

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroekologie a biometeorologie**



**Výzkum sněhové pokrývky v souvislosti se změnami  
klimatu**

**Bakalářská práce**

**Autor práce: Kristýna Munzarová**

**Obor studia: ABV**

**Vedoucí práce: Dr. Vera Potopová**

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Výzkum sněhové pokrývky v souvislosti se změnami klimatu" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 18.4.2017

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucí své bakalářské práce, paní doktorce Vere Potopové za její trpělivost, toleranci a odborné rady.

# Výzkum sněhové pokrývky v souvislosti se změnami klimatu

## Souhrn

Tato práce se zabývá možnostmi měření sněhové pokrývky, jejich využitím a s jejich pomocí zjištěnými změnami sněhové pokrývky v průběhu posledních padesáti let. Mezi nejefektivnější metody měření sledovaných veličin (mj. vodní hodnota sněhu, výška sněhové pokrývky) patří sněhoměrné polštáře, které sbírají data automaticky a v pravidelných intervalech, a zasílají je ke zpracování na centrálu. V České republice je těchto sněhových polštářů instalováno 17, a to v oblastech horských a podhorských v blízkosti povodí řek, neboť data z nich jsou využívána právě k hydrologickému monitoringu a predikci možných povodňových stavů. Metodou vhodnou pro sledování celé kryosféry je poté dálkový průzkum Země, jehož družice mapují celý povrch zeměkoule. Pro určení vývoje sněhové pokrývky musela být vybrána data alespoň od roku 1967, aby byla splněna podmínka padesátiletého normálu, který zmapuje nejen krátkodobé výkyvy, ale také dlouhodobou tendenci. Pro Českou republiku pak byla vybrána meteorologická stanice v Doksanech a na ní naměřená data od roku 1951 do roku 2015. Ze sledovaných grafů pak byl zjištěn celkový úbytek výskytu sněhové pokrývky na všech sledovaných územích.

**Klíčová slova:** sněhová pokrývka, vodní hodnota sněhu, výška nově napadlého sněhu, celková výška sněhové pokrývky, počet dní se sněhovou pokrývkou

# The research of snow cover in relation to climate change

## **Summary**

This thesis concerns about ways to measure the snow cover, their practical use and the information about snow cover that were gathered through past fifty years. One of the most effective method of measuring snow depth and snow water equivalent is the automated snow pillows, which gather the information automatically in a low-time periods and send their data directly to the headquarters to be processed. In the Czech Republic there is 17 of these devices installed, mostly in montane and sub-montane areas in the river-basins. These data are afterwards use for hydrological monitoring and prediction of flood chances. The modern method to map the whole cryosphere is remote sensing. To map the changes of snow cover, the data from year 1967 to 2017 were found. This way a fifty years long period was observed, so not only a short time fluctuatiotions are noticeable, but also the long term tendencies are overviewed. The data from weather station in Doksany were draft to overview this tendency in the Czech Republic. All three graphs show reduction of the snow cover in the past fifty years.

**Keywords:** snow cover, snow water equivalent, snow cover extent, days with snow cover

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Cíl práce.....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Literární rešerše.....</b>	<b>3</b>
<b>3.1</b>	<b>Definice pojmů.....</b>	<b>3</b>
3.1.1	Kryosféra .....	3
3.1.2	Sníh .....	3
3.1.2.1	Výskyt sněhu na světě a na severní polokouli.....	5
3.1.2.2	Výskyt sněhu v České republice .....	5
3.1.3	Sněžení.....	6
3.1.3.1	Tvary sněhových vloček.....	6
3.1.4	Sněhová pokrývka.....	8
3.1.5	Vodní hodnota sněhu .....	9
3.1.5.1	Měření vodní hodnoty sněhu.....	10
3.1.5.2	Výpočet vodní hodnoty sněhu.....	11
<b>3.2</b>	<b>Techniky měření.....</b>	<b>14</b>
3.2.1	Techniky založené na měření hmotnosti sněhu .....	14
3.2.1.1	Sněhoměrné polštáře .....	14
3.2.1.2	Váhy sněhu.....	15
3.2.2	Techniky založené na elektrických vlastnostech sněhu.....	15
3.2.3	Další techniky měření sněhu.....	17
<b>3.3</b>	<b>Metody měření sněhu a sněhové pokrývky.....</b>	<b>18</b>
3.3.1	Dálkový průzkum Země .....	18
3.3.1.1	Metody snímání zemského povrchu.....	19
3.3.1.2	Pasivní mikrovlnné snímání .....	19
3.3.2	Monitorování rozsahu sněhové pokrývky.....	20
3.3.3	Meteorologické metody .....	21
<b>3.4</b>	<b>Meteorologické stanice v České republice .....</b>	<b>22</b>
3.4.1	Meteorologická stanice Doksany.....	24
<b>3.5</b>	<b>Tendence změny sněhové pokrývky .....</b>	<b>25</b>
<b>3.6</b>	<b>Numerický model .....</b>	<b>28</b>
<b>4</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>29</b>
<b>5</b>	<b>Použitá literatura .....</b>	<b>30</b>

# 1 Úvod

Již od konce minulého století se jak ve vědeckých kruzích, tak mezi laickou společností řeší otázka globálního oteplování a klimatických změn, které vedou k úbytku ledovců, zvedání hladiny moří a zaplavování pevniny, úbytku sněhové pokrývky v těch částech Země, kde se sezónně vyskytuje. Na tyto změny existují různé pohledy, názory se rozcházejí především při diskuzi o příčinách vzniku těchto změn. Někteří změny připisují cyklické fázi doby meziledové, ve které se právě nacházíme, jiní jasně viní emise z antropogenních činností. Na grafech v této práci je však jasně patrné, že k úbytku sněhové pokrývky od roku 1966 dochází. Jedná se o cca  $0,95 * 10^6 \text{ km}^2$  na území Severní Ameriky a  $1,75 * 10^6 \text{ km}^2$  na území Eurasie. Tento úbytek sněhové pokrývky způsobuje především velké škody v zemědělství. Při nedostatku sněhové pokrývky v půdě přežívají choroby, škůdci a plevely, které v další sezoně snižují kvalitu a výnos zemědělských plodin. Ozimé plodiny nemají šanci projít kvalitní jarovizací potřebnou k jejich vyklíčení a dalšímu vývoji. Jsou-li teploty mrazivé, ale zároveň se nevyskytuje sněhová pokrývka, dochází k vymrzání rostlin. V neposlední řadě pak nedostatek sněhové pokrývky způsobuje vymrzání a vysychání půdy, neboť není kryta ochrannou vrstvou sněhu, který se později při roztání přímo do půdy vsakuje. V konečném důsledku je tímto faktem ovlivněna také výška hladiny podzemní vody.

## **2 Cíl práce**

Cílem práce je nalézt a kompozičně sestavit informace týkající se sněhové pokrývky, jejích změn v kontextu otázek změn klimatu a jejím vlivu na klima. Hypotézou zde je, že výskyt sněhové pokrývky meziročně ubývá, což má za následek změny klimatu, negativní vliv na ozimé plodiny a zároveň negativní vliv na planě rostoucí rostliny v oblastech bezzásahových managementů či úplně bez kontroly.



## 3 Literární rešerše

### 3.1 Definice pojmů

#### 3.1.1 Kryosféra

Kryosféra - vychází z řeckého slova Kryos - mráz. Je to část fyzicko - geografické sféry, jejíž teplota je více než 2 roky pod bodem mrazu. Jejimi klíčovými složkami jsou sníh, led, nebo oboje, včetně mořského ledu, ledovců, ledových šelfů a zmrzlé půdy (Paterson, 1993). Jedná se o místa na Zemi, kde se vyskytuje voda v pevné formě zmrazené do ledu nebo sněhu. Tato místa ovlivňují světové podnebí. Zároveň jsou domácím prostředím pro některé lidi, rostliny a živočichy.

Nejčastěji si pod pojmem kryosféra vybavíme oblasti horní a dolní části naší planety: kolem severního pólu - Arktidy a kolem jižního pólu - Antarktidy. Ale sníh a led se nacházejí také na mnoha dalších místech na Zemi, například ve vysokých nadmořských výškách (Kilimandžáro – Afrika) (Washburn, 1973).

Kryosféra expanduje během chladných zimních měsíců. Mezi sezónní oblasti kryosféry patří místa, kde padá sníh, a tam, kde půda, řeky, jezera zamrzají (Van den Broeke, 1996).

Tyto přirozené oblasti je nutno podrobně monitorovat, jelikož přímo ovlivňují dynamiku klimatu a klimatických změn (Robinson *et al.*, 1993).

#### 3.1.2 Sníh

Sníh je sezónní součástí kryosféry. Lze ho definovat jako srážky ledových krystalů, jednotlivých nebo splených, které padají z mraků (Giuliani *et al.*, 2016).

Vzniká srážením vody do ledových krystalů. Vychází z mraků při teplotách pod bodem mrazu (0 °C nebo 32 °F), kdy vodní páry v atmosféře kondenzují přímo do ledu, aniž by prošly kapalnou fází. Poté, co se vytvoří ledové krystaly, absorbuje a zmrazí se další vodní páry z okolního vzduchu a pojí se do sněhových krystalů nebo sněhových pelet, které se pak spadnou na zem (Ebner *et al.*, 2015).

Na internetových stránkách Českého hydrometeorologického ústavu je sněžení charakterizováno jako srážky tuhého skupenství, které vypadávají z oblačnosti. Jsou složeny z ledových krystalů, z nichž je většina hvězdotitě rozvětvena. Dopadá-li sníh na zemský povrch při teplotách vzduchu vyšších než 0 °C, mívá charakter mokrého sněhu nebo deště se sněhem,

v případě sněhu nebo sněhu s deštěm na zemský povrch s teplotou pod 0 °C, často dochází k tvorbě námrazových jevů. Dopadá-li sníh na zemský povrch s teplotou pod 0 °C, vytváří se sněhová pokrývka nebo poprašek (Český Hydrometeorologický Ústav. Vysvětlení dalších meteorologických pojmů a jevů). Soukupová (2010) popisuje vznik sněhových srážek jako mechanismus, který je založený na nárůstu ledových částic. Munzar (1989) ho definuje tak, že v případě, kdy množství ledových částic dosáhne určitou velikost a kdy rychlost vzestupných proudů vzduchu je nižší než pádová rychlost, začnou ledové částice padat směrem dolů. Padání sněhu se nazývá sněžení. Roth (2000) v definici sněhu přikládá i podmínku teploty blízko nule. Tvrdí, že sníh vzniká, když zmrznou přechlazené vodní kapky při teplotách -12 °C až -16 °C. Sníh je ale možné spatřit i při teplotách +5 °C až +8 °C.

Třídění srážek do 4 skupin (Soukupová, 2010):

- a) Podle skupenství
  - Kapalně (rosa, déšť – jsou tvořeny vodními kapkami)
  - Tuhé (vločky, jíní – jsou tvořeny ledovými krystalky)
  - Smíšené (kolem teploty 0°C)
  
- b) Podle původu
  - Padající = vertikální
  - Usazené = horizontální
  
- c) Podle délky trvání
  - Trvalé
  - Přeháňky
  
- d) Podle příčin vzniku
  - Nefrontální
  - Frontální
  - Orografické

Dělení kvality sněhu (Roth, 2000):

- Jemnozrný
- Suchý prašan
- Hrubozrný

- Vlhký
- lepivý

Sníh můžeme podle výše uvedených třídění popsat jako srážky tuhé, vertikální, složené z ledových krystalků.

