na teplotu a srážky	15
3.2. Změny v trvání sněhové pokrývky	16
3.3. Změny v rozloze sněhové pokrývky.....	17
3.4. Změna začátku jarního období.....	18
3.5. Sněhová pokrývka a severoatlantická oscilace.....	18
4. Změna skupenství ve světě	20
4.1. Vliv teploty a srážek na skupenství	20
4.2. Studie pro území Severní Ameriky	20
4.3. Změny skupenství srážek pro další oblasti	22
4.4. Některé problémy s měřením sněhových srážek	22
5. Metody práce	23
5.1. Popis dat ze zpráv SYNOP	23
5.2. Vymezení skupenství srážek podle databáze SYNOP	24
5.2.1. <i>Kapalné srážky</i>	24
5.2.2. <i>Tuhé srážky</i>	25
5.2.3. <i>Smíšené srážky</i>	26
5.3. Metodika propojení SYNOPu a úhrnů srážek	26
5.4. Výpočet podílu skupenství srážek a dnů se sněhem.....	27
6. Změna podílu sněhových srážek na celkovém úhrnu srážek	29
7. Analýza počtu dní se sněhovými srážkami	34
8. Diskuze a shrnutí výsledků	37
9. Závěr	40

10. Zdroje	41
10.1. Odborné články a knihy.....	41
10.2. Internetové zdroje	46

1. ÚVOD

V této bakalářské práci jsem se pokusil zjistit, jestli se v České republice dlouhodobě mění úhrn sněhových srážek a zdali roste nebo klesá počet dnů se sněhovými srážkami. Obecně se o tomto tématu v odborných člancích příliš nepíše, ačkoliv je úzce spojeno s teplotou, což může vést k úvahám o změně skupenství a globální klimatické změně, jelikož právě zvyšující se globální teplota za poslední století (Trenberth et al. 2007) může mít na skupenství srážek významný dopad. V samotné zprávě IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change; Mezinárodní panel pro změny klimatu; <http://www.ipcc.ch/>) se změně skupenství věnuje jedna kapitola, tedy spíše část – část 3.3.2.3, Changes in Snowfall. V této kapitole jsou taktéž zmíněny články Huntington et al. (2004) i Vojtek et al. (2003) s kterými zde bylo pracováno.

Tři hlavní články, ze kterých jsem na téma změny skupenství prováděl rešerši (Kap. 4) se věnují výhradně Spojeným státům americkým, pro Evropu ani Asii jsem žádnou samostatnou práci nenalezl – změna skupenství se zde řešila spíše okrajově, byla pouze částí rozsáhlejší studie.

Důvodem, proč ve světě neexistuje více prací na toto téma, může být jistá neurčitost v určení skupenství (alespoň v případě denních úhrnů srážek). Vymezovat skupenství srážek totiž se nemusí zdát příliš složité, ale problém nastává v případě, kdy se musí jedné hodnotě naměřeného úhrnu srážek jednoznačně přiřadit skupenství. Jak ale přiřadit skupenství, když se vyskytnou dvě dešťové a tři sněhové situace a my nevíme, kolik srážek napršelo v konkrétních situacích? Proto jsem zavedl kategorii dne se smíšenými srážkami, avšak vím, že to není ideální řešení. Tento ústupek obsahuje nepřesnost a možná i chybu, ale vhodnější řešení se hledalo jen těžko.

1.1 Cíle práce

Cíle této bakalářské práce jsou naznačeny v abstraktu, ale ze zadání jsou cíle jasnější:

1. Seznámit se s literaturou týkající se pozorovaných změn klimatu v oblasti střední Evropy, s důrazem na srážky a na území ČR.
2. Zpracovat rešerši literatury na toto téma.
3. Stanovit podíl sněhových srážek na celkovém úhrnu srážek a na počtu srážkových dní na stanicích v ČR a zjistit, zda se tento podíl dlouhodobě mění.

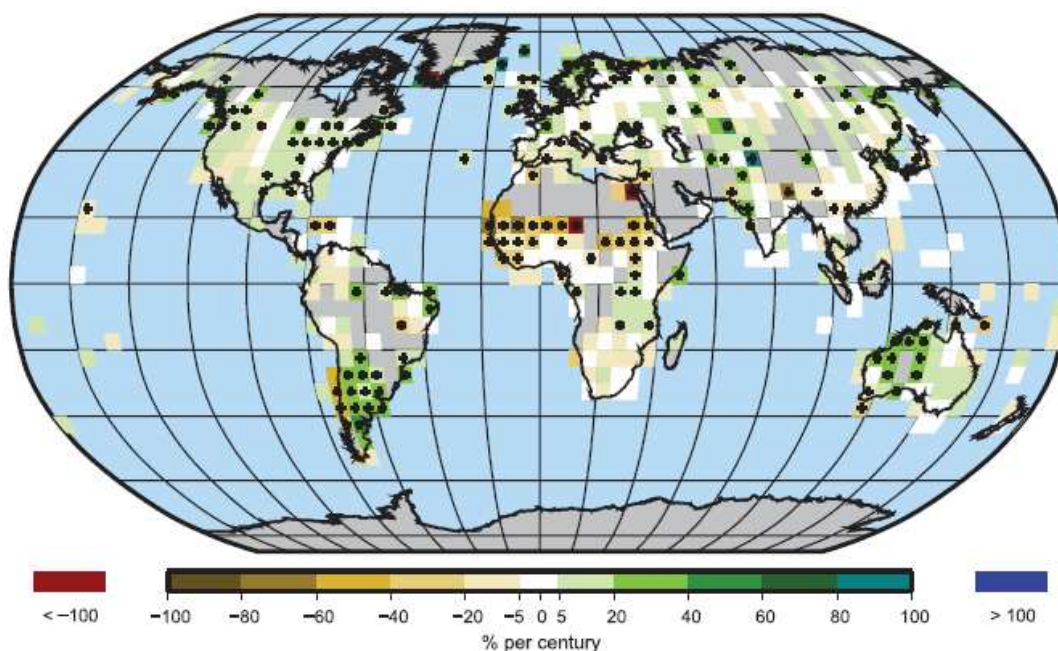
Srážky a jejich změny jsem se snažil popsat na globální a evropské úrovni. Do rešerše jsem začlenil i změny v rozloze sněhové pokrývky a vliv severoatlantické oscilace na rozlohu sněhové pokrývky (což platí zejména pro Evropu). Možná je tato část překvapivá, ale přišlo mi povinností napsat o těchto ukazatelích, protože souvislost mezi sněhovou pokrývkou a skupenstvím srážek jistě existuje, i když sněhová pokrývka je ovlivňována více faktory než pouze skupenstvím. Poslední část rešerše se zabývá pracemi o změně skupenství ve světě.

Druhá část sestávala převážně z vlastní práce. Zde jsem analyzoval kapalně, tuhé a smíšené srážky a jejich dlouhodobý vývoj (s důrazem na podíl srážek sněhových) a také počet dní, kdy sněží a zdali se tento počet nějak mění. Oba ukazatele byly zkoumány na 11 klimatologických stanicích v České Republice.

2. SRÁŽKY V GLOBÁLNÍM A EVROPSKÉM MĚŘÍTKU

2.1 Změna v globálním měřítku

Změny srážek ve světě za posledních několik desetiletí jsou prostorově velmi rozmanité. V globálním měřítku jsou změny v prostoru analyzovány v zprávě IPCC (Trenberth et al. 2007). Obecně došlo ke vzrůstu množství srážek za období 1900 – 2005 v oblastech severněji od 30° s. š. (Obr. 1), zatímco pokles je zaznamenán od sedmdesátých let pro oblasti tropů. V subtropích stoupaly srážky v první půlce století, pak následoval významný pokles opět v sedmdesátých letech. Podle Trenberth et al. (2007, s. 238): „výrazně vlhčími se staly východní části severní a jižní Ameriky, severní Evropa a severní a centrální Asie, ale sušeji je v Sahelu, Středozemí, jižní Africe a částech jižní Asie“.



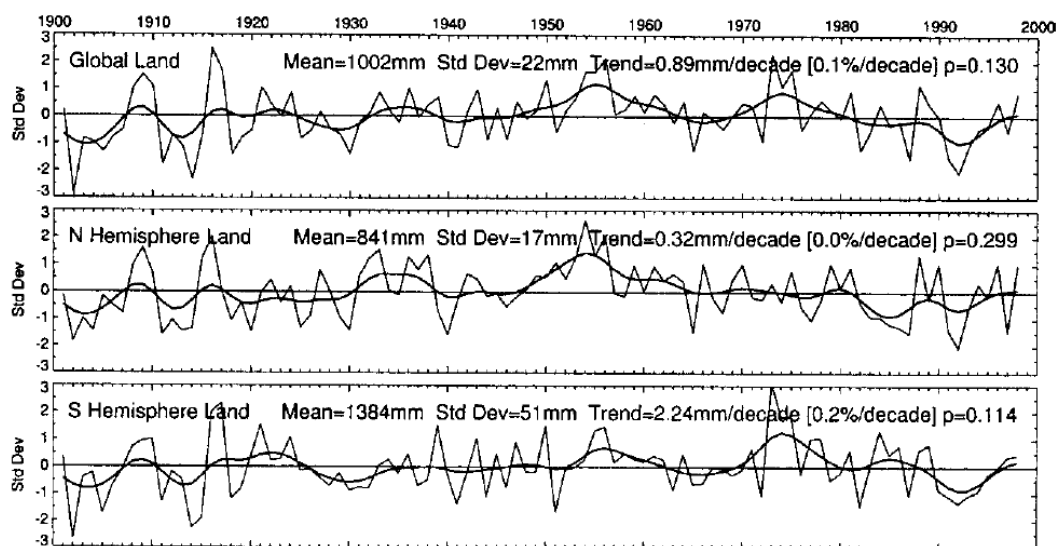
Obr. 1 Trend průměrných ročních srážek pro období 1901 – 2005. Procenta znamenají přírůstek nebo úbytek v procentech ve srovnání s obdobím 1961 – 1990. Oblasti s šedou výplní neobsahují spolehlivé údaje. Trendy, jež jsou významné na hladině 5%, jsou znázorněny černým bodem. Převzato z Trenberth et al. 2007.

V případě rozboru období 1979 – 2005 jsou výsledky mírně odlišné. Největší změna oproti údajům za více než století je patrná v subsaharské Africe, kde došlo k průměrnému zvýšení o 3 – 45 % za dekádu (zde je zejména důležité zvýšení srážek v devadesátých letech oproti suchům z počátku osmdesátých let). Kladný trend je pozorovatelný i v západní

a severozápadní Austrálii, kdežto jihozápad, východ a jihovýchod je srážkově negativní. Významný pokles je patrný mimo jiné i na hranicích Pákistánu s Indií, v Kalifornii a v některých oblastech Evropy (Trenberth et al. 2007).

Souhrnně lze tvrdit, že globální srážky narůstaly do padesátých let, pak následoval pokles do začátku devadesátých let a od začátku devadesátých let až dodnes je trend opět stoupající (Trenberth et al. 2007). Jak je patrné z obr. 2, za období 1900 – 2000 je severní polokoule srážkově stabilní a na jižní polokouli srážky stoupají (New et al. 2001).

Problémem může být, že v odlehlých regionech mohou být data nespolehlivá nebo počet měřících stanic nemusí být adekvátní velikosti území. Některé oblasti jsou proto při analýze ignorovány (Antarktida, části Sahary, Arabský poloostrov a jiné). Další nevýhodou je, že zjištěné trendy pro rozlehlé oblasti jsou spíše obecnou charakteristikou území, protože při podrobné analýze srážek se může v menších regionech lišit plošné rozložení i trendy.



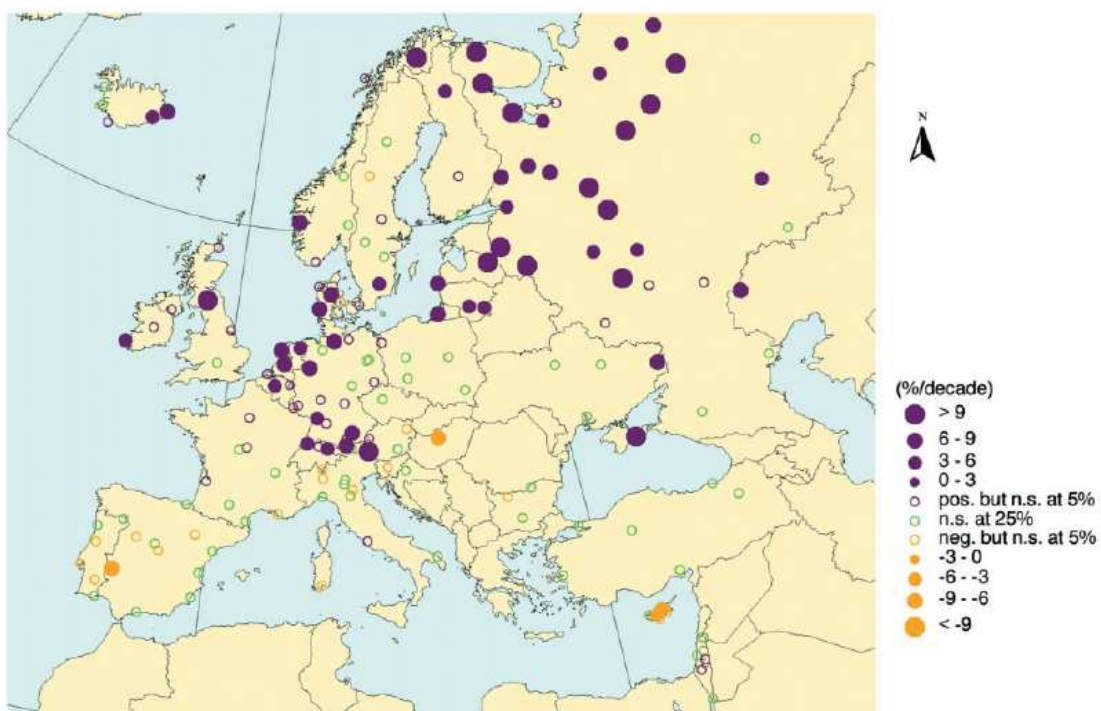
Obr. 2 Dlouhodobý trend srážek pro celý svět, severní polokouli a jižní polokouli. Převzato z New et al. 2001.