Sníh lze nalézt po celém světě, a to i blízko rovníku ve vysokých nadmořských výškách. Odráží sluneční světlo a ovlivňuje klima naší planety. Poskytuje domov pro některé živočichy a rostliny. Dodává vodu pro lidi, rostlin a zvířat po celém světě. Je důležitou součástí světového klimatu. (Christiane a Manfred, 2002)

### 3.1.2.1 Výskyt sněhu na světě a na severní polokouli

Množství sněhu je dáno především zeměpisnou šířkou a nadmořskou výškou sledovaného místa. V tropických oblastech lze sníh nalézt jen ve vysokých výškových stupních v horách. Oběma směry od rovníku se nadmořská výška s výskytem sněhu snižuje (Singh, 2001). V podmínkách evropského kontinentu je výskyt sněhových srážek ovlivněn spíše vlivem Atlantského oceánu. Zimní (měsíce prosinec až březen) teploty a výskyt sněhu jsou na severní polokouli výrazně ovlivněny tzv. Severoatlantickou oscilací (NAO) (Bednorz, 2002). Její kladná fáze přináší oteplení a vlhkost, zvyšuje také možnost bouří a srážek (sněhových či dešťových) (Fagan, 2002). Záporná fáze NAO poté způsobuje, že se severní Evropa dostává pod vliv sibiřské tlakové níže, která s sebou přináší velmi chladný a suchý vzduch. Projeví se to mrazivými teplotami s nízkým výskytem sněhové pokrývky (Cílek, 2006). Zde je nutno podotknout, že pro oblast Severní Ameriky platí, že kladná fáze NAO přináší sušší zimy s nízkými teplotami vzduchu a záporná chladný vzduch a sněhové srážky. Tento jev se nazývá Grónská níže (Lamb a Pepler, 1987).

### 3.1.2.2 Výskyt sněhu v České republice

V České republice bývá příliv vlhkého oceánského vzduchu v zimním období doprovázen vydatným sněžením na horách, v nižších polohách střídáním sněhu s deštěm. Chladnější severozápadní a severní proudění přináší sněžení i do nížin a v kombinaci s větrem se často tvoří sněhové jazyky nebo závěje. Kontinentální vzduch ze severovýchodu a východu s sebou přináší menší množství srážek a velmi nízké teploty (SIVS – kód III. Sněhové jevy).

### 3.1.3 Sněžení

Proces vypadávání sněhu z oblaků se nazývá sněžení, které se dělí (Munzar, 1989):

a) Podle viditelnosti, radiolokačního měření:

- Slabé
- Mírné
- Silné

b) Podle doby:

- Občasné
- Trvalé

Příznivé podmínky pro vydatnější sněžení jsou za teplot vzduchu kolem nuly nebo slabě pod nulou. Čím je vzduch teplejší, tím více vlhkosti obsahuje, a tím mohou být vločky větší. Zároveň při teplotě blízké nule může sníh tát, znovu mrznout, a tak se spojovat do větších vloček. Když je teplota vzduchu hluboko pod bodem mrazu, vločky jsou malé, prachové a ideální pro lyžování. Sněhové vločky, které vznikají při teplotě vzduchu bližší nule, jsou větší, vlhčí a zůstávají na předmětech. (SIVS – kód III. Sněhové jevy)

#### 3.1.3.1 Tvary sněhových vloček

Malé kapičky zmrzlé vody jsou často spojovány v krystaly sněhu. Pokud jsou přítomny ve vysokém počtu, mohou zastírat krystalickou strukturu sněhu. Při teplotě vyšší než  $-5\text{ °C}$  se krystaly obvykle lepí k sobě do sněhové vločky. Forma, velikost a koncentrace sněhových krystalů se liší v závislosti na teplotě a přesycení, při kterém vznikají (Phillips *et al.*, 2015).

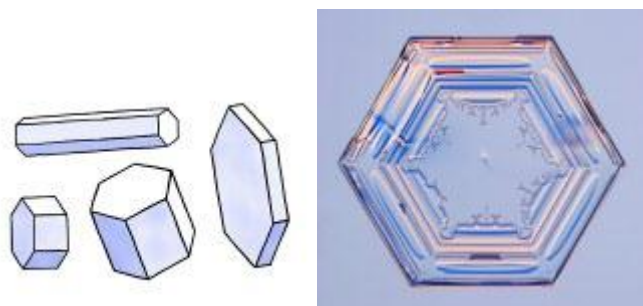
Tvar ledových krystalků ovlivňuje především teplota (Soukupová, 2010):

- $0\text{ °C}$  až  $-5\text{ °C}$  převládají jednoduché plošné tvary – šestiboké destičky
- $-5\text{ °C}$  až  $-10\text{ °C}$  převažuje výskyt sloupků a tenkých jehlic
- $-10\text{ °C}$  až  $-25\text{ °C}$  se vyskytují šestiboké destičky s výrazným žebrováním, kolem  $-14\text{ °C}$  a vyšším nasycení vzduchu vodní párou se objevují dendrity
- $-25\text{ °C}$  a nižších teplotách opět převládají sloupkové krystaly.

Soukupová (2010) dělí sněhové vločky na následující základní typy:

- ***šestiboký sloupek a šestiboká destička***

- *dendrit (šesticípá hvězdice).*



Obrázek 1: Šestiboký sloupek a šestiboká destička (dle zdroje Libbrecht, 1999)



Obrázek 2: Dendrit (šesticípá hvězdice) (dle zdroje Libbrecht, 1999)

Fierz et. al. (2008), skupina zabývající se klasifikací sněhu v rámci IACS (mezinárodní sdružení věd zabývajících se kryosférou), dělí tvary ledových částic do 10 skupin:

1. jednotlivé destičky nebo destičky spojené krátkým sloupkem
2. jednotlivé hvězdice (dendrity) nebo dendrity spojené krátkým sloupkem
3. sloupky a jejich jednoduché kombinace
4. jehlice a jejich jednoduché kombinace
5. vločky (peříčkové částice)
6. sloupky s destičkami na jednom nebo obou koncích
7. nepravidelné částice (nepravidelné shluky krystalů)
8. krupky kulaté nebo mírně kónického tvaru (neprůhledné)
9. ledové kuličky (průhledné zmrzlé kapičky)
10. kroupy (ledové částice s průhlednými a neprůhlednými vrstvami pravidelného nebo nepravidelného tvaru, vypadávající z bouřkových mraků)

Ze základních typů vloček vznikají rozmanité tvary sněhových vloček (Libbrecht, 1999).



Obrázek 3: Tvary sněžových vloček (dle zdroje Libbrecht, 1999)

### 3.1.4 Sněžová pokrývka

Tento termín užívají meteorologové ve chvíli, kdy sníh dopadne na zem; někdy také sněžový poprašek. Munzar (1989) ji charakterizuje jako vrstvu minimálně o výšce 0,5 cm, která je tvořená napadlým sněhem a vyskytuje se na zemském povrchu. V případě, že vrstva sněhu je nižší než 0,5 cm, mluvíme o sněžovém poprašku. Sněžová pokrývka se měří v přesnosti na centimetry.

*Souvislá sněžová pokrývka:* půda na pozemku a v okolí meteorologické stanice je pokryta vrstvou sněhu alespoň z poloviny a její výška je minimálně 1 cm.

*Nesouvislá sněžová pokrývka:* půda na pozemku a v okolí meteorologické stanice je sněhem pokryta méně jak z poloviny.

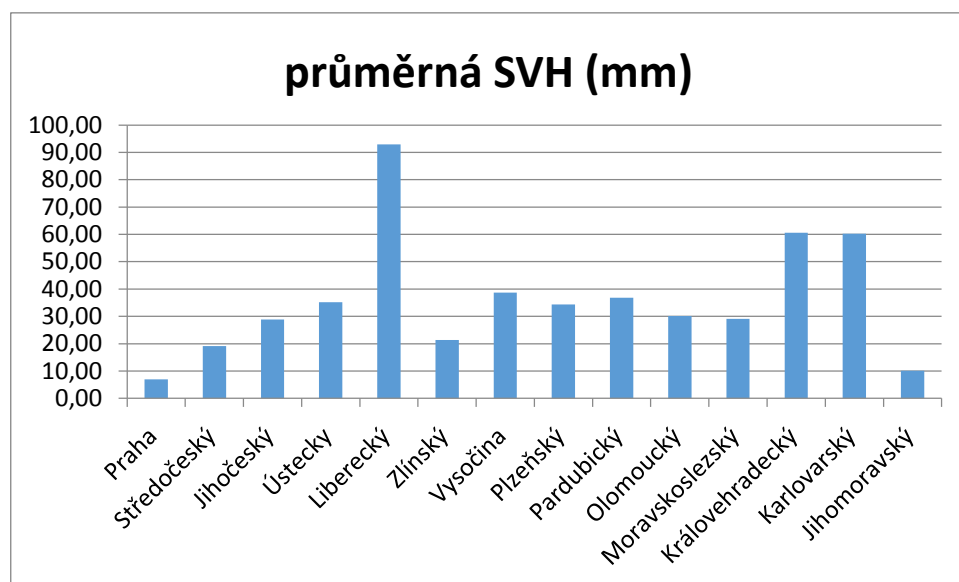
Většinou se měří její celková výška, dále výška nové vrstvy sněhu za poslední den a množství vody, které je v ní akumulované, tzn. vodní hodnota. Na meteorologických stanicích se výška nového sněhu i celková výška sněhu (starého a nového zároveň) měří v 7.00 SEČ, a to v centimetrech. 1 mm vpadlých srážek představuje 1 - 2 cm nového sněhu. Sněžová pokrývka a její přidružené tání mají celou řadu důležitých biologických, hydrologických, ekonomických a bezpečnostních důsledků. Za tímto účelem byly provedeny značné pokroky ve sledování a mapování sněžové pokrývky během několika posledních desetiletí (Linde a

Grab, 2011). Výskyt sněhové pokrývky rapidně snižuje lokální teploty a to jak schopností měnit trajektorii krátkovlnného záření, tak samotnou měrnou tepelnou kapacitou vody ( $4\,180\text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ) (Cohen a Rind 1991), jež za pomoci vodíkových můstkům nabývá extrémních hodnot (Mikulčák, 2003) a díky tomu funguje jako teplená jímka akumulující velké množství infračerveného (tepelného) záření za malého růstu teploty kapaliny (Cohen a Rind, 1991).

### 3.1.5 Vodní hodnota sněhu

Vodní hodnota sněhu = SWE (z anglického Snow Water Equivalent) je důležitou charakteristikou sněhové pokrývky, která má uplatnění nejen v udávání výšky sněhu, ale i v oblasti hydrologie. Vyjadřuje množství vody ve sněhové pokrývce obsažené, které si lze představit jako výšku vodního sloupce, jenž vznikne rozpuštěním sněhové pokrývky bez ztrát výparem. Uvádí se v milimetrech výšky vodního sloupce nebo v jednotkách hmotnosti na metr čtvereční ( $\text{kg} \times \text{m}^2$ ) (Durand, 2011).