New et al. (2001) analyzoval data z pozemních stanic i družicových měření a zjistil, že srážky nad pevninou vzrostly za celé 20. století o 9 mm, nejvíce pak mezi 40° – 60° a 60° – 80° s. š. V Dai et al. (1997) bylo zjištěno, že množství srážek narůstalo o 2,4 mm za desetiletí v období 1900 – 1988, přičemž tento trend je nejsilnější v Severní Americe, středních a vysokých zeměpisných šířkách Eurasie, Argentině a Austrálii.

2.2 Trendy ve srážkách v Evropě

Evropa je oblast, která je nejvíce ovlivňována prouděním ze západu (Atlantiku). Tento vzduch putuje až do střední a východní Asie, kde ovlivňuje zdejší podnebí a přináší sem srážky. Evropa je obecně územím, kde celoročně přinášejí oblačnost a srážky cyklony. V letních měsících rostou vlivem zvýšené teploty srážky z mezosynoptických konvekčních útvarů, které mohou způsobovat přírodní katastrofy. Srovnání různých studií je relativně složité – každá z nich vymezuje jiné území a časový interval (období, měsíce, roky).

Analýza srážek a teploty pro období 1946 – 1999 pro celou Evropu byla zpracována v Klein Tank et al. (2002). Obr. 3 ukazuje trend pro chladné období (říjen až březen) a jeho prostorové rozmístění. Významný nárůst se vyskytuje v oblastech severní části evropského Ruska, v Belgii, Nizozemsku, Alpách a na pobřeží Německa. Pro Prahu je trend nevýznamný na hladině 25 %.



Obr. 3 Prostorové rozdělení trendů srážek (procento/desetiletí) v chladném období v Evropě v období 1946 – 1999. Fialově je znázorněn růst, žlutě pokles. Zelená barva ukazuje nevýznamný trend na hladině 25%. Převzato z Klein Tank et al. 2002.

Rozložení srážek v Evropě je prostorově různorodé. Z hlediska trendů průměrných celoročních srážek lze celou Evropu rozdělit na tři území – severní Evropa, kde srážky rostou, Středomoří, kde srážek ubývá a přechodné regiony střední a západní Evropy s žádnými nebo málo významnými trendy.

2.2.1 Severní Evropa a Baltské země

Severní Evropa je region, kde dochází k růstu srážek, například v Norsku došlo k významnému zvýšení zimních srážek hlavně na jihozápadě země v období 1900 – 1994 (Førland et al. 2000), zatímco ve Švédsku (Busuioc et al. 2001) rostou srážky ve všech měsících kromě srpna. Podobná situace je i v Lotyšsku, kde stoupají srážky od prosince do března, tedy v zimním období (Lizuma et al. 2010). Změny je podle Busuioc et al. (2001) možné vysvětlit změnami v atmosférické cirkulaci.

2.2.2 Západní, střední, východní Evropa

V západní, střední a východní Evropě jsou hodnoty průměrných ročních srážek buď stabilní, nebo velmi málo rostoucí – kladný trend je patrný nejčastěji pro chladnější polovinu roku. To platí například pro Polsko, kde je významný růst zaznamenán v březnu, mírný nárůst pro prosinec a pokles srážek je zjištěn pro léto (Degirmendžić et al. 2004). Významné zvýšení v březnu může být podle studie důsledkem silnějšího západního proudění. Pro západní Německo je zřetelné zvýšení 5denního nejvyššího úhrnu srážek především v zimě ve vyšších nadmořských výškách (Hundechea, Bárdossy 2005). Pro oblast Stuttgartu bylo zjištěno, že dlouhodobý trend ročních srážek zůstává stabilní, ale za období 1872 – 2002 stoupl množství zimních srážek o 12 % a podzimních o 5,5 % (Wulfmeyer, Henning-Müller 2006). Ke stejnému závěru dospěli i ve východním Německu, konkrétně v Sasku, kde taktéž vzrůstá podíl srážek v zimě ve výše položených oblastech (Franke et al. 2004). Podobný výsledek zjistili i Moberg, Jones (2005), kteří popisují území zejména střední a severní Evropy: významné zvýšení srážek v zimě.

V Rakousku (Auer et al. 2001) se trend srážek prostorově liší podle oblastí. Na západě a severu země se množství srážek dlouhodobě (od roku 1814) zvyšuje v zimě a v létě, přičemž od poloviny 19. století je důležitější růst zimních než letních srážek. Na východě a jihu země od roku 1910 srážky klesaly, ale počínaje 80. léty 20. století zde srážky rostly. Celkově zůstávají srážky v Rakousku od roku 1814 stabilní a nevykazují významný trend. Pro

Německé a jihozápadní Alpy obecně vzrostly zimní srážky o 20 – 30 % za období 1901 – 1990 a velmi nevýznamně klesly v Alpách jihovýchodních (Schmidli et al. 2002).

V Maďarsku (Domonkos, Tar 2003) oproti ostatním regionům střední Evropy úhrn srážek klesá průměrně o 0,8 – 1,1 mm/rok. Největší úbytek je patrný v březnu a dubnu a obecný trend poklesu zimních srážek s nejmarkantnějším snížením v období 1950 – 2000 je podle autorů nejspíše následkem vzrůstajícího trendu v indexu severoatlantické oscilace (Kap. 3.5) a s tím související slábnutí cyklon přicházejících ze středomořské oblasti, které jsou hlavním zdrojem zimních srážek. Trend poklesu srážek na jaře je patrný i ve stanici Hurbanovo na jihu Slovenska (Melo et al. 2007) a na jihu Rumunska, kde za období 1965 – 2005 srážek ubylo, i když pouze nevýznamně (Croitoru, Toma 2010)

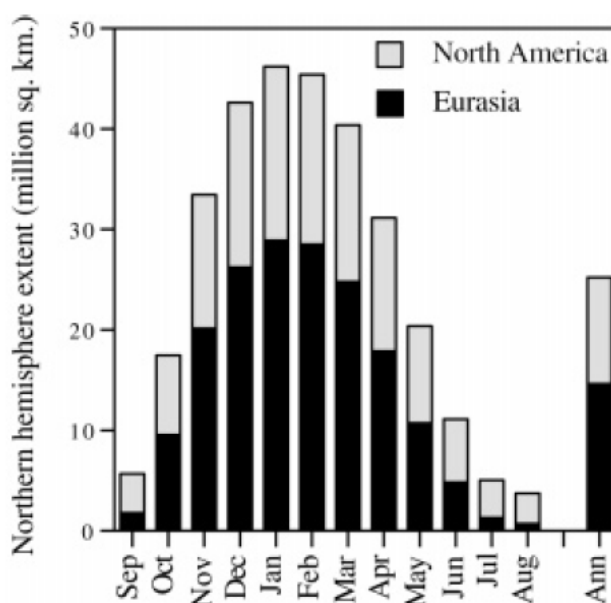
2.2.3 Jižní Evropa

Největší pokles ročních srážek v jižní a centrální Itálii (Brunetti et al. 2000) je zaznamenán od roku 1930, zatímco severní Itálie je oblastí stabilní v důsledku nárůstu zimních srážek. Snížení ročních úhrnů srážek v jižní Evropě může být způsobeno vyšší četností anticyklon ve středozevní oblasti, což může souviset s kladnou fází severoatlantické oscilace (Kap. 3.5). V Andalusii v jižním Španělsku v období 1938 – 1997 také klesají srážky, ale tento trend by měl být dočasný – v oblasti dochází ke střídání suchých a vlhkých period (Rodrigo et al. 2000). Jako jediný region Španělska s významně rostoucími srážkami (od roku 1920) byla analyzována Kantábie na severu země, zatímco vnitrozemí a mediteránní části Španělska vykazují pokles (Esteban-Parra et al. 1998).

3. SNĚHOVÁ POKRÝVKA

Na severní polokouli dosahuje rozloha sněhové pokrývky maxima v průběhu ledna a února (Obr. 4) a dosahuje hodnoty přibližně 47 milionů km² (Robinson, Frei 2000). Průměrná roční rozloha sněhové pokrývky na severní polokouli činí 25,3 milionů km², z čehož 14,7 milionů km² připadá na Eurasii (Easterling et al. 2000).

Změna skupenství srážek může měnit charakteristiky sněhové pokrývky – její trvání, rozlohu nebo tloušťku. Tyto ukazatele jsou zároveň velmi úzce propojeny a vážou se na teplotu. Snižování podílu tuhých srážek v jarních měsících je také znakem prodlužování jarního období, tedy dřívějšího začátku jara.



Obr. 4 Průměrné měsíční rozlohy sněhové pokrývky v milionech km² na severní polokouli zvláště pro Eurasii a Severní Ameriku v období 1972 – 1999. Převzato z Robinson, Frei 2000.

3.1 Citlivost sněhové pokrývky na teplotu a srážky

Dlouhodobé změny v rozloze a v trvání sněhové pokrývky jsou odrazem měnících se hodnot srážek i teplot. Právě závislost na teplotách a srážkách směřuje ke stanovení hranice, kde začíná být působení teploty na sněhovou pokrývku zanedbatelné a mnohem větší vliv mají srážky. Za hranicí zůstává teplota v zimních měsících pod bodem mrazu a v konečném důsledku tu je její vliv nepatrný. Taková území najdeme ve vysokých nadmořských polohách, vysokých zeměpisných šířkách nebo ve vnitrozemí, kde se uplatňuje vyšší kontinentalita.

Hranice dominantního vlivu srážek byla v Evropě analyzována pro švýcarské Alpy (1750 m.n.m., Beniston 1997) nebo pro slovenské Tatry (1800 m.n.m. na severních a 2300 m.n.m. na jižních svazích, Vojtek et al. 2003). Nad touto hranicí dominuje vliv srážek a rozloha či trvání sněhové pokrývky neklesá nebo dokonce roste.

Vztah mezi srážkami, teplotou a sněhovou pokrývkou také popsala Bednorz (2004) – pokud průměrná teplota v zimních měsících kolísá kolem 0°C, dochází k častější ablacii a tání, tudíž je dominantní teplota. V místech, kde převládá teplota pod bodem mrazu je sněhová pokrývka řízena srážkami: tyto regiony leží více na severu nebo v horách.

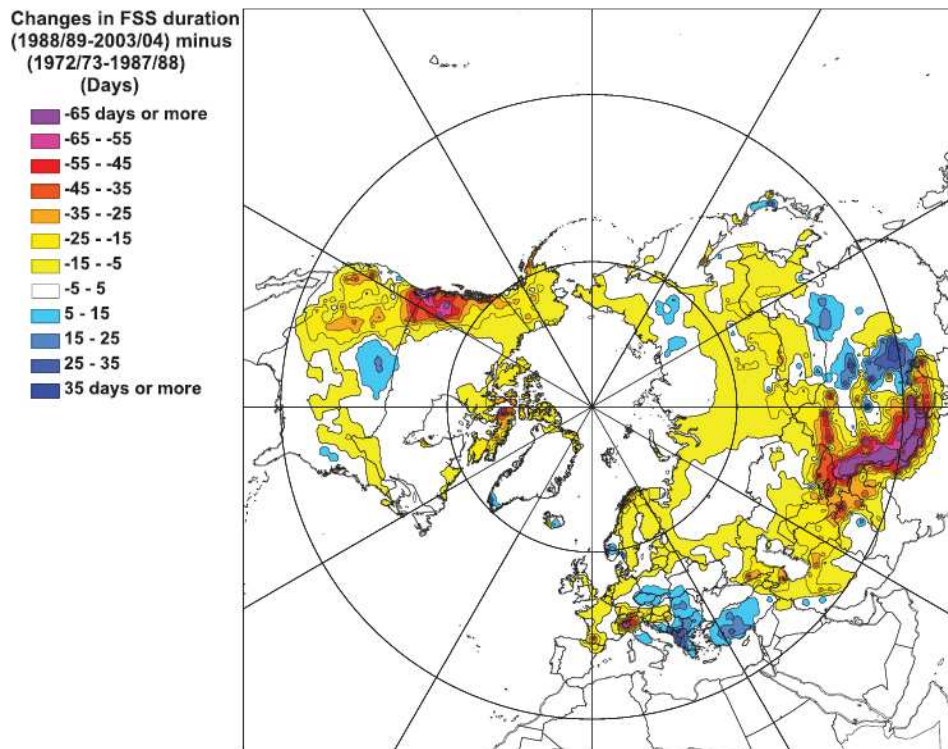
3.2 Změny v trvání sněhové pokrývky

Trvání sněhové pokrývky pro severní polokouli se zkracuje. Choi et al. (2010) vymezili sněhovou sezonu obdobím mezi prvním a posledním výskytem sněhové pokrývky (Full snow season, FSS). FSS za období 1967 – 2008 pro celou severní polokouli klesá průměrně o 5,3 dní za 10 let (Obr. 5), což je dáno dřívějším koncem sněhové pokrývky na jaře. Na obr. 5 je vidět, že ve sledovaném období převládá pokles, ale v některých regionech se doba trvání sněhové pokrývky prodlužuje – jde o oblasti ve střední Evropě, Asii, Severní Americe, Turecku a Balkánu. Závěry Choi et al. (2010) se shodují s Dye (2002), kde bylo zjištěno, že trvání sněhové pokrývky se pro severní polokouli v období 1972 – 2000 zkracuje o 3 – 5 dní za dekádu.

Výsledky studií, zabývající se proměnlivostí sněhové pokrývky v Evropě jsou rozmanité. Střední Evropa je území, kde je sněhová pokrývka řízena teplotou (Clark et al. 1999). V Polsku (Falarz 2004) bylo zpracováno období 1895 – 2006 s tím výsledkem, že žádný dlouhodobý trend není patrný, avšak v druhé polovině 20. století se doba trvání prodlužuje na hornatém jihu (Krkonoše, Tatry a Orava), ale zkracuje na severovýchodě a západě země. Změny byly zkoumány i v Estonsku, kde došlo ke zkrácení doby trvání sněhové pokrývky v důsledku silícího zonálního proudění v zimě, zejména na pobřežních stanicích (Jaagus 2006).

V Česku (Brázdil et al. 2009) není pokles trvání sněhové pokrývky v období 1961 – 2005 tak patrný – statisticky významný je na pětina stanic na jaře i v zimě, pro prosinec, leden a březen. Následkem vyšší teploty ve zmiňovaných obdobích je vyšší úhrn srážek padajících jako déšť než sníh. Tento trend se shoduje s výsledky zjištěnými v Sasku, kde za období

1951 – 2000 poklesl počet dní se sněhovou pokrývkou vyšší než 20 cm (Franke et al. 2004). Výsledky Brázdil et al. (2009) jsou v nesouladu s obr. 5. Tento rozpor lze vysvětlit použitím jiných dat – data v Choi et al. (2010) byla získána z družicových měření, zatímco Brázdil et al. (2009) použil data z klimatologických stanic.



Obr. 5 Změny v trvání sněhové pokrývky (FSS) pro severní polokouli. Převzato z Choi et al. 2010.

3.3 Změny v rozloze sněhové pokrývky

Za posledních několik desetiletí nedošlo pouze ke změně v době trvání sněhové pokrývky, ale také v její rozloze. Celkovou situaci analyzoval Brown (2000) za období 1915 – 1997: v Eurasii je největší úbytek v rozloze sněhové pokrývky v dubnu, konkrétně o 20 %, zatímco v Severní Americe je tento trend na jaře nevýznamný. Zatímco na jaře dochází k zjevnému poklesu rozlohy ve střední a západní Evropě, v zimních měsících se rozloha ve středních zeměpisných šířkách zvětšila, což může být důsledek zvýšených zimních srážek (Brown 2000).

3.4 Změna začátku jarního období

Trend posledních několika desetiletí jasně směřuje k dřívějšímu začátku jarního období. To se může stát pro některé oblasti velkým zdrojem problémů – především tam, kde je jarní tání hlavním zdrojem vodnosti. Samotný sníh je zejména v horských oblastech zásobárna vody, která při dřívějším tání uvolňuje zadržovanou vodu dříve, a ta pak chybí v letních měsících.

Jedinou zmínkou o dřívějším počátku jara podle IPCC (Trenberth et al. 2007) je prodloužení období s padajícími kapalnými srážkami o 3 týdny v boreálních oblastech, což souvisí se vzrůstem teploty vzduchu v březnu, dubnu i květnu. Teplota má také vliv na rozlohu i trvání sněhové pokrývky a urychluje její tání. Účinek časnějšího začátku jara má dopad i na hydrologický cyklus – dřívější zmizení ledu z jezer, odtok ledu z řek, dřívější jarní tání, změna v hustotě sněhu v pozdní zimě, snížení tloušťky ledu na řekách či snižování rozlohy sněhové pokrývky (Hodgkins et al. 2003).

Patrný je i dopad na ekosystémy – prodloužení vegetačního období určeného z indexu NDVI (Normalizovaný diferenční vegetační index, Myneni et al. 1997), prodloužení vegetačního období rostlin o 10,8 dní v období 1959 – 1993 (Menzel, Fabian 1999), nebo posunutí počátku fotosyntézy o 3 – 4 dny dříve (Zhou et al. 2001).

Faktor, který přispívá k brzkému startu jara, je také mechanismus kladné zpětné vazby sněhové pokrývky. Jelikož má sníh velké albedo, je účinným prvkem v ochlazování svého okolí tím, že většinu dopadající energie ze Slunce odrazí zpět. Pokud sněhová pokrývky vlivem vyšší teploty roztaje dříve, energie je absorbována jiným povrchem s nižším albedem. Tímto procesem (energie se od sněhu neodrazí, ale je absorbována jiným povrchem) se dále zvýší teplota, což v důsledku vede k časnějšímu počátku jara (Tolasz 2009).

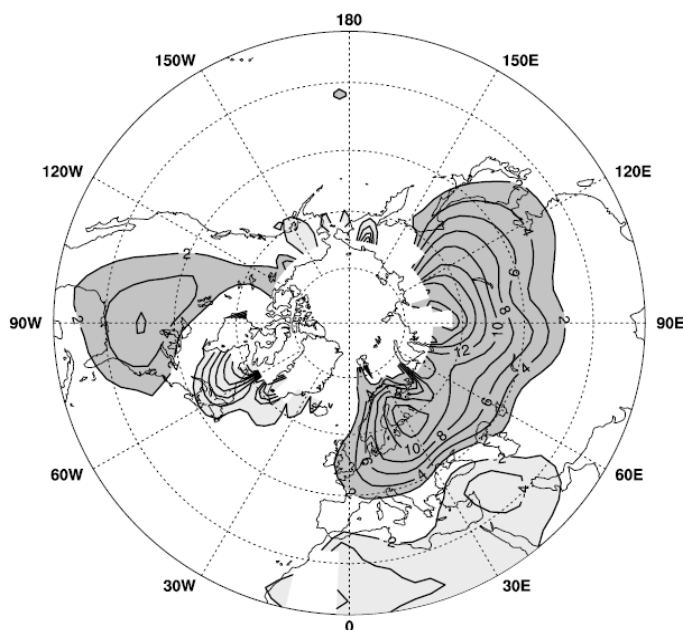
3.5 Sněhová pokrývky a severoatlantická oscilace

Dvě oscilace, které se nejčastěji spojují s klimatem Evropy i Severní Ameriky, jsou severoatlantická oscilace (North Atlantic Oscillation, dále NAO) a arktická oscilace (Arctic Oscillation). Se zjednodušením lze tvrdit, že severoatlantická oscilace je regionálním projevem arktické oscilace (Wallace 1999). Její hodnota vypovídá o rozdílu tlaku mezi islandskou tlakovou níží a azorskou tlakovou výší. Při vysokém indexu (vyšší než + 1) je značně zesíleno západní proudění do Evropy, což má vliv především v zimním období, kdy

roste teplota i srážky severní a střední Evropě (Trenberth et al. 2007). Je to jeden z faktorů, který ovlivňuje plošné rozdělení sněhových srážek, a to zejména posunutím drah cyklón přicházejících z Atlantiku více na sever (Hurrell et al. 2003). Při kladném indexu NAO tedy dochází k oteplení velkého území Evropy. Oblasti, kde naopak teplota klesá, jsou severní Afrika a střední východ (Obr. 6). V případě Severní Ameriky se při stejné situaci otepluje, ovšem severovýchodní část Kanady a Grónsko se naopak ochlazuje (Hurrell et al. 2003).

Severoatlantická oscilace je jedním z klíčových faktorů výskytu, trvání i tloušťky sněhové pokrývky. Beniston (1997) studoval vztah mezi hodnotami NAO a rozlohou sněhové pokrývky pro švýcarské Alpy. Bylo zjištěno, že kladná odchylka NAO způsobuje posunutí drah cyklón severněji a anomálii vyššího tlaku nad Švýcarskem, což se projevuje menšími sněhovými srážkami.

Anomálie teploty je jedním z projevů NAO – pokud je NAO v kladné fázi, dochází k zesílení západního proudění a přenosu teplých oceánských vzduchových hmot do centrální Evropy z jihozápadu (Clark et al. 1999). Avšak nesmí se opomenout, že NAO bude mít zřejmě největší vliv na skupenství srážek v oblastech, jejichž průměrné teploty v zimě se pohybují poblíž bodu mrazu, zatímco na regiony, které jsou v dostatečné nadmořské výšce, nebude mít teplotní anomálie NAO takový dopad.



Obr. 6 Odchylky průměrné měsíční teploty při kladném indexu NAO v období 1900 – 2002. Tmavě šedou výplní jsou zobrazeny oblasti, u kterých teplota při kladném indexu NAO roste, šedou výplní takové, u kterých teplota klesá (desetiny stupně). Převzato z Hurrell et al. 2003.

4. ZMĚNA SKUPENSTVÍ SRÁŽEK VE SVĚTĚ

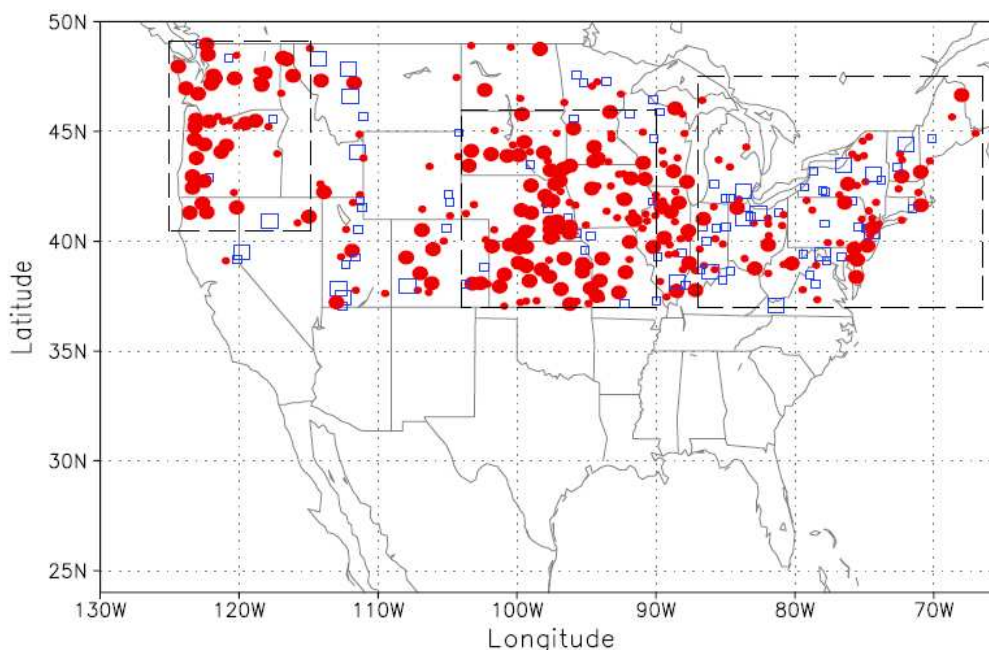
4.1 Vliv teploty a srážek na skupenství

Obecně největší změna ve skupenství srážek je zjištěna v pobřežních oblastech mírných šířek (Feng, Hu 2007, Knowles et al. 2006) – v takových územích se průměrné teploty v zimě pohybují poblíž 0 °C a už při menším oteplení začíná většina srážek padat jako déšť (pluviální srážky) na úkor sněhu (nivální srážky). To bylo zčásti potvrzeno v Huntington et al. (2004), kde vliv teploty vykazuje velmi dobrou korelaci s negativním trendem ve sněhových srážkách, ačkoliv pouze pro severní stanice v Nové Anglii.

Podle Knowles et al. (2006) jsou v západní Americe nejvýznamněji zasaženy regiony, které mají nejnižší denní teplotu v chladném období vyšší jak -5°C, kde už relativně malé zvýšení teploty je schopno změnit skupenství srážek. Oblast s největším oteplením (0 – 3 °C) se v západní Americe nachází v Rocky Mountains. Zde bychom očekávali největší změnu ve skupenství srážek, avšak tato území jsou i přes oteplení stále natolik studená, že zvýšení teploty nemá na změnu skupenství téměř žádný vliv.

4.2 Studie pro území Severní Ameriky

Severní oblasti Spojených států amerických za období 1949 – 2005 byly zkoumány ve Feng, Hu (2007). Konkrétně byl analyzován trend podílu sněhových srážek za listopad až březen na celkovém úhrnu ročních srážek (S/P – poměr sněhových a celkových srážek), což je postup, který je také aplikovaný ve v Huntington et al. (2004). Práce ukázala, že největší pokles je patrný na severozápadě USA (Obr. 7), kde klesají průměrné zimní i roční srážky. Největší úbytek podílu je zaznamenán v březnu, což se částečně shoduje i s další prací (Knowles et al. 2006), kde zjistili nejvýznamnější propad v lednu (pobřežní oblasti, které dostávají nejvíce srážek v lednu), a potom v březnu (pro celé zkoumané území).



Obr. 7 Trendy v poměru S/P ve zkoumané oblasti ve Feng, Hu (2007). Tečky ukazují záporný trend, čtverce pak kladný trend. Velké tečky (čtverce) signalizují trend na 95% hladině spolehlivosti. Převzato z Feng, Hu 2007.