Výsledky měření jsou důležitá pro plánování provozu vodních děl, regulace zavlažovacích systémů, dimenzování střešních konstrukcí budov, ochrany životů a majetku obyvatel atd. (Špulák *et al.*, 2012). Dále jsou využívány při jarním tání sněhu a případném spadu dalších srážek v období tání (Helfricht *et al.*, 2015).



Graf 1: Průměrná SVH k 23.1.2017 (dle zdroje ČHMÚ Vodní hodnota SVH k 23.1.2017, 2017)

### 3.1.5.1 Měření vodní hodnoty sněhu

#### 3.1.5.1.1 Manuální měření

Jedná se o nejběžnější měření vodní hodnoty sněhu, a to o manuální gravimetrické zjišťování. Provádí se pomocí plastové nebo kovové sněhoměrné trubky. Ta se vtlačí do sněhu až po povrch země. Hodnota se zjišťuje výpočtem na základě vážení odběrné trubky se sněhovým jádrem, nebo měřením objemu vody po jeho roztátí (Němec, 2006).

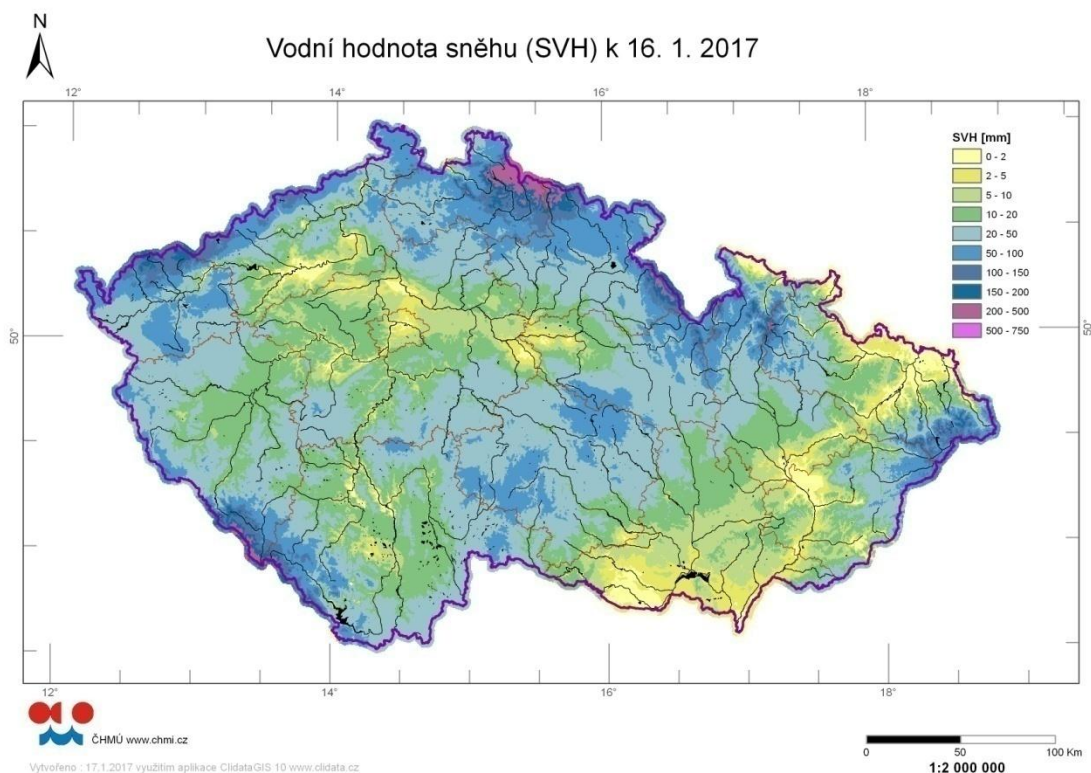
V České republice je manuální měření ve sněhoměrných prolech základním způsobem zjišťování dat o vodní hodnotě sněhu pro účely monitoringu a predikcí (Židek a Lipina, 2003). Metoda však trpí řadou nevýhod, jako je fyzická či časová náročnost dopravy pozorovatele (Němec, 2006).

#### 3.1.5.1.2 Měření vodní hodnoty sněhu v České republice

ČHMÚ měří v zimním období pravidelně vodní hodnotu sněhu 1x za týden, a to za podmínky, že se na dané stanici nachází minimálně 4 cm sněhové pokrývky. Zároveň je vodní hodnota sněhu měřena i nad rámeček daných měřících stanic. Množství vodní hodnoty sněhu velmi ovlivňuje typ sněhové pokrývky a proces sublimace. Nejvyšší vodní hodnotu má čerstvě napadlý sníh, naopak například při dlouhodobějším mrazivém počasí sníh mění kvalitu na zmrzlý sníh nebo firn, a zároveň klesá jeho vodní hodnota (Čekal, 2013).

Většinou je k měření využíván srážkoměr, popř. sněhometr (Meteorologická stanice Maruška Hostýnské vrchy a). Speciálním typem srážkoměru je tzv. sběrový srážkoměr (neboli totalizátor), který slouží ke sběru dat na odlehlých či těžko dostupných místech. Srážky se v něm kumulují obvykle po dobu 6 měsíců. Při umístování je zčásti naplněn nemrznoucí kapalinou, která zároveň zajišťuje, že se voda ze srážek nebude vypařovat (Slovník ČMeS. Výklad pojmů začínajících na písmeno T).





Obrázek 4: Příklad mapy zobrazující vodní hodnoty sněhu na území ČR (dle zdroje ČHMÚ Vodní hodnota SVH k 16.1.2017, 2017)

Na mapě lze vidět stav vodní hodnoty sněhu ke dni 16.1.2017. Nejnižší vodní hodnotu sněhu pozorujeme v oblasti kolem velkých řek. Naopak nejvyšší vodní hodnota sněhu je pozorována v nejvyšších pohořích ČR. Přeneseně lze interpretovat, že nejvíce sněhu se k uvedenému datu vyskytovalo v Jizerských horách a Krkonoších. Naopak nejmenší či nulový výskyt sněhu byl v okolí Znojma a v povodí Dyje.

### 3.1.5.2 Výpočet vodní hodnoty sněhu

Ke zjištění vodní hodnoty sněhu je třeba znát objem a hmotnost odebraného sněhu. Křístek et al. (2011) poté uvádějí tyto vzorce pro výpočet:

$$\text{Objem odebraného sněhu: } V = \frac{V_k d_{Sn}}{100}$$

Pozn.:  $V$  = objem odebraného vzorku sněhu;

$V_k$  = kalibrační objem válce uvedený na stěně válce;

$d_{Sn}$  = střední výška sněhové pokrývky v místě zanoření odběrného válce [cm]

100 [cm] = výška odběrného válce

**Hustota sněhu:**

$$\rho = \frac{\Sigma m}{\Sigma V} 10^3 = \frac{\Sigma m}{V_k \Sigma d_{Sn}} 10^5$$

Pozn.:  $\rho$  = hustota [kg . m<sup>3</sup>],

m = hmotnost odebraného sněhu [kg]

**Vodní hodnota sněhu:**

$$SVH = \frac{\bar{d} \Sigma m}{\Sigma V} 10 = \frac{\bar{d} \Sigma m}{V_k \Sigma d_{Sn}}$$

Pozn.: SVH = vodní hodnota sněhu [mm],

d = (průměrná) výška sněhové pokrývky [cm]

Tabulka 1: Vysvětlivky ke vzorcům výpočtu vodní hodnoty sněhu (dle zdroje Křístek *et. al.*, 2011)

Značka	Parametr	Použitá měrná jednotka	Počet hodnot pro jedno měření na zkušné ploše	Nejmenší dílek měřidla
d	Výška sněhu	cm	20	1 cm
d <sub>Sn</sub>	Výška odebraného vzorku	cm	2 - 5	1 cm
m	Hmotnost vzorku	kg	2 - 5	0,01 kg
V <sub>k</sub>	Kalibrační objem válce	l	1	0,05 l
<b>Vypočtené parametry z měření sněhové pokrývky</b>				
Značka	Parametr	Použitá měrná jednotka	Matematicko-fyzikální odvození	Poznámka
$\bar{d}$	Průměrná výška sněhové pokrývky	cm	$\frac{\sum d}{n}$	n = 20
$\rho$	Hustota sněhu	kg . m <sup>3</sup>	$\frac{\sum m}{\sum V} 10^3$	n ∈ < 2; 5 >
V	Objem odebraného vzorku	l	$\frac{V_k d_{sh}}{100}$	výška odběrného válce = 100 cm
SVH	Vodní hodnota	mm	$\frac{\bar{d} \sum m}{\sum V} 10$	n ∈ < 2; 5 >

## 3.2 Techniky měření

### 3.2.1 Techniky založené na měření hmotnosti sněhu

#### 3.2.1.1 Sněhoměrné polštáře

Jedná se o plochá zařízení z vyztužené gumy, plastu nebo kovových plátů, která jsou umístěna v úrovni terénu. Ta jsou vyplněna nemrznoucí kapalinou, která přenáší tlak sněhové vrstvy na tlakoměry. Nevýhodou této metody měření je to, že ji nelze použít, když dojde k zavěšení sněhové vrstvy přes polštář. Při poškození polštářů může dojít k úniku nemrznoucí kapaliny a následné intoxikaci přírody v okolí (Bercha a Kimlová, 2014).

Jinak se jim také říká „automatické sněhoměrné stanice“. V časových intervalech jsou zaznamenávány veličiny sněhu: vodní hodnota sněhu SVH (mm), výška sněhu SCE (cm, odtok z polštáře (dm<sup>3</sup>), teplota vzduchu ve 2 metrech (°C), rychlost větru (m.s-1), směr větru (°) atd.. Výpočet vodní hodnoty sněhu je prováděn pomocí algoritmu dle Němce a je prováděn v závislosti na úhrnu srážek, výšce nového sněhu a průměru denního tlaku par (Bubeníčková *et al.*, 2010).

Časové intervaly jsou různé v závislosti na sledovaných jevech. U automatických sněhoměrných stanic v České republice bývá uváděn interval měření 10 minut (Churáňov, Souš, Uhelná-Nové Vilémovice, Vidnava, Štítý, Chuchelná, Nýdek – Filipka, Horní Lomná) (Řepka a Lipina, 2016). V České republice se začaly používat v sezóně 2006/2007. Zpočátku byly v České republice testovány pouze dvě automatické sněhoměrné stanice, a to na Souši a Churáňově. Postupem času je jejich počet zvyšován. Aktuální naměřené údaje je možné sledovat na internetových stránkách Českého hydrometeorologického ústavu.



Obrázek 5: Sněhoměrný polštář (dle zdroje ČHMÚ)

#### 3.2.1.2 Váhy sněhu

Princip měření je totožný se sněhoměrnými polštáři, ale snaží se odstranit možné překážky, které u sněhoměrných polštářů vznikají. Váhy sněhu bývají tvořeny plochou kovovou konstrukcí, která je zavěšena na váhových čidlech, a samotné váhy jsou povrchem zapuštěny do úrovně terénu. Povrch vah bývá posypán nebo jsou na něm položeny rohože, aby se co nejvíce vlastnostmi podobal přírodním podmínkám. Nevýhodou této metody oproti sněhovým polštářům je absence jakéhokoli kontaktu půdy a sněhu v místě měření (Bercha a Kimlová, 2014).