Oblast Nové Anglie za období 1949 – 2003 zkoumali v Huntington et al. (2004). Analýza byla provedena na 21 stanicích, ze kterých 11 zaznamenalo výrazný pokles v podílu sněhových na celkových srážkách. Ve stejné studii také bylo zkoumáno, zdali není tento trend výsledkem nikoliv nižších sněhových, ale přibývajících dešťových srážek, což by mělo stejný dopad – významnější je trend poklesu sněhu, ačkoliv dochází k růstu srážek obecně. Největší úbytek se nachází na severu zkoumaného území a na pobřežních stanicích. Vliv na skupenství má také NAO – v kladné fázi padá v Severní Americe více pluviálních než niválních srážek.

Třetí studie se opět zabývá Severní Amerikou, konkrétně západním pobřežím a zkoumá období 1949 – 2004. Autoři používají stejný postup, jako v předchozích pracích (S/P). K poklesu došlo na 74 % studovaných stanic. Největší změna se vyskytla v teplejších pobřežních oblastech, kde jsou srážky citlivé na rostoucí teplotu, relativně stabilní je území východněji v Rocky Mountains (Knowles et al. 2006). Tyto trendy nejsou výsledkem nárůstu celoročních srážek, což koresponduje s Huntington et al. (2004).

4.3 Změny skupenství srážek pro další oblasti

V dílčí části studie, která zkoumala změnu S/P v oblastech nad 50° severní šířky pro severní polokouli, bylo zjištěno zvyšování ročních pluviálních srážek na úkor niválních, konkrétně o 6 % za období 1950 – 2000 (Groisman et al. 2003).

Pro Evropu žádná obsáhlá studie zpracována nebyla: pouze součástí několika prací je analýza poměru niválních a pluviálních srážek. Na Slovensku, konkrétně v Tatrách na stanicích v nadmořské výšce vyšší než 700 m.n.m. je pozorován pokles sněhových srážek na všech zkoumaných stanicích kromě té nejvyšší (Lomnický štít, 2 635 m.n.m., Vojtek et al. 2003). Největší pokles z celé oblasti je zaznamenán ve výšce 1 000 – 1 500 m.n.m., kde také padá více smíšených než sněhových srážek. Úbytek srážek ve formě sněhu je tam kompenzován přírůstkem v celkových zimních srážkách (Vojtek et al. 2003).

Pro západní Německo byla zpracována studie, zabývající se extrémními denními srážkami a bylo zjištěno, že podíl S/P opravdu na mnoha stanicích významně klesnul. Tento trend mohl vést k vyššímu množství extrémních denních úhrnů v zimním období (Hundechea, Bárdossy 2005).

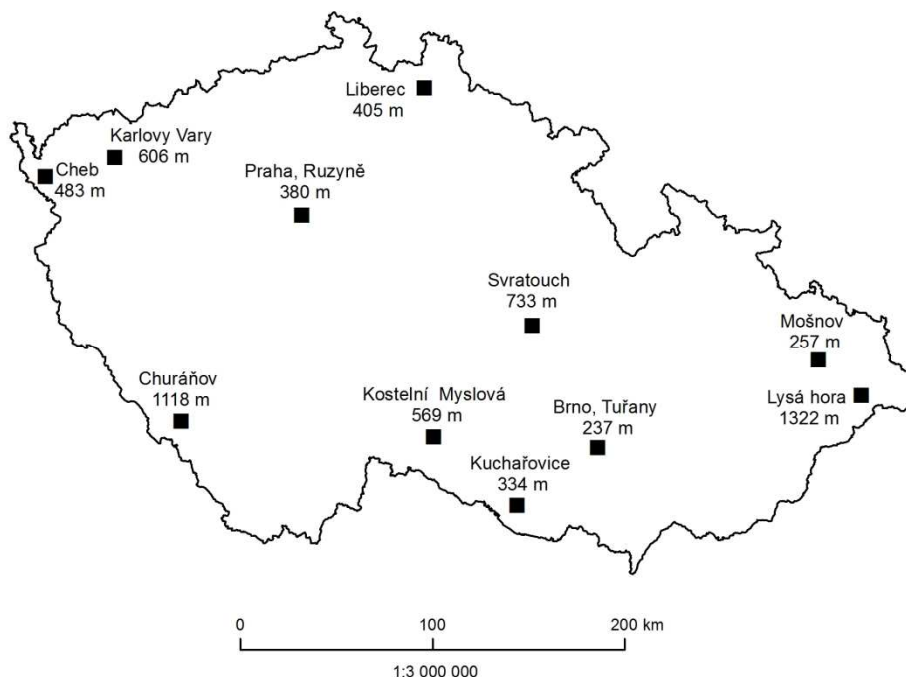
4.4 Některé problémy s měřením sněhových srážek

Měření sněhu není bezproblémové. V pracích jsou zmíněny problémy se smíšenými srážkami – tedy přesným rozhraním mezi deštěm a sněhem. Samostatnou kategorii smíšených srážek vymezil pouze Vojtek et al. (2003). Navíc tento typ srážek může ovlivnit celkový trend – nahodnocení v případě smíšených srážek, které se budou zřejmě považovat za snůh. Oproti tomu je tento trend vyvážen, jak je popsáno v Knowles et al. (2006), horšími možnostmi měření niválních srážek vlivem větru.

Odchylna měření sněhových srážek může být způsobena i takzvaným “undercatch“. Tímto pojmem je nazýváno zkreslení, které je způsobeno hlavně turbulentním prouděním okolo měřicí stanice, kvůli němuž nepadne všechen snůh do měřicí stanice, nebo vyvanutím sněhu z měřicí stanice (New et al. 2001)

5. METODY PRÁCE

V práci jsem použil dva zdroje dat: databázi SYNOP a denní úhrny srážek z klimatických měření. Ze SYNOPu lze zjistit skupenství, které se pak přiřadilo k dennímu úhrnu srážek na celkem 11 klimatologických stanicích (Obr. 8). Na stanici Kuchařovice počítám pouze s obdobím 1982 – 1998 kvůli absenci pozdějších denních srážkových úhrnů. Řada stanice Karlovy Vary zase obsahuje období pouze mezi lety 1982 – 2005.



Obr. 8 Klimatologické stanice a jejich nadmořské výšky v metrech nad mořem. Hodnoty nadmořských výšek převzaty z Vašíček 2008.

5.1 Popis dat ze zpráv SYNOP

SYNOP (Zpráva o přízemních meteorologických pozorováních z pozemní stanice) zaznamenává za každý den různé meteorologické prvky. Základním intervalem záznamu je jedna hodina, ale u některých stanic byl přibližně v půlce osmdesátých let zaveden interval tříhodinový, což snižuje možnosti určení skupenství. Mezi roky 2003 – 2006 probíhalo na všech stanicích zaznamenávání po 15 minutách (ovšem zavedení, zrušení a časové rozpětí tohoto intervalu se u stanic časově liší).

Data SYNOP jsem měl k dispozici pro období 1. 1. 1982 – 31. 12. 2010, ale vzhledem k databázi denních srážkových úhrnů pracuji pouze s údaji v období 1982 – 2007 (u podílu

sněhových srážek). Pro celou práci je zásadní kategorie “stav počasí“, která je uváděna v číselné podobě v rozmezí 00 – 99. Hodnoty od 00 do 50 nepopisují srážkovou činnost v termínu pozorování, ale některé hodnoty z nich (20 až 30) zaznamenávají stav počasí v uplynulé hodině. Hodnoty mezi 50 a 99 jsou pak určeny výhradně pro srážky.

Některé hodnoty vůbec nebyly v práci brány v potaz – jedná se o kategorii 20 (mrholení nebo sněhová zrna), 27 (kroupy, krupky, sněhové krupky), 89 a 90 (kroupy, bez bouřky), 96 (kroupy, bouřka v termínu pozorování), 98 (bouřka s prachovou vichřicí) a 99 (silná bouře s kroupami). Je zjevné, že většinu výjimek tvoří kroupy, u hodnoty 20 pak nejednoznačnost.

U některých stanic část údajů o stavu počasí chybí. U stanice Cheb chybí období 1. 10. 1993 – 31. 12. 1993 a u stanice Kuchařovice chybí období 1. 1. 1989 – 30. 4. 1989. Příslušné roky nejsou u obou stanic v práci zahrnuty.

5.2 Vymezení skupenství srážek podle databáze SYNOP

5.2.1 Kapalné srážky

Kódy kapalných srážek a procentuální zastoupení za celé období jsou zapsány v tab. 1.

Kód	Stav počasí	%
21	Děšť (nemrzoucí; jevy v poslední hodině)	9,12
24	Mrznoucí mrholení nebo mrznoucí děšť (jevy v poslední hodině)	0,34
25	Dešťová přeháňka (jevy v poslední hodině)	5,78
29	Bouřka (se srážkami nebo beze srážek)	1,31
50 - 55	Mrholení	4,12
56 - 57	Mrznoucí mrholení	0,91
58 - 59	Mrholení s deštěm	0,31
60 - 65	Děšť (nikoliv v přeháňkách)	33,10
65 - 67	Mrznoucí děšť (nikoliv v přeháňkách)	0,59
80 - 82	Dešťová přeháňka	5,18
91 - 92	Děšť (bouřka skončila v poslední hodině, v termínu pozorovány srážky)	0,43
95, 97	Děšť, nebo sněžení nebo děšť se sněhem (bouřka se srážkami)	1,51

Tab. 1 Vymezení kapalných srážek, jejich kódy v SYNOP a procentuální zastoupení kódů.

Mrznoucí déšť a mrznoucí mrhnutí bylo započítáno do kapalného skupenství, protože voda zmrzne až při dopadu na povrch. Hodnoty 95 a 97 popisují stav počasí v případě bouřkových událostí – z důvodu větší aktivity bouřek v letním období jsou zde tedy zařazeny jako kapalné skupenství, ačkoliv tento kompromis může obsahovat chybu. Ve většině případů se opravdu tyto kódy vyskytují v létě, jen ve výjimečných případech v zimním období roku.

Zvláštní pozornost si zasluhuje také kód 29 – bouřka (se srážkami nebo beze srážek). Ta je nejčastěji pozorována od května do září a nevymezuje skupenství srážek. V datech jsou k tomuto synoptickému kódu často přiřazeny velké srážkové úhrny, vyskytující se obvykle od května do října, a tudíž je opět velmi pravděpodobné, že jsou projevem srážek z konvekční oblačnosti.

5.2.2 Tuhé srážky

Druhou kategorií skupenství představují tuhé srážky (Tab. 2). Pro zjednodušení je budeme dále nazývat “sněhové srážky“, neboť tuhých srážek ve formě jiné než sněh je výrazná menšina.

Kód	Stav počasí	%
22	Sněžení (jevy v poslední hodině)	3,14
26	Sněhová přeháňka nebo sněhová přeháňka s deštěm (jevy v poslední hodině)	2,01
70 – 75	Sněžení	24,56
76	Ledové jehličky	0,05
77	Sněhová zrna	0,67
78	Jednotlivé sněhové hvězdice	0,18
79	Zmrzlý déšť	0,05
85 - 86	Sněhová přeháňka	4,20
87 - 88	Sněhové krupky nebo námrazové krupky	0,18
93 - 94	Sněžení nebo déšť se sněhem nebo kroupy, námrazové krupky, sněhové krupky (bouřka skončila v poslední hodině, v termínu pozorovány srážky)	0,02

Tab. 2 Vymezení tuhých srážek, jejich kódy v *SYNOP* a procentuální zastoupení kódů.

V ní je problematické vymezení poslední skupiny hodnot 93 a 94. Zde totiž není rozlišeno, jestli sněží nebo padají srážky smíšené, nicméně z popisu se zdá, že častěji zde bude zahrnuto skupenství tuhé, než smíšené. Četnost těchto hodnot je v datových souborech stanic velmi

nížká, ale do práce jsou zahrnuty jako tuhé srážky a na výsledek by neměly mít zásadní dopad.

Další nejasnou kategorií je 26 – sněhová přeháňka nebo sněhová přeháňka s deštěm, kde dochází k průniku kategorií smíšených a tuhých srážek. Jelikož práce je zaměřená na analýzu tuhých srážek, je tato kategorie vymezena jako sníh. Tento kompromis byl zřejmě největší.

5.2.3 Smíšené srážky

Smíšené srážky jsou třetí kategorií, která zahrnuje pouze tři skupiny kódů. Den, kdy padaly smíšené srážky, musí splňovat alespoň jednu z těchto podmínek:

- V jeden den jsou v kódech SYNOP zaznamenány jak dešťové, tak sněhové srážky.
- V datech SYNOP je alespoň jednou za den zaznamenán kód odpovídající smíšeným srážkám podle tab. 3.

Kód	Stav počasí	%
23	Děšť se sněhem nebo zmrzlý déšť (jevy v poslední hodině)	0,64
68 - 69	Děšť se sněhem nebo mrholení se sněhem	1,33
83 - 84	Přeháňka deště se sněhem	0,17

Tab. 3 Vymezení smíšených srážek, jejich kódy v SYNOP a procentuální zastoupení kódů.

Vymezení smíšených srážek je oproti tuhým a kapalným poněkud problematické. Smíšené srážky se nejčastěji vyskytují v přechodném období mezi podzimem a zimou a zimou a jarem, kdy se teplota pohybuje poblíž bodu mrazu a má tudíž na skupenství největší vliv. S druhou podmínkou se proto může vyskytnout problém – například pokud je z 24 hodinových záznamů zapsáno 14 jako déšť a 2 jako smíšené srážky. V takových případech je hodnotě úhrnu srážek přiřazeno skupenství smíšené, ačkoliv přesně nevíme, jestli spadlo více srážek tuhých nebo smíšených.

5.3 Metodika propojení SYNOPu a úhrnů srážek

Pro propojení obou údajů je nezbytné pracovat s posunem času – srážky jsou měřeny v 7:00 místního středního slunečního času (v létě + 1 hodina), zatímco databáze SYNOP je zaznamenaná ve světovém čase. Jako “srážkový den“ jsem vymezil období mezi 07 – 07

hodin: k takovému časovému rozpětí jsem přiřazoval množství výskytů hodnot z databáze SYNOP podle tab. 1, 2 a 3. Na základě uvedeného postupu jsem měl ke každému dni ve sledovaném období zaznamenány četnosti jednotlivých skupenství a mohl jsem k nim přiřadit úhrn srážek.

V některých případech byl naměřen denní úhrn srážek, ale v SYNOP není popsán stav počasí, který by odpovídal srážkám. Tento případ se nejčastěji objevoval v situaci, kdy se záznamy v SYNOPU zapisovaly po třech hodinách a srážková událost nebyla zaznamenána. Časový interval je v takových případech příliš dlouhý a pozorování stavu počasí není zaznamenáno adekvátně přesně. V těchto případech jsem u vyšších hodnot (nad 1 mm srážek) údajům přiřadil skupenství buď z předchozího, nebo následujícího dne, v letním období (květen až září) pak kapalné skupenství. Postup přiřazení skupenství může být v mnoha případech nesprávný, zejména v podzimních a jarních měsících. Nejlepším řešením by bylo srovnání s těchto případů s průměrnou denní teplotou nebo minimální denní teplotou, ale taková data jsem neměl k dispozici od roku 1998 do roku 2005. To je také důvod, proč jsem zvolil a přiřadil skupenství jen srážkovým úhrnům nad 1 mm – nižší úhrny srážek jsou četnější a chyba by se pravděpodobně zvyšovala. V opačných případech, kdy je zaznamenán výskyt srážek v SYNOP, ale klimatické měření zaznamenalo nulový úhrn, spočívá vysvětlení v příliš malém (neměřitelném) množství vypadlých srážek.

5.4 Výpočet podílu skupenství srážek a dnů se sněhem

Po přiřazení jsem na každé stanici spočítal roční úhrny celkových, dešťových, tuhých a smíšených srážek. Hodnota, která je zobrazena na ose y, se rovná podílu skupenství na celkových srážkách vynásobenému stem.

Pro výpočet podílu dní se sněhovými srážkami jsem pracoval pouze s databází SYNOP, protože nebylo potřeba znát srážkové úhrny. Proto je analyzované období delší, a to 1982 – 2010. Na každé z jedenácti stanic byly určeny počty dní s tuhými, kapalnými a smíšenými srážkami. Poté jsem určil procentuální zastoupení jednotlivých skupenství na celkovém počtu dní se srážkami za zpracovávané období.

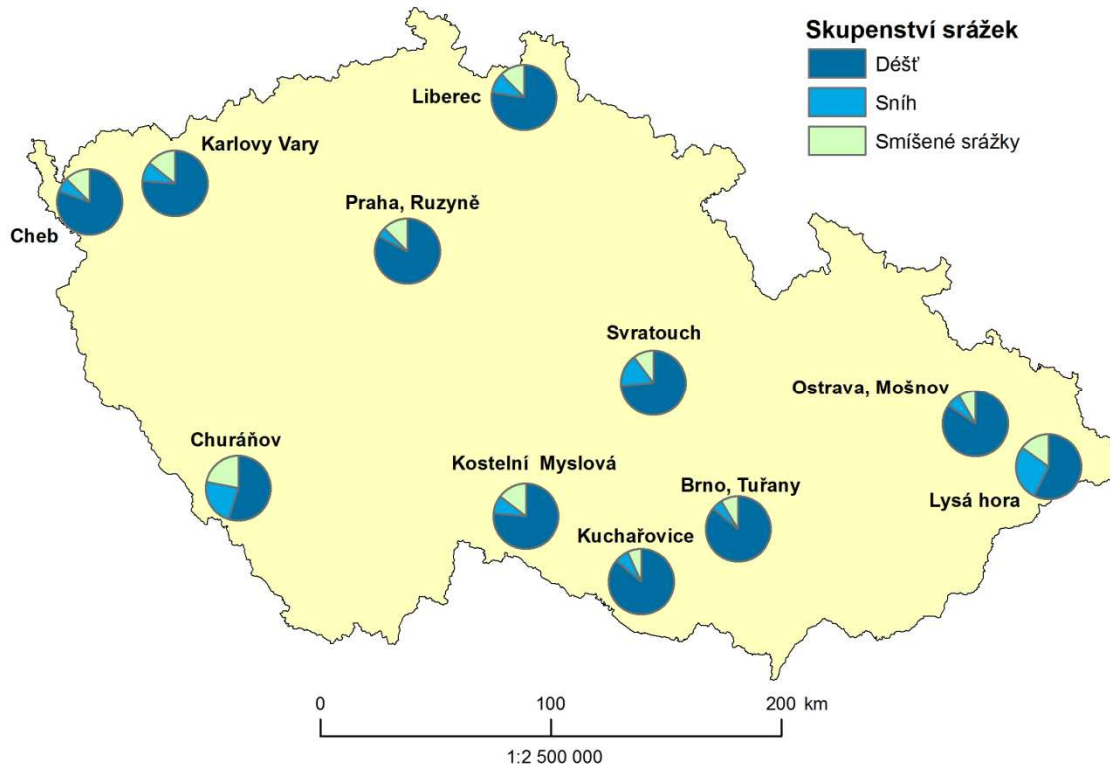
Jako ukazatel zhodnocení trendů jsem vypočítal směrnici lineární regrese. Pro určení významnosti naměřených trendů na 90% a 95% hladině spolehlivosti jsem použil následující vzorec:

$$t = R \cdot \frac{\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-R^2}}$$

R je korelační koeficient mezi rokem a procentuálním podílem sněhových srážek (počtu sněhových dní) a N je počet roků. Veličina t má Studentovo rozdělení s N-2 stupni volnosti. Pokud je spočítaná t hodnota vyšší než kritické hodnoty, pak lze trend považovat za nenulový a významný.

6. ZMĚNA PODÍLU SNĚHOVÝCH SRÁŽEK NA CELKOVÉM ÚHRNU SRÁŽEK

Za období 1982 – 2007 (s výjimkou řad u stanic Kuchařovice do roku 1998 a stanice Karlovy Vary do roku 2005) jsem analyzoval změnu podílu sněhových srážek na celkovém ročním úhrnu. Studované období je relativně krátké a nelze jej brát jako dostatečně reprezentativní pro určení dlouhodobého trendu.

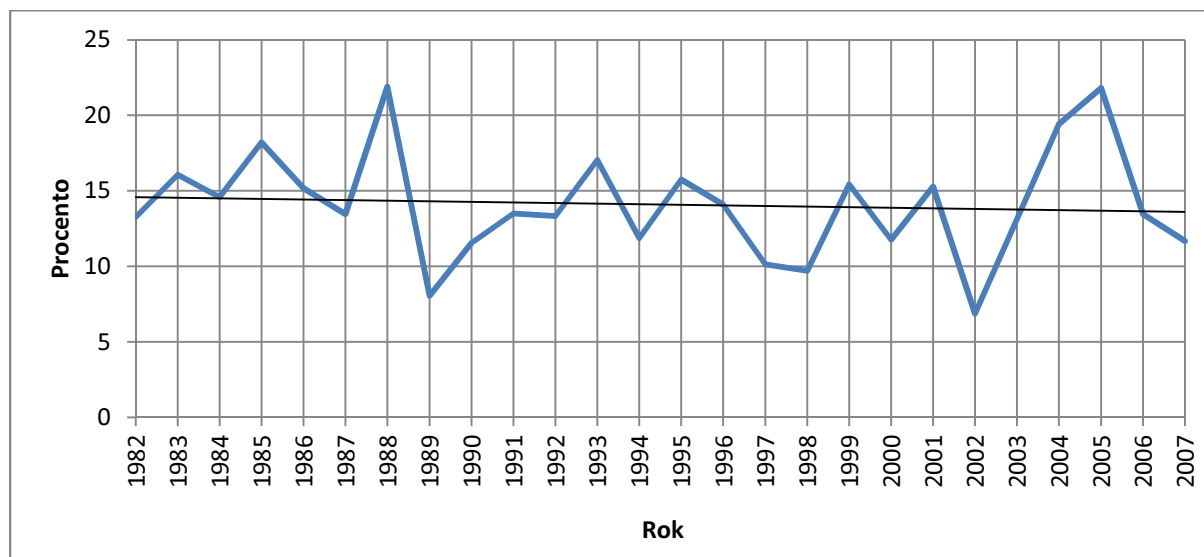


Obr. 9 Procentuální zastoupení jednotlivých skupenství srážek na celkovém úhrnu srážek pro všechny stanice za období 1982 – 2007 (Karlovy Vary do roku 2005, Kuchařovice do roku 1998).

Průměrné zastoupení sněhových srážek na všech stanicích ve sledovaném období je 14,2 %. Smíšené srážky tvoří 14,8 % a zbytek (71,0 %) připadá na srážky dešťové. Průměrné procentuální zastoupení u jednotlivých stanic je zobrazeno v obr. 9.

Dlouhodobý trend vývoje průměrného procentuálního podílu sněhových srážek (průměr přes všech 11 stanic) na celkovém úhrnu je zobrazen na obr. 10. Z grafu lze vidět, že podíl sněhových srážek dlouhodobě mírně klesá. Průměrný roční pokles podílu sněhových srážek dosahuje -0,04 %/rok a nelze jej hodnotit jako významný (Tab. 4). Nejnižší hodnoty dosáhl

podíl sněhových srážek v roce 2002 (pouze 7 %), nejvíce v letech 1988 a 2005 (oba roky přibližně 22 %). Z grafu také vyplývá, že podíl sněhových srážek od roku 1993 dosáhl minima v roce 2002 a poté následovaly roky bohatší na sněhové srážky.



Obr. 10 Dlouhodobý vývoj podílu sněhových srážek a jeho lineární trend.

Stanice	Nadmořská výška	Počet roků	Lineární trend	T	Kritické hodnoty
Karlovy Vary	606	24	-0,298	-2,193	1,717 a 2,073
Churáňov	1118	26	-0,233	-1,470	1,711 a 2,064
Cheb	483	25	-0,198	-1,830	1,713 a 2,068
Kuchařovice	334	16	-0,198	-1,061	1,761 a 2,144
Kostelní Myslová	569	26	-0,102	-1,044	1,711 a 2,064
Liberec	405	26	-0,071	-0,698	1,711 a 2,064
Praha, Ruzyně	380	26	-0,063	-0,818	1,711 a 2,064
Brno, Tuřany	237	26	-0,061	-0,715	1,711 a 2,064
Ostrava, Mošnov	257	26	-0,028	-0,267	1,711 a 2,064
Svratouch	733	26	-0,007	-0,056	1,711 a 2,064
Lysá hora	1322	26	0,009	0,046	1,711 a 2,064
Celkový trend		26	-0,040	-0,407	1,711 a 2,064

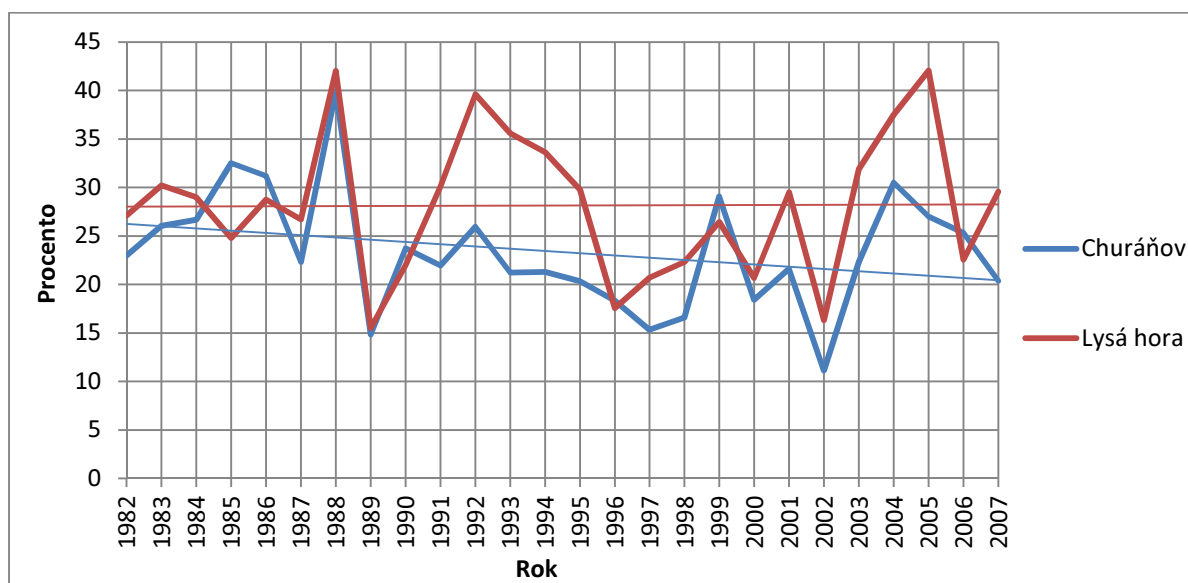
Tab. 4 Statistické ukazatele trendu poměru sněhových a celkových srážek: nadmořská výška (m.n.m.), počet roků, lineární trend (%/rok), hodnota t a kritické hodnoty pro statistickou významnost na hladině 10% a 5%. Kritické hodnoty statistické významnosti převzaty z Linda, Kubánová 2000.