#### 3.2.2 Techniky založené na elektrických vlastnostech sněhu

Při využití těchto metod měření je nutné, aby byl sníh co nejvíce bez jakéhokoli chemického nebo mechanického zatížení. V opačném případě může dojít k ovlivnění jeho elektrických vlastností a následnému zkreslení výsledků. Těmito metodami se sleduje nejen vodní hodnota sněhu, ale také jeho výška, hustota, vlhkost nebo vrstvení sněhu.

Špulák *et al.*, (2012) jmenuje následující metody:

**Časová reflektometrie** – využívá se pro zjištění obsahu nezmrzlé vody ve sněhu i v půdě, a to prostřednictvím TDR (TIME DOMAIN REFLECTOMETRY) čidel. Tato jehlicovitá čidla pak měří čas, za který proběhne vysokofrekvenční elektrický impuls po jehlicích tam a zase

zpět. Tato velmi často doporučovaná metoda vyhodnocuje stav okamžitě a obvykle bez potřebné kalibrace. Moderní čidla jsou schopny na svou interní paměť, či SD kartu zapisovat přehledně data do tabulek formátu .xls (Regalado *et al.*, 2007).

**SPA Analyzer** – Snow Pack Analyzer, je metoda založená na měření pomocí dielektrických konstant sněhu na několika frekvencích (KHz i MHz). Cílem měření je i zároveň získat hodnoty hustoty sněhu, vodní hodnoty sloupce a obsahu kapalné vody. Díky úspornosti potřebné elektrické energie SPA za pomoci solárních panelů dlouhodobě měří námi zvolenou expozici (tam kam ho umístíme, tam měří) a je tak schopný poskytnout kontinuální výstup všech výše zmíněných údajů. Výrobce také uvádí celou řadu možností instalace, tak aby co nejvíce vyhovoval potřebám dané lokality. U nejnovějších přístrojů se poté tyto hodnoty odesílají opět např. ve formátu .xls na externí uložení, není tedy třeba externího pracovníka např. v těžko dostupných zónách (Čeburnis *et al.*, 2002).

**Senzory rádiových vln** – k měření se využívá sněhová vidlice (snow fork), která se vsune do sněhové vrstvy. Tato vidlice je navržena tak aby byla co nejlehčí a nejmenší, a tedy usnadnila co nejvíce práci v terénu (její měření neovlivňují případné srážky a je schopna měřit až do -40 C). Tato metoda měření umožňuje určit hustotu a vlhkost sněhu na základě mikrovln vyvolaných mikrovlnným rezonátorem. Vidlice poté měří elektrické parametry, rezonanční frekvence a také obsah kapalné vody ve sněhu (nepřímě pomocí semi-empirických rovnic z předešlých hodnot). Výsledky se okamžitě ukáží na displeji a zároveň se zapíší na pevné úložení, odkud je možné je převést do PC. Díky nepotřebnosti vzorků, okamžitým vyhodnocením, malé ploše disturbance sněhu a snadnosti opakování měření uvádí výrobce tuto metodu jako velmi efektivní (Toikka, 2001). Vidlice se svou váhou 380g a displejem 350g je skutečně lehká, avšak výrobce se příliš nezmiňuje o nutnosti externí baterie o hmotnosti přes 4kg.

**Georadar (ground penetrating radar - GPR) – Georadar (ground penetrating radar - GPR)** – tato zcela nedestruktivní metoda je založená na vyslání elektromagnetického záření v mikrovlnném pásmu (10 MHz až 2,6 GHz), ta prochází sněhovou pokrývkou, dokud nenarazí na zemní prostředí (bublina, změna materiálu v podobě nečistoty). Při styku se změnou se tyto vlny lámou nebo zanikají, což vede k vytvoření obrazu na displeji přístroje (Lowe *et al.*, 2014). V případě ledu pak mohou tyto vlny vytvářet obraz prostředí, které je až několik tisíc metrů pod povrchem (Masini *et al.*, 2010). Nevýhodou je nepřesnost dat získaných v případě, že je ve sněhu obsažena i voda v kapalné formě nebo pokud se vyskytuje výrazná horizontální variabilita hustoty sněhu (Lowe *et al.*, 2014). Na rozdíl od ostatních metod, jež měřili číselně

vyjádřitelné hodnoty výstupem této metody je obraz struktury terénu, či sněhové pokrývky (Masini *et al.*, 2010).

**Systémy impulsových radarů** při využití této metody dochází k vysílání krátkých impulzů a k porovnávání přijatého signálu. Stejně jako i GPR dochází k nepřesnému měření v případě kapalné formy vody obsažené ve sněhu. Obecně lze tuto metodu označit za velmi podobnou GPR. Impulsovým radarem lze také určit radiolokační odhad srážek dle rovnice  $Z = a \cdot I^b$ , kdy  $Z$  značí radiolokační odrazivost,  $I$  udává intenzitu srážek a neznámé  $a$  a  $b$  představuje experimentálně zjištěné konstanty (Kráčmar, Meteorologické radiolokátory).

**Radary se stálou vlnou** jsou kmitočtově regulované radarové systémy (Frequency Modulated Continuous Wave - FMCW), které vysílají stálý sinusoidní signál s frekvencí lineárně se měnící v čase v určitých mezích. Tato metoda se využívá téměř 40 let a nedestruktivní cestou měří obvykle výšku sněhové pokrývky. Dříve byly tyto přístroje značných objemů a hmotností, které komplikovali jejich použití v praxi, avšak vlivem inovací je již možné sehnat uživatelsky optimálnější modely. Tyto nové modely tedy dokáží nedestruktivně měřit množství kapalné vody ve sněhu a hloubku (šířku) sněhové pokrývky přímo v terénu na velké vzdálenosti, s vysokým rozlišením (Marshall *et al.*, 2008).

Bal *et al.* (2009) uvádějí také kombinaci elektromagnetických zařízení (GPR, TDR, a WCR) – jedná se o pokus, kdy byla testována kombinace tří technik, které jsou založeny na měření elektromagnetických vlastností sněhu, jež bylo popsáno výše. Jedná se o kvalitní metodu, ale kvůli kombinaci také nákladnou.

### 3.2.3 Další techniky měření sněhu

Mezi další techniky měření patří techniky založené na měření útlumu záření při průchodu sněhovou vrstvou. Jedná se o aktivní a pasivní neutronové sondy a sondy měřící tok záření gama (kosmického původu, nebo pocházejícího z aktivních zářičů) (Špulák *et al.*, 2012). Dalším způsobem měření je technika založená na prostupnosti zvuku. K měření jsou využívány dva měniče umístěné těsně nad povrchem sněhu, které průběžně vysílají a přijímají slyšitelné zvukové signály. Při vyhodnocení většinou docházelo k podhodnocení zjištěné vrstvy (Novák, 2014). Další metodou je využití globálního polohového systému (GPS). Výpočet by měl být prováděn prostřednictvím metody nelineárních nejmenších čtverců. Vstupy do tohoto algoritmu jsou přímý satelitní signál a signál při povrchu Země odražený pomocí vysoce citlivého pozemního reflektoru GPS signálu. Signály jsou přijímány směrovou anténou umístěnou v určité výšce nad sněhem (Špulák *et al.*, 2012).

### 3.3 Metody měření sněhu a sněhové pokrývky

Měření sněhové pokrývky znamená měření celkové sněhové pokrývky – dohromady starý sních i nově napadlý (Jeníček, 2011). K získávání dat se dříve užívalo výhradně údajů získaných z jednotlivých pozemních meteostanic, které tvořily okraje jednotlivých polygonů s totožnými intervaly hodnot. Tato metoda se stále užívá, avšak mnohem efektivnější jsou v současné době metody satelitní (asi nejznámější je DPZ, kterému se věnuje tato kapitola), a to právě pro jejich schopnost globálního sběru dat (Robinson *et al.*, 1993). Tímto podrobným mapováním severní polokoule se nejdéle zabývá National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (Robinson *et al.*, 1993). U starších dat z jižní polokoule je sice zaznamenána rozloha povrchu pokryta sněhem, avšak jeho objemové množství chybí. Tyto nedostatky tak viditelně stěžují predikční analýzy (Robinson *et al.*, 1993). Robinson *et al.* (1993) také upozorňuje na nedostatečnou kvalitu měření za pomoci mikrovln. Tyto hodnoty se dříve ukázaly méně přesné, než hodnoty z pozemních meteostanic, a to zejména kvůli nedokonalosti dřívější techniky.

#### 3.3.1 Dálkový průzkum Země

Dálkový průzkum Země probíhá prostřednictvím pořizování leteckých a družicových snímků. Jejich zpracování a analýza se provádí za účelem tvorby topografických tematických map (Chang, 2015). Lillesand *et al.* (2015) DPZ definuje spíše jako umění zpracovat zajímavé informace do lidské mysli mnohem lépe pochopitelného formátu, za použité přístrojů, jenž nikdy nepřijdou do fyzického kontaktu se seldovaným objektem. Základem dálkového průzkumu země je grafické zpracování výstupních číselných hodnot nejčastěji z družic do rastrových či vektorových map (Chang, 2015).

Využití dálkového průzkumu země je v dnešní společnosti velmi častou metodou sběru dat v nespočtu vědeckých disciplínách jako jsou například hydrologie, kartografie, ekologie, meteorologie, pedologie a mnoho dalších. Díky své nenápadnosti při snímkování se DPZ využívá také k mapování nepřátelského území armádou (Jansen, 2015; Lillesand *et al.*, 2015). Právě díky možnosti přijímat informace z atmosféry, je možné zaznamenávat data i v nepřístupných či nebezpečných částech země (Jansen, 2015; Lillesand *et al.*, 2015).

Určitý druh ultrazvukového radaru se využívá v oceánologii na výzkum mořských vln a dna (Lillesand *et al.*, 2015). Výstupem DPZ jsou vždy dvě informace. První je hodnota, kterou



jsme schopni vyhodnotit dle intervalů (příkladem je např. informace o barvě povrchu). Druhou informací je umístění bodu s danou hodnotou v prostoru (tedy kde se ona barva nachází např. na mapě). Pokud bychom získali pouze jednu část informací, jsou tyto hodnoty irelevantní a nepoužitelné pro aplikaci (Chang, 2015). DPZ lze také rozdělit dle posloupnosti zpracování dat na část kosmickou, kde se jedná o samotný přístroj, který pořizuje informace. Poté část zpracovatelskou, tou může být např. meteorologická stanice, jež za pomoci tabulek převede hodnoty do vizuální podoby. A poslední, uživatelskou, u které se jedná již o samotný výstup, například mapu terénu (Chang, 2015).

#### 3.3.1.1 Metody snímání zemského povrchu

Metody snímání jsou přímé a nepřímé. Přímé metody se vyznačují tím, že přístroj okamžitě zpracovává data, která jsou zaznamenatelná prostou observací. Zde lze jako příklad uvést letadlové snímání povrchu pro tvorbu realistické mapy v dřívějších dobách. U nepřímé metody je poté základem číselná hodnota, kterou lze ve zpracovatelské fázi převést do vizuální podoby. Například: družice zašle tabulku se souřadnicemi a vlnovými délkami, a v meteorologické stanici díky této tabulce přiřadí konkrétní vlnové délce příslušnou barvu.