Tab. 4 ukazuje trendy průměrného podílu sněhových srážek na všech 11 stanicích a celkový trend. Největší pokles v podílu sněhových srážek jsem zjistil na stanici Karlovy

Vary. Dosahuje téměř -0,3 % za rok a zároveň je jako jediný statisticky významný na hladině 95%. Žádná další stanice neukazuje významný trend na 95% hladině významnosti. T hodnota stanice Cheb spadá mezi kritické hodnoty t rozdělení a je významná na hladině 90%.

Podíl tuhých srážek je závislý na teplotě – obecně nejvíce sněhových srážek se vyskytuje na nejvýše položených stanicích. Srovnání stanic s různými nadmořskými výškami je zobrazeno v následujících grafech pro tři kategorie nadmořských výšek – nízké nadmořské výšky (Ostrava, Mošnov 257 m.n.m., Brno, Tuřany 237 m.n.m.), střední nadmořské výšky (Kostelní Myslová 569 m.n.m., Karlovy Vary 606 m.n.m.) a kategorie nad 1000 m (Lysá hora 1322 m.n.m., Churáňov 1118 m.n.m.).

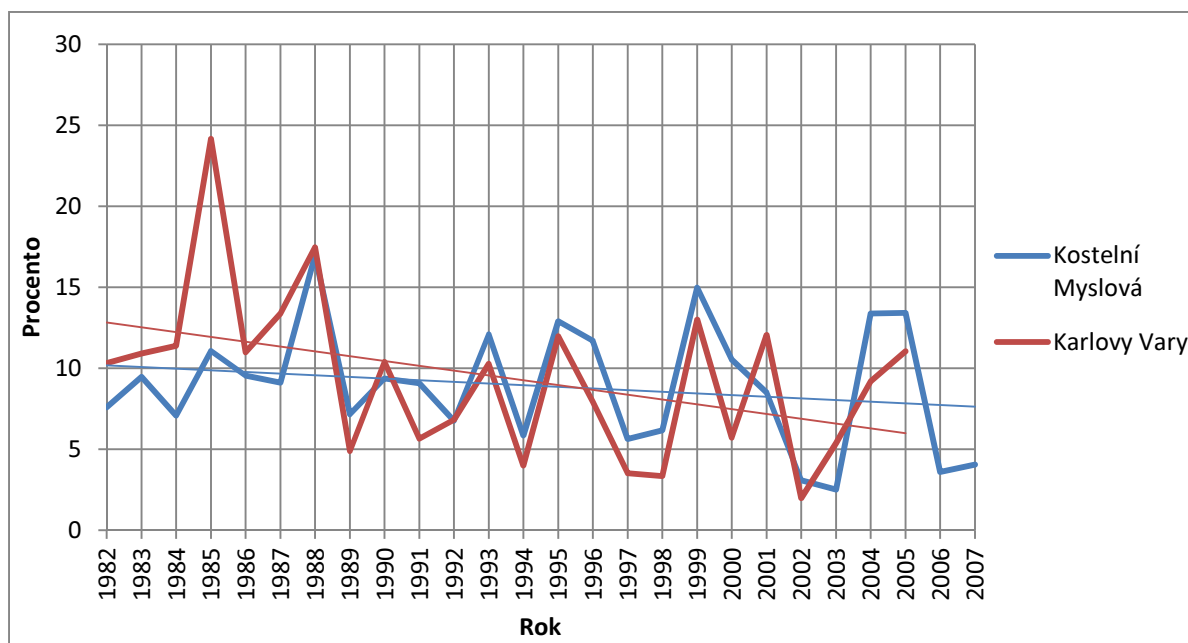
U stanic položených nad 1000 m.n.m. (Churáňov a Lysá hora) se trendy liší. Na stanici Churáňov klesá podíl sněhových srážek od roku 1988 prakticky až do roku 2002, kdy dosahuje minima ve sledovaném období (pouhých 11,1 %) a poté nastává obnovení růstu (Obr. 11). Dlouhodobý pokles je zde druhý největší ze sledovaných 11 stanic (-0,233 %/rok). Lysá hora jako jediná stanice ukazuje dlouhodobě rostoucí podíl sněhových srážek (Tab. 4). Křivka podílu sněhových srážek je u Lysé hory také mnohem proměnlivější než u stanice Churáňov.



Obr. 11 Vývoj podílu sněhových srážek na celkových srážkách a lineární trendy na dvou nejvýše položených stanicích.

Druhou kategorií jsou střední nadmořské výšky se stanicemi ležícími poblíž 600 m.n.m. (Kostelní Myslová a Karlovy Vary). Obě z nich vykazují menší podíl sněhových srážek než

u vyšších nadmořských výšek. Maxima u obou stanic nastala v osmdesátých letech (Karlovy Vary – 1985, 26,5 %; Kostelní Myslová – 1988, 17,2 %). Trend je na obou stanicích záporný (Obr. 12), ale podíl sněhových srážek na stanici Kostelní Myslová klesá pomaleji a není významný (-0,102 %/rok), zatímco stanice Karlovy Vary ukazuje největší a jako jediná z 11 stanic významný trend na hladině 95% (-0,298 %/rok).

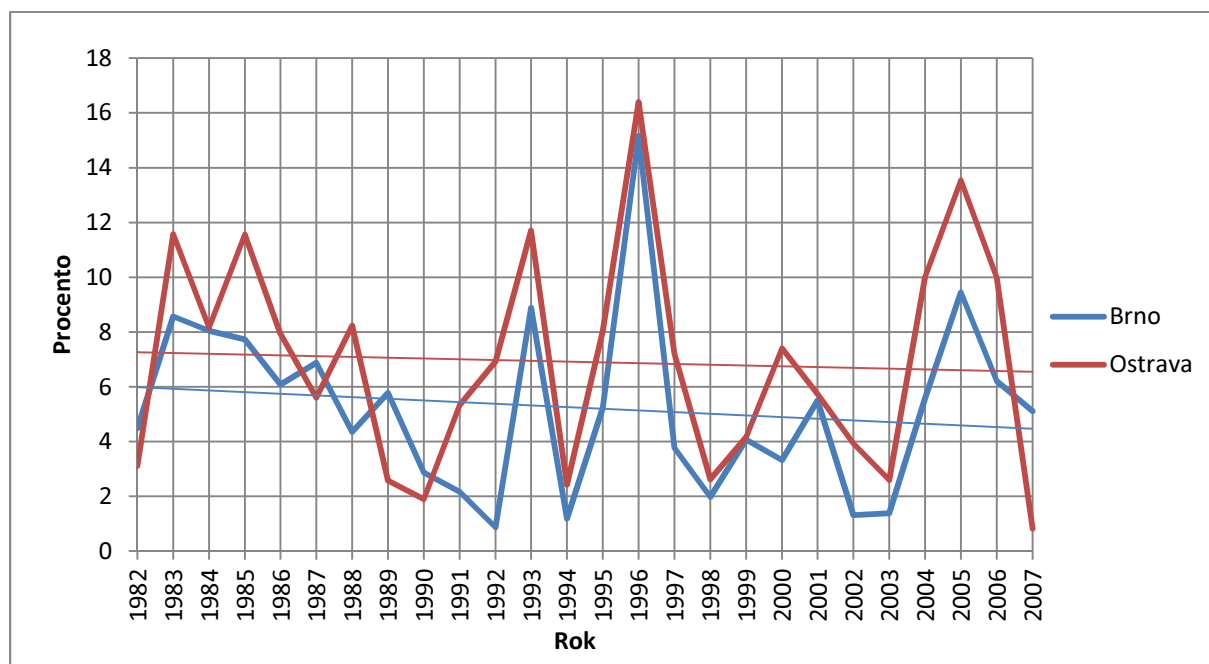


Obr. 12 Vývoj podílu sněhových srážek na celkových srážkách a lineární trendy na dvou vybraných stanicích ve středních nadmořských výškách.

Pro nízké nadmořské výšky je charakteristická velká variabilita podle teploty vzduchu, která zde v zimě velmi často kolísá okolo bodu mrazu a běžně dosahuje i kladných hodnot oproti středním a především nadmořským výškám nad 1000 m.n.m. Proto je podíl sněhových srážek velmi rozkolísaný a v obou případech dlouhodobě klesá, ale málo a nevýznamně. Procentuální rozpětí v podílu niválních srážek se ve sledovaném období pohybuje od 1 % po 16 % (Obr. 13). Stabilně klesal podíl sněhových srážek od roku 1983 do roku 1990 (Ostrava, Mošnov) a 1992 (Brno, Tuřany).

Ze srovnání změny skupenství podle nadmořských výšek vyplývá, že trendy u všech nadmořských výšek přibližně kopírují celkový dlouhodobý trend, ovšem v určitých obdobích se mohou lišit. Například v roce 1996 dosáhl podíl niválních srážek na stanicích do 300 m.n.m. svého maxima za sledované období, ale u stanic nad 1000 m je stejný rok spíše podprůměrný.

U všech analyzovaných stanic s výjimkou Lysé hory hodnota podílu sněhových srážek klesá. Nejmarkantnější pokles proběhl za sledované období na stanicích Karlovy Vary a Churáňov. U první zmiňované je to především důsledek vysokého podílu sněhových srážek v letech 1984 – 1988 (Obr. 12) a následného sestupu. U Churáňova pak klesal podíl s výjimkami od začátku sledovaného období až do roku 2002 (Obr. 11).



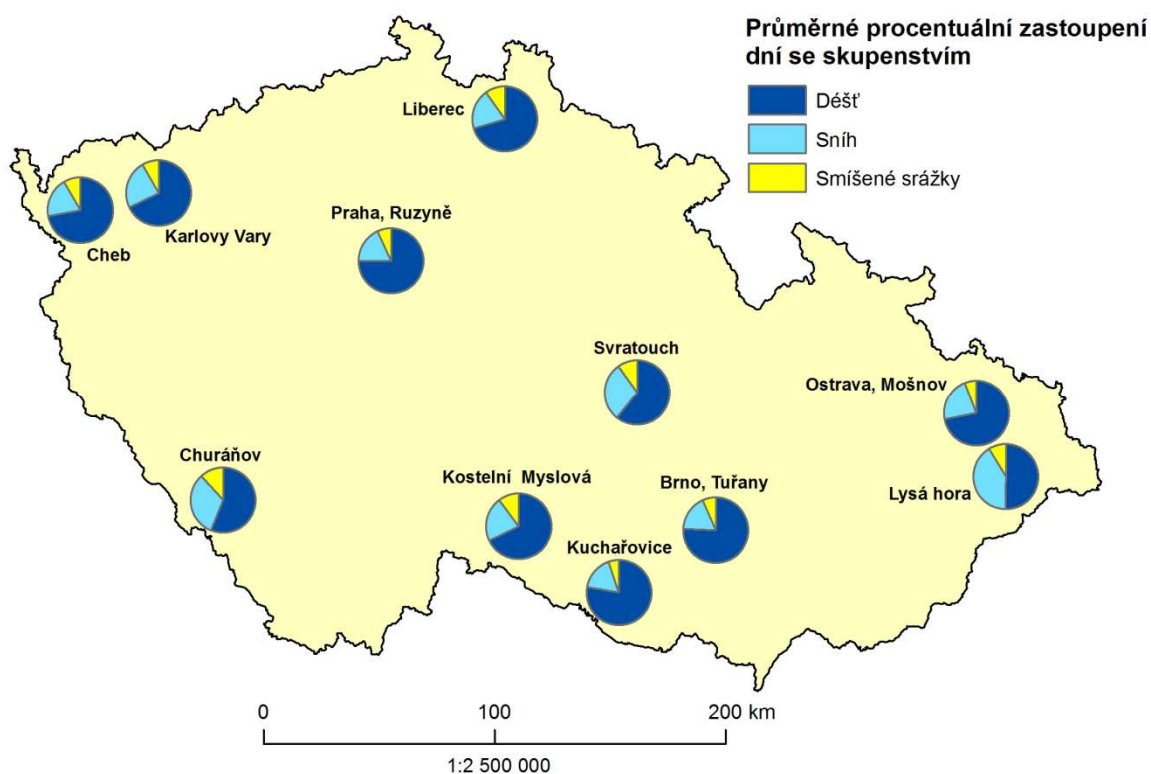
Obr. 13 Vývoj podílu sněhových srážek a lineární trendy pro vybrané stanice do 300 m.

Průměrný podíl kapalných srážek na celkových srážkách přes všechny stanice dlouhodobě klesá (koeficient lineární regrese je $-0,10$ %/rok), ale trend je nevýznamný. Trend smíšených srážky je rostoucí (koeficient lineární regrese $+0,13$ %/rok) avšak taktéž nevýznamně. Nejvyšší procentuální hodnoty na celkových srážkách dosáhly smíšené srážky roku 2007: 25 %.

7. ANALÝZA POČTU DNÍ SE SNĚHOVÝMI SRÁŽKAMI

Jedním z cílů práce je zjistit, zda se mění počet dní se sněhovými srážkami. Proto jsem použil databázi SYNOP a spočítal dny, kdy byly zaznamenány pouze tuhé, kapalné a smíšené srážky. Pro tuto kapitolu nebyly použity hodnoty úhrnů srážek.

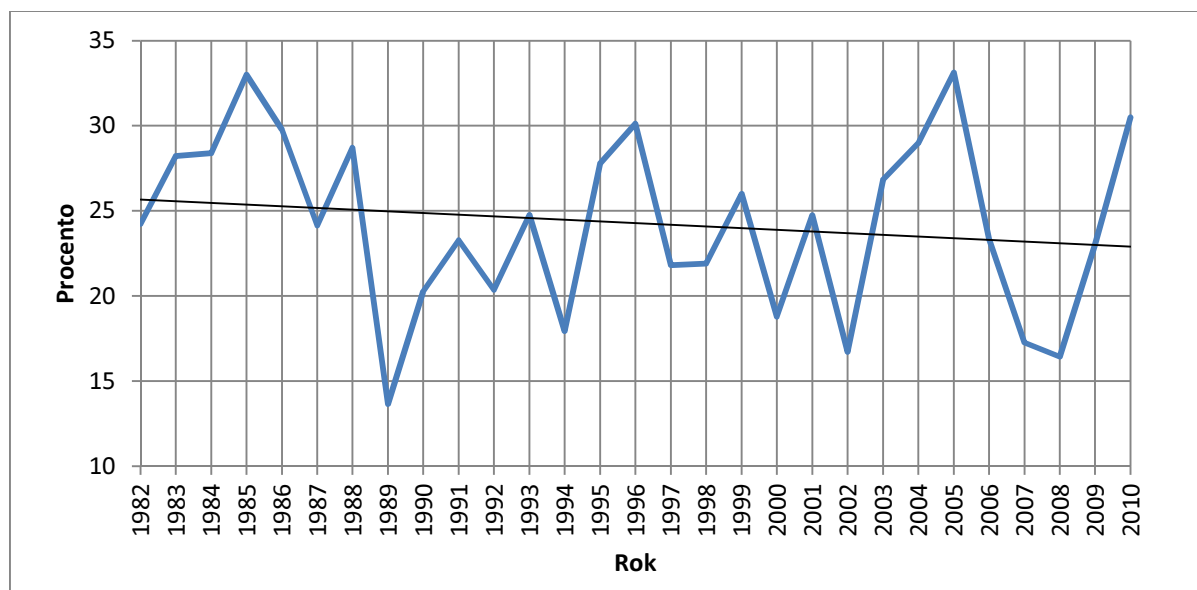
V obr. 14 je zobrazeno průměrné roční zastoupení dní se třemi skupenstvími srážek za období 1982 – 2010 na všech jedenácti stanicích. V průměru přes všechny stanice činí podíl sněhových dnů 23,9 %, dešťových 67,8 % a smíšených 8,3 %. Obecně největší podíl sněhových dnů se objevuje na stanicích, které jsou nejvýše položené: největší četnost sněhových dnů je na stanici Lysá hora (41,4 %), po které následuje Churáňov (32,3 %). Nejmenší četnost dní se sněžením pozorujeme na jižní Moravě (Kuchařovice 17,0 %; Brno, Tuřany 17,9 %).



Obr. 14 Procentuální zastoupení dnů s různým skupenstvím srážek za období 1982 – 2010.

Obr. 15 ukazuje vývoj podílu počtu sněhových dnů k počtu všech dní se srážkami v procentech za jednotlivé roky. Zde je podle spojnice trendu zřejmý pokles, který je ve srovnání s trendem podílu sněhových srážek (Obr. 10, Tab. 4) vyšší (-0,095 %/rok), ale tato hodnota není statisticky významná (Tab. 5). Nízký podíl sněhových dnů se vyskytoval

zejména v obdobích 1989 – 1994 a 1997 – 2002. Nejvyšších procentuálních hodnot sněhových dnů bylo dosaženo v letech 1985 a 2005, ale pouze rok 2005 je doprovázen vysokými sněhovými úhrny (Obr. 10). V roce 1985 bylo zaznamenáno nadprůměrně mnoho sněhových dnů (33 %), ale tento vrchol není provázen adekvátně vysokým úhrnem sněhových srážek. Minima v letech 2002 a 1989 se v obou grafech shodují. Obecně je podíl sněhových dnů rozkolísanější než podíl sněhových srážek.



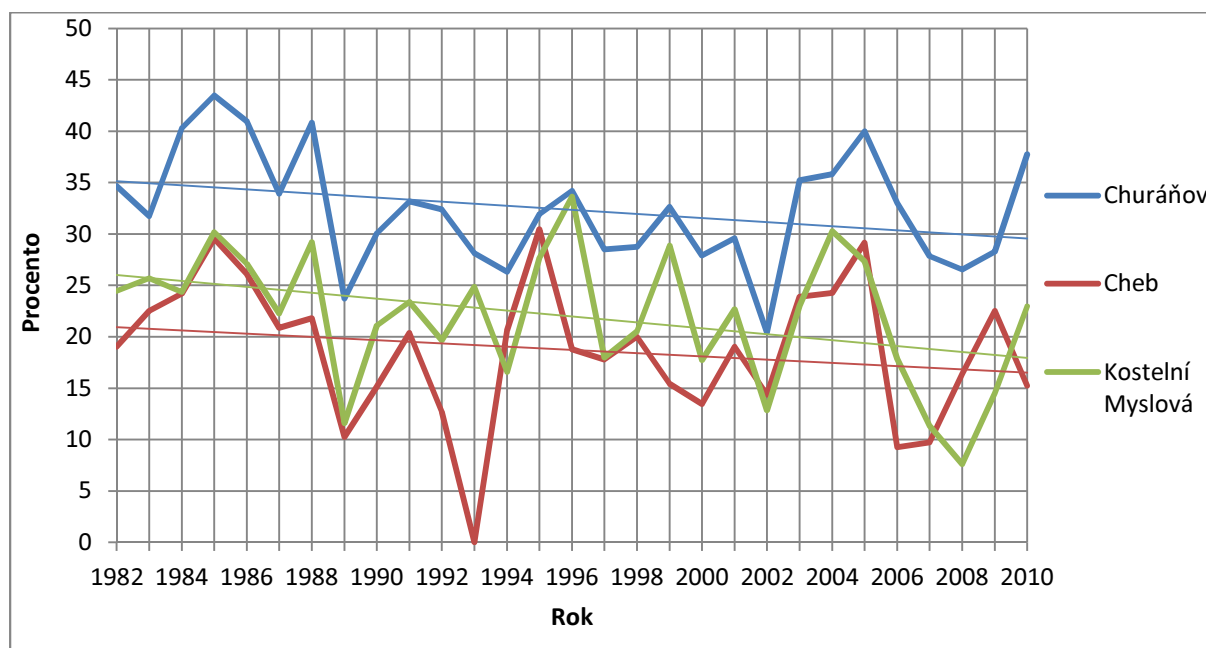
Obr. 15 Časový průběh podílu počtu dnů se sněhovými srážkami na všech srážkových dnech a jeho lineární trend.

Stanici s největším a významným poklesem ($-0,288$ %/rok) je Kostelní Myslová (Obr. 16). Ta je následována stanicí Cheb ($-0,202$ %/rok) a Churáňov ($-0,198$ %/rok), ale obě hodnoty nejsou statisticky významné (Tab. 5). Překvapivé může být zjištění, že pozitivní trend se objevuje u stanic, které jsou nízko položené – Ostrava, Mošnov; Praha Ruzyně a Brno, Tuřany.

Podíly dnů s kapalnými i smíšenými srážkami přes všechny stanice roste, ovšem nevýznamně: koeficient lineární regrese u dešťových srážek je $0,05$ %/rok a u smíšených $0,04$ %/rok. Podíl dnů se smíšenými srážkami dosahuje maxima (téměř 12 %) v letech 1992 a 1995 a poté je patrný nárůst po roce 2005 na úkor sněhových a dešťových srážek.

Stanice	Nadmořská výška	Počet roků	Lineární trend	T	Kritické hodnoty
Kostelní Myslová	569	29	-0,288	-2,143	1,703 a 2,052
Cheb	483	28	-0,202	-1,481	1,706 a 2,055
Churáňov	1118	29	-0,198	-1,666	1,703 a 2,052
Kuchařovice	334	28	-0,160	-0,710	1,706 a 2,055
Karlovy Vary	606	29	-0,108	-0,773	1,703 a 2,052
Lysá hora	1322	29	-0,093	-0,817	1,703 a 2,052
Svratouch	733	29	-0,065	-0,480	1,703 a 2,052
Liberec	405	29	-0,052	-0,381	1,703 a 2,052
Ostrava, Mošnov	257	29	0,017	0,109	1,703 a 2,052
Praha, Ruzyně	380	29	0,081	0,564	1,703 a 2,052
Brno, Tuřany	237	29	0,044	0,313	1,703 a 2,052
Celkový trend		29	-0,095	0,465	1,703 a 2,052

Tab. 5 Statistické ukazatele trendu vývoje sněhových dní: nadmořská výška (m), počet roků, lineární trend (%/rok), hodnota t a kritické hodnoty pro statistickou významnost na hladině 10 % a 5 %. Kritické hodnoty statistické významnosti převzaty z Linda, Kubánová 2000.



Obr. 16 Vývoj počtu sněhových dní a lineární trendy pro tři stanice s největším poklesem podílu sněhových dní. U stanice Cheb hodnota roku 1993 zobrazena nulou, protože chyběla data ze zprávy SYNOP.

8. DISKUSE A SHRNU TÍ VÝSLEDKŮ

Výsledky této bakalářské práce ukazují, že podíl sněhových srážek i podíl dní se sněhem od 80. let 20. století klesají, ale v obou případech jsou trendy většinou nevýznamné. Tyto závěry lze srovnat s prací Vojtek et al. (2003) ze Slovenska, které je geograficky nejbližší, ačkoliv se zabývala změnou skupenství pouze okrajově a analyzovala srážky ze stanic nad 700 m.n.m. Ve studii autoři zjistili, že u všech stanic klesá podíl sněhových srážek. V této práci jsem pracoval pouze se třemi klimatologickými stanicemi nad 700 m.n.m. – Svratouch, Churáňov a Lysá hora. První dvě zmíněné opravdu vykazují pokles, ale nevýznamný. Na stanici Lysá hora naopak je naopak trend pozitivní, ačkoliv taktéž nevýznamný. Takový nesoulad lze vysvětlit vysokými podíly sněhových srážek v období 2003 – 2005. Období od mezi lety 1982 2003 má lineární trend záporný (-0,34 %/rok), ale v následujícím období 2003 – 2005 jsou podíly sněhových srážek natolik vysoké, že mohly lineární trend změnit na kladný.

Stanice Lysá hora je jediná, kde je trend podílu niválních srážek pozitivní. Zároveň je to stanice, kde je podíl sněhových srážek i podíl dnů se sněhem nejvyšší. Na stanici Churáňov, což je druhá stanice ležící nad 1000 m, je negativní trend druhý nejvyšší ze sledovaných stanic. Tento rozdíl také může souviset s tím, že se obě stanice liší převládajícím směrem proudění: zatímco na Churáňově převládá směr jižní a jihozápadní, na Lysé hoře je směr proudění více proměnlivý – četnost západního, jižního a severního proudění je přibližně stejná (Tolasz 2007).

Srovnání se studii z území Severní Ameriky je složité. Tam se největší úbytek objevuje v pobřežních oblastech, kde teplota osciluje kolem bodu mrazu (Kap. 4.2), ve vnitrozemních stanicích se ovšem úbytek projevuje taktéž. Tyto práce, které také sledují vývoj podílu sněhových srážek, se liší od této především studovaným územím. Česká republika jako součást kontinentu Eurasie je více kontinentální oblastí bez mořského pobřeží i s jiným charakterem proudění. Podmínky se tedy od těch severoamerických liší a s tím se odlišují i závěry práce. Všechny studie, zmíněné v kapitole 4 také pracují s větší oblastí a s vyšším počtem stanic a obsahují i stanice ve vyšších nadmořských výškách a v širším rozpětí zeměpisných souřadnic.

Klesající podíl sněhových srážek i podíl sněhových dní pravděpodobně souvisí s rostoucí teplotou v České republice. Průměrná teplota pro zimu jako celek (prosinec, leden, únor) roste

na všech stanicích, ze kterých je na 50 % stanic trend významný (Brázdil et al. 2009), což má velký vliv na skupenství a přispívá i k dřívějšímu začátku jara, jak je ukázáno v některých studiích (Kap. 3.4).

Dopad na změnu skupenství může mít i NAO, protože index NAO za období 1961 – 2005 rostl (Brázdil et al. 2009). Tento trend je pro teplotu významný pouze pro měsíce mezi říjnem a březnem a v kladné fázi roste vlivem zesíleného západního proudění. Velký dopad má NAO také na srážky: při kladné fázi je statisticky významný růst pro duben, prosinec a zimu. Obecně v kladné fázi NAO roste teplota i srážky, a jelikož právě index NAO roste, lze předpokládat, že vyšší teplota a srážky negativně ovlivňují podíl sněhových srážek.

Závislost trendů stanic na nadmořské výšce není zřejmá, stejně jako nejsou patrné žádné systematické prostorové rozdíly mezi stanicemi. Největší rozkolísanost v podílu sněhových srážek se objevuje na nízko položených stanicích, kde je zimní teplota často i nad bodem mrazu. Zajímavý je relativně velký pokles podílu sněhových srážek v takto položených stanicích (Brno, Praha, Ostrava) ačkoliv na všech třech roste podíl sněhových dní (málo a nevýznamně). Je obtížné tento jev vysvětlit, ale logicky vyplývá, že sněhové srážky jsou “rozloženy“ do více dní a může docházet k poklesu mimořádných sněhových úhrnů – sněží častěji, ale napadá menší úhrn sněhových srážek.