Metody snímání můžeme dělit také na pasivní a aktivní, přičemž pasivní jsou ty, kde je využíváno slunečního záření, které se odrazí od objektu a tento vlnový odraz poté zachycují senzory na družici či meteorologickém balonu. Pasivním snímačem pro lepší představu může být například fotoaparát. Jedná se o nejčastěji využívaný druh pozorování a získávání výstupů (Chang, 2015; Lillesand *et al.*, 2015). Aktivní způsob snímání se poté vyznačuje tím, že samotný objekt (např. družice) vysílá záření a senzor poté vyhodnocuje množství vrácených vln, na jehož základě rozeznává diferenciaci mezi jednotlivými plochami (Jansen, 2015). Typickým aktivním snímačem je radar, který rozeznává objekty a jejich vzdálenost na množství odražených vln a rychlosti za kterou se vlna vrátí zpět k radaru po odrazu od objektu. (Chang, 2015)

#### 3.3.1.2 Pasivní mikrovlnné snímání

Těmito metodami je měřena přirozená dlouhodobá energie, která je vyzářena objekty na zemském povrchu. Systém měření je založen podobně jako u termálních radiometrů a skenerů. Naměřený signál mívá vysoký podíl šumu, tudíž je jeho interpretace obtížnější. Výhodou tohoto snímání je nezávislost na podmínkách počasí (Albertz, 2000).

### **Využití metod pasivního mikrovlnného snímání:**

- měření teplotních profilů atmosféry
- zjišťování charakteristik svrchní vrstvy půdy
- mapování teploty půdy a půdní vlhkosti
- studium minerálního obsahu půd
- mapování rozsahu mořského ledu
- mapování rozsahu a mocnosti sněhové pokrývky
- zjišťování průběhu tání sněhu
- studium charakteristiky

(Dálkový průzkum Země, 2006)

### **3.3.2 Monitorování rozsahu sněhové pokrývky**

Rozsah sněhové pokrývky je monitorován na snímcích družic NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), česky známý jako Národní úřad pro oceán a atmosféru. Někdy se tyto družice také označují jako TIROS-N, po první družici v sérii vypuštěných právě již zmíněnou společností. Dnes se již družice označují NOAA a pořadovým číslem družice, např.: NOAA 5, NOAA 6, NOAA *n*. Toto pořadové číslo dostávají až po dosažení příslušné orbity. Před vypuštěním jsou označovány písmeny např.: NOAA A, NOAA B (Český Hydrometeorologický ústav, Informace o družicích NOAA).

NOAA družice spadají do tzv. polárních družic, nebo také družice (kvasi)polární dráhy. Trajektorie jejich pohybu je tedy v úhlu přibližně 99 stupňů k zemskému rovníku. Jejich orbita je ve výšce 810 až 870 km a průlet celou drahou trvá přibližně 1 hodinu a 40 minut. Zajímavostí je, že tato dráha je tzv. héliosynchronní. Družice tedy prolétá daným místem vždy ve stejný místní čas. Měřicím přístrojem na těchto družicích je tzv. AVHRR/3 (Advanced Very High Resolution Radiometer), který vysílá v šesti kanálech rádiové vlny o délkách od 0,58  $\mu\text{m}$  pro měření červené oblasti spektra odraženého slunečního záření až po 12,5  $\mu\text{m}$  pro vyhodnocení tepleného záření. Tato družice snímá nepřetržitě pás dlouhý cca 3000 km a vyhodnocuje údaje ve vysokém rozlišení, které ihned odesílá uživatelům. Lze tedy získat data v reálném čase. Tato data se nadále trvale archivují. Jeden průlet orbitou poskytuje až 130 MB dat (při průletu přibližně 14,4 krát za den činí až 1872 MB dat za jeden snímkaný den) (Český Hydrometeorologický ústav, Informace o družicích NOAA). Je prokázáno, že pokroky v technologii dálkového průzkumu a přístrojů pro měření sněhové pokrývky jsou během posledních desetiletí digitálním procesem. Očekává se, že trojrozměrné mapování sněhu

v nadcházejících letech umožní zásadní krok směrem k nové generaci pozorování techniky (Linde a Grab, 2011).

### 3.3.3 Meteorologické metody

Výška sněhové pokrývky se měří pomocí sněhové latě (tyče), která může být pevná (trvale umístěná), nebo přenosná. Pro expediční měření se používá přenosná lať (tyč) opatřená stupnicí. Tato velmi primitivní a velmi málo nákladná, ale zároveň relativně efektivní metoda měří pouze výšku napadlého sněhu. A to pouhým zanořením latě do sněhové pokrývky (horní hranice pokrývky udává výšku sněhu) (Křístek *et al.*, 2011). Měření se provádí opakovaným (20x) svislým zabodnutím skrz celou sněhovou pokrývkou. Minimální vzdálenost mezi dvěma vpichy je 1m. Pro přesnější měření je třeba vyhýbat se povrchovým nerovnostem v podobě kamenů, pařezů i místům, kde již měření daný rok proběhlo (tato místa jsou i po následném zapadnutí sněhem většinou rozpoznatelná) (Křístek *et al.*, 2011).



Obrázek 6: Sněhoměrná lať (dle zdroje ČHMÚ)

Váhový sněhoměr slouží ke zjišťování vodní hodnoty obsažené ve sněhové pokrývce. Jedná se o až 2 m dlouhý dutý válec, který je na konci ozuben. Ten se poté podobně jako sněhová lať zanoří celým profilem sněhové pokrývky až k půdě. Poté se následně vytáhne (sníh tak zůstane v dutém válci, podobně jako v půdní závrtné sondě zemina při analýze půdního profilu). Tento sníh se poté zváží. Na základě známé váhy sněhu, tabulkové váhy vody a objemu dutého válce uvnitř trubice se vypočte vodní hodnota sněhu ve sněhové pokrývce (Honsová, 2007).



Obrázek 7: Váhový sněhoměr (dle zdroje Meteorologická stanice Marušky – Hostýnské vrchy)

### 3.4 Meteorologické stanice v České republice

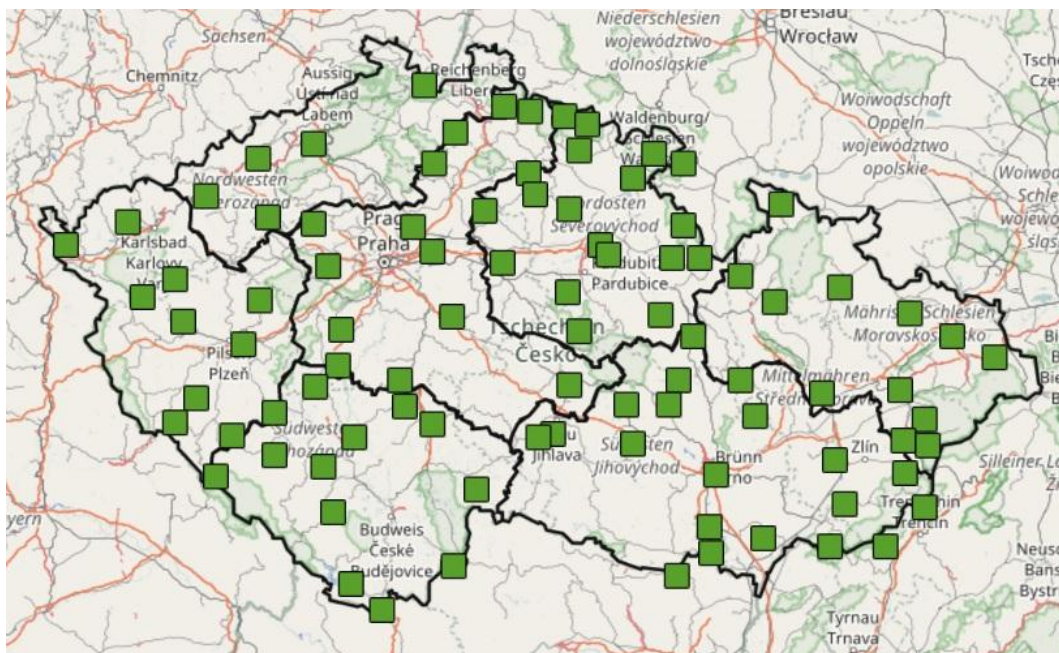
Meteorologická stanice je místo, na kterém se konají meteorologická pozorování dle mezinárodní či vnitrostátní metodiky. Meteorologické stanice jsou různých typů dle odborného zaměření, charakteru získávaných dat a umístění.

Synoptické stanice jsou takové stanice, kde jsou měřeny meteorologické prvky ve dvou souběžných časových pozorovacích programech. Hlavním cílem synoptických stanic je získávat informace o počasí na velké rozloze (polokoule, celá zeměkoule), a proto jsou časy jejich měření sjednoceny pomocí světového času. K měření dochází každou hodinu. Tyto stanice zároveň pracují jako klimatologické základní stanice. Ty provádějí pravidelná měření v průběhu dne, a to v časech 07, 14 a 21 hodin (místního středního slunečního času (SEČ = středoevropský čas), popř. se termíny posouvají o hodinu při platnosti SELČ (středoevropský letní čas)). (Český Hydrometeorologický Ústav. Vysvětlení dalších meteorologických pojmů a jevů) Všechny profesionální klimatologické stanice jsou již automatizovány. (Český Hydrometeorologický Ústav. Mapy stanic)

Profesionální stanice měří tyto veličiny: stav a průběh počasí, množství a druh oblačnosti, výška základny oblačnosti, směr a rychlost větru, teplota, vlhkost a tlak vzduchu, dohlednost, množství srážek, sněhová pokrývka, sluneční svit a teplota půdy v hloubkách 5, 10, 20, 50, 100, 150 a 300 cm. Poslední dva hloubkové údaje se na základních stanicích v ČR neměří (Meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS). Česká meteorologická společnost).

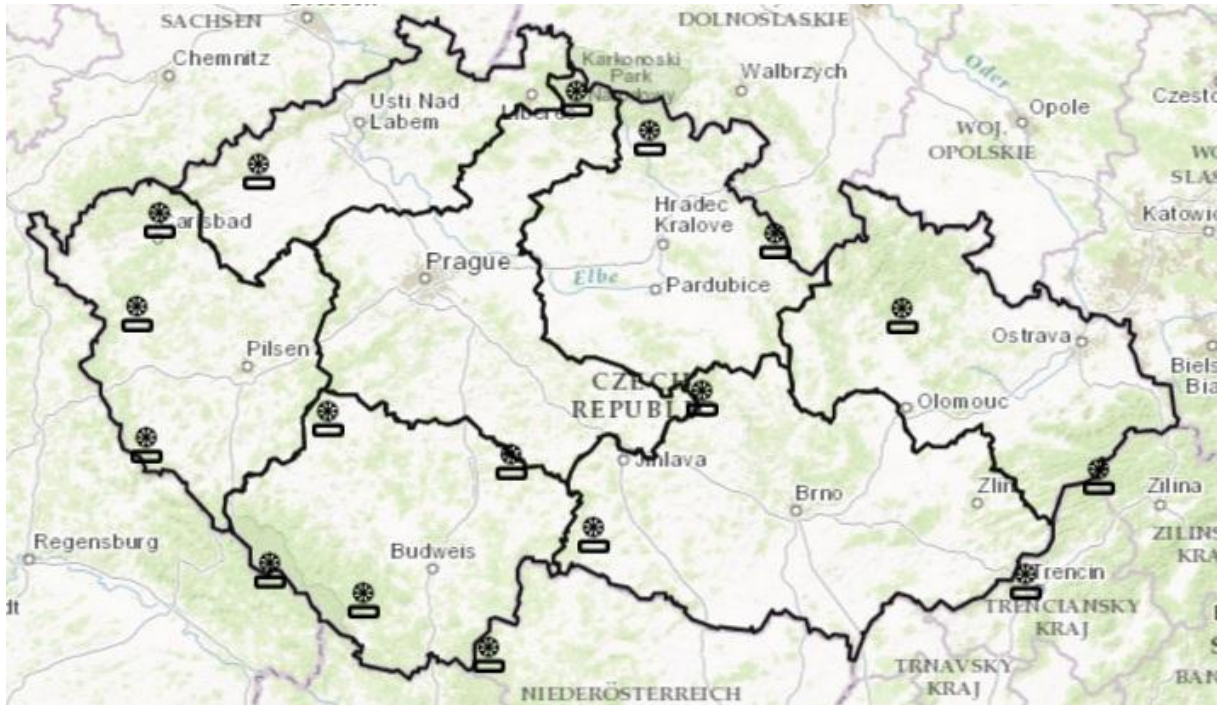
V České republice se nachází síť 802 stanic spadajících pod ČHMÚ (stav v červnu 2011), z nichž 38 je profesionálních (a 6 z nich je pod správou Armády ČR). Dále se jedná o 179

dobrovolnických stanic, které poskytují rozsáhlá klimatologická měření a z nichž je 140 již plně automatizováno. Dalších 559 dobrovolnických stanic se poté zaměřuje pouze na měření srážek a sněhových vlastností, 77 z nich je plně automatizováno. Data o ročním úhrnu srážek dodávají také totalizátory, umístěné do těžko přístupných horských lokalit (Český Hydrometeorologický Ústav. Mapy stanic).



Obrázek 8: Mapa automatizovaných klimatologických stanic (dle zdroje ČHMÚ)

Mapa zobrazuje automatizované klimatologické stanice I. typu. Jedná se o stanice, které kontinuálně pomocí čidel měří všechny dříve v této kapitole vyjmenované prvky. Měření probíhá každých 10 minut, měření srážek poté každou minutu. Pozorovatel doplňuje měření o manuální pozorování (např. druh oblačnosti, stav půdy atd.) V zimním období měří pomocí manuálních přístrojů sněhové charakteristiky. Ve stanovených intervalech jsou poté všechna měření předávána do centra v Praze – Komořanech. Pro účely této práce je ale nutné vymezit si ty meteorologické stanice, které automaticky měří vodní hodnotu sněhu a výšku sněhové pokrývky. Toto splňují tzv. sněhoměrné polštáře, jejichž popisu byla věnována kapitola 3.2.1. Výzkum těchto sněhoměrných stanic probíhal v České republice od roku 2007 (Bubeníčková *et al.*, 2010). Plánováno bylo do roku 2016 uvést do provozu 18 těchto sněhových polštářů (Jiráček, 2011).



Obrázek 9: Mapa umístění sněhových polštářů (dle zdroje ČHMÚ)

Tato mapa však ukazuje, že k roku 2017 je spuštěn provoz zatím 17 automatických sněhoměrných stanic. Výstupy z těchto stanic jsou využity pro predikci odtoku a povodňových stavů (Jiráček, 2011).

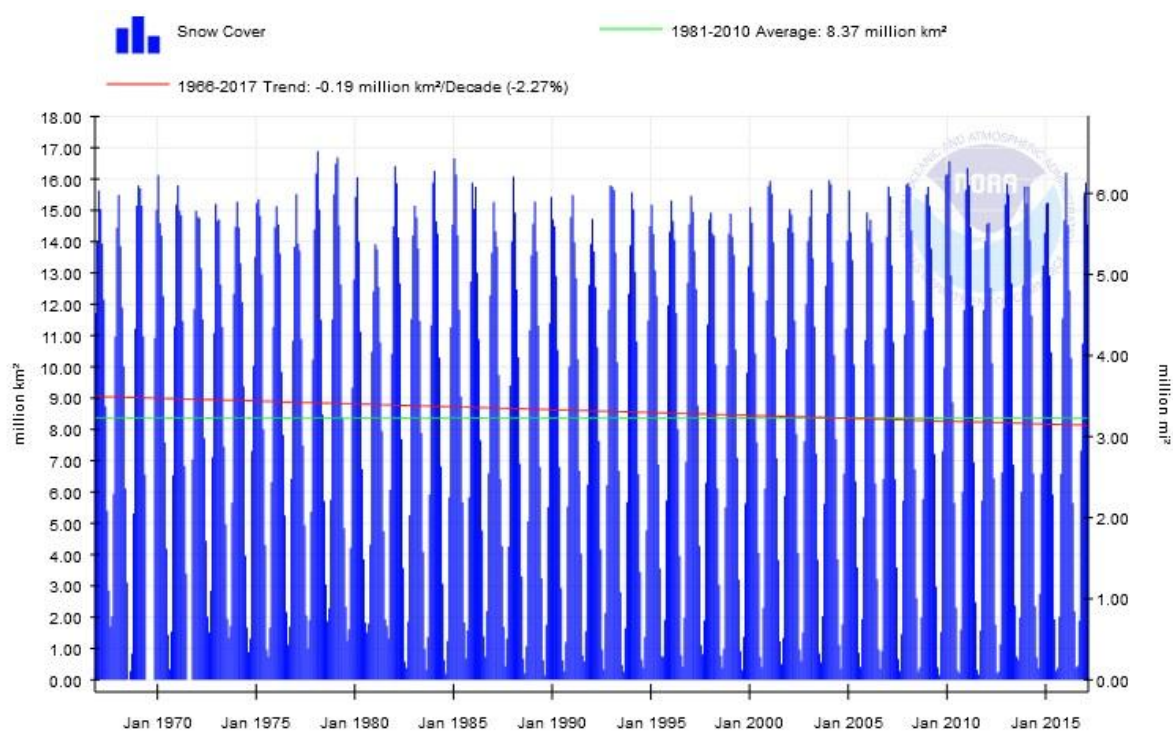
### 3.4.1 Meteorologická stanice Doksany

První měření proběhlo roku 1916. Nebylo zaměřené pouze na teplotu vzduchu a množství srážek, ale také na teplotu a vlhkost půdy. Během druhé světové války byla její činnost pozastavena. V roce 1950 byla její činnost obnovena, a to v nových prostorech. Už se nezaměřovala pouze na měření teploty vzduchu a teplotu a vlhkost půdy, ale také na měření půdního klimatu. Po roce 1990 byla zařazena pod oddělení bioklimatických aplikací ČHMÚ. V současnosti zde probíhají synoptická, klimatologická, agrometeorologická a fenologická přízemní měření a pozorování, radarová profilová měření rychlosti a směru větru do výšky 3 km a teploty vzduchu do výšky 1,5 km, znečištění ovzduší a srážek a dalších. Měření probíhají nepřetržitě 24 hodin denně. Získané údaje jsou odesílány každých 10 minut na ústředí ČHMÚ v Praze - Komořanech, klimatologická měření a data o znečištění ovzduší pak na pobočku v Ústí nad Labem. I přes automatizaci měření je zde zachován kombinovaný provoz, v nočních hodinách je provoz plně automatizovaný (Observatoře.cz, Doksany).

### 3.5 Tendence změny sněhové pokrývky

V této kapitole jsou sledovány na několika grafech trendy sněhové pokrývky za posledních 50, 30 a 10 let v globálním, kontinentálním a národním měřítku.

Jako zástupce pro sledování globálních trendů sněhové pokrývky byla vybrána Severní Amerika z důvodu podobnosti podnebných podmínek pro srovnání s Eurasií a Českou republikou. Všechny sledované oblasti se nachází na severní polokouli, která je zároveň ovlivňována Severoatlantickou oscilací NAO. Grafy pro Severní Ameriku a Eurasii jsou převzaty z oficiálních internetových stránek Národního úřadu pro oceán a atmosféru NOAA a mapují výskyt sněhu za všechny měsíce v Severní Americe od roku 1966 do ledna roku 2017.

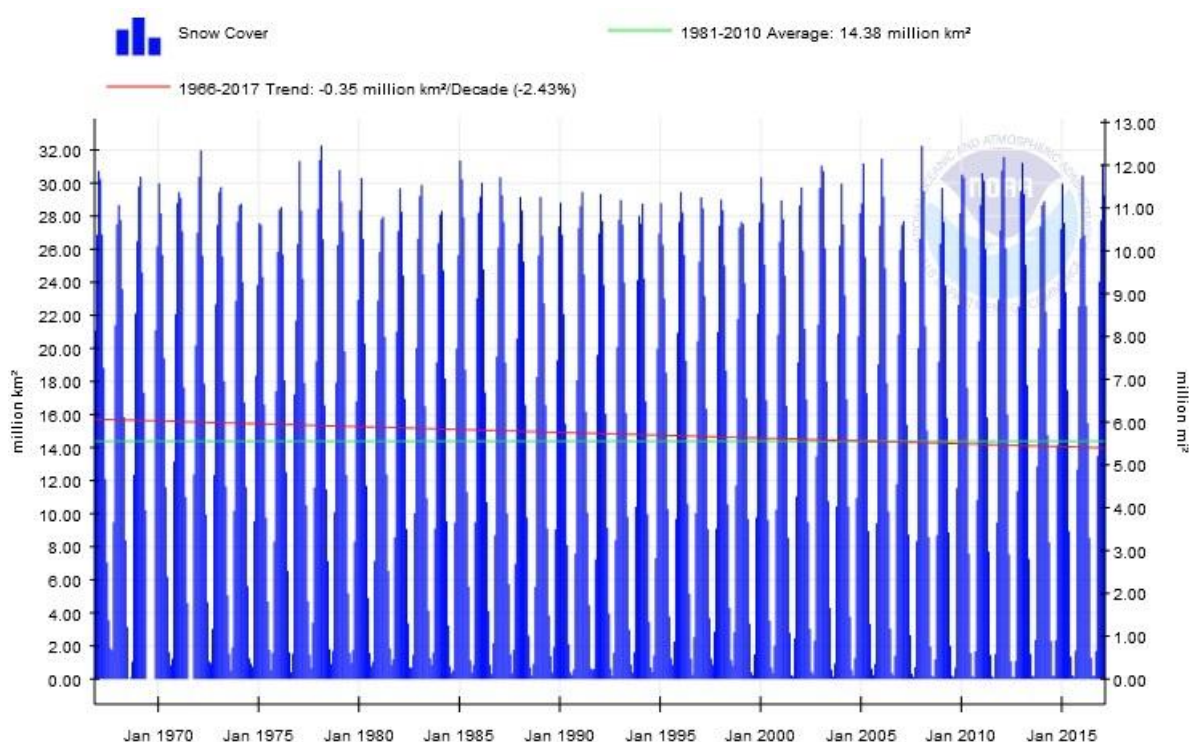


Graf 2: Výskyt sněhové pokrývky v Severní Americe za léta 1966 – 2017 (dle zdroje NOAA. Sea Ice and Snow Cover Extent a.)

Z grafu je patrný snižující se trend sněhové pokrývky, kdy za období padesáti let se sněhová pokrývka snižuje o 2,27 % každých 10 let. Ve výsledku to znamená úbytek sněhové pokrývky na povrchu Severní Ameriky o  $0,95 \cdot 10^6 \text{ km}^2$  za období padesáti let. Také je z tohoto grafu patrná snižující se tendence sněhové pokrývky, kdy za období třiceti let se sněhová pokrývka snižuje o 2,27 % každých 10 let. V roce 2000 velikost sněhové pokrývky na povrchu Severní

Ameriky klesá pod padesátiletý průměr. Za období posledních deseti sledovaných let je velikost sněhové pokrývky na povrchu Severní Ameriky pod padesátiletým průměrem.

Podobný graf je zpracován Národním úřadem pro oceán a atmosféru (NOAA) také pro kontinentální měřítko. Mapuje výskyt sněhové pokrývky za všechny měsíce v Eurasii od roku 1966 do ledna roku 2017.



Graf 3: Výskyt sněhové pokrývky v Eurasii 1966 – 2017 (dle zdroje NOAA. Sea Ice and Snow Cover Extent b.)

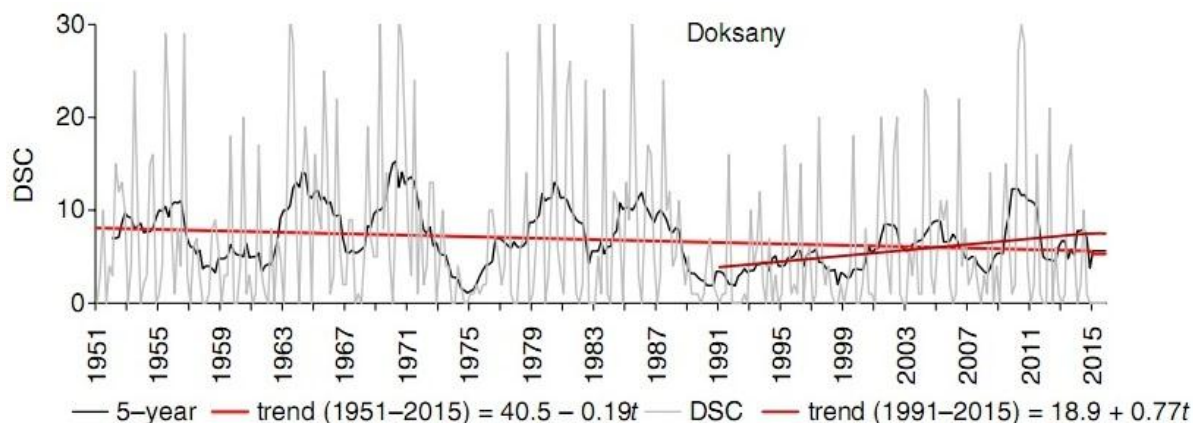
Z grafu výše je patrná snižující se tendence sněhové pokrývky, kdy za období padesáti let se sněhová pokrývka snižuje o 2,43 % každých 10 let. Ve výsledku to znamená úbytek sněhové pokrývky na povrchu Eurasie o  $1,75 \cdot 10^6 \text{ km}^2$  za období posledních padesáti let. V roce 2002 velikost sněhové pokrývky na povrchu Eurasie klesá pod padesátiletý průměr.

V období posledních deseti let se sněhová pokrývka snižuje o dalších  $1,75 \cdot 10^6 \text{ km}^2$ , čímž klesá výskyt sněhové pokrývky na povrchu Eurasie pod padesátiletý průměr.

Přesuňme se nyní ke sledování tendence sněhové pokrývky v České republice. Pro účely této práce byla ke sledování vybrána dříve popsaná meteorologická stanice Doksany, neboť pro účely této práce jsou nejvhodnější data k dispozici právě z této stanice.



Nutno také předeslat, že následující grafy se zabývají počtem dnů se sněhovou pokrývkou za měsíce listopad až březen v každém roce, nikoliv za všechny měsíce každého roku (Potopová *et al.*, 2015).



Graf 4: Tendence počtu dnů se sněhovou pokrývkou na stanici Doksany v letech 1951 – 2015 (dle zdroje Potopová *et al.*, 2015)

Z tohoto grafu je patrné, že za posledních 64 let (tedy i 50) dochází meziročně ke snížení počtu dní se sněhovou pokrývkou od průměru 9 k průměru 5 dnů se sněhovou pokrývkou za rok. Zároveň jsou však stále velmi patrné velké meziroční výkyvy, které tento průměr velmi snižují. Sněhová pokrývka ubývá v dlouhodobém měřítku, ale výrazné propady v počtu dní se sněhovou pokrývkou se vyskytují každých cca 20 let. Velký propad nastává po roce 1991, od kterého počet dní se sněhovou pokrývkou byl každoročně méně než 30. Tento trend byl narušen až v roce 2010, kdy se počet dní se sněhovou pokrývkou znovu zvýšil. Tato tendence je výrazně stoupavá, ačkoliv od roku 2011 do roku 2015 sledujeme další meziroční pokles počtu dnů se sněhovou pokrývkou. Stále však nedošlo k tak výraznému propadu jako v 90. letech minulého století.

Z výše uvedeného grafu celkově vyplývá, že počet dnů se sněhovou pokrývkou na území České republiky (resp. na vybrané hodnocené lokalitě zastupující region ČR) je za období 1951 – 2015 meziročně velmi proměnlivý a nestálý, s velkými propady a výkyvy. Dlouhodobá tendence je však klesající a shoduje se tak s trendem kontinentálním a globálním, čímž přivádí pozornost k problematice globálních změn klimatu.

### 3.6 Numerický model

Jedná se o model určený k provozní předpovědi počasí. K jeho vytvoření je třeba dynamického jádra, souboru parametrizací, modelu zemského povrchu a schéma asimilace meteorologických dat (příprava počátečních dat pro vytvoření numerického modelu). Při prognoze na delší dobu (měsíc, sezonu) je obvykle třeba model propojit s modelem oceánu. Rozeznáváme modely globální a modely pro omezené oblasti. Pro globální modely je třeba znát počáteční podmínky, které jsou dány asimilací meteorologických dat. Pro modely pro omezené oblasti je nutné znát také okrajové podmínky, které jsou převzaty z tzv. řídicího modelu, který je zpracován v menším horizontálním rozlišení, ale na větším modelu (většinou na glóbu). Počáteční podmínky pro tyto modely je také možné získat interpolací řídicího modelu, poté se jedná o dynamickou adaptaci řídicího modelu. Jeho výhoda spočívá v tom, že model s větším rozlišením poskytuje přesnější topografické informace a umožňuje popsat cirkulace jemnějších měřítek, které ovlivňují měřítka hrubší. Pro účely předpovědi počasí je vhodné využít většího rozlišení již pro asimilaci dat (Slovník ČMeS. Výklad pojmů začínajících na písmeno M).

Dynamické adaptace řídicího modelu se využívá také při tvorbě klimatických modelů. Zde se jedná o soubory fyzikálních a chemických vlastností klimatického systému popsaných pomocí matematických rovnic. Dělíme je na dynamické, vycházející ze základních atmosferických cirkulací a jednoduché, které se zabývají jednotlivými vazbami či malým počtem jednoduše propojených vazeb. Tyto modely se zabývají hypotetickými změnami vyvolanými změnami počátečních parametrů (Slovník ČMeS. Výklad pojmů začínajících na písmeno M). Klimatický systém je část geosféry, která se podílí na genezi (utváření) klimatu. Jednou částí geosféry je i námi sledovaná kryosféra, tak jak je popsána v kapitole 3.1.1. (Slovník ČMeS. Výklad pojmů začínajících na písmeno S).

Pro vytvoření uspokojivých numerologických modelů popisujících stav kryosféry je třeba znát výšku sněhové pokrývky a hustotu sněhu (Brasnett, 1998).

## 4 Závěr

Potřeba prozkoumat a zmapovat klimatické jevy v atmosféře i na povrchu Země vedla k vytváření nových způsobů, jak efektivněji sledovat povrch Země. Mezi nejmodernější způsoby patří dálkový průzkum Země, který pomocí družic obíhajících okolo planety po svých orbitách v takových časových intervalech, aby data o klimatickém stavu byla sbírána ve stejný čas nad stejnými místy. Tato data jsou díky tomu sbírána kontinuálně a umožňují také porovnání s dalšími místy ve stejném čase. Tato sledování jsou velmi dobře využitelná především pro špatně dostupné oblasti, do kterých není možno instalovat stanice pro pozemní měření v dostatečně husté síti. Pro pozemní sledování je dnes velmi efektivní metoda sněhoměrných polštářů, které jsou plně automatizovány a data z nich jsou ihned odesílána na centrály, kde jsou dále zpracovávána. Data z těchto sněhoměrných stanic jsou využívána pro predikci povodňových stavů. Veškerá data, která jsou o kryosféře a výskytu sněhové pokrývky shromažďována nám umožňují zobrazit vývoj sněhové pokrývky v grafech, které jsou popsány v této práci a na kterých je jasně patrné snížení výskytu sněhové pokrývky od roku 1966 v řádu milionu kilometrů čtverečních na obou sledovaných kontinentech, což potvrzuje hypotézu o úbytku výskytu sněhové pokrývky v posledních 50 letech. Tyto grafy jasně dokazují, že na celé severní polokouli dochází ke snížení výskytu kryosféry, úbytku sněhové pokrývky a v důsledku pak ke změnám sezonních jevů s ní spojených. Názory na příčiny tohoto úbytku se liší. Tento jev se projevuje táním ledovců, zvyšováním hladin moří, oteplováním mikroklimatu na územích, kde se sněhová pokrývka sezoně vyskytuje. Úbytek sněhové pokrývky působí především velké škody v zemědělství. Mrazivé zimy bez ochranné vrstvy sněhu způsobují vymrzání a vysychání půdy, ozimé plodiny nemají vhodné podmínky pro kvalitní proces jarovizace. Rostliny vymrzají, usychají či nejsou schopny klíčení, čímž výnosy těchto plodin klesají.

## 5 Použitá literatura

Albertz, J. 2000. Einführung in die Fernerkundung: Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern.. Darmstadt: Wiss. Buchges. 240. ISBN 3534146247.

Bal, G., Bevilacqua, I., Cremonese, E., Dellavedova, P., Diotri, F., Ferraris, S., Pogliotti, P. 2009. Innovative devices for the SWE estimation at the basin scale: a field study in the Western Alps. In Proceedings of ISSW. 175-179.

Bednorz, E. 2002. Snow cover in western Poland and macro-scale circulation conditions Int. J. Climatol. 22. 533–541.

Brasnett, B. 1998. A Global Analysis of Snow Depth for Numerical Weather Prediction. Journal of Applied Meteorology. 38. 726- 741.

Bubeníčková L., Kimlová, M., Řičicová, P., Bercha, Š. 2010. Využití experimentálně měřených a zpracovávaných klimatologických dat v hydroprognózní praxi. XV. Mezinárodní stretnutie snehárov. ČHMÚ, OHV Jablonec nad Nisou. 75-82. ISBN 978-80-213-2027-7.

Fierz, C., Armstrong, R.L., Durand, Y., Etchevers, P., Greene, E., McClung, D.M., Nishimura, K., Satyawali, P.K., Sokratov, S.A. 2009. The International Classification for Seasonal Snow on the Ground. IHP-VII Technical Documents in Hydrology, IACS Contribution. 83 (1). Paris. Unesco – IHP.

Chang, K.-T. 2015. Introduction to Geographic Information Systems (WCB Geography). 8th ed. McGraw-Hill Education. 448. ISBN: 978-0078095139.

Christiane M., Manfred E. 2002. Lexikon der Geowissenschaften. Heidelberg. Spektrum Akademischer. 6. 241. ISBN 3-8274-1655-8.

Cílek, V. 2006. Tsunami je stále s námi. 1. vyd. Praha: Alfa Publishing. 344 s.

Cohen, J.L., Rind, D. 1991. The effect of snow cover on the climate. Journal of Climate. 4 (7). 689-706. ISSN: 0894-8755.

Čeburnis, D., Šakalys, J., Armolaitis, K., Valiulis, D., Kvietkus, K. 2002. In-stack emissions of heavy metals estimated by moss biomonitoring method and snow-pack analysis. Atmospheric Environment. 36 (9). 1465-1474.

Durand, M. 2011. Snow Water Equivalent. In: Haritashya U. K., Singh P., Singh V. P. 2011. Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers. Springer. Netherlands. 1070-1071. ISBN: 978 – 90 – 481 – 2643 – 9.

Ebner, P.P., Andreoli, C., Schneebeli, M., Steinfeld, A. 2015. Tomography-based characterization of ice-air interface dynamics of temperature gradient snow metamorphism under advective conditions. Journal of Geophysical Research- Earth Surface. 120 (12). 2437-2451.

- Giuliani, M., Castelletti, A., Fedorov, R., Fraternali, P. 2016. Using crowdsourced web content for informing water systems operations in snow-dominated catchments. *Hydrology and Earth System Science*. 20 (12). 5049-5062
- Helfricht, K., Lehning, M., Sailer, R., Kuhn, M. 2015. Local Experiments in the Lidar-Derived Snow Cover of Alpine Glaciers. *Geografiska Annaler Series a- Physical Geography*. 97 (4). 721-736.
- Jansen, J.R. 2015. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. ISBN 978-0134058160.
- Jeníček, M. 2011. *Základy hydrologie sněhu a ledu*. Praha: Univerzita Karlova v Praze- přírodovědná fakulta.
- Jiráček, J. 2011. Automatické sněhoměrné stanice v ČR- problematika měření SCE a SVH. XVI. Medzinárodné stretnutie snehárov. Ústav hydrologie SAV, Experimentálna hydrologická základňa, Liptovský Mikuláš. 41-47.
- Křístek Š., Urbaňcová N., Holuša J., Tomeček, P. 2011. Měření vlastností sněhové pokrývky v lese a mimo les. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti. Strnady. 73 s. ISBN 978-80-7417-044-7.
- Lamb, P. J., Pepler, R. A. North Atlantic Oscillation: Concept and an Application. *Bulletin American Meteorological Society*. 1987. 68 (10). 1218-1225.
- Lillesand, T., Kiefer, R. W., Chipman, J. 2015. *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons.
- Linde, J., Grab, S. 2011. The changing trajectory of snow mapping. In: *Progress in physical geography*. 35 (2). Sage publications ltd. London. 139 – 160. ISSN: 0309 – 1333.
- Lowe, K. M., Wallis, L. A., Pardoe, C., Marwick, B. Clarkson, Ch. J., Manne, T., Smith, M. A., Fullagar, R. 2014. Ground-penetrating radar and burial practices in western Arnhem Land, Australia. *Archaeology in Oceania* . 49 (3). 148–157.
- Masini, N., Raffaele, P., Enzo, R. 2010. Some examples of GPR prospecting for monitoring of the monumental heritage. *Journal of Geophysics and Engineering*. 7 (2). 190.
- Mikulčák, J. 2003. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky a vzorce pro střední školy*. Prometheus. Praha. 276. ISBN 80-7196-264-3.
- Munzar, J. 1989. *Malý průvodce meteorologií*. Mladá Fronta. Praha. 248.
- Němec L. 2006. Vodní hodnota sněhové pokrývky. In: 11. Stretnutie sneharov. Sborník ze semináře. Nová Ves, 21. – 23. 3. 2006. Jablonec nad Nisou, ČHMÚ. 41-43 s.
- Novák, M. 2014. *Monitorování sněhové pokrývky metodou EIS pro možnost stanovení vodní hodnoty sněhu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně.

Paterson, W. S. B. 1993. World sea level and the present mass balance of the Antarctic ice sheet. W.R. Peltier. Ice in the Climate System. NATO ASI Series.

Phillips, V.T.J., Formenton, M., Bansemer, A., Kudzotsa, I., Lienert, B. 2015. A Parameterization of Sticking Efficiency for Collisions of Snow and Graupel with Ice Crystals: Theory and Comparison with Observations. *Journal of Atmospheric Science*. 72 (12). 4885-4902.

Potopová V., Boronean C., Možný M., Soukup J. 2015. Driving role of snow cover on soil moisture and drought developing during the growing season in the Czech Republic. In: *International Journal of Climatology*.

Regalado, C. M., Ritter, A., & Rodríguez-González, R. M. 2007. Performance of the commercial WET capacitance sensor as compared with time domain reflectometry in volcanic soils. *Vadose Zone Journal*. 6 (2). 244-254.

Robinson, D. A., Kenneth, F.D., Richard R. H. 1993. Global Snow Cover Monitoring: An Update. *American Meteorological Society*. 74 (9). ISSN: 0003-0007.

Roth, G. D. 2000. *Malá encyklopedie počasí*. Knižní klub. Praha. 293. ISBN 80-242-0228-X

Singh, P. 2001. *Snow and Glacier Hydrology* (Water Science and Technology Library). Boston. Kluwer Academic Publishers. ISBN 9780792367673.

Soukupová, J. 2010. *Atmosférické procesy (základy meteorologie a klimatologie)*. ČZU. Praha. 192. ISBN 978 – 80 – 213 – 2074 – 1.

Van den Broeke, M. R. 1996. *The atmospheric boundary layer over ice sheets and glaciers*. Utrecht. Universiteit Utrecht. 178.

Washburn, A. L. 1973. *Periglacial processes and environments*. London. Edward Arnold. 320. 48.

## INTERNETOVÉ ZDROJE

Bercha Š., Kimlová M. Automatické sněhoměrné stanice tzv. „sněhoměrné polštáře“. [online] [cit. 2017 – 1 - 7]. 2014. Dostupné z <[http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps\\_novinky.php?seq=28752075](http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_novinky.php?seq=28752075)>

Čekal R. Množství vody ve sněhové pokrývce. [online] [cit. 2017 – 1 - 20]. 2013. Dostupné z <[http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps\\_novinky.php?seq=28213260](http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_novinky.php?seq=28213260)>

Český Hydrometeorologický Ústav. Informace o družicích NOAA .[online] [cit. 2016 – 3 - 13]. Dostupné z <<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/sat/info/NOAA.html>>

Český Hydrometeorologický Ústav. Mapy stanic. [online] [cit. 2016 – 3 - 13]. Dostupné z <<http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mapy-stanic>>

- Český Hydrometeorologický Ústav. Vysvětlení dalších meteorologických pojmů a jevů. [online] [cit. 2016 – 2 - 7]. Dostupné z < <http://portal.chmi.cz/informace-provas/meteorologicka-terminologie/dalsi-pojmy-2> >
- Dálkový průzkum Země. [online] 2006. [cit. 2017 – 1 - 8]. Dostupné z <<http://www.geografie.webzdarma.cz/dpz.htm>>
- Honsová, D. Sněhová pokrývka. [online]. 22. října 2007. [cit. 2017 – 3 - 5]. Dostupné z < <http://www.priroda.cz/clanky.php?detail=1019> >
- Kráčmar, J. Meteorologické radiolokátory. [online] [cit. 2017 – 2 - 7]. Dostupné z < [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/rad/info\\_radar/](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/rad/info_radar/) >
- Libbrecht, K. G. A Guide to Snowflakes. [online] [cit. 2017 – 1 – 8]. 1999. Dostupné z < <http://www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals/class/class-old.htm>>
- Marshall, H. P., Koh, G. FMCW radars for snow research. In: Cold Regions Science and Technology. 52. [online] 2008. [cit. 2017 – 1 - 10]. Dostupné z <<https://pdfs.semanticscholar.org/badb/5c3fla063cec27a99d2bc4e5e98252898cef.pdf>>
- Meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS). Česká meteorologická společnost. [online] [cit. 2016 – 3 - 10]. Dostupné z < <http://slovník.cmes.cz/> >
- Meteorologická stanice Maruška Hostýnské vrchy. [online] [cit. 2017 – 12 - 30]. 2016. Dostupné z < [http://maruska.ordoz.com/meteorologie/meteorologicke\\_stanice](http://maruska.ordoz.com/meteorologie/meteorologicke_stanice) >
- NOAA. Sea Ice and Snow Cover Extent a. [online] [cit. 2017 – 2 - 5]. Dostupné z < <https://www.ncdc.noaa.gov/snow-and-ice/extent/snow-cover/nam/0> >
- NOAA. Sea Ice and Snow Cover Extent b. [online] [cit. 2017 – 2 - 5]. Dostupné z < <https://www.ncdc.noaa.gov/snow-and-ice/extent/snow-cover/eurasia/0> >
- Observatoře.cz. Doksany.[online] [cit. 2016 – 3 - 10]. Dostupné z <<http://www.observatoře.cz/stanice/doksany.html> >
- Řepka M., Lipina P. Nové automatizované meteorologické stanice v působnosti pobočky ČHMÚ Ostrava. [online] [cit. 2017 – 1 - 7]. 2016. Dostupné z <<http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1465550148>>
- SIVS – kód III. Sněhové jevy. [online] [cit. 2017 – 2 - 5]. Dostupné z <<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/om/sivs/snih.html>>
- Slovník ČMeS. Výklad pojmů začínajíc na písmeno M. [online] [cit. 2016 – 3 - 13]. Dostupné z < [http://slovník.cmes.cz/VYKLAD/M\\_vyklad.htm](http://slovník.cmes.cz/VYKLAD/M_vyklad.htm) >
- Slovník ČMeS. Výklad pojmů začínajíc na písmeno S. [online] [cit. 2016 – 3 - 13]. Dostupné z < [http://slovník.cmes.cz/VYKLAD/S\\_vyklad.htm](http://slovník.cmes.cz/VYKLAD/S_vyklad.htm) >
- Slovník ČMeS. Výklad pojmů začínajíc na písmeno T. [online] [cit. 2016 – 3 - 13]. Dostupné z < [http://slovník.cmes.cz/VYKLAD/T\\_vyklad.htm](http://slovník.cmes.cz/VYKLAD/T_vyklad.htm) >

Špulák, O., Souček, J., Černošous, V. Pozemní metody a technologie měření vodní hodnoty sněhu. [online] Opočno. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti. 2012. [cit. 2017 – 1 - 10]. Dostupné z <<http://www.vulhm.cz/sites/File/ZLV/fulltext/227.pdf>>

Toikka oy Insinööri-toimisto. 2001. Snow Fork. [online] [cit. 2017 – 3 - 18] Dostupné z <<http://personal.inet.fi/business/toikka/ToikkaOy/snowfork.pdf> >

Židek D., Lipina P. 2003. Metodický předpis č. 13. Návod pro pozorovatele meteorologických stanic ČHMÚ. Ostrava. 88. Dostupné z: <[http://chmi.eu/OS/pdf/metodicky\\_navod/MP.pdf](http://chmi.eu/OS/pdf/metodicky_navod/MP.pdf) >