Nabízí se i srovnání se změnou sněhové pokrývky. Podle Brázdil et al. (2009) klesá počet dnů se sněhovou pokrývkou v prosinci, lednu a březnu, obecně v zimě a na jaře (významně pouze na pětině stanic). Ve stejné studii autoři také tvrdí, že faktor, který snižuje rozlohu sněhové pokrývky, je zvyšující se teplota v zimní polovině roku, která souvisí právě s větším podílem kapalných srážek na úkor sněhových. Tento závěr lze potvrdit touto prací, ačkoliv rozhodně existuje více faktorů, které negativní trend v počtu dnů se sněhovou pokrývkou ovlivňují (NAO, změny v četnostech synoptických situací a jiné).

Vzhledem k použitému postupu nejspíše došlo k nadhodnocení podílu smíšených srážek. Podle vymezení, které zde bylo použito, je ke dnu se smíšenými srážkami přiřazen každý takový den, kdy se vyskytlo tuhé i kapalně skupenství nebo je alespoň jedna událost smíšených přeháněk podle SYNOPu. Vzhledem k tomu, že k dispozici byly pouze denní úhrny srážek, mohlo dojít k nadhodnocení smíšených srážek tehdy, kdy například během jednoho dne bylo v deseti hodinách zaznamenáno sněžení a v jedné hodině smíšené srážky.

Tedy, ačkoliv většina kódů vyjadřovala sněhové srážky, tak celkový úhrn je započten jako smíšený, i když je velmi pravděpodobné, že většina srážek spadla ve formě sněhu.

9. ZÁVĚR

V této bakalářské práci jsem studoval změnu podílu skupenství srážek za období 1982 – 2007 a změnu v podílu sněhových dnů za období 1982 – 2010 na jedenácti klimatologických stanicích v České republice. Oba zmíněné ukazatele skupenství od roku 1982 dlouhodobě klesají. Podíl dnů se sněhem klesá více než podíl niválních srážek na celkových srážkách, ale oba trendy jsou nevýznamné.

Klesající trend podílu sněhových srážek je statisticky významný pouze na stanici Karlovy Vary; jediná stanice s pozitivním trendem je Lysá hora. Významný trend poklesu podílu sněhových dnů se objevuje pouze na stanici Kostelní Myslová, naopak rostoucí trend jsem zaznamenal na třech nízko položených stanicích: Ostrava, Mošnov, Praha, Ruzyně a Brno, Tuřany.

Velký vliv na skupenství srážek má dlouhodobě rostoucí teplota a taktéž rostoucí trend indexu NAO pro chladné měsíce, který přispívá ke zvýšení teplot a srážek v chladném období.

10. ZDROJE

10.1 Odborné články a knihy

AUER, I., BÖHM, R., SCHÖNER, W. (2001): *Austrian long-term climate 1767 – 2000: Multiple instrumental climate time series from Central Europe*. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Vídeň, 152 s. ISSN 1016-6254.

BEDNORZ, E. (2004): *Snow cover in Eastern Europe in relation to temperature, precipitation and circulation*. International Journal of Climatology, 24, č. 5, s. 591-601.

BENISTON, M. (1997): *Variations of snowdepth and duration in the Swiss Alps over the last 50 years: links to changes in large-scale climatic forcings*. Climatic Change, 36, s. 49-68.

BRÁZDIL, R., CHROMÁ, K., DOBROVOLNÝ, P., TOLASZ, R. (2009): *Climate fluctuations in the Czech Republic during the period 1961–2005*. International Journal of Climatology, 29, č. 2, s. 223-242.

BROWN, R. D. (2000): *Northern Hemisphere snow cover variability and change, 1915–97*. Journal of Climate, 13, č. 13, s. 2339-2355.

BRUNETTI, M., MAUGERI, M., NANNI, T. (2000): *Variations of temperature and precipitation in Italy from 1866 to 1995*. Theoretical and Applied Climatology, 65, č. 3-4, s. 165-174.

BUSUIOC, A., CHEN, D., HELLSTRÖM, C. (2001): *Temporal and spatial variability of precipitation in Sweden and its link with the large-scale atmospheric circulation*. Tellus, 53, č. 3, s. 348-367.

CLARK, M. P., SERREZE, M. C., ROBINSON, D. A. (1999): *Atmospheric controls on Eurasian snow extent*. International Journal of Climatology, 19, č. 1, s. 27-40.

CROITORU, A. E., TOMA, F. M. (2010): *Trends in precipitation and snow cover in Central part of Romanian Plain*. Geographia Technica, 1, s. 1-10.

DAI, A., FUNG, I. Y., DEL GENIO, A. D. (1997): *Surface observed global land precipitation variations during 1900–88*. Journal of Climate, 10, č. 11, s. 2943-2962.

DEGIRMENDŽIĆ, J., KOŽUCHOWSKI, K., ŽMUDZKA, E. (2004): *Changes of air temperature and precipitation in Poland in the period 1951–2000 and their relationship to atmospheric circulation*. International Journal of Climatology, 24, č. 3, s. 291-310.

DOMONKOS, P., TAR, K. (2003): *Long-term changes in observed temperature and precipitation series 1901–1998 from Hungary and their relations to larger scale changes*. Theoretical and Applied Climatology, 75, č. 3-4, s. 131-147.

DYE, D. G. (2002): *Variability and trends in the annual snow-cover cycle in Northern Hemisphere land areas, 1972–2000*. Hydrological Processes, 16, č. 15, s. 3065-6077.

EASTERLING, D. R., KARL, T. R., GALLO, K. P., ROBINSON, D. A., TRENBERTH, K. E., DAI, A. (2000): *Observed climate variability and change of relevance to the biosphere*. Journal of Geophysical Research, 105, s. 20 101-20 114.

ESTEBAN-PARRA, M. J., RODRIGO, F. S., CASTRO-DIEZ, Y. (1998): *Spatial and temporal patterns of precipitation in Spain for the period 1880–1992*. International Journal of Climatology, 18, č. 14, s. 1557-1574.

FALARZ, M. (2004): *Variability and trends in the duration and depth of snow cover in Poland in the 20th century*. International Journal of Climatology, 24, č. 13, s. 1713-1727.

FENG, S., HU, Q. (2007): *Changes in winter snowfall/precipitation ratio in the contiguous United States*. Journal of Geophysical Research, 112, 12 s.

FRANKE, J., GOLDBERG, V., EICHELMANN, U., FREYDANK, E., BERNHOFER, CH. (2004): *Statistical analysis of regional climate trends in Saxony, Germany*. Climate Research, 27, s. 145-150.

FØRLAND, E., ROALD, L. A., TVEITO, O. E., HANSEN-BAUER, I. (2000): *Past and future variations in climate and runoff in Norway*. Norwegian meteorological institute, Oslo, 78 s. ISSN 0805-9915.

GROISMAN, P. Y., SUN, B., VOSE, R. S., LAWRIKMORE, J. H., WHITFIELD, P. H., FØRLAND, E., HANSSEN-BAUER, I., SERREZE, M. C., RAZUVAEV, V. N., ALEKSEEV, G. V. (2003): *Contemporary climate changes in high latitudes of the Northern hemisphere: daily time resolution*. In: 14th Symposium on global change and climate variations, American Meteorological Society, USA, s. 51-55. Dostupné z < <http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/65269.pdf> >.

HODGKINS, G. A., DUDLEY, R. W., HUNTINGTON, T. G. (2003): *Changes in the timing of high river flows in New England over the 20th century*. Journal of Hydrology, 278, č. 1-4, s. 244-252.

HUNDECHA, Y., BÁRDOSSY, A. (2005): *Trends in daily precipitation and temperature extremes across western Germany in the second half of the 20th century*. International Journal of Climatology, 25, č. 9, s. 1189-1202.

HUNTINGTON, T. G., HODGKINS, G. A., KEIM, B. D., DUDLEY, R. W. (2004): *Changes in the proportion of precipitation occurring as snow in New England (1949–2000)*. Journal of Climate, 17, č. 13, s. 2626-2636.

HURRELL, J.W., KUSHNIR, Y., OTTERSEN, G., VISBECK, M. (2003): *An overview of the North Atlantic Oscillation*. In: Hurrell, J.W. et al. (eds.): *The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact*. American Geophysical Union, Washington, s. 1-35.

CHOI, G., ROBINSON, D. A., KANG, S. (2010): *Changing Northern Hemisphere snow seasons*. Journal of Climate, 23, č. 19, s. 5305–5310.

JAAGUS, J. (2006): *Climatic changes in Estonia during the second half of the 20th century in relationship with changes in large-scale atmospheric circulation*. Theoretical and Applied Climatology, 83, č. 1-4, s. 77-88.

KLEIN TANK, A. M. G., WIJNGAARD, J. B., KÖNNEN, G. P., BÖHM, R., DEMARÉE, G., GOICHEVA, A., MILETA, M., PASHIARDIS, S., HEJKRLIK, L., KERN-HANSEN, C., HEINO, R., BESSEMOULIN, P., MÜLLER-WESTERMEIER, G., TZANAKOU, M., SZALAI, S., PÁLSDÓTTIR, T., FITZGERALD, D., RUBIN, S., CAPALDO, M., MAUGERI, M., LEITASS, A., BUKANTIS, A., ABERFELD, R., VAN ENGELEN, A. F. V., FORLAND, E., MIETUS, M., COELHO, F., MARES, C., RAZUVAEV, V., NIEPLOVA, E., CEGNAR, T., ANTONIO LÓPEZ, J., DAHLSTRÖM, B., MOBERG, A., KIRCHHOFER, W., CEYLAN, A., PACHALIUK, O., ALEXANDER, V., PETROVIC, P. (2002): *Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European climate assessment*. *International Journal of Climatology*, 22, s. 1441-1453.

KNOWLES, N., DETTINGER, M. D., CAYAN, D. R. (2006): *Trends in snowfall versus rainfall in the Western United States*. *Journal of Climate*, 19, č. 18, s. 4545-4559.

LINDA, B., KUBÁNOVÁ, J. (2000): *Statistické tabulky a vzorce*. Univerzita Pardubice, Pardubice, 34s. ISBN 80-7194-227-4.

LIZUMA, L., BRIEDE, A., KLAVINS, M. (2010): *Long-term changes of precipitation in Latvia*. *Hydrology Research*, 41, č. 3-4, s. 241-252.

MELO, M., LAPIN, M., DAMBORSKÁ, I. (2007): *Detection of climatic trends and variability at Hurbanovo*. In: Střelcová, K., Škvarenina, J., Blaženec, M. (eds.): *Bioclimatology and natural hazards*. International Scientific Conference, Poľana nad Detvou, Slovensko, 11s.

MENZEL, A., FABIAN, P. (1999): *Growing season extended in Europe*. *Nature*, 397, č. 6721, s. 659.

MOBERG, A., JONES, P. D. (2005): *Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation in Central and Western Europe, 1901–99*. *International Journal of Climatology*, 25, č. 9, s. 1149-1171.

MYNENI, R., KEELING, C. D., TUCKER, C. J., ASRAR, G., NEMANI, R. (1997): *Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991*. *Nature*, 386, s. 698-702.

- NEW, M., TODD, M., HULME, M., JONES, P. (2001): *Precipitation measurements and trends in the twentieth century*. International Journal of Climatology, 21, č. 15, s. 1889-1922.
- ROBINSON, D. A., FREI, A. (2000): *Seasonal variability of Northern Hemisphere snow extent using visible satellite data*. The Professional Geographer, 52, č. 2, s. 307-315.
- RODRIGO, F. S., ESTEBAN-PARRA, M. J., POZO-VÁZQUEZ, D., CASTRO-DÍEZ, Y. (2000): *Rainfall variability in southern Spain on decadal to centennial time scales*. International Journal of Climatology, 20, č. 7, s. 721-732.
- SCHMIDLI, J., SCHMUTZ, CH., FREI, CH., WANNER, H., SCHÄR, CH. (2002): *Mesoscale precipitation variability in the region of the European Alps during the 20th century*. International Journal of Climatology, 22, č. 9, s. 1049-1074.
- TOLASZ, R. (eds.) (2007): *Atlas podnebí Česka*. Český hydrometeorologický ústav a Univerzita Palackého v Olomouci, Praha, 255 s. ISBN 978-80-86690-26-1.
- TOLASZ, R. (2009): *Klimatický systém Země*. In: Němec, J., Kopp, J. (eds.): *Vodstvo a podnebí v České republice*, Consult, Praha, 2009, s. 12-16.
- TRENBERTH, K. E., JONES, P. D., AMBENJE, P., BOJARIU, R., EASTERLING, D., KLEIN TANK, A., PARKER, D., RAHIMZADEH, F., RENWICK, J. A., RUSTICUCCI, M., SODEN, B., ZHAI, P. (2007): *Observations: Surface and Atmospheric Climate Change*. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., Miller, H. L. (eds.): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, Velká Británie a New York, USA, 102s.
- VOJTEK, M., FAŠKO, P., ŠŤASTNÝ, P. (2003): *Some selected snow climate trends in Slovakia with respect to altitude*. Acta Meteorologica Universitas Comeniana, 32, s. 17-27.
- WALLACE, J. M. (1999): *North Atlantic oscillation/Annular mode: Two paradigms – one phenomenon*. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 126, č. 564, s. 791-806.
- WULFMEYER, V., HENNING-MÜLLER, I. (2006): *The climate station of the University of Hohenheim: analyses of air temperature and precipitation time series since 1878*. International Journal of Climatology, 26, č. 1, s. 113-138.

ZHOU, L., TUCKER, C. J., KAUFMANN, R. K., SLAYBACK, D., SHABANOV, N. V., MYNENI, R. B. (2001): *Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999*. Journal of Geophysical Research, 106, s. 20 069-20 083.

10.2 Internetové zdroje

VAŠÍČEK, J (2008): *Meteorologické letecké a synoptické stanice*,
http://www.chmi.eu/meteo/olm/Let_met/Met_stanice.htm> (22. 4. 2012